

Materials Research Society of Korea, Fall Conference 2023

# 포스터발표



P-1

## Characterization and Performance Enhancement of Thermoelectric devices Using Plasma-Treated CNTs

Sunghoon Kim, Kwi-Il Park<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, School of Materials Science and Engineering,  
Kyungpook National University (KNU), Daegu  
(kipark@knu.ac.kr<sup>†</sup>)

Thermoelectric (TE) energy harvesting, which can convert electric energy from thermal energy, has drawn enormous attention as the next-generation power source for self-powered devices making it suitable for use in various application fields. In this study, we developed carbon nanotube (CNT)-based TE film with improved thermoelectric performance compared to reported studies of CNT-based films through plasma treatment. The CNT films through plasma post-treatment showed more higher TE properties than TE films based on CNT without plasma treatment. We fabricated flexible thermoelectric energy harvester (f-TEH) using enhanced CNT-based TE films. The fabricated f-TEH generated stably increased TE performance as increasing the temperature gradients. This study is expected to expand the research field of flexible organic TE films and the applicability of flexible thermoelectric energy harvester.

**Keywords:** Thermoelectric, CNT, Plasma

## Enhanced performance of energy harvester with piezoelectric composite based on BaTiO<sub>3</sub> particles through plasma treatment

Su A Kwon, Kwi-II Park<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, School of Materials Science and Engineering,  
Kyungpook National University (KNU), Daegu  
(kipark@knu.ac.kr<sup>†</sup>)

Piezoelectric energy harvesters have gained significant attention due to their capability to convert mechanical energy into electrical energy, environmentally friendly energy harvesters. To realize a flexible piezoelectric composite, barium titanate (BaTiO<sub>3</sub>), a high dielectric constant material, was dispersed within a poly(vinylidene fluoride) (PVDF) matrix. In this study, the piezoelectric performance was further enhanced through plasma treatment of BaTiO<sub>3</sub> for 0s, 10s, 20s, 40s, and 60s. Plasma treatment resulted in the attachment of carbon on the modified surface of BaTiO<sub>3</sub>, efficiently introducing functional groups of C and O. This enhancement improved the dispersibility of the particles, ultimately leading to increased amounts of both  $\beta$  phase and  $\gamma$  phase. Consequently, the piezoelectric output voltage was significantly enhanced. The flexible piezoelectric energy harvester (f-PEH) achieved it's the highest open-circuit voltage of  $\sim 0.39$  V at the optimized condition, plasma treatment 40s, and an electric field of  $400\text{kVcm}^{-1}$  under mechanical bending deformations. This study has identified new, simple methods and conditions for enhancing the performance of the piezoelectric composite, paving the way for further advancements in this field.

**Keywords:** Piezoelectric, Flexible, Plasma Treatment, Energy harvester, Composite

## Flexible thermoelectric energy harvester with stacked-structure of thermoelectric films based on polymer composite and Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> particles

Da Eun Shin, Kwi-Il Park<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, School of Materials Science and Engineering,  
Kyungpook National University (KNU), Daegu  
(kipark@knu.ac.kr<sup>†</sup>)

Thermoelectric energy harvesters (TEHs), which convert thermal sources into electrical energy, are promising candidate for self-powered devices as the global energy consumption regulations are reinforced so that renewable and waste-free energy sources are required. Furthermore, flexible TEHs (f-TEHs) are effective energy supplier for electric devices which operate in wireless especially attached on curved objects with thermal source due to their highly flexibility. Herein, we fabricated f-TEH with stacked-structure which exhibits excellent thermal efficiency with simple fabrication procedure of f-TEHs. The stacked-structure of f-TEH is comprised of thermoelectric composite films which are obtained Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub> (BST) and Bi<sub>0.5</sub>Te<sub>2.7</sub>Se<sub>0.3</sub> (BTS) powder with poly(vinylidene fluoride) (PVDF) matrix. We used polyethylene terephthalate (PET) film and double-sided adhesive tape for insulator between stacked thermoelectric p- and n-type films. The fabricated f-TEH stacked with 2 layers of each p- and n-type TE films generated an output voltage of 3.8 mV, current signal of 6.8  $\mu$ A, and output power of 6.43 nW at  $\Delta T = 20$  K. In addition, we proved that as the number of each layer increased, thermoelectric performance of f-THE improved. The energy generation mechanism and performance of the stacked-structure f-TEH are supported using finite-element analysis (FEA) with multiphysics simulations. This study presents great possibility of fabricating stacked-structure-based f-TEGs using numerous TE films and broadens application field in flexible energy harvesting.

**Keywords:** Thermoelectric, Energy harvester, Flexible, Stacked-structure, Composite

## Enhanced Piezoelectric Output Performance using BaTiO<sub>3</sub> Hollow Sphere Nanoparticles and PDMS Composite

Dongju Ha, Kwi-Il Park<sup>†</sup>

Kyungpook National University (Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Daegu, Republic of Korea)

(kipark@knu.ac.kr<sup>†</sup>)

Piezoelectric devices fabricated by integration of piezoelectric particle in the polymeric matrix using flexible ferroelectric polymer serve an important role in supplying power to wearable electronic devices. The piezoelectric device, including BaTiO<sub>3</sub> nanoparticles of a perovskite structure into the polymer, generates higher output performance compared to a piezoelectric device using only the piezoelectric polymer. A piezoelectric composite fabricated using hollow sphere nanoparticles BaTiO<sub>3</sub>(HSBTN) and Polydimethylsiloxane (PDMS). HSBTN are synthesized using a hydrothermal synthesis method. We confirmed that the piezoelectric device using HSBTN generates powerful output performance. We confirmed that local stress concentrates in the HSBTN more than in the matrix and enhanced stress transfer between the matrix and ceramic particles. The influence of the hollow structure led to an increase in the internal electric field strength. Therefore, the piezoelectric charge constant is enhanced. As a result, the output performance is enhanced. Hollow sphere piezoelectric energy harvesters are expected to provide efficient power supply for wearable devices by harvesting the biomechanical energy of human motion. This study provides a new suggestion for developing piezoelectric energy harvester.

**Keywords:** BaTiO<sub>3</sub> hollow sphere nanoparticle, Piezoelectric energy harvesting, Hydrothermal synthesis

## Synthesis and Characterization of $\text{Sm}_2\text{S}_3$ Quantum Dot as a Potential Blue Emitting Probe

길혜원<sup>1</sup>, 이호경<sup>2</sup>, 김지현<sup>1</sup>, 박찬호<sup>1</sup>, 박상준<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical and Biological Engineering; <sup>2</sup>Smart Materials Research Center for IoT  
(psj@gachon.ac.kr<sup>†</sup>)

With development of industry, nanoscience has attracted many researchers and affected to human living life. Especially, quantum dots (QDs), a kind of semiconducting materials with size range of 1 – 10 nm, are numerously investigated due to their unique optical and electrical properties which are different with their bulk state. However, the Cd- and Pb-based chalcogenides, typical QD materials, have inherent toxicity and due to this, there are several efforts to discover QD compositions without heavy metal ions[1]. Here, we will introduce a potential QD composition,  $\text{Sm}_2\text{S}_3$  QDs. The  $\text{Sm}_2\text{S}_3$  QDs were prepared via simple heating up method in high boiling point solvent. The morphological and crystalline structure of  $\text{Sm}_2\text{S}_3$  were characterized by HR-TEM and HR-XRD, respectively. The optical properties were identified by UV-Vis spectrometer and spectrofluorometer. Average size of  $\text{Sm}_2\text{S}_3$  QDs was confirmed to  $\sim 6.14 \pm 0.79$  nm and PL max was identified to  $\sim 425$  nm with 360 nm PLE max.

**Keywords:** Quantum dots, Samarium sulfide, heating up, blue emission, UVC photodetector

## CVD grown $\text{MoS}_2$ – $\text{HfS}_2$ heterostructure for infrared photodetector by utilizing interlayer excitons

Hosung Lee, Ki-seok An<sup>†</sup>, Dong-bum Seo, Minkyun Son, Hanbyeol Jang, Sun sook Lee, Jin Kim, Wooseok Song, Soonmin Yim, Saewon Kang

Thin film Materials Research Center Korea Research Institute of Chemical Technology  
(ksan@kriict.re.kr<sup>†</sup>)

Recently, research on two-dimensional (2D) materials-based photodetectors has been widely conducted. However, 2D material photodetectors has suffered from narrow detection wavelength range corresponding to their bandgaps and high dark current. To overcome these limitations, research has focused on photodetectors based on interlayer excitons through Type-II heterojunctions to widen the detectable wavelength. Various research on photodetectors using interlayer excitons has been conducted, but reported studies showed complicated process which starting from mechanical exfoliation method. Here in, to utilize interlayer excitons using practical synthetic approach, we directly grow  $\text{MoS}_2$  –  $\text{HfS}_2$  vertical heterojunctions by chemical vapor deposition method. This vertical heterojunction structure enables near-infrared detection and successful suppresses dark current. The  $\text{MoS}_2$  –  $\text{HfS}_2$  heterostructure photodetector exhibited outstanding performance, with detection rates ( $D^*$ ) of approximately  $7 \times 10^{13}$  Jones at a wavelength of 1550 nm and approximately  $2 \times 10^{14}$  Jones at 980 nm, along with a response time of 60  $\mu\text{s}$ .

**Keywords:** interlayer exciton, heterostructure, photodetector,  $\text{MoS}_2$  –  $\text{HfS}_2$

## Maximizing energy harvesting with SnSe<sub>2</sub> as a piezoelectric material in piezo-triboelectric hybrid generator

김근철<sup>1</sup>, 김대원<sup>2\*</sup>, 김영수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 전자정보융합공학과; <sup>2</sup>경희대학교 전자공학과  
(daewon@khu.ac.kr<sup>\*</sup>)

SnSe<sub>2</sub>, the member of the transition metal dichalcogenide (TMD) family, emerges as a 2D material with a hexagonal structure, inherently exhibiting n-type semiconducting properties. This material captivates scientific interest due to its distinctive characteristics, including high conductivity, expansive surface area, remarkable thermoelectric performance, and significant dielectric property, thereby offering a variety of potential applications. Previous researchs have unveiled piezoelectric properties in Sn-based TMD materials, notably SnS<sub>2</sub>, with an anticipated increase of this tendency concomitant with the elevation of the atomic number of the chalcogen atoms. In this research, a piezo-triboelectric hybrid generator, boasting high electrical output, was fabricated by integrating SnSe<sub>2</sub> into the PDMS. The piezoelectric characteristics of SnSe<sub>2</sub> were indirectly substantiated through poling and subsequently exploited as a piezoelectric material, leading the way for further exploration and application in the area of electronic devices

**Keywords:** SnSe<sub>2</sub>, piezoelectric, triboelectric, hybrid generator

## Study on the effect of peroxide initiator content on dielectric properties of thermosetting PPE composites impregnated into liquid crystal polymer fabric

반예준, 박성대<sup>†</sup>, 양현승

한국전자기술연구원  
(sdpark@keti.re.kr<sup>†</sup>)

Beyond 5G, in 6G, which operates in the 100 GHz range, materials exhibiting low dielectric properties are crucial for stable signal transmission. Glass fibers face difficulties in achieving sufficient low dielectric properties in the Sub-THz range. To address this limitation, liquid crystal polymer (LCP) fabric with low dielectric properties can be utilized to form laminated body. Unlike conventional glass fibers, liquid crystal polymer fabrics offer advantages such as enhanced processability and cost-effectiveness in manufacturing due to their high moldability.

In this study, we evaluated the dielectric properties of resin-impregnated liquid crystal polymers, which exhibit low dielectric characteristics. The resin composition impregnating the liquid crystal polymer was prepared by adding various additives based on Modified Poly Phenylene Ether (MPPE). The organic peroxide initiator used in this process plays a role in forming radicals to induce reactions, inevitably resulting in the formation of byproducts like hydroxyl groups. Therefore, we observed the crosslinking density with respect to the initiator's content and studied various properties including dielectric characteristics, moisture absorption, and glass transition temperature. Dielectric properties were measured using the Balanced Circular Disk Resonator (BCDR) fixture in range of 10~100GHz.

This work was supported by Korea Planning & Evaluation of Industrial Technology (KEIT) grant funded by the Korea government(MOTIE)(No.Rs-2023- 00228627, Development of low dielectric constant hybrid substrate for 6G terahertz communication)

**Keywords:** Low-dielectric, LCP fabric, Sub-THz, BCDR fixture

## Modified PPE-Based Resin Compositions for Sub-THz RCC: A Study on Dielectric Characteristics Depending on Silica Filler Content

반예준, 박성대<sup>†</sup>, 양현승

한국전자기술연구원  
(sdpark@keti.re.kr<sup>†</sup>)

Due to the rapid advancement in the field of electronic communications, there is a growing need for stable substrates at higher frequencies. In the Build-up process used to produce low-dielectric substrates, there is a rising interest in Resin Coated Copper (RCC) that coats resin onto copper foil instead of impregnating materials like glass fiber. RCC must possess low dielectric properties and maintain strong adhesion to conductors since it undergoes a layering process.

Conventional substrate materials like epoxy-based compositions faced challenges in securing low dielectric properties in the Sub-THz band. In this study, therefore, Modified Poly Phenylene Ether (MPPE) was utilized to create a resin composite with excellent dielectric characteristics and superior adhesion. Typically, in resin composites, inorganic fillers are added to control thermal expansion. We incorporated low-dielectric silica powder. The amount of silica powder was varied to observe its impact on the dielectric properties in resin laminate. The dielectric properties of the resin laminate were measured from 10GHz to 110GHz using BCDR (Balanced Circular Disk Resonator) type fixture. Each of these resin formulations was then coated onto copper foils followed by hot pressing with CCL. The thickness of the resulting RCC coatings and their adhesion to conductors were observed.

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.RS-2023-00228627, Development of Low Dielectric Constant PCB Material and Substrate Technology at Sub-THz bands for 6G Communications)

**Keywords:** Low-Dielectric, Sub-THz, RCC, MPPE, BCDR fixture

## Studying Low-k, Low-Loss Hybrid Composite Dielectric Materials for microwave/mm-Wave Substrate Application

권석은, 권나연, 권도균<sup>†</sup>

한국항공대학교  
(dkwon@kau.ac.kr<sup>†</sup>)

For optimal performance in microwave/mm-wave wireless communication devices, it's essential that dielectric materials exhibit a low dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) and a high-quality factor (Q). This combination minimizes time delays and enhances signal selectivity. One promising avenue for meeting these requirements involves exploring potential material solutions, such as ceramics or hybrid dielectric composites that incorporate both inorganic and organic components. These materials offer versatile properties that can address a range of demands in advanced communication systems, ultimately contributing to improved performance and efficiency. Forsterite ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) nanoparticles are opted for as predominant inorganic components owing to their constrained polarization and negligible power dissipation attributes at ultra-high frequencies. Polyimides (PI) are utilized in the ceramic-polymer hybrid materials approach. The dielectric properties of the resulting Composite of forsterite and polyimide (PI) were analyzed at microwave and mm-wave frequencies.

**Keywords:** microwave, mm-wave, Forsterite, Polyimide, composite

## Modeling of Thermal Disturbance Effects in Three-Dimensional Stackable Phase-Change Memory

Yechan Kim<sup>1</sup>, Namwook Hur<sup>2</sup>, Joonki Suh<sup>2</sup>, Yongwoo Kwon<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Hongik University; <sup>2</sup>Ulsan National Institute of Science and Technology  
(ykwon722@hongik.ac.kr<sup>†</sup>)

To overcome downscaling limitations in three-dimensional (3D) phase-change memory (PCM) devices, it is imperative to quantitatively evaluate the impact of thermal disturbance (TDB), which causes unwanted programming of neighboring cells during reset operation, posing significant challenges to write reliability. This study suggests a fully coupled simulation model, integrating electro-thermal with phase-field physics, that takes into account both the temperature change and partial crystallization of adjacent cells induced by TDB. By examining simulation results with varying cell pitch and pulse width, it is possible to determine whether failures caused by TDB will occur under given conditions.

**Keywords:** cell pitch, crystallization, phase-change memory (PCM), phase-field, thermal disturbance (TDB)

## Electrical pulse gating 제어를 통한 TiO<sub>2</sub> channel 기반 Redox-Thin Film Transistor의 특성 분석

박하영<sup>1</sup>, 김지수<sup>1</sup>, 이수완<sup>1</sup>, 김준모<sup>1</sup>, Kumar Mohit<sup>1,2</sup>, 서형탁<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 에너지시스템학과; <sup>2</sup>아주대학교 첨단신소재공학과  
(hseo@ajou.ac.kr<sup>\*</sup>)

현재 NAND Flash 메모리에 상응 가능한 차세대 소자로 저항 변화 스위칭 메모리가 떠오르고 있다. 이의 간단한 MIM 구조 및 우수한 동작 특성을 기반으로 활발한 연구가 진행되고 있지만 장기적 안정성, 고 신뢰성 등의 측면에 한계점이 있다. 이에 3단자 Redox TFT(ReTFT)을 제작하여 Gate 전압에 따라 전기장을 제어함으로써 금속 산화물 채널의 Redox 반응을 정밀하게 수행하고자 하였다. 궁극적으로는 비휘발성 스위칭을 저전력으로 달성할 수 있는 뉴로모픽형 소자 개발을 목표로 한다.

본 연구에서는 TFT의 채널 소재로 TiO<sub>2</sub>를 활용하였다. 특히, TiO<sub>x</sub>의 이온 제어에 따른 Redox 반응으로 저항 변화를 유도하는 ReTFT를 제작하였다. 먼저, RF Magnetron sputtering을 이용하여 Ti 박막을 증착하였다. 이후 300°C의 산소 분위기에서 Rapid Thermal Processing을 진행하였다. 이때 샘플 위에 Si 기판을 덮어 수평 성장 방식으로 산화막을 형성시킨 점이 특징이다. 채널층의 두께는 AFM으로, 화학적 조성 및 구조는 각각 XPS와 XRD로 분석하였다. 그 결과, 불균일한 산소 주입을 통해 다양한 조성의 Ti(IV, III, II)가 Amorphous 상으로 구성되었음을 확인하였다. 이처럼 산소 이온은 느슨하게 결합되어 있어 용이하게 이동할 수 있다. Source 및 Drain은 E-beam evaporator를 통해 증착한 Cr/Au를, Gate 유전막으로는 RF Magnetron sputtering를 통해 증착한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 이용하였다. Redox 반응에 의한 TFT 동작을 확인하고자 Gate에 최대 +20V에 이르는 전기적 pulse를 가하였다. 이로써 10<sup>3</sup>의 on/off ratio, 8000 cycle의 Endurance, Independent Retention performance 데이터를 확보하였고, 비휘발성 메모리 특성이 발휘됨을 알 수 있었다.

본 연구 결과를 통해 Redox 채널을 이용한 3단자 TFT로 초고속 저전력 소자를 구현할 수 있음을 알게 되었다. 이후 다단자 ReTFT를 결합하여 AND, OR, NOT 연산이 가능한 logic-in-processing을 수행할 수 있다. 끝으로, 뉴로모픽 칩에 해당 기술을 적용함으로써 미래 반도체 시장 진출이 확대될 것을 기대한다.

**Keywords:** Redox FET, Nonvolatile, Low power, Neuromorphic, TiO<sub>2</sub>

## 원자층 증착법을 이용한 indium oxide 기반의 투명 전극 TFT 특성 평가 연구

이수완<sup>1</sup>, 박하영<sup>1</sup>, 김지수<sup>1</sup>, 당현민<sup>1</sup>, 서형탁<sup>1,2†</sup><sup>1</sup>아주대학교 에너지시스템학과; <sup>2</sup>아주대학교 첨단신소재공학과  
(hseo@ajou.ac.kr<sup>†</sup>)

ALD를 이용한 저온 공정으로 인듐 기반의 고이동도 준 이차원 전자구름 채널층과 ITO 전극을 활용한 All-transparent 박막형 트랜지스터

산화물 반도체를 이용한 박막형 트랜지스터(Thin film transistor, TFT) 소자는 기존의 비정질 Si TFT와 LTPS TFT 소자가 가지지 못한 장점들로 OLED 등 최신 디스플레이 구동 소자로 연구 개발되어 왔다. 그 중에서도 active layer로 사용 중인 IGZO의 경우 a-Si보다 높은 전하이동도와 낮은 누설전류로 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히, 최근 들어 IGZO 채널의 고질적인 문제인 산소 공공과 전하이동도 제어 기술이 개발되어 DRAM의 back-end-process에 추가적인 커패시터가 없는 1T 기반 메모리 셀로서 적용가능성이 보고되어 여러 반도체 제조 회사들이 이를 메모리에 적용하기 위해 연구 개발 중이다. 하지만 IGZO의 경우 대부분 물리적 증착 법으로 진행되며, In, Ga, Zn의 다성분계 이므로 조성제어에 어려움이 있다. 본 연구를 통해 위와 같은 문제를 해결하고자 차세대에 이용 가능한 소재 및 소자 개발을 위해 저온 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 채널의 최적 ALD 공정 개발을 통해 준 이차원 전자구름 박막형 트랜지스터를 연구하였다.

본 연구에서 제작된 소자에서 채널층은 thermal ALD 공정을 이용하여 150°C~175°C에서 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 하부막으로 사용하였으며, 상부막에 200°C의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 증착 하였다. GIXRD 측정 결과 amorphous한 상태의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 확인했으며, ARXPS 분석을 통해 metallic 한 하부층이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 산소를 가져오면서 계면에 oxygen vacancy를 유도하였고 생성된 전자가 접합 계면에서 준 이차원 전자구름을 형성하였음을 확인하였다. S/D 전극과 Gate 전극은 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 일함수를 고려한 ITO 전극을 사용하였다. thermal ALD 공정을 이용하여 275°C에서 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SnO<sub>2</sub>를 19:1 비율로 증착 하여 ITO 전극을 제작하였고, 상부에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 1nm 증착하여 산화방지 및 안정성을 확보하였다.

n-TFT 제작하여 probe station을 통해 전기적 특성을 확인한 결과 Electron Mobility: 20cm<sup>2</sup>/Vs 이상, S/S: < 200mV/dec, On/Off Ratio: ~10<sup>5</sup>를 확인하였고, Uv-vis를 통해 투과도 80% 이상을 확보하였으며, 공정온도 300°C 이하의 소자 개발의 가능성을 보여주었다.

본 연구를 통해, All transparent n-TFT 소자를 위한 기초 기술을 확보하였고 추가적으로 고이동도를 갖는 투명 로직 소자 구현에 있어서 새로운 가능성을 제시한다.

**Keywords:** 고이동도 준 이차원 전자구름 박막, 저온 공정 ALD, All transparent TFT

## Synthesis of 2D metallic nanoplates and their applications in ultrathin inner-electrodes for multilayer ceramic devices

박상윤, 권도균<sup>\*</sup>

한국항공대학교  
(dkwon@kau.ac.kr<sup>\*</sup>)

As more sensors and electronic devices are needed in our lives, such as autonomous vehicles and 5G communication, multilayer integration of ceramic dielectrics and inner electrode layers utilizing LTCC technology is essential. For high integration, thinning of the substrate and electrode layers constituting the materials is required. In this paper, we propose an ultra-thin electrode process through 2D metallic nanoplates and intense pulsed light (IPL) sintering. Just 240ms of IPL sintering, excellent conductivity ( $3.16 \times 10^{-8} \text{ohm}\cdot\text{m}$ ) and 100 nm thickness of electrode could be obtained. This economical, high-speed IPL sintering process and proper 2D metallic nanoplates synthesis would be an attractive strategy for easily damaged substrates such ceramics and polymers.

**Keywords:** 2D metallic nanoplates, multilayer ceramic devices, ultrathin inner-electrodes, intense pulsed light (IPL) sintering

## 플라즈마 원자층 증착법을 이용한 바나듐옥사이드 박막 제조 및 Ge 도핑을 통한 특성 평가 및 분석

이진찬<sup>1</sup>, 서형탁<sup>1,2†</sup>, Shahid Iqbal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 에너지시스템학과; <sup>2</sup>아주대학교 첨단신소재공학과  
(hseo@ajou.ac.kr<sup>†</sup>)

바나듐 이산화물( $\text{VO}_2$ )은 금속-부도체 전이(Metal-Insulator Transition, MIT)의 특성을 가지는 대표적인 전이 금속 산화물이다.  $\text{VO}_2$ 의 경우 상온 근처  $68^\circ\text{C}$  (341 K)에서 저항이 급격하게 감소하는 물질로 차세대 반도체, 스마트 윈도우, 온도 센서 등의 핵심 재료로써 많은 연구가 이루어지고 있다. 현재 DRAM, NAND Flash를 대체하기 위해 다양한 차세대 메모리 반도체 소자가 연구 중에 있으며  $\text{VO}_2$ 의 경우, MIT 온도가  $68^\circ\text{C}$ 로 CMOS 동작 최소 온도( $85^\circ\text{C}$ )에 제한이 있어 메모리 반도체에 적용하기에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 Ge도핑을 통한 MIT 온도 조정과 메모리에 적용하기 위한 전기적 특성 평가 및 분석을 진행하였다.

Plasma Enhanced ALD(PEALD)에 Vanadium tri-isopropoxide(VTOP) precursor와  $\text{O}_2$  plasma를 이용하여 바나듐옥사이드( $\text{VO}_x$ )박막을 증착하였다. 기존의 Thermal ALD에서 VTOP precursor와  $\text{H}_2\text{O}$  reactant를 이용한  $\text{VO}_x$  증착의 Growth Per Cycle(GPC)  $0.25 \text{ \AA/Cycle}$  대비  $0.7 \text{ \AA/Cycle}$ 의 높은 증착 속도를 가짐과  $\text{VO}_x$  박막 위 스퍼터를 이용한 Ge 증착 및 Rapid Temperature Annealing(RTA)의 산소 분위기 열처리를 진행하여 Ge가 도핑된  $\text{VO}_2$  박막을 형성하였다. probe station을 이용하여  $85^\circ\text{C}$  이상의 MIT 온도 특성을 가짐과 전기적 특성 분석 시  $1\sim 2 \text{ V}$  사이에서 전류가 급증하며  $0 \text{ V}$ 로 감소한 뒤에도 높은 전류 레벨을 유지하고, 이후 -Voltage를 가하면  $-1\sim -2 \text{ V}$ 에서 원래 전류 레벨로 회복되는 것을 확인하였다. 이러한 ReRAM Bipolar 현상이 수십 Cycle동안 지속적으로 나타나는 것을 확인하였다.

PEALD를 이용하여 Thermal ALD 대비 높은 GPC와 대면적에서도 균일한 두께의  $\text{VO}_2$  증착 가능성을 보여주었으며 현재 많은 연구가 이루어지고 있는 비휘발성 메모리 특성을 확인하였다. 이는 현재 연구중인 차세대 메모리 소자에 응용될 수 있는 방법을 제시한다. 따라서 이후 연구에는  $\text{VO}_2$ 의 상전이 온도를 조절 연구를 이용한 차세대 메모리 소자 적용에 가능성을 높일 수 있는 초석을 제공할 것으로 기대된다.

**Keywords:** 금속-부도체 전이(MIT), Vanadium oxide, 바나듐 이산화물( $\text{VO}_2$ ), Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition(PEALD)

## 실리콘 웨이퍼 수직벽 가공을 위한 펄소초 레이저 미세가공 공정 개발

김재경, 하정홍<sup>\*</sup>, 김충수

한국생산기술연구원 첨단정형공정연구그룹 3D프린팅 제조공정센터  
(jhjh@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

Failure analysis (FA)는 제품의 불량을 파악하고 제거하기 위한 공정으로 다양한 분야에서 활용되고 있다. 반도체 등 분야의 기술적 발전으로 분석을 위한 영역이 넓어져 대면적 FA를 위한 효율적인 시편 전처리 기술의 필요성이 커지고 있으나 이온 빔을 이용한 기존의 전처리 기술은 낮은 가공 속도를 지니고 있어 낮은 효율성을 보인다. Laser micromachining은 높은 가공 속도를 지니고 있어 이온 빔 가공의 한계를 극복할 수 있으나, 이온 빔 가공 대비 낮은 정밀도를 지니고 있다. 따라서 laser micromachining과 이온 빔 가공을 결합하여 높은 정밀도를 지니고 동시에 이온 빔의 낮은 가공 속도의 개선이 가능하다. 하지만 laser micromachining 진행 시 측벽에 기울기가 발생하게 되고, 이는 수직 벽 가공을 위한 이온 빔 가공 시간의 증가로 이어지게 되므로 laser micromachining 단계에서 수직에 가까운 측벽 제작이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 펄소초 레이저를 활용하여 IC의 기반이 되는 실리콘 웨이퍼를 가공해 수직에 가까운 측벽 제작을 목표로 실험을 수행하였다. Laser fluence, scan speed 등을 가공 변수로 설정하였으며, 각 변수가 가공에 미치는 영향을 관찰하였다. 직사각형 영역을 가공하여 laser fluence 및 scan speed의 영향을 관찰하여 최적 조건을 도출 후, 깊이 가공을 진행하였다. 동일 위치에 직사각형 영역 가공을 중첩 진행하여 깊이 가공이 수행되며, 깊이가 깊어지면서 발생하는 측벽 기울기에 가공 변수가 미치는 영향을 관찰하였다.

### Acknowledgment

This research was supported by the Commercialization Promotion Agency for R&D Outcomes (COMPA) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT) (Project No. 1711198546) and Korea Institute of Industrial Technology (KITECH) (Project No. EH-23-0002)

**Keywords:** Laser micromachining, Silicon wafer

## 전해질 게이트 트랜지스터의 고분자 반도체 표면 형상과 이온 도핑 효과

홍기현<sup>\*</sup>, 전희설, 강평

충남대학교

(khong@cnu.ac.kr<sup>†</sup>)

최근 유연 전자소자에 대한 연구가 활발히 이루어지면서 고분자 반도체와 전해질을 사용한 저비용/고성능의 전해질 게이트 트랜지스터(Electrolyte-gated transistors, EGTs) 소자 개발 사례들이 보고되고 있다. 대부분의 경우, 절연물질의 높은 커패시턴스를 활용하여 기존의 트랜지스터보다 구동 전압은 확연하게 낮추면서 동시에 전기화학 퍼텐셜에 따른 전도도 향상 또한 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 보다 전기적 특성을 강화한 고성능 EGT 소자를 고안하고자, 고분자 반도체 박막의 이온 투과성이 재료의 형태학적 특성에 의해서 결정될 수 있음에 주목하였다. 공정 조건에 따라 박막의 표면 형태가 달라지는 고분자 반도체(poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl), P3HT)를 사용하여 전해질과 P3HT 박막 사이의 이온 도핑 효과를 확인하였고, 이러한 EGT 소자의 다양한 응용 가능성을 보고한다.

P3HT powder를 서로 다른 3가지 용매 Chloroform, Chlorobenzene, 1,2-Dichlorobenzene 에 3mg/ml의 동일한 조건으로 교반 후, 코팅과 열처리를 거치는 과정에서 P3HT 박막의 Roughness, Surface morphology가 달라짐을 확인하였다. 이에 따라 비교적 rough한 박막과 smooth한 박막 사이의 이온 도핑 효과 차이에 근거하여 소자의 전기적 특성을 강화시킬 수 있음을 확인하였다.

더 나아가, 위 3가지 용매 중 Chlorobenzene 기반의 소자에서 가장 이온 도핑 효과가 억제되었음을 확인할 수 있었으며, 이를 바탕으로 인버터를 제작하여 소자의 다이내믹 측정을 시도하였다. 뿐만 아니라, 반대로 비교적 이온 도핑 효과가 가장 우수한 Chloroform 기반의 소자에 대해서는 pulse train test를 진행하였다. 그 결과, 소자의 학습 및 장기기억 능력을 확인할 수 있었다. 앞서 언급한 결과들을 바탕으로 전해질을 이용한 P3HT 기반 박막 트랜지스터 소자에 대해 논의한다.

**Keywords:** ion doping, surface morphology, electrolyte gated transistors, electric double layer transistors, electrochemical transistors

## 딥러닝 기반 이미지 분류 알고리즘을 사용한 XPS 측정 원소의 탐지에 관한 연구

지현배<sup>1</sup>, 이연승<sup>1\*</sup>, 빈정수<sup>1</sup>, 나사균<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립 한밭대학교 정보통신공학과; <sup>2</sup>국립 한밭대학교 신소재공학과  
(yslee@hanbat.ac.kr<sup>\*</sup>)

최근 반도체 기술 개발에 있어서 소재에 대한 관심도가 매우 높아지고 있다. 물리적 구조와 화학적 특성에 따라 소재의 전자 구조를 이해하고 조절하는 것은 이러한 소재 개발 기술의 핵심이 되고있다. X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)는 표면 및 인터페이스의 전자 구조를 이해하는데 중요한 실험방법 중 하나이며, XPS로 측정된 원소 탐지의 정확도는 분석 결과의 신뢰성에 직접적인 영향을 미친다. 기존의 XPS 분석 방법은 복잡한 데이터 처리 및 원소 식별을 수작업으로 진행하는데 한계를 가지고 있어, XPS분석의 정확도와 효율성을 향상시킬 수 있는 분석 방법이 요구되고 있다. 본 연구에서는 XPS를 사용하여 측정된 원소 탐지의 정확도와 효율성, 접근성을 개선하기 위해서 딥러닝 기반의 이미지 분류 알고리즘을 사용하였다. XPS로 측정된 스펙트럼을 추출하고 이미지로 변환하여 딥러닝 모델을 훈련시켜 각 원소를 이미지에서 정확하게 식별하는지 XPS실험 측정 data와 비교 분석하였다.

**Keywords:** XPS, 딥러닝, 이미지분류

## X선 광전자 분광 분석(XPS)을 위한 딥러닝 모델 연구

빈정수<sup>1</sup>, 지현배<sup>1</sup>, 나사균<sup>2</sup>, 이연승<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>국립한밭대학교 정보통신공학과; <sup>2</sup>국립한밭대학교 신소재공학과  
(yslee@hanbat.ac.kr<sup>\*</sup>)

XPS(X-ray photoemission spectroscopy)는 재료의 성분과 결합상태를 연구하고자 할 때 많이 사용되는 분석 방법이다. 재료를 구성하는 원소의 오비탈들은 peak 형태로 일정한 결합 에너지 범위에 위치하게 되며 peak의 intensity에 의해 원소의 조성비를 알 수 있다. 이 peak들은 패턴적인 형태를 보여주기 때문에 딥러닝을 통한 학습이 가능할 것으로 기대가 된다. 하지만 아직까지 국내뿐만 아니라 해외에도 딥러닝을 통한 XPS 분석에 대한 연구가 많지 않은 상황이다. 본 연구에서는 1만여의 실제의 survey spectrum을 학습시켜 C, N, O 세 원소의 조성비를 예측하는 모델을 구현하였고 하이퍼파라메타에 변화에 따른 정확도와 손실 등의 성능에 대한 평가를 하였다.

**Keywords:** AI, 머신러닝, 딥러닝, XPS, X선 광전자 분광기

## Effect of thermal process on the properties of copper oxide thin films Prepared by Radio Frequency sputtering

권숙정, 양가은, 박건이, 신수빈, 임상철, 이택영<sup>\*</sup>

한밭대학교 신소재공학과 반도체소재부품장비센터  
(tylee@edu.hanbat.ac.kr<sup>\*</sup>)

본 연구에서는 SiO<sub>2</sub> 기판 위에 산화구리(CuO) 타깃으로 RF스퍼터링 방법을 통하여 증착된 CuO박막을 급속 열처리 조건에 따라 구조적, 전기적, 광학적 특성을 비교 분석하였다. SiO<sub>2</sub> 300nm가 증착된 기판을 아세톤, 에탄올, 증류수를 사용하여 초음파 세척기 각각 10분씩 cleaning 한 후, N<sub>2</sub>gas로 건조하였다. SnO 박막을 증착하기 위한 조건으로 RF power 300W, Ar가스 유량은 50sccm으로 설정하였다. 모든 조건에서 공정 압력은 5mtorr로 고정하였으며, 양질의 박막을 얻기 위해 기판의 회전속도는 5rpm으로 설정하였다. 이후 pre-sputtering을 15분 진행하였고 CuO 박막을 약 100nm 증착하여 질소 분위기에서 RTA(Rapid Thermal Annealing) 각각 열처리하였다. 열처리 조건은 0°C, 300°C, 400°C, 500°C에서 각각 3분간 진행하였다. 증착된 산화주석막의 두께는  $\alpha$ -step 및 Ellipsometer로 측정하였고 구조적특성 분석은 XRD와 XPS를 병행하여 측정하였다. 전기적 특성은 홀 효과(Hall Effect)를 사용하였다. 광학적 측정은 광루미네선스(PL)을 사용하였으며, 최종적으로 급속 열처리가 SnO 박막에 미치는 영향을 면밀히 조사하였다. XRD분석 결과 열처리 후 시편에서 As-deposited된 샘플에서는 관찰되지 않았던 Cu<sub>2</sub>O와 Cu peak이 검출 되었다. XPS 분석 결과 binding Energy가 CuO에서 Cu<sub>2</sub>O peak쪽으로 shift됨을 확인할 수 있었고 500°C에서 열처리한 시편에서 Cu의 Auger peak이 검출되면서 phase separation를 확인할 수 있었다. Hall Effect 분석 결과 열처리 온도가 높아질수록 Resisvity가 감소하였다. 이러한 결과는 어닐링 온도에 의존하여 상변환이 제어될 수 있음을 보여준다. 따라서 양질의 CuO/SiO<sub>2</sub>/Si 박막을 평가하며 얻은 결과로 다양한 가스센서로 응용하고자 하였다.

**Keywords:** CuO, Copper Oxide, RF Sputter, XPS, XRD, Hall Effect, Photoluminescence, RTA, RTP

## Carrier Transport Dependent on Temperature in GaN Nanowire Wrap-Gate Transistors

Yejin Choi, Siva Pratap Reddy Mallem, Seungmun Baek, SungjinAn<sup>†</sup>

Kumoh National institute of technology  
(sungjinan@kumoh.ac.kr<sup>†</sup>)

For the creation of next-generation nanoscale devices, it is crucial to comprehend the carrier transport mechanisms in nanowires. Here, we examine how temperature affects the properties of GaN nanowire wrap-gate transistors (WGTs), which are made via a top-down technique. The predicted conductance in this transistor remains essentially unaltered up to a temperature of 240 K and then increases after that as the temperature rises. This is true for increasing temperature at gate voltages less than threshold voltage ( $V_{gs} < V_{th}$ ). Sharp fluctuations happen when the temperature rises with a gate voltage of  $V_{th} < V_{gs} < V_{FB}$ . The conductance steadily decreases with increasing temperature after increasing the gate bias to  $V_{gs} > V_{FB}$ . These phenomena are possibly attributed to phonon and impurity scattering processes occurring on the surface or core of GaN nanowires.

**Keywords:** wrap-gate transistor, nanowire, GaN, surface/core, carrier scattering

## The effect of composite $\text{TiO}_2$ powder control on solid state reaction BZT powder synthesis

Wolil NAM<sup>1,2</sup>, Moonhee CHOI<sup>1†</sup>, Yangdo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology;

<sup>2</sup>School of Materials Science and Engineering, Pusan National University

(moonhee77.choi@kicet.re.kr<sup>†</sup>)

Barium Zirconate titanate ( $\text{Ba}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ , BZT) has garnered significant attention due to its wide temperature stability and frequency stability. The BZT-based multilayer ceramic capacitors (MLCCs) show stable operation at high temperature frequencies, meet EIS Class 2 X5R specifications and demonstrate high reliability. BZT can be synthesized in various ways, among which the solid-phase synthesis method is a synthesis method through diffusion of  $\text{Ti}^{4+}$  of  $\text{Ba}^{2+}$  at the interface between  $\text{BaCO}_3$  and  $\text{TiO}_2$  and lattice replacement between  $\text{Zr}^{4+}$  and  $\text{Ti}^{4+}$ .

In this study, BZT was synthesized in the solid phase using representative phases of  $\text{TiO}_2$ , including anatase and rutile, as well as a composite phase obtained through heat treatment and physical mixing of anatase  $\text{TiO}_2$ . Subsequently, fabricated pellets using this powder to investigate variations in the physical and electrical characteristics of BZT.

**Keywords:** relaxor ferroelectric, BZT, Heat treatment  $\text{TiO}_2$

## High-Gain and Low-Power nMOS Inverter Based on Monolayer WS<sub>2</sub> Transistor Operating in Subthreshold Regime

홍석원<sup>1</sup>, 장지원<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 신소재공학과; <sup>2</sup>연세대학교 시스템반도체공학과  
(jiwonchang@yonsei.ac.kr<sup>†</sup>)

Two-dimensional (2D) transition metal dichalcogenides (TMDs), exemplified as MoS<sub>2</sub> and WS<sub>2</sub>, have been widely studied due to their outstanding electrical, optical, and mechanical properties. Their ultrathin channel thickness affords them excellent immunity to the short channel effects. In the application of 2D TMDs for the advanced transistor technology, realization of high-performance 2D TMDs while keeping the power consumption low is important. Therefore, searching for proper candidates of 2D TMDs and elaborately controlling the electric properties are required for high performance devices operation at low supply voltage.

Recently, tungsten disulfide (WS<sub>2</sub>) has become one of the most studied 2D materials because of its small effective mass and adjustable bandgap width depending on the channel thickness. WS<sub>2</sub> exhibits a direct bandgap of 1.9eV for the monolayer and indirect bandgap of 1.3eV for the bulk crystals, good for the electronic device applications. Typically, WS<sub>2</sub> has been studied for the n-type transistor since most of the source/drain metal are pinned near the conduction band minimum of WS<sub>2</sub>. However, an appropriate metal contact engineering and doping methods are still needed for the high n-type performance operation.

In this research, we investigated the n-doping effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> passivation layer. The introduction of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atomic layer deposition (ALD) process enhanced the on-current for more than 1,000 times and reduced the hysteresis of WS<sub>2</sub> transistors. The resulting WS<sub>2</sub> transistors exhibited excellent electrical characteristics, including high ON/OFF ratio ~ 10<sup>9</sup>, subthreshold swing (SS) of approximately 180 mV/dec, and an enhancement-mode threshold voltage (V<sub>TH</sub>).

After that, we fabricated a NMOS inverter that both load transistor and drive transistor use n-type WS<sub>2</sub> transistors. We identified the subthreshold regime operation mechanism, which plays a critical role in achieving high gain inverter functionality, particularly under low supply voltage (V<sub>DD</sub>). The inverter exhibited an extremely high voltage gain value of 151 at V<sub>DD</sub> = 1.0V with a high noise margin of 82%. Additionally, even at an ultra-low supply voltage of 0.2V, the inverter still exhibited a respectable gain value of 3.2. These findings highlight the significance of our research in advancing the development of high gain, low power integrated circuits.

**Keywords:** Monolayer, WS<sub>2</sub>, High Performance, Low Supply Voltage, MOSFET

## 환원된 산화그래핀/규산나트륨 콜로이드를 이용한 나노 복합체 합성 및 제어

이유나, 최여진, 백승문, 안성진\*

Kumoh National Institute of Technology  
(sungjinan@kumoh.ac.kr<sup>†</sup>)

그래핀-금속 산화물 복합체는 그래핀 산화물 현탁액에 금속 산화물 전구체를 첨가하여 졸-겔 공정을 통해 제조할 수 있습니다. 이 연구는 기존 방법인 테트라에틸오르토실리케이트(TEOS)와 같은 독성이 있고 값비싼 실리콘 알콕사이드 대신 규산나트륨( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )을 사용하여 안정적인 산화그래핀/규산나트륨 용액을 형성했습니다. 규산나트륨 용액은  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 비율을 조절하여 비용과 수용성을 낮출 수 있다는 장점이 있습니다. Hummer's 방법으로 만들어진 환원된 산화 그래핀(rGO) 콜로이드에  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 를 첨가한 경우, rGO/ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  필름이 rGO 단독에 비해 더 균일한 코팅을 보이는 것으로 관찰되었습니다. 특히 0.1g의  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 로 제조했을 때, 어닐링 온도가 높아질수록 rGO/ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  복합체의 전기 전도도가 증가했습니다.

또한, rGO/ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  복합체는 동일한 조건에서 rGO에 비해 더 높은 전도도와 투과율을 보여주었습니다. 이러한 성능 향상은  $\text{Na}^+$ 의 특성 때문일 수 있습니다. 그래핀 산화물의 음전하를 띤 가장자리는 수용액에 존재하는  $\text{Na}^+$  이온을 끌어당겨 쿨롱의 힘에 의한 정전기적 반발력을 감소시킵니다. 결과적으로 용액에  $\text{Na}^+$  이온이 존재하면 rGO/ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  용액으로 스핀코팅할 때 rGO만 사용할 때보다 더 균일하게 코팅할 수 있습니다.

**Keywords:** 산화그래핀, 규산나트륨, 전기전도도, 투명도, 투명전도성소재,

P-25

발 표 취 소

## Copper foil surface modification to simultaneously satisfy ultra-low roughness and high adhesion strength for 6G high-speed signal transmission

Seungheon Han<sup>1</sup>, Myeongjun Ji<sup>1</sup>, Jeong Hyun Kim<sup>1</sup>, Hee Yeon Jeon<sup>1</sup>, Dong Hoon Lee<sup>1</sup>, Young-In Lee<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Material science and Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Republic of Korea;

<sup>2</sup>The Institute of Powder Technology, Seoul 01811, Republic of Korea  
(youngin@seoultech.ac.kr<sup>†</sup>)

6G wireless technology is a next-generation communication technology that utilizes ultrahigh frequency bands of 100 GHz or higher. This enables faster transmission and response speeds and more device connections compared to 5G wireless technology. Recently, there has been growing interest in high-multilayer PCB processing technology for 6G, as well as the demand for copper foil that enables high-speed data transmission in the high-frequency range while passing reliability evaluations required for PCBs. The adhesion strength of the interface between copper foil and prepreg is a critical technology parameter for microelectronics applications. Processes such as black oxide and brown oxide, which form an oxide layer and increase the surface roughness of the copper foil through physical bonding, provide high adhesion strength. However, in ultrahigh frequency areas such as 6G systems, the current flowing through the copper foil experiences a skin effect due to the reduced skin depth. This results in high-frequency signals flowing along the surface of the copper foil, leading to a narrow effective area. Furthermore, copper foils with high surface roughness exhibit a long path of signals, resulting in increased signal loss. Therefore, for implementation in 6G technology, a surface control process for copper foil with high adhesion strength to prepreg through chemical bonding, instead of physical bonding, and ultra-low roughness is necessary.

In this study, the surface roughness of copper foil was controlled using the applied voltage as a variable in the electropolishing process, eventually resulting in copper foil with an average surface roughness of 35 nanometers. Electropolishing, the opposite of electroplating, is an electrochemical process that removes metal from a workpiece to produce a smooth surface. Unlike mechanical or chemical polishing methods, electropolishing is an isotropic process that is ideal for polishing thin substrate materials in the nanometer range. Subsequently, the surface treatments of electroless Sn plating and silane coupling agent modification were carried out in sequentially to improve the adhesion strength between the resulting ultra-low roughness copper foil and the prepreg. According to the theory of isoelectric point (IEP), the bond strength factor between the metal surface and the polymer improves as the IEP of the metal material decreases, which is attributed to the presence of a strong coordinative covalent bond between the metal and the polymer. Tin metal is the preferred material due to its lower IEP than copper and other advantages such as being cost-effective, easy to fabricate, and sufficient compatibility with PCB production. Tin was deposited onto the copper surface using an electroless plating process to replace the copper surface with a lower IEP surface. Finally, the silane coupling agent contains a hydrolysis group that has an affinity and reactivity with inorganic materials and an organofunctional group that chemically binds to organic materials, ultimately enhancing the adhesion strength between the Sn layer deposited on copper and the epoxy resin of the prepreg. To demonstrate the effectiveness of copper foil with ultra-low roughness and high adhesion strength in the 6G era, we analyzed surface roughness, adhesion strength measurements, and evaluation of signal loss for copper foil before and after surface treatments.

**Keywords:** 6G wireless technology, Adhesion strength, Skin effect, Signal loss, Ultra-low surface roughness, Electropolishing, Electroless Sn plating, Silane coupling agent

## Highly Adhesive and Low-Profile Flexible Copper Clad Laminate for High-Frequency Communication

박소영, 이수연\*, 최영민, 정성묵, 김태수

한국화학연구원  
(sylee@kriect.re.kr\*)

With the advent of the era of hyperconnectivity and intelligence, driven by technologies such as artificial intelligence, big data, and IoT, the importance of 5G communication technology, which can transmit high-speed, large-capacity data wirelessly, has become increasingly significant. As the frequency of radio signals increases, surface effects can occur, causing signal delay or loss. To prevent this and transmit data at high speeds, it is crucial to reduce the thickness of the dielectric, lower the surface roughness, and ensure excellent adhesion properties at the copper-dielectric interface. Here, we propose the highly adhesive and low-profile copper films for high-frequency flexible circuit board. For low-profile copper layer, we used surface-oxide free copper nanoparticles as a seed layer for electroplating. By controlling the embedding process, we developed a flexible copper clad laminate (FCCL) with excellent adhesion between the copper layer and the dielectric insulating material.

**Keywords:** 5G, Flexible Copper Clad Laminate, Low-Profile, highly adhesive

## ZrO<sub>2</sub> 절연막을 이용한 IGZO FET의 특성 향상 분석

도현서<sup>1</sup>, 조재민<sup>1</sup>, 김승모<sup>2</sup>, 황현준<sup>2</sup>, 이병훈<sup>2\*</sup>, 홍준영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Semiconductor Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH);

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

(bhlee1@postech.ac.kr<sup>\*</sup>)

강유전성은 외부 전기장의 방향에 따라 방향성을 갖는 잔류 분극을 가지게 되고, 이에 따라 소자의 특성을 빠르게 동작시킬 수 있는 가능성이 있는 유전막으로 주목받아왔다. 하지만, 강유전성은 잔류 분극으로 인한 Memory Window가 발생하여 로직 소자에 응용하기 쉽지 않은 문제점이 있다. 반강유전성은 강유전성과 다르게 외부 전기장이 사라지면 잔류 분극의 크기가 0이 되고, 외부 전기장에 의해 강유전성의 특성을 그대로 이용할 수 있어 현재 로직 소자로 각광받는 유전막이다. IGZO는 Silicon 다음 세대로 가장 근접한 채널 물질로 채널의 안정성이 우수하고, DRAM의 대기 전력을 크게 낮출 수 있는 장점이 있다. 하지만, 낮은 이동도는 IGZO 채널 물질의 소자에서 해결되어야 할 큰 과제 중 하나이다.

본 연구에서는 Anti-ferroelectric의 대표 유전막인 ZrO<sub>2</sub>를 이용해 IGZO TFT 특성 향상을 분석했다. SiO<sub>2</sub>/Si 웨이퍼 위에 TiN를 50 nm 증착 후, photolithography를 이용해 gate patterning을 했다. ALD를 이용해 ZrO<sub>2</sub>를 12 nm 증착 한 후, 급속 열처리 어닐링을 이용해 600도 1분 어닐링했다. 대조군은 어닐링 하지 않았다. 그 후, sputter를 이용해 IGZO를 20 nm 증착하고, channel pattern을 한 후, O<sub>2</sub> 분위기 0.7 atm에 2시간동안 furnace 어닐을 했다. S/D patterning을 하여 Al을 50 nm 증착해 lift-off를 해 소자를 제작했다.

I<sub>D</sub>-V<sub>G</sub>를 측정하였을 때, Anti-ferroelectric 특성을 나타내는 소자는 어닐하지 않은 소자에 비해 V<sub>th</sub>가 positive 방향으로 이동했으며, subthreshold swing이 약간 개선되고, 히스테리시스가 감소했다. 특히, TFT의 effective mobility가 15 cm<sup>2</sup>/V·s에서 35.2 cm<sup>2</sup>/V·s로 약 2배 이상 증가했다. 이러한 결과를 바탕으로 IGZO의 effective mobility 특성 향상은 향후 차세대 메모리 소자로 활용될 것으로 기대된다.

### Acknowledgment

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국가반도체연구실지원핵심기술개발사업(R&D)(No. RS-2023-00260813), 한국연구재단-나노소재원천기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2022M3H4A1A04096496).

**Keywords:** IGZO, Anti-Ferroelectric, Mobility

## Leakage current mapping 기술을 이용한 Metal-Insulator의 계면 분석 연구

김재현, 김승모, 황현준, 이병훈\*

포항공과대학교 전기전자공학과  
(bhlee1@postech.ac.kr<sup>†</sup>)

MIM capacitor는 DRAM에서 주로 사용되고 있는 소자 구조로, 두께가 5 nm 이하, 유전율 50 이상의 물질이 scaling에 요구되고 있다. 최근에는 Hf-기반 고유전율 유전체의 phase 를 조절해 EOT가 0.5 nm 이하, 유전율 50 이상의 결과가 보고되고 있다. 전극과 고유전율 절연막 사이의 계면에서 발생하는 저유전율 계면층은 유효 유전상수, 누선전류 증가 등 capacitor의 성능 감소에 큰 영향을 끼치는 원인이 된다. 하지만, 이러한 전극/절연막 계면층의 특성은 현재 제한적인 분석(C-V, C-F,  $J_g$ , coefficient, bulk defects 등)만 가능하며, 실용적으로 전극/절연막 계면을 분석하는 방법은 연구가 잘 되어 있지 않다. 본 연구에서는 전극/절연막 계면을 분석하기 위해 광전류 맵핑 기술을 도입해 계면층에 의한 결함 위치를 정확하게 파악할 수 있는 분석 기술을 개발했다.

본 연구에서는 Mo(40nm)/ALD ZrO<sub>2</sub>(13nm)/Mo(40 nm)/Ti(10 nm) 구조의 capacitor를 이용하여 광원의 조사에 따른 leakage current 변화를 mapping하였다. leakage current mapping 측정 방식은 제작된 MIM 커패시터에 일정한 바이어스를 인가하고 레이저 빔 크기만큼의 일부 영역을 레이저로 조사하며 leakage current를 분석하는 방식이다. 제작된 소자의 지름은 160  $\mu\text{m}$ 이며, 200  $\mu\text{m}$  x 200  $\mu\text{m}$ 의 영역을 9 $\mu\text{m}$ 의 빔사이즈를 갖는 green laser(520 nm)를 이용하여 분석하였다. leakage current mapping 결과, Laser의 power와 bias를 증가시킬수록 photocurrent의 양이 증가해 결함 위치를 더욱 명확하게 볼 수 있으며 인가된 전압의 극성에 따른 mapping 특성을 보면, 나타나는 defect site는 유사하지만, leakage current의 양이 다르게 측정되어 이러한 측정 방식이 metal-insulator의 계면을 scanning 하는 것이라 판단된다. 이러한 분석 방식은 대면적 커패시터 내부에 계면층에 영향을 많이 받는 영역의 위치를 비파괴적으로 파악할 수 있어 유용하다. 이러한 분석 기술을 통해 계면층에 의한 성능 감소의 원인을 정확히 파악하고, 공정 연구에 활용해 차세대 전극/절연막 구조 개발에 활용될 것으로 기대된다.

### Acknowledgment

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국가반도체연구실지원핵심기술개발사업(R&D) (No. RS-2023-00260813), 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20023023)

### References

- [1] J.H. Lee, et al. (2020). Improved interface quality of atomic-layer-deposited ZrO<sub>2</sub> metal-insulator-metal capacitors with Ru bottom electrodes. *Thin Solid Films*, 701

**Keywords:** photocurrent, leakage current, 계면 분석

## Van der pauw 방법을 이용한 CVD 그래핀 필름의 전기적 특성 측정 방법 분석 및 불확도 산출에 대한 연구

신승원<sup>1</sup>, 박태언<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 ERICA 전자공학부; <sup>2</sup>한국산업기술시험원  
(pte333@ktl.re.kr<sup>\*</sup>)

그래핀은 디스플레이 패널, 센서, 전극 등 전자산업 분야 전반에서 응용을 위한 활발한 연구가 이뤄지고 있다. 일반적으로 전극, 박막과 같이 평판 시료의 전기적인 특성을 측정할 때 4 point probe 방식을 택하고 있다. 하지만 4 point probe 방식은 부분적인 위치에서는 효과적이지만 측정 대상의 표면 전체에 대한 면저항을 측정하기 위해서 크기가 클수록 여러 번 위치를 변경하며 측정해야 하는 시간 소요가 발생하고, 보정계수를 계산하기 위해서 시료의 모양을 원 또는 사각형으로 한정해야 하는 단점이 있다. 또한 그래핀의 집적화 및 양산화를 위해 사용되는 방법으로 탄소원의 가스를 기판위에 성장시키는 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)이 있는데, 이 CVD 방식으로 그래핀을 합성시킨 기판의 두께가 200 $\mu\text{m}$  이하로 얇아 프로브를 시료와 컨택할 때 생기는 압력으로 인해 기판이 깨져 시료가 손상되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 CVD 방법으로 합성된 평면 그래핀 샘플에 가장 외곽 4곳에 전극을 형성해 측정하는 방법인 Van der pauw 방법을 적용하였다. 그래핀 측정방법으로 적합성을 평가하기 위해, 옴릭 컨택(ohmic contact)의 형성 여부를 분석하고, 4 point probe 방식과 Van der pauw 방식의 면저항 측정결과를 비교하였다. 또한 일정한 자속밀도를 인가하는 환경을 구성해 그래핀 샘플에서 홀 효과 측정 결과를 분석했다. 측정 과정에서 불확도 요인을 파악하고 이를 종합해 측정 결과에 대한 불확도를 산출하고 신뢰성을 평가하였다. 본 연구를 통해 Van der pauw 방식이 그래핀을 측정할 때 효과적인 방법임을 제시하고 불확도 모델을 산출함으로써 후속 연구에서 그래핀의 전기적 특성을 측정한 결과의 신뢰도를 높이는 데 도움을 줄 것으로 기대하고 있다.

**Keywords:** 그래핀, CVD, Van der pauw, 4 point probe, 불확도

## Photo-patternable Stretchable Conductors Based on Ag Composites

황정희<sup>1,2</sup>, 이수연<sup>1,2†</sup>, 최영민<sup>1,2</sup>, 정성묵<sup>1</sup>, 김태수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT); <sup>2</sup>University of Science and Technology (UST)  
(sylee@kRICT.re.kr<sup>†</sup>)

Recently, demand for flexible devices with various form factors is increasing. In addition, as electronic devices are required to be lighter and more compact, research on fine pattern electrodes for high integration is being actively conducted. In order to implement a device that satisfies the above requirements, pattern flexibility, high conductivity, and high resolution are essential. Here, we present photopatterned conductors based on Ag composites through the photolithography techniques and chemical sintering. In addition, we fabricate high resolution fine patterns through UV photo patterning using benzophenone as a photoinitiator. As a result, a conductivity of approximately 20,000S/cm and a minimum line width of 20 $\mu$ m were achieved. In addition, by applying it to a flexible/stretchable substrate, we were able to prepare stretchable conductors with high conductivity and negligible relative change in electrical resistance.

**Keywords:** Ag composites, Photo patternable, EGaIn particle, High conductivity, High-resolution, Flexible, Stretchable

## 다층 신축성 인쇄회로기판을 위한 섬 구조의 부분연신기판 및 다공성 신축 전도성 복합소재 개발 연구

조두호<sup>1,2</sup>, 정성묵<sup>1\*</sup>, 최영민<sup>1</sup>, 이수연<sup>1</sup>, 김태수<sup>1</sup>, 박장웅<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국화학연구원; <sup>2</sup>연세대학교  
(mooktank@kriect.re.kr<sup>\*</sup>)

모든 전자기기는 기판, 배선 전극, 단위 소자로 구성된 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)이 필수적으로 필요하다. 기존의 PCB는 단단하게 구성되어 있었지만, 최근 전자기기 폼팩터의 혁신 및 스마트 헬스케어 분야의 성장으로 인해 신축성 인쇄회로기판(sPCB)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전자기기를 구성하는 PCB를 신축성 있게 제작하기 위해서는 이를 구성하는 기판과 배선 전극, 단위 소자 모두 연신이 가능한 형태가 가장 이상적이다. 하지만, 단위 소자까지 유연하게 제작하는 것은 현실적으로 쉽지 않은 상황이다. 때문에 본 연구에서는 실장된 단단한 단위 소자가 연신 시에도 성능이 변하지 않는 다층 부분 신축성 인쇄회로기판을 제작하였으며, 이에 대한 재료(부분연신기판, 신축 전도성 복합소재) 및 제조 공정(3D 노즐젯 프린팅, 다층 sPCB)에 대해 보고한다.

먼저, 단위 소자를 실장하는 부분만 단단한 섬 구조로 제작하여 부분적으로 신축성이 있는 Rigid-Intermediate-Soft (RIS) 부분연신기판을 제작하였다. 이는 단단한 단위 소자가 실장된 섬 구조의 비율(Rigid/Stretchable ratio, R/S ratio)이 높은 고집적 형태에서도 높은 신축성(R/S ratio 50%에서 연신율 160%, R/S ratio 80%에서 연신율 70%)을 가진다. RIS 기판 위에 배선되어지는 신축 전도성 복합소재를 제작하기 위해 친수성 용액 공정을 활용하여 신축 전도성 복합소재 내부에 다공성 구조를 형성하였다. 이러한 다공성 구조를 통해 복합소재 자체의 연신 시 전기적 특성 변화를 최소화(50% 연신 시  $\Delta R/R_0 = 0.6$ )하고 탄성 내구성을 극대화(최대 200% 연신율, 50% 10,000회 반복 연신)하였으며, 전도성 입자의 집적을 통한 전도성 경로 형성을 통해 전기 전도도 또한 극대화(4495.8 S/cm) 시켰다. 더불어, 3D 노즐젯 프린팅과 다층 sPCB 제조 공정을 통해 미세한 프린팅(200 $\mu$ m 선폭) 및 다양한 패턴링, 고집적화의 장점을 극대화 시켰으며, 이를 활용하여 다양한 다층 sPCB 회로를 제작하여 응용 가능성을 실증하였다.

**Keywords:** 인쇄회로기판(PCB), 폼팩터의 혁신, 스마트 헬스케어, 신축성 인쇄회로기판(sPCB), 부분연신기판, 섬 구조, 신축성 전도성 복합소재, 친수성 용액 공정, 다공성, 3D 노즐젯 프린팅, 다층 sPCB

## High-resolution hardmask fabrication by nanoimprint lithography using AAO template

김도아, 김수정, 홍성훈<sup>\*</sup>

한국전자통신연구원  
(shong@etri.re.kr<sup>\*</sup>)

Nanophotonic devices can modulate light by nanopatterning at the sub-wavelength scale. For industrial applications, it is necessary to undertake sub-100 nm nanofabrication, coupled with the capacity for large-area fabrication. In this study, we developed a fabrication method of a sub-40 nm circular disk shaped hardmask composed of hydrogen silsesquioxane (HSQ) employing an anodized aluminum oxide (AAO) template as a pristine mold by replicating it through nanoimprint lithography. To finally produce nanopillar array, dry etching of diverse materials, such as silicon and silicon nitride, was taken using a fabricated HSQ hardmask. Our research proposes a breakthrough of the fabrication of nanophotonics for visible light bands, or even ultraviolet wavelength bands.

This work is partially supported by an Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI) grant funded through the Korean government(23ZB1100, Development of Creative Technology for ICT) and National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (2021M3H4A1A04086 553)

**Keywords:** High-resolution, nanofabrication, nanoimprint lithography, hardmask

## Selective Ti thin film formation by chemical vapor deposition using pulsed plasma

이원석, 전진호<sup>\*</sup>

WONIK IPS

(jin\_ho\_jeon@wonik.com<sup>†</sup>)

Recently, the semiconductor industry has been developing in the direction of device structures becoming smaller and more integrated. By down-scaling the semiconductor device, the thickness between thin films decreases, and the wiring resistance also increases. As a method for improving such interconnect resistance, a method of selectively controlling the material change of the barrier film and the thickness of the metal electrode is required. When depositing a metal electrode in a semiconductor device, it is important to improve adhesion between the upper and lower films of the barrier film.

In addition, in order to reduce contact resistance between the barrier and the electrode, related research is needed because the method of depositing the barrier film has a resistance improvement effect. In this study, barrier film was selectively studied by the deposited method according to the underlayer. After selectively depositing the barrier film, the deposited film was analyzed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and transmission electron microscopy (TEM). The deposition thickness of the barrier film was checked depending on the type of lower film, and the results of selective thickness control were presented.

**Keywords:** Barrier Layer, Selective Depo, RF Pulse Gen, Ti Layer, Si Wafer, SiN Wafer

## Studies on TiN thin films deposited by atomic layer deposition, chemical and physical vapor deposition techniques

Sung-Min Park, Sang Hyun Jung<sup>†</sup>

Korea Advanced Nano fab Center  
(sanghyun.jung@kanc.re.kr<sup>†</sup>)

Titanium nitride (TiN) is utilized in a wide range of applications for space, biomedicine, micro-electronics industry, and so on due to its excellent physical, chemical, electrical and mechanical properties [1]. TiN films have found many applications in integrated circuits especially for capacitor electrode, contact and via barrier and anti-reflective layer (ARL) on aluminum wiring that requires good diffusion barrier performance and good electrical conductivity [2]. In this study, we characterized the TiN thin films that were formed by various deposition methods, including atomic layer deposition (ALD), chemical vapor deposition (CVD) with tetrakis (dimethylamido) titanium (TDMAT) precursor, and reactive magnetron sputtering with 99.99% pure titanium target, to reveal its chemical and physical properties. In particular, the resistivity and step coverage of the TiN films were studied, depending on its deposition method, and the crystallinity of microstructured TiN was investigated by transmission electron microscopy (TEM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and atomic force microscopy (AFM). We realized that with various deposition techniques TiN film as a barrier metal has a unique chemical and physical properties. Our systematic deposition strategies of TiN with versatile properties provide the foundation for implementing the various emerging applications.

**Keywords:** Titanium nitride thin films, Barrier metal, Atomic layer deposition, Physical vapor deposition, Chemical vapor deposition

## 광전자 응용을 위한 그래핀 기반 ZnO 나노로드의 성장 및 합성

백승문, 최여진, 안성진\*, 이유나

국립금오공과대학교

(sjan@kumoh.ac.kr<sup>†</sup>)

상온에서 3.37eV라는 큰 밴드갭과 6mV의 높은 엑시톤 결합에너지를 갖고 있는 ZnO는 1차원 구조의 나노막대로 제작했을 시 지름, 길이, 구조 등에 따라 물리적 또는 화학적 특성을 제어할 수 있기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중 광학 소자, 전자 소자 등에 적용하기 위해 연구되는 ZnO 나노막대는 변위가 없고 긴 단결정 도메인으로 인해 박막 또는 입자보다 우수한 특성을 갖는다. 본 연구에서는 ZnO 나노막대를 합성하기 위해 가장 간단한 방법 중 하나인 저온수열합성법을 사용했다. 저온수열합성법은 전구체 비율, 온도, 시간, 기판 상태를 다르게 하여 형상, 크기를 제어할 수 있는 장점이 있다. 유연하고 투명한 PET기판에 전사된 CVD 그래핀을 산화시켜 ZnO 나노막대가 성장하는 길이와 직경의 차이를 확인하였다. 산화된 그래핀은 표면에 다량의 산소 관능기를 포함하고 있으며, Vacancy와 같은 결함 또한 많이 존재한다. 이러한 자리들은 Seed층 없이도 ZnO의 핵생성 자리로 작용하기 때문에 나노막대가 성장될 수 있다. 그래핀의 산화 정도와 성장된 ZnO 나노막대의 특성, 투과도를 UV-Visible spectroscopy, Raman spectroscopy, SEM, XRD을 이용하여 분석하였다.

**Keywords:** ZnO, Graphene, 그래핀, 나노막대

P-37

## Enhancing the Moisture Resistance of Triboelectric Nanogenerators through the Development of Superhydrophobic Nanofibrous Surfaces via PVA/PTFE Electrospinning

조현우<sup>1</sup>, 강지은<sup>3</sup>, 신기혁<sup>3</sup>, 김대원<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 전자정보융합공학과; <sup>2</sup>경희대학교 전자공학과; <sup>3</sup>양산부산대학교병원 피부과  
(daewon@khu.ac.kr<sup>\*</sup>)

Polymers like polytetrafluoroethylene (PTFE), a fluoropolymer, are frequently utilized in triboelectric nanogenerators (TENG) due to their ability to effectively attract electrons, which is pivotal for enhancing TENG output, coupled with their inherent hydrophobic characteristics. In this study, a mixture of Polyvinyl alcohol (PVA) and PTFE underwent an electrospinning process followed by a sintering process to form a nanofibrous surface structure, which exhibited superhydrophobic properties. This effectively mitigated the vulnerability of TENGs to moisture, addressing one of their notable weaknesses.

**Keywords:** triboelectric nanogenerator, electrospinning, superhydrophobicity, PTFE/PVA

## CO<sub>2</sub> 레이저를 활용한 특정 영역의 MoS<sub>2</sub> 합성과 micro-supercapacitor로의 응용

류혜진<sup>1</sup>, 박찬원<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>한국화학연구원, <sup>2</sup>한남대학교  
(c.park6183@gmail.com<sup>†</sup>)

Now days, hence the developments of health care and wearable/portable devices are rapidly, energy storage devices are demanded miniaturization, lightness, flexibility, high capacity and long cycle life. The thin film battery and micro-battery, conventional miniaturization energy storage devices, have high energy density like secondary batteries and also they present some draw back such as low power density, high cost, safety, less cycle life, and so on. Supercapacitors, the other types of energy storage devices, which can be replaced the battery are classified as electric double layer capacitor (EDLC) and pseudocapacitor depending on the different energy storage mechanism. Micro-supercapacitors (MSCs), derived from the supercapacitor, are classified as sandwich and planar types. In these types, planar type MSCs are consisted of flexible substrate, attached cathode/anode with an interval and coated electrolyte. This method is cost-effective, non-vacuum and patternable synthesis method for 2D MoS<sub>2</sub> using CO<sub>2</sub> laser synthesis.

**Keywords:** MoS<sub>2</sub>, Micro-supercapacitors

## 열 증착법으로 제조된 산화구리(I)(Cu<sub>2</sub>O) 박막의 구조적 및 광학적 특성에 기판 온도가 미치는 영향

차민균, 황동현\*

신라대학교 신소재공학부  
(dhhwang@silla.ac.kr<sup>\*</sup>)

본 연구에서는 산화구리(I)(Cu<sub>2</sub>O) 박막을 유리기판 상에 산화구리(I)(Cu<sub>2</sub>O) 분말을 사용하여 열 증착(thermal evaporation)법으로 제작하였다. 상온(room temperature)에서부터 300°C까지의 기판 온도(substrate temperature) 조건에서 Cu<sub>2</sub>O 박막을 일차적으로 증착하였고, 증착된 모든 샘플을 400°C의 전기로에서 3시간동안 후열처리(annealing)하였다. Cu<sub>2</sub>O 박막의 결정학적 특성(crystallographic characteristics)은 X-선 회절(XRD)로 분석하였고, 미세표면의 형태학적 특성(morphological characteristics)은 전계방출형-주사전자현미경(FE-SEM)으로 조사하였다. Cu<sub>2</sub>O 박막의 광학적 특성(optical properties)은 자외-가시선 분광광도계(UV-Vis spectrophotometer)를 사용하여 투과율 측정한 후, 광학 에너지 밴드 갭(energy band gap)을 산출하여 분석하였다. 상온에서 증착한 Cu<sub>2</sub>O 박막의 경우, 산화제2구리(CuO) 상(phase)과 Cu<sub>2</sub>O 상을 지시하는 약한 회절 피크가 혼재되어 있는 구조를 보여 주었고, 기판 온도를 인가 후 어닐링한 Cu<sub>2</sub>O 박막에서는 CuO의 (010)면이 우선 성장한 결정 구조를 나타내었다. 제조된 모든 Cu<sub>2</sub>O 박막의 에너지 밴드 갭은 기판 온도 증가에 따라 2.5 eV에서 2.1 eV로 변화함을 확인하였다.

**Keywords:** 열 증착법(thermal evaporation), 산화구리(I)(Cu<sub>2</sub>O), 박막(thin film), 기판 온도(substrate temperature), 구조적 특성(structural properties)

열 증발법으로 증착된  $\text{Cu}_2\text{O}$  박막의 특성에 후열처리 온도가 미치는 영향

조정현, 황동현\*

신라대학교 신소재공학부  
(dhhwang@silla.ac.kr<sup>†</sup>)

본 연구에서는  $\text{Cu}_2\text{O}$  박막(thin films)을 열 증착법(thermal evaporation)으로  $300^\circ\text{C}$ 의 기판온도(substrate temperature) 조건에서 유리 기판 위에 증착하였다. 증착된  $\text{Cu}_2\text{O}$  박막을 공기 분위기(air atmosphere)에서  $250^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $350^\circ\text{C}$  및  $400^\circ\text{C}$ 의 온도에서 3시간 동안 후열처리(annealing)하였고, 어닐링 온도가  $\text{Cu}_2\text{O}$  박막의 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 증착 조건에 따른  $\text{Cu}_2\text{O}$  박막의 구조적 특성(structural properties)은 X-선 회절(XRD)로 분석하였고, 박막 표면의 형태학적 변화는 전계방출형-주사전자현미경(FE-SEM)으로 관찰하였다. 광학적 특성(optical properties)은 자외-가시선 분광광도계(UV-Vis spectrophotometer)로 측정한  $\text{Cu}_2\text{O}$  박막의 투과율(transmittance) 변화를 분석하고 에너지 밴드 갭(energy band gap)을 계산하여 고찰하였다.  $\text{Cu}_2\text{O}$  상(phase)에서  $\text{CuO}$  상으로 변이하는 상전이(phase-transition) 온도를  $300^\circ\text{C}$ 의 어닐링 조건에서 제조한  $\text{Cu}_2\text{O}$  박막에서 확인하였다. 에너지 밴드 갭은 어닐링 온도가 증가함에 따라  $2.6\text{ eV}$ 에서  $1.9\text{ eV}$ 로 감소하는 경향을 보여주었다.

**Keywords:** 산화구리 박막( $\text{Cu}_2\text{O}$  thin film), 열 증착법(thermal evaporation), 후열처리(annealing), 구조적 특성(structural property), 광학적 특성(optical property)

## MLCC 공정 활용한 LAGP 시트 특성평가

박지현<sup>1,2\*</sup>, 최문희<sup>1</sup><sup>1</sup>한국세라믹기술원, <sup>2</sup>부산대학교  
(pjh0926@kicet.re.kr<sup>\*</sup>)

산화물계 초소형 적층 전고체 전지는 높은 안전성을 기반으로 유망한 차세대 이차전지 중 하나다. 전고체 전지는 배터리 양극과 음극 사이에 있는 전해질을 액체에서 고체로 바꾼 전지를 말하며, 전해질이 액체가 아니기 때문에 양극과 음극 사이 분리막이 필요 없다. 전고체 전지는 현재 사용 중인 리튬이온전지와 비교하여, 배터리 발화 위험 감소와 에너지 밀도 상승을 기대할 수 있다. 산화물계 고체전해질은 일반적으로 상온에서 최대  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  S/cm의 이온전도도 값을 가지며, 고전압 영역에서 안정하고, 공기에서도 안정해 합성 및 취급이 용이한 장점들이 있다.

LAGP와 같은 산화물계 NaSICON 유형 고체 전해질은 공기 및 또는 물에서 화학적 안정성을 나타내며, 비용과 독성이 낮으며, 제조가 용이하다는 장점이 있다. 산화물계 초소형 적층 전고체 전지를 만드는 공정은 적층세라믹콘덴서(MLCC) 공정과 매우 유사하다.

이에 본 연구에서는 MLCC 공정법을 사용하여,  $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}\text{P}_3\text{O}_{12}$  (LAGP) 기반의 고체전해질 세라믹시트를 제작하였고, 시트 특성평가와 이온전도도를 분석하였다. 분말을 사용해 제작된 고체전해질 시트는 소결 온도 850~950°C로 소결했을 때도  $10^{-4}$  S/cm의 이온 전도도를 보였다.

**Keywords:** LAGP, MLCC, 산화물계 고체전해질

## Nitrogen으로 도핑된 탄소소재를 음극재로 활용

김민정<sup>1,2\*</sup>, 최문희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국세라믹기술원, <sup>2</sup>부산대학교  
(mxjuuung@kicet.re.kr<sup>\*</sup>)

현재 흑연은 낮은 방전 안정기와 우수한 사이클 안정성으로 인해 LIB(Lithium-ion batteries)에서 가장 성공적인 상업용 음극 재료로 사용되고 있으나 낮은 이론적 용량과 속도 성능으로 고용량을 필요로 하는 음극재료로 제작하는데 어려움을 겪고 있습니다. 따라서 흑연을 대체할 새로운 탄소 기반 음극 소재를 개발하기 위해 많은 연구자들이 관심을 기울이고 있습니다.

음극에 활용되는 탄소소재에 N, P 또는 S 도핑한 결과, 많은 결함과 공극을 유발해 탄소 기반 전극의 전기전도도를 향상시킨다는 결과가 알려져 있습니다. 특히 N-도핑은 리튬 이온 흡수를 위한 추가 전자가 있는 충분한 사이트를 제공할 수 있으며, 이는 배터리 충전/방전 중에 상당한 표면 용량 기여를 제공할 수 있습니다.

본 연구에서는 다공성 탄소로 활용될 재생에너지원인 biomass를 탄화로에서 700°C, 1시간 유지해 N 도핑된 분말을 얻을 수 있었습니다. N 도핑된 biomass 분말을 통해 셀을 제작해 용량을 측정한 결과, 흑연 대비 약 2배 높은 용량을 가지는 것을 확인하였습니다.

**Keywords:** biomass, N-doping, LIB(Lithium-ion batteries)

## Microstructural phase change of fullerene crystal during lithium storage

Injun Jeon<sup>1</sup>, Linghong Yin<sup>1</sup>, Chae Ryong Cho<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University  
(crcho@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

Buckminsterfullerene ( $C_{60}$ ), another carbon allotrope, has been proved to exhibit an abnormally high lithium storage capacity of  $\sim 750 \text{ mAh g}^{-1}$ , nearly double the theoretical capacity of graphite ( $372 \text{ mAh g}^{-1}$ ,  $\text{LiC}_6$ )<sup>1</sup>. Graphite maintains its layered structure as lithium ions are intercalated, however fullerene undergoes a reversible phase transition from its face-centered cubic (fcc) structure to other crystal structure during lithiation. In this study, the phase transition of  $C_{60}$  anode during lithium storage is introduced by conducting structural analysis of pure crystalline fullerene anode. The  $\text{Li}_x\text{C}_{60}$  samples at different states of charge were prepared using focused ion beam (FIB) processing, and HRTEM images and corresponding diffraction patterns proved the phase transition at different state of charge. The crystal phase of  $C_{60}$  transforms from cubic phase to tetragonal via orthorhombic  $\text{Li}_x\text{C}_{60}$  and back to the cubic phase during lithiation. Furthermore, chemical composition of fullerene anode was investigated by electron energy loss spectroscopy (EELS) and time-of-flight secondary ion mass spectroscopy (ToF-SIMS).

### Acknowledgment

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT and MEST (grant numbers NRF-2021R1A4A1022198, NRF-2022R1A2B5B01001943, and NRF-2018R1A5A1025594).

### References

- [1] L. Yin, J. Cho, S. J. Kim, I. Jeon, I. Jeon, M. Park, M. Park, S.-Y. Jeong, D. H. Lee, D.-H. Seo, C.-R. Cho, *Advanced Materials* 33(43), 2104763 (2021).

**Keywords:** Fullerene, Lithium-ion battery, Phase transition, HRTEM

## 그래파이트-LFP 기반 LIB의 난연성 전해질과 저온에서의 전기화학적 성능연구

강민승<sup>1</sup>, 고성원<sup>2</sup>, 서장원<sup>3</sup>, 조재용<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 나노에너지공학과, 부산 46241; <sup>2</sup>해양대학교 나노반도체공학과, 부산 37859;

<sup>3</sup>부산대학교 나노융합기술학과, 부산 46241

(crcho@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

대용량 전력공급을 요하는 분야에 리튬 이온전지의 응용을 위해서는 우수한 전지 신뢰성 및 안정성이 요구된다. 이러한 요구에 부응하기 위해서 열에 대한 저항성을 가지는 난연성 전해질에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 본 연구에서는 난연성 전해질을 사용한 리튬이차전지의 전기화학적 특성과 난연 특성을 확인하고자 하였다. 전해질은 1M LiPF<sub>6</sub> in EC/DEC, 1M LiTFSi in TEP, 1M LiTFSi-TMP, 1M LiTFSi in PC/FEMC로 제조하였으며, 각 전해질에는 전기화학적 특성 향상을 위해 10wt%의 FEC를 첨가하였다. 분리막과 cell-can을 이용한 두가지 난연 테스트를 진행하여 난연 특성 및 열적 안정성을 분석하였고, 양극은 LFP, 음극은 graphite로 선정하였다. Half cell과 full cell에서 0.2C 100 cycle로 cycle stability test를 통해 용량의 차이를 비교하고 SEM과 XRD를 통해 cycle test 전후의 전극 표면 구조를 분석하였다. 또한 모든 전해질에 대한 C-rate test와 Long cycle stability test를 진행하였으며, EIS를 통한 임피던스 분석도 진행하였다. 각 전해질의 저온에서의 특성도 확인하기 위해 저온 챔버에서 전기화학적 평가도 함께 진행하였다.

### Acknowledgment

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT and MEST (grant numbers NRF-2021R1A4A1022198, NRF-2022R1A2B5B01001943, and NRF-2018R1A5A1025594).

**Keywords:** 난연성, 전해질, PC/FEMC

## Enhanced electrochemical performance of Ag nanoparticle incorporated $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ nanofiber through light exposure as lithium ion battery anodes

Jangwon Seo<sup>1</sup>, Hang Yang<sup>2</sup>, Chae-Ryong Cho<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University, Busan 46241, Rep. of Korea;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Rep. of Korea  
(crcho@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

In this work,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  nanofibers (LTO NFs) are synthesized via electrospinning technique and subsequent annealing processes in air. The Ag nanoparticle was incorporated to the LTO NFs through simple solution mixing process. XRD and XPS results shown existence of Ag diffraction peaks and surface bonding states. Ag-LTO NFs were measured the electrochemical performance by galvanostatic charge-discharge, cycle test and light incidence test. The specific discharge capacity after first cycle  $125 \text{ mAh g}^{-1}$  without light and  $223 \text{ mAh g}^{-1}$  with light at  $0.2 \text{ C}$ , and it shows  $75.7 \text{ mAh g}^{-1}$  without light and  $114.4 \text{ mAh g}^{-1}$  with light after 35 cycle at  $5 \text{ C}$ . The enhanced electrochemical performance and photo-rechargeability was considered by photochemical reaction of Ag nanoparticle during light exposure. The photo-rechargeability and improved electrochemical performance show various applicable possibility as anode material for lithium-ion battery or light energy storage.

### Acknowledgment

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT (Grant Numbers. NRF-2021R1A4A1022198 and NRF-2022R1A2B5B01001943).

**Keywords:** Lithium-ion battery, Anode material, Nanofibers, Plasmon effect,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

## Li 이온의 intercalation-deintercalation에 의한 Cu- & Sb- 화합물 반도체 구조체의 미세구조 변화

박원정<sup>1</sup>, Mao Zhang<sup>1</sup>, 강여진<sup>1</sup>, 김민석<sup>2</sup>, Dongyun Lee<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 나노융합기술학과; <sup>2</sup>부산대학교 나노에너지공학과  
(dlee@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

Li-ion batteries, along with other next-generation secondary batteries, play a very important role in energy and are currently under active research. Moreover, research is being conducted to apply various materials for sustainable development. In this study, we investigated the application of Cu- and Sb-based compound semiconductors, either individually or in combination, as electrode materials for secondary batteries. For the Cu series, Cu<sub>2</sub>S powder was directly produced by mixing Cu powder with polysulfide in the appropriate ratio, and Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> was obtained in powder form using the sol-gel method. To check the possibility of using them as negative electrode materials for secondary batteries, a slurry was produced by mixing each powder with a conductive agent and binder, and then a 2016 coin cell was manufactured. The GCD (Galvanostatic Charge/Discharge) test result of Cu<sub>2</sub>S showed a steady decrease in capacity, while the GCD test result of Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> showed a decrease in capacity after the first cycle but stabilized afterwards. In this study, we wanted to examine the effect of Li ions on the electrode material by repeating intercalation and deintercalation, and we intend to discuss this in this poster.

**Keywords:** Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Cu<sub>2</sub>S, GCD(Galvanostatic Charge/Discharge), Li-plating

## Surface modification of Halloysite (Hal) with PPy-derived carbon to enhance the conductivity properties for energy storage application

Pestaria Sinaga<sup>1</sup>, Sung-Hwan Bae<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>경상남도 창원시 마산합포구 경남대학교 7, 경남대학교 메카트로닉스공학과;

<sup>2</sup>경상남도 창원시 마산합포구 경남대학교 7, 경남대학교 신소재공학과  
(shbae@kyungnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Halloysite, a natural clay mineral with a layered aluminosilicate composition ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) and a unique nanotubular has garnered significant attention as a potential nanofiller for various applications due to its unique tubular structure and high aspect ratio. Nonetheless, its inherent insulating characteristics pose challenges regarding its conductivity and stability, limiting its direct use in batteries. To address this limitation, in our study, we report a novel surface modification approach to enhance the electrical conductivity of Halloysite, making it suitable for energy storage applications. To enhance the Halloysite's conductivity, Polypyrrole (PPy)-derived carbon was employed as a conductive coating material due to its excellent electrical properties and chemical stability. The surface modification process involved the deposition of PPy onto the surface of Halloysite followed by carbonization, resulting in a conformal and highly conductive carbon coating on the nanotube surface. The resulting composite properties were thoroughly analyzed by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and Thermal gravimetric analysis (TGA) to confirmed the presence of carbonized PPy on the Halloysite surface, while scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) images revealed a uniform and thin carbon coating around the nanotubes. The electrical conductivity of the Hal-PPy-C composite was significantly enhanced compared to pristine Halloysite, as evidenced by conductivity measurements. Moreover, the electrochemical performance of Hal-PPy-C was evaluated as an electrode material for supercapacitors. The composite exhibited a remarkable improvement in battery performance, making it a promising candidate for high-performance energy storage devices.

**Keywords:** Halloysite, Clay, Battery, Conductive clay, Polypyrrole, Carbon, Polymer derived carbon.

## Sodium ion kinetics of onion-derived carbon for sodium-ion battery anodes

Dingcheng Yang<sup>1</sup>, Chae Ryong Cho<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>College of Nanoscience and Nanotechnology, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea.;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea.  
(crcho@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

In this work, a facile activation and annealing process combined with freeze-drying technique successfully prepared nitrogen-doped onion-derived carbon materials DO (dry onion) and FDO (freeze dry onion) with remarkable electrochemical performance. In particular, the diffusion kinetics of sodium ions plays a crucial role in its rate performance during the electrochemical reaction process.<sup>1</sup> Therefore, inhere the sodium ion diffusion kinetics of DO and FDO as well as the sodium ion diffusion coefficient in each process of charge and discharge were explored through galvanostatic intermittent titration technique (GITT) and potentiostatic intermittent titration technique (PITT). The result shows that the diffusion coefficient of sodium ions in the FDO (mostly  $> 10^{-10} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) electrode material is slightly higher than that of DO ( $10^{-10} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ), and this excellent diffusion coefficient contributes to its high rate performance. In addition, analysis based on GITT and PITT results show that the value of the sodium ion diffusion coefficient first stabilized, then dropped sharply and then increased during the first discharge sodium-embedded reaction process, corresponding to the adsorption and intercalation of Na on the porous electrode surface and inside the carbon, respectively. While during the first charging reaction process, the relatively low value of the sodium ion diffusion coefficient is around 2.3 V, corresponding to the redox reaction (sodium ions are inserted in a deeper lattice framework). The excellent sodium ion dynamics of carbon materials with high-rate performance can provide broad prospects for the commercial application of SIBs.

### Acknowledgment

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT and MEST (grant numbers NRF-2021R1A4A1022198, NRF-2022R1A2B5B01001943, and NRF-2018R1A5A1025594).

### References

[1] J. Y. Hwang, S. T. Myung, and Y. K. Sun, Chemical Society Reviews 12, 3529-3614, (2017).

**Keywords:** Sodium ion batteries, Kinetics, Anode, diffusion coefficient, carbon

## Structural, magnetic and magnetocaloric behavior of Fe-Ni-B ternary alloy

Mohit K. Sharma<sup>1</sup>, Akshay Kumar<sup>1</sup>, Kavita Kumari<sup>2</sup>, Naveen Yadav<sup>3</sup>, Sujeong Park<sup>1</sup>, Bon Heun Koo<sup>4†</sup>

<sup>1</sup>Mechatronics Research Institute, Changwon National University, Changwon, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Industrial Technology Research Institute, Changwon National University, Changwon, Republic of Korea;

<sup>3</sup>Department of Materials Convergence and System Engineering, Changwon National University, Changwon, Republic of Korea;

<sup>4</sup>School of Materials Science and Engineering, Changwon National University, Changwon, Republic of Korea

(bhkoo@changwon.ac.kr<sup>†</sup>)

The magnetocaloric effect (MCE) is an exciting property found in magnetic materials, which is usable in energy efficient magnetic cooling technology. Research in this field has paid much attention due to their high efficiency and eco-friendly concerns over the conventional gas compression method. In the present study, we have systematically examined the structural, magnetic and magnetocaloric properties of FeNiB ternary alloy. The polycrystalline FeNiB alloy has been synthesized by the ball milling method, followed by annealing and quenching. This sample is further characterized by x-ray diffraction, magnetic and magnetocaloric measurements. Rietveld analysis of structural results indicates the cubic crystallographic phase with Fm-3m space group. Additionally, We have investigated the temperature and applied field-dependent magnetization behavior on this compound, showing evidence that it has a ferromagnetic nature along with small magnetic hysteresis. Effective magnetic anisotropy and saturation magnetization are obtained from magnetic isotherms. The saturation magnetization followed the modified Bloch law, and the small value of hysteresis and effective anisotropy confirmed this compound comes into the category of soft ferromagnetic materials. Magnetocaloric parameters in the form of magnetic entropy change ( $-\Delta S$  and the small value of hysteresis and effective anisotropy confirmed this compound comes into the category of soft ferromagnetic materials. Magnetocaloric parameters in the form of magnetic entropy change ( $-\Delta S$  and the small value of hysteresis and effective anisotropy confirmed this compound comes into the category of soft ferromagnetic materials. Magnetocaloric parameters in the form of magnetic entropy change ( $-\Delta S_M$ ) and relative cooling power (RCP) are also studied. Both parameters have shown significant values ( $\Delta S_M \sim 2.8$  J/kg-K, RCP  $\sim 155.5$  J/kg at 30 kOe applied field) in the vicinity region and follow the power law behavior with the magnetic field. For this alloy, a universal master curve from  $\Delta S_M$  data is also constructed, confirming the second-order nature of magnetic phase transition.

**Keywords:** Magnetocaloric effect, Magnetic materials for energy application, FeNiB ternary alloy, Magnetic properties

## 광전기화학적 물 분해용 광음극으로서 산화제2구리 나노로드의 합성과 특성 평가

박종현, 김효진\*

충남대학교 공과대학 신소재공학과  
(hyojkim@cnu.ac.kr<sup>†</sup>)

이 연구에서는 p-형 산화물 반도체 산화제2구리(CuO) 나노막대가 효과적인 광전기화학적 물 분해용 광음극으로 사용될 가능성을 탐구하였다. CuO 나노막대는 CuO 나노입자 씨앗층을 활용한 수열합성법으로 불소-도핑된 산화주석(FTO) 전도성 유리 위에 합성되었는데, 여기서 CuO 씨앗층은 스퍼터링법으로 매우 얇게 증착된 Cu 금속 박막을 열적으로 산화함으로써 형성되었다. Cu 스퍼터링 전력의 변화에 따른 CuO 나노막대의 구조적, 광학적, 광전기화학적 특성들이 조사되었으며, 그 결과 Cu 스퍼터링 전력이 30 W일 때 광전기화학적 광음극으로서 최적의 CuO 나노막대가 합성될 수 있음이 밝혀졌다. 최적의 CuO 나노막대 광음극의 광전류 밀도와 광전환 효율은 각각  $-0.31 \text{ mA/cm}^2$ 와 0.15%인 것으로 드러났다. 이런 연구 결과는 평이한 수열합성법을 사용함으로써 지구에 풍부한 산화구리를 기반으로 하는 광전기화학적 물 분해용 광전극을 제작하기 위한 유망한 방법을 시사한다.

**Keywords:** 산화물 반도체, 산화제2구리, 나노막대, 광음극, 광전기화학적 물 분해

## 이종원소 도핑을 통한 나트륨 이온 배터리용 양극재의 산소 산화 환원 안정성 향상에 관한 연구

강성빈, 박민준<sup>\*</sup>

Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>\*</sup>)

P2형 층상 구조 Mn 기반의 물질은 저렴한 비용, 높은 작동 전압 및 높은 이론 용량 등의 장점으로 나트륨 이온 배터리 양극 물질로 가장 유망한 물질 중 하나이다. 그러나 P2-O2 상전이, 4 V 이상의 고전압에서 빠른 용량 저하, 심각한 전압 감소로 인한 에너지 밀도 감소 등의 문제로 인해 상업화에 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는  $\text{Na}_{0.6}\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}\text{O}_2$  (NLMO)에 이종원소를 다양한 비율로 도핑하여 구조적 안정성 향상, 가역 용량 증가, 고전압 안정성을 향상시켰다. 우리는 ex-situ X-ray diffraction 분석을 통하여 사이클 이후 나트륨 양극재가 P2 상을 안정적으로 유지하는 것을 확인하였으며, 셀의 충방전 전후로 부피 증가가 거의 없는 zero-strain 특성을 가지는 것을 확인하였다. 또한 이온 이동 에너지 장벽을 줄여 속도 성능을 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

이종 원소가 도핑된 NLMO 양극을 사용한 반쪽 전지는 안정적인 산화 환원 거동을 보이며 비가역적 산소의 소모가 거의 발생하지 않았다. 충방전 테스트 결과 29.4 mA g<sup>-1</sup>의 전류밀도에서 160 mAh g<sup>-1</sup> 이상의 가역 용량을 보여주었으며 100 주기 후 80%의 용량이 유지되었다. 또한 전류 속도 성능 테스트 결과 5C의 높은 전류 밀도에서 110 mAh g<sup>-1</sup>의 용량이 유지되어 높은 속도 성능을 보여주었다. 이러한 이종 원소 도핑 전략은 나트륨 이온 배터리용 고용량 장주기 양극재 실현에 있어 가장 간단하고 현실성 있는 방법이다.

**Keywords:** 이종원소 도핑, 나트륨 이온 배터리, 양극재

## Analysis of Ag-doped CZTSSe solar cell characteristics: improvement with various Ag deposition methods and locations to effectively suppress Cu-Zn disorder

Sang Woo Park, 김진혁†

Optoelectronics Convergence Research Center and Department of Materials Science and Engineering, Chonnam National University  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Kesterite  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  (CZTSSe) thin film solar cell composed of non-toxic elements have the advantage of high light absorption coefficient and adjustable band gap, but its power conversion efficiency (PCE) is relatively low compared to both  $\text{Cu}_2\text{InGaSe}$  (CIGS) and  $\text{CdTe}$  thin film solar cells. The large open-circuit voltage deficit ( $V_{oc}$ -deficit) due to low formation energy Cu-Zn disorder hinders PCE improvement and commercialization of kesterite-based thin-film solar cells. Partial substitution of Cu with Ag is already known to be an excellent method to suppress defects related to Cu-Zn disorder. In the case of a sputtering-based CZTSSe thin film solar cell with a Zn/Sn/Cu stack structure, the characteristics change significantly depending on the deposition method and location of the Ag element. However, relatively little research has been performed in this regard. In this study, Ag was uniformly deposited on stacking order of the Mo/Zn/Sn/Cu using a sputtering and thermal evaporation method, and device characteristics were evaluated. Ag-doped CZTSSe solar cell with a Mo/Zn/Sn/Cu/Ag stack structure prepared using a sputtering system showed a  $V_{oc}$  of 456 mV and a PCE of 9.4%, while an Ag-doped CZTSSe solar cell prepared using thermal evaporation in the same structure showed a  $V_{oc}$  of 491 mV and a PCE of 10.3%. As a result, defects related to Cu-Zn disorder were significantly reduced in the same stack structure regardless of the deposition method, and the greatest improvement was achieved in Ag-doped CZTSSe solar cells using thermal evaporation.

**Keywords:** Ag doping, Thin film, CZTSSe, absorber layer

## Optimization of sputtered AZO layer through various temperatures to improve the efficiency of kesterite-based thin film solar cell

Sang Woo Park, 김진혁<sup>†</sup>

Optoelectronics Convergence Research Center and Department of Materials Science and Engineering, Chonnam National University  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

$\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  (CZTSSe) TFSC is considered a promising candidate to replace  $\text{CuInGaSe}_2$  (CIGS) and  $\text{CdTe}$  TFSCs because of its abundance and non-toxic nature. However, compared to CIGS and  $\text{CdTe}$ , photoelectric conversion efficiency (PCE) of CZTSSe is significantly insufficient. Improving the low PCE of CZTSSe requires optimization of all layers. In particular, the transparent conductive oxide (TCO) layer has a great impact on PCE as it has high light transmittance and low resistivity over a wide spectrum as essential requirements. Currently, Indium tin oxide (ITO) material that is close to the commercialization of TCO suffers difficulty due to the high price of Indium. Aluminum doped zinc oxide (AZO) material is attracting attention as an excellent material that can replace ITO material because it has excellent stability as well as cheapness. So far, various deposition methods such as atomic layer deposition, pulsed laser deposition, RF sputtering, etc., have been reported to deposit AZO thin films. Among them, RF sputtering is considered the most suitable method for AZO thin film deposition which can form a uniform film over a relatively large area. However, optimization of various deposition variables is necessary. In this study, optimization work was performed to control the substrate temperature from room temperature to 500 °C to deposit high-quality AZO thin films. Furthermore, the electrical, optical, and crystallographic properties of all thin films were systematically studied and compared.

**Keywords:** TCO, thin film solar cell, AZO, Rf sputtering

## 졸-겔 방법으로 $\text{LiFePO}_4$ 합성 및 수계 바인더 적용을 통한 리튬이온배터리의 전기화학적 성능 향상

최보금, 박민준\*

Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea  
(mjpark@pusan.ac.kr\*)

리튬이온배터리(LIB)의 다양한 양극재 중 하나인  $\text{LiFePO}_4$ 는 이론 용량( $\sim 170\text{mAh g}^{-1}$ )이 높고, 열적 안정성이 매우 우수하다. 또한, 구성 광물의 가격이 저렴하고, 유독성이 낮아 저가형 전기차 배터리를 생산하기 위한 양극재로 대두하고 있다. 그러나, 전자 전도성( $\sim 10^{-9}\text{ S cm}^{-1}$ )이 낮고 리튬 이온 확산 속도 느려서 출력 특성이 낮다는 한계가 존재한다. 뿐만 아니라, 양극을 제작하기 위해 적절한 바인더를 적용하는 것은 중요하다. 기존 비수계 바인더와 달리 수계 바인더는 물을 용매로 사용하기 때문에 친환경적이고 가격이 저렴하다는 이점을 갖는다.  $\text{LiFePO}_4$ 에 적용되는 대표적인 수계 바인더는 SBR/CMC이다.

본 연구에서는 citric acid를 첨가한 졸-겔 방법으로 가역 용량이 향상되고, 전기화학적 성능이 향상된  $\text{LiFePO}_4$ 를 합성하였다.  $\text{LiFePO}_4$  입자 크기를 최소화하여 리튬 이온의 확산 거리를 감소하였다. 또한, 열처리 과정에서 첨가한 citric acid가 분해되어  $\text{LiFePO}_4$  입자 표면 위에 탄소 코팅층이 형성되었는데, 이는 낮은 전자전도성을 개선하였다. XRD 분석을 통해 합성된  $\text{LiFePO}_4$ 에 불순물이 존재하지 않고 순수한 결정상의 화합물이 생성됨을 알 수 있었다.

이와 더불어, 본 연구는  $\text{LiFePO}_4$  양극 슬러리를 제조하기 위해 SBR/CMC 바인더를 적용하였다. 충-방전 테스트 결과 0.2C의 전류 밀도에서 약  $140\text{mAh g}^{-1}$ 의 가역 용량을 나타내었으며, 100주기 이후 약 90%의 용량이 유지되었다. 이는  $\text{LiFePO}_4$ 의 전기전도성을 향상하고 친환경적인 배터리를 제작하여 차세대 전기차 배터리로 활용될 수 있는 가능성을 보여준다.

**Keywords:** 리튬인산철, 졸-겔 합성법, 수계 바인더, 리튬이온배터리

SCAPS-1D를 이용한  $\text{Sb}_2\text{Se}_3/\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$  band-offset 최적화제용훈, 김신호, 김양도<sup>†</sup>

부산대학교

(yangdo@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

$\text{Sb}_2\text{Se}_3$ 는 저독성, 풍부한 자원량, 적절한 밴드 갭 (1~1.2eV)를 가져 흡수층 소재로 주목받고 있으며 10.12%의 효율을 달성했다. 그런데  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  태양전지는 CdS를 버퍼층으로 주로 사용하고 있으며  $\text{Sb}_2\text{Se}_3/\text{CdS}$  계면은 cliff-like 구조를 가져 계면 재결합이 증가해 개방전압 ( $V_{oc}$ )이 감소하는 문제가 있다. 본 연구는 계면 재결합을 줄여  $V_{oc}$ 를 증가시킬 수 있는 spike-like 구조의  $\text{Sb}_2\text{Se}_3/\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$  구성하여 band-offset을 최적화한다. 버퍼층으로 사용된  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ 는  $\text{Mg}/(\text{Zn}+\text{Mg})$  비율에 따라 최대 전도대(Conduction Band Maximum)를 조절할 수 있어 계면에서 spike-like 구조를 형성할 수 있다. Band-offset 최적화를 위해 SCAPS-1D를 이용하였고,  $\text{Mg}/(\text{Zn}+\text{Mg})$  비율 (~0 – ~0.35)에 따른  $\text{Sb}_2\text{Se}_3/\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$  계면 band 구조와 I-V 특성을 시뮬레이션 하였다.  $\text{Mg}/(\text{Zn}+\text{Mg})$  비율이 ~0.145일 때 band off-set은 cliff-like 구조에서 spike-like 구조로 변화했고, 개방전압은  $\text{Mg}/(\text{Zn}+\text{Mg})$  비율이 증가할수록 향상되었다가 0.3 이후에서 감소하는 경향을 보였다. 최대 변환효율은  $\text{Mg}/(\text{Zn}+\text{Mg}) = 0.25$  에서 9.9%로 나타났다.

**Keywords:**  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ , spike, cliff, band offset

## Decoration of Amorphous FeOOH Quantum dots on synthesized NiMn-LDH nanosheets for enhanced Oxygen Evolution Reaction

RUTURAJ JADHAV<sup>1</sup>, Jin Hyeok Kim<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Optoelectronics Convergence Research Center and Department of Materials Science and Engineering,  
Chonnam National University, Gwangju, South Korea;

<sup>2</sup>Optoelectronics Convergence Research Center and Department of Materials Science and Engineering,  
Chonnam National University, Gwangju, South Korea  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Layered double hydroxides (LDHs) have a limited range of applications in oxygen evolution reactions (OER) due to their weak conductivity and instability. My proposed plan is to synthesis hybrid nanostructure of FeOOH quantum dots on NiMn-LDH nanosheets. Next step is physical analysis of samples and electrochemical studies for OER and HER. The effective combination of ultrathin NiMn-LDH sheets, FeOOH QDs, and NF, is expected to show decreased charge transfer resistance and increased electrochemically active surface area.

**Keywords:** Layered double hydroxides (LDHs), Oxygen evolution reaction (OER), Hybrid nanostructure FeOOH quantum dots NiMn-LDH nanosheets, Physical analysis, Electrochemical studies Charge transfer resistance, Electrochemically active surface area Nanofiber (NF).

## CuFe Nanoparticles for Electrochemical Urea Production from Nitrate and Carbon Dioxide under Ambient Conditions

Jinuk Choi<sup>1</sup>, Tae-Yong An<sup>1</sup>, Uk Sim<sup>1,2,3†</sup>

<sup>1</sup>Hydrogen Energy Technology Laboratory, Korea Institute of Energy Technology (KENTECH);

<sup>2</sup>Research Institute, NEEL Sciences, INC.;

<sup>3</sup>Center for Energy Storage System, Chonnam National University  
(usim@kentech.ac.kr<sup>†</sup>)

The size of the urea market is more than \$131.54 billion in 2023 and continues to grow. However, the synthesis of urea highly relies on traditional Bosch-Meiser processes, which utilize CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> under harsh conditions, contributing to over 1% of the energy consumption of the world. To solve this issue, electrochemical urea synthesis has gained attention for its cost-effective and eco-friendly urea production. The electrochemical urea synthesis from nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and CO<sub>2</sub> necessitates improvements in both the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> reduction reaction (NitRR) and the CO<sub>2</sub> reduction reaction (CO<sub>2</sub>RR). In this study, CuFe nanoparticles (NPs) are used as catalyst for urea electrosynthesis. Cu and Fe, two earth-abundant metals (EAMs), have good activity as catalysts for the CO<sub>2</sub>RR and NitRR, respectively. Also, the work function difference between Cu (4.7) and Fe (4.5) causes the charge transfer that electrons move from Fe to Cu. This creates a positive charge state in Fe (δ<sup>+</sup>) and a negative charge state in Cu (δ<sup>-</sup>), allowing NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and CO<sub>2</sub> to easily adsorb onto the Fe surface and the Cu surface, respectively. We present CuFe NPs catalyst for the electrochemical urea synthesis from NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and CO<sub>2</sub>. Our results show that CuFe NPs exhibit excellent electrocatalytic activity and Faraday efficiency. Synthesized urea was detected by the DAMO method, and a peak of the C-N bond was also observed by NMR analysis.

**Keywords:** Catalyst, Urea electrosynthesis, C-N bond formation, Electrochemistry

## 황 첨가에 따른 전이금속 기반 촉매의 OER 성능 향상 메커니즘 고찰

조형호, 김신호, 김양도<sup>†</sup>

부산대학교 재료공학부  
(yangdo@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

전기를 이용하여 물을 산소와 수소로 분해하는 수전해는 탄소 배출없이 수소를 생산할 수 있는 친환경적인 방법이다. 수전해 반응 중 oxygen evolution reaction (OER)의 촉매로 저렴하고 풍부한 전이금속기반 촉매가 많이 연구되고 있다. 전이금속기반 촉매 수산화철 (FeOOH)에 황(S)을 도핑하였을 경우 OER 성능이 향상되는 연구가 보고되고 있다. 하지만 S-FeOOH 촉매에 대한 많은 연구가 진행되었음에도 FeOOH 촉매에 황이 첨가됨에 따라 OER 성능이 향상되는 메커니즘은 아직 명확하지 않다. 본 연구에서는 황 도핑을 통해 촉매의 OER 성능이 향상되는 메커니즘을 확인하기 위한 우선단계로 황이 촉매 표면에 어떻게 화학적 결합을 하는지를 density functional theory (DFT)를 이용하여 논의하였다. 전이금속 산화물의 전자 구조를 보정하기 위해 U parameter를 추가한 DFT+U hamiltonia (Hubbard Hamiltonian)를 이용하여 촉매에 흡착하는 황과 산소의 흡착에너지를 각각 계산하였고, Quantum ESPRESSO 7.2에 구현된 PWscf 패키지를 이용해 수행하였다. 본 연구 결과로 FeOOH 황이 산소보다 FeOOH 촉매에 매우 강하게 흡착된다는 것을 확인하였다. 촉매 표면에 황의 흡착에너지는 산소 자리에서 30.44 eV 철 자리에서 28.41 eV로 계산되었고, 산소의 흡착에너지는 산소 자리에서 6.14 eV 철 자리에서 3.36 eV로 계산되었다. 이 결과는 황이 과도핑 될 경우 수산화 이온이 촉매에 흡착될 자리가 적어지는 것을 의미하며, 이를 통해 황이 과도핑 되었을 경우 OER 반응이 감소하는 최근 연구 결과를 설명할 수 있다.

**Keywords:** 수전해, OER 촉매, DFT+U

## 고체 전해질의 분말 압축 특성 연구

최진일<sup>\*</sup>, 홍채민, 이장원

한밭대학교

(jlchoi@hanbat.ac.kr<sup>†</sup>)

무선 전자기기의 수요가 증가함에 따라 배터리의 성능과 내구성에 대한 관심이 높아지고 있으며 이를 향상시키기 위해 전고체 전지에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 전해질 분말 압축 시 고르지 못한 응력 및 밀도 분포는 전지의 성능과 내구성을 저하시키는 원인이 된다.

본 연구에서는 전고체 전지의 성능과 내구성을 향상시키기 위해 다양한 전해질을 모델링하여 각 전해질의 기계적 특성에 대한 연구를 진행하였다.

또한 활물질의 혼합에 따른 기계적 특성의 변화에 관한 연구도 진행하였다.

이산요소법(Discrete Element Method, DEM)을 이용하여 전지의 압축 특성을 분석하였으며 이를 바탕으로 내구성에 영향을 미치는 응력 분포와 밀도 분포에 대해 연구하였다.

**Keywords:** All-solid state battery, Electrode, Electrolyte, Powder compaction, Discrete Element Method

## 이차 전지에 대한 계면공극 특성 연구

이장원, 홍채민, 최진일\*

한밭대학교  
(jlchoi@hanbat.ac.kr<sup>†</sup>)

최근 리튬이온의 인화성 액체 전해질을 대신해 전고체 전해질을 사용함으로써, 안정성을 확보하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

리튬이온 배터리의 액체 전해질은 고체인 양극, 음극과 충분한 접촉면적을 가지나, 전고체 배터리는 전해질을 고체로 사용함으로써, 양극과 음극, 전해질간의 미세적인 공극이 발생해 계면저항이 발생하게되고, 이는 에너지 밀도 감소를 초래한다.

본 연구는 에너지 밀도 감소를 방지하기 위해 계면에서의 공극을 최소화 하는 방법을 모색하였다. 계면의 공극구현을 위해, DEM(Discern Element Method)을 이용하여 모델을 개발하였다. 전해질 내 하나의 입자가 이동한 총 거리를 계산해, 굴곡률을 파악하였다. 또한 전해질의 재료, 분자 모양, 분자 크기의 변화에 따른 굴곡률을 분류하여, 계면의 공극을 최소화 할 수 있는 방법을 모색하였다.

**Keywords:** DEM, Tortuosity, Rechargeable Battery, Energy Density, Electrolyte

## Coating BT on LCO (LCO@BT) to improve resistance of the electrode/electrolyte interface

Jihye Seo<sup>1,2</sup>, Moonhee Choi<sup>1†</sup>, Beomkyeong Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of ceramic Engineering & Technology (KICET);

<sup>2</sup>School of Materials Science and Engineering, Pusan National University  
(moonhee77.choi@kicet.re.kr<sup>†</sup>)

Currently, most commercialized batteries utilize liquid electrolytes. Liquid electrolytes are often problematic in terms of the stability of secondary batteries due to the possibility of liquid leakage or ignition. To solve these issues, a proposed method is All Solid-State Lithium-ion Batteries (ASSLBs), which use solid electrolytes. While solid electrolytes offer advantages such as reduced risk of leakage, reactivity, heat accumulation, and ignition potential compared to liquid electrolytes, they encounter commercialization challenges due to difficulties in forming an electrode-electrolyte interface and high intergranular resistance. To address these issues, researchers have noted the potential benefits of coating Lithium Cobalt Oxide (LiCoO<sub>2</sub>, LCO) with Barium Titanate (BaTiO<sub>3</sub>, BT), a ferroelectric material. The dielectric serves as an artificial solid electrolyte interface (SEI) layer, enhancing concentration at the three-phase interface (TPI) of BT-electrolyte-LCO. This is expected to reduce interfacial resistance and secure a lithium ion movement path.

In this study, we investigated the fabrication of composite electrodes by applying BT onto LCO through two techniques: ball milling and ultrasonic dispersion. In order to confirm basic characteristics through XRD and SEM and to discover effective composite cathodes, electrochemical characteristics were analyzed through cycle tests.

**Keywords:** LithiumCobaltOxide, coating, BariumTitanate, ferroelectric material, artificial SEI, interfacial resistance

## High uniformed hierarchical nanostructure with pore size for biomass-derived electrochemical capacitors

Taeyoung Park<sup>1</sup>, Jae Gyu Ahn<sup>1</sup>, Beomjin Ko<sup>1</sup>, Kwang Hyun Park<sup>1</sup>, Nam Chul Kim<sup>1</sup>,  
Kwang Young Jeong<sup>2</sup>, Sung Ho Song<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University;

<sup>2</sup>Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University  
(shsong805@kongju.ac.kr<sup>†</sup>)

Biomass-derived carbon has various advantages such as abundant resources, renewable, sustainable, and eco-friendly. This material can apply to multifarious applications such as battery electrodes, capacitors, gas storage etc. Despite these valuable benefits, the low uniformity of pore size and challenges in mass production still need to be addressed to enable their use as electrodes in energy storage fields. In this work, we present a cost-effective and scalable route for generating a graphene-based 3D nanostructure with a large specific surface area and highly uniform pore sizes. This structure was achieved through the use of sequential carbonization and activation processes. Also, electrochemical characteristics of them were evaluated as active materials in an electrochemical double layer capacitor. Textual/chemical analyses reveals a 3D network architecture with interconnected lamellar structures made of graphene sheets. These structures exhibited high uniformity of nanoporosity and high electron conductivity. The electrochemical performance of the samples demonstrated a remarkable enhancement in capacity, rate capability, and cycle stability, without fading or attenuation of electrostatic capacity. And because the performance of these electrochemical properties strongly depends on the materials used for electrodes and electrolytes, as well as the activation process, we carefully select suitable physical, chemical, and thermal options. This improvement can be attributed to the optimal porosity, which increases ion access rates and provides more electron pathways onto the electrode. Consequently, our approach potentially indicates the potential for implementing sustainable and practical energy storage systems, which could lead to more effective and eco-friendly energy solutions.

**Keywords:** Structure, Biomass, Capacitor, Activated carbon, electrical energy storage

## A study on property improvement with various heating temperature in RTA process of $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x, \text{Se}_{1-x})_4$ (CZTSSe) absorber layer

Dong Hyun Kang, Jin Hyeok Kim<sup>†</sup>

Optoelectronics Convergence Research Center and Department of Materials Science & Engineering,  
Chonnam National University, Gwangju, South Korea  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Kesterite-based  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x, \text{Se}_{1-x})_4$  (CZTSSe) absorber layer is composed of non-toxic, abundant elements in the Earth and has the advantages of tunable band gap and high optical absorption coefficient ( $> 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ). Recently, CZTSSe TFSCs achieved the highest PCE of  $\sim 14\%$ , but compared to  $\text{CuInGaSe}_2$  (CIGS) and  $\text{CdTe}$ , the PCE is still lacking. One of the reasons for the low efficiency of CZTSSe solar cells is that the thermodynamically stable phase region is very narrow, so even slight composition deviations can cause many secondary phases and defects. In the sputtering system of manufacturing CZTSSe, the rapid thermal annealing (RTA) process affects the composition of the CZTSSe absorber layer. In this study, the CZTSSe absorber layer was optimized by adjusting the heating temperature to 540, 560, 580, and 600 °C in the RTA process. And the heating time and pressure were fixed at 7 min. 10 sec. and 650 torr, respectively. X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), external quantum efficiency (EQE) and J-V curve were performed to analyze the crystallographic properties, surface area, and electrical properties of the thin films manufactured under each process condition.

**Keywords:** CZTSSe TFSC, annealing temperature, thin film

## Heterostructured $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{CoWO}_4$ architecture modified by 2-D reduced graphene oxide for overall water splitting

Dhanaji Malavekar<sup>2</sup>, Jin Hyeok Kim<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju;

<sup>2</sup>Optoelectronics Convergence Research Center, Chonnam National University, Gwangju  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

In recent years, cobalt-based materials have proven to be one of the most effective electrocatalysts for water splitting among non-noble metals. The morphology, chemical composition, and structure are some of the elements that determine electrochemical activity. Each of them must be appropriate for the electrocatalyst to easily exchange charges. Herein, we report the composite heterostructure architecture of  $\text{Co}_3\text{O}_4$  and  $\text{CoWO}_4$ -rGO for overall water splitting. The mesoporous coating formed by the combination of rGO and  $\text{CoWO}_4$  facilitates improved charge and mass transport. The prepared  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{CoWO}_4$ -rGO heterostructure material demonstrated good catalytic activity with an overpotentials of 240 and 78 mV at a driving current density of  $50 \text{ mA cm}^{-2}$  for OER and HER, respectively. Overall water splitting device fabricated using  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{CoWO}_4$ -rGO as an anode and cathode require a cell voltage of 1.55 V to enable a current density of  $50 \text{ mA cm}^{-2}$  and perform stably for over 200 h indicating a favorable surface modulation at the shell interface coated on  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . This demonstrates the promise of  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{CoWO}_4$ -rGO heterostructured composite architecture for electrochemical water splitting.

**Keywords:** Electrochemical water splitting, Thin film, Cobalt oxide, Reduced graphene oxide

## Single crystalline yttrium titanate pyrochlore nanoparticles as efficient bi-functional oxygen electrocatalysts for Zinc-air batteries

최진영<sup>1</sup>, 박민준<sup>2,3†</sup>

<sup>1</sup>Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, 50, Busan daehak-ro 63 beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan 46241, Republic of Korea;

<sup>3</sup>Research Center of Energy Convergence Technology, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

Zinc-air batteries (ZABs) have been considered as the most promising energy storage system due to its low price, long shelf-life, and using environmentally benign raw materials. Most importantly, ZABs have a specific energy density of 1084 Wh kg<sup>-1</sup>, which is approximately four times higher than current lithium-ion technology (200–250 Wh kg<sup>-1</sup>), making them technologically and economically viable to replace lithium-ion batteries. However, the sluggish multi-step reaction of oxygen in the air cathode is a major obstacle for the practical application of zinc-air battery. To promote the activity of the oxygen reaction, bifunctional electrocatalysts with high catalytic activity for the oxygen reduction reaction (ORR) and the oxygen evolution reaction (OER) are greatly required. To date, Pt-based materials and IrO<sub>2</sub> or RuO<sub>2</sub> have been widely used as electrocatalyst for air cathode. These noble metal-based materials do not satisfy the practical properties of the zinc air battery because of their high cost and non-multifunctional electrocatalytic activities. Therefore, replacing noble-metal-based electrocatalysts is the key to developing efficient ZABs.

In this study, we report highly pure single crystalline pyrochlore nanoparticles (Y<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, YTO) as an efficient electrocatalysts toward oxygen redox reactions. The YTO electrocatalyst exhibited a half-wave potential of 0.87 V for the ORR in 0.1 M of KOH solution and the potential of 1.72 V at 10 mA cm<sup>-2</sup> for OER. Moreover, YTO electrocatalyst showed insignificant reduction (0.008 V) after 10 000 voltage cycles, confirming its excellent stability. In ZABs, YTO electrocatalyst outperformed the mixture of Pt/C 20 wt% and IrO<sub>2</sub>, operated over 100 h at 50% depth of discharge. In summary, we fabricated single crystalline, impurity-free yttrium titanate electrocatalysts for oxygen redox reactions by sol-gel method. The YTO electrocatalyst not only exhibited comparable catalytic performance to previously reported yttrium ruthenate, but also demonstrated a cost-effective electrocatalyst by replacing precious metal with titanium.

**Keywords:** zinc-air battery, pyrochlore, yttrium titanate, bismuth titanate, catalyst

## 공동침전법을 통한 올리빈 구조 양극재 합성 및 전기화학 특성 평가

임정우, 김천중<sup>\*</sup>

충남대학교  
(ckim0218@cnu.ac.kr<sup>\*</sup>)

글로벌 전기자동차 배터리 시장이 증가함에 따라, 최근 올리빈 구조를 갖는 양극재가 많은 주목을 받아 활발히 연구가 진행되고 있다. 그 중 특히 리튬인산철은 배터리 양극에 사용되는 소재로써, 높은 배터리 안전성 및 낮은 가격 등의 이점을 가지고 있다. 하지만 리튬인산철 양극 소재는 낮은 전자 및 이온전도도를 갖는 등 소재적인 문제점이 있어 탄소코팅, 나노입자 합성 등의 방법을 통해 이를 극복하고 있다. 그러나 탄소 코팅된 나노 크기 리튬인산철은 탭밀도가 낮아 에너지 밀도를 높이기 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 에너지 밀도를 높이기 위한 방법으로 높은 탭밀도를 갖는 마이크로 크기 수준의 리튬인산철 공동침전합성 및 전기화학 특성 평가를 진행했다. 반응 시간, 용액의 pH 및 착화제의 농도에 따른 입자의 크기 및 형상을 비교하였다. 이후 열처리 및 탄소코팅에 따른 전기화학 특성에 대한 비교를 진행하였다. XRD분석을 통해 전구체 및 활물질이 합성됨을 확인하였고, SEM 분석을 통해 입자 크기 및 형상에 대해 확인했다.

**Keywords:** 리튬이온배터리, 올리빈구조, 리튬인산철, 공동침전법

## Chromium-modified iron cobalt-layered double hydroxides as efficient electrodes for electrochemical water splitting

Mayur A. Gaikwad, Jin Hyeok Kim<sup>†</sup>

Chonnam National University

(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Electrochemical water splitting plays a vital role in facilitating the transition towards a sustainable energy future by enabling renewable hydrogen production, energy storage, and emission-free transportation. Developing earth-abundant and low-cost electrocatalysts with outstanding overall water splitting performance, excellent large-current-density activity and robust long-term stability is highly important in the practical application of water electrolysis. Herein, a facile hydrothermal synthesis route is demonstrated to fabricate hierarchical nanostructured FeCoCr-based earth-abundant, self-supported bifunctional electrocatalysts. Electrocatalyst possesses high intrinsic activity and outstanding electrical conductivity along with well-defined 2D-1D structure having enhanced active electrochemical active surface area. The electrocatalyst exhibits excellent performance in both oxygen evolution reaction (OER) with an overpotential of 205 mV at 50 mA cm<sup>-2</sup> and hydrogen evolution reaction (HER) with an overpotential of 230 mV at 10 mA cm<sup>-2</sup>. Additionally, to drive the overall water splitting, the electrode system requires a cell voltage of only 1.63 V to reach a current density of 10 mA cm<sup>-2</sup>. Our work emphasizes the modulation of the local electronic structure of FeCo-LDH via Cr doping for the rational design of efficient bifunctional electrocatalysts.

**Keywords:** Oxygen evolution reaction (OER), Bifunctional electrocatalysts, Layered double hydroxides (LDH), Alkaline solution

## Characteristics with Germanium Nanolayer Stacking Position in Precursor of Flexible $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ (CZTSSe) Thin Film Solar Cells

Hojun Choi, Jin Hyeok Kim<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering and Optoelectronics Convergence Research Center, Chonnam National University  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

$\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  (CZTSSe) is a promising photovoltaic material due to its suitable optical bandgap, high absorption coefficient, non-toxicity, and abundance in the Earth's crust. However, kesterite-based thin-film solar cells (TFSCs) using CZTSSe absorber layers have a lower open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) compared to  $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$  (CIGS), which limits their practical application for large-scale solar energy conversion.

To address this issue, we selected a Ge doping strategy that can obtain a beneficial influence on crystal growth and improve carrier collection,  $V_{oc}$  improving the absorber layer. Nonetheless, the location of Ge doping is very important in precursors. So we conducted experiments to confirm the difference with Ge stacking position in precursors. We deposited Ge by thermal evaporation and Zn, Sn, and Cu precursors by DC-magnetron sputtering method. The CZTSSe-Ge (CZTGSSe) absorber thin film has been obtained using a soft-annealing (280 °C for 60 minutes) followed by a sulfo-selenization step at 520 °C. for 8 minutes and 30 seconds.

In this work, we analyzed the crystal structure and morphology of the CZTGSSe thin films using techniques such as XRD, XPS, and FE-SEM to confirm the change according to the different positions of Ge nanolayer in precursors. Current density-voltage (J-V) characteristics, external quantum efficiency, and C-V of the CZTGSSe TFSCs were also measured to evaluate solar cell performance.

**Keywords:** kesterite, CZTSSe, Ge doping, flexible, Solar cell, sulfo-selenization

## 멀티 코어 레이저 공정 변화를 통한 Al/Cu 이종용접부의 미세조직과 기계적 물성에 대한 기초 연구

이찬양, 오민철, 김건홍<sup>\*</sup>

고등기술연구원  
(ghkim@iae.re.kr<sup>\*</sup>)

전기차의 주요 구성품 중 하나인 배터리는 배터리 관리 시스템, 파워 일렉트릭, 모듈 및 팩 하우징 등으로 구성되며 각 연결부 부품들 간의 전기적 연결을 위해 버스바가 사용된다. 전기자동차 배터리의 효율을 위해 높은 전기전도도를 가진 구리가 사용되고 있지만, 구리 원자재의 가격 상승과 전기자동차의 에너지 효율 향상을 위하여 경량 소재인 알루미늄을 적용한 알루미늄/구리 이종소재 개발 및 레이저 접합이 연구되고 있다. 하지만 알루미늄/구리 이종금속 레이저 용접 시 열 팽창계수의 차이로 인해 냉각 시 수축에 의한 응력집중이 일어나 용접 계면에 균열이 발생하기 쉬우며, 불안정한 키홀 거동으로 인하여 기공이 발생하게 된다.

본 논문에서는 알루미늄/구리 이종 소재 용접부의 기공/균열 최소화 및 미세조직 제어를 통한 용접 강도 향상을 위하여 이중 빔을 조사하는 방식인 Adjustable Mode Beam(AMB) 레이저를 사용하여 코어 빔(400~1000W) 및 링 빔(0~1000W) 세기에 따른 접합강도 및 미세조직을 분석하였다.

코어 빔과 링 빔의 출력이 증가함에 따라 점차적으로 강도가 증가하나, 코어 빔의 출력이 높은 경우 용융된 알루미늄/구리에서 응고열로 인한 구리 응고계면에 조대한 주상정구조가 형성되어 용접강도 감소에 영향을 미친 것을 확인하였다.

코어 빔 출력을 800W 이상으로 할 시 과도한 가열로 인한 조대 결정립이 형성되어 용접 강도가 감소하며, 코어 빔과 링 빔의 출력을 각각 600W-1000W로 할 시, 미세 결정립이 형성된 용접부를 확보할 수 있었으며 우수한 접합 강도를 갖는 것을 확인하였다. 용접부의 기계적 물성 확보를 위하여, 두줄 직선 용접의 비드 간격에 따른 용접부의 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향을 추가적으로 연구하였으며, 한 줄 직선 용접에 비해 비드폭이 넓어 응력집중계수가 낮아 파단강도가 증가한다. 하지만, 용접 간격이 좁을수록 용접 계면에서 결정립 성장이 발생하여, 강도가 저하된 것을 확인하였다.

**Keywords:** Beam modulation, Adjustable Mode Beam, Dissimilar metals welding, Laser welding power, Microstructure

## Analysis of tamarind gum as green water-soluble binder for LiFePO<sub>4</sub> Cathode in lithium-ion batteries

최지원<sup>1</sup>, 박민준<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

The LiFePO<sub>4</sub>(LFP) lithium-ion batteries(LIBs) have been widely studied for micro-girds, power supplies, electric vehicles(EVs) due to their high safety, low-cost and excellent electrochemical properties. With the increasing demand for cost-effective and high energy density, more efforts have been focused on binders used in the LIBs. As a key component of LIBs, polymer binder are used for maintaining the structural stability. However, conventional polyvinylidene fluoride (PVDF) binder is soluble in toxic and expensive N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) organic solvent and required high drying temperature. To reduce energy consumption of battery production and environmental impacts, many researchers have investigated water-soluble binders such as polyacrylic acid(PAA), polyvinyl acetate(PVAc) as alternatives to polymer binder applying organic solvent. These binders are superior to the NMP-based binders in adhesion ability and electrochemical performance. However, some water soluble binders occur micro cracks and electrode delamination after vacuum drying due to brittle and stiff properties. Therefore, we need to explore a novel aqueous binder to improve electrochemical properties such as conductivity, adhesion strength for LFP cathode.

Herein, we propose Tamarind Gum(TG) as low-cost, environmentally friendly and water-soluble binder for LiFePO<sub>4</sub> (LFP) Cathode in lithium-ion batteries. TG binder as a type of polysaccharides has wide pH tolerance, good electrochemical performance and stability. The peeling test showed a stronger adhesion strength of 0.090 N cm<sup>-1</sup> than sodium carboxymethyl cellulose(NaCMC, 0.049 Ncm<sup>-1</sup>). These results indicated that hydroxyl functional groups of TG binder form hydrogen bonding with LFP particles. The dQ/dV plot of 3rd cycle showed that LFP-TG electrode had smaller redox voltage difference(0.057V) compared to LFP-CMC(0.060V) PVDF(0.148V), indicating higher ionic conductivity than PVDF, CMC binders. Scanning electron microscopy(SEM) showed that LFP-TG maintain its mechanical integrity without cracking after 150 cycle, while several cracks were observed on the surface on LFP-CMC. Also, the LFP-TG/Graphite full cell exhibited 161.2 mAh g<sup>-1</sup> discharge capacity at 0.2C with a high capacity retention of 97.4% after 150 cycles. In conclusion, A novel water-soluble TG binder exhibited excellent electrochemical performance, satisfying low-cost, energy saving, high viscosity at low concentration. We believe that this eco-friendly water-soluble binder is suitable for an alternative binder superior to convential PVDF for LFP based cathode.

**Keywords:** Tamarind gum, Water-soluble binder, Aqueous binder, LiFeO<sub>4</sub>, LFP, Cathode, Lithium ion battery

## 이종원소 도핑 된 탄소-전이금속 산화물 복합체를 통한 고성능 에너지 저장 소자의 개발

송윤재, 김규호, 안효진\*

서울과학기술대학교 신소재공학과  
(hjahn@seoultech.ac.kr<sup>\*</sup>)

리튬 이온 배터리(LIBs)는 높은 에너지 밀도와 긴 수명성의 장점을 가지고 있어, 여러 전자 기기들에 이용되고 있다. 특히 전기자동차 시장이 급속하게 성장함에 따라 더 높은 수준의 에너지 저장 능력과 고속 충/방전 성능을 갖는 배터리를 제작하기 위한 연구들이 활발히 진행 중이다. 이와 관련하여 에너지 저장 소자 전극 내 리튬 이온 수송 능력을 향상시키는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이종 원소의 도핑, 미세 구조의 제어, 표면 코팅 등의 기술은 전극 물질의 성능을 한 단계 올려줄 수 있는 주요한 전략들로 판단되어진다. 한편, 탄소 물질의 경우 높은 전기전도도와 구조적 이점을 바탕으로 다양한 소재들과 복합화 되며 사용되어진다. 본 연구에서는 탄소 물질 복합화 및 이종원소 도핑을 통해 전기 전도도를 향상시켰으며, 공정 과정에서 발생하는 다공성 구조화를 통해 리튬 이온의 확산 키네틱 향상에 대해 보고한다.

**Keywords:** 리튬-이온 배터리, 탄소 소재, 복합화, 도핑, 전이금속

## Exploring of Photoelectrochemical Properties of GeSe Synthesized Via Rapid Thermal Annealing Technique

GIRISH UTTAM KAMBLE, Jin Hyeok Kim<sup>†</sup>

Optoelectronics Convergence Research Center and Department of Materials Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Energy is a critical need in today's world, and there is a growing demand for safe, clean, and green energy sources. Hydrogen is a sustainable and environmentally friendly energy source that can be produced naturally. Photoelectrochemical (PEC) systems are a promising technology for converting solar energy into chemical fuels and electricity. Germanium selenide (GeSe) is one of the most promising photocathode materials for PEC water splitting due to its favorable properties, such as a wide bandgap, visible light absorption, chemical stability, non-toxicity, and earth abundance. This work describes the synthesis of GeSe using the tube rapid thermal annealing (RTA) method. The structural and morphological properties of the GeSe films were characterized using X-ray diffraction (XRD), RAMAN spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), and other techniques. The PEC performance of the GeSe films was also studied.

**Keywords:** Germanium Selenide, Photoelectrochemical Water Splitting, Photocathode, Rapid Thermal Annealing

## NCM 리튬 이차전지에 대한 탄소 코팅의 영향

김범수, 김천중<sup>\*</sup>충남대학교  
(ckim0218@cnu.ac.kr<sup>\*</sup>)

리튬 이차전지는 전자 기기 및 전기 자동차와 같은 다양한 응용 분야에서 중요한 역할을 하고 있다. 이에 따라 리튬 이차전지의 성능 향상은 여러 도전 과제를 동반하며, 특히 고에너지 밀도를 가진 이차전지에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 그 중에서도 NCM(lithium nickel cobalt manganese oxides)은 높은 용량을 제공할 수 있는 소재로 주목받고 있으며, 특히 Ni 함량이 90% 이상인 Ni-rich NCM 소재가 큰 관심을 받고 있다. 그러나 Ni 함량 증가에 따라 cathode 표면에서 전해액과의 부반응이 늘어나고, 이로 인해 전지는 낮은 수명 특성을 보이며 안정성에 심각한 문제가 발생한다.

본 연구에서는 입자 표면에 탄소를 코팅하여 전해액과의 부반응을 막아주는 passivation layer을 형성함으로써 High Ni NCM의 전기화학적 성능 및 안정성을 향상하고자 하였다. 나노 스케일의 탄소 코팅을 위해 sucrose를 사용하였으며, 전지의 성능을 개선하는 적절한 탄소 함량과 코팅 방법을 제시하고자 한다.

**Keywords:** NCM, LIB, 리튬이차전지, 탄소, 코팅, sucrose, carbon, cathode, 부반응

## Glycine chemical synthesis LNO 열처리 온도 최적화 연구

김아현, 김나윤, 김천중\*, 이희상

충남대학교  
(ckim0218@cnu.ac.kr<sup>†</sup>)

최근 환경 오염 및 신재생 에너지 필요성에 따라 이차 전지에 관한 관심이 급증하고 있으며, 이를 위한 핵심 소재인 양극 활물질에 대한 연구 또한 많은 주목을 받고 있다. 주요 양극 활물질 중 하나인  $\text{LiNiO}_2$  (LNO) 는 높은 에너지 밀도를 가지고, 코발트의 제한적인 공급과 가격 문제를 보완할 수 있는 장점이 있다. 그러나 충-방전 과정에서 급격한 구조 변화 문제, 고전압에서의 안정성 문제가 용량 감소로 이어지는 등의 단점으로 상용화에 어려움을 겪고 있어, LNO 안정성 및 용량 증가를 위한 연구가 이뤄지고 있다.

본 연구에서는 산염기 반응을 이용한  $\text{Ni(OH)}_2$  침전 과정에서 Glycine을 이용하여 빠른 시간 동안 구형의  $\text{Ni(OH)}_2$  침전물을 형성시키고, 이를 전구체로 LNO를 합성하였다. 다양한 열처리 온도를 통하여 LNO를 합성하고, 전지 특성 평가 결과를 기존 continuous stirring reactor (CSTR) 을 이용하여 제조된 공침 전구체를 이용하여 합성된 LNO 와 비교하였다.

**Keywords:** LNO, Co-free, Glycine, Chemical synthesis, Heat-treatment

## High-Performance Stretchable Triboelectric Nanogenerator Based on Wrinkled Structures

Minbon Gu, Taesu Kim, Sungmook Jung, Youngmin Choi, Su Yeon Lee<sup>†</sup>

Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT)

(sylee@kRICT.re.kr<sup>†</sup>)

As one of the energy harvesting, triboelectric nanogenerator (TENG) has been developed due to low fabrication cost and high performance. However, it is known that there is a limit to the practical use of the technology due to the low output current compared to the output voltage. In order to solve the problem, here, we present a dual-mode TENG with hierarchically designed wrinkle patterns composed of poly(dimethylsiloxane) (PDMS) and silver electrode layers. Compared with TENG devices with a single operation mode, our device can be applied to dual operation mode that uses vertical contact-separation mode and contact-sliding mode, exhibiting a high output voltage and current. To gain high power density, a wrinkle pattern was prepared through ultraviolet(UV)/ozone surface treatment. The possibility of application as an energy harvester was confirmed by operating the LED and charging the capacitor with the manufactured TENG. The working principles of dual-mode TENG and the relationships between its output performance and the various types of mechanical motions were systematically studied. Our dual mode TENG is a promising approach in the development of stretchable TENG for the potential applications including wearable devices and stretchable electronics.

**Keywords:** Triboelectric nanogenerator(TENG), Dual-mode, Wrinkle patterns, Ultraviolet(UV)/ozone surface treatment

## Changes in properties of MGZO thin films due to detailed deposition temperature control

Youseong Park, Jun Sung Jang, Jin Hyeok Kim<sup>†</sup>

Department of Materials Science & Engineering, Chonnam National University, South Korea  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Recently, as interest in optical devices has increased, transparent electrode materials are also receiving great attention. Currently, the most commonly used transparent electrode material is indium-based ITO owing to its high transmittance in the visible region and electrical conductivity. However, the high cost and the low abundance of Indium on earth is limiting factor for a sustainable environment. Zinc oxide (ZnO) is an attractive material to replace ITO. On the other hand, the high resistance and narrow bandgap of pure ZnO are issues that need to be solved. To solve this issue, group III doped ZnO such as Al, Ga and B have been extensively studied in recent years. In this study, a single thin film was deposited on an SLG substrate using RF sputtering using ZnO (MGZO) doped with Ga-1.8 wt% and Mg-1.0 wt%. The deposition temperature was conducted at 275 °C, 300 °C, 325 °C, 350 °C, 375 °C, 400 °C after confirming the characteristics of each thin film, the deposition temperature was further refined. The temperature is set 270 °C, 280 °C, 290 °C, 300 °C, 310 °C, 320 °C and 330 °C, and the crystallographic structure of a single thin film deposited at each temperature was analyzed using SEM and AFM, XRD, and the optical and electrical properties of the thin film were analyzed using UV-visible and hall measurements. Finally, all of the MGZO transparent electrode was applied to the  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  (CZTSSe) solar cell, and the device parameters, dark J-V curve and EQE analysis of the solar cell were conducted.

**Keywords:** TCO, MGZO, Solar cell

## Characteristics of Mg and Ga co-doped ZnO thin films with fine-tuned Mg content

Jun Sung Jang, Youseong Park, Hojun Choi, Jin Hyeok Kim<sup>†</sup>

전남대학교  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Zinc oxide (ZnO) has excellent optical and electrical properties, making it a highly sought-after material in the development of optoelectronic devices such as flat panel displays, light-emitting diodes, thin film transistors, transparent semiconductors, and transparent conductive oxides (TCOs). Especially, i-ZnO and TCO are one of the important layers in kesterite solar cells because they must transmit light to the absorber layer and having conductivity for carrier movement. In this work, Mg and Ga co-doped ZnO (MGZO) thin films were prepared on soda lime glass (SLG) substrate using RF sputtering system. Mg content was varied from 1.0 wt% to 3.0 wt% in the interval of 0.2 wt% and keeping a constant RF power of 40W. The process pressure is maintained at 5 mTorr. The previous study showed a significant contrast in the characteristics of MGZO thin film. Particularly, the resistivity changed greatly in electrical characteristics, and a large band gap difference was revealed in optical properties. Compared to Al-doped ZnO (AZO), the MGZO thin films exhibit higher optoelectrical properties.

**Keywords:** ZnO, MGZO, thin film, CZTSSe solar cell, RF magnetron sputter

## Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-coated Cu current collector for dendrite-free lithium metal battery

김주은, 박민준<sup>\*</sup>

부산대학교  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

Lithium metal anode(LMA) is an ideal anode for next generation electric storage technology due to its low density, ultrahigh theoretical specific capacity, and lowest electrochemical potential. However, the practical application of lithium metal battery is severely restricted by a number of issues, such as the uncontrolled growth of lithium dendrite and poor cycle stability. Uniform lithium deposition is the core to solve these problems, but it is difficult to be achieved on bare Cu foil.

In this work, uniform Li deposition on Cu current collector was achieved via regulating the initial nucleation barrier by coating a thin Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> layer on the surface. In the plating process of Li on Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-coated current collectors, a lithiation process initially occurred by the formation of a ultra-thin Li layer. As this Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> coated layer was lithiophilic, showing an ultralow nucleation overpotential, and Li was uniformly grown in the further plating process(~2 mAh cm<sup>-2</sup>).

As a result, the modified Li||Li symmetric cells can stably cycle for more than 500 h at the current density of 1 mA cm<sup>-2</sup> for 1 mAh cm<sup>-2</sup> without internal short circuiting and exhibit small voltage polarization. NCM<sub>811</sub>||Li/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> full cells show stability more than 200 cycles, compared with those paired with Li foil.

This work proposes a new and facile strategy for inducing the uniform deposition of Li, indicating the ability of this method to fabricate stable Li metal batteries.

**Keywords:** Lithium metal battery, dendrite-free, high energy density

## SBR/CMC Binder applications for stable&green SiO/graphite composite anode of lithium-ion battery

정지향, 박민준\*

Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

Silicon monoxides (SiO) have been highlighted as promising anode due to their high theoretical capacity of 2400 mAh g<sup>-1</sup>, 6 times higher than graphite used as a conventional anode material (372 mAh g<sup>-1</sup>). However, mechanical stress, cracking, and pulverization of the anode induced by significant volume expansion of Si (>300%) during Li plating/stripping hinder the practical application of lithium ion batteries (LIBs). To achieve high energy density LIB using SiO, many studies have introduced use of SiO/graphite composite as anode materials and applied appropriate binder. In particular, as the mechanical stability of the electrode decreases due to an increase in contact resistance between particles caused by volume change of Si, indicating degradation of cells. Therefore, the use of a binder with strong adhesion is particularly valuable for stabilizing the silicon electrode. Hence, the application of SBR/CMC binders, which exhibit greater adhesion as polymer binders compared to the existing PVDF binder, is suitable for SiO electrodes. Additionally, PVDF lacks flexibility, leading to the generation of mechanical stress within the electrode during silicon volume expansion and contraction. In contrast, SBR/CMC offers elasticity and can maintain the integrity of the electrode during volume expansion.

Herein, we report high-stable and green SiO/graphite composite anode using a SBR/CMC Binder. The robust chemical bond formed when the carboxylic acid group of the SBR/CMC binder reacts with the -OH surface group of silicon preserves structure of electrode during cycling. Additionally, SBR/CMC binder has better binding strength than PVDF, thereby reducing the amount of the binder, and are eco-friendly due to the use of water as a solvent. As a result, the SiO electrode using SBR/CMC binder symmetric cell exhibited stable cycling performance, over 500 cycles in symmetric cell test at 1 mA cm<sup>-2</sup>. Moreover, the LFP||SiO full cell exhibited excellent rate capability and cycle stability with a capacity retention of 90% after 300 cycles, demonstrating excellent coulombic efficiency. This result provides a new strategy alleviate the problem of volume expansion of Si and satisfy sustainable development for next-generation silicon-based batteries.

**Keywords:** Si/graphite composite anode, SBR/CMC binder, Lithium ion battery

## Exploring the Anion-Rich Solid Electrolyte Interphase (SEI) Formation Mechanism and Its Impact on Lithium Diffusivity with Stability

이서진<sup>1,3</sup>, 류아름<sup>2</sup>, 곽진환<sup>1,3</sup>, 최지원<sup>2</sup>, 박정진<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Energy Storage Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, Korea;

<sup>2</sup>Electronic Materials Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, Korea;

<sup>3</sup>Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University, Seoul, Korea  
(jpark716@kist.re.kr<sup>\*</sup>)

In light of the increasing demand for a higher energy density secondary battery, lithium metal batteries (LMBs) have emerged as the most promising option, driven by their potential for high theoretical specific capacity (3,860 mAh g<sup>-1</sup>) and the lowest redox potential (-3.040 V vs. the standard hydrogen electrode). However, commercialization of LMBs has been restricted by the formation of Li dendrites, which can cause internal short-circuits and thermal runaway. To prevent dendritic Li growth, tuning the nucleation and growth of Li metal is essential. In this study, we achieve harmonized Li morphology and reversible Li plating/stripping by reforming a current collector through a deposition method of a metal-halide and the metal-chalcogenide. We intentionally control the operating conditions to electrochemically decompose the deposition layer. The resulting materials enable Li metal to grow homogenously without the evolution of Li dendrites. In addition, we perform an in-depth investigation of the decomposition process using various characterization such as *ex-situ* and *operando* visualization tools. These findings contribute to advancing the development of LMBs with improved performance and safety, addressing the current challenges associated with dendrite formation.

**Keywords:** Li metal battery, Li dendrites, Li morphology, metal-halide, metal-chalcogenide

## New strategies for constructing fluorine-rich solid electrolyte interphase with lithiophilic seeds in Li metal batteries

Eunseo Ko<sup>1,2</sup>, Jin Hwan Kwak<sup>1,2</sup>, Jungjin Park<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Energy Storage Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, Korea;

<sup>2</sup>Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University, Seoul, Korea  
(jpark716@kist.re.kr<sup>†</sup>)

Lithium metal anodes (LMAs) are considered the most ideal material for high energy density systems thanks to their lowest reduction potential (-3.04 V vs. the standard hydrogen electrode) and high theoretical specific capacity (3,860 mAh g<sup>-1</sup>). However, employing LMAs remains a challenge due to the formation of Li dendrites, which pose a significant threat to both battery stability and safety. Additionally, irreversible dendritic Li growth continuously consumes the lithium and electrolyte by the repetitive formation of solid electrolyte interface (SEI) layers. Therefore, previous researches have explored the use of lithium fluoride (LiF) as SEI component, not only to prevent additional side reactions but also to facilitate Li-ion transportation through this SEI layer. In this study, we introduce *ex-situ* artificial layer to lithium metal using a simple solution based control method to form lithium-metal alloys as well as a LiF-rich SEI layer. We control the thickness of the SEI and the amount of Li-metal alloys by varying the concentration of the solution. As the result, we achieve reduced nucleation overpotentials and long-term cycle lives because Li-metal alloys act as the lithiophilic seeds, and LiF-rich SEI enables uniform and facile lithium transport.

**Keywords:** lithium metal batteries, artificial SEI layer, lithium-metal alloys, Li dendrite, lithiophilic seeds

## 리튬 기반 질소 환원 시스템 내 이온성 액체의 화학적 성질에 따른 효과 분석

양성빈, 추진우, 신병하<sup>\*</sup>

한국과학기술원  
(byungha@kaist.ac.kr<sup>†</sup>)

암모니아는 여러 화합물들의 합성 전구체로써 전반적인 생활에 필수적인 화합물일 뿐만 아니라 리튬 이온 기반 수화물 및 압축 수소에 비해 굉장히 높은 단위 부피당 에너지 밀도를 가지고 있고 저장 및 운송도 압축 수소에 비해 월등히 쉬워 저탄소-수소 운반 매개체로서 주목받고 있습니다. 하지만 공급되는 암모니아 생산의 90% 이상은 하버-보시 과정을 이용하고 있으며 고온 및 고압 환경 (400~600 °C, 200~400 atm) 에 의한 높은 에너지 소모 및 대량의 이산화탄소 방출에 의한 문제를 가집니다. 이에 따라 여러 방식의 전기화학적 질소 환원 시스템이 연구되고 있으며, 그 중 리튬 기반 암모니아 생산 반응(Li-NRR)은 전기도금된 리튬 금속이 질소와 자발적으로 반응하여 질화리튬을 형성한 후 양성자와의 추가적인 반응으로 암모니아를 합성합니다. 높은 반응속도 및 페러데이 효율로 Li-NRR 은 주목을 받고 있으나 에너지 효율이 아직 하버-보쉬법에 비해 많이 낮으며, 이에 대한 원인으로는 고전압 조건에 따른 다량의 전기에너지 소모, 고전압 환경에 의한 용매와 리튬 전구체, 수소 이온 운반체 사이에 발생하는 여러 복잡한 부반응들이 대표적 요인입니다. 이 중 다량의 전기에너지 부분은 Li-NRR 반응 속도 향상을 위해 일정 수준 이상의 전류 밀도를 가하게 되면 전해질에 의한 저항 소모가 큰 비중을 차지하게 됩니다. Li-NRR 에 주로 사용되는 에탄올을 일라이드 형태로 변환가능한 이온성 액체(ILs)로 대체한다면 전해질에 의한 저항 소모를 줄일 뿐만 아니라 수소생산 부반응 억제 등 여러 효과들을 기대할 수 있습니다. 본 연구에서는 이온성 액체의 화학적 성질 변화에 따라서 Li-NRR 시스템의 성능 변화가 어떤 경향을 보이는지 확인 및 추론하였습니다.

**Keywords:** 질소 환원, 리튬, 이온성 액체

## High-Performance Triboelectric Nanogenerator Based on Embossed Structures

Seung Ju Kim<sup>†</sup>

Division of Advanced Materials Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT)

(ksin137@kRICT.re.kr<sup>†</sup>)

Triboelectric Nanogenerators (TENGs) have gained prominence due to their low cost and high performance. Achieving superior TENG performance hinges on two critical factors: selecting materials with a substantial potential difference and maximizing the contact area between these materials. Here, we report high-performance TENG based on embossed structures by using two materials, polyfluoroalkoxy (PFA) and silica, known for their significant potential difference. Moreover, we enhance the output performance of TENG by optimizing the effective surface area through a silica embedding process. In comparison to a flat aluminum (Al) material, an embedded silica layer demonstrates a higher positive charge potential and a more extensive surface area, resulting in elevated output voltages and currents. To optimize the power density of TENG, we adjust an embedded silica layer by controlling the embedding temperature and time. Our investigation systematically examines the relationship between the TENG's output and various heights of exposed silica particles. This research represents a promising advancement in TENG technology, with potential applications in wearable devices and electronics.

**Keywords:** TENG, Embossed structures, embedding, silica, surface area

## 전극 후막화를 위한 선형 도전재로서의 고농도 나노카본 분산액 제조 기술 개발

강민서, 박지선\*

한국전자기술연구원  
(jisun.park@keti.re.kr<sup>†</sup>)

전기차, 전력저장장치 시장의 본격적인 형성에 따라, 리튬이온전지의 사용시간 증대 및 수명특성 개선이 요구된다. 이에 장수명/고에너지밀도 전지를 설계하기 위해서는 후막 전극의 낮은 전기 전도도를 개선하고, 단위면적당 활물질의 적재량을 높일 수 있는 전도성 첨가제가 요구된다. 현재 상용되는 전도성 첨가제인 카본블랙의 경우, 전도성 경로를 형성하기 위해 다량(~10wt%)이 필요하고, 그에 따라 활물질 함량이 감소하기 때문에 이차전지의 용량 증대에 한계가 존재하게 된다. 그에 반해, 선형 도전재인 나노카본은 2wt% 이내의 낮은 함량에도 불구하고 네트워크된 전도성 경로를 형성할 수 있기 때문에 고에너지밀도 전지 구현을 위해서는 나노카본 도전재의 개발이 필수적이나, 전극 조성물과의 상용성이 높은 고농도 나노카본 분산액을 개발하는 데는 아직 한계가 있다.

본 연구에서는 고전도성, 고종횡비를 갖는 나노카본의 물리/화학적 표면개질 공정을 확립하여 고농도/고분산성의 이차전지용 나노카본 분산액을 개발하였다. 이후 고농도 나노카본 분산액을 적용하여, 균질성이 높은 극판을 구성하였고, 이를 음극 전극으로 구현하여 전기화학 평가를 수행하였다.

**Keywords:** 탄소나노튜브, 분산액, 리튬이온전지, 도전재

## Hybrid Piezo/Triboelectric Nanogenerators for High- Performance Energy Harvesting

Eun Jung Lee, Taesu Kim, Sungmook Jung, Youngmin Choi, SuYeon Lee<sup>†</sup>

한국화학연구원  
(sylee@kriect.re.kr<sup>†</sup>)

With the development of the Internet of Things and portable electronic devices, the sustainable energy supplies without the recharging and replacement of the charge storage device have become increasingly important. Among various energy harvesters, triboelectric nanogenerators (TENGs) are attracting attention due to their high instantaneous output, wide selection of available materials, environmentally friendly and inexpensive manufacturing processes, and various modes of operation tailored to the target application. Here, we propose a novel hybrid piezo/triboelectric nanogenerators (PTENG) composed of piezoelectric composite layer with controlled piezoelectric polarization. During contacting and separation, piezoelectric charges are induced on the composite layers, which in turn drive electrostatic induction and enhance the performance of the PTENG. Therefore, it is possible to have high output energy by controlling the surface more negatively or positively compared to the existing physical properties.

**Keywords:** Triboelectricity, TENG, Triboelectric nanogenerator, polarization, Piezoelectric

## Development of $\text{Li}_2\text{M1}_x\text{M2}_{(1-x)}\text{O}_3$ layered cathode with new compositions: Pioneering Next-Generation Lithium-ion Battery

윤상연<sup>1,2</sup>, 박정진<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Energy Storage Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, Korea;

<sup>2</sup>Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University, Seoul, Korea  
(jpark716@kist.re.kr<sup>†</sup>)

Lithium-ion batteries (LIBs) are pivotal in portable electronics and electric vehicles. The continuous drive for higher energy densities has directed attention to innovative cathode materials. Notably, the  $x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x) \text{LiMO}_2$  structures, with M including Mn, Ni, and Co, can achieve capacities over 200 mAh/g, with  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  acting as a lithium reservoir during charging and its integration into traditional  $\text{LiMO}_2$  structures gaining popularity. Concurrently, there's a growing interest in the standalone usage of high-capacity  $\text{Li}_2\text{MO}_3$ -type cathodes, extending beyond just  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$ . However, a challenge arises with these cathodes because of performance issues linked to oxygen redox reactions. As a solution, composite  $\text{Li}_2\text{M1O}_3$ – $\text{Li}_2\text{M2O}_3$  cathodes have emerged, offering adjustable redox activities based on their composition and voltage.

In this study, we are targeting the screening of metals designated as M1 and M2 within the structure  $\text{Li}_2\text{M1}_x\text{M2}_{(1-x)}\text{O}_3$ , using a variety of materials and compositions. The primary concerns include the synthesis parameters and the potential synergy of the two metal materials to form an integrated compound within the  $\text{O}_3$  framework. Our end goal is to discover materials that can significantly enhance the capacity and overall performance of these cathode structures. By achieving this, we hope to set new benchmarks in the realm of LIB technologies and offer pathways for further advancements in battery systems.

**Keywords:** Lithium-ion batteries (LIBs),  $\text{Li}_2\text{MO}_3$ -type cathodes, composite  $\text{Li}_2\text{M1O}_3$ – $\text{Li}_2\text{M2O}_3$  cathodes

## Lithiophilic Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> copper current collector for High Energy Density and ultrathin Lithium metal Batteries

강지현<sup>1</sup>, 박민준<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

Lithium-ion batteries (LIBs) have been widely used in electric vehicles (EV), and electric storage units. However, graphite is used as the anode for LIBs, and has a low energy density (200~250 Wh/kg). Therefore, LIBs are difficult to apply next-generation batteries. To address the challenge, Lithium metal anode (LMA) with high energy density (400-500 Wh/kg) and theoretical capacity (3860 mAh/g) has been studied for high-capacity batteries. Although the LMA has a high theoretical specific capacity, there are issues such as unstable solid electrolyte interphase (SEI), and large volume expansion of Li metal anode during charging/discharging. Furthermore, Cu foil as a current collector is low lithiophilic to lithium, which causes difficulty in preparing a uniform Lithium metal anode, thereby forming Li dendrite.

Herein, we report the fabrication of 10 to 50  $\mu\text{m}$  ultrathin Li metal anodes via the magnetron sputtering method of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> deposition on copper foil for in situ alloying with molten lithium. With the assistance of lithiophilic Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> coating, the Li-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> alloy improves surface wettability, which helps realize the formation of smooth and uniform Li metal anodes. Compared to the bare Li electrode, the Li/LiSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub> anode helps to reduce the nucleation barrier, effectively inhibit the dendrite growth, and show a long cycle life and high average Coulombic efficiency. We conducted XRD analysis to confirm lithium silicon nitride layer on Li metal electrode, and SEM analysis shows that silicon nitride layer can inhibit the growth of lithium dendrites after 50, 100, and 200 cycles. This is because the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-coated Cu current collector realizes a low interfacial impedance, and increases electrical conductivity and inhibition of impurity layers such as Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, thereby reducing polarization resistance. As a result, the Li-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Cu electrode exhibited stable cycling with low overpotential ( $\sim 18$  mV), during 1000 cycles in symmetric cell test at 1 mA/cm<sup>2</sup> and 2 mA/cm<sup>2</sup>. LiCoO<sub>2</sub>||Li/LiSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub> full cell demonstrates excellent capacity retention performance and coulombic efficiency(0.5C, 300 cycles). This work provides a significant advancement toward fabricating ultrathin lithium metal anodes for next-generation lithium metal-based batteries.

**Keywords:** Li metal battery, Li metal anode, ultra-thin Lithium metal anode

## FeOOH-induced electronic modulation of metal-organic framework-derived CoNi-ZLDH for overall water splitting

ZHENG FANG, Jin Hyeok Kim<sup>\*</sup>

Chonnam National University

(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>\*</sup>)

Developing and designing inexpensive and efficient bifunctional electrocatalysts with high activity and long-term stability is highly essential for overall water splitting (OWS). Herein, a facile synthesis route is demonstrated to produce a hierarchical nanostructure comprising MOF-based cobalt-nickel layered double hydroxides (CoNi-ZLDH) nanosheets (NSs). These NSs are further coupled with self-supported FeOOH nanoparticles (NPs) demonstrating remarkable stability and high efficiency for water electrolysis. The resulting FeOOH/CoNi-ZLDH electrocatalyst possesses high intrinsic activity and outstanding electrical conductivity along with well-defined 3D structure having enhanced active electrochemical surface area. The FeOOH/CoNi-ZLDH functioning as a bifunctional electrocatalyst exhibits excellent performance in both oxygen evolution reaction (OER) with an overpotential of 226 mV at 50 mA cm<sup>-2</sup> and hydrogen evolution reaction (HER) with an overpotential of 203 mV at 10 mA cm<sup>-2</sup>. It is worth noting that the FeOOH/CoNi-ZLDH possesses outstanding durability for the OER, lasting for more than 150 hours at 50 mA cm<sup>-2</sup> without any noticeable change in performance. Additionally, to drive the OWS, electrode system requires a cell voltage of only 1.645 V to reach at a current density of 10 mA cm<sup>-2</sup>. Our work emphasizes the modulation of the local electronic structure of hollow hierarchical CoNi-ZLDH via strong interfacial interactions with FeOOH NPs for the rational design of efficient bifunctional electrocatalysts derived from MOF.

**Keywords:** Metal-organic framework, Hollow hierarchical structure, Overall water splitting, FeOOH

## Chelating Amino Acid Additive for Both Zn and Mn Electrolyte of Zn-Mn Redox Flow Battery

장혁준<sup>1</sup>, 박민준<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>\*</sup>)

Redox flow battery(RFB) has been an attractive option for energy storage system(ESS) involving renewable energy with intermittent nature as its power and capacity could be designed independently. Various redox couples could be applied for RFB, but the combination of Zn and Mn exhibited high voltage, energy density and low cost than other redox couple combinations. However, they still have low applicability for its low reversibility of Mn redox couple and Zn dendrites induced by inhomogeneous  $\text{Zn}^{2+}$  ion flux during Zn plating/stripping process. Metal ion or organic additives and catalysts were applied by researchers. These strategies could be good solutions for individual redox couples for RFB, but it could not be solutions for both.

Herein, we applied aspartic acid as chelating electrolyte additive for both Zn anode electrolyte and Mn cathode electrolyte. Aspartic acid suppressed the generation of by-product  $\text{MnO}_2$  that has inferior reversibility on neutral electrolyte. Water that was essential for  $\text{MnO}_2$  generation was effectively excluded from the solvation sheath of  $\text{Mn}^{2+}$ . In addition, aspartic acid regulated the kinetics of Zn plating process in Zn redox couple by complexing with Zn that increased the average distance from electrode and decrease the tunneling effect. Consequently, aspartic acid alleviated the generation of dead Zn and Zn dendrite. In addition, we eliminated ion exchange membrane which separates carbon felt electrodes and designed membrane-free redox flow battery. This membrane-free redox flow battery was realized by the unique nature of Zn and Mn redox couple that Zn and Mn redox couple are solid state so that there is no physical contact with each other. The anolyte and catholyte is combined by membrane-free RFB design resulting in the doubled energy density. Also, as Zn and Mn exhibits high solubility, the energy density of this membrane-free Zn Mn RFB(ZMFB) can be expanded for several times more than conventional RFBs.

As a result, the newly designed membrane-free ZMFB exhibited high energy density, cycle performance and low cost, indicating that aspartic acid was the appropriate electrolyte additive for neutral Zn-Mn flow battery. These results can be applied to other systems that use neutral solutions as electrolytes and other ions as redox couples.

**Keywords:** Redox Flow Battery, Zn, Mn, ESS, Membrane-free

## High-Voltage Redox Flow Battery with Recycled Manganese from LMO cathode

한두호<sup>1</sup>, 박민준<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University;

<sup>2</sup>Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University  
(mjpark@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

As renewable energy plays a vital role in the energy industry, redox flow batteries are in the spotlight as energy storage system (ESS) that can increase efficiency by storing generated electricity. As battery demand continues to surge dramatically, research into the recycling of battery materials is being explored extensively. Among various aqueous electrolytes, zinc-manganese redox flow batteries (ZMRFB) using the zinc anolyte and the manganese catholyte separated by two membranes independently have higher voltage (2.442V vs. SHE) compared to other flow batteries. For these reasons, numerous studies have been conducted, but the low reversibility of  $\text{Mn}^{2+}/\text{MnO}_2$  and the complex fabrication problems remain. Therefore, further research is necessary for great capability of deposition and stripping on the carbon felt cathode electrode.

In this study, we reported that cerium can suppress the disproportionation of the  $\text{Mn}^{3+}$  during the divalent and tetravalent redox reactions of manganese. To increase cycle stability while maintaining the operating voltage, we introduced the cerium added electrolyte to reach high cycle performance and low overpotential. Cerium additive electrolyte has the advantage to form reversible  $\text{MnO}_2$  and great cycle stability by two phase charge-discharge progresses. Also, we introduced bipolar membrane (BPM) with each cation and anion exchange membrane to achieve high voltage battery without electrolyte crossover problem. To achieve high voltage ZMRFB, we obtained manganese from cycled LMO cathode to suggest cathode material recycling method.

In summary, we improved the deposition/dissolution kinetics of  $\text{Mn}^{2+}$  by introducing the cerium additive on the cathode by suppressing the disproportionation of  $\text{Mn}^{3+}$ . The constructed Zn-Mn flow cell adopting additive and recycled cathode manganese not only demonstrates excellent rate performance with a high coulombic efficiency, but also benefited superior cycling stability.

**Keywords:** aqueous flow batteries, manganese, zinc, LMO

## The layered 2D Cu<sub>2</sub>WS<sub>4</sub> nanoparticles decorating rGO nanocomposite as Advanced air cathode for Flexible Zinc-Air Battery

Beelyong Yang<sup>†</sup>, Ranjith Balu, Debabrata Chanda, Mikiyas Mekete Meshesha, Seok Gwon Jang

GHS (Green H<sub>2</sub> System) Co., Ltd. Gumi-si, Republic of Korea

(blyang@kumoh.ac.kr<sup>†</sup>)

A new research trend is exploring highly efficient and prolonged catalysts for oxygen evolution reaction (OER) and oxygen reduction reaction (ORR). Even though, it remains a considerable challenge to understand electrochemical performance enhancement in this field. Herein, we synthesized an interlayered architecture of Cu<sub>2</sub>WS<sub>4</sub>@rGO nanocomposite and are reported as efficient cathode materials for flexible Zinc-Air batteries. Hierarchical porous interlayers create more active sites due to the unique interlayer architecture. As a result of the synergistic interaction between Cu<sub>2</sub>WS<sub>4</sub>@rGO interfaces, the rate of charge transfer is facilitated, the number of active sites is increased, and OER/ORR kinetics is positively influenced in an alkaline environment. Theoretical studies indicate that the interlayered architecture tuning of the electronic structure of Cu<sub>2</sub>WS<sub>4</sub>@rGO nanocomposite, which is significantly increases the electrical conductivity and catalytic activity. The prepared catalyst will be delivers an excellent half-wave potential for ORR and a low overpotential for OER. Furthermore, the quasi-solid state flexible ZACs will be fabricate and testing for commercial purpose.

### Acknowledgment

This work was supported by the Technology development Program (RS-2023-00218808) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea), Technology development Program (Project No.: S2960707) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea). By the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science, and Technology (MEST) [grant numbers: 2021R1A2C1006010]. and by the Technology development Program (RS-2023-00218808) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea)

**Keywords:** Zinc Air battery, Energy storage, Catalysis, OER, ORR

## All-3D-Printed Solid-State Microsupercapacitor

Changju Chae<sup>1</sup>, Sungmook Jung<sup>1</sup>, Youngmin Choi<sup>1</sup>, Sunho jeong<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Korea Research Institute of Chemical Technology; <sup>2</sup>Kyung Hee University  
(sjeong@khu.ac.kr<sup>†</sup>)

Electronics research has made major advances toward a new platform technology facilitating form-factor free devices in which daily objects are connected widely through ubiquitous on-chip sensor systems. In this trend, one of the most critical issues is how to power three-dimensional (3D) new-generation circuitries. In this study, we propose a characteristic strategy of shaping energy storage units on demand, through a nozzle-based 3D printing process of metallic current collector, carbon electrode, and ionic-liquid electrolyte fluids.

**Keywords:** micro super capacitor

## 납 기반 탄소복합재 음극재의 충방전 거동 분석

박제희<sup>†</sup>

한밭대학교 화학생명공학과  
(jeheep@hanbat.ac.kr<sup>†</sup>)

소듐이온 배터리는 저렴한 비용과 지구상에서 풍부하게 존재하는 소듐 자원으로 인해 차세대 에너지 저장 시스템분야에서 점점 더 주목을 받고 있다. 그러나 소듐 저장용 음극에 관한 개발 방향과 실질적인 발전 부분에서 현재 한계가 있는데, 이온 반지름이 큰 소듐 이온은 리튬 이온(각각 0.98 Å 및 0.68 Å의 이온 반지름)은 저장시 삽입반응에 제한을 받으며 리튬이온의 반응과 전혀 다른 상 전이거동을 가지고 있다. 따라서 합금반응기반의 소듐이온전지용 음극 후보 물질 중에서 다른 원소들(예: Si, Sn)보다 큰 원자 크기를 가지는 납(Pb)은 소듐 이온을 수용할 수 있는 더 큰원자사이 공간을 제공하기 때문에 빠른 소듐이온 확산이 가능한 가역적인 합금반응을 구현할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 소듐 이온 배터리를 위한 새로운 납(Pb) 기반 탄소복합체 음극 재료에 대해 연구하였다. 가격이 저렴한 산화납(PbO)과 카본 블랙을 사용하여 간단한 고에너지 볼 밀링 방법을 통해 Pb@PbO 코어-셸 나노구조의 탄소 나노복합체(Pb@PbO-C)를 새롭게 합성하였다. 탄소 매트릭스를 함유하는 나노구조는 배터리 충방전 사이클 동안 소듐 이온의 삽입/탈리에 따른 납전극의 부피변화를 효과적으로 수용함으로써, 우수한 가역 용량 특성( $\approx 300 \text{ mAh g}^{-1}$ )과 사이클 안정성을 보였으며, 이는 다른 문헌에 보고된 납기반 음극의 성능보다 우수하였다. 이에 대한 메커니즘이 싱크로트론 X-선 회절(diffraction) 및 흡수(absorption) 분석을 통해 규명되었다. 전기화학적으로 소듐이온이 합금반응을 통해 저장되는 동안에 Pb의 산화환원 반응( $\text{Pb}^{2+} \sim \text{Pb}^{4-}$ )이 가역적으로 구동되는 것을 확인함으로써 새로운 저장 메커니즘을 제시하였다. 또한 리튬이온의 저장 반응과 비교하였을 때, 충방전 반응중에 NaPb 중간상이 Zintl구조를 가지고 있는 것을 실험적으로 확인하였으며, LiPb와 다른 구조로서 전기전도도가 낮은 이온성 고체의 특성을 가지고 있어 배터리셀의 저항 증가로 이어지는 것을 확인하였고 이론적인 계산을 통해 검증하였다. 이러한 연구결과는 기존의 합금 반응 기반의 음극 물질에서는 알려지지 않았던 새로운 결과로서 납 기반 재료의 소듐/리튬 저장 메커니즘에 대한 새로운 통찰을 제공하여, 효과적인 저비용 고성능 음극재료로 활용되기 위한 개발 방향성을 제시한다.

**Keywords:** 소듐이온전지, 음극재, 납

## Advancement of Energy Conversion Efficiency with Machine Learning-Enhanced Light Scattering Materials and Plasmonic Effects

Gangasagar Sharma Gaudel, Won-Yeop Rho<sup>†</sup>, Seung-Ju Yu

전북대학교 에너지- AI 융합공학대학원

(rho7272@jbnu.ac.kr<sup>†</sup>)

In recent years, the perovskite solar cells (PSCs) have gained higher efficiency, however PSCs face challenges related to their ability to capture light effectively and transport electrons efficiently. The objective of this research was to improve the energy conversion efficiency (ECE) of PSCs by introducing materials that scatter light and investigating the plasmonic effects on the electron transport layer (ETL). Machine learning (ML) was utilized to predict the enhancements in ECE resulting from the inclusion of light-scattering materials in PSCs. Following the predictions, PSCs by using a TiO<sub>2</sub> composite film on the ETL were fabricated. Additionally, the utilization of silver nanoparticles (Ag NPs) was carried out to enhance ECE by plasmonic effects within the PSCs. The process of fabricating and analyzing these plasmonic PSCs validated their capability to reach greater levels of efficiency. In conclusion, this study demonstrates how machine learning can be applied to enhance the performance of PSCs by integrating scattering materials and employing Ag NPs.

**Keywords:** perovskite solar cell, scattering material, plasmon, machine learning

## PEC water-splitting photocathode and thin-film solar cells based on $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ materials and their properties according to the S/Se ratio

Jang Suyoung, Kim Jin Hyeok<sup>†</sup>

Chonnam National University

(jinhyeok@jnu.ac.kr<sup>†</sup>)

Kesterite-based materials are a non-toxic and earth-abundant material that is used for solar cells and PEC water splitting. In both devices, the performance of the kesterite material for light absorption is very crucial. In particular, in PEC, photocurrent can be improved by adjusting various factors such as electrolyte, electrode, and contact. In this study, the characteristics of PEC water-splitting were analyzed by controlling the bandgap energy of the electrode. The bandgap energy of the electrode was controlled by adjusting the ratio of S and Se of the kesterite-based  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ . The bandgap energy was adjusted from 1.0 eV to 1.5 eV, and the electrode structure was composed of Mo/ $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ /CdS/ $\text{TiO}_2$ /Pt and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.5 M (pH 1.00) were used as electrolyte. Also, solar cell structure was composed of Mo/ $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ /CdS/i-ZnO/AZO/Al. Finally, the characteristics of the electrodes and solar cells were analyzed through solar simulator, PEC system, etc. As a result, under CZTSSe thin film conditions, solar cell showed the best performance with 9.5% and photocurrent in water splitting with  $15 \text{ mA/cm}^2$ . The results of this study are expected to contribute to the production of PV and PEC devices using CZTSSe in the future and further to the implementation of PV-PEC systems.

**Keywords:** photoelectrochemical, solar cells, thin film, kesterite, hydrogen

## Zinc(II) Coordination Compounds for Chemical Sensors

김현서, 이해리<sup>\*</sup>

한남대학교 화학과  
(haeri.lee@hnu.ac.kr<sup>\*</sup>)

Zn(II) coordination polymers allow to detect a toxic chemical 4-nitrophenol by electrochemical signals. The electrochemical measurement is a highly sensitive method providing evidence for chemical reactions on the surface of electrode. Hereby, we designed and synthesized new coordination structures containing imidazolyl donor ligands and Zn(II). The presence of microcrystals on the working electrode enhanced the redox signals.

**Keywords:** sensing

## Synthesis of 2D Cu(II) Coordination Networks and its applications

정은비, 이해리\*

한남대학교 화학과  
(haeri.lee@hnu.ac.kr<sup>\*</sup>)

We successfully formed Cu(II) complexes, which crystal structures were analyzed single crystal X-ray diffractometer. Notably, the coordination environment and counter anions surrounding the Cu(II) ion played a pivotal role in determining the overall skeletal structure of the complexes. Our ongoing research focuses on further exploring the structural effects and implications of Cu(II) networks. By gaining a deeper understanding of these factors, we aim to enhance our knowledge of the properties and potential applications of copper-based coordination compounds. The reversible oxidation-reduction behavior of copper metal ions is a fascinating phenomenon with wide applications in the fields of catalysts and sensors. In our study, we aimed to construct coordination networks incorporating Cu(II) by designing and synthesizing a bis(monodentate) *N*-donor ligand. The ligand was thoroughly characterized using advanced spectroscopic techniques, including <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, COSY NMR spectra, and mass spectrometry.

**Keywords:** Cu(II) complexes, 4-NP Sensing

## Design and Integration of a Gas Sensor Module that Indicates the End of Service Life of a Gas Mask Canister

이성우<sup>1</sup>, 박상환<sup>2</sup>, 이창영<sup>2,3†</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST);

<sup>2</sup>School of Energy and Chemical Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST);

<sup>3</sup>Graduate School of Carbon Neutrality, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

(cylee@unist.ac.kr<sup>†</sup>)

In a filtration system, a chemical cartridge packed with porous adsorbents needs to be replaced when its maximum adsorption capacity is exceeded. An end of service life indicator (ESLI) informs when to replace the cartridge. However, ESLI technology for filtration of toxic gases is overlooked despite high toxicity of the gases even at low concentrations. In this study, a real-time ESLI is demonstrated for filtration of chemical warfare agents by inserting four chemiresistors made of carbon nanotubes into the adsorbent layer of a canister for gas masks. The sensors are installed on a flexible printed circuit board with a 3D structure to minimize the channeling effect in the canister. As the breakthrough of dimethyl methylphosphonate, a nerve agent simulant, progresses in the canister, the resistance of the sensors increases sequentially with time. The inflection points in the responses from sensors designated #1–#4 indicate that the percentage of remaining service life is 75%, 50%, 25%, and 0%, respectively. The ESLI potentially applies to a wide range of toxic gases and cartridge designs, regardless of the sensitivity and selectivity of the sensors, as supported by the breakthrough of ammonia as well as the results from a smaller canister.

<https://doi.org/10.1002/admt.202100711>

**Keywords:** carbon nanotube (CNT), Gas chromatography (GC), gas sensor, End of service Life (ESLI), chemical warfare agents(CWAs), Toxic industrial chemicals (TICs), Chemiresistor

## The Synthesis of H<sub>2</sub>O@SiO<sub>2</sub> and PCM@SiO<sub>2</sub> Micelles For Energy Saving Materials

김창열<sup>†</sup>

Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech  
(cykim15@naver.com<sup>†</sup>)

Encapsulation of PCMs have been attracted many attentions due to their high energy storage system for their applications such as energy efficient buildings and smart textiles. In this study, we prepared n-tetradecane-containing silica microsphere particles via oil-in-water emulsion process and the PCM@SiO<sub>2</sub> micro-capsule powders was mixed with cement for thermal energy storage. For the synthesis of silica micelle, oil phase was prepared by mixing n-tetradecane and TEOS, and water phase was also formed by mixing distilled water and ethanol (1.4:1 molar ratio) and adding CTAB as an emulsifier. We mixed the oil phase and the water phase, and added NH<sub>4</sub>OH as a catalyst for the hydrolysis and polycondensation of TEOS. Freeze drying was conducted to produce dried PCM-SiO<sub>2</sub> micelle powders. For the evaluation of energy saving material, we composited PCM@SiO<sub>2</sub> micro-capsules/cement with various volume ratio. We expect that this composite material is applied for an attractive energy saving material.

**Keywords:** phase change material, silica, micelle, encapsulation, emulsion

## Improved H<sub>2</sub>S gas sensing mechanism in hybrid nanostructures of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZnO

Myung Sik Choi<sup>1</sup>, Sun-Woo Choi<sup>2</sup>, Changhyun Jin<sup>3†</sup>

<sup>1</sup>Kyungpook National University; <sup>2</sup>Kangwon National University; <sup>3</sup>Yonsei University  
(z8015026@yonsei.ac.kr<sup>†</sup>)

The main reasons for improving the response to H<sub>2</sub>S gas by forming a ZnO shell on one-dimensional In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanowires were analyzed. While most n-type semiconductors react more to oxidizing gases than to reducing gases, these nanocomposites actually showed improved sensing characteristics in reducing gases. In particular, among reducing gases, H<sub>2</sub>S gas has a weaker bonding energy than other gases, so the movement of electron carriers with the ZnO surface can occur most smoothly. In addition, the interface between In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZnO produces a heterojunction effect, resulting in a larger change in resistance compared to bare In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. In order to understand the improved gas sensing characteristics of H<sub>2</sub>S, analyzes such as XRD, EDX, SEM, and TEM were sequentially performed.

**Keywords:** Gas sensors, Metal oxide semiconductor, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO.

## 전기로에서 폐플라스틱을 활용한 친환경 가탄재 개발 및 대체 가능성

박준혁<sup>1</sup>, 안효주<sup>1</sup>, 권혁준<sup>1</sup>, 배병진<sup>1</sup>, 이종원<sup>1</sup>, 박노근<sup>1\*</sup>, 강영조<sup>2</sup>, 이은진<sup>3</sup>, 김효민<sup>3</sup>

<sup>1</sup>영남대학교 공과대학, <sup>2</sup>동아대학교 공과대학, <sup>3</sup>머티리얼솔루션파크  
(nokeun\_park@yu.ac.kr<sup>\*</sup>)

최근 빠르게 발전하는 각종 산업에 따라 온실가스 배출량이 지속적으로 증가하고 있다. 이산화 탄소 배출을 0(Zero)로 만드는 ‘넷-제로(Net-Zero)’가 전 세계적으로 화두가 되고 있으며, 철강 산업 분야 또한 이산화 탄소 배출 저감은 풀어야 할 과제이다. 그중 전기로를 이용한 제강공정에서는 부산물로 슬래그가 발생하게 되고, 슬래그 내부에 가탄재를 주입하게 된다. 투입된 가탄재는 FeO와 반응하면서 슬래그 포밍을 형성하게 되는데, 슬래그 포밍이 활성화될수록 전력, 전극 소모 감소, 전기로 효율 향상과 같이 다양한 장점이 존재한다. 따라서 2050 탄소 중립 및 ESG 경영을 위한 CO/CO<sub>2</sub> 저감 및 슬래그 포밍을 활성화에 목적을 두고 본 실험을 진행하였다.

본 연구에서는 코로나 팬데믹 이후 가정에서 사용된 폐플라스틱의 사용량이 급격하게 증가하면서 폐플라스틱의 리사이클링의 필요성이 대두됨에 따라 전기로 공정에 사용되는 가탄재인 코크스의 일정량을 대체하여 슬래그 포밍을 대체 가능성을 판단하고자 실험을 진행하였다.

실험을 위해 슬래그의 용융점보다 높은 1500°C 박스로 내부에 일정 비율로 투입한 폐플라스틱과 가탄재, 슬래그가 혼합된 펠렛을 측면에서 관찰하였다. 또한 관찰한 데이터를 바탕으로 시간에 따른 높이와 면적 변화율을 분석하고, X-ray CT 및 SEM, OM을 이용하여 내부 반응 흔적을 관찰하였다. 실험결과 중 폐플라스틱을 첨가한 시편에서 다수의 미소기공을 관측하였고, 이는 구성 성분인 탄소보다 작은 수소 혹은 수소결합 기체 분자 등에 의해 포밍 높이와 면적에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한, 폐플라스틱이 연소되면서 H<sub>2</sub>가스 및 CO<sub>2</sub>가 발생하며 포밍이 활발하게 나타나는 것을 관찰함에 따라 실제 조업에 적용하였을 때 가탄재 사용량 및 비용 저감 및 CO/CO<sub>2</sub>발생량 감소 등의 효과를 기대한다

**Keywords:** 넷-제로, 슬래그 포밍, 폐플라스틱

## Simultaneous Diagnosis of Multiple Cancers using Plasmonic Paper Sensor through SERS Analysis of Human Urine

Seo Hyo-jeong, Ho Sang Jung<sup>†</sup>

Department of Nano-Bio Convergence, Korea Institute of Materials Science (KIMS), Changwon, Gyeongnam 51508,  
Republic of Korea  
(jhs0626@kims.re.kr<sup>†</sup>)

Practical human biofluid sensing requires a sensor device to differentiate patients from the normal group with high sensitivity and specificity. Therefore, a fast, facile, and label-free urine metabolite analysis technique is required for the development of on-site urine diagnostic platform. Here, we developed a three-dimensional plasmonic nanosponge (3D-NS) on a paper substrate for diagnosis of multiple cancers via surface-enhanced Raman scattering (SERS) analysis of human urine. The 3D-NS was fabricated through a simple one-step gold reduction process, forming multilayered nanosponge-like structure, which has strong electromagnetic field enhancement through multiple hot spots. Human urine samples included normal, pancreatic, prostate, colorectal, and lung cancers are directly absorbed onto the paper-based 3D-NS, and the SERS signals of complicated urine components are obtained without any pretreatment. The SERS spectra are analyzed *via* the deep learning method, which successfully classify cancer patients from the normal group with high sensitivity and specificity. The 3D-NS sensor hold great promise as a tool for the label-free molecular identification of cancer biomarkers in human urine, thus facilitating the precise classification of multiple cancer types.

**Keywords:** Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS), biosensor, on-site diagnosis, urine sample

P-103

## Three-dimensional graphene nanostructures induced from cellulose-based biomass for Enhanced CO<sub>2</sub> Adsorption Capacity and Selectivity

Beomjin Ko<sup>1</sup>, Jae Gyu Ahn<sup>1</sup>, Taeyoung Park<sup>1</sup>, Kwang Hyun Park<sup>1</sup>, Nam Chul Kim<sup>1</sup>, Kwang Young Jeong<sup>2</sup>,  
Sung Ho Song<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University, Cheonan, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University, Cheonan, Republic of Korea  
(shsong805@kongju.ac.kr<sup>†</sup>)

Activated carbons are well known as an excellent adsorbent due to its large specific surface area, and thermal/chemical stability. However, the non-uniform porosity and wide pore size distribution of activated carbons can reduce adsorption efficiency. In this study, we present a practical and eco-friendly method to generate uniform and highly porous 3D graphene nanostructures from woody biomass through a series of delignification, carbonization, and activation processes. The adsorption capacity and selectivity of these structures for CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub> gases as well as binary gas mixtures were evaluated. Through textual and chemical analysis, it was confirmed that balsa wood after the delignification had a layered structure in which cellulose fibers were interconnected. Additionally, we confirmed that the activated carbons prepared in this experiment formed 3D network of graphene sheets with a large specific surface area (~1480 m<sup>2</sup>/g), pore volume (0.581 cm<sup>3</sup>/g), and a uniform micro-porosity in the range of 5 to 10 Å. The generated 3D graphene network significantly improved the adsorption capacity for CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub> gases and showed clear selectivity in binary gas mixtures. The experimental data for both pure gas and binary mixtures are in good agreement with the Sips isotherm model. Our findings suggest that this biomass-derived 3D structure has potential as a monolithic adsorbent for application to CO<sub>2</sub> capture.

**Keywords:** Carbon dioxide capture, Biomass, Graphene, Porous structure, Methane

## 새로운 타입의 투명한 필름형 마스크 필터 개발

이우진<sup>1,2</sup>, 엄현진<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부문, <sup>2</sup>연세대학교 기계공학과  
(hyeonjin@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

코로나19 사태로 인해 사람들은 마스크의 중요성을 알게 되었으며, 많은 사람들이 마스크를 착용한다. 하지만, 기존 마스크는 거의 섬유질의 필터를 사용하기 때문에 빛에 대한 투과율이 매우 낮다.

본 연구에서는 높은 투명성과 포집효율을 보여주는 새로운 투명 마스크 필터를 개발하였다. 마스크 필터는 필름에 간단한 제조공정을 통하여 미세기공 필름 필터가 제작되었다. 미세기공 필름 필터의 투명도 및 여과성능을 확인하기 위하여 집진효율과 압력손실 및 광투과도를 조사하고, 기존 섬유상 필터와 특성을 비교하였다. 다공성 구조의 미세 기공 필름은 높은 투과도와 99%의 여과 성능을 보여주었다. 또한, 미세기공 필름필터는 상용 마스크 필터에 요구되는 방수성 및 방오염성을 보여주며 새로운 타입의 투명한 마스크 필터의 가능성을 보여주었다.

**Keywords:** 필름, 마스크 필터, 광투과도, 미세기공

## 미세먼지 및 질소산화물 저감을 위한 산업용 가스 포집 필터 개발

이우진<sup>1,2</sup>, 이용운<sup>1</sup>, 엄현진<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부문, <sup>2</sup>연세대학교 기계공학과  
(hyeonjin@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

연소시설물에서 배출되는 질소산화물은 미세먼지의 원인물질로 널리 알려져 있으며 이를 저감하기 위하여 많은 연구가 진행되어지고 있다. 하지만, 규모가 작은 사업장에서 이를 제거하는 SCR과 같은 설비를 설치하기에는 많은 비용이 소모되기 때문에 산업특성에 맞는 효율적인 설비방식이 개발되어야 한다.

본 연구에서는 내열성과 내화학적성이 우수한 PTFE 소재의 필터에 이산화망간을 코팅하여 미세먼지뿐만 아니라 질소산화물을 동시에 제거하는 필터를 제조하였다. 필터표면에 미세먼지가 포집되고 이산화망간을 통하여 질소산화물을 제거할 수 있었으며, 기존 PTFE 필터와 비교하였을 때 필터의 압력손실의 큰 증가없이 높은 여과성능을 보여주었다. 새로운 이산화망간이 코팅된 PTFE 필터는 안정적인 압력손실 및 높은 효율로 집진설비의 비용 절감을 보여줄 수 있을 것으로 판단된다.

**Keywords:** NO, 미세먼지, PTFE, 이산화망간

## Synthesis and Characterization of Non-Toxic Waterborne Polyurethane dispersions for Antifouling

Daesin Kim<sup>1</sup>, Il Jin Kim<sup>1†</sup>, Ji Won Cheon<sup>1</sup>, Ji Hyeon Moon<sup>1,2</sup>, Dong Jin Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Footwear and Leather Technology; <sup>2</sup>Pusan National University  
(ijkim@kiflt.re.kr<sup>†</sup>)

In general, tar-based anti-fouling coatings are used to prevent marine pollution caused by organisms adhering to marine structures, such as ships and fishing nets. However, while these coatings demonstrate excellent anti-fouling properties and UV resistance, they raise concerns related to environmental hormones and hazards, necessitating the development of alternative materials. Waterborne polyurethane (WPU), which includes urethane bonds, stands out as an environmentally friendly resin, offering a wide range of material design possibilities through various approaches like the incorporation of curing agents. In this study, non-toxic WPU resins with anti-fouling properties were synthesized to protect marine structures from biofouling. Furthermore, hydrophobic acrylate and silane molecular structures were introduced to enhance its anti-fouling performance. To determine the mechanical properties of the synthesized WPU film, we measured tensile strength and examined the contact angle on both water and hexadecane to evaluate its anti-fouling characteristics.

**Keywords:** Antifouling, Waterborne polyurethane, Acrylate, Silane

## Relaxor ferroelectric polymers for matrix of piezoelectric ceramic particles-based nanocomposite devices

김현승<sup>1</sup>, Seung-Hyun Kim<sup>2</sup>, 정창균<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>전북대학교; <sup>2</sup>Brown University  
(ckyu@jbnu.ac.kr<sup>†</sup>)

Piezoelectric nanocomposites consisting of a polymer matrix and ceramic fillers are candidate components of flexible, wearable, and self-powered electronic devices. The physical discrepancy between ferroelectric polymers and ceramics in a piezoelectric interface makes it difficult to assemble efficient hybrid piezoelectric nanocomposites without polarization and extraneous artifacts. Here, we describe the effect of a relaxor ferroelectric terpolymer matrix on the piezoelectric output, which can enhance the energy harvesting or sensor performance of piezoelectric composite device of nanocomposite generators with filler nanoparticles of lead zirconium titanate. The dielectric property and reduced ferroelectric hindrance of the proposed terpolymer matrix provides more poling to align the polarization of piezoelectric ceramic fillers compared with a normal ferroelectric copolymer matrix. Therefore, relaxor ferroelectric polymers can be better than normal ferroelectric polymers as the matrix of hybrid polymer-ceramic piezoelectric nanocomposite. This research provides important physical information about the interface between a polymer matrix and ceramic fillers in flexible piezoelectric nanocomposite applications.

**Keywords:** Ferroelectric, Relaxor, Piezoelectric, Energy Harvesting, Nanocomposite Generators

## Wafer-scale gold nanotrench arrays for SERS detection of nanoplastics

Ji hyeon Heo<sup>1</sup>, Jinju Kim<sup>1</sup>, Hojun Lee<sup>1</sup>, Jinhyung Lee<sup>2</sup>, Hee-Kyung Na<sup>2</sup>, Jung-Sub Wi<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Safety Measurement Institute, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 34113, Republic of Korea  
(jungsub.wi@hanbat.ac.kr<sup>†</sup>)

To achieve a surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) sensor that is easy to make and use, we propose periodic gold nanotrench arrays, which can be fabricated without surface contamination and used without intricate sensor alignment. Deep and narrow plasmonic nanotrenches for amplifying local electromagnetic fields were reliably generated on a wafer-scale substrate by nanoimprint lithography and oblique-angle deposition of Au thin film. Electromagnetic simulations and Raman measurements demonstrate that the proposed plasmonic nanostructures function as SERS sensors, enabling picomolar sensitivity of 50-nm polystyrene nanoparticles. Furthermore, we successfully confirmed the detection capability of nanoplastics leached from daily disposable products.

**Keywords:** SERS, Raman, plasmonic, nanostructure, nanoplastic

## 간접촉매히팅방식을 대체하기 위한 직접촉매히팅방식 제안과 유해가스 저감 비교

엄현진<sup>1\*</sup>, 이우진<sup>1,2</sup>, 이용운<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부문, <sup>2</sup>연세대학교 기계공학과  
(hyeonjin@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

본 연구에서는 기존의 간접촉매히팅방식으로 유해가스의 온도를 높여 촉매 근처에서의 유해가스 저감을 진행하는 공정을 대체하기 위하여, 직접촉매히팅방식을 제안하였다. 제안하는 직접촉매히팅방식은 촉매에 맞는 하부기판에 히터를 제작하여 촉매 부근의 온도를 높여 유해가스를 저감하는 방식이다. 직접촉매히팅의 효과를 높이기 위해 촉매/히터/필터의 구성으로 소자를 설계하였으며, 해당 소자에 비표면적이 높은 촉매를 코팅하는 방법을 소개한다. 본 연구에서 사용된 촉매 소재를 각각 간접히팅방식과 직접히팅방식에 적용하여, 유해가스의 저감효율과 히팅에 사용된 전력량을 비교하였다. 동일한 촉매 소재를 사용하였음에도 불구하고 직접히팅방식이 간접히팅방식보다 높은 유해가스 저감효율과 낮은 전력량이 사용되는 것을 확인하였다. 제안된 직접촉매히팅방식의 소자를 통하여 저전력을 사용하면서도 높은 유해가스 저감을 기대할 수 있다.

**Keywords:** 직접히팅, 간접히팅, 촉매, 유해가스, 휘발성유기화합물

## pH반응형 색변환 소재를 이용한 원격 감시형 유해화학물질 누출감지 시스템에 관한 연구

한동철\*, 변상봉, 이성훈, 정용안, 조수현

구미전자정보기술원 지능형디바이스연구센터  
(cataegu07@geri.re.kr\*)

최근 산업단지 안전시설물의 노후화로 안전사고가 증가하고 있다. 특히 유해화학물질 누출과 같은 중대 산업사고가 발생하는 경우에는 유해화학물질의 종류가 다양하고 유독성 및 화재 폭발로 인한 복합적 위험성을 내재하고 있어 한번의 사고로만으로도 막대한 인적, 물적 손실을 초래할 뿐 아니라 환경을 오염시키는 2차 피해로 확대될 가능성이 높다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 다양한 화학물질 누출감지 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 대부분 고가의 고정밀 가스센서로 구성되어 주기적인 시스템 보정이 필요하며, 실외 설치의 경우 바람, 기압 등의 주변 환경적인 요인에 의하여 신속 감지가 불가능하고 검출 정확도가 낮아지는 문제가 있는 것으로 보고되고 있다. 이에 본 연구에서는 유해화학물질 누출시 pH에 민감하게 반응하는 지시염료 기반의 색변환 소재와 이들의 색변화를 신속하게 감지하는 지능형 영상분석 기술을 활용하여 원격 감시형 유해화학물질 누출감지 시스템에 관한 연구를 수행하였다. 특히 산성비 등을 고려하여 pH 5이하 산성 범위에서 감지할수 있는 지시염료 조성을 개발하고 일반 도료와 혼합하여 산성물질이 이송되는 배관에 시공하고 이를 지능형 영상분석 시스템을 통하여 실시간 원격으로 누출감지 특성을 평가하였다.

### Acknowledgment

본 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원(과제번호 : 20022220)에 의한 연구임.

**Keywords:** 유해물질 누출감지시스템, pH반응형 색변환 소재, 지능형 영상분석 시스템

P-111

## A study of Interfacial Properties of fine glass fiber Composites(극세 유리섬유 복합재료의 계면 특성 연구)

백영민<sup>\*</sup>, 이수진

ECO융합섬유연구원  
(bym@kictex.re.kr<sup>\*</sup>)

극세 유리섬유는 우수한 물성 및 가격경쟁력을 바탕으로 복합재 부품에 적용하여 자동차 산업에서 널리 사용되어지고 있으며 지속적인 수요의 증가로 그 시장 또한 크게 확대될 것으로 예상된다. 극세 유리섬유와 수지 간 계면접착력은 복합재료의 성능에 영향을 미치므로 이를 정확하게 평가하는 것은 매우 중요하다. 이를 비교 분석하기 위하여, 기존 유리섬유 대비 얇은 직경을 가지는 여러 종류의 유리섬유와 수지를 Microdroplet test를 이용하여 계면접착력 비교평가를 실시하였다. 또한, 동일한 조건에서의 진공백 성형으로 제조된 복합재료를 이용하여 층간전단강도(Interlaminar shear strength) 시편을 제작하여 실험을 진행하였고, 광학현미경을 이용하여 촬영한 단면을 이용하여 층간 분리된 형상을 비교하여 극세 유리섬유 복합재료의 계면접착력을 비교 분석하는 연구를 실시하였다.

**Keywords:** 극세유리섬유, 복합재료, 투명복합재, 계면특성

## Adsorption Performance of Surface-Treated Activated Carbon Materials for Harmful Gases

(유해 가스에 대한 표면 처리된 활성탄소 재료의 흡착 특성)

장우리, 백영민, 이수진\*

ECO융합섬유연구원  
(sujinlee@kictex.re.kr<sup>†</sup>)

This study delves into the fundamental mechanisms responsible for the high-efficiency adsorption of harmful gases. This is achieved by incorporating p-n junctioned metal oxides, such as CuO and ZnO, into activated carbon fibers (ACFs). It is believed that the improved gas adsorption capability can be attributed to a synergistic effect. This effect encompasses physical adsorption within the micropores and mesopores, the expansion of specific surface area driven by the catalytic influence of transition metals upon the introduction of ZnO and CuO catalysts, as well as the chemical adsorption reactions facilitated by the p-n junctioned metal oxides. Furthermore, in this study, we investigated how impregnation with a CuO and ZnO supporter using a straightforward hydrothermal process altered the SO<sub>2</sub> gas adsorption characteristics of ACFs.

**Keywords:** 활성탄소섬유, 금속산화물, p-n 접합, 가스흡착성능

P-113

## Fabrication and Assessment of Activated Carbon Fiber Papers via Wet-Laid Process with Various Binder Types (접착제 유형별 습식 제조된 활성탄소 섬유 종이의 제조와 특성 평가)

이수진, 백영민, 장우리, 정우영<sup>†</sup>

ECO융합섬유연구원  
(jwyinterface@kictex.re.kr<sup>†</sup>)

As the issue of air pollution continues to worsen, the development of absorbent materials has become increasingly necessary to address these challenging situations. While activated carbons are commonly used as adsorbents, they suffer from the drawback of slow adsorption rates. Therefore, there is a need to develop an adsorbent that can address these limitations. This involves creating an adsorbent with a large surface area (700~2000 m<sup>2</sup>/g), high absorption capacity, and rapid absorption rate. In this study, we have achieved this by preparing filter papers using a wet-laid process, incorporating activated carbon fibers and binder fibers.

**Keywords:** 활성탄소섬유, 바인더섬유, ACFs, 다공성여과지

## 극세 유리섬유를 활용한 투명 복합재 적용을 위한 기본 물성 연구

이수진<sup>\*</sup>, 백영민

에코융합섬유연구원  
(sujinlee@kictex.re.kr<sup>\*</sup>)

유리섬유를 이용한 복합재는 높은 인장강도와 파단변형률의 특성을 가지고 있으며, 가벼움, 고내구성, 고내후성, 높은 전기절연성, 높은 피로저항성 등의 장점을 가지고 있어 라켓, 욕조 등 생활용품을 비롯하여 보트, 건축구조물 등 여러가지 산업에도 적용이 가능하다. 이러한 성질로 인해 연평균 11% 정도의 지속적인 고성장이 전망되고 있으며 이 중 마이크로급 극세 유리섬유는 8억 달러의 시장 규모를 형성하고 있다.

본 연구는 극세 유리섬유를 광학적 특성이 요구되는 고강도 복합재에 적용하고자 하였으며 유리섬유와 수지 적용성 및 투명 복합재 적용에 대해 연구하고자 유리섬유와 여러 수지를 진공백 성형을 통해 시편을 제작하였다. 현미경, 인장강신도 등을 이용하여 시편의 기본 물성 분석을 진행하였으며 투명 복합재 적용을 위해 UV-vis-NIR 투과도 분석을 함께 실시하였다.

**Keywords:** 극세 유리섬유, 투명복합재, 광학특성, 물성분석

## 열플라즈마를 이용하여 LED용 질화물 고방열 복합소재 개발

박정몽, 양조화<sup>†</sup>, 전경수, 안창현

(재)대구테크노파크 나노공정기술센터  
(cleble@dgtp.or.kr<sup>†</sup>)

본 연구 내용은 고방열 특성을 가지는 Aluminum Nitride (질화알루미늄, AlN)을 RF 유도결합 열플라즈마(RF induced thermal plasma)를 이용하여 나노분말(구상화) 제조 후 열전도도 평가를 하고자 한다. 절연기능이 요구되는 분야에서 특히 세라믹 소재 활용도가 매우 높다. 특히, 전자 전기 분야의 방열 시트 및 TIM(Thermal Interface Materials) 소재의 경우 절연성이 요구되며 가장 대표적으로 질화알루미늄 소재를 사용하는 경우가 많다. 방열 효율을 높이고자 불순물로 인한 물성 저하 때문에 고순도화 및 수십 nm ~ 수백 nm의 입자 제조가 요구된다. 소재 특성상 분쇄 및 복합 공정으로 대기 노출 시 수분으로 인해 가수분해가 발생하여 입자 표면에 알루미늄 수화물을 형성되는 과정에서 NH<sub>3</sub> 가스 발생함으로써 질화알루미늄 방열 물성이 저하된다.

본 연구에서 열 플라즈마를 이용하여 Sheath gas, Carrier gas 내 질소 및 암모니아의 가스혼합비를 조절하며, 고순도 질화알루미늄 나노분말 방열 소재를 제조하였다. 제조된 질화알루미늄 나노분말을 믹싱 공정으로 Slurry를 제조 후 열전도도 분석을 소재의 미치는 영향을 평가한다.

**Keywords:** 방열, 질화알루미늄, 열플라즈마

## 전기차용 와이어링 하네스 적용 소재 리뷰

신선미<sup>†</sup>, 박진영한국생산기술연구원  
(smshin@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

전기차와 수소차의 보급률이 높아지고, 특히 자율주행 기술 및 고급 편의 사양의 도입으로 자동차의 전선 사용량이 증가하고 있다. 이에 따라 와이어링 하네스, 즉 전선의 집합체를 관리하고 연결하는 시스템의 중요성과 그 시장 규모 또한 확대되고 있다. 자동차의 다양한 부품, 예를 들면 엔진, 샤시, 차체, 램프, 공조, 대시보드, 배터리, 시트, 선루프, 도어 등에서 사용되는 와이어링 하네스는 각기 다른 특성과 요구사항을 가지고 있다. 이에 따라 와이어링 하네스에 적용되는 소재의 선택도 매우 중요하다. 현재 와이어링 하네스 분야에서는 안전성 향상, 사용자의 쾌적성 제공, 그리고 친환경적인 기술의 도입 등 다양한 연구와 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 전기차나 하이브리드 차량에서는 고전압을 처리할 수 있는 와이어링 하네스 시스템이 필요하며, 연료 효율과 차량의 경량화를 위해 알루미늄 기반의 와이어링 하네스도 주목받고 있다. 본 연구에서는 이러한 전기차용 와이어링 하네스 적용 소재에 대한 종합적인 리뷰를 진행하였으며, 그 결과와 향후 전망에 대해 소개하고자 한다.

**Keywords:** 전기차, 하네스, 내전압, 차폐

## Si 첨가가 Batch형 Zn-Al-Mg 용융도금재의 도금성 및 도금층 두께에 미치는 영향

이대용<sup>1,2</sup>, 전재열<sup>1\*</sup><sup>1</sup>한국생산기술연구원; <sup>2</sup>국립목포대학교  
(jyjeon0156@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

용융아연도금은 희생양극반응을 통해 철강의 부식을 효과적으로 억제하기 위해 주로 사용되고 있다. 최근, Zn 매장량의 고갈 문제 해결과 더욱 가혹해지는 부식환경에 대응하기 위해 Zn에 Al, Mg 등의 합금 원소를 첨가하여 내식성을 확보하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 도금 공정은 연속용융도금과 Batch형 용융도금으로 구분되며, Batch형 용융도금은 복잡한 형상 및 후판 도금이 가능하고 절단부·절곡부·융접부의 내식성을 유지할 수 있지만, 연속용융도금과 달리 합금원소 첨가 시 도금성 및 도금층 두께 제어가 어렵다는 단점이 존재한다. 이에 본 연구에서는 Batch형 Zn-Al-Mg 용융도금재 제조 시, 용탕의 유동성 개선에 효과적으로 알려진 Si 미량 첨가를 통해, 도금성 및 도금층 두께에 미치는 영향에 대해 조사하였고, Si를 첨가하지 않은 Zn-Al-Mg 용융도금재와 비교분석을 실시하였다.

용융도금 조성은 Zn-2.5Al-3.0Mg에 0.05Si 첨가재와 비교재로 Si를 첨가하지 않은 Zn-2.5Al-3.0Mg 두 가지 조성을 각각 준비하였다. 도금 전, 전처리를 위해 외경  $\varnothing 55$ , 내경  $\varnothing 31$ , 두께 3.7 mm의 SS400 탄소강 재질의 와셔를 알칼리 탈지 및 산세 처리한 후, 72 °C로 가열된 0.07 M  $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  + 0.2 M  $\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  Flux 용액에 3분부터 30분까지 각각 달리하여 침지하고 건조하였다. 그 후, 470 °C로 가열된 두 가지 조성의 용융도금욕에 각각 3분간 침지하여 용융도금을 진행하였다. 도금 전, Flux 처리 시간에 따른 와셔의 Flux 층 표면 형상은 FE-SEM으로 분석을 실시하였고, 서로 다른 두 가지 용융도금 조성에 Flux 처리 시간을 달리한 용융도금재의 도금성 및 도금층 두께는 OM과 FE-SEM을 통해 분석하였다. 도금 전, Flux 층 표면 형상 분석 결과, Flux 침지 시간 3 ~ 7분에서 바늘 형상, 7 ~ 15분에서 바늘 및 구형 형상, 15 ~ 30분에서 구형 형상으로 관찰되었다. Si를 첨가한 용융도금 조성에 도금한 결과, Flux 침지 시간 15분 이하에서는 일부 미도금 부위가 관찰되었고, 20분 이상에서는 미도금 부위 없이 도금이 잘 이루어졌다. 도금층의 두께는 Flux 침지 시간 3 ~ 7분에서 약 7 ~ 9  $\mu\text{m}$ , 10 ~ 15분에서 약 11 ~ 14  $\mu\text{m}$ , 20 ~ 30분에서 약 20 ~ 25  $\mu\text{m}$ 로 관찰되었다. Si를 첨가하지 않은 용융도금 조성에 도금한 결과, Si 첨가재와 달리 Flux 침지 시간에 관계없이 미도금 부위는 관찰되지 않았고 도금이 잘 이루어졌다. 도금층의 두께는 Flux 침지 시간 3 ~ 7분에서 약 8 ~ 12  $\mu\text{m}$ , 10 ~ 15분에서 약 12 ~ 30  $\mu\text{m}$ , 20 ~ 30분에서 약 90 ~ 110  $\mu\text{m}$ 로 관찰되었다. 위 두 가지 용융도금 조성 모두 Flux 침지 시간이 증가함에 따라 도금층 두께는 증가하였으나, Flux 침지 15분 이상에서는 Si가 첨가되지 않은 용융도금재의 도금층 두께는 Si 첨가재 대비 2배 이상, 20분 이상에서는 4배 이상 차이가 발생하였다. Batch형 Zn-2.5Al-3.0Mg 용융도금 조성에 Si 첨가에 따른 도금성 및 도금층 두께의 차이는, 도금 전 Flux 침지 시간에 따른 Flux 형상 및 Si 첨가에 따른 도금욕 내 유동성 증가로 인한 표면장력의 감소에 의한 것으로 사료된다.

**Keywords:** Zn-Al-Mg, Silicon, Coating thickness, Microstructure

## 열간 압연용 워크 롤로 사용되는 1.6 wt% C 고탄소강의 열간 단조 적용을 위한 고온 변형 거동 및 미세조직 변화

안유정<sup>1,2</sup>, 전재열<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원; <sup>2</sup>순천대학교  
(jyjeon0156@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

탄소 함량 1.6 wt% 고탄소강인 아다마이트는 열간 압연용 워크 롤로 사용되며, 주로 공정으로 제조되어 왔다. 최근, 고강도 강재 압연 등 가혹한 압연 환경에 따른 워크 롤의 조기 교체 등의 문제점이 발생하고 있다. 워크 롤의 사용 수명 증대를 위한 다양한 방법 중, 열간 단조 적용을 통해 강도, 내마모성 등 기계적 물성을 향상시킬 수 있지만, 고탄소강은 시멘타이트의 취성으로 인해 열간 단조 적용에 제약이 존재한다. 따라서, 본 연구는 열간 압연용 워크 롤로 사용되는 아다마이트 소재의 열간 단조 적용을 위해, 고온 압축 시험과 미세조직 분석을 통한 열간 단조 조건 도출을 목적으로 한다.

고온 압축 시험은 초기 가열 온도가 서로 다른 1200 °C와 1100 °C 두 조건에서 수행하였으며, 압축 시험 온도는 1100, 1000, 900 및 800 °C, 변형률 속도는 1.0, 0.1, 0.01 및 0.001/s에서 변형률 50%로 실시하였다. 압축 시험 후 외관 형상 분석 결과, 초기 가열 온도 1200 °C의 경우, 압축 시험 온도 1100 °C에서는 변형률 속도에 관계 없이 압축 시편 외곽부에서 심한 표면 터짐이 발생하였다. 초기 가열 온도 1100 °C의 경우, 압축 시험 온도 1100 °C, 변형률 속도 1.0/s 조건에서만 일부 표면 터짐이 관찰되었다. 고온 압축 시험을 통한 유동 응력-변형률 곡선을 기반으로 초기 가열 온도에 따른 Processing map을 작성하였다. 초기 가열 온도와 변형률 속도에 관계 없이 압축 시험 온도 1000 °C ~ 870 °C에서 모두 Instability parameter ( $\xi$ )가 0.07 ~ 0.15로 양의 값이며, 이 온도 구간의 Power dissipation parameter ( $\eta$ ) 값은 초기 가열 온도 1200 °C에서 0.22 ~ 0.27, 초기 가열 온도 1100 °C에서 0.23 ~ 0.32이다. 또한, 초기 가열 온도 1200 °C와 달리 1100 °C에서는 변형률이 0.01/s 이하인 모든 압축 시험 온도에서도  $\xi$ 가 0.01 ~ 0.24로 양의 값이며, 이 영역의  $\eta$  값은 0.25 ~ 0.30이다. 미세조직 분석 결과, 초기 가열 온도와 변형률 속도에 관계 없이 압축 시험 온도 1100 °C에서는 압축 시편 단면 외곽부의 시멘타이트에서 국부 용융이 관찰되고, 800 °C에서는 압축 시편 단면 외곽부의 시멘타이트와 기지 경계에서 균열이 관찰되었다. 그러나, 초기 가열 온도 1100 °C 조건에서 관찰된 국부 용융과 균열의 정도는 초기 가열 온도 1200 °C 대비 완화되었다. 국부 용융이 발생한 원인은, 높은 초기 가열 온도에 따른 시멘타이트에서의 탄소 편석과 이로 인한 낮은 용점 그리고 특히, 높은 압축 시험 온도에 의해 결함이 발생한 것으로 사료된다. 또한, 압축 시편 외곽부에서 표면 터짐이 발생한 원인은, 국부 용융이 발생한 부위에 인장응력이 작용함에 의한 것으로 사료된다. 균열은 압축 시험 온도 800 °C에서 더욱 경해진 시멘타이트와 기지 간의 기계적 특성 차이로 인해 경계에서 균열이 발생한 것으로 사료된다. 반면, 압축 시험 온도 1000 °C, 900 °C에서는 초기 가열 온도와 변형률 속도에 관계 없이 국부 용융 및 균열이 관찰되지 않았다. 동적 재결정 거동은 EBSD를 통해 분석하였으며, 동적 재결정 분율은 초기 가열 온도 1200 °C에서 0.06 ~ 0.77, 1100 °C에서 0.64 ~ 0.98로 초기 가열 온도 1100 °C 조건의 동적 재결정 분율이 모든 압축 시험 조건에서 높게 나타났다. 미세조직 분석 및 동적 재결정 거동은 Processing map과 잘 부합되는 결과를 보이고 있으며, 열간 압연용 워크 롤로 사용되는 탄소 함량 1.6 wt% 고탄소강인 아다마이트의 최적 열간 단조 조건은 초기 가열 온도 1100 °C, 압축 시험 온도 1100 ~ 800 °C에서 변형률 속도 0.01/s 이하로 도출되었다.

**Keywords:** High carbon steel, Processing map, Microstructure, Recrystallization

P-119

발 표 취 소

## 이주속 압연을 통해 제조한 이중 철계 합금 바이메탈 소재의 롤 속도비에 따른 미세조직, 기계적 특성 및 마찰계수 변화

조우빈, 전재열\*

한국생산기술연구원  
(jyjeon0156@kitech.re.kr\*)

바이메탈(Bimetal)은 서로 다른 열팽창계수를 지닌 합금이 접합된 형태로 전자 개폐기, 차단기 및 온도계 등 다양한 산업분야에서 사용되며, 주로 압연을 통해 제조된다. 그러나, 압연을 통한 바이메탈용 금속 소재 접합 시, 소재 표면과 압연 롤 간 마찰이 발생하여 소재 표면에는 전단변형, 중심 부위에는 평면변형이 도입되어 표면과 중심 부위에 도입된 변형량과 미세조직이 상이하다. 이에 본 연구에서는 바이메탈 제조 시, 서로 다른 두 재질의 소재에 균일한 변형을 도입하기 위해 비대칭 압연인 이주속 압연을 실시하였다. 주요한 결과로는, 상·하 롤 속도비에 따라 소재에 도입된 전단변형량 측정 및 미세조직 분석과 더불어 유한요소해석을 통해 소재 표면과 압연 롤 간 마찰계수를 도출하였다.

철계 이중 금속 바이메탈 제조를 위한 고열팽창합금으로 Fe-36Ni-1Mo, 저열팽창합금으로는 Fe-36Ni를 사용하였으며, 두 합금은 진공유도용해를 통해 제조하여 두께 1.5 mm, 폭 16 mm, 길이 40 mm의 판재로 각각 가공하였다. 클래딩 시 하부 롤 속도는 5 RPM으로 고정하고, 상부 롤 속도를 달리 하여 롤 속도비 1.0, 1.2, 1.4, 1.6 및 2.0 조건의 동속 압연과 이주속 압연을 각각 실시하였고, 압하율은 50%로 고정하였다. 핀 삽입법을 통해 계산한 롤 속도비 1.0 클래딩재의 고열팽창부 표면에서부터 저열팽창부 표면까지 두께 별로 도입된 전단변형량은  $-0.2 \sim 0.2$ , 이주속 압연을 통한 클래딩재 중 롤 속도비가 가장 빠른 2.0 클래딩재의 전단변형량은  $0.2 \sim 0.3$ 으로 속도비 1.0 대비 더욱 균일한 전단변형이 도입되었다. 집합조직 분석 결과, 롤 속도비 1.0 클래딩재의 경우, 전형적인 압연접합조직인 Copper {112}<111>와 Brass {110}<112> 방위가 주로 관찰된 반면, 롤 속도비 2.0 클래딩재는 전단집합조직인 {112}<110>과 R-cube {001}<110> 방위가 주로 관찰되었다. 기계적 특성 평가를 위한 비커스 경도 측정 결과, 클래딩 전 고열·저열팽창합금판재의 표면 직하부터 중심부까지의 두께 별 경도 분포는 각각 225~218 HV, 215~206 HV이다. 롤 속도비 1.0 클래딩재의 고열팽창부 표면 직하에서 중심부까지의 경도 분포는 240~237 HV, 중심부에서 저열팽창부 표면 직하까지의 경도 분포는 233~237 HV인 반면, 롤 속도비 2.0 클래딩재는 각각 244~243 HV, 238~239 HV로 롤 속도비 1.0 대비 전체적으로 두께 별 경도가 증가하였고, 또한, 보다 균일한 경도 분포를 나타내었다. 롤 속도비에 따른 유한요소해석 결과, 롤 속도비 1.0 클래딩재의 마찰계수는 상부 롤 측과 하부 롤 측이 각각 0.2로 동일한 값이 도출되었으며, 롤 속도비 2.0 클래딩재의 마찰계수는 각각 0.3, 0.2로 도출되었다.

압연을 통한 이중 철계 합금 클래딩재 제조 시, 롤 속도비가 증가할수록 특히, 롤 속도비 2.0 조건은 소재 전체에 보다 균일한 전단변형 도입, 전단집합조직 형성 및 기계적 특성 향상에 효과적임을 확인하였다. 또한, 롤 속도비가 증가할수록 롤과 소재 간 마찰계수 증가에 영향을 미침을 유한요소해석을 통해 확인하였다.

**Keywords:** Bimetal, Differential speed rolling, Shear strain, Texture, Friction coefficient

P-121

## Flexible Ceramic Nanofiber for the efficeint Removal of Organic Pollutants under Visible Light

서호준, 문건대<sup>\*</sup>

한국생산기술연구원  
(gmoon@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

Oxide ceramic nanofiber mats composed of  $\text{CeO}_2$  and  $\text{TiO}_2$  phases (CTO) were developed using electrospinning. The CTO nanofiber mats also showed promising photocatalytic performance for organic pollutant degradation under visible light. The photocatalytic activity was found to depend on the content of  $\text{Ce}^{3+}$  in the nanofiber structures. Catalyst properties improved through the growth of co-catalyst on the CTO nanofibers surface. As a result, CTO ceramic nanofibers exhibited a degradation efficiency of 91% under visible light and maintained an efficiency of 90% in recycling test.

**Keywords:** ceramic nanofiber, filxible, photocatalyst

## PET 분말이 혼입된 RPC의 플로우, 강도 및 폭렬특성

강지존<sup>1</sup>, 조준현<sup>1</sup>, 장홍석<sup>1,2</sup>, 소승영<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 건축공학과, <sup>2</sup>전북대학교 생리활성융합소재 혁신인재양성사업단 (RCIT)  
(archiso@jbnu.ac.kr<sup>†</sup>)

PET(Polyethylene terephthalate)는 PP와 더불어 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 플라스틱 재료 중 하나이다. 특히 PET는 일회용품으로서 일상생활 속에서 흔히 접할 수 있는 만큼 그 배출량이 특히 높아 이전부터 재활용 방안이 검토되었다. 본 실험에서는 폐 PET를 시멘트 구조체 내에 혼입하여 대량으로 소모하기 위하여, 여러 형상 중 분말화한 PET의 시멘트 적용성을 평가하고자 하였다. 시편은 RPC(Reactive Powder Concrete)로 제작하였으며 PET 분말이 혼입된 굳지 않은 콘크리트의 플로우(흐름), 압축/인장 강도 및 고온에 의한 폭렬현상(Spalling failure) 변화를 확인하였다. 또한 해당 실험 결과를 바탕으로 PET 분말의 RPC 적용성을 평가하였다.

**Keywords:** PET, 재활용, RPC, 콘크리트, 건축

## Investigation of exchange-bias and training effect in Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanostructures

Naveen Yadav<sup>1</sup>, Akshay Kumar<sup>2,4</sup>, Kavita Kumari<sup>3</sup>, Mohit K. Sharma<sup>4</sup>, Sujeong Park<sup>4</sup>, Bon Heun Koo<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Convergence and System Engineering, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>2</sup>School of Materials Science and Engineering, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>3</sup>Industrial Technology Research Institute, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>4</sup>Mechatronics Research Institute, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea (bhkoo@changwon.ac.kr<sup>†</sup>)

The central objective of this study is to leverage the engineered composite's latent capabilities for incorporation into magnetic memory devices through the manipulation of exchange-bias (EB) properties. In pursuit of this objective, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> core-shell composites were fabricated via co-precipitation methodology. Detailed structural assessments employing HR-FE-SEM and (TEM) disclosed a core-shell morphology, featuring core particles measuring approximately 128 nm covered by shell particles measuring approximately 25 nm. Magnetic examinations reveal a blocking temperature of 84 K coupled with a pronounced EB phenomenon, exhibiting a strength of 1845 Oe at 50 K. This substantiates its applicability for integration into systems reliant on exchange-bias effects. The assessment of training effect measurement reveals a minimal decrease of approximately 0.53% relative to the initial value following six successive measurement loops. The substantial EB at a functional operating temperature, paired with minimal training effect degradation, highlights the promising versatility of these materials for various technological applications, such as sensor manufacturing, memory device production, and magneto-resistive reading head advancement.

**Keywords:** Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite, exchange-bias effect, blocking temperature, training effect, magnetic properties

## 기능화 메틸 셀룰로오스와 LiClO<sub>4</sub>를 복합화한 준고체 고분자 전해질 합성 및 이를 이용한 고체 전기변색 소자와 셀룰로오스 기반 슈퍼커패시터의 성능 분석

이재근, 김성구<sup>\*</sup>, 임백현

한남대학교 화학공학과  
(starkme@hnu.kr<sup>\*</sup>)

에너지 저장장치와 변환기를 포함한 전기화학적 소자는 지속가능한 미래를 만드는 핵심적인 중요요소 중 하나로 대두되고 있다. 그러나 현재의 전기화학 기술의 한계점 이상을 도달하기 위해서는 다방면적으로 전기화학적 소자에 적용할 수 있는 고체 전해질 개발이 필요하다. 이번 연구는, functionalized cellulose에 LiClO<sub>4</sub>를 복합화 한 것에서 파생된 친환경 fluorine-free quasi-solid polymer electrolyte이다. Quasi-solid polymer electrolyte의 전도도 향상을 위해 LiClO<sub>4</sub>를 첨가하여 합성하는 방법을 적용하여, LiClO<sub>4</sub>의 wt%에 따라 성능적으로 차이를 볼 수 있었다. 합성한 LiClO<sub>4</sub>-sulfonated methyl cellulose (LiClO<sub>4</sub>-LiSMC)은 전자 누출이 적으며 1 mS/cm 이상의 높은 이온 전도도를 보여준다. 또한 LiClO<sub>4</sub>-LiSMC는 높은 광학적 투명도와 기계적 유연성의 장점을 보여준다. 이러한 장점들을 활용할 수 있는 전기 변색 소자와 에너지 저장 장치와 같이 다양한 고체 전기화학 시스템에 응용할 수 있었다. Quasi-solid-state electrochromic devices와 cellulose 기반에서, supercapacitor에서 LiClO<sub>4</sub>-LiSMC 전해질의 적용 가능성이 증명되었고, 작동 전압감소 및 기존의 유사한 소자인 고분자 전해질에 비해 성능이 향상이 된 것을 입증하였다. Cellulose 기반 supercapacitor는 기계적 굽힘과 충-방전 사이클에 대한 우수한 안정성을 보여준다. 마지막으로 cellulose의 강점인 높은 natural abundance와 친환경성을 고려하면 지속 가능한 에너지 소재로서의 상당한 가치를 가진다.

**Keywords:** Electrochromic, Solid-state device, Cellulose, Quasi-solid polymer electrolyte, Supercapacitor

## 마이크로웨이브 합성법을 이용한 백금/다중벽 탄소나노튜브 기반 수소발생반응 전기화학촉매

윤규진, 김성구<sup>†</sup>한남대학교 화학공학과  
(sekkim87@gmail.com<sup>†</sup>)

화석연료의 과사용으로 인하여 온실 가스의 증가로 인해 지구 온난화 문제가 주목 받고있다. 이러한 환경 문제를 해결하기 위해 대체 에너지원의 개발이 이루어지고 있다. 대체 에너지원으로 각광받는 물의 전기분해를 통한 수소발생반응 (Hydrogen Evolution Reaction, HER)은 현재 물의 전기 분해 시 산소와 수소 발생의 효율을 극대화 하기 위해 사용되는 촉매로 백금(Pt)을 사용하지만 높은 비용 및 자원 희소성으로 인한 문제를 가지고 있다. 본 연구에서는 가장 좋은 효율을 가진 Pt의 사용량을 줄이고 쉽고 빠른 합성을 위해 Microwave synthesis를 이용하여 Pt nanoparticle을 탄소(MWCNT) 도전재에 coating하였으며, 합성된 Pt/MWCNT의 수소 발생 반응의 특성 및 안정성, 성능 평가를 진행하였다. 선형 주사 전위법 (Linear sweep voltametry, LSV)를 통해 Tafel plot한 결과 Pt/MWCNT의 경우 31.3 mV/dec로 Tafel reaction에 해당하는 값을 보였다. 시간대전류법(Chronoamperometry, CA)를 통해 안정성을 측정한 결과, -0.095 V에서 30시간 이상 전위에 대한 전류 밀도의 정상상태 흐름을 보여주었다. Microwave synthesis를 통해 더욱 쉽고 빠른 합성이 가능해졌으며, Pt과 같은 한계적 자원을 더욱 효율 적으로 사용하며 전기 촉매로써 Pt/MWCNT의 우수함을 확인하였다. Microwave synthesis는 Pt 외의 다른 금속 nanoparticle에도 적용이 가능하여 다양한 복합소재 기반 전기화학 촉매 개발에 응용 될 예정이다.

**Keywords:** Hydrogen Evolution Reaction, Microwave synthesis, Pt nanoparticle, Multi-Walled Carbon Nanotube, Electrocatalyst

## Vertically-aligned reduced Graphene oxide film for High-Performance Thermo-acoustic loudspeakers

Yerin Park<sup>1,2</sup>, Jin Kim<sup>1</sup>, Saewon Kang<sup>1</sup>, Ki-Seok An<sup>1†</sup>, Yun Chan Kang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thin Film Materials Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), Yuseong-gu, Daejeon, 34114, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Department of Advanced Materials and Science Engineering, Korea University, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Republic of Korea (ksan@kRICT.re.kr<sup>†</sup>)

Thin-film thermoacoustic(TA) loudspeakers have attracted great attention to produce new type of sound source induced by thermal oscillation of the materials that does not require mechanical vibration of the diaphragm compared with those of magnetoelectric or piezoelectric loudspeakers. Graphene is a promising candidate for high-performance TA loudspeaker due to their excellent thermal and electrical conductivity as well as large specific surface area (~5300 W/mK, 250,000 cm<sup>2</sup>/Vs, 2630 m<sup>2</sup>/g).

In this study, we fabricated a thin-film TA loudspeaker with vertically-aligned reduced Graphene oxide(rGO) film. Well-controlled laser irradiation technique enables Graphene oxide to be chemically reduced and patterned with a vertically aligned structure to increase the specific surface area. We compared the Joule-heating performance of rGO films with a planar structure and vertically-aligned structure, respectively. Vertically-aligned rGO (V-rGO) films showed an excellent Joule heating performance compared to that of rGO films with planar structure in same applied power density due to high thermal emissivity. The sound pressure level (SPL) of the films was evaluated to demonstrate the performance of different types of TA speakers. V-rGO films provide an outstanding sound generation with 85 dB of SPL that is much higher than 65 dB of that with planar structure at the same power and frequency (12 V, 10 kHz) due to structural reconfiguration of rGO from 2D sheet to 3D vertical structure. We will carefully discuss thermal properties of V-rGO films in terms of thermal conductivity, thermal emissivity, and heat capacity to validate an excellent thermo-acoustic performance of V-rGO-based TA loudspeakers. For future works, we further explore and discuss thermal characteristics of V-rGO films combined with gold nanoparticles(AuNPs) to improve SPL of TA loudspeakers.

**Keywords:** Thermo-acoustic speaker, thermal emissivity, reduced graphene oxide, morphology control, gold nanoparticles

P-127

## Fabrication of the heat dissipation pad with vertically high thermal conductivity using hybrid layer structure

조정민, 박성대<sup>\*</sup>, 양현승

한국전자기술연구원  
(sdpark@keti.re.kr<sup>\*</sup>)

전동카트를 비롯한 전자 이동장치들은 배터리 기술의 발전에 따라 우리 생활에서 편리한 도구로써 더 밀접하게 사용되고 있다. 배터리 기반의 전자장치를 사용할 때 발생하는 고열은 화재 위험성을 가지고 있어, 열 관리가 가능한 배터리 팩 및 방열소재에 대한 관심이 커지고 있다. 통상 배터리 팩에 열전도성 물질을 사용하여 열이 빠르게 빠져나갈 수 있도록 조절해 줌으로써 전자장치의 수명과 안정성을 책임져 준다.

기존에 배터리 팩에 주로 사용되는 방열소재는 수직 열전도도가  $5\text{W/m}\cdot\text{K}$  미만으로 낮고, 수평 열전도도도 좋지 않아 이에 대한 개선책이 필요하다. 본 연구에서는 높은 수직, 수평 열전도도를 동시에 나타낼 수 있도록 하이브리드 레이어 구조의 방열패드를 설계 및 제작하였다. 열전도성 방열패드는 도전층과 절연층 복합구조로 설계하였는데, 도전층은 높은 열전도도를 가진 구리를 이용해 열을 빠르게 전도시켜 방출이 가능하도록 하였으며, 절연층은 세라믹 필러와 실리콘 수지를 사용하여 절연이 되도록 설계하였다. 만들어진 패드는 레이저 플래쉬 방법을 이용하여 수직 및 수평 방향의 열전도도를 측정하였으며, 그 값은  $5\text{W/m}\cdot\text{K}$  이상의 높은 열전도도를 나타내었다. 제조된 방열패드는  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  내외의 온도에서 사용 가능하며 전자 이동장치 분야를 비롯한 열 이력 관리가 요구되어지는 다양한 분야에서 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### Acknowledgment

본 연구는 산업통상자원부 소재부품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(No. 20016607)

**Keywords:** 하이브리드, 방열패드, 수직 열전도도

## 나노세라믹 및 친환경 탄성 수용성 아크릴수지를 이용한 콘크리트 탄산화 저항성 향상 기술

이진호<sup>†</sup>

이에이바이오스(주) 기업부설연구소  
(jhllee@eabios.com<sup>†</sup>)

최근 콘크리트 관련법령에 의하면 비를 맞는 콘크리트 외벽, 난간 등은 건습이 반복되는 콘크리트로 매우 높은 탄산화 위험에 노출되기 때문에 이를 고려하여 최소 설계기준 압축강도 30MPa 이상으로 설계하여야 한다. 하지만 방수 처리된 표면은 27MPa로 설계할 수 있어 콘크리트 재료비를 크게 절감할 수 있다. 또한 전 세계의 도로 사용 추세가 유성 페인트 계에서 친환경성이 강조되는 수성 페인트계로 전향되는 추세인만큼 방수가 되는 수성도료의 가치는 더욱 높을 것으로 기대됨.

본 기술은 탄성이 있는 수용성 아크릴수지에 나노세라믹이 고분산되어 도로 표면에 친수성을 형성하여 투수가 되지 않는 방수성을 확보하였으며, 나노크기의 세라믹의 사용으로 레일리산란 효과를 일으켜 근적외선 영역의 파장을 효과적으로 분산 및 반사하여 높은 차열성능을 지녀 콘크리트의 열에 의한 변화를 최소화하여 구조물의 수명을 향상시킬 수 있다. 또한 2.0MPa 이상의 높은 부착성을 지녀 내구성 역시 우수하다.

**Keywords:** 친환경(Eco), 나노세라믹(Nano Ceramic), 콘크리트(Concrete), 탄산화(Carbonation), 수용성 아크릴수지 (Water soluble acrylic resin)

## Epoxy Acrylate 기반 Digital Light Processing(DLP) 3D 프린팅 출력물의 기계적 특성 향상을 위한 강화재로써의 Graphitic Carbon Nitride(g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) 도입에 관한 연구

주윤성<sup>1,2</sup>, 고종완<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 울산본부 첨단정형공정연구그룹; <sup>2</sup>부산대학교 기계공학부  
(jwko@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

3D 프린팅은 기존 제조 방법으로는 구현할 수 없었던 복잡한 모양의 제품을 생산할 수 있는 제조 방법이다. 특히, 복잡한 형상의 제작을 요구하는 고분자 산업에 FDM(Fused deposition modeling), SLS(selective laser sintering), SLA(stereolithography), 그리고 DLP(digital light processing) 등 다양한 종류의 3D 프린팅 기술이 적용 연구되어 왔다. 광경화형 3D 프린팅 기술인 DLP 3D 프린팅은 면 단위 광원을 조사하여 각 층을 경화하여 출력속도가 빠른 것이 특징으로 다른 기술과 비교하여 높은 정밀도와 균일한 표면 품질로 출력이 된다. 그러나 DLP 3D 프린팅은 광경화성 수지만을 소재로 사용하는데 이 소재가 다른 공정 제품에 비해 기계적 강도가 떨어져 산업 분야 활용에 한계가 있다. 최근 DLP 3D 프린팅 제품의 기계적 강도를 증가시키기 위해 강화재를 첨가하는 방식으로 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 강화재로 사용되는 소재가 비싸거나 대량생산이 어려운 한계가 존재했다. 본 연구에서는 graphitic carbon nitride(g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)를 강화재로 활용하여 DLP 3D 프린팅 제품의 기계적 물성을 향상시키고자 하였다. g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>은 분자 내에 여러 개의 작용기(-NH<sub>2</sub>, -NH)를 가지고 있어 matrix와 g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 사이에 수소결합을 유도하여 분자간 상호작용을 증가시켜 기계적 특성을 향상시킬 수 있었다. g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>을 DLP 3D 프린팅 상용소재인 epoxy acrylate based resin에 혼합하여 원활한 출력이 되도록 혼합공정과 생산 공정을 최적화하였다. 본 연구의 결과로 epoxy acrylate based resin 대비 출력물의 인장 강도(22%)와 탄성 계수(34%)를 증가시킬 수 있었다. 본 연구는 기존 광경화레진의 물성한계로 응용이 제한적이었던 DLP 타입의 3D 프린팅 기술의 확산 보급에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

**Keywords:** 3D 프린팅, digital light processing, graphitic carbon nitride, epoxy acrylate

## 리그닌-에폭시 아크릴레이트 수지 복합소재 Digital Light Processing(DLP) 3D 프린팅 출력물의 기계적 물성 연구

주윤성<sup>1,2</sup>, 고종완<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 울산본부 첨단정형공정연구그룹; <sup>2</sup>부산대학교 기계공학부  
(jwko@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

리그닌은 cellulose 다음으로 지구상에서 풍부한 탄소 함유 자원이고 목질계 바이오매스의 20-35%를 차지하고 있다. 리그닌은 나무에서 강도와 내구성을 향상시키는데 중요한 역할을 하고, 생체 접착 특성을 가지고 있다. 하지만 리그닌은 점도가 높고 분해가 어렵고 다른 물질과 잘 섞이지 않아 산업적으로 활용이 어려워 폐기물로 취급되었다. 최근에는 다양한 중합체와의 결합을 통해 이를 활용하는 연구가 진행되어 왔다. 3D 프린팅 기술 중, digital light processing(DLP) 3D 프린팅 기술은 광경화 소재에 광원을 이용하여 한 층씩 경화하여 3차원 형상을 구현하는 기술로 뛰어난 표면 품질과 빠른 출력 속도로 인해 유망한 제조 공정으로 주목을 받고 있다. 하지만 DLP 가 광경화성 수지를 소재로 하기 때문에 광경화 소재의 기계적 물성이 산업에서 요구하는 물성에 적합하지 못하여 DLP 출력물 활용에 제한이 있다. 본 연구에서 리그닌을 epoxy acrylate 기반 광경화수지의 강화재로 DLP 제품의 기계적 물성을 향상시키고자 했다. DLP 출력을 위해 분산 공정 최적화(자석 교반기, 공자전 교반기, 초음파 분산기)를 진행하였고 시편을 만들어 기계적 물성을 평가하였다. 리그닌과 epoxy acrylate에 포함된 hydroxyl간의 수소결합 상호 작용에 의해 기계적 특성을 향상시킬 수 있었다. 그 결과로 epoxy acrylate 출력물대비 인장 강도(42%), 경도(21%)가 증가하는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 친환경 소재로 경제적 활용가치가 높은 리그닌 소재의 산업적 활용가능성을 높이는데 기여할 수 있을 것이라 생각한다.

**Keywords:** 리그닌, DLP, 기계적 물성

## Development of Glass With Low Glass Transition Temperature and Investigation of Bondability with Carbon Steel

하지웅, 김승욱, 이화평, 정대용<sup>†</sup>

인하대학교 신소재공학과  
(dyjeong@inha.ac.kr<sup>†</sup>)

Carbon steel is one of the most widely used structural materials, which are highly durable and cost-effective. However, it has low corrosion resistance and is vulnerable to heat, which needs to be compensated for.

Therefore, researchers are actively working on coating refractory ceramic materials on the metallic steel material representation. However, metals and ceramics are not easy to coat due to the heterogeneity of the materials, and it is difficult to create a dense coating layer with only two types of materials. Therefore, by utilizing glass, which has the characteristics of both metals and ceramics, as a medium such as an adhesive, it was possible to solve the existing problems by applying a metal-glass-ceramic type coating. In particular, if a glass composition with a low glass transition temperature is used, damage to the base material can be minimized by reducing the working temperature.

This study synthesized a low glass transition temperature glass using three raw materials: PbO, ZnO, and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The glass with this composition was then coated with SM45C carbon steel. The wetting angle, hardness test, and thermal characterization confirmed the dense bonding of the ceramic and glass.

**Keywords:** Glass, Metal, Glass Transition Temperature, Glass/Metal Sealing, Joining

P-132

## Development of ZrO<sub>2</sub>/PEG Slurry as a Feedstock for Material Extrusion 3D Printing

한희성, 고종완\*

3D Printing Manufacturing Process Center, Advanced Forming Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ulsan  
(jwko@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

Ceramics, which have excellent strength and hardness, high heat and chemical resistance, and unique photoelectric properties are widely applied as critical materials in various industries such as machinery, electrical device, and medicine. Ceramic feedstock in the form of slurries has been great attention for implementing intricate and sophisticated structured products. Accordingly, many attempts have been made to produce parts with complex and precise shapes by using ceramic slurry to 3D printing technology. In the 3D printing process with the use of ceramic feedstock, inkjet printing, and material extrusion methods are commonly used. However, there are limitations to the wide use of 3D printing technology with ceramic feedstock due to difficulties in the dispersion of ceramic powder in a feedstock and regulating its rheology enough to retain 3D printed shape during the printing process. In this study, we suggest a new approach to develop a ceramic (ZrO<sub>2</sub>) feedstock for slurry-based ceramic 3D printing to overcome the limitations by using polyethylene glycol (PEG) in diverse molecular weight (M.W. 400 – 8,000,000). A high ceramic content of 82.22% could be achieved for material extrusion 3D printing. Also, the rheology of ZrO<sub>2</sub> feedstock can be varied by the selection of the molecular weights and combination of two or more different molecular weights of PEG. This study presents a novel method of developing ceramic feedstock for advanced ceramic 3D printing technology.

**Keywords:** Ceramic slurry, 3D printing, Additive manufacture, Zirconia, Polyethylene glycol

## Flexible and transparent thermochromic composite for energy-efficient smart windows

Jae Gyu Ahn<sup>1</sup>, Beomjin Ko<sup>1</sup>, Taeyoung Park<sup>1</sup>, Kwang Hyun Park<sup>1</sup>, Nam Chul Kim<sup>1</sup>, Kwang Young Jeong<sup>2</sup>,  
Sung Ho Song<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University;

<sup>2</sup>Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University  
(shsong805@kongju.ac.kr<sup>†</sup>)

Using eco-friendly cellulose-based transparent wood as an interior material will reduce indoor energy consumption and unsustainable waste while also providing privacy. Here we present a transparent and flexible thermochromic device for implementing energy-efficient smart windows. Thermochromic devices can easily control transparency through the thickness of the film and the mixture ratio of UV-curable polymers and liquid crystals. The composite film prepared by combining UV-curable polymer dispersion liquid crystal(PDLC) and transparent wood(TW) showed transmittance of 35% at room temperature and 79% at 80 °C. The thermal diffusivity (0.07 mm<sup>2</sup>/s) was lower than that of glass, and these composite films showed a very high transmittance of 76% compared to TW using epoxy while showing similar Young's Modulus (1.9~2.6 GPa). The unique and highly desirable properties demonstrated by the thermochromic TW-PDLC composite film make it a promising candidate for practical use in energy-efficient smart windows.

**Keywords:** Transparent wood, Smart window, PDLC, Thermochromic, Energy-efficient

## 내산용 하이브리드 코팅 층 마모특성

조대형<sup>1</sup>, 김진현<sup>1\*</sup>, 박건상<sup>1</sup>, 김영주<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(주)에이엠테크; <sup>2</sup>(주)디에스테크노  
(7897895@naver.com<sup>†</sup>)

최근 반도체 성능이 고도화되고 크기가 작아지면서 반도체를 제조하는 환경은 기존 공정과 비교할 경우 날로 가혹해지고 있다. 이러한 환경에서 사용되는 반도체 제조용 부품들은 단일 소재로 극한환경을 극복하기에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 다양한 환경에 능동적으로 대처가 가능한 복합재료 연구가 꾸준히 이어오고 있다.

본 연구에 적용하고자 하는 코팅 기술은 반도체 에칭 공정에 사용되는 SiC 링의 내플라즈마 특성 및 내마모 특성을 향상하기 위하여 기존 코팅 방식에서 벗어난 hybrid 코팅 층을 개발하는데 있다. 본 부품에서 요구되는 step coverage 정밀도를 유지하기 위하여 진공 증착 방법을 이용하였고, 내마모 및 내플라즈마 특성을 확보하기 위하여 마찰력이 우수한 첨가제를 첨가하여 특성을 비교하였다.

본 연구에 사용한 substrate는 SiC 증착 링을 사용하였고, 1차적으로 내플라즈마 특성이 우수한 폴리머 계열 재료를 코팅 하였다. 정밀도 향상과 내산성 향상을 얻기 위하여 Cl이 치환된 Para-xylene을 사용하였다. 1차 dimmer 승화는 160°C에서 반응하였고 700°C에서 열분해시켜 상온에서 증착하였다. 이때 증착 챔버의 진공은 10-3torr 하여 증착하였다. 코팅 층의 건전성을 조사하기 위하여 ISO-2409(ASTM D 3359)에 의하여 밀착성 시험을 하였고, 코팅 층 단면을 SEM(Scanning Electro Microscope)로 코팅 층 내 조직 및 성분을 조사하였다. 또한 hybrid 코팅 층 마모 특성을 확인하기 위하여 rubbing wear test를 하였으며, 내 플라즈마 특성은 “F” 계열 가스를 이용하여 식각 정도를 조사하였다.

본 연구 2중 구조 이상 하이브리드 코팅층 밀착성은 grade 0 이상 우수한 밀착성을 얻을 수 있었으며, 300시간 이상 10% 불산 용액에서 코팅 층이 박리되지 않는 우수한 코팅 층 형성이 가능한 것을 확인하였다. 기존 단일 코팅 소재 대비 우수한 내마모 및 내플라즈마 특성을 확보하였다. hybrid 코팅층을 이용할 경우 내마모, 내산, 플라즈마 특성을 독립적으로 활용할 수 있어 다양한 환경에 대응할 수 있는 맞춤형 코팅 기술을 적용할 수 있다.

**Keywords:** 하이브리드, 코팅, 내산성, 내마모, 반도체

## 나노 SiC가 첨가된 Ni-3YSZ 연료극 지지형 고체산화물 연료전지의 기계적 강도 및 장기 내구성 개선

권범수<sup>1,2</sup>, 송락현<sup>1,2\*</sup>, 조동우<sup>1,2</sup>, 이승복<sup>1,2</sup>, 임탁형<sup>1,2</sup>, 홍종은<sup>1,2</sup>, 김태훈<sup>1,2</sup>, Amjad Hussain<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>한국에너지기술연구원; <sup>2</sup>과학기술연합대학원  
(rhsong@kier.re.kr<sup>\*</sup>)

고체산화물 연료전지는 수소와 같은 연료와 산소의 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 장치이다. 연료극 지지형 구조는 다른 구조에 비해 저온(600도~750도)에서 높은 전기화학적 성능과 발전 효율(60% 이상)을 나타낸다. 연료극 지지체는 기계적 강도에 높은 영향을 끼치며 주 재료로 Ni-8YSZ 서멧을 사용한다. 그러나, 8YSZ는 낮은 기계적 강도와 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있어, 이를 보완하기 위해 약 2.5배 기계적 강도가 높은 Ni-3YSZ 개발이 활발히 진행되고 있다. 하지만, 3YSZ는 고체산화물 연료전지 연료극의 작동 분위기인 수분이 함유된 낮은 산소 분압 및 작동 온도에서 기존 정방계 및 사방정계 상이 단사정계 상으로 전환될 수 있으며, 부피 변화로 인한 크랙이 발생하여 장기 내구성에 치명적인 단점을 가지고 있다. 이를 개선하기 위해 나노 SiC를 첨가하였으며, 나노 입자 첨가 효과로 grain size를 감소시켜 기계적 강도를 증가시키고, 2차상 형성으로 3YSZ의 단사정계 상으로 전환되는 것을 억제하고자 하였다. NiO-3YSZ에 나노 SiC를 첨가하여 볼 밀링하였으며, 이후 펠렛타이징 및 소결을 진행하였다. 또한, 8시간, 500시간, 1000시간 동안 환원시킨 후 기계적 강도를 비교하였다. 나노 SiC가 첨가된 시편의 기계적 강도와 장기 내구성이 모두 향상되었으며, Ni-3YSZ를 활용한 연료극 지지형 고체산화물 연료전지가 상용화에 있어 중요한 요소로 작용될 것이라고 추측된다.

**Keywords:** 연료극 지지형 고체산화물 연료전지, 연료극 지지체, Ni-3YSZ, 나노 SiC, 기계적 강도, 장기 내구성

## 성형공법 상이한 탄소섬유 판넬 강도 비교

최현범, 이상현\*, 이서한, 이정우

(주)호원 기술연구소

(shlee@howon.com\*)

친환경 자동차 모델에 대한 수요 및 공급이 전 세계적으로 확대되면서, 배터리 모듈의 동력원으로 하는 전기자동차(Battery Electric Vehicle, BEV) 모델이 기존 내연기관 모델을 점차적으로 밀어내고 있다. 하지만, 기존 양산모델 대비 짧은 주행거리를 개선하기 위하여 동력을 제공하는 배터리 셀 탑재를 점차적으로 늘리면서 중량이 증가되는 원인이 발생하였으며, 추가적으로 배터리 셀의 전류/전압 조정 및 안전장치 별도의 주행 편의장치 등등 추가로 인하여 점차적으로 차체 중량이 늘어나게 되면서, 차체부품 소재가 현, 철강소재에서 알루미늄 등 비철소재 및 탄소섬유 강화플라스틱(CFRP) 등 개발로 진행되고 있다. 본 논문에서 탄소섬유 강화플라스틱을 이용한 차체부품 제작을 위하여 서로 상이한 제조공법을 반영한 탄소섬유 강화플라스틱 판넬에 대한 인장강도 비교를 하였다. 먼저, 유체 압축공법 (DFCM, Dynamic Fluid Compress Molding)으로 적층한 탄소섬유를 수지분사 및 프리폼 작업 뒤 금형에 넣고 속경화 수지 주입하여 압력을 가하여 제품을 성형제작하는 공법과 수지와 적층된 탄소섬유를 금형 틀에 압착 후, 약 130°C에서 가열된 용탕에 약 3~8분간 넣고 제품을 성형제작하는 침수성형공법(Theromo Liquid Pool, TLP)으로 제작된 탄소섬유강화플라스틱 판넬에 대한 인장강도 시험을 진행하여 결과 값을 비교하였다. 시험편 제작 및 시험방법은 ASTM 및 KS 규격을 수행하였으며, 종/횡방향으로 인장강도 시험을 진행하였다. 시험결과, DFCM-CFRP는 종방향 1132.8 MPa / 횡방향 1009.6 MPa 으로 TLP-CFRP 종/횡방향에 대한 인장강도시험을 통하여 종방향 804.92MPa / 횡방향 729.42MPa로 시험의 목표치(590MPa) 이상 상회한 결과를 얻었다. 상기 결과에서 DFCM 공법이 TLP 공법보다 결과값 차이는 수지 재질의 차이로 사료되며, 탄소섬유강화플라스틱 차체부품 제작에 첨가되는 수지에 대한 탐구가 필요하다. 별도로 TLP-CFRP 소재의 충격에 대한 성능의 유효성을 검증을 위하여 KS M ISO 6603 규격에 맞춰 시편제작 및 시험속도를 수행하여 TLP-CFRP에 대한 충격 에너지 도출하여 국내 완성차 규격기준 (23J)비교하여 평균 71.88J로 향상된 결과를 도출하여 유효함을 나타냈다.

### Acknowledgment

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “중견기업 DNA 융합 산학협력 프로젝트” (P0024554) 으로 수행된 연구결과입니다.

본 연구는 한국산업단지공단의 산학연 공동 R&D 지원사업으로 수행된 연구결과입니다. (HRGJ2101)

**Keywords:** Lightweight(경량화), Carbon Fiber Reinforced Plastics(탄소섬유강화플라스틱), Tensile Strength Test(인장강도시험), Thermo Liquid Pool(열 침수성형)

## 멍게 껍질에서 추출한 친환경 나노셀룰로오스 지지체 제조 및 기능성 평가

Kyu Ri Sim, Su Ji Kim, Hyun Seung Kwak, Cheol Ju Kim, Mi Jin Park, Sang Eun Hong, Kuk Ro Yoon<sup>†</sup>

Hannam University  
(kryoon@hnu.kr<sup>†</sup>)

조직 공학은 인공적으로 배양한 세포를 지지체에 부착시켜 이식함으로써 조직의 기능을 할 수 있도록 하는 기술이다. 지지체는 주로 독성이 적은 셀룰로오스 (Cellulose), 젤라틴 (Gelatin), 피브린 (Fibrin) 등과 같은 천연 고분자를 사용하여 제조한다. 수산부산물인 멍게 껍질의 연평균 발생량은 약 343천 톤이고, 재활용률은 약 19.4%로 대부분이 바다에 폐기되고 있다 (2020년 해양수산부 기준). 또한, 쉽게 분해되지 않아 악취와 수질오염을 유발한다. 본 연구에서는 수산부산물인 멍게 껍질에서 나노셀룰로오스를 추출하여 친환경 지지체로의 응용성을 평가하였다. 나노셀룰로오스의 형상은 Field Emission-Scanning Electron Microscope (FE-SEM), Field Emission-Transmission Electron Microscope (FE-TEM)으로 확인하였고, 물리화학적 특성은 Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Scanning Calorimetry (DSC)를 통해 분석하였다. 또한, MTT assay를 통해 나노셀룰로오스의 독성 평가를 진행하였다. 결과적으로, 나노셀룰로오스는 넓은 비표면적, 생체 적합성, 높은 기계적 강도라는 특징을 가지고 있어 친환경 지지체로 응용이 가능할 것으로 기대한다.

**Keywords:** Tunicate, Nanocellulose, Scaffold, Eco-friendly

## 담낭 조직 보호를 위한 젤란검 기반 점막접착성 하이드로겔 제조

Su Ji Kim, Mi Jin Park, Sang Eun Hong, Kuk Ro Yoon<sup>†</sup>

Hannam University  
(kryoon@hnu.kr<sup>†</sup>)

젤란검 (Gellan Gum)은 *Sphingomonas elodea*에 의해 분비되는 세포 외 다당류 (Exopolysaccharide)로써, 높은 생체친화도와 온도 감응 특성으로 인해 바이오 분야 및 식품 산업 등에서 광범위하게 활용된다. 하이드로겔 (Hydrogel)은 고분자가 물리적 또는 화학적 결합에 의해 3차원 망상구조를 가져 많은 양의 수분을 함유할 수 있다. 이러한 구조적 특성으로 인해 세포 외 기질 (Extracellular Matrix)과 유사한 환경을 조성할 수 있다. 본 연구에서는 젤란검의 하이드록시기 (-OH)에 메타크릴레이트 (Methacrylate)기를 도입해 Methacrylated 젤란검 하이드로겔을 제조하였다. 합성한 Methacrylated 젤란검의 물리화학적 특성은 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (<sup>1</sup>H-NMR), Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Scanning Calorimetry (DSC)를 통해 분석하였다. 또한, 생체 온도 조건에서 Methacrylated 젤란검의 하이드로겔 형성을 확인하였고, Methacrylate 치환된 정도에 따라 분해 속도를 평가하였다. 결과적으로, Methacrylated 젤란검 하이드로겔은 담낭 내벽에 생성되어 약물과 같은 외부 자극으로부터 점막 조직을 보호할 수 있을 것으로 기대한다.

**Keywords:** Gellan Gum, Methacrylation, Hydrogel, Gallbladder, Mucoadhesion

P-139

## Nanoencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* by Metal-Organic Framework for Preserve Probiotic Cells

Mi Jin Park, Sang Eun Hong, Kuk Ro Yoon<sup>†</sup>

Hannam University  
(kryoon@hnu.kr<sup>†</sup>)

Probiotics can enhance immunity and inhibit the growth of pathogens, thus improving overall immunity and intestinal health. Nanoencapsulation is defined as coating the surface of another substance with various nanomaterials for delivery and storage of drugs, cells, gases, etc. In this study, the formed an Iron-based Metal-Organic Framework (MOF) shell on the surface of *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*) and subsequently evaluated the activity of various storage conditions (pH, temperature, heavy metal, etc.). The morphology of *L. acidophilus*@MOF was observed by Field emission-scanning electron microscope (FE-SEM) and Field emission-transmission electron microscope (FE-TEM). Also, the *L. acidophilus* viability was confirmed by Optical Density (OD600) and Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM). That is expected that nanoencapsulation with MOF proves to protect *L. acidophilus* from various environments, maintain high viability, and be researched as a new probiotic preservative.

**Keywords:** Nanoencapsulation, Probiotics, Metal-Organic Framework (MOF), Exoskeleton, Cryoprotection

## Biofunctionality of chitosan-combined bioceramic coating on Mg surface

Seo-Young Kim, Jung-Eun Park, Jeong-Hui Ji, Seon-Hwa Jeong, Yong-Seok Jang, Min-Ho Lee<sup>†</sup>

Dept. of Dental Biomaterials and Institute of Biodegradable material and Oral Bioscience, School of Dentistry, Jeonbuk National University, Korea  
(mh@jbnu.ac.kr<sup>†</sup>)

Magnesium is one of metallic biomaterials, and has biodegradability. It shows superior mechanical properties than polymeric- and ceramic- biomaterials. However, H<sub>2</sub> formation and pH increase by its rapid biodegradability may occur local fracture of implant, and damage for surrounding tissue. Therefore, many researchers are performing various chemical treatments on the magnesium surface for delaying their biodegradation rate. In this study, chitosan-combined bioceramic was coated on Mg surface to enhance biofunctionality (corrosion resistance and biocompatibility).

Mg was polished before surface treatment. The hydrothermal-treatment was performed for 1 h at 90°C in the various mixture with bioceramic solution (0.25mol/L Ca-EDTA and 0.25mol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> in DW) and chitosan solution (1% chitosan powder in 1% acetic acid). The surface and cross-sectional images was obtained through SEM anyalsis. The change of elements on each surface were detected by EDS. XRD and FT-IR was used for confirming existence of bioceramic and chitosan. To compare corrosion resistance between groups, potentiodynamic polarization was progressed. The cytotoxicity of surface coating was estimated by WST assay for osteoblastic cells

Chitosan-combined bioceramic coating was formed as flower-like fine particles on the Mg surface. The particles form the uniform layer. The size of particles on the surface became smaller depending on the increase of chitosan solution in mixture. Moreover, the gaps between particles also became narrower and denser. The chitosan-combined bioceramic coating was mainly consisted of Mg, O, Ca, and P. The bioceramic was crystallized as octacalcium phosphate (OCP) and hydroxyapatite (HA) crystal phase. It was confirmed that chitosan was chemically bound on the surface. Corrosion potential ( $E_{\text{corr}}$ ) and Charge-transfer resistance ( $R_{\text{ct}}$ ) was increased with the concentration of chitosan in mixture for hydrothermal-treatment. The addition of chitosan until 20% in the mixture was gradually effective on the increase of cell's proliferation.

The flower-like fine particles obtained by chitosan-combined bioceramic coating formed uniform coating layer on Mg surface. The size of particles and density of layer can be controlled through the added concentration of chitosan. The protective layer with OCP and HA particles was effective on preventing rapid biodegradability of Mg surface and on improving the proliferation of osteoblastic cells.

### Acknowledgment

“This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2021R1C1C2006915, No. 2021R1A2C1008740 and No. 2021R1A2C2005466).”

**Keywords:** Magnesium, Chitosan, bioceramic, Hydrothermal-treatment, Biofunctionality

P-141

## Fabrication and properties of bioceramic/collagen scaffolds using natural sugar cross-linkers for bone tissue engineering

Seon-Mi Byeon, Yu-Kyoung Kim, Chen Ma, Hao An, Hye-Jin Song, Min-Ho Lee<sup>†</sup>

BK21 Plus Program, Department of Dental Biomaterials, Institute of Biodegradable Materials, School of Dentistry,  
Jeonbuk National University, Korea  
(mh@jbnu.ac.kr<sup>†</sup>)

**Objectives:** In the field of regenerative medicine, bone tissue engineering (BTE) has emerged as a promising approach to address problems caused by bone defects, fractures, and bone degenerative diseases. Because of this, there is increasing interest in fabricating mineralized structures composed of fibrous collagen and bioceramics, which are the main components of the extracellular matrix in bone. However, it needs to be improved into a cross-linkable material with high biocompatibility and safety. This study aims to contribute to the development of BTE by applying D-ribose, a natural sugar cross-linker, to cross-link a mineral scaffold combining OCP (Octacalcium Phosphate) and type 1 Collagen.

**Methods:** After obtaining a 3wt% collagen solution, the pH was adjusted to 6.5 and mixed with OCP powder of 200-300  $\mu\text{m}$  size in a 1:1 ratio. OCP/Collagen recovered as a slurry was cross-linked with 0, 50, and 100 mM of ribose in ethanol and PBS solutions (70:30 vol.%). The cross-linked slurry was freeze-dried to obtain biomimetic mineralized scaffolds. The effects of the amount of cross-linker on porosity, pore size, microstructure, decomposition rate, and mechanical properties were investigated. Physicochemical properties were evaluated by XRD, FTIR, and ICP, and in vitro biocompatibility was confirmed using MC3T3-E1 cell culture and WST assays.

**Results:** Depending on the ribose content, the glycosylated OCP/Collagen scaffolds were shown to have an interconnected network structure with high porosity of 86% to 90% and appropriate microporosity. As the ribose content increased, the porosity and pore size of the support gradually increased. The decomposition rate decreased as ribose increased, and the compressive modulus increased. However, the compressive modulus of the 50 mM ribose glycosylated scaffolds was confirmed to be the highest. Cell culture experiments reported excellent cytocompatibility, extensive cell attachment, proliferation, and colonization with increasing ribose content.

**Conclusions:** As ribose was glycosylated on the OCP/collagen scaffolds, the mineralization ability of the bioceramics was effectively improved. Ribose-glycosylated scaffolds were greatly helpful in reducing solubility and increasing mechanical properties and biocompatibility. However, it was confirmed that increasing the ribose content above 100 mM may affect the performance of the scaffolds. As a result, scaffolds glycosylated with appropriate concentrations of ribose can be attributed to the bone-like structure, improved biocompatibility, and cross-linking ability between collagen and ribose.

### Acknowledgment

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2022R1I1A1A01052952)(No. RS-2023-00247297), and by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2021R1A2C2005466).

**Keywords:** Bone tissue engineering (BTE), Octacalcium Phosphate (OCP), Collagen, D-Ribose, Cross-linking

P-142

발 표 취 소

P-143

## Plasmonic needle-based sensor for label-free colorectal cancer diagnosis

Kang Seok Jo, Ho Sang Jung<sup>†</sup>

Department of Nano-Bio Convergence, Korea Institute of Materials Science (KIMS), Changwon, Gyeongnam 51508,  
Republic of Korea  
(jhs0626@kims.re.kr<sup>†</sup>)

In this paper, we introduce a plasmonic needle SERS (PNS) sensor for label-free detection of colorectal cancer applications. Polymerized dopamine (PD) was used as an adhesive layer on needle surface and simultaneously functioned as a reducing agent for the nucleation of gold seed nanoparticles. Au nanostructures were then further grown based on a surface-catalyzed reduction of gold ions by hydroxylamine, forming high density of gold nanocages (AuNCs) with the size of 200 nm. The forming layered components of AuNC structures on needle surface could be well defined through transmission electron microscopy (TEM) analysis. Due to abundant hot spot regions forming between AuNC sites, the PNS sensor exhibited high uniformity and excellent molecular sensitivity with a detection limit of  $2 \times 10^{-8}$  M for malachite green. For field application, the PNS sensor was equipped with an endoscopy system for colorectal cancer sensing using a mouse model. The Raman signals obtained from PNS-assisted endoscopy were analyzed and classified using a machine learning method, successfully discriminating the colorectal cancer and normal mouse models. The developed PNS sensor is expected to be utilized for non-invasive and label-free on-site sampling and sensing of tumor tissues.

**Keywords:** colorectal cancer, endoscope, surface-enhanced Raman scattering (SERS), gold nanocage

## Dielectric-metal-dielectric sandwich nanodisks for bioimaging applications

Jinju Kim<sup>1</sup>, Jihyeon Heo<sup>1</sup>, Jinhyung Lee<sup>2</sup>, Hee-Kyung Na<sup>2</sup>, Jung-Sub Wi<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Safety Measurement Institute, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 34113, Republic of Korea  
(jungsub.wi@hanbat.ac.kr<sup>†</sup>)

Bioimaging in the second near-infrared (NIR-II) window can help to obtain high resolution images and a large penetration depth. This study proposes Si/Au/Si sandwich nanodisks that have a resonance wavelength in the NIR-II window. Electromagnetic simulations show that the resonance wavelength of the Au nanodisks is substantially red-shifted by layering a high refractive index material such as Si on top and bottom of Au nanodisks. The proposed Si/Au/Si sandwich nanodisks designed by electromagnetic simulation are physically synthesized using nanoimprint lithography and vacuum deposition. The average diameter of the Si/Au/Si sandwich nanodisks is about 160 nm and the thickness of both Si and Au is about 10 nm. Finally, we successfully demonstrate that the experimentally measured resonant wavelength of the sandwich nanodisk and the value calculated by the simulation are almost identical (1200 and 1240 nm, respectively).

**Keywords:** nanodisks, NIR, bioimaging, nanoimprint, lithography

## 3YSZ의 첨가제 종류에 따른 저온 열화 특성 평가

김지원<sup>1</sup>, 김지홍<sup>1</sup>, 페스타리아 시나가<sup>1</sup>, 배성환<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경남대학교 대학원 메카트로닉스공학과 신소재공학부; <sup>2</sup>경남대학교 신소재공학과  
(shbae@kyungnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Yttria-stabilized zirconia(YSZ)는 우수한 기계적 특성으로 엔지니어링 세라믹 재료로 활용도가 높다. YSZ의 양이온 Zr의 경우 높은 소결 온도에서도 확산속도가 매우 느린 것으로 알려져 있고, 이로 인해 첨가제 첨가 시 확산속도가 빨라 초기 치밀화 현상을 가속하여 소결 특성을 향상할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 YSZ의 기계적 특성을 향상하기 위해 소결체 조성, 첨가형태(분말, 전구체, 나노구조체 등), 첨가범위 등에 대한 다양한 연구가 진행되어 소결 특성이 향상되었다는 보고가 있다. 그러나 YSZ는 실사용에 있어 저온열화로 인해 상 변태 되어 물성이 저하되거나 파괴되는 보고가 있다. 그리고 첨가제 종류에 따라 저온열화 특성변화에 대한 체계적인 연구는 부족하다. 이에 본 연구는 YSZ의 여러 첨가제 종류 중 높은 밀도를 가지는  $Al_2O_3$ 와  $Co_3O_4$ 가 첨가된 소결체를 저온열화 후 상분율로 저온열화 정도를 확인하기 위해 XRD 분석을 진행하였고, 저온열화된 소결체의 경도 및 파괴인성을 비커스 경도시험기로 측정하였으며, SEM으로 미세구조를 확인하였다.

**Keywords:** YSZ, 저온열화, 첨가제, 기계적 특성, 구조재료

## DED로 제조된 SUS 316L의 레이저 쇼크 피닝을 통한 수소 취성 완화 연구

박준영, 하정홍<sup>\*</sup>, 이정훈한국생산기술연구원  
(jhjh@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

세계적으로 석유 소비의 감축, 지구온난화에 대한 대책 등으로 탄소 중립과 같은 여러 환경 규제가 강화되고 있어 탄소 에너지의 대체제로 수소가 자동차, 철강, 석유 산업 등에서 많은 주목을 받고 있다. 현재, 효율적인 수소 활용을 위한 수소 저장 기술의 부족으로 application이 제한적인 상태이다. 현재, 대용량으로 수소를 저장하기 위해 고압으로 수소를 충전하는데 고압을 견디기 위해 저장 용기로 탄소 섬유 복합재(CFRP)를 사용한다. CFRP는 무게 대비 강성이 뛰어나지만 기존 고가의 재료이기 때문에 비용 문제가 발생한다. 따라서, CFRP의 대용으로 값싼 오스테나이트계 스테인리스 강이 대체제로 떠오르고 있다. 하지만 스테인리스 강으로 수소 저장을 대체하면 낮은 강성과 수소 취성이 새로운 문제로 대두된다. 낮은 강성은 고압의 수소를 견딜 수 없다. 또, 수소 취성은 강재의 연성, 인성을 저하시키기 때문에 안전상의 문제도 발생할 수 있다. 최근, 해당 문제들을 해결하기 위해 적층 제조(Additive manufacturing)를 이용한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 한 예로, Powder bed Fusion을 통해 스테인리스강을 제조했을 때, 기존 주조 보다 강도와 연성이 향상되었고 수소 취성 또한 완화시킨 사례가 존재한다. 하지만 여전히 적층 제조로 만든 스테인리스 강의 수소 취성에 관한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 금속 3D 프린팅 중 하나인 Directed energy deposition(DED)를 통해 스테인리스 316L을 제조하고 강성을 확보하기 위해 레이저 쇼크 피닝(LSP)을 적용하여 스테인리스 316L의 기계적 특성과 수소 취성 저항성을 향상시키고자 한다. LSP 전, 후의 미세조직 변화를 SEM/EBSD를 통해 관찰하였으며 인장시험을 통해 기계적 특성의 변화, 수소 취성 저항성을 평가하였다.

**Acknowledgment**

This research was supported by the Commercialization Promotion Agency for R&D Outcomes (COMPA) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT) (Project No. 1711198546) and Korea Institute of Industrial Technology (KITECH) (Project No. EH-23-0002)

**Keywords:** Directed energy deposition, Hydrogen embrittlement, Laser shock peening. Stainless 316L

P-147

## 전계방사형 주사전자현미경과 EDS를 이용한 구리 및 알루미늄 용융흔 분석

방현준<sup>†</sup>

군산대학교

(guswns604@naver.com<sup>†</sup>)

본 논문은 구리와 알루미늄의 아크로 인한 용융흔에 대하여 분석하고자 하였으며 시료는 구리와 알루미늄의 정상부분과 용융부분으로 사용하였다. 조직분석과 성분분석을 위한 전처리 과정으로는 절단(cutting), 마운팅(Mounting), 연마 및 폴리싱(Grinding/Polising), 이온 밀링(Ion Milling)작업을 실시하였으며 두 물질의 단면조직 분석은 전계방사형 주사전자현미경(FE-Sem)을 사용하였고, 성분의 정량적인 평가는 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 이용하였다. 분석결과 구리와 알루미늄의 용융흔은 정상조직에 비하여 단면조직이 확대 되었으며 탄소 함유량이 증가되었다.

**Keywords:** 전계방사형주사전자현미경, 용융흔, 전처리

## Improvement of adhesion strength of plasma sprayed YAG coating onto CFRP

Sanjaya Kumar Pradhan<sup>1</sup>, Min-su Na<sup>1</sup>, Eui-Pyo Kwon<sup>2</sup>, Lee Jong Kweon<sup>3</sup>, Min-Suk Oh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Advanced Materials Engineering, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Cabon & Light Materials Application R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Jeonju 54853, Republic of Korea;

<sup>3</sup>Product development department, Sewon Hardfacing., Ltd, Wanju, 55323, Republic of Korea

(misoh@jbnu.ac.kr<sup>\*</sup>)

Carbon fibre reinforced polymer/plastic (CFRP) is widely favoured across multiple industries owing to its lightweight, low density, and high strength-to-weight ratio; however, certain limitations such as low thermal and electrical conductivity, inadequate resistance to abrasion, and narrow operational temperature range restrict its broader applications. In order to make them more stable and durable, CFRPs are being coated with metals and ceramics, mostly by thermal spray (TS) processes, which can cause surface degradation due to the elevated temperatures involved. The main objective of the current work is to investigate the adhesive properties of Zn and YAG coatings sprayed onto CFRP composites using the wire arc and plasma processes, respectively. The optical and electron microscopic techniques were employed to characterise the surficial and interfacial aspects of the coatings. The adhesion strength of the Zn/CFRP and YAG/CFRP interfaces was measured using an aluminium dolly with the help of epoxy adhesive. We found that the concept of mechanical interlocking/anchoring could be a potential mechanism which is responsible for the improved adhesion strength of the YAG/CFRP interface.

**Keywords:** CFRP, wire arc spray, plasma spray, mechanical interlocking/anchoring, adhesion strength, YAG coating

## 박판주조성이 우수한 Al-Zn-Mg-Ni합금의 미세조직 및 기계적특성

정대한<sup>1,2</sup>, 한찬별<sup>1</sup>, 조용희<sup>1</sup>, 김원경<sup>1</sup>, 김형욱<sup>1</sup>, 이윤수<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>한국재료연구원; <sup>2</sup>부산대학교 재료공학부  
(yslee@kims.re.kr<sup>†</sup>)

박판주조 공정은 용탕에서 직접 판재를 생산함으로써 주조공정과 열간 압연 공정을 통합한 공정으로 경제성이 매우 높다. 이 공정은 롤과 닿아 있는 순간에 응고가 완료되어야 하므로 1XXX(Pure Al), 3XXX(Al-Mn), 5XXX(Al-Mg) 계열 알루미늄과 같이 열간균열의 영향을 거의 받지 않으며 응고 범위가 좁은 합금에 가장 적합하다. 그러나 Cu를 포함한 7XXX 계열 알루미늄의 경우 다른 알루미늄 합금과 달리 응고범위가 넓어 박판주조 공정 적용에 어려움이 많다.

본 연구에서는 Al-Zn-Mg-Cu합금의 기계적 특성을 유지하면서 응고 온도 범위를 줄이기 위해 Cu를 Ni로 대신하였다. 열역학적 계산 결과, 설계한 Al-Zn-Mg-Ni 합금은 Al-Zn-Mg-Cu 합금 대비 응고 범위가 더 좁고 최종 응고 온도에서 잔류 액상의 양이 적은 것으로 나타났다. 설계한 Al-Zn-Mg-Ni 알루미늄 합금을 대상으로 박판주조를 실시한 결과, 결함이 없는 우수한 표면의 판재를 제작할 수 있었다. 또한, 후 가공 및 열처리를 시행한 Al-Zn-Mg-Ni 합금의 최종 판재는 Ni 첨가량이 증가할수록 항복강도 및 인장강도는 증가하였으나, 연신율은 1.0wt%이상에서 급격히 감소하였다. 결과적으로, Al-Zn-Mg-Ni 알루미늄 합금은 박판 주조성이 우수한 고강도 알루미늄 합금으로 평가된다.

**Keywords:** aluminum alloy, twin roll casting, mechanical properties, microstructure, solidification range

## 용융아연도금과 Zn-Mg-Al 합금 도금의 부식 거동 및 부식 생성물 관찰

나예슬, 이건민, 오민석<sup>\*</sup>

전북대학교 신소재공학부  
(misoh@jbnu.ac.kr<sup>\*</sup>)

Zn-Mg-Al 합금 도금재는 용융아연도금에 비하여 우수한 내식성을 제공하는 것으로 알려져 있다. 이는 강철 기판에 안정적이고 치밀한 부식생성물을 형성하여 염화물의 침입을 막고 부식에 대한 저항성을 증가시키기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 용융아연도금과 Zn-Mg-Al 3원계 합금도금을 다양한 시간 조건에서 부식 테스트를 진행하였고, 그에 따른 부식생성물의 형성 과정과 미세구조를 조사하였다. 또한, 시간에 따른 부식 환경에서의 용융 아연 도금재와 Zn-Mg-Al 합금 도금재의 부식 메커니즘을 밝혀보고자 하였다. 두 도금 강판들의 부식생성물의 변화를 관찰하기 위해 XRD를 통해 침지 시간에 따라 생성되는 상들을 분석하였다. 또한, FE-SEM 을 통한 부식생성물의 미세구조를 확인한 후 치밀한 부식생성물의 형성이 내식성에 미치는 영향을 입증하고자 하였다. SEM-EDS 를 이용하여 미세조직을 분석한 결과 Zn-Mg-Al 합금 도금재의 내식성은 Simonkolleite ( $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )의 안정화와 상관관계가 있었다. Hydrozincite ( $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ ), Zincite 보다 치밀한 구조를 나타내는 Simonkolleite의 형성이 Zn-Mg-Al 합금 도금재의 부식 특성 향상에 기여할 수 있음을 보여주었다.

**Keywords:** hot dip galvanizing, Zn-Al-Mg alloy coatings, corrosion, corrosion product, microstructure

## Effect of thermal annealing on the Ruddlesden-Popper phase of Nd<sub>1.4</sub>Sr<sub>1.6</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub> perovskite

Akshay Kumar<sup>1</sup>, Naveen Yadav<sup>2</sup>, Mohit K. Sharma<sup>1</sup>, Kavita Kumari<sup>3</sup>, Bon Heun Koo<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>School of Materials Science and Engineering, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Department of Materials Convergence and System Engineering, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>3</sup>Industrial Technology Research Institute, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea (bhkoo@changwon.ac.kr<sup>†</sup>)

Perovskites are the extensively studied ordered material in material science and solid-state chemistry. Beside simple perovskites layered structures like Ruddlesden-Popper (RP) phase have been subject of interest in recent years due to their remarkable structural and physical properties. The rock salt layer of these materials is an important structural component that distinguishes RP phase from the simple perovskite structure and is highly sensitive towards temperature and synthesis conditions. In this work we have investigated the effect of temperature on the synthesis condition of a complex RP phase manganite Nd<sub>1.4</sub>Sr<sub>1.6</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. The material was prepared by conventional ceramic route (Solid-state reaction). Considering the high temperature synthesis, all the precursors were taken in 5% in excess from their stoichiometry. The powders were heated at different temperatures 1000-1500 °C following the intermediate grinding after each heat treatment. The progress of reaction was strictly monitored by X-ray diffraction. The material observed to achieve RP phase (I4/mmm tetragonal phase) at temperatures above 1100 °C and converted to simple perovskite phase at temperatures above 1450 °C. The signature peaks of RP phase at 2θ value ~ 22.5° (101), 32.2° (110) and 32.9° (105) were prominent on long heating (30 h, 48 h). The microstructure and morphology of the material were investigated by scanning electron microscopy (SEM) showed clear, distinguished grain boundaries with an average grain size of 3.198 μm. Our findings in this work suggest that the Nd<sub>1.4</sub>Sr<sub>1.6</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub> layered manganites are sensitive to temperature and the synthesis condition should be monitored closely to achieve pure RP phase in these materials. Our further investigations in these materials would expose the magnetic properties and potential of these RP perovskites for application in magnetocaloric effect.

**Keywords:** Ruddlesden-Popper (R-P) phase, Solid- state reaction, Phase change, grain boundaries

## 레이저파우더베드퓨전으로 제조된 Fe-17Mn-5Si-10Cr-4Ni-(V, C) 철계형상기억합금의 직접시효열처리가 기계적특성 및 형상기억특성에 미치는 영향

김도형<sup>1</sup>, 김태윤<sup>1,2</sup>, 최은영<sup>1</sup>, 이육진<sup>2</sup>, 김왕렬<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 동남본부, <sup>2</sup>부산대학교 재료공학과  
(ryeol@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

본 연구에서는 레이저파우더베드퓨전 (Laser powder bed fusion) 공정을 이용하여 제작된 Fe-17Mn-5Si-10Cr-4Ni-(V, C) 철계형상기억합금을 직접시효 및 용체화처리 후 시효처리 했을 때의 미세구조, 기계적특성 및 형상기억특성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. As-built 상태에서 시작하여 750°C에서 6시간동안 직접시효처리된 시편은 높은 밀도의 저각 입계를 가지는 적층방향으로 연신된 austenite 결정립을 가졌으며, 1050°C 에서 2시간동안 용체화 처리 후 같은 조건으로 시효처리된 시편의 경우 완전히 재결정된 등축의 결정립으로 이루어져있으며 높은 밀도의 쌍정을 포함하였다. 직접시효 처리된 시편의 경우 용체화 처리 후 시효처리된 시편에 비해 미세하고 밀도 높은 VC 석출물을 나타냈다. 또한 이러한 미세한 석출물은 대부분 적층제조된 금속에서 특징적으로 나타나는 cell 경계를 따라 형성된 것을 확인할 수 있었으며, 이는 직접시효처리 후에도 레이저공정의 높은 냉각속도로 인해 형성되는 독특한 구조인 cell 구조를 보존하고 있음을 방증한다. 직접시효된 시편과 용체화처리 후 시효처리된 시편은 서로 비슷한 의사탄성 변형률 (pseudo-elastic strain) 및 회복 변형률 (recovery strain)을 나타냈다. 반면 직접시효처리 된 시편의 경우 용체화처리 후 시효처리 된 시편에 비해 훨씬 높은 항복강도와 회복응력 (recovery stress)를 나타냈으며, 이는 적층제조공정의 특징적인 미세조직인 cell 구조 및 미세한 탄화물 형성에 기인한 것으로 사료된다.

**Keywords:** 적층제조, 레이저파우더베드퓨전, 철계형상기억합금, 열처리, 상변태

## Structural Observations during Heat treatment of Hematite-Zn powders prepared by mechanical alloying

한지수, 이충효\*

목포대학교  
(chlee@mokpo.ac.kr<sup>\*</sup>)

강자성 nanocomposite는 단일상의 자성재료에 비하여 기지금속의 우수한 기계적 특성과 산화물상의 뛰어난 고온 특성 때문에 자동차 등 운송기기 산업 분야에서 그 응용이 기대된다. 특히 연자성 nanocomposite의 경우 초미세 자성상의 single domain 효과 그리고 초미세 비자성/비금속상에 의한 자기적/전기적 고립 효과로 특유한 자기적 특성을 나타낸다. Metal oxide/metal nanocomposite의 경우 조성설계 및 미세조직 제어를 통하여 높은 포화자화 값 및 우수한 자기적 특성을 가지는 자성재료로 개발될 수 있다.

본 연구에서는 실온 고상반응법인 기계적 합금화법을 적용하여 nanocomposite를 in-situ 제조하였다. 출발원료는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(99.9%, 평균입경 0.1 $\mu$ m) 및 Zn(99.9%, 평균입경 127 $\mu$ m) 분말을 각각 혼합하여 Ar 분위기에서 진동밀로 MA 처리를 실시하였다. 얻어진 분말재료 및 SPS 소결체에 대하여 XRD, DSC, SEM 및 VSM 등을 이용하여 생성상을 분석하였다. 진동밀(Spex8000D)로 실시한 MA 처리에서 비교적 짧은 5시간 이내에 대부분 고상환원 반응이 완료됨을 알 수 있었다.

### Acknowledgment

This results was supported by “Regional Innovation Strategy(RIS)” through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE) (재단 과제관리번호 : 광주전남플랫폼 2021RIS-002)

**Keywords:** Heat treatment, Solid state reduction, Ferromagnetic nanocomposite powders

## Phase Transformation Behavior of Hematite-Mg powders by Mechanical Alloying

한지순, 이충효<sup>†</sup>, 진현제

목포대학교  
(chlee@mokpo.ac.kr<sup>†</sup>)

Metal oxide/metal nanocomposite는 특유한 물성 즉 우수한 기계적, 전기적 및 자기적 특성 때문에 그 응용이 기대되고 있다. 현재 페라이트로 대표되는 산화물 자성체는 산업용 자석재료 및 연자성 고주파 자심재료로 응용되고 있다. 특히 페라이트 자성체는 저렴한 가격 및 고온 안정성이 우수하다. 하지만 산화물 자성체는 금속계 자성재료에 비하여 포화자화 값이 낮다는 단점이 있어 그 응용에 한계가 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 metal oxide/metal 자성 나노복합재료를 제조하기 위하여 기계적합금화법을 적용하였다. 출발원료로 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(99.9%, 평균입경 0.1 $\mu$ m) 및 Mg(99.9%, 평균입경 180 $\mu$ m) 분말을 각각 혼합하여 Ar 분위기에서 진동밀로 MA 처리를 실시하였다. 진동밀로 실시한 MA 처리 5시간 이내에 대부분 고상환원 반응이 완료하였으며 metal oxide/metal 자성 나노복합재료를 얻을 수 있었다. 또한 MA 분말재료의 자성측정에서는 조직 미세화에 따른 보자력 증가가 뚜렷이 관찰되는 등 상변태 과정을 자세히 관찰할 수 있었다.

### Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(No. 2022H1D8A30386711). Also “Following are results of a study on the “Leaders in INdustry-university Cooperation 3.0” Project, supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea.

**Keywords:** Phase transformation, Magnetic properties, Mechanical alloying

## Metal Paste 입자사이즈에 따른 코팅의 특성 연구

김현수<sup>1</sup>, 윤진두<sup>1</sup>, 박승우<sup>1</sup>, 서선교<sup>2</sup>, 김호영<sup>3</sup>, 박종규<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동진금속; <sup>2</sup>에스비피 쉘텍; <sup>3</sup>한국건설생활환경시험연구원  
(sbpsurtech@gmail.com<sup>†</sup>)

자동차의 구동장치 중 토크 컨버터(Torque converter)는 자동변속기에서 사용되는 장치로서 일반적인 기본 구조는 플라이휠과 붙어있는 프런트 커버, 클러치, 어셈블리, 터빈, 임펠러로 구성되어 있다.

특히 클러치 디스크 어셈블리(Clutch disc assembly)의 경우 엔진 구동력을 디스크 판에 의해 가압되는 비틀림 스프링을 통해 허브판으로 전달 시 발생하는 충격을 완화하기 위하여 설계되고 있다. 이에 대한 표면처리 기술로는 클러치 디스크 작동 시 Friction spring의 축방향 하중을 받은 히스테리시스판(Hysteresis plate)에 마찰이 발생으로 되는 문제를 해결하기 위하여 일반적으로 인산염 화성처리를 통해 엔진소음을 저감시키고 있으나 마모 진동 및 소음 등을 억제함에 있어 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 자동차 운행 시 진동 및 소음 문제를 해결하고자 클러치 디스크판과 허브판(Hub plate) 사이에 장착된 히스테리시스판에 인산염 화성처리 후 Metal paste 입자사이즈에 따른 코팅의 특성 연구를 수행하였다. SEM 및 EDS 분석을 수행하여 Morphology 및 성분분석을 확인하였으며, XRD, XPS 분석하여 상(Phase) 및 화학적 결합상태를 확인할 수 있었다. 또한 기계적인 특성은 경도 및 내마모성 시험분석을 수행하여 분석결과를 토대로 Metal paste 기능성 코팅에 대한 최적조건을 도출할 수 있었다.

**Keywords:** Metal Paste, Aluminum, Morphology, Roughness, Friction Coefficient

## Characteristics of TIG Weld Zone in Electrolytically Polished STS316L Tube

이현승<sup>1</sup>, 한승호<sup>1</sup>, 이돈희<sup>1</sup>, 김강산<sup>2</sup>, 장시영<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국항공대학교(신소재공학과); <sup>2</sup>한국항공대학교(신소재연구센터)  
(sychang@kau.ac.kr<sup>†</sup>)

The STS316L tube with an internal diameter of 1/8-inch was manufactured by VOD (Vacuum Oxygen Decarburization) process, extrusion, drawing and heat treatment at 1258 K for 1h, and was electrolytically polished (EP). In addition, tungsten inert gas (TIG) welding was conducted at a consistent speed of 80 mm/min and currents of 6.5 and 7.0 A.

In this study, the surface properties such as oxide layer thickness and Cr/Fe and CrO/FeO ratios of EP layer in weld zone were investigated, and the microstructure of weld zone including heat affected zone was observed. The grain size of STS316L tube employed in this study was 74  $\mu\text{m}$  and the vickers hardness was 165 Hv. However, after TIG welding, the grain size in HAZ increased to 77  $\mu\text{m}$  and the vickers microhardness decreased to 156 Hv. Furthermore, the surface roughness of the EP layer before welding was 25 nm, and it increased to 32nm after welding. Additionally, the thickness of oxide layer decreased from 4.5 to 3.8 nm after welding. The Cr/Fe and CrO/FeO ratios in the EP layer were investigated through XPS analysis to compare changes before and after welding.

**Keywords:** VOD (Vacuum Oxygen Decarburization), Electrolytic polishing, TIG (Tungsten Inert Gas) welding, STS316L, Surface Properties.

## 자동차 전선용 Cu 선재의 열처리 조건별 기계적 특성 및 미세조직 비교 분석

허현준, 조상현, 이성희\*

국립목포대학교 첨단재료공학과  
(shlee@mokpo.ac.kr<sup>\*</sup>)

최근 국제 환경 및 연비규제 강화 추세와 에너지 자원의 가격상승으로 인해 전 세계적으로 친환경화 및 경량화 소재의 개발이 수송기기 산업의 주요 패러다임으로 부상하고 있다. 경량화 소재의 부품 및 개발 기술은 기존 수송기기 대비 동등 이상의 특성을 만족시키기 위해 연구 및 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 경량화 소재의 부품 및 개발은 연비의 향상과 에너지 효율증가 및 중량 감소로 인한 비용감소라는 장점이 있다. 하지만 안전규제 및 편의 사양 요구에 따른 차량의 전기부품, 전기회로수의 증가로 중량 또한 증가하며, 차량의 중량의 약 5%를 차지하고 있어, 이에 따라 안전성 향상, 제조단가, 생산성을 만족시키면서 기존 구리선재 대비, 소재를 정교하게 가공하면서 강도-연신율을 만족시키기 위한 정밀한 열처리 공정이 필요한 실정이다.

본 연구에서는, 기존 통전 소결로 진행되는 열처리 공정과 특정 온도에서 진행되는 열처리 공정의 조건별 미세조직 및 기계적 특성 비교 분석을 통해, 기존의 통전 소결과 일반 열처리 공정 방식의 비교 데이터 테이블을 작성하여 최종적으로 불량률이 높은 통전 소결 방식에서 일반 열처리 공정 방식으로의 공정 개선을 진행한다.

### Acknowledgment

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2022H1D8A30386711).

**Keywords:** 구리 전선, 인발공정, 기계적 특성, 미세조직, 신선

## 냉간인발공정에 의해 강소성 가공된 AA1070 신선재의 특성 분석

조상현, 허현준, 이성희\*

국립목포대학교 첨단재료공학과  
(shlee@mnu.ac.kr<sup>†</sup>)

최근 고유가, 연비규제, 환경규제 등의 글로벌 이슈로 에너지효율 증가, 온실가스 배출 감소 및 친환경화가 자동차 산업 패러다임의 주요 키워드로 부상하고 있다. 이러한 트렌드 변화는 차량의 경량화로 이어지고 있으며 차량의 경량화는 차체부터 시작하여 엔진부품, 유리등의 부품에서부터 배선까지 모든 부분에서 경량화에 박차를 가하고 있다. 이러한 부품 중에서 차량의 전기회로의 수는 1,500개 이상이며, 차량 중량의 약 5%를 차지하고 있고, 친환경차의 발전과 전기부품의 증가에 따라 전기회로수 및 중량 또한 증가하는 추세다. 이러한 자동차 산업의 급격한 변화로 인한 자동차용 전선의 사용량 증가는 구리 전선의 경량화로 이어지면서 구리 전선의 대체 재료로 알루미늄 전선이 부상하고 있다.

본 연구에서는 사용 전선용 알루미늄 합금 중에 전기적 특성을 고려하여 고순도로 설계되어 상용화되어 있는 AA1070 합금 봉재를 이용하여 인발 공정을 거쳐 초기 2mm에서 0.4mm까지, 신선을 제조하여 단면감소를 및 어닐링 온도 (200~450°C, 2h)에 따른 기계적 및 전기적 특성과 미세조직 변화를 분석하였다.

### Acknowledgment

본 과제(결과물)는 2021년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다(2021RIS-002)

**Keywords:** 알루미늄 합금, 냉간인발공정, 기계적 특성, 미세조직, 신선

P-159

## STS316L과 P21 레이저 경사적층소재의 부위별 이상조직 발생 및 기계적 특성 발현 메커니즘

김병근<sup>†</sup>

한국생산기술연구원  
(bungkim@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

경사적층소재 (Functionally graded materials, FGM)은 구조 또는 성분이 위치에 따라 점진적으로 변화하게 제조된 소재이다. FGM은 부위에 따라 기계적, 열적, 화학적 특성이 점진적으로 변화하는 특성을 가진다. 우주항공, 원자력, 전기전자 등 첨단 분야에서는 부위별로 다른 특성을 요구하는 경우가 많다. 이 경우 FGM 소재 적용으로 Conventional 소재를 뛰어넘는 최적의 물성조합을 달성할 수 있다. 최근 레이저 금속3D 프린팅 기술이 발달함에 따라 부위에 따라 합금성분 조절이 가능하고 이를 활용한 금속 FGM 제조 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 페라이트 구조의 공구강 P21과 오스테나이트 구조의 스테인리스강 STS316L이 0.3mm 간격으로 1%씩 성분이 점진적으로 변화하는 FGM블록을 제작하고 미세조직 및 기계적 특성을 측정하였다. 부위별 합금 성분에 따른 덴드라이트 형상, 이상조직 분포, 성분편석, 석출상 생성 등을 분석하고 경도 및 인장특성과의 관계를 유추하였다. P21과 STS316L으로 구성된 FGM은 원자력 발전소 고온고압수화학 환경에서 강도, 내마모, 내부식을 동시에 확보할 수 있는 후보 소재이다. 본 연구 결과는 원자력 복합 환경에 적합한 FGM 부품 제작 방향을 제시한다.

**Keywords:** 경사적층소재, 스테인리스 316, P21, 레이저용접, 3D 프린팅

P-160

## 원자력발전소 밸브디스크 및 고속열차 브레이크 디스크용 베이나이트강의 미세합금 함량에 따른 미세조직 및 기계적 성질에 관한 연구

김병국<sup>†</sup>

한국생산기술연구원  
(bungkim@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

산업이 발전함에 따라 철강 재료의 더 높은 수준의 기계적 특성이 요구된다. 특히 철도차량용 브레이크 디스크와 원전의 밸브시트에는 높은 강도와 인성이 필요하다. 강도와 인성을 향상시키기 위해 AISI4130 철강 소재에 Nb, Mo 및 Ti가 첨가하였다. 기존의 침상페라이트를 유발하는 Ti 함량에 따른 강도 및 충격인성의 변화에 대한 연구는 0.05wt.% 이하만 연구 되었다. 본 연구에서는 브레이크 디스크 및 밸브 시트 강재의 매우 넓은 범위의 Ti 함량(0~0.12wt%)에 따른 미세구조 및 기계적 특성 거동에 대한 결과를 소개하였다. 시료를 퀴칭 템퍼링 열처리를 실시하였고, OM, SEM, EBSD, TEM 분석을 통해 베이나이트 형태 및 침상 페라이트 형성을 관찰하였다. EBSD를 이용하여 유효결정립으로서의 페라이트 블록의 거동을 상세하게 분석하였고, Ti 함량에 따른 Accular Ferrite, Granular Bainite, Bainitic Ferrite, Polygonal Ferrite 등 다양한 종류의 페라이트강 미세조직을 정량분석하였다. 충격시험 시편의 파단면 분석을 통해 균열 전파 방향의 변화를 관찰하였다. 본 연구를 통해 Ti 함량에 따른 기계적 성질 변화의 메커니즘을 규명하고 최적의 Ti 합금 수준을 제시할 수 있었다.

**Keywords:** AISI4130, 침상페라이트, 티타늄, 합금설계, 물리야금

## Multi-layered Composite Films with Metal-infiltrated Polymeric Foams for High-Performance Electromagnetic Interference Shielding

김요원<sup>1,2</sup>, 박승영<sup>1</sup>, 이선숙<sup>1</sup>, 강세원<sup>1</sup>, 김현유<sup>2</sup>, 지슬기<sup>1</sup>, 박예린<sup>1</sup>, 안기석<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>한국화학연구원, <sup>2</sup>충남대학교  
(ksan@kriect.re.kr<sup>†</sup>)

With the rapid development of electronic devices with wireless platforms, including 5G and emerging 6G telecommunications, electromagnetic interference (EMI) has become new type of pollution, seriously affecting the normal operation of sensitive electronic devices, safe transmission of information, and human health. High-performance EMI shielding materials is important key to block or mitigate electromagnetic radiation. Unlike traditional metallic materials that reflects incident electromagnetic wave, inducing various side effects with undesirable secondary reflection in sensitive electronic systems, Well-designed polymeric composites combined with various conductive or magnetic fillers provides several advantages including enhanced EMI absorption, light weight, easy processability, and mechanical flexibility. In this study, we fabricated hierarchical multi-layered composite films, consisting of metallized thermoplastic polyurethane (TPU) foams by infiltration of Copper nanoparticles (Cu NPs), which are laminated with two conductive TPU composite films in both sides. Fabrication process with vapor-induced phase separation (VIPS) could provide inter-connected channels with uniform pore structures. Subsequently, copper nanoparticles (Cu NPs) were chemically reduced and infiltrated inside conductive TPU composite foams through electroless deposition methods. Well-organized and laminated hybrid structures enable to provide excellent EMI shielding effectiveness of more than 90 dB for both X-band and Ka-band due to synergistic effect of 3D microstructure of metallized foams and multi-layer configuration of conductive TPU composite that hinders the propagation of EM waves caused by an enhanced EM absorption. The majority of incident EM waves are effectively absorbed by both multiple internal reflection/scattering at the interface inside metallized porous TPU foams and high conductivity of composites, contributing to superior absorption-dominant EMI shielding ability. Overall, this study suggest that multi-layered composite films with metallized foams is thus promising EMI shieling materials for next-generation electronics

**Keywords:** TPU, Electromagnetic Interference(EMI) 차폐, Sandwich Structure

## Synthesis of aluminum doped zinc tin nitride p-type semiconductors via Pulsed Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition

Nameun Kim<sup>1,2</sup>, Ji Woon Choi<sup>1</sup>, Ki-Seok An<sup>1†</sup>, Jung-Woo Yoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thin Film Materials Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, 141 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34114, Republic of Korea;

<sup>2</sup>Ulsan National Institute of Science & Technology, 50, UNIST-gil, Eonyang-eup, Ulju-gun, Ulsan, Republic of Korea (ksan@kriict.re.kr<sup>†</sup>)

Nitride semiconductor materials such as GaN, InN have been widely used in the optoelectronic devices. Recently, there has been a notable surge in research focusing on ternary nitride materials belonging to the II-IV-N<sub>2</sub> class, which are derived from III-V binary nitrides. This emerging area of nitride research has received significant attention, indicating a growing interest in the unique properties and potential applications of these materials. Among these ternary nitrides, zinc tin nitride (ZTN), a non-toxic and earth-abundant compound, has been reported to exhibit optical and electrical properties that are suitable for photoelectric devices. However, it is equally important to prepare p-type ZTN for increasing the feasibility of its applications in industrial scale. Herein, recent theoretical studies have shown that group-III metallic (Al, Ga, In) dopants in Zn-IV-N<sub>2</sub>, particularly aluminum (Al), display shallow-acceptor behavior and convert n-type to p-type semiconductors. In view of this, Al acceptor was doped into ZTN films with various dopant concentration (0 ~ 20 %) by pulsed plasma-enhanced chemical vapor deposition (pulse PECVD), which we employed to control composition of ZTN films by varying pulse time of each precursors. Hall-effect measurement studies revealed that the type of conduction is converted from n-type to p-type by Al doping. Al-doped ZTN (AZTN) films exhibited hole concentration in the range of  $10^{14} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . The various composition of AZTN films according to precursor pulse time was described by EDS analysis. UV-vis was also performed in order to reveal the optical properties such as band gap according to Al dopant concentration. Finally, I-V characteristics of PN homojunction device composed of n-ZTN and p-AZTN films with various Al concentration was confirmed.

**Keywords:** ternary nitride, p-type semiconductor, doping, PECVD, homojunction

P-163

## Development of hollow $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ nanocomposite with enhanced thermal-insulating performance for building coating materials

Seon Ho Choi, Hyo Jin Cho, Jin Ho Moon, Nari Jeong, Sang Eun Hong, Kuk Ro Yoon<sup>†</sup>

Institute for Nano-Bio Convergence Materials (INBCM), Hannam University, 1646 Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 305-811, Korea  
(kryoon@hnu.kr<sup>†</sup>)

Recently, heat waves due to global climate change have become more frequent and severe, which has increased the urban heat island effect from heat waves. The urban heat island effect can affect air pollution, increase energy costs, and human health. In this study, we developed nanocomposite for building coating materials with thermal-insulating effect to decrease the urban heat island. Firstly,  $\text{CaCO}_3$  was extracted from oyster shells, which were a marine waste, treated in nano-sizing using ball-milling, and confirmed morphology like a flake. Secondly, we nanocomposite using a  $\text{CaCO}_3$  with hollow  $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$  nanoparticles to increase the thermal-insulating effect. Finally, hollow  $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$  nanocomposite were analyzed physicochemical properties by Fourier Transform-Infrared spectroscopy (FT-IR), Field-Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM), Thermogravimetric Analysis (TGA), Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDS), X-ray Diffraction spectroscopy (XRD), and thermal-insulating performance.

**Keywords:** Thermal Insulation, Hollow  $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$  nanoparticles, Oyster shell, Nanocomposite, eco-friendly, Building coating materials

## A study for facilely Controlled-Wrinkles-free transfer method of 2D-MoS<sub>2</sub> Thin Films via Hydrophilic Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Substrate

Yujin Lee<sup>1,2</sup>, Seungkwon Hwang<sup>1</sup>, Yonghun Kim<sup>1†</sup>, Hyo Jung Kim<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Energy and Electronic Materials, Surface Materials Division, Korea Institute of Materials Science;

<sup>2</sup>School of Chemical Engineering, Pusan National University

(kyhun09@kims.re.kr<sup>†</sup>)

(hyojkim@pusan.ac.kr)

Two-dimensional (2D) transition metal dichalcogenides (TMDs) is attracting attention as a next-generation electronic device with excellent electrical and optical properties. However, the high-performance 2D-TMDs-based electronic devices is required by transfer process from growth substrates onto target substrates, inducing the unexpected defects such as huge wrinkles, void, and structural deformation on the target substrate. Herein, we successfully demonstrated wrinkle-controlled of MoS<sub>2</sub> thin film through hydrophilic Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> substrate assisted wet-transfer approach. Due to the high-wettability (low contact angle) of the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> substrate (hydrophilic), the residual water droplets between the MoS<sub>2</sub> thin film and the substrate tend to easily drain, resulting in the unexpected wrinkles and structural deformation were well controlled. By simply modulating the wettability of properties of the target substrate, the device performances were dramatically increased to field-effect mobility  $\sim 0.742 \text{ cm}^2 / (\text{V}\cdot\text{s})$  in average, which is 6 times higher than  $\sim 0.118 \text{ cm}^2 / (\text{V}\cdot\text{s})$  SiO<sub>2</sub> substrate. In addition, the intrinsic characteristics of the 2D-MoS<sub>2</sub> back-gate FET were evaluated by suppressing the effect of charge trapping through pulsed I-V measurement.

### Acknowledgment

This work was supported by the Fundamental Research Programs (no. PNK9020) of the Korea Institute of Materials Science (KIMS).

**Keywords:** MoS<sub>2</sub>, Transfer, Wrinkle-free, Wettability

## Fundamental analysis on the field emission current limited by the interfacial electron transport in a supporting layer of carbon nanotube paste emitter and its improvement

고은솔<sup>1</sup>, 송윤호<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Diagnostic & Therapeutic Systems Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI),  
218 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 3;

<sup>2</sup>Intelligent Components and Sensors Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI),  
218 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon  
(yhsong@etri.re.kr<sup>†</sup>)

In field emission phenomena, the electron emission current is theoretically determined by the probability of electrons penetrating in the vacuum potential barrier, depending on the work function and the structural morphology of emitters. However, it is important to be aware of other considerations, as in practical field emission applications, since field emission emitters may include additional functionalized layers as well as cathode substrates. In particular, field emission source under strong electric field necessitates a supporting layer to hold the emitters onto the cathode cathodes. This layer reacts with the substrate to form an electrical contact, but can form an internal potential barrier that is affected by the interfacial electron transport properties. In this study, we investigated the effect of the supporting layer made of reacted silicon carbide (SiC) and nickel (Ni) nanoparticles on KOVAR alloy (Fe-Ni-Co) cathode substrates on the field emission characteristics of carbon nanotube (CNT) emitters. We prepared two types of support layers with different post-vacuum annealing conditions according to different reaction mechanisms; diffusion-induced reaction (DIR) for sufficient chemical reaction and diffusion-controlled reaction (DCR) for limited one. Using various analytical techniques such as x-ray diffraction, x-ray and ultraviolet photoelectron spectroscopy, reflection electron energy loss spectroscopy and electrical conductivity measurements, we demonstrated the existence of the potential barrier within the supporting layer during the electron pathway. The potential barrier of the DIR-CNT emitter was 0.8 eV, 0.59 eV lower than that of the DCR-one. In addition, the electronic conductivity of the DIR-CNT emitter was 56.3 times higher than that of the DCR- one. The DIR-CNT emitters with the reduced internal potential barrier have improved field emission characteristics with a 20-fold increase in effective emission area compared to the DCR-one, and have been found to have ideal and intrinsic field emission characteristics that are independent of ambient temperature. As a result, this study of the field emission characteristics depending on the internal electron transport will be one of the new designs that can improve the performance of field emitters.

### Acknowledgment

This work was partly supported by Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2020-0-00009, Development of digital microfocus X-ray tubes and their high-productivity in-line inspection equipment for ultra-integrated ICT products, No. RS-2023-00230545, Development of long-range optical quantum gas sensor system based on Mid-IR laser source), the internal fund/grant of Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI) (22YB2100) and Korea Research Institute for Defense Technology planning and advancement (KRIT) grant funded by Korea government DAPA (Defense Acquisition Program Administration) (No. C210003).

**Keywords:** Field electron emission, Carbon nanotube (CNT), Field emitter, Electron transport, Nickel silicide, Chemical reaction

## 극한환경 응용을 위한 나노구조 고기능 코팅막 제조 및 응용에 관한 연구

허성보, 김왕렬, 박인욱\*

한국생산기술연구원 첨단하이브리드생산기술센터  
(ipark@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

발전소 터빈은 작동 중 매우 고온(가스터빈 배기가스 600°C 이상)에서 동작하기 때문에 내열성이 없는 철계 소재의 쓰임새가 제한적이고, 높은 온도를 견뎌야 하는 부분에는 니켈계 합금 등의 고가 특수금속이 사용되고 있다. 발전소 터빈 하우징 등에 사용되는 볼트류는 소모품임에도 불구하고 고온내식성, 경도 및 고온강도가 우수한 소재의 볼트가 필수적으로 사용되고 있는 상황이다. 하지만 현재 발전소에서 사용되는 볼트는 저항가열에 의한 고착, 상대마모 등으로 교체 작업 발생 시 발전정지 또는 공정지연의 야기되고 있다. 또한 일부 복잡 형상, 특정 형상에 대해 수명이 상이하며 전체적인 작업 환경에서의 Loss가 다수 발생되어 진다. 그리고 Inconel 718재질의 Casing Bolt 가격은 수천만 원대이므로 Bolt의 파손을 예방하는 것은 산업적으로 매우 중요한 난제이다. 부품제조에 있어서 표면처리는 원가절감과 생산성 향상에 지대한 영향을 미치고, 우수한 성능 구현을 통해 응용 된 관련 산업에 있어 기술 및 품질 향상을 가능 하게 할 수 있다. 본 연구에서는 Casing bolt는 사용의 용도에 적합한 경제적인 공정을 응용하여 에너지를 절감하고 고온, 고압의 극한 환경에 잘 견디고 마모 등에 의한 나사선의 손상, 파손을 개선 하고자 한다. 또한 아크발생에 의한 용착, 절손 등 고온에서 문제점을 상호 연계하여 해석 하고자 한다. 특히 가혹환경에서의 수명연장을 위한 정밀한 표면개질(열처리, 질화, 침탄) 및 나노구조의 고내식, 고윤활, 내산화 코팅막의 형성과 응용에 대한 공정 최적화를 진행하여 내마모, 내산화 및 기계적 특성 변화에 대해 고찰하고자 한다.

**Keywords:** Casing bolt, inconel, 내마모, 내산화

## 다성분계 FGC's Cr-based 나노구조 코팅막의 합성공정 조건 최적화에 관한 연구

허성보, 김왕렬, 이정환, 김준호, 박인욱\*

한국생산기술연구원 첨단하이브리드생산기술센터  
(ipark@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

친환경 에너지 분야의 밸류체인 핵심기술 및 소재·부품 기술개발을 통한 산업 발전은 가속화 되어지고 있으며 수요가 지속 적으로 증가하는 추세이다. 하지만 사용환경의 일반부품은 대부분 미국, 일본에서 생산되는 제품을 활용하고 있거나 기존의 제품을 활용하고 있는 실정이며 국내의 일반부품(밸브, 커넥션부품 등) 관련기업에서는 수소 환경 제품의 미래시장성을 위해 개발하고자 하고 있으나 기술력부족, 국제적 입증 부족 등으로 시장에 진출하지 못하고 있다. 본 연구에서는 기존 발표된 연구결과를 바탕으로 내마모성, 수소취성 등 커넥션 부품의 내구성 향상과 안정성 확보를 위해 Cr, Al, Si 등 금속 타겟을 이용하여 공정을 개발하고 최적의 조성비를 갖는 코팅막을 양산하기 위한 공정조건을 확립 하고자 한다. 또한 개발된 이온소스를 활용하여 표면을 활성화 시켜 코팅막 합성에서의 특성 향상을 극대화 하며 이온화율을 높여 성막 속도 향상과 함께 균일한 고밀도의 코팅막을 형성 할 것이다. 플라즈마 내 가속된 이온빔은 시편 또는 제품에 충돌하게 되며 이를 통해 기계적 물성에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하여 결과를 도출 하고자 한다. 코팅막의 두께 및 조성은 FE-SEM, EPMA 등을 이용하여 분석하였고 코팅막의 기계적특성 및 밀착력은 각각 Nano indentation, Scratch tester를 이용하여 고찰하였다.

**Keywords:** 나노복합체, 아크이온플레이팅, 밀착력, Cr-based 코팅, 균일도

## 전해동박 제조시 PVP 첨가량에 따른 표면 특성 변화

박종재<sup>1</sup>, 윤준서<sup>1</sup>, 강병재<sup>1</sup>, 박일송<sup>1\*</sup>, 우태규<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 금속공학과; <sup>2</sup>전북대학교 유연인쇄전자공학과

(ilsong@jbnu.ac.kr<sup>\*</sup>)

(goodman@jbnu.ac.kr)

동박은 반도체, PCB기판 등 전자부품과 전기자동차, 드론 등에 사용되는 이차전지 배터리의 음극재에 사용되고 있으며, 이차전지 배터리의 수요 증가와 함께 동박의 수요도 급격히 증가하고 있다. 특히, 전해도금방식으로 제조된 전해동박의 수요가 증가하고 있다. 전해동박은 전압, 전류, 음극드럼의 표면상태 및 전해액 등의 공정변수에 따라 품질특성이 변화하는데, 전해액의 첨가제 종류, 첨가된 첨가제 수량 및 첨가제 조성비에 따라 전해동박의 표면 특성, 기계적 특성, 전기적 특성이 변화될 수 있다. 본 연구에서는 전해도금시 구리이온이 음극표면에 부착할 때, 구리 피막의 균일한 생성에 영향을 주는 평활제로 알려진 PVP의 첨가량에 따른 전해동박의 표면특성을 평가하고자 하였다. 기본 전해액 조성 조건은 황산 구리 용액에 Cl 20ppm, MPSA 10ppm, PEG 30ppm을 첨가하고, PVP 첨가량을 0 – 70ppm으로 변화시키며, 정전류 조건 하에서 전해도금을 실시하였다. 제조된 샘플은 SEM을 통해 표면 상태 및 결정 성장 거동을 평가하고, 표면조도 측정을 통해 전해동박 표면의 거칠기를 평가하였다. XRD 분석을 통해 결정구조의 변화와 결정립크기 분석을 실시하였으며, 비저항 측정을 통해 전기적 특성을 분석하였다

**Keywords:** Copper foil, Electroplating, Additives, Crystal growth, PVP(Polyvinyl Pyrrolidone)

P-169

## Study of $WN_xC_y$ electrode depend on the composition of carbon for future memory array architecture

Minkyu Lee, Taeyoon Lee<sup>†</sup>

Yonsei University  
(taeyoon.lee@yonsei.ac.kr<sup>†</sup>)

Conventional transition metal nitrides (TMNs) have gained significant attention in the field of memory devices due to their low resistivity and high thermal & chemical stability. In particular, tungsten nitride (WN) has been widely applied in various memory industries owing to its high melting point, uniform resistivity, and diffusion barrier properties. However, recent research in the direction of reducing the reset current in phase change memory (PCM) faces limitations with WN due to its low resistivity. Therefore, it is essential to study materials that can control resistivity while having low roughness and good adhesion with the substrate. Carbon, an element with a small atomic size, can be incorporated into TMN materials to modulate their resistivity and control surface roughness through grain size variations. Here, we demonstrate novel  $WN_xC_y$  electrodes that can adjust electrical resistivity depend on the compositions of carbon. X-ray diffraction (XRD) patterns were analyzed to confirm each crystal lattice and peak shift. Applying measured XRD patterns, full width half maximum (FWHM) and grain sizes were extracted using Debey-Scherrer equation. To visualize crystal structure and amorphous state of  $WN_xC_y$  films, transmission electron microscope (TEM) was employed along with the diffraction pattern using fast fourier transform (FFT)

**Keywords:** Tungsten, Nitride, Carbide, crystallization, amorphous

P-170

## Chemically and Electronically Active Metal Ions on InAs Quantum Dots for Infrared Detectors

김성찬, 서재영, 여동준, 나지나, 이윤서, 공혜인, 김성원, 오누리\*

Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University.

(irunho@hanyang.ac.kr<sup>\*</sup>)

Colloidal InAs quantum dots (QDs) are emerging candidates for NIR-SWIR optoelectronic applications because of their excellent electrical and optical properties. However, the syntheses of InAs QDs, which demand strongly reducing atmospheres or highly reactive precursors, are difficult because of their highly covalent bonding and lack of Group 15 precursors. While the coreduction method with commercially available arsenic precursors enables facile syntheses of InAs QDs, it results in broad size distributions requiring subsequent size-selection processes. In this study, we introduced zinc ions in the form of coordination complexes during coreduction of the indium and arsenic precursors. The Zn ions chemically passivated the surfaces of the InAsQDs, narrowed the size distribution, and removed surface defects. When the InAs QDs were integrated into infrared photodiodes as IR absorbers, the surface-attached Zn ions electrically modulated the energy level and carrier concentration. Infrared photodiodes with the InAs:Zn QD layers exhibited dark currents and photoresponses that were two orders of magnitude lower and approximately twice as fast, respectively, as those seen for bare InAs QDs.

**Keywords:** Indium arsenide, surface treatment, colloidal quantum dots, infrared

## Fe(DTC)<sub>3</sub>-complexed CdSe Quantum Dots For NO detection

김창열<sup>1†</sup>, 박수현<sup>1</sup>, 이상연<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech.; <sup>2</sup>인하대학교  
(cykim15@naver.com<sup>†</sup>)

Iron complexes with dithiocarbamate derivatives (Fe–DTC) have been studied among the spin-trapping agents for NO, due to a high affinity of NO for iron complexes. However, Fe-DTC is not an active material for the detection of NO, which is numerous important indices for the health of mammalian tissues. So, Fe-DTC-modified quantum dots (QDs) such as CdSe is a promising sensing material for the detection of NO marking the change of photoluminescent color. In this work, we focus on nanomedicine fields and study of CdSe QDs as a nitric oxide (NO) sensing material. We synthesized CdSe@ZnS core/shell shaped QDs and encapsulated them with hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) for the aqueous dispersion. Metal complexation with the QDs can quench the fluorescence, that is, turn-off state of no emission light. We reacted the QDs with Fe(II)(DTC)<sub>3</sub>. We found the hybridization of Fe(II)(DTC)<sub>3</sub> effectively, quenched the fluorescence. To find out the detection of NO, we injected diethylamine NONOate sodium salt hydrate (DEA/NO) in the quenched QDs aqueous solution and could detect the restoration of fluorescence by the reaction of NO to quenched state QDs, which is called Foster (Fluorescence) Resonance Energy Transfer mechanism. In conclusion, we think that Fe(DTC)<sub>3</sub>-hybridized CdSe QDs is a promising NO detecting biomarkers.

**Keywords:** Quantum dot, CdSe, nitric oxide, dithiocarbamate, detection

스퍼터링으로 성장한  $\text{SrTa}_2\text{O}_6:\text{Tb}^{3+}$  녹색 발광 박막의 광학, 구조, 표면 특성임수정, 조신호<sup>\*</sup>신라대학교  
(shinhocho@gmail.com<sup>\*</sup>)

최근에 형광체 박막을 전계발광소자, 태양전지, 디스플레이, 고체광원 분야에 응용하려는 노력이 경주되고 있다. 본 연구에서는 녹색 발광 소재를 개발하기 위하여 라디오파 마그네트론 스퍼터링을 사용하여  $\text{SrTa}_2\text{O}_6:\text{Tb}^{3+}$  박막을 성장시켰다.  $\text{SrTa}_2\text{O}_6:\text{Tb}^{3+}$  형광체 타겟은 초기 물질  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Tb}_4\text{O}_7$ 을 화학적량으로 혼합하여 10시간 볼밀 작업을 수행한 후에, 혼합 용액을 90 °C의 건조기에서 20시간 건조하고, 막자사발에 두고 잘게 갈아 알루미나 도가니에 담아 전기로에 장입하여 1100 °C에서 5시간 동안 소결 공정을 실시한 다음에, 유압 프레스로 압축하여 반경 25 mm의 원형 소결체로 제작하였다. 스퍼터링 방법으로 서로 다른 온도 (100, 200, 300, 400 °C)에서  $\text{SrTa}_2\text{O}_6:\text{Tb}^{3+}$  형광체 박막을 증착하여 박막의 광학, 구조, 표면 특성을 조사하였다. 증착 온도에 관계없이, 모든 박막의 광학 투과율은 400~1100 nm 파장 영역에서 평균 81% 이상을 나타내었고, 결정 구조는 사방정계이었다. 모든 박막의 발광 스펙트럼은 544 nm에 주 피크를 갖는 녹색 발광, 상대적으로 세기가 약한 489 nm에 중심을 갖는 청색 발광, 588 nm의 황색 발광과 619 nm의 적색 발광 스펙트럼이 관측되었다. 상기의 결과 이외에도, 증착 온도 변화에 따른 결정 입자의 형상과 두께, 발광과 흡광 스펙트럼, 색 좌표를 측정하여 발광 스펙트럼의 원리를 조사하였다.

**Keywords:** 박막, 스퍼터링, 발광

## Properties of Eu-doped $\text{KNbO}_3$ thin films grown by radio-frequency magnetron sputtering

Ngan Nguyen Thi Kim, Shinho Cho<sup>\*</sup>

신라대학교 배터리학과  
(shinhocho@gmail.com<sup>\*</sup>)

Recently, oxide-based phosphor thin films have attracted considerable interest for their potential applications in electroluminescent devices, displays, photovoltaic cells, and solid-state lighting. In particular, potassium niobate ( $\text{KNbO}_3$ ), known as a perovskite-type material with ferroelectric, electrical, and optical properties, is considered one of the promising host materials for generating red light via doping of activator ions. In this study, we report the effects of substrate temperature on the structural, morphological, and luminescent properties of  $\text{KNbO}_3:\text{Eu}^{3+}$  phosphor thin films using X-ray diffraction, scanning electron microscopy, photoluminescence spectrometry, and ultraviolet-visible spectrophotometry. A 25 mm-diameter  $\text{KNbO}_3:\text{Eu}$  target was fabricated by using the conventional solid-state reaction method with  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (purity: 99.9%),  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (99.9%), and  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  (99.9%) as the starting materials. The  $\text{KNbO}_3:\text{Eu}^{3+}$  thin films were grown on quartz substrates using radio-frequency magnetron sputtering in the range of 100–400 °C, and the average transmittance of the thin films in the wavelength range 500–1100 nm was 81.2%, 74.0%, 77.3%, and 75.9 %, at substrate temperatures of 100, 200, 300, and 400 °C, respectively. Three photoluminescence bands centered at 592, 616, and 682 nm were observed for all thin films, regardless of the substrate temperature. Among them, the red emission at 616 nm from  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$  electric dipole transition was the strongest for the thin films deposited at 200, 300, and 400 °C. These results indicate that the majority of  $\text{Eu}^{3+}$  ions occupied the sites without inversion symmetry.

**Keywords:** thin film, photoluminescence, sputtering

## Sm<sup>3+</sup> 이온이 도핑된 SrZrO<sub>3</sub> 박막의 제조 및 특성

이지민, 조신호<sup>\*</sup>

신라대학교 배터리학과  
(shinhocho@gmail.com<sup>\*</sup>)

최근에 디스플레이, 광원, 센서, 발광 소자, 위조방지, 바이오 의학 분야에 응용하기 위하여 무기물 모체 결정에 Eu<sup>3+</sup>, Pr<sup>3+</sup>, Sm<sup>3+</sup>와 같은 활성제 이온을 주입하여 적색 계열 형광체 박막 소재를 개발하는 연구에 상당한 관심이 집중되고 있다. 박막 소재는 분말 소재에 비하여 우수한 균일성, 작은 결정 입자의 형성, 우수한 측면 분해능, 고진공에서 높은 열적 안정성을 보이기 때문에 분말 형태에 비하여 많은 장점을 갖고 있다. 본 연구에서는 최적의 적색 계열 발광 박막을 제조하기 위하여 서로 다른 성장 온도에서 라디오파 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 석영 기판 위에 SrZrO<sub>3</sub>:Sm<sup>3+</sup> 박막을 성장하였다. 적색 발광 센터로 작용하는 Sm<sup>3+</sup> 이온을 도핑한 SrZrO<sub>3</sub> 분말 타겟은 고상반응법으로 합성하였다. 서로 다른 온도에서 증착한 박막의 결정 구조, 흡광과 발광 스펙트럼, 색좌표, 결정 입자의 크기와 두께, 투과율과 흡수율을 체계적으로 조사하였다. SrZrO<sub>3</sub>:Sm<sup>3+</sup> 박막의 발광 스펙트럼은 최대 흡광 세기를 갖는 261 nm을 여기 파장으로 선택하여 측정한 결과, 증착 온도에 관계없이, 네 개의 발광 피크가 관측되었다. Sm<sup>3+</sup> 이온의 <sup>4</sup>G<sub>5/2</sub>→<sup>6</sup>H<sub>5/2</sub> 전이에 의한 561 nm에 피크를 갖는 황색 발광, <sup>4</sup>G<sub>5/2</sub>→<sup>6</sup>H<sub>7/2</sub> 전이에 의한 599 nm에 피크를 갖는 주황색 발광, <sup>4</sup>G<sub>5/2</sub>→<sup>6</sup>H<sub>9/2</sub> 전이에 의한 643 nm에 피크를 갖는 적색 발광, <sup>4</sup>G<sub>5/2</sub>→<sup>6</sup>H<sub>11/2</sub> 전이에 의한 702 nm에 피크를 갖는 적외선 발광 스펙트럼이었다. 이 결과로부터 Sm<sup>3+</sup> 이온이 SrZrO<sub>3</sub> 모체 결정내에서 반전 대칭 자리 혹은 비반전 대칭 자리에 위치하고 있는지를 조사하였다. 파장 400~1100 nm의 파장 영역에서 박막의 평균 투과율은 증착 온도 100, 200, 300 °C에서 각각 90.2, 84.2, 72.6, 72.5% 이었다. 상기의 결과를 통하여 SrZrO<sub>3</sub>:Sm<sup>3+</sup> 박막을 적색 계열 전계발광 소자와 광전 소재로 응용할 수 있음을 제시한다.

**Keywords:** 박막, 발광

열처리 온도가 마그네트론 스퍼터링으로 증착한  $\text{CaWO}_4:\text{Dy}^{3+}$  박막의 특성에 미치는 영향김동혁, 조신희<sup>\*</sup>신라대학교 배터리학과  
(shinhocho@gmail.com<sup>\*</sup>)

희토류 이온이 도핑된 형광체 박막은 가시광선 영역의 다양한 색깔의 빛을 방출하기 때문에 발광소자, 디스플레이, 고체 광원 분야에 폭넓게 응용되고 있다. 본 연구에서는 전계발광소자에 응용하기 위하여 라디오파 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 석영 기판 위에  $\text{Dy}^{3+}$  이온이 도핑된  $\text{CaWO}_4$  박막을 성장시켜 서로 다른 열처리 온도(800, 900, 1000 °C)에서 급속 열처리를 수행하였다. 방출 파장 614 nm로 제어하였을 때, 800 °C에서 열처리한 박막의 주 흡광 스펙트럼은 241 nm에 피크를 갖고 200~270 nm의 넓은 파장 영역에 분포하는  $\text{Dy}^{3+}$  양이온과  $\text{O}^{2-}$  음이온 사이에 발생한 전하전달밴드에 의한 흡광 신호이었다. 막 성장한(as-grown) 박막의 경우에 발광 스펙트럼은 검출되지 않았으나, 800, 900, 1000 °C에서 열처리한  $\text{CaWO}_4:\text{Dy}^{3+}$  박막은 발광 세기가 가장 강한 574 nm에 주 발광 피크를 갖는  $\text{Dy}^{3+}$  이온의  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$  전이에 의한 황색 발광 스펙트럼, 주 피크에 비하여 발광 세기가 상대적으로 약한 481 nm에 피크를 갖는  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{15/2}$  전이에 의한 청색 발광 스펙트럼과 상기의 두 발광 피크에 비해 발광 세기가 미약한 661 nm에 피크를 갖는  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$  전이에 의한 적색 발광 스펙트럼이 관측되었다. 파장 280 nm 이하의 자외선 영역에서 열처리한 세 박막의 투과율은 검출되지 않았으며, 800, 900, 1000 °C에서 열처리한 박막의 평균 투과율은 파장 영역 500~1100 nm에서 각각 92.5, 82.3, 75.8% 이었다. Tauc의 모델을 사용하여 밴드갭 에너지를 계산하였으며, 1000 °C에서 열처리한 박막의 밴드갭 에너지는 4.36 eV 이었다. 상기의 결과를 통하여  $\text{CaWO}_4:\text{Dy}^{3+}$  박막은 백색 발광 소재로 응용할 수 있음을 확인하였다.

**Keywords:** 박막, 발광, 열처리

## ZIF-8으로 표면개질된 PAN/PDA 나노섬유의 선택적인 유수 에멀전 분리 기능성 평가

Hyun Seung Kwak, Seon Ho Choi, Sang Eun Hong, Kuk Ro Yoon<sup>†</sup>

Hannam University  
(kryoon@hnu.kr<sup>†</sup>)

유수 에멀전은 O/W 에멀전과 W/O 에멀전이 있으며 산업적으로 식품 가공, 재료 생산, 석유 산업 등에서 널리 사용되고 있지만, 산업용 폐수내 유수 에멀전은 생태계 파괴 및 환경오염을 초래할 수 있다. 하지만, 이러한 유수 에멀전은 자체 안정성으로 인해 분리하기 어렵다. Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8)은 다공성으로 인해 넓은 비표면적을 가지며 수상에서는 초친수성을 나타내고 유상에서는 초소수성의 특성을 보여 선택적인 유수분리가 가능하다. 본 연구에서는 전기방사법과 in-situ 공정을 통해 ZIF-8으로 표면개질된 PAN/PDA 나노섬유를 제조하고, 선택적 유수 에멀전 분리 기능성을 평가하였다. 또한, 나노섬유의 기계적 강도와 ZIF-8의 표면개질 안정성을 보완할 수 있도록 Polydopamine (PDA)로 코팅하였다. 제조한 나노 섬유는 Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM)을 통해 확인하였으며, 물리화학적 특성은 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Scanning Calorimetry (DSC) 등을 통해 분석하였다. 최종적으로, 유수 에멀전 분리는 Optical Microscopy (OM), UV-Vis Spectrophotometer (UV-Vis)을 통해 평가하였다.

**Keywords:** Polyacrylonitrile (PAN) Nanofibers, Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8), Electrospinning, Nanofibers, Oil/water emulsion, Selective separation

P-177

## Synthesis of Epitaxially Mn-doped on Ultrasmall Ceria-Zirconia Nanoparticles for Enhancing Catalytic Effect

Hyo Jin Cho, Mi Jin Park, Seon Ho Choi, Sang Eun Hong, Kuk Ro Yoon<sup>†</sup>, Hyo Jeon Cho

Hannam University  
(kryoon@hnu.kr<sup>†</sup>)

Reactive oxygen species (ROS) are considered to be one of the causes for many diseases. Various studies have been actively conducted to ROS scavenging with metal nanoparticles. Metal nanoparticles have high catalytic activity due to their unique properties and structure with oxygen vacancies. In this study, the catalytic effect was improved by doping manganese ions on the surface of CeZr nanoparticles to increase oxygen vacancies. They were characterized by high-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM), Ultra-Corrected Energy-Filtering Transmission Electron Microscopy (UC-EF-TEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), X-ray diffraction (XRD), high resolution Raman/PL (HR-Raman/PL) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). As a result, the oxygen vacancy was increased when manganese ions were doped on the ceria-zirconia, thereby enhancing the catalytic properties. We expected to be applied to ROS scavengers and effective nanocatalyst.

**Keywords:** Metal nanoparticle, Ceria-Zirconia, Manganese, Oxygen vacancy, Reactive oxygen species, Nanocatalyst

## Bis(*N,N'*-di-butylacetamidinato)iron(II) 프리커서를 사용하여 열 원자층 증착법과 플라즈마 강화 원자층 증착법에 의해 증착된 산화철의 비교

Boyun Choi, Gun-Woo Park, Jong-Ryul Jeong, Nari Jeon<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University  
(njeon@cnu.ac.kr<sup>†</sup>)

산화철 종류 중 하나인 적철석( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)은 박막 형태로 가수분해, 가스 센서, 슈퍼커패시터와 같은 다양한 전자 및 전기 화학적 소자에 사용되어 왔다. 이러한 박막을 증착하는 데 사용되는 원자층 증착법(Atomic Layer Deposition, ALD)은 원자층 수준에서 정밀한 두께 제어가 가능하고, 대면적에서 박막두께의 균일도가 우수하다. 본 연구에서는 bis(*N,N'*-di-butylacetamidinato)iron(II) (FeAMD)을 철 전구체로 사용하여 열 원자층 증착법(Thermal Atomic Layer Deposition, thermal ALD)과 플라즈마 강화 원자층 증착법(Plasma-Enhanced Atomic Layer Deposition, PEALD)으로 산화철 박막을 성장하였고, 각 박막에서의 물리적, 화학적 특성을 비교하였다. 먼저, 분광 타원 계측법을 통해 각 증착법으로 증착된 산화철 박막에서 FeAMD 분압 변화에 따른 박막 증착 속도의 경향을 비교하였다. 원자힘현미경으로 FeAMD 분압 변화에 따른 산화철 박막의 표면거칠기를 측정하여 유사한 FeAMD 분압에서 각 증착법에 따른 박막의 표면 거칠기를 비교하였다. X선 광전자 분광법으로 박막의 불순물과 국부적인 화학 결합을 분석하여, 산화철 박막이 증착법에 상관없이 유사한 불순물 농도를 가짐을 알 수 있었다. 추가로, 산화제 없이 FeAMD만 증착한 박막에서는 화학기상증착법과 유사한 반응이 일어났음을 확인하였다. 증착된 산화철 박막을 열처리하여 결정상을 확인하고, 결정성을 비교하기 위해 그레이징 입사 X선 회절을 분석하였다. 마지막으로 두 종류의 트렌치 구조 웨이퍼 위에 thermal ALD로 산화철 박막을 증착시킨 후, 주사 전자현미경으로 트렌치의 종횡비에 따른 박막의 단차 도포성을 확인하였다. 이러한 분석을 통해 FeAMD를 사용하여 Thermal ALD와 PEALD로 증착한 각 산화철 박막에서 FeAMD 분압이 박막의 성장 속도, 표면 거칠기, 결정성에 끼치는 영향을 확인하고 산화철 박막에 대한 각 증착법의 장단점을 비교할 수 있다.

**Keywords:** thermal atomic layer deposition, plasma-enhanced atomic layer deposition, Bis(*N,N'*-di-butylacetamidinato) iron(II), iron oxides, hematite, trench structures, high aspect ratio

## Mn이 도핑된 MoSe<sub>2</sub>/MXene 전기촉매 제조 및 수소 생산 효율성 평가

Cheol Ju Kim, Seon Ho Choi, Sang Eun Hong, Kuk Ro Yoon<sup>†</sup>

Hannam University  
(kryoon@hnu.kr<sup>†</sup>)

수전해 기술을 이용한 수소 생산과 활용은 그 과정에서 온실가스를 생성하지 않기 때문에 친환경적 신재생 에너지원으로 주목받고 있다. 이 과정에서 Pt, Ru 등의 귀금속류를 촉매로 사용하는 것이 효율적이지만 비용적 한계가 발생한다. 이러한 한계를 극복하고자 비귀금속이면서 전기전도도가 뛰어난 특성을 갖는 촉매 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중, MoSe<sub>2</sub>로 개질된 Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub>T<sub>x</sub> MXene은 높은 전기전도도로 인해 귀금속을 대체할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 본 연구에서는 MoSe<sub>2</sub>/MXene에 Mn을 도핑한 전기촉매를 제조하였다. 제조된 촉매는 Field Emission-Scanning Electron Microscope (FE-SEM), Field Emission-Transmission Electron Microscope (FE-TEM), Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Raman Spectroscopy, X-ray Diffractometer (XRD)로 물리화학적 특성을 분석하였으며, 전기화학적 특성은 Cyclic Voltammetry (CV)를 통해 분석하였다. 최종적으로, Mn이 도핑된 MoSe<sub>2</sub>/MXene은 높은 촉매 활성을 보임에 따라 귀금속 전기촉매를 대체할 수 있는 효율적이고 경제적인 전기촉매로의 응용을 기대할 수 있다.

**Keywords:** Hydrogen Evolution Reaction (HER), Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub>T<sub>x</sub> MXene, MoSe<sub>2</sub>, Mn doping, Electrocatalyst

## Optimization of electrophoretic deposition process of graphene over Fe-based alloy

Shivang Saxena<sup>1</sup>, Akshay Kumar<sup>2</sup>, Naveen Yadav<sup>1</sup>, Mohit K. Sharma<sup>3</sup>, Kavita Kumari<sup>4</sup>, Bon Heun Koo<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Convergence and System Engineering, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>2</sup>School of Materials Science and Engineering, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>3</sup>Mechatronics Research Institute, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea;

<sup>4</sup>Industrial Technology Research Institute, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam, 51140, Republic of Korea (bhkoo@changwon.ac.kr<sup>†</sup>)

This study represents the optimization of experimental conditions such as deposition time, electrolyte used, and pH change in electrolyte used for Electrophoretic deposition (EPD) of graphene over Fe-alloy (S-25C). The purpose of this experiment is to obtain a graphene coating over Fe-alloy for corrosion resistance. Results are studied by Scanning electron microscopy (SEM) energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and Raman spectroscopy. In this study industrial grade graphene (thickness~3 nm) was used for Electrophoretic deposition (EPD), initially, deionized (DI) water was used as an electrolyte, and the solution was sonicated for 1 hr, then a 30 V DC power was supplied while maintaining an electrode gap of 1 mm, and varying deposition time to 40, 60, 80 minutes. In the second setup, the initial electrolyte D. I water was replaced by an equimolar ratio of acetone and ethanol, the pH was increased up to 11 by adding NaOH beads, and the solution was sonicated for 1 hr while maintaining the same DC power and electrode gap but varying the deposition time to 10, 20, 30 minutes. The results obtained in both experiments were studied by Raman spectroscopy which indicates a sharp peak of metal oxide formed on metallic alloy when DI water was used as an electrolyte with the above-stated conditions. The other experimental substrate with an equimolar ratio of acetone and ethanol is used as an electrolyte, it does not indicate any metal oxide peak instead. It gives sharp peaks of D-band (1300 cm and the solution was sonicated for 1 hr while maintaining the same DC power and electrode gap but varying the deposition time to 10, 20, 30 minutes. The results obtained in both experiments were studied by Raman spectroscopy which indicates a sharp peak of metal oxide formed on metallic alloy when DI water was used as an electrolyte with the above-stated conditions. The other experimental substrate with an equimolar ratio of acetone and ethanol is used as an electrolyte, it does not indicate any metal oxide peak instead. It gives sharp peaks of D-band (1300 cm and the solution was sonicated for 1 hr while maintaining the same DC power and electrode gap but varying the deposition time to 10, 20, 30 minutes. The results obtained in both experiments were studied by Raman spectroscopy which indicates a sharp peak of metal oxide formed on metallic alloy when DI water was used as an electrolyte with the above-stated conditions. The other experimental substrate with an equimolar ratio of acetone and ethanol is used as an electrolyte, it does not indicate any metal oxide peak instead. It gives sharp peaks of D-band (1300 cm The other experimental substrate with an equimolar ratio of acetone and ethanol is used as an electrolyte, it does not indicate any metal oxide peak instead. It gives sharp peaks of D-band (1300 cm<sup>-1</sup>) and G-band (1590 cm<sup>-1</sup>) of graphene which confirms the presence of graphene on the alloy surface. Further, the SEM and EDS results indicate the comparison of the graphene coating obtained while using an equimolar ratio of acetone and ethanol as an electrolyte varied deposition time 10, 20, and 30 min. The SEM results show a uniform covering of graphene over the substrate backed up by the high carbon atomic percentage revealed in EDS results for all specimens. Overall study shows that the best experimental conditions can be concluded as follows: electrolytic pH of 11 with an equimolar ratio of acetone and ethanol used as an electrolyte with 30V DC power supply for 30 minutes.

**Keywords:** Electrophoretic deposition (EPD), corrosion resistance, graphene coating, Raman spectroscopy

서로 다른 증착 온도에서 성장된  $\text{LaTaO}_4:\text{Eu}^{3+}$  적색 형광체 박막의 제조 및 특성김주영, 조신희<sup>\*</sup>신라대학교  
(scho@silla.ac.kr<sup>\*</sup>)

최근에 모체 결정에 발광 센터로 희토류 원소를 주입하는 방법은 발광 물질의 광 효율을 증가시키고, 다양한 색상의 발광이 가능함으로써 발광 소자와 위조 지폐 방지를 포함한 다양한 분야에서 상당한 관심을 끌고 있다. 본 연구에서는 발광 효율이 큰 새로운 적색 발광 박막 소재를 제조하고자  $\text{LaTaO}_4$  모체 결정에 발광 센터로  $\text{Eu}^{3+}$  이온을 도핑하여 라디오파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 서로 다른 온도(100, 200, 300, 400 °C)에서 석영 기판 위에 증착하였다.  $\text{LaTaO}_4:\text{Eu}^{3+}$  스퍼터링 타겟은 초기 물질  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ 를 사용하여 고상반응법으로 제조하였고, 스퍼터링 챔버는 로터리 펌프와 터보 분자 펌프를 사용하여 초기 진공도를  $4 \times 10^{-5}$  Torr로 배기하였고, Ar 가스를 40 sccm 공급하여 40 W의 파워에서 증착하였다. 파장 287 nm로  $\text{Eu}^{3+}$ 가 도핑된  $\text{LaTaO}_4$  박막을 여기시켰을 때, 주 발광 스펙트럼은 608 nm에 피크를 갖는 주황색 발광 스펙트럼이었다. 증착 온도가 증가함에 따라 발광 세기는 점차적으로 감소하였고, 파장 400~1100 nm 영역에서 최대 평균 투과율은 300 °C에서 증착한  $\text{LaTaO}_4:\text{Eu}^{3+}$  박막에서 관측되었는데, 투과율 값은 83.9% 이었다. 상기의 결과 뿐만 아니라, 증착 온도 변화에 따른 밴드갭 에너지의 변화, CIE 색 좌표와 결정 입자와의 상관 관계를 조사하였다.

**Keywords:** 박막, 적색 발광, 색좌표

## Tailoring Surface Properties of Materials via Fluorine-Induced Surface Modification for Enhanced Performance

배강빈<sup>1</sup>, 장해성<sup>1</sup>, 이성민<sup>2</sup>, 오윤석<sup>2</sup>, 이인환<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Korea University; <sup>2</sup>Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology  
(ihlee@korea.ac.kr<sup>†</sup>)

최근 반도체 산업에서는 식각 장비의 내부 부품 소재를 고출력 불소 플라스마 환경에 노출됨에 따라 부품의 수명 단축, 오염 입자 발생 등 다양한 문제에 직면하고 있습니다. 또한 불소 라디칼과 부품 소재의 화학 반응으로 인해 시간이 지남에 따라 에칭 공정의 균일성이 저하되는 것이 보고되었으며, 이를 해결하기 위해 세라믹 코팅을 불소 플라스마 환경에 장시간 노출시키는 시즈닝이라는 전처리 공정이 적용되고 있습니다. 불소화 전처리 공정의 긴 시간은 공정 수율에 직접적인 영향을 미칠 수 있습니다. 이 연구에서는 긴 시즈닝 공정을 대체할 수 있는 새로운 접근 방식을 제시했습니다. 기화 온도가 낮은 불소 함유 원료를 사용하여 Y2O3 표면에 YOF 층을 만드는 비교적 쉬운 접근으로 현 공정의 문제점을 해결하고자 하였습니다. 이번 연구는 온도 함수를 관찰하여 불소가 Y2O3 소재로의 확산을 확인하고 TEM, EDS, XRD 등을 활용하여 불소화 거동을 집중적으로 탐색하는 것을 목적으로 하였습니다.

**Keywords:** Plasma Resistance, Y2O3, YOF

## 스크래치 실험을 통한 폴리머와 금속 계면의 접착력에 관한 연구

강여진<sup>1</sup>, 박원정<sup>1</sup>, 장마오<sup>1</sup>, 김민석<sup>2</sup>, 이동윤<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 나노융합기술학과; <sup>2</sup>부산대학교 나노에너지공학과  
(dlee@pusan.ac.kr<sup>†</sup>)

인쇄회로기판의 고밀도화에 사용되는 절연재료로 Ajinomoto사의 ABF (Ajinomoto Build-up Film)위에 형성시키는 무전해 도금 구리와 계면 밀착력은 이후의 공정에 아주 중요한 인자로 작용하기 때문에 Cu/ABF 계면 밀착인자에 대한 연구를 진행하였다. 본 연구는 일반적으로 상용화된 무전해 구리 전착 용액 2종류를 사용하여 박막을 형성하였으며 ABF 위에 형성되는 무전해 구리의 미세구조 및 기계적 특성을 무전해 도금 용액별로 분석하였다. Pre-curing 및 디스미어 공정이 무전해 구리와 ABF 사이의 접착력에 미치는 영향에 대해서도 분석하였다. 접착력 측정은 일반적으로 박리시험(peel test)을 통해 이루어지며, 이는 일정 두께 이상의 박막 형성이 필요하다. 그러나 무전해 도금의 경우 얇은 박막 두께로 인하여 후속 공정이 필요하지만, 본 연구에서는 나노인텐터를 이용한 스크래치 실험을 통해서 후속 전기 도금전에 무전해 도금/ABF의 밀착력을 예측하기 위한 연구를 진행하였다. Soft substrate 위에 형성된 무전해 구리 도금층의 스크래치 실험에는 불명확성이 있을 수 있으나 향후 공정의 특성을 예측할 수 있다는 점에 주안점을 두고 연구를 진행하였다.

**Keywords:** 인쇄회로기판, ABF, 화학동, Cu, scratch test

P-184

## Transparent and Superomniphobic Surfaces Coated with Fluoroalkyl-Modified Hollow Silica Spheres

Thi Phuong Bui<sup>1</sup>, 박인<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>과학기술연합대학원대학교; <sup>2</sup>한국생산기술연구원  
(inpark@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

Monodispersed silica-polystyrene core-shell particles with different particle sizes were synthesized through the hydrolysis and condensation reaction of tetraethylorthosilicate on the surfaces of polystyrene cores. Hollow silica spheres were prepared by calcination of the polystyrene core and then modified with fluorosilane, 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltrimethoxysilane. The fluorinated hollow silica spheres coated on glass substrates exhibited superhydrophobicity with excellent self-cleaning property. Water contact angles and slide angles were  $\sim 160^\circ$  and less than  $5^\circ$ , respectively. Furthermore, we will discuss improved durability and enhanced transparency of the surfaces coated with the hollow silica materials as well as self-cleaning and anti-icing properties.

**Keywords:** Superomniphobic, Transparent, Anti-Icing, Hollow Silica Sphere

## Electroactive bendable substrate using ferroelectric polymer

박지윤, 신준혁, 최수석<sup>†</sup>

포항공과대학교  
(choiss@postech.ac.kr<sup>†</sup>)

As technology advances, shape-deformable displays such as foldable, bendable, rollable, and stretchable are attracting attention as next-generation devices. In the case of conventional bendable devices, physical force is applied to the display panel with an external device to transform the shape. Due to the presence of external devices, the thickness of the product increases, and bending occurs only in one direction. To overcome these technical limitations, a polymer film with piezoelectric properties can be attached to a flexible display panel as a substrate to induce shape deformation of the display without external devices. The piezoelectric polymer material used in this study is poly(vinylidene fluoride) (PVDF), which is considered one of the most promising materials due to its flexibility, mechanical strength, and excellent piezoelectric properties.[1,2] We designed an actuator with an unimorph structure that attaches piezoelectric and non-piezoelectric materials and studied the optimal number of stacked piezoelectric materials according to the thickness of the non-piezoelectric materials.

### Acknowledgment

This work was supported by Nano Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (NRF2018M3A7B4089670) and LG Display Incubation Program.

**Keywords:** bendable display, piezoelectric, actuator

## 무기폴리실라잔을 도포한 PC/PMMA원단의 수분특성 향상

김영재<sup>†</sup>, 조정

플렉스이비전

(batteryj@flexematerials.com<sup>†</sup>)

자동차용 고 내구성의 디스플레이에 채용되는 고분자 소재들이 많이 있는데 그중에서 고 투과율 및 내화학성이 강한 물질로 PC/PMMA 복합필름을 많이 사용하고 있음. 실제로 자동차 계기판 및 Dash board 등에 많이 사용하고 있는데 본 연구에서는 이러한 복합필름상에 IML 적용을 위한 수분 차단 코팅층을 건식 방법이 아닌 습식 코팅층을 이용하여 수분 차단 필름을 개발하고자 함. 우선 내구성이 강한 Poly carbonate(PC) 층에 buffer 층으로 Noano Silica 층을 코팅하고 무기 폴리실라잔층을 코팅하여 건조 경화한 후에 RF plasma를 조건별로 조사하여 수분 차단특성이 어떻게 변화하는지 고찰하였다. 그리고 광투과율 및 박막층간의 부착력을 cross-cut test로 확인하였고 내화학성 특성을 통해 무기 폴리실라잔층의 신뢰성을 확인하였음. 아울러 기면에서의 모식도를 전자현미경으로 분석하였으며 이를 통해 수분 차단특성이 계면 및 표면조도에 따라 어떻게 개선되었는지 고찰하였음.

**Keywords:** 수분차단, 무기폴리실라잔, Polysilazane, 고분자필름, 박막, 나노실리카, RF Plasma, Poly carbonate, Coating, Film

## Stretchable 1D Fiber-Based Thermoelectric Electronics with CuI Nanoparticles

Kukro Yoon, Sanghyeon Lee, Taeyoon Lee<sup>†</sup>

NanoBio Device Laboratory, School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University  
(taeyoon.lee@yonsei.ac.kr<sup>†</sup>)

Fiber-based electronics offer great advantages for wearable devices due to their flexibility, stretchability, and wearing comfort. In particular, stretchable fiber-based thermoelectric (TE) electronics have significant potential for versatile applications, leading to continuous research into various TE materials and fabrication methods. Consequently, some stretchable TE devices have been developed utilizing the structure of textiles. However, challenges related to inorganic materials have still hindered the development of stretchable 1D fiber-based TE electronics.

Here, inspired by the previous approach of fabricating stretchable 1D fiber conductors using metal nanoparticles, we have developed stretchable 1D fiber-based TE electronics by synthesizing semiconductor material CuI nanoparticles (CuINPs). The CuINPs network enables the TE fiber to maintain high TE performance (power factor of  $3.05 \mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$ , electrical conductivity of  $0.96 \text{ Scm}^{-1}$  and a Seebeck coefficient of  $177.99 \mu\text{VK}^{-1}$ ) even under tensile strain. Furthermore, it also functions as a strain sensor across a wide stretching range (tensile strain of 200%) and exhibits excellent electrical reliability even under repetitive deformations (10,000 stretching cycles), highlighting its remarkable durability. The stretchable CuINPs TE fiber, devoid of structural limitations, presents a significant advantage for various applications, offering new strategies in the field of wearable devices and human healthcare.

**Keywords:** wearable devices, stretchable electronics, thermoelectric fiber, CuI nanoparticles, fiber electronics

## 나노임프린트 리소그래피를 이용한 SERS 기판 개발

조영운<sup>1,2</sup>, 우수현<sup>1,2</sup>, 이재승<sup>1</sup>, 이승용<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 신소재공학과, <sup>2</sup>한국과학기술연구원 물질구조제어연구센터  
(patra@kist.re.kr<sup>\*</sup>)

라만 분광법은 분자의 화학 구조와 구성에 대한 중요한 정보를 제공할 수 있는 광범위하게 사용되는 분석 도구입니다. 그러나 라만 산란 단면적이 작아서 민감도가 제한적인 경우가 있어 대량의 샘플이 필요합니다. 이를 극복하기 위해 매우 높은 민감도로 물질을 분석할 수 있는 SERS(Surface Enhanced Raman Spectroscopy) 기판이 개발되었습니다. 해당 SERS 기판의 개발에는 나노 구조물의 설계와 최적화 작업이 포함되어 있습니다. 최근에 Pico Foundry사에서는 매우 높은 신뢰성을 갖춘 SERS 기판을 소개하였습니다. 본 연구에서는 이러한 SERS 기판을 기반으로 더 높은 민감도를 가진 SERS 기판을 개발하고자 합니다. 분석 물질이 핫 스팟에 쉽게 접근할 수 있는 고감도 SERS 기판을 만들기 위해, 상부 금속 나노 구조물과 하부 금속 필름 사이에 나노와이어 스택으로 이루어진 다공성 유전체층(SiO<sub>2</sub>)을 도입하였습니다. 또한, 하부 금속 필름 구조를 산화 방지를 위해 은 층 위에 금 필름으로 덮어 최적화하였습니다. 따라서, 제작된 SERS 기판은 SiO<sub>2</sub> 나노와이어 층 수를 1에서 18까지 조정하여 제작하였으며 그 결과, SiO<sub>2</sub> 15층 구조가 733%의 향상으로 가장 높은 SERS 효과를 나타내는 것으로 관찰되었습니다.

**Keywords:** Surface-Enhanced Raman Scattering(SERS), Thermal nano-Transfer Printing (T-nTP), Plasmonic structure, Surface plasmon resonance, Hot spot

## Synthesis of reduced graphene oxide 3D forms for organic solvent absorption using an additive-free natural oil templated

Jae-Kwan Kim<sup>1</sup>, Maddumage Don Sandeepa Lakshad Wimalananda<sup>1</sup>, Ji-Myon Lee<sup>2\*</sup>, ZHANG XUAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Advanced IT-Convergence Materials Institute, Sunchon National University;

<sup>2</sup>Department of Advanced Components and Materials Engineering, Sunchon National University  
(jimlee@scnu.ac.kr<sup>†</sup>)

Oils are the base of modern civilization and are in high demand for human activities, such as energy, food, household, and other industrial applications. However, waste and unmanaged oil causes many environmental issues. Therefore, mechanical remediation, such as oil absorbent, is the most effective method of waste oil management. Recently, the 3D forms of 2D materials like graphene have attracted interest in many applications, including oil absorption, due to their extremely high surface area and porosity. We utilized the oil-graphene oxide (GO) solution emulsion templated technique to synthesize 3D forms of reduced graphene oxide (rGO) for organic solvent absorption in our study. This method uses ultrasonic waves to rearrange GO sheets in a stable position in an oil-water emulsion, enabling the economical and environmentally-friendly fabrication of rGO 3D structures with controllable spherical voids by hydrothermal technique. Moreover, the 3D structure shows interconnected micro-sized voids, and the resultant is highly permeable, even for liquids. The pore size depends on the emulsion mixing technique, and is correlated to the GO sheet size. The technique eases the fabrication of controllable (5–200)  $\mu\text{m}$  sized voids. Furthermore, larger GO sheets were found to produce a more stable emulsion and greater structural stability in the final rGO structures, as compared to smaller GO sheets. As a result, the largest rGO sheets demonstrated the highest stability during absorption testing. The large pore structures were suitable for waste liquid absorption applications and showed a maximum of 96 % volume capacitance for organic solvent, and 85 % for oils. Further, organic solvent absorption showed no performance drop, while oils showed reasonable performance, even after multiple cycles.

**Keywords:** reduced graphene oxide, natural oil templated, 3D forms, organic solvent, absorption

## Filter paper-assisted 방법을 활용한 액상 박리된 환원 그래핀과 이황화몰리브덴(MoS<sub>2</sub>) 박막의 초박형 이중막 층상 구조 제작 연구

김재관<sup>1</sup>, Maddumage Don Sandeepa Lakshad Wimalananda<sup>1</sup>, 이지면<sup>2\*</sup>, ZHANG XUAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>순천대학교 차세대IT-융합소재연구소; <sup>2</sup>순천대학교 첨단부품소재공학과  
(jimlee@scnu.ac.kr<sup>†</sup>)

그래핀과 전이금속칼코젠 화합물(TMD: Transition Metal Dichalcogenides) 등의 2차원 소재 물질은 한 층 내에서의 원자들 간에는 공유결합으로 매우 강한 결합력을 가지고 있으나 그층들 사이는 반데르발스힘(van der waals force)으로 결합으로 서로 약하게 결합하고 있으며, 층층이 쌓여있는 형태로 존재하여 기계적 박리 및 액상 박리 방법으로 단일 층 또는 수 층의 극초박막으로 쉽게 박리되는 특징을 가지고 있어서 단층 및 수 원자층의 소재를 구현하는 것이 가능하지만 대면적 성장을 위해서는 고온 또는 플라즈마를 에너지원으로 하여 챔버에서 분해 및 재결합을 이용하여 2차원 소재를 성장시키는 화학기상증착법(CVD) 등이 활용되지만, 이는 대량 생산 및 까다로운 공정조건 등으로 인하여 경제성이 매우 불리한 단점 있다. 따라서 액상 박리 방법에 의해 대면적의 균일한 두께의 필름을 제작하기 위하여 많은 노력이 진행되어지고 있지만 그래핀 소재의 경우 액상 박리 방법의 기술 발전으로, 수 $\mu\text{m}$ ~수십 $\mu\text{m}$  사이즈의 대면적 그래핀 시트(sheet) 분산을 토대로 이를 mm 사이즈의 균일한 수 원자층의 두께로 제도가 가능한 것으로 알려져 있지만 이황화 몰리브덴(MoS<sub>2</sub>)의 경우는 액상 박리법으로 수득할 수 있는 단결정 플레이크는 아직까지 수nm~수백nm 사이즈 시트(sheet)로만 분산이 가능한 것으로 대면적화가 매우 어렵다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 연구를 통해 2차원 물질인 그래핀과 이황화몰리브덴(MoS<sub>2</sub>) 박막을 이용한 층상구조 제작에 있어서 화학적 액상 박리법의 의한 2차원 소재의 단층의 나노 플레이크 시트를 제작하고 Filter paper-assisted 공법과 전사 공법을 이용하여 기존의 스프레이 및 스핀 코팅 방법과 비교하여 우수한 대면적의 균일한 두께의 전이금속칼코젠/그래핀 이중박막 층상구조 제작하고 제작된 이중박막을 FE-SEM, UV-VIS, AFM, XPS, Raman 등의 분석장비를 통해 분석하고 추가적으로 전계효과 트랜지스터(FET: Field-Effect Transistor) 소자 제작에 적용하여 전이금속칼코젠/그래핀 이중박막의 전기적 특성 분석하였다.

**Keywords:** 환원 그래핀, 이황화몰리브덴, 액상박리, 이중박막, 층상구조, Filter paper

P-191

## Ovonic Threshold Switch using GeS<sub>2</sub> with various Nitrogen doping concentration for Threshold Voltage shift

Jinhan Lee, Taeyoon Lee<sup>†</sup>

Yonsei University  
(taeyoon.lee@yonsei.ac.kr<sup>†</sup>)

The currently commercialized 2D planar memory device is facing various limitations as its size has decreased due to the development of process technology. To solve this problem, research on 3D X-point memory is in progress. However, 3D X-point memory has vertical structure, there is a critical problem called “sneak path”. In the case of vertical type memory, when a sneak path occurs, the cells of all layers in which the sneak path occurs will malfunction. To solve this problem, research on selectors is being actively conducted.

Conventional OTS research use Tellurium (Te), Selenium (Se) for chalcogenide material. And these materials have problem with thermal instability. Therefore, OTS research using Sulfur (S) is promising because of its high thermal stability. However, leakage current due to Ge-Ge homopolar bonding is still problem. Here, we introduce Nitrogen doping with GeS<sub>2</sub> films using magnetron sputter for OTS selector. Nitrogen doping breaks Ge-Ge homopolar bonding, and form Ge-N heteropolar bonding. Ge-N heteropolar bonds have lower conductivity compared to Ge-Ge homopolar bonds. These heteropolar bonding reduces leakage current. Nitrogen doping concentration is analyzed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). To analyze electrical properties of Nitrogen doped GeS<sub>2</sub> (N-GeS<sub>2</sub>) films, using Metal-Insulator-Metal (MIM) structure device. Top/Bottom electrode of MIM device is Ruthenium (Ru).

**Keywords:** Germanium Sulfide, Nitrogen doping, Sputter, OTS selector

## UTG 기판상의 AZO/Ag/AZO 다층박막 내구성 확보를 위한 안정화 코팅연구

박재성<sup>\*</sup>, 황도연

(재)구미전자정보기술원

(jspark@geri.re.kr<sup>†</sup>)

본 연구는 광전자 분야의 발전에 따라 높은 광투과율과 전기 전도성을 가지는 투명전도막에 관한 산업적 요구가 높아지며 급격한 변화속 가장 이슈가 되고 있는 Foldable, Rollable Display의 Cover Window 주요 핵심 소재인 CPI(투명폴리이미드)를 대체 가능한 UTG(Ultra Thin Glass)굽힘 응력 및 전기적 신뢰성에 따른 박막의 내구성 확보 기술에 관한 연구이다.

얇고 유연하고 구부릴 수 있는 장치에 대한 관심이 높아지면서 기계적으로 견고하고 전기적으로 신뢰할 수 있는 투명전극에 대한 수요가 높아짐에 따라 인듐 도핑된 산화주석(ITO)과 알루미늄 도핑된 산화아연(AZO)은 가장 많이 사용되는 투명전도성 산화물(TCO)중 하나이며, 유연 기판에 신뢰성이 큰 주목을 받고 있다.

일반적으로 매우얇은 박막 두께에서는 높은 유연성을 가지지만 그에 따른 전도성의 저하로 전기적 신뢰성이 떨어지게 됨을 알 수 있다.

본 연구에서는 AZO/Ag/AZO다층 박막을 활용한 유연기판상의 전기적 광학적 및 기계적 특성이 보완된 다층박막의 내구성을 확보하기위해 Glass 두께 50~80um수준 UTG기판상에 Puls DC 마그네트론 스퍼터링을 이용한 안정화된 박막을 형성하며, Frequency 조절로 탭-버튼-앵커층의 박막 스트레스를 조절하여 최적의 내구성 구현되는 다층박막을 형성한다.

형성된 박막을 활용하여 굽힘시험 및 다층박막의 구조적 손상유무를 확인하며 기계적 변형 하에서 다층박막의 전기적 광학적 주요역할에 대해 기술 하고자 한다

### Acknowledgment

본 연구는 중소벤처기업부가 지원하는 중소기업기술혁신개발사업 “강소기업 100, 굴곡특성 및 내충격성이 확보된 Foldable Display용 20인치급 대면적 UTG 개발(3차년도), 과제번호 S33126505”의 연구결과로 수행되었음.

**Keywords:** AZO/Ag/AZO, Thin Film Durability, DC pulse Frequency

## Radiative Cooling With Thermal Energy Storage Using Phase Change n-Octadecane/SiO<sub>2</sub> Core-Shell Nanobeads

Ho Young Woo<sup>1</sup>, Dongwoo Chae<sup>2</sup>, Soomin Son<sup>2</sup>, Hyesun Hwang<sup>1</sup>, Taeyeol Yoon<sup>1</sup>, Hangyu Lim<sup>2</sup>, Sanghyuk Wooh<sup>1</sup>, Heon Lee<sup>2</sup>, Taejong Paik<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Chung-Ang University; <sup>2</sup>Korea University  
(paiktae@cau.ac.kr<sup>†</sup>)

In this study, a simple, facile, and high-performance passive daytime radiative cooling (PDRC) coating was developed by employing phase change n-octadecane/SiO<sub>2</sub> (P-SiO<sub>2</sub>) nanobeads (NBs) for dual thermal management of both daytime radiative cooling and thermal heat energy storage. Monodisperse P-SiO<sub>2</sub> NBs were synthesized *via* emulsion polymerization and were reversibly melted and crystalized at the phase change temperature of n-octadecane, which was used as a core phase change material (PCM). PDRC coating was fabricated by simple spray coating of P-SiO<sub>2</sub> NBs/polymer solution on a glass substrate. Owing to the presence of the light-scattering air voids in the porous core-shell structure and the vibronic absorption of Si-O bonding in SiO<sub>2</sub> NBs, the PDRC coating exhibited high reflectivity of 91.8% in the solar spectrum and high emissivity of 95.5% in the atmospheric window. We systematically investigated the influence of PCMs on thermal behavior by monitoring the PDRC coating under heating and cooling processes using infrared thermal imaging. We confirmed that the PCMs in the PDRC coating can effectively reduce the temperature of the coating by storing the thermal energy *via* the phase change process. During the daytime, the PDRC coating exhibited a temperature drop of 9.0 °C with average solar irradiation of 894 W/m<sup>2</sup>, which indicates that the designed PDRC coating is highly effective for radiative cooling.

**Keywords:** Radiative cooling, Colloidal synthesis, Nanoparticle, Phase change material, Thermal energy storage

P-194

## Tailoring Sizes and Composition of Pnictogen Bismuth Thiohalide Nanowires and Nanorods via Heat-up Method

이다원, 최윤주, 김승현, 김다감, 유미연, 백태종<sup>†</sup>

Chung-Ang university  
(paiktae@cau.ac.kr<sup>†</sup>)

Herein, we report the size and composition-controlled synthesis of pnictogen bismuth thiohalide (BiSX) nanocrystals (NCs) via the injection-free heat-up method. Colloidal BiSX nanorods (NRs) were synthesized using bismuth halides (BiX<sub>3</sub>) precursors and elemental sulfur (S) in high boiling point solvents. The halide compositions of BiSX were systematically varied by changing the halides in the BiX<sub>3</sub> precursors. Phase-pure orthorhombic pnictogen BiSX NRs were synthesized in the absence of impurities. We observed that the length and width of the BiSBr NRs were tailored by changing the amounts of ODE or S precursors. In addition, the type of solvent also significantly influenced the morphology of BiSBr. Micrometer-scale BiSBr NRs were synthesized with oleic acid solvent, while thin, and high-aspect ratio BiSBr nanowires (NWs) were synthesized in 1-dodecanthiol solvent. Further, when oleylamine solvent was used, Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> nanotubes were obtained as the final product. We investigated the optical properties of BiSX NRs and NWs by varying the sizes and compositions. This work provides a potential guideline for synthesizing phase-pure BiSX NCs with designed optical properties by tailoring the sizes and compositions.

**Keywords:** Colloidal, Thiohalide nanocrystals

P-195

## Ag<sub>2</sub>Se-based Stretchable and Thermoelectric Fabric without Thermal Treatment for Wearable Electronics

권채빈, 이태윤\*

Yonsei University  
(taeyoon.lee@yonsei.ac.kr\*)

Thermoelectric (TE) fibers have received attention for their broad utilization as a power and sensors in wearable devices. Diverse thermoelectric materials were applied in TE fibers to meet these growing demands. Despite such investigation, applying inorganic TE materials in fibers remains challenging. Most of the inorganic TE materials are synthesized under high-temperature conditions to remove the oxide layer caused by surfactants, making the materials rigid. Herein, we fabricated stretchable Ag<sub>2</sub>Se TE fabric through simple *in situ* chemical reduction without thermal treatment. Ag<sub>2</sub>Se nanoparticles (NPs) were densely formed inside and outside of knitted cotton fabric. The Ag<sub>2</sub>Se TE fabric exhibited outstanding electrical reliability even under 10,000 cycles of both stretching and compressing. Furthermore, the TE unit achieved a power factor of 25.77  $\mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$  with an electrical conductivity of 36.7  $\text{Scm}^{-1}$  and a Seebeck coefficient of -83.79  $\mu\text{VK}^{-1}$  at room temperature. The Ag<sub>2</sub>Se TE fabric was applied to a wearable system that can detect strain, pressure, and temperature difference. The Ag<sub>2</sub>Se TE fabric based sensor showed excellent detecting performance even after undergoing high mechanical deformation.

**Keywords:** Ag<sub>2</sub>Se, thermoelectric fabric, strain sensor, pressure sensor, temperature sensor, wearable electronics

## Stretchable and Flexible Electroluminescent fiber device for future wearable textile display

원치형, 이태윤\*

Nanobio Device Laboratory, School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University  
(taeyoon.lee@yonsei.ac.kr\*)

Recently, studies of developing wearable display are highly vigorous with miniaturized basic electronic devices such as sensors, actuators, system processors, and so on. Previous devices had structural limitations of their material composites that is natively rigid and inflexible. To overcome these technical problems, polymer-based flexible devices such as transistors and sensors have been developed. However, these electronics had low mechanical reliability compared to their flexibility. Also, the performances were different due to not restoring after mechanical deformation beyond the certain level. To resolve and improve the wearable display research, we developed the stretchable and flexible electro-chemiluminescent (ECL) fiber strain sensor with flexible conductive fiber, soft gel polymer and various ECL phosphors. The conductive fiber was composed with Polyurethane (PU) based elastic fiber and Ag nanoparticles (AgNPs), which was fabricated by absorbing Ag solution and reducing Ag ions to AgNPs. The flexible ECL gel layer coated on conductive fiber was combined with PU-based gel electrolyte polymer and an ECL phosphor material. The proposed fiber sensor had highly stretchable property of tensile strain and flexible property of bending. To achieve the high luminescent properties of fiber sensor, we optimized the ratio of between phosphor and polymer. These fiber sensor-based textile displays could be applied in various fields such as clothing, medical car, and sports. It is expected that the ECL fiber sensor is greatly contribute to the next-generation wearable device industry.

**Keywords:** electro-chemiluminescent polymer, conductive fiber, stretchable device, flexible sensor, textile display

P-197

## Permeable nanomesh-based wearable cortisol biosensors for bioelectric face masks

Sungjoon Cho, Taeyoon Lee<sup>†</sup>

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Republic of Korea  
(taeyoon.lee@yonsei.ac.kr<sup>†</sup>)

We present a novel wearable cortisol biosensor based on nanomesh technology, optimized for bioelectric face masks that are both permeable and flexible. Traditional bioelectric face masks struggle with issues of permeability and breathability due to their film-type design, whereas our version, developed using the electrospinning method commonly associated with mask creation, circumvents these problems. The resulting nanofiber matrix, with fibers ranging from 200 nm to 500 nm in diameter, seamlessly merges breathability with flexibility. When we tested its electrochemical properties using methods like EIS and CV, the biosensor displayed remarkable sensitivity to even minute cortisol concentrations, detecting levels as minute as 10 pM. In real-world applications, these bioelectric masks adeptly measured cortisol in both synthetic and real human saliva. Our research underscores the vast potential of such bioelectric masks in identifying a wide range of biomarkers.

**Keywords:** Permeable electrodes, Wearable cortisol biosensor, Bioelectric mask, Nanomesh, Saliva

## One-pot synthesis and characterization of Cu-Ni core-shell nanowires and pearl-necklace structures

Minkyu Kang, Yuanzhe Piao<sup>†</sup>

Seoul National University

(parkat9@snu.ac.kr<sup>†</sup>)

Over the last decade, there has been a notable surge in interest surrounding one-dimensional (1D) nanomaterials because of their significant contributions to various fields such as electronics, device manufacturing, composite materials, catalysis, and sensing applications. For instance, core-shell nanostructures have become a prominent category of 1D nanomaterials that are extensively investigated. In this study, we present a one-pot approach for the synthesis of Cu-Ni core-shell nanowires and pearl-necklace structures using an ethylenediamine (EDA)-mediated method. The EDA-mediated technique can be performed at normal pressure and typically takes between 30 minutes to 1 hour to complete. Characterization of the resulting materials was carried out through X-ray powder diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectrum (EDX), transmission electron microscopy (TEM), elemental mapping, X-ray photoemission spectroscopy (XPS), and magnetization measurements. The nanostructure that was synthesized consists of a nickel layer surrounding the copper surface. Specifically, the nanowire has a diameter of 250 nanometers and a length of 25 micrometers, while the pearl necklace structure has a diameter of 300 nanometers. Due to its straightforward synthesis, cost-effectiveness, and suitability for large-scale production, this method has broad applications across various fields.

**Keywords:** nanowires, pearl necklace structure, core shell, Cu, Ni, EDA

## 탄소섬유 기반의 플렉서블 히터 및 센서 제작을 위한 스테플 파이버 재활용 적용에 관한 연구

하태원, 이철형<sup>\*</sup>, 허기석Korea Institute of Industrial Technology  
(chlee0901@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

본 연구는 탄소섬유 제조 시 발생하는 스테플 파이버를 재활용하여, 첨가물이 포함되지 않은 탄소섬유 기반의 플렉서블 히터 및 센서의 응용에 관한 것이다. 히터의 성능을 평가하기 위해 인가전압에 따른 가열온도와 전력, 탄소섬유의 온도 분포를 열화상 카메라를 이용하여 분석하였다. 그 결과, 유연성이 뛰어난 패브릭 히터는 균일하게 연결된 탄소섬유 네트워크를 기반으로, 5V 인가시 최고온도 185°C에서 발열특성을 나타냈으며, 5시간 동안 장기 안전성 테스트를 실시한 결과 신뢰성 있는 온도 보존과 오차 범위 3% 이내의 안정성을 보였다. 또한, 순수 탄소섬유로 구성된 직물섬유 자체는 상온에서 NO<sub>2</sub> 가스에 민감한 감지특성을 나타냈으며, 굽힘반경 5mm로 1,000회 이상의 주기적인 굽힘 반복 변형에 대해 우수한 기계적 신뢰성을 보였다. 카본 패브릭 센서는 기존의 탄소 소재로 코팅된 유연한 기판을 사용한 센서 소자에 비해 매우 유연하고 내구성이 뛰어나 센서 기판 소재로서 실온에서 작동 가능한 직물 기반의 웨어러블 히터 및 가스 감지 재료의 특성을 제공한다.

**Keywords:** staple fiber recycling, flexible heater, NO<sub>2</sub> gas sensor, carbon fabric

P-200

## Effect of pressure variation on Li-ZnO/Ag/Li-ZnO multilayer thin films and investigation of structural, optical and electrical properties

VIJAY PATIL, Jin-Hyeok Kim<sup>†</sup>

Optoelectronics Convergence Research Center and Department of Materials Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju, South Korea  
(jinhyeok@chonnam.ac.kr<sup>†</sup>)

Zinc oxide (BVO) is a wide bandgap ( $\sim 3.2$  - $3.5$  eV) semiconductor material which has been vastly in focus for semiconductor. Photodetector, solar cells etc. applications. Though it is widely investigated material with empirical knowledge about properties and crystal growth, recombination and defect control hinder effective implementation for device development. Detailed experiments and characterization are indeed needed for morphology, crystal quality, low resistivity- high conductivity and defect control tuning. Recently, dielectric-metal-dielectric (O/M/O) thin film structure has shown great potential for TCO layer in solar cells and optoelectronic applications. In this light, It is important to investigate and have detailed knowledge of effect of growth parameters on Zinc oxide based O/M/O thin film properties using cost effective, industrially settled and large-scale uniform thin film producing RF magnetron sputtering technique. In this work, Li-ZnO/Ag/Li-ZnO thin films were sputter grown by varying ambient gas pressure and their structural, morphological, electrical and optical properties were studied.

**Keywords:** sputtering, thin film, TCO

P-201

## Oxygen plasma pre-treatment of SiO<sub>2</sub>/Si substrates for enhanced thickness uniformity of MoS<sub>2</sub> thin films

Irang Lim, Woong Choi<sup>†</sup>

School of Materials Science & Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, South Korea

(woongchoi@kookmin.ac.kr<sup>†</sup>)

MoS<sub>2</sub> has great potential as a material for thin-film transistors in the future due to its low power and high carrier mobility. However, it is critical to achieve uniform growth of MoS<sub>2</sub> on SiO<sub>2</sub> substrates over large areas for practical applications. In this study, we investigated the enhanced thickness uniformity of chemical-vapor-deposited MoS<sub>2</sub> thin films using O<sub>2</sub> plasma treatment on SiO<sub>2</sub> substrates. Analysis through Raman spectra and transmission electron microscopy measurements revealed that the thickness uniformity of MoS<sub>2</sub> thin films improved over a centimeter scale after the O<sub>2</sub> plasma treatment on SiO<sub>2</sub> substrates. Contact angle measurements indicated that the SiO<sub>2</sub> surface became more hydrophilic with an increase in surface energy after O<sub>2</sub> plasma treatment. Atomic force microscopy analysis further revealed that O<sub>2</sub> plasma treatment on SiO<sub>2</sub> substrates improved the uniformity of surface roughness in the MoS<sub>2</sub> thin films. These results demonstrate that O<sub>2</sub> plasma treatment on SiO<sub>2</sub> substrates is an effective method of enhancing the thickness uniformity of MoS<sub>2</sub> thin films, providing valuable insights for the advancement of large-scale synthesis of MoS<sub>2</sub> and related transition metal dichalcogenides.

**Keywords:** MoS<sub>2</sub>, chemical vapor deposition, SiO<sub>2</sub> substrates, oxygen plasma treatment

P-202

## 탄소 박막 계면 엔지니어링이 전이금속 산화물 막의 형태적, 화학적 구조에 미치는 영향

이기원, 조명훈, 안효진\*

서울과학기술대학교 신소재공학과  
(hjahn@seoultech.ac.kr<sup>†</sup>)

에너지 사용량 증가에 따른 환경오염 문제가 심각해짐에 따라 리튬이온전지, 슈퍼커패시터, 전기변색 소자와 같은 에너지저장 소자들이 주목받게 되었다. 그리하여 에너지저장/변환/보존 소자를 구성하고 있는 전극의 중요성이 증가하였고, 고성능 전극 구현을 위해서 전극을 구성하는 전하집전층 및 전기화학 활성층에 전이금속 산화물을 활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 하지만 이러한 전이금속산화물은 다른 금속 및 탄소 소재에 비해서 열악한 전기전도성을 가지는 문제점이 있고, 이는 전극의 성능 저하 문제로 연결된다. 따라서 본 연구에서는 전이금속 산화물 막 형성과정 중에 탄소 박막 계면 엔지니어링을 활용하여 형태적, 화학적 구조를 동시 조절하여 전기전도성을 향상시켰다. 형태적으로는 특정 결정방향으로의 성장과 표면의 거칠기의 변화를, 화학적으로는 불소 도핑 및 산소 공공 농도를 조절하였다. 그 결과 이러한 형태적, 화학적 구조의 엔지니어링을 통해서 기존의 전이금속 산화물 막보다 높은 전기전도도와 낮은 면저항을 가지는 전극을 만들 수 있었다.

**Keywords:** 전이금속 산화물, 탄소 박막 계면 엔지니어링, 전기전도도

## A study on the effect of deposition temperature for chemical vapor deposition parylene C film

손현화<sup>1†</sup>, 김혜빈<sup>1</sup>, 조성호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국산업기술시험원; <sup>2</sup>Department of Molecular Cell Biology, University of Connecticut  
(hyunhwa@ktl.re.kr<sup>†</sup>)

The polymer thin film coated with Para-xylylene exhibits excellent adhesive properties and offers protection against external elements such as corrosion and chemical attacks. This film is also used in bio-materials such as bones, stents, knees, and various implants. Regarding the coating process, the Chemical Vapor Deposition (CVD) technique, applied as a Para-xylylene coating, generates a molecular unit thin film. This film effectively coats and guards the substrates with a thin protective layer, ensuring a perfect seal. This coating method prevents corrosion and halts the atomic migration from the substrate to the surface.

However, the CVD process faces limitations in terms of growth rate. Many studies are focused on increasing the growth rate to minimize the time between pyrolysis and sublimation reactions. The deposition rate of polymeric films has been shown to be sensitive to substrate temperature and deposition chambers. Many researchers are concentrating on enhancing the deposition rate based on pressure and temperature to widespread commercialization of this film. This research investigates the relationship between growth rate (deposition rate) and substrate temperature.

We utilized stainless steel (304) as substrates and controlled the deposition temperature of poly-chloride-xylylene. The sublimation temperature was set at 170°C, while the pyrolysis temperature was maintained at 700°C. The substrate temperature ranged from -30°C to +30°C, with a deposition pressure of 0.1 torr. To assess the integrity of the coated area, we employed the cross-cut test outlined in ISO-2409 (ASTM D 3359). For measurement of coated thickness and areas, we employed a Scanning Electron Microscope (SEM). Furthermore, to evaluate atomic migration, a detailed analysis was conducted using Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX). Transparent analysis was performed using glass plates, an essential component in achieving well-formed coated layers.

As a result, the deposition rate increases as the substrate temperature decreases, potentially even tripling in magnitude. Our analysis of coated areas indicates adhesion characteristics reaching a grade of 0 (0% exfoliation), and the migration of atoms through coated films is challenging to discern. Transparency decreases by less than 3% (30um thickness) across the coating's thickness. Based on our experimental results, the heightened deposition rate indicates a strong potential for commercial applications. This, in turn, suggests the feasibility of reducing production costs due to the accelerated deposition rate.

**Keywords:** Para-xylylene coating

## 나노탄소소재를 적용한 내화학성 유해화학물질 감지 센서

민대홍, 윤태영\*, 박효원, 송은빈, 양우석

한국전자기술연구원  
(yty521@keti.re.kr<sup>†</sup>)

유해화학물질을 감지하기 위한 센서에 대한 많은 연구가 이루어져 왔습니다. 기존 센서는 화학물질에 대한 부식으로, 센서의 장기 신뢰성 확보에 어려움이 있었습니다. 이번 연구에서는 센서의 내구성을 향상시키기 위한 연구를 진행했습니다. 센서 잉크는 나노 탄소 소재인 Graphene nanoplatelet(GNP)과 Fluorine-resin(F-resin)을 기반으로 제작했습니다. Stacking된 판상형 소재 GNP와 내산성 소재인 F-resin을 통해 화학물질 penetration을 방지함으로써 내화학성을 확보했습니다. 또한 두 소재간의 분산성이 우수한 용액 제조를 위한 적합화 조성을 찾았습니다. 코팅된 잉크는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 NaOH에 90시간 이상 노출되어도 양호했으며, 열 충격 테스트에서도 저항이 유지되며 장기 신뢰성을 확보했습니다. 또한 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 NaOH 각각에 대한 센서의 반응성은 91%, 54%로 확인됐습니다. 해당 잉크는 Spray coating, dip coating, blade coating 방법을 통해 코팅을 진행할 수 있으며, 이러한 여러 코팅 방법을 통해 plat, wire, curved 등 다양한 형태의 기판에 uniform하게 코팅할 수 있는 장점이 있습니다.

**Keywords:** 나노탄소소재, 그래핀, 내화학성, 센서

P-205

## Mechanical Properties of TiNbN Thin Films Deposited by Direct Current, Mid-frequency and Inductively Coupled Plasma Assisted Magnetron Sputtering

김용선, 전성용\*

Mokpo National University

(sychun@mnu.ac.kr\*)

TiNbN coatings exhibit improved physical and mechanical properties, such as improved chemical stability at room temperature, and are therefore finding applications in a wide range of fields such as orthopedic implant parts, surgical instruments, and rotary tools. Direct current magnetron sputtering (dcMS) can be used to coat hard, low friction coefficient, high wear resistance and corrosion-resistance films. But, this technique causes to low deposition rate and ionization effectiveness. These disadvantages have improved with hybrid magnetron sputtering processes such as, mid-frequency magnetron sputtering (mfMS) and inductively coupled plasma assisted magnetron sputtering technique (ICPMS). ICPMS technique can be used for coating high quality and well adhered films. In this study, TiNbN films deposited on Si substrate using dcMS, mfMS and ICPMS. The crystallographic and microstructural properties of the films were determined using HRXRD and FESEM, respectively. The mechanical properties of the films such as hardness and elastic modulus were also determined by nanoindentation tester

**Keywords:** Magnetron Sputtering, Mid-frequency, TiNbN, Thin films

## A study on the anti-corrosion thin film coating for semi-conduction production devices

Hyun Kim<sup>1</sup>, Hyun Hwa Son<sup>1†</sup>, S. H. Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Evaluation Team, Korea Testing Laboratory;

<sup>2</sup>Department of Molecular Cell Biology, University of Connecticut  
(hyunhwa@ktl.re.kr<sup>†</sup>)

Semiconductors, as fundamental components used in all industries, are continually being researched for securing high performance. To enhance the performance of semiconductors, semiconductor manufacturing processes are conducted in extreme environments. The components used in the manufacturing processes are exposed to harsh conditions, leading to a shorter lifespan of the components. Many researchers and engineers have been conducting studies to extend the lifespan of these components. The photo process, also known as the etching process, which is the focus of this study, is carried out at stronger acids such as hydrofluoric acid and at higher temperatures, with the improvement of semiconductor performance. These processes generate toxic dust, particularly in the etching process. This dust can become a hindrance to continuous operations by adhering to the exhaust system walls and causing blockages. In an effort to address this issue, Teflon coating was applied by spraying as a solution, but there are limitations to its application on components with complex shapes.

In this study, we investigated para-chloride-xylylene-based vacuum deposition coatings as foundational materials to enhance the lifespan of semiconductor exhaust components with complex shapes that are exposed to acidic environments.

We utilized stainless steel (304) as substrates for the coating, with poly-chloride-xylylene as the coating medium. The sublimation temperature was carefully controlled at 180°C, and the pyrolysis temperature was set at 720°C. The substrate temperature was maintained at 25°C, and the deposition pressure was set to 0.1 torr. To assess the integrity of the coated area, we employed the cross-cut test according to ISO-2409 (ASTM D 3359). The coated thickness and areas were measured using a Scanning Electron Microscope (SEM). Atomic migration played a crucial role in evaluating the quality of the coated area, for which Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) was employed to analyze atomic movement. Additionally, this research evaluated coating area damage in a 20% HF solution at room temperature based on ISO 175 standards. The surface roughness of the coated area holds significant importance in determining device lifespan. Thus, changes in surface roughness were monitored during a 10% HF immersion period. Top of Form

Based on our research, we produced coating thicknesses of 10μm, 20μm, and 30μm. The adhesion was determined to be grade 0 within a hydrofluoric acid immersion time of 312 hours. Although there was a minor alteration in surface roughness, it remained within the margin of error, and the adhesion remained unaffected despite the variation in roughness.

No peeling of the surface coating layer occurred during the hydrofluoric acid immersion period, and no damage was observed in the surface cutting layer. The cross-section of the coating layer maintained its integrity, unaffected by the hydrofluoric acid immersion test.

Based on the result, the application of exhaust components used in the etching process resulted in an extension of lifespan by over twice when compared to the existing uncoated products.

**Keywords:** Anti-corrosion, Thin film, Lifespan, Para-chloride-xylylene

P-207

## Effects of Deposition Temperature and Substrate on the Electrical Properties of Evaporated Ge Thin Films

Hyojeong Kwon, Woong Choi<sup>†</sup>

Kookmin University  
(woongchoi@kookmin.ac.kr<sup>†</sup>)

Polycrystalline Ge is favored as the active device layer in the back-end-of-line due to its lower crystallization temperature in comparison to Si. Although physical vapor deposition techniques like evaporation are commonly used to generate polycrystalline Ge thin films, the impact of various deposition temperatures and substrate types on their electrical characteristics has not been thoroughly explored. In our research, we examine the electrical properties of 200-nanometer-thick Ge thin films deposited at varying temperatures (160-280°C) and on different substrates (SiO<sub>2</sub>/Si and sapphire) using electron-beam evaporation, followed by annealing at 500°C for 24 hours. X-ray diffraction analysis confirmed the polycrystalline nature of the Ge thin films, with similar grain sizes of around tens of nanometers. Additionally, it revealed a preferential orientation along the (110) plane for Ge thin films deposited between 200-280°C. Hall effect measurements demonstrated that the hole mobility of these Ge thin films decreased as the deposition temperature increased. Notably, our Hall effect measurements suggest that hole transport in these Ge thin films was not primarily influenced by grain boundary scattering, a characteristic distinct from common polycrystalline semiconductors. Hall effect measurements also showed that Ge thin films on sapphire substrates exhibited higher hole mobility and lower energy barriers at grain boundaries, possibly be due to the lower trap density at grain boundaries and lower defect density in Ge thin films on sapphire. We are currently conducting further investigations to establish the relationship between the electrical properties of Ge thin films and their microstructures.

**Keywords:** Polycrystalline Ge, preferential orientation

## Optimization of CrN deposition conditions for high quality GaN growth

Yunyoung Chung, Dongjin Byun<sup>†</sup>, Kyu-Yeon Shim, Seongho Kang, Yukyeong Cha

고려대학교  
(dbyun@korea.ac.kr<sup>†</sup>)

It is very important to grow and lift-off GaN from substrate to improve efficiency of LED. However, low crystal quality GaN grows on a (0001) c-plane sapphire substrate because of the large difference between the lattice parameters and the thermal expansion coefficients, which results in a high stress and defect density. The quality of GaN improved by using the AlN or low temperature GaN (LT-GaN) buffer layer to reduce the lattice parameter difference between GaN and sapphire substrate, but the etching solution of AlN or LT-GaN for chemical lift-off also damages GaN because it etches nitride-based materials. Therefore, research should be conducted to grow high quality GaN by using a buffer layer that can be selectively etched without damaging GaN.

In this study, the quality of CrN film grown under various conditions on (0001) c-plane sapphire substrates using RF reactive magnetron sputtering is analyzed. To grow high quality GaN, CrN (111) film deposition with high crystal quality is required. The major parameters that can be controlled during deposition are substrate temperature, N<sub>2</sub> ratio, working pressure, and the RF power. However, materials other than CrN were deposited and CrN (111) was not deposited under certain conditions. By optimizing conditions through XRD data analysis, high crystal quality CrN (111) film with strong CrN (111) peak, narrow FWHM, and no other materials is successfully deposited.

**Keywords:** Chromium Nitride, Chemical Lift-Off, Reactive RF Sputter

P-209

## Optimization of Polycrystalline Ge Thin Films through Controlling Substrate Temperature during Evaporation

Youngho Cho, Woong Choi<sup>†</sup>

Kookmin University  
(woongchoi@kookmin.ac.kr<sup>†</sup>)

Polycrystalline Ge, with its lower crystallization temperature in comparison to Si, emerges as an excellent candidate for the active device layer in the back-end-of-line applications. However, despite the common method of obtaining polycrystalline Ge thin films through evaporation and subsequent annealing, there has been limited exploration regarding the relationship between substrate temperature during evaporation and the electrical characteristics of Ge thin films. In this investigation, we delved into the impact of varying substrate temperatures within the range of 30-200°C on the electrical properties of 200-nanometer-thick Ge thin films deposited onto SiO<sub>2</sub>/Si substrates using electron-beam evaporation, followed by annealing in a tube furnace at 500°C for 24 hours. Raman and X-ray diffraction analyses revealed a noteworthy distinction: at 200°C without annealing, we achieved polycrystalline Ge thin films, contrary to the as-deposited Ge thin films at 30-160°C. Importantly, our study uncovered that hole mobility exhibited an intriguing trend, increasing with rising substrate temperature until reaching a peak at 160°C, beyond which it decreased at the substrate temperature of 200°C. In-depth analysis using electron backscattered diffraction and Hall effect measurements pinpointed Ge thin films deposited at 160°C as the most favorable in terms of properties, boasting the largest grain size (~200 nm), the highest mobility (~80 cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>), and the lowest grain boundary energy barrier (~5 meV). Further substantiating this observation, X-ray photoelectron spectroscopy confirmed the lowest levels of oxygen impurities in Ge thin films deposited at 160°C. These discoveries underscore the critical importance of optimizing process conditions to attain desired polycrystalline Ge thin films with superior properties.

**Keywords:** Ge thin flim, Solid phase crystalization, Annealing

## 실란 커플링제를 이용한 고분자 기판과 구리 나노 입자 필름 간의 계면 접착력 향상

윤동한<sup>1,2</sup>, 최영민<sup>1,2</sup>, 이수연<sup>1,2</sup>, 김태수<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>한국화학연구원, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교(UST)  
(taesukim@kriict.re.kr<sup>†</sup>)

Adhesion between polymer substrates and copper seed layers is a challenge in advanced communication device applications. In this work, a silane coupling agent containing azide group is introduced to improve interfacial adhesion between polyimide (PI) substrates and polyvinylpyrrolidone-coated copper nanoparticle films. The deposition of the silane coupling agents on the hydroxyl group-functionalized surfaces of the polymer substrates induce the covalent bonds of the self-assembled layers (SALs) and the PI films. The azide groups of the SALs allow for cross-linking with the polyvinylpyrrolidone ligands of the copper nanoparticles through heat treatment. The strong covalent bonds contribute to the enhancement of adhesion, which was evaluated by tape test. In the tape test, the remaining area of the copper nanoparticle layers was rated at 100% on the surface-engineered substrates, while it was rated at 0% on the bare substrates.

**Keywords:** Adhesion, SAM, SAL, 5G, FCCL, FPCB

P-211

## 혼성 에폭시 시스템을 이용한 고내열/고내구성 에폭시 접착소재 개발

강민서, 박지선\*

한국전자기술연구원  
(jisun.park@keti.re.kr<sup>†</sup>)

고내열 접착소재는 150 ~ 400°C의 고온 환경에서 장기 사용이 가능한 접착소재로써, 우주, 항공, 반도체, 디스플레이 등의 고온 작동을 필요로 하는 장비 및 산업 공정에 활용되고 있다. 고온 환경에서 접착소재의 안정적 특성 구현을 위해서는 높은 유리전이온도 및 열분해 온도 등의 고내열 특성을 보유함과 동시에 전단강도, 충격강도와 같은 기계적 물성도 함께 충족되어야 한다.

본 연구에서는 고온 환경에서 장기 안정성과 내구성을 동시에 충족하는 접착소재를 개발하기 위해, 에폭시 기반의 혼성 바인더 시스템을 설계하고, 무기 필러를 포함하는 접착제 조성물을 설계하였다. 그 결과, 260°C에서 72시간 동안 중량 손실률이 10% 미만이며, 40J/m 이상의 충격강도를 만족시키는 고내열, 고내구성 에폭시 접착소재를 개발하였다.

**Keywords:** 접착소재, 고내열성, 고내구성, 에폭시, 필러

## 재활용 황산을 이용한 나노 그래핀 산화물의 친환경적인 합성

박효원, 민대홍, 송은빈, 윤태영\*

한국전자기술연구원  
(yty521@keti.re.kr<sup>†</sup>)

친환경적이고 비용 효율적인 산화 그래핀(GO)합성 공정을 개발하는 것은 다양한 산업 응용 분야에 필수적이다. 본 연구에서 Couette-Taylor Flow 장치에서 얻은 필터 처리된 산화 천연 흑연과 재활용된 황산을 사용하여 친환경적인 산화 그래핀합성 기술을 제안했다. Couette-Taylor Flow 장치에서 처리된 반응 혼합물의 점도는 Hummers' method에서보다 낮았기에(~200 cP at 25°C) 여과 공정을 단순화할 수 있었고, 여과된 황산은 반복적인 GO 합성에 재활용되고, 재사용될 수 있다. 이러한 황산 제거는 총생산 비용의 많은 부분을 차지하는 제조 공정에서 요구되는 다량의 물을 산 여과 후에 획기적으로 줄일 수 있으므로 전체 GO 생산 비용을 낮출 수 있다. 또한 제외된 친환경 GO 제조 고정은 그래핀 소재의 산업화 적용을 가능하게 할 것이다.

**Keywords:** 그래핀, 나노 산화물, 친환경

P-213

## 그래핀의 냉각조건이 나노구리촉매에 미치는 영향

김승희, 양우석<sup>\*</sup>, 윤태영, 김민영, 박준성, 이해주

한국전자기술연구원  
(wsyang@keti.re.kr<sup>\*</sup>)

구리 호일에 올라간 그래핀의 화학적 증기 증착 성장이 냉각 조건에 의해 강한 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 냉각 단계의 냉각 속도, 탄화수소 농도 등 냉각 조건의 변화로 크기와 핵 밀도, 성장 속도 등이 다른 그래핀 섬이 생성됐다. 구리 기질의 핵생성 부위 밀도는 급속 냉각 조건이 적용되었을 때 크게 감소되는 반면, 냉각 단계 동안 계속되는 메탄 흐름은 핵생성 및 성장 속도에 영향을 미친다. 라만 스펙트럼은 빠른 냉각 조건에서 합성된 그래핀과 냉각 시 메탄 흐름이 그래핀의 우수한 품질을 나타내는 것을 보여준다. 추가적인 연구에 따르면 냉각 단계에서 냉각 속도와 메탄 가스 흐름을 주의 깊게 제어하면 높은 품질의 그래핀이 생성된다.

**Keywords:** CVD, graphene, growth, cooling rate, grain

## 나노탄소소재 기반 고방열 접착소재를 적용한 적층형 탄소 방열 시트 개발

김민영, 박준성, 이해주, 김승희, 윤태영, 양우석\*

한국전자기술연구원  
(wsyang@keti.re.kr<sup>\*</sup>)

최근 전자제품의 고성능, 소형화 및 경량화가 진행됨에 따라 방열 소재의 중요성도 높아지고 있다. 이에 고분자 접착제 및 다층의 필름으로 인해 낮은 열전도도를 갖는 기존의 방열 시트를 대체할 수 있는 thermal interface materials (TIM) 용액 코팅된 방열 시트를 개발했다. Expanded graphite (EXG) 및 여러 바인더와 용매를 조합하여 최상의 분산안정성과 점도를 가진 TIM 용액을 제조하였다. 방열 시트의 열전도도는 720.447 (W/m.K) 가 나왔으며, LFA와 DSC를 통해 확인하였다. 고방열 시트는 노트북, 태블릿과 같은 소형 전자제품부터 스마트폰, 자동차 부품 및 LED 램프 등 다양한 응용 분야에서 유용성을 찾을 수 있다.

**Keywords:** Thermal interface materials (TIM), Expandable graphite (EXG)

P-215

## 다층 투명전극을 적용한 아크릴레이트 기반 고분자분산액정 스마트 윈도우 특성 최적화 연구

하태원, 허기석\*

한국생산기술연구원  
(gsheo@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

ZnInSnO/Ag/ZnInSnO 다층 투명전극을 제조하고, 이를 적용한 아크릴레이트 기반 고분자분산액정 스마트 윈도우를 제조하여 특성을 평가하였다. 제조된 스마트 윈도우의 고분자분산액정 층 두께 및 UV 세기 변화가 전기광학 특성 및 표면 형태학에 미치는 영향을 조사하였다. 15 $\mu\text{m}$  두께의 고분자분산액정 층 및 2mW/cm<sup>2</sup> 세기의 자외선 조건에서 광경화된 고분자분산액정 셀 (Cell) 이 우수한 off-state 불투명도 및 on-state 투과도, 그리고 낮은 구동전압을 나타냈다. 또한, 제조된 고분자분산액정 스마트 윈도우는 광을 효율적으로 산란시킬수 있는 2 - 5 $\mu\text{m}$  크기의 양호한 마이크로 구조를 갖는 액정 droplet이 형성됨을 확인하였다.

**Keywords:** 투명전극, 고분자분산액정 (PDLC), 아크릴레이트, 스마트 윈도우, 구동전압

P-216

## 고종횡비 건식식각 (Deep Reactive Ion Etching) 장비를 이용한 실리콘 박막의 깊은 식각 공정 연구

홍기영, 하태원, 허기석\*

한국생산기술연구원  
(gsheo@kitech.re.kr\*)

고종횡비 건식식각 (Deep Reactive Ion Etching) 장비를 이용하여, 150mm 이상의 실리콘 웨이퍼에 깊은 Si 식각 패턴을 구현하기 위한 건식식각 공정조건을 조사하였다. 실리콘 박막의 깊은 식각은 감광제 (Photoresist) 마스크를 형성하여 수행하였다. Bosch 공정을 이용하여 깊은 식각 공정이 수행되었으며, 공정온도, 공정압력, 공정가스 종류 및 가스비, source 및 platen power, 공정시간, 공정 loop 등의 Bosch 세부 공정조건이 Si 박막의 깊은 식각 프로파일 형성에 미치는 영향을 조사하였다. 60um 이상의 깊은 식각공정이 수행된 Si 식각 샘플은 우수한 식각 선폭 및 식각 깊이 정밀도, 그리고 허용치 이내의 식각 수직도 특성을 나타냈다.

**Keywords:** 실리콘, 건식식각, 고종횡비, 깊은 식각 (Deep etching), 박막

P-217

## Unprecedented Superoleophobicity of Wrinkle Mesoporous Silica Modified with Fluorinated Silane

Tien N. H. Lo<sup>1</sup>, 박인<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원; <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교  
(inpark@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

Superoleophobic surfaces were facilely fabricated using fluoroalkyl-modified wrinkle mesoporous silica (F-WMS) materials. (I changed FS to F. FS looks like fluoroalkylsilane but after modification it's not a silane anymore.) A hydrophilic WMS with hierarchical mesopore was prepared, and then modified with a fluoroalkylsilane, 1H,1H,2H,2H-heptadecafluorodecyl trimethoxysilane, through hydrolytic condensation to provide low surface energy. An epoxy resin (EP) was coated on an aluminum substrate and the F-WMS suspension was then spray-coated on the EP adhesive layer. The as-prepared EP/F-WMS coating showed high static water contact angle of 173° and a low roll-off angle of 1°. More importantly, the coating exhibited exceptional oil repellency with hexadecane contact angle of 165° and a roll-off angle of 5°, which is superior than most of the reported superoleophobic coatings. Furthermore, the coatings showed excellent mechanical durability against tape-peeling tests (50 cycles) and the highest adhesion rating (5B) of cross-cut test. The superior oleophobicity with high durability will provide opportunities for real-life applications that require liquid-free surface.

**Keywords:** Superhydrophobic, Superoleophobic, Anti-Icing, Wrinkle Mesoporous Silica

P-218

## Effective Utilization of Iridium via Antimony-Doped Tin Oxide Support for High-Efficiency PEM Water Electrolysis

Yungi Nam, Byungha Shin<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST),  
Daejeon, Republic of Korea  
(byungha@kaist.ac.kr<sup>†</sup>)

As the necessity of producing hydrogen on an industrial scale in an environmentally friendly fashion to realize a hydrogen society has been highlighted, Polymer Electrolyte Membrane (PEM) water electrolysis, which allows to yield high purity hydrogen at a high operating current density, garners a lot of attention. For oxygen evolution catalysts in a PEM water electrolyzer, Iridium is considered to be the only candidate with good catalytic activity and acceptable stability in the harsh acidic operation condition. The highly acidic condition of the PEM electrolysis system also limits the choice of catalyst support or electrode. Ti felt and carbon-based material are commonly used PEM catalyst support, however, high cost of Ti felt and the oxidation of carbon-based material limits further expansion of the technology. In this study, we synthesized iridium based OER catalysts supported by antimony doped tin oxide (Ir@antimony-doped tin oxide) for PEM water electrolysis that are highly stable, catalytically active and low cost. Nano-sized antimony-doped tin oxide nanoparticles were firstly synthesized using solvothermal method. Synthesized nanoparticles were mixed with iridium precursor solution and the mixture undergo sonication for 90 minutes. Iridium were decorated on antimony-doped tin oxide nanoparticle after annealing at over 500 °C. Ir@antimony-doped tin oxide catalysts were dispersed in 10 % v/v nafion solution in DI to form catalyst ink, which was then and coated on an electrode via solution process. The intrinsic activity of Ir active center was measured by CO stripping and showed highest intrinsic activity at 500 °C. The details of the synthesis, electrochemical measurements of OER using our Ir@antimony-doped tin oxide nanoparticle catalysts will be presented.

**Keywords:** Water splitting, Oxygen evolution reaction, Iridium catalyst, intrinsic activity

P-219

## Mechanical Properties of TiNbN Thin Films Deposited by Inductively Coupled Plasma Assisted Magnetron Sputtering

전성용<sup>†</sup>, 최한수Mokpo National University  
(sychun@mnu.ac.kr<sup>†</sup>)

The Ti-Nb-N system is among the group IV to VI transition metal nitrides, which are known to exhibit enhanced physical and mechanical properties such as high hardness, elastic modulus, good electrical conductivity, and elevated chemical stability at room temperature. Magnetron sputtering technique can be used to coat hard, low friction coefficient, high wear resistance and corrosion-resistance films. But, this technique causes to low deposition rate and ionization effectiveness. These disadvantages have improved with inductively coupled plasma assisted magnetron sputtering technique (ICPMS). ICPMS technique can be used for coating high quality and well adhered films. In this study, TiNbN films deposited on Si substrate using ICPMS. The crystallographic and microstructural properties of the films were determined using HRXRD and FESEM, respectively. The mechanical properties of the films such as hardness and elastic modulus were also determined by nanoindentation tester.

**Keywords:** Magnetron Sputtering, Inductively Coupled Plasma, TiNbN, Thin films

## 전해식 도금두께 표준물질 Ni, Zn 도금 제작시 CMP 가공을 이용한 도금두께 균일성 확보 연구

서선교<sup>1</sup>, 박종규<sup>1†</sup>, 기현주<sup>2</sup>, 조아라<sup>2</sup>

<sup>1</sup>에스비피 선택; <sup>2</sup>한국화학융합시험연구원  
(sbpsurtech@gmail.com<sup>†</sup>)

표면처리 기술은 금속의 부식을 방지하거나 외관을 좋게 하고 내마모성 및 내식성 등의 기능을 향상시키는 방법으로서 표면처리 방법에는 금속 표면에 다른 금속 피막을 입히는 도금(plating)이 주를 이루고 있으며, 이에 따른 도금두께에 대한 측정은 산업현장에서 가장 기본이 되는 매우 중요한 사항으로 현재 여러 가지 원리를 이용한 도금두께 측정장치가 사용되고 있다.

특히 전해식 도금두께 측정방식은 금속 물질과 도금층을 이루는 다른 금속 물질이 각각 고유의 전기화학적 기전력(Electro-motive Force)을 가지고 있는 현상을 이용하여 기준전극(Reference Electrode)이 되는 표준시편으로 도금층의 두께로 환산하는 방식이다. 전해식 도금두께 측정시 사용하는 표준시편의 경우 해외 선진사인 일본의 DENSOKU사 및 미국의 KOCOUR사 등에서 전량 수입에 의존하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자동차 부품 등 전 산업 분야에 광범위하게 사용되는 Ni, Zn 도금에 대한 전해식 도금두께 측정 표준물질에 대한 국산화 연구개발로 각 Ni, Zn 도금두께에 대한 균일성을 확보하기 위하여 도금공정 후 화학적 기계적인 공정인 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 가공을 통해 도금두께 편차를 최소화하는 연구를 수행하였다. 각 도금두께에 대한 균일성은 각 도금부위별로 OM, SEM 및 XRF 측정을 통해 편차를 확인하였으며, 그 결과 표준시편에 대한 우수한 균일성 및 상대 표준편차(Relative Standard Deviation) 5% 이내를 확보할 수 있었다.

**Keywords:** Coulometric Thickness, CMP, Ni Plating, Zn Plating, Thickness uniformity

## Softness, Emission Enhancement and Fluorescence Image Patterning of Conjugated Polymer via in Situ Embedding into Elastomeric Silicone Rubber Matrix

한동철<sup>\*</sup>, 변상봉, 이성훈, 정용안, 조수현

구미전자정보기술원 지능형디바이스연구센터  
(cataegu07@geri.re.kr<sup>\*</sup>)

Poly[1-phenyl-2-(p-trimethylsilyl)phenylacetylene] (PTMSDPA) is well-known as a conjugated polymer which possesses several unique qualities including an ultrahigh molecular weight, excellent mechanical property, chemical and thermal stability, good solubility in organic solvents, and film-forming ability[1]. However, PTMSDPA was basically stiff, rigid chain molecules with planar geometries and strong intermolecular interaction, leading to a highly cofacial chain packing in the solid state. This packing structure is not preferable for high fluorescence (FL) quantum efficiency of the product films. In general, a significant FL self-quenching occurs in conjugated fluorophore bulk systems because the intermolecular excimers with extremely low electronic transition energy in a nonradiative process form in the solid state. However, if PTMSDPA chains are completely dispersed and isolated at molecular level in certain solid matrices, the polymers may show enhanced emission even in the solid matrix. Among many kinds of polymer matrix, poly(dimethylsiloxane) (PDMS) is optically clear, chemically inert, non-toxic and non-flammable. Moreover, cross-linked PDMS is basically amorphous and has a considerably large fractional free volume of  $\sim 0.15$ . Thus, the PDMS film might be easily swollen by the material. In previous study, the PDMS is usually treated with oxygen plasma exposure to modify surface properties. As a result, plasma oxidized PDMS surface was converted into a more dense silica-like surface. Based on this concept, we successfully developed a nicely featured hybrid conjugated polymer film with enhanced emission by embedding the PTMSDPA solution into the PDMS film. The PTMSDPA solution easily diffused into the PDMS film and, simultaneously, the emission intensity of the hybrid film was much greater than that of the original PTMSDPA film. Further, shadow-masked plasma irradiation generated a highly oxidized silica-like layer on the exposed portion of PDMS film to produce a highly resolved FL image pattern on the hybrid films. In conclusion, this hybridization of a conjugated polymer in elastomer matrix film is expected to be a very useful and facile technique for fabrication of more flexible, stretchable optical devices with high emission efficiency.

**Keywords:** Fluorescence Image Patterning, Plasma modification, PTMSDPA, PDMS

## 금속유도 화학 에칭법에 의해 제조된 기공성 실리콘의 구조적, 전기적 특성 분석

김효한<sup>1,2</sup>, 박현순<sup>1\*</sup>, 장준웅<sup>1</sup>, 손지웅<sup>1</sup>, 이상호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 신소재공학과; <sup>2</sup>ULVAC ATI Korea  
(hsparkinha@inha.ac.kr<sup>\*</sup>)

실리콘 나노결정은 벌크형 실리콘과 다른 전자 에너지 구조를 지닌다. 기공성 실리콘 표면에서 생성되는 실리콘 나노결정의 크기를 변화시킴으로써 전자 에너지 구조와 발광 특성의 변화를 가져올 수 있다. 금속 유도 화학에칭은 에칭 과정에서 외부 전기 퍼텐셜을 인가하지 않고 에칭 용액 내에서 실리콘웨이퍼에 증착된 금속의 촉매 역할에 기인한 양극산화 기법이다. 이는 전기 화학 에칭에 비하여 공정의 편리함, 경제적인 잇점을 지니고 있으며, 따라서 최근 반도체 미세 트렌치 생성 등과 같은 분야에 적용을 위한 많은 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 금속 유도 에칭을 통해 제조한 기공성 실리콘의 전기적인 특성 및 활성화 에너지를 조사하고 조건에 따른 나노 구조적, 광학적 특성을 분석하였다.

자가 퍼텐셜 발생을 위해, RF 마그네트론 스퍼터법을 이용하여 백금을 실리콘 웨이퍼 표면에 일정한 배열을 갖도록 증착하였다. 에칭용액 내 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 농도를 1~17%로 조절하였으며, 에칭용액의 온도가 290~310K로 변화될 때, 이에 따른 에칭거동을 분석하였다. 각 에칭 조건에서 나타나는 전기적인 특성은 소스미터 (Keithley 2425)로 관측하였으며, 백금 코팅의 유무에 따라 활성화 에너지는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 농도가 1에서 17%로 증가될 때 활성화 에너지는 0.17에서 0.26 eV로 변화하였다. 제조된 기공성 실리콘의 에칭 형상은 주사전자현미경 (Hitachi, S-4300)으로 확인하였으며, 에칭 영역에 따른 형광 특성의 분포 및 양태는 공초점레이저현미경 (Zeiss, LSM 510 META)으로 관측하였다. 에칭 용액 내 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 농도가 17~80%로 변화할 때, 에칭구조가 “스펀지”에서 “기둥”구조로 변화하였다. 이러한 에칭 구조의 변화에 기인한 광학적 특성의 변화가 유도되었다. PL (Dongwoo Optron, RAM Boss) 측정 시 방출되는 빛의 파장은 683에서 737 nm로 변화하였으며, 나노결정 실리콘의 크기는 2.5에서 3.5 nm로 변화하였다. 본 발표에서는 에칭 기법에 따라 제조된 기공성 실리콘의 전기적 특성과 에칭 거동에 기인한 구조적, 광학적 특성의 변화를 구체적으로 비교, 분석하고자 한다.

**Keywords:** 양극산화에칭, 기공성실리콘, 발광현상, 나노결정, 양자제한효과, 금속유도에칭, 에칭거동

P-223

## 다양한 조성의 Ti-Fe합금을 이용하여 양극산화법에 의해 형성되는 산화막 성장거동에 관한 연구

김민수<sup>†</sup>

한국생산기술연구원  
(minsukim@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

양극산화에 의해 Ti, Ta 등의 밸브금속 뿐만 아니라 Fe 등 여러 금속상에 porous 또는 tube 형태의 산화물이 형성되는 것이 보고되고 있다. Tube 형태의 산화물층은 비표면적이 크기 때문에 기능성 재료에의 응용이 기대되어, 다양한 합금계에서 양극 산화 피막의 형태 관찰이나 특성 평가가 연구되어지고 있다. 특히, 금속간 화합물을 기반으로 하는 금속이나 합금을 이용하여 양극산화를 하게 되면 일반 밸브금속이나 합금에서 성장하는 산화막 성장거동과 다른 산화 성장 거동을 나타내고 있다.

본 연구에서는 다양한 조성의 Ti-Fe 합금을 이용하여 양극산화를 하였으며, 금속간 화합물을 기반으로 하는 양극산화 피막의 산화-용해 거동에 대해 조사하였다.

**Keywords:** 양극산화, Ti합금, 나노튜브, 표면처리, 산화막

P-224

## Atomic-Level Interfacial Design Strategies for Pt Single Atom Catalyst Enhancement

Ju Hyeok Lee, Hyuk Choi, Eunji Kang, Jieun Yun, Jongseok Kim, YeJung Choi, Hyun You Kim<sup>†</sup>

a Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea  
(hykim8083@gmail.com<sup>†</sup>)

In recent years, single atom catalysts (SACs) have emerged as heterogeneous catalysts with high catalytic activity due to their 100% metal atom utilization and excellent catalytic performance compared to traditional nanoparticle catalysts. The design strategies have been proposed to increase the stability and activity of SACs. One important factor that affects the catalytic performance of SACs is the size of metal particles. To achieve a high surface area to volume ratio, a simple and commonly used approach is to reduce the size of the catalytic particles down to atomic scale. In this study, we investigated the activity of Pt SACs supported on a CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> hybrid-oxide support for CO oxidation reaction at low temperatures using density functional theory (DFT) calculations. To increase the stability and activity of Pt SACs, we explored the formation of monomer and dimer oxides on the TiO<sub>2</sub> surface (VO<sub>x</sub>, FeO<sub>x</sub>, MnO<sub>x</sub>, MoO<sub>x</sub>, and CrO<sub>x</sub>) to distribute the oxide-oxide interface. Our findings indicate that the VO<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> system can effectively stabilize Pt with a single atom and lower the activation barrier energy (0.28 eV). This suggests that the catalytic reaction can occur at low temperatures. The low-temperature activity is of great interest because it can reduce the energy cost and environmental impact of chemical reactions. Overall, our study provides insights into the design strategies for enhancing the catalytic performance of SACs. By optimizing the oxide-oxide interface of SACs, we can increase the number of active sites and achieve a high surface area to volume ratio, which in turn improves the catalytic activity and reduces the energy cost of chemical reactions.

**Keywords:** density functional theory, single atom catalyst, CO oxidation

P-225

## The Role of Au/MO<sub>x</sub> Interface in CO Oxidation : A DFT Study of Reaction Mechanism and Catalytic Activity

김종석, 최혁, 이주혁, 김현유<sup>†</sup>

Chungnam National University

(kimhy@cnu.ac.kr<sup>†</sup>)

Elucidating the catalytic reaction mechanism and understanding the reactive species under the reaction conditions is the first step for catalyst study. Historically, the size-dependent activity and interfacial effect between the metal and support is tremendously reported. Following these studies, the reaction center is the interface of metal NPs and oxide support. Oxide-supported Au-based heterogeneous catalysts have received great attention due to their effectiveness in CO oxidation at low temperatures. The activation of O<sub>2</sub> on Au nanocatalyst remains a challenge because only small Au nanoparticles can activate O<sub>2</sub>. Here we used density functional theory(DFT) calculations to study the mechanism of CO oxidation catalyzed CeO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-supported Au nanoparticle under reaction conditions. We found that the diverse reaction mechanism exhibited for kinds of oxide supports. The CeO<sub>2</sub>-supported Au<sub>9</sub> NPs catalyze CO through the MvK mechanism without additional activation of O<sub>2</sub> regardless of the facet of CeO<sub>2</sub> (111) and (100), respectively. In contrast, the activation of O<sub>2</sub> occurs on TiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. In the case of Au NPs on TiO<sub>2</sub>, the reaction mechanism of CO oxidation is followed by utilizing pre-activated O<sub>2</sub> and well lattice oxygen of TiO<sub>2</sub>. the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, regarded as an inert oxide, the lattice oxygen cannot participate in oxidation, but the pre-activated O<sub>2</sub> on the Lewis acid site (Al<sup>3+</sup>) can catalyze CO. Our study delivers comprehensive understating the detail of interfacial effect as following the oxide supports, enabling the rational design of heterogeneous catalysts

**Keywords:** Density functional theory, catalyst

P-226

## Phase-field and Electrothermal Simulation of Conductive Filament Behavior in Resistive Memory for Neuromorphic Applications under Varied Pulse Voltages and Initial Defects

박찬후, 권용우<sup>†</sup>, 정동명

홍익대학교  
(ykwon722@hongik.ac.kr<sup>†</sup>)

Recently, resistive random-access memory (RRAM) has been deeply researched to apply to neuromorphic computing. So far, it is hard to use the RRAM as a synapse device. Because it is one of the most important requirements for memory to reliability that can assume the uniformized performance. However, characteristics of RRAM are sensitively affected by various factors. In other words, the variability is too severe. Therefore, controlling the variability is one of the major challenges in the RRAM device research. In this work, we investigate the factors affecting the device variability in conductive filament behaviors using a multi-physics simulation that integrates the electrothermal and phase-field models. The pulse shape is the source of the variability. Furthermore, both initial defect configuration and constituent materials, to reduce the variability in the device characteristics are investigated. Thereby it is possible to systematically generalize how those factors thermotropically and electronically affect to conductive filament.

**Keywords:** neuromorphic, Resistive memory, Phase-field method, conductance linearity

P-227

## Phase-field Simulation of Thin Film Deposition and Crystallization

이환욱, 박정인, 권용우<sup>†</sup>

홍익대학교 신소재공학과  
(ykwon722@hongik.ac.kr<sup>†</sup>)

Recently commercialized semiconductor devices are mostly thin films deposited on nonplanar substrates. For example, HfO<sub>2</sub>, a high-k material used in FinFETs and MBC-FET. In addition, there are channels and ONO layer in V-NAND, and capacitors in DRAM. Its deposition profile and microstructure including grain structure and surface morphology should be engineered to obtain sufficient on-current. Conformal film inside a hole is necessary. The process modeling should be preceded in order to evaluate how the deposition profile and microstructure affect device performance by TCAD or FEM. We developed a phase-field model (PFM) code for simulating thin film growth. In this model, it consists of three phases: a substrate, a film to be deposited, and a gas. Film is divided into amorphous and crystalline, and crystalline can have various grains. Also, gas flux, surface reaction and surface diffusion are used as parameters for the deposition process. By controlling these process parameters, different deposition results can be obtained and the conformality of the results can be checked. This makes it possible to more accurately predict the formation of the film and the microstructure of the film during thin film deposition. In this presentation, we will demonstrate our PFM codes for thin film simulations along with some process optimization examples. The integrated model of deposition modeling and crystallization will be explained, and the direction of the model and future work topics will be explained by comparison through various examples such as the conformality and nucleation rate of the thin film deposited on the substrate.

**Keywords:** Phase-field method, deposition, crystallization

P-228

## Modeling of Grain Growth Process in Polycrystalline Films Based on the Phase Field Method

Jung In Park, Hwanwook Lee, Yongwoo Kwon<sup>\*</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Hongik University  
(ykwon722@hongik.ac.kr<sup>\*</sup>)

We developed our own C++ code based on the phase field method to model the grain growth process in polycrystalline films. With this method, we can simulate the microstructure during the process in which nuclei form in the amorphous film and grow to achieve a polycrystalline structure. Thus, we can model microstructure like grain size and the evolution of grain boundaries that influence the electrical characteristics of devices using polycrystalline materials. We confirmed the alignment of grain sizes between practical experiments and simulation results for the 20nm film thickness. This indicates that this model has the capability and accuracy to predict microstructure evolution. Additionally, we confirmed a tendency for the grain size to increase as the film thickness increased.

**Keywords:** Polycrystalline Films, Phase Field Method, Grain Size, Grain growth, Microstructure

## Efficient Prediction of Battery State-of-Health using Electrochemical Impedance Spectroscopy and Machine Learning

Sehyun yun<sup>1</sup>, Raehyun Jung<sup>1</sup>, Jong-Sook Lee<sup>2</sup>, Su-Mi Hur<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>School of Polymer Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea;

<sup>2</sup>School of Materials Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea  
(shur@jnu.ac.kr<sup>†</sup>)

Battery technology, ensuring safety, performance, and reliability hinges on the accurate diagnosis of State-of-Health (SOH). Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) is a non-destructive, easily applicable, and hence widely employed technique for the characterization of Li-ion batteries. An effective, physics-based model analysis is still elusive, although significant progress has recently been made. As each spectrum contains several tens of data sets of frequency, real and imaginary values of impedance, capacitance, or admittance, the subject appears to have a strong appeal for the data science approach. Not much significant work is reported yet. Chan et al. [J. Power Sources 542 (2022) 231814] collected impedance data of a commercial battery model at different states of charge (SOC) at different cycles and developed SOH diagnosis models. Using this reported data, we applied various machine-learning techniques. A subset of complex impedance values from the broad frequency range EIS data serves as the input for models like Linear Regression, Random Forest, Support Vector Regression, and Deep Neural Networks. Trained models consistently yield satisfactory SOH predictions, even when provided with fewer than ten impedance values.

**Keywords:** Impedance, Machine learning, Battery, State of Health

## Enhancing Deep Learning Predictive Models with HAPPY (Hierarchically Abstracted rePeat unit of PolYmers) Representation

Jihun Ahn<sup>1</sup>, 허수미<sup>2\*</sup>, Gabriella Pasya Irianti<sup>1</sup>, 최여진<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Polymer Engineering, Graduate School, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea;

<sup>2</sup>Alan G. MacDiarmid Energy Research Institute & School of Polymer Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea  
(shur@jnu.ac.kr<sup>†</sup>)

Deep learning, an emerging paradigm, has attracted tremendous attention for unveiling molecular structure-property relationships and designing new materials. However, highly complex chemical/topological structures and multi-levels features of organic polymer systems, in contrast to inorganic materials, pose substantial challenges for its application. In this study, we introduce “HAPPY(Hierarchically Abstracted rePeat unit of PolYmers)”, a condensed and intuitive polymer-to-string representation, optimized for deep learning-based property prediction of polymerics. Utilizing a RNN(Recurrent Neural Network), we embarked on property prediction under the constraint of a limited dataset, comparing the performance of networks trained with HAPPY against those using traditional SMILES encodings for repeated units. Our findings indicate that leveraging deep learning with the HAPPY representation produces reliable outcomes, effectively capturing important features relevant to predicting properties such as dielectric constant, solubility, glass transition temperature, thermal conductivity, and density.

**Keywords:** deep learning, AI, polymer, structure, property, machine learning

## Strain Engineering in MoTe<sub>2</sub>: Unveiling Phase Transitions via Phase Field Simulations

Muhammad Hassaan Ali, Won-Kyu Lee, Yongwoo Kwon<sup>†</sup>

Hongik University  
(ykwon722@hongik.ac.kr<sup>†</sup>)

Challenges have impeded the utilization of electrocatalytic water splitting for the production of clean hydrogen fuel, mainly due to the prohibitive costs associated with platinum-based catalysts. In this investigation, we explore an innovative computational approach, aiming to evaluate the feasibility of employing strain-induced phase transformation in layered MoTe<sub>2</sub> as an economical catalyst for the hydrogen evolution reaction (HER).

Through the utilization of the phase-field technique, we venture into the intricate dynamics of the 2H to 1T' phase transition within a strained MoTe<sub>2</sub> flake. Our simulation methodology portrays the MoTe<sub>2</sub> flake as a dual-phase system, where a 1T' phase is situated within a rectangular 2H phase framework. We employ an order parameter, denoted as  $\phi(x, y, t)$ , to elucidate the spatial distribution of phases within the flake.

Under the influence of strain, the 1T' phase assumes dominance, instigating the phase transition process. This intricate interplay is encapsulated through the utilization of the Allen-Cahn equation, which encompasses crucial parameters such as interfacial mobility ( $M$ ) and gradient energy coefficient ( $\gamma$ ).

The transformation process is primarily governed by the Gibbs energy difference ( $\Delta G$ ), which is responsive to vertical displacement. Our simulations encompass numerical solutions of the AC equation via finite difference techniques. Our computational framework, involving a 100x100 grid, unveils the temporal evolution of phase transition. Simulation parameters are meticulously calibrated to mimic experimental phase ratio data.

**Keywords:** MoTe<sub>2</sub>, hydrogen evolution reaction, phase-field simulation, strain engineering, phase transformation, electrocatalysis, sustainable catalyst fabrication

## Vacancy modulated Schottky barrier height assisted interfacial switching RRAM

Sagar Khot, Dongmyung Jung, Yongwoo Kwon<sup>†</sup>

Hongik University  
(ykwon722@hongik.ac.kr<sup>†</sup>)

We report the interfacial switching mechanism of RRAM model by modulation of Schottky barrier height (SBH) using Finite element method. We point out the drift and diffusion phenomenon of oxygen vacuums by applied the electric field. Concentration of oxygen vacuum fluctuates higher or lower on either sides of the electrode by biasing. The switching stack is fully dependent on oxygen vacancy concentration modulated SBH. A thin interfacial layer (IL) plays a vital role in this method since this SBH is situated at this (IL) layer only. For the development of model system a two-step simulation method is executed, where drift and diffusion of oxygen vacuums fall under step-1 and 2<sup>nd</sup> step deals with measurement of current. To validate the truthfulness of our model system we compared our results with the experimental results of similar mechanism. Our results are in good agreement with the experimental one. This study aims to report a model exhibiting investigation of device performance in terms of materials parameters for synapse devices.

**Keywords:** Memristor, RRAM, Finite element modeling, Schottky barrier modulation, Interfacial switching mechanism.

P-233

## Filamentary Resistive Memory Device Simulation Incorporating Phase-field and Electrothermal Equations

정동명, 권용우\*

홍익대학교  
(ykwon722@hongik.ac.kr<sup>†</sup>)

Resistive memory is attracting attention for its advantages of low operating power and simple three-dimensional array compared to commercial charge-based memory. Among the resistive memory operation mechanisms, the conductivity of the device changes by a conductive filament in the valence change mechanism. Typically, in metal oxide-based resistive devices, the conductive filaments are known as agglomerations of oxygen vacancies. When a high electric field is applied within the metal oxide during the electrical operation of the device, oxygen vacancies are created. The case where oxygen vacancies accumulate inside the insulator to form a conductive filament and increase conductivity is defined as LRS (low-resistance state), and the case where the conductive filament does not exist or is disconnected is defined as HRS (high-resistance state). In other papers using finite element analysis, the initial state was a forming state with a predefined or ideally assumed filament structure. Differently, this study presents a device simulation that can show the entire switching cycle, including analysis of the forming state of the resistive memory. We performed fully coupled simulations of the phase-field, electrical and thermal governing equations based on finite element simulations. We defined the conductive filament as the low-resistance phase as a variable in the phase field equation. We included phenomena that can occur through integrating thermoelectric and phase fields. Reactions such as the formation of a conductive filament by an electric field, annihilation by heat, and the electromigration of the phase were analyzed. As a result of the analysis, the I-V curve was extracted, the distribution of conductive filaments was confirmed, and this was compared and analyzed for bipolar and unipolar operations. In addition, it was possible to analyze the device structure conditions such as protruding electrodes and 3D vertical RRAM,

**Keywords:** Finite Element Method, Resistive Memory, Phase-field

P-234

## Effects of montmorillonite (MMT) on Zn ion diffusivity in PVdF-HFP/Zn(Otf)<sub>2</sub> polymer electrolytes

김병준, 유성범, 손예지, 안용남\*

가천대학교  
(yahn@gachon.ac.kr\*)

Although aqueous zinc-ion battery is cost-effective and has large theoretical capacity, side reactions in water-based electrolytes hinders its widespread applications. Polymer electrolyte is considered as a promising alternative, but it still suffers from low ionic conductivity. In this regard, this study examines the effects of montmorillonite (MMT) on ionic conductivity of PVdF-HFP/Zn(Otf)<sub>2</sub> electrolytes. By utilizing molecular dynamics (MD) simulations, we investigate solvation structure around Zn ions in the electrolyte and how the MMT affects the solvation characteristics. In addition, local atomic structure near MMT is analyzed from density profile and radial distribution function of each component, and the correlation between the electrochemical properties of MMT and ion diffusivity is demonstrated.

**Keywords:** Molecular Dynamics, Electrolyte Additive, Zinc ion Battery, Structure Analyze

P-235

## Influence of Alkaline Earth Additives on Mechanical Properties of Silicate Glasses

윤지영<sup>1</sup>, 김병준<sup>2</sup>, 손예지<sup>1</sup>, 유성범<sup>2</sup>, 안용남<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>가천대학교 배터리공학과; <sup>2</sup>가천대학교 화공생명공학과  
(yahn@gachon.ac.kr<sup>\*</sup>)

The effects of various additives on the properties of silicate glasses have been extensively studied for several decades. This study focuses on how alkaline earth additives affect the mechanical properties of sodium silicate glasses. By utilizing molecular dynamics (MD) simulations, it is demonstrated how the relative concentration between Mg and Ca affects elastic recovery characteristics of the sodium silicate glasses. Through the atomic-level analyses of structural characteristics such as radial distribution function, coordination number, and ring size distribution, the structure – property relations are estimated for the alkaline earth contained sodium silicate glass systems.

**Keywords:** Molecular dynamics, Nanoindentation, Mechanical Properties of glass, Silicate glasses

P-236

## 엑스선 단층촬영 영상 고속촬영과 딥러닝을 이용한 다이캐스팅 알루미늄 기공 정량화 방법 연구

모찬빈<sup>\*</sup>, 권오형, 김성탁, 김동웅, 윤종필, 김효규, 함민지

한국생산기술연구원  
(cbmo@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

엑스선 단층촬영(X-ray CT) 기술은 소재의 내부 구조를 비파괴적으로 검사할 수 있는 대표적인 분석 기술이며 다양한 소재 부품의 결함 검출, 기공 분석, 치수 검증 및 상분율 분석 등을 위해 학계와 산업계에서 널리 사용되고 있다. 최근 엑스선 단층촬영 기술의 고도화를 위해 인공지능 기술을 이용한 잡음 제거, 고해상도화, 측정시간 단축 및 분석 자동화 등 다양한 방면에서 연구가 수행되고 있다.

본 연구에서는 기공 분석 자동화를 위해 다양한 형상 및 기공 구조를 가지는 여러 금속 샘플에 대해 엑스선 단층촬영 영상을 확보하고,

Denoising, Flat Field Correction, Binarization 기법을 활용한 기공 Labeling과 UNET 기반의 심층신경망을 이용한 기공 영상 분할 자동화 학습을 진행하였다.

그 결과 수동 영상 분할에 의한 기공 부피와 인공지능 자동 영상 분할에 의한 기공 부피의 상관관계는 95% 이상의 높은 상관계수를 나타내었다.

상기 기공 영상 분할 자동화 방법을 이용하여 엑스선 단층촬영 고속촬영 시 영상의 잡음에 따른 기공 부피 예측값 오차를 분석하고 비교하였다.

**Keywords:** 엑스선 단층촬영, 딥러닝, 금속 소재, 다이캐스팅 알루미늄, 미세구조 분석, 기공 정량화

P-237

## Effects of doping elements in Y<sub>3</sub>Ga<sub>2</sub>Li<sub>3</sub>O<sub>12</sub> solid electrolyte on Li ion diffusivity

손예지, 안용남<sup>\*</sup>, 김병준, 유성범, 윤지영

가천대학교  
(yahn@gachon.ac.kr<sup>\*</sup>)

Garnet Li<sub>7</sub>La<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>12</sub> (LLZO) is considered as a promising solid-electrolyte (SE) for all solid-state lithium-ion batteries due to its excellent stability and high ion conductivity. To further improve the ion conductivity of garnet type of SE, this study focuses on how doping elements affect Li ion diffusivity in Y<sub>3</sub>Ga<sub>2</sub>Li<sub>3</sub>O<sub>12</sub> garnet structure. By utilizing *ab initio* molecular dynamics simulations, it is demonstrated that structural deformation caused by the dopants promotes Li ion diffusivity. From the analyses of local atomic structures around various elements, the correlation between structural deformation and Li ion diffusivity is investigated.

**Keywords:** Molecular dynamics, Solid-state battery, Solid electrolyte, Ion diffusion, Garnet

P-238

## A Study on the Relation between Lithium-Ion Diffusivity and Structural Characteristics of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Solid Electrolyte

유성범, 안용남<sup>\*</sup>, 손예지, 김병

가천대학교  
(yahn@gachon.ac.kr<sup>\*</sup>)

Bismuth oxide (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) is one of the widespread solid electrolytes for electrochemical cells due to its high oxide ion conductivity. To explore applicability of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to lithium (Li) ion batteries, this study focuses on diffusion characteristics of Li ion within various Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> crystals. By utilizing molecular dynamics (MD) simulations, it is found that diffusion coefficient of Li ion strongly depends on the crystal structures of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. By tracking the Li ion trajectories, pathway of Li diffusion for each crystal structure is identified, and energy barriers along the diffusion pathways are estimated via density functional theory (DFT) calculations. It is demonstrated that the energy barrier present along the diffusion pathway has an impact on Li ion diffusivity in addition to the structural properties of the pathway.

**Keywords:** DFT, MD, 계산화학, 전산모사, 고체 전해질, 산화물계

머신러닝을 사용한  $\text{TiO}_2$  복합 필름 기반 탄소 도핑 페로브스카이트 태양 전지의 제작유승주<sup>1</sup>, 간가사가르 샤르마 가우델<sup>1</sup>, 노원엽<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>전북대학교 에너지-AI융합공학과; <sup>2</sup>전북대학교 국제이공학부  
(rho7272@jbnu.ac.kr<sup>†</sup>)

페로브스카이트 태양전지가 탄소 중립 및 재생 에너지 분야에서 주목받고 있다. 이는 생산 비용이 낮고, 실리콘 태양전지에 비해 간단한 공정을 통해 높은 효율을 보이기 때문이다. 페로브스카이트 태양전지는 다양한 물질을 결합하여 제작할 수 있는데, 이 연구에서는 Titanium Dioxide( $\text{TiO}_2$ ) 복합 필름을 기반으로 한 탄소 도핑된 페로브스카이트 태양전지를 만들기 위해 머신러닝을 활용하여 각 물질의 최적 조합과 효율을 예측하였다. 이 예측을 기반으로하여 태양전지 셀을 제작하였고, 최적 조합과 효율을 예측하기 위해서  $\text{TiO}_2$  복합 필름에서  $\text{TiO}_2$  나노튜브의 wt%(중량 비) 데이터 및 화학 기상 증착법(CVD)을 사용하여 탄소 물질을 도핑하는 반응 시간 데이터를 선행 실험을 통해 수집하였다. 이 데이터를 증강하고 학습한 후 최적 조합을 찾아내며, 이로써 탄소 도핑된 페로브스카이트 태양전지의 효율성이 향상되었음을 확인하였다. 이러한 결과는 물질의 영향을 포착하고 페로브스카이트 태양전지 제작을 지원하는 데 머신러닝의 효과적인 능력과 신뢰성을 검증하였다.

**Keywords:** Machine learning, perovskite solar cell

## 기계 학습을 통한 극저온 볼 베어링용 폴리머 케이지 재료의 수명 예측

서우석<sup>1</sup>, 이용복<sup>2</sup>, 이진국<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>광전소재연구단, KIST; <sup>2</sup>청정에너지단, KIST  
(jkleemc@kist.re.kr<sup>\*</sup>)

회전 기계는 신뢰성이 높은 신제품을 개발해야 한다는 강한 압박에 직면해 있습니다. 극저온 대기에서 미끄럼 및 구름 접촉 운동에 대한 마찰 마모 표면의 메커니즘을 실험적으로 규명하였다. 고체 윤활 케이지의 신뢰성을 평가하기 위해서는 저온 조건에서 접촉면의 마찰 마모를 최소화해야 합니다. 극저온 핀 온 디스크 장치를 사용하여 첨가제가 있는 폴리머의 내마모성을 조사하고 기계 학습 알고리즘으로 분석했습니다. 정상 하중, 회전 속도 및 액체 질소 유량은 극저온 마모 테스트에서 변수로 간주되었습니다. 마찰 및 마모 메커니즘을 간략하게 검토합니다. 고체 윤활제를 포함하는 다양한 고분자 재료를 조사했습니다.

다른 고체 윤활제를 사용하는 극저온 볼 베어링에 대한 케이지 질량 중심 궤도가 시연됩니다. MoS<sub>2</sub> 함유 복합 케이지의 경우 원형 궤도가 관찰됩니다. 테스트된 재료 중에서 MoS<sub>2</sub>가 첨가된 복합 PTFE가 논의되었습니다. 우리는 또한 기계 학습을 사용하여 케이지 재료의 장기 수명 예측 접근 방식을 제안합니다.

**Keywords:** life time prediction, machine learning, cryogenic materials

P-241

## 자외선 감광 특성을 가지는 은나노와이어 투명전극 제조 기술

신권우<sup>†</sup>한국전자기술연구원  
(kwshin@keti.re.kr<sup>†</sup>)

은나노와이어는 종횡비 1000 수준의 긴 막대 모양의 고전기전도성 나노소재로서 기판에 코팅되어 투명전극을 형성할 수 있다. 주로 습식 대면적 코팅 공정으로 코팅되며, 면저항 30~50  $\Omega/\text{sq}$  수준의 저저항 투명전극 필름을 형성할 수 있다.

본 연구에서는 자외선 감광 특성을 가져서 자외선 조사 공정을 통해 투명전극을 형성할 수 있는 감광성 투명전극 코팅 조성물을 다루었다. 코팅 조성물의 감광제는 자외선 조사에 의해 가교 결합되는 특성을 가져서 패턴 마스크를 통해 자외선이 선택적으로 노출되게 되면 노광 영역에 따라 전도성 영역과 절연 영역으로 구분될 수 있다. 이러한 투명전극 패턴 형성 방법은 기존의 에칭 공정, 레이저 공정에 의한 패터닝 공정과 차별화 되는 것으로 공정이 간소하고 은나노와이어 손상이 없는 것이 특징이다.

실험 결과 전도성 영역의 경우 면저항 50  $\Omega/\text{sq}$  이하 저저항 특성을 보였고, 절연 영역에서는 10  $M\Omega/\text{sq}$  이상의 우수한 절연성을 보였다. 은나노와이어 투명전극은 광투과도 90%, 헤이즈 1% 수준의 우수한 광학적 특성을 보였다.

**Keywords:** 은나노와이어, 감광성, 자외선, 패턴

## 열성형을 통한 3차원 입체 구조 은나노와이어 투명전극 제조 기술

신권우<sup>\*</sup>, 박윤상, 김희창

한국전자기술연구원  
(kwshin@keti.re.kr<sup>\*</sup>)

은나노와이어는 길이 20 $\mu$ m, 직경 20nm 수준의 고전도성 나노소재로서 기판에 코팅되어 유연 투명전극으로 이용될 수 있다. 기존 유연전극에 대한 연구 성과로서 일반적으로 1축 방향의 유연성을 구현하여 bending, folding 수준의 폼팩터를 구현할 수 있었는데, 본 연구에서는 2축 이상으로 곡면을 구현하여 3차원 입체구조의 자유곡면 형태를 구현할 수 있는 투명전극 제조 기술을 다루었다.

본 연구의 은나노와이어 투명전극은 평면 기판에 습식 공정으로 투명전극을 코팅하고, 건조된 투명전극을 열성형 공정을 통해 3차원 입체 구조로 변형하는 방법으로 자유곡면 형태의 입체 투명전극을 형성할 수 있었다. 열성형 과정에서 수반되는 인장, 수축에 대해서 저항 안정성을 가지며, 180도의 고온 열성형 온도 조건에서도 은나노와이어 열화가 억제될 수 있는 특징을 가졌다.

본 연구를 통해 개발된 입체 구조 투명전극은 면저항 30 $\Omega$ /sq, 광투과도 89%를 구현하였고, 3차원 입체 성형 과정에서 20% 연신되는 조건에서도 저항 안정성을 가지는 특성을 보였다.

**Keywords:** 은나노와이어, 입체 구조, 투명전극, 열성형, 유연

P-243

## Development of a Novel Arsenic Precursor and Synthesis of InAs QDs Absorbing beyond 1400nm Wavelength Range

서재영, 김성찬, 여동준, 이윤서, 공혜인, 오누리<sup>\*</sup>

한양대학교 신소재공학과  
(irunho@hanyang.ac.kr<sup>\*</sup>)

Colloidal InAs quantum dots (QDs) have great potential for a range of Infrared optoelectronic applications, including infrared photodetectors and photovoltaic devices, owing to exceptional electrical and optical properties. However, the synthesis of III-V QDs including InAs QDs presents significant challenges due to lack of stable group V precursor. Using unstable precursor, such as  $(\text{TMS})_3\text{As}$ , in continuous injection synthesis offers uniformity, but presents challenges due to its rapid reactivity and small particle sizes. In contrast, coreduction method offers a convenient route to synthesize InAs QDs without the need for highly reactive precursors or harsh environment by using easily controllable arsenic precursors. Nonetheless, it also has limitations to enlarge the size of the particles and suffers from wide size distributions necessitating subsequent size-selection processes. Herein, we introduce the continuous synthetic method of colloidal InAs QDs using coreduction process. We develop a novel precursor by enhancing the precursor used in the coreduction method, and it becomes feasible to synthesize colloidal InAs QDs absorbing wavelengths beyond 1400nm with high uniformity and crystallinity.

**Keywords:** indium arsenide, colloidal quantum dots, near-infrared

## Enhancing InAs quantum dot Photodetectors through Halide Ligand exchange Optimization

여동준, 신승기, 박남영, 김성찬, 서재영, 공혜인, 이윤서, 김성원, 나지나, 오누리\*

한양대학교 신소재공학과  
(irunho@hanyang.ac.kr<sup>\*</sup>)

With the advancements in IoT sensors and autonomous vehicles, there is a growing demand for infrared (IR) photodetectors, particularly those capable of detecting short-wavelength IR (SWIR). Currently, commercially available IR sensors are predominantly based on bulk silicon, and their ability to detect SWIR is limited due to the bandgap. Colloidal quantum dots (QDs) have emerged as promising candidates to overcome these limitations due to their tunable bandgaps and excellent optoelectronic properties.

Additionally, research on the III-V QDs, such as InAs, for photodetectors, to replace traditional lead containing QDs has gained momentum. While there have been advancements in the synthesis of III-V QDs, studies on their device applications have been relatively scarce, and investigations into the surface properties of III-V QDs have been notably lacking.

In this study, we demonstrate InAs QD-based IR photodetectors by employing solid-state ligand exchange process using various halide ligands.

Substituting the long native ligands of InAs QDs with short halide ligands enhances charge transport properties in the QD film, attributed to interparticle coupling. However, inappropriate solvent selection and inadequate ligand concentration had hindered charge transport between the QDs and occasionally caused delamination of QD film. To address the challenges, we investigated the dynamics of ligand exchange processes using various solvents and examine the process conditions to enhance QD coupling.

We report the dependence on halide ion species used as ligands, the influence of cations on QD film formation, the IR photoconversion properties depending on the process, and provide strategies for achieving low dark currents comprehensively. Based on this ligand exchange engineering we anticipate an increased potential for the future utilization of InAs QD-based IR photodetectors.

**Keywords:** InAs, Halide ligands, nanocrystal, photodiode

## All-Solution-Processed Stretchable Quantum Dots LEDs

나지나, 김성찬, 곽남영, 신승기, 서재영, 오누리<sup>\*</sup>

Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University  
(irunho@hanyang.ac.kr<sup>\*</sup>)

The upcoming era of skin-integrated light-emitting displays demands suppleness, stretchability, and high brightness characteristics. Consequently, ongoing research has aimed at achieving a stretchable display that surpasses the capabilities of existing bendable and flexible displays. The emergence of colloidal quantum dots (QDs) synthesized through solution processes has garnered significant attention as potential luminescent materials for displays. However, while these QDs exhibit colloidal behavior, transitioning them into emissive layers for display applications presents a distinct challenge. The inherent cohesive forces between QDs lead to the development of rigid characteristics, rendering them unsuitable for integration into deformable display components. As a result, the application of such QDs to components requiring intrinsic flexibility and deformability has remained elusive.

In this study, we introduce a novel approach to creating a stable and highly stretchable QD-based LED (SQLED). We fabricated an intrinsically stretchable emissive layer by blending an elastomer with colloidal QDs, which exhibit high color purity and narrow emission bandwidths. In addition, we developed an optimal stand-alone electrode by blending poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) (PEDOT:PSS) with bis-sulfonamide. This ensured minimal resistance variation during stretching and achieved low sheet resistance. As a result, we present an economically viable solution through an all-solution processing technique. This innovation marks a significant stride towards realizing stable operation under mechanical deformation and cost-effective stretchable displays with remarkable optical and mechanical properties.

**Keywords:** stretchable, quantum dots, light emitting diode

P-246

## Boosting Quantum Dot Light-Emitting Diode Performance with Advanced Hole Transport Layer Strategies

Yunseo Lee, 오누리<sup>\*</sup>

Division of Materials Science and Engineering  
(irunho@hanyang.ac.kr<sup>\*</sup>)

Over the past few decades, colloidal quantum dots (QDs) have garnered significant attention due to their tunable bandgap, high brightness, and narrow emission spectra, all of which can be tailored based on their size. Moreover, QDs are well-suited for solution processing techniques. These unique properties have led to the utilization of QDs in the fabrication of quantum dot light-emitting diodes (QD-LEDs) for optoelectronic applications.

QD-LEDs feature a multilayer structure comprising a quantum dot emission layer (QD EML) sandwiched between adjacent hole transport layers (HTL) and electron transport layers (ETL) to facilitate efficient charge injection. However, achieving a balanced charge injection remains a challenge, and imbalances can adversely affect the efficiency of QD-LEDs. Therefore, other electrical characteristics of the charge transport layers, such as energy band alignment and charge mobility, are of paramount importance.

It is noteworthy that research focusing on modifying the HTL and controlling hole injection in QD-LEDs has received comparatively less attention than studies concerning ETL modifications or organic light-emitting diodes (OLEDs).

In this study, we introduce a novel HTL material with the aim of adjusting the energy level alignment and charge injection rate into QDs. Through the modification of the HTL, we gain control over the charge transfer to the QD EML, thereby influencing the properties of QD-LEDs. We investigate the optical and electrical characteristics to elucidate the impact of the new HTL material on QD-LEDs.

This research sheds light on the significance of HTL modifications for controlling hole injection in QD-LEDs, ultimately offering insights into the enhancement of their performance and efficiency.

**Keywords:** Hole transport layer, QD-LEDs, Charge balance

P-247

## 양자점 발광패턴 이용한 고연색성 및 고신뢰성의 QD-LED 조명 모듈

정다연, 오민재, 김용현, 손명우<sup>\*</sup>

한국광기술원 AI에너지연구센터  
(mwson@kopti.re.kr<sup>\*</sup>)

반도체 기반 LED 조명은 고효율과 게 감소시키고, 장시간의 수명, 인체 친화적인 빛으로 다양한 분야에 사용되고 있다. 현재 상용되고 있는 백색 LED 조명은 70-80Ra의 낮은 연색지수로 개선이 필요하다. 대표적 나노발광소재인 양자점은 LED의 파장을 제어하여 연색지수를 조절하므로 고연색지수의 조명 구현에 적용되고 있다. 그러나 고가의 양자점 발광소재를 조명에 적용하기 위한 QD-LED 모듈 구조의 최적화 및 신뢰성 확보가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 양자점 발광패턴을 LED 조명에 적용하기 위한 다양한 QD-LED 모듈의 성능을 분석하였다. 그리고 신뢰성을 확보하기 위해 대기 노출시간에 따른 QD-LED 조명 모듈의 광학적 성능 변화를 관찰하였다.

**Keywords:** 양자점 발광패턴, 고연색성, 고신뢰성, QD-LED 조명 모듈

P-248

## Flow Chemistry for Rapid and Uniform Synthesis of Heavy Metal-Free InP Quantum Dots

공혜인, 오누리<sup>\*</sup>, 박남영, 신승기Hanyang University  
(irunho@hanyang.ac.kr<sup>\*</sup>)

In recent years, flow chemistry has emerged as a promising method for producing quantum dots (QDs), offering several distinct advantages over traditional batch synthesis approaches. One of the primary benefits of utilizing flow chemistry is the remarkably short synthesis time required. QDs can be synthesized very quickly and maintain a high level of uniformity comparable to batch-synthesized QDs. Moreover, flow chemistry allows for precise control over reaction parameters, including temperature, pressure, and flow rates. This control enhances the reproducibility and consistency of the synthesis process, a critical factor in material production.

In this work, we investigate the application of flow synthesis to produce heavy metal-free InP colloidal QDs. InP QDs, possessing both optical and electronic attributes, exhibit outstanding performance in a variety of applications, including light-emitting diodes and solar cell. The synthesis of InP QDs, excluding precursor preparation, was completed within 20 minutes and achieved a high level of uniformity. Furthermore, the ease of adjusting various parameters in flow chemistry, as compared to batch methods, allowed for rapid optimization across a range of variables. This advancement shows great potential for accelerating the production and progress of high-quality colloidal nanomaterials, particularly within the domain of next-generation energy and display technologies.

**Keywords:** Nanomaterials, Quantum Dots, Flow Chemistry

## Quenching of Rh<sub>2</sub>(Ac)<sub>4</sub>-complexed InP@ZnSe@ZnS Quantum Dots Via Fluorescence Energy Transfer

이상연<sup>1</sup>, 박수현<sup>1</sup>, 변경수<sup>2</sup>, 김창열<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech.; <sup>2</sup>인하대학교  
(cykim15@kicet.re.kr<sup>†</sup>)

Semiconductor quantum dots (QDs) such as CdSe have higher photostability, surface stability and narrow emission spectra against organic fluorophores.<sup>1,2</sup> However, cadmium is a harmful and toxic element for an environment and human health. Recently, InP@ZnSe@ZnS QDs were developed for a highly efficient light emitting diode (LED) display by Samsung Electronics company.<sup>2</sup> In this work, we follow the experimental procedure for the synthesis of InP@ZnSe@ZnS QDs by using indium acetate and tris(trimethylsilyl)phosphide and zinc oleate and selenium trioctylphosphine and sulfur-trioctylphosphine. The QDs showed bright photoluminescence (PL) spectra. QDs were surface modified by with hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) for water dispersion. The PL characteristics of QDs were quenched by the metal complexation of rhodium acetate. This phenomenon is known as Foster Resonance Energy Transfer, that is, the excited electrons at conduction band from valence band by incident UV light drifts to metal complex to result in the turn-off of the PL emission. This quenched QDs is available for the detection of NO gas. To find out the detection of NO, we injected diethylamine NONOate sodium salt hydrate (DEA/NO) in the quenched QDs aqueous solution and could detect the restoration of fluorescence by the reaction of NO to quenched state QDs. In conclusion, we think that Rh<sub>2</sub>(Ac)<sub>4</sub>-complexed InP@ZnSe@ZnS QDs is available for NO detection.

**Keywords:** InP, ZnSe, Quantum dot, LED, photoluminescence, Foster Resonance Energy Transfer,

## Tailoring Surface States of Indium Phosphide Quantum Dots

오누리<sup>†</sup>, 곽남영, 공혜인

한양대학교 신소재공학과  
(ny0123@hanyang.ac.kr<sup>†</sup>)

InP quantum dots (QDs) have been extensively studied for optoelectronic devices due to their low toxicity and ability to cover all visible spectral regions. Recent studies report InP/ZnSe/ZnS-core/shell/shell QDs that have achieved PLQYs of over 90%, but InP cores solely still show low PLQY because of oxides and dangling bonds acting as surface traps. There are many efforts to remove these oxides on the surface by hydrogen fluoride (HF) etching or shell growth. However, HF is hazardous, and growing shells with low lattice mismatch is challenging. Therefore, the issue of synthesizing high-quality InP QDs remains. Here, we synthesize high-quality InP QDs with PLQYs exceeding 90% using metal halides. These metal halides react with undercoordinated phosphorus, resulting in the removal of oxide states and enhancement of PL intensity. This approach offers a promising solution to the long-standing issue of low PLQYs in InP QDs.

**Keywords:** Nanocrystal, Quantum dot, surface treatment

P-251

## Ligand Crosslinking Strategy for Efficient Quantum Dot Light-emitting Diodes via Thiol-ene Click Chemistry

신승기, 오누리\*

Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University

(irunho@hanyang.ac.kr\*)

Patterning of colloidal quantum dots are essential to realize the complex device architectures in commercial applications. Direct optical patterning by manipulating the surface ligands allows the high-resolution patterning of quantum dots. Here, we report the ligand crosslinking strategy based on thiol-ene click chemistry. The thiol molecules generate free radicals upon exposure to UV light, leading to a ligand crosslinking. Selective area exposure of UV enables the micro-scale direct photopatterning of nanocrystals including quantum dots and metal oxide nanocrystals. The effect of thiol-ene crosslinking on photoluminescence and electroluminescence properties of solid-state quantum dots is discussed. Light-emitting diodes using crosslinked InP based quantum dot layer exhibit the 23.04 cd/A of peak current efficiency which is 58% higher than typical devices. The improvement of current efficiency is also demonstrated in CdSe based light-emitting diodes.

**Keywords:** Quantum dot, Patterning, Ligand chemistry, Thiol-ene

P-252

## 광촉매용 $\text{TiO}_2$ 다공체 제조 시 탄소 도핑을 위한 PAN-Nano Flower의 입자크기가 가시광선 흡수량 및 밴드갭에 미치는 영향

김수현<sup>1</sup>, 배성환<sup>2†</sup>, 김민준<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경남대학교 메카트로닉스공학과; <sup>2</sup>경남대학교 신소재공학과  
(shbae@kyungnam.ac.kr<sup>†</sup>)

$\text{TiO}_2$ 는 우수한 광촉매 활성, 화학 및 기계적 안정성, 저렴한 비용 등으로 인해 광촉매 재료로 활용 및 연구가 진행되고 있다. 그러나  $\text{TiO}_2$ 의 넓은 밴드 갭(아나타제의 경우 3.2eV)으로 인해 태양광 중 일부분인 UV 영역에서만 활성화되기 때문에 광범위한 사용이 제한된다. 또한  $\text{TiO}_2$ 는 전자-정공 쌍의 재결합 속도가 높아 광촉매 효율이 낮은 문제도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 도핑 및 커플링과 같은 처리를 통해 가시광선 영역 흡수율을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 광촉매용  $\text{TiO}_2$  다공체의 가시광선 영역 흡수율을 향상을 위한 탄소 도핑 시 희생 템플릿용 PAN-Nano Flower 합성하였다. PAN-Nano Flower 합성 시 Mass Flow Controller(MFC)를 활용하여  $\text{N}_2$  가스의 Purging 유량 조절을 통해 입자크기를 제어하였으며 이를 활용하여  $\text{TiO}_2$  다공체의 기공 크기를 조절하였다. 다공체의 기공 크기를 확인하기 위해 Scanning Electron Microscopy(SEM)을 활용하였다. 가시광선 영역의 흡수율 및 밴드갭 변화를 확인하기 위해 UV-Vis 분광분석을 진행하였다. 광촉매 효과를 확인하기 위해 메틸렌블루 염료분해 실험을 진행하였다.

**Keywords:**  $\text{TiO}_2$ , 광촉매, 도핑, 밴드갭 조절

## 곡면형 이미지센서 구현을 위한 광소재 3D 프린팅

정재경<sup>1</sup>, 박성현<sup>2\*</sup>, 고정범<sup>2</sup>, 김영우<sup>2</sup>, 김현범<sup>2</sup>, 김수완<sup>2</sup><sup>1</sup>제주대학교 전자공학과, <sup>2</sup>한국생산기술연구원 제주본부 청정웰빙연구그룹  
(sungpark@kitech.re.kr<sup>\*</sup>)

곡면형 이미지센서를 이용하면 피사체의 왜곡 없이 광각의 이미지를 얻을 수 있기 때문에, 이러한 소자의 개발을 위해 많은 연구가 진행 중이다. 3D 프린팅 기술을 이용하면 프린팅 대상 기판의 형태나 표면에 상관없이 다양한 반도체, 금속, 고분자, 나노 물질 등의 기능성 재료를 도포 하는 것이 가능하며, 3D 프린팅 기술을 포토다이오드 제작 기술과 접목하여 소자를 직접 곡면형 기판에 구현하는 공정기술을 개발하였다.

곡면형 이미지센서의 제작을 위해서 다양한 점도의 잉크를 분출할 수 있는 다물질 적층형 3D 프린팅 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 4축 스테이지, 액상 분출 디스펜서, 모니터링 카메라, 후처리 시스템으로 구성되어 있으며, 시스템 내에서 기판의 이동 없이 개별 포토다이오드 제작의 전체공정이 진행된다. 여러 물성을 가진 기능성 잉크의 동시 사용을 위해 압출 분무분사 멀티 노즐 형태를 도입하였고, 비전 기반의 노즐 위치 보정 시스템을 통해 프린팅의 반복성 및 재현성을 확보하였다.

고전도성 Ag 나노 입자를 3D 프린팅용 잉크로 사용하여 전극을 구현하고, 전도성 고분자인 PEDOT:PSS와 bulk heterojunction 고분자인 P3HT:PCBM이 각각 정공 운송 층과 수광층 프린팅에 사용되었다. 분사 노즐 선택, 잉크의 분출 시간 및 농도 조절을 통해 수광층의 두께 최적화를 진행하였다. 액체금속인 갈륨-인듐 합금을 상부 전극으로 이용하였고 제작된 소자의 산화 및 열화 방지를 위해 에폭시 레진을 봉지제로 소자 위에 프린팅 하였다. 이러한 3D 프린팅 공정과 광소재 잉크를 기반으로 하여 곡면 위에 다수의 포토다이오드를 제작하였고 이미지센서의 구현 가능성을 확인하였다.

**Keywords:** 3D 프린팅, 포토다이오드, 이미지센서

## Wavelength Control of Chiral Liquid Crystals with Polymer Templates for Tunable Optical Filters

Wontae Jung, Seungmin Nam, Chaeyeong Yun, Su Seok Choi<sup>†</sup>

POSTECH  
(choiss@postech.ac.kr<sup>†</sup>)

Chiral liquid crystals (CLCs), which have self-assembling characteristics and a helical supramolecular structure, possess photonic bandgaps (PBGs) where selective reflection occurs when the wavelength of the incident light corresponds to the periodicity of the helix. Generally, the position of PBGs can be shifted according to pitch changes that take place in CLCs by applying external stimuli such as electric field, mechanical force, and temperature. Recently, a washing-out/refilling technique has been proposed and a chiral polymer scaffold that resembles the helical structure of CLCs can be created. This so-called nanostructure of chiral polymer template (CPT) provides conditions at which refilled materials such as isotropic mediums or achiral liquid crystals (LCs) adopt the helical arrangement of CPTs. This interesting behavior of CPTs is promising for photonic applications such as laser cavities, photonic sensors, and optical filters. However, few studies about wavelength control of CLCs within CPTs for tunable photonic devices have been reported.

In this work, we fabricated CLC-refilled CPTs and studied their optical properties in response to heat and electrical fields. To obtain CPTs with thermal and electrical tunability, the composition ratio of CPTs was finally optimized.

**Keywords:** Liquid crystals, cholesteric liquid crystals, photonic bandgaps, chiral polymer templates

## Digital imaging correlation 분석을 통한 플렉서블 기판위에 형성된 금속 패턴의 변형 특성 분석

이찬재<sup>\*</sup>, 백상웅, 김가영, 윤선화, 윤혜선

한국전자기술연구원  
(chanjael@keti.re.kr<sup>\*</sup>)

최근 플렉서블 디스플레이의 상용화에 따라 디스플레이의 굽히거나 마는 등의 변형에 따른 디스플레이 내부를 구성하는 각각의 층의 변형과 상호 영향에 대한 연구가 진행되고 있다. 플렉서블한 기판 위에 형성된 TFT, 배선 등의 컴포넌트들을 기판위에 oxide, silicon, metal 등을 증착한 후 포토리소그래피 공정을 통하여 형성하게 된다. 이러한 컴포넌트들은 기판의 전체에 고르게 형성되는 경우도 있지만 TFT와 같이 패널의 일부분에만 국소적으로 존재하거나 아일랜드 형태로 일부만 남아 있는 상태로 존재하게 된다. 그러나 플렉서블용 기판 자체는 낮은 모듈러스 값을 가지고 있어 균일하게 10-20% 사이에서의 연신이 가능하나 금속이나 산화물의 경우에는 수%이하에서도 파단이 발생한다. 따라서 플렉서블 기판을 연신하게 되면 기판은 연신된 상태이나 패턴은 고정된 상태로 존재하게 된다. 이러한 방식을 이용하여 스트레처블 디바이스를 제작하기도 하나 실제 기판의 연신에 의한 영향을 아예 안받는다고는 할 수 없으며 패턴이 두께가 얇을 수록 기판 영향이 증가하게 된다.

본 연구에서는 플렉서블 기판위에 금속을 증착한 후 패턴링한 후 인장시험을 통하여 늘어나는 형상을 DIC(Digital imaging correlation)을 이용하여 분석하였다. 투명 폴리이미드 기판위에 알루미늄 박막을 증착 후 포토리소그래피방식을 통해 패턴링하였다. 이후 만능인장시험기를 통해 인장하는 동안 샘플이 늘어나는 이미지를 측정 분석하였다. 측정된 이미지로부터 금속 패턴이 형성된 영역에서 늘어나는 비율과 패턴이 없는 영역에서 늘어나는 영역의 차이를 비교하였다.

**Keywords:** DIC(Digital imaging correlation), 플렉서블, 인장

## Enhanced Electroluminescence from CsPbBr<sub>3</sub> Perovskite Nanoplatelet Host-Dopant Complexes using Diphenylphosphine Oxide as a Host

이석기, 박진우, 신병하<sup>\*</sup>

한국과학기술원 (Korea Advanced Institute of Science and Technology)

(byungha@kaist.ac.kr<sup>†</sup>)

Lead halide perovskites have arisen as the most promising candidate for pure- and deep-blue LEDs due to their outstanding optical properties, including high photoluminescence quantum yields (PLQYs), tunable light emission, and narrow full width at half-maximum (FWHM) less than 20 nm. Perovskite nanocrystals, including nanoplatelets (NPLs) with fewer  $n$  monolayers, typically need long alkyl-chain-based ligands to suppress further aggregation into larger  $n$  states. However, these make high-luminance pure-blue perovskite LEDs (PeLEDs) based on NPLs challenging to achieve due to the poor charge transport characteristics ascribed to the insulating nature of those ligands. Instead of exchanging ligands, herein, we purpose incorporation of NPLs into host materials as a facile strategy for boosting up both PLQY and luminance of NPL-based blue-LED via efficient energy transfer and improved charge balance. CsPbBr<sub>3</sub> NPLs of  $n = 3$  with pure-blue emission (463 nm, FWHM  $\sim 16$  nm), synthesized by using oleylamine and octylphosphonic acid as stabilizing ligands, are embedded into host materials by simple physical blending for host-dopant complexation (NPL@host). Unipolar OLED host materials with hole-transporting properties (PBD, CBP, mCP) and electron-transporting properties (DPPO, PO-T2T) are investigated by varying the loading ratio with respect to NPL. Host-dopant interaction of each NPL@host is identified by the photoluminescence of NPL@host film. Among various hosts, NPL@DPPO showed enhanced PLQY by 1.3-fold compared to bare NPL via efficient energy transfer from DPPO to NPL. Furthermore, blue LEDs fabricated by NPL@DPPO as an emitting layer exhibited a remarkable 9-fold increase in maximum luminance ( $L_{\max}$ ) from 7.9 cd/m<sup>2</sup> to 70.6 cd/m<sup>2</sup>, as well as improving their EQE from 0.1% to 1.5%. This successful demonstration of host-dopant concepts will be the novel breakthrough for overcoming the limitations of blue PeLEDs suffering from ligand-governed charge transport and electroluminescence quenching issues by judicious yet simple incorporations of host materials.

**Keywords:** Lead Halide Perovskite, Nanoplatelet, Host-dopant Complex, Blue Light Emitting Diode

P-257

## Fine-Tuning of $\text{Al}_2\text{O}_3$ Sol-Gel Anti-Reflection Coating via controllable HF Vapor Fluorination

이승현, 김동인, 임순민, 안기석<sup>†</sup>

Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT)

(ksan@kRICT.re.kr<sup>†</sup>)

Anti-reflective coatings (ARCs) enhance optical device efficiency. Solution-based methods are popular for their simplicity and scalability, utilizing naturally formed pores to reduce material refractive index. To improve ARCs, low refractive index materials like fluorine-substituted ones are preferred. In this study, we introduced fluorine into  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ARCs using controlled HF vapor, exploiting existing pores in the film. Precise control over exposure and reaction conditions allowed for tailored fluorine content. Gaseous HF vapor fluorination created a porous ARC on a sapphire window, matching refractive indices with the surroundings, resulting in improved transparency. Maximum and average transmittances reached ~99.15% and ~97.04%, respectively. This method offers broad utility for surface chemistry modifications, boasting reliability and controllability, even for complex architectures without causing structural damage.

**Keywords:** Fluorination, Anti-reflection coating, Surface chemistry modification

## Optimization of Guest-host Liquid Crystal for eyewear devices

윤채영, 남승민, 권채현, 정원태, 최수석<sup>\*</sup>

Postech  
(choiss@postech.ac.kr<sup>\*</sup>)

Transmittance-controllable technologies, including transparent OLED displays, smart windows, and eyewear displays have attracted considerable attention in recent years. In particular, dimming transmittance control is required for eyewear display applications while maintaining high transmittance and clear visibility with minimized haze effect [1,2]. The guest-host liquid crystal (GHLC), which is well known as one of the alternatives, is actively researched because of its response time which is much lower than other types of devices. The transmittance of a GHLC cell depends on the orientation of the dichroic dye molecules, and the voltage-driven liquid crystal director reorientation controls the alignment of the dichroic dye [2]. Notably, helical molecular rotation in the opaque state improves the light absorption in the opaque state. The molecular rotational properties can be optimized along with dye concentration and cell gap control [3].

In this work, to obtain high transmittance of GHLC cells, the parameters of dye concentration, cell gap, and molecular rotational property were established. The cell conditions were optimized to have the maximum transmittance difference and electro-optic properties suitable for eyewear augmented reality display applications.

### Acknowledgment

This research was funded by Technology Innovation Program (20016260, Development of large size multi-function film with low operation voltage and high speed) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (Korea).

### References

- [1] J. C. Lai, W. F. Cheng, C. K. Liu, K. T. Cheng., *Dyes Pigm.*, 163, 641-646 (2019)
- [2] B. H. Yu, J. W. Huh, K. H. Kim, and T. H. Yoon., *Opt. Express.*, 21, 29332-29337 (2013).
- [3] J. Lee, S. Nam, and S. S. Choi., *Opt. Mater. Express.*, 12, 2568-2583 (2022).

**Keywords:** Guest host liquid crystal, smart window, Transmittance control

## Strontium molybdate up-conversion phosphors with potential application in anti-counterfeiting

Jae Yong Jung<sup>1</sup>, Woo Tae Hong<sup>1</sup>, Ji Hoon Yoo<sup>2</sup>, Lankamsetty Krishna Bharat<sup>1</sup>,  
Jin Young Park<sup>3</sup>, Hyun Kyoung Yang<sup>1,2,3†</sup>

<sup>1</sup>Marine-Bionics convergence technology center, Pukyong National University;

<sup>2</sup>Interdisciplinary Graduate Program of Artificial Intelligence on Computer, Electronic and Mechanical Engineering,  
Pukyong National University;

<sup>3</sup>Department of Electrical, Electronics and Software Engineering, Pukyong National University  
(hkyang@pknu.ac.kr<sup>†</sup>)

The precursor prepared by the co-precipitation method was sintered at 600 °C to synthesize crystalline SrMoO<sub>4</sub> powder. In this study, ytterbium and erbium rare-earth ions were doped to synthesize an up-conversion phosphor. The synthesized SrMoO<sub>4</sub>:[Er<sup>3+</sup>]/[Yb<sup>3+</sup>] phosphor showed a strong green light emission at 530 and 551 nm when excited at 980 nm. The synthesized phosphor exhibited a change in luminescence intensity based on the amount of Er doped and showed strong luminescence as the laser pump power increased. Also, as the temperature increased, the luminescence intensity changed. This is thought to be due to the two-photon process as a result of the excited state absorption and energy transfer processes. To use the SrMoO<sub>4</sub>:[Er<sup>3+</sup>]/[Yb<sup>3+</sup>] phosphor with these characteristics for anti-counterfeiting, the ink prepared by mixing it with PVP 10 wt% ethanol solution was applied to banknotes and artwork. Although it was impossible to confirm with the naked eye, green light emission could be confirmed when excited at 980 nm.

**Keywords:** Strontium tungstate, Up-conversion, Phosphor, Anti-Counterfeiting

## Luminescence properties of o-toluidine based carbon dots for heavy metal detection

Woo Tae Hong<sup>1</sup>, Ji Hoon Yoo<sup>2</sup>, Lankamsetty Krishna Bharat<sup>1</sup>, Jae Yong Jung<sup>1</sup>,  
Jin Young Park<sup>3</sup>, Hyun Kyoung Yang<sup>1,2,3†</sup>

<sup>1</sup>Marine-Bionics convergence technology center, Pukyong National University;

<sup>2</sup>Interdisciplinary Graduate Program of Artificial Intelligence on Computer, Electronic and Mechanical Engineering,  
Pukyong National University;

<sup>3</sup>Department of Electrical, Electronics and Software Engineering, Pukyong National University  
(hkyang@pknu.ac.kr<sup>†</sup>)

The phenylenediamine based carbon dots (CDs) have been studied due to their hydrophilic property, yellow luminescence, and high quantum yield. However, these CDs exhibit poor chemical stability and excitation independent luminescence, which inhibit further application in LED, anti-counterfeiting, bio-imaging, etc. To solve these problem, addition of acid in the hydrothermal synthesis were suggested. The H<sup>+</sup>-rich environment promote the formation of two-dimensional structure of CDs, and these CDs behave enhanced chemical stability and red luminescence. Nevertheless, the luminescence properties of these CDs exhibit excitation independent emission characteristics. In order to control the emission wavelength, modulation of nitrogen contents and their chemical bondings can be solution.

In this study, the CDs derived from o-toluidine were synthesized by using hydrothermal synthesis with acid utilization. To investigate the characteristics of CDs, surface morphology, chemical bondings, structural, and luminescent properties of the CDs were analyzed. Also, the heavy metal test were performed for various heavy metal ions and their concentration.

**Keywords:** carbon dot, o-toluidine, luminescence, heavy metal detection

## 채널 방식 구조를 가지는 LED 바닥 신호등 방열 특성 연구

황도연<sup>1†</sup>, 김길연<sup>2</sup><sup>1</sup>구미전자정보기술원; <sup>2</sup>(주)룩스텍  
(teri3155@geri.re.kr<sup>†</sup>)

LED 바닥신호등은 횡단보도 대기선 바닥에 보행신호를 점등하여 보행자에게 추가적인 신호정보를 제공하여 보행 편의와 교통사고 방지 차원에 도입되는 솔루션으로 경찰청 시범 서비스를 통해 현장에서 검증된 장치이다. LED 바닥형 보행 신호등은 교통신호제어기에 옵션보드를 설치하여 보행신호의 신호 시간정보를 실시간으로 수집하여 보행신호등과 같이 연동되어 표출되는 장치이다.

LED는 전력을 빛으로 변환시키는 효율은 높은 반면에 광원으로부터 나오는 전체 열에너지 중 58~81%가 복사 에너지로 직접 방출되는 형광등, 백열등 혹은 할라이드 램프와는 달리 15~25% 만이 복사에너지로 방출되고 나머지는 모두 열원의 후미로 전도 및 대류에 의하여 열이 방출하게 된다. 그 방출되는 열이 발광부 주위의 반도체 소자에 직접적인 영향을 주기 때문에 필라멘트를 사용하는 백열등이나 음극선을 이용한 형광등 등의 발광 소자에 비해 상대적으로 열에 매우 취약하다는 단점이 있다. 따라서 LED에 대용량의 전류를 흘려 보내주기 위해서는 그로부터 발생하는 열을 전도 및 대류에 의해 효과적으로 외기로 방출하기 위한 방열구조가 매우 중요한 요소이다. LED바닥신호등의 지중매입 설치로 지열 및 등기구 발열에 대한 방열구조가 매우 취약하여 이로 인한 내부 결로 및 회로 소손 등의 문제가 발생되며, 특히 하절기 지열 온도 상승에 따른 제품손상이 심각한 수준이다.

본 연구에서는 방열특성의 향상에 있어서 가장 비중이 큰 히트 싱크와 같은 방열 시스템에 대한 최적의 구조 설계를 연구하고, AI소재 하우징을 적용하여 지면 매입면 방열을 개선하고 등기구 상부 고정판을 AI소재로 하여 지중에 간혀있는 등기구의 발열을 지중에서 지면 노출된 고정판 상부로 자연 방열되는 구조를 적용하여 채널 타입 방열 시스템 특성을 확인하였다.

**Acknowledgment**

본 연구는 중소벤처기업부의 2023년도 지역특화산업육성+(R&D)의 연구개발비(S3365036)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**Keywords:** LED바닥신호등, 채널타입, 교통안전시설, 마이크로요철구조, 예각LED

## A study on the growth of GaN epitaxial layer using CrN sacrificial layer

Yukyeong Cha, Dongjin Byun<sup>†</sup>, Kyu-Yeon Shim, Seongho Kang, Yunyoung Chung

고려대학교 신소재공학과  
(dbyun@korea.ac.kr<sup>†</sup>)

There are two ways to grow GaN: through homoepitaxy and through heteroepitaxy. Bulk GaN is difficult to fabricate and very expensive, so growing GaN on heterogeneous substrates, such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, Si substrate, has been the preferred method and is the subject of much research. When using heteroepitaxy, many lattice defects exist in the growing GaN due to issues such as lattice mismatch between the substrate and growth material, thermal expansion coefficient mismatch, etc. This can be solved by inserting a buffer layer between the substrate and the growth material that can alleviate the difference. In the case of CrN, a material with a cubic structure, the lattice mismatch between the CrN (111) and GaN (0001) faces is 8.9%, making it suitable for use as a buffer layer for GaN growth.

To utilize the growth layer as a high-efficiency LED device, a process is required to separate the growth layer from the c-plane sapphire substrate, which has low thermal conductivity. CrN can be chemically exfoliated in  $\text{Ce}(\text{NH}_4)_2(\text{NO}_3)_6$  solution in a short time. Therefore, when GaN is grown by introducing CrN as a buffer layer, only the CrN layer between the substrate and the GaN growth layer can be selectively and quickly lift-off from the substrate.

In this study, we investigated the growth behavior of GaN by forming CrN sacrificial layer by two methods. Two methods were used: one was to deposit a Cr metal layer and then form a CrN thin film through a nitridation process using  $\text{NH}_3$  gas inside the MOCVD, and the other was to form CrN by reactive sputtering. The GaN was then grown by MOCVD, and the differences in the surface morphology and crystal quality of the GaN growth layer depending on the formation method of the buffer layer were analyzed by XRD, SEM, and AFM.

**Keywords:** Gallium Nitride, Chromium Nitride, Nitridation, RF Reactive sputtering

P-263

## Improvement of Quantum Yield in Blue-Emitting ZnSeTe Quantum Dots via Surface Passivation with Organozinc Halide Ligands

김태연<sup>1</sup>, 이병준<sup>1</sup>, 이수연<sup>1</sup>, 최영민<sup>1</sup>, 정성묵<sup>1</sup>, 박장웅<sup>2</sup>, 김태수<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Division of Advanced Materials, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT);

<sup>2</sup>Department of Materials Science and Engineering Yonsei University  
(taesukim@kRICT.re.kr<sup>†</sup>)

Development of highly efficient and stable quantum dots is required for commercialization. Herein, we introduce organozinc halide ligand on the surface of ZnSeTe / ZnSe / ZnSeS / ZnS QDs to enhance photoluminescence quantum yield (PL QY) and improve stability. In our system, the quantum yield of the ZnSeTe QDs is enhanced to 99.0% because organozinc halide acts as a dual passivation ligand that can passivate cation and anion of the surface simultaneously. Furthermore, the modified form of QDs has significantly increased colloidal and PL stability. Unlike zinc stearate and zinc chloride, precipitation does not occur even after a long time and high PL is maintained. The aromatic part of the organozinc halide ligand prevents particle aggregation and the zinc halide part works as a dual passivation. We anticipate that the organozinc halide ligand strategy can shed light on the QLED application for industry.

**Keywords:** quantum dot, organozinc halide, PL QY

P-264

## Modulating Band Gap in Triphenylamine-Based Conjugated Polymers for Enhanced Efficiency in Blue Quantum Dot Light Emitting Diodes: Impact of Electron-Withdrawing Groups

서문산, 김태수<sup>†</sup>, 이수연, 정성묵, 최영민

Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT)  
(taesukim@kRICT.re.kr<sup>†</sup>)

Optimization of the energy level alignment between quantum dot (QD)-based emitting layers (EMLs) and hole transporting layers (HTLs) is critical for improving charge balance. The low valence band level of blue QDs can induce large energy barrier at the HTL/EML interface, resulting in the suppression of the hole injection from HTLs to EMLs. Here, electron-withdrawing group-substituted triphenylamine-based polymers are developed to minimize the energy offset between HTLs and EMLs. The inclusion of electron-withdrawing groups successfully leads to downshifting of the HOMO levels, with little effect on the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) levels, as analyzed by cyclic voltammetry (CV) and UV-vis absorption measurements. In addition, the charge mobility measurement using the space charge-limited current (SCLC) method reveals that the HTLs consisting of the triphenylamine-based derivatives have similar hole mobilities. We expect that the newly designed polymers can enhance the efficiencies of blue QD-LEDs.

**Keywords:** QD-LED, HTL, EML, TFB, HOMO, LUMO

## Polyimide Hybrid Composite Films Using Hydrophobic Fumed Silica

엽종인<sup>1,2</sup>, 박인<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원; <sup>2</sup>연세대학교  
(inpark@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

Polyimide (PI) was fabricated by a chemical imidization method using fluoroalkyl-containing monomers, 2,2'-Bis(trifluoromethyl)benzidine (TFDB), 4,4'-(hexafluoroisopropylidene)diphthalic anhydride (6FDA), 3,3',4,4'-biphenyltetracarboxylic dianhydride (BPDA). Commercialized hydrophilic fumed silica (0-FS) and five hydrophobic FS materials were introduced to prepare PI/FS hybrid composites with various FS contents (0 - 10 wt%). Modifiers of the hydrophobic FS materials are dimethyl (2-FS), trimethyl (3-FS), octyl (8-FS), octamethylcyclotetrasiloxane (D4-FS), and polydimethylsiloxane (PDMS-FS). PI/FS composites containing the hydrophobic FS nanoparticles show better dispersion of the FS owing to lowered surface energy rather than the 0-FS. PI/0-FS composites exhibit general mechanical properties with trade-off relationship between tensile modulus and elongation at break because of its rigidity. Especially 3-FS-1 composite having optimum results shows improved toughness ( $6.98 \rightarrow 11.81 \text{ MJ/m}^3$ , 69.1 % increase), degradation temperature at 5% weight loss ( $528.3 \rightarrow 531.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), glass transition temperature ( $360.8 \rightarrow 367.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ), and CTE ( $47.3 \rightarrow 37.4 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ ).

**Keywords:** polyimide, fumed silica, mechanical, optical, thermal

P-266

## 미세유체반응기(micro-fluidic reactor)를 이용한 InP/ZnSe/ZnS 코어/셸/셸 나노결정의 합성 및 분석

한혜경, 홍명환, 이찬기\*

고등기술연구원 융합소재연구센터  
(cglee@iae.re.kr<sup>†</sup>)

양자점이라고 불리는 0차원의 반도체 나노결정은 입자크기가 엑시톤 보어 반경보다 작아 양자 구속 효과 (Quantum confinement effect)에 의한 비연속적인 에너지 준위를 가진다. 입자의 크기에 따라 밴드갭 에너지의 조절이 가능하며 좁은 발광 파장의 폭 및 높은 발광 효율 등의 장점을 가지고 있어 현재 LED나 태양전지, 레이저, 생물학적 표지물질 등 많은 분야에서 양자점을 이용한 연구가 진행되고 있다. 최근 카드뮴의 인체 유해성 문제로 인하여 카드뮴 계열과 비슷한 에너지 밴드갭을 가진 III-V족 조성 중 비카드뮴계열인 InP에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 나노결정은 표면의 결함으로 인하여 양자효율이 낮고 산소와 수분같은 외부 인자들에 취약하여 안정성 및 신뢰성에 문제를 나타낸다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 나노결정 core에 무기물의 shell을 코팅하는 방법이 가장 많이 연구되고 있다. 나노결정 합성에는 고온주입공정(Hot-injection process)이 주로 사용되고 있으나 대량 합성 시, 전구체간 온도 차로 인한 정확한 반응시간 및 온도 조절이 어려워 고효율의 나노결정 제조 및 재현성 확보에 어려움이 있다. core/shell/shell 합성에 사용되는 방법인 미세유체 반응기는 미세관을 이용하기 때문에 가열구간의 시작과 종료 부분에서 가열 속도 및 냉각 속도가 빨라 반응 온도 조절이 용이하고, 가열온도 및 가열시간의 정밀한 제어가 가능하여 나노결정의 크기 및 균일도를 쉽게 조절할 수 있다. 또한, 유체를 이용한 반응이기 때문에 유체에 대한 분석을 통한 실시간 모니터링이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 대량생산에 용이한 미세유체반응기를 이용하여 core/shell/shell 구조인 InP/ZnSe/ZnS 나노결정을 합성하였으며 Uv-vis 흡광도와 photoluminescence(PL) 측정을 통하여 실험 조건에 따른 광 특성 및 양자효율 변화를 연구하였다.

**Keywords:** 양자점, 나노결정, 미세유체반응기, InP/ZnSe/ZnS, core/shell/shell구조

P-267

## Supramolecular Material with electron transport property based on Bay-Annulated Indigo derivative for organic photovoltaic devices

송호준<sup>†</sup>

한국생산기술연구원  
(song3026@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

The calls for diverse characteristics within material synthesis and structure in the organic electronics field have increased as various flexible displays are required and developed in recent days. The development of small molecule indigo-based organic electronic materials has recently been active to overcome such shortcomings. Indigo is in the form of a dye that exists in a natural state and has a trans-planar molecular structure due to a strong intramolecular hydrogen bond between two 3-oxyindole units that are linked by double bonds in a centrally symmetrical form. The small molecule indigo has better reproducibility and relatively small crystals compared to polymers, making the movement of electrons higher, which leads to higher expectations in efficiency levels. This study designed and synthesized indigo-based small molecule materials based upon these characteristics of indigo. Also a dimethylamine group that is soluble in water/alcohol and a 2-Ethylhexyl hydrophobic group were combined with a side chain to offer amphiphilic properties to increase solubility to compensate for indigo's low solubility. Thus, the synthesized indigo-based material measured and analyzed optical and electrochemical properties through FT-IR, XRD, CV, etc.

**Keywords:** Bay-Annulated Indigo, Photovoltaic devices, electron acceptor

P-268

## Influence of Heat-peeling Properties by side functional structures of Acrylic Pressure-sensitive Adhesives

송호준<sup>†</sup>

한국생산기술연구원  
(song3026@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

The heat-peelable pressure-sensitive adhesive is easy to peel off due to decrease of adhesion when heat is applied, and is applied to a dry printing process of fibers and leather, etc. In order to reduce adhesion, it is widely applied that method of introducing a functional group of decomposing at a high temperature into the backbone of the acrylic PSA, or introduce thermal expansion particles to destroy the adhesive portion between the PSA and the substrate. However, these methods are irreversible, and takes a long time to reduce the adhesion. To overcome these drawbacks, we introduced hydrogen bonding in the acrylic PSAs. Hydrogen bonding which is an intermolecular secondary bond can be peeled off at high temperature in a short time, and can be reversibly used. Heat-peelable acrylic PSAs were synthesized via photopolymerization and the influence of hydrogen bond of synthesized acrylic PSAs were characterized by FT-IR, DSC, TGA and Peel tester (rt~150°C).

**Keywords:** Heat-peelable, Acrylic PSAs, Hydrogen bonding

P-269

## Correlation of mechanical properties between Polysilsesquioxane and POSS materials for Flexible Display

송호준<sup>†</sup>

한국생산기술연구원  
(song3026@kitech.re.kr<sup>†</sup>)

Recently, flexible display have studied to complete a high flexibility and high surface hardness. Organic-inorganic hybrid material is a widely used coating material for flexible display. This show synergistic effect by interaction of the flexibility of organic and the robustness of inorganic. One of organic-inorganic hybrid, silsesquioxane has random, cage, and ladder-like etc, structures. Ladder-like polysilsesquioxane(LPSQ) has excellent mechanical and thermal properties because it has the double-standed structure backbone of siloxane [Si-O-Si]. In addition, cage-type silsesquioxane(POSS) have a rigid siloxane structure and a nanoscale molecular, so it has high crosslinking-density between molecules, showing excellent mechanical properties. In the study, LPSQ was successfully synthesized with simple sol-gel process. As a result, the LPSQ by added POSS has shown an excellent hardness improvement of 111% (5H) than LPSQ without POSS (4H).

**Keywords:** LPSQ, POSS, hardness

P-270

## UV treatment for the enhancement of fire retardant properties of the sol-gel coated cotton fabric

LAILA KHAN, BON HEUN KOO<sup>†</sup>

Changwon National University  
(bhkoo@changwon.ac.kr<sup>†</sup>)

In this report a unique methodology/process steps were followed using Sol-gel based concept to deposit thin flame retardant coatings on cotton fabric. Surface microstructure and mechanical toughness of the obtained samples were analyzed through SEM, rupturing mechanism and color check. Compositional investigation of the coated samples were carried through FTIR and EDS analysis. Thermal analysis were carried out through TGA and VFT test which suggested higher resistance of the coatings obtained for shorter times on the cotton fabric. Samples were coated using sol-gel technique while using various acidic precursors such as HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as sol catalyst. The obtained samples were then treated using UV radiation for 15 min and thermal investigations were carried.

**Keywords:** Fire retardant, UV, TGA, FTIR, VFT sol-gel

P-271

## Polyvinyl aniline and Ethylenediaminetetraacetic acid additives for FR coatings using sol-gel technique

ZEESHAN UR REHMAN, BON HEUN KOO<sup>†</sup>

Changwon National University  
(bhkoo@changwon.ac.kr<sup>†</sup>)

Textile products have been used in various field of daily life and advance industries. However, one of the major safety concerns with these products is their fire vulnerability, due to their lower flammability ratings, such as limiting oxygen index (LOI)~19.0 and combustion temperature (360~425°C). Silica sols were prepared via sol-gel process. 6.72 mL (0.03 mol) of TEOS, 3.5 mL (0.06 mol) of ethanol, 2.16 mL (0.12 mol) of deionized water. The molar ratio of TEOS, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, and H<sub>2</sub>O was set as 1:2:4. Total solution of 208 ml was prepared with the stated ration, and 3 mL of HCl (0.01 M) and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> each was added to the beaker, and then the solution was stirred continuously for 4 hrs at room temperature until a transparent solution was obtained. Separate solutions of PVA (30%, 40% and 50%), EDTA 20%, were prepared (DI water based 20 ml) and stirred for 5 hr. The solutions were then mixed with the prepared sols (4 beakers) and designated as EDTA-4g, PVA-6g, PVA-8g, PVA-10g. Cotton samples were dipped in each EDTA and PVA-based sols solutions for 4 hours. The obtained coated samples were then characterized using LV-SEM, FTIR, and EDS analysis. To understand the thermal properties of the samples, MCC, TGA, and Flame test analysis were carried out. From the investigation, it appeared that concentration of PVA and EDTA has a significant effect on the thermal and microstructural properties of the samples.

**Keywords:** TGA, Fire retardant, Coatings, thermal, SEM, MCC