

# 산화주석 나노구조물의 성장에서 기판 온도의 효과

김미리<sup>1</sup>, 김기출<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>목원대학교 지능정보융합학과, <sup>2</sup>목원대학교 신소재화학공학과

## Effect of Temperature on Growth of Tin Oxide Nanostructures

Mee-Ree Kim<sup>1</sup>, Ki-Chul Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Intelligent Information Convergence, Mokwon University

<sup>2</sup>Department of Advanced Chemical Engineering, Mokwon University

**요약** 금속산화물 나노구조물은 고감도 가스센서 및 대용량의 리튬이온 전지와 같은 첨단 응용 분야에 활용될 수 있는 유망한 소재로 알려져 있다. 본 연구에서는 산화주석(SnO) 나노구조물을 두 영역 전기로 장치를 이용하여 다양한 온도에서 Si 웨이퍼 기판 위에 성장시켰다. 원료물질인 이산화주석(SnO<sub>2</sub>) 분말을 알루미나 도가니 속에 넣어서 1070 °C에서 기상화시켰으며, 이송가스인 고순도 Ar 가스를 1000 sccm으로 흘려주었다. SnO 나노구조물은 350 ~ 450 °C, 545 Pa 조건에서 30분 동안 Si 기판 위에 성장되었다. 성장된 SnO 나노구조물의 표면형상을 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM)과 원자힘 현미경(AFM)으로 조사하였다. 또한 성장된 SnO 나노구조물의 결정학적 특징을 Raman 분광학으로 조사하였다. 그 결과 성장된 산화주석은 SnO 상을 가지고 있었다. 기판의 온도가 증가함에 따라 성장된 SnO 나노구조물의 두께와 결정립의 크기도 424 °C까지는 증가하였다. 450 °C에서 성장된 SnO 나노구조물은 복잡한 다결정 형태의 표면형상을 나타내었지만, 350 ~ 424 °C 범위에서 성장된 SnO 나노구조물은 기판에 나란한 형태의 단순한 결정구조를 나타내었다.

**Abstract** Metal oxide nanostructures are promising materials for advanced applications, such as high sensitive gas sensors, and high capacitance lithium-ion batteries. In this study, tin oxide (SnO) nanostructures were grown on a Si wafer substrate using a two-zone horizontal furnace system for a various substrate temperatures. The raw material of tin dioxide (SnO<sub>2</sub>) powder was vaporized at 1070 °C in an alumina crucible. High purity Ar gas, as a carrier gas, was flown with a flow rate of 1000 standard cubic centimeters per minute. The SnO nanostructures were grown on a Si substrate at 350 ~ 450 °C under 545 Pa for 30 minutes. The surface morphology of the as-grown SnO nanostructures on Si substrate was characterized by field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and atomic force microscopy (AFM). Raman spectroscopy was used to confirm the phase of the as-grown SnO nanostructures. As the results, the as-grown tin oxide nanostructures exhibited a pure tin monoxide phase. As the substrate temperature was increased from 350 °C to 424 °C, the thickness and grain size of the SnO nanostructures were increased. The SnO nanostructures grown at 450 °C exhibited complex polycrystalline structures, whereas the SnO nanostructures grown at 350 °C to 424 °C exhibited simple grain structures parallel to the substrate.

**Keywords** : Morphology, Nanostructure, Temperature Effect, Tin Oxide, Vapor Transport Method

### 1. 서론

최근 미세먼지 및 지구온난화에 대한 우려를 바탕으로 다량의 지구온실가스와 각종 유해가스 및 미세입자를

배출하는 내연기관 기반의 자동차는 2030년 이후에는 유럽에서 신차등록이 규제받을 것으로 예상되고 있다. 반면에 환경 친화적인 수소전기자동차 및 전기자동차 (Electrical Vehicles, EVs), 하이브리드 전기자동차

\*Corresponding Author : Ki-Chul Kim(Mokwon Univ.)

Tel: +82-42-829-7489 email: kckim30@mokwon.ac.kr

Received January 28, 2019

Revised March 21, 2019

Accepted April 5, 2019

Published April 30, 2019

(Hybrid Electrical Vehicles, HEVs)의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 또한 지구상에 매장되어 있는 화석연료의 고갈이 예상되면서 이를 대체할 수 있는 신재생에너지원을 개발하기 위해 많은 노력을 집중하고 있다. 하지만 대표적인 신재생에너지원인 풍력발전 및 태양광 발전의 경우, 바람이 불지 않거나 야간과 같이 전력이 생산되지 않는 시간에도 안정적으로 전력을 공급하기 위해서는 대규모로 전기에너지를 저장했다가 전력망에 전기에너지를 공급할 수 있는 대규모 에너지 저장 시스템(Energy Storage System, ESS)이 구비되어 있어야 한다. HEVs, EVs 및 ESS의 개발에서 핵심적인 사항은 대용량, 장수명, 높은 안정성, 경량화, 저가격화 등이 가능한 이차전지의 개발이다[1]. 이러한 기술적인 목표를 달성하기 위해 다양한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 특히 나노소재를 이용하여 대용량의 이차전지를 개발하고자하는 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-6].

나노소재는 벌크(bulk) 소재와 비교하여 높은 표면적을 가지고 있기 때문에 고감도의 가스센서 및 바이오센서, 또는 높은 에너지 저장 밀도를 갖는 이차전지의 전극소재로 활용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 리튬이온 전지(Lithium-Ion Batteries, LIBs)는 1991년 일본의 SONY사에서 개발된 이후 스마트폰, 노트북 등의 모바일 전자장치에 사용되고 있으며, HEVs, EVs에도 사용되고 있다[2]. 하지만 상용 LIBs의 음극소재(anode material)로 사용되고 있는 흑연(graphite)은 이론적 전기용량(theoretical capacitance)이 372 mAh/g으로 낮은 한계점을 가지고 있다. 따라서 상용 LIBs의 흑연을 대체할 수 있는 대용량, 빠른 충방전 속도, 장수명, 저가의 특성을 갖고 있는 음극소재를 개발하고자하는 노력이 다양하게 진행되고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 높은 이론적 전기용량을 갖는 것으로 알려진 SnO<sub>2</sub>,

Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MnO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>, CuO와 같은 물질들이 활발하게 연구되어지고 있다[1-8]. 특히 산화주석은 낮은 가격과 환경 친화적이며 낮은 작동 전압을 가지고 있어서 유망한 후보로 연구되고 있다[9]. 벌크 이산화주석의 경우 상용 흑연보다 2배 높은 783 mAh/g의 이론적 전기용량 특성을 갖고 있고[10], SnO는 SnO<sub>2</sub>보다 높은 875 mAh/g의 이론적 전기용량 특성을 갖는다. 특히 SnO<sub>2</sub>는 화학적으로 구조가 안정적인 특징을 가지고 있어서 LIBs 음극소재로 활용하고자하는 연구가 많이 진행되었다. 하지만 SnO는 SnO<sub>2</sub>와 비교하면 LIBs 음극소재와 관련된 연구가 아직 많이 이루어지지 않았다.

금속산화물 반도체 물질의 경우, 결정학적 특성이 소재의 물리적인 성질에 직접적으로 영향을 미친다. 특히 나노구조를 갖는 금속산화물 반도체의 경우, 나노소재의 모양과 크기가 물리적/화학적 성질에 중요한 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 흑연보다 2.4배나 높은 이론적 전기용량을 갖고 있어서 LIBs 음극소재로 사용될 수 있는 나노구조를 갖는 SnO의 합성에 관하여 연구하였다. 특히 기상수송방법(vapor transport method)에서 기판의 온도가 SnO 나노구조의 성장에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 이를 위해서 열화학기상증착(Thermal CVD, Thermal Chemical Vapor Deposition) 장비를 이용하여 기판의 온도를 독립적으로 제어하면서 기상수송 방법으로 SiO<sub>2</sub>(100 nm)/Si 기판 위에 SnO 나노구조물을 합성하였고, 합성된 SnO 나노구조물의 형상학적 특성 및 결정학적 특성을 FE-SEM, AFM 및 Raman 분광학으로 조사하였다.

## 2. 실험방법

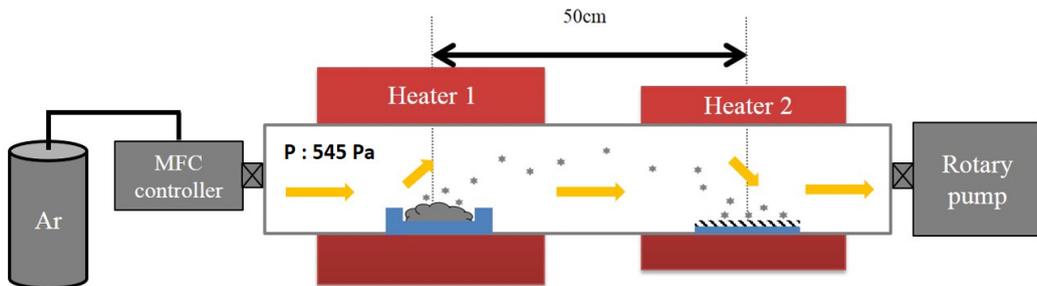


Fig. 1. Schematic diagram of the SnO nanostructures growth by vapor transport method

산화주석 나노구조물의 성장에서 기판 온도의 효과를 조사하기 위하여 Fig. 1에 나타낸 것과 같은 Two-Zone Thermal CVD 시스템을 사용하여 SnO 나노구조물을 합성하였다. 실험에 사용된 Thermal CVD 시스템은 2인치의 외경을 갖는 석영관(quartz tube)으로 챔버(chamber)가 이루어져 있으며, 챔버의 오염을 방지하기 위하여 44 cm의 지름을 갖는 inner quartz tube가 구비되어있다. 또한 파우더(powder) 형태인 원료 물질을 기상화(vaporization) 시키는 히터(heater) 1과 기판의 온도를 독립적으로 제어할 수 있는 히터 2의 거리를 조절할 수 있으며, 본 연구에서는 히터1과 히터2의 간격은 50 cm이었다. SnO 나노구조물을 합성하기 위한 소스(source)는 SnO<sub>2</sub> 파우더(99.9% trace metals basis, Sigma Aldrich)를 사용하였다. 소스 물질을 알루미늄 도가니(alumina crucible) 안에 담아 석영관 안에 넣고 히터1의 중심부에 위치시켰다. SnO 나노구조물을 성장시키는 기판은 1 cm × 1 cm 크기의 SiO<sub>2</sub>(100 nm)/Si 웨이퍼(wafer) 조각을 사용하였고, 기판은 아세톤, 에탄올, 탈이온수 속에서 각각 5분씩 초음파 세척한 후, 고순도 질소 gun으로 건조시켰다. 기판을 quartz plate 위에 정렬시킨 뒤 일정한 온도로 제어되는 히터2의 중심에 위치시켰다. SnO 나노구조물 성장실험을 진행하기 전에 rotary pump를 이용하여 챔버 내부의 진공도를  $6.7 \times 10^{-2}$  Pa 이하로 유지시켰으며, 고순도 Ar 가스(99.999%)를 이용하여 3차례 purging 절차를 수행하였다. SnO 나노구조물의 성장실험은 MFC(Mass Flow Controller)를 이용하여 고순도의 이송가스(transport gas) Ar을 1000 sccm(Standard Cubic Centimeters per Minute)으로 흘려주는 상태에서 히터1과 히터2를 각각 1시간동안 1070 °C 및 정해진 온도(350 °C, 400 °C, 424 °C, 450 °C)로 가열하였고, 설정온도에 도달한 다음 30분 동안 동일한 온도상태를 유지하여 기판 위에 SnO 나노구조물이 성장되도록 하였다. 이때 챔버의 압력은 gate valve를 조절하여 545 Pa이 되도록 하였고, CVD 챔버의 압력은 전기용량형 압력계(capacitance manometer)로 측정하였다.

Si 기판 위에 성장된 SnO 나노구조물의 표면형상은 전계방출형 주사전자현미경 (FE-SEM, JEOL JSM-6500F)을 이용하여 분석하였고, SnO 나노구조물의 표면적비 및 표면형상은 AFM(Park System, XE-100)을 이용하여 분석하였다. 또한 성장된 SnO 나노구조물의 결정학적 특성은 Raman 분광기(NOST,

FEX)로 분석하였다.

### 3. 실험결과 및 논의

산화주석 나노구조물을 성장시키는 모든 조건은 동일한 상태에서 오직 기판의 온도만 350 °C, 400 °C, 424 °C, 450 °C로 다르게 독립적으로 히터2를 제어하여 기판 온도에 따른 SnO 나노구조물의 성장형태를 조사하였다. 각각의 온도에서 성장된 SnO 나노구조물의 표면형상을 FE-SEM으로 분석하였고, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2 (a) ~ (c)에서 볼 수 있는 것처럼 온도가 증가하면서 SnO 나노구조물의 성장이 활발해졌다. 하지만 기판의 온도가 450 °C인 Fig. 2(d)에서는 전혀 다른 island 형태로 SnO 나노구조물이 성장되었다. Si 기판 위에 성장된 SnO 나노구조물의 두께를 확인하기 위하여 Cross-sectional SEM 분석을 실시한 결과, 기판의 온도가 증가하면서 SnO 나노구조물의 두께는 19 nm (350 °C), 25 nm (400 °C), 38 nm (424 °C)로 증가하였다. 하지만 기판의 온도가 450 °C인 경우에는 Fig. 2(d)에서 볼 수 있는 것처럼 Si 기판 위에 독특한 구조를 갖는 island SnO 나노구조물이 성장되었고, SnO 나노구조물의 높이는 약 180 nm이었다.

나노소재의 경우, 벌크 소재와 비교하여 높은 표면적을 갖기 때문에 고감도 가스센서 또는 높은 전기용량을 갖는 이차전지 전극소재로 응용되고 있다. 따라서 합성된 SnO 나노구조물의 표면적비를 분석하기 위하여 AFM 분석을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 기판의 온도를 변화시키면서 성장된 SnO 나노구조물의 표면형상은 FE-SEM 분석결과와 동일하게 분석되었다. Fig. 3(a) ~ (c)에서 볼 수 있는 것처럼, 기판의 온도가 350 °C, 400 °C, 424 °C로 증가하면서 SnO 나노구조물은 Si 기판 위에 균일하게 성장되었고, 표면거칠기는 조금씩 증가하였다. 하지만 기판의 온도가 450 °C인 Fig. 3(d)의 경우에는 Si 기판 위에서 island 형태로 독특한 형상의 SnO 나노구조물이 성장된 것을 확인할 수 있다. 기판의 온도에 따른 SnO 나노구조물의 표면적의 증가율을 AFM 분석으로부터 계산한 결과, 표면적의 증가율은 각각 0.7% (350 °C), 2.0% (400 °C), 1.4% (424 °C), 11.2% (450 °C)로 증가하였다.

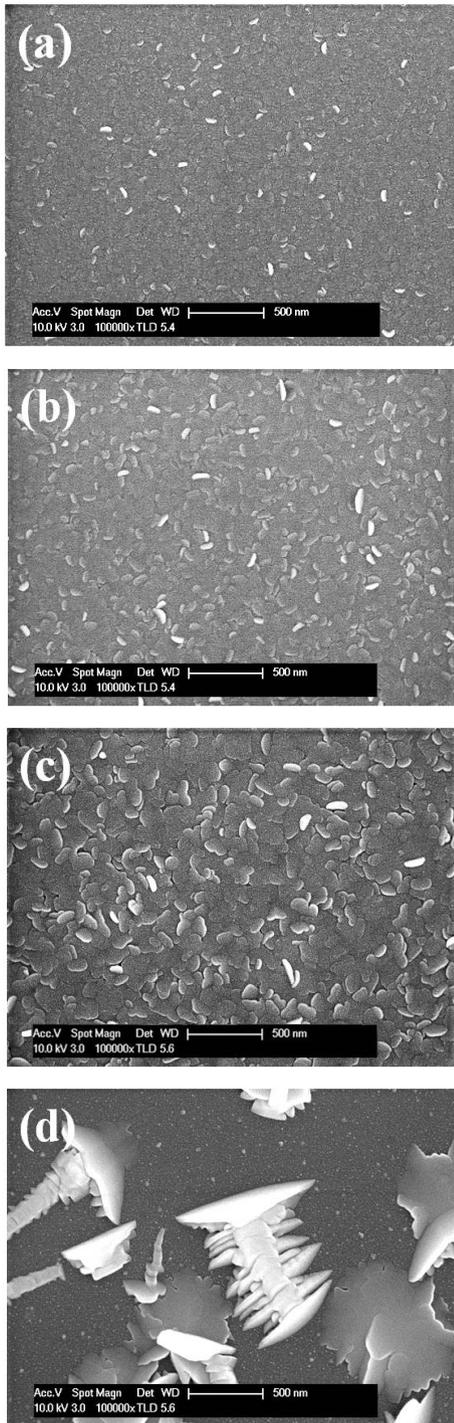


Fig. 2. FE-SEM images of as-grown SnO nanostructures on SiO<sub>2</sub>(100 nm)/Si substrates for various substrate temperature (a) 350 °C, b) 400 °C, c) 424 °C, and d) 450 °C). The magnification is 100,000 × for all images.

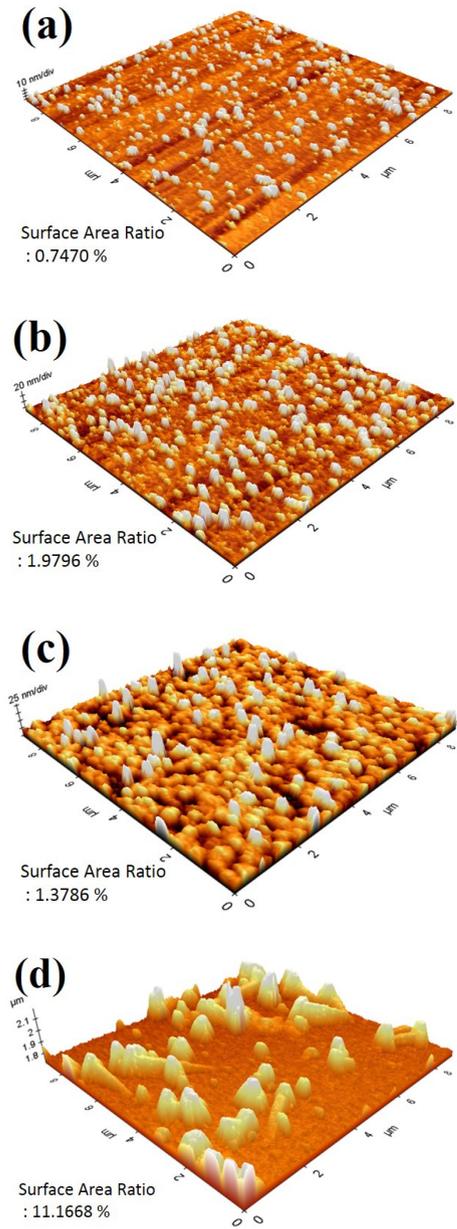


Fig. 3. AFM images of as-grown SnO nanostructures on SiO<sub>2</sub>(100 nm)/Si substrates for various substrate temperature (a) 350 °C, b) 400 °C, c) 424 °C, and d) 450 °C)

AFM 이미지로부터 계산된 표면적의 증가율은 아래와 같은 계산식을 이용하여 분석되었다.

$$R_{Surface}(\%) = \frac{A_{Surface} - A_{Geometric}}{A_{Geometric}} \times 100$$

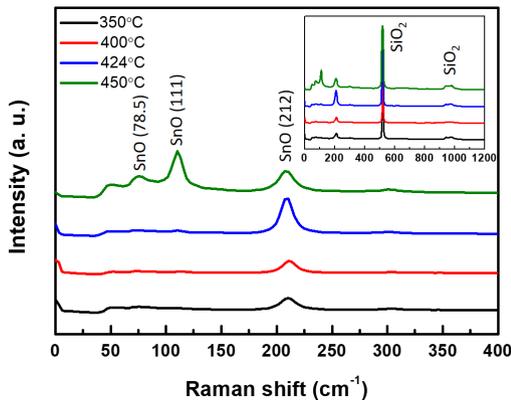


Fig. 4. Raman spectra of as-grown SnO nanostructures on SiO<sub>2</sub>(100 nm)/Si substrates for various substrate temperature 350 °C, 400 °C, 424 °C, and 450 °C. The upper inset is Raman spectra of full range characterization for as-grown SnO nanostructures and Si substrate

기상수송법으로 Si 기판의 온도만 350 °C, 400 °C, 424 °C, 450 °C로 각각 다르게 성장된 산화주석 나노구조물의 결정학적 특성을 분석하기 위하여 Raman 분석을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Raman 분광학에서 나타나는 산화주석과 관련된 peak는 SnO phase에서는 파수 212 cm<sup>-1</sup>, SnO<sub>2</sub> phase에서는 파수 301, 620 cm<sup>-1</sup> 부근에서 특성 peak가 관찰된다[11,12]. Fig. 4에서 볼 수 있는 것처럼, Si 기판 위에 성장된 산화주석 나노구조물은 모두 SnO phase임을 확인할 수 있다. 또한 기판의 온도가 350 °C, 400 °C, 424 °C로 증가할 때 파수 212 cm<sup>-1</sup>의 peak 강도가 증가하는 것은 FE-SEM 및 AFM 분석에서 확인한 것처럼, 온도가 증가하면서 SnO 나노구조물의 결정립 크기와 두께가 증가한 것과 관련이 있다. 하지만 기판의 온도가 450 °C인 경우에는 파수 212 cm<sup>-1</sup> 이외에도 파수 78.5, 111 cm<sup>-1</sup>에서 SnO phase의 특성 peak가 관찰되었다. J. Geurts 등의 보고에 따르면 일정한 결정 방향으로 배향된 박막에 대하여 Raman 산란 실험을 진행한 결과, 결정격자들의 방향에 따라 산란되는 전기장의 성분이 다르다. 즉 입사전기장에 평행한 산란전기장뿐만 아니라 입사전기장에 수직인 산란전기장에 의한 peak도 나타난다[13]. 따라서 A<sub>1g</sub> 피크는 입사전기장과 평행한 방향(xx, yy)으로 산란이 일어나는 반면, B<sub>1g</sub>는 입사전기장과 평행하지 않은 방향(xx, -yy)으로 산란이 일어나는 것이다. FE-SEM 분석결과에서 볼 수 있는 것처럼 기판온도 450 °C에서는

여러 가지 결정립이 독특한 모양으로 성장되었기에 결정립의 배향에 따라서 각각 다른 SnO phase 특성 peak가 관찰되는 것으로 추론할 수 있다.

이상의 분석결과를 바탕으로 기판의 온도에 따른 SnO 나노구조물의 성장양상을 검토하면, 기판의 온도가 증가할수록 성장되는 SnO의 결정립의 크기가 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 기판의 온도가 충분히 높으면 (450 °C) 형성된 결정립이 지속적으로 성장하고, 여러 형태의 결정립이 독립적으로 성장하지만, 기판의 온도가 낮아지면 기판에 나란한 형태의 작은 결정립들이 다수 형성되는 것으로 추론할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 Two-Zone Thermal CVD 시스템을 이용하여 기판의 온도를 독립적으로 제어하면서 산화주석 나노구조물을 Si 기판 위에 성장시키는 연구를 수행하였고, 기판의 온도에 따른 산화주석 나노구조물의 형상학적 특성과 결정학적 특성을 FE-SEM, AFM, Raman 분광학으로 분석한 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 기상수송법으로 Si 기판 위에 성장된 산화주석 나노구조물은 기판의 온도와 무관하게 모두 SnO phase를 갖는 것으로 확인되었다.

둘째, 기판의 온도가 350 °C, 400 °C, 424 °C로 증가함에 따라 SnO 나노구조물의 결정립의 크기와 두께가 증가하였다. 하지만 SnO 나노구조물의 결정배향은 모두 동일하였다.

셋째, 기판의 온도가 450 °C인 경우에는 SnO 나노구조물은 결정배향이 각각 다른 island 형태의 독특한 SnO 나노구조물로 성장되었다.

기판의 온도에 따라 각각 다른 형상을 갖는 SnO 나노구조물의 성장에 관한 본 연구는 높은 표면적비 특성을 필요로 하는 응용연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 특히 기판의 온도가 450 °C인 경우에는 독특한 형상학적 특성뿐만 아니라 표면적비가 크게 증가하므로 LIBs 전극소재로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 다차원적인 SnO 나노구조물이 그래핀과 같은 탄소구조물 위에 직접 성장된다면, 독특한 형상의 SnO 나노구조물간에 network이 형성되고, 독특한 구조로 인하여 LIBs의 수명이 증가하는 효과가 나타날 것으로 기대된다.

## References

- [1] D. Su, D. Zhou, C. Wang, G. Wang, "Toward high performance lithium-sulfur batteries based on  $\text{Li}_2\text{S}$  cathodes and beyond: status, challenges, and perspectives", *Advanced Functional Materials*, Vol. 28, pp. 1800154-1800177, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.201800154>
- [2] K. Chayambuka, G. Mulder, D. L. Danilov, P. H. L. Notten, "Sodium-ion battery materials and electrochemical properties reviewed", *Advanced Energy Materials*, Vol. 8, pp. 1800079-1800128, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/aenm.201800079>
- [3] A. Chen, W. Liu, H. Hu, T. Chen, B. Ling, K. Liu, "Three-dimensional  $\text{TiO}_2$ -B nanotubes/carbon nanotubes intertwined network as sulfur hosts for high performance lithium-sulfur batteries", *Journal of Power Sources*, Vol. 400, pp. 23-30, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.08.004>
- [4] Y. Shia, D. Yanga, R. Yu, Y. Liu, S. M. Hao, S. Zhang, J. Qu, Z. Z. Yu, "Robust binder-free anodes assembled with ultralong mischcrystal  $\text{TiO}_2$  nanowires and reduced graphene oxide for high-rate and long cycle life lithium-ion storage", *Journal of Power Sources*, Vol. 383, pp. 115-123, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.02.046>
- [5] W. Yang, W. Yang, L. Kong, A. Song, X. Qin, G. Shao, "Phosphorus-doped 3D hierarchical porous carbon for high-performance supercapacitors: A balanced strategy for pore structure and chemical composition", *Carbon*, Vol. 127, pp. 557-567, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.11.050>
- [6] Y. Deng, C. Fang, G. Chen, "The developments of  $\text{SnO}_2$ /graphene nanocomposites as anode materials for high performance lithium ion batteries: A review", *Journal of Power Sources*, Vol. 304, pp. 81-101, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.11.017>
- [7] T. Gao, K. Huang, X. Qi, H. Li, L. Yang, J. Zhong, "Free-standing  $\text{SnO}_2$  nanoparticles@graphene hybrid paper for advanced lithium-ion batteries", *Ceramics Inter*, Vol. 40, pp. 6891-6897, 2014.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.12.009>
- [8] Y. Yang, X. Zhao, H-E. Wang, M. Li, C. Hao, M. Ji, S. Ren, G. Cao, "Phosphorized  $\text{SnO}_2$ /graphene heterostructures for highly reversible lithium-ion storage with enhanced pseudocapacitance", *Journal of Materials Chemistry A*, Vol. 6, pp. 3479-3487, 2018.  
DOI: <http://doi.org/10.1039/c7ta10435a>
- [9] Z-S. Wu, G. Zhou, L-C. Yin, W. Ren, F. Li, H-M. Cheng, "Graphene/metal oxide composite electrode materials for energy storage", *Nano Energy*, Vol. 1, pp. 107-131, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2011.11.001>
- [10] X. Zhou, L-J. Wan, Y-G. Guo, "Binding  $\text{SnO}_2$  nanocrystals in nitrogen doped graphene sheets as anode materials for lithium ion batteries", *Advanced Materials*, Vol. 25, pp. 2152-2157, 2013.  
DOI: <http://doi.org/10.1002/adma.201300071>
- [11] A. K. Sinha, P. K. Manna, M. Pradhan, C. Mondal, S. M. Yusuf T. Pal, "Tin oxide with a p-n heterojunction ensures both UV and visible light photocatalytic activity", *Royal Society of Chemistry Advances*, Vol. 4, pp. 208-211, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/c3ra42740d>
- [12] H. Wang, S. Kalytchuk, H. Yang, L. He, C. Hu, W. Y. Teohc, A. L. Rogach, "Hierarchical growth of  $\text{SnO}_2$  nanostructured films on FTO substrates: structural defects induced by Sn(II) self-doping and their effects on optical and photoelectrochemical properties", *Nanoscale*, Vol. 6, pp. 6084-6091, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/c4nr00672k>
- [13] J. Geurts, S. Rau, W. Richter, F. J. Schmitte, "SnO films and their oxidation to  $\text{SnO}_2$ : Raman scattering, IR reflectivity and X-ray diffraction", *Thin Solid Films*, Vol. 121, pp. 217-225, 1984.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(84\)90303-1](https://doi.org/10.1016/0040-6090(84)90303-1)

### 김미리(Mee-Ree Kim)

[정회원]



- 2016년 2월 : 목원대학교 신소재화학공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 충남대학교 신소재공학과 (공학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 지능정보융합학과 (박사 과정)

<관심분야>

에너지관련 소재, 가능성 소재, 그래핀, 가스센서

### 김기출(Ki-Chul Kim)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 아주대학교 물리학과 (이학사)
- 1996년 2월 : 아주대학교 물리학과 (이학석사)
- 2002년 2월 : 아주대학교 물리학과 (이학박사)
- 2002년 4월 ~ 2006년 3월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 신소재화학공학과 교수

<관심분야>

에너지 저장소재, 가스센서, 에너지 하베스팅 소재