

화학적으로 합성된 그래핀 나노시트에서의 이산화주석 나노구조물의 성장

김종일, 김기출*
목원대학교 신소재화학공학과

Growth of Tin Dioxide Nanostructures on Chemically Synthesized Graphene Nanosheets

Jong-IL Kim, Ki-Chul Kim*
Department of Advanced Chemical Engineering, Mokwon University

요약 금속산화물/그래핀 복합체는 고감도 가스센서 및 고용량의 이차전지와 같은 첨단 응용 분야에 활용될 수 있는 유망한 기능성 소재로 알려져 있다. 본 연구에서는 이산화주석(SnO₂) 나노구조물을 두 영역 전기로 장치를 이용하여 화학적으로 합성된 그래핀 나노시트 위에 성장시켰다. 대면적의 그래핀 나노시트는 Cu foil 위에 열화학기상증착 장비를 이용하여 메탄가스와 수소가스로 합성하였다. 화학적으로 합성된 그래핀 나노시트는 PMMA를 이용하여 세척된 Si 기판 위에 전사시켰고, SnO₂ 나노구조물은 그래핀 나노시트 위에 424 °C, 3.1 Torr 조건에서 3시간동안 성장시켰다. 합성된 그래핀의 품질과 성장된 SnO₂ 나노구조물의 결정학적 특성을 Raman 분광학으로 확인하였다. 그래핀 위에서 성장된 SnO₂ 나노구조물의 표면형상은 전계방출 주사전자현미경으로 조사하였다. 그 결과 합성된 그래핀 나노시트는 이중층 그래핀이었고, 그래핀 위에서 성장된 산화주석은 SnO₂ 상을 가지고 있었다. 그래핀 위에서 성장된 SnO₂ 나노구조물은 복잡한 표면형상을 나타내었는데, 이것은 Si 기판 위에서 성장된 SnO₂ 나노구조물이 nano-dots 형태인 것과 비교된다. 그래핀 위에서 성장된 SnO₂ 나노구조물이 복잡한 형상을 갖는 것은 그래핀 표면의 기능기의 영향인 것으로 판단된다.

Abstract Metal oxide/graphene composites have been known as promising functional materials for advanced applications such as high sensitivity gas sensor, and high capacitive secondary battery. In this study, tin dioxide (SnO₂) nanostructures were grown on chemically synthesized graphene nanosheets using a two-zone horizontal furnace system. The large area graphene nanosheets were synthesized on Cu foil by thermal chemical vapor deposition system with the methane and hydrogen gas. Chemically synthesized graphene nanosheets were transferred on cleaned SiO₂(300 nm)/Si substrate using the PMMA. The SnO₂ nanostructures were grown on graphene nanosheets at 424 °C under 3.1 Torr for 3 hours. Raman spectroscopy was used to estimate the quality of as-synthesized graphene nanosheets and to confirm the phase of as-grown SnO₂ nanostructures. The surface morphology of as-grown SnO₂ nanostructures on graphene nanosheets was characterized by field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM). As the results, the synthesized graphene nanosheets are bi-layers graphene nanosheets, and as-grown tin oxide nanostructures exhibit tin dioxide phase. The morphology of SnO₂ nanostructures on graphene nanosheets exhibits complex nanostructures, whereas the surface morphology of SnO₂ nanostructures on SiO₂(300 nm)/Si substrate exhibits simply nano-dots. The complex nanostructures of SnO₂ on graphene nanosheets are attributed to functional groups on graphene surface.

Keywords : Chemical Vapor Deposition, Graphene, Nanostructure, Tin Oxide, Vapor Transport Method

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

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

Received February 4, 2019

Revised February 21, 2019

Accepted May 3, 2019

Published May 31, 2019

1. 서론

스마트폰, 노트북과 같은 모바일 전자 장치의 사용이 보편화되면서 이차전지의 사용량은 급격히 증가했으며, 최근에는 하이브리드 전기자동차 및 순수 전기자동차가 널리 보급되면서 고용량, 장수명의 이차전지의 수요가 급격히 증가하고 있다. 따라서 현재 상용화 되어있는 리튬이온 이차전지의 성능을 뛰어넘는 차세대 이차전지의 개발이 시대적으로 요구되고 있으며, 다양한 기능성 소재에 대하여 그 가능성을 탐색하고 있다. 이산화주석(Tin Dioxide, SnO₂)은 벌크(Bulk) 상태에서 이론적 전기용량(Theoretical Capacitance) 값이 현재 상용화 되어 있는 흑연(Graphite)의 372 mA/g보다 2배 정도 큰 783 mA/g을 가지고 있고, 구동전압이 낮으며, 저가이면서 친환경적인 특성을 가지고 있어서 많은 주목을 받고 있는 차세대 이차전지의 양극소재(Anode Material)이다. 특히 SnO₂의 표면적이 클수록 비전기용량(Specific Capacitance)이 증가하므로 나노구조를 갖는 SnO₂ 소재를 합성하는 연구가 주목을 받고 있다.

그래핀(Graphene)은 탄소 원자들이 한 평면 내에서 육각형 격자 형태로 결합되어 있는 2차원 소재로서 높은 전기전도도 및 열전도도, 기계적 강도, 전자 이동도 특성을 가지고 있어서 다양한 전자소자에 활용이 기대되는 차세대 신소재이다. 맨체스터 대학의 Geim 교수 연구그룹에서 그래핀의 독특한 물성을 보고한 이후[1], 그래핀의 응용을 위하여 다양한 합성방법이 탐색되었다. 특히 화학기상증착(Chemical Vapor Deposition, CVD)법을 이용하여 대면적 그래핀 나노시트의 합성을 보고한 이후[2], 그래핀의 응용연구가 폭발적으로 증가하였다. 그래핀은 CVD법 외에도, 에피택셜(Epitaxial) 합성법[3], 산화-환원법[4] 등으로 합성할 수 있다. 그래핀은 단

독으로 사용될 때보다 다른 소재들과 복합체(Composite)를 이룰 때 탁월한 특성을 보인다. 특히, 나노구조의 금속 산화물과 그래핀 나노시트의 복합체는 전자 기부(Electron Donation) 효과로 인하여 전기적 특성이 향상되어 리튬이온 전지의 비전기용량이 향상되고[5], 가스 센서의 감도가 향상되며[6], 광촉매 성능이 향상된다고 보고되고 있다[7]. 금속산화물/그래핀 복합체의 합성 및 특성에 대한 다양한 연구가 보고되고 있으며[8-11], 그래핀과 나노입자[9], 나노리본[10], 나노와이어[11] 복합체에 대한 다양한 형상제어(Morphology Control) 연구가 보고되고 있으나, 이러한 연구들은 산화-환원법을 이용하는 흑연으로부터 그래핀 나노시트를 얻는 용액 기반(Solution Base) 공정이 대부분이다. 용액기반 공정의 경우, 복합체 합성 후에 응용소자를 제작하기 위해서는 첨가제(Additive)나 바인더(Binder)를 사용해야하지만, CVD 공정의 경우 Shadow Mask를 이용하여 선택적 영역에 대한 나노소재의 성장이 가능하며[12], 형상 및 Stress/Strain 등을 제어할 수 있는 장점이 있고[13] 응용소자를 반도체 공정으로 직접 제작할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 CVD 공정을 이용하여 대면적의 그래핀 나노시트를 합성하고, 합성된 그래핀 나노시트를 실리콘 웨이퍼 기판(SiO₂(300nm)/Si) 위에 전사한 뒤, CVD 공정으로 그래핀 나노시트 위에 SnO₂ 나노구조물을 직접 성장시키는 연구를 수행하였다. CVD 공정으로 합성된 그래핀 나노시트의 품질 및 SnO₂ 나노소재의 물리적 특성을 Raman 분광학 및 전계방출 주사전자현미경으로 분석하였다.

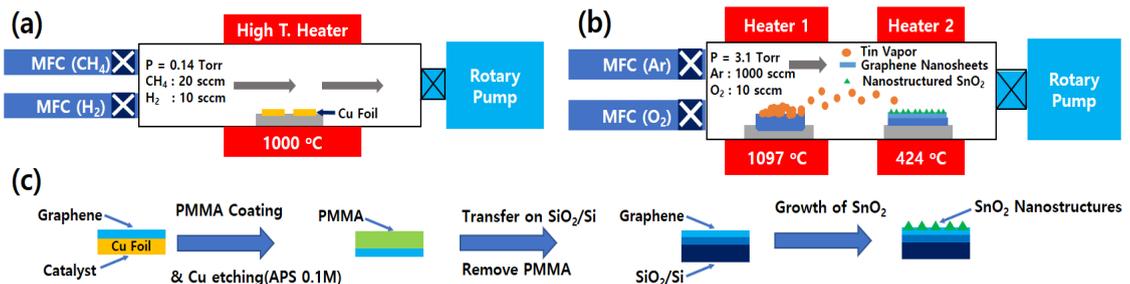


Fig. 1. Schematic diagram of (a) synthesis of graphene nanosheets by thermal CVD system, (b) growth of tin dioxide nanostructures on graphene nanosheets by two-zone thermal CVD system, and (c) procedure of direct growth of SnO₂ nanostructures on graphene nanosheets.

2. 실험방법

2.1 그래핀 나노시트의 합성

그래핀 나노시트의 합성은 Fig. 1(a)에 나타난 것과 같은 일반적인 열화학기상증착 장비를 이용하여 합성하였다. 그래핀 나노시트의 합성과정은 다음과 같다. 우선 촉매금속 Cu Foil (Alfa Aesar, 99.8%, #13382)을 1 cm × 1 cm의 크기로 자른 후에 아세톤, 알코올, 탈이온수(Deionized Water) 속에서 초음파 세척한 후 고순도 질소 Gun으로 건조하였다. 세척된 Cu Foil을 샘플 지지대인 퀴츠 플레이트(Quartz Plate) 위에 정렬시킨 후 CVD 내부에 넣어 히터의 중앙에 위치하도록 하였다. 그리고 Rotary Pump를 구동하여 10^{-4} Torr 이하의 진공도를 확보한 후에 수소 가스를 20 sccm (standard cubic centimeters per minute)으로 흘려주며 1시간 동안 1000 °C에 도달하도록 하였다. 이때의 CVD 챔버 (Chamber)의 압력은 5.9×10^{-2} Torr 이었다. 1000 °C 도달 후 그래핀 나노시트를 합성하기 이전에 Cu Foil의 표면 불순물을 제거하기 위하여 수소가스를 흘려주며 30 분간 열처리를 진행하였으며, 이후 메탄가스(CH_4)를 10 sccm으로 흘려주며 10분간 그래핀 나노시트를 합성하였다. 이때의 CVD 챔버의 압력은 0.14 Torr이다. 그래핀 합성 후, 히터의 위치를 기판 위치로부터 이동시켜서 기판의 온도가 빠르게 상온에 도달하도록 하였다. 합성된 그래핀 나노시트를 실리콘 기판 위에 전사하는 공정은 다음과 같다. 합성된 그래핀 위에 지지층으로 PMMA를 스핀 코팅(Spin Coating)하고, Cu Foil은 0.1 M의 APS(Ammonium Persulfate Solution)로 식각한 후, 아세톤, 에탄올, 탈이온수 속에서 각각 5분씩 초음파 세척된 SiO_2/Si 기판 위에 합성된 그래핀 나노시트를 전사하였다. PMMA를 제거하기 위하여 아세톤(99.9%, OCI Inc.) 용액 속에 그래핀 나노시트가 전사된 기판을 각각 5분, 30분씩 두 번 담가서 PMMA를 완전히 제거하였으며, 탈이온수로 충분히 헹구어 잔유물을 제거한 후 건조시켰다. 합성된 그래핀 나노시트의 품질은 Raman 분광기(NOST, FEX)를 이용하여 그 특성을 평가하였다.

2.2 이산화주석 나노구조물의 합성

이산화주석 나노구조물의 합성은 Fig. 1(b)에 나타난 것과 같은 Two-Zone thermal CVD 장비를 이용하였다. SnO_2 Powder(99.9%, Sigma Aldrich, #244651)를 Heater 1의 중앙에 위치시킨 후, Graphene/ SiO_2/Si

기판을 샘플 지지대인 Quartz Plate 위에 정렬시킨 뒤 Heater 2의 중앙에 놓았다. 고순도 Ar 가스를 이용하여 2차례 Purging 절차를 거쳤으며, Rotary Pump를 이용하여 10^{-4} Torr 이하의 진공도를 확보한 후, Ar 과 O_2 가스를 각각 1000 sccm, 10 sccm으로 흘려주며 1시간 동안 Heater 1의 온도를 1097 °C까지 올린 후 3시간동안 유지시켰다. 동시에 Heater 2의 온도를 424 °C까지 1시간 동안 올려주었으며, 3시간동안 유지시켜 SnO_2 나노구조를 성장시켰다. 이때 CVD 내부의 공정압력은 3.1 Torr를 유지시켰다[14].

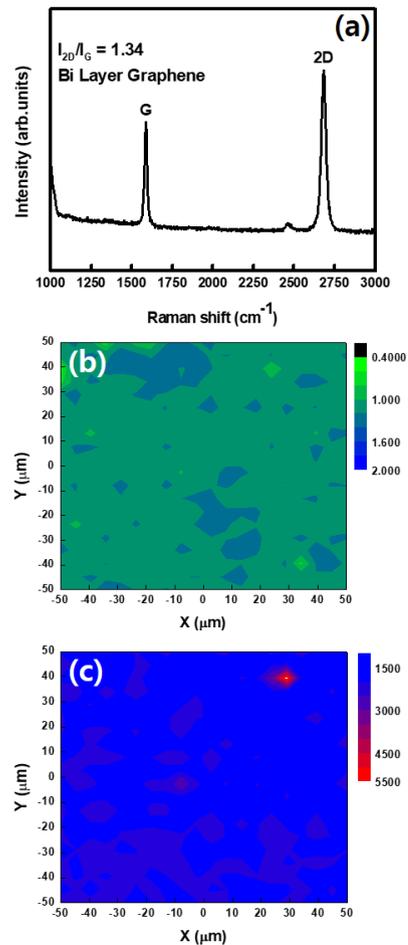


Fig. 2. (a) Raman spectrum, (b) and (c) Raman mapping images of as-synthesized graphene nanosheets before SnO_2 growth. (b) Raman mapping image of I_{2D}/I_G peak and (c) Raman mapping image of I_1 peak.

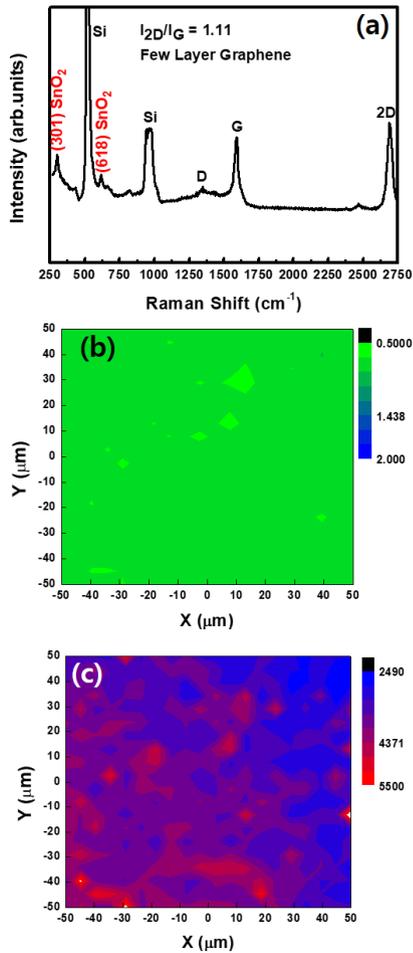


Fig. 3. (a) Raman spectrum, (b) and (c) Raman mapping image of as-grown SnO₂ nanostructures on graphene. (b) Raman mapping image of I_{2D}/I_G peak and (c) Raman mapping image of I_D peak.

3. 실험결과 및 고찰

SnO₂ 나노구조물 성장 전의 그래핀 나노시트의 특성을 Raman 분광기를 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 파수 1000 ~ 3000 cm⁻¹ 범위에서 분석한 Raman 스펙트럼이며 파수 1592, 2681 cm⁻¹ 근처에서 각각 G peak와 2D peak 이 강하게 나타났다. 두 피크의 비인 I_{2D}/I_G의 비는 1.34 값을 나타내어 합성된 그래핀 나노시트가 이중층 그래핀임을 알 수 있다[2]. 그래핀 표면의 구조적 결함을 의미하는 D peak는 확인할 수 없었다. 합성된 그래핀 나노시트

의 전체적인 품질을 확인하기 위하여 100 μm × 100 μm 영역에 대하여 Raman Mapping을 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 2 (b), (c)에 나타내었다. Fig. 2(b)에서 I_{2D}/I_G 값이 대부분 1.4인 것을 확인할 수 있으며, 이것은 Mapping 영역 전체가 이중층 그래핀으로 합성된 것을 의미한다. 일부 영역에서 I_{2D}/I_G 값이 1.6 이상으로 분석되어 단일층 그래핀이 합성된 것을 알 수 있다[2]. Fig. 2(c)에는 I_D의 Mapping 이미지를 나타냈는데, 전체적으로 D peak이 거의 존재하지 않지만, 매우 미소한 영역에서 D peak의 세기가 강하게 나타나 표면결함이 미소하게 있는 것을 확인할 수 있다.

SnO₂ 나노구조물 합성 후 Raman 분광학 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다. SnO₂/Graphene 나노구조물의 Raman 스펙트럼 분석결과, I_{2D}/I_G의 비가 1.11로 감소하였음을 확인할 수 있다. 또한, SnO₂ 나노구조물을 성장하기 전에는 확인할 수 없었던 D peak의 세기가 강해진 것을 Fig. 3(a)에서 확인할 수 있다. 또한 파수 301, 618 cm⁻¹ 근처에서 SnO₂ peak이 확인되어 SnO₂ 나노구조물이 성장했음을 확인할 수 있다. Fig. 3(b), (c)는 SnO₂ 나노구조물 성장 후의 Raman Mapping 결과이다. SnO₂ 나노구조물의 성장 전인 Fig. 2(b), (c)와 비교하였을 때, 전체적으로 구조적인 결함이 매우 많이 증가하였으며, I_{2D}/I_G의 비 또한 전체적으로 상당히 감소한 것을 확인할 수 있다. 이것은 그래핀 나노시트가 SnO₂ 성장과정 중에서 이중층 그래핀이 2~3층으로 재성장하였으며, 탄소원자가 이동하면서 그래핀 표면에 남아있는 것이 표면결함으로 분석된 것으로 판단된다. J. Huo 등은 저온에서 그래핀 나노시트를 합성한 결과를 보고하고 있는데[15], 본 실험에서 SnO₂를 성장한 온도가 424 °C 임을 고려하였을 때, 이러한 현상은 J. Huo 등의 연구결과와 부합되는 현상임을 알 수 있다.

합성된 SnO₂/Graphene 나노구조물의 형상학적 특성을 분석하기 위하여 SEM 분석을 하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 저배율로 분석한 Fig. 4(a)의 경우, 전체적으로 Dots & Particles의 형태로 SnO₂ 나노구조물이 성장한 것처럼 보인다. 하지만 고배율로 관찰된 Fig. 4(b), (c)에서는 복잡한 SnO₂ 나노구조물이 다른 영역보다 우선하여 성장한 것을 확인할 수 있다. 동일한 조건으로 Si 기판 위에 SnO₂ 나노구조물을 성장시킨 본 연구그룹의 선행연구결과 Fig. 4(d)와 비교하면 그래핀 나노시트 위에서와는 확연하게 다른 성장형태를 확인할 수 있다[14]. 이러한 SnO₂ 나노구조물의 성장형태는 그래핀 나노시트 위에 존재하는 hydroxyl (-OH), carboxyl

(-COOH), carbonyl (-C=O)과 같은 표면 기능기의 영향으로 SnO₂ 나노구조물이 우선성장한 효과인 것으로 판단된다[16].

4. 결론

본 연구에서는 대면적의 그래핀 나노시트를 Thermal CVD 장비를 이용하여 화학적으로 합성하였고, PMMA를 이용하여 합성된 그래핀 나노시트를 SiO₂(300nm)/Si 기판 위에 전사하였다. 또한 그래핀 나노시트를 기판으로 사용하여 그래핀 나노시트 위에 기상 수송법을 이용하여 424 °C에서 3시간동안 SnO₂ 나노구조물을 성장시켰으며, 연구결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, Thermal CVD 장비를 이용하여 화학적으로 합성된 그래핀 나노시트는 전체적으로 표면 결함이 거의 없는 이중층 그래핀 나노시트이었다.

둘째, SnO₂ 나노구조물의 성장 전과 성장 후의 그래핀 나노시트의 I_{2D}/I_G 비가 낮아지고, I_D의 세기가 강해짐을 확인할 수 있었는데, 이것은 SnO₂ 나노구조물의 성장 과정에서, 그래핀 나노시트에 남아있는 잔여 탄소 원자가 2~3층 그래핀 나노시트로 재성장 하였고, 그래핀 표면 영역에서 Defect가 증가한 것으로 판단된다.

셋째, 그래핀 나노시트 위에 직접 성장된 SnO₂ 나노구조물은 SiO₂/Si 기판 위에서는 dots의 형태로만 성장한 반면, Graphene/SiO₂/Si 기판 위에서는 그래핀 나노시트의 표면 기능기 위에서 SnO₂ 나노구조물이 우선 성장하여 복잡한 나노구조물을 형성한 것으로 판단된다.

이상에서 요약한 것과 같이 그래핀 나노시트 위에 합성된 형상제어 SnO₂ 나노구조물의 합성조건은 Graphene/SnO₂ Composite를 이용한 리튬이온 2차 전지 전극물질 및 고감도 가스센서의 감지물질로 적용하는 응용연구에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov, "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films", *Science*, Vol. 306, pp. 666-669, October, 2004. DOI:<https://dx.doi.org/10.1126/science.1102896>
- [2] K. S. Kim, Y. Zhao, H. Jang, S. Y. Lee, J. M. Kim, K. S. Kim, J. H. Ahn, P. Kim, J. Y. Choi, B. H. Hong, "Large scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes", *Nature*, Vol. 457, pp. 706-710, February, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1038/nature07719>
- [3] G. R. Yazdi, T. Iakimov, R. Yakimova, "Epitaxial Graphene On SiC : A Review of Growth and Characterization", *Crystals*, Vol. 6, pp. 53-97, May,

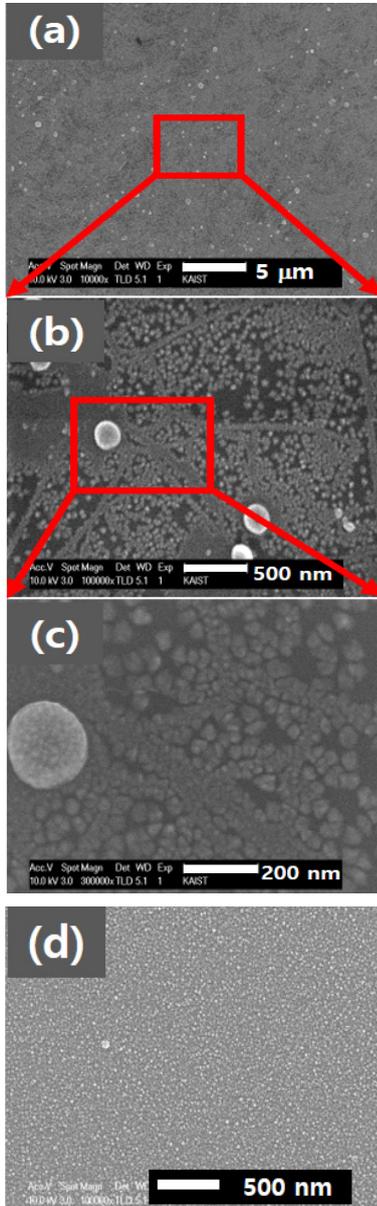


Fig. 4. FE-SEM images of as-grown SnO₂ nanostructures on (a) ~ (c) chemically synthesized graphene nanosheets and (d) SiO₂(300 nm)/Si substrate. The magnification is (a) 10,000x, (b) & (d) 100,000x and (c) 300,000x, respectively.

2016.
DOI:<https://dx.doi.org/10.3390/cryst6050053>
- [4] N. I. Zaaba, K. L. Foo, U. Hashim, S. J. Tan, W. W. Liu, C. H. Voon, "Synthesis of graphene oxide using modified Hummers method : solvent influence", *Procedia Engineering*, Vol. 184, pp. 469-477, April, 2017.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.118>
- [5] X. Wang, X. Zhou, K. Yao, J. Zhang, Z. Liu, "A SnO₂/graphene composite as a high stability electrode for lithium ion batteries", *Carbon*, Vol. 49, pp. 133-139, September, 2011.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2010.08.052>
- [6] H. J. Park, Y. S. Chung, S. H. Lee, E. J. Lee, H. S. Ahn, S. H. Kim, D. J. Kim, "SnO₂/graphene oxide composites on VOC gas sensing properties", *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 164, No. 13, pp. B690-B694, October, 2017.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1149/2.1381713jes>
- [7] Y. Xie, S. Yu, Y. Zhong, Q. Zhang, Q. Zhang, Y. Zhou, "SnO₂/graphene quantum dots composited photocatalyst for efficient nitric oxide oxidation under visible light", *Applied Surface Science*, Vol. 448, pp. 655-661, April, 2018.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.145>
- [8] S. G. Chatterjee, S. Chatterjee, A. K. Ray, A. K. Chakraborty, "Graphene-metal oxide nanohybrids for toxic gas sensor", *Sensors and Actuators B*, Vol. 221, pp. 1170-1181, December, 2015.
DOI:<http://dx.doi.org/10.1080/22243682.2013.771917>
- [9] A. Debataraaja, A. R. Muchtar, N. L. W. Septiani, B. Yulianto, Nugraha, B. Sunendar, "High performance carbon monoxide sensor based on nano composite of SnO₂-graphene", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 17, No. 24, pp. 8297-8305, December, 2017.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1109/jsen.2017.2764088>
- [10] L. Li, A. Kovalchuk, J. M. Tour, "SnO₂-reduced graphene oxide nanoribbons as anodes for lithium ion batteries with enhanced cycling stability", *Nano Research*, Vol. 7, No. 9, pp. 1319-1326, May, 2014.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1007/s12274-014-0496-x>
- [11] M. K. Singh, R. K. Pandey, R. Prakash, "High-performance photo detector based on hydrothermally grown SnO₂ nanowire/reduced graphene oxide (rGO) hybrid material", *Organic Electronics*, Vol. 50, pp. 359-366, August, 2017.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.orgel.2017.08.016>
- [12] H. Na, J. H. Park, J. H. Hwang, J. B. Kim, "Site-specific growth and density control of carbon nanotubes by direct deposition of catalytic nanoparticles generated by spark discharge", *Nanoscale Research Letters*, Vol. 8, October, 2013.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1186/1556-276X-8-409>
- [13] S. Y. Ma, X. H. Yang, X. L. Huang, A. M. Sun, H. S. Song, H. B. Zhu, "Effect of post-annealing treatment on the microstructure and optical properties of ZnO/PS nanocomposite films", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 566, pp. 9-15, March, 2013.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.02.179>
- [14] J-I. Kim, K-C. Kim, "The influence of oxygen gas flow rate on growth of tin dioxide nanostructures", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No.10, pp. 1-7, October, 2018.
DOI:<https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.1>
- [15] Z. Li, P. Wu, C. Wang, X. Fan, W. Zhang, X. Zhai, C. Zeng, Z. Li, J. Yang, J. Hou, "Low-temperature growth of graphene by chemical vapor deposition using solid and liquid carbon sources", *ACS Nano*, Vol. 5, No. 4, pp. 3385-3390, March, 2015.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1021/nn200854p>
- [16] S-A. Oh, K-C. Kim, "Growth of vanadium dioxide nanostructures on graphene nanosheets", *Thin Solid Films*, Vol. 676, pp. 151-156, 2019.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2019.01.014>

김 종 일(Jong-IL Kim)

[준회원]



- 2015년 3월 : 목원대학교 신소재 화학공학과 입학
- 2019년 2월 : 목원대학교 신소재 화학공학과 (공학사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 에너지과학과 (석박사 통합과정)

<관심분야>

가스센서, 에너지관련 소재, 기능성 소재, 그래핀

김 기 출(Ki-Chul Kim)

[중신회원]



- 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