Photoelectron Spectroscopic Imaging and Device Applications of Large-area Patternable Single-layer MoS_2 Synthesized by Chemical Vapor Deposition

박막 형태의 2-D 물질은 매우 얇고, 이로 인해 잘 휘어지며, 투명한 특성을 가지기 때문에 미래 전자 소재로 각광받고 있다. 최근 전이 금속 다이칼코게나이드(transition metal dichalcogenide) 중 MoS_2(molybdenum disulfide)가 연구되고 있다. MoS_2는 자체적으로 밴드갭을 가지며 단일층에서는 1.8 eV의 direct 밴드갭을 가지는 것이 특징이다.

2011년 단일층 MoS_2에 HfO_2 유전층을 적용하여 10^8의 On/Off 전류비를 가지는 FET(field effect transistor)의 연구 [Radisavljevic 외, Nature Nanotechnology **6**, 147-150 (2011)]가 보고되면서, MoS_2를 이용한 다양한 연구, 개발이 이루어지고 있다. 최근 박완서 박사과정(서울대학교)과 백재윤 박사, 신현준 교수(포항가속기연구소), 이탁희 교수(서울대학교)팀은 기존의 물리적 박리법이 가진 한계를 극복하기 위해 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition)을 이용하여 단일층 MoS_2의 대면적 성장에 성공하였다. [박완서 외 ACS Nano **8**, 4961-4968 (2014)]

연구진은 이렇게 성장된 박막에 대해 AFM, Raman spectroscopy와 같은 기본적인 물성 분석뿐만 아니라 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)를 이용하여 구성 성분 및 성분비를 분석해내는데 성공했다. 또한, SPEM(scanning photoelectron microscopy)를 통해 200 nm 분해능을 가진 XPS 분석으로 다른 성분이 섞여 있거나 균일하게 MoS_2가 분포되었는지 여부에 대해서도 성공적인 결과를 얻어내었다. 또한, MoS_2를 성장하는 단계부터 고열에 견딜 수 있는 마스크를 사용하여 원하는 부분에만 MoS_2 단일층이 형성될 수 있도록 하였다. 이러한 패턴에 동조된 전극 마스크를 사용하여 간단하고 쉽게 많은 소자를 만들 수 있었다. 이러한 간소화를 통해 식각 및 리소그래피 등의 공정을 하지 않게 될 뿐 아니라, 그 과정에서 생기는 오염을 미연에 방지할 수 있게 되었다.

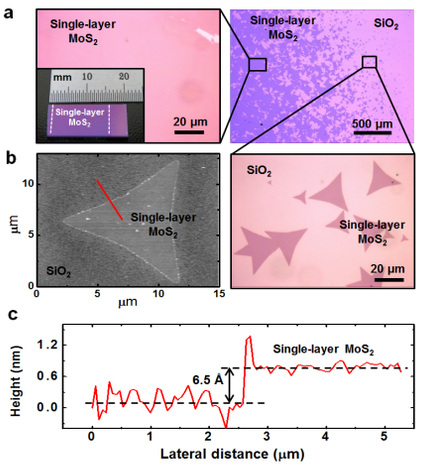

그림 1. (a) CVD를 이용하여 성장한 MoS_2의 광학 이미지 (b) AFM 이미지 (c) MoS_2의 단차데이터.

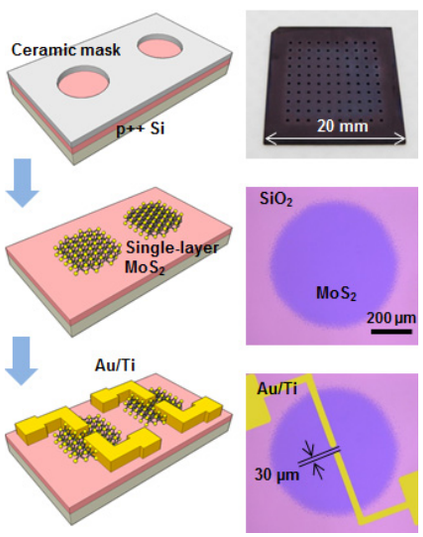

그림 2. 섀도우 마스크를 이용한 성장된 MoS_2를 이용한 FET 제작 공정도.

이러한 MoS_2 FET의 임계전압, 전하 이동도, On/Off 전류비와 같은 전기적 특성을 통계적으로 분석하였다 (그림 3).

본 연구에서는 단일층 MoS_2의 성장을 성공하였고, MoS_2에 대한 다양한 물성 분석을 통해 양질의 박막임을 확인하였고, 이를 기반으로 전자소자를 원하는 패턴으로 제작할 수 있음을 보였다. 이러한 연구 결과를 기반으로 성장 가능한 박막 반도체 물질의 물성 분석 및 활용을 위한 가능성을 제시하였다.

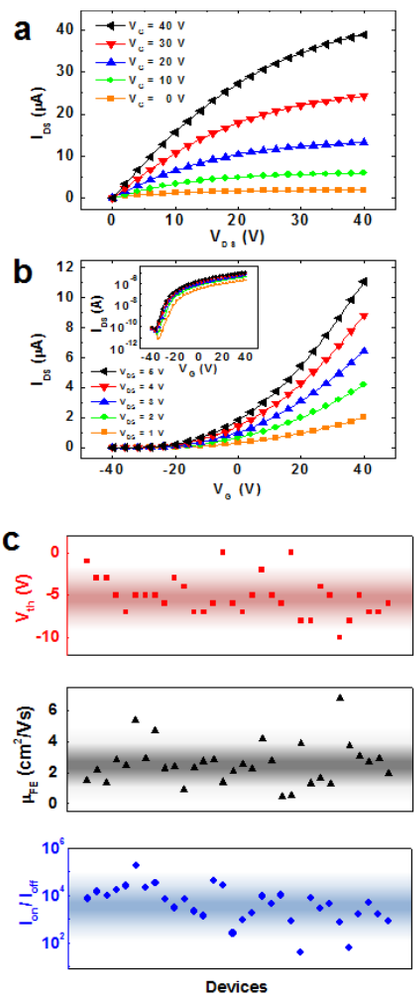

그림 3. (a) 서로 다른 게이트 전압에 따른 특성곡선 (b) 서로 다른 드레인 전압에 따른 전하 수송 곡선 (c) 임계전압, 전하 이동도, On/Off 전류비에 대한 통계 데이터.

박완서(서울대학교), 백재윤, 신현준(포항가속기연구소), 이탁희(서울대학교), ACS Nano **8**, 4961 (2014).