

# 화학기상증착(CVD) 공정을 이용한 초저유전 2차원 고분자의 합성

박종민 | 한국화학연구원 고기능고분자연구센터 (E-mail: jmp1208@kricr.re.kr)

저유전 고분자는 고집적화된 반도체 소자의 전력 소비 감소와 신호 간섭 최소화를 위해 필수적인 소재로, 효과적인 절연 성능을 위해 낮은 유전율과 소자 신뢰성을 위한 열적, 기계적 안정성이 요구된다. 본 연구에서는 화학기상증착(CVD) 공정을 통해 초저유전율( $k = 1.85@1 \text{ MHz}$ )과 우수한 기계적 성능을 갖는 대면적 저유전 2차원 고분자 박막을 형성하는 기술을 개발하였다. 또한, 개발된 2차원 고분자는  $\text{MoS}_2$  기반 FET 소자 성능의 효과적인 향상을 입증하였기 때문에 차세대 2D 고성능 전자소자의 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

**고** 성능 반도체 전자 소자의 집적도가 증가함에 따라 전자회로의 선폭이 감소하면서, 배선 저항과 정전 용량 지연이 증가하고, 이로 인해 신호 간섭이 심화되는 문제가 발생한다. 이러한 현상은 신호 전송 속도를 저하시킬 뿐만 아니라, 소자의 전력 소비를 증가시켜 발열 및 성능 저하를 유발하는 주요 원인이 된다. 이를 해결하기 위해서는 신호 간섭을 줄이고, 고주파 환경에서 안정적인 전기적 성능을 유지할 수 있는 고성능 저유전 절연층의 도입이 필수적이다. 또한, 소자 생산 과정에 열적·기계적·화학적 스트레스로 인해 발생하는 손상이나 균열 형성은 소자 수율 감소시키는 주요 원인 중 하나이다. 따라서, 강한 기계적 특성을 유지하면서 낮은 유전율을 만족할 수 있는 고분자 소재의 개발이 요구된다.

싱가포르 Nanyang Technological University의 Zheng Liu 및 미국 Rice University의 Jun Lou 공동 연구팀은 화학기상증착(chemical vapor deposition, CVD) 공정을 이용하여 대면적 저유전 2차원 고분자

박막을 형성 기술을 보고하였다. 연구팀에서 개발한 고분자는 불소(F)를 포함하는 작용기와 내부의 공극 구조에 의해 초저유전율( $k = 1.85@1 \text{ MHz}$ )과 높은 항복전압( $V_b = 300 \text{ kV/cm}$ )을 달성하여 우수한 전기적 성능을 보였다. 또한, 고분자의 가교 구조로 인해 11 nm 두께의 박막에서도 높은 기계적 강도 (영률 = 16.8 GPa, 파괴강도 = 1.0 GPa)를 나타내었다. 이러한 2차원 고분자를  $\text{MoS}_2$  기반 FET 소자에 적용한 결과, 표면 전하의 산란이 최소화되었으며, 전하 이동도 등의 전자적 특성이 향상되었다.

본 연구 결과는 낮은 유전율과 우수한 기계적 성능을 갖는 유기 소재를 CVD 증착법을 이용하여 균일하게 코팅할 수 있는 기술을 제시하였다. 따라서, 향후 2차원 고분자의 실용적 응용 가능성을 확장하고, 차세대 2D 고성능 전자 소자의 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 연구결과는 *Nature Communications*에 "High-performance 2D electronic devices enabled by strong and tough two-dimensional polymer with ultra-low dielectric constant"의 제목으로 2024년 12월에 게재되었다 (DOI: 10.1038/s41467-024-53935-6).

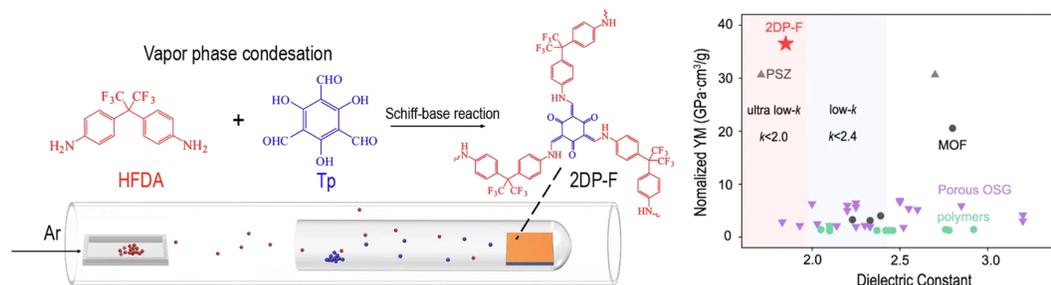


그림 1. (좌) 화학기상증착법(CVD)을 이용한 초저유전 2차원 고분자 합성의 모식도. (우) 저유전 고분자 소재들의 영률 및 탄성계수의 비교 그래프.