

GIST, 값비싼 질화갈륨(GaN) 반도체 '무한 복사' 시대 열어

- 이동선 교수팀, 금속유기화학 기상증착법 통한 질화갈륨 원격 호모 에피택시 구현
- GaN 반도체 무한 복사 가능 확인... 생산 단가 대폭 절감 및 전력반도체 시장 선점 기대



▲ (왼쪽부터) 전기전자컴퓨터공학부 이동선 교수, 곽희민 박사과정생

차세대 전력반도체로 주목받는 **질화갈륨(GaN) 반도체**를 **산업현장에서 복사하듯 생산**할 수 있는 길이 열렸다. **결정성이 높고 값비싼 질화갈륨(GaN) 반도체를 매우 저렴한 가격에 양산**할 수 있을 것으로 기대된다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 전기전자컴퓨터공학부 이동선 교수(반도체공학 과장) 연구팀이 금속유기화학 기상증착법*만으로 질화갈륨(GaN)* 반도체 원격 호모(homo)-에피택시* 기술을 개발했다고 밝혔다.

반도체 물질을 아주 잘 정렬된 형태의 박막으로 성장시키는 에피택시 기술은 반도체 제작에 필수적이다. 에피택시 기술을 응용한 GaN 원격 호모-에피택시는 GaN 웨이퍼 위에 2차원 물질*을 형성한 후, 웨이퍼와 동일한 품질의 GaN 반도체를 성장시켜 쉽게 떼어낼 수 있어 **하나의 GaN 웨이퍼로 질화갈륨 반도체를 복사하듯 계속 생산**할 수 있다.

특히 GaN 반도체는 고속 스위칭, 저손실 및 고효율을 특징으로 **차세대 전기차용 전력반도체 물질**로서 주목받고 있으며 산업계에서의 활용이 기대된다.

* 금속유기화학 기상증착(Metal-organic chemical vapor deposition, MOCVD): 금속유기화합물을 이용해 반도체 박막을 성장시키는 공정으로, 금속유기화합물 전구체가 증발해 기체 상태로 웨이퍼에 전달되고, 증착기 내에서 화학반응을 통해 고체로 변환되어 웨이퍼 위에 박막으로 성장된다.

* **질화갈륨(GaN):** 질화갈륨(GaN)은 기존 반도체 소재인 실리콘 대비 전력 효율성, 고온·고압에 대한 내구성이 뛰어나다. 또한 스위칭(전기 신호를 켜고 끄는 것) 속도가 빨라 위성, 방산 등의 산업에서 수요가 특히 강하다.

* **에피택시:** 반도체 제작에 이용되는 웨이퍼의 결정격자에 맞추어 그 위에 결정성을 갖도록 동일 물질 혹은 유사한 물질을 박막으로 기르는 기술. 물질에 따라서 각각의 원자의 크기와 원자 간의 간격이 서로 달라서 웨이퍼와 동일한 혹은 유사한 격자의 물질만 기르는 것이 가능하다.

* **성장(growth):** 반도체 용어로 웨이퍼 위에 결정성을 갖는 고품질의 얇은 박막층을 물리적, 화학적 방법을 통해 기르는 것을 의미한다.

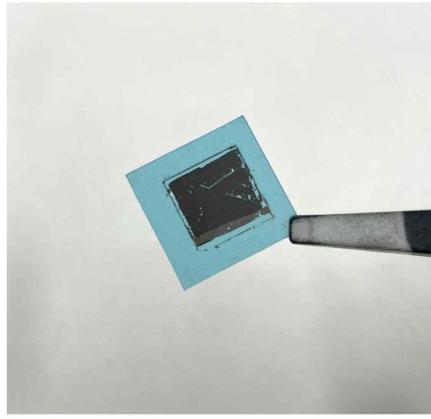
* **2차원 물질(Two-dimensional material):** 그래핀과 같이 원자단위 두께의 단일 구조막으로 형성된 물질

기존 에피택시는 기술적 한계로 인해 실제 활용되는 약 1 μ m(마이크로미터) 두께의 반도체 물질을 얻기 위해서 대략 1,000배인 1mm 두께의 웨이퍼가 사용됐다.

이에 2017년 MIT 김지환 교수 연구팀이 **분자 빔 에피택시법***을 활용하여 기존의 난관을 뛰어넘을 수 있는 **'원격 에피택시'** 기술을 제안해 크게 주목받았다.

* **분자 빔 에피택시(Molecular Beam Epitaxy, MBE):** 다양한 재료를 초고진공 상태에서 분자 형태로 쏘아 증착시킴으로써 원하는 물질을 기판 위에 적층시키는(성장시키는) 방법

김지환 교수팀이 제안한 **'원격 에피택시'** 기술은 웨이퍼 위에 그래핀처럼 매우 얇은 2차원 물질을 형성하고 그 위에 반도체 물질을 성장시키는 독특한 방식이다.



▲ **실험 개략도 및 니켈 스트레서를 통한 박리 후 샘플 이미지.** GaN 성장 전 웨이퍼 위에 형성한 2차원 물질의 안정성을 테스트한 후 GaN 성장을 진행하였음. 성장한 GaN 표면에 니켈을 증착하고 thermal release tape으로 박리를 진행하였음.

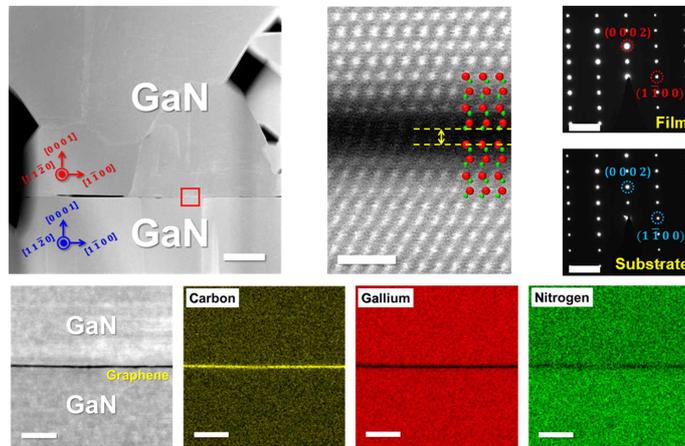
웨이퍼의 특성을 그대로 '복사'한 박막 형태의 고품질 반도체 물질을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 이를 웨이퍼에서 '박리(떼어냄)'까지 할 수 있어 이론적으로는 웨이퍼를 무한히 재사용할 수 있게 된다.

이 기술은 웨이퍼 표면의 전기적 특성이 그래핀 막을 투과하는 것을 이용한 원리로, 2차원 물질을 사이에 두고 **반도체 물질이 웨이퍼와 직접적으로 결합하지 않아서 반도체 물질만 박리할 수 있다.**

특히 LED 디스플레이나 전기차 충전장치 등에 널리 사용되는 GaN 반도체는 GaN 웨이퍼를 써야 효율이 가장 높으나 가격이 사파이어 웨이퍼보다 약 100배 비싸기 때문에 1,000분의 1 수준의 결정질 품질을 얻게 되는 사파이어 웨이퍼를 사용해 왔다. 이에 값비싼 GaN 웨이퍼를 재사용할 수 있는 원격 에피택시 기술이 크게 주목받고 있는 것이다.

지금까지는 분자 빔 에피택시법과 금속유기화학 기상증착법을 함께 사용해야만 GaN 원격 에피택시 기술 구현이 가능한 것으로 알려졌다. '금속유기화학 기상증착법'만 원격 호모-에피택시 기술에 적용할 경우, 고온 성장 조건에서 GaN 웨이퍼 표면이 분해되어 2차원 물질 삽입층이 손상되기 때문이다.

이에 대하여 이동선 교수팀은 산업계에서도 널리 활용하고 있는 '금속 유기화학 기상 증착' 방식만으로, 2차원 물질이 형성된 GaN 웨이퍼 위에 저온 GaN 완충 층을 성장함으로써 2차원 물질을 완벽히 덮어 보호하는 방식으로 GaN 반도체를 성장시켜 박리할 수 있는 GaN 원격 호모-에피택시 기술을 최초로 구현해 낸 것이다.



▲ 원격 호모-에피택시 여부를 확인하기 위한 정밀 분석. 투과전자현미경을 활용하여 GaN 웨이퍼와 그래핀, 성장한 GaN의 에피택시 관계를 원자 스케일로 확인하였으며 성장 이후에도 그래핀이 남아있음을 검증함.

이동선 교수는 "이번 연구는 그동안 불가능하다고 여겨졌던 'GaN 원격 호모-에피택시' 기술을 구현한 것으로, 아직은 초기 단계이지만 이 기술을 토대로 향후 디스플레이에 적용되는 마이크로 LED 및 차세대 GaN 전력 반도체 시장에서 기술을 선도할 수 있기를 기대한다"고 밝혔다.

이동선 교수가 지도하고 곽희민 박사과정생이 수행한 이번 연구는 한국에너지공과대학교 오상호 교수 연구팀의 협력과 과학기술정보통신부 한국연구재단의 나노·소재 기술개발 사업과 개인연구사업(중견연구)의 지원을 받았으며, 재료과학·화학 분야의 저명 국제학술지인 'ACS Applied Materials & Interfaces'에 2023년 12월 12일 온라인 게재됐다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : ACS Applied Materials & Interfaces (IF: 9.5, 2022년 기준)
- 논문명 : 2D-Material-Assisted GaN Growth on GaN Template by MOCVD and Its Exfoliation Strategy
- 저자 정보 : 곽희민 박사과정(제1저자, GIST), 김종일 석박통합과정(공동저자, 한국에너지공과대학교), 이제성 박사과정(공동저자, GIST), 김정운 박사과정(공동저자, GIST), 백재영 박사과정(공동저자, GIST), 최수영 박사과정(공동저자, GIST), 신선우 석사과정(공동저자, GIST), 김진수 박사과정(공동저자, GIST), 문승현 박사과정(공동저자, GIST), 김경필 박사(공동저자, GIST), 오상호 교수(공동저자, 한국에너지공과대학교), 이동선 교수(교신저자, GIST)