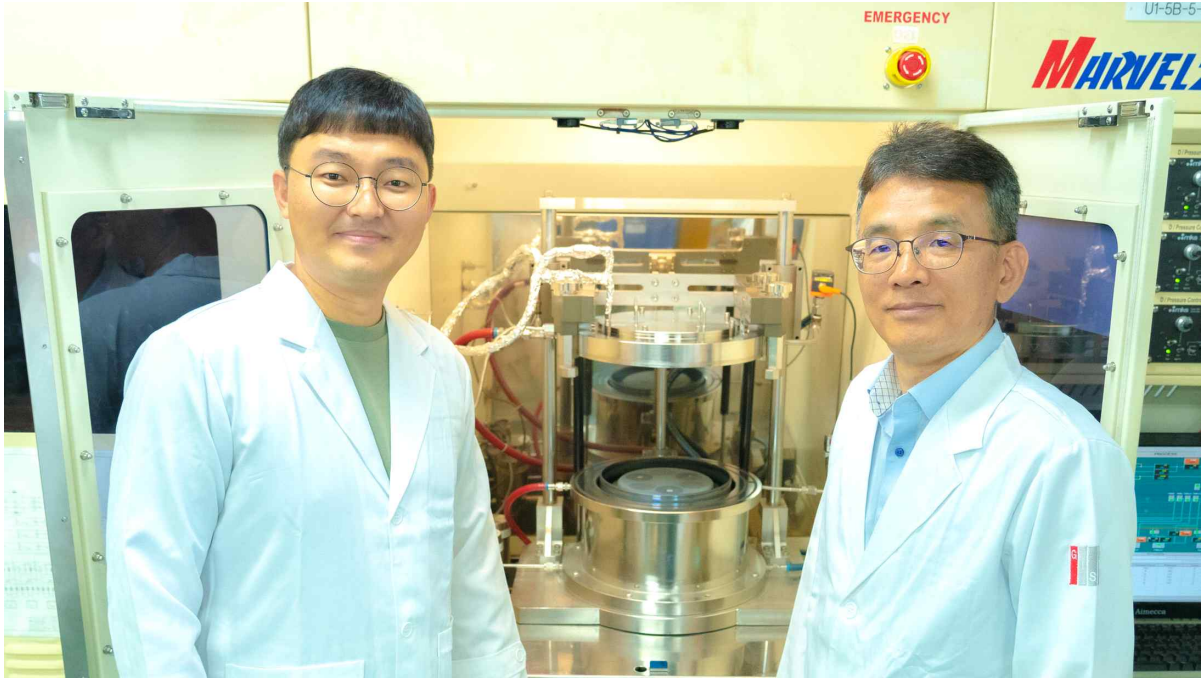


“반도체, 무한 복사하는 시대 온다”

지스트-MIT, ‘원격 에피택시’ 상용화 성큼

- 이동선 교수 공동연구팀, 질화갈륨 반도체 복사하듯 생산... 단가 대폭 절감 기대
- 웨이퍼와 반도체물질 사이 그래핀 막 삽입... 반도체물질만 떼어내고 웨이퍼는 재사용



▲ (왼쪽부터) 지스트 전기전자컴퓨터공학부 곽희민 박사과정생, 이동선 교수

지스트(광주과학기술원, 총장 임기철) 전기전자컴퓨터공학부 이동선 교수팀은 미국 매사추세츠공과대(이하 MIT)와의 공동연구를 통해 금속 유기화학 증착 방식만을 통한 ‘**질화갈륨* 원격 에피택시**’ 기술을 개발했다. 이 기술을 사용하면 웨이퍼 위에 질화갈륨 반도체를 성장**시킨 후 쉽게 떼어낼 수 있어 **하나의 웨이퍼로 반도체를 복사하듯 계속 생산**할 수 있다.

* **질화갈륨(GaN)**: 흔히 볼 수 있는 LED 제작에 사용되는 반도체 물질. 레이저, 트랜지스터 등으로도 이용되며, 최근 전기차에 필요한 질화갈륨 전력반도체로 크게 주목받고 있다.

** **성장(growth)**: 반도체 용어로서는 웨이퍼 위에 결정질의 얇은 박막층을 물리적, 화학적 방법을 통해 기르는 것을 의미한다.

반도체의 구조는 크게 웨이퍼와 반도체 물질로 이루어진다. 마치 건물을 세울 때 기초(웨이퍼) 위에 건물(반도체 물질)을 지을 수 있는 것처럼 고품질의 반도체 물질을 성장시키려면 실리콘, 실리콘카바이드, 사파이어 등으로 만든 웨이퍼가 필수적이다. 반도체 물질은 이 웨이퍼 위에 웨이퍼와 동일하거나 유사한 물질을 아주 잘 정렬된 형태의 박막으로 성장시키는 에피택시 기술로 만들어진다.

그러나 기존 에피택시 기술로는 약 1 μ m(마이크로미터) 두께의 반도체물질을 얻기 위해 대략 천 배인 1mm 두께의 웨이퍼가 함께 소요됐고, 실제 활용되는 반도체 물질만을 떼어내어 사용하는 것은 기술적으로나 비용적인 측면에서 매우 어려운 일이었다.

2017년 MIT 김지환 교수가 최초로 제안한 '원격 에피택시' 기술은 웨이퍼 위에 그래핀처럼 매우 얇은 2차원 물질을 올리고 그 위에 반도체물질을 성장시키는 독특한 기술이다. 웨이퍼의 특성을 그대로 '복사'한 박막 형태의 고품질 반도체 물질을 얻을 수 있을 뿐 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, 반도체 물질이 웨이퍼와 직접적으로 결합하지 않아서 반도체 물질만 박리할 수 있다. 마치 막대자석(웨이퍼) 위에 종이(그래핀 막)를 올리고 섯가루(반도체 물질)를 뿌리면, 막대자석에 직접 섯가루가 붙지 않고도 종이를 사이에 두고 양극에 모이는 현상과 비슷하다.

특히 LED 디스플레이나 전기차 충전장치에 널리 사용되는 질화갈륨 반도체는 질화갈륨 웨이퍼를 써야 가장 효율이 좋음에도 불구하고, 가격이 사파이어 웨이퍼보다 약 100배 비싸므로 결정성이 천 분의 일 수준에 불과한 사파이어 웨이퍼를 사용해 오던 실정이었다. 이에 값비싼 질화갈륨 웨이퍼를 재사용할 수 있는 원격 에피택시 기술에 큰 기대가 모이고 있었다.

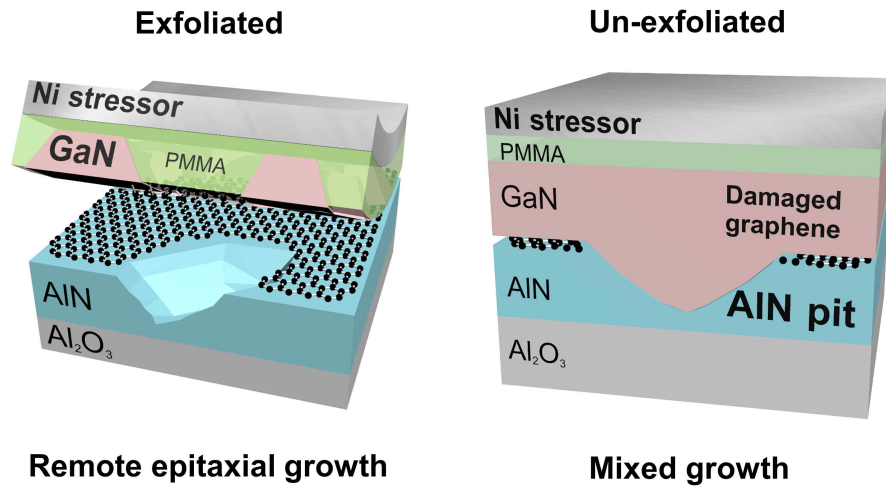
그러나 산업계에서 주로 이용하는 '금속 유기화학 기상증착*' 방식과 같은 고온 성장 조건에서 원격 에피택시 기술을 적용할 경우, 질화갈륨 웨이퍼 표면이 분해되어 그래핀 막이 손상되기 때문에 적용이 불가능할 것으로 판단되고 있었다.

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

연구진은 질화갈륨과 유사한 특성을 갖는 '질화알루미늄(AIN)' 웨이퍼를 도입함으로써 '금속 유기화학 기상증착' 방식만으로 질화갈륨 박막을 성장시키고 박리시키는 원격 에피택시 기술을 구현하는데 성공했다.

이번 연구로 원격 에피택시 기술을 통해 결정성이 높고 값비싼 질화갈륨 반도체를 산업현장에서 복사하듯 생산할 수 있는 길이 열렸다. 실제로 반도체 생산에 적용될 경우 고품질의 반도체물질을 매우 저렴한 가격에 양산할 수 있게 된다. 나아가 박막 형태로 성장된 반도체만을 떼어내 쓸 수 있으므로 여러 기능의 다양한 반도체를 같은 좁은 공간에 적층형으로 쌓을 수도 있게 되었다.

아울러 질화알루미늄 표면에 나노 크기의 흠집이 있을 경우 그래핀 막이 손상돼 질화갈륨 반도체를 웨이퍼에서 떼어낼 수 없다는 '박리 불가 메커니즘'도 규명했다.



[그림1] 원격 에피택시 성장과 믹스 성장 방법으로 길러진 질화 갈륨의 박리 여부 모식도. 원격 에피택시 성장 방법으로만 길러진 질화 갈륨의 경우 나노 핏(흠집)의 영향을 받지 않고 박리가 가능하나, 믹스 성장 방법으로 길러진 질화 갈륨은 나노 핏에 직접 결합되어있는 형태로 박리가 불가능하다.



[그림2] 원격 에피택시 방법으로 성장한 질화갈륨의 박리 이미지, 실제 사용한 AIN 템플릿 웨이퍼, 그리고 AIN 템플릿 웨이퍼의 5만 배로 확대한 전자현미경 이미지. 완벽한 원격 에피택시 기술이 적용된 샘플의 경우 니켈 스트레서를 통한 박리가 제대로 이루어짐. 실제 사용한 웨이퍼의 경우 눈으로는 매우 투명하고 매끄러워 보이는 웨이퍼지만 전자현미경을 통한 확대로 관찰할 때 나노 사이즈의 핏들이 존재하며 이는 원격 에피택시 기술을 적용하는 데 장애물로 작용하게 된다. (전자현미경 이미지의 빨간 테두리 영역이 실제로 원격 에피택시 과정 중 2차원 물질이 손상되는 영역이며, 나노 핏의 9배 영역에 해당됨)

이전까지는 원격 에피택시 기술을 모방해 반도체 물질을 '복사'만 하고 '박리' 여부를 밝히지 않은 연구가 종종 있었으나, 이번 연구로 원격 에피택시 기술에서는 '박리' 여부가 필수적인 조건이라는 점이 처음으로 명확히 제시됐다.

지스트 이동선 교수는 "이번 연구성과로 박리까지 가능한 '질화갈륨 원격 에피택시' 기술을 구현하는 방법과 필수 조건을 제시할 수 있었다"며 "MIT와의 지속적인 연구 교류를 통해 원격 에피택시 기술과 같은 반도체 초격차 기술을 개발하겠다"고 말했다.

이 교수는 2019년부터 MIT 김지환 교수와 공동연구를 지속하며 세계 시장을 선점할 차세대 반도체 기술 확보에 박차를 가하고 있다.

이 교수가 지도하고 곽희민 박사과정생이 MIT와 공동으로 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부 한국연구재단의 나노·소재기술개발 사업과 개인연구사업(중견연구)의 지원을 받았으며, 재료과학·화학 분야의 저명 국제학술지인 「ACS Nano」에 6월 6일 게재됐다.

용어 설명

1. 질화갈륨(GaN)

- 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 LED 제작에 널리 사용되는 반도체 물질. 레이저, 트랜지스터 등으로도 다양하게 이용되며, 최근에는 전기자동차에 필요한 질화갈륨 전력반도체로 크게 주목받고 있다.

2. 에피택시(Epitaxy)

- 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.

3. 원격 에피택시(Remote epitaxy)

- 웨이퍼와의 직접적인 결합 없이 얇은 막을 사이에 두고 원격으로 결정격자를 성장하는 독특한 기술. 웨이퍼 위에 얇은 막을 삽입함으로써 웨이퍼와 직접 결합을 이루지 않으면서도 웨이퍼 표면의 전기적 특성이 얇은 막을 투과하는 성질을 활용하여 결정성을 갖는 박막을 기를 수 있다.

4. 성장(growth)

- 반도체 용어로서는 웨이퍼 위에 결정질의 얇은 박막층을 물리적, 화학적 방법으로 기르는 것을 의미한다.

5. 금속유기화학 기상증착(Metal-organic chemical vapor deposition)

- 금속유기화합물을 이용해 반도체 박막을 성장시키는 공정으로, 금속유기화합물 전구체가 증발해 기체 상태로 웨이퍼에 전달되고, 증착기 내에서 화학반응을 통해 고체로 변환되어 웨이퍼 위에 박막으로 성장된다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명: ACS Nano, (Impact Factor: 18.027 / 2021년 기준)
- 논문명: Stability of Graphene and Influence of AlN Surface Pits on 질화갈륨 Remote Heteroepitaxy for Exfoliation
- 저자 정보: 곽희민 박사과정생(제1저자, 지스트), 이제성 박사과정생(공동저자, 지스트), 박보인 박사(공동저자, MIT), 백재영 박사과정생(공동저자, 지스트), 김정운 박사과정생(공동저자, 지스트), 정우림 박사(공동저자, 지스트), 김경필 박사(공동저자, 지스트), 문승현 박사과정생(공동저자, 지스트), 김현석 박사(공동저자, MIT), 김지환 교수(공동저자, MIT), 이동선 교수(교신저자, 지스트)