

“홍합 족사에 순간접착의 과학이!”

GIST, 나노입자 초고속 조립 기술 개발

10초 내 입자 조립 가능... 기존보다 1000배 빨라

- 정현호 교수팀, 홍합의 부착 메커니즘에서 영감을 받아 기존 방법보다 최대 1000배 빠른 속도로 나노입자를 표면에 고밀도로 조립
- 나노입자 용액 공정 조립 기술로 첨단 나노 소자의 대량생산 및 상용화 한계 극복... 재료 분야 저명 국제학술지 「Advanced Materials」 발표, 권두삽화 선정



▲ (앞줄 오른쪽부터 시계방향으로) 전기전자컴퓨터공학부 석박사통합과정 이주형 학생, 정현호 교수, 박사과정 김도은 학생, 석박사통합과정 마지영 학생, 석박사통합과정 김규린 학생, 한장환 박사후연구원, 석박사통합과정 김현민 학생

홍합은 물속 환경에서 ‘족사’라는 단백질을 방출하는데, 마치 털처럼 생긴 다리 모양의 ‘족사’는 홍합이 바위에 잘 붙어 있을 수 있도록 접착제 역할을 한다. 이때 단백질과 함께 분비된 지방산이 표면의 수산기*를 분리시켜 순식간에 물리적으로 접착될 수 있다.

국내 연구진이 홍합의 ‘족사’에서 영감을 받아 나노입자 초고속 정전기적 조립 기술을 개발하는 데 성공했다.

* 수산기: -OH로 표시되는 1가의 기로, 유기물인 경우 하이드록시기라고도 한다. 나노입자의 조립 속도를 느리게 만들어 문제를 발생시킨다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 전기전자컴퓨터공학부 정현호 교수 연구팀이 홍합의 수산기 분리 메커니즘에 착안해 나노입자의 조립 기술을 고안했다고 밝혔다.

기존의 나노입자 조립 기술은 추가적인 장비나 에너지가 필수적이며, 정전기력 기

만 조립 기술의 경우에도 전처리 및 시간 단위의 긴 공정시간이 필요해 **산업적인 대량 생산 및 상용화에 요구되는 속도(1- 20m/분)를 달성하는 데 한계가 있었다.**

연구팀은 양성자* 보조를 통해 **나노입자의 부착 속도를 향상시켰다.** 이번 연구 성과로 기존 대비 최대 1000배의 속도로 몇 초 내에 조립이 가능해져 그간 불가능으로 여겨졌던 **나노입자 기반 소자의 대량 생산 및 상용화가 가능할 것으로 기대된다.**

* 양성자(기호로 H⁺) : 수소 원자에서 전자를 잃은 양이온을 일컫는 말로, 물이 이온화되거나 분해될 때 생성된다. 물속에서 생성된 양성자의 농도는 pH를 조절하며, 물속에서 발생하는 화학반응에 영향을 줄 수 있다.

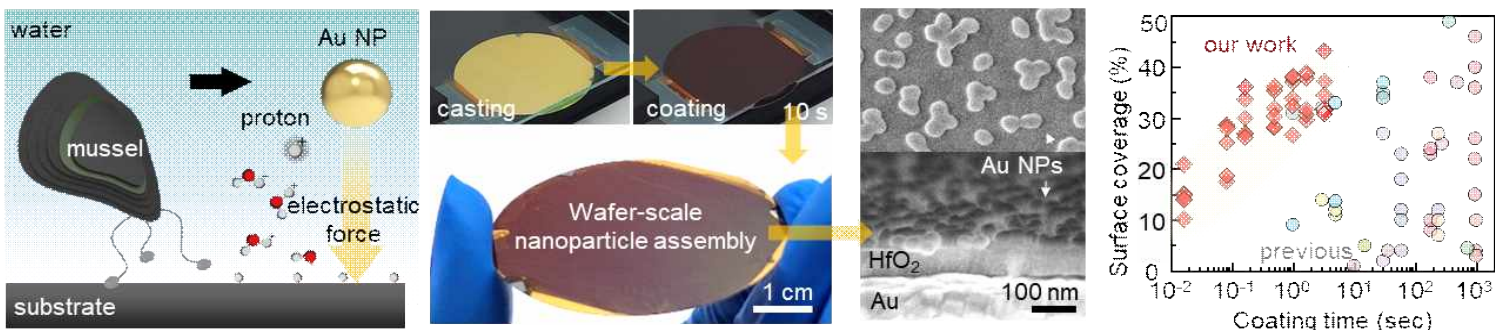
크기가 100nm 이하인 나노입자는 종전에 사용되던 고전적인 재료와 달리 새로운 성질을 나타낸다. 최근 이러한 나노입자를 실용화하기 위해 **원하는 크기, 모양, 성질을 조절하여 대량으로 생산할 수 있는 콜로이드* 기반 용액 공정이 개발되고 있으며, 다양한 분야에서 미래 기술 발전의 핵심 요소로서 주목받고 있다.**

그러나 이러한 엄청난 잠재력에도 불구하고 100nm 미만의 콜로이드 기능성 나노입자를 2인치 웨이퍼 기판 전면에 단 한 번의 코팅 방법으로 10초 안에 **신속하고 균일하게 전달하는 기술이 부족해 상용화의 어려움**이 있었다.

* 콜로이드(colloid): 혼합물의 일종으로, 1 나노미터에서 100 마이크로미터 사이의 크기를 갖는 입자들이 용매에 분산되어 떠다니는 상태를 일컫는다.

나노입자 조립 기술은 **나노입자와 대상 표면 간의 전기적 상호작용을 이용하여 나노입자를 표면에 효과적으로 배치하는 방법**이다. 이번 연구에서 가장 중요한 점은 **대부분의 물질이 물과 상호작용하여 표면에 생성하는 수산기를 제거하는 것이다.**

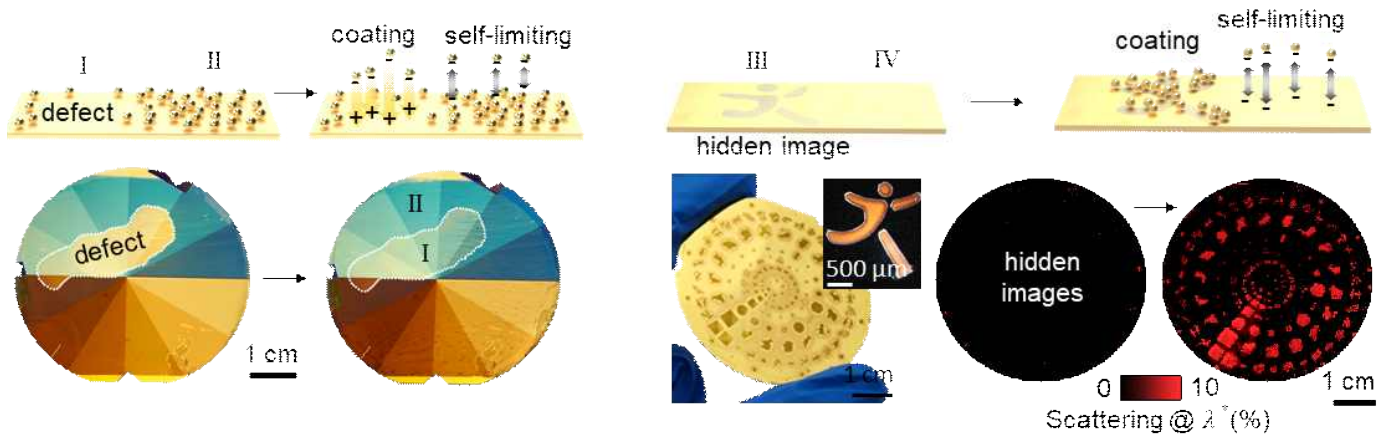
연구팀은 **양성자를 추가하여 수산기를 제거하고, 표면전위를 조정하여 나노입자 표면으로의 정전기적 인력을 강화했다.** 이 방법을 통해 10초 안에 웨이퍼 전면의 입자 조립이 가능하며, **결과적으로 기존 방법보다 최대 1000배 빠른 속도로 나노입자를 표면에 고밀도로 조립할 수 있어 사업적으로 응용될 수 있는 상용화의 가능성을 높였다.**



▲ **홍합에서 영감받은 나노입자 조립 기술(좌측), 10초 동안의 공정과정 동안 조립된 나노입자(중앙), 정전기력 기반 조립 기술의 속도(우측) : 물속 홍합의 부착 메커니즘을 모방하여 양성자 보조를 통한 고속 나노입자 조립 기술의 개념과 공정과정, 기존 나노입자 조립 기술 대비 최대 1000배의 코팅 속도 확보**

양성자 보조 정전기적 조립 방법은 절연 특성이 있는 유전체나 고분자 재료를 포함하여 재료 선택의 다양성을 높였으며, 마이크로 패턴에서 2인치 웨이퍼에 이르는 대면적 조립, 단단한 유리에서부터 유연한 3D 형상 플라스틱까지 다양한 기하학적 플랫폼에도 나노입자를 몇 초 안에 조립할 수 있다.

또한 이 방법은 전체 웨이퍼에 걸쳐 선택적으로 나노입자를 조립할 수 있고 균일성과 일정한 정전기적 성능을 유지할 수 있기 때문에 공정상 발생할 수 있는 부분 결함인 불균일 코팅 영역만 재코팅이 가능한 '결함 치유' 성능과 원하는 공간에 입자를 가져다 놓아 특정 패턴 제작이 가능한 '픽 앤 플레이스' 등의 다양한 광학 효과 구현이 가능하다.



▲ 공정상의 결함 '치유'(좌) 및 '픽 앤 플레이스' 입자 패턴링(우) : 표면 전위에 따른 선택적인 나노입자 조립 기술을 통해 특정 코팅 결함에만 선택적으로 조립이 가능하며(좌), 재료에 따른 패턴링이 가능하여 육안으로 구별할 수 없는 숨겨진 패턴을 나노입자 조립을 통해 시각화 가능(우)

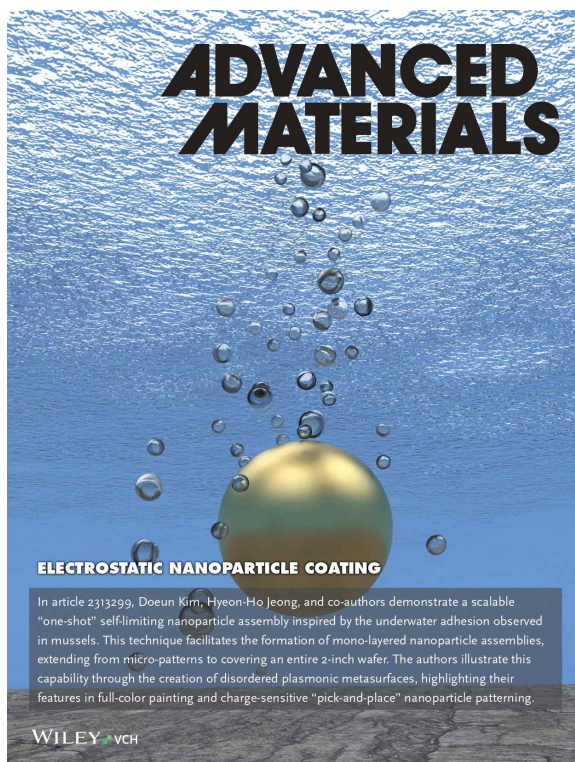
이 방법으로 웨이퍼 수준의 광소자를 구현하면 퇴색되지 않는 풀컬러를 구현하는 안료 역할을 할 뿐만 아니라, 분자 감지, 반사 디스플레이 및 광학 암호화 장치를 포함하는 소자로 활용될 수 있다.



▲ 전처리 없는 입자 조립 기술을 통한 재료 선택의 다양화, 유리질 재료 기반 풀컬러 메타표면(좌측), 유연 박막 전극(중앙), 3D 프린팅 구조체(우측) : 다양한 기하학적/재료 플랫폼에 전처리 공정 없이 나노입자를 몇 초 안에 조립 할 수 있어 단시간 내 광학적 효과를 구현

정현호 교수는 "이번 연구 성과는 빠르고 쉬운 나노입자 조립을 통해 고성능 나노소자의 산업 생산 간의 격차를 줄이는 효율적인 솔루션이 될 것으로 기대된다"며 "특히 광학 의료 진단기기, AR/VR 기술, 광통신 시스템과 같은 첨단 장치 및 기술이 실제의 삶에 적용될 수 있는 새로운 돌파구가 될 수 있을 것으로 기대한다"고 말했다.

GIST 전기전자컴퓨터공학부 정현호 교수가 지도하고 김도은 박사과정생이 수행한 이번 연구는 한국연구재단(NRF) 나노 및 소재기술개발사업 및 박사과정생연구장려금지원사업, GIST-MIT 공동연구사업, 과학기술원공동사무국의 공동연구 프로젝트의 지원을 받았으며, 재료 분야 국제학술지 '어드밴스트 머티리얼즈(Advanced Materials)'에 권두삽화 (Frontispiece)로 선정되어 2024년 4월 18일 출판됐다.



▲ 권두삽화 이미지: 재료 분야 국제학술지인 '어드밴스트 머티리얼즈(Advanced Materials)'에 권두삽화(Frontispiece)로 선정

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced materials (IF= 29.4, 2022년 기준)
- 논문명 : Proton-Assisted Assembly of Colloidal Nanoparticles into Wafer-Scale Monolayers in Seconds
- 저자 정보 : 김도은(제1저자, GIST), 이주형(공동저자, GIST), 김규린(공동저자, GIST), 마지영(공동저자, GIST), 김현민(공동저자, GIST), 한장환(공동저자, GIST), 정현호(교신저자, GIST)