

GIST, 눈에 보이는 빛으로 유해가스 감지하는 고감도 센서 개발... 상온에서도 안정성 확보

- 신소재공학과 이상한 교수·고등광기술연구원 이창열 수석연구원 공동 연구팀 상온 및 가시광 조건에서 초미량부터 고농도까지 이산화질소(NO₂) 정밀 감지하는 센서 기술 개발
- 전력 소모 줄이고 장기 안정성 갖춰... 휴대용·스마트 공기질 센서로 활용 기대
- 국제학술지 《Advanced Functional Materials》 백커버(Back Cover) 논문 선정



▲ (왼쪽부터) 신소재공학과 이상한 교수, 육연지 석박통합과정생, 고등광기술연구원 김도겸 박사후연구원, 이창열 수석연구원

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 신소재공학과 이상한 교수와 고등광기술연구원(APRI) 이창열 수석연구원 공동 연구팀이 오랫동안 안정적으로 작동하는 차세대 반도체 소재 기반의 가시광 가스센서 기술을 개발했다고 밝혔다.

이 기술은 상온에서의 구동, 장기 안정성, 빛 반응성을 동시에 확보해 기존 가스 센서의 한계를 극복했다.

대기오염 측정, 산업 안전, 차량 배출가스 관리 등에 사용되는 기존 센서 기술은 가스(이산화질소·NO₂)가 센서에 닿았을 때 센서 내부의 전기 저항이 변하는 현상을 이용한다.

센서가 민감하게 반응하려면 가스가 센서 표면에 붙고 떨어지는 과정에서 전하 이동이 활발해야 하는데, 상온에서는 이러한 과정이 제한돼 성능이 떨어지는 한계가 있다.

또한 기존 광 기반 센서는 주로 자외선(UV)을 필요로 하는데, 이는 전력 소모가 크고 소재 열화(성능 저하)를 유발해 장기 안정성이 낮은 문제가 있다.

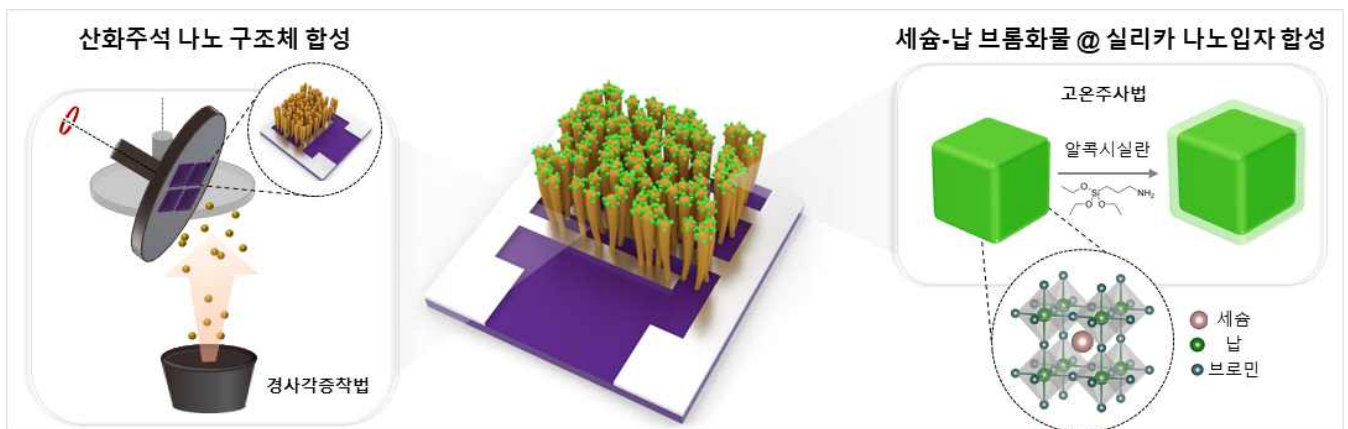
연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해, 빛을 받으면 전하를 만들어내는 아주 작은 알갱이(할라이드 페로브스카이트 나노입자, Halide Perovskite Nanocrystals)를 스펀지처럼 구멍이 많은 구조와 결합한 새로운 센서를 개발했다.

이 미세한 결정을 두께 약 2 nm(나노미터, 10억분의 1미터)의 매우 얇은 유리막(실리카 보호층·Silica shell)*으로 감싼 뒤, 빨대처럼 구멍을 통해 공기가 잘 드나드는 기둥 형태의 금속 산화물 재료(주석·SnO₂) 위에 결합했다.

이를 통해 빛을 받으면 전하가 많이 생성돼 전하의 이동이 활발해지고 상온에서도 센서가 안정적으로 작동한다. 또한 실리카 보호층은 수분·산소 등 외부 환경으로부터 소재를 보호해 안정성을 확보하게 된다.

특히 구멍이 많은 금속 산화물 구조를 통해 가스가 더 잘 확산되고 표면에 많이 닿아 감지 성능이 향상된다.

* 실리카 보호층(Silica shell): 페로브스카이트 나노입자의 표면을 아주 얇고 치밀한 유리막으로 감싸 수분·산소·빛 같은 외부 자극으로 분해되는 것을 막아주는 보호층이다. 나노입자가 서로 뭉치거나 성능이 떨어지는 것을 방지하여 구조와 광학적 특성을 안정적으로 유지하는 역할을 한다.



▲ 가시광으로 작동하는 고감도 가스 센서 원리. 나노 입자를 얇은 유리막으로 감싸 보호하는 핵-껍질 구조를 설계하고, 이를 미세 기둥 위에 쌓아 올렸다. 이 구조를 통해 가시광에 민감하게 반응하여 이산화질소를 감지하는 차세대 센서 구현 과정을 나타낸다.

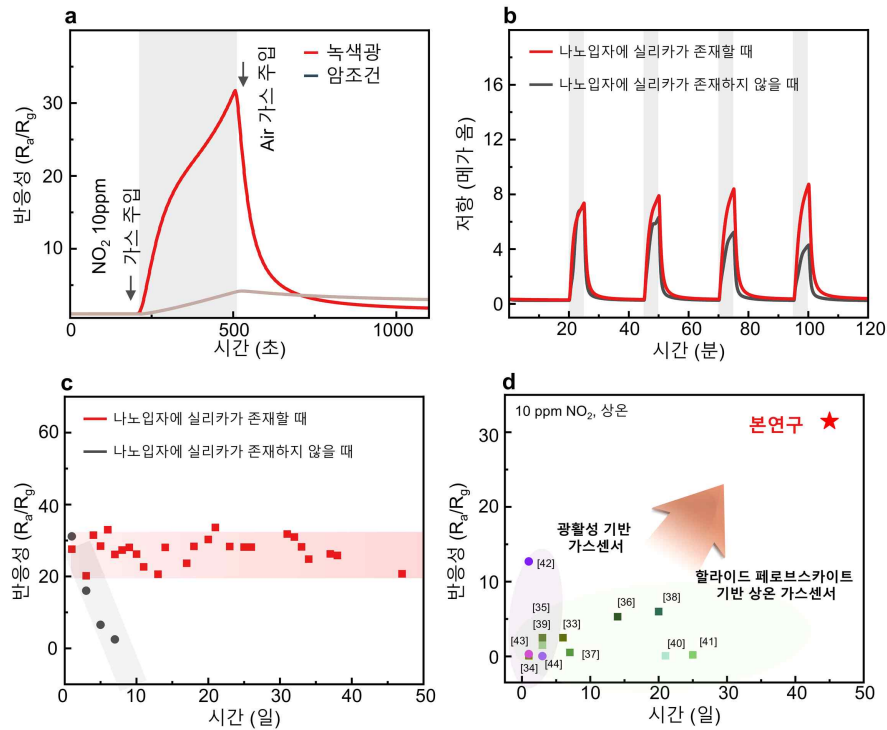
연구팀은 이 센서를 어두운 조건(암조건)과 눈에 보이는 빛(가시광·녹색광)을 비추는 조건에서 이산화질소(NO₂) 감지 성능을 비교했다.

그 결과, 센서는 초미량(0.105 ppb)부터 고농도(10 ppm)까지 넓은 농도 범위에서 이산화질소를 감지했으며, 이는 세계보건기구(WHO) 기준(13.3 ppb)의 약 127분의 1 수준까지 탐지 가능한 높은 민감도를 의미한다.

특히 얇은 유리막인 실리카 보호층으로 인해 약 5주 이상 안정적으로 작동해 장기 안정성도 확인됐다.

이 기술은 가열 없이 상온에서 작동하며, 가시광만으로도 오염물질의 존재와 농도를 정밀하게 감지한다.

특히 상온에서 눈에 보이는 빛만을 이용해 이산화질소(NO_2)를 감지함으로써 빛의 세기에 따라 센서 성능을 조절할 수 있어 광 제어 기반 센서 설계 가능성을 입증했다.



▲ 얇은 유리막(실리카 보호층)에 따른 센서의 수명 및 성능 비교. 녹색광을 비출 때 가스 감지 성능이 가장 뛰어나며, 동시에 얇은 유리 보호막(실리카 보호층)이 핵심소재인 빛을 내는 입자(페로브스카이트)를 외부 환경으로부터 보호해 센서가 안정적으로 작동할 수 있게 한다.

별도의 가열 장치가 필요 없어 전력 소모를 줄일 수 있기 때문에 휴대용 센서, 스마트 기기, 실내 공기질 관리 시스템 등에 활용될 것으로 기대된다.

이상한 교수는 "이번 연구는 일상 조명과 같은 가시광 환경에서도 안정적으로 작동하는 할라이드 페로브스카이트 소재를 가스 센서에 적용한 첫 사례"라며 "저전력·고감도 차세대 가스 센서의 상용화를 앞당길 수 있을 것으로 기대된다"고 말했다.

공동 교신저자 고등광기술연구원 이창열 수석연구원은 "이번 연구는 할라이드 페로브스카이트의 구조적 안정성을 개선해 기존의 태양전지·발광소자뿐 아니라 가스 센서 등 다양한 광전자 소자로의 확장 가능성을 보여준 사례"라고 밝혔다.

GIST 신소재공학과 이상한 교수·고등광기술연구원 이창열 수석연구원이 지도하고 신소재공학과 육연지 석박통합과정생·고등광기술연구원 김도겸 박사후연구원이 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단 중견연구자지원사업, 미래수소 원천기술개발사업, 국가 연구 인재 양성 프로그램 '이노코어(InnoCORE·AI-우주 태양광 산업단)'의 지원을 받았다.

연구 결과는 재료과학 분야 저명한 국제학술지 《어드밴스드 펄서널 머티리얼스 (Advanced Functional Materials)》에 2026년 3월 12일 온라인으로 게재됐으며, 후면 표지(Back Cover) 논문으로 선정됐다.

한편 GIST는 이번 연구 성과가 학술적 의의와 함께 산업적 응용 가능성까지 고려한 것으로, 기술이전 관련 협의는 기술사업화실(hgmoon@gist.ac.kr)을 통해 진행할 수 있다고 밝혔다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Functional Materials (IF: 19, 2024년 기준)
- 논문명 : Ultrastable Photoactive Halide Perovskite Nanocrystal-Sensitized SnO₂ Nanorods for Room-Temperature NO₂ Detection
- 저자 정보 : 육연지(제1저자, GIST 신소재공학과), 김도겸(제1저자, GIST 고등광기술연구원), 박준철(공저자, GIST 신소재공학과), 정윤성(공저자, GIST 신소재공학과), 오인혁(공저자, GIST 신소재공학과), 이동현(공저자, GIST 신소재공학과), 김예준(공저자, GIST 신소재공학과), 여지은(공저자, KAIST 전기 및 전자공학부), 송영민(공저자, KAIST 전기 및 전자공학부), 이창열(공동교신저자, GIST 고등광기술연구원), 이상한(대표교신저자, GIST 신소재공학과)