

★ 2026년 4월 22일(수) 조간 (온라인 4.21.(화), 낮 12:00 이후) 보도해 주시기 바랍니다.

## 보도자료



청렴한 연구지원 신뢰받는 NRF

<대외홍보실> 김윤숙 팀장, 고흥숙 연구원 ☎ 042-869-6119

<자료문의> 고려대학교 화학과 정광섭 교수(02-3290-3127)

# 수은이나 납 없이도 중파장 적외선 감지 성공 - 텔루륨화는 콜로이드 양자점으로 열화상 카메라 · 체온 감지 · 가스 탐지까지 가능한 친환경 적외선 센서 구현 -

- 국내 연구진이 독성 물질인 수은이나 납을 사용하지 않고도 열화상 카메라와 체온 감지 등에 필수적인 중파장 적외선\*을 감지할 수 있는 차세대 광검출 소자를 개발했다. 이번 성과는 기존 적외선 센서의 높은 제작 비용과 환경 오염 문제를 동시에 해결할 수 있는 획기적인 전환점이 될 것으로 평가받는다.

\* 중파장 적외선(MWIR): 파장 3-5  $\mu\text{m}$  범위의 적외선으로, 열화상 카메라·체온 감지·가스 분석 등에 핵심적으로 활용되는 영역.

- 한국연구재단(이사장 홍원화)은 정광섭 교수(고려대학교) 연구팀이 단파장 적외선 영역에 머물렀던 텔루륨화는 콜로이드 양자점\*에서 출발해, 입자 크기를 획기적으로 키우는 후성장\* 공정을 도입함으로써 중파장 적외선 (3-5  $\mu\text{m}$ ) 전 대역을 검출하는 비독성 광검출 소자를 구현했다고 밝혔다.

\* 콜로이드 양자점(CQD): 수 나노미터(nm) 크기의 반도체 입자로, 크기에 따라 흡수하는 빛의 파장을 자유롭게 조절할 수 있어 차세대 광센서 소재로 주목받음.

\* 후성장(post-growth) 공정: 이미 만들어진 나노 입자를 씨앗으로 삼아 추가로 성장시키는 방법. 기존 합성의 크기 한계를 넘을 수 있는 전략.

- 이번 연구성과는 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 중견연구, Post-Doc. 성장형 연구지원 사업의 지원으로 수행됐으며, 국제학술지 ‘네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)’에 2026년 4월 4일 온라인 게재됐다.

□ 중파장 적외선 검출 기술은 열화상 카메라, 의료용 체온 감지, 산업용 가스 분석 등 현대 산업 전반에서 핵심적인 역할을 수행한다. 그러나 현재 상용화된 소자들은 대부분 수은(Hg) 등 인체에 유해한 독성 소재를 포함하고 있으며, 제작 과정에서 고가의 진공 장비가 필수적이라 대량 생산과 일반 소비자 시장 확대에 큰 제약이 있었다.

○ 그 대안으로 나노미터 크기의 반도체 입자인 콜로이드 양자점이 주목받아 왔으나, 이 역시 수은을 포함한 소재가 주를 이루어 바이오 및 의료 분야 적용에 한계가 있었다. 독성이 없는 텔루륨화은( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) 양자점이 대안으로 제시됐으나, 기존 방식으로는 입자 크기를 일정 수준 이상 키울 수 없어 중파장 적외선을 감지하기에 역부족인 상황이었다.

□ 연구팀은 기존 합성법의 한계를 깨기 위해 ‘후성장(post-growth) 공정’을 새롭게 고안했다.  $130^\circ\text{C}$ 의 저온에서 작은 텔루륨화은 씨앗 입자를 만든 뒤, 이를  $180^\circ\text{C}$ 에서 은 전구체와 환원제를 추가 투입해 더 크게 성장시키는 방식이다. 이 공정을 통해 연구팀은 입자 크기를 정밀하게 제어하며 중파장 적외선 전 대역을 감지할 수 있는 양자점 합성에 성공했다.

○ 실제로 제작된 소자는  $37^\circ\text{C}$ 와  $40^\circ\text{C}$ 의 미세한 체온 차이를 명확히 구별해냈으며, 이는 정상 체온과 발열 여부를 정밀하게 판단할 수 있는 수준이다. 특히 빛에 반응하는 속도가 523 나노초(ns)\*에 달해, 비독성 중파장 적외선 소자 중 세계 최고 속도를 기록했다.

\* 나노초(ns): 10억 분의 1초. 매우 짧은 시간 안에 빛 신호를 감지하고 반응할 수 있음을 의미.

□ 정광섭 교수는 이번 연구를 통해 “친환경 소재인 텔루륨화은을 활용해 독성 문제없이 중파장 적외선 검출이 가능하다는 것을 입증했다”며, “특히 값비싼 진공 장비 없이 액체 상태의 소재를 도포하는 ‘용액 공정’\*을 통해 생산 단가를 획기적으로 낮출 수 있어, 이는 향후 의료용 발열 모니터링 시스템, 대기 오염 가스 탐지 등 실생활과 밀착된 다양한 산업 분야의 실용화를 앞당길 것으로 기대된다”고 밝혔다.

\* 용액 공정: 액체 상태의 소재를 기판 위에 도포해 소자를 만드는 방법. 진공 장비 없이도 제작이 가능해 비용과 공정이 크게 단순화됨.

# 주요내용 설명

<작성 : 고려대학교 정광섭 교수>

|     |  |
|-----|--|
| 논문명 | Non-toxic silver telluride colloidal quantum dot mid-infrared photodetector  |
| 저널명 | Nature Communications  |
| 키워드 | Mid-Wavelength Infrared(중파장 적외선), Silver Telluride Quantum Dots(텔루륨화은 양자점), Post-Growth Process(후성장 공정), Non-Toxic Photodetector(비독성 광검출 소자), Thermal Imaging(열화상 이미징) |
| DOI | <a href="https://doi.org/10.1038/s41467-026-71374-3">https://doi.org/10.1038/s41467-026-71374-3</a>  |
| 저자  | 정광섭 교수(교신저자/고려대학교), 엄소영 박사(제1저자/고려대학교), 이진혁 석박사통합과정생(제1저자/고려대학교), 송해민 박사(공동저자/고려대학교), 손수현 석사과정생(공동저자/고려대학교)  |

## 1. 연구의 필요성

- 중파장 적외선(MWIR, 3-5  $\mu\text{m}$ ) 검출 기술은 열화상 카메라, 의료용 체온 감지, 대기 중 가스 분석, 환경 오염 모니터링 등 산업·의료 전반에 걸쳐 핵심적인 역할을 한다. 현재 상용화된 MWIR 검출 소자는 대부분 수은을 포함한 독성 소재에 의존하며, 진공 기반 고비용 공정이 필요해 대량 생산과 친환경 활용에 근본적인 한계가 있었다.
- 비독성 대안으로 주목받아 온 텔루륨화은( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) 콜로이드 양자점(CQD, 수 나노미터 크기의 반도체 입자로 크기에 따라 감지 파장 조절이 가능한 소재)은 기존 합성법으로는 입자 크기가 약 6 나노미터(nm)에서 더 이상 커지지 않는 한계로 인해 단파장 적외선 영역에 머물렀고, 중파장 적외선 전 대역 검출은 구현되지 못한 상황이었다.

## 2. 연구내용

- 연구팀은 이 한계를 극복하기 위해 ‘후성장(post-growth) 공정’을 새롭게 고안했다. 130°C에서 합성한 작은 크기의 텔루륨화은 양자점을 씨앗으로 삼아, 180°C로 재가열하면서 은 전구체와 환원제를 추가 주입해 입자를

최대 10.1 nm까지 성장시키는 방식이다. 반응 시간(2~6시간)을 조절하는 것만으로 양자점 크기를 정밀하게 제어할 수 있었으며, 이에 따라 감지 파장이 단파장 적외선에서 중파장 적외선(흡수 개시 파장 최대 6.9  $\mu\text{m}$ )까지 연속적으로 확장됨을 확인했다.

○ 구조 및 조성 분석을 통해 후성장 이후에도 텔루륨화는 결정 구조와 성분 비율이 안정적으로 유지됨을 검증했다. 또한 개발된 소자를 활용해 미세한 체온 차이를 명확히 구별하는 데 성공했으며, 중파장 적외선 열화상 이미징을 통해 물체의 형상을 선명하게 재현하는 데도 성공했다.

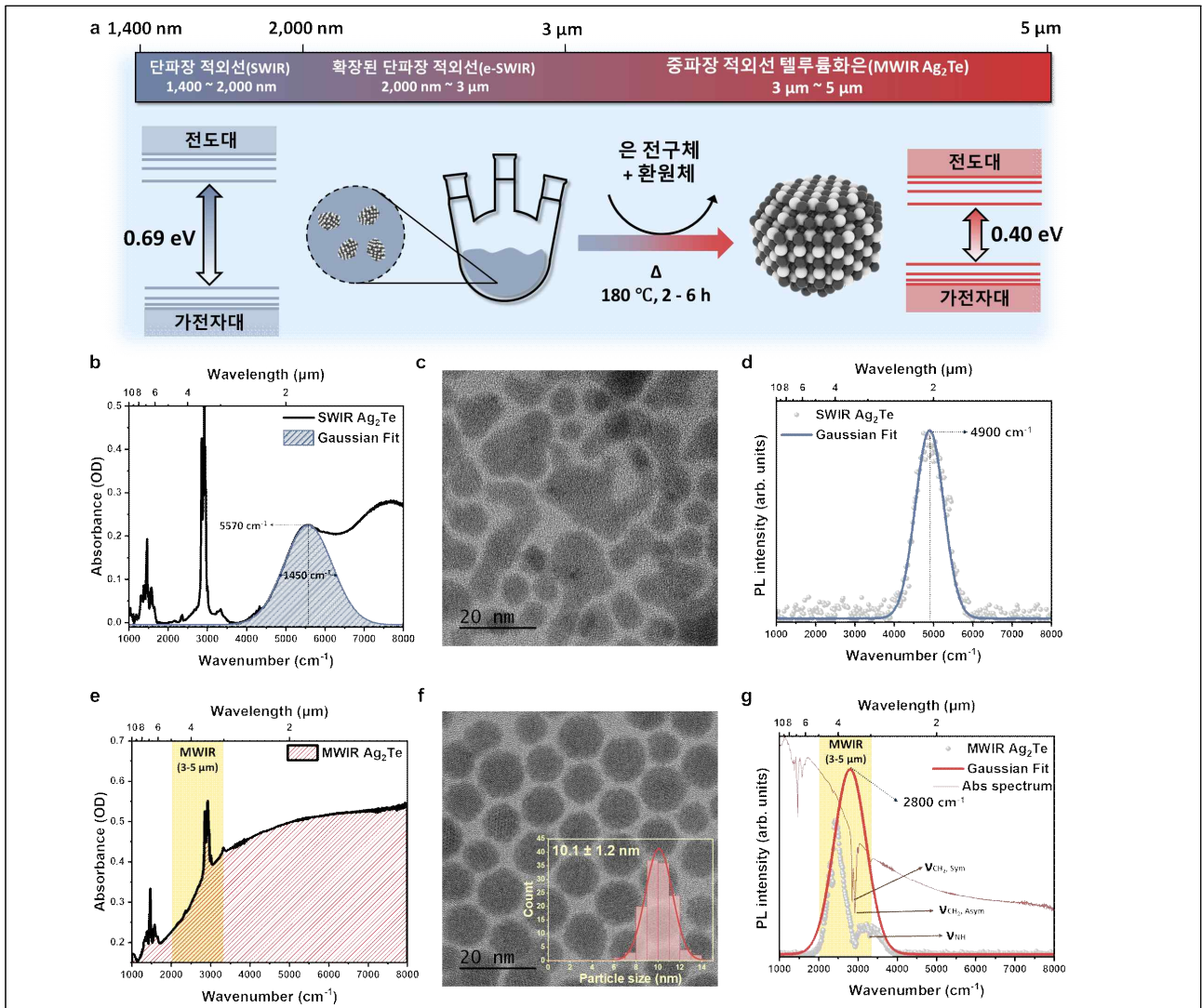
○ 제작된 소자의 주요 성능은 다음과 같다:

- ▶ 검출 감도(비검출능,  $D^*$ ):  $1.2 \times 10^9$  Jones (78 K(-195°C), 0.02 V 조건)
- ▶ 광 감응도(responsivity): 최대 1.1 A/W (78 K, 0.5 V 조건)
- ▶ 잡음등가온도차(NETD): 0.3 K (검출기가 식별 가능한 최소 온도 차이)
- ▶ 응답속도(수직 구조 소자 기준): 하강시간 523 나노초(ns, 10억 분의 1초)  
- 비독성 MWIR 양자점 소자 중 최고속도의 응답속도

### 3. 연구성과/기대효과

○ 이번 연구는 텔루륨화는 양자점을 이용해 중파장 적외선 전 대역 검출을 세계 최초로 구현했다는 점에서 학술적·산업적으로 큰 의미를 갖는다. 용액 공정 기반으로 제작 가능해 기존 고비용 진공 공정 대비 제조 비용을 크게 낮출 수 있으며, 대면적 기판 및 반도체 회로와의 집적화에도 유리하다. 발열 감지 시스템, 대기 중 가스 탐지 센서, 열화상 카메라 등 다양한 산업·의료·환경 분야로의 응용이 기대되며, 향후 상온 동작 성능 향상과 다화소 배열 소자로의 확장을 통해 실용화 단계로의 진입이 전망된다.

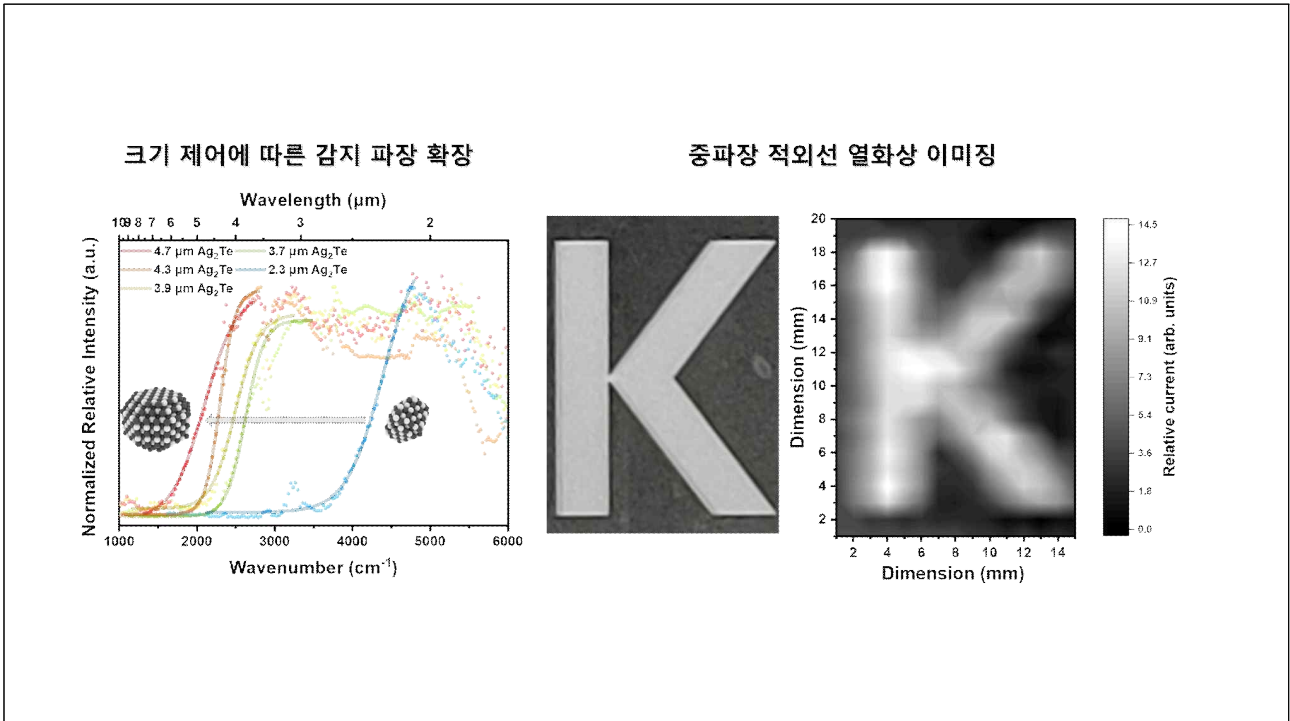
# 그림 설명



(그림1) 텔루륨화는 콜로이드 양자점의 후성장 합성 과정 및 광학적 특성

텔루륨화은( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) 콜로이드 양자점의 합성 과정과 광학적 특성을 나타낸 그림이다. 모식도(a)는 작은 크기의 단파장 적외선(SWIR) 양자점을 씨앗으로 삼아, 높은 온도( $180^\circ\text{C}$ )에서 은 전구체와 환원제를 추가 주입하는 후성장 공정을 통해 더 큰 크기의 중파장 적외선(MWIR) 양자점을 합성하는 과정을 보여준다. 흡수·발광 스펙트럼 및 투과전자현미경(TEM) 이미지(b~g)는 양자점 크기가 약 6.4 nm에서 약 10.1 nm로 커짐에 따라 빛을 감지하는 파장 범위가 단파장 적외선에서 중파장 적외선( $3\sim 5\ \mu\text{m}$ )으로 확장되는 것을 보여준다. 이는 반응 시간(2~6시간) 조절만으로 감지 파장을 정밀하게 제어할 수 있음을 의미하며, 후성장 공정이 기존 합성법의 크기 한계를 효과적으로 극복하는 전략임을 입증한다.

그림설명 및 그림제공: 고려대학교 정광섭 교수



(그림2) 텔루륨화은 양자점 광검출 소자의 중파장 적외선 감지 파장 확장 및 열화상 이미징

개발된 텔루륨화은(Ag<sub>2</sub>Te) 양자점 광검출 소자의 성능을 보여주는 그림이다. 왼쪽 그래프는 양자점 크기가 커짐에 따라 빛을 감지하는 파장 범위가 단파장 적외선에서 중파장 적외선(흡수 개시 파장 최대 6.9 μm)까지 연속적으로 확장되는 것을 보여주며, 반응 시간(2~6시간) 조절만으로 감지 파장을 정밀하게 제어할 수 있음을 입증한다. 오른쪽은 개발된 소자를 이용해 마스크 패턴을 스캔 방식으로 촬영한 중파장 적외선 열화상 이미지로, 비독성 텔루륨화은 양자점 소재 기반 소자로도 실제 적외선 이미징이 가능함을 세계 최초로 시연한 결과이다.

그림설명 및 그림제공: 고려대학교 정광섭 교수

# 연구 이야기

<작성 : 고려대학교 정광섭 교수>

## □ 연구를 시작한 계기나 배경은?

코로나19 팬데믹을 겪으면서 공항과 공공장소에서 열화상 카메라로 체온을 측정하는 장면을 더욱 자주 접하게 되었습니다. 그런데 고성능 적외선 카메라 안에는 수은이 들어가 있는 경우가 많이 있습니다. 우리 연구팀은 적외선 흡수 및 발광 물질을 연구하고 있었는데, '독성을 줄이면서 중파장 적외선을 감지할 수 있다면 더욱 많은 곳에 사용될 수 있지 않을까'라는 질문에서 이번 연구가 시작됐습니다.

## □ 연구 전개 과정에 대한 소개

처음에는 기존 합성법으로 콜로이드 양자점 크기를 키우려 했지만, 입자가 일정 크기 이상으로 자라지 않는 근본적인 한계에 부딪혔습니다. 이에 대해서 초기에 얻은 양자점을 씨앗으로 삼아 추가로 성장시키는 '후성장 공정'을 고안했고, 반응 온도와 시간을 조절하는 것만으로 양자점 크기를 정밀하게 제어할 수 있었습니다. 크기가 커질수록 양자제한효과가 감소하여 양자점이 감지할 수 있는 에너지가 중파장 적외선 에너지까지 확장되는 것을 확인할 수 있었습니다.

## □ 이번 성과, 무엇이 다른가?

기존에는 중파장 적외선을 감지하려면 반드시 수은 기반의 독성 소재가 필요하다고 여겨졌습니다. 이번 연구는 텔루륨화는 양자점만으로도 수은 기반 소재에 버금가는 성능을 낼 수 있다는 것을 최초로 증명했다는 점에서 의미가 큼니다. 특히 값비싼 진공 장비 없이 용액 공정만으로 소자를 만들 수 있고 콜로이드 적외선 양자점을 마치 적외선 반도체 페인트처럼 사용할 수 있어 제조 비용을 크게 낮추거나 곡면에도 적용할 수 있다는 점도 차별점입니다.

## □ 실용화된다면 어떻게 활용될 수 있나? 실용화를 위한 과제는?

발열 감지 시스템, 열화상 카메라, 대기 중 이산화탄소 등 유해가스 탐지 센서 등 다양한 분야에 활용될 수 있습니다. 실용화를 위해서는 현재 저온에서 최적 성능을 발휘하는 한계를 극복해 상온에서도 안정적으로 동작하는 소자를 개발하는 것이 핵심 과제입니다. 또한 단일 검출 소자를 넘어 다화소 배열 형태로 확장해 실제 카메라 시스템에 통합하는 연구도 진행할 계획입니다.

## □ 꼭 이루고 싶은 목표나 후속 연구계획은?

궁극적으로는 상온에서 동작하는 비독성 중파장 적외선 카메라 칩을 개발하는 것이 목표입니다. 이를 통해 기존 수은 기반 소재를 완전히 대체할 수 있는 친환경 적외선 센서 플랫폼을 구축하고, 의료·환경·산업 현장에서 누구나 안전하고 저렴하게 사용할 수 있는 적외선 검출 기술의 실용화를 이끌어 나가고 싶습니다.