

효율은 유지하면서 안정성은 높인 페로브스카이트 태양전지 정공수송층 신소재 개발

- 기존 정공수송층 소재(Spiro-OMeTAD) 대체 가능한 신물질 개발
- 페로브스카이트 태양광 모듈 세계 최고 효율 21.35% 달성 (기존 정공수송층 소재 제외)
- 신소재공학부 김호범 교수 공동연구팀, Angewandte Chemie 논문 게재



▲ (왼쪽부터) 지스트 김호범 교수, 스위스 로잔 연방공대 Nazeeruddin 교수

차세대 태양전지인 페로브스카이트 태양전지 제작에 필수적으로 사용되는 정공수송층 신물질이 지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 연구진에 의해 개발됐다.

페로브스카이트 태양전지의 정공수송층으로 사용되는 전통적인 소재 (Spiro-OMeTAD, 스파이로 오미타드)를 대체해 고효율, 고안정성, 대면적 페로브스카이트 태양전지*의 상용화를 앞당기는 데 기여할 것으로 기대된다.

* 페로브스카이트 태양전지: 금속-할로겐 페로브스카이트 소재를 태양광 흡수를 위한 광활성층으로 사용하는 태양전지. 최근 실리콘 태양전지와 동등한 수준의 효율이 보고되었다. 낮은 제작 단가, 용이한 생산 공정, 유연화(flexible) 가능 등의 장점을 지녀 실리콘 태양전지를 이을 차세대 태양전지로 크게 주목받고 있다.

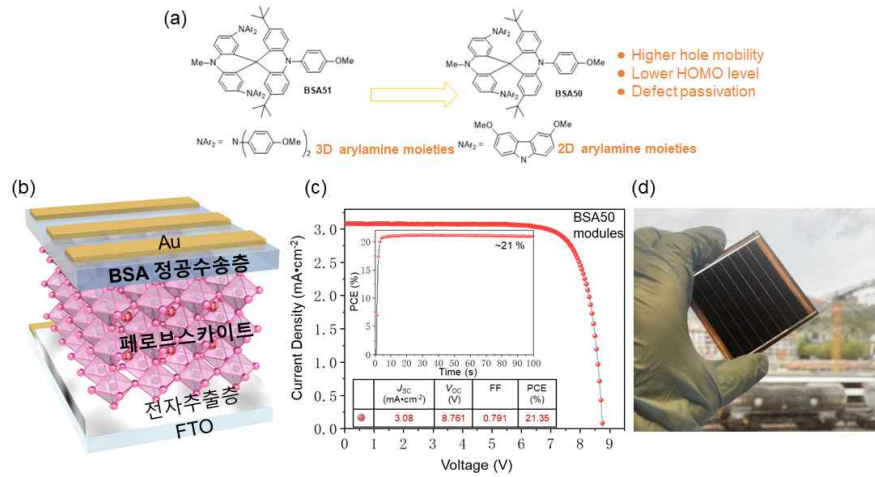
정공수송층은 페로브스카이트 태양전지의 광흡수층 내 생성된 전하(양전하)를 효과적으로 수송하여 추출하는 역할을 하며, 고효율·고안정성 태양전지 구현을 위해서 필수적으로 포함되어야 하는 구성 요소이다.

페로브스카이트 태양전지의 효율 및 수명 향상을 위한 많은 연구가 진행되어 왔으나, 정공수송층 개발 연구는 주로 스파이로 오미타드(Spiro-OMeTAD)라고 불리는 소재에 크게 의존하고 있다.

스파이로 오미타드(Spiro-OMeTAD)는 낮은 전기전도도 때문에 태양전지의 고효율 달성을 위해서는 반드시 불순물을 섞는 도핑 공정이 필요한데, 이는 소자의 수명을 단축시키는 요인이 된다.

따라서 페로브스카이트 태양전지의 정제된 효율을 신장시키고, 고질적 문제인 짧은 수명을 개선하기 위해서는 기존 소재를 대체할 수 있는 새로운 정공수송층 물질의 개발이 시급하다.

지스트 신소재공학부 김호범 교수는 스위스 로잔 연방공대 나지루딘(Nazeeruddin) 교수팀, 다이슨(Dyson) 교수팀, 이탈리아 콘실리오 국립연구소 포지(Pozzi) 박사팀과 함께 페로브스카이트 태양전지 정공수송층 신규 소재 **BSA50**를 개발하고 이를 이용해 **고효율 장수명 페로브스카이트 태양전지 소자와 모듈을 구현했다.**



▲ 본 연구진이 개발한 페로브스카이트 태양전지 정공수송층용 신소재(BSA)와 이를 적용한 페로브스카이트 태양광 모듈

(a) 새로 개발한 정공추출층용 신소재의 분자 구조 및 특성: **BSA51**은 3차원 아릴아민 그룹을 포함하는 반면, **BSA50**은 2차원 아릴아민 그룹을 포함한다. 이러한 분자 구조 차이로 인해 **BSA50**은 더욱 우수한 전기적, 물리적 특성을 가진다. (b) 개발된 페로브스카이트 태양전지의 구조 (c) 개발된 페로브스카이트 태양광 모듈의 성능 (d) 개발된 페로브스카이트 태양광 모듈 사진

새로 개발된 **BSA50** 정공수송층 소재는 페로브스카이트 층 내 광(光) 흡수에 의해 형성된 정공(hole)* 추출에 효율적이며, **BSA** 분자 내 아릴아민(arylamine)의 산소 원자가 페로브스카이트에 존재하는 결함을 제거할 수 있다.

* **정공(hole)**: 태양전지는 태양광을 흡수한 물질(광활성층)이 전자(electron)와 정공(hole)을 만드는 성질을 이용하는데, 전자가 광활성층에서 빠져나오면 전자가 빠진 자리에는 구멍이 생기듯 정공이 생긴다.

따라서, 새로운 정공수송층 소재인 **BSA50**을 적용한 페로브스카이트 태양전지는 기존 스파이로 오미타드(Spiro-OMeTAD) 정공수송층을 사용한 소자의 광전변환효율과 거의 비슷(97% 수준)한 22.65%의 효율을 가지며, 안정성 면에서는 태양광 아래 1000시간 동안의 작동 후에도 초기 효율 대비 89% 이상 유지됨을 보여주었다. 이는 기존 소재(Spiro-OMeTAD)를 적용한 소자가 유지하는 효율(82%)보다 우수한 것으로, **BSA50** 소재가 우수한 성능과 안정성을 지님을 보여준다.

또한 대면적 페로브스카이트 태양광 모듈($6.5 \times 7 \text{cm}^2$)을 제작하여 실험한 결과, 기존 소재(Spiro-OMeTAD)를 사용하지 않은 모듈 중 세계 최고 효율인 21.35%를 달성했다.

김호범 교수는 "기존 소자의 효율은 유지하면서 안정성은 크게 향상시킬 수 있는 정공수송층 신물질 개발함으로써 향후 페로브스카이트 태양전지의 상용화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다"고 말했다.

김호범 교수 등 국제 공동 연구팀이 수행한 이번 연구는 유럽연합 Horizon 2020 연구 및 혁신 프로그램 중 APOLO 프로젝트 사업의 지원을 받아 수행됐으며, 화학 분야 최고 권위지인 앙게반테 케미(Angewandte Chemie)에 2022년 10월 5일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Angewandte Chemie International Edition (Impact factor: 16.823, 2021년 기준)
- 논문명 : Asymmetrically substituted 10H,10'H-9,9'-spirobi[acridine] derivatives as hole-transporting materials for perovskite solar cells
- 저자 정보 : 김호범 교수 (GIST 신소재공학부, 공동교신저자), Gianluca Pozzi 박사 (이탈리아 콘실리오 국립연구소, 공동교신저자), Paul Dyson 교수 (스위스 로잔 연방공대, 공동교신저자), Mohammad Khaja Nazeeruddin 교수 (스위스 로잔 연방공대, 대표교신저자), Jianxing Xia (스위스 로잔 연방공대, 박사과정, 제1저자)