

광활성층/정공 수송층 계면 제어를 통한 유·무기-페로브스카이트 태양전지의 특성향상

이창열 | 광주과학기술원 고등광기술연구소 (E-mail: vsepr@gist.ac.kr)

중국 푸단 대학(Fudan University)의 연구진은 페로브스카이트 양자점을 페로브스카이트 태양전지의 광활성층과 정공 수송층 계면에 삽입함으로써 광 전환 효율이 ~10%에서 ~13%로 30% 가량 향상된 유·무기-페로브스카이트 태양전지를 구현하였다. 이러한 연구결과는 페로브스카이트 양자점이 전기발광소자의 발광소재로써 뿐만 아니라, 페로브스카이트 태양전지의 효율 향상을 위한 계면 특성 제어 소재로도 사용 가능하다는 것을 보여준다는 점에서 주목할 만하다.

유 무기-페로브스카이트 태양전지는 뛰어난 광 흡수 및 전하 이동도에 의한 높은 광 전환 효율(~20.1%)과 용액 공정의 용이성 등의 장점으로 유기(고분자) 태양전지를 뛰어넘을 차세대 태양전지로 주목받고 있다. 그럼에도 불구하고, 현재까지, 페로브스카이트 광활성층과 전하 이동층 계면에서의 전하 이동(charge transfer)에 관한 최적화는 이루어지지 않았으며, 따라서 계면에서의 전하 이동 특성 향상을 통해 페로브스카이트 태양전지의 광 전환 효율을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

최근 페로브스카이트 태양전지에서의 전하 이동 특성 향상을 위해, 그라핀 양자점 박막을 광활성층과 전자 수송층 사이에 삽입하거나, ZnO/그라핀 양자점을 전자 수송층으로 사용한 논문들이 발표되었다. 그 외 이와 유사한 연구로, 정공 이동 특성 향상을 위해, PbS 양자점을 정공 수송층으로 사용하여 소자 내 에너지 준위 정렬의 변화 및 광 흡수대역 확대를 통해 광 전환 효율을 증대시킨 논문이 발표된 바 있다.

하지만 이러한 양자점들을 전하 이동층으로 사용한 페로브스카이트 태양전지에서, 양자점으로 인한 페로브스카이트 광활성층과 전하 수송층 사이의 에너지 준위 정렬 및 이에 따른 페로브스카이트 태양전지 소자 특성 변화에 관한 연구는 초기 연구 단계로 아직 미흡한 실정이다. 이에 따라, 푸단 대학의

Z. S. Wang 교수 연구팀은 다양한 HOMO 에너지 준위를 갖는 페로브스카이트 양자점을 이용하여, 페로브스카이트 광활성층 박막과

정공 수송층 사이의 계면 특성을 제어하고, 이에 따른 페로브스카이트 태양전지의 효율 변화를 분석하였다.

페로브스카이트 양자점의 할라이드 조성 변화를 통해 -5.4 eV부터 -5.83 eV의 다양한 HOMO 에너지 준위를 갖는 페로브스카이트 양자점을 -5.43 eV의 HOMO 에너지 준위를 갖는 광활성층 박막과 -5.22 eV의 HOMO 에너지 준위를 갖는 정공 수송층 사이에 삽입하였다. 삽입된 페로브스카이트 양자점의 HOMO 에너지 준위가 낮아짐에 따라 페로브스카이트 태양전지의 개방전압(VOC)이 순차적으로 커지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 세기변조 광전압 분광법(intensity modulated photovoltage spectroscopy, IMVS)을 통해 페로브스카이트 양자점의 HOMO 에너지 준위가 광활성층 박막과 정공 수송층의 HOMO 에너지 준위 사이에 존재할 때 여기 전자의 수명이 가장 길다는 것을 알 수 있었으며, 이는 정공의 효율적인 추출로 인하여 정공-전자의 재결합 확률이 낮아지기 때문이다. 정공 추출 특성 향상을 확인하기 위하여, 페로브스카이트 태양전지의 임피던스 측정을 통한 나이퀴스트 특성 변화를 확인하였다. 페로브스카이트 양자점의 HOMO 에너지 준위 변화에 따른 페로브스카이트 태양전지 소자에서의 저항 변화가 측정되었으며, 여기 전자 수명이 가장 긴 조건에서 가장 높은 정공 추출 효율을 가짐을 알 수 있었다. Wang 교수 연구진은 이번 연구가 정공 추출 특성 극대화를 통해, 고효율 페로브스카이트 태양전지를 개발하는데 크게 도움이 될 것으로 밝혔다.

본 연구결과는 *Journal of the American Chemical Society*에 "Enhancing perovskite solar cell performance by interface engineering using $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}_{0.9}\text{I}_{2.1}$ quantum dots,"라는 제목으로 2016년 7월 게재되었다(DOI: 10.1021/jacs.6b04519).

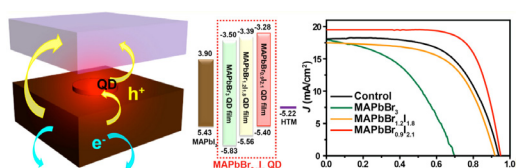


그림 1. 페로브스카이트 양자점을 광활성층/정공 수송층 계면 제어 소재로 이용한 페로브스카이트 박막 태양전지의 에너지 모식도와 소자 특성.