

N도핑을 이용한 페로브스카이트 태양 전지용 고성능 전자수송층 개발기술

윤상은, 김종현 | 아주대학교 분자과학기술학과/응용화학생명공학과(E-mail: jonghkim@ajou.ac.kr)

화중과학기술대학(Huazhong University of Science and Technology)의 Yinhua Zhou 교수연구팀은 최근 이미딘(amidine) 형태의 n형 도판트 소재인 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene(DBU)이 도핑된 PC₆₁BM을 전자수송층으로 사용하여 고효율의 페로브스카이트 태양전지를 보고하였다. 본 연구에서는 용액공정에 기반하면서도 효과적인 도핑에 의한 PC₆₁BM의 전자수송능력 향상을 보고함으로써, 태양전지용 전자수송층 개발에 중요한 방향을 제시했다는 점에서 주목할만하다.

도핑은 유기 반도체의 전하 캐리어 밀도 및 전기전도도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 반도체 내부의 트랩을 채우는데 사용될 수 있는 매우 효과적인 방법으로 알려져 왔다. 이러한 도핑 기술은 유기발광다이오드, 유기박막트랜지스터, 유기태양전지 등 다양한 유기 광전자소자의 성능 향상에 자주 활용되면서 수많은 관련 연구들이 수행되어 왔다. 유기 반도체를 도핑하기 위한 n형 도판트 소재의 경우 p형 도판트 소재에 비하여 그 개발속도가 매우 늦은 편이고, 특히 용액공정이 가능한 n형 도판트 소재는 손에 꼽힐 정도로 그 수가 적는데, 이는 낮은 이온화엔지를 가져야 하는 n형 도판트 소재의 화학적 불안정성에 기인한다. 화중과학기술대학의 Yinhua Zhou 교수 연구팀은 최근 강한 전자공여 성질을 가지는 DBU를 도판트로 이용하여 PC₆₁BM, N2200 등의 n형 단분자/고분자 반도체 소재들을 용액상에서 효과

적으로 도핑하는데 성공하였다. PC₆₁BM의 경우 DBU 1 wt% 도핑 후 전도도가 $7.8 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ 에서 $3.6 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ 로 크게 증가하였으며, 페르미 준위는 4.90 eV에서 4.40 eV로 감소하면서 그 값이 PC₆₁BM의 LUMO 준위에 가까워지는 특성을 나타내었다. 이렇게 도핑된 PC₆₁BM에서 나타나는 개선된 전기적 특성을 이용하여, 페로브스카이트 태양전지의 전자수송층으로 도입하였을 때, 태양전지의 개방전압, 단락전류밀도 및 충전율이 모두 향상되는 결과가 나타났으며, 그 결과 10.51%에서 16.69%로 광전변환효율이 대폭 증가함이 확인되었다. 나아가 태양전지의 성능을 보다 최적화시키기 위하여 도핑된 PC₆₁BM 위에 계면 에너지 장벽을 낮춰주는 PEI(polyethyleneimine)층을 추가적으로 도입함으로써 광전변환효율을 최대 17.80%까지 향상시킬 수 있었다. 한편, DBU의 도핑 농도를 높이면 PC₆₁BM의 전자 이동도가 $5.35 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 에서 $2.15 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 까지 증가하면서 전류점밀비가 거의 사라지게 되는데, 이로부터 DBU 도핑에 의해 PC₆₁BM의 특성이 반도체에서 점차 도체로 변화하면서 태양전지에서 전자추출능력이 향상되었음을 확인하였다. 이러한 연구결과는 용액공정이 가능한 유기물 도판트 소재 및 고성능 전자수송층 소재 개발을 통한 태양전지 성능향상에 대한 연구발전에 크게 이바지할 것으로 기대된다.

본 연구결과는 저널 *Adv. Funct. Mater.*에

"An Amidine-Type n-Dopant for Solution-Processed Field-Effect Transistors and Perovskite Solar Cells"라는

제목으로 2017년 11월 게재되었다(DOI:10.1002/adfm.201703254).

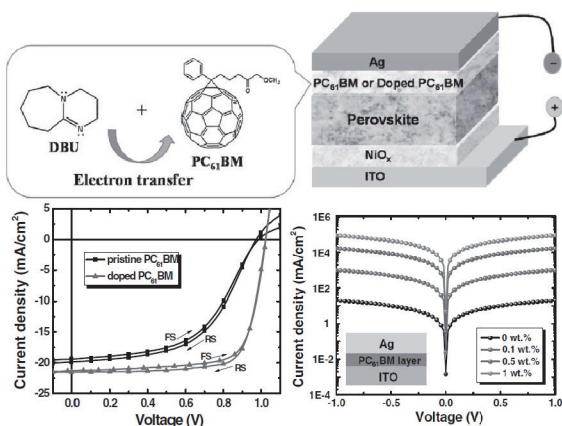


그림 1. DBU로 도핑된 PC₆₁BM 및 이를 이용한 페로브스카이트 태양전지의 전기적 특성.