카이랄 유기물 기반의 비대칭성 유/무기 복합 페로브스카이트 소재 개발

김영훈 | 한양대학교 에너지공학과 (E-mail: younghoonkim@hanyang.ac.kr)

카이랄 유기물이 도입된 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트 소재는 뛰어난 원편광 흡수 특성뿐만 아니라 카이랄-유도 스핀 선택성(chiral-induced spin selectivity, CISS) 효과로 인해 주목을 받는 소재이지만, 제한된 중심금속의 종류와 무기-할라이드 구조로 인해 비대칭성이 낮고, 안정성이 부족하다는 한계를 가지고 있다. 최근 한양대학교 김영훈 교수 연구팀은 새로운 중심금속인 팔라듐(Pd)을 활용하여 기존 구조를 개선한 새로운 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트 소재를 개발하였다. 해당 소재는 0.128의 세계 최고 왜곡지수를 달성하였으며, 우수한 대기 안정성과 CISS 특성을 보여 차세대 스핀트로닉스 소재로의 가능성을 제시하였다.

거울상 비대칭성을 가지는 카이랄(chiral) 소재는 구조에 따라 원편광을 선택적으로 흡수할 수 있는 특성을 가진다. 또한, 구조적 특성 때문에 외부 자기장이 없는 상태에서도 전하의 스핀을 선택적으로 제어할 수 있는 카이랄-유도 스핀 선택성(chiral-induced spin selectivity, CISS)을 보이므로 차세대 스핀트로닉스 소재로 주목받고 있다. 그러나 현재 개발된 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트 소재들은 결정 구조의 비대칭성(distortion)에 제한이 있기 때문에 효율적인 원편광 흡수, 방출 및 스핀 제어가 어려운 한계를 지니고 있다. 또한, 해당 소재의 낮은 대기 안정성은 추후 스핀트로닉스 소자와 광학 소자로의 실제 응용에서 해결해야 할 중요한 과제로 남아 있다.

최근, 한양대학교 김영훈 교수 연구팀은 새로운 중심금속을 사용하여 높은 비대칭성을 갖는 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트 소재를 보고하여 주목을 받고 있다. 해당 소재는 이전까지 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트에 사용되지 않던 팔라듐(Pd)을 중심금속으로 채택함으로써 기존 소재의 최고 왜곡지수(distortion index)인 0.08을 뛰어넘는 세계 최고 수준인 0.128의 왜곡지수를 달성하였다. 이러한 높은 왜곡지수는 무기-할라이드 격자인 팔라듐-브로민(Pd-Br) 격자가 일반적인 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트 소재가 가지는 팔면체(octahedra) 및 사면체(tetrahedra) 구조와 달리, 사각뿔(square-pyramid)의 구조를 가지며, 각 구조가 모서리를 공유하며 연결된 1차원의 구조를 가지는 것에서 기인한다. 해당 소재로 제작한 다결정 필름의 경우, 80%의 상대습도에서 20일 동안 성능저하가 거의 발생하지 않는 우수한 대기 및 수분 안정성을 나타냄과 동시에, 필름을 통과하는 전하의 스핀 방향을 제어하는 카이랄-유도 스핀 선택성을 나타내었다. 이러한 성과는 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트 소재가 차세대 스핀트로닉스 소자로 활용될 가능성을 크게 확대할 것으로 기대된다.

본 연구결과는 *Journal of the American Chemical Society*에 "Structural Asymmetry and Chiral-Induced Spin Selectivity in Chiral Palladium-Halide Semiconductors"의 제목으로 2024년 5월에 게재되었다(DOI: 10.1021/jacs.3c14491).

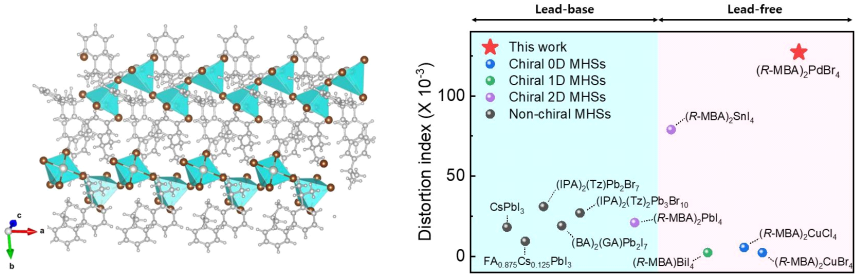

그림 1. (좌) 팔라듐-기반 카이랄 유/무기 복합 페로브스카이트의 결정 구조. (우) 세계 최고 왜곡인자 달성 및 수치를 나타내는 이미지.