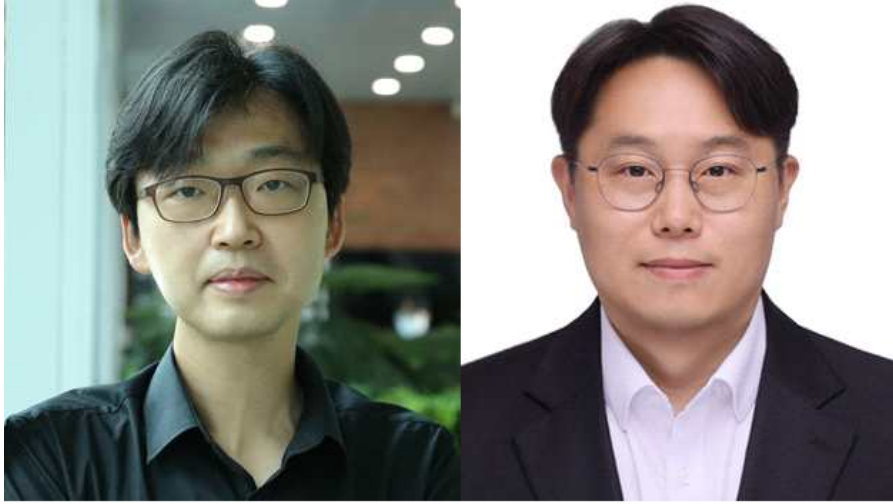


“친환경 ‘그린수소’ 생산성 높여” 효율·수명 높인 광전극 개발

- 지스트 이상한 교수 공동연구팀, 「Advanced Energy Materials」 게재
- 기존 방식 탈피... ‘손실 억제’하는 신기술 적용해 세계적 수준 광전극 개발



(위) 지스트 이상한 교수, 카이스트 서장원 교수

(아래) 지스트 신소재공학부 최호중 박사, 한국화학연구원 김영운 박사,
로렌스 버클리 국립연구소 서세훈 박사

지스트(광주과학기술원, 총장 임기철) 신소재공학부 이상한 교수가 카이스트 서장원 교수 등과 함께 ‘광생성 캐리어*’ 손실을 억제하는 새로운 기술을 적용해 세계적인 수준의 효율과 수명을 실현한 ‘유기금속 할라이드 페로브스카이트(이하 페로브스카이트)** 광전극’을 개발했다.

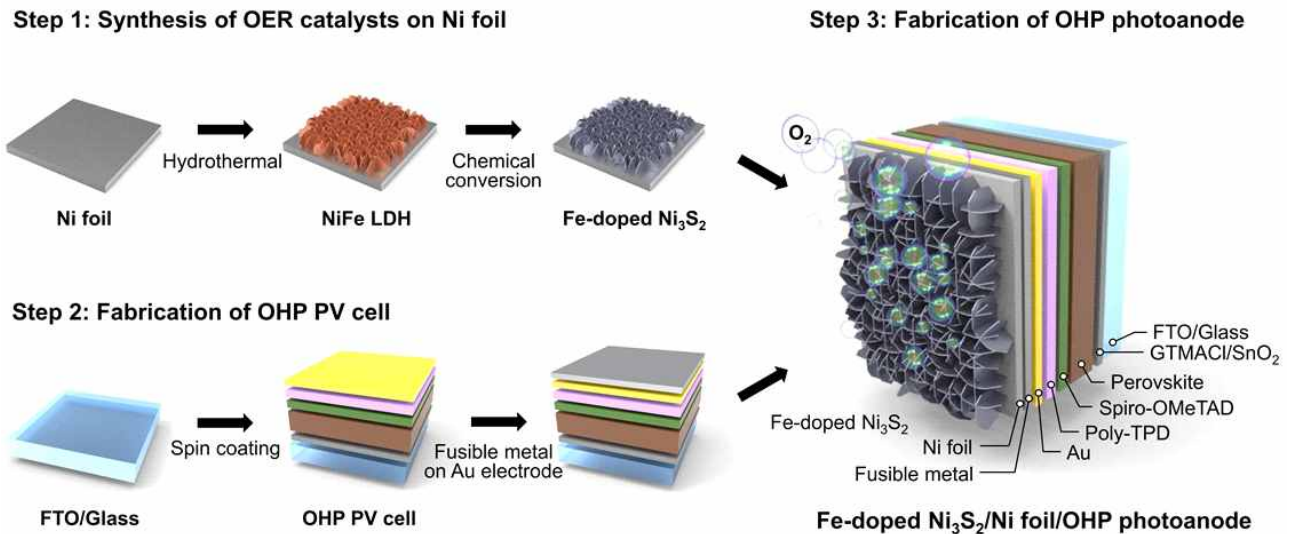
* **광생성 캐리어:** 반도체 광전극이 빛을 받을 때, 물질이 빛에너지를 흡수하여 생성되는 전자-정공 쌍을 광생성 캐리어라고 한다. 광전극 혹은 태양전지에서는 광생성 캐리어의 손실을 최대한 억제해야 높은 광효율을 보일 수 있다.

** **페로브스카이트:** ABX_3 의 결정 구조를 갖는 유-무기 화합물로 넓은 영역의 빛을 흡수하여 많은 광생성 캐리어를 생성할 수 있어 차세대 광반도체로서 각광받고 있다.

전 세계적으로 탄소 중립이 주목받고 있는 오늘날, 수소에너지는 필수적으로 생산해야 하는 친환경 에너지다. 그러나 대부분의 수소는 화석연료로 생산되고 부산물로 이산화탄소까지 배출하기 때문에 태양광으로 생산한 '그린 수소' 생산 기술이 반드시 필요하다.

태양광을 이용해서 그린 수소를 생산할 때는 광전기화학적 물분해* 방법이 주로 이용된다. 광전극이 태양광을 흡수해 광생성 캐리어를 생성하고 이 광생성 캐리어가 물을 분해해서 그린 수소를 생산하는 방식인데, 이때 광생성 캐리어가 손실되면 광전극의 효율이 떨어지게 된다.

* 광전기화학적 물분해: 친환경적인 그린 수소 생산방식으로, 전해질에 반도체 광전극을 담지하며, 광전극에 빛이 입사하면 광생성 캐리어(전자-정공 쌍)가 생성되어 정공은 산소 발생 반응에, 전자는 수소 발생 반응에 이용되는 방식으로 수소를 생산하는 방식.



[그림 1] 보호층인 니켈 포일 위에 합성된 Fe-Ni₃S₂와 결합된 페로브스카이트 광양극의 모식도

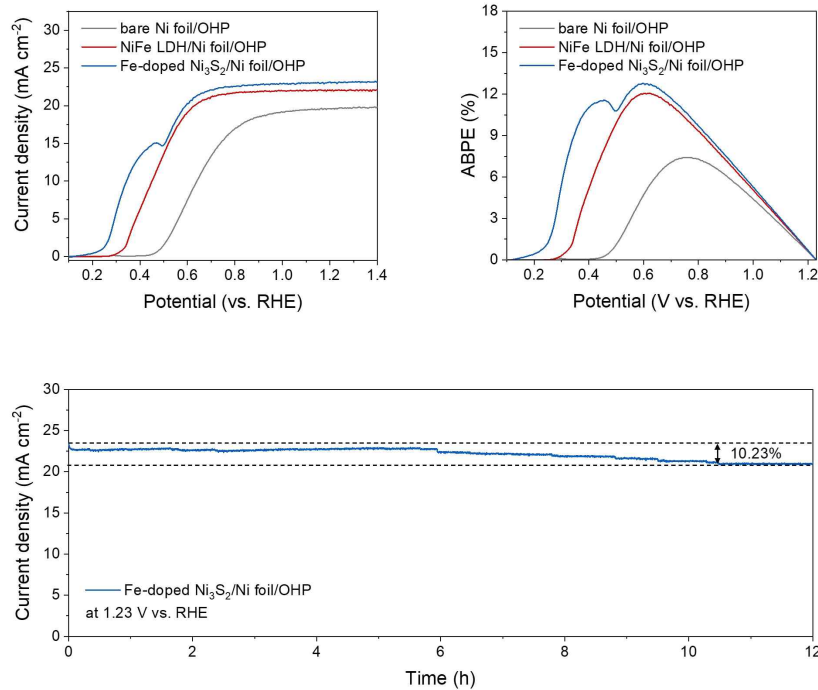
연구팀은 광생성 캐리어의 손실을 억제하는 두 가지 핵심 기술을 적용해 세계적 수준의 페로브스카이트 광전극을 개발하는데 성공했다.

첫 번째로 단분자 유기물*인 글리시딜트리메틸암모늄 클로라이드를 광전극의 산화주석 위에 도포해 산화주석과 페로브스카이트 경계면 사이의 결함을 제어한 결과, 광생성 캐리어가 전기에너지로 전환되지 못하고 열에너지로 방출되는 현상을 감소시킬 수 있었다.

두 번째로 광전극의 니켈 포일 보호층에 합성된 니켈-철 이중층수산화물 촉매를 철이 도핑된 황화니켈 촉매로 바꿔서 광전극과 전해질 사이의 물분해 반응을 촉진할 수 있었다.

* **단분자 유기물:** 중합을 통해 연결된 고분자 물질과 달리, 분자량이 낮은 유기물 분자를 일컫는 말로, 이 연구에 사용된 물질은 단분자 유기물이나 열처리를 통해 가교결합으로 단단히 결합되는 특성을 보인다.

연구팀은 광전극 내부에서 결함을 제어하고 외부에서 물분해 반응을 촉진함으로써 내·외부 광생성 캐리어의 손실을 효과적으로 억제했다. 그 결과 **세계적 수준인 12.8%의 광전극 효율**을 달성했을 뿐만 아니라 **12시간 사용 후에도 10.2%만 효율이 감소하는 높은 안정성**을 얻었다.



[그림2] 본 연구팀이 제작한 손실 억제 기술이 적용된 페로브스카이트 광양극은 높은 효율 및 안정성을 달성했다.

지스트 이상한 교수는 “이번 연구성과는 기존 방식을 벗어나 ‘손실 제어’ 기술로 **세계적 수준의 효율과 안정성을 갖춘 페로브스카이트 광전극 제작이 가능하다는 점**을 밝혀냈다”며 “차세대 광전극에 적용해 **그린 수소 생산성을 높이는데 활용될 것**으로 기대된다”고 말했다.

이 교수가 주도하고 카이스트 생명화학공학과 서장원 교수가 공동 참여했으며 지스트 신소재공학부 최호중 박사, 한국화학연구원 김영운 박사, 미국 로렌스 버클리 국립연구소 서세훈 박사가 수행한 이번 연구는 한국연구재단 미래수소원천기술개발, 중견연구자 사업, ERC 선도연구사업과 한국화학연구원 기관주요사업의 지원을 받았다.

연구성과는 에너지분야의 세계적 학술지인 「어드밴스드 에너지 머티리얼즈 (Advanced Energy Materials)」에 6월 17일 게재됐다.

용어설명

1. 유기금속 할라이드 페로브스카이트

- 유기금속 할라이드 페로브스카이트 (페로브스카이트)는 ABX_3 의 결정 구조를 가지고 있으며, 페로브스카이트의 A 자리에는 주로 유기분자로 된 양이온이 자리하고 B 자리에는 주로 금속 양이온이 자리하며, X자리에는 주로 할로겐 음이온이 자리한다. 본 연구에서는 $(FAPbI_3)_{0.95} (MAPbBr_3)_{0.05}$ 의 페로브스카이트 물질이 사용되었으며, 여기서 FA는 포름아미디늄, MA는 메틸암모늄을 뜻한다. 페로브스카이트는 넓은 영역의 빛을 흡수할 수 있고 전하 이동도가 좋은 물질이기 때문에 차세대 광반도체로서 각광받고 있으나 수분에 약하기 때문에 이를 광전극에 적용하기 위해서 높은 수준의 기술을 필요로 한다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명: Advanced Energy Materials (IF=29.698) (2021년 기준)
- 논문명: Suppression of Undesired Losses in Organometal Halide Perovskite-Based Photoanodes for Efficient Photoelectrochemical Water Splitting
- 저자 정보: 최호중 박사(공동 제1저자, 지스트), 김영윤 박사(공동 제1저자, 한국화학연구원), 서세훈 박사(공동 제1저자, 로렌스 버클리 국립연구소), 서장원 교수(공동 교신저자, 한국화학연구원, 카이스트) 이상한 교수(대표 교신저자, 지스트)