

고효율 친환경 태양광 수소 생산 기술 개발

- 현재까지 보고된 페로브스카이트 기반 광전극 중 가장 높은 효율과 안정성 보여... 친환경 수소생산 기술 실용화 기대



▲ 왼쪽부터 이광희 교수, 이상한 교수, 서세훈 박사, 최호중 박사과정생

효율적인 태양광 수소 생산을 위해서 고성능의 광전극이 필요한데 국내 연구진이 현재까지 보고된 페로브스카이트 기반 광전극 중 가장 높은 효율과 안정성을 보이는 광전극을 개발했다.

지스트(광주과학기술원) 신소재공학부 이광희·이상한 교수 연구팀은 유기금속 할라이드 페로브스카이트* (이하 페로브스카이트) 태양전지에 나노구조의 이황화몰리브덴* 촉매를 결합하여 값비싼 백금 없이도 효율적인 수소 생산이 가능한 기술을 선보였다.

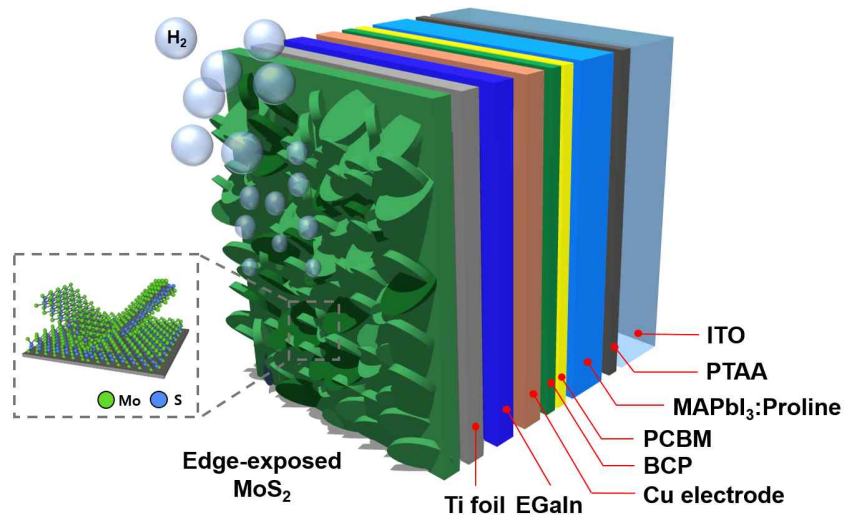
* 유기금속 할라이드 페로브스카이트 : 넓은 영역의 빛을 흡수할 수 있고 전하 이동도가 높기 때문에 차세대 태양전지의 광활성층의 적용으로 각광받고 있다.

* 이황화몰리브덴(MoS_2) : 2차원 구조의 반도체 물질 중 하나로 안정적이고 수소 생성 반응에 대한 활성이 높아서 백금을 대체할 저렴한 수소 생성 반응용 촉매 후보 중 하나이다.

페로브스카이트를 이용한 광전기화학 물분해는 페로브스카이트 물질 자체가 수분에 취약하여 높은 안정성이 보장되지 않으며, 현재까지 높은 효율을 보이는 페로브스카이트 광전극은 모두 값비싼 백금 촉매, 보호층, 그리고 페로브스카이트가 결합한 형태로 이로 인한 비용 문제가 상용화에 걸림돌이 되고 있다.

따라서 값이 싸고 안정적이며 백금의 높은 효율을 대체할 수 있는 저비용, 고효율, 고안정성의 수소 생성 반응용 촉매와 페로브스카이트 광전극의 촉매 개발이 필요하다.

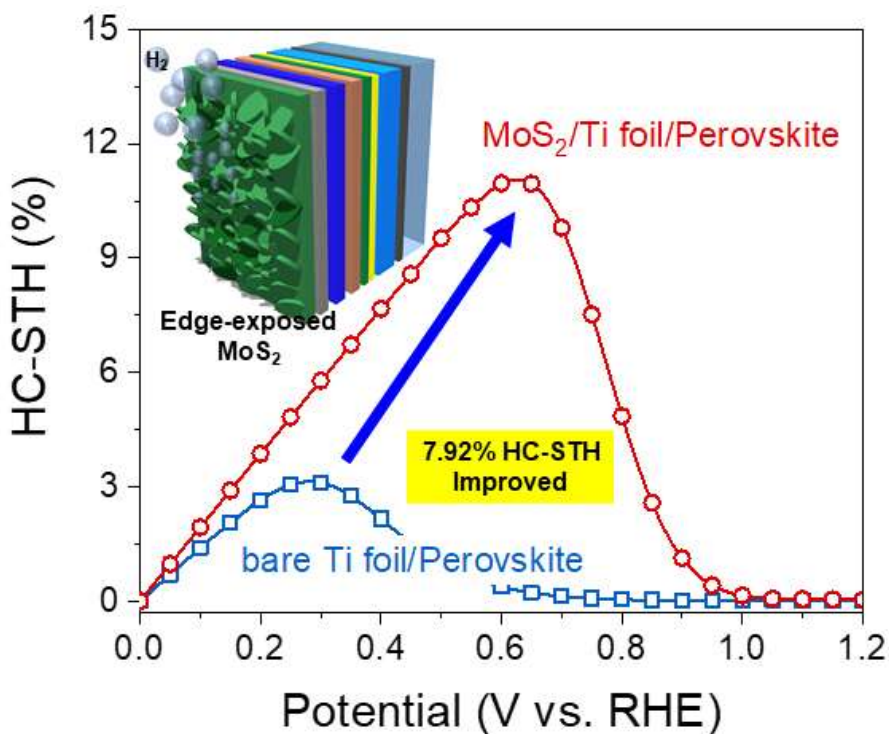
연구팀은 이를 위해 대표적인 물리적 증착 방법인 펄스 레이저 증착법을 이용하여 대표적인 백금 대체 수소 생성 반응용 촉매 중 하나인 이황화 몰리브덴(MoS_2)을 페로브스카이트 보호층(티타늄 포일) 위에 제작하였다.



[그림1] 펄스 레이저 증착법을 사용하여 보호층인 티타늄 포일 위에 증착된 MoS₂와 결합된 페로브스카이트 광음극의 모식도

티타늄 포일 위에 MoS₂를 제작할 때, 증착 조건 중 하나인 펄스 수를 조절하여 MoS₂의 나노구조를 성공적으로 제어하였다. 나노구조화된 MoS₂는 평면구조의 MoS₂보다 더 높은 효율의 수소 생성 반응을 보였다. 이어서 MoS₂가 증착된 티타늄 포일을 액체금속인 인듐-갈륨 합금을 이용해 밀봉하여 수분이 페로브스카이트 물질에 침투하는 것을 성공적으로 방지함으로써 높은 안정성을 보장하였다.

연구팀이 개발한 페로브스카이트 광전극은 MoS₂의 높은 안정성과 효율 덕분에 기존의 백금 촉매의 쉬운 박리현상으로 인한 광전극의 빠른 초기 성능 저하를 성공적으로 방지하였고 현재까지 보고된 페로브스카이트 광전극 중에 최장의 안정성인 120시간의 안정성과 최고 효율인 11.07%의 반쪽전지효율을 달성하였다.



[그림2] 본 연구팀이 제작한 이황화몰리브덴이 결합된 페로브스카이트 광음극은 촉매가 없는 페로브스카이트 광음극보다 7.92%가 증가된 11.07%의 반쪽전지효율을 달성하였다.

이상한 교수는 "본 연구 성과는 값비싼 백금 촉매 없이도 고효율, 고안정성의 페로브스카이트 기반 광전극의 제작이 가능함을 제시했다는데 가장 큰 의의가 있다"면서 "향후 친환경 수소생산 기술의 실용화를 앞당기는데 기여할 것으로 기대된다"고 말했다.

지스트 이상한 교수와 이광희 교수가 주도하고 최호중 박사과정생 및 서세훈 박사가 참여한 이번 연구는 한국연구재단이 지원하는 미래수소 원천기술개발 사업, 중견연구자 사업, 글로벌연구실사업 등의 지원을 받아 수행되었으며, 에너지분야 상위 7% 논문인 'Journal of Materials Chemistry A' (IF=12.732)에 2021년 10월 12일 표지 논문으로 선정되어 온라인으로 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Journal of Materials Chemistry A (IF=12.732) (2020년 기준)
- 논문명 : An organometal halide perovskite photocathode integrated with a MoS₂ catalyst for efficient and stable photoelectrochemical water splitting
- 저자 정보 : 최호중 (공동 제1저자, 지스트), 서세훈 (공동 제1저자, 지스트), 이상한 (대표 교신저자, 지스트), 이광희 (공동 교신저자, 지스트)

용어 설명

1. 유기금속 할라이드 페로브스카이트

- 유기금속 할라이드 페로브스카이트 (페로브스카이트)는 ABX₃의 페로브스카이트 결정구조를 가지고 있으며 A 자리에 주로 유기분자 양이온 메틸암모늄(CH₃NH₃⁺), 포름아미디늄(HC(NH₂)₂⁺), 혹은 Cs⁺이 위치하며 B 자리에는 주로 금속양이온 Pb²⁺ 혹은 Sn²⁺이, X 자리에는 할로젠 음이온 I⁻, Br⁻, Cl⁻가 위치하며 넓은 영역의 빛을 흡수할 수 있고 전하 이동도가 높기 때문에 차세대 태양전지의 광활성층의 적용으로 각광받고 있다.

2. 광전기화학 물분해

- 광전기화학 물분해는 반도체 광전극에 태양에너지를 받으면 생성되는 전자-정공 쌍을 이용하여 물을 분해하여 광양극에는 광생성된 정공으로 산소가, 광음극에는 광생성된 전자로 수소가 생성되어 친환경적으로 수소를 생산할 수 있는 방법 중 하나.