

GIST	지스트(광주과학기술원) 보도자료	
	http://www.gist.ac.kr	
보도 일시	2020.3.11.(수) 조간(온라인 3.10.(화) 낮)부터 보도해 주시기 바랍니다.	
보도자료 담당	홍보팀 김효정 팀장	062-715-2061
	홍보팀 이나영 선임행정원	062-715-2062
자료 문의	융합기술학제학부 김희주 교수	062-715-3202

빛에 취약한 페로브스카이트 태양전지의 수명 항상 실마리 박막표면 결함 제거하여 빛과 열에 강한 페로브스카이트 개발

- 빛을 흡수해 전기로 만드는 태양전지. 그런데 정작 태양전지에 쓰이는 핵심 소재가 빛에 취약하다면?
 - 상용 실리콘 태양전지에 버금가는 에너지전환효율에도 불구하고 빛이나 열, 공기 및 수분에 취약해 상용화에 어려움을 겪고 있는 페로브스카이트 태양전지* 이야기다.
 - * 페로브스카이트 태양전지: 페로브스카이트 결정구조를 갖는 유기물과 금속의 혼합체 기반 박막형 태양전지, 빛을 잘 흡수하고 흡수할 수 있는 빛의 영역대가 넓다.
- 높은 에너지전환효율은 물론 저온의 용액공정으로 제작할 수 있어 가성비 좋은 차세대 태양전지 후보로 꼽히는 페로브스카이트 태양전지의 낮은 광 안정성을 극복할 실마리가 나왔다.
 - 광주과학기술원(총장 김기선, 지스트) 김희주·이광희 교수 연구팀이 표면 재결정화를 통해 페로브스카이트 박막 표면의 결함을 제거, 광안정성을 높일 수 있음을 확인했다.
- 기존에도 금속이온을 추가하거나 산화피막을 도입, 페로브스카이트 결정을 단단하게 만들어 안정성을 높이려는 시도가 있었다.
 - 페로브스카이트 소자 자체가 안정성이 낮다는 전제 때문이었다.

- 하지만 연구팀은 페로브스카이트 자체의 안정성이 아닌 박막으로 제조하는 공정을 개선하는 데 집중했다.
 - 태양전지 구동을 위해 빛을 쬐면 결정을 박막으로 만드는 과정에서 생겨난 결함들이 박막 표면으로 이동, 전극을 부식시키는 것 자체를 원천적으로 방지하고자 한 것이다.
- 연구팀은 빛에 반응해 페로브스카이트 박막 표면으로 이동한 결함들을 흡착할 유기물로 된 기능층을 도입했다.
 - 페로브스카이트 박막 위에 유기물층을 적층하고 고진공 상태에 보관하면 박막 표면의 결함들이 표면으로 이동하여 유기물층에 흡착되는데, 이후 결함들을 모두 떠안은 유기물층을 씻어내는 방식이다.
- 이렇게 결함이 제거된 페로브스카이트 박막은 다시 새로운 유기물층과 전극을 연결하여 태양전지로 재사용하는 것이다.
 - 실제 결함이 제거된 페로브스카이트 박막으로 만든 태양전지는 1,000시간 동안 자외선이 포함된 태양광에 노출되거나 85℃의 열에 노출되어도 소자성능이 80% 이상 유지되었다.
- 페로브스카이트 태양전지 상용화의 걸림돌인 광안정성 문제를 해결할 수 있는 실마리를 찾아낸 이번 연구결과를 토대로 연구팀은 향후 페로브스카이트 표면의 결함을 빠르게 제거하는 양산화 기술에 대한 연구를 추진할 예정이다.
 - 과학기술정보부와 한국연구재단이 추진하는 기초연구실사업(글로벌연구실사업)과 기초연구사업(중견연구)의 지원으로 수행된 이번 연구의 성과는 환경과학 국제학술지 ‘에너지 앤 인바이런멘탈 사이언스(Energy & Environmental Science)’에 2월 17일 게재되었다. <끝>

주요내용 설명

< 논문명, 저자정보 >

논문명	Highly stable inverted methylammonium lead tri-iodide perovskite solar cells achieved by surface re-crystallization
저자	이광희 교수(대표 교신저자/GIST), 김희주 교수(공동 교신저자/GIST), 백형철 박사(제 1저자/前GIST, 現한화솔루션), 김근진 박사(공동 1저자/前GIST, 現한국화학연구원)

< 연구의 주요내용 >

1. 연구의 필요성

- 유·무기 혼합 페로브스카이트 태양전지는 에너지전환효율이 높고 용액 공정 기반의 저가의 재료를 이용하기에 차세대 태양전지의 유력한 후보로 꼽힌다. 하지만 상용화를 위해서는 다양한 환경(빛, 열, 공기 및 수분에 노출되는 환경)에서 성능이 유지되는 안정성 확보가 필요하다.

* 에너지전환효율 (power conversion efficiency) : 태양광 에너지를 전기 에너지를 전환시키는 효율. 페로브스카이트 태양전지의 세계 최고기록은 2020년 현재 25.2% 이며, 실리콘 태양전지의 효율은 26.1% (미국 신재생에너지연구소, National Renewable Energy Laboratory, Chart 기준)

- 높은 결정성을 갖는 페로브스카이트 물질은 용액공정을 통하여 박막으로 만들 때, 박막 내부 및 표면에 이온 결함 및 결정화되지 못한 비정질 영역 등이 생겨나게 된다. 이러한 결함들은 태양전지 구동을 위해 빛을 쬐었을 때, 박막의 표면으로 이동하여 상부전극을 부식시켜 태양전지의 성능을 저하시킨다.
- 특히, 페로브스카이트 태양전지의 가장 간단한 구조인 메틸암모늄 리드 트리 아이오다이드(methyl ammonium lead tri-iodide, 이하 MAPbI₃) 물질은 다양한 환경에서 성능저하가 심해 근본적으로 안정성이 낮은 물질로 간주되었다.
- 따라서 안정성 향상을 위하여 MAPbI₃에 소량의 금속 이온을 추가하여 더 단단한 결정구조를 만들거나, 페로브스카이트 박막과 상부전극

사이에 산화피막(passivation layer)을 도입하는 방법이 시도되었다. 하지만 이러한 방법은 공정의 복잡함을 불러와 페로브스카이트 물질의 불안정성을 근본적으로 해결하는 방법이 필요하다.

2. 연구내용

- 연구팀은 표면 재결정화 방법*으로 MAPbI₃ 박막의 표면에 존재하는 결함 및 결정화되지 못한 비정질 영역들을 제거하였다. MAPbI₃ 박막 표면의 결함 감소 및 재결정화는 시분해 분광학 방법(Time-resolved spectroscopy)와 그레이징 입사 X선 산란(Grazing Incident Wide Angle X-ray Scattering) 방법을 통하여 확인하였다.

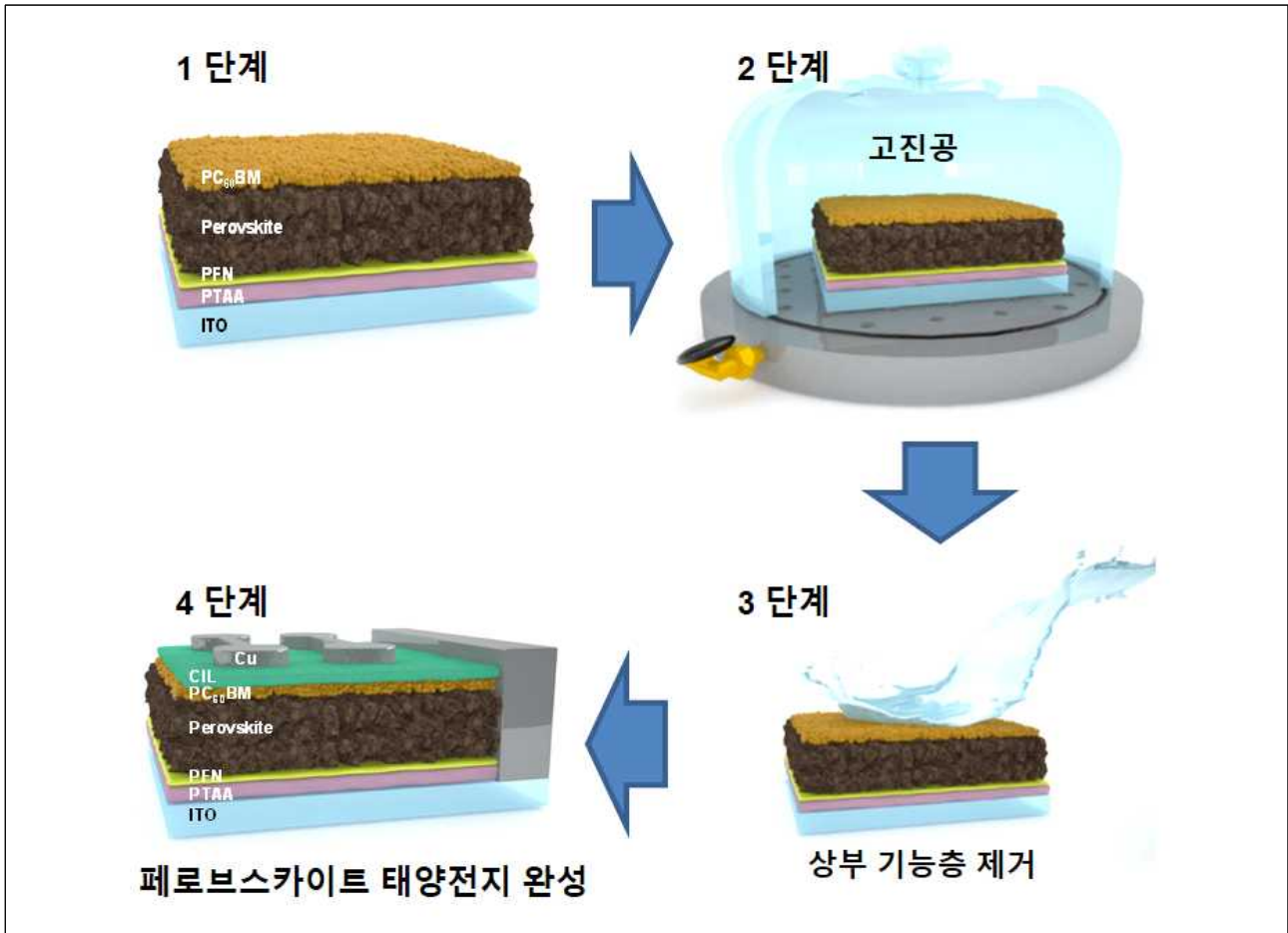
* 표면 재결정화 방법(Surface re-crystallization) : MAPbI₃ 페로브스카이트/유기 기능층 다층 박막을 고진공 조건($<10^{-6}$ Torr)에 보관하여 페로브스카이트 표면의 결함 및 비정질 영역들을 기능층에 흡수시킨 후, 기능층을 제거하여 페로브스카이트 박막 표면의 결정화를 강화시키는 방법

- 표면 재결정화를 거치지 않은 MAPbI₃ 박막으로 제작된 태양전지의 경우, 유사 태양광(자외선이 포함된 AM 1.5 태양광 스펙트럼, 100 mW/cm² 빛 세기) 조건에 노출시켰을 때 태양전지의 성능이 급격히 감소하는 결과를 보였다. 하지만 표면 재결정화를 거친 MAPbI₃ 박막으로 제작된 태양전지는 같은 조건에 1,000 시간 동안 노출시켰을 때, 초기 성능의 80%를 유지하는 것을 확인하였다.
- 또한 유사 태양광 조사시 태양전지를 지속적으로 구동시키며 최대 전력점 추적(Maximum Power Point Tracking, MPPT) 조건에서 효율변화를 측정하였다. 빛에 노출시킨 후 또는 유사 태양광에서 자외선을 제거한 뒤에 측정한 기존 연구들에 비해 보다 가혹한 조건에서 얻은 결과여서 더욱 의미가 있다. 또한, 같은 조건에서 제작된 태양전지를 85°C의 온도에 지속적으로 노출시켰을 때, 1,000 시간 후에 초기 성능의 90%가 유지되는 것을 확인하였다.

3. 연구성과/기대효과

- 가장 대표적인 페로브스카이트 태양전지, MAPbI₃의 표면 재결정화를 통해 표면의 결함과 비정질 영역을 제거, 이 물질이 빛과 열에 노출되어도 근본적으로 안정성을 지님을 확인하였다. 나아가 이를 이용해 빛 및 열에 대한 안정성이 우수한 페로브 스카이트 태양전지를 구현하였다.
- 본 결과는 향후 다양한 환경에서 페로브스카이트 물질의 안정성이 극복될 수 있음을 보여준 결과라는 점에서 그 의의가 있다.
- 차세대 태양전지 중 실리콘 태양전지의 에너지전환효율에 가장 근접하지만 안정성이 낮은 페로브스카이트 태양전지의 단점을 해결할 단초를 제공, 페로브스카이트 태양전지 상용화에 한 걸음 다가갈 수 있을 것으로 기대된다.

그림 설명



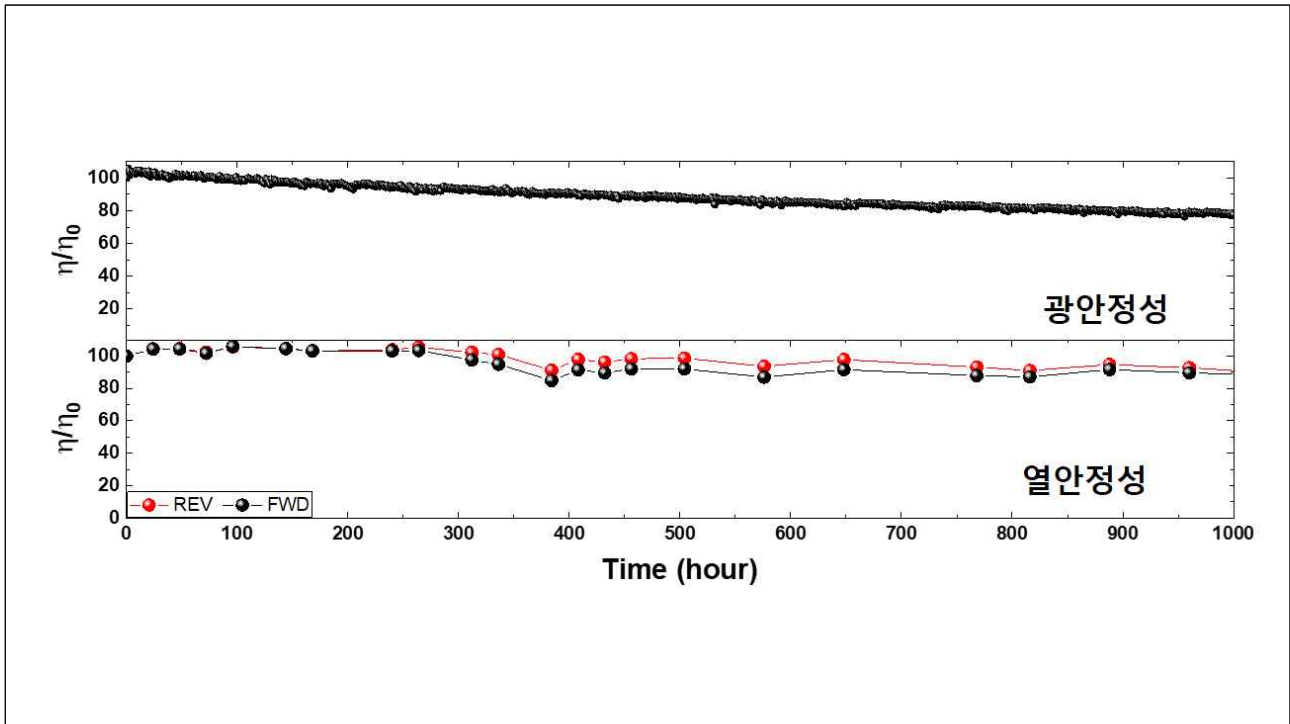
(그림 1) 페로브스카이트 박막의 표면 재결정 과정 모식도

(1~2 단계) 페로브스카이트 태양전지를 상부전극 증착 전까지 제작하고, 고진공($<10^{-6}$ Torr) 용기 안에 보관, 표면의 결함들을 기능층에 흡수시킨다.

(3단계) 일정 시간이 지난 후 용매를 이용하여 페로브스카이트 박막 상부의 기능층을 제거한다.

(4단계) 다시 소자를 제작하여 최종적으로 상부전극을 증착, 페로브스카이트 박막 표면의 결정화를 강화시킨다.

제공 : 광주과학기술원 이광희 교수



(그림 2) 페로브스카이트 태양전지의 성능(광안정성 및 열안정성) 변화 곡선

(상) 광안정성 : 표면 재결정화를 거친 페로브스카이트 태양전지는 최대전력점 추적방법을 통해 성능을 측정하였을 때 유사태양광 조건에서 1,000 시간 후에도 초기성능의 80%를 유지하였다

(하) 열안정성 : 표면 재결정화를 거친 페로브스카이트 태양전지를 1,000 시간 동안 85℃의 온도에 노출했을 때에도 초기성능의 90%를 유지하였다.

제공 : 광주과학기술원 이광희 교수

연구 이야기

<작성 : 광주과학기술원 이광희 교수>

□ 연구를 시작한 계기나 배경은?

본 연구진은 2015년 페로브스카이트 태양전지의 성능을 1년 이상 안정적으로 유지하면서 보관할 수 있는 기술을 개발한 바 있다. 하지만 정작 빛이 조사되는 동작상태에서는 성능이 매우 빠르게 열화되어 이를 해결하는데 관심을 갖게 되었다.

□ 연구 전개 과정에 대한 소개

페로브스카이트 태양전지를 연구하면서 보관 안정성 뿐 아니라 동작 안정성에 대한 연구도 동시에 진행하였다. 태양전지임에도 빛을 받으면 소자의 동작 안정성이 크게 떨어지는 현상을 2년여에 걸쳐 확인하였다. 소자 열화현상을 분석하기 위해 열화된 소자의 상부 금속전극과 전하전달층을 제거하고 열화된 페로브스카이트 층을 다시 사용하여 소자를 재생한 결과, 소자 성능의 복구 및 초기 열화현상이 둔화됨을 확인하였다. 이를 바탕으로 소자의 재생을 통한 열화현상 둔화 과정을 모사하는 모델링 실험을 진행하였고, 재생과정 없이도 초기 열화현상을 제거할 수 있는 기술을 개발할 수 있었다. 그 과정에서 초기 열화현상의 원인이 페로브스카이트 표면의 비정질 상에서 기인함을 확인, 고체상에서도 재결정화를 통하여 이를 제거할 경우 열화현상을 제거할 수 있음을 보였다.

□ 연구하면서 어려웠던 점이나 장애요소는 무엇인지? 어떻게 극복(해결)하였는지?

2015년 여름 열화현상이 진행된 소자도 반복적으로 재생할 수 있으며 동작 안정성이 점차 향상될 수 있음을 처음으로 확인한 뒤, 이 현상을 활용하기 위해 많은 시행착오를 거쳤고 소자의 동작 수명이 크게 향상되는 기술을 개발했지만 이에 대한 해석과 원인 분석이 어려웠다. 마침 국제공동연구를 진행 중이었던 한국, 미국, 영국의 4개 기관이 연합하여 분석에 돌입하여 소자의 빠른 열화현상에 대한 실마리를 얻을 수 있었다. 영국 임페리얼 런던 대학교 및 미국 브룩헤이븐 국립연구소와의 국제공동연구로 이뤄졌다.

□ 이번 성과, 무엇이 다른가?

페로브스카이트 태양전지는 높은 효율에 비하여, 소자가 빛을 받아 태양전지로 동작하는 상태에서 단시간에 소자의 성능이 매우 빠르게 열화되는 현상이(일명, 번인현상, burn-in) 보고되고 있다. 이러한 초기 번인현상은 페로브스카이트 태양전지의 상용화에 큰 걸림돌이 되기 때문에, 성능 향상 이외에도 많은 관심을 받는 중요한 주제이다. 본 연구는 페로브스카이트 태양전지의 초기 구동 상황에서 발생하는 소자 열화 문제의 원인이 현재까지 학계에 보고되지 않았던, 페로브스카이트 층 표면에 형성되는 비정질 상 때문임을 밝혔고 이러한 비정질 상을 효과적으로 제거할 경우 장기 안정성을 확보할 수 있음을 입증한 결과라고 할 수 있다.

□ 실용화된다면 어떻게 활용될 수 있나? 실용화를 위한 과제는?

페로브스카이트 태양전지의 초기 동작 성능저하문제는 현재까지 상용화에 가장 큰 문제로 여겨지고 있다. 본 연구를 통하여 페로브스카이트 태양전지의 짧은 동작 수명이 페로브스카이트 층 형성 시에 발생하는 페로브스카이트 박막 표면의 비정질 상과 관련 있음을 밝혔고, 이러한 비정질 상을 제거할 경우 페로브스카이트 태양전지의 초기 성능 저하문제 해결과 동시에 장기 안정성을 확보할 수 있음을 보인 결과이다. 본 연구를 바탕으로 현재 페로브스카이트박막 형성조건이 상용화에 적합하지만, 소자의 안정성이 매우 떨어진다고 알려져 온 MAPbI₃ 기반 소자의 안정성을 크게 향상시켰고 이 결과는 페로브스카이트 태양전지의 상용화에 한발 다가간 결과로 볼 수 있다. 앞으로 이 기술의 실용화를 위하여 페로브스카이트 표면의 비정질상을 빠르게 제거하는 양산화 기술의 개발이 필요하다.

□ 꼭 이루고 싶은 목표나 후속 연구계획은?

페로브스카이트 태양전지는 최근 개발되고 있는 차세대 박막형 태양전지 중 가장 많은 관심을 받고 있다고 해도 과언이 아니지만 10년이라는 짧은 연구기간으로 인하여 기초연구에 대한 투자가 많이 부족한 상황이다. 페로브스카이트 태양전지의 상용화를 위해서는 소자의 효율 향상도 중요하지만, 그 근간에는 소자의 재현율과 안정성이 뒷받침되어야 하기에 이와 관련된 연구에 집중하려고 한다.

□ 기타 특별한 에피소드가 있었다면?

빛을 조사한 지 수 시간 만에 성능이 초기 성능의 절반 수준까지 열화된 페로브스카이트 태양전지의 상태를 분석하기 위하여 다양한 분석기법들을 사용해보았지만 명확한 열화의 원인을 찾기 힘들었다. 우연히 소자에 접착테이프가 붙어버려 이를 제거하는 과정에서 상부금속전극이 매우 쉽게 테이프와 같이 떨어지는 것을 확인하였고, 이를 활용하여 전하 전달 층까지 제거한 뒤에 소자를 재생시켜 보는 실험을 진행한 결과 소자의 성능이 다시 복구되는 현상까지 발견하게 되면서 본 연구가 시작되었다.