

500cm² 대면적 유기 태양전지 필름 개발

- 강홍규 박사·이광희 교수팀, 친수성 산화물층 형성으로 박막 불균일 문제 해결
- **Advanced Energy Materials** 게재... "산학협력 성과, 필름 형태 상용화 기대"



▲ 연구진이 대면적의 플렉서블 투명전극, 불투명 유기 태양전지 모듈, 투명 유기 태양전지 모듈 필름을 선보이고 있다. (앞줄 왼쪽부터) 강홍규 선임연구원, 이광희 소장, 권혁찬 박사후연구원, (뒷줄 왼쪽부터) 이양수 연구원, 정현석 연구원, 정원 연구원, 장준호 박사후연구원, 박애리 연구원, 김승찬 연구원

기존 실리콘 태양전지를 대체할 차세대 태양전지인 '유기 태양전지*' 상용화에 기여할 고효율 대면적 모듈 필름이 개발됐다.

필름 크기가 커질수록 효율이 감소하는 기존 한계를 극복하고 대면적 플렉서블(flexible) 유기 태양전지의 상용화를 앞당길 수 있는 연구 성과로 평가된다.

* **유기 태양전지:** 빛을 흡수해 전하를 생성하는 광활성층에 친환경 유기물질을 사용하는 차세대 태양전지. 초저가·초고속으로 두루마리 형태의 '롤투롤(roll to roll)' 대량 생산이 가능하며, 기존 실리콘 태양전지에 비해 유연하고, 투명하며, 가벼운 필름 형태로 제작 가능해 장소의 제약 없이 유리, 벽면 등에 부착해 사용할 수 있다. 최근 유기 태양전지 소면적 셀에서 약 20%의 에너지 변환 효율이 보고되어 국내외에서 상용화를 위한 대면적 모듈 제작기술에 대한 관심이 증가하고 있다.

기존 유기 태양전지 연구는 대부분 값비싸고 딱딱한 인듐주석산화물(ITO) 투명전극 유리기판(약 1cm²) 위에 제작한 작은 셀(cell) 단위 수준에서 이루어져 왔다.

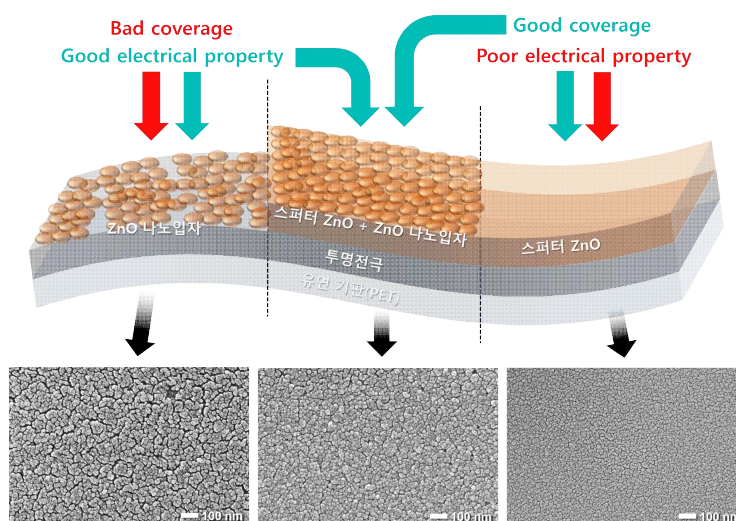
대면적이면서 유연한 모듈 관련 연구가 일부 있었지만, 모듈 크기가 커지고 유연해질수록 매우 낮은 모듈 효율*을 보여 상용화에 어려움을 겪고 있다.

* **유기 태양전지 모듈의 효율:** 태양전지 발전 시스템에서 가장 작은 단위인 줄무늬 형태의 셀 여러 개를 전기적으로 직렬 연결해 구성한 모듈의 효율

지스트 연구혁신센터 강홍규 박사(선임연구원)와 차세대에너지연구소 이광희 소장(신소재공학부 교수) 공동 연구팀은 유연한 투명전극 기판 위에 500cm² 이상 대면적 크기의 고효율 유기 태양전지 모듈 필름 제작기술을 개발했다.

연구팀은 히토류 인듐*이 포함되지 않은 유연 투명전극 필름에서, 용액이 잘 퍼지지 않는 소수성(疏水性) 표면 특성이 태양전지 물질의 나노박막 불균일도를 유발하는 것을 발견하고, 이를 해결하기 위해 친수성(親水性) 산화물층을 도입하여 표면 젖음성을 크게 개선함으로써 균일한 대면적 나노박막을 형성했다.

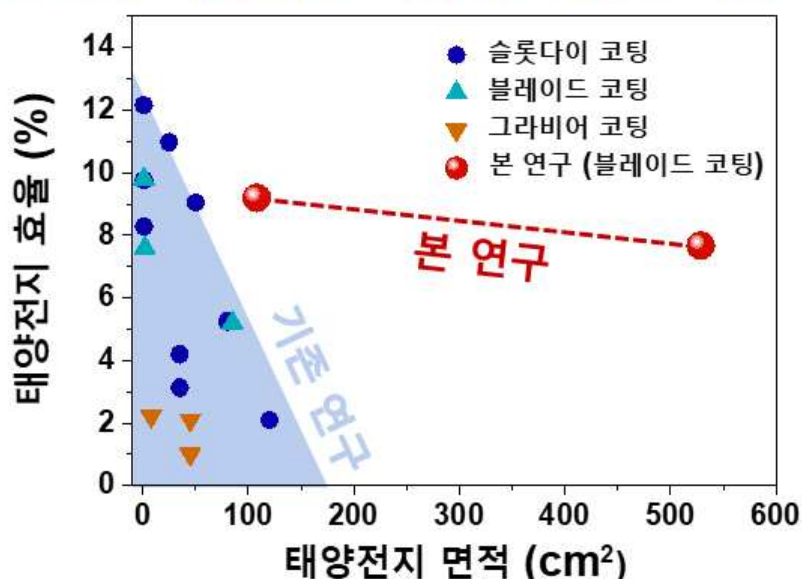
* **히토류 인듐**: 반도체 제조, 디스플레이 코팅, 전기 도금, 태양전지 등 전자산업에 폭넓게 이용되는 희귀금속. 중국에 매장량이 집중(70%)되어 있어 대체재 개발 시급하다.

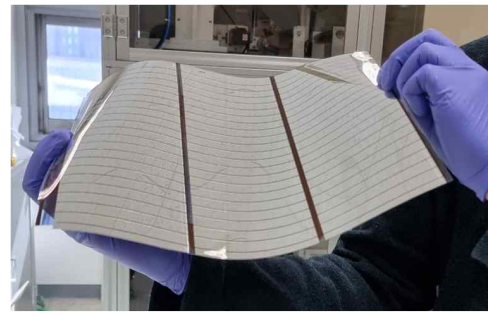
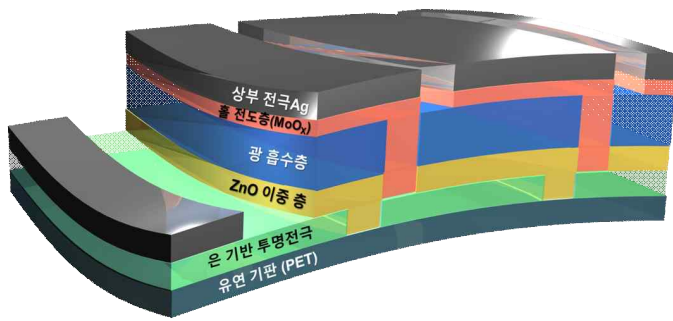


▲ 산화물층 도입 여부에 따른 산화아연 (ZnO) 나노입자 층 표면 상태 차이를 보여주는 모식도 및 전자현미경 사진

연구팀이 제작한 모듈 필름은 528cm² 크기에서 7.67%의 효율을 나타냈으며, 인쇄 기반 플렉서블 유기 태양전지 모듈 필름으로 500cm² 이상의 대면적 필름이 학계에 보고된 사례는 이번 연구가 처음이다.

프린팅 기반 유연 태양전지 효율 비교



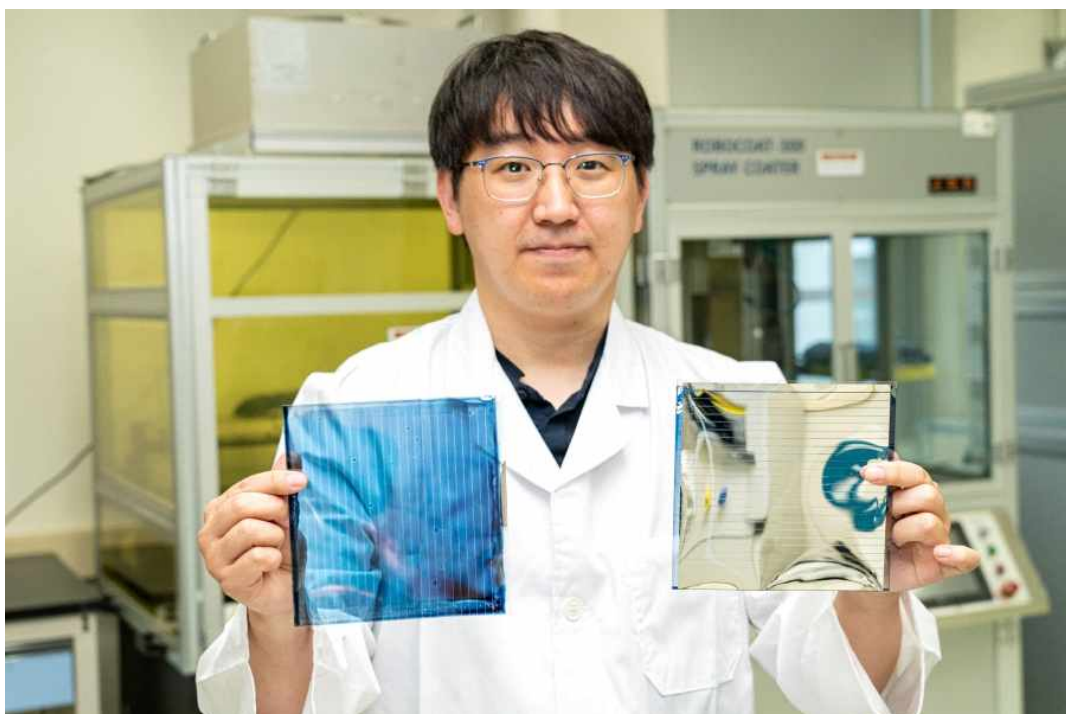


▲ 대면적 유연 유기 태양전지 모듈 구조 모식도 (왼쪽) 및 실제 사진 (오른쪽)

특히 이번 연구는 지스트가 국내 최초로 원천기술을 개발해 엠에스웨이(주)로 기술이 전한 '유연 투명전극 제조 기술'을 적용한 산학협력의 성과로, 이번 연구를 바탕으로 엠에스웨이(주)와 더불어 소재.부품.장비.시공 기업들과 유기 태양전지 제품화를 위한 가치사슬(Value Chain)을 구축하고, 산학 공동연구를 강화하면 상용화가 가능할 것으로 기대된다.

엠에스웨이(주)는 국내 생산이 불가능해 전량 해외 수입에 의존하던 인듐 기반 투명전극을 대체할 수 있는 기술을 지스트로부터 이전 받아 업계 최초로 대면적 유연 투명전극 필름을 국산화하고 양산 중이다.

강홍규 박사는 "이번 연구는 유기 태양전지 상용화의 가장 큰 걸림돌인 태양전지 물질의 나노박막 불균일도를 해결하고 높은 수준의 에너지 변환 효율을 갖는 유연한 대면적 모듈을 구현했다는 데 의의가 있다"며 "별도 부지 없이도 다양한 응용 분야에 필름 형태로 적용이 가능한 유기 태양전지의 상용화를 앞당겨 주민친화형 태양전지가 확산될 수 있도록 추진할 계획"이라고 말했다.



▲ 지스트 연구혁신센터의 강홍규 선임연구원이 투명(좌)과 불투명(우) 유연 태양전지 필름을 시연하고 있다.

최근 지스트는 광주·전남·제주 지자체와 녹색에너지연구원 등 지역 유관기관들과 함께 분산에너지의 신재생에너지 발전원(發電原) 중 하나로 차세대 유기 태양전지를 포함하는 초광역 협력 기획 사업을 추진하고 있다.

유기 태양전지는 가격경쟁력이 높고 투명성·경량성·유연성·심미성을 가져 건물 창호(도심형), 자동차 창문(모빌리티형), 유리온실(영농형) 등에 필름으로 부착할 수 있어 관련 산업 생태계 조성을 위한 R&D와 산학협력이 꾸준히 진행되고 있다.

이번 연구는 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 지원하는 기후변화대응기술개발사업, 중견연구사업, 우수신진사업, 지스트 GRI사업의 지원을 받아 수행되었으며, Energy & Fuels 분야 상위 약 4% 논문인 '어드벤스드 에너지 메터리얼즈(Advanced Energy Materials, IF: 29.368)'에 2022년 4월 16일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Energy Materials (IF: 29.368)
- 논문명 : Overcoming the Low-Surface-Energy-Induced Wettability Problem of Flexible and Transparent Electrodes for Large-Area Organic Photovoltaic Modules Over 500 cm²
- 저자 정보 : 권혁찬 (공동 제1저자, 지스트 차세대에너지연구소), 정원 (공동 제1저자, 지스트 히거신소재연구센터), 이양수 (공동 제1저자, 지스트 차세대에너지연구소), 장준호 (공동저자, 지스트 히거신소재연구센터), 정현석 (공동저자, 지스트 차세대에너지연구소), 김승찬 (공동저자, 엠에스웨이㈜), 송대훈 (공동저자, 엠에스웨이㈜), 박애리 (공동저자, 엠에스웨이㈜), 노은지 (공동저자, 엠에스웨이㈜), 이광희 (공동 교신저자, 지스트 차세대에너지연구소 소장), 강홍규 (대표 교신저자, 지스트 연구혁신센터)