

새로운 방식의 전도성 고분자 기반

전기화학 다이오드 소자 개발

- 세계 최고수준의 전류밀도를 갖는 수계전해질 고분자 다이오드 소자 구현 및 아날로그·디지털 전해질 회로 구성 데모



▲ 왼쪽부터 김영석 박사과정생, 윤명한 교수

다양한 생체 전자 소자 및 회로에 응용할 수 있는 새로운 구동 원리를 갖는 전도성 고분자 기반 전기화학 다이오드 소자가 국제 공동연구로 개발됐다. 세계 최고수준의 전류밀도를 갖는 수계전해질 고분자 다이오드 소자로, 차세대 체내이식형 소자와 회로 구현에 이바지할 것으로 기대된다.

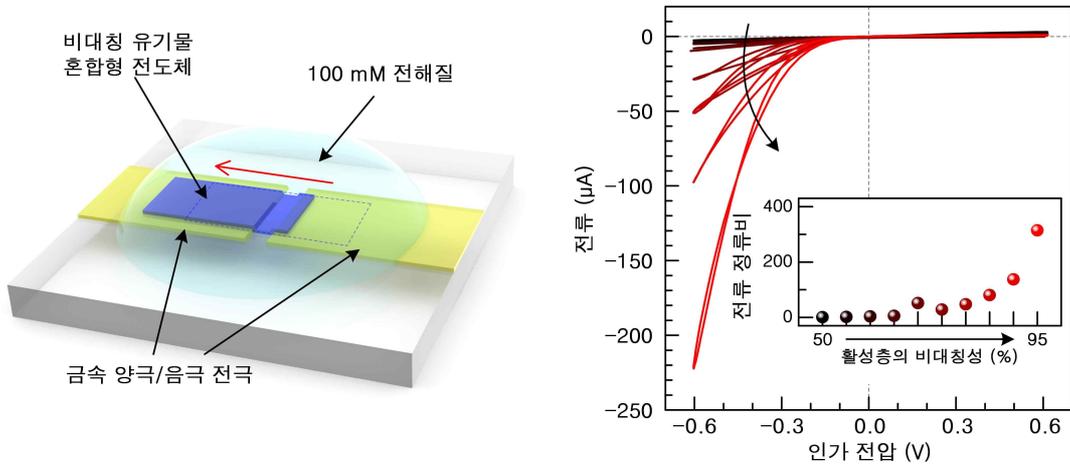
지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 신소재공학부 윤명한 교수 연구팀은 영국 임페리얼 컬리지 런던(ICL)의 마틴 히니(Martin Heeney) 교수(現 지스트 신소재공학부 객원교수) 연구팀과 공동연구를 통해 유기물 혼합형 전도체*를 이용한 새로운 정류 소자를 선보였다.

* **유기물 혼합형 전도체(organic mixed ionic-electronic conductor: OMIEC)**: 금속과 같은 단순 전기전도체가 아닌, 전해질 내에서 이온 전도성과 전기 전도성을 동시에 갖는 재료로, 전해질 환경에서 생체전기신호를 증폭하는 소자 및 유연 전자 소자의 반도체 재료로 활용됨.

일반적인 유기물 기반 다이오드는 p형-n형 유기물 반도체의 접합이나, 금속-유기물 반도체의 접합 등을 통한 구현이 가능한 반면, 정교한 에너지 준위 제어를 필요로 하며 낮은 구동 안정성 및 낮은 전류특성을 갖는 단점이 있다.

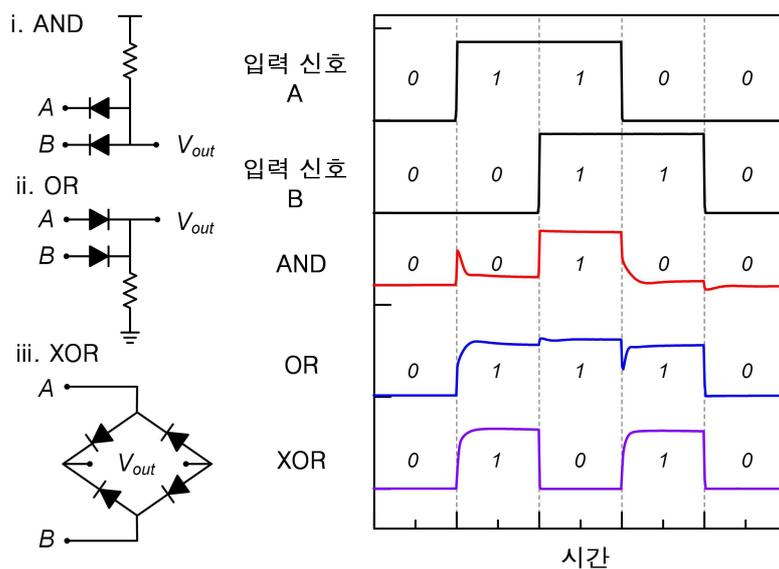
본 연구에서 제안한 유기물 혼합형 전도체는 기존 유기물 반도체 재료에 비해 높은 전하밀도에 의한 높은 전기적 특성을 구현할 수 있었으나, 전해질 내에서 구동하는 특성상 기존 접합형 다이오드 구조로는 정류기능 구현이 불가하였다.

연구팀은 기존 접합형 다이오드의 에너지 준위의 휘어짐을 통한 전류 정류 구동 원리가 아닌, 간단한 패터닝만으로도 구현이 가능한 비대칭 활성층 제작에 따른 집중/분산된 도핑/디도핑 현상을 이용한 새로운 전류 정류 소자를 선보였다.



▲(좌) 본 연구에서 제안한 소자의 모식도와 (우) 비대칭 활성층 형성을 통한 전류 정류 특성 그래프 이를 컴퓨터 수치해석을 이용하여 구현 가능성을 확인하였고, 새롭게 제시한 소자 작동 중 실시간 광학적 전위 매핑 기술을 이용하여 활성층 내 전위 분포를 실험적으로 측정 및 수치해석 결과와 비교하여 구동 메커니즘을 규명하였다.

최종적으로 선보인 유기물 혼합형 전도체 기반의 유기물 전기화학 다이오드는 0.6 볼트 수준의 낮은 전압 범위 내에서도 $30,000 \text{ A/cm}^2$ 수준의 높은 전류밀도를 갖는 소자를 구현하는데 성공했다.



▲ (좌) 본 연구에서 제작한 정류소자의 디지털 신호 처리 회로의 회로도 (AND, OR, XOR 게이트 연산)와 (우) 측정 결과 그래프

유명한 교수는 "유기물 전기화학 트랜지스터만으로 구동할 수 없는 다양한 응용 소자와 응용 회로에 사용할 수 있어 차세대 체내이식형 생체전자소자 구현에 크게 이바지할 것으로 기대된다"고 밝혔다.

지스트 윤명한 교수와 임페리얼 칼리지 런던의 마틴 히니(Martin Heeney) 교수가 주도하고, 지스트 김영석 박사과정생, 김건우 석사과정생, 임페리얼 칼리지 런던 보웬 딩(Bowen Ding) 박사과정생이 공동으로 수행한 본 연구는 한국연구재단의 중견 연구자지원사업, 미래소재디스커버리사업 등의 지원을 받아 수행되었으며, 과학기술 전문 권위지인 Advanced Materials에 2022년 1월 10일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Materials (IF= 30.849 (2020년))
- 논문명 : High Current-density Organic Electrochemical Diodes Enabled by Asymmetric Active Layer Design
- 저자 정보 : 김영석(제1저자, 지스트), 김건우(공동 제1저자, 지스트), Bowen Ding(공동 제1저자, 임페리얼 칼리지 런던), 이인호(아주대), 정다현(카이스트), 김범준(카이스트), 박성준(아주대), Iain Mcculloch(킹 압둘라 과학기술대학교), Martin Heeney (공동교신저자, 임페리얼 칼리지 런던), 윤명한 (교신저자, 지스트)