

Flexible Molecular-scale Electronic Devices

미래에 사용될 전자소자는 친환경적이고, 휴대 및 사용이 편리한 인간친화형으로 발전되고 있으며, 그 중심에는 유연성의 개념이 자리 잡고 있다. 각종 재료 중, 특히 유기 재료는 대면적 공정의 용이성, 인쇄전자를 통한 비용절감, 그리고 유연성 등의 장점으로 인해, 다양한 연구 분야에서 유연한 전자소자를 제작하기 위한 재료로 개발되고 있다. 하지만, 일반적으로 100 nm 두께의 필름 형태인 유기물 층으로 제작되는 유연한 유기소자는 간단한 용액공정으로 제작이 가능하지만, 기판에 따라서 구부리거나 휨에 대한 기계적 변화에 대한 안정성이 부족할 수 있으며, 이에 대한 대체 방안으로 분자 단위의 초박막 필름 형태가 소자의 활성층으로 동작되는 아이디어가 제시되었다.

분자전자소자는 2006년 안정된 수율로 대면적으로 제작된 분자소자 연구와 [Akkerman 외, Nature **441**, 69 (2006)] 본 연구실에서 보고한 단분자 트랜지스터 연구로[송현욱, 김영상 외 Nature **462**, 1039 (2009)], 분자-스케일의 소자 구현을 목표로 활발히 연구개발되고 있다. 최근에 광주과학기술원 박성준(박사과정)과 왕건욱 박사(現 미국 Rice 대학교 박사후 연구원), 유명한 교수(광주과학기술원) 등이 참여한 이택희 교수(서울대학교) 연구팀은 박막의 두께가 1~2 나노미터 정도인 자기조립단분자막(self-assembled monolayer)을 폴리이미드(polyimide)라는 플라스틱 기판 위에 전자소자로 제작하고, 소자의 반복적 휨 현상 혹은 다양하게 휘어진 환경에서 전기적 전도 특성을 분석하여, 플렉시블한 유기물 기반의 전자소자가 분자스케일로 안정하게 제어될 수 있음을 최초로 밝혀냈다[박성준, 왕건욱 외 Nature Nanotechnology **7**, 438 (2012)]. 분자

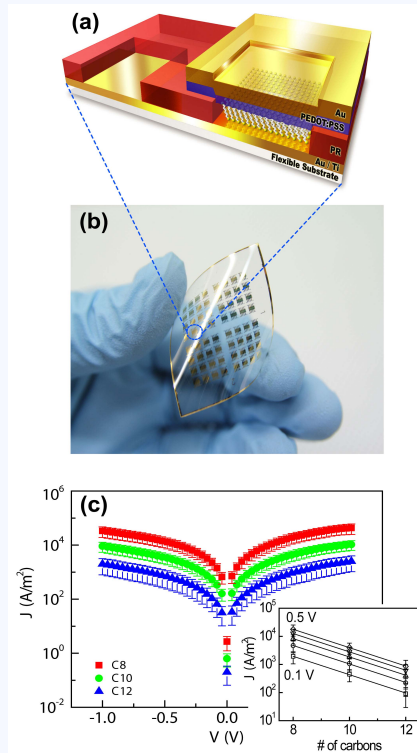


그림 1. (a) 플라스틱 기판 위 제작된 분자전자소자 모식도. (b) 실제 소자 사진. (c) 평편한 상태에서의 길이가 서로 다른 알킬 분자의 -1 V에서 +1 V 내에서 분자소자의 전류밀도 값.

는 탄소 사슬의 개수가 서로 다른 알킬 계열의 분자를 이용하였고, 구조적으로 단순하고 유연한 형태를 가지고 있다. 그리고 분자의 끝에 있는 싸이올(thiol) 그룹은 금 전극 표면에 자기 조립을 통해서 화학적으로 강하게 결합하는 특성이 있다. 상하부 전극은 금을 사용하였고, 상부 전극과 활성층 사이에는 소자의 수율을 높이고 기계적인 변화에 안정한 소자를 제작하기 위해 전도성 고분자인 PEDOT:PSS를 삽입하였다.

연구진은 플라스틱 기판 위에 제작된 분자전자소자가 평편한 상태에서의 소자의 안정성뿐만 아니라 기계적으로 변형된 상태에서의 안정성을 분석하고 관찰하기 위해서, 휘어진 상태에서의 전도 특성 분석과 반복적인 휨 성능 테스트를 수행하였다.

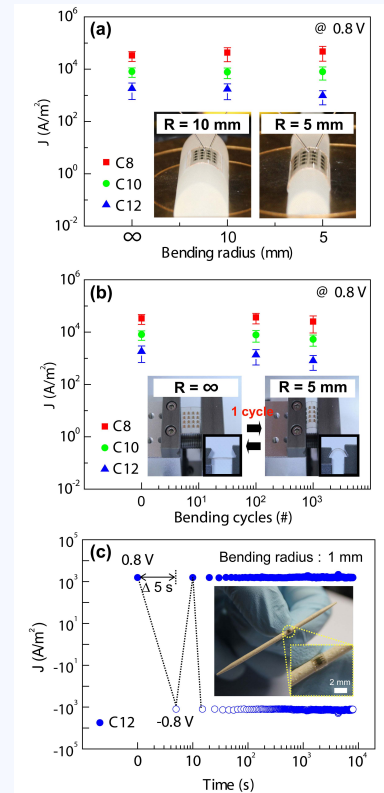


그림 2. (a) 0.8 V에서 세 가지 알킬 분자의 굽힘 반경에 따른 전류밀도 값. (b) 0.8 V에서 세 가지 알킬 분자의 반복 굽힘에 따른 전류밀도 값. (c) 이쑤시게에 감은 상태(굽힘반경: 1 mm)에서 분자소자의 시간에 따른 전류 밀도 측정 값.

본 연구에서는 단분자 기반의 전자소자가 극심하게 휘어진 환경 혹은 반복적인 휨 상황에서도 분자전자소자의 전하 수송특성이 안정하게 유지됨을 관측하였고, 이를 토대로 초박막 유기물 기반의 플렉시블 일렉트로닉스 연구 분야에 접목 가능성과 그 연구적 가치의 중요성을 제시하였다.

특히 이번 연구는 나노미터 크기의 매우 얇은 단일 분자층을 이용해 자유자재로 휘어질 수 있는 유연한 분자전자소자를 개발할 수 있는 가능성을 열었다고 볼 수 있다.

박성준, 왕건욱(現 Rice Univ.), 조병진(現 UCLA), 김용훈, 송성훈, 지용성, 윤명현(광주과학기술원), 이택희(서울대), Nature Nanotechnology **7**, 438 (2012).