

인쇄 전자 소자용 유기 반도체

서울대학교와 미국 NIST 연구진은 neutron reflectivity 분석법으로 고분자 박막에 함유된 유기반도체의 박막 두께 방향의 함량 분포를 정량적으로 분석하였으며, 이를 기반으로 유기 반도체 분자의 수직적 분포를 조절하여 소자 특성을 향상시키는 기법을 발표하였다. 저분자 유기 반도체인 TIPS-pentacene은 고분자 바인더(폴리알파메틸스티렌)의 분자량이 매우 큰 경우 유기반도체가 공기와의 계면 그리고 게이트 절연막과의 계면 부근 10 nm 내외에 대부분 분포하는 것을 확인하여 유기반도체 분자의 수직적 분포를 조절하는 것이 가능함을 확인하였다.

2005년에 영국 연구진은 고분자에 저분자 유기 반도체를 혼합하는 특허를 출원하였는데, 실제 실험 결과에 따르면 전계효과 트랜지스터(field effect transistors)는 상부 게이트(top gate) 소자에서만 작동하는 것이 확인되었다. 다시 말해 필름의 핵심 부분은 상부에 존재하며, 장치의 스위칭 부위(게이트)는 필름 상부의 위에 존재해야만 했다. 하지만, 활성 필름 위에 절연막 및 전극을 제조하는 공정은 활성필름에 손상을 줄 가능성이 높은 단점이 있다.

서울대학교와 NIST 연구진은 중수소로 치환된 TIPS-pentacene을 합성하고 이를 폴리알파메틸스티렌 고분자와 혼합하여 게이트 절연막 위에 코팅하여 제조한 필름을 중성자 이미징(neutron imaging) 기술을 이용하여 나노미터 해상도로 관찰하였다. 이를 통하여 고분자 필름에 함유된 작은 유기 반도체 분자의 분포가 깊이에 따라 다르며 또한 고분자의 분자량에 따라 유기 반도체의 분포도를 조절할 수 있음을 확인하였다. 분자량이 낮은 고분자를 사용한 경우의 박막에서 유기 반도체 분자는 박막의 상부(공기와의 계면)에 주로 위치하게 되는 반면, 큰 분자량의 고분자로 대체하게 되면 유기 반도체 분자는 필름의 상/하부(공기와의 계면 및 절연막과의 계면 부근)에 주로 분포하게 된다. 이와 같이 박막의 하부에 유기 반도체 분자가 주로 존재한다는 것은 대규모 소자 제조에 매우 중요한데, 왜냐하면 이는 게이트, 소스, 드레인(gate, source, drain)의 각 요소를 우선 배치한 후, 나중에 필름을 첨가하면 되기 때문이다.

이러한 연구 결과는 다양한 용도의 인쇄형 유연 전자 디스플레이(printable, flexible electronic displays)를 대량으로 제조하는 데 유용하게 활용될 수 있다.

(*J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 12273 (2008))

다양한 재료에 가능한 컬러 방수 코팅 기술

중국 후난대학교 연구진은 다양한 재료 표면에 방수 코팅을 적용할 수 있는 간단한 프로세스를 개발하였으며, 이때의 초소수성 코팅은 다양한 색상으로 제조될 수 있는 특징을 지니고 있다.

초소수성 코팅기술은 자동차용 설빙 방지 유리, 직물의 방오 코팅, 자체 세정 도로 표지판 등에 매우 활용될 수 있는 유용한 기술이다. 이러한 재료의 초소수성 혹은 자체 세정특성은 자연에 존재하는 연잎에서 흔히 관찰되므로 ‘연잎 효과(Lotus effect)’로 불린다. 연잎 표면에 생성되어 있는 무수히 많은 미세 왁스 결정에 의해 물이 흡

수되지 않고 물 방울은 연잎에서 굴러 떨어지며, 이때 더러운 오염 물을 함께 끌고 가게 된다.

기존의 초소수성 재료는 제조하기가 어렵고 공정상 많은 비용이 소요되는 단점을 안고 있다. 이와 달리 금번에 개발된 방법은 공정이 간단하며 상온에서 수행되고, 초소수성 코팅이 완성되는 데 걸리는 소요시간이 불과 20분 정도에 불과하다. 코팅하고자 하는 기판을 디클로로메탄에 용해된 폴리카보네이트 용액에 5분 정도 담근 후 꺼내어 공기 중에서 용매를 휘발시키고, 이를 다시 이소프로판올과 같은 비용매에 담그면 기판 표면에 고분자가 응집되어 초소수성 표면이 형성되는 원리이다.

금속, 유리, 플라스틱, 시멘트, 종이, 직물 등 거의 모든 재료 표면에 최대 160° 가량의 접촉각을 형성하는 초소수성 코팅이 가능함을 확인하였다. 또한 연구진은 소량의 유성 페인트 혹은 염료를 첨가하여 다양한 색상의 초소수성 코팅도 제조하였다. 또한 일반적으로 코팅하기 까다로운 꼬인 혹은 튜브 형태의 물체 등에도 위와 같은 공정을 통해 방수 제조가 가능하다.

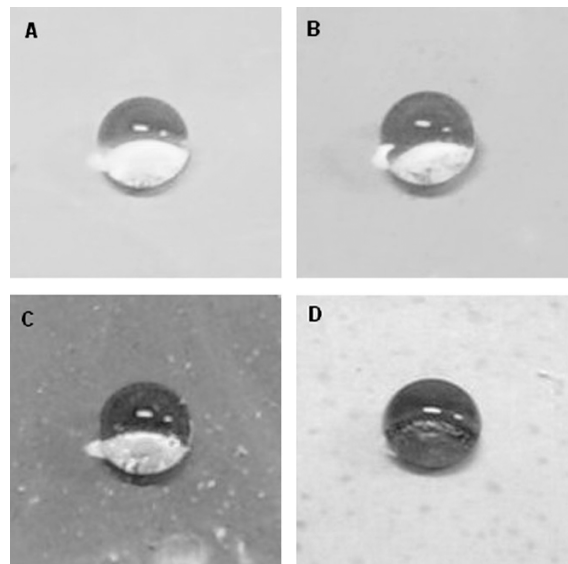


그림 1. 다양한 재료 표면에 형성된 폴리카보네이트 초소수성 컬러 방수 코팅.

(*J. Mater. Chem.*, **18**, 4442 (2008))

연동운동을 하는 고분자 수화젤

크든 작든 간에 기계부품들은 외부의 자극에 의해 조절될 때만 움직이게 된다. 이와는 반대로 창자의 연동운동과 같이 생물 시스템은 자신의 리듬과 공간패턴을 연속해서 따르는 자발적인 운동을 할 수 있다. 일본 와세다대학교 연구진은 외부자극 없이 자체적으로 표면을 따라 물체를 밀거나 혹은 펴낼 수 있는 ‘웨이브’를 연속적으로 형성하는 고분자 수화젤을 개발하였다. 이 고분자는 소형 자동 펴핑 시스템에 응용할 수 있으며, 이러한 시스템은 의료 분야에 활용될 수 있다. 이 고분자 수화젤은 음식물을 한 방향으로 쥐어짜내는 인간의 소화 근육과 유사한 연동운동을 일으키는 바, 고분자 구조가 반복적

로 늘어나고 줄어드는 진동 화학 반응에 의하여 그 연동운동이 일어난다.

연구진은 가교 고분자와 루테늄 착물(ruthenium complex)을 이용하여 수화젤을 만든 후 진동 벨로우소프-자보틴스키(Belousov-Zhabotinsky, BZ) 반응의 다른 성분 흡수를 위해 용액에 담갔다. BZ 반응은 시간 경과에 따라 용액의 색상이 반복적으로 변화되며, 이러한 반응은 평형 상태에 도달하는 대신에 몇 개의 짝지음 반응이 앞뒤로 반복된다는 점에서 특이하다. 연동 운동하는 젤에서 루테늄 이온은 Ru(II)와 Ru(III)의 산화 상태로 반복 스위칭된다. Ru(II)는 Ru(III)보다 젤의 수용성을 떨어뜨리기 때문에 젤은 반응이 진행됨에 따라 주기적으로 부풀어오르고 줄어들고를 반복하게 된다.

합성조건을 정밀하게 조절함으로써, 연구진은 BZ 반응에 매우 빠르게 감응하는 다공성 구조(porous structure)의 히드로젤을 제조할 수 있었다. 젤에 이용된 고분자는 생체 친화성을 갖기 때문에 위와 같은 연동 운동은 BZ 반응이 안정하게 생리조건에서 작동하기만 하면 바이오의료용 자동 펌프의 제조에 활용될 수 있을 것이다. 하지만, 이 고분자 수화젤에서의 BZ 반응은 현재 몇 시간만 지속되기 때문에 본 기술이 실제적으로 활용되려면 구동 시간을 늘리기 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

(*Angew. Chem., Int. Ed.*, **47**, 6690 (2008))

데이터 저장의 새로운 가능성: 자기 조립 고분자

최근 블록공중합체 자기 조립 기술에 기반한 새로운 제조 방식의 개발로 인해 현재 마이크로전자소자 및 정보 저장 분야에서 직면하고 있는 기술적 한계가 극복될 수 있을지도 모른다. 이러한 연구 결과는 소형 전자 장치 및 고용량의 하드 드라이브에 대한 새로운 초석을 마련할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 과거 20~30년 사이에 연구자들은 동일한 방식의 리소그래피 재료, 도구, 공정에 기반하여 디바이스의 크기와 장치 제조에 필요한 패턴 크기를 감소시켜 왔다고 미국 위스콘신 대학교의 폴 넬리(Paul Nealey) 박사는 말했다. 현재 이러한 물질과 도구는 근본적으로 기술적 한계에 다다른 상황 이어서 추가적인 성능 개선을 얻기는 어렵다. 또한 제조 주형의 패턴닝에 사용되는 리소그래피 공정을 점점 작아지는 구조에 적용하는 데는 점점 더 많은 비용이 소요된다. 따라서, 전자소자의 끊임없는 발전을 위해선 산업의 품질 관리 기준을 충족함과 동시에 상업적으로 가치 있는 방식이 필요한 상황이다.

학계와 산업계의 협업을 통해, 위스콘신대학교 연구진은 전통적인 방식과 전혀 다른 잠재성 있는 기술을 연구하였다. 이 연구진은 업계의 혁명을 불러일으킬 만한 패턴닝 기술을 보고하였는데, 기존 방법보다 성능이 우수하지만 제조 비용과 시간은 현저히 감소된 방식이었다. 이러한 방법은 기존 방식에 기초를 두고 있는데, 마이크로전자소자를 패턴닝하는데 전통적으로 사용되던 리소그래피 기술과 블록공중합체 기반 자기 조립 기술을 결합시킨 것이다. 리소그래피된 패턴 표면에 첨가되면 공중합 고분자의 긴 분자 사슬은 의도된 형태로 자체 정렬한다. 한편, 분자 내에는 코팅된 정보가 있어 의도한 성질을 갖는 특정 크기와 형태를 형성한다. 이를 통해 기존 방식보다 일정한 크기와 고밀도의 구조 제작이 가능하다.

블록 공중합 고분자의 패턴은 분자 수준 이하까지 제조 가능하여 전통적인 리소그래피만으로는 얻을 수 없던 정밀도를 갖게 되었으며,

하부의 화학 패턴에 존재하는 불규칙성조차도 수정할 수 있다. 또한 이러한 나노수준의 조절 능력은 기존의 것보다 많은 정보를 저장할 수 있는 토대를 마련한다. 게다가, 자기 조립 블록 공중합 고분자는 원하는 분자 구조를 형성하는데 기존 재료의 1/4만이 필요하여 프로세스의 효율성이 우수하다. 현재 개발된 방법은 일정한 패턴 주형이 필요한 하드 드라이브 및 기타 저장 장치의 디자인에 적합하다. 더불어 기술이 보다 발전된다면 개발된 방식은 마이크로칩과 같이 보다 복잡한 패턴의 디자인에도 적용될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

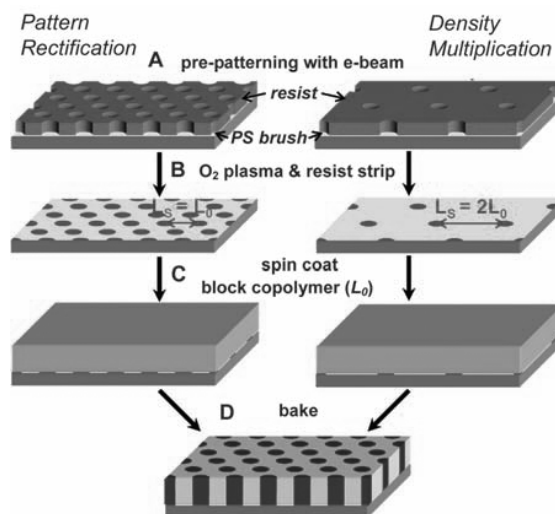


그림 2. 리소그래피 기술과 블록공중합체 자기조립기술을 결합한 나노 패턴닝 과정의 모식도.

(*Science*, **321**, 936 (2008))

광으로 구동되는 분자 근육 개발

오스트레일리아국립대학교 연구진은 빛으로 구동되는 새로운 분자 근육을 개발하였다. 근육과 같은 생물학적 기계는 인체의 다양한 프로세스에 있어 매우 중요하다. 이러한 근육에서 영감을 얻은 연구진은 스틸벤과 알파-시클로텍스트린에 기초한 광 유도 분자 근육(light-driven molecular muscle)을 개발하였다.

알파-시클로텍스트린은 적절한 크기의 소수성 게스트(hydrophobic guests)가 중앙의 공동에 도입된 호스트-게스트 착물(host-guest complexes)을 형성하는 거대 고리 화합물이다. 트랜스-스틸벤은 알파-시클로텍스트린의 게스트로서 작동하지만, 시스 이성질체는 밀집된 구조를 취하지 못하여 게스트로 작동하지 못한다.

연구진은 연결된 이합체인 로탁산(rotaxane)을 제조하였는데, 여기에는 알파-시클로텍스트린 분자가 결합된 스틸벤이 또 다른 알파-시클로텍스트린에 실터래를 형성하게 되며, 이후 스틸벤은 각 부분의 분리를 방지하기 위해 덩치가 큰 알킬 그룹(bulky alkyl groups)으로 감싸진다. 초기 스틸벤 모두는 트랜스 형태를 취하며, 모든 스틸벤은 알파-시클로텍스트린 내에서 게스트로 작동하게 된다. 350 nm 광으로 빛을 받으면 스틸벤 하나 혹은 모두가 이성질화되어, 이들은 알파-시클로텍스트린에서 방출되고 결과적으로 로탁산이 늘어나게 된다. 이러한 작동은 254 nm 광으로 빛을 받으면 역으로 진행되기 때문에 근육은 광 조사에 따라 수축하거나 늘어날 수 있다.

연구진이 개발한 분자 근육은 각각의 상태로 스위칭이 가능한데