

3D 이미지를 활용한 블록 공중합체 템플릿

블록 공중합체(BCPs)는 5-50 나노 미터 범위의 크기를 갖는 잘 정렬된 주기적인 나노 패턴을 형성하는 고분자 물질로써, 사전 패턴 템플릿을 활용하면 종래의 광학 리소그래피의 해상도 한계였던 5 nm 이하의 영역의 미세 패터닝 소재로 활용 가능하다고 알려져 있다. 블록 공중합체의 직접적인 자기 조립은 표면을 패터닝하는 데 많은 잠재력을 가지고 있지만, 미세 패턴의 계면에 관한 이해가 아직은 부족한 것으로 알려져 있다.

Tamar Segal-Peretz 교수진은 STEM 단층 촬영을 사용하여 일련의 경사각에서 2D TEM 이미지를 수집하고, 이를 반복 알고리즘을 통해 샘플의 3D 구조를 재구성하였으며, Monte Carlo 기반 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 BCP의 3D 구조 및 BCP와 사전 패턴 템플릿 간의 상호 작용을 설명하였다. 이러한 일련의 연구를 통해 연구진은 BCP 도메인 간의 계면 거동이 필름의 깊이 에 따라 다르다는 것을 발견했으며, 이러한 깊이에 따른 계면 변동 차이가 나노 패턴의 가장자리 조도에 영향을 줄 수 있음을 보였다.

Stony Brook University의 Robert Grubbs 교수는 “블록 공중합체의 직접적인 자기 조립은 표면을 패터닝하는 데 많은 잠재력을 가지고 있지만, 폴리머가 다루는 모호성을 어떻게 다룰지를 이해하는 데는 아직 길이 멀다”면서, 이번 연구를 “BCP 미세 패턴을 보다 정밀하게 분석하고 제어하게 될 새로운 기술의 혁신이 될 것이다”고 평가하였다. 본 연구결과는 “Quantitative Three-Dimensional Characterization of Block Copolymer Directed Self-Assembly on Combined Chemical and Topographical Prepatterned Templates”라는 제목으로 *ACS Nano*에 게재되었다.

<T. Segal-Peretz et al., *ACS Nano*, 11, 1307 (2017)>

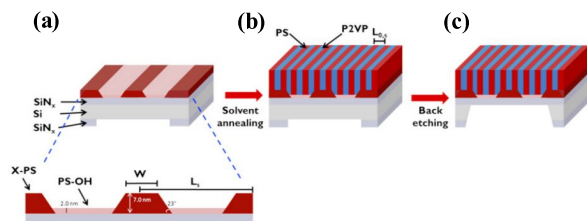


그림 1. (a) 4 인치 SiNx/Si/SiNx 웨이퍼위에 프리 패턴된 템플릿을 제작, (b) 아세톤 솔벤트 증기 어닐링을 사용하여 P2VP-*b*-PS-*b*-P2VP 자기 조립 유도, (c) TEM 이미징을 위한 원도우를 만들기 위한 실리콘 웨이퍼 뒷면 에칭.

유연한 전자 소자를 위한 고성능 전도성 고분자 소재

반도체는 전자 장치의 가장 기본적인 구성 요소로써, 휴대폰, 세탁기, 자동차, 조명, 디스플레이, 태양광 모듈 및 마이크로 프로세서 등에서 폭넓게 활용되고 있습니다. 공학자들은 다양한 기능성과 높은 에너지 효율 및 환경 친화적인 프로세스가 가능한 신개념 반도체 소재를 끊임없이 연구하고 찾고 있다.

유기 반도체는 유연하며, 가볍고, 대면적에서 손쉽게 제작이 가능하다는 특성을 지니고 있어, 이를 기존의 디스플레이, 조명 및 태양전지에 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 유기 반도체를 활용하여 고성능 전자 디바이스를 만들기 위해서는 금속 전극과 유기 반도체 층 사이에 전기 저항값이 적은 오믹 접촉(ohmic contact)을 형성하는 기술의 개발이 시급하다.

최근 싱가포르 국립 대학(NUS)의 연구진은 금속 전극의 일함수를 획기적으로 증대시켜 유기 반도체층과 금속 전극간의 저항을 최소화하는 있는 새로운 고분자 필름 개발에 성공하였다. 나아가 NUS 연구진은 새롭게 설계된 고분자 필름층을 활용하여 유기 발광 다이오드, 태양 전지 및 트랜지스터를 포함한 플라스틱 전자 제품의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 보였다.

본 연구는 NUS 재료과의 Lay-Lay Chua 교수 연구진과

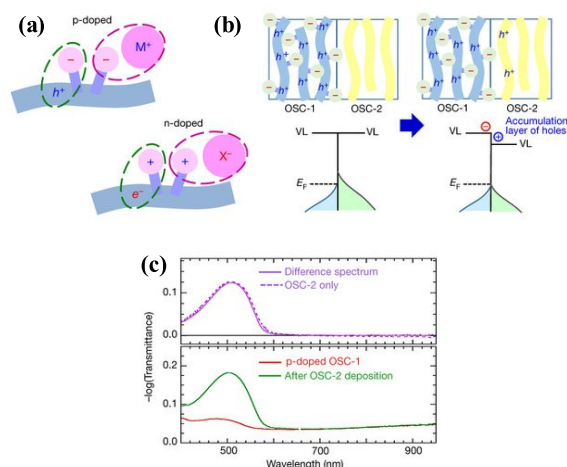


그림 2. (a) 자기 보상된 p형(위) 및 n형(아래) 고분자 유기 반도체의 도식, (b) 자기 보상된 전도성 유기 반도체로부터 접합하고 있는 유기 반도체로의 전하 이동을 보여주는 도식도 및 (c) 실험결과.

NUS 물리학과와 Peter Ho 교수 연구진, Cambridge Display의 연구진 및 Sumitomo Chemical의 연구진 간의 공동연구로 진행되었으며, "Doped polymer semiconductors with ultrahigh and ultralow work functions for ohmic contacts"라는 제목으로 *Nature*에 게재되었다.

<C. G. Tang *et al.*, *Nature*, **539**, 536 (2016)>

유연한 에너지 해결을 위한 견고한 고분자 나노복합체

폴리머 커패시터는 짧은 에너지 저장시간, 저충량 및 용이한 형상 변환 특성을 지녀 다양한 전자장비에 폭넓게 활용될 수 있다. BOPP(bi-axially oriented polypropylene)는 상업적으로 이용 가능한 가장 우수한 유전체 고분자이지만, 낮은 유전 상수 값($\epsilon_r \sim 2.2$)으로 인해 매우 낮은 2 J/cm^3 의 에너지 밀도를 갖는다. 따라서, 고효율 고용량 고분자 커패시터로 활용하기 위하여 높은 에너지 밀도를 갖는 유전체 재료에 대한 연구가 오랜 시간 동안 진행되어 왔다.

이 문제를 해결하기 위해 인도 콜카타의 Jadavpur University의 유기 나노 압전 소자 실험실 연구원들은 PVDF와 TiO_2 나노입자 복합체를 활용한 에너지 저장 및 변환 기술을 개발하였다. 연구진은 복합구조 최적화를 통하여 유전 상수 값($\epsilon_r \sim 32$, @1 kHz)과 항복 강도값(400 MV/m)을 획기적으로 향상하였으며, 이는 사용화된 BOPP보다 2배 높은 에너지 밀도값(4 J/cm^3)을 지남을 보였다. 따라서 제작된 나노복합체는 하이브리드 전기 자동차, 의료 기기 및 전기 무기 시스템과 같은 다양한 상업용 애플리케이션에 적용될 수 있을 것으로 보인다.

뿐만 아니라 이번 연구를 통해 개발된 나노복합재료는 높은 전기적 활성 특성 및 탁월한 기계적 특성을 지니고 있어, 압전 나노 발전기로 활용될 수 있는 잠재력을 지닌 것으로 밝혀졌다. 나노복합재료가 주기적 기계적 진동하에서 나타내는 전압 특성 값을 바탕으로, 속도 결정, 운송 모니터링, 산업 배치 제조에서의 주파수 계산, 소음 감지 및 음향 감지와 같은 광범위한 응용 분야에 활용될 것으로 기대된다.

본 연구는 "Improved dielectric constant and breakdown strength of γ -phase dominant super toughened polyvinylidene

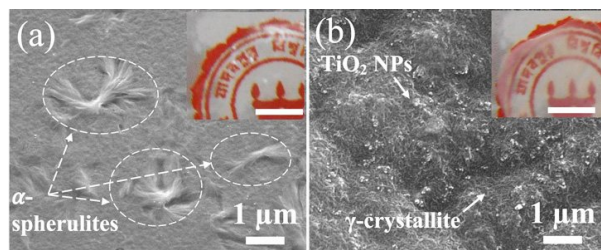


그림 3. PVDF와 TiO_2 나노입자 복합체의 SEM image.

fluoride/ TiO_2 nanocomposite film: an excellent material for energy storage applications and piezoelectric throughput"이라는 제목으로 *Nanotechnology*에 게재되었다.

<M. M. Alam *et al.*, *Nanotechnology*, **28**, 015503 (2016)>

바구형 고분자 미셀의 효율적인 생산 방법 개발

용액 공정에 기반하여 잘 정렬된 나노 입자를 대량으로 생산하는 것은 아주 높은 산업적 가치를 지닌다. 특히 특정 용매에 선택적인 용해도를 활용하여 블록 공중합체를 코어-코로나 나노 입자(미셀)로 만드는 연구는 다양한 응용 가능성을 가진다. 그럼에도 불구하고 이 접근법은 결정적인 한계를 지닌다. 블록 공중합체의 미셀 제조 공정은 일반적으로 낮은 농도로 희석시켜 제작되기 때문에 그 생산 효율이 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 또한, 많은 응용 분야에서 유망한 비 구형 미셀은 일반적으로 제작하기 힘들며, 균일한 크기 분포 및 정확한 크기 제어가 불가능하다고 알려져 있다.

University of Bristol의 Ian Manners 교수 연구진은 고분자 중합 및 결정화를 통해 단량체로부터 시작하여 단일 반응기에서 25% 농도로 판상형 및 원통형 미셀을 형성하는 새로운 제조법을 개발하였다. 또한 연구진은 작은 씨앗 미셀을 도입함으로써, 미셀의 크기 및 크기 분포를 손쉽게 제어할 수 있음을 보였다.

본 연구는 "Scalable and uniform 1D nanoparticles by synchronous polymerization, crystallization and self-assembly"라는 제목으로 *Nature Chemistry*에 게재되었다.

<C. E. Boott *et al.*, *Nat. Chem.*, DOI: 10.1038/nchem.2721 (2017)>

배터리와 같은 인공 시냅스

세계 바둑 챔피언인 이세돌을 상대로 한 바둑에서 AlphaGo가 역사적인 승리를 함으로써 인공지능에 관한 관심이 한없이

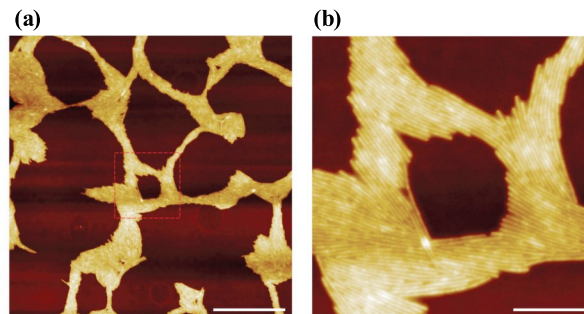


그림 4. (a) PIP-*b*-PFMS의 건조된 단 분산 원통형 미셀의 저배율 AFM 높이 프로파일 이미지, (b) 이 방법으로 제조된 원통형 미셀의 고배율 AFM 높이 프로파일 이미지, (스케일 바 : (a) 2,000 nm, (b) 500 nm).

증가하였다. AlphaGo의 업적은 전례가 없는 컴퓨팅 신경망의 성능을 보여 주었지만, 비전통적 컴퓨팅 패러다임을 구현하기 위해서는 메가 와트 수준의 전력 소비를 감수해야 한다. 이러한 기존의 산화물 반도체 소자의 에너지 비효율성과는 대조적으로, 인간 두뇌의 정보 처리 능력은 전구와 같은 양의 에너지만으로 작동하는 것으로 알려져 있다. 따라서 연구자들은 인공 신경망의 에너지 효율을 향상시키기 위한 새로운 전략을 연구하고 있다.

Yoeri van de Burgt 및 동료 연구진은 극도로 낮은 에너지의 뇌에 영감을 얻어, 모든 유기 물질로 만들어진 인공 시냅스를 개발하였다. 저자들은 두 개의 폴리머 필름(poly(3,4-ethylenedioxythiophene): polystyrene sulfonate(PEDOT:PSS)/PEI) 사이에 Nafion 층을 끼워 넣음으로써, 전기 화학적 신경모사 유기소자(ENODE)로 명명된 3 단자 저항 스위치를 구성했다. PEDOT:PSS 전극(그림 5의 게이트)에 전압 펄스를 인가함으로써, 전자는 이막으로 주입되거나 제거되며, 전기적 중성을 유지하기 위해 Nafion 전해질 층의 양이온을 흡수(또는 방출)하게 된다. 이러한 변화는 PEDOT:PSS/PEI층(그림 5의 채널)과 PEDOT의 환원 / 산화 상태에서 양성자 농도에 반영되며, 이는 궁극적으로 채널 전도도를 결정하게 된다.

ENODE는 스위칭시 에너지 소비가 극도로 적으며, 다양한 유연 기판 위에 활용될 수 있다. 이러한 시스템에서 ENODE는 메모리로 사용될 수 있으며, 아날로그 정보 처리에도 적합한 것으로 알려졌다. van de Burgt와 동료들은 소자 동작 범위에서 최대 500 개의 안정된 컨덕턴스 상태를 실현함으로써, 채널 컨

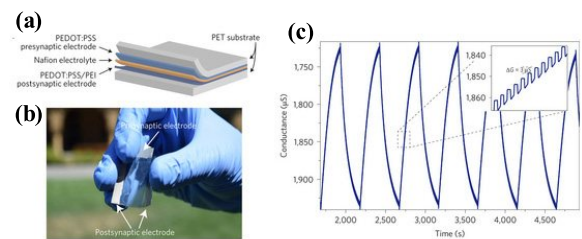


그림 5. (a) 장치의 개략도, (b) 장치의 사진, (c) 125 mV 펄스로 얻은 125 개의 증강 및 해제 상태 그래프.

덕턴스의 거의 지속적인 튜닝이 가능함을 입증했다. 이는 기존의 전력 소모적이며 시간 소모적인 아날로그-디지털 변환기가 필요없이 자연스럽게 아날로그 세계와 상호 작용함을 의미한다. 또한 ENODE의 기계적 유연성은 높은 밀도의 3 차원 패키징으로 이어질 수 있다.

본 연구는 “A non-volatile organic electrochemical device as a low-voltage artificial synapse for neuromorphic computing”라는 제목으로 Nature Materials에 게재되었다.

<Y. van de Burgt et al., *Nat. Mater.*, **16**, 414 (2017)>

본 기술 뉴스의 일부는 NDSL 해외과학기술동향 (<http://www.ndsl.kr>)의 기사를 참조하여 정리하였습니다.

<배완기, e-mail: wkbae@kist.re.kr>