



휘어진 물질에서 광전류의 증폭현상

원자크기에 근접한 미시적 세계에서는 거시적 세계에 비해 백만배 큰 물질의 휘어짐이 흔하게 관측되고 있다. 전자 소자들이 소형화되면서 이러한 휘어짐 때문에 물성(物性)이 크게 바뀔 수 있어, 이에 대한 연구의 중요성이 대두되어 왔다. 본 연구에서는 비스무트 철산화물을 모델 물질로 하여, 강한 휘어짐이 존재하는 영역에서 플렉소전기 현상에 의해 광전류가 100배만큼 향상될 수 있음을 밝혔다. 이러한 발견은 광전기 효율을 현저히 증대할 수 있는 새로운 매커니즘의 제시로 이어져 다양한 응용이 기대된다.

물리학과
양 찬 호

- 원자크기에 근접한 미시적 세계(박막, 계면, 저차원 물질 등)에서는 거시적 세계에 비해 백만배 큰 물질의 휘어짐이 흔하게 관측되고 있다. 전자소자들이 소형화되면서 이러한 휘어짐 때문에 물성(物性)이 크게 바뀔 수 있어, 이에 대한 연구의 중요성이 점차 대두되고 있다. 그 동안의 물성 연구는 원자들이 반듯하게 배열되어 있어 구조적 변형이 공간적으로 균일한 경우에 한정되어 왔다. 따라서 휘어진 상태에 대한 물성 이해는 대단히 초보적인 수준에 머물고 있다.
- 본 연구팀은, 비스무트 철산화물(BiFeO_3)이라는 물질을 얇은 막으로 만들었을 때, 서로 다른 구조를 갖는 영역들이 공간적으로 분리되고, 이들 사이의 경계면에 강하게 휘어진 부분이 존재함을 관측하였다. 이러한 계면을 모델 시스템으로 정하고 각종 나노기술(주사 탐침현미경, 전자현미경 등)을 적용하여 휘어진 정도와 전기적 특성과의 연관성을 면밀하게 조사했다. 큰 휘어짐에 의해 경계면을 중심으로 양쪽에 다른 극성의 전하가 자발적으로 분리되어 강한 계면 전기장을 생성함을 밝혔다.
- 휘어짐에 의해 생성된 전기장은 휘어진 정도에 비례하여 휘어진 방향으로 나타날 것이라고 기존에는 이해하였다. 하지만, 본 연구를 통해서 수십-나노미터 정도의 곡률로 강하게 휘고 시스템을 구성하는 물질이 반전대칭성이 깨진 경우에는 휘는 방향과 무관하게 물질의 특정방향으로 전기장이 생성될 수 있음을 최초로 보였다. 이는 그동안 간과되어 왔던 새로운 대칭성의 발견이기에 전기기계적 현상론에 있어 학문적 중요키워드를 선점한 성과로 여겨지고 있다.

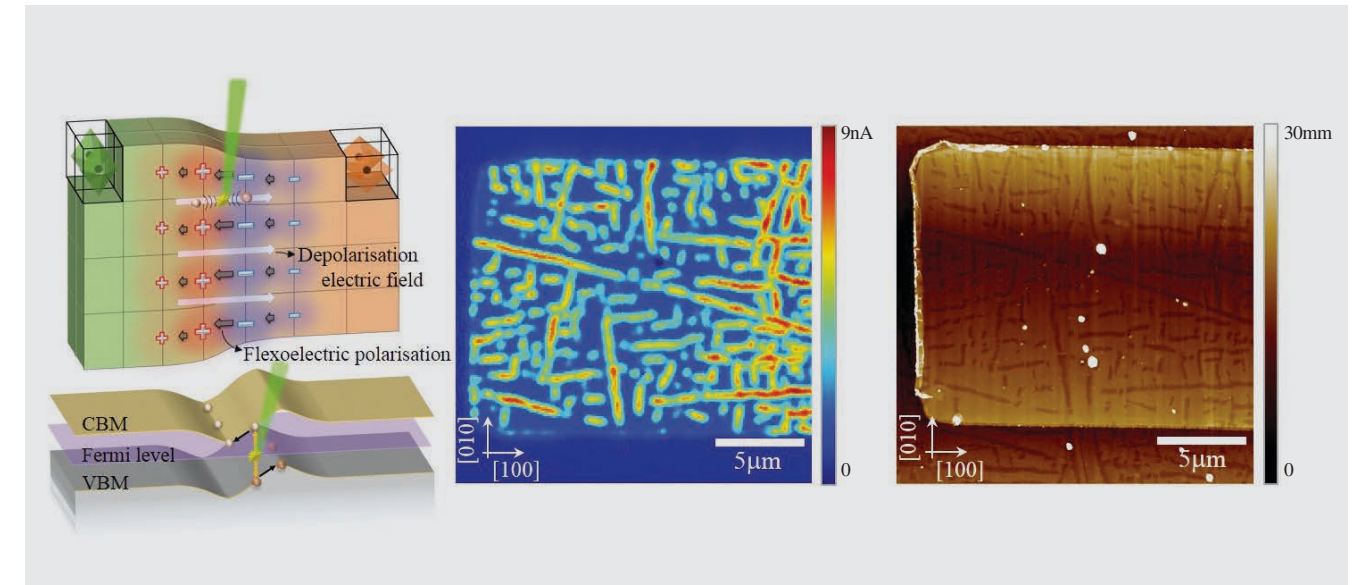


그림 1.

(좌) 격자구조가 휘거나 찌그러진 영역(좌측 초록색 구조와 우측 주황색 구조 사이의 보라색 계면영역)에 빛을 조사하면 증폭된 광전류 효과를 얻을 수 있다. 이는 물질의 휘어짐에 의해 생성되는 플렉소전기장이 빛에 의해 생성된 전자와 양전하 쌍을 재결합전에 분리하기 때문이다
(중간) 비스무트 철산화물 박막에 대해 공간분해능을 가지고 측정된 광전류 매핑 이미지
(우) 동일 영역에 대한 표면형태 이미지. 광전류가 향상된 곳은 물질이 자발적으로 휘어진 부분에 해당한다

이러한 계면에 빛을 조사하면 빛에 의해 에너지를 받아 잠시 자유롭게 움직일 수 있게 된 전자가 원래 자리에 다시 속박되기 전에 전기력에 의해 흘러나갈 수 있어서 100배만큼 향상된 광전류를 생성하였다. 또한, 광전기 효과가 빛의 편광 방향에 의존하며 커지거나 작아졌다(그림참조). 이러한 발견들은 정보통신, 데이터저장, 광전자센서 등 다양한 분야에 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

- 물질의 휘어짐과 전자의 거동간의 상관관계를 규명하여, 나노스케일 소자 디자인에 혁신적인 요소를 제안하였다. 특히 '2차 플렉소전기 효과(quadratic flexoelectric effect)'라는 학문적 키워드 선점하였다.
- 압전반응 벡터를 10nm 공간분해능을 가지고 매핑하는 기술을 개발하여, 나노스케일 강유전체 연구의 새로운 돌파구 제시하였다.

연구비 지원

한국연구재단(NRF) (contract nos. NRF-2011-0016133, 2013S1A2A2035418, 2014R1A2A2A01005979)

연구 실적

- 논문: Enhancement of the anisotropic photocurrent in ferroelectric oxides by strain gradients. Nature Nanotechnology 10, 972-979 (2015)
- YTN Science 등 언론보도
- Nature Nanotechnology(News and Views)에서 연구결과 조명 "Multiferroics: Focusing light on flexoelectricity"

