

GIST, 미래소재 활용 기대되는 '반데르발스 물질'의 대칭 조절 가능성 최초로 밝혀

- GIST-서울대 연구진, '철 빈자리' 통해 물질의 대칭성을 조절하는 새로운 경로 세계 최초 확인
- 물리학 및 스핀트로닉스 분야 발전에 기여할 것으로 기대... 국제학술지 「Advanced Materials」 게재



▲ (왼쪽부터) 이종석 교수, 주휘인 박사과정생, Kai-Xuan Zhang 박사

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 물리·광학과 이종석 교수와 서울대학교 물리천문학부 박제근 교수 연구팀이 스스로 자성을 띠면서 위상학 특성을 갖는 반데르발스* 물질인 'Fe₃GeTe₂'에서 원자 빈자리를 이용해 물질의 대칭 조절이 가능하다는 것을 처음으로 확인했다고 밝혔다.

연구팀은 강자성*과 위상성질*을 동시에 갖는 대표적 반데르발스 자성체인 'Fe₃GeTe₂'에서 철 빈자리에 의해 반전 대칭성이 깨지는 것을 제2차 고조파 생성 기술을 사용해 검증하는 데 성공했다.

* 반데르발스 물질: 반데르발스 힘으로 이루어진 매우 약한 층간 결합을 가지는 층상구조 물질

* 강자성: 물질에 외부에서 자기장이 가해지지 않은 상태에서도 스스로 자기화되어 자석이 될 수 있는 성질

* 위상성질: 위상학적으로 정의되는 양자상태와 그 특성. 위상학은 수학의 한 분야로, 어떤 도형이 마치 찰흙을 주무르듯 모양을 변형시키면 같은 모양으로 바꾸는 것이 가능하고, 같은 부류로 분류하는 것도 가능하다는 이론이다.

반데르발스 물질계는 인접층 사이의 약한 결합력으로 인해 2차원 물리현상을 살펴볼 수 있을 뿐만 아니라 양자전도 현상, 강유전성, 자성 등 다양한 물성을 기반으로 한 전자소자로서 활용될 수 있다.

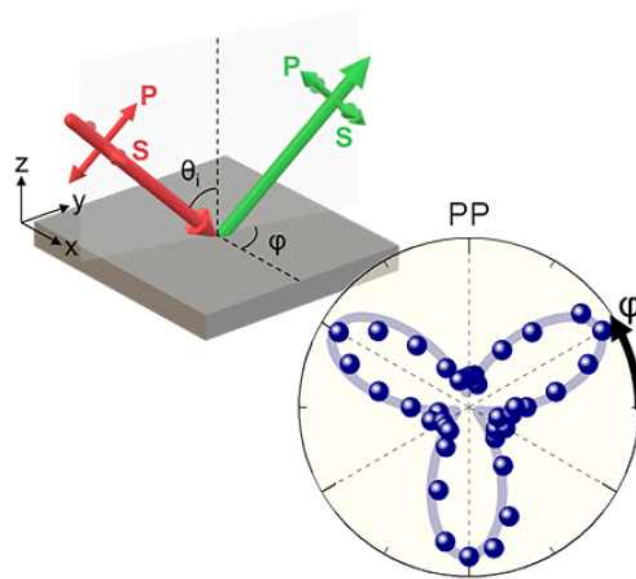
특히 반데르발스 물질계의 가장 큰 장점은 다양한 성질의 여러 물질을 원자층 단위로 층층이 쌓아 다기능성 나노소자를 구현할 수 있다는 것이다.

시간과 공간에 대한 물질의 대칭성은 해당 물질에서 발현될 수 있는 물리 현상의 종류와 그 특성을 결정하는 핵심적인 역할을 하는데 반전 대칭성*이 깨질 경우, 물질의 전자기적 그리고 광학적 특성이 외부 자극에 대해 비선형적으로 나타날 수 있다.

또한 양(+)/극과 음(-)/극이 구분되는 극성이 유지되고 제어될 수 있는 강유전성이 확인되는 등 여러 가지 흥미로운 성질이 발현될 수 있다.

* 반전 대칭성: 공간상의 한 점에 대해 좌표계를 반전시켰을 때에도 대칭성을 가지는 것

위상 물질은 화학 구조가 바뀌지 않은 한 전자 구조를 보존하는 물질이다. 이러한 안정성을 활용하면 외부 잡음에 강하면서 정보 손실 없는 양자 소자를 구현할 수 있다.



▲ Fe₃GeTe₂ 에서 이차 고조파 측정 모식도 및 이차 고조파 결과: Fe₃GeTe₂에 입사된 빛(빨간색)에 의해 이차 고조파 빛이 생성됨 (초록색). Fe₃GeTe₂를 돌리면서 측정할 경우 3회 대칭을 가지는 큰 이차 고조파 빛이 관측됨 (파란색 점).

이 같은 위상학적 특이점을 보이는 동시에 강자성체이기도 한 이차원 반데르발스 물질 'Fe₃GeTe₂'는 미래 스핀트로닉스* 소재의 후보 물질로서 활발히 연구되고 있다. 이와 함께 미래 스핀트로닉스 분야에서의 응용 가능성이 높은 큰 스핀-궤도 회전력(spin-orbit torque), 스커미온(skymion)*의 형성 등의 특성 또한 확인되었다.

* 스핀트로닉스: 전자기기 소형화로 소자의 집적도가 증가함에 따라 발열로 인해 소자의 성능이 떨어지는 한계를 극복하기 위해 전자 대신 스핀을 활용하는 기술인 스핀트로닉스 개념이 등장했다.

* 스커미온: '스핀'이라고 하는 양자역학적 성질을 이용하는 입자로, 소용돌이 모양으로 스핀들이 배열되어 형성되는 스핀 구조체이다.

반전 대칭성이 깨어지지 않으면 이러한 현상은 발현되기 힘들데 'Fe₃GeTe₂'에서는 반전 대칭성이 유지되고 있어 그 원인을 밝히는 것 역시 중요하다.

연구팀은 철 빈자리 양을 조절한 'Fe₃GeTe₂'에서 **반전 대칭성 깨짐 정도에 비례하는 이차 고조파 신호가 철 빈자리 양이 증가함에 따라 크게 증가한다는 사실을 확인함으로써 철 빈자리에 의해 반전 대칭성이 깨질 수 있다는 것을 검증했다.**

연구팀은 또한 공간군 분석을 통해 나사축 대칭성이 파괴되어 **전체 구조의 반전 대칭성이 깨진다는 것을 규명했으며**, 이러한 기작은 Fe₃GeTe₂와 유사한 층상 구조를 가지는 다양한 물질군에서 **불순물을 통한 반전 대칭성 조절이 가능함을 시사한다고 설명했다.**

이종석 교수는 "이번 연구 성과는 **원자 빈자리를 통해 물질의 반전 대칭성을 조절할 수 있다는 새로운 접근법을 제시했다**"면서, "향후 물리학 및 스핀트로닉스 분야의 **발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다**"고 말했다.

이번 연구는 한국연구재단의 중견연구자사업, 나노 및 소재 기술개발사업 등의 지원을 받아 재료과학 기초 및 응용 연구 분야의 세계적인 학술지 '어드밴스트 머티리얼스(Advanced Materials)'에 2023년 12월 31일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Materials (IF 29.4, 2022년 기준)
- 논문명 : Broken Inversion Symmetry in Van Der Waals Topological Ferromagnetic Metal Iron Germanium Telluride
- 저자 정보 : Kai-Xuan Zhang (제1저자, 교신저자, 서울대학교), 주휘인 (제1저자, GIST), 김현철 (공저자, 서울대학교), Jingyuan Cui (공저자, 서울대학교), 금지훈 (공저자, 서울대학교), 박제근 (교신저자, 서울대학교), 이종석 (교신저자, GIST)