

“전기 덜 쓰는 메모리, ‘얇게 쌓는’ 기술에 주목” GIST, 차세대 자성 제어 기술의 가능성 짚어

- 신소재공학과 이상한 교수팀, 전류 대신 전압으로 자성 제어하는 ‘멀티페로익 이중접합’ 연구 동향 종합... 산화물부터 2차원 물질까지 분석
- 대면적 제작·실온 안정성·계면 품질 등 실제 소자 구현 과제 제시
- 국제학술지《Advanced Science》 게재



▲ (왼쪽부터) GIST 신소재공학과 이상한 교수, 이동현 석박사통합과정생, 양지웅 박사 후연구원, 오인혁 박사과정생

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 신소재공학과 이상한 교수 연구팀이 자석의 방향을 바꾸는 데 많은 전류를 사용하는 대신, 전기장으로 자성을 제어해 전력 소모를 줄이는 기술을 종합적으로 분석하고, 실제 소자 구현을 위한 핵심 과제를 제시했다고 밝혔다.

특히 기존 산화물의 한계를 보완할 대안으로 종이처럼 얇은 2차원 물질에 주목해, 서로 다른 물질을 자유롭게 조합하고 쌓는 순서와 각도까지 조절할 수 있는 장점과 활용 가능성을 정리했다.

컴퓨터의 정보를 저장하는 방법 가운데 하나는 아주 작은 자석이 서로 반대 방향을 향하는 두 상태를 ‘0’과 ‘1’로 구분해 정보를 기록하는 것이다. 하드디스크와 자기메모리 등이 이러한 원리를 이용한다.

자석을 이용하면 전원이 꺼진 뒤에도 정보를 유지할 수 있지만, 저장된 정보를 바꾸려면 자석의 방향도 바꿔야 한다. 특히 자기메모리에서는 자석의 방향을 바꾸기 위해 많은 전류를 흘리는(전류를 사용하는) 방식이 활용되는데, 이 과정에서 열이 발생해 에너지가 소모되는 한계가 있다.

이에 많은 전류를 흘리는 대신 전압을 이용해 자석의 상태를 바꾸는 기술이 저전력 대안으로 주목받고 있다.

수도관에 비유하면 전압은 물을 밀어내는 ‘수압’, 전류는 그 압력에 따라 실제로 흐

르는 '물의 양'과 같다. 많은 전류가 흐를수록 열로 인한 에너지 손실이 커지는 만큼, 전압을 이용해 자성을 제어하면 전력 소모를 줄일 수 있다.

하지만 전압에 잘 반응하는 성질과 강한 자성을 하나의 물질에서 동시에 구현하기는 쉽지 않다.

이에 연구자들은 전압에 반응하는 물질과 자성을 띠는 물질을 각각 만든 뒤 서로 맞붙이는 '멀티페로익(multiferroic)*' 이종접합에 주목해 왔다.

전압을 가하면 한쪽 물질의 전하 배치가 달라지거나 미세한 변형이 일어나고, 이러한 변화가 맞닿은 자성층에 전달되면서 자석이 향하는 방향 등에 영향을 주는 원리다.

* 멀티페로익(multiferroic): 강유전성과 자성이 한 물질 안에 공존하거나, 서로 다른 소재를 결합한 구조에서 두 성질을 함께 이용하는 시스템이다. 두 성질 사이의 자기전기 결합을 이용하면 전압만으로 자성을 제어할 수 있어 저전력 소자용 소재로 주목받는다.

최근에는 이러한 멀티페로익 이종접합을 종이처럼 얇은 2차원 물질을 층층이 쌓은 '반데르발스(van der Waals) 이종접합'으로 구현하는 연구가 주목받고 있다.

기존 산화물 기반 이종접합은 블록의 크기나 모양이 다르면 잘 끼워지지 않듯, 서로 다른 물질을 쌓을 때 원자 배열이 서로 맞지 않으면 구조적 변형이나 결함이 생길 수 있다.

반면 2차원 물질은 층과 층 사이가 비교적 약한 힘으로 결합한다. 덕분에 서로 다른 물질도 원자층 단위로 차곡차곡 쌓을 수 있어, 다양한 특성을 가진 물질을 조합하고 원자 수준의 정밀한 경계면을 만드는 데 유리하다.

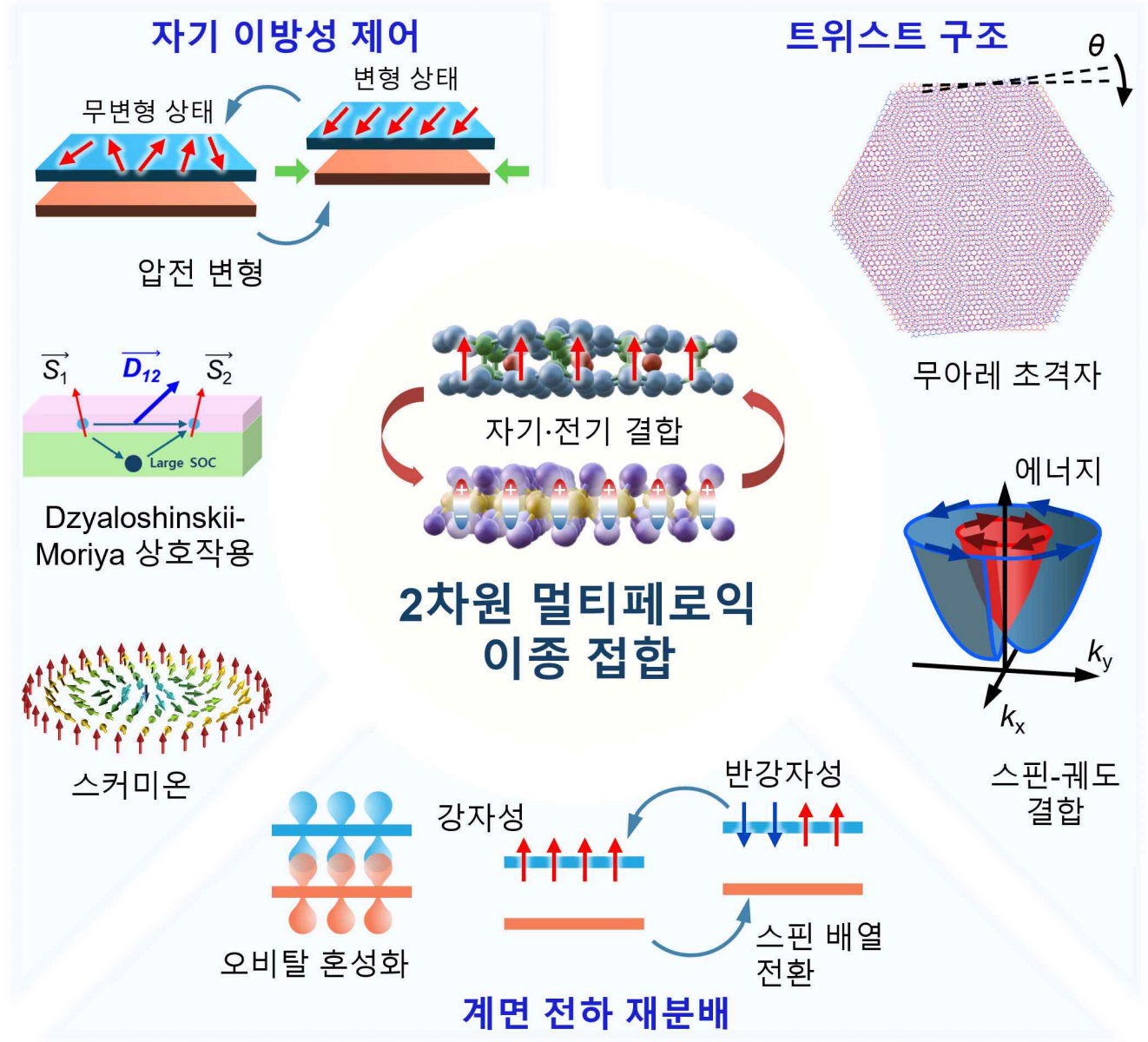
또한 어떤 물질을 쌓느냐뿐 아니라 층을 겹치는 순서와 각도까지 조절할 수 있어, 두 물질 사이의 상호작용을 다양하게 설계할 수 있다.

연구진은 이러한 특성을 이용해 전압과 자성의 결합을 조절하는 다양한 구조와 전자의 '스핀(spin)*'이라는 자기적 성질을 정보 저장과 처리에 활용하는 차세대 '스핀트로닉스(spintronics)**' 소자로의 확장 가능성을 함께 정리했다.

* 스핀(spin): 전자가 지닌 고유한 성질로, 전자를 아주 작은 자석처럼 행동하게 한다.

** 스핀트로닉스(spintronics): 전자의 자기적 성질인 '스핀'을 이용해 정보를 저장·처리하는 기술이다.

연구팀은 이러한 2차원 물질 기반 멀티페로익 이종접합을 실제 소자로 구현하기 위해 해결해야 할 핵심 과제도 제시했다.



▲ **2차원 물질 기반 멀티페로익 이종접합의 자기·전기 결합 원리.** (가운데) 서로 다른 2차원 물질을 쌓은 이종접합에서 전기적 성질과 자성이 서로 영향을 주고받는 모습을 나타낸다. (주변) 자석이 향하기 쉬운 방향을 바꾸는 '자기 이방성 제어', 2차원 물질을 비틀어 쌓는 '트위스트 구조', 맞닿은 두 물질 사이의 전하 분포를 바꾸는 '계면 전하 재분배' 등 자기·전기 결합을 조절하는 주요 방식을 나타냈다.

우선 넓은 면적에서도 균일한 2차원 물질을 만들고, 실온에서도 자성과 전압에 대한 반응을 안정적으로 유지하는 기술이 필요하다.

또한 작동 온도, 자기·전기 결합 정도, 에너지 소모 등을 같은 기준으로 평가해 서로 다른 연구 결과를 객관적으로 비교할 수 있는 체계도 마련해야 한다.

특히 두 물질이 맞닿는 **경계면의 품질이 중요하다**. 2차원 물질은 원자 몇 층 수준으로 매우 얇기 때문에 미세한 오염이나 결함만 생겨도 한쪽 물질의 변화가 자성 층으로 전달되는 효과가 약해질 수 있다. 연구팀은 **오염을 최소화한 제작 공정과 보호 기술 등을 통해 깨끗하고 안정적인 경계면을 확보하는 것이 중요하다고** 제시했다.

이상한 교수는 "AI 시대에 늘어나는 컴퓨팅 에너지 소모를 줄이려면 정보를 저장하고 처리하는 방식 자체를 바꿀 필요가 있다"며 "이번 리뷰 논문은 전압으로 자성을 제어하는 '멀티페로익' 기술의 발전 흐름을 기존 산화물부터 2차원 물질까지 종합하고, 저전력 메모리·로직 소자로 발전하기 위해 해결해야 할 과제를 제시했다는 데 의미가 있다"고 말했다.

GIST 신소재공학과 이상한 교수가 지도하고 이동현 석박사통합과정생, 양지웅 박사후연구원, 오인혁 박사과정생이 공동제1저자로 참여한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단(RS-2025-00563779)과 과학기술정보통신부 InnoCORE 프로그램(1.260007.01)의 지원을 받았다.

연구 결과는 국제학술지 《어드밴스드 사이언스(Advanced Science)》에 2026년 8월 21일 온라인으로 게재됐다.

논문 정보

○ 논문명, 저자 정보

- 저널명 : Advanced Science (IF=14.1, 2025년 기준)
- 논문명 : Van der Waals Heterostructures for Next-Generation Spintronics: Multiferroic-Mediated Magnetoelectric Properties
- 저자 정보 : 이동현(공동제1저자, GIST 신소재공학과 석박사통합과정생), 양지웅(공동제1저자, GIST 신소재공학과 박사후연구원), 오인혁(공동제1저자, GIST 신소재공학과 박사과정생), 이상한(교신저자, GIST 신소재공학과 교수)