

GIST-POSTECH, 자성 없는 2차원 반도체에 빛으로 일시적 자성 유도..스핀자성 빠르게 제어할 가능성 제시

- GIST 신동빈·POSTECH 김동언 교수 공동연구팀, 선편광만으로 2층 반도체(MoSe_2)에 일시적 자성 유도... 두 원자 진동의 결합이 핵심
- 단층에서는 나타나지 않던 자성 신호, 2층에서 확인... 빛의 세기·에너지·온도에 따른 변화로 자성 유도 과정 규명
- 국제학술지 《Nature Communications》 게재



▲ GIST-POSTECH, 공동연구팀 단체사진. (왼쪽부터) 포항공과대학교(POSTECH) 물리학과 서민교 박사, GIST 물리·광과학과 김한별 석박사통합과정생, 신동빈 교수, 포항공과대학교(POSTECH) 물리학과 김동언 교수.

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 물리·광과학과 신동빈 교수 연구팀과 포항공과대학교(POSTECH) 물리학과 김동언 교수 연구팀이 공동으로, 자성이 없는 2차원 반도체에 빛을 비춰 일시적으로 자성을 유도하고 그 원리를 규명했다고 밝혔다.

특히 같은 반도체라도 한 층으로 이루어진 경우에는 나타나지 않던 자성 신호가 두 층으로 쌓았을 때 나타나는 현상을 확인했다. 연구팀은 빛에 의해 일어나는 원자 진동과 두 층 사이의 상호작용이 이러한 차이를 만들어낸다는 사실을 이론 계산과 실험을 통해 확인했다.

전자는 작은 자석처럼 작용하는 '스핀'이라는 성질을 갖고 있다. 스핀의 방향을 컴퓨터의 0과 1처럼 정보 처리에 활용할 수 있어, 빛으로 스핀을 빠르게 제어하는 기술은 차세대 정보처리 소자에 활용할 수 있는 중요한 기술로 주목받고 있다.

빛은 전기장이 진동하는 방향에 따라 여러 종류로 나뉜다. '선편광'은 전기장이 한 방향으로 왕복하며 진동하는 빛이고, '원형 편광'은 전기장의 방향이 원을 그리며 회전하면서 진행되는 빛이다. 기존에는 주로 원형 편광을 이용해 전자의 스핀을 제어하거나 변화시키는 방법이 연구돼 왔다.

공동연구팀은 반도체를 두 층으로 쌓으면 층 사이의 상호작용으로 한 층일 때와 다른 원자 진동이 나타날 수 있다는 점에 주목했다.

연구에 사용한 물질은 몰리브덴(Mo) 원자와 셀레늄(Se) 원자로 이루어진 2차원 반도체 '이셀레늄화몰리브덴(MoSe_2)'이다. 연구팀은 이 반도체(MoSe_2)를 위아래로 두 층 쌓은 뒤, 빛을 비췄을 때 나타나는 원자 진동을 분석했다.

그 결과, 두 층이 서로 가까워졌다 멀어지는 '층간 호흡 진동'과 각 층 안에서 셀레늄 원자가 좌우로 움직이는 '셀레늄 신축 진동'이 함께 나타나는 것을 확인했다. 두 진동은 서로 다른 주기로 움직이면서 겹치고, 그 결과 원자들이 단순한 직선 운동이 아닌 복합적인 움직임을 보였다.

연구팀은 두 층으로 쌓은 반도체가 외부 자극을 받지 않은 가장 낮은 에너지 상태인 '바닥상태'에서 층 안쪽과 바깥쪽 셀레늄 원자의 전하 분포에 차이가 있는데, 이때 이 두 원자 진동이 원운동을 하면서 전자의 스핀에 자기장이 가해지는 효과가 나타나는 것을 확인했다. 이 효과가 일시적인 자성을 형성하여 전자의 스핀을 움직이는 것이다.

연구팀은 이론 계산에서 예측한 자성이 실제로 나타나는지 확인하기 위해 한 층짜리와 두 층짜리 반도체(MoSe_2)에 각각 선편광을 비추고 자성 신호를 비교했다.

상온에서 측정한 결과, 한 층짜리 반도체(MoSe_2)에서는 선편광에 의한 자성 신호가 나타나지 않았지만, 두 층짜리 반도체에서는 자성이 생겼을 때 나타나는 빛의 편광 회전 신호가 뚜렷하게 관측됐다. 즉, 두 층 구조에서는 원형 편광이나 외부 자기장 없이 선편광만으로도 일시적인 자성을 유도할 수 있음을 확인했다.

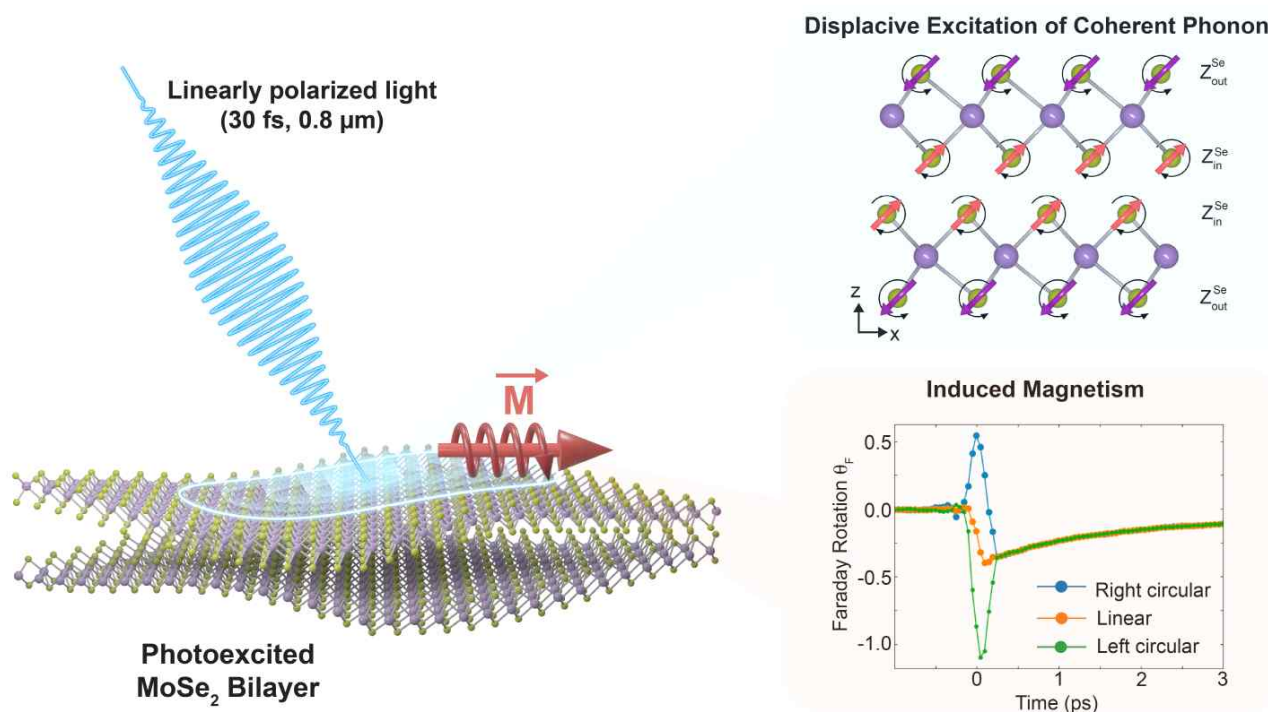
이어 자성 신호에 포함된 진동 성분을 분석한 결과, 계산에서 예측한 0.9 THz(테라헤르츠)의 층간 호흡 진동과 5.1 THz의 셀레늄 신축 진동이 모두 확인됐다. 이는 관측된 자성이 두 원자 진동의 결합으로 발생한다는 연구팀의 해석을 뒷받침하는 결과다.

연구팀은 더 나아가 빛의 세기와 에너지, 반도체의 온도를 바꿔가며 자성 신호를 측정해 빛으로 유도된 자성이 어떤 조건에서 강하게 나타나는지도 확인했다.

빛의 세기가 강할수록 빛을 비추 직후 나타나는 자성 신호가 커졌으며, 빛의 에너지를 바꿔가며 측정한 결과 1.55 eV(전자볼트) 부근에서 가장 강한 신호가 나타났다. 이는 MoSe_2 에서 전자와 정공이 결합하는 에너지와 일치했다. 이를 통해 빛을 흡수해 생성된 전자와 정공의 결합 상태와 원자 진동이 자성 유도 과정과 밀접하

게 관련돼 있음을 확인했다.

온도를 낮추면 빛을 비춘 직후의 자성 신호가 약해지고 더 빠르게 감소했다. 반대로 상온에서는 층간 호흡 진동과 셀레늄 신축 진동이 더 강하게 나타났으며, 빛을 비춘 뒤 수십 피코초(1피코초는 1조 분의 1초) 동안 자성 신호가 지속됐다. 연구팀은 이를 통해 원자 진동이 일시적인 자성을 유지하는 데 중요한 역할을 한다는 점을 확인했다.



▲ 두 층으로 쌓은 반도체에 빛을 비춰 일시적인 자성을 유도하는 원리와 실험 결과. (왼쪽) 자성이 없는 두 층짜리 이셀레늄화몰리브덴(MoSe₂) 반도체에 선편광을 비춰 자성을 유도하는 모습을 나타낸 개념도이다. (오른쪽 위) 빛에 의해 원자들이 진동하는 모습을 보여준다. (오른쪽 아래) 빛의 편광에 따라 나타나는 자성 신호를 측정한 결과로, 선편광(주황색)을 비췄을 때도 일시적인 자성 신호가 관측됐음을 보여준다.

이번 연구는 자성이 없는 2차원 반도체에서도 두 층 사이의 상호작용과 빛으로 유도한 원자 진동을 이용해 일시적인 자성을 만들어낼 수 있음을 보여줬다. 특히 기존에 주로 활용되던 원형 편광이 아닌 선편광만으로도 자성을 유도할 수 있는 새로운 방법을 제시했다는 점에서 의미가 있다.

연구팀은 이번 결과가 2차원 물질에서 빛으로 스핀과 자성을 제어하는 연구를 확장하는 데 활용될 수 있으며, 향후 초고속 스핀 제어와 스핀트로닉스, 양자정보 기술 연구로 이어질 수 있을 것으로 기대하고 있다.

신동빈 교수는 "이번 연구는 빛이 일으킨 원자 진동과 층 사이의 상호작용이 자성

을 유도하는 데 중요한 역할을 한다는 사실을 확인한 성과"라며, "특히 원자 진동을 매개로 빛과 물질의 스핀을 연결할 수 있음을 보여줬다는 점에서 의미가 있다"고 말했다.

김동언 교수는 "이론적으로 예측한 자성 유도 현상을 실제 2층 반도체에서 확인하고, 원자 진동과 자성 신호의 관계를 실험적으로 살펴볼 수 있었다"며, "이번 결과가 빛과 원자 진동을 이용해 물질의 자성을 제어하는 연구를 확장하는 계기가 되길 바란다"고 말했다.

GIST 물리·광과학과 신동빈 교수와 POSTECH 물리학과 김동언 교수가 공동으로 지도하고, POSTECH 서민교 박사가 제1저자, GIST 물리·광과학과 김한별 석박사통합과정생이 공저자로 참여한 이번 연구는 ▲과학기술정보통신부·한국연구재단 기초연구사업(신진연구) ▲산업통상자원부·한국산업기술진흥원 산업혁신인재성장지원사업 ▲국가슈퍼컴퓨팅센터의 슈퍼컴퓨팅 자원 및 기술 ▲교육부 글로벌대학30 사업 등의 지원을 받았다.

연구 결과는 국제학술지 《네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)》에 2026년 10월 5일 온라인으로 게재됐다.

논문 정보

○ 논문명, 저자 정보

- 저널명 : Nature Communications (IF: 18.1, JCR 2025년)
- 논문명 : Linearly polarized light-induced magnetism in bilayer MoSe₂
- 저자 정보 : 서민교(제1저자, POSTECH 물리학과, 막스플랑크 한국/포스텍연구소(MPK)), 김한별(공동저자, GIST 물리·광과학과), 신동빈(교신저자, GIST 물리·광과학과 · 독일 막스플랑크 구조 및 물질 동역학 연구소), 김동언(교신저자, POSTECH 물리학과·첨단 원자력 공학부, 막스플랑크 한국/포스텍연구소(MPK))