



2021. 8. 12.(목)/ 즉시

문의 : 담당자 연락처(02-880-6613)
연구단장/연구책임자 박제근 교수(02-880-6536) / 교신저자

자성 반데르발스 물질에서 새로운 양자상태 발견

- 서울대 - MIT 연구진 빛을 이용한 자성 조절의 새로운 방법 제시 -

- 서울대학교 물리천문학부 박제근 교수 연구진과 MIT의 Nuh Gedik 교수 그룹은 자성 반데르발스 반강자성체에서 새로운 양자상태인 반강자성 금속 상태를 실험적으로 세계 최초로 관측하고, 이 현상을 이론적으로 규명하는데 성공하였다.
 - 이 성과는 재료과학계의 주요 학술지인 Nature Communications에 8월 11일(수) 온라인으로 발표되었다.
 - 양자물질은 기본적으로 다양한 양자상태를 가지는 것으로 보고가 되어 있다. 이런 양자상태 가운데 반강자성 금속상은 한번도 보고가 되지 않은 새로운 상태이다.
 - 박제근 교수 그룹은 2020년 Nature에 발표한 논문에서 NiPS₃라는 반강자성 반데르발스 물질에서 양자적인 성질을 가지는 엑시톤을 발견한 바 있다. 기존의 엑시톤은 전자와 양공이 준고전적으로 서로 묶여있는 입자인 반면, NiPS₃는 기본적으로 양자얽힌 상태이다.
 - 이번 연구의 주요 발견은 이런 양자적으로 얽힌 엑시톤들이 상호작용을 통해서 새로운 양자상태인 반강자성 금속상을 형성한다는 것이다.
- 연구진은 NiPS₃에서 레이저를 이용한 펌프-프로브 실험을 통해 NiPS₃가 저온에서 레이저를 조사하여 엑시톤들의 여기로 비형평적인

상태가 만들었다. 이 경우 짧은 시간이지만 비평형 반강자성 금속상태가 만들어진다는 것을 관측하였다.

- 연구진은 이 실험결과를 설명하기 위해 스핀과 궤도에 얽혀있는 엑시톤이 중요한 역할을 한다는 것을 이론적인 해석을 통해 밝혔으며 또한 이를 뒷받침 해주는 여러 실험결과를 제시하였다. 그 결과 조사된 빛에 의해 물질에 엑시톤이 형성이 되고, 생성된 엑시톤은 저온의 반강자성 자기구조와 강하게 결합하여 결맞는 스핀과 진동이 존재함을 밝혔다. 동시에 이 엑시톤이 잉여 에너지를 가지고 움직일 수 있는 입자로 분리됨을 확인하였다.
- 박제근 서울대 물리천문학부 교수는 “해당 연구성과는 지금까지 발견된 적이 없는 반강자성 금속 상태의 양자상을 발견한 첫번째 사례” 라며 “이 연구를 통해 자성반데르발스 물질의 자성 엑시톤과 스핀이 얽혀있는 새로운 유형의 소자 개발 등 응용물리 및 광전자공학 분야에 새로운 가능성을 제시할 것이다” 라고 의미를 밝혔다.
- 박제근 교수는 이미 관련 물질에서 스핀과 궤도가 얽힌 엑시톤을 발견하여 2020년 Nature 지에 논문을 발표하였다. S. Kang, et al., Nature 583, 785 (2020).

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명

연구결과

Exciton-driven antiferromagnetic metal in a correlated van der Waals insulator

Carina A. Belvin, Edoardo Baldini, Ilkem Ozge Ozel, Dan Mao, Hoi Chun Po, Clifford J. Allington, Suhan Son, Beom Hyun Kim, Jonghyeon Kim, Inho Hwang, Jae Hoon Kim, Je-Geun Park*, T. Senthil & Nuh Gedik*

(Nature Communications 12, 4837 (2021))

엑시톤은 전자-정공 쌍으로 이루어진 고체의 집단들뜸으로 다양한 절연체에서 발견된다. 이런 엑시톤은 처음부터 강한 상관작용상태에서 만들어지는데, 밴드 자유도 등과 결합하는 경우는 매우 드물기 때문에, 최근 학계의 많은 관심을 끌고 있다. 이런 새로운 엑시톤 상태를 비평형적으로 조작할 경우, 열역학적인 평형상태에서 발견되지 않는 새로운 물질의 상태를 발견할 수 있는 유망한 플랫폼을 제공한다. 이 연구에서 우리는 van der Waals 상관 절연체 NiPS₃에서 양자적으로 얽힌 상태인 엑시톤을 빛을 사용하여 여기시켰다. 이렇게 만들어진 엑시톤들의 물성을 테라 헤르츠 전도도의 시간 변화를 관찰하여 엑시톤의 분리에 의해 생성된 전도전자 상태의 공존을 관찰할 수 있었다.

이 연구에서 가장 큰 발견은 이런 엑시톤들의 상호작용에 의한 장파장 반강자성 마그논과 일시적인 금속 상태의 출현이다. 이 연구를 통하여 자성의 엑시톤의 광학 조작이 가능함을 보였다. 이를 활용할 경우, 엑시톤과 스핀이 얽혀있는 새로운 유형의 소자 개발 등에 사용될 것으로 기대되며 응용물리 및 광전자공학 분야에 새로운 가능성을 제시했다는 데 의의가 있다.

용 어 설 명

1. 자성 반데르발스 물질 (magnetic van der Waals materials)

- 물질이 층과 층 사이의 결합력이 매우 약한 '반데르발스' 결합으로 이루어진 자성체를 의미하며, 매우 약한 층간 결합력의 특징을 이용하여 스카치 테이프로 층을 분리하여 얇은 층을 연구하거나 단일층의 연구가 진행되고 있다.

2. 엑시톤 (Exciton)

- 절연체 내부에서 전자와 양공이 결합하여 만들게 되는 준입자 (Quasi-particle)이다. 전자는 음전하, 양공은 양전하를 띠기 때문에 들은 정전기력으로 인하여 서로 결합하게 된다.

3. 펌프-프로브 (Pump-probe)

- 주로 매우 빠른 전자의 동역학을 관측하는데 사용한다. 펌프-프로브에서는 매우 짧은 시간동안 레이저 펄스를 시료에 조사하게 되며 (Pump), 이 펄스에 의해 시료가 들뜨게 된다. 바로 이어서 더 약한 프로브 (Probe) 빔이 시료를 조사하고 pump 빔에 의한 시료의 광학적 상수들 (반사율, 흡수율) 등의 변화를 주로 시간에 따라 관측하게 된다. 이러한 방법을 통해 시료 내부의 전자 구조가 펌프에 어떻게 반응하고, 시간에 따라 변화하게 되는지에 대한 정보를 얻을 수 있다.

4. 반강자성 (antiferromagnetism)

- 강자성체와 같이 각 스핀이 한 방향으로 고정되어 존재하지만, 인접한 스핀과의 방향이 달라 전체적으로는 스핀이 상쇄되어 자성을 가지지 않는 자성체를 말한다.

그림 설명

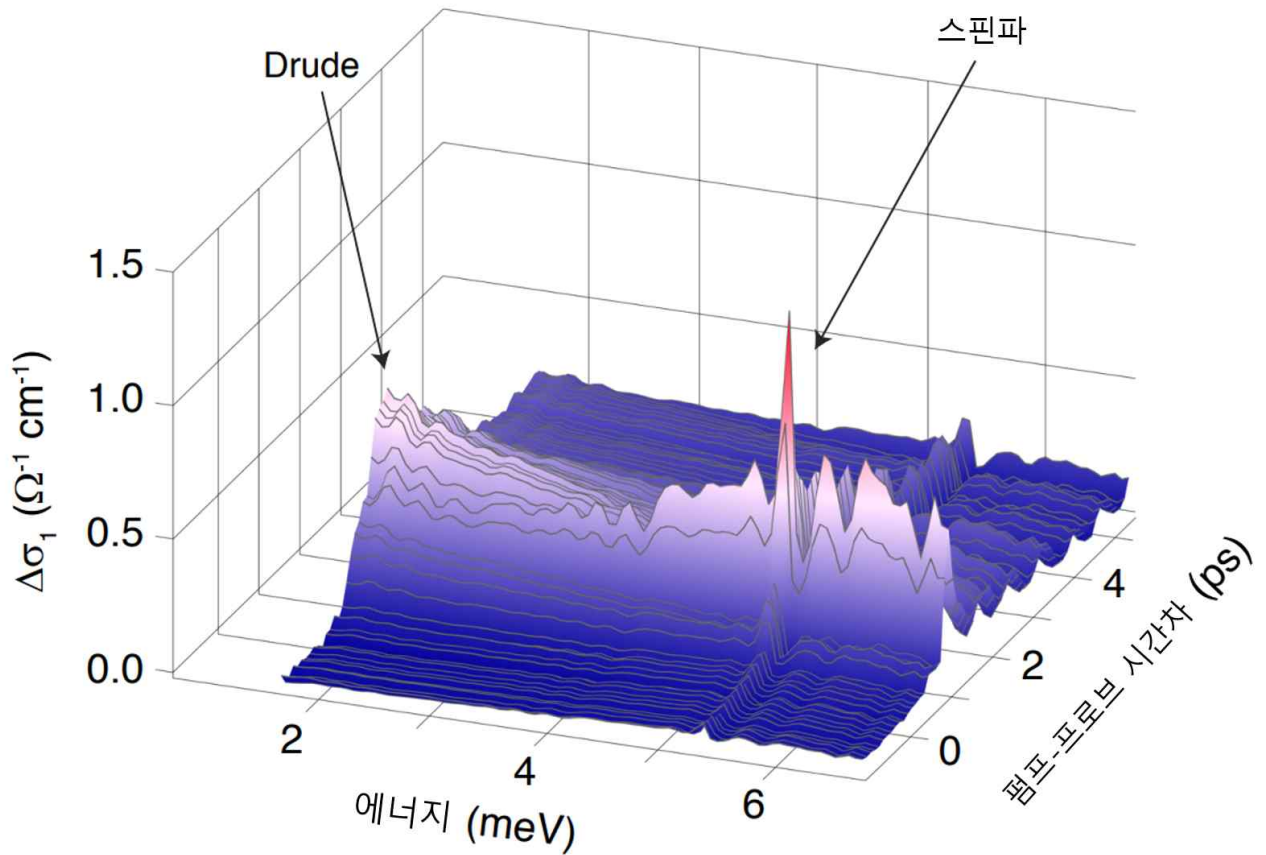


그림 1. 스핀파 궤도가 얽힌 엑시톤의 광들뜸을 통한 금속-절연체 상전이 관측. 펌프빔으로 들뜨게 된 시료의 광학적 전도도의 시간, 에너지에 따른 변화. 작은 에너지 부분의 Drude 피크는 물질이 금속이 되었음을 의미한다. 또한 스핀파의 관측으로 이 물질이 동시에 반강자성 상전이라도 가지고 있음을 증명하였다.

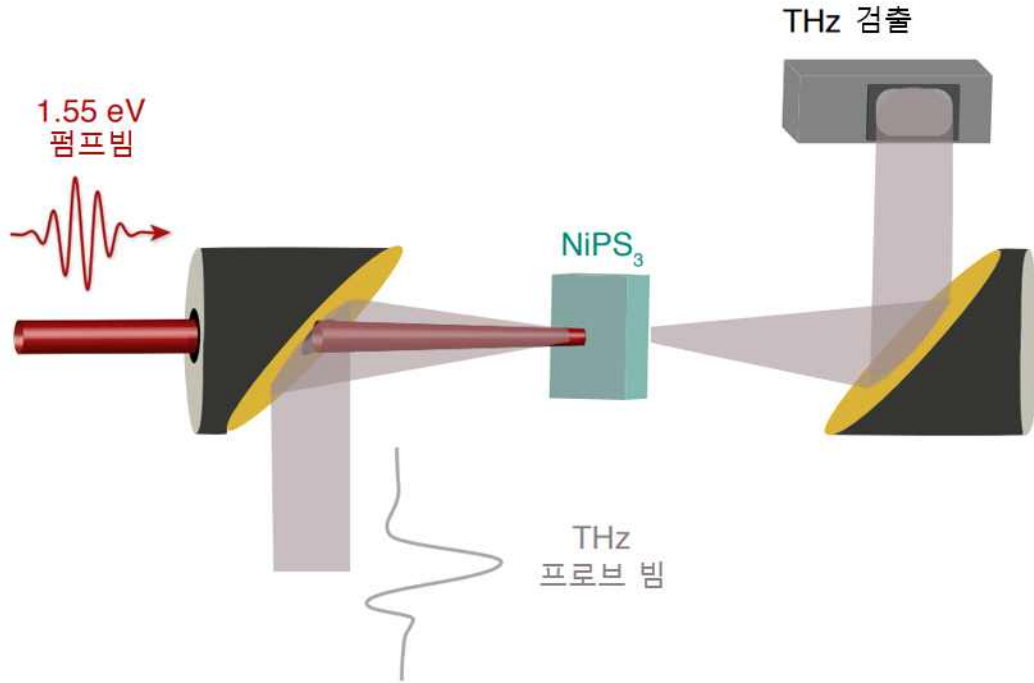


그림 2. 펌프-프로브 실험의 개요

펌프-프로브는 주로 매우 빠른 전자의 동역학을 관측하는데 사용한다. 매우 짧은 시간 동안 레이저 펄스를 NiPS_3 에 조사하게 되며 (Pump), 이 펄스에 의해 시료가 들뜨게 된다. 바로 이어서 더 약한 THz 주파수의 프로브 (Probe) 빔이 시료를 조사하고 pump 빔에 의한 시료의 광학적 상수들 (반사율, 흡수율) 등의 변화를 시간에 따라 관측한다. 이러한 방법을 통해 시료 내부의 전자 구조가 펌프에 어떻게 반응하고, 시간에 따라 변화하게 되는지에 대한 정보를 얻을 수 있다.