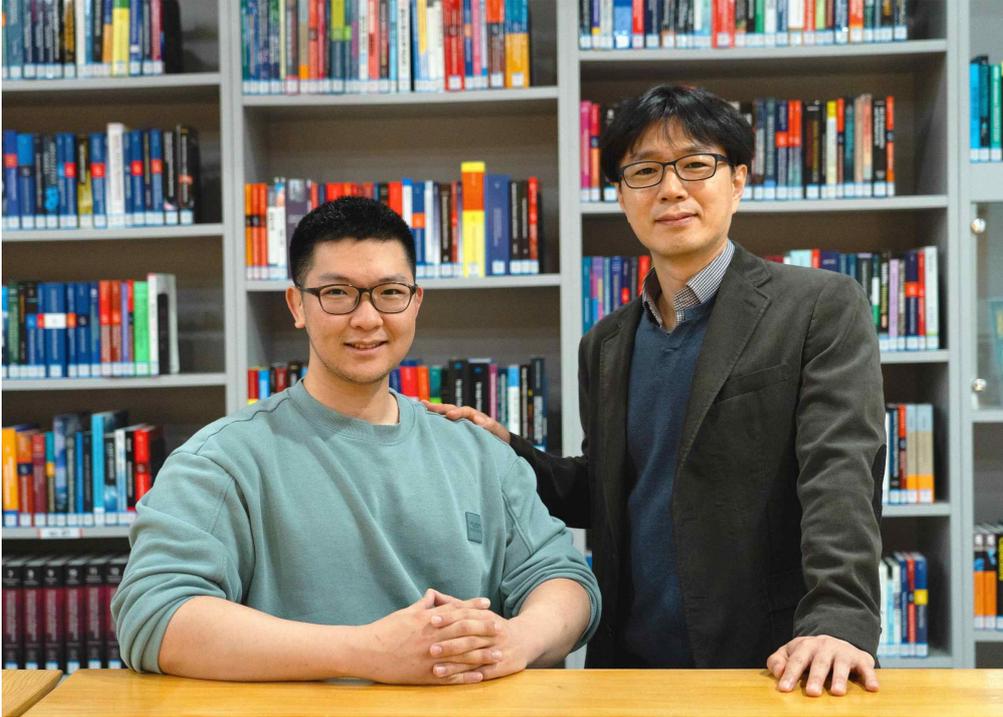


“미래 소자 효율 높일 새로운 장 열려”

인공복합구조물로 물질 내 상호작용 제어 성공

- 지스트-성균관대, 전자-격자 간 상호작용 정밀 제어 성공... 최대 300배 세기
- 미래 열전·광전소자 성능 높일 새로운 플랫폼 제시로 태양전지 효율 향상 기대



▲ 지스트 물리·광학과 최인혁 박사과정생, 이종석 교수

지스트(광주과학기술원, 총장직무대행 박래길)가 성균관대학교 연구팀과 함께 금속과 비금속으로 이루어진 초격자* 구조에서 원자 수준의 정밀한 제어를 통해 전자와 격자* 간 상호작용의 세기를 자유롭게 제어하는 데 성공했다.

이번 연구 성과는 재료과학 기초·응용 연구 분야의 세계적인 학술지인 「어드밴스드 사이언스(Advanced Science)」에 2023년 4월 13일 온라인 게재됐다.

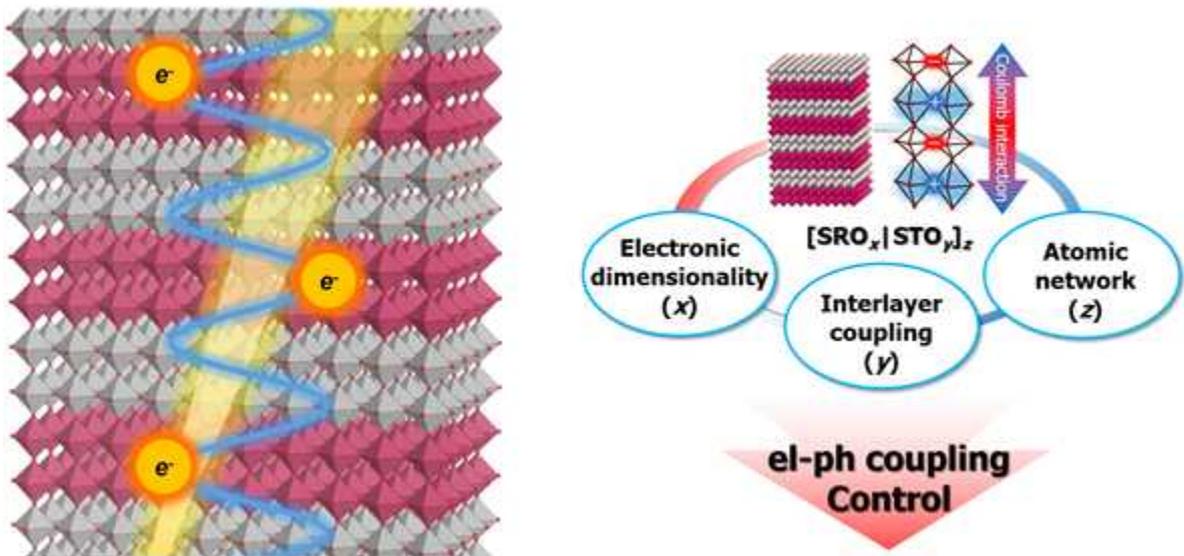
* 초격자 : 두 종류 이상의 물질이 주기적인 층으로 이루어진 구조로, 보통 각 층 두께는 수 나노미터 정도다.

* 격자 : 대칭성의 규칙에 따라 반복적으로 배열된 구조를 말하며, 반복적으로 배열된 구조의 최소 단위를 격자점이라고 부른다.

전자와 격자 간 상호작용은 고체 내부에서 일어나는 기초적인 작용으로, 초전도성과 같은 전자의 물리적 성질과 열전소자, 광전소자 등의 성능을 결정하는 데 큰 역할을 한다.

미래 소자의 효율을 높이려면 이 상호작용의 세기를 증대해야 하는데, 전자와 격자 간 상호작용의 강도는 물질마다 지닌 고유한 성질이라 인위적으로 조절하기 어려

왔을 뿐만 아니라 정량적으로 측정하기도 쉽지 않았다.



▲ 금속-비금속 초격자에서 전자-격자 상호작용 제어에 대한 모식도

연구팀은 **인공복합구조물*의 각 층의 두께 및 반복되는 횟수를 원자 단위로 정밀하게 조절하는 데 성공해 전자와 격자 간의 상호작용의 세기를 자유롭게 제어할 수 있었다.** 특히 최적의 조건에서는 그 세기를 **300배 이상 증가시켜 주목받았다.**

* **인공복합구조물(Artificial heterostructure)** : 서로 다른 물질들을 인위적으로 접합시킨 구조로, 물질 간의 상호작용을 통해 여러 물리적 현상을 유도할 수 있다.

인공복합구조물은 금속 산화물인 스트론튬 루테튬산염(SrRuO_3)와 비금속 산화물인 스트론튬 티탄산염(SrTiO_3)을 결합시킨 **초격자 형태로 제작됐다.** 연구팀은 이 금속 산화물과 비금속 산화물의 두께 및 반복되는 횟수를 조절했는데, **두께가 얇을수록 그리고 반복되는 횟수가 많을수록 상호작용의 세기가 증가했다.**

아울러 연구팀은 금속 산화물 내 **2차원 상태 전자와 초격자 간의 상호작용에 의해서도 상호작용의 세기가 크게 증가할 수 있음**을 밝혀냈다.

금속 산화물의 두께가 얇아지면 전자가 3차원 상태에서 2차원 상태로 변하는데, 2차원 상태의 전자는 시료와 평행한 방향으로만 움직일 수 있어 **수직 방향으로 전기장 가림 효과*가 감소한다.** 이에 수직 방향의 전자기력이 상쇄되지 않고 확산하면서 **금속 산화물 각 층간 전자기적 상호작용을 일으키는 초격자와 2차원 상태 전자 사이에 강력한 상호작용이 발생한다.**

* **전기장 가림 효과(Electric-field screening effect)** : 금속 내의 자유 전자들이 외부 전기장을 따라 움직이며 금속 내부의 전기장을 상쇄시키는 현상.

특히 극초단 펨토초 레이저를 이용한 **펌프-프루브 열반사율* 실험**을 통해 전자와 격자 간 상호작용의 세기를 정밀하게 측정할 수 있었다.

고체에 빛을 조사하면 빛에너지가 고체의 전자에 전달되어 온도가 수백도 이상 증가하고 전자와 격자의 온도가 다른 비평형상태가 발생한다. 이때 전자와 격자 간 상호작용을 통해 다시 온도가 같은 평형상태를 회복하는데, 연구팀은 **이 과정에서 걸리는 시간을 펌프-프루브 열반사율을 이용해 실시간으로 추적하여 측정함으로써 상호작용의 세기를 정량적으로 확인했다.**

* **펌프-프루브 열반사율** : 펌프빔과 프루브빔의 경로차를 이용하여 광여기된 물질의 반사율을 펨토초(1000조분의 1초) 단위로 추적할 수 있는 기술.

지스트 물리·광학과 이종석 교수는 “물질의 고유한 성질인 전자와 격자 간 상호작용의 세기를 제어할 수 있을 뿐만 아니라 이를 크게 향상시킬 수 있음을 밝혀냈다”며, “이 연구는 **열전소자나 광전소자의 작동속도와 효율성을 근본적으로 개선시킬 새로운 플랫폼을 제시했으며, 미래 광전소자와 열전소자 등의 에너지 효율 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다**”고 라고 말했다.

이종석 교수와 성균관대 물리학과 최우석 교수가 지도하고 **지스트 최인혁 박사과정생, 성균관대 정승교 박사**가 공동 수행한 이번 연구는 한국연구재단의 중견연구자사업, 나노 및 소재 기술개발사업 등의 지원을 받아 수행됐다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Science (IF 17.52, 2021년 기준)
- 논문명 : Giant Enhancement of Electron-Phonon Coupling in Dimensionality-Controlled SrRuO₃ Heterostructures
- 저자 정보 : 최인혁 박사과정생 (공동 1저자, 지스트), 정승교 박사 (공동 1저자, 성균관대학교), 민태원 박사 (공저자, 부산대학교), 이재광 교수 (공저자, 부산대학교), 최우석 교수 (공동 교신저자, 성균관대학교), 이종석 교수 (공동 교신저자, 지스트)