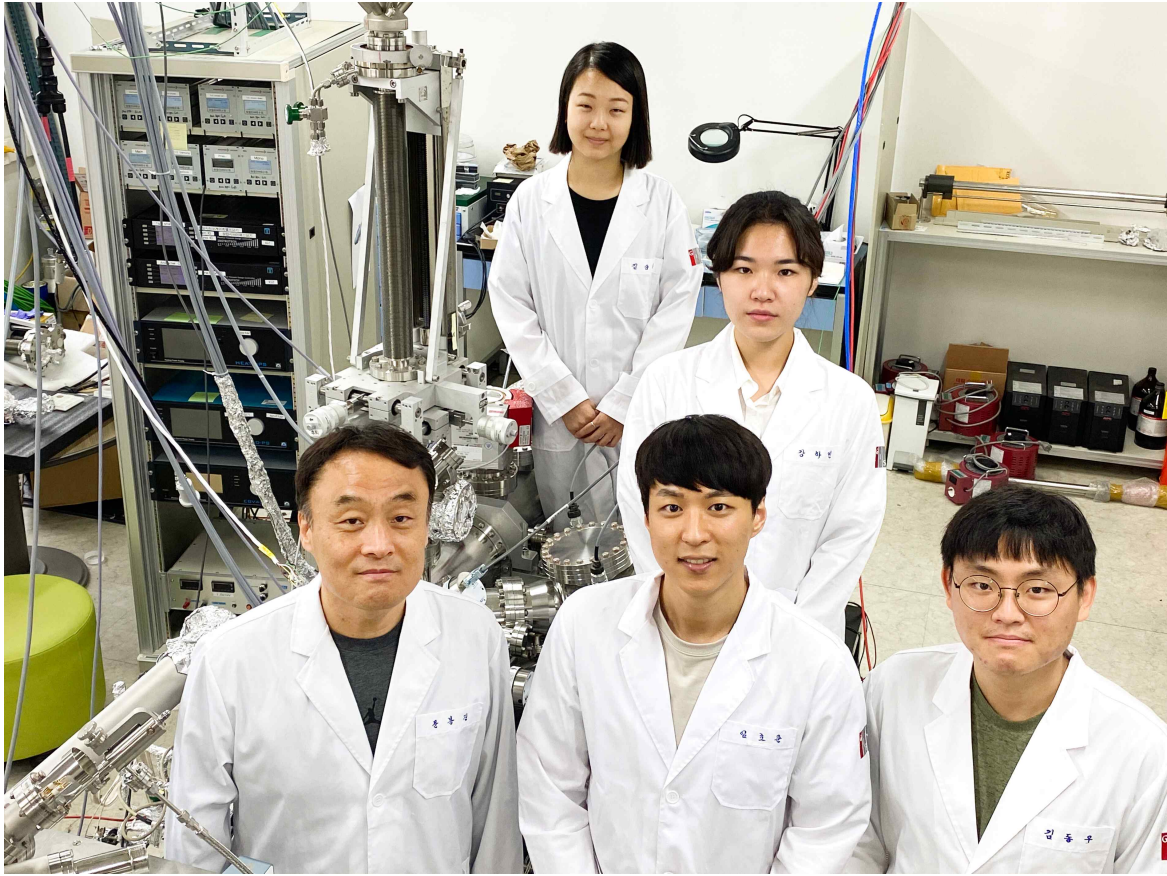


원자수준의 차세대 전자소자 특성 제어 방법 개발

- 기판의 전자구조 조절을 통한 기능성 산화물질의 특성 제어 가능성 개척



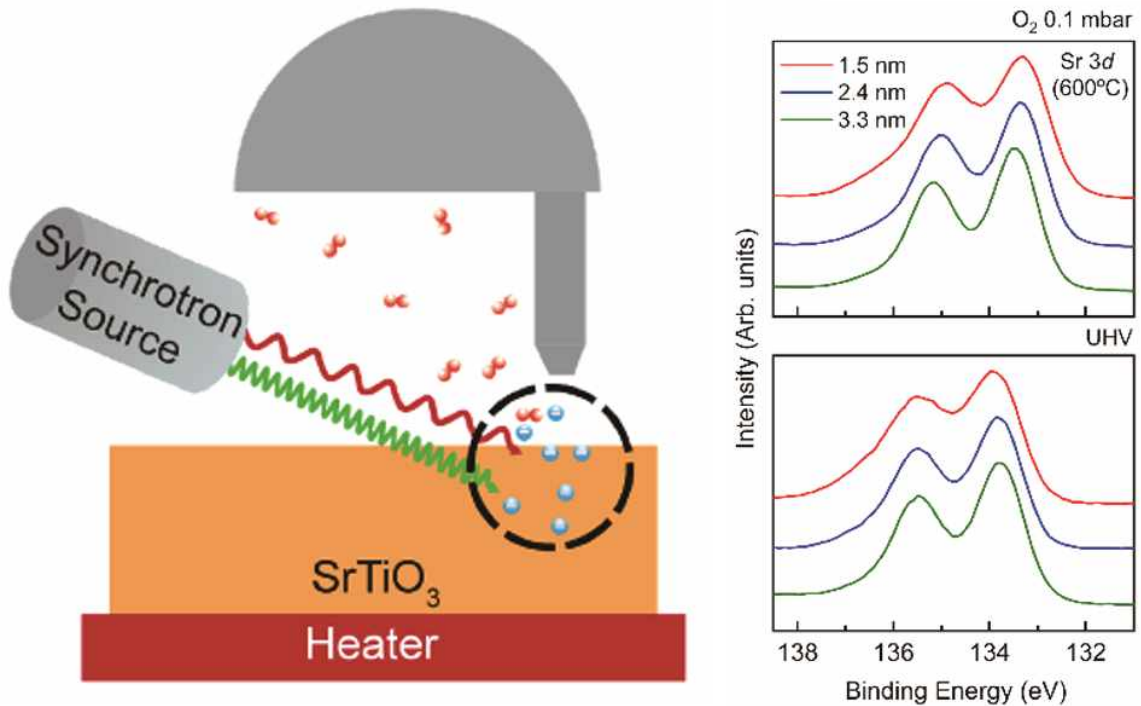
▲ (아래 좌부터 시계 반대방향으로) 문봉진 교수, 제1저자인 임호준 학생, 서민식 학생, 강하빈 학생, 정문정 학생

지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 물리·광과학과 문봉진 교수(SRC 극미세 초고속 X-선과학 연구센터, C-AXS) 연구팀은 이종접합 복합 산화물 기판의 전자/화학/구조적 상태 변화를 실시간으로 관찰하는데 성공했다.

연구팀은 고온의 산소 환경에 노출된 티탄산 스트론튬(strontium titanate, SrTiO_3) 기판의 표면에서 화학 조성 변화 및 공간전하층*의 형성과 그에 따른 에너지 밴드의 휘어짐을 방사광가속기 기반 상압광전자분광기**를 이용하여 발견하였다.

*공간전하층(space charge layer): 전자나 이온의 이동에 따라 전하가 얇은 층 모양으로 분포하는 영역으로, 전하 수송 및 정류 특성을 조절하여 물질의 전기적 성질을 결정함.

**상압광전자분광기(ambient pressure x-ray photoelectron spectrometer, AP-XPS): 기존의 초고진공 상태에서 작동하는 광전자분광기를 상압의 환경에서 작동할 수 있게 특수 제작된 상압 광전자분광기로, 실제 반응/작동 상황에서 표면의 화학적/물리적 특성을 측정할 수 있는 장비.



[그림1] 방사광 가속기를 활용한 물질의 깊이에 따른 표면 정보 변화 관찰.

X-선의 에너지 (파장)를 조절하여, X-선의 물질 내 투과 깊이와 발생하는 광전자의 통과 깊이를 결정함으로써, 물질의 화학/전자 구조 정보를 표면으로부터의 깊이에 따라 구별하여 측정할 수 있다. 본 연구에서는 X-선 에너지를 100~1000 eV 범위에서 조절하여, 1.5, 2.4, 3.3 nm 깊이의 표면 정보를 비교·분석 (depth profile)하였다.

이종접합 복합 산화물(complex oxide heterstructure)은 서로 다른 특성을 가진 산화물들을 겹겹이 쌓아 제작한 물질로, 구성 물질들이 경계면을 통해 상호 작용하여 우수한 전기, 자기, 열, 역학적 기능성을 구현하는 구조이다.

차세대 전자소자 개발에 있어 큰 화두인 거대자기저항, 금속-절연체 전이, 고온 초전도체, 2차원 전자가스 등은 모두 이종접합 복합 산화물 구조상에서 구현되는 특성들이다. 하지만 이러한 기능성의 발현 원리와 작동 메커니즘은 아직 명확히 규명되지 않았다.

기능성 산화물을 성장시키는 온도, 압력 조건에서 기판 물질 표면(기능성 산화물과 기판 물질의 상호작용이 발생하는 계면)의 화학/전기/구조적인 특성 변화가 그 위에 성장하는 기능성 산화물의 성능 결정에 크게 기여하므로, 성능 향상을 위한 최적의 성장 조건을 설계하려면 기판의 표면 동역학에 대해 면밀히 파악하는 것이 필수적이다.

연구팀은 최외곽 표면이 이산화 타이타늄(TiO₂)층으로 종결된 티탄산 스트론튬 기판의 화학 및 전자구조를 상압광전자분광 챔버 내에서 제자리 분석(*In situ* analysis)을 하였다.

챔버 내부의 가스 환경을 초고진공부터 산소 가스 압력 0.1 mbar(대기압의 약 만분의 일 수준), 온도 환경을 상온부터 600°C 범위에서 조절해가며, 티탄산 스트론튬 * 기판 표면에서의 원자 이동 및 화학 구조 변화에 의한 공간전하층의 형성과 산소 환경의 역할을 실시간으로 확인하였다.

* **티탄산 스트론튬**: 다른 기능성 산화물들과의 격자 호환성이 뛰어나고, 열/화학적으로 안정하여 이종접합 복합 산화물을 제작할 때 기능성 산화물들을 성장시키는 기판으로 가장 많이 사용되는 물질 중 하나이다.

문봉진 교수는 "본 연구에서는 기판의 전자/화학/구조적 상태에 영향을 줄 수 있는 도핑에 의한 효과를 배제하여 순수한 티탄산 스트론튬 기판의 표면 공간전하 특성을 밝혀냈다"면서, "이번 연구를 통해 기판과 기능성 물질의 특성 제어 가능성 및 차세대 전자 소재로서의 응용 가능성을 크게 높였다"고 연구의 의의를 설명했다.

지스트 문봉진 교수팀이 수행한 이번 연구는 한국연구재단, 지스트 연구원의 지원을 받아 진행되었으며, 영국 왕립화학회(The Royal Society of Chemistry) 저명 학술지인 '저널 오브 머터리얼즈 케미스트리 씨(Journal of Materials Chemistry C)'의 표지논문(Issue 38)으로 선정되어 2021년 10월 14일에 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Journal of Materials Chemistry C (IF 7.393, 2020년 기준)
- 논문명 : Nature of surface space charge layer on *undoped* SrTiO₃ (001)
- 저자 정보 : 임호준 (제1저자, 지스트), 송찬양 (제1저자, 지스트), 서민식 (공저자, 지스트), 김동우 (공저자, 지스트), 정문정 (공저자, 지스트), 강하빈 (공저자, 지스트), 김승환 (공저자, 지스트), 이경재 (공저자, 지스트), 유영석 (공저자, 한국기초과학지원연구원), 김건화 (공저자, 포항가속기연구소), 김기정 (교신저자, 포항가속기연구소), 문봉진 (교신저자, 지스트)