

# 소비전력과 정보밀도를 획기적으로 개선할 수 있는 차세대 반도체 소재 개발

- 페로브스카이트 재료에서 선택적 산소어닐링 방법을 이용하여 격자 변형에 따라 단계적 조절 가능한 유전상수 확인



▲왼쪽부터 이상한 교수, 안현지 박사

국내 연구진이 기존 반도체 소자의 소비전력 및 정보밀도를 획기적으로 개선할 수 있는 기술을 개발했다. 차세대 전자소자인 멤커패시터 및 멤컴퓨팅 시스템 개발에 기여할 것으로 기대된다.

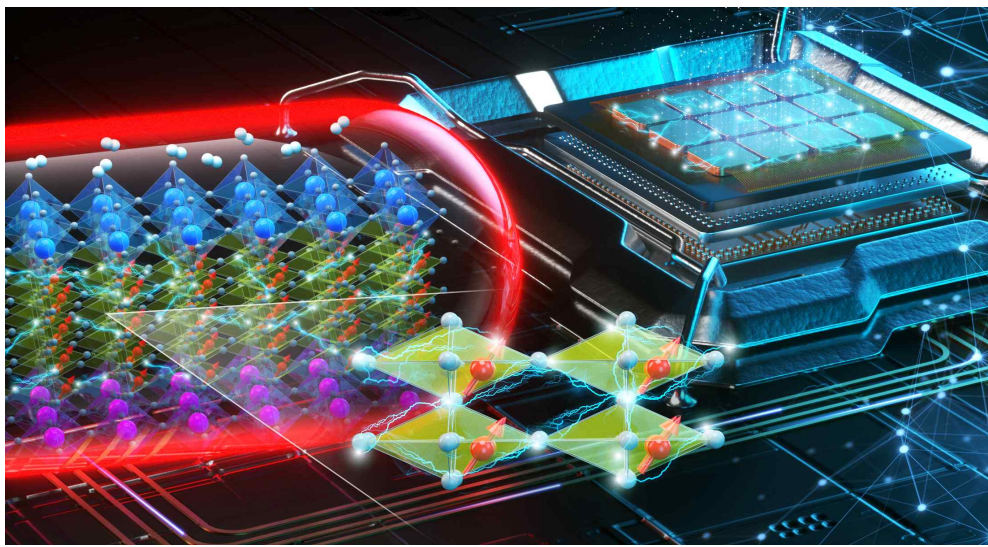
지스트(광주과학기술원) 신소재공학부 이상한 교수 연구팀은 반도체의 기본 소재로 활용되는 페로브스카이트 재료\*의 격자\*\* 변형을 이용하여 유전상수\*\*\*를 단계적으로 조절하는 데 성공했다.

\* **페로브스카이트 재료:**  $ABO_3$ 의 분자구조가 규칙적으로 배열된 재료를 말하며, 대부분 유전특성을 갖는 재료로써 일반적인 커패시터나 메모리 등 반도체의 중요 소재로 활용되고 있다.

\*\* **격자:** 원자나 분자, 이온이 일정한 패턴으로 모든 방향으로 규칙적으로 배열되어있는 결정질 재료를 구성하는 최소 구성단위.

\*\*\* **유전상수 :** 전기장이 주어졌을 때 물질이 전하를 상대적으로 어느 정도 저장할 수 있는가를 나타내는 척도이다. 따라서 유전체 재료는 일반적으로 전자정보를 저장하는 메모리 소자에 활용될 수 있다.

유전상수는 재료의 고유한 성질이지만 유전체 재료에서 이러한 유전상수가 조절된다면, 메모리소자의 저장단계가 조절 가능하므로 기존 반도체 소자의 소비전력 및 정보밀도를 획기적으로 개선할 수 있다.



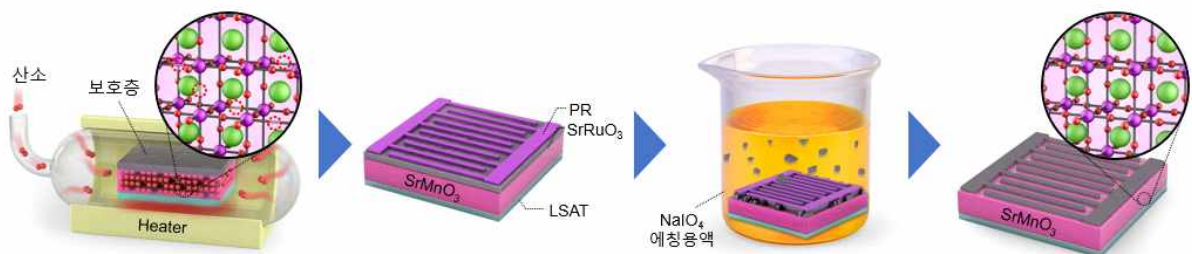
**▲격자 인장으로 인해 조절된 강유전성 및 유전특성이 조절된 페로브스카이트 재료가 차세대 메모리 소자로 활용되었을 때의 모식도**

\* 가운데 확대된 하단 그림: 페로브스카이트 구조의 스트론튬 망간 옥사이드의 격자 인장으로 인해 망간 양이온(붉은색)의 한 방향으로의 치우침으로 강유전성이 발생하는 과정.

페로브스카이트( $ABO_3$ ) 구조의 일부 유전재료에서 격자변형에 따라 상유전성에서 강유전성으로 상전이 될 수 있음이 최근 이론계산 논문들을 통해 보고되었다. 그 중에서도  $SrMnO_3$  (SMO)는 격자 변형에 따라 강유전성뿐만 아니라 강자성으로의 다중상변이가 가능한 재료이며, 이러한 두 강성의 강력한 조합은 차세대 다중메모리소자로서 활용 가능성이 높은 재료로 각광받아왔다.

그러나 기존의 선행연구들에서 이러한 재료를 실험적으로 구현하였을 때, 격자 변형에 따른 큰 누설전류 및 구조적 결함 발생으로 인해 직접적인 강유전성 및 유전상수의 확인이 어려웠다.

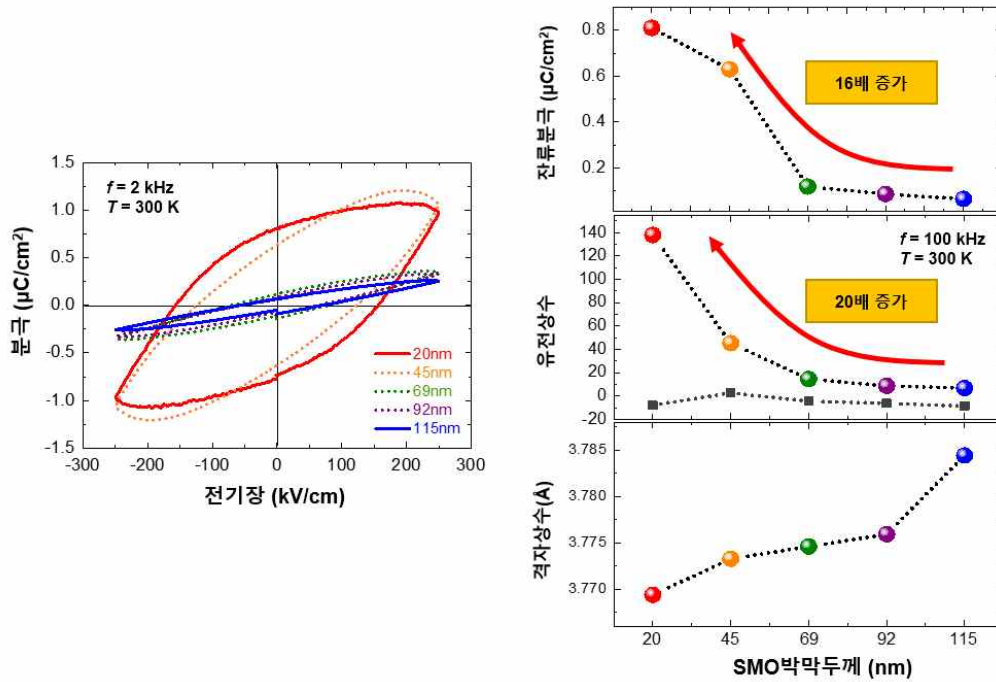
본 연구팀은 이러한 한계점을 극복하기 위해 선택적 산소어닐링 방법을 고안하여 적용하였고, SMO 박막에서 최초로 격자인장에 따른 상유전성에서 강유전성으로의 상변이 및 이에 따른 유전상수의 단계적 조절이 가능함을 실험적으로 확인하였다.



**▲본 연구팀이 제안한 격자 인장된  $SrMnO_3$  박막의 누설전류 및 구조결함을 효과적으로 줄일 수 있는 선택적 산소어닐링 방법의 모식도**

SMO 박막보다 더 큰 격자상수를 갖는 스트론튬 탄탈륨 알루미늄(LSAT) 기판을 기반으로 펄스드 레이저 증착법을 이용하여 결정질 박막을 형성시킴으로써 SMO의 격자인장을 유도하였다. 또한 박막의 두께를 조절함으로써 격자 인장률을 최대 2%까지 단계적으로 조절하였다.

나아가 SMO 박막 위 SrRuO<sub>3</sub> 보호층을 준비하고 고온의 산소분위기에서 어닐링 진행 후 보호층을 제거하는 선택적 산소어닐링 방법을 고안하여 이를 통해 SMO 박막의 한계점인 격자변형에 따른 큰 누설전류 및 구조적 결함을 해결하여 구조적으로 안정된 박막을 구현하였다.



▲선택적 산소어닐링 방법으로 제작된 SrMnO<sub>3</sub> 박막에서 격자인장에 따라 단계적으로 조절된 강유전 곡선 및 유전상수 결과. 기존 SrMnO<sub>3</sub> 박막을 기준으로 격자가 최대 2% 늘어남에 따라 잔류분극은 16 배, 유전상수는 20배 증가한다.

이상한 교수는 "이번 연구성과는 차세대 전자소자로 각광받고 있지만 아직 재료개발단계에 멈춰있는 메모리 개발의 단초를 제공할 수 있다는데 의의가 있다"면서 "격자 인장에 따라 단계적으로 조절 가능한 유전체 재료의 개발은 향후 차세대 반도체 소자 개발을 선도할 것으로 기대된다"고 말했다.

지스트 이상한 교수가 주도하고 안현지 박사(제1저자)가 수행한 이번 연구는 한국연구재단이 지원하는 미래소재디스커버리 사업의 지원을 받아 수행되었으며, 재료분야 저명 학술지인 'NPG Asia Materials(NPG 아시아 머터리얼즈, IF=10.481)'에 하이라이트 논문으로 선정되어 2021년 10월 29일 온라인 게재되었다.

# 논문의 주요 내용

## 1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : NPG Asia Materials (2020년 기준 IF=10.481)
- 논문명 : Experimental realization of strain-induced room-temperature ferroelectricity in SrMnO<sub>3</sub> films via selective oxygen annealing
- 저자 정보 : 안현지 (제1저자, GIST), 이상한 (교신저자, GIST)

## 용어 설명

### 1. 페로브스카이트 재료

- ABO<sub>3</sub>의 분자구조가 규칙적으로 배열된 재료를 말하며, 대부분 유전특성을 갖는 재료로서 일반적인 커패시터나 메모리 등 반도체의 중요 소재로 활용되고 있다.

### 2. 격자

- 원자나 분자, 이온이 일정한 패턴으로 모든 방향으로 규칙적으로 배열되어있는 결정질 재료를 구성하는 최소 구성단위.

### 3. 유전상수

- 전기장이 주어졌을 때 물질이 전하를 상대적으로 어느 정도 저장할 수 있는가를 나타내는 척도이다. 따라서 유전체 재료는 일반적으로 전자정보를 저장하는 메모리 소자에 활용될 수 있다. 유전상수는 재료의 고유한 성질이지만, 유전체 재료에서 이러한 유전상수의 조절된다면, 메모리소자의 저장단계가 조절 가능하므로 기존 반도체 소자의 소비전력 및 정보밀도를 획기적으로 개선할 수 있다.