

“논리 연산도, AI 학습도 하나의 반도체로” GIST, 두 가지 메모리 기능 갖춘 반도체 소자 개발

- 반도체공학과 강동호 교수팀, 전압 조절로 두 가지 메모리 방식 선택해 하나의 트랜지스터에서 n형·p형·절연·금속성 등 4가지 동작 상태 구현
- 동일한 회로에서 6가지 논리 연산 가능성 확인... 실제 소자 측정값 활용한 손글씨 숫자 인식 시뮬레이션에서 약 90% 정확도
- 국제학술지《Small》 게재



▲ (왼쪽부터) GIST 반도체공학과 강동호 교수, 전기전자컴퓨터공학과 손현창 석박사
통합과정생, 이승빈 석사

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 반도체공학과 강동호 교수 연구팀이 하나의 반도체 소자에서 서로 다른 두 가지 메모리 기능을 선택적으로 활용해 논리 연산과 인공지능(AI) 학습 기능을 모두 수행할 수 있는 다기능 반도체 소자를 개발했다고 밝혔다.

전압을 조절하는 것만으로 전류가 흐르는 방식을 바꿔 여러 논리 연산을 수행하거나, 전류의 세기를 단계적으로 조절해 인공지능 학습에 필요한 기능을 구현할 수 있는 기술이다.

반도체 회로는 전류의 흐름을 조절하는 트랜지스터를 여러 개 연결해 만든다. 일반적으로 트랜지스터는 정해진 방식으로 작동하지만, 최근에는 하나의 트랜지스터가 여러 역할을 수행하도록 동작 방식을 바꿀 수 있는 ‘재구성 반도체’가 주목받고 있다. 필요한 소자 수를 줄이고 제한된 공간에 더 많은 기능을 집약할 수 있기 때문이다.

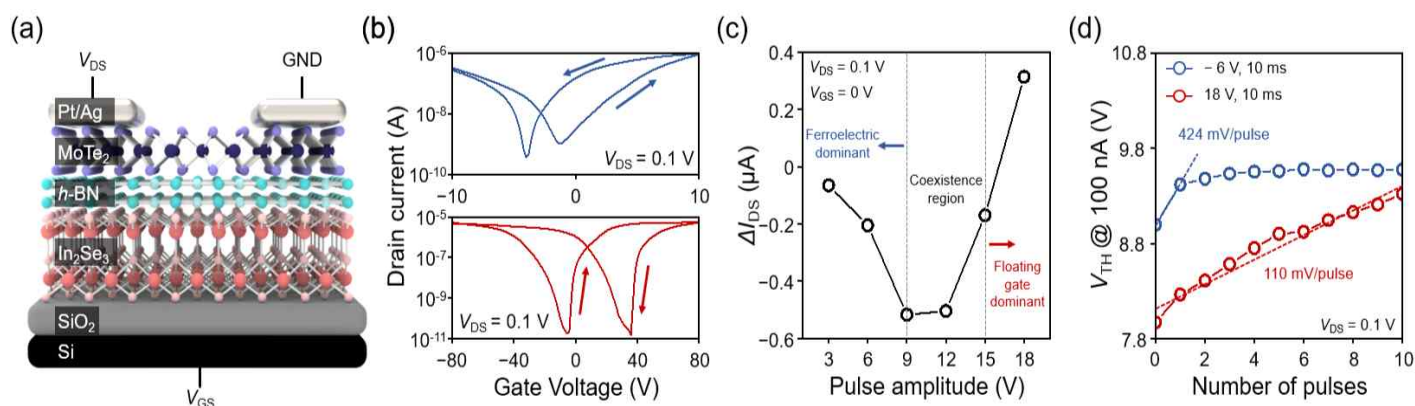
그러나 기존 재구성 반도체는 주로 한 가지 메모리 방식에 의존해 왔다. ‘논리 연산’에는 전류가 흐르는 상태를 폭넓게 바꾸고 유지하는 특성이, ‘인공지능’ 학습에는 전류의 세기를 반복적으로 조절하는 특성이 필요해 두 기능을 함께 구현하는 데 한계가 있었다.

연구팀은 이러한 한계를 해결하기 위해 서로 다른 두 가지 메모리 방식의 장점을 하나의 소자에서 선택적으로 활용하는 방법에 착안했다.

‘플로팅 게이트 메모리’는 전하를 저장해 트랜지스터에 흐르는 전류의 특성을 바꾸고, 그 상태를 유지하는 방식이다. 이를 이용하면 소자의 동작 상태를 폭넓게 바꿀 수 있어 논리 연산에 활용할 수 있다.

‘강유전체 메모리’는 전압에 따라 물질 내부의 전기적 방향이 바뀌면서 전류가 흐르는 정도를 조절하는 방식이다. 상대적으로 낮은 전압에서 전류의 세기를 반복적으로 조절할 수 있어 인공지능 학습에 필요한 기능을 구현하는 데 적합하다.

연구진은 원자 수준으로 얇은 반도체와 절연체, 강유전체 물질을 층층이 쌓아 올려 높은 전압에서는 플로팅 게이트 메모리가, 낮은 전압에서는 강유전체 메모리가 주로 작동하도록 설계했다.



▲ 전압에 따라 두 가지 메모리 방식으로 작동하는 반도체 소자의 구조와 특성. (a) 반도체·절연체·강유전체를 층층이 쌓은 소자 구조. (b) 전압에 따른 전류 변화. (c) 전압 크기에 따라 주로 작동하는 메모리 방식이 달라지는 특성. (d) 짧은 전압 신호에 대한 두 메모리 방식의 반응 비교.

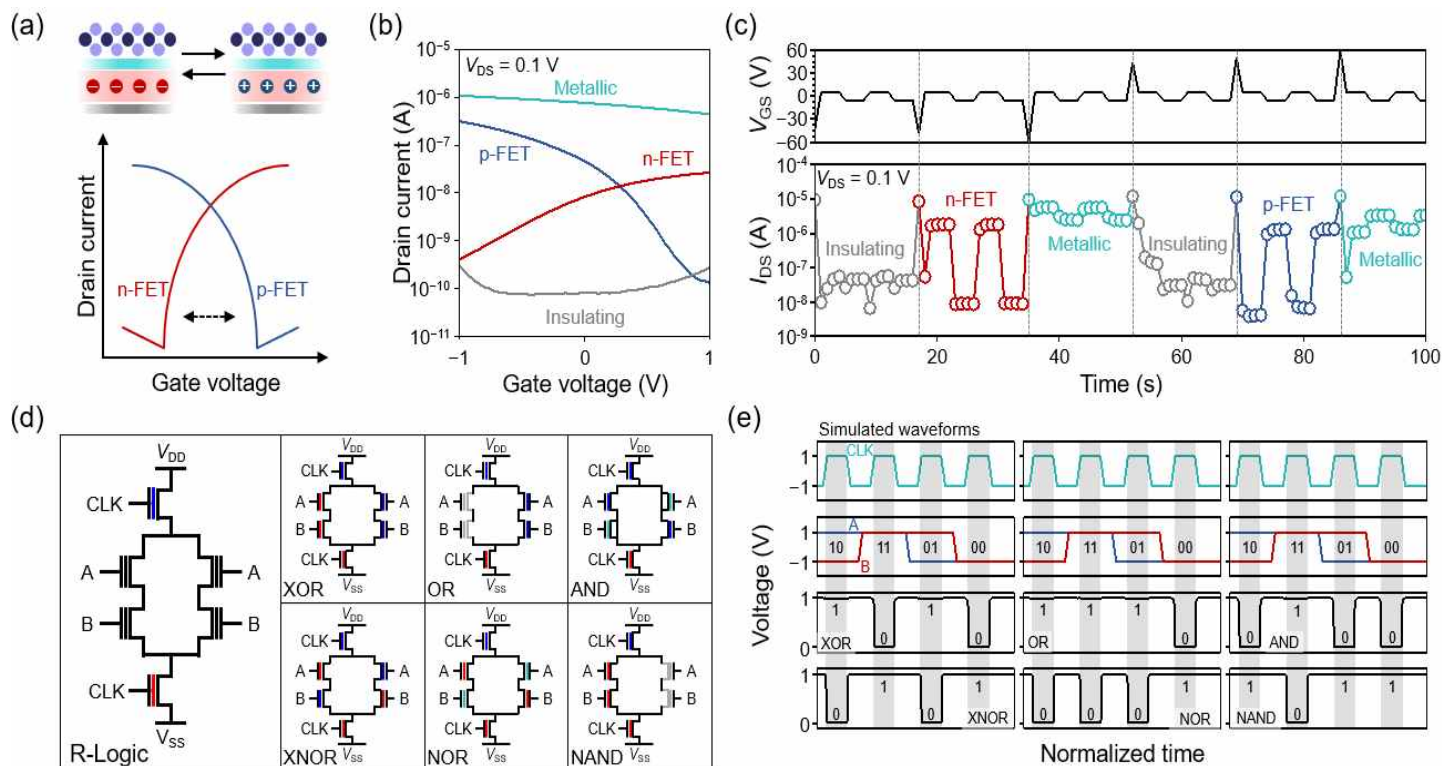
연구팀은 먼저 플로팅 게이트 메모리 방식을 이용해 하나의 트랜지스터에서 전류가 흐르는 특성을 조절하고, 네 가지 동작 상태를 구현했다.

구체적으로 ▲전류가 거의 흐르지 않는 ‘절연 상태’ ▲전류가 잘 흐르는 ‘금속성 상태’ ▲전자가 이동하면서 전류가 흐르는 ‘n형 상태’ ▲전자가 빠져나간 자리인 정공이 이동하면서 전류가 흐르는 ‘p형 상태’다.

이를 활용해 실제 소자에서 입력된 전기 신호를 반대로 바꾸거나 그대로 전달하는 동작을 확인했다. 이어 실제 측정값을 바탕으로 6개의 트랜지스터를 연결한 회로를 컴퓨터에서 구현해 작동을 시험했다.

그 결과, 회로의 연결을 바꾸지 않고도 각 트랜지스터의 상태를 조절해 입력된 전

기 신호의 조합에 따라 서로 다른 결과를 내는 6가지 논리 연산을 수행할 수 있음을 확인했다.



▲ 하나의 트랜지스터에서 네 가지 동작 상태를 구현하고, 6가지 논리 연산을 검증한 결과. (a) 전하 저장을 이용한 동작 상태 전환 원리. (b) n형·p형·절연·금속성의 네 가지 상태. (c) 전압 신호에 따른 네 가지 상태의 전환 결과. (d) 6가지 논리 연산을 시험하기 위한 회로 시뮬레이션 구성. (e) 동일한 회로에서 6가지 논리 연산(XOR·XNOR·OR·NOR·AND·NAND)이 가능함을 확인한 시뮬레이션 결과.

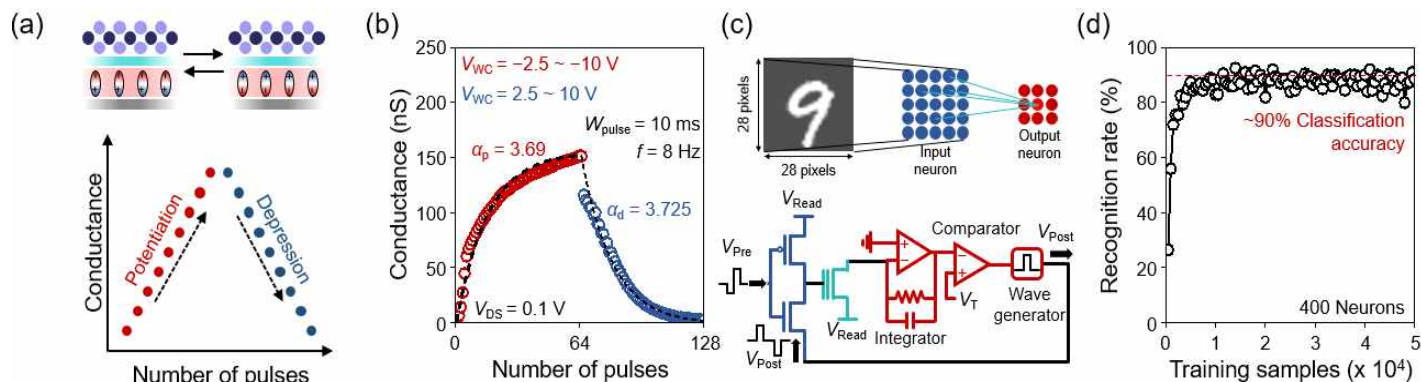
이어 **강유전체 메모리** 방식으로 사람의 뇌에서 학습이 이뤄지는 원리를 모방한 ‘**인공 시냅스**’ 기능을 구현했다. 뇌에서는 신경세포 사이의 연결 부위인 **시냅스**를 통해 신호가 전달되며, 학습 과정에서 신호가 전달되는 **강도(연결 강도)**가 강해지거나 약해진다.

소자에 짧은 전압 신호를 반복적으로 가한 결과, 전류가 흐르는 정도를 단계적으로 높이거나 낮추고 조절된 상태를 유지할 수 있음을 확인했다. 전류가 가장 적게 흐르는 상태와 가장 많이 흐르는 상태 사이에는 약 100배의 차이가 나타났다.

인공지능 신경망도 학습 과정에서 **연결 강도**를 조절한다. 연구팀은 이러한 특성이 인공지능 학습에 활용될 수 있는지 확인하기 위해 실제 소자에서 측정한 전류 조절 특성을 신경망의 연결 강도에 반영하고, 손글씨 숫자 인식 시뮬레이션을 진행했다. 그 결과 0부터 9까지의 숫자를 약 90%의 정확도로 구별했다.

강동호 교수는 “이번 연구에서 확인한 두 가지 메모리 기능을 바탕으로 향후 실제 회로에서 논리 연산과 인공지능 학습 기능을 함께 구현하는 연구를 이어갈 계획”이

라며 “소자의 집적도와 에너지 효율을 높이는 차세대 AI 반도체 기술 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대한다”고 말했다.



▲ 인공지능 학습을 모방한 소자 특성과 손글씨 숫자 인식 시뮬레이션 결과. (a) 전류의 세기를 조절해 학습 기능을 모방하는 원리. (b) 반복적인 전압 신호에 따른 전류의 단계적 증가와 감소. (c) 손글씨 숫자 인식을 위한 인공지능 신경망 시뮬레이션 구성. (d) 학습에 따른 숫자 인식 정확도 변화(약 90%).

GIST 반도체공학과 강동호 교수가 지도하고 GIST 전기전자컴퓨터공학과 손현창 석박사통합과정생과 이승빈 석사가 공동제1저자로 참여한 이번 연구는 ▲한국연구재단 우수신진연구사업 ▲과학기술정보통신부 UNIST-GIST-DGIST 기관전략연구단사업 ▲과학기술정보통신부 지스트-이노코어(GIST-InnoCORE) 사업 ▲GIST 미래선도 특성화연구사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 국제학술지 《스몰(Small)》에 2026년 9월 30일 온라인으로 게재됐다.

한편 GIST는 이번 연구 성과의 기술사업화 및 산업적 활용에 관심 있는 기업·기관의 문의를 창업혁신진흥원 기술사업화센터(hgmoon@gist.ac.kr)를 통해 받고 있다고 밝혔다.

논문 정보

○ 논문명, 저자 정보

- 저널명 : Small (IF:11.8, Physics, Applied 분야 상위 9.16%, 2026년 기준)
- 논문명 : Van der Waals hybrid-gate reconfigurable transistor integrating floating-gate logic and ferroelectric synaptic functions
- 저자 정보 : 손현창(공동제1저자, GIST 전기전자컴퓨터공학과 석박사통합과정생), 이승빈(공동제1저자, GIST 전기전자컴퓨터공학과 석사), 안성운(공저자, GIST 전기전자컴퓨터공학과 석박사통합과정생), 정현학(공저자, GIST 반도체공학과 석사과정생), 안용남(공저자, GIST 반도체공학과 석박사통합과정생), 유광민(공저자, KAIST 기계공학과 석사), 권동석

(공저자, GIST 반도체공학과 교수), 김영민(공저자, 국민대학교 신소재공학부 교수), 남동욱(공저자, 서울대 전기정보공학부 교수), 신현진(공저자, GIST 반도체공학과 교수), 윤훈한(공저자, GIST 반도체공학과 교수), 이일민(공저자, GIST 전기전자컴퓨터공학과 교수), 강동호(교신저자, GIST 반도체공학과 교수)