

새로운 초전도 다이오드: 양자 컴퓨터 향상

(2023.06.19., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 컴퓨터 및 인공 지능의 성능 향상 가능한 초전도 다이오드

- 미네소타 트윈시티 대학 연구팀, 전자 장치 핵심 구성 요소인 새로운 초전도 다이오드 개발
 - 산업용 양자 컴퓨터 확장하고 인공 지능 시스템의 성능 향상에 도움(Nature Communications 게재)
 - 다른 초전도 다이오드와 비교할 때, 더 에너지 효율적이고 동시에 여러 전기 신호 처리 가능, 에너지 흐름을 제어하는 일련의 게이트 포함(이전에 초전도 다이오드에 통합된 적 없음)
 - 더 강력한 컴퓨터를 만들고 싶지만, 현재의 재료와 제조 방법으로는 한계가 있음, 가장 큰 문제 중 하나는 에너지 소비가 큰 점
- 초전도체 사이에 비초전도성 물질 조각을 끼워 3개의 조셉슨 접합 사용하여 장치 고안, 초전도체를 반도체층과 연결
 - 고유한 설계 덕분에 전압을 사용하여 장치의 동작을 제어할 수 있음
 - 또한 다중 신호 입력을 처리할 수 있는 기능을 가지고 있으며, 이 기능은 인공 지능 시스템의 성능 향상을 위해 뉴로모픽 컴퓨팅(뇌에서 뉴런이 기능하는 방식 모방, 전기 회로를 엔지니어링)에 응용될 수 있음
- 지금까지 보여준 것 중 가장 높은 에너지 효율을 보이며, 처음으로 게이트를 추가하고 전기장을 적용하여 조정 가능함
 - 이전 초전도 장치에서 사용한 재료는 제작에 매우 어려움, 이 디자인은 보다 산업 친화적이고 새로운 기능을 제공하는 재료 사용
 - 원칙적으로 모든 유형의 초전도체와 함께 사용 가능하여, 현장의 다른 기술보다 더 다양하고 사용하기 용이함, 양자 컴퓨터 개발 확장에 도움이 될 수 있음

□ 초전도 다이오드 효과(Superconducting diode effects, SDE)

○ 초전도 다이오드 효과 기본 개념

- 반도체 다이오드의 비가역 저항성 전하 수송과 유사하게 소실 없는 초전류의 비가역 현상, 이국적인 현상은 대칭 구속된 초전류 (supercurrent) 수송과 나선형/chiral 초전도체의 본질적인 양자 기능 사이의 얽힘에서 비롯됨
- 유한 운동량 쿠퍼 쌍을 갖는 비대칭 초전도체에서 최근 관찰된 양자 현상인 초전도 다이오드 효과는 초전류의 비호전성 (nonreciprocity), 초전류가 한 방향으로만 흐를 수 있도록 함
- 반도체 다이오드 역할과 유사함, SDE는 초전도 전자 공학, 초전도 스핀트로닉스 및 양자 정보 통신 기술에서 새로운 소자 응용

○ 초전도 다이오드 효과 유발하는 기본 메커니즘

- 동시 공간 역전(space-inversion) 및 시간 역전(time-reversal) 대칭 파괴, magnetochiral 이방성, 스핀 궤도 상호작용 에너지와 초전류 캐리어의 특성 에너지 스케일 사이의 상호 작용 포함
- SDE 기원은 전송 메커니즘, 대칭 제약 및 초전도 물질의 기본 양자 기능에 의해 부과되는 여러 물리적 현상에서 나타남
- 초전류의 비호환성이 비대칭 시스템의 기본 대칭과 어떻게 얽히는지 명시적으로 설명
 - ※ 다이오드는 낮은 저항과 반대 방향인 높은 저항으로의 한쪽 방향으로 전류를 전도하는 전자부품, p-n junctions 형성하는 반도체 재료로, 정류기와 광검출기 같은 다양한 전자 기능 구현에 이용됨
- 한쪽 방향으로만 저항이 없는 자기적으로 조절 가능한 초전도 다이오드 발표, 이 효과는 인위적으로 설계된 금속층의 초격자에서 구현, 물질에서 반전(inversion)과 시간 역전 대칭(Time-reversal symmetry)의 동시 파괴로 발생

(원문)

1. <https://www.mckinsey.com/quantum-computing-an-emerging-ecosystem.pdf>