

양자 컴퓨팅을 위한 토폴로지 초전도체 발전

(2023.09.25., 양자정보연구지원센터)

- ORNL(Oak Ridge National Lab), 큐비트 강력하게 만들고 응용 분야에 맞게 조정하기 위해 새로운 재료 시스템 개발
 - 스핀 및 각도 분해 광전자 방출 분광법 사용, 위상 절연체와 초전도체 사이의 인터페이스 연구
 - 전류에 저항을 제공하지 않는 초전도체를 전기 전도성 표면을 가지고 있지만 내부는 절연된 위상 절연체(topological insulator)와 결합
 - 그 결과, 원자의 대칭 배열이 다른 결정질 박막 사이의 원자적으로 날카로운 인터페이스(계면)이 생성됨
 - 이 새로운 인터페이스는 이국적인 물리학을 발생, 우수한 큐비트로서 잠재력을 지닌 독특한 양자 빌딩 블록을 호스팅할 수 있음
 - 좀 더 강력한 양자 역학적 특성을 가진 재료로 큐비트 제조
 - 위상 절연체와 초전도체의 전자 구조를 독립적으로 제어하는 방법으로 해당 인터페이스에서 전자 구조를 조정할 수 있음
 - 인터페이스 양쪽 전자 구조를 제어하면 재료 내부에 마요라나 입자((Majorana particle)* 생성됨
 - ※ Majorana particle: 자연에는 전자와 양전자와 같은 입자와 반입자가 있음, 이들은 접촉하면 서로 소멸됨, 마요라나 입자는 그 자체로 반입자임, 1937년 이국적인 입자의 존재 예측, 아직 입증되지 않음
 - 초전도체와 위상 절연체 사이의 새로운 인터페이스를 생성하는 것이 마요라나 입자를 수용할 것으로 예상되는 물질의 새로운 단계인 위상학적 초전도성(topological superconductivity)이 생성될 것이라고 제안함(2008)
 - ORNL, 분자 빔 에피택시(molecular beam epitaxy) 사용하여 원자 단위로 토폴로지 절연 및 초전도 물질의 박막 인터페이스 성장
 - 한 쌍의 마요라나 입자가 있고 서로 움직인다면, 그들은 항상 서

로의 위치를 알고 있음, 이 프로세스는 양자 정보를 인코딩하고 새로운 방식으로 계산하는 데 사용될 수 있음

- 마요라나 입자를 수용할 해로운 물질 단계의 실현은 적절한 물질을 찾는데 달려 있음
- 재료의 전자 구조 연구 기술인 각도 분해 광전자 방출 분광법(ARPES, angle-resolved photoemission spectroscopy)에 대한 새로운 전문 지식 전수(2019, Moore)
 - 샘플에 광원의 초점을 맞추고 전자가 광자로부터 에너지 흡수할 때 재료 표면에서 방출되는 전자의 특성을 나타냄, 물질 내부에서 전자의 행동을 이해하는 데 도움이 됨
 - QSC는 양자 컴퓨팅 및 감지 응용 프로그램을 실현하는 것을 목표로 함, 하드웨어와 알고리즘 개발하고 새로운 소재 발굴하여 하드웨어 개발을 위한 토폴로지 재료 연구에 중점을 둠
- 초전도체와 위상 절연체 사이의 초청정 인터페이스를 만들기 위해 전자 장치용 반도체의 대규모 제조에서 사용하는 분자 빔 에피택시를 사용(2018, Brahlek)
 - 챔버 내부는 아주 깨끗한 환경으로 잘 제어되어야 함, 위상 절연체와 초전도체 인터페이스에 전선을 연결하면 새로운 전자 특성을 조사할 수 있음
 - 철, 셀레늄, 텔루르를 공동 증착해 원자 한 층 두께의 초전도체 제작, 플랫폼은 토폴로지 초전도체로, 토폴로지 절연체와 초전도체의 인터페이스에서 양자 스핀 의존 전자 구조 조사
- 마요라나 입자를 확인하고 응용 분야에 사용하는 것은 주요 과제
 - 마요라나 입자를 기반으로 한 큐비트 달성이 궁극적인 목표 중 하나, 마요라나 입자는 매우 이국적인 상태로, 존재를 증명하려면 큐비트와 유사한 장치를 구축하고 테스트해야 함

(원문)

1. <https://phys.org/news/2023-09-advance-topological-superconductors-quantum.html>