

MS의 Majorana 토폴로지 칩, 17년 만에 이룬 진전

(2025.02.25., 양자정보연구지원센터)

□ Microsoft의 Majorana topology 칩, 17년 만에 이룬 진전

○ 마이크로소프트의 양자 컴퓨팅 연구

- 마이크로소프트는 양자 컴퓨팅 분야에서 독특한 경로를 추구해 왔으며, 마요르나 제로 모드(MZM)를 기반으로 한 토폴로지 큐비트(topological qubits)에 집중하고 있음
- 최근 Nature에 발표된 연구에서 중요한 진전을 보여줌
- 연구팀은 인듐 아사나이드-알루미늄(InAs-Al) 하이브리드 장치에서 페르미온 패리티(fermion parity) 단일 촬영 간섭 측정을 성공적으로 구현함
- 마이크로소프트는 특수한 재료에서 중요한 양자 특성을 정밀한 일회성 테스트를 통해 측정함, 연구팀은 이 작업이 오류에 강한 양자 계산을 실현하는 목표를 지원한다고 밝힘

○ 마요르나 제로 모드(Majorana zero mode)란

- MZM은 특정 초전도 와이어의 끝에서 존재하는 특수한 양자 상태임, 전통적 입자들을 물질과 반물질이 구분되지만, 마요르나 입자는 자기 자신이 반입자이기도 함
- 양자 컴퓨터에서는 여러 MZM의 집합적 상태에 정보를 저장할 수 있으며, 이들은 특정 방식으로 서로 교차(brading)되어 연산을 수행할 수 있음, 이 과정은 많은 형태의 잡음과 방해에 강해, 양자 컴퓨팅의 유망한 기초로 여겨짐

○ 마이크로소프트의 실험: 페르미온 패리티 측정

- 마요르나 기반 양자 컴퓨터를 만들기 위한 중요한 요구 사항은 이러한 입자의 상태를 신뢰성 있게 측정할 수 있는 능력

- 실험에서 인듐 아사나이드와 알루미늄의 이중구조를 사용한 장치를 만들, 이 장치는 페르미온 패리티를 단일 촬영으로 측정할 수 있는 간섭 설정을 특징으로 함, 페르미온 패리티는 시스템 내 전자의 수가 짝수인지 홀수인지 나타내는 중요한 특성
- 연구팀은 페르미온 패리티의 변화를 감지할 수 있었고, 이를 통해 마요르나 제로 모드가 예상대로 작동하는지 확인할 수 있었음

○ 연구의 중요성

- 양자 컴퓨팅 개발자들은 큐비트의 취약성으로 인한 오류 문제에 직면해 있음, 기존의 오류 수정 방법은 복잡한 오류 수정 코드를 사용하며, 많은 물리적 큐비트를 하나의 논리적 큐비트로 변환해야 함, 마이크로소프트는 토폴로지 큐비트를 활용해 이러한 복잡한 문제를 해결하려 함
- 연구팀은 페르미온 패리티를 신뢰성 있게 측정할 수 있는 기술을 개발, 토폴로지 양자 계산을 위한 중요한 단계를 확립함

○ 제약 사항 및 해결해야 할 문제

- 실험에서 관찰된 상태가 진정한 마요르나 제로 모드인지 아니면 안드레에프 결합 상태(Andreev bound state)인지에 대한 논란 있음
- 안드레에프 결합 상태는 초전도 물질에서 형성될 수 있으며, 마요르나 제로 모드와 유사한 특성을 보임
- 이 기술을 실제 양자 컴퓨터에 적용하려면 많은 양의 장치를 통합하고, 이를 안정적이고 일관되게 유지해야 하는 과제가 남아 있음
- 이 문제를 해결하려면 재료 및 장치 제작 기술, 오류 완화 전략에서 추가적인 연구가 필요함

○ 미래 전망과 마이크로소프트의 계획

- 마요르나 기반 큐비트를 사용한 오류 내성을 갖춘 양자 컴퓨팅을

목표로 한 로드맵 제시, 단일 큐비트 장치부터 시작해, 두 큐비트 장치, 여덟 큐비트 장치, 그리고 궁극적으로 대규모 양자 오류 수정이 가능한 큐비트 배열을 목표로 함

- 로드맵의 첫 번째 단계는 고립된 마요르나 큐비트의 성능을 벤치마킹하는 단일 큐비트 장치의 개발
- 두 번째 단계는 두 큐비트를 사용해 측정 기반의 교차 작업을 구현함
- 마지막 단계에서는 여덟 큐비트 장치를 통해 오류 검출 메커니즘을 통합함
- 각 단계는 신뢰성, 확장성, 오류 수정 문제를 해결하면서, 궁극적으로 기존 큐비트 설계에 비해 명확한 장점을 가진 양자 컴퓨팅 프레임워크를 개발하는 데 초점을 맞추고 있음

○ 결론

- 마이크로소프트 최신 연구는 마요르나 기반 양자 컴퓨팅에서 중요한 이정표를 나타냄, 이는 단순한 과학적, 기술적 진전을 넘어서, 17년 동안 연구해 온 이 분야에서 마이크로소프트가 직면한 도전 과제를 극복한 결과로, 양자 역사에서 중요한 전환점을 이룬 것
- 고신뢰도, 단일 촬영 페르미온 패리티 측정 성과는 기존 초전도 큐비트 및 이온 트랩 큐비트가 직면한 많은 문제를 해결할 새로운 양자 컴퓨팅 아키텍처의 기초가 될 수 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/02/19/microsofts-majorana-topological-chip-an-advance-17-years-in-the-making/>