

메가 큐비트 양자 컴퓨터를 위한 두 가지 이상한 아이디어

(2023.03.20., 양자정보연구지원센터)

- 테라헤르츠파와 양자 우물, 많은 큐비트를 상호 연결할 수 있는 방법
 - 양자 컴퓨터를 확장할 때 발생하는 영구적인 문제인 수많은 케이블을 배치하는 방법
 - 양자 컴퓨터로 주목할 만한 연산을 수행하려면 적어도 100만 큐비트를 절대 영도에 가깝게 유지해야 할 필요가 있음
 - 그러나, 실온에서 작동하는 제어 및 판독 전자 장치에 동축 케이블로 모두 연결하는 것은 불가능함
 - IBM, Google, Intel 같은 거대 컴퓨팅 기업은 큐비트 자체에 근접 작동가능한 극저온 실리콘 칩으로 이 문제를 해결하기 원함
 - 최근 속도를 높일 이국적인 솔루션을 제시(12월 IEEE IEDM), 테라헤르츠 주파수 사용, (2월 IEEE ISSCC) 테라헤르츠 주파수 사용하여 통신 케이블을 완전히 제거 가능한 기술 제안
 - 공유 양자 우물
 - 인듐 갈륨 비소같은 화합물 반도체로 만들어진 고전자 이동도 트랜지스터(HEMT, High electron-mobility transistor)는 큐비트와 상호작용하는데 필요한 종류의 RF 신호 증폭에 자연스러움
 - 라우팅, 다중화(multiplexing) 및 역다중화 같은 케이블 절감 작업도 수행할 수 있다고 계산(KAIST, IBM 취리히 및 EPFL 연구팀)
 - 결정적으로 적은 전력 손실로 계산 수행이 가능함, 양자 컴퓨터에서 사용되는 극저온 챔버의 가장 차가운 부분에서 냉장고 시스템이 불과 몇 와트의 열만 제거할 수 있기 때문에 중요함
 - HEMT는 2차원 전자 가스라고 하는 매우 좁은 자유 전자 영역을 생성하는 층상 반도체 구조를 가짐, 전하는 ‘양자 우물’을 통해 저항이 거의 없이 빠르게 이동, HEMT는 고주파 신호 증폭에 능숙함

- 증명을 위해, 여러 트랜지스터로 구성된 역다중화 회로 구축하고 5-켈빈에서 테스트함, 각 트랜지스터 이웃에 금속 상호 연결 대신 양자 우물을 공유하도록 함(유일한 금속 -저항 소스-는 입출력 단자 두 곳 뿐임)
- 스위스 기반 팀, 금속 상호 연결된 두 개의 트랜지스터와 양자 우물로 연결된 두 트랜지스터 사이 저항이 32% 감소함을 측정, 2 트랜지스터 테스트 장치에서 전체 스위칭 매트릭스로 확장 계획
- KAIST 팀, 3D 스택킹 통해 다중화를 저잡음 증폭기 및 기타 전자 장치와 통합하는 데 중점을 두고 있음

○ 후방 산란 T-선

- MIT 연구원 팀, 테라헤르츠파 사용하는 방식으로 큐비트 칩으로 가는 신호 케이블 모두를 제거할 수 있는지 테스트
- 테라헤르츠에 가까운 **0.26THz** 설정, 큐비트 작업을 방해하기에 주파수가 너무 높고 충분히 작은 안테나로 작업했기 때문임
- 최대 전력 테라헤르츠 트랜시버는 큐비트 칩 근처에 배치하기에 너무 많은 열을 발산하는 대신, MIT 팀은 테라헤르츠 ‘후방 산란’ 시스템 설계
- 두 개의 트랜시버 칩으로 구성됨, 하나는 가장 따뜻하고 전력 소비가 덜 문제가 되는 냉장고 상단에, 다른 하나는 양자 컴퓨터 칩에 연결된 4-켈빈 극저온 제어 칩의 일부로 하단에 있음
- 시스템 테스트에서 업 링크는 비트당 열(heat)은 176 펨토줄(femtojoules)만 추가하면서 초당 4기가비트(gigabits) 전송할 수 있음, 다운링크는 비트당 34 펨토줄로 훨씬 더 에너지 효율적임

(원문)

1. <https://spectrum.ieee.org/qubit-connectivity>