



Open design for large scale quantum computer

Technology News | May 5, 2022

An international team of researchers have developed an open design for a trapped ion quantum computer. The international collaboration, led by the University of Sussex in the UK, includes scientists from Google US, Aarhus University in Denmark, RIKEN research institute in Japan and Siegen University in Germany. They developed a...

By Nick Flaherty

## 대규모 양자 컴퓨터를 위한 개방형 설계

Nick Flaherty  
2022년 5월 5일

국제 연구팀이 트랩 이온 양자 컴퓨터를 위한 개방형 설계를 개발했습니다. 영국 Sussex 대학이 주도하는 이 국제 협력에는 Google US, 덴마크 Aarhus 대학, 일본 RIKEN 연구소, 독일 Siegen 대학의 과학자들이 포함됩니다. 그들은 개발...

국제 연구팀이 이온 트랩 양자 컴퓨터를 위한 개방형 설계를 개발했습니다.

영국 Sussex 대학이 주도하는 이 국제 협력에는 Google US, 덴마크 Aarhus 대학, 일본 RIKEN 연구소, 독일 Siegen 대학의 과학자들이 포함됩니다. 그들은 레이저 빔을 정렬할 필요 없이 이온

을 전달하기 위해 전기장을 사용하여 보다 단순한 모듈식 설계를 개발하여 확장 가능한 아키텍처를 허용했습니다.

이온 트랩을 사용하는 작은 규모의 양자 컴퓨팅은 개별 레이저 빔을 개별 이온에 정렬하여 수행되며, 각 이온은 양자 비트를 형성합니다. 수십억 개의 양자 비트를 가진 대규모 기계에는 수십억 개의 정밀하게 정렬된 레이저가 필요하므로 비실용적입니다.

'수년 동안 사람들은 실제 양자 컴퓨터를 만드는 것이 완전히 불가능하다고 말했습니다.' Sussex 양자 기술 센터 소장이자 이 프로젝트의 연구 책임자인 Winfried Hensinger 교수는 말했습니다. 그는 10년 넘게 트랩 이온 양자 기술에 대해 연구해 왔습니다.

'우리는 이 작업을 통해 그것이 가능하다는 것을 보여주었을 뿐만 아니라 실제 대규모 기계를 만들기 위한 확실한 건설 계획을 전달했습니다. 그리고 지금 우리는 이 디자인을 기반으로 프로토타입을 만들고 있습니다.'라고 그는 말했습니다.

모듈은 모든 작업을 독립형 장치로 제어하며 현재 5nm 기술로 가능한 실리콘 미세 가공 기술을 사용하여 구성됩니다. 모듈은 장파장(마이크로파) 이온 트랩 양자 게이트를 사용하며, 양자 비트는 전기장을 사용하여 개별 모듈 간에 전송됩니다. 이것은 광섬유 링크를 사용하는 것보다 100,000배 더 빠르며, 많은 모듈을 연결하여 대규모 장치를 구성할 수 있다고 연구진은 말합니다.

높은 오류 임계값 표면 오류 수정 코드는 내결함성 연산을 실행하기 위해 제안된 아키텍처에서 구현될 수 있으며, 설계는 포토닉 상호 연결을 사용하는 방식과 같은 다른 이온 트랩 양자 컴퓨터 아키텍처에 적합합니다.

#### ■ 양자 컴퓨터 설계

각 모듈은 2개 이상의 이온들이 트랩된 미세 가공된 이온 트랩 X-접합 어레이를 사용합니다. 여기에는 마이크로웨이브 기반 게이트 영역, 상태 판독 영역 및 로딩 영역이 있는 세 가지 영역이 있습니다. 일단 이온이 로딩 영역에 갇히면, 고충실도 이온 셔틀 작업이 이온을 게이트 영역으로 전달합니다. 거기에서 이온은 국부적으로 조절 가능한 자기장을 사용하여 개별적으로 처리될 수 있고 전역 마이크로파 및 rf 필드와 함께 정적 자기장 그래디언트를 사용하여 얽힐 수 있습니다.

큐비트의 상태를 감지해야 하는 경우, 이온은 판독 영역으로 전송되며, 여기에서 전역 레이저 필드와 온칩 광검출기가 상태 판독을 위해 사용됩니다. 두 번째 이온 종은 내부 상태에 영향을 주지 않고 큐비트 이온을 공명적으로 냉각하는 데 사용됩니다.

모든 일관된 양자 연산은 온칩 전자 장치에 의해 수행되고 제어되며, 전역 마이크로파 및 rf 필드에만 의존합니다. 이 아키텍처에서 레이저 광은 상태 준비 및 감지, 광이온화 및 공명 냉각에만

필요합니다. 이것은 레이저 빔이 양자 게이트 구현에 사용되는 요구 사항보다 훨씬 덜 엄격한 요구 사항을 가질 수 있음을 의미합니다. 레이저 빔은 높은 강도를 가질 필요가 없으며 위상이 안정적일 필요도 없습니다.

### ■ 5nm 공정 기술

X-접합 구조는  $2.5 \times 2.5\text{mm}^2$  의 면적을 차지하며 실리콘 웨이퍼에서 대량으로 제작하여 확장 가능한 양자 컴퓨터 모듈을 형성할 수 있습니다. 표준 150mm 웨이퍼 크기와 호환되는  $90 \times 90 \text{mm}^2$  실리콘 웨이퍼 조각에 총 1,296개의 개별 X-접합을 모놀리식 방식으로 제작할 수 있습니다.

그러나 문제는 전원 공급 장치입니다. 이 모든 X-접합이 전기적으로 함께 연결되면, 전기용량과 전력 손실이 너무 커서 고품질 요소의 표준 나선형 공진기로 구동할 수 없습니다. 결과적으로, 이온 트랩을 위한 진공 시스템과 냉각 시스템은 모듈의 크기를 제한합니다.

이 팀은 Keysight Technologies의 고급 설계 시스템 소프트웨어 도구를 사용하여 전기 하위 모듈에 연결된  $6 \times 6$  접합을 시뮬레이션했습니다. 이렇게 하면 전기용량이 80pF 미만으로 유지되고  $Q > 200$ 의 품질 계수는 직경 15mm의 소형 나선형 공진기를 사용하여 달성할 수 있습니다.

고품질 요소를 달성하기 위한 추가 요구 사항은 일반적으로 벌크 저항이  $50\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$ 인 낮은 rf 손실을 갖는 기판을 사용하는 것입니다. 소형 공진기는 모듈 아래의 시스템 내부에 배치되고 차폐 케이블로 전기 하위 모듈에 연결됩니다. 모든 공진기는 동일한 주파수 소스에 연결되고, 공진 회로는 가변 커패시터를 사용하여 주파수 소스와 공진하도록 조정됩니다.

전기 섹션의 근접성은 공진기 사이의 용량 결합을 유도하고, 결과적으로 공진기와 인접 rf 전극의 위상 정합을 유도합니다. 이온 칩의 연결 경로를 신중하게 설계하여 관련 rf 전극 사이의 무시할 수 없는 위상 차이를 방지합니다.

각 전기 하위 모듈에는 1,224개의 정적 전압 전극과 108개의 개별 로컬 그래디언트 전류 와이어가 있습니다. 필요한 정적 전압과 전류는 TSV 및 웨이퍼 적층 기술을 사용하여 이온 트랩 기판에 부착된 별도의 실리콘 기판에 제작된 진공 시스템 내부의 DAC에 의해 공급됩니다.

### ■ 스택형 판독 전자 장치

각 웨이퍼 레이어에는 총 160개의 아날로그 출력이 있는 4개의 DAC가 있으며(AD5370은 충분한 출력을 가지고 있고 예로 사용되었지만, 더 높은 업데이트 속도로 작동하는 수정된 버전이 필요함) 필요한 TSV 및 RC 필터와 결합하여,  $15 \times 15 \text{mm}^2$  이하의 면적을 차지합니다. 충분한 아날로그 출력을 생성하려면 총 9개의 웨이퍼 층을 함께 쌓아야 합니다. 추가 레이어는 진공 DAC 및 감지 시스템을 제어하는 전자 제어 장치를 수용하는 데 사용됩니다.

자기장 그래디언트를 생성하는 내장된 구리 와이어는 모듈당 4개의 고전류 연결만 필요하지만, 작은 단면적( $\sim 30 \times 60\mu\text{m}^2$ )의 와이어를 통해 10A의 큰 전류를 통과시키는 방식으로 라우팅됩니다. 따라서 결과 열이 효율적으로 분산되고 모듈로부터 전달되는 것이 필수적입니다. 또한 이온 트랩 구조와 진공 내 전자 장치에 의해 소산되는 전력도 모듈로부터 멀리 전송해야 합니다. 실리콘 기판을 100K 미만으로 냉각함으로써 와이어 구조의 용융을 방지할 수 있습니다.

팀은 모듈에서 열을 효율적으로 제거하기 위해 모듈의 후면 웨이퍼에 통합된 액체 질소 마이크로 채널 냉각기를 사용할 것을 제안합니다. 깊은 트렌치는 마지막 웨이퍼의 뒷면에 에칭되어 액체 질소가 통과하는 채널을 형성합니다. 채널은 추가 실리콘 웨이퍼를 사용하여 덮습니다. 액체 냉각기를 포함한 전체 모듈을 실리콘으로 제작하면 다른 열팽창 계수로 인해 발생하는 추가적인 응력과 웨이퍼 휨을 방지할 수 있습니다.

6 x 6 하위 모듈이 있는 이러한 각 모듈은 1,296개의 X-접합이 있는 독립형 소규모 양자 프로세서 모듈로 작동할 수 있습니다.

이 연구는 영국 정부의 국가 양자 기술 프로그램의 일부입니다.

“범용 양자 컴퓨터의 가용성은 사회 전체에 근본적인 영향을 미칠 수 있습니다. 의심할 여지 없이 대규모 기계를 구축하는 것은 여전히 어려운 일이지만, 지금은 영국의 기술 강점을 바탕으로 학문적 우수성을 실제 응용 프로그램으로 변환해야 할 때입니다.”라고 Winfried가 말했습니다. “우리는 이를 실현하기 위해 업계 및 정부와 협력하게 되어 매우 기쁩니다.”

확장 가능한 트랩 이온 양자 컴퓨터 설계에 대한 세부 정보는 [www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1601540](http://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1601540)에 있습니다.

[www.sussex.ac.uk](http://www.sussex.ac.uk)

[출처]

<https://www.eenewseurope.com/en/open-design-for-large-scale-quantum-computer/>