# 확장 가능한 양자 컴퓨팅, RF 및 마이크로파 계측 분야

(2024.06.04., 양자정보연구지원센터)

□ 영국 국립물리연구소(NPL), 양자 컴퓨팅의 새로운 지평을 열 극저온 무선 주파수(RF) 특성화의 최근 개발

○ 극저온에서도 작동할 수 있는 마이크로파 및 양자 장치용 정밀 측정 시스템을 만드는 과정에서 이룩한 몇 가지 발전(*International Journal of Microwave and Wireless Technologies*)

- 이것이 왜 중요한지, 양자 컴퓨팅에 사용되는 일부 필수 구성요소를 개발하려면 극저온에서 정확한 RF 특성화가 필요함

- 여기에는 능동 및 수동 극저온 전자 장치, 케이블, 인터커넥트, 멀티플렉서, 양자 및 RF 집적 회로(IC), 플럭스 양자 전자 장치, 극저온 CMOS 기술, 양자 하드웨어 패키징 및 파라메트릭 증폭기 포함

- 보다 효율적이고 안정적인 양자 컴퓨터 구축을 위해 이러한 구성요소가 절대적으로 필요함

○ 측정 기술의 혁신(극한 조건에서 장치의 작동원리 이해)

- 최근 연구에서 동축 연결 장치, 온칩 장치, 온웨이퍼 장치 및 기판의 S-파라미터 측정 시스템을 포함하여 수십 mK 낮은 온도에서 마이크로파 및 양자 장치 특성화할 수 있는 정교한 측정 시스템 개발됨

- 이 프로세스는 희석 냉장고 같은 차갑고 격리된 환경 내에 테스트 중인 장치(DUT, device under test)를 배치, VNA(Vector Network Analyzer) 같은 실온 테스트 장비와 인터페이스 작업이 포함됨

- 냉장고 내부 케이블과 구성 요소에는 특수 교정(calibration) 기술을 사용하여 수정해야 하는 오류가 발생하는 경우가 많음

○ 교정 문제 극복

- 실온에서 교정은 일반적으로 교정 표준을 측정 기준 평면에 수동으로 연결하거나 전자 교정(ECal, Electronic calibration) 키트를 사

용하는 작업이 포함됨

- 그러나 이 방법은 여러 냉각 주기가 필요하고 차가운 조건에서 전자 장치 성능이 다양하므로 극저온에서는 작동하지 않음
- DUT 가까이 배치된 특수 교정 표준과 기술 개발을 보고함, 이 방법은 정확한 S-파라미터 측정이 가능하고 장치의 실제 성능과 저온이 장치에 미치는 영향을 밝힐 수 있음

ㅇ 온웨이퍼(On-wafer) 측정 기능

- 온칩 또는 웨이퍼 레벨 평면 IC의 마이크로파 온웨이퍼 측정은 양자 컴퓨터를 확장하려는 팀에게 필수적임
- 극저온 온웨이퍼 측정을 사용하면 극저온에서 DUT의 직접적 특성화가 가능하므로 추가 커넥터나 인터페이스가 필요하지 않음
- 영국 NPL은 런던대학교 Royal Holloway와 협력, 약 4K의 마이크로파 프로빙을 위한 극저온 프로브 스테이션을 채택, 동일 평면 도파관 구조를 기반으로 교정 및 검증 표준을 만들고 있음

ㅇ RF 전력 및 잡음 측정

- **마이크로파 전력 특성화**: 능동 및 비선형 장치(증폭기, 필터, 믹서) 특성화에는 정확한 전력 측정이 필요함, 전통적 실온 기술은 저온에서 표준 성능의 변화로 극저온 응용 분야에 적합하지 않음
- 연구팀은 극저온 환경에서 마이크로파 전력을 생성, 양자 기반 전력 센서를 사용하는 등 새로운 방법 탐색
- **잡음 특성화**: 정확한 잡음 측정은 추가되는 잡음 제어 및 확인에 도움이 됨, 저온 감쇠기 방법 및 Y-인자 방법 포함하여 극저온에서 증폭기 잡음 특성 층정 방법을 개발하고 있음

ㅇ 향후 방향 및 산업 영향

- 영국의 극저온 마이크로파 테스트 및 측정 시설 부족 문제 해결 목표

**(원문)**

1. https://thequantuminsider.com/2024/05/13/npl-paper-details-strides-in-rf-and-microwave-metrology-for-scalable-quantum-computing/