

나노 규모에서 양자 얽힘 엔지니어링

(2025.01.20., 양자정보연구지원센터)

□ 나노 규모에서 양자 얽힘, 효과적인 광자 쌍생성 위한 새로운 방법

○ 나노 스케일에서 양자 얽힘을 엔지니어링하기 위한 새로운 방법

- 물리학자들은 100년 넘게 광자, 전자 등 아원자 입자들의 상호작용 연구, 엔지니어들은 이 현상을 이용하여 새로운 기술 개발 노력
- 그 중 양자 얽힘은 두 개의 광자가 서로 연결되어 광자 하나의 상태가 다른 광자의 상태와 즉시 일치하게 변하는 현상으로, 오늘날 양자 정보의 가장 기본적인 형태인 큐비트 구현에 주요 방법으로 연구 중

○ 연구의 중요성

- 이 연구는 콜로비아 대학 기계공학과 P. James Schuck 교수 연구 팀에 의해 진행, Nature Photonics에 발표됨
- 연구팀은 기존의 큰 크기의 결정체를 사용하는 방법보다 작은 장치에서 훨씬 적은 에너지를 사용하면서 더 높은 성능을 달성할 수 있는 새로운 방법 제시함
- 이 연구는 비선형 광학 기술에 중요한 진전을 나타내며, 광통신, 레이저, 실험 장비 등 다양한 분야에 활용될 수 있음

○ 기술적 세부 사항

- 이 새로운 장치는 두께가 $3.4 \mu\text{m}$ 에 불과하며, 실리콘 칩에 장착 가능한 형태로 양자 시스템의 핵심 구성 요소를 소형화 가능
- 연구팀은 ‘molybdenum disulfide(MoS_2)’ 라는 반도체 전이 금속으로 만들어진 얇은 결정체를 사용함, 이 결정체들은 180도 회전시켜 쌓은 후, 빛이 이 구조를 통과할 때 발생하는 ‘준위상 일치(quasi-phase-matching)’ 현상을 활용하여 광자 쌍을 생성함
- 이 방법은 이전의 방식보다 훨씬 더 효율적이며 오류에 대한 저항력이 강한 특징을 가지고 있음

○ 향후 전망 및 응용

- 이 연구의 기술은 향후 양자 장치의 에너지 효율성을 획기적으로 향상시키고, 양자 통신 기술의 발전을 이끌 수 있음, 특히 위성 기반의 분배 시스템과 모바일 전화 양자 통신에서 즉각적인 영향을 미칠 수 있음
- 연구팀은 이 연구가 폴리브덴 디설파이드와 같은 반데르발스 재료가 차세대 비선형 및 양자 광학 아키텍처의 핵심이 될 것으로 예상하며, 현대의 대형 결정체와 주기적으로 poling된 결정체를 대체할 이상적인 후보가 될 것이라고 밝힘

○ 기술 발전의 배경

- 연구팀은 이전에 폴리브덴 디설파이드가 비선형 광학에 유용한 성질을 가지고 있음을 증명했으나, 빛이 이 재료를 통과할 때 발생하는 간섭 문제로 성능이 제한됨, 이를 해결하기 위해 ‘주기적 폴링(periodic poling)’ 기법을 적용하여 문제를 해결함
- ‘주기적 폴링’은 빛의 파장을 맞추기 위해 결정체의 방향을 교차로 바꾸는 방법으로, 이를 통해 미세한 길이 규모에서 광자 쌍 생성을 효율적으로 할 수 있음

○ 연구팀 및 연구 환경

- 콜롬비아 대학 에너지 프론티어 연구센터(Programmable Quantum Materials)에서 수행되었으며, 에너지부의 지원을 받음

○ 양자 얽힘 기술을 실용적인 장치로 만들기 위한 중요한 진전

- 폴리브덴 디설파이드 같은 재료를 활용한 양자 광학 기술의 혁신적 발전은 양자 통신, 레이저, 통신 시스템 등 다양한 분야에서 즉각적 영향을 미칠 것으로 예상됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/01/14/engineering-quantum-entanglement-at-the-nanoscale/>