

양자 통계에 따라 빛을 걸러내는 상온 양자 소재 개발

(2026.08.24. 양자정보연구지원센터)

□ Louisiana State University 연구팀, 상온 양자 소재 개발

- 루이지애나주립대 연구팀, 상온에서 양자 통계에 따라 빛을 선택적으로 제어하는 양자 소재 개발
 - 서로 다른 종류의 양자광을 구별하고 선택적으로 투과 · 억제할 수 있는 새로운 상온 양자 소재를 개발했으며, Nature에 발표함
 - 연구진은 이를 ‘양자 통계 플라즈모닉 메타결정(quantum statistical plasmonic metacrystal)’ 이라 명명했으며, 기존의 색상 · 편광 · 진행 방향이 아닌 빛의 양자 통계적 특성에 따라 빛을 제어하는 것이 핵심임
 - 다중광자 시스템의 양자 결맞음(coherence)에 본질적으로 반응하는 상온 소재가 실험적으로 구현된 것은 이번이 처음임
- 양자 통계 기반의 새로운 광학 밴드 구조
 - 연구진은 반도체의 전자 밴드 구조가 전자의 이동 가능 여부를 결정하는 것처럼, 메타결정이 빛의 양자 상태에 대해 “ ‘허용(allowed)’ 및 ‘금지(forbidden) 양자 통계 밴드’ ” 형성
 - 파장이나 편광에 따라 광자를 걸러내는 기존 방식과 달리, 여러 광자로 구성된 빛의 통계적 분포와 양자적 특성에 따라 빛의 투과 여부를 결정함
 - 소재는 나노미터 크기의 금 안테나 배열로 구성되며, 안테나의 크기 · 방향 · 배치를 정밀하게 조절해 서로 다른 양자 상태의 빛이 통과할 수 있는 통계적 밴드를 설계함
 - 허용 밴드에 해당하는 통계적 특성을 가진 빛은 큰 변화 없이 통과하는 반면, 금지 밴드에 해당하는 빛은 통과 과정에서 통계적 특성이 변해 인접한 허용 상태로 이동함

○ 다양한 양자광을 이용한 실험 검증

- 연구팀은 얇은 금 박막 위에 100개의 금 나노안테나를 배열한 플라즈모닉 메타결정을 제작했으며, 각 안테나는 약 $200 \times 400\text{nm}$ 크기로 $1\mu\text{m}$ 간격으로 배치함
- 이후 레이저와 유사한 결맞음 광부터 열광 및 초열광 (superthermal light)까지 통계적 특성이 서로 다른 13종의 다중광자 광원을 생성해 실험함
- 광자 수 분해 검출기를 이용해 메타결정을 통과하기 전후의 빛의 통계적 특성을 측정한 결과, 허용 밴드의 빛은 기존 양자 특성을 유지한 반면 금지 밴드의 빛은 허용 밴드에 해당하는 상태로 통계적 특성이 변화함
- 또한 플라즈모닉 시스템에서 일반적으로 발생하는 손실에도 불구하고 다중광자 양자 상태의 통계적 특성이 전달 과정에서 유지될 가능성을 확인함

○ 양자컴퓨팅 · 통신 및 에너지 분야 활용 가능성

- 연구진은 특정 양자 통계 상태를 선택적으로 투과시키는 소재가 향후 광자 기반 양자컴퓨터에서 복잡한 다중광자 상태를 제어하고 양자 결맞음을 유지하는 핵심 소자로 활용될 가능성을 제시함
- 또한 광자뿐 아니라 이온 · 중성원자 · 초전도체 등 여러 입자가 상호작용하는 다체 양자 시스템에서 복잡한 양자 상태를 정밀하게 제어하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대함
- 별도의 극저온 냉각 없이 상온에서 작동할 수 있다는 점에서 향후 확장 가능한 양자 기술 및 소형 광자 소자 개발에도 활용 가능성이 있음
- 양자컴퓨팅 이외에도 태양광 발전 과정에서 빛의 결맞음 특성을 조절해 에너지 손실을 줄이고, 광전 변환 및 에너지 수송 효율을 높이는 데 활용될 가능성을 제시함

○ 현재 단계와 향후 과제

- 이번 연구는 새로운 물리적 현상을 입증한 초기 실험 단계로, 실제 양자컴퓨터의 성능을 향상시키거나 상용 기술을 구현한 것은 아님
- 실험은 통제된 환경에서 제작된 플라즈모닉 나노구조와 특정 근접장(near-field) 전파 조건을 대상으로 수행됐으며, 대규모 집적 광자 시스템으로 확대하기 위해서는 추가적인 기술 개발과 검증이 필요함
- 기존 메타표면 연구가 주로 광자의 편광 · 주파수 · 궤도각운동량 등을 제어해 온 것과 달리, 이번 연구는 다중광자 빛의 양자 통계 자체를 제어 대상으로 삼았다는 점에서 차별성이 있음
- 연구진은 향후 기술이 확장될 경우, 전자 밴드 구조 설계가 반도체 발전을 이끈 것처럼 양자 통계 밴드 설계를 새로운 양자 광소재 개발 원리로 활용할 가능성을 제시함

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/07/16/researchers-create-room-temperature-quantum-material-that-filters-light-by-its-quantum-statistics/>