

보도자료



서울대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보도일시	배포 즉시 보도
	2024. 5. 27.(월)
문의	연구단장/연구책임자 물리천문학부 박흥규 교수(02-880-4218) / 교신저자
	연구단/연구진 이순재, 소재필 연구원 / 제1저자

■ 제목/부제

제목	국문	카이랄 나노구조를 이용한 새로운 단일광자원 구현
부제	국문	단일 광자에 다양한 양자 정보를 인코딩하는 새로운 양자암호통신 기술 개발 기대

■ 요약

연구 필요성	단일 광자 발생기는 도청이 불가능한 양자 통신, 양자 암호학 및 양자 컴퓨터 등의 다양한 양자 기술에서 핵심이 되는 양자 소자이다. 단일 광자 발생기에서 방출되는 빛은 대부분 선형 편광되어 있지만, 이를 원형 편광으로 바꾸게 되면 빛의 스핀 각운동량을 통해 양자 정보의 효율적인 활용이 가능하다. 현재 단일 광자의 편광을 변환시키기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있는데, 단일 광자 발생기에 강한 자기장을 인가하거나, 수십 마이크로미터 크기의 메타물질을 결합하는 방법이 주로 쓰인다. 하지만, 이러한 방법들은 단일 광자 발생기를 실제로 상용화하고 양자 회로로 구현하는데 어려움이 많다. 단일 광자의 편광 특성을 조절하여 양자 정보를 효과적으로 전달하기 위해, 별도의 외부 자기장 없이 스핀 각운동량을 갖는 나노 크기 단일 광자 발생기의 개발이 필요하다.
연구성과/기대효과	양자 광학 분야에서 새로운 돌파구가 이루어졌다. 박흥규 교수 연구팀은 남기태 교수 연구팀과 공동연구를 통해 원형 편광된 단일 광자를 발생시키는 새로운 단일 광자 발생기를 개발했다. 원자 두께만큼 얇은 2차원 물질인 텅스텐 다이셀레나이드 (WSe_2) 단일층과 카이랄 금 나노입자를 결합해 제작된 나노 크기의 단일 광자 발생기에서 선형 편광의 단일 광자가 원형 편광으로 바뀌는 것을 성공적으로 관측했다. 단일 광자가 카이랄 금 나노입자와 어떻게 상호작용하는지에 따라 국소 플라즈몬 공명 현상이 변화하고, 오른쪽 원형 편광

	<p>혹은 왼쪽 원형 편광의 단일 광자가 발생함을 실험과 이론을 통해 입증했다. 이때 원편광도는 0.793으로 매우 큰 값으로 측정되었다. 또한, 나노입자를 배열로 제작하고 그 위에 2차원 물질을 전사하여 단일 광자 발생기의 배열 또한 성공적으로 구현했다. 기존에 비해 1/2000 정도로 크기가 작으면서 여러 단일 광자 발생기를 동시에 작동시킬 수 있음을 확인했다.</p> <p>단일 광자의 편광 특성을 바꾸는 것으로 양자 정보를 효과적으로 조절할 수 있으므로 이 기술은 다양한 양자 분야에서 응용될 수 있다. 특히, 보안이 필수적인 군용 통신이나 첨단 산업에서 도청이 불가능한 양자 통신으로 확장할 수 있다. 또한, 양자 광 컴퓨터의 특성 제어를 보다 쉽고 간단한 디자인으로 구현할 수 있어, 양자 소자의 소형화 및 상용화에 도움이 될 것으로 기대한다. 이 연구는 2024년 5월 24일 세계적인 학술지인 사이언스 어드밴시스(Science Advances)에 게재되었다.</p>
<p>Journal Link</p>	<p>https://doi.org/10.1126/sciadv.adn7210</p>

■ **본문**

<p>□ 연구의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 단일 광자 발생기는 양자 통신, 양자 암호학, 양자 컴퓨팅 등의 분야에서 꼭 필요한 양자 소자이다. 단일 광자 발생기에서 방출되는 빛은 대부분 선형 편광되어 있는데, 이를 원형 편광으로 바꾸게 되면 빛의 스핀 각운동량을 활용한 양자 정보의 인코딩이 가능하다. ○ 단일 광자의 편광을 변환하기 위해 기존의 연구에서는 단일 광자 발생기에 강한 자기장을 인가하여 지만 (Zeeman) 효과를 유도하는 방법이 보통 사용되고 있으나, 실험실 환경을 벗어나 강한 자기장을 만드는 것은 매우 어려운 일이다. 또는, 선형 편광된 빛을 원형 편광된 빛으로 바꾸어 주는 메타물질을 사용하기도 하지만, 이 방법 역시 복잡하고 정교한 공정을 필요로 하여 나노 크기의 단일 광자 발생기에 적용하기는 힘들다는 단점이 있다. ○ 단일 광자의 편광 특성을 조절하여 양자 정보를 효과적으로 전달하기 위해, 별도의 외부 자기장 없이 스핀 각운동량을 갖는 나노 크기의 단일 광자 발생기의 개발이 필요하다. <p>□ 연구내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구에서는 원자 단위로 얇은 텅스텐 다이셀레나이드 (WSe₂) 2차원 물질과 200 나노미터 크기의 카이랄 금 나노입자를 결합하여 원형 편광된 단일 광자를 발생시키는 나노 크기의 단일 광자 발생기를 성공적으로 구현했다. ○ 원자 단위의 얇은 두께를 가지는 2차원 물질은 뛰어난 유연성을 가지고 있어, 큐브 모양의 나노 입자에 전사하면 나노 입자의 모서리 부분에서 스트레인이 형성된다. 이 스트레인은 2차원 물질의 밴드갭을 변화시키고, 저온에서 단일 광자를 발생시킨다. ○ 반면, 카이랄 금 나노입자에는 방향성을 갖는 나노갭이 다수 존재하는데, 빛이 이 나노입자와 상호작용하면 국소 플라즈몬 공명 현상이 생기면서 나노갭 주변으로 표면 전류가 유도된다. 표면 전류는 나노갭에 의해 위상 지연이 발생할 수 있으며, 위상 지연에 의해 빛의 편광 정보를 바꿀 수 있음을 이론적으로 확인했다.

- o WSe₂ 단일층에서 발생하는 선형 편광의 단일 광자가 카이랄 금 나노입자와 상호작용하여 원형 편광으로 바뀌는 것을 실험적으로 관측했다. 나노입자의 어느 모서리에서 스트레인이 인가되는지에 따라 오른쪽 원형 편광 혹은 왼쪽 원형 편광의 단일 광자가 발생되었다. 이때 원편광도는 0.793으로, 매우 큰 값으로 관측되었다.
- o 나노갭이 없는 금 나노입자의 경우 여전히 선형 편광된 단일 광자가 발생하였다. 카이랄 금 나노입자가 빛의 편광을 변화시키는 원인임을 확인할 수 있었다.

□ 기대효과

- o 연구팀은 WSe₂ 단일층과 카이랄 나노입자의 효과적인 결합을 통해 원형 편광의 스핀 각운동량을 갖는 단일 광자 발생기를 최초로 개발했다. 단일 광자의 편광 특성을 바꾸는 것으로 양자 정보를 조절할 수 있으므로, 다양한 양자 기술에서 응용될 수 있다.
- o 나노입자를 배열로 제작하고 그 위에 WSe₂ 단일층을 전사하여 단일 광자 발생기의 배열 또한 성공적으로 구현했다. 여러 단일 광자 발생기를 동시에 작동시킴으로써 단일 광자 발생기의 응용 가능성이 더욱 커질 수 있다.
- o 단일 광자의 편광 정보를 조절하여 보안이 필수적인 군용 통신이나 첨단 산업에서 도청이 불가능한 양자 통신으로 확장할 수 있다. 또한, 양자 광 컴퓨터의 특성 제어를 보다 쉽고 간단한 디자인으로 구현할 수 있어, 양자 소자의 소형화 및 상용화에 도움이 될 것으로 기대한다.

□ 연구결과

Spin angular momentum-encoded single-photon emitters in a chiral nanoparticle-coupled WSe₂ monolayer

Soon-Jae Lee, Jae-Pil So, Ryeong Myeong Kim, Kyoung-Ho Kim, Hyun-Ho Rha,
Gunwoo Na, Jeong Hyun Han, Kwang-Yong Jeong, Ki Tae Nam, and Hong-Gyu Park

박흥규, 남기태 교수 연구팀은 원자 단위로 얇은 텅스텐 다이셀레나이드와 카이랄 금 나노입자를 결합하여 원형 편광된 단일 광자를 발생시키는 나노 크기의 단일 광자 발생기를 성공적으로 구현했다. 추가적인 외부 광구조나 강한 자기장 없이 단일 광자의 편광 특성을 쉽게 바꿀 수 있어 양자 정보를 효과적으로 조절할 수 있다. 양자 소자의 소형화 및 상용화 뿐 아니라, 차세대 양자 광통신, 양자 암호학, 양자 광컴퓨터 등 다양한 응용 분야를 열어줄 것으로 기대한다.

□ 용어설명

빛의 편광 (polarization): 빛이 진행할 때 빛을 구성하는 전기장이나 자기장이 특정한 방향으로 진동하는 현상. 선형 편광(linear polarization), 원형 편광 (circular polarization), 타원 편광

(elliptical polarization)의 세 종류로 나눌 수 있다.