

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0026199

(43) 공개일자 2022년03월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 23/2255 (2018.01) *G01N 23/2273*
(2018.01)*G01Q 30/02* (2010.01)

(52) CPC특허분류

G01N 23/2255 (2013.01)*G01N 23/2273* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0106940

(22) 출원일자 2020년08월25일

심사청구일자 2020년08월25일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

박경덕

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이형우

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

특허법인 무한

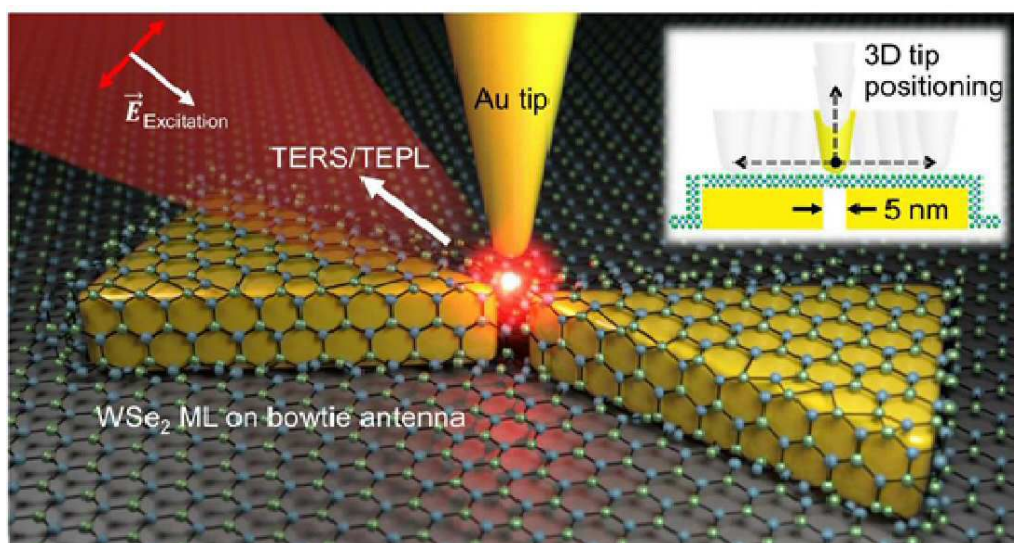
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템 및 단일 양자 광원 유도 및 조절 방법

(57) 요약

본 발명은, 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템 및 단일 양자 광원 유도 및 조절 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 기관; 상기 기관 상의 적어도 일부분에 위치된 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나; 상기 금속 안테나 상의 적어도 일부분에 형성된 단일 양자점을 포함하는 물질층; 및 상기 물질층을 향해 배치되고, 광원 증강을 유도하는 플라즈모닉 탐침; 을 포함하는, 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템 및 이를 이용한 단일 양자 광원 유도 및 조절 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01Q 30/025 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711114959
과제번호	2020R1C1C1011301
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	저차원 반도체 나노분광 특성 제어를 위한 능동형 나노스코피 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관 상의 적어도 일부분에 위치된 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나;

상기 금속 안테나 상의 적어도 일부분에 형성된 단일 양자점을 포함하는 물질층; 및

상기 물질층을 향해 배치되고, 광원 증강을 유도하는 플라즈모닉 탐침;

을 포함하는,

단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템은, 극저온 내지 50 °C의 온도에서 단일 양자 광원을 유도하는 것인,

단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템은, 0 °C 내지 40 °C의 온도에서 단일 양자 광원을 유도하는 것인,

단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 플라즈모닉 탐침은, 탐침증강 나노분광현미경(tip-enhanced nano-spectroscopy)의 탐침인 것인,

단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 플라즈모닉 탐침은, TEPL(tip-enhanced photoluminescence) 또는 TERS(Tip-enhanced Raman spectroscopy)의 탐침인 것인,

단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 금속 안테나는 적어도 일부분에 단일 또는 복수개의 갭이 형성된 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,
상기 갭의 간격은 1 nm 내지 20 nm인 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 플라즈모닉 구조체에서 갭을 형성하는 양단은 곡률(radius of curvature)을 갖고,
상기 곡률은, 1nm 이하의 곡률 반경을 갖는 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 금속 안테나의 두께는, 1nm 내지 100 nm인 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 플라즈모닉 구조체는, 나비 넥타이 구조체(bowtie)인 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,
상기 물질층은, 상기 금속 안테나 전체를 덮도록 형성된 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서,
상기 물질층은, 단분자층인 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서,
상기 물질층은, 상기 금속 안테나에서 구속위치 에너지에 의한 단일 양자 광원을 방출하고,
상기 탐침은, 상기 금속 안테나에서 단일 양자 광원을 증강시키는 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 14

제1항에 있어서,
상기 물질층은, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 구속위치 에너지에 의한 단일 양자 광원을 방출하고,
상기 탐침은, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 단일 양자 광원을 증강시키는 것인,
단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템.

청구항 15

플라즈모닉 구조체의 금속 안테나 상에 형성된 단일 양자점을 포함하는 물질층에서 단일 양자 광원을 유도하는 단계; 및
상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계;
를 포함하는,
단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,
상기 단일 양자 광원을 유도하는 단계는, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 구속위치 에너지에 의한 상기 물질층의 단일 양자 광원을 방출하는 것인,
단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법.

청구항 17

제15항에 있어서,
상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계는, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 플라즈모닉 탐침에 의해 단일 양자 광원을 증강시키는 것인,
단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법.

청구항 18

제15항에 있어서,
상기 금속 안테나는 상기 플라즈모닉 구조체는, 나비 넥타이 구조체(bowtie)이고,
상기 나비 넥타이 구조체(bowtie)의 중앙은 갭이 형성된 것인,

단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계는, 상기 플라즈모닉 탐침의 높이, 각도 및 위치 중 적어도 하나를 조절하여, 단일 광자의 세기 및 에너지를 조절하는 것인,

단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법.

청구항 20

제15항에 있어서,

상기 단일 양자 광원을 유도하는 단계 및 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계 중 적어도 하나는, 극저온 내지 50 ℃에서 실시되는 것인,

단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템 및 단일 양자 광원 유도 및 조절 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 양자 정보기술의 핵심은, 고효율 ‘양자 광원(quantum light source)’을 생성 및 제어하는 것이고, 양자 광원은, 전자의 스핀이나 초전도 전류처럼, 양자 정보 처리의 기본 단위인 ‘큐비트(Qubit)’를 구현할 수 있다. 큐비트는 양자 상태에서 1과 0이 중첩되거나 얽히면서 정보를 표현하는 단위로, 0과 1로 정보를 표현하는 기존 정보 처리의 단위인 비트(bit)보다 발전된 개념이다.

[0003] 양자 광원은, 광자 분포가 일정하고 매 순간 하나의 광자만 존재하는 단일 광자원, 2개 이상 광자 간 위치 및 편광 등 정보가 서로 얽혀 있는 얽힘광, 세기와 위상 중 한쪽을 높이는 대신 다른 한쪽은 낮춘 압축광 등은 각각 양자 통신, 양자 전송, 양자 계측에 사용되고 있다.

[0004] 원자와 같은 불연속적인 전자 에너지 구조를 갖는 물질은 매순간 하나의 광자만 생성하게 되는데, 반도체에서도 물질의 크기가 수 나노미터(nm) 크기로 작아지면, 물질 내부의 전자 에너지 구조가 불연속적으로 변한다. 이런 성질 변화를 ‘양자화’라 하는데, 양자화된 단일 구조에서 방출하는 빛을 단일 광자원(양자 광원)이라 한다.

[0005] 단일 양자 광원은 단일 광자를 일정 간격으로 분포시키는 것이 가능하고 개개의 광자에 양자 정보를 인코딩하는 것이 가능해 ‘양자 연산’, ‘양자 통신’, ‘양자 계측과 같은 광자 기반의 양자정보 구현에 중요한 요소이다. 단일 광자원을 만들기 위해 최근 반도체를 이용한 인공 원자(양자점, 결정 내 빈틈) 생성 방식이 주목을 받고 있고, 기존의 단일 양자 광원 연구는, 파장 이하 지역에서의 방출, 낮은 양자 수율, 상온에서 극도의 불안정성, 나노 단위에서의 구속 위치에너지를 유도하는 등의 많은 어려움으로 인해 대부분 극저온에서 수행되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은, 상기 언급한 문제점을 해결하기 위해서, 삼중 안테나 시스템을 도입하여 국소적인 지역에서 높은 에너지 증강을 통해, 특별한 환경, 즉 극저온 환경으로 제한되거나 또는 극저온의 유도 없이도 높은 양자 수율로 안정적으로 단일 양자 광원의 제작이 가능하고, 상기 단일 양자 광원의 단일 광자의 세기 및 에너지를 제어할 수 있는, 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명은, 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템을 이용한, 단일 양자 광원 유도 및 조절 방법을 제공하는 것이다.

[0008] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 해당 분야 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따라, 기관; 상기 기관 상의 적어도 일부분에 위치된 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나; 상기 금속 안테나 상의 적어도 일부분에 형성된 단일 양자점을 포함하는 물질층; 및 상기 물질층을 향해 배치되고, 광원 증강을 유도하는 플라즈모닉 탐침; 을 포함하는, 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템에 관한 것이다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템은, 극저온 내지 50 °C의 온도에서 단일 양자 광원을 유도하는 것일 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템은, 0 °C 내지 40 °C의 온도에서 단일 양자 광원을 유도하는 것일 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 플라즈모닉 탐침은, 탐침증강 나노분광현미경(tip-enhanced nano-spectroscopy)의 탐침인 것일 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 플라즈모닉 탐침은, TEPL(tip-enhanced photoluminescence) 또는 TERS(Tip-enhanced Raman spectroscopy)의 탐침인 것일 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 금속 안테나는 적어도 일부분에 단일 또는 복수개의 갭이 형성된 것일 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 갭의 간격은 1 nm 내지 20 nm인 것일 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 플라즈모닉 구조체에서 갭을 형성하는 양단은 곡률 곡률(radius of curvature)을 갖고, 상기 곡률은, 1nm 이하의 곡률 반경을 갖는 것일 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 금속 안테나의 두께는, 1nm 내지 100 nm인 것일 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 플라즈모닉 구조체는, 나비 넥타이 구조체(bowtie)인 것일 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 물질층은, 상기 금속 안테나 전체를 덮도록 형성된 것일 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 물질층은, 단분자층인 것일 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 물질층은, 상기 금속 안테나에서 구속위치 에너지에 의한 단일 양자 광원을 방출하고, 상기 탐침은, 상기 금속 안테나에서 단일 양자 광원을 증강시키는 것일 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 물질층은, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 구속위치 에너지에 의한 단일 양자 광원을 방출하고, 상기 탐침은, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 단일 양자 광원을 증강시키는 것일 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따라, 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나 상에 형성된 단일 양자점을 포함하는 물질층에서 단일 양자 광원을 유도하는 단계; 및 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계; 를 포함하는, 단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법에 관한 것이다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원을 유도하는 단계는, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 구속위치 에너지에 의한 상기 물질층의 단일 양자 광원을 방출하는 것일 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계는, 상기 금속 안테나의 갭 영역에서 플라즈모닉 탐침에 의해 단일 양자 광원을 증강시키는 것일 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 금속 안테나는 상기 플라즈모닉 구조체는, 나비 넥타이 구조체(bowtie)이고, 상기 나비 넥타이 구조체(bowtie)의 중앙은 갭이 형성된 것일 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계는, 상기 플라즈모닉 탐침의 높이, 각도 및 위치 중 적어도 하나를 조절하여, 단일 광자의 세기 및 에너지를 조절하는 것일 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원을 유도하는 단계 및 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계 중 적어도 하나는, 극저온 내지 50 ℃에서 실시되는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명은, 삼중 안테나 시스템을 이용하여 상온에서 안정적으로 단일 양자 광원을 제작하고, 플라즈모닉 탐침의 3차원 위치 조절을 통해 단일 광자의 세기와 에너지를 제어할 수 있다. 또한, 본 발명은, 단일 양자 수준에서 광자 생성 및 제어하여 양자 정보통신, 즉 양자 광통신, 양자 컴퓨터, 반도체 소자, 양자 나노-광전자기기의 개발 및 소자(또는, 모듈)로 적용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 삼중 안테나 구조의 구성과 단일 양자 광원의 유도 공정에 대해 예시적으로 나타낸 것이다.

도 2는, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 나비 넥타이 구조 위에 형성된 물질층, 즉 2차원 물질의 구조와 단일 양자 광원의 쌍극자모멘트 방향에 대해 세부적으로 도식화하고 에너지 다이어그램을 나타낸 것이다.

도 3은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 나비 넥타이 구조에서 (a) 2차원 물질이 없을 때의 AFM 이미지, (b) 2차원 물질이 있을 때의 AFM 이미지, (d) 2차원 물질이 없을 때의 SEM 이미지 및 (e) 2차원 물질이 있을 때의 SEM 이미지를 나타낸 것이다.

도 4는, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 나비 넥타이 구조에서 2차원 물질의 유무에 따른 라인 프로파일(Line profile)을 나타낸 것이다.

도 5는, 본 발명의 일 실시예에 따라, 2차원 물질 즉, 단일층 WSe₂의 탐침 증강된 PL의 탐침 위치에 따른 스펙트럼을 나타낸 것이다.

도 6은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 삼중 안테나 구조에서 탐침증강이 되지 않은 PL의 초점 위치에 따른 스펙트럼을 나타낸 것이다.

도 7은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 나노갭에서 결정 (< 1 nm) 상으로 매우 근접하게 위치된 탐침의 삼중 안테나 구조에서 WSe₂ 단일층의 TEPL 스펙트럼을 나타낸 것으로, 중성 엑시톤 (X0, 파란색), 트리온 (X-, 노란색) 및 국소 엑시톤 (XL, 녹색) 피크는 Voigt line shape function의 피팅과 TEPL 스펙트럼의 second derivative (회색 선)로 재확인된다.

도 8은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 삼중 안테나 구조에서 탐침 위치에 따른 단일 광자의 세기 변화 (초록)를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어들은 본 발명의 바람직한 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0032] 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0033] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0034] 이하, 본 발명의 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템 및 단일 양자 광원 유도 및 조절 방법에 대하여 실시예 및 도면을 참조하여 구체적으로 설명하도록 한다. 그러나, 본 발명이 이러한 실시예 및 도면에 제한되는 것은 아니다.

- [0035] 본 발명은, 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따라, 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나와 탐침증강 나노분광현미경을 접목한 삼중 안테나 시스템을 적용하여, 양자 광원 에미터 물질, 즉 저차원 물질의 구속 위치에너지를 유도함과 동시에 국소적인 지역에서의 높은 에너지 증강을 통해 극한의 온도 환경, 즉 극저온의 환경이 아닌 약 상온과 같은 온화한 환경에서도 안정적으로 단일 양자 광원의 제작이 가능할 뿐만 아니라 플라즈모닉 탐침의 위치를 조절하여 단일 광자의 세기와 에너지를 제어할 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템은, 기관; 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나; 단일 양자점을 포함하는 물질층; 및 상기 물질층을 향해 배치되고, 광원 증강을 유도하는 플라즈모닉 탐침;을 포함할 수 있다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 기관은, 단일 양자 광원의 유도에 이용될 수 있는 기관이라면 제한 없이 적용될 수 있고, 예를 들어, 반도체 기관 및 금속, 금속합금, 금속 산화물, 웨이퍼, Si, SiO₂, GaAs, InP, Al₂O₃, SiC, 유리 및 석영(quartz) 중 적어도 하나를 포함하는 기관일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0038] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 플라즈모닉 구조체는 금속 나노구조체이며, 금(Au)를 포함하고, 다양한 형상을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 나노 와이어, 니들, 다각형, 원뿔, 다각뿔, 다각기둥, 큐브, 다면체, 원기둥, 구, 원형, 필름 등에서 선택되고, 또는 이들 중 적어도 하나 이상이 조합된 형태, 구조체 또는 3차원 구조체 등일 수 있다. 예를 들어, 나비넥타이 구조체(또는, 보타이, bowtie)일 수 있다.
- [0039] 예를 들어, 상기 플라즈모닉 구조체 중 상기 나비 넥타이 구조(bowtie)의 금속 안테나는, 나비 넥타이의 안테나 구조적 특성으로 인해 끝점에서 빛이 모이게 되는 것으로, 이는 국소적인 지역에서의 빛 에너지 증강으로 이어질 수 있다.
- [0040] 도 1 및 도 2를 참조하면, 도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 삼중 안테나 구조의 구성과 단일 양자 광원의 유도 공정에 대해 예시적으로 나타낸 것이며, 도 2는, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 나비 넥타이 구조 위에 형성된 물질층, 즉 단일층 WSe₂의 구조와 단일 양자 광원의 쌍극자모멘트 방향에 대해 세부적으로 도식화하고 에너지 다이어그램을 나타낸 것이다.
- [0041] 본 발명의 일 예로, 상기 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나와 플라즈모닉 탐침의 삼중 안테나 시스템을 형성하고, 상기 금속 안테나의 입체적 구조에 의해서 양자광 에미터 물질에 스트레인을 가하고 국소 영역에서 구속 위치에너지가 형성된다. 이를 통해 단일 양자 광방출을 유도한다. 상기 안테나 구조에서의 스트레인으로 인해 새롭게 형성되는 단일 양자 광원의 쌍극자모멘트 구조는 플라즈모닉 탐침이 가해졌을 때 더욱 효율적으로 증강될 수 있다. 이러한 상황에서 탐침이 다가오게 되면 삼중 안테나 구조 효과로 인해 더욱 큰 증강을 유도할 수 있을 뿐만 아니라, 탐침의 위치조정으로 증강 세기를 변화하여 단일 광자의 세기와 에너지를 제어할 수 있다.
- [0042] 도 3을 참조하면, 도 3은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 나비 넥타이 구조에서 (a) 2차원 물질, 즉 WSe₂이 없을 때의 AFM 이미지, (b) 2차원 물질이 있을 때의 AFM 이미지, (c) 2차원 물질이 없을 때의 SEM 이미지 및 (d) 2차원 물질이 있을 때의 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 도 4는, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 나비 넥타이 구조에서 2차원 물질의 유무에 따른 라인 프로파일(Line profile)을 나타낸 것이다. 즉, 2차원 물질이 보타이의 표면굴곡을 따라서 단단하게 캡핑된(tightly capped)것을 확인할 수 있다.
- [0043] 본 발명의 일 예로, 상기 금속 안테나는 적어도 일부분에 단일 또는 복수개의 갭이 형성되고, 이는 단일 또는 복수개의 플라즈모닉 구조체에 의해 형성할 수 있다. 예를 들어, 갭 영역은, 나비 넥타이 구조에서 양측의 날개 영역 사이, 즉, 중앙 영역에서 갭을 형성할 수 있다.
- [0044] 본 발명의 일 예로, 상기 갭의 간격은, 1 nm 내지 20 nm; 10 nm 이하, 8 nm 또는 1 nm 내지 5 nm이고, 상기 갭의 간격을 조절하여 필드 증강(field enhancement)을 증가시키고, 물질층에 스트레인을 가하는 것에 유리할 수 있다.
- [0045] 본 발명의 일 예로, 상기 플라즈모닉 구조체에서 갭을 형성하는 양단 중 적어도 하나 또는 둘은, 곡률(radius of curvature)을 가질 수 있으며, 상기 곡률은, 약 5 nm 이하; 약 4 nm 이하; 약 2 nm 이하; 또는 약 1 nm 이하 또는 곡률 반경(RoC)을 갖는 것일 수 있다. 상기 곡률 반경은 증강(enhancement)을 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 상기 플라즈모닉 구조체, 즉 나비 넥타이 구조에서 상기 양측의 날개 영역의 말단 중 적어도 하나 또는 둘은 곡률을 가지며, 예를 들어, 중심 영역의 갭을 형성하는 양말단이 곡률을 가질 수 있다.
- [0046] 본 발명의 일 예로, 상기 금속 안테나의 두께(또는, 높이)는 1 nm 내지 100 nm; 10 nm 내지 80 nm; 20 nm 내지

50 nm; 또는 20 nm 내지 30 nm일 수 있다. 상기 곡률반경 및 높이 범위 내에 포함되면 물질층에 스트레인을 가하고, 구속 위치에너지를 형성하고, 국소적인 지역에서 높은 에너지 증강을 유도할 수 있다. 즉, 두께가 증가하면 굴곡이 심하게 발생되어 스트레인을 더 많이 발생시킬 수 있다.

[0047] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 물질층은, 상기 금속 안테나 상의 적어도 일부분에 형성 및/또는 배치될 수 있다. 바람직하게는 물질층에 스트레인을 가하고, 국소 영역에서 구속 위치에너지의 생성에 유리하도록, 상기 갭을 포함하도록 상기 금속 안테나를 형성 및/또는 배치될 수 있다. 일부분 또는 전체를 덮도록 형성 및/또는 배치될 수 있다. 예를 들어, 상기 나비 넥타이 안테나의 중심 영역을 포함하도록 형성 및/또는 배치될 수 있다. 즉, 상기 물질층은, 상기 금속 안테나의 중앙 영역의 국소 영역에서 구속 위치에너지에 의한 단일 양자 광원을 방출할 수 있다.

[0048] 본 발명의 일 예로, 상기 물질층은, 양자점을 포함하고, 양자 광원의 발생 및 유도가 가능한 양자광 에미터 물질이라면 제한 없이 적용될 수 있고, 예를 들어, 2차원 물질일 수 있다. 상기 2차원 물질은, 2차원 반도체 물질, 전이금속 칼코겐 화합물(예를 들어, MX_2 (M은 전이금속원소 (주기율표 4-6족), X는 칼코겐 원소(주기율표, 16족)이다), 그래핀, h-BN(Hexagonal Boron Nitride), h-BCN(hexagonal boron-carbon-nitrogen), 플루오르그래핀(fluorographene), 산화그래핀(graphene oxide) 등일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0049] 본 발명의 일 예로, 상기 물질층은, 단층(monolayer)이며 이는 단분자층 또는 단일 원자층이다. 상기 물질층은, 10 nm 이하; 5 nm 이하; 1 nm 이하; 0.8 nm 이하; 또는 0.5 nm 이하의 두께를 가질 수 있다.

[0050] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템은, 기존에 단일 양자 광원의 유도 시 상온에서 불안정하거나 양자 효율이 낮아 극저온 환경이 필요하지만, 본 발명은, 다양한 온도 범위 내에서 안정적으로 단일 양자 광원을 유도할 수 있으며, 예를 들어, 극저온(Cryogenic); 극저온 이상; 극저온 내지 50 °C; 0 °C 내지 50 °C의 온도; 20 °C 내지 40 °C; 25 °C 내지 35 °C 온도; 또는 상온(rt)에서 단일 양자 광원을 유도 및/또는 증강시킬 수 있으며, 본 발명은, 상온(rt)에서 안정적으로 단일 양자 광원을 유도를 실현시킬 수 있다.

[0051] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 플라즈모닉 탐침은, 기본적으로 플라즈몬 팁의 필드 향상은 다음과 같은 두 가지 현상에 기인합니다. 첫째, 정전기 피뢰침 효과(electrostatic lightning rod effect)로 인해 플라즈몬 팁 근처에 전하가 집중되고, 둘째, 외부 전자기장(external electromagnetic field) 즉, 여기 레이저 빔이 팁에 적용될 때, 광학 필드는 전자들의 집합 공명 진동(collective resonant oscillations)으로 인해 국소 표면 플라즈몬 진동(localized surface plasmon resonance, LSPR) 효과를 제공한다. 본 발명에 의한 안테나 구조에서의 스트레인으로 인해 새롭게 형성되는 단일 양자 광원은 탐침이 가해졌을 때 더욱 효율적으로 증강될 수 있다. 또한, 상기 플라즈모닉 탐침은, 탐침의 위치조정으로 증강 세기를 변화하여 단일 광자의 세기와 에너지를 제어할 수 있다. 즉, 도 1을 참조하면, 상기 플라즈모닉 탐침은, 상기 물질층을 향해 수평으로 배치되고, 상기 탐침은, 상기 금속 안테나의 중앙 영역에서 단일 양자 광원을 증강시키거나 또는 상기 금속 안테나의 중앙 영역에서부터 플라즈모닉 탐침의 높이, 각도 및 위치 중 적어도 하나를 조절하여, 단일 광자의 세기 및 에너지를 조절할 수 있다. 예를 들어, 3차원 위치(수평 방향(XY) 및 수직 방향(Z))를 변화시켜 단일 광자의 세기 및 에너지를 제어하고 증강시킬 수 있다. 또한, 상기 안테나 구조에서의 스트레인으로 인해 새롭게 형성되는 단일 양자 광원의 쌍극자모멘트 구조는 플라즈모닉 탐침과 평행한 방향으로 형성되어 탐침이 가해졌을 때 더욱 효율적으로 증강이 될 수 있다.

[0052] 본 발명의 일 예로, 도 5 및 도 6을 참조하면, 도 5는 단일층 WSe_2 의 탐침증강된 PL의 탐침 위치에 따른 스펙트럼을 나타낸 것으로, 도 5는 tip을 사용하였을 때 보타이의 가운데 부분에서 단일 양자 광원이 유도되었음을 보여주는 contour 이미지 이고 (low energy level), 도 6은 반대로 텅없이 보타이만 있을 때 단일 양자 광원 유도가 되지 않음을 control experiment로 나타낸 것이다. 즉, 본 발명에 의한 삼중 안테나 구조를 적용 시 탐침 증강에 의해서 PL의 세기 및 에너지의 제어가 가능한 것을 확인할 수 있다.

[0053] 본 발명의 일 예로, 도 7 및 도 8을 참조하면, 도 7은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 나노광학 안테나 탐침(nano-optical antenna-tip)으로 국소 엑시톤의 복사 에미션의 제어를 나타낸 것이며, 도 8은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 삼중 안테나 구조에서 탐침 위치에 따른 단일 광자의 세기 변화 (초록)를 나타낸 것이다.

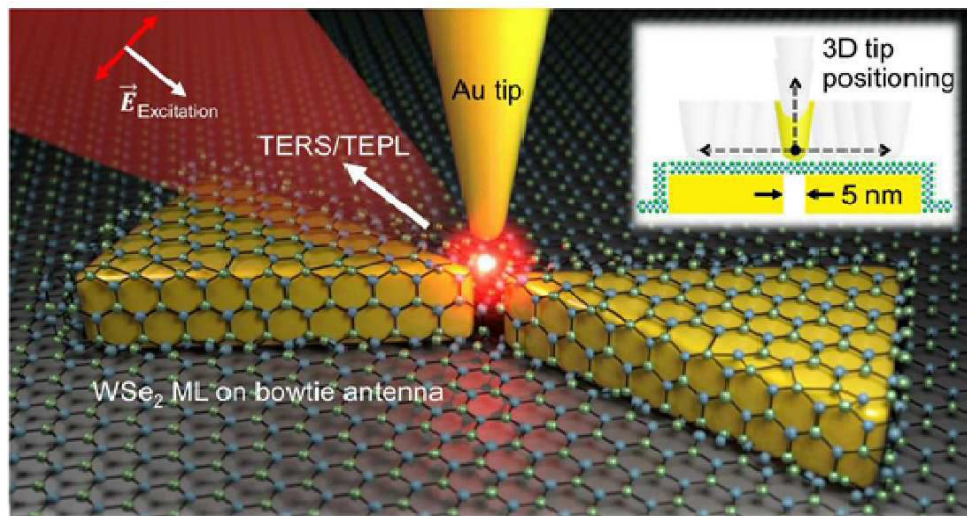
[0054] 도 7 및 도 8에서 Low energy level 순서대로 localized exciton (단일 양자 광원), trion, neutral exciton peak을 나타낸 근거리장 PL 이며, 원거리장에서는 보이지 않던 peak들이 나타나고 특히 localized exciton peak

이 생긴 것은 단일양자광원을 유도하는 것을 알 수 있다. 즉, 본 발명에 의한 삼중 안테나 구조를 적용 시 단일 양자 광원을 상온에서 안정적으로 높은 양자 수율로 제작할 수 있음을 확인할 수 있다.

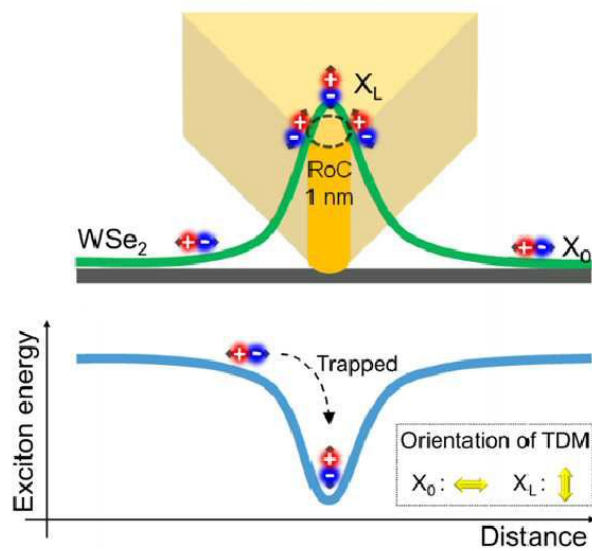
- [0055] 본 발명의 일 예로, 상기 플라즈모닉 탐침은 탐침증강 나노분광현미경(tip-enhanced nano-spectroscopy)의 탐침일 수 있다. 예를 들어, 상기 플라즈모닉 탐침은, TEPL(tip-enhanced photoluminescence) 및/또는 TERS(Tip-enhanced Raman spectroscopy)의 탐침일 수 있다.
- [0056] 본 발명의 일 예로, 상기 탐침(probe)은, 15 nm 이하의 크기의 팁(tip)을 갖고, 상기 탐침은, 플라즈모닉 금속이며, 예를 들어, Au, Ag, Al, Cu, Co, Cr, Pt, Pd, Rh, Ti 및 Ni으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0057] 본 발명의 일 예로, 상기 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템은, UV 내지 near IR까지 공명 영역의 유도 및/또는 조절할 수 있다.
- [0058] 본 발명은, 본 발명에 의한 단일 양자 광원 유도 및 조절 시스템을 이용하는, 단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법은, 플라즈모닉 구조체, 예를 들어, 나비 넥타이 구조(bow tie)의 금속 안테나 상에 형성된 단일 양자점을 포함하는 물질층에서 단일 양자 광원을 유도하는 단계; 및 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계; 를 포함할 수 있다.
- [0059] 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명의 단일 양자 광원의 유도 및 조절 방법은, 플라즈모닉 구조체의 금속 안테나와 탐침증강 나노분광현미경을 접목한 삼중 안테나 시스템으로 물질층의 구속 위치에너지를 유도함과 동시에 국소적인 지역에서의 높은 에너지 증강을 통해 상온과 같은 다양한 온도에서 안정적으로 단일 양자 광원을 제작하고 탐침 증강 기술을 도입하여 단일 양자 광원의 제어 및 조절을 용이하게 실현시킬 수 있다.
- [0060] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원을 유도하는 단계는, 본 발명에 의한 삼중 안테나 시스템으로 상기 금속 안테나의 중앙 영역 또는 인접 영역에서 구속 위치에너지에 의한 상기 물질층으로부터 단일 양자 광원을 방출하는 단계이다.
- [0061] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계는, 상기 금속 안테나의 중앙 영역에서 플라즈모닉 탐침에 의해 단일 양자 광원을 증강시키는 단계이며, 플라즈모닉 탐침의 3차원 위치를 변경시켜 단일 양자 광원의 세기 및 에너지를 제어할 수 있다.
- [0062] 본 발명의 일 예로, 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계는, 상기 금속 안테나의 중앙 영역에서부터 플라즈모닉 탐침의 높이, 각도 및 위치 중 적어도 하나를 조절하여, 단일 광자의 세기 및 에너지를 조절할 수 있다.
- [0063] 본 발명의 일 예로, 상기 단일 양자 광원을 유도하는 단계 및 상기 단일 양자 광원을 증강시키는 단계 중 적어도 하나는, 예를 들어, 극저온; 극저온 이상; 극저온 내지 50 ℃; 0 ℃ 내지 50 ℃의 온도; 20 ℃ 내지 40 ℃; 25 ℃ 내지 35 ℃ 온도 또는 상온에서 실시될 수 있다.
- [0064] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

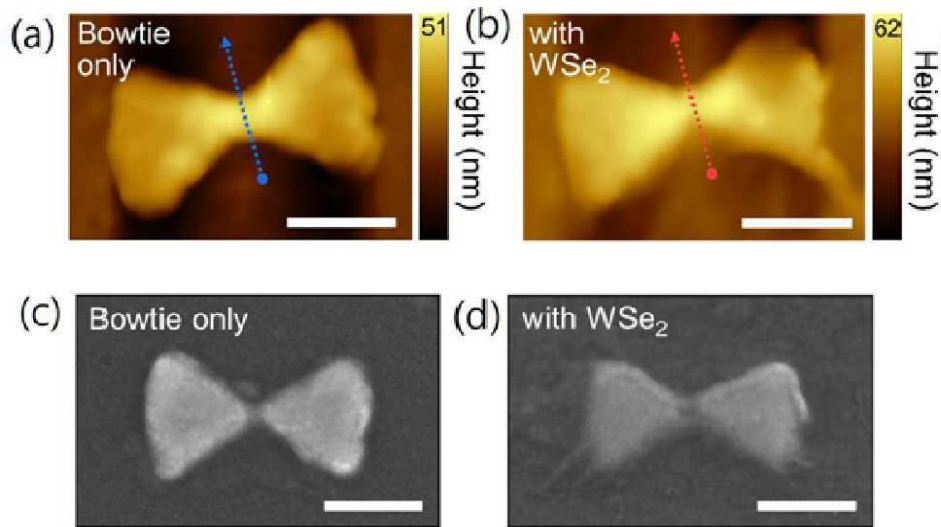
도면1



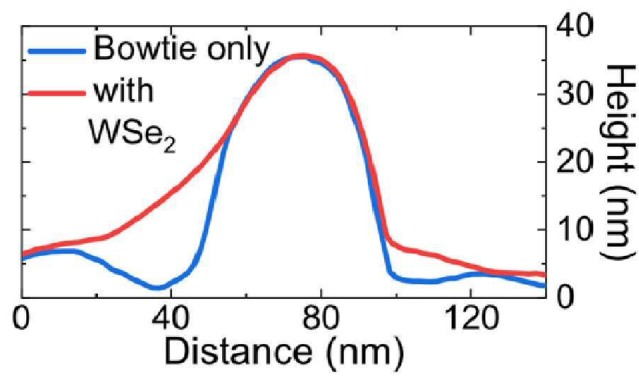
도면2



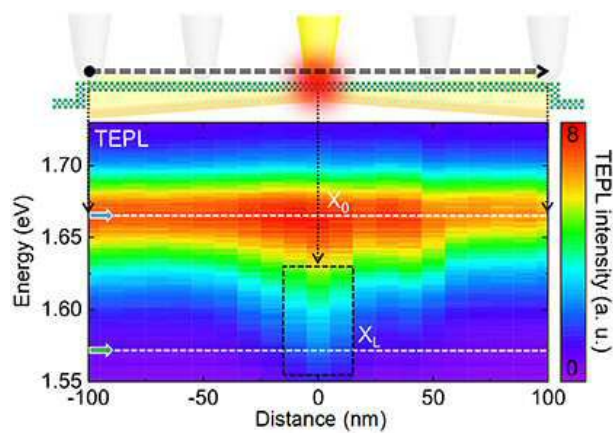
도면3



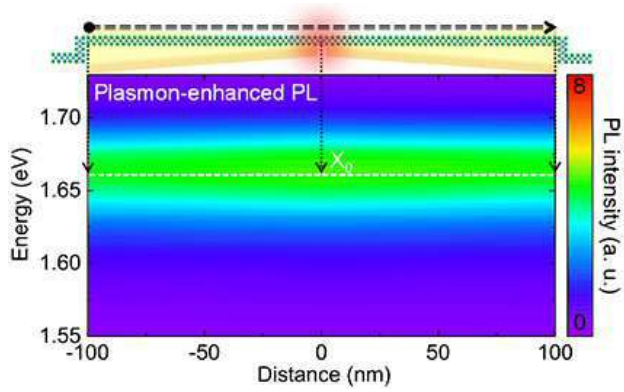
도면4



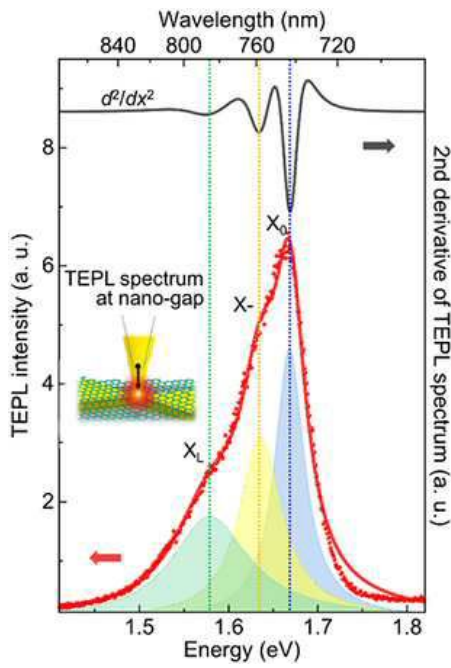
도면5



도면6



도면7



도면8

