



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년11월14일
(11) 등록번호 10-2045064
(24) 등록일자 2019년11월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/00 (2010.01)
H01L 33/12 (2010.01) H01L 33/36 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/06 (2013.01)
H01L 33/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0112568
(22) 출원일자 2018년09월20일
심사청구일자 2018년09월20일
(56) 선행기술조사문헌
JP2016528674 A
KR1020160126667 A

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
김제형
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김효주
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
문중성
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 19 항

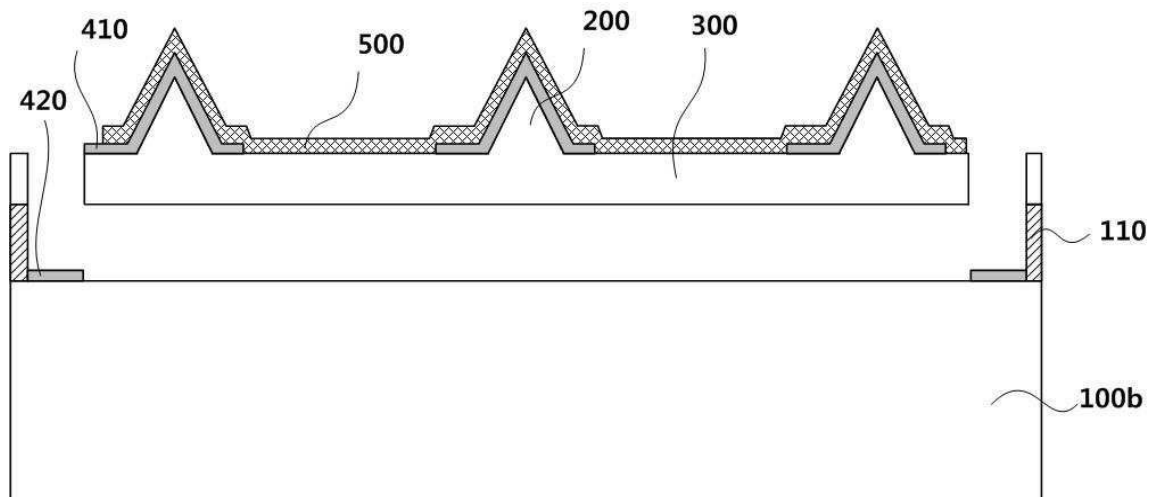
심사관 : 배성주

(54) 발명의 명칭 양자 광원 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 실시예에 의한 양자 광원 제조 방법은, 희생층이 매립된 기판을 준비하는 단계와, 스트레인 제공부 마스크를 식각 마스크로 식각하여 스트레인 제공부를 형성하는 단계와, 희생층을 노출시키는 단계와, 희생층을 제거하여 스트레인 제공부가 형성된 층상 구조물(layer shape structure)을 형성하는 단계 및 스트레인 제공부 상부에 이차원 물질을 배치하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도11



(52) CPC특허분류

H01L 33/12 (2013.01)

H01L 33/36 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018R1C1B6001695

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 신진연구사업

연구과제명 이차원 원자층 기반의 고효율 양자광원 개발 및 양자 상호작용 연구

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

희생층이 매립된 기판을 준비하는 단계와,
스트레인 제공부 마스크를 식각 마스크로 식각하여 스트레인 제공부를 형성하는 단계와,
상기 희생층을 노출시키는 단계와,
상기 희생층을 제거하여 상기 스트레인 제공부가 형성된 층상 구조물(layer shape structure)을 형성하는 단계 및
상기 스트레인 제공부 상부에 이차원 물질을 배치하는 단계를 포함하는 양자 광원 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 양자 광원 제조 방법은,
상기 스트레인 제공부 상부에 이차원 물질을 배치하는 단계 이전에
상기 층상 구조물에 연결된 제1 전극과 상기 희생층이 제거된 상기 기판에 연결된 제2 전극을 형성하는 과정을 더 포함하는 양자 광원 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 희생층이 매립된 기판은 SOI(Silicon On Insulator) 기판인 양자 광원 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 기판은 반도체 기판이며,
상기 희생층은 상기 반도체의 산화막인 양자 광원 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 스트레인 제공부는,
표면으로 돌출된 돌출부 및
상기 표면에서 함몰된 함몰부 중 어느 하나인 양자 광원 제조 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 스트레인 제공부를 형성하는 단계는,
상기 스트레인 제공부 마스크를 식각 마스크로 하는 이방성 식각 과정을 수행하는 양자 광원 제조 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 층상 구조물(layer shape structure)을 형성하는 단계는,
상기 희생층을 습 식각(wet etch)하여 제거하여 수행하는 양자 광원 제조 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 층상 구조물은,
상기 희생층이 제거되어 노출된 기저층과 이격된 구조로,
멤브레인 구조(membrane structure) 및 캔틸레버 구조(cantilever structure) 중 어느 하나인 양자 광원 제조 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 이차원 물질은,
WSe₂, hBN, MoS₂ 및 그래핀(Graphene)으로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나를 포함하는 양자 광원 제조 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 양자 광원 제조 방법은,
어레이로 배치된 상기 양자 광원을 제조하는 양자 광원 제조 방법.

청구항 11

제2항에 있어서,
상기 제1 전극과 제2 전극을 형성하는 과정은,
금을 증착하여 수행하는 양자 광원 제조 방법.

청구항 12

기저층과 이격된 층상 구조물;
상기 층상 구조물에 형성된 스트레인 제공부;
상기 스트레인 제공부에 배치된 이차원 물질;
상기 이차원 물질에 연결된 제1 전극 및
상기 기저층에 연결된 제2 전극을 포함하는 양자 광원.

청구항 13

제12항에 있어서,
상기 층상 구조물은,
상기 기저층과 물리적으로 이격되며,
상기 기저층과 전기적으로 절연된 양자 광원.

청구항 14

제12항에 있어서,
상기 층상 구조물은,

멤브레인 구조(membrane structure) 및 캔틸레버 구조(cantilever structure) 중 어느 하나인 양자 광원.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 이차원 물질은,

WSe₂, hBN, MoS₂ 및 그래핀(Graphene)으로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나를 포함하는 양자 광원.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 층상 구조물은 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극에 제공된 바이어스에 의하여 변형되는 양자 광원.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 층상 구조물은 변형되어

상기 양자 광원의 발광 파장을 제어하는 양자 광원.

청구항 18

제12항에 있어서,

상기 스트레인 제공부는 표면 상으로 돌출되거나, 표면 내로 함몰된 구조인 양자 광원.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 이차원 물질은,

상기 스트레인 제공부가 제공한 스트레인에 의하여 국소적으로 밴드 갭(local band gap) 변화가 발생하여 엑시톤을 트랩(trap)하는 양자 광원.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 양자 광원 및 그 제조 방법에 관련된다.

배경 기술

[0002] 양자정보는 1과 0로 구분되는 비트(Bit) 대신 중첩 원리를 이용하여 1과 0을 동시에 표현하는 것이 가능한 "양자 비트(Quantum Bit)"를 이용한다. 양자정보 처리에는 원자나 빛, 슈퍼 컨덕팅 소자 등 다양한 접근 방식이 존재하며, 빛, 즉 광자(光子)를 이용한 양자 정보 처리에 관심이 집중되고 있다. 빛의 편광이나 시간, 경로 정보 등을 이용하면 전자의 스핀(Spin)처럼 양자 비트를 구현할 수 있기 때문이다.

[0003] 최근에는 양자 물리의 특징인 중첩성, 양자얽힘, 복사 불가능성을 나타내는 양자광원(Quantum light source)이 개발돼 이를 이용한 양자 시뮬레이터나 양자전송, 양자암호와 같은 응용기술이 활발히 연구되고 있다. 양자 광원이란, 고전 광원과과는 차별화된 단일 광자를 생성하는 광원을 의미하며, 단일 원자 또는 단일 양자점과 같은 단일 양자구조에서 빛이 생성된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 기존 양자 광원의 위치 및/또는 파장을 변화 시키는 다양한 방법이 제시되어 왔으나, 이 둘을 모두 변화시킬 수 있는 양자 광원은 보고되지 않았다. 본 기술은 이러한 종래 기술의 단점을 해결하기 위한 것으로, 양자 광원의

위치 및/또는 파장을 변화 시킬 수 있는 양자 광원 및 그 제조 방법을 제공하는 것이 주된 목표중 하나이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 실시예에 의한 양자 광원 제조 방법은, 희생층이 매립된 기판을 준비하는 단계와, 스트레인 제공부 마스크를 식각 마스크로 식각하여 스트레인 제공부를 형성하는 단계와, 희생층을 노출시키는 단계와, 희생층을 제거하여 스트레인 제공부가 형성된 층상 구조물(layer shape structure)을 형성하는 단계 및 스트레인 제공부 상부에 이차원 물질을 배치하는 단계를 포함한다.

[0006] 본 실시예에 의한 양자 광원은 기저층과 이격된 층상 구조물과, 층상 구조물에 형성된 스트레인 제공부와, 스트레인 제공부에 배치된 이차원 물질과, 이차원 물질에 연결된 제1 전극 및 기저층에 연결된 제2 전극을 포함한다.

발명의 효과

[0007] 본 기술에 의하면 스트레인 제공부 상부에 이차원 물질을 배치하여 목적하는 위치에 양자 광원을 생성할 수 있다는 장점이 제공되며, 층상 구조물의 변형을 제어하여 양자 광원이 제공하는 광의 파장을 제어할 수 있다는 장점이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1 내지 도 11은 본 실시예에 의한 양자 광원 제조 방법의 공정을 설명하기 위한 도면들이다.

도 12는 단일한 양자 광원을 예시한 도면이다.

도 13은 스트레인 제공부와 연결된 제1 전극과 기저층)에 연결된 제2 전극에 전기적 신호를 제공하여 층상 구조물을 변형시킨 상태를 도시한 도면이다.

도 14(a) 내지 도 14(c)는 양자 광원 구현예의 현미경 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 본 발명에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0010] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.

[0011] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0012] 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.

[0013] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.

[0014] 양자 광원 제조 방법

[0015] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 실시예에 의한 양자 광원 제조 방법을 설명한다. 도 1 내지 도 11은 본 실시예에 의한 양자 광원 제조 방법의 공정을 설명하기 위한 도면들이다. 도 1을 참조하면, 희생층(110)이 매립된 기판(100)을 준비한다. 기판(100)은 기저층(100b), 절연층(110) 및 상층부(100t)가 적층된 기판이다. 일 실시예로, 기판(100)은 실리콘(Si), 갈륨비소(GaAs) 등의 반도체 물질을 포함할 수 있다. 일 예로, 기판은 매립 산화막(Buried Oxide)이 형성된 SOI(Silicon On Insulator) 기판일 수 있다. 다른 예로, 기판은 반도체 산화막

이 매립된 반도체 기판일 수 있다. 매립 산화막은 추후에 식각되어 상층부(100t)와 기저층(100b)을 이격시키는 희생층(sacrificial layer)으로 기능한다. 일 예로, 매립 산화막(110)의 두께는 $1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ 일 수 있다.

[0016] 도 2는 기판(100) 상에 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 형성한 상태를 도시한 도면이고, 도 3은 스트레인 제공부(200)를 형성한 상태를 도시한 도면이다. 도 2 및 도 3을 참조하면, 각각의 양자 광원(10)이 형성될 위치에 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 형성한다. 일 실시예로, 레지스트(resist) 층을 형성하고, 전자빔 리소그래피를 이용하여 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 형성한 후, 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 식각 마스크로 이방성 식각을 수행하여 스트레인 제공부(200)를 형성한다(S200).

[0017] 일 예로, 이방성 식각은 도 2로 도시된 바와 같이 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각(RIE, Reactive Ion Etching)으로 수행될 수 있다. 다른 실시예로, 스트레인 제공부를 형성하는 과정은 나노-임프린트 및 포토 리소그래피 과정으로 수행될 수 있다.

[0018] 스트레인 제공부(200)의 너비(w) 및 높이(h)는 수 백 nm ~ 수 십 μm 일 수 있으며, 스트레인 제공부(200)와 기저층(100b)의 전기장 인가를 통해 스트레인 제공부(200)의 높이(h)를 제어하여 이차원 물질에 제공되는 스트레인의 크기를 제어할 수 있으며, 이를 통해 이차원 물질 밴드갭의 크기를 제어할 수 있다.

[0019] 도 4는 스트레인 제공부(200)를 형성하는 다른 실시예를 설명하기 위한 도면으로, 기판(100) 상에 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 형성한 상태를 도시한 도면이다. 도 5는 다른 실시예에 의한 스트레인 제공부(200)를 형성한 상태를 도시한 도면이다. 도 4 및 도 5를 참조하면, 각각의 양자 광원(10)이 형성될 위치에 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 형성한다. 일 실시예로, 레지스트(resist) 층을 형성하고, 전자빔 리소그래피를 이용하여 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 형성한 후, 스트레인 제공부 마스크 패턴(M)을 식각 마스크로 이방성 식각을 수행하여 스트레인 제공부(200)를 형성한다(S200).

[0020] 일 예로, 이방성 식각은 설명된 바와 같이 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각(RIE)으로 수행될 수 있으며, 나노-임프린트 및 포토 리소그래피 과정으로 수행될 수 있다.

[0021] 스트레인 제공부(200)의 너비(w) 및 높이(h)는 수 백 nm ~ 수 십 μm 일 수 있으며, 스트레인 제공부(200)와 기저층(100b)의 전기장 인가를 통해 스트레인 제공부(200)의 높이(h)를 제어하여 이차원 물질에 제공되는 스트레인의 크기를 제어할 수 있으며, 이를 통해 이차원 물질 밴드갭의 크기를 제어할 수 있다..

[0022] 이하에서는 간단하고 명료한 설명을 위하여 도 3으로 예시된 실시예에 따라 양자 광원을 형성하는 방법을 설명한다. 다만, 이는 간단하고 명료한 설명을 위한 것이며, 본 발명의 권리 범위를 제한하기 위함이 아니다.

[0023] 도 6 및 도 7은 각각 희생층(110)이 노출된 상태를 예시한 단면도와 사시도이다. 도 6 및 도 7을 참조하면, 리소그래피 공정으로 상층부(100t)를 식각하여 희생층(110)을 노출시킨다. 일 예로, 희생층(110)이 노출되도록 상층부(100t)를 식각하는 과정은 전자빔 리소그래피 및 이방성 식각 공정으로 수행될 수 있다. 일 예로, 층상 구조물(300)은 바이어스에 의하여 변형될 수 있으므로, 변형에 의하여 파손되지 않도록 브릿지 부분의 너비를 확보하여야 한다.

[0024] 도 8은 희생층이 제거되어 층상 구조물(300)이 형성된 상태를 예시한 단면도이고, 도 9는 층상 구조물이 형성된 상태를 예시한 사시도이다. 도 8 및 도 9를 참조하면, 습식각(wet etch)을 수행하여 희생층(110)을 식각한다(S400). 일 실시예로, 희생층(110)을 식각하여 층상 구조물(300)과 아래의 기저층(100b)은 이격된다. 또한, 층상 구조물(300)과 기저층(100b)은 식각되지 않은 희생층(110)에 의하여 서로 전기적으로 절연된다.

[0025] 층상 구조물(300)은 도시된 실시예와 같이 브릿지에 의하여 주변부와 연결된 멤브레인 구조(membrane structure)를 가질 수 있다. 다른 실시예(도 14(c) 참조)에 의하면, 층상 구조물은 장방형(rectangle)으로, 어느 한 변이 주변부와 연결된 캔틸레버(cantilever) 구조를 가질 수 있다.

[0026] 일 예로, 습식각을 수행하는 과정은 희생층(110)을 선택적으로 식각하는 물질로 수행하는 것이 바람직하다. 습식각은 등방성 식각이므로, 브릿지(B)와 연결된 주변부 아랫 부분이 전부 식각되지 않도록 공정 조건을 설정하여야 한다.

[0027] 도 10은 단위 양자 광원에 전기적으로 연결되는 제1 전극(410)과 기저층(100b)에 전기적으로 연결되는 제2 전극(420)이 형성된 상태를 도시한 단면도이다. 도 10을 참조하면, 도전성 금속을 증착하여 제1 전극(410) 및 제2 전극(420)을 형성한다. 일 예로, 도전성 금속은 금일 수 있으며, 증착 공정을 수행하여 형성될 수 있다. 금속 증착은 열 증착(Thermal evaporation) 또는 전자빔 증착(E-beam evaporation)공정으로 수행될 수 있다. 제1 전극(410)과 제2 전극(420)은 각각 금속패드(metal pad, 미도시)와 연결될 수 있다. 금속 패드를 통하여 외부에서

전기 신호 신호가 인가될 수 있으며, 제1 전극(410)과 제2 전극(420) 사이에는 전기 신호에 상응하는 전기장을 인가할 수 있다.

[0028] 도 11은 스트레인 제공부(200) 상부에 이차원 물질(500)을 배치한 상태를 도시한다. 도 11을 참조하면, 적어도 스트레인 제공부(200) 상부를 덮도록 이차원 물질을 배치한다. 도시된 실시예와 같이 이차원 물질(500)은 층상 구조물(300) 상부에 배치될 수 있다. 다른 실시예에 의하면, 적어도 하나의 스트레인 제공부(200)에 배치될 수 있다. 일 예로, 이차원 물질은 이차원 물질층이 도포된 후, 패터닝되어 배치될 수 있다. 이차원 물질(500)은 분자 구조가 하나~수개의 원자층 평면 형태를 가지는 반도체로, 일 예로, 이차원 원자층은 WSe₂, hBN, MoS₂ 및 그래핀(Graphene) 등이 될 수 있다.

[0029] 양자 광원

[0030] 이하에서는 도 12 내지 도 13을 참조하여 본 실시예에 의한 양자 광원의 동작을 설명한다. 간단하고 명료한 설명을 위하여 위에서 설명된 실시예와 중복되거나, 유사한 사항에 대한 설명은 생략한다. 도 12는 단위 양자 광원(10)의 단면도이다. 도 12를 참조하면, 본 실시예에 의한 양자 광원(10)은, 기저층(100b)과 이격된 층상 구조물(300)과, 층상 구조물(300)에 형성된 스트레인 제공부(200)와, 스트레인 제공부(200)에 배치된 이차원 물질(500)과, 이차원 물질(500)에 연결된 제1 전극(410) 및 기저층에 연결된 제2 전극(420)을 포함한다.

[0031] 도 12는 단일한 양자 광원(10)을 예시하고 있으며, 도시되지 않은 다른 실시예는 양자 광원들이 어레이로 배치될 수 있다. 제1 전극(410)들은 어레이로 배치된 양자 광원의 이차원 물질이 도포된 스트레인 제공부(200)에 연결될 수 있으며 제2 전극(420)은 기저층(100b)에 형성될 수 있다.

[0032] 양자 광원은 스트레인 제공부(200)와 이차원 물질(500)을 포함한다. 스트레인 제공부(200)는 일 실시예로, 너비(w) 및 높이(h)가 수 십 nm ~ 수 μ m인 돌출부를 포함할 수 있으며, 다른 실시예로, 너비(w) 및 깊이(d)가 수 십 nm ~ 수 μ m인 함몰부를 포함할 수 있다.

[0033] 스트레인 제공부(200)에는 평면 형태의 분자 구조를 가지는 반도체인 이차원 물질(500)이 배치될 수 있다. 스트레인 제공부(200)에 형성된 돌출 또는 함몰된 굴곡은 이차원 물질(500)에 국소적으로 스트레인(strain)을 제공하며, 스트레인에 의하여 이차원 물질(500)의 밴드 갭(Band-gap)을 변형시킨다. 즉, 컨덕션 밴드(conduction band) 및/또는 밸런스 밴드(valence band)를 국소적으로 변형시켜 엑시톤을 국소적으로 포획할 수 있으며, 수 nm~수십 nm 작은 영역안에 국소적으로 포획된 엑시톤은 원자처럼 불연속적인 에너지 밴드 구조를 가지게 되고 인공원자와 같은 광학적 특성을 가진다. 따라서 이를 이용하여 양자 광원을 생성할 수 있다.

[0034] 도 13은 스트레인 제공부(200)와 연결된 제1 전극(410)과 기저층(110b)에 연결된 제2 전극(420) 전기적 신호를 제공하여 층상 구조물(300)을 변형시킨 상태를 도시한 도면이다. 도 13을 참조하면, 제1 전극(410) 및 제2 전극(420) 사이에 전기적 신호를 제공하여 층상 구조물(300)을 변형한다.

[0035] 상술한 바와 같이 제1 전극(410)과 제2 전극(420)에는 전기 신호가 제공되며, 제1 전극(410)과 제2 전극(420)에는 전기 신호에 상응하는 전기장이 형성된다. 전기장 크기를 제어하여 층상 구조물(300)과 기저층(100b) 사이의 이격 거리를 독립적으로 제어할 수 있다.

[0036] 층상 구조물(300)이 변형됨에 따라 원자층 두께의 얇은 이차원 물질(500)에 제공되는 스트레인이 변화하며, 스트레인 변화에 따라 이차원 물질(500)을 구성하는 원자 간 간격(lattice)이 변화하고 그에 따라 이차원 물질(500)이 갖는 에너지 밴드갭이 변화한다. 이를 통해 도포된 이차원 반도체 물질의 응력을 변화시킬 수 있고 반도체 밴드갭을 제어할 수 있으며, 결과적으로 이는 양자광원의 발광 에너지(파장)를 제어할 수 있다.

[0037] 구현예

[0038] 도 14(a) 내지 도 14(c)는 본 실시예에 의한 양자 광원의 현미경 사진이다. 도 14(a)는 본 실시예에 의한 양자 광원들이 어레이 형태로 배치된 상태를 도시한다. 도 14(b)는 멤브레인 형태의 층상 구조물(300) 상에 스트레인 제공부(200)가 형성되며, 스트레인 제공부 상부에 이차원 물질이 배치된 상태를 도시한다. 또한 도 14(c)는 캔틸레버 형태의 층상 구조물 상에 스트레인 제공부가 형성되며, 스트레인 제공부 상부에 이차원 물질이 배치된 상태를 도시한다.

[0039] 본 실시예에 의한 양자 광원에 의하면 기존 양자 광원의 위치 제어 및 스트레인을 제어하여 발광하는 파장을 변화시킬 수 있다는 장점이 제공된다.

[0040] 본 발명에 대한 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나, 이는 실시를 위한

실시예로, 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

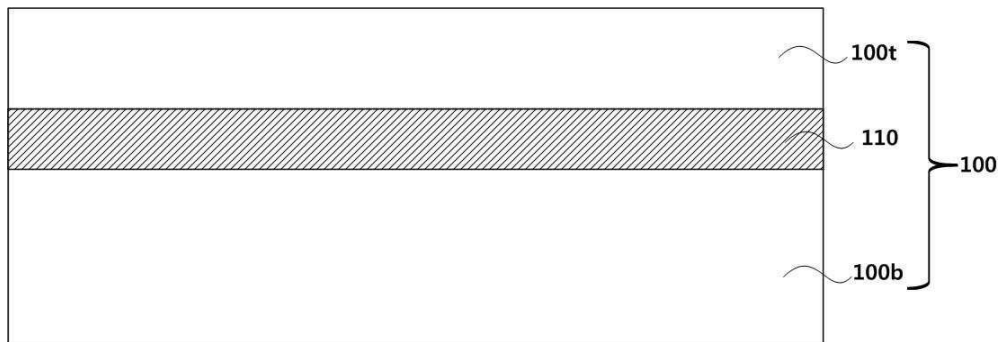
부호의 설명

[0041]

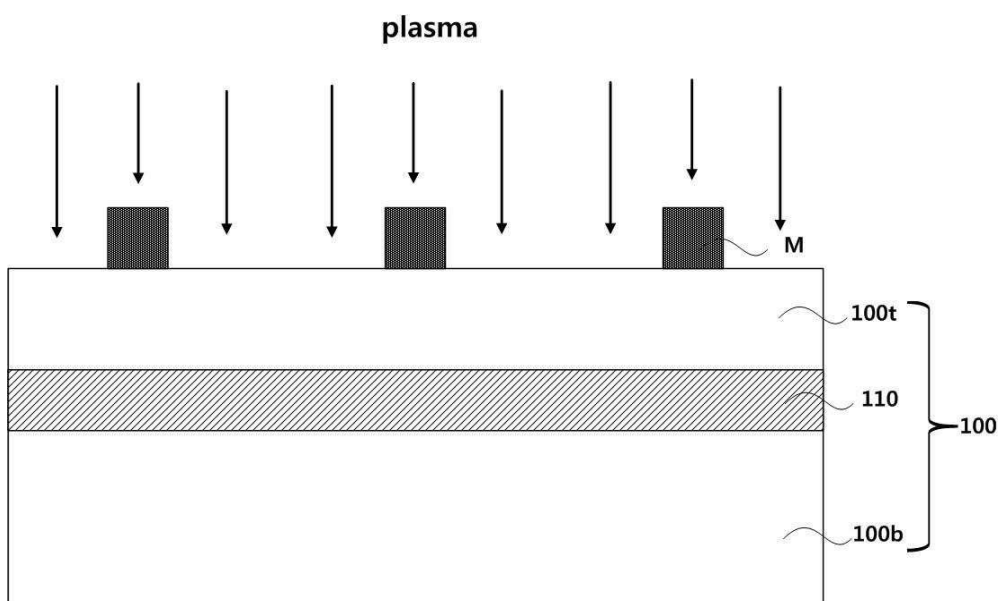
100: 기판	100b: 기저층
110t: 상층부	110: 희생층, 절연층
200: 스트레인 제공부	300: 층상 구조물
410: 제1 전극	420: 제2 전극
500: 이차원 물질	M: 스트레인 제공부 패턴 마스크
B: 브릿지	

도면

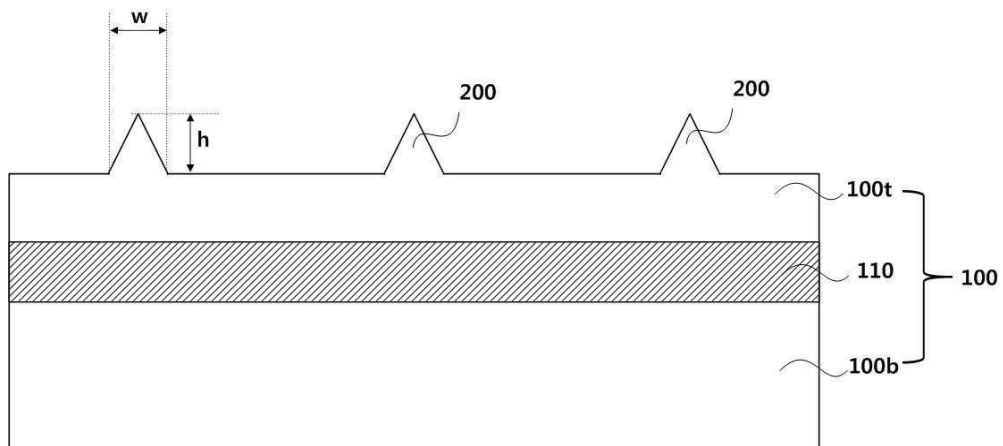
도면1



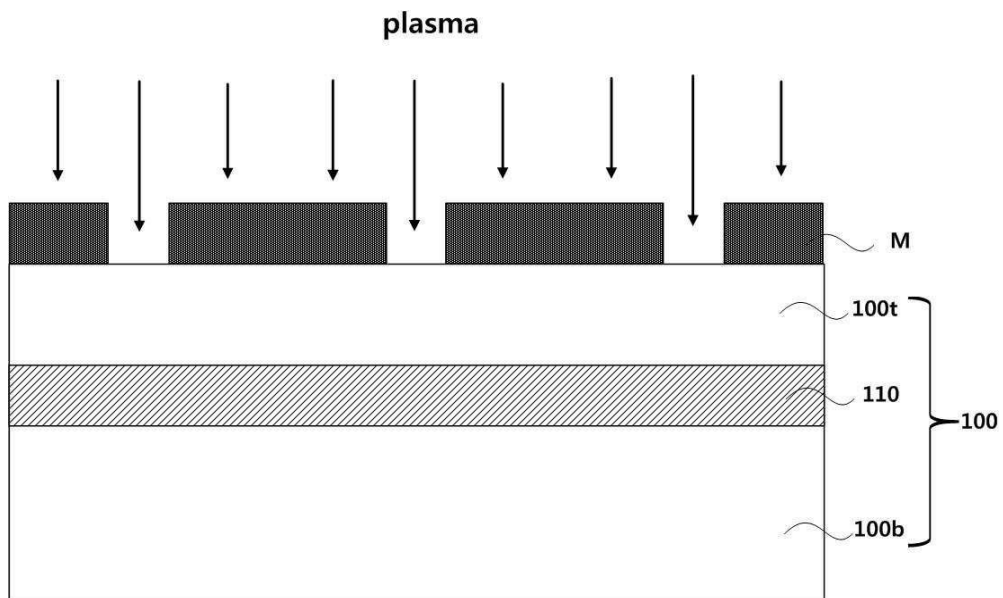
도면2



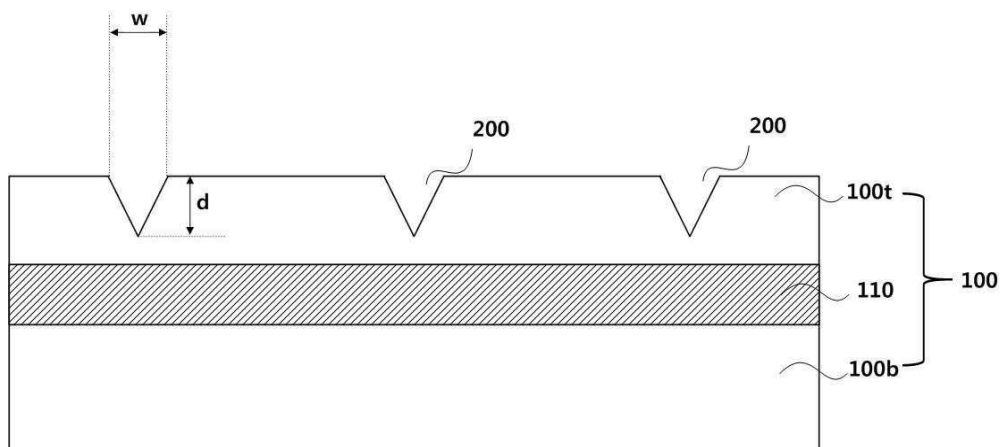
도면3



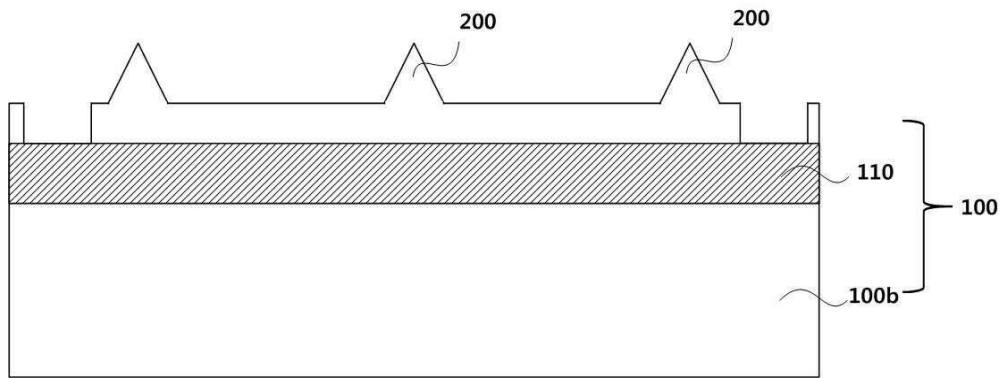
도면4



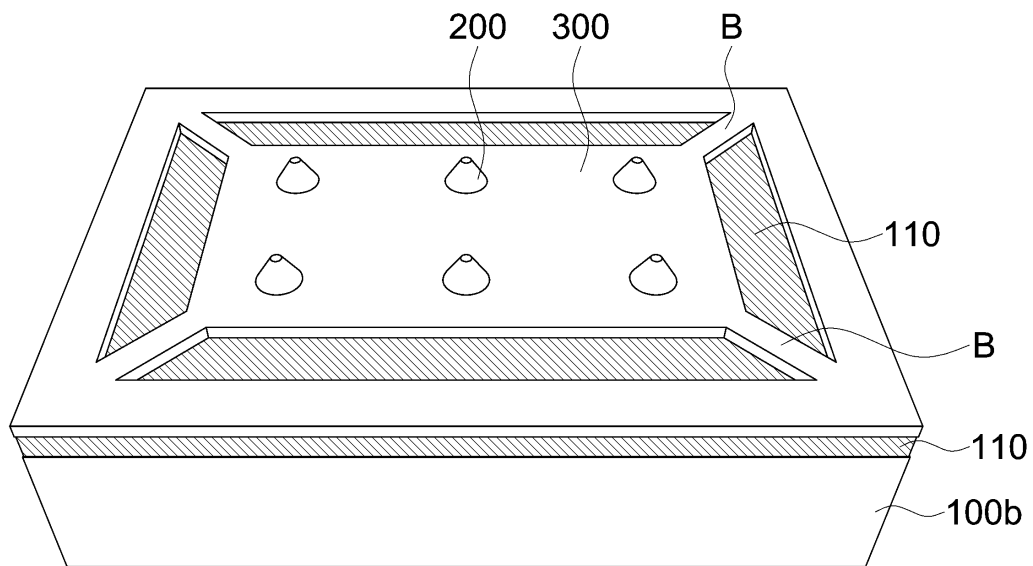
도면5



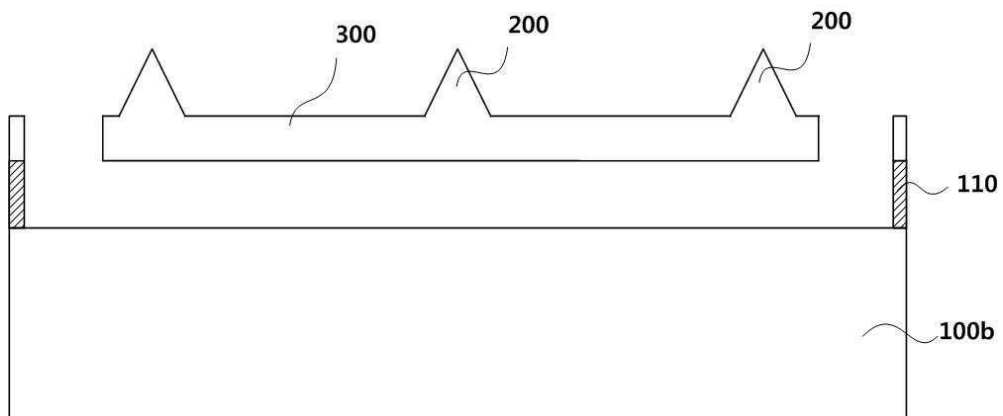
도면6



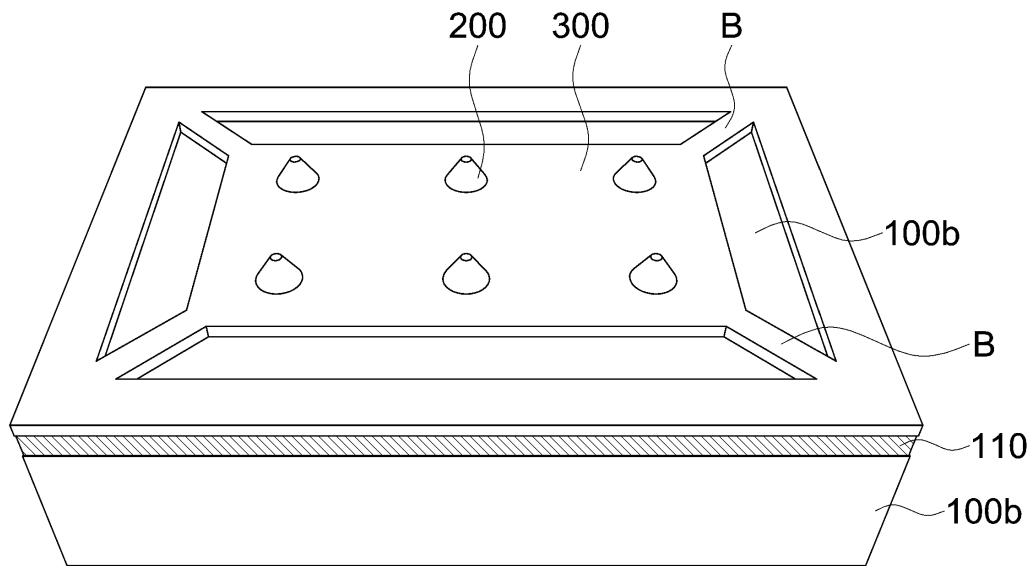
도면7



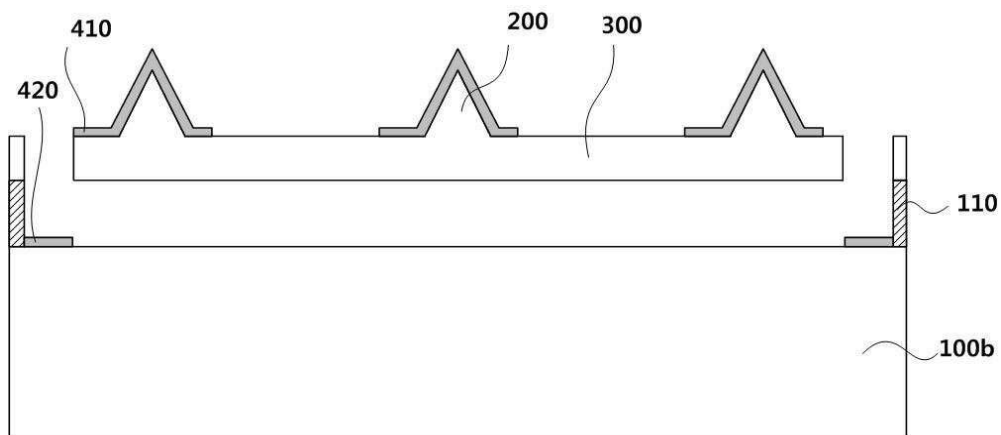
도면8



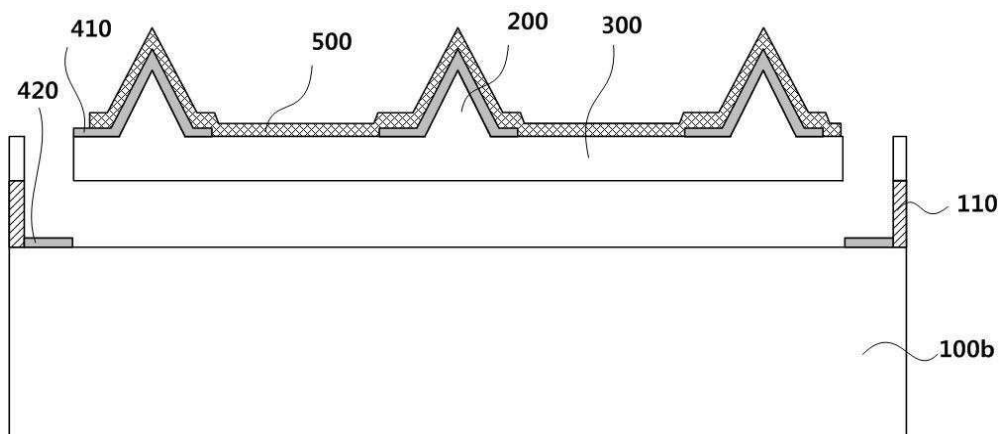
도면9



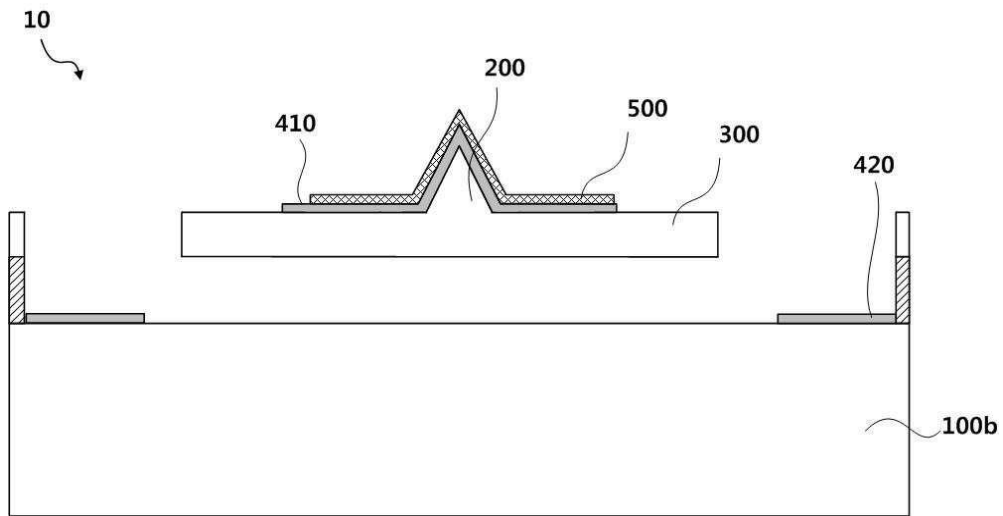
도면10



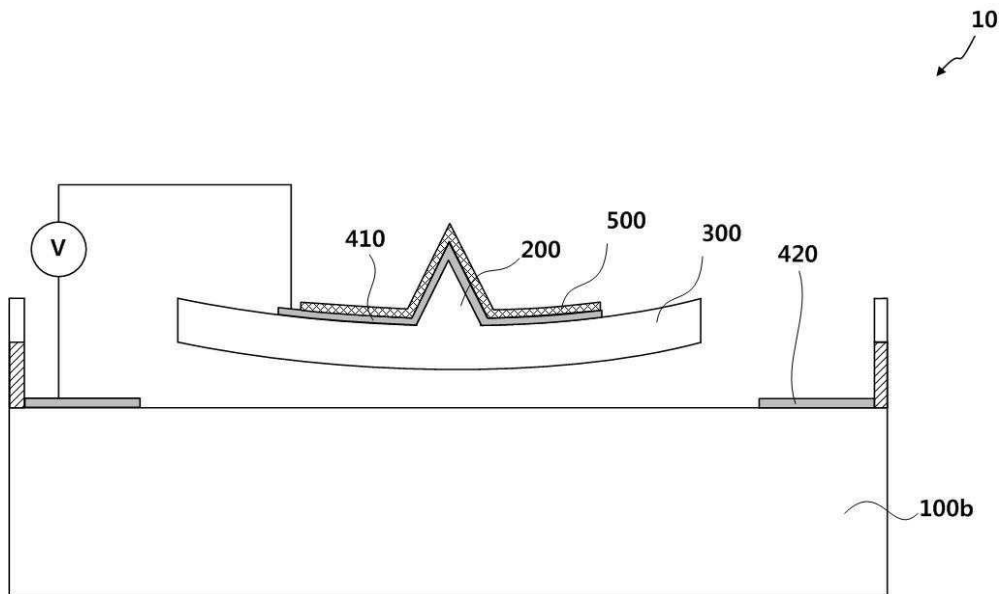
도면11



도면12



도면13



도면14

