



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월12일
(11) 등록번호 10-1907542
(24) 등록일자 2018년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/00 (2010.01) H01L 33/42 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/0075 (2013.01)
H01L 33/0008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0150633
(22) 출원일자 2017년11월13일
심사청구일자 2017년11월13일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110118956 A*
KR1020170055361 A*
KR101440232 B1
KR1020080074474 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
권민기
광주광역시 북구 첨단연신로 232-10
김자연
광주광역시 북구 첨단연신로 217, 첨단2지구충흥
에스-클래스 101-1303
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인지원

전체 청구항 수 : 총 10 항

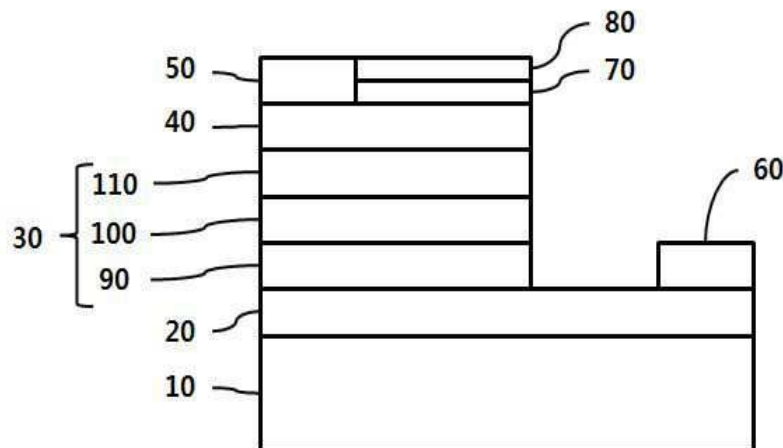
심사관 : 윤난영

(54) 발명의 명칭 질화물계 발광 다이오드

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드는, 기판 위에 형성된 n형 반도체층; 상기 n형 반도체층상의 일측에 형성된 활성층; 상기 n형 반도체층상의 타측에, 상기 활성층과 이격된 거리에 위치하도록 형성된 n형 전극; 상기 활성층 위에 형성된 p형 반도체층; 상기 p형 반도체층상의 일측에 형성된 p형 전극; 상기 p형 반도체층상에, 상기 p형 전극의 측면에 접하도록 형성된 투명전극층; 및 상기 투명전극층과 접촉되며, 상기 활성층과 소정의 거리 이내에 위치하도록 형성된 나노입자층을 포함하며, 상기 투명전극층은, 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance)이 발생하는 금속의 나노와이어들로 형성되고, 상기 나노입자층은, 표면 플라즈몬 공명이 발생하는 금속의 나노입자들로 형성된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 33/42 (2013.01)

(72) 발명자

조유현

전라남도 여수시 웅천로 291, 여수웅천부영3차아파트 302-1101

박현선

광주광역시 광산구 풍영로170번길 39-26, 성덕마을 대방노블랜드5차 506-1602

김민우

광주광역시 서구 화운로 23, 금호타운아파트 103-1014

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345261484

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기본연구-유형1(6년~8년)

연구과제명 가상현실 구현 디스플레이를 위한 초고속 초소형 LED 연구

기 여 율 1/2

주관기관 조선대학교

연구기간 2017.06.01 ~ 2018.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415152009

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 에너지인력양성사업

연구과제명 태양열 기반 계간축열 시스템 최적화 기술 고급트랙

기 여 율 1/2

주관기관 조선대학교 산학협력단

연구기간 2017.04.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

기판 위에 형성된 n형 반도체층;

상기 n형 반도체층상의 일측에 형성된 활성층;

상기 n형 반도체층상의 타측에, 상기 활성층과 이격된 거리에 위치하도록 형성된 n형 전극;

상기 활성층 위에 형성된 p형 반도체층;

상기 p형 반도체층상의 일측에 형성된 p형 전극;

상기 p형 반도체층상에, 상기 p형 전극의 측면에 접하도록 형성된 투명전극층; 및

상기 투명전극층과 접촉되며, 상기 활성층과 소정의 거리 이내에 위치하도록 형성된 나노입자층을 포함하며,

상기 투명전극층은, 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance)이 발생하는 금속의 나노와이어들로 형성되고, 일면이 상기 p형 반도체층에 접촉되는 동시에, 타면이 상기 p형 전극의 일면과 접하도록 형성되며,

상기 나노입자층은, 표면 플라즈몬 공명이 발생하는 금속의 나노입자들로 형성된,

질화물계 발광 다이오드.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 투명전극층은, 은, 알루미늄, 구리, 금, 크롬, 플래티넘, 니켈 및 이들의 합금 중 어느 하나의 금속의 나노와이어들을 포함하고,

상기 나노입자층은, 은, 알루미늄, 구리, 금, 크롬, 플래티넘, 니켈 및 이들의 합금 중 어느 하나의 금속의 나노입자들을 포함하는,

질화물계 발광 다이오드.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 나노입자층은,

상기 투명전극층상에 형성된,

질화물계 발광 다이오드.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 나노입자층은,

상기 p형 반도체층상에, 상기 투명전극층과 일면이 접하도록 형성되고,

상기 투명전극층 및 나노입자층 모두 상기 p형 전극의 측면에 접하도록 형성된,

질화물계 발광 다이오드.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 나노입자층은,
상기 p형 반도체층상에, 상기 투명전극층과 일면이 접하도록 형성되고,
상기 투명전극층만 상기 p형 전극의 측면에 접하도록 형성된,
질화물계 발광 다이오드.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 나노입자층은,
상기 p형 반도체층상에, 상기 투명전극층의 복수의 면과 접하도록 형성된,
질화물계 발광 다이오드.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 나노입자층은,
상기 투명전극층의 내부에 포함되어, 상기 나노입자층의 모든 면이 상기 투명전극층과 접하도록 형성된,
질화물계 발광 다이오드.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 투명전극층 및 나노입자층 중 적어도 하나는,
상기 활성층으로부터 20nm 이상 50nm 이하의 거리에 위치하도록 형성된,
질화물계 발광 다이오드.

청구항 9

삭제

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 투명전극층 표면에 형성된 부동화 피막층을 더 포함하는,
질화물계 발광 다이오드.

청구항 11

제10항에 있어서,
상기 부동화 피막층은,
절연 물질로 이루어진,
질화물계 발광 다이오드.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 질화물계 발광 다이오드에 관한 것으로, 구체적으로 금속 나노입자와 금속 나노와이어 투명전극을 이

용한 질화물계 발광 다이오드에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 발광 다이오드(Light Emitting Diode, LED)는 이종 반도체 내부의 전위차에 의해 전기 에너지를 광 에너지로 전환하여 빛을 방출하는 발광소자이다.
- [0003] 이러한 LED는 백열등, 형광등에 비해 전력소모가 적고, 수명이 길며, 다양한 모양으로 만들기 용이하여 디스플레이의 다양한 분야에서 사용되고 있다.
- [0004] 이러한 LED는 (특허문헌 1) KR10-1999-0000444 A에 개시되어 있다.
- [0005] 다만, 종래 기술에는 콘택 저항이 매우 낮은 발광 다이오드 소자 및 제조 방법에 대해서만 개시되어 있을 뿐, 발광 다이오드의 효율을 떨어뜨리는 비발광 재결합을 해결하기 위한 구성은 전혀 개시되어 있지 않다.
- [0006] 비발광 재결합 현상이란 LED에 사용된 칩의 결정결함으로 인하여 발열현상이 나타나는 것으로, LED 내에서 빛을 내는 재결합을 발광 재결합이라 하고, 빛 대신 다른 에너지를 방출하는 재결합을 비발광 재결합이라고 한다.
- [0007] 구체적으로, LED가 작동하기 위해 주입된 전류에 의하여 질화갈륨(GaN) 반도체 내에서 지속적으로 결함의 생성 및 소멸 과정이 일어나고, 이 과정에서 비발광 재결합이 일어나 LED의 효율을 떨어뜨리는 것이다.
- [0008] 따라서, LED의 효율을 저하시키는 비발광 재결합 현상을 해결함으로써, LED의 광 효율을 증가시키는 것이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) KR 10-1999-0000444 A

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위하여 발명된 것으로, 금속 나노입자와 금속 나노와이어 투명전극을 이용하여 LED의 비발광 재결합 확률을 줄임으로써, 광효율을 크게 증가시킨 질화물계 발광 다이오드를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 특히 LED 구조에서 일반적으로 사용하는 ITO(indium tin oxide) 등 산화물금속 대신 금속 나노와이어 및 금속 나노입자 구조를 활용함으로써, LED의 활성층과 금속 박막 표면에서 일어나는 전자의 집단적 진동 현상인 플라즈몬 공명을 일으킬 수 있는 구조를 도입하여, 비발광 재결합 현상은 억제하고 발광 재결합 현상을 극대화 할 수 있는 구조를 도입하는 것을 목적으로 한다. 특히 나노와이어이만 으로 이루어진 투명 전극 구조에서 와이어의 길이 방향으로 광손실이 발행하는 것을 억제하기 위해 나노와이어와 박막의 계면을 따라 전파되는 빛을 방출 할 수 있는 나노금속 입자를 추가하는 것을 특징으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 일 실시예에 다른 질화물계 발광 다이오드는, 기판 위에 형성된 n형 반도체층; 상기 n형 반도체층상의 일측에 형성된 활성층; 상기 n형 반도체층상의 타측에, 상기 활성층과 이격된 거리에 위치하도록 형성된 n형 전극; 상기 활성층 위에 형성된 p형 반도체층; 상기 p형 반도체층상의 일측에 형성된 p형 전극; 상기 p형 반도체층상에, 상기 p형 전극의 측면에 접하도록 형성된 투명전극층; 및 상기 투명전극층과 접촉되며, 상기 활성층과 소정의 거리 이내에 위치하도록 형성된 나노입자층을 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 투명전극층은, 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance)이 발생하는 금속의 나노와이어들로 형성되고, 상기 나노입자층은, 표면 플라즈몬 공명이 발생하는 금속의 나노입자들로 형성될 수 있다.
- [0014] 상기 투명전극층은, 은, 알루미늄, 구리, 금, 크롬, 플래티넘, 니켈 및 이들의 합금 중 어느 하나의 금속의 나노와이어들을 포함하고, 상기 나노입자층은, 은, 알루미늄, 구리, 금, 크롬, 플래티넘, 니켈 및 이들의 합금 중

어느 하나의 금속의 나노입자들을 포함할 수 있다.

- [0015] 상기 나노입자층은, 상기 투명전극층상에 형성될 수 있다.
- [0016] 상기 나노입자층은, 상기 p형 반도체층상에, 상기 투명전극층과 일면이 접하도록 형성되고, 상기 투명전극층 및 나노입자층 모두 상기 p형 전극의 측면에 접하도록 형성될 수 있다.
- [0017] 상기 나노입자층은, 상기 p형 반도체층상에, 상기 투명전극층과 일면이 접하도록 형성되고, 상기 투명전극층만 상기 p형 전극의 측면에 접하도록 형성될 수 있다.
- [0018] 상기 나노입자층은, 상기 p형 반도체층상에, 상기 투명전극층의 복수의 면과 접하도록 형성될 수 있다.
- [0019] 상기 나노입자층은, 상기 투명전극층의 내부에 포함되어, 상기 나노입자층의 모든 면이 상기 투명전극층과 접하도록 형성될 수 있다.
- [0020] 상기 투명전극층 및 나노입자층 중 적어도 하나는, 상기 활성층으로부터 20nm 이상 50nm 이하의 거리에 위치하도록 형성될 수 있다.
- [0021] 상기 투명전극층은, 일면이 상기 p형 반도체층에 접촉되는 동시에, 타면이 상기 p형 전극의 일면과 접하도록 형성될 수 있다.
- [0022] 상기 투명전극층 표면에 형성된 부동화 피막층을 더 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 부동화 피막층은 절연물질로 이루어질 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드에 따르면, 금속 나노와이어에 금속 나노입자 구조를 결합함으로써, 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance)을 통하여 LED의 비발광 재결합은 억제하고 발광 재결합 속도를 향상시킴으로써 광 효율을 증가시킨 효과가 있다.
- [0025] 또한, ITO가 가지는 UV영역에서 광흡수 감소, 화학적 불안정성, 가격 불변동성의 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다.
- [0026] 또한, 금속 나노와이어 단독 투명전극의 플라즈몬 공명 현상에 의해 활성층에서 전달된 에너지가 나노와이어 구조와 LED의 p형 박막의 표면을 따라 수평 전파하면서 길이 방향으로 흡수에 의해 빛이 감쇠되는 문제점이 있다. 이러한 것은 결국 광추출 효율의 저하의 원인이된다. 따라서 나노입자의 국부화된 표면 플라즈몬 방출 모드를 이용하여 나노와이어를 따라 빛의 감소 없이 산란 방출함으로써 해결하여, 광효율을 크게 증가 시킬 수 있는 효과가 있다.
- [0027] 또한, 금속층만을 활용함으로써 제작이 간단하다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부 도면은 본 발명에 대한 실시예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 특징을 설명한다.
- 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 단면도를 도시한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 단면도를 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 다양한 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 여러 측면도를 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 투명전극층 및 나노입자층을 촬영한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 나노입자의 밀도 및 나노입자층과 활성층의 거리에 따른 나노입자들의 공명 세기를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 광 추출(Light extraction) 특성을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 광 투과(Transmittance) 특성을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 광 방출 강도(Photoluminescence intensity)를 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드에 인가되는 전압에 따른 전류의 세기를 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드에 인가되는 전류에 따른 광 방출 세기(Optical Output Power)를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 명세서에서 '포함하다' 라는 표현으로 언급되는 구성요소, 특징, 및 단계는 해당 구성요소, 특징 및 단계가 존재함을 의미하며, 하나 이상의 다른 구성요소, 특징, 단계 및 이와 동등한 것을 배제하고자 함이 아니다.
- [0030] 본 명세서에서 단수형으로 특정되어 언급되지 아니하는 한, 복수의 형태를 포함한다. 즉, 본 명세서에서 언급된 구성요소 등은 하나 이상의 다른 구성요소 등의 존재나 추가를 의미할 수 있다.
- [0031] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함하여, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자(통상의 기술자)에 의하여 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미이다.
- [0032] 즉, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0033] 이하에서는, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드에 대해 상세하게 설명한다.
- [0034] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 단면도를 도시한 도면이다.
- [0035] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드는 기판(10), n형 반도체층(20), 활성층(30), p형 반도체층(40), p형 전극(50), n형 전극(60), 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)을 포함할 수 있다.
- [0036] 또한, 또한, 활성층(30)은 하부층(90), 발광 활성층(100) 및 상부층(110)을 포함할 수 있다.
- [0037] 기판(10)은 GaN, SiC, GaAs, Si, SnO 및 사파이어(Al_2O_3) 소재 중 어느 하나로 형성될 수 있다.
- [0038] n형 반도체층(20)은 기판(10) 위에 형성될 수 있으며, $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 조성식을 갖는 반도체 물질로 이루어질 수 있다. 여기서 x 및 y의 조성비는 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x+y \leq 1$ 의 값을 갖을 수 있다.
- [0039] n형 반도체층(20)에는 n형 도전형 불순물이 포함될 수 있으며, n형 도전형 불순물에는 Si, Ge, Sn 등이 사용될 수 있다.
- [0040] 활성층(30)은 n형 반도체층(20)의 일측에 형성될 수 있으며, n형 전극(60)과 이격된 거리에 위치할 수 있다.
- [0041] 하부층(90), 발광 활성층(100) 및 상부층(110)을 포함하는 활성층(30)은 단일 양자 우물 구조 또는 다중 양자 우물 구조로 형성될 수 있다.
- [0042] 활성층(30)은 In, Ga, Al의 성분을 조절함으로써 1.8eV의 밴드갭을 갖는 장파장부터 6.2eV의 밴드갭을 갖는 단파장의 발광 다이오드를 제작할 수 있다.
- [0043] 예를 들어, 적색 LED의 경우 AlGaInP 물질이 사용되고, 청색 LED의 경우 실리콘 카바이드(SiC)와 III족 질화물계 반도체, 특히 GaN이 사용될 수 있다.
- [0044] p형 반도체층(40)은 활성층(30)의 위에 형성될 수 있다.
- [0045] p형 반도체층(40)은 n형 반도체층(20)과 마찬가지로 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 조성식을 갖는 반도체 물질로 이루어질 수 있다.
- [0046] p형 반도체층(40)에는 p형 도전형 불순물이 포함될 수 있으며, p형 도전형 불순물로는 Mg, Zn, Be 등이 사용될 수 있다.
- [0047] p형 전극(50)은 p형 반도체층(40)의 일측에 형성될 수 있다.

- [0048] n형 전극(60)은 n형 반도체층(20)의 일측에 형성될 수 있으며, 활성층(30)과 이격된 거리에 위치될 수 있다.
- [0049] 투명전극층(70)은 p형 반도체층(40)의 일측에 형성될 수 있으며, p형 전극(50)에 투명전극층(70)의 일면이 접촉될 수 있다.
- [0050] 투명전극층(70)은 표면 플라즈마 공명(surface plasmon resonance)이 발생하는 금속의 나노와이어들을 포함할 수 있다.
- [0051] 예컨대, 투명전극층(70)은 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 금(Au), 플래티넘(Pt), 니켈(Ni) 및 이들의 합금 중 어느 하나의 금속 나노와이어를 포함할 수 있다.
- [0052] 금속 나노와이어는 봉 형상으로 형성된 구조로 형성될 수 있으며, 표면은 요철형태로 형성될 수 있다.
- [0053] 나노입자층(80)은 p형 반도체층(40)의 위에서 투명전극층(70)과 접촉되며, 활성층(30)으로부터 소정의 거리 이내에 위치하도록 형성될 수 있다.
- [0054] 나노입자층(80)은 표면 플라즈마 공명(surface plasmon resonance)이 발생하는 금속의 나노입자들을 포함할 수 있다.
- [0055] 예컨대, 나노입자층(80)은 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 금(Au), 크롬(Cr), 플래티넘(Pt), 니켈(Ni) 및 이들의 합금 중 어느 하나의 금속 나노입자들을 포함할 수 있다.
- [0056] 나노입자층(80)은 투명전극층(70)과 일면 또는 다면이 접촉되어 있을 수 있다. 또한, 나노입자층(80)이 투명전극층(70)의 내부에 포함되어 있을 수도 있다.
- [0057] 나노입자층(80)에 포함된 금속 나노입자는 특정 파장을 갖는 빛에 의해 표면 플라즈몬 공명을 유도하여 전기장을 형성할 수 있고, 이 전기장에 의하여 발광 다이오드의 발광 효율이 증가될 수 있다.
- [0058] 즉, 투명전극층(70)의 금속 나노와이어에서 발생하는 플라즈몬 공명 현상에 의해 활성층으로부터 전달된 에너지가 금속 나노와이어 구조 표면에 흡수되어 빛의 손실이 발생할 수 있는데, 이러한 현상을 나노입자층(80)의 나노입자들을 통해 광을 산란 방출함으로써 해결하여, 발광 효율을 크게 증가시킬 수 있다.
- [0059] 따라서, 투명전극층(70)의 금속 나노와이어와 나노입자층(80)의 나노입자의 거리가 가까워질수록 금속 나노와이어 구조 표면에 흡수되는 빛의 양이 줄고, 나노입자들을 통해 광의 산란 방출이 강하게 일어나므로, 발광 효율이 증가될 수 있다.
- [0060] 나노입자층(80)에 포함된 나노입자의 크기는 균일하지 않을 수 있다. 다만, 나노입자의 크기가 커질수록 표면 플라즈마 공명이 일어나는 영향권이 확장되어 발광 다이오드의 발광 효율이 증가될 수 있다.
- [0061] 또한, 나노입자의 밀도가 클수록 공명의 세기가 커지고, 나노입자층(80)과 활성층(30)의 거리가 가까울수록 공명의 세기가 커질 수 있다.
- [0062] 공명의 효율 측면에서, 투명입자층(70) 및 나노입자층(80)은 활성층(30)으로부터 20nm 이상 50nm 이하의 거리에 형성될 수 있다. 활성층(30)으로부터 투명입자층(70) 및 나노입자층(80)이 50nm 이하의 거리에 형성될 경우, 발광 다이오드의 자기장 세기가 50nm 이상의 거리에 형성될 경우보다 현저하게 증가할 수 있다.
- [0063] 또한, 질화물계 발광 다이오드는 투명전극층(70)의 표면에 형성되며, SiO₂, AlO₃ 등 절연 물질로 이루어진 부동화 피막층을 더 포함할 수 있다.
- [0064] 도 2는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 단면도를 도시한 도면이다.
- [0065] 도 2를 참조하면, 질화물계 발광 다이오드는 버퍼층(120), 질화갈륨층(130), n형 클래드층(140) 및 p형 클래드층(150)을 포함할 수 있다.
- [0066] 버퍼층(120)은 기판(10) 위에 형성될 수 있으며, GaN 또는 Ga를 함유한 질화물을 포함할 수 있다.
- [0067] 질화갈륨층(130)은 버퍼층(120) 및 n형 반도체층(20)의 사이에 형성될 수 있다. 질화갈륨층(130)은 도핑되지 않은 GaN으로 형성되어, 에피텍셜 성장에 도움을 주기 위하여 질화물계 발광 다이오드에 포함될 수 있다.
- [0068] n형 클래드층(140)은 n형 반도체층(20)과 활성층(30)의 사이에 형성될 수 있으며, n형 전극(60)과 이격된 거리에 위치될 수 있다.
- [0069] p형 클래드층(150)은 활성층(30)과 p형 반도체층(40)의 사이에 형성될 수 있다.

- [0070] n형 클래드층(140)은 n형 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x+y \leq 1$)을 포함할 수 있으며, p형 클래드층(150)은 p형 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x+y \leq 1$)을 포함할 수 있다.
- [0071] 버퍼층(120), 질화갈륨층(130), n형 클래드층(140) 및 p형 클래드층(150)은 제조하고자 하는 발광 다이오드의 특성 및 공정 조건에 따라 생략될 수 있다.
- [0072] 도 3은 본 발명의 다양한 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 여러 측면도를 도시한 도면이다.
- [0073] 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 질화물계 발광 다이오드는 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)의 위치에 따라 서 도 3a 내지 3e에 도시된 것과 같이 형성될 수 있다.
- [0074] 도 3a는 p형 반도체층(40)상에 투명전극층(70)이 형성되고, 투명전극층(70)상에 나노입자층(80)이 형성된 질화물계 발광 다이오드의 일 실시예를 나타낸다.
- [0075] 도 3b는 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)이 일면을 접하여, p형 반도체층(40)상에 형성되고, p형 전극(50)의 측면에 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)이 모두 접촉된 질화물계 발광 다이오드의 일 실시예를 나타낸다.
- [0076] 도 3c는 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)이 일면을 접하여, p형 반도체층(40)상에 형성되었지만, p형 전극(50)의 측면에는 투명전극층(70)만 접촉된 질화물계 발광 다이오드의 일 실시예를 나타낸다.
- [0077] 도 3d는 p형 반도체층(40)상의 일측에 투명전극층(70)이 위치하고, 투명전극층(70)을 둘러싸도록 나노입자층(80)이 형성된 질화물계 발광 다이오드의 일 실시예를 나타낸다.
- [0078] 즉, 나노입자층(80)은 p형 반도체층(40)상에 형성된 투명전극층(70)의 복수의 면과 접하도록 형성될 수 있다.
- [0079] 도 3e는 p형 반도체층(40)상에 투명전극층(70)이 형성되고, 투명전극층(70)의 내부에 나노입자층(80)이 형성된 질화물계 발광 다이오드의 일 실시예를 나타낸다.
- [0080] 다만, 본 발명에 따른 질화물계 발광 다이오드는 도 3에 도시된 형태에 국한되는 것은 아니다.
- [0081] 본 발명에 따른 질화물계 발광 다이오드의 다양한 실시예에서 공통점은 투명전극층(70)이 p형 반도체층(40) 및 p형 전극(50) 모두에 접촉되는 것이다.
- [0082] 또 다른 공통점은 나노입자층(80)이 투명전극층(70)과 적어도 일면이 접촉되어야 하며, 나노입자층(80)이 활성층(30)으로부터 20nm 이상 50nm 이하의 거리에 위치하는 것이다.
- [0083] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 투명전극층 및 나노입자층을 촬영한 도면이다.
- [0084] 도 4a는 은 나노와이어(401)를 도시한 도면이고, 도 4b는 은 나노와이어(401) 및 은 나노입자(403)를 도시한 도면이다.
- [0085] 도 4를 참조하면, 은 나노와이어(401)는 투명전극층(70)에 포함될 수 있으며, 봉 형상으로 형성될 수 있다.
- [0086] 은 나노입자(403)는 나노입자층(80)에 포함될 수 있으며, 은 나노입자(403)들의 모양 및 크기는 균일하지 않을 수 있다.
- [0087] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 나노입자의 밀도 및 나노입자층과 활성층의 거리에 따른 나노입자들의 공명 세기를 나타낸 도면이다.
- [0088] 도 5를 참조하면, 나노입자의 각 밀도에서, 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리에 기반하여 전기장의 세기(Ez intensity)를 측정함으로써, 나노입자들의 공명 세기를 비교할 수 있다.
- [0089] 나노입자의 밀도는 low(501), mid(503) 및 high(505)의 세 가지 밀도로 측정하였다.
- [0090] 또한, 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리는 20nm부터 70nm까지 10nm 단위로 전기장의 세기를 측정하였다.
- [0091] 나노입자들의 밀도와 전기장의 세기의 상관관계에 대해서 보면, 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리가 50nm를 초과하는 경우에는 큰 차이가 없었지만, 50nm 이하의 거리에서는 큰 차이를 보였다.
- [0092] 특히, 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리가 20nm일 때, high(505) 밀도에서의 전기장 세기는 0.7로서, low(501) 밀도에서의 전기장 세기인 0.1의 7배, mid(503) 밀도에서의 전기장 세기인 0.2의 3.5배로 측정되었다.
- [0093] 이를 통해서, 나노입자들의 밀도가 클수록 전기장의 세기가 크며, 이는 나노입자들의 밀도가 클수록 나노입자들

의 공명의 세기가 큰 것을 알 수 있다.

- [0094] 다음으로, high(505) 밀도를 통해서 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리와 전기장의 세기의 상관관계를 보면, 거리가 20nm 일 때는 0.7이지만, 거리가 증가함에 따라 전기장의 세기가 낮아지는 것을 알 수 있다.
- [0095] 구체적으로, 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리가 20nm일 때는 0.7, 30nm일 때는 0.6, 40nm일 때는 0.4, 50nm일 때는 0.1, 60nm일 때는 0.05로 낮아짐을 알 수 있다.
- [0096] 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리가 50nm 이하인 경우의 전기장 세기의 증감폭이, 50nm를 초과한 경우의 전기장 세기의 증감폭보다 현저하게 큰 것을 알 수 있다.
- [0097] 즉, 50nm 거리를 임계점으로 하여 50nm 이하의 거리에서는 전기장의 세기, 나노입자들의 공명의 세기가 현저하게 증가 또는 감소하는 것을 알 수 있다.
- [0098] 따라서, 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리가 50nm인 지점은 나노입자들의 공명의 세기에 있어서 임계적 의의가 있는 지점이므로, 본 발명의 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드는 나노입자층(80)과 활성층(30) 사이의 거리를 20nm 이상 50nm 이하로 형성하여, 나노입자들의 공명의 세기의 증가시킴으로써 광 효율을 높일 수 있다.
- [0099] 또한, 투명전극층(70)의 금속 나노와이어들과 나노입자층(80)의 나노입자들의 거리가 가까워질수록 광의 산란 방출이 강하게 일어나므로, 효율적인 발광을 위하여 투명전극층(70)도 나노입자층(80)과 마찬가지로 활성층(30)으로부터 20nm 이상 50nm 이하의 거리에 형성될 수 있다.
- [0100] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 광 추출(Light extraction) 특성을 나타낸 도면이다.
- [0101] 도 6a를 참조하면, 은 나노와이어 및 나노입자를 결합한 구조(601)는 은 나노와이어 구조(603)보다 광 추출 확률이 더 높은 것을 알 수 있다.
- [0102] 도 6b 및 6c를 참조하면, 은 나노와이어(AgNW)와 접촉한 은 나노입자(AgNP)에서 표면 플라즈마 공명이 일어나, 플라즈몬 누설 방사선(Plasmon-leakage radiation)이 방출되는 것을 알 수 있다.
- [0103] 즉, 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)에서 발생하는 표면 플라즈몬 공명에 의하여 광 추출 확률이 높아져서 비 발광 재결합 확률이 줄어들기 때문에, 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 광 효율이 크게 증가될 수 있다.
- [0104] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 광 투과(Transmittance) 특성을 나타낸 도면이다.
- [0105] 도 7을 참조하면, AgNW+AgNP(은 나노와이어에 나노입자를 결합한 구조)의 광 투과율은 약 340nm 파장 이후부터 ITO(Indium tin oxide, 인듐 주석 산화물) 200nm보다 높은 것을 알 수 있다.
- [0106] 즉, AgNW+AgNP는 약 340nm 내지 400nm의 자외선 대역 및 가시광선 대역에서 ITO보다 광 투과율이 높은 것을 알 수 있다.
- [0107] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드의 광 방출 강도(Photoluminescence intensity)를 나타낸 도면이다.
- [0108] 도 8을 참조하면, 가시광선 대역에서 AgNP+AgNW(은 나노와이어에 나노입자를 결합한 구조)의 광 방출 강도는 TCO(Transparent conductive oxide, 투명전도막)가 없는 구조와 AgNW(은 나노와이어 구조)의 광 방출 강도보다 높은 것을 알 수 있다.
- [0109] 도 7 및 8의 실험 결과를 종합하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)을 모두 포함하는 발광 다이오드는, ITO를 포함하는 발광 다이오드보다 자외선 및 가시광선 영역에서 광 투과율이 높을 수 있다.
- [0110] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)을 모두 포함하는 발광 다이오드는, 투명전극층(70)만을 포함하는 발광 다이오드, 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)을 모두 포함하지 않는 발광 다이오드보다 가시광선 영역에서 광 방출 강도가 높을 수 있다.
- [0111] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 발광 다이오드는 투명전극층(70) 및 나노입자층(80)을 모두 포함함으로써,

발광 다이오드의 광 효율을 증가시킬 수 있다.

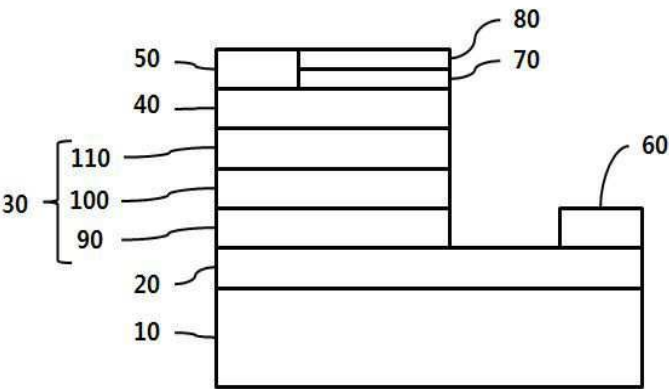
- [0112] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드에 인가되는 전압에 따른 전류의 세기를 나타낸 도면이다.
- [0113] 도 9를 참조하면, 질화물계 발광 다이오드에 동일한 전압을 인가하였을 때, AgNW(은 나노와이어 구조)와 AgNP+AgNW(은 나노와이어에 나노입자를 결합한 구조)는 인가되는 전압에 관계없이 비슷한 정도의 전류를 출력한다.
- [0114] 다만, w/o TCO(without TCO 구조)는 인가한 전압이 3V 이하인 경우에는, AgNW, AgNP+AgNW와 비슷한 정도의 전류를 출력하지만, 인가한 전압이 3V를 초과하는 경우에는 AgNW, AgNP+AgNW와 전류량이 급격하게 차이가 나는 것을 알 수 있다.
- [0115] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드에 인가되는 전류에 따른 광 방출 세기(Optical Output Power)를 나타낸 도면이다.
- [0116] 도 10을 참조하면, 질화물계 발광 다이오드에 동일한 전류를 인가하였을 때, w/o TCO, AgNW 및 AgNP+AgNW 구조에 따른 광 방출 세기를 비교할 수 있다.
- [0117] AgNW 구조는 발생하는 플라즈몬 공명 현상에 의해 활성층으로부터 전달된 에너지가 AgNW 구조 표면에 흡수되어 빛의 손실이 발생할 수 있는데, 이러한 현상을 AgNP를 통해 광을 산란 방출함으로써 해결할 수 있으므로, AgNP+AgNW 구조는 AgNW 구조에 비해 발광 효율이 크게 증가될 수 있다.
- [0118] 따라서, 전 구간에서 AgNP+AgNW 구조는 AgNW 구조보다 광 방출 세기가 크며, 이는 곧 발광 효율이 크게 증가된 것이라 볼 수 있다.
- [0119] 또한, w/o TCO 구조는 약 220mA 이후에서는 광 방출 세기가 급격하게 감소하여 약 225mA 이후에는 광 방출이 아주 미미하지만, AgNP+AgNW 및 AgNW 구조는 인가되는 전류에 비례하여 광 방출 세기가 계속해서 증가하는 것을 알 수 있다.
- [0120] 따라서, AgNP+AgNW 구조를 포함하는 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물계 발광 다이오드는 AgNW 구조의 발광 다이오드 및 w/o TCO 구조의 발광 다이오드에 비하여 인가되는 모든 전류량에 대해서 크게 증가된 발광 효율을 갖는다.
- [0121] 비록 본 명세서에서의 설명은 예시적인 몇 가지 양상으로 나타났지만, 다양한 수정이나 변경이 후술되는 특허청구범위에 의해 정의되는 범주로부터 이루어질 수 있으며, 본 발명의 기술적인 보호범위는 다음의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

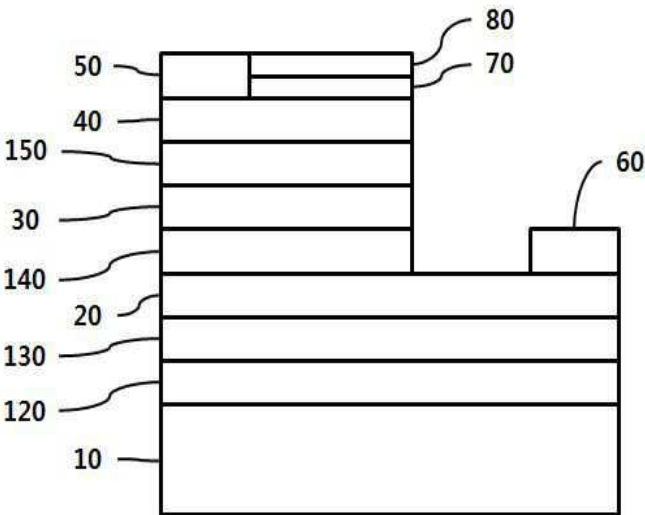
- [0122]
- | | |
|--------------|------------------------------|
| 10 : 기판 | 110 : 상부층 |
| 20 : n형 반도체층 | 120 : 버퍼층 |
| 30 : 활성층 | 130 : 질화갈륨층 |
| 40 : p형 반도체층 | 140 : n형 클래드층 |
| 50 : p형 전극 | 150 : p형 클래드층 |
| 60 : n형 전극 | 401 : 은 나노와이어 |
| 70 : 투명전극층 | 403 : 은 나노입자 |
| 80 : 나노입자층 | 601 : 은 나노와이어 및 나노입자를 결합한 구조 |
| 90 : 하부층 | 603 : 은 나노와이어 구조 |
| 100 : 발광활성층 | |

도면

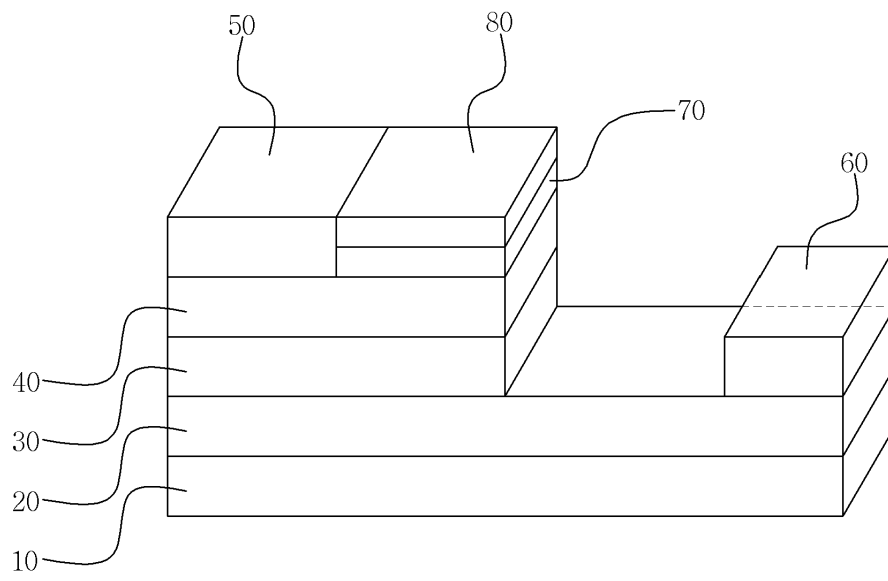
도면1



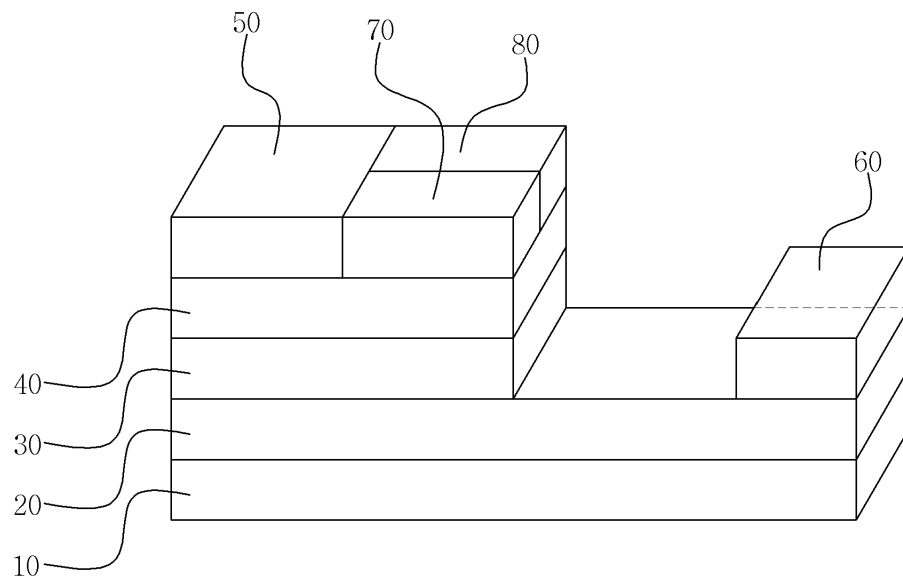
도면2



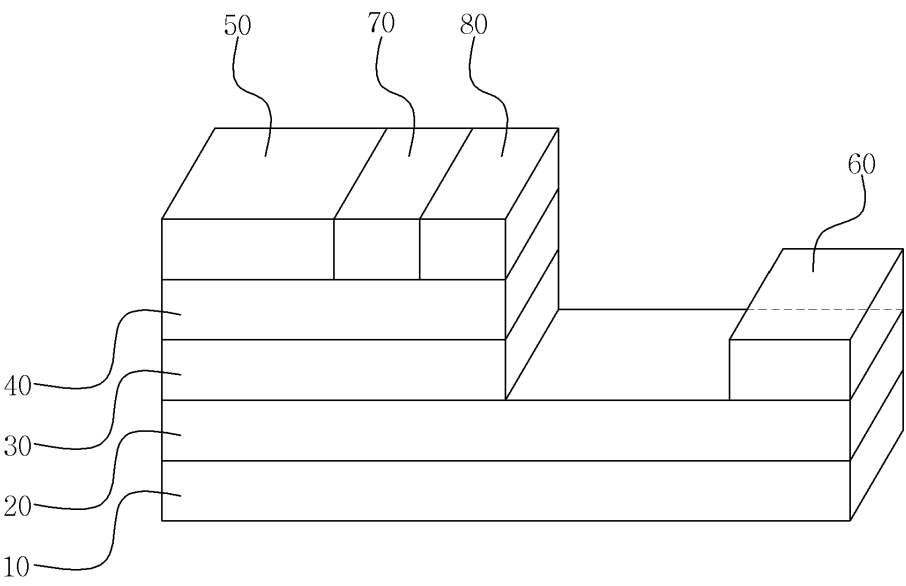
도면3a



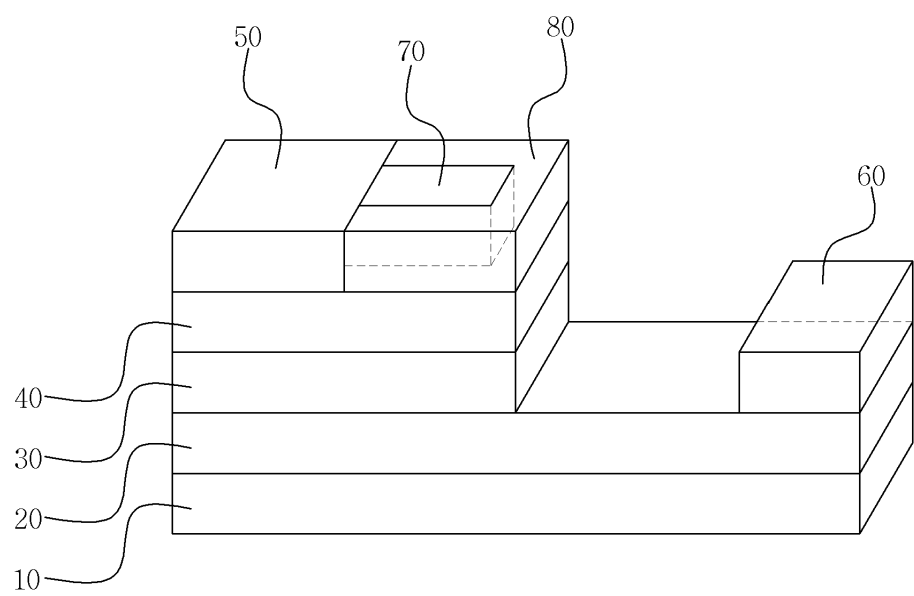
도면3b



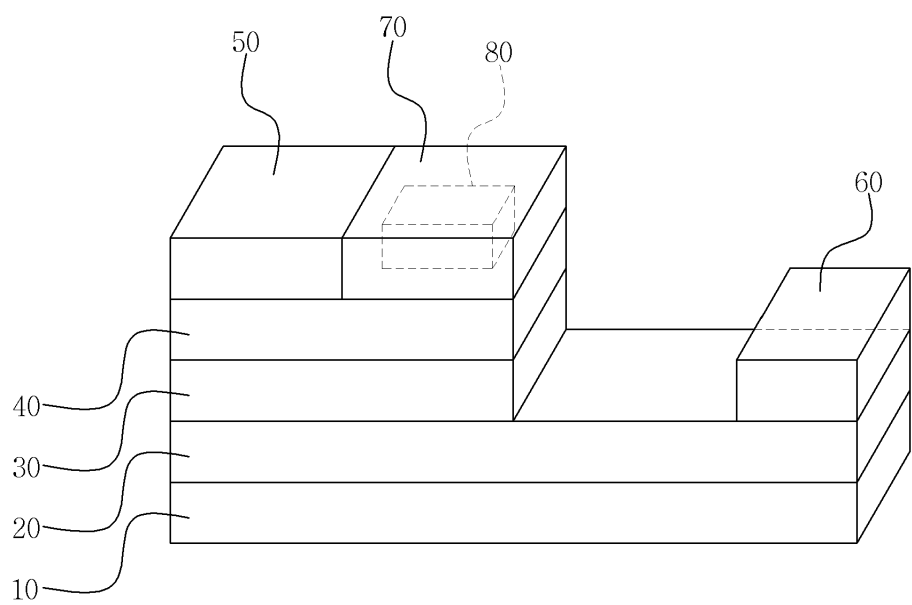
도면3c



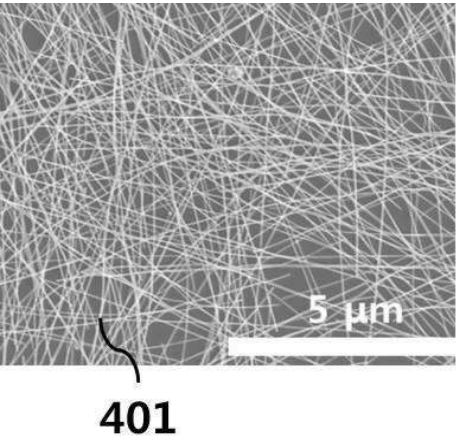
도면3d



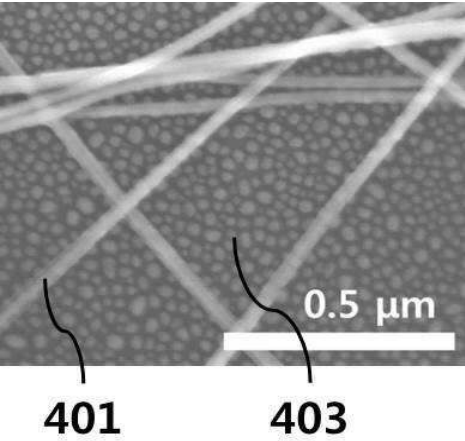
도면3e



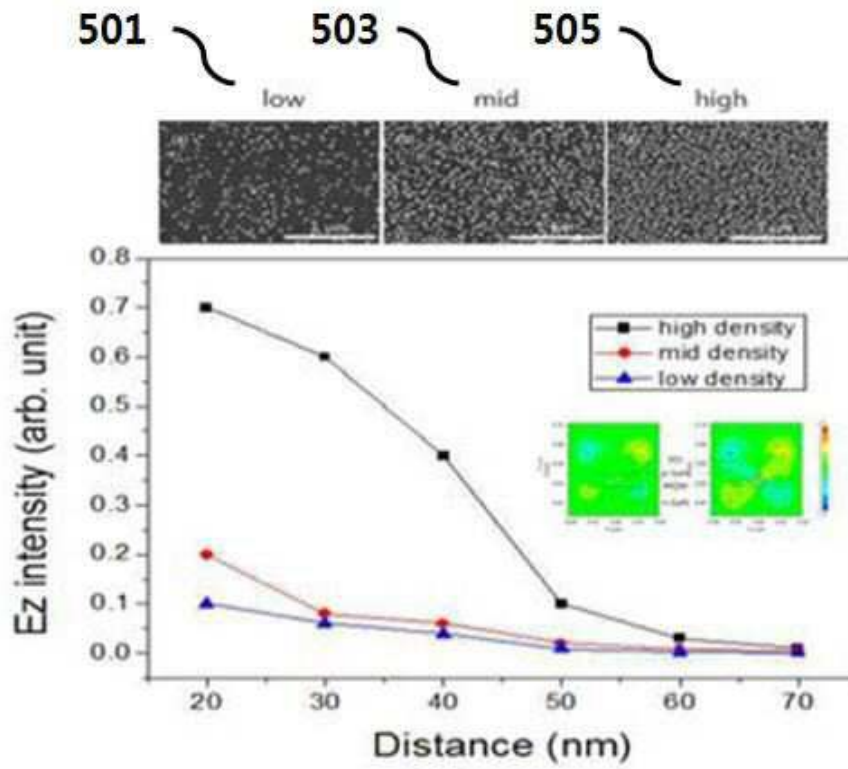
도면4a



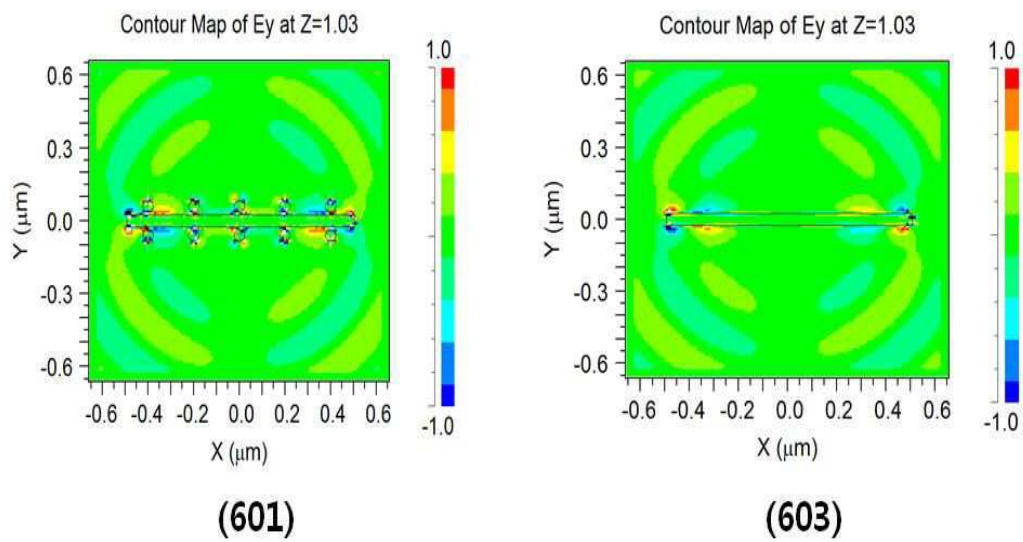
도면4b



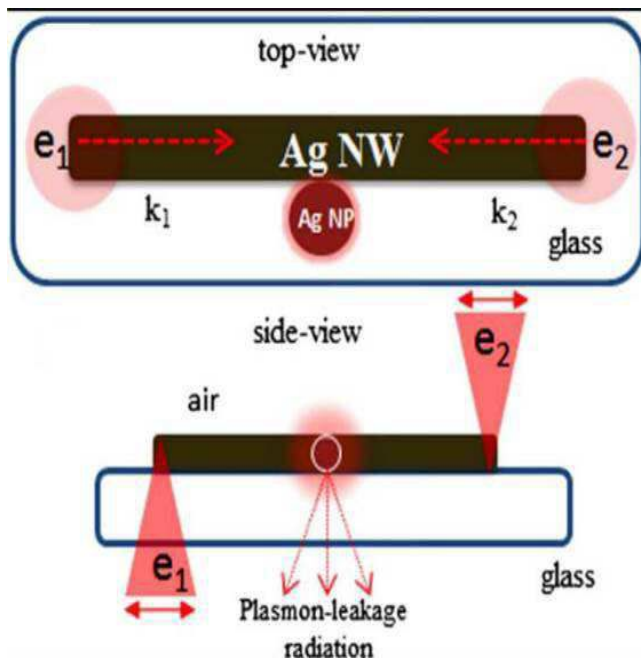
도면5



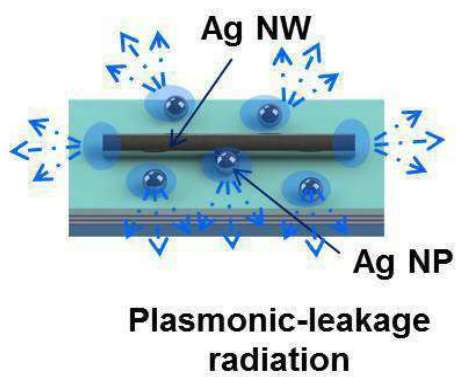
도면6a



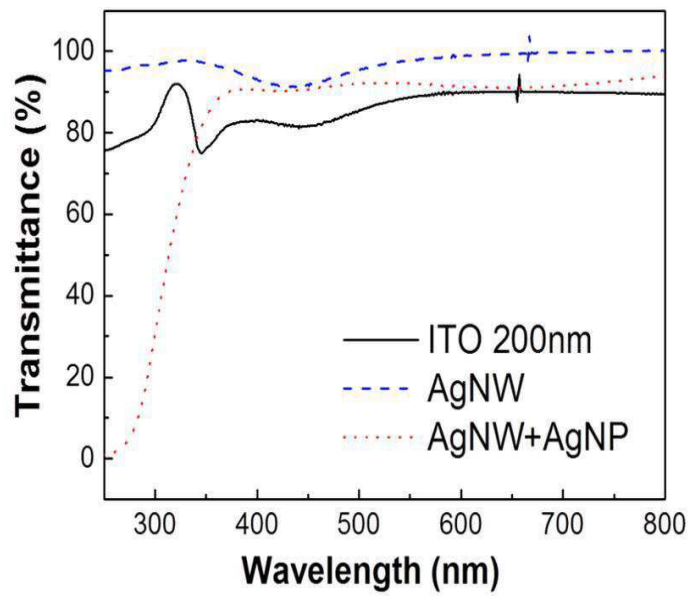
도면6b



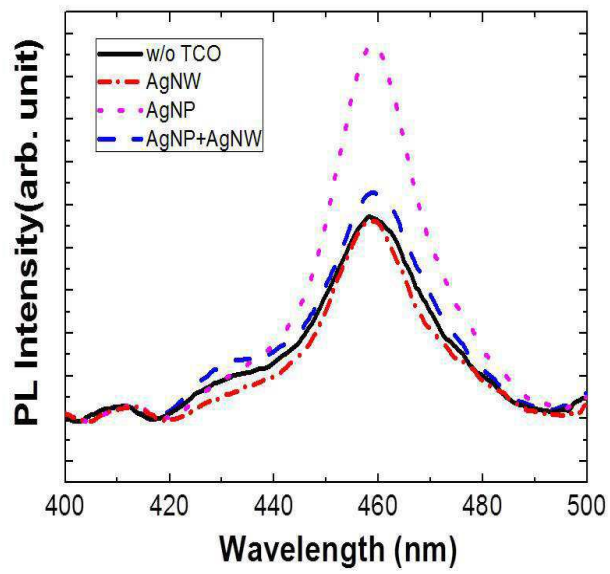
도면6c



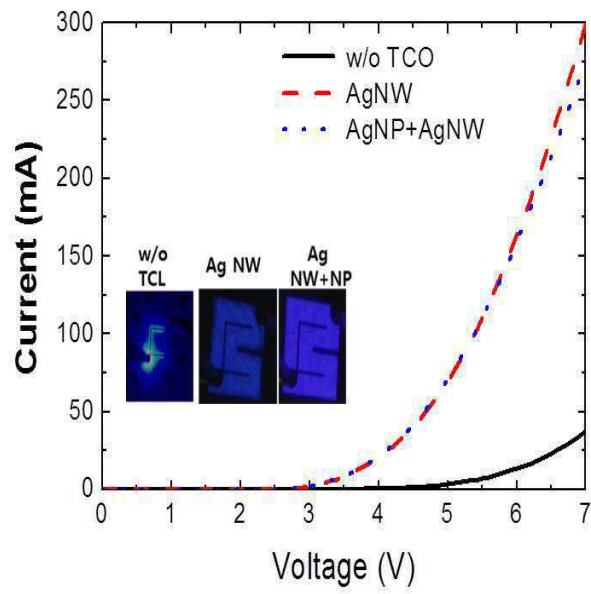
도면7



도면8



도면9



도면10

