(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년07월19일
(11) 등록번호 10-1755655
(24) 등록일자 2017년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/00 (2010.01) *H01L 33/02* (2010.01)
H01L 33/36 (2010.01) *H01L 33/40* (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/00 (2013.01)
H01L 33/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0055464
(22) 출원일자 2016년05월04일
심사청구일자 2016년05월04일
(56) 선행기술조사문헌
KR100593264 B1*
KR1020140102899 A*
KR1020040107700 A*
JP2002222991 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
홍영준
경기도 용인시 기흥구 언남로 29번길 40 101동 501호(용인구성효성빌라)
정준석
서울특별시 노원구 중계로 230 주공아파트 503동 906호
최지은
서울특별시 강남구 개포로25길 9-3 진양빌라 101호
(74) 대리인
이수열

전체 청구항 수 : 총 20 항 심사관 : 윤난영

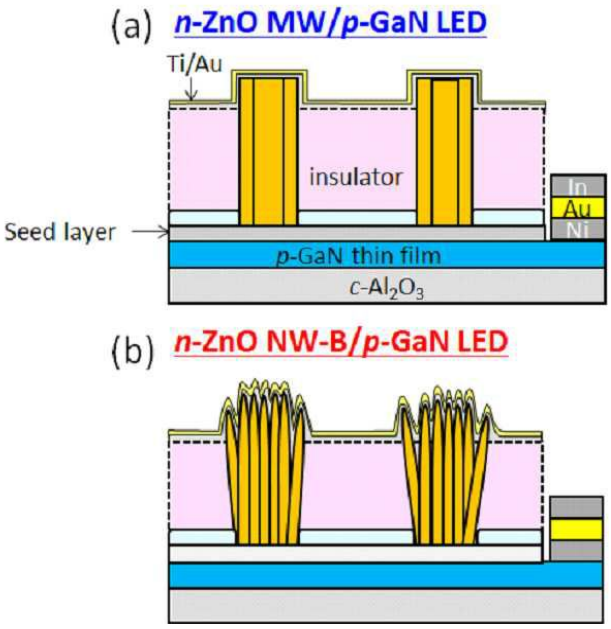
(54) 발명의 명칭 **발광 소자 및 그의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 기판; 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 제1 전극; 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층; 기판 상에 형성되고, 관통 구멍 안에 위치하는 금속산화물 시드층; 금속산화물 시드층 상에 형성된 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어; 마스크층 상에 형성되고, 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



연체; 및 금속산화물 와이어의 끝단 상에 형성된 단수 또는 다수의 제2 전극;을 포함하는 발광 소자에 관한 것이다. 본 발명의 발광 소자는 금속산화물 와이어와 기판의 이종 접합의 면적 크기를 조절하여 백색광의 따뜻한 백색과 차가운 백색의 정도를 조절할 수 있고, 백색광의 재현 범위가 넓어 사용자의 색상 만족도가 우수하다. 또한, 본 발명의 발광 소자의 제조방법은 마스크층을 이용하여 금속산화물 와이어와 기판의 이종 접합의 면적 크기를 조절할 수 있고, 금속산화물 시드층의 열처리 온도를 조절하여 금속산화물 와이어의 구조를 선택할 수 있다.

(52) CPC특허분류
H01L 33/02 (2013.01)
H01L 33/36 (2013.01)
H01L 33/40 (2013.01)
H01L 2924/12041 (2013.01)
H01L 2933/0016 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2013R1A1A2058744
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 이공학개인기초연구지원
연구과제명 반 데르 발스 에피텍시에 의한 3차원 반도체 나노아키텍쳐 제조와 이의 플렉서블 디바이스 응용
기 여 율 60/100
주관기관 세종대학교
연구기간 2015.11.01 ~ 2016.10.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 10052928
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 전자정보디바이스산업원천기술개발
연구과제명 SixGe1-x 및 III-V 선택에피성장장비 기반기술 연구
기 여 율 40/100
주관기관 세종대학교산학협력단
연구기간 2015.06.01 ~ 2016.05.31
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 제1 전극;

상기 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층;

상기 기판 상에 형성되고, 상기 관통 구멍 안에 위치하는 금속산화물 시드층;

상기 금속산화물 시드층 상에 형성된 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어;

상기 마스크층 상에 형성되고, 상기 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절연체; 및

상기 금속산화물 와이어의 끝단 상에 형성된 단수 또는 다수의 제2 전극;을 포함하고,

상기 금속산화물 와이어가 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들(bundle)을 포함하고, 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 상기 금속산화물 나노와이어 번들이 랜덤 또는 교대로 위치하고,

상기 금속산화물 와이어와 상기 기판과의 이종접합 면적 크기를 조절함에 따라 발광색이 변화하는 것인 발광 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 전극, 상기 관통 구멍, 상기 금속산화물 와이어, 및 상기 제2 전극이 다수인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

기판;

상기 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 제1 전극;

상기 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층;

상기 기판 상에 형성되고, 상기 관통 구멍 안에 위치하는 금속산화물 시드층;

상기 금속산화물 시드층 상에 형성된 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어;

상기 마스크층 상에 형성되고, 상기 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절연체; 및

상기 금속산화물 와이어의 끝단 상에 형성된 단수 또는 다수의 제2 전극; 을 포함하고,

상기 금속산화물 와이어가 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들(bundle)을 포함하고, 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 상기 금속산화물 나노와이어 번들이 랜덤 또는 교대로 위치하고,

상기 금속산화물 마이크로와이어와 상기 금속산화물 나노와이어 번들에 인가된 역전압 비율에 따라 온백색 또는 냉백색으로 발광하는 것인 발광 소자.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 금속산화물 마이크로와이어가 420 내지 490 nm 파장의 빛을 발광하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 금속산화물 나노와이어 번들이 520 내지 600 nm 파장의 빛을 발광하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 금속산화물 마이크로와이어의 직경이 0.5 내지 10 ㎛, 길이가 0.2 내지 20 ㎛인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 금속산화물 나노와이어 번들에 포함된 금속산화물 나노와이어의 직경이 10 내지 200 nm, 길이가 0.2 내지 20 ㎛인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 금속산화물 나노와이어 번들이 상기 금속산화물 나노와이어 5 내지 5,000개를 포함하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 제2 전극이 단층 또는 다층으로 구성된 일체형이거나, 또는 하나의 기판상에 상기 금속산화물 마이크로와이어를 전기적으로 연결시키는 전극과 상기 금속산화물 나노와이어 번들을 전기적으로 연결시키는 전극이 분리되어 구성된 분리형인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 금속산화물이 ZnO, ZnMgO, ZnCdO, GZO(Ga-doped ZnO), IZO(In-doped ZnO) 및 AZO(Al-doped ZnO) 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 관통 구멍의 직경이 0.3 내지 10 ㎛인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 관통 구멍 사이의 간격이 2 내지 20 ㎛인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 기판이 GaN, InGaN, AlGaN, InAlN 및 InAlGaN 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 제1 전극이 인듐, 금, 니켈, 팔라듐, 백금 및 알루미늄 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 제2 전극이 티타늄, 금, 백금, 및 알루미늄 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 19

제1항에 있어서,

상기 마스크층이 폴리메타크릴산메틸(PMMA, polymethyl methacrylate), 스핀 온 글래스(SOG, spin on glass), 스핀 온 인슐레이터(SOI, Spin on insulator), 폴리이미이드(polyimide) 및 폴리디메틸실록산(PDMS, Polydimethylsiloxane) 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

청구항 20

(a) 기판 상에 단수 또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층을 형성하는 단계;

(b) 상기 관통 구멍 안에 금속산화물 시드층을 형성하는 단계;

(c) 상기 금속산화물 시드층 상에 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어를 형성하는 단계;

(d) 상기 마스크층 상에 상기 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절연체를 형성하는 단계;

(e) 상기 기판 상에 단수 또는 다수의 제1 전극을 형성하는 단계; 및

(f) 상기 금속산화물 와이어의 끝단 상에 단수 또는 다수의 제2 전극을 형성하는 단계; 를 포함하는 발광 소자의 제조방법이고,

상기 발광소자는 제1항에 따른 발광소자인 것인 발광 소자의 제조방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 금속산화물 와이어가 상기 금속산화물 시드층의 열처리 온도에 따라 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들 중 어느 하나로 결정되는 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 열처리 온도가 250 초과 내지 800℃일 때, 상기 금속산화물 시드층 상에 상기 금속산화물 마이크로와이어가 형성되는 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조방법.

청구항 23

제21항에 있어서,

상기 열처리 온도가 100 내지 250℃일 때, 상기 금속산화물 시드층 상에 금속산화물 나노와이어 번들이 형성되는 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 발광 소자 및 그의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 금속산화물 와이어와 기판의 이종 접합의 면적 크기를 조절하여 발광 색을 조절할 수 있는 발광 소자 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 발광다이오드(LED, Light-emitting diode)는 화합물 반도체 단자에 전류를 흘려서 p-n접합 부근 혹은 활성층에서 전자와 홀의 결합에 의해 빛을 방출하는 소자를 의미한다.

[0003] 이러한, 발광다이오드는 저전력 소모와 반영구적인 장수명, 빠른 응답속도, 무수은 친환경성 등의 장점으로 각종 전자기기와 자동차 등의 표시판에 주로 활용되었으나, RGB 및 백색 LED의 개발을 통해 기존 광원 시장으로 영역이 확장되고 있는 추세이다.

[0004] 한편, LED를 조명용 광원으로 사용하기 위해서는 백색광을 얻어야 하는데, 이를 위해 다양한 백색광 발광장치가 개발되고 있다.

[0005] 먼저, 적색, 녹색, 청색을 내는 각각의 발광다이오드의 광도를 조합하여 백색을 구현하는 발광장치가 있다. 여기서, 상기 발광장치는 적, 녹, 청색의 3가지 발광다이오드를 근접 설치하여 발광시킴에 따라 혼색을 통해 백색빛을 발광할 수 있다.

[0006] 그러나, 각 발광다이오드의 전기적 특성 차이로 인해 색조나 휘도 등이 변화되어 원하는 계열의 백색을 발생시키기 어려웠다. 다시 말해, 각각 다른 재료 형성된 각 발광다이오드는 구동전력 등이 달라 서로 다른 전압을 인가해야하므로 구동회로가 복잡해지고, 사용환경에 따라 색조가 변화되거나 균일한 혼색이 이루어지지 못하며 가격이 비싼 문제점이 있었다.

[0007] 또한, 자외선 발광다이오드를 광원으로 이용하여 삼원색 형광체를 여기시키는 방법으로, InGaN 계열의 발광다이오드에 적, 청, 녹색 형광체를 이용하여 백색광을 구현하였지만, 적절한 형광체가 개발되지 못하고 있다.

[0008] 마지막으로, 발광다이오드에서 발생되는 빛을 흡수하여 흡수된 빛과 파장이 다른 빛을 방출시키는 형광체를 통해 원하는 혼색을 구현하는 방법으로, 청색의 발광다이오드와 발광된 일부 청색광을 흡수하여 황색광을 방출하는 형광체를 통해 발광된 청색과 황색광을 혼색하여 백색광을 방출하는 발광장치가 있다.

[0009] 그러나, 종래의 발광장치는 주로 450~470nm 파장대의 청색광원의 상부에 YAG:Ce 황색 형광체를 배치하여 청색광 일부와 형광체의 여기시 발광된 황색광을 혼색하여 백색을 방출하였는데, 백색광을 얻는데 적합한 형광체가 한정되어 있었다. 또한, 이러한 형광체가 높은 가격대를 형성하고 있으며, 광원으로 적합한 밝기와 미관을 제공하는 백색을 구현하기 위해서는 형광체가 두껍게 도포되어야 하므로 제조 원가가 상승하여 비경제적인 문제점이 있었다. 그리고, 발광다이오드 상에 형광체를 도포하는 과정에서 정밀한 작업이 요구되므로 생산공정이 복잡하여 생산비용이 증가되는 문제점이 있었다. 더욱이, 형광체 자체에 황색의 강한 채색이 있어 청색 발광의 일부를 백색으로 흡수하였으며, 형광체와 다이오드와의 혼색을 통해 발광되는 발광색조가 한정되고 백색광의 재현 범위가 좁아 사용자의 색상 만족도가 감소되는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로 금속산화물 와이어와 기판의 이종 접합의 면적 크기를 조절하여 백색광의 따뜻한 백색과 차가운 백색의 정도를 조절할 수 있고, 백색광의 재현 범위가 넓어 사용자의 색상 만족도가 우수한 발광 소자를 제공하는 데 있다.

[0011] 또한, 마스크층을 이용하여 금속산화물 와이어와 기판의 이종 접합의 면적 크기를 조절할 수 있고, 금속산화물 시드층의 열처리 온도를 조절하여 금속산화물 와이어의 구조를 선택할 수 있는 발광 소자의 제조방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 측면에 따르면,

[0013] 기판; 상기 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 제1 전극; 상기 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층; 상기 기판 상에 형성되고, 상기 관통 구멍 안에 위치하는 금속산화물 시드층; 상기 금속산화물 시드층 상에 형성된 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어; 상기 마스크층 상에 형성되고, 상기 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절연체; 및 상기 금속산화물 와이어의 끝단 상에 형성된 단수 또는 다수의 제2 전극;을 포함하는 발광 소자가 제공된다.

[0014] 상기 제1 전극, 상기 관통 구멍, 상기 금속산화물 와이어, 및 상기 제2 전극이 다수일 수 있다.

[0015] 상기 금속산화물 와이어가 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들(bundle) 중에서 선택된 1종 이상일 수 있다.

[0016] 상기 금속산화물 와이어가 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들(bundle)을 포함하고, 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 상기 금속산화물 나노와이어 번들이 랜덤 또는 교대로 위치할 수 있다.

[0017] 상기 발광 소자가 상기 금속산화물 와이어와 상기 기판과의 이종접합 면적 크기를 조절함에 따라 발광색이 변화할 수 있다.

[0018] 상기 발광 소자가 상기 금속산화물 마이크로와이어와 상기 금속산화물 나노와이어 번들에 인가된 역전압 비율에 따라 온백색 또는 냉백색으로 발광할 수 있다.

[0019] 상기 금속산화물 마이크로와이어가 420 내지 490 nm 파장의 빛을 발광할 수 있다.

[0020] 상기 금속산화물 나노와이어 번들이 520 내지 600 nm 파장의 빛을 발광할 수 있다.

[0021] 상기 금속산화물 마이크로와이어의 직경이 0.5 내지 10 ㎛, 길이가 0.2 내지 20 ㎛일 수 있다.

[0022] 상기 금속산화물 나노와이어 번들에 포함된 금속산화물 나노와이어의 직경이 10 내지 200 nm, 길이가 0.2 내지 20 ㎛일 수 있다.

[0023] 상기 금속산화물 나노와이어 번들이 상기 금속산화물 나노와이어 5 내지 5,000개를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 제2 전극이 단층 또는 다층으로 구성된 일체형이거나, 또는 상기 금속산화물 마이크로와이어를 전기적으로 연결시키는 전극과 상기 금속산화물 나노와이어 번들을 전기적으로 연결시키는 전극으로 분리되어 구성된 분리형일 수 있다.

[0025] 상기 금속산화물이 ZnO, ZnMgO, ZnCdO, GZO(Ga-doped ZnO), IZO(In-doped ZnO) 및 AZO(Al-doped ZnO) 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0026] 상기 관통 구멍의 직경이 0.3 내지 10 ㎛일 수 있다.

[0027] 상기 관통 구멍 사이의 간격이 2 내지 10 ㎛일 수 있다.

[0028] 상기 기판이 GaN, InGaN, AlGaN, InAlN 및 InAlGaN 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0029] 상기 제1 전극이 인듐, 금, 니켈, 팔라듐, 백금 및 알루미늄 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0030] 상기 제2 전극이 티타늄, 금, 백금, 및 알루미늄 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0031] 상기 마스크층이 폴리메타크릴산메틸(PMMA, polymethyl methacrylate), 스핀 온 글래스(SOG, spin on glass), 스핀 온 인슐레이터(SOI, Spin on insulator), 폴리이미이드(polyimide) 및 폴리디메틸실록산(PDMS, Polydimethylsiloxane) 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0032] 본 발명의 다른 하나의 측면에 따르면,

[0033] (a) 기판 상에 단수 또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층을 형성하는 단계; (b) 상기 관통 구멍 안에 금속산화물 시드층을 형성하는 단계; (c) 상기 금속산화물 시드층 상에 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어를 형성하는 단계; (d) 상기 마스크층 상에 상기 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절연체를 형성하는 단계; (e) 상기 기판 상에 단수 또는 다수의 제1 전극을 형성하는 단계; 및 (f) 상기 금속산화물 와이어의 끝단 상에 단수 또는 다수의 제2 전극을 형성하는 단계;를 포함하는 발광 소자의 제조방법이 제공된다.

[0034] 상기 금속산화물 와이어가 상기 금속산화물 시드층의 열처리 온도에 따라 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들 중 어느 하나로 결정될 수 있다.

[0035] 상기 열처리 온도가 250 초과 내지 800℃일 때, 상기 금속산화물 시드층 상에 상기 금속산화물 마이크로와이어가 형성될 수 있다.

[0036] 상기 열처리 온도가 100 내지 250℃일 때, 상기 금속산화물 시드층 상에 금속산화물 나노와이어 번들이 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0037] 본 발명의 발광 소자는 금속산화물 와이어와 기판의 이종 접합의 면적 크기를 조절하여 백색광의 따뜻한 백색과 차가운 백색의 정도를 조절할 수 있고, 백색광의 재현 범위가 넓어 사용자의 색상 만족도가 우수하다.

[0038] 또한, 본 발명의 발광 소자의 제조방법은 마스크층을 이용하여 금속산화물 와이어와 기판의 이종 접합의 면적 크기를 조절할 수 있고, 금속산화물 시드층의 열처리 온도를 조절하여 금속산화물 와이어의 구조를 선택할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 본 발명의 발광 소자의 실시예들을 나타낸 것이다.

도 2는 본 발명의 발광 소자의 실시예들을 나타낸 것이다.

도 3은 본 발명의 발광 소자의 역전압 인가 조건에서의 밴드 다이어그램을 나타낸 것이다.

도 4는 본 발명의 발광 소자 내부에서 발생하는 전하 이동을 나타내는 개략도이다.

도 5는 본 발명의 발광 소자의 제조방법과 제조된 발광 소자의 상면도를 나타낸 것이다.

도 6은 제조예 1 및 2에 따라 제조된 ZnO 와이어가 형성된 필름의 주사전자현미경 측정 결과이다.

도 7은 제조예 1 및 2에 따라 제조된 ZnO 와이어가 형성된 필름의 X선 회절 측정 결과이다.

도 8은 실시예 1 및 2에 따라 제조된 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류값 변화를 측정한 결과이다.

도 9는 실시예 1 및 2에 따라 제조된 발광 소자의 전압 상승에 따른 전계 발광 파장을 측정한 결과이다.

도 10은 제조예 1 및 2에 따라 제조된 ZnO 와이어가 형성된 필름과 실시예 1 및 2에 따라 제조된 발광 소자의 파장에 따른 광발광과 전계발광 측정한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 이하, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하도록 한다.

[0041] 그러나, 이하의 설명은 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0042] 본원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0044] 도 1은 본 발명의 발광 소자의 두 가지 실시예를 나타낸 것이다. 여기서, 기판, 제1 전극, 제2 전극, 금속산화물 와이어 등을 예시하였으나, 이는 예시로서 제시되는 것으로, 이에 의해 본 발명이 제한되지는 않으며 본 발명은 후술할 청구범위의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0046] 이하, 도 1을 참조하여 본 발명의 발광 소자에 대해 설명하도록 한다.

[0047] 본 발명의 발광 소자는 기판; 상기 기판 상에 형성된 단수 또는 다수의 제1 전극; 상기 기판 상에 형성된 단수

또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층; 상기 기판 상에 형성되고, 상기 관통 구멍 안에 위치하는 금속산화물 시드층; 상기 금속산화물 시드층 상에 형성된 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어; 상기 마스크층 상에 형성되고, 상기 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절연체; 및 상기 금속산화물 와이어의 끝단 상에 형성된 단수 또는 다수의 제2 전극;을 포함할 수 있다.

[0048] 상기 제1 전극, 상기 관통 구멍, 상기 금속산화물 와이어, 및 상기 제2 전극이 다수일 수 있다.

[0049] 상기 금속산화물 와이어는 금속산화물 마이크로와이어 또는 금속산화물 나노와이어 번들(bundle)일 수 있다.

[0050] 도 1의 (a)는 상기 금속산화물 와이어가 금속산화물 마이크로와이어인 경우를 나타낸 것이고, (b)는 상기 금속산화물 와이어가 금속산화물 나노와이어 번들인 경우를 나타낸 것이다.

[0051] 상기 금속산화물 와이어는 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들(bundle)을 포함할 수 있고, 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 상기 금속산화물 나노와이어 번들은 랜덤 또는 교대로 위치할 수 있으며, 이에 대한 예시를 도 2에 나타내었다.

[0052] 상기 금속산화물 마이크로와이어는 420 내지 490 nm 파장의 빛을 발광할 수 있으며, 이는 파란 빛에 해당할 수 있다.

[0053] 상기 금속산화물 나노와이어 번들은 520 내지 600 nm 파장의 빛을 발광할 수 있으며, 이는 노란 빛에 해당할 수 있다.

[0054] 상기 발광 소자는 바람직하게는 상기 금속산화물 마이크로와이어와 상기 금속산화물 나노와이어 번들을 동시에 포함하여, 상기 파란 빛과 상기 노란 빛의 혼색을 통해 백색 발광을 구현할 수 있다.

[0055] 상기 발광 소자가 상기 금속산화물 와이어와 상기 기판과의 이종접합 면적 크기를 조절함에 따라 발광색이 변화할 수 있으며, 상기 발광 소자가 상기 금속산화물 마이크로와이어와 상기 금속산화물 나노와이어 번들에 인가된 역전압 비율에 따라 온백색 또는 냉백색으로 발광할 수 있다.

[0056] 또한, 상기 파란 빛과 상기 노란 빛의 비율을 조절하여 따뜻한 백색과 차가운 백색의 정도를 조절할 수 있다.

[0057] 상기 금속산화물 마이크로와이어의 직경은 0.5 내지 10 ㎛일 수 있으며, 바람직하게는 1 내지 8 ㎛, 더욱 바람직하게는 2 내지 7 ㎛일 수 있다.

[0058] 상기 금속산화물 마이크로와이어의 길이는 0.2 내지 20 ㎛일 수 있고, 바람직하게는 1 내지 15 ㎛, 더욱 바람직하게는 4 내지 12 ㎛일 수 있다.

[0059] 상기 금속산화물 나노와이어 번들에 포함된 금속산화물 나노와이어의 직경은 10 내지 200 nm일 수 있고, 바람직하게는 80 내지 180 nm, 더욱 바람직하게는 120 내지 160 nm일 수 있다.

[0060] 상기 금속산화물 나노와이어의 길이는 0.2 내지 16 ㎛일 수 있고, 바람직하게는 1 내지 15 ㎛, 더욱 바람직하게는 4 내지 12 ㎛일 수 있다.

[0061] 상기 금속산화물 나노와이어 번들은 상기 금속산화물 나노와이어 5 내지 5,000개를 포함할 수 있고, 바람직하게는 100 내지 2,500개, 더욱 바람직하게는 500 내지 1,000개를 포함할 수 있다.

[0062] 상기 제2 전극은 단층 또는 다층으로 구성된 일체형이거나, 또는 상기 금속산화물 마이크로와이어를 전기적으로 연결시키는 전극과 상기 금속산화물 나노와이어 번들을 전기적으로 연결시키는 전극으로 분리되어 구성된 분리형일 수 있다. 이에 대해 도 2에 나타내었다.

[0063] 도 2의 (a) 및 (b)는 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 상기 금속산화물 나노와이어 번들이 교대로 위치하고, 상기 제2 전극이 분리형인 경우를 나타낸 것이다.

[0064] 도 2의 (a)는 상기 금속산화물 마이크로와이어를 전기적으로 연결시키는 전극에 더 큰 역전압을 인가하여 파란 빛의 비율을 증가시켜 차가운 백색을 구현하는 것을 예시한 것이다.

[0065] 도 2의 (b)는 상기 금속산화물 나노와이어 번들을 전기적으로 연결시키는 전극에 더 큰 역전압을 인가하여 노란 빛의 비율을 증가시켜 따뜻한 백색을 구현하는 것을 예시한 것이다.

[0066] 도 2의 (c)는 상기 제2 전극이 일체형인 경우를 예시한 것이다.

[0067] 상기 제2 전극에 인가되는 역전압을 조절하여 파란 빛과 노란 빛의 비율을 조절할 수 있는 원리를 이하 도 3 및

도 4를 참조하여 설명하도록 한다.

[0068] 도 3은 본 발명의 발광 소자의 역전압 인가 조건에서의 밴드 다이어그램을 나타낸 것이다.

[0069] 도 3을 참조하면, 상기 기판(*p*-GaN)과 금속산화물 와이어(*n*-ZnO wire)의 이종 접합 사이에는 큰 밴드 오프셋이 형성된다. 따라서, 역전압 인가시 기판(*p*-GaN)의 에너지 준위의 상승 및 금속산화물 와이어(*n*-ZnO wire)의 에너지 준위의 하강에 따라 이종 접합 내 터널링 장벽이 작아져 터널링이 발생 할 수 있다. 상기 기판(*p*-GaN)과 금속산화물 와이어(*n*-ZnO wire)의 이종 접합 구조에서 터널링이 많이 발생하게 되면 금속산화물 와이어(*n*-ZnO wire)에 의한 노란 빛이 우세하게 나타나고, 터널링이 잘 발생하지 않으면 기판(*p*-GaN)에 의한 파란 빛이 우세하게 나타난다.

[0070] 따라서, 상기 금속산화물 마이크로와이어는 낮은 터널링 확률로 인해 기판(*p*-GaN) 내에서 발광 재결합이 주로 발생하여 파란 빛이 우세하게 나타날 수 있고, 반면에, 상기 금속산화물 나노와이어 번들은 높은 터널링 확률로 인해 금속산화물 나노와이어 번들 내에서 발광 재결합이 주로 발생하여 노란 빛이 우세하게 나타날 수 있다.

[0071] 도 4는 본 발명의 발광 소자 내부에서 발생하는 전하 이동을 나타내는 개략도이다.

[0072] 도 4를 참조하면, 상기 기판과 금속산화물 와이어의 이종 접합(*p*-n 접합)에서 형성되는 공핍층은 가장자리와 내부가 다른 형태를 갖는다. *p*-n 접합의 가장자리에 형성되는 공핍층은 높은 곡률 갖고 좁게 형성되며, 이곳에서는 높은 전기장으로 인해 전자의 터널링이 잘 발생한다. 한편, *p*-n 접합의 내부에 형성되는 공핍층은 낮은 곡률을 갖고 넓게 형성되며, 이곳에서는 전자의 터널링 확률이 공핍층의 가장자리보다 훨씬 낮다. 이러한 공핍층의 곡률에 의한 영향을 '엣지 효과(edge effect)'라고 하며, 엣지 효과는 기판과 금속산화물 와이어의 접합 면적의 크기에 따라 그 효과의 크기가 달라진다.

[0073] 빨간색 화살표는 'path A'로 명명하며, 기판과 금속산화물 와이어의 접합의 가장자리에서의 전자 이동 경로를 나타낸다. 파란색 화살표는 'path B'로 명명하며, 기판과 금속산화물 와이어의 접합의 내부에서의 전자 이동 경로를 나타낸다. 화살표의 개수는 영향력을 나타낸다.

[0074] 상기 기판과 금속산화물 마이크로와이어(MW)의 이종 접합의 면적은 마이크로 사이즈로, 나노 사이즈의 접합 면적을 갖는 상기 기판과 금속산화물 나노와이어(NW) 번들의 이종 접합 면적보다 훨씬 크다. 따라서, 상기 기판과 금속산화물 마이크로와이어의 이종 접합에서는 엣지 효과가 낮게 작용하여, 전자의 터널링이 적게 발생하므로 기판에서의 발광 재결합이 우세하여 청색 발광이 발생한다. 반면에, 상기 기판과 금속산화물 나노와이어 번들의 이종 접합은 작은 접합 면적으로 인한 엣지 효과가 크게 작용하여, 전자의 터널링이 많이 발생하므로 금속산화물에서의 발광 재결합이 우세하여 황색 발광이 발생한다.

[0075] 상기 금속산화물은 ZnO, ZnMgO, ZnCdO, GZO(Ga-doped ZnO), IZO(In-doped ZnO), AZO(Al-doped ZnO) 등이 가능하나, 바람직하게는 ZnO일 수 있다.

[0076] 상기 관통 구멍의 직경은 300 nm 내지 10 ㎛일 수 있고, 바람직하게는 1 내지 8 ㎛, 더욱 바람직하게는 2 내지 7 ㎛일 수 있다.

[0077] 상기 관통 구멍 사이의 간격은 2 내지 20 ㎛, 바람직하게는 6 내지 16 ㎛, 더욱 바람직하게는 10 내지 12 ㎛일 수 있다.

[0078] 상기 기판은 GaN, InGaN, AlGaN, InAlN, InAlGaN 등을 포함할 수 있으나, 바람직하게는 GaN을 포함할 수 있다.

[0079] 상기 제1 전극은 인듐, 금, 니켈, 팔라듐, 백금 및 알루미늄 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있으나, 바람직하게는 인듐/금/니켈이 순서대로 증착된 전극일 수 있다.

[0080] 상기 제2 전극은 티타늄, 금, 백금, 및 알루미늄 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있으나, 바람직하게는 티타늄/금이 순서대로 증착된 전극일 수 있다.

[0081] 상기 마스크층은 폴리메타크릴산메틸(PMMA, polymethyl methacrylate), 스핀 온 글래스(SOG, spin on glass), 스핀 온 인슐레이터(SOI, Spin on insulator), 폴리이미이드(polyimide), 폴리디메틸실록산(PDMS, Polydimethylsiloxane) 등이 가능하나, 바람직하게는 PMMA일 수 있다.

[0082] 상기 절연체는 폴리메타크릴산메틸(PMMA, polymethyl methacrylate), 스핀 온 글래스(SOG, spin on glass), 스핀 온 인슐레이터(SOI, Spin on insulator), 폴리이미이드(polyimide), 폴리디메틸실록산(PDMS, Polydimethylsiloxane) 등이 가능하나, 바람직하게는 PMMA일 수 있다. 그러나 상기 절연체가 이에 한정되는 것

은 아니다. 상기 금속산화물 와이어에 손상을 끼치지 않으며 절연시킬 수 있는 물질은 어느 것이든 가능하다.

[0084] 도 5는 본 발명의 발광 소자의 제조방법과 제조된 발광 소자의 상면도를 나타낸 것이다. 여기서, 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 상기 금속산화물 나노와이어 번들이 교대로 위치하고, 상기 제2 전극이 분리형인 경우를 예시하였으나, 이는 예시로서 제시되는 것으로, 이에 의해 본 발명이 제한되지는 않으며 본 발명은 후술할 청구범위의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0086] 이하, 도 5를 참조하여 본 발명의 발광 소자의 제조방법을 설명하도록 한다.

[0087] 먼저, 기판 상에 단수 또는 다수의 관통 구멍을 포함하는 마스크층을 형성한다(단계 a).

[0088] 상기 관통 구멍은 전자빔리소그래피, 포토리소그래피(Photolithography), 나노임프린트(Nanoimprint) 방법 등을 이용하여 형성할 수 있다(도 5의 1).

[0089] 다음으로, 상기 관통 구멍 안에 금속산화물 시드층을 형성한다(단계 b).

[0090] 좀 더 상세히 설명하면, 상기 마스크층 상에 금속산화물 시드층을 포함하는 용액을 스핀코팅(도 5의 2)하고, 상기 마스크층을 제거하여 금속산화물 시드층을 형성할 수 있다(도 5의 3).

[0091] 상기 금속산화물 와이어가 상기 금속산화물 시드층의 열처리 온도에 따라 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들 중 어느 하나로 결정될 수 있다.

[0092] 상기 열처리 온도가 250 초과 내지 800℃일 때, 상기 금속산화물 시드층 상에 금속산화물 마이크로와이어가 형성되고, 상기 열처리 온도가 100 내지 250℃일 때, 상기 금속산화물 시드층 상에 금속산화물 나노와이어 번들이 형성될 수 있다.

[0093] 경우에 따라, 하나의 기판 상에 상기 금속산화물 마이크로와이어와 상기 금속산화물 나노와이어 번들을 동시에 성장시킬 수 있으며, 이를 좀 더 상세히 설명하면, 먼저 상기 금속산화물 시드층을 250 초과 내지 800℃에서 열처리 하여 금속산화물 마이크로와이어가 성장할 수 있는 금속 산화물 시드층을 형성한다. 상기 금속산화물 시드층 상에 단계 a와 다른 패턴을 갖는 마스크층을 형성(도 5의 4)하고, 다시 금속산화물 시드층을 포함하는 용액을 스핀코팅(도 5의 5)하고, 상기 마스크층을 제거한 후 100 내지 250℃에서 열처리하여 금속산화물 나노와이어 번들이 성장할 수 있는 금속산화물 시드층을 형성(도 5의 6)한다. 상기 금속산화물 시드층을 제외한 부분에 상기 금속산화물 와이어가 성장하지 않도록, 금속산화물 시드층을 제외한 부분에 마스크층을 형성한다(도 5의 7). 상기 250 초과 내지 800℃에서 열처리된 금속산화물 시드층과 100 내지 250℃에서 열처리된 금속산화물 시드층은 각각 금속산화물 마이크로와이어와 금속산화물 나노와이어 번들을 성장시킬 수 있으므로 하나의 기판 상에 금속산화물 마이크로와이어와 금속산화물 나노와이어 번들을 동시에 성장시킬 수 있다.

[0094] 다음으로, 상기 금속산화물 시드층 상에 단수 또는 다수의 금속산화물 와이어를 형성한다(단계 c).

[0095] 상기 금속산화물 와이어는 상술한 바와 같이, 상기 금속산화물 시드층의 열처리 온도에 따라 상기 금속산화물 와이어가 금속산화물 마이크로와이어, 및 다수의 금속산화물 나노와이어를 포함하는 금속산화물 나노와이어 번들 중에서 선택될 수 있다(도 5의 8).

[0096] 다음으로, 상기 마스크층 상에 상기 금속산화물 와이어 사이를 절연시키는 절연체를 형성한다(단계 d).

[0097] 상기 절연체는 상기 금속산화물 와이어의 끝단을 노출시킬 수 있도록 형성되고, 좀 더 상세히 설명하면 상기 금속산화물 와이어 상을 절연체로 코팅하고, 산소 플라즈마, 유기용매처리 또는 CMP(Chemical mechanical polishing) 처리하여 상기 금속산화물 와이어의 끝단을 노출시킬 수 있다(도 5의 9).

[0098] 다음으로, 상기 기판 상에 단수 또는 다수의 제1 전극을 형성한다(단계 e).

[0099] 상기 제 1 전극은 상기 제 2전극이 일체형일 경우, 상기 기판 상의 한쪽에 한 개의 전극이 형성될 수 있고, 상기 제 2전극이 분리형일 경우, 상기 기판 상의 양쪽에 각각 두 개의 전극이 형성될 수 있다.

[0100] 마지막으로, 상기 금속산화물 와이어의 끝단 상에 단수 또는 다수의 제2 전극을 형성한다(단계 f).

[0101] 상기 제2 전극은 상술한 바와 같이 일체형 또는 분리형일 수 있고, 분리형의 경우를 예시하면, 도 5의 상면도에서와 같이 상기 금속산화물 마이크로와이어를 전기적으로 연결시키는 전극과 상기 금속산화물 나노와이어 번들을 전기적으로 연결시키는 전극으로 구성된 분리형의 제2 전극을 형성한다(도 5의 10-1).

[0102] 상기 두 개의 제2 전극은 상기 기판 상의 양쪽에 형성된 두 개의 제1 전극에 각각 연결될 수 있다.

[0104] [실시예]

[0105] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 들어 설명하도록 한다. 그러나 이는 예시를 위한 것으로서 이에 의하여 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0107] 제조예 1: ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름의 제조

[0108] p-GaN/c-Al_2O_3 기판(화학기상증착법(MOCVD, Metal-organic chemical vapor deposition)), 분자선 에피택시(MBE, Molecular beam epitaxy) 상에 PMMA 용액(4 wt% in Chlorobenzene, 996 K)을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 150 ℃에서 열처리하였다. 다음으로, 전자빔리소그래피(E-beam lithography)를 이용하여 구멍의 직경이 2 ㎛이고, 구멍 사이의 간격이 5 ㎛인 패턴이 형성된 마스크층을 제조하였다. 상기 마스크층 상에 징크 아세테이트 다이하이드레이트(zinc acetate dehydrate) 용액(5 mM in ethanol, Sigma Aldrich)을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 200 ℃에서 열처리하였다. 다음으로, 아세톤을 이용하여 상기 마스크층을 제거하여 ZnO 시드층을 제조하였다. 다음으로, ZnO 마이크로와이어를 형성하기 위해 상기 ZnO 시드층을 500 ℃에서 열처리하고, 상기 ZnO 시드층 상에 PMMA 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 150 ℃에서 열처리하였다. 다음으로, 상기 ZnO 시드층이 노출되도록 상기 패턴과 동일한 패턴으로 전자빔을 조사하였다. 다음으로, 동일한 농도의 헥사메틸렌-테트라아민(Hexamethylenetetramine) 및 징크 나이트레이트 헥사하이드레이트(Zinc nitrate hexahydrate)를 포함하는 용액(25 mM in D.I water, Sigma Aldrich)으로 오토클레이브 반응용기에서 95 ℃로 4시간 동안 수열합성하여 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름을 제조하였다.

[0110] 제조예 2: ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름의 제조

[0111] ZnO 시드층을 500 ℃에서 열처리하는 대신에 200 ℃에서 열처리한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법으로 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름을 제조하였다.

[0113] 실시예 1: 발광 소자의 제조(ZnO 마이크로와이어 포함)

[0114] 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름 상에 PMMA 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 200 ℃에서 열처리하여 상기 ZnO 마이크로와이어 사이를 절연시켰다. 상기 ZnO 마이크로와이어의 끝단이 노출되도록 산소 플라즈마 처리하였다. 상기 p-GaN/c-Al_2O_3 기판의 한쪽 표면에 니켈/금/인듐 순으로 증착하여 제1 전극을 형성하였다. 다음으로, 상기 모든 ZnO 마이크로와이어의 끝단을 덮도록 티타늄/금 순으로 증착하여 다층의 일체형 제2 전극을 형성하여 발광 소자를 제조하였다.

[0116] 실시예 2: 발광 소자의 제조(ZnO 나노와이어 번들 포함)

[0117] 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름 대신에 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름을 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다.

[0119] 실시예 3: 발광 소자의 제조(ZnO 마이크로와이어 및 ZnO 나노와이어 번들 포함)

[0120] p-GaN/c-Al_2O_3 기판 상에 PMMA 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 150 ℃에서 열처리하였다. 다음으로, 전자빔리소그래피(E-beam lithography)를 이용하여 구멍의 직경이 2 ㎛이고, 구멍 사이 행의 간격이 10 ㎛이고, 열의 간격이 20 ㎛인 패턴이 형성된 제1 마스크층을 제조하였다. 상기 제1 마스크층 상에 징크 아세테이트 다이하이드레이트 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 200 ℃에서 열처리하였다. 다음으로, 아세톤을 이용하여 상기 제1 마스크층을 제거하여 제1 ZnO 시드층을 제조하였다. 다음으로, ZnO 마이크로와이어를 형성하기 위해 상기 제1 ZnO 시드층을 500 ℃에서 열처리하였다.

[0121] 다음으로, 상기 제1 ZnO 시드층 상에 PMMA 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 150 ℃에서 열처리하였다. 다음으로, 전자빔리소그래피를 이용하여 패턴이 형성된 제2 마스크층을 제조하였다. 상기 제2 마스크층의 패턴은 제1 ZnO 시드층과 열이 교대로 반복되도록 하였다. 다음으로, 상기 제2 마스크층 상에 징크 아세테이트 다이하이드레이트 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 200 ℃에서 열처리하였다. 다음으로, 아세톤을 이용하여 상기 제2 마스크층을 제거하여 제2 ZnO 시드층을 제조하였다.

[0122] 다음으로, 제2 ZnO 시드층 상에 상기 PMMA 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 150 ℃에서 열처리하였다. 열이 교대로 반복되는 제1 ZnO 시드층 및 제2 ZnO 시드층이 노출되도록 상기 제1 마스크층 및 제2 마스크층의 패턴과 동일한 패턴으로 전자빔을 조사하였다.

[0123] 다음으로, ZnO 와이어를 성장시키기 위해 헥사메틸렌-테트라아민 및 징크 나이트레이트 헥사하이드레이트를 포

함하는 용액으로 오토클레이브 반응용기에서 85 ℃로 8시간 동안 수열합성하여 ZnO 와이어(ZnO 마이크로와이어 및 ZnO 나노와이어 번들 포함)를 성장시켰다. 다음으로, PMMA 용액을 2,000 rpm으로 스핀코팅한 후 200 ℃에서 열처리하여 상기 ZnO 와이어 사이를 절연시켰다. 다음으로, 상기 ZnO 와이어의 끝단이 노출되도록 산소 플라즈마 처리하였다. 상기 p-GaN/c-Al_2O_3 기판의 양쪽 표면에 니켈/금/인듐 순으로 증착하여 제1 전극을 각각 두 개 형성하였다. 다음으로, 전자빔리소그래피를 이용하여 상기 ZnO 마이크로와이어의 끝단만 포함하도록 티타늄/금 순으로 증착하고, ZnO 나노와이어 번들의 끝단만 포함하도록 티타늄/금 순으로 증착하여 전극을 각각 형성하여 분리형 제2 전극을 형성함으로써 발광 소자를 제조하였다. 이에 대한 제조과정과 상면도를 도 3에 나타내었다.

[0125] [시험예]

[0127] 시험예 1: 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM) 측정

[0128] 도 6의 (a)는 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름의 주사전자현미경 측정 결과이고, (b)는 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름의 주사전자현미경 측정 결과를 나타낸 것이다.

[0129] 도 6을 참조하면, 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름은 마스크층의 각 구멍에서 하나의 ZnO 마이크로와이어가 성장하여 형성된 것을 알 수 있었다. 모든 ZnO 마이크로와이어들은 균일한 직경과 길이의 육각기둥구조를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름은 각 구멍에서 약 100개 이상의 ZnO 나노와이어가 성장하여, 하나의 ZnO 나노와이어 번들을 형성하는 것을 알 수 있었다. 이는 ZnO 시드층의 열처리 온도가 높은 경우, ZnO 시드층의 표면 거칠기가 낮아 핵 생성 위치를 적게 제공하고, 이에 따라 각 구멍에서 하나의 굵은 ZnO 마이크로와이어가 성장되는 것으로 판단된다. 또한, ZnO 시드층의 열처리 온도가 낮은 경우, 표면 거칠기가 높아 많은 핵 생성 위치를 제공하고, 이에 따라 각 구멍에서 다수의 ZnO 나노와이어가 성장되는 것으로 판단된다.

[0130] 따라서, ZnO 시드층의 열처리 온도를 조절하여 ZnO 마이크로와이어 또는 ZnO 나노와이어 번들을 성장시킬 수 있는 것을 알 수 있었다.

[0132] 시험예 2: X선 회절(X-Ray Diffractometry, XRD) 측정

[0133] 도 7의 (a)는 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름의 이종 접합구조와 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름의 이종접합구조의 회절각에 따른 X선 강도를 분석한 그래프이고, (b)의 위의 그래프는 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름의 이종 접합구조의 {10-12}면에 대한 azimuthal scan 측정 결과를 나타내는 그래프이고, (b)의 아래 그래프는 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름의 이종 접합구조의 {10-12}면에 대한 azimuthal ϕ scan 측정 결과를 나타내는 그래프이다.

[0134] 도 7의 (a)를 참조하면, GaN 기판의 결정방향을 따라 ZnO 마이크로와이어와 ZnO 나노와이어 번들 모두 (0002) 결정방향으로 성장되는 것으로 나타났다. 도 4의 (a)의 작은 그래프에서 도시한 바와 같이, GaN 기판, ZnO 마이크로와이어 및 ZnO 나노와이어 번들의 회절 피크가 상호이격되어 잘 분리되어 있는 것을 알 수 있었다.

[0135] 도 7의 (b)를 참조하면, 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름의 이종 접합구조와 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름의 이종 접합구조를 (10-12) 회절 피크에서 방위각을 360° 회전시킨 경우, 모두 60° 간격 마다 반복되는 {10-12}에 해당하는 6개의 피크가 나타났다. 이는 ZnO 마이크로와이어와 ZnO 나노와이어 번들이 균일한 6바 회전 대칭(6-fold rotational symmetry)을 가짐을 의미하고, 두 가지 ZnO 와이어 구조 모두 GaN 기판과 에피텍시 관계를 가지면서 균일하게 성장했음을 의미한다.

[0137] 시험예 3: 전압 변화에 따른 전류값 변화 측정

[0138] 도 8은 실시예 1(n-ZnO MWs/p-GaN) 및 2(n-ZnO NW-Bs/p-GaN)에 따라 제조된 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류값 변화를 실험한 결과이다.

[0139] 도 8을 참조하면, 실시예 1 및 2에 따라 제조된 발광 소자 모두 순전압보다 역전압에서 더 높은 전류 값을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 실시예 1 및 2에 따라 제조된 발광 소자 모두 -5V 부터 발광 하였으며, 순방향 전압에서는 전혀 발광하지 않았다. 또한, 실시예 1에 따라 제조된 발광 소자(n-ZnO MWs/p-GaN)는 실시예 2에 따라 제조된 발광 소자(n-ZnO NW-Bs/p-GaN)보다 높은 전류 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 이는, 전도도 감소에 영향을 미치는 ZnO 표면 공핍층이 직경이 얇고 종횡비가 큰 ZnO 나노와이어에서 더 크게 작용하기 때문으로 판단된다.

도 8의 발광 사진은 -15V 에서 작동된 실시예 1에 따라 제조된 발광 소자의 발광 사진으로, 전계발광은 *n*-ZnO 와이어와 *p*-GaN 기판의 이종 접합 구조가 선택적으로 위치한 곳에서만 발생한다는 것을 알 수 있었다.

[0141] 시험예 4: 전압 상승에 따른 전계 발광(Electroluminescence, EL) 파장 측정

[0142] 도 9의 (a)는 실시예 1에 따라 제조된 발광 소자의 역전압 상승에 따른 전계 발광의 파장을 나타낸 것이고, (b)는 실시예 2에 따라 제조된 발광 소자의 역전압 상승에 따른 전계 발광 파장을 나타낸 것이고, (c)는 실시예 1 및 2에 따라 제조된 발광 소자의 역전압의 상승에 따른, 파란 빛에 대한 노란 빛의 전계발광세기 비(I_{Yellow}/I_{Blue})의 변화를 나타낸 것이다.

[0143] 도 9의 (a)를 참조하면, 실시예 1에 따라 제조된 발광 소자(*n*-ZnO MWs/*p*-GaN film LED)는 445nm에서의 강한 전계발광 피크가 나타나고, 560nm에서 약한 전계발광 피크가 나타났다. 역전압이 상승 할수록, 445nm와 560nm에 위치한 전계발광 피크들의 세기는 증가하였다.

[0144] 도 9의 (b)를 참조하면, 실시예 2에 따라 제조된 발광 소자(*n*-ZnO NW-Bs/*p*-GaN film LED)는 560nm에서의 강한 전계발광 피크가 나타나고, 445nm에서 약한 전계발광 피크가 나타났다. 역전압이 상승 할수록, 445nm와 560nm에 위치한 전계발광 피크들의 세기는 증가하였다.

[0145] 도 9의 (c)를 참조하면, 실시예 1에 따라 제조된 발광 소자(*n*-ZnO MWs/*p*-GaN LED)는 역전압의 세기가 증가할수록 I_{Yellow}/I_{Blue} 값이 감소하는 경향을 보였다. 따라서, 실시예 1에 따라 제조된 발광 소자는 역전압의 세기가 6V에서 11V까지 증가할수록 *p*-GaN 기판에서의 발광으로 인한 파란 빛이 우세하게 발생하는 것을 알 수 있었다. 이에 반하여, 실시예 2에 따라 제조된 발광 소자(*n*-ZnO NW-B/*p*-GaN LED)는 역전압의 세기가 6V에서 11V까지 증가할수록 I_{Yellow}/I_{Blue} 값이 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 실시예 2에 따라 제조된 발광 소자는 역전압의 세기가 증가할수록 n-ZnO 와이어에서의 발광으로 인한 노란 빛이 우세하게 발생하는 것을 알 수 있었다.

[0147] 시험예 5: 파장에 따른 광발광(Photoluminescence, PL)과 전계발광 측정

[0148] 도 10의 위 그래프는 -15V에서 작동된 실시예 1(*n*-ZnO MW/*p*-GaN) 및 2(*n*-ZnO NW-B/*p*-GaN)에 따라 제조된 발광 소자의 파장에 따른 전계발광 측정 결과를 나타낸 그래프이고, 아래 그래프는 *p*-GaN 기판(*p*-GaN film), 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름(ZnO MWs) 및 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름(ZnO NW-Bs)의 광발광 분광 분석 결과이다.

[0149] 도 10의 위의 전계발광 그래프를 참조하면, 실시예 1에 따라 제조된 발광 소자(*n*-ZnO MW/*p*-GaN)는 445nm에서의 강한 전계발광 피크가 나타나고, 560nm에서 약한 전계발광 피크가 나타났다. 또한, 실시예 2에 따라 제조된 발광 소자(*n*-ZnO NW-B/*p*-GaN)는 560nm에서의 강한 전계발광 피크가 나타나고, 445nm에서 약한 전계발광 피크가 나타났다.

[0150] 도 7의 아래의 광발광 그래프를 참조하면, *p*-GaN 기판에서는 파란빛 영역의 433nm에서 피크가 관찰 되었다. 또한, 제조예 1에 따라 제조된 ZnO 마이크로와이어가 형성된 필름(ZnO MWs) 및 제조예 2에 따라 제조된 ZnO 나노와이어 번들이 형성된 필름(ZnO NW-Bs)에서는 공통적으로 382nm에서 뾰족한 UV 피크, 노란색 영역인 540nm에서 넓은 결함 피크가 나타났다.

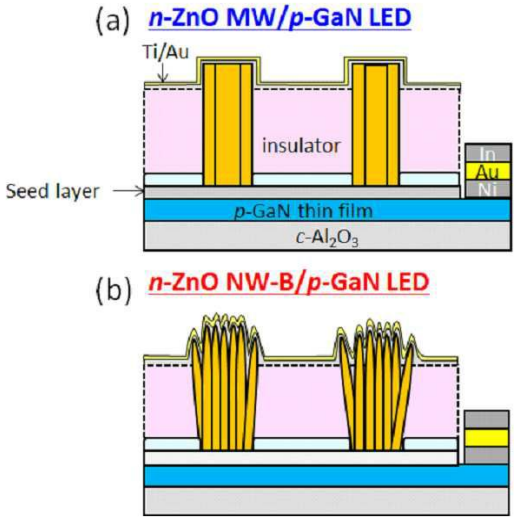
[0151] 즉, 실시예 1 및 2에 따라 제조된 발광 소자의 전계발광 측정 결과에서 공통적으로 나타난 445nm에서의 피크는 *p*-GaN 기판에 의한 발광이고, 560nm에서의 피크는 *n*-ZnO 와이어에 의한 것임을 알 수 있었다.

[0152] 따라서, *p*-GaN 기판과 *n*-ZnO 와이어의 이종 접합 영역을 조절하여 발광 소자의 따뜻한 백색과 차가운 백색의 정도를 조절할 수 있는 것을 알 수 있었다. 이로 인해, 한 기판에 집적된 ZnO 마이크로와이어와 ZnO 나노와이어 번들에 인가된 역전압 비율을 조절함에 따라 온백색과 냉백색 조절이 가능할 것으로 판단된다.

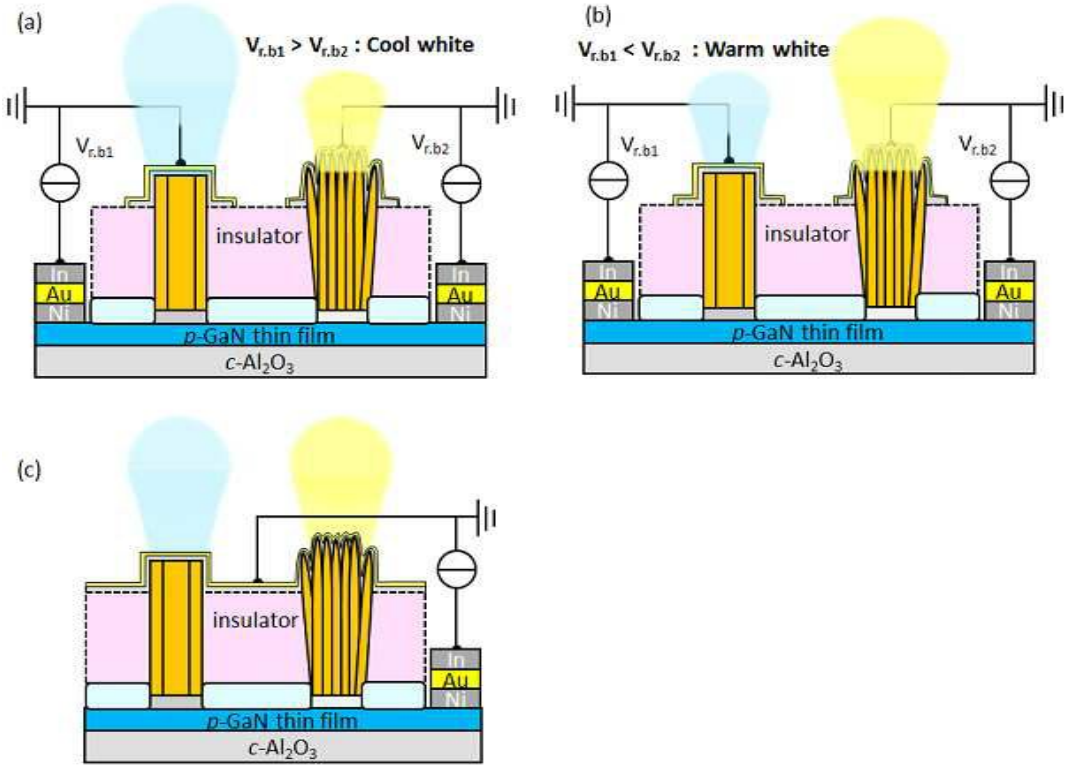
[0154] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

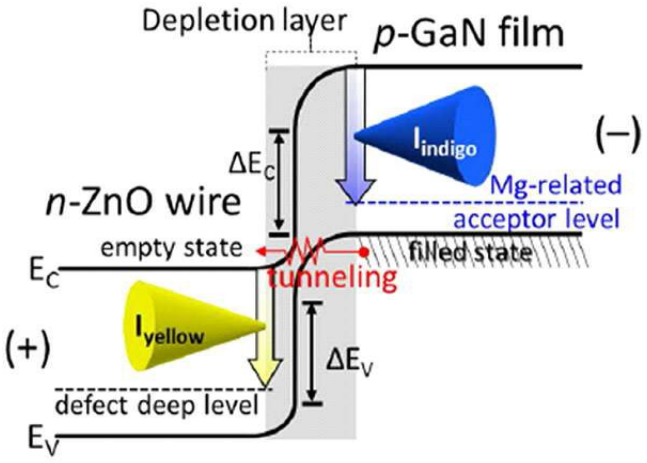
도면1


(a) n-ZnO MW/p-GaN LED
Ti/Au
insulator
In
Au
Ni
Seed layer
p-GaN thin film
c-Al2O3
(b) n-ZnO NW-B/p-GaN LED

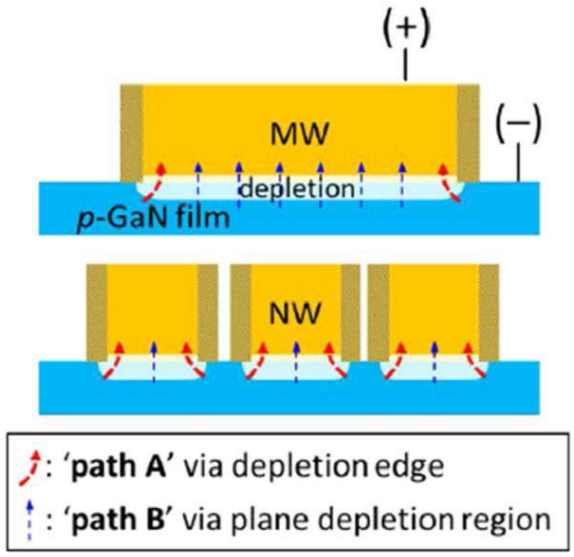
도면2


(a)
Vr.b1 > Vr.b2 : Cool white
Vr.b1
Vr.b2
insulator
In
Au
Ni
p-GaN thin film
c-Al2O3
(b)
Vr.b1 < Vr.b2 : Warm white
(c)

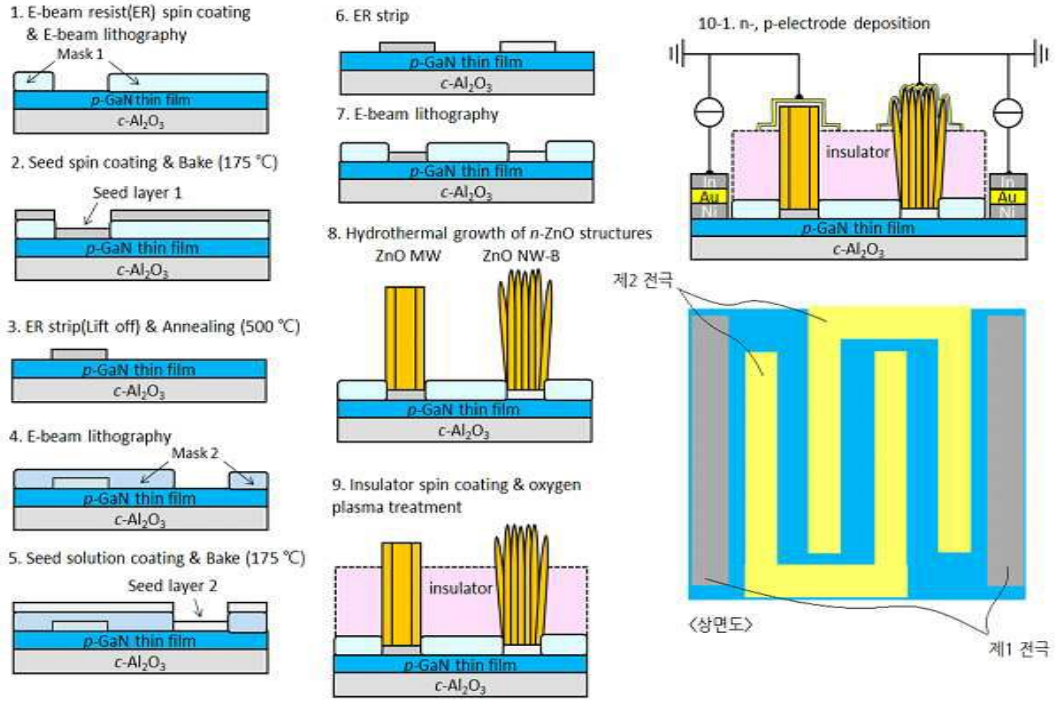
도면3


Depletion layer
p-GaN film
(–)
I_{indigo}
ΔE_C
n-ZnO wire
Mg-related
acceptor level
empty state
filled state
E_C
tunneling
(+)
I_{yellow}
ΔE_V
defect deep level
E_V

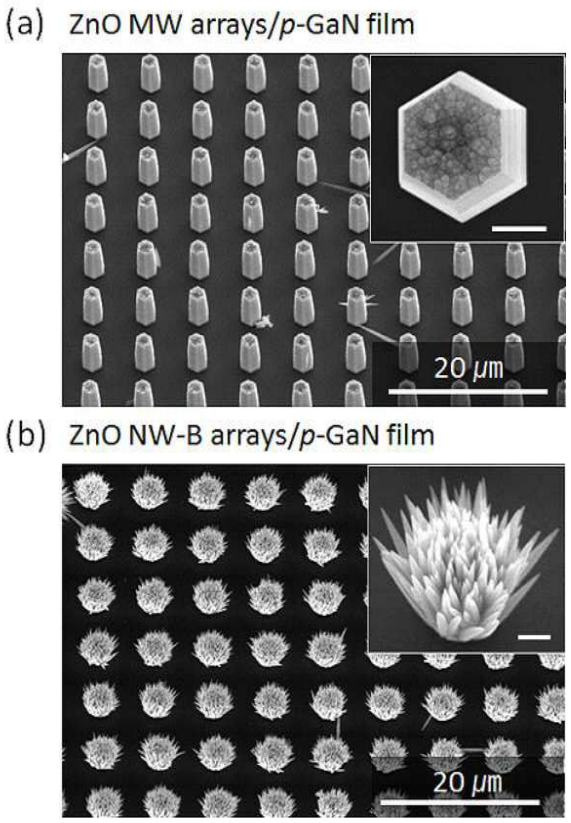
도면4


(+)
MW
(–)
depletion
p-GaN film
NW
: 'path A' via depletion edge
: 'path B' via plane depletion region

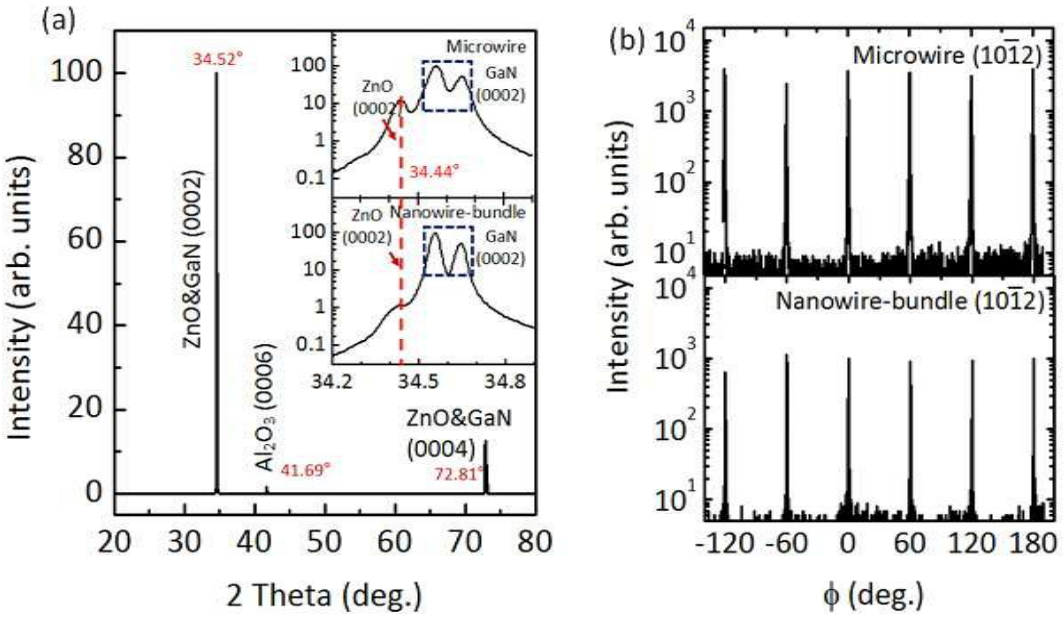
도면5


1. E-beam resist(ER) spin coating & E-beam lithography
Mask 1
p-GaN thin film
c-Al2O3
2. Seed spin coating & Bake (175 ℃)
Seed layer 1
3. ER strip(Lift off) & Annealing (500 ℃)
4. E-beam lithography
Mask 2
5. Seed solution coating & Bake (175 ℃)
Seed layer 2
6. ER strip
7. E-beam lithography
8. Hydrothermal growth of n-ZnO structures
ZnO MW
ZnO NW-B
9. Insulator spin coating & oxygen plasma treatment
insulator
10-1. n-, p-electrode deposition
In
Au
Ni
제2 전극
〈상면도〉
제1 전극

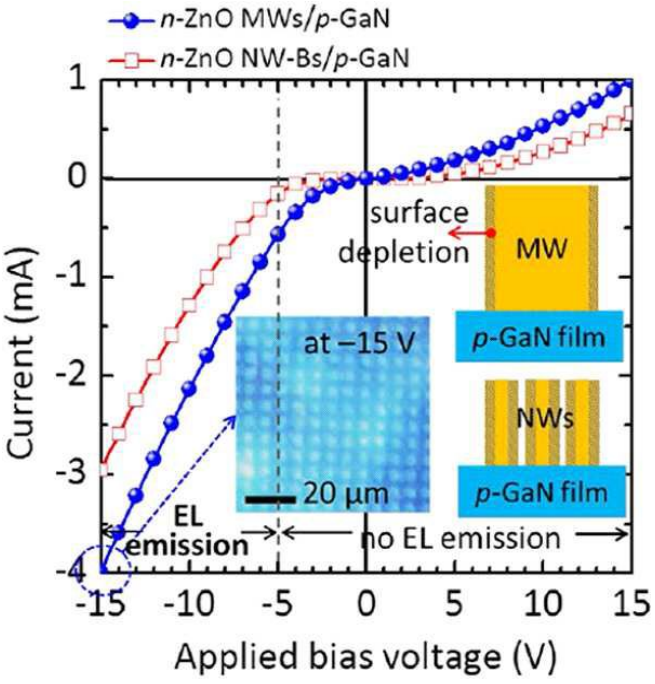
도면6


(a) ZnO MW arrays/p-GaN film
20 μm
(b) ZnO NW-B arrays/p-GaN film
20 μm

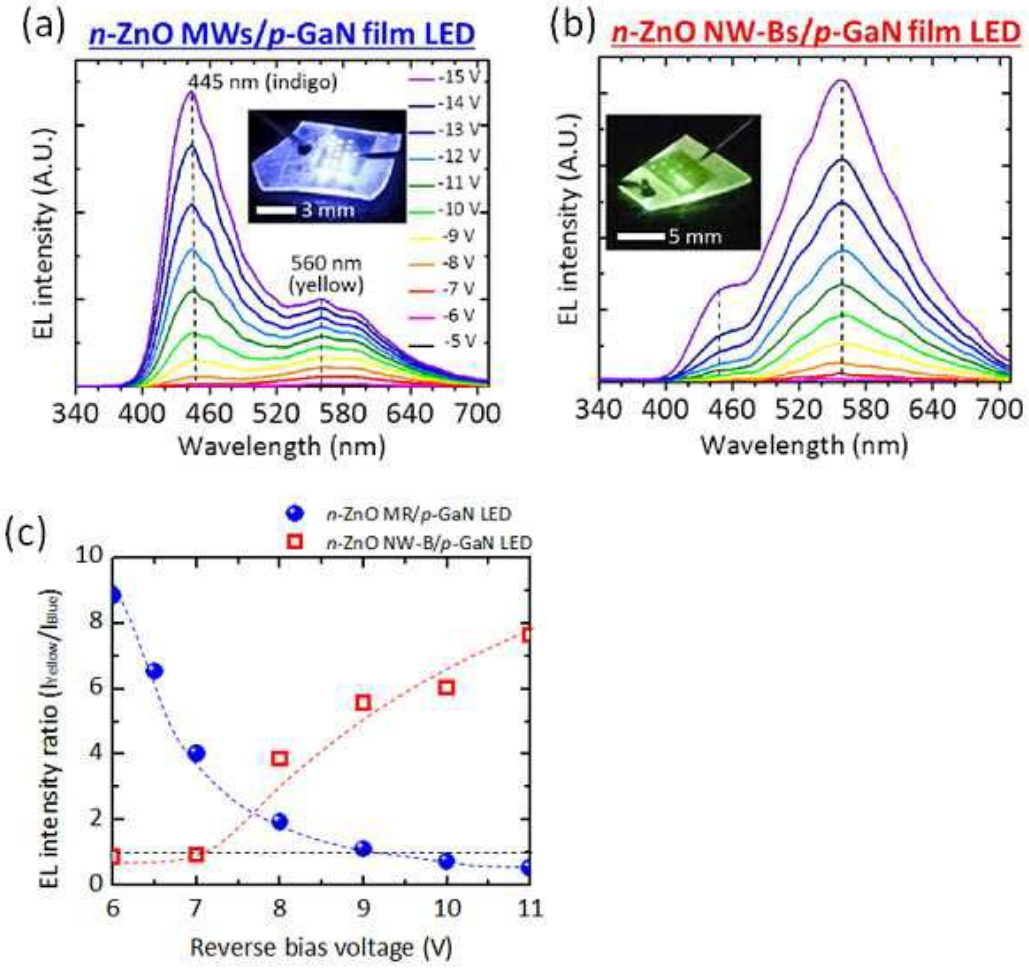
도면7


(a)
Intensity (arb. units)
2 Theta (deg.)
ZnO&GaN (0002)
34.52°
Al2O3 (0006)
41.69°
ZnO&GaN (0004)
72.81°
Microwire
ZnO (0002)
GaN (0002)
34.44°
Nanowire-bundle
(b)
Microwire (10$\bar{1}$2)
Nanowire-bundle (10$\bar{1}$2)
ϕ (deg.)

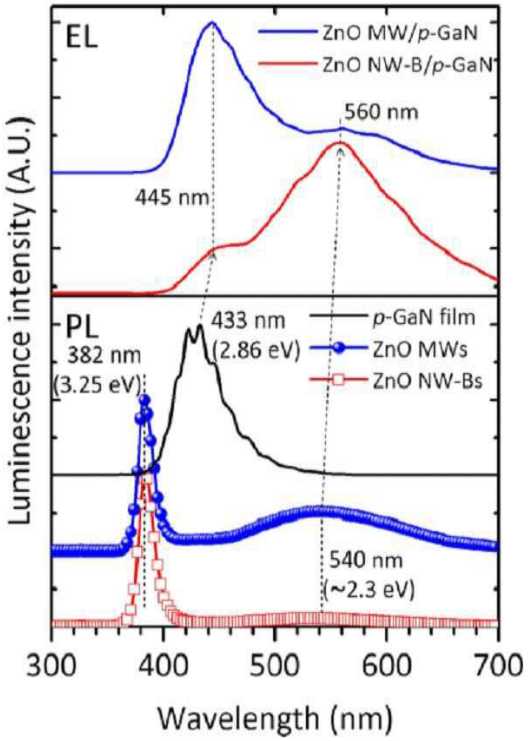
도면8


n-ZnO MWs/p-GaN
n-ZnO NW-Bs/p-GaN
Current (mA)
Applied bias voltage (V)
surface depletion
MW
p-GaN film
NWs
p-GaN film
at −15 V
20 μm
EL emission
no EL emission

도면9


(a)
n-ZnO MWs/p-GaN film LED
445 nm (indigo)
560 nm
(yellow)
3 mm
-15 V
-14 V
-13 V
-12 V
-11 V
-10 V
-9 V
-8 V
-7 V
-6 V
-5 V
EL intensity (A.U.)
340 400 460 520 580 640 700
Wavelength (nm)
(b)
n-ZnO NW-Bs/p-GaN film LED
5 mm
EL intensity (A.U.)
340 400 460 520 580 640 700
Wavelength (nm)
(c)
n-ZnO MR/p-GaN LED
n-ZnO NW-B/p-GaN LED
EL intensity ratio (IYellow/IBlue)
0 2 4 6 8 10
6 7 8 9 10 11
Reverse bias voltage (V)

도면10



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 6

【변경전】

상기 발광 소자가 상기 금속산화물 마이크로와이어와 상기 금속산화물 나노와이어 번들에

【변경후】

상기 금속산화물 마이크로와이어와 상기 금속산화물 나노와이어 번들에

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1 및 청구항 6

【변경전】

상기 금속산화물 와이어가 상기 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들(bundle)을 포함하고,

【변경후】

상기 금속산화물 와이어가 금속산화물 마이크로와이어 및 금속산화물 나노와이어 번들(bundle)을 포함하고,