(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0090958
(43) 공개일자 2015년08월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/20 (2010.01) *H01L 33/16* (2010.01)
(21) 출원번호 10-2014-0011468
(22) 출원일자 2014년01월29일
심사청구일자 2014년01월29일

(71) 출원인
국립대학법인 울산과학기술대학교 산학협력단
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
포항공과대학교 산학협력단
경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)
(72) 발명자
김범준
경기 고양시 일산동구 경의로 19, C동 1402호 (백석동, 현대밀라트1차오피스텔)
이종람
경북 포항시 남구 대이로 100,104동1002호(대잠동,이동현대홈타운아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인아이엠

전체 청구항 수 : 총 12 항

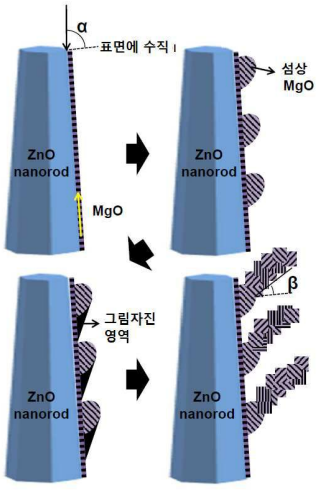
(54) 발명의 명칭 **이종 접합 가지형 나노와이어를 구비한 발광다이오드**

(57) 요 약

본 발명은 가지형 나노와이어를 구비한 발광다이오드에 관한 것이다.

본 발명에 따른 발광다이오드는, 반도체의 출광면 상에 형성되는 나노구조체를 포함하고, 상기 나노구조체는 상기 출광면상에 형성되며 상부로 갈수록 직경이 줄어드는 복수의 제1 나노와이어와, 상기 제1 나노와이어의 표면에 특정 방향으로 배향되어 돌출 형성된 복수의 제2 나노와이어를 포함하는 발광다이오드.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

박재용

경기도 고양시 일산동구 일산로 206 금호한양아파트 302동 906호

백정민

울산광역시 울주군 범서읍 구영로 75-25번(동문 굿모닝힐 103동 605호)

예병욱

대구광역시 서구 중리동 중리광명아파트 B동 606호

명 세 서

청구범위

청구항 1

반도체의 출광면 상에 형성되는 나노구조체를 포함하는 발광다이오드로서,

상기 나노구조체는 상기 출광면상에 형성되며 상부로 갈수록 직경이 줄어드는 복수의 제1 나노와이어와, 상기 제1 나노와이어의 표면에 특정 방향으로 배향되어 돌출 형성된 복수의 제2 나노와이어를 포함하는 발광다이오드.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 나노와이어의 굴절률은 제2 나노와이어의 굴절률에 비해 큰 발광다이오드.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2 나노와이어는 상기 출광면의 상방향으로 경사지게 형성되는 발광다이오드.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 나노와이어는 Zn 산화물 또는 Ti 산화물을 포함하는 발광다이오드.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제2 나노와이어는 MgO, WO_3, TiO_2, SiO_2, ITO 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 발광다이오드.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제2 나노와이어의 반경은 17.5~37.5nm 인 발광다이오드.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 제2 나노와이어의 길이는 400~600nm 인 발광다이오드.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 Zn 산화물은 ZnO, Al-doped ZnO, In-doped ZnO 및 Ga-doped ZnO 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 발광다이오드.

청구항 9

제4항에 있어서,

상기 Zn 산화물은 ZrO_2, TiO_2, SiO_2, SiO, Al_2O_3, CuO_x 및 ITO 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 발광다이오드.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 MgO는 B, In, Zn, Ti, Al, Sn, Ga, Te, Si, C, Ge, N, P, As, Sb, Bi, S, Se, Br, I, Ti, Be, Ca, Sr 및 Ba 중에서 선택된 1종 이상의 원소를 포함하는 발광다이오드.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 제2 나노와이어는 전자선 증착 시 그림자 효과에 의해 형성되는 발광다이오드.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 제1 나노와이어의 직경이 줄어드는 비율의 조절을 통해 상기 제2 나노와이어의 크기 또는 밀도가 조절되는 발광다이오드.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 이종 접합 가지형 나노와이어를 구비한 발광다이오드에 관한 것으로, 보다 상세하게는 제1 물질로 이루어진 나노와이어 상에 제2 물질로 이루어진 나노와이어를 성장시켜 이종(異種)의 물질이 상호 접합된 가지 형상의 나노와이어를 구비한 발광다이오드에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 질화갈륨계 발광다이오드는 수명이 길고, 작은 크기를 가지며, 높은 효율과 에너지 변환 효율이 높아 적은 에너지 소비로 인한 장점 때문에 차세대 고체 조명 (solid-state lighting) 광원으로 주목 받고 있다.

[0003] 질화갈륨계 발광다이오드가 기존의 수은등이나 형광등을 대체하는 백색 광원으로서 쓰이기 위해서는 낮은 소비전력에서 고출력 빛을 발할 수 있어야 한다. 하지만 질화갈륨계 반도체는 대기와 큰 굴절률 차이를 나타내는데, 이와 같은 큰 굴절률의 차이는 발광다이오드의 활성층 영역에서 방출된 빛이 외부로 빠져나가지 못하고 발광다이오드 내부에서 전반사 되도록 하며, 전반사된 빛은 내부에서 재 흡수되어 광 출력의 효율을 저하시키는 요인이 된다.

[0004] 이러한 효율 저하의 문제를 해결하기 위해, 반도체 층 표면에 러프닝층, 광결정, 나노 막대 등을 형성하여 전반사가 일어나는 것을 방지함으로써 활성층에서 발생한 빛이 최소한의 손실로 외부로 방출되도록 하는 방법이 알려져 있다.

[0005] 이중에서, 나노 막대의 경우 전하 전달의 직접적인 통로로 쓰이며, 빛 분산이 좋아 발광다이오드의 효율을 크게 증가시킬 수 있어 많이 연구되고 있고, 최근에는 산화 아연계 나노막대를 사용한 경우, 평평한 발광다이오드 대비 효율이 79%까지 향상되었다는 보고가 되고 있다.

[0006] 그런데, 나노 막대로 높은 효율을 구현하기 위해서는 나노 막대의 크기가 100nm 이하의 매우 작은 크기로 형성되어야 하기 때문에 이러한 작은 크기의 나노 구조체를 양산하는데에는 한계가 있다. 또한, 나노 막대가 질화갈륨계 반도체 안에 전반사에 의해 형성된 도파(waveguide)를 밖으로 빼내주는 역할을 하지만, 나노 막대 자체 안에도 전반사에 의해 도파가 형성되어 효율의 향상에는 일정한 한계가 있다는 단점이 있다.

[0007] 한편, 하기 특허문헌에는 SLS(solid-liquid-solid)법을 이용하여 나노와이어 내부에 금속 나노점(nano-dot) 들을 포함하는 제1 나노와이어를 제조하는 단계와, 금속 나노점들이 노출되도록 에칭하는 단계 및 반응로에 넣고 가열하여 제2 나노와이어를 형성하는 단계를 포함하는 가지형 나노와이어의 제조방법이 개시되어 있고, 이 방법을 통해 형성된 가지형 나노와이어를 발광다이오드에 적용하는 방법이 개시되어 있다. 그런데 본 특허문헌의 기술은 제1 나노와이어에 나노 닷(dot) 형성하고 에칭을 하는 번거로움이 있을 뿐 아니라, 제2 나노와이어의 구조를 형성하기 위해서는 많은 금속의 녹는점을 상회하는 800~1200℃의 고온이 필요하여 실제 소자에 적용하기 어려운 문제점이 있다. 또한, 제2 나노와이어를 원하는 방향으로 배향시키기가 어렵기 때문에 제2 나노와이어

를 적용하여도 발광효율을 향상시키는데는 일정한 한계가 있을 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제2007-0048943호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 발광 다이오드의 효율을 향상시키는데 있어서 나노 막대의 크기를 줄이지 않고 기존의 나노 막대에 추가적인 미세한 나뭇가지가 소정의 방향으로 배향되어 형성되어 있어 발광다이오드에 적용될 경우 발광다이오드의 발광효율을 현저하게 향상시킬 수 있는 발광다이오드와 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 해결하기 위해 본 발명은, 반도체의 출광면 상에 형성되는 나노구조체를 포함하는 발광다이오드로서, 상기 나노구조체는 상기 출광면상에 형성되며 상부로 갈수록 직경이 줄어드는 복수의 제1 나노와이어와, 상기 제1 나노와이어의 표면에 특정 방향으로 배향되어 돌출 형성된 복수의 제2 나노와이어를 포함하는 발광다이오드를 제공한다.

[0011] 상기 제1 나노와이어의 굴절률은 제2 나노와이어의 굴절률에 비해 클 수 있다.

[0012] 상기 제2 나노와이어는 상기 출광면의 상방향으로 경사지게 돌출 형성될 수 있다.

[0013] 상기 제1 나노와이어는 Zn 산화물 또는 Ti 산화물을 포함할 수 있다.

[0014] 상기 제2 나노와이어는 MgO, WO_3, TiO_2, SiO_2, ITO 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0015] 상기 제2 나노와이어의 반경은 17.5~37.5nm 일 수 있다.

[0016] 상기 제2 나노와이어의 길이는 400~600nm 일 수 있다.

[0017] 상기 Zn 산화물은 ZnO, Al-doped ZnO, In-doped ZnO 및 Ga-doped ZnO 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0018] 상기 Zn 산화물은 ZrO_2, TiO_2, SiO_2, SiO, Al_2O_3, CuO_x 및 ITO 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0019] 상기 MgO는 B, In, Zn, Ti, Al, Sn, Ga, Te, Si, C, Ge, N, P, As, Sb, Bi, S, Se, Br, I, Ti, Be, Ca, Sr 및 Ba 중에서 선택된 1종 이상의 원소를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 제2 나노와이어는 전자선 증착 시 그림자 효과에 의해 형성될 수 있다.

[0021] 상기 제1 나노와이어의 직경이 줄어드는 비율의 조절을 통해 상기 제2 나노와이어의 크기 또는 밀도가 조절될 수 있다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 따른 발광다이오드는, 상부로 갈수록 끝이 점점 작아지는 테이퍼드(tapered) 형상의 제1 나노와이어의 표면에 제1 나노와이어에 비해 굴절률이 낮은 제2 나노와이어를 상방향으로 배향하여 형성하였기 때문에, 제1 나노와이어에 갇힌 도파를 제2 나노와이어를 빼낼 수 있으므로, 발광다이오드의 효율을 현저하게 향상시킬 수 있다.

[0023] 또한, 본 발명에 따른 발광다이오드의 제2 나노와이어는 제1 나노와이어의 내부에 닷(dot)을 포함시킬 필요가 없고, 상온 공정으로도 형성이 가능하여, 제조가 용이하고, 제1 나노와이어의 형상 조절을 통해 밀도 및 크기 조절이 용이하여, 나노 구조체에 요구되는 특성에 따른 조절이 용이하다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어가 형성되는 과정을 개략적으로 나타낸 모식도이다.

도 2a 및 도 2b는 각각, 반도체의 출광면에 나노 와이어를 형성한 경우와, 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어를 구비한 경우에 반도체의 출광면으로부터 빛이 도입되어 방출되는 과정을 설명하는 도면이다.

도 3은 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어를 구비한 수직형 발광다이오드의 사시도이다.

도 4는 도 3의 수직형 발광다이오드의 제조 과정에 대한 모식도이다.

도 5는 공초점 주사 전기발광 현미경으로, 본 발명의 일 실시형태에 따른 ZnO 나노와이어 구조와 ZnO/MgO 나노와이어 구조의 각 위치별 발광 강도를 측정한 결과이다.

도 6은 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어를 구비한 수직형 발광다이오도를 전산모사한 구조를 나타낸 것이다.

도 7은 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어에서 제2 나노와이어가 제1 나노와이어에 갇힌 도파를 빼내주는 역할을 함을 보여주는 소자의 파필드 (Far field) 그래프이다.

도 8은 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어에서 제2 나노와이어가 제1 나노와이어에 갇힌 도파를 빼내주는 역할을 함을 보여주는, 소자 단면의 전기장 분포 (Eletric Field distribution) 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시형태에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어에서, 제2 나노와이어를 이루는 MgO 나노와이어의 반경에 따른 발광다이오드의 효율을 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시형태에 따른 가지형 나노와이어에서, 제2 나노와이어를 이루는 MgO 나노와이어의 길이(높이)에 따른 발광다이오드의 효율을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 전산모사를 통한 예시예들을 상세하기로 설명하기로 한다. 다음에 소개되는 예시예들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위한 예로서 제공되는 것이다. 따라서 본 발명은 이하 설명되는 예시예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화 될 수도 있다. 그리고 도면에 있어서, 구성요소의 폭, 길이, 두께 등의 편의를 위해 과장되어 표현될 수 있다.

[0026] 본 발명에 따른 발광다이오드는, 반도체의 출광면 상에 형성되는 나노구조체를 포함하며, 상기 나노구조체는 상기 출광면상에 형성되며 상부로 갈수록 직경이 줄어드는 복수의 제1 나노와이어와, 상기 제1 나노와이어의 표면에서 경사지게 돌출 형성된 복수의 제2 나노와이어를 포함한다.

[0027] 도 1은 본 발명에 따른 가지형 나노와이어가 형성되는 과정을 개략적으로 나타낸 모식도이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 끝이 점점 작아지는 테이퍼(taper)진 형상을 갖는 제1 나노와이어의 표면에 제2 나노와이어를 증착하게 되면, 표면에 에피텍셜한 층이 형성되고 추가적인 증착과정에서 그림자 효과(shadow effect)에 의해 제2 나노와이어가 섬(island) 상으로 형성되고 이와 같이 섬상으로 형성된 제2 나노와이어가 성장하여 제2 나노와이어가 상방향으로 30° 이상 경사지게 형성되어, 이종 접합형 가지형 나노와이어가 형성된다.

[0028] 상기 제1 나노와이어의 굴절률은 상기 반도체에 비해 굴절률이 작은 물질이 바람직하고, 상기 제2 나노와이어의 굴절률은 상기 제1 나노와이어에 비해 굴절률이 작은 것이 바람직하다. 예를 들어, 제1 나노와이어가 굴절률이 2.1인 ZnO로 형성될 경우, 제2 나노와이어는 굴절률이 1.7인 MgO로 형성할 수 있으며, 이 경우 제1 나노와이어로 입사된 빛은 굴절률이 큰 ZnO 나노와이어에서 바로 공기로 빠져 나올 때에 갖는 전반사 임계각보다 제2 나노와이어인 MgO를 거쳐서 나올 경우 전반사 임계각이 더 크기 때문에 굴절률 그레이딩 효과(refractive index grading)로 인해 빛의 방출량이 많아질 수 있다.

[0029] 도 2a 및 도 2b는 각각, 반도체의 출광면에 나노 와이어를 형성한 경우와, 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어를 구비한 경우에 반도체의 출광면으로부터 빛이 도입되어 방출되는 과정을 설명하는 도면이다.

[0030] 도 2a에 도시된 바와 같이, 일반적인 나노와이어를 반도체의 출광면에 형성한 경우, 반도체 출광면으로부터 입사한 광은 나노와이어를 따라 상방향으로 방출되며, 이때 나노와이어의 측면으로 입사한 광은 반사되어 외부로 방출되지 못하여, 주로 나노와이어의 상부에서만 빛의 방출이 이루어지게 된다. 이에 비해, 도 2b에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 이종 접합 가지형 나노와이어를 반도체의 출광면에 형성한 경우, 반도체 출광면으로부

터 제1 나노와이어에 입사한 광은 상방향으로 향하는 빛뿐만아니라, 측면으로 향하는 빛도 제2 나노와이어를 통해 외부로 방출이 용이하게 이루어질 수 있다. 이에 따라, 이종 접합 가지형 나노와이어를 구비한 발광다이오드는 단순 나노와이어를 구비한 것에 비해 발광효율이 향상될 수 있다.

[0031] 상기 제1 나노와이어는 ZnO계 산화물을 포함할 수 있고, 또한 상기 ZnO계 산화물은 ZnO, Al-doped ZnO, In-doped ZnO 및 Ga-doped ZnO 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다. 또한, 상기 ZnO계 산화물은 굴절률과 빛의 발광에 지장을 주지 하는 범위에서 ZrO_2, TiO_2, SiO_2, SiO, Al_2O_3, CuO_x 및 ITO 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다. 또한, 제1 나노와이어로는 수열합성이 용이한 TiO_2와 같은 Ti 산화물을 포함할 수도 있다.

[0032] 상기 제2 나노와이어는 MgO계 산화물을 포함할 수 있고, 또한, 상기 MgO계 산화물은 굴절률과 빛의 발광에 지장을 주지 않는 범위에서, B, In, Zn, Ti, Al, Sn, Ga, Te, Si, C, Ge, N, P, As, Sb, Bi, S, Se, Br, I, Ti, Be, Ca, Sr 및 Ba 중에서 선택된 1종 이상의 원소를 포함할 수 있다.

[0033] 한편, 상기 제2 나노와이어를 MgO계 산화물로 할 경우 그 반경(radius)은 17.5nm~37.5nm인 것이 바람직한데, 이는 MgO계 산화물로 이루어진 제2 나노와이어의 반경이 상기 범위 내로 유지될 경우 광 추출률이 약 30% 이상으로 현저하게 향상될 수 있기 때문이며, MgO계 산화물로 이루어진 제2 나노와이어의 반경이 20nm~30nm로 유지될 경우 광 추출률이 50% 이상 향상될 수 있으므로, 보다 바람직하다.

[0034] 또한, MgO계 산화물로 이루어진 제2 나노와이어의 길이(또는 높이)는 400nm~600nm인 것이 바람직한데, MgO계 산화물로 이루어진 제2 나노와이어의 높이를 400nm~600nm로 유지될 경우 제2 나노와이어를 형성하지 않은 경우에 비해 광 추출률이 50% 이상 향상될 수 있으므로, 상기 범위를 유지하는 것이 바람직하다.

[0035] 또한, 상기 제2 나노와이어로 전자선 증착이 가능한 WO_3, TiO_2, SiO_2, ITO 등을 포함할 수 있으며, 상기 제1 나노와이어와 제2 나노와이어의 물질은 나노 구조체에 요구되는 물성에 부합되게 선택하여 사용될 수 있다.

[0036] 도 3은 상기한 이종 접합 나노와이어로 이루어진 나노 구조체를 수직형 발광다이오드에 형성한 상태를 나타내는 사시도이고, 도 4는 도 3의 나노 구조체를 구비한 수직형 발광다이오드를 특성을 전산모사를 통해 분석하기 위한 수직형 발광다이오드의 구성을 도시한 것이다.

[0037] 도 3 및 4에 도시된 바와 같이, 상기 발광다이오드는 전형적인 수직형 발광다이오드로서, 예를 들어, 유리 기판 상에 n형 반도체층으로 n-GaN층, 활성층으로 InGaN/GaN MQW층, p형 반도체층으로 p-GaN층, p-GaN층 상에 은(Ag)로 이루어진 반사층을 형성하고, 상기 반사층과 실리콘(Si) 기판을 접합한 후, 레이저 리프트 오프 기술을 사용하여 유리기판을 분리한 후, n-GaN층 상에 Al로 상부전극을 형성한 것을 사용할 수 있다. 한편, 본 발명의 실시예에서는 수직형 발광다이오드를 구성함에 있어서 상기한 물질을 사용하였으나, 발광다이오드를 구성할 수 있는 것이라면 제한없이 사용될 수 있다.

[0038] 이와 같이 제조된 발광다이오드의 상부전극을 포토레지스트로 도포하여, 상부전극에 ZnO 나노와이어가 성장하지 않도록, ZnO 나노와이어 성장 방지막을 형성할 수 있다. 상기 ZnO 나노와이어 성장 방지막은 상부전극의 전기적 특성 저하를 막기 위한 것이다. 상기 포토레지스트로는 예를 들어 AZ 5214(AZ electronic materials사 제품)과 같은 것이 사용될 수 있으나, ZnO 나노와이어 성장 방지막으로의 역할이 가능한 한 특별히 한정되지 아니한다. 또한, ZnO 나노와이어의 성장을 막을 수 있는 것이라면 포토레지스트에 한정되지 않고 다양한 물질로 성장 방지막을 형성할 수 있다. 상기 포토레지스트는 ZnO/MgO 나노와이어의 성장이 완료된 후 제거된다.

[0039] 이어서, ZnO 나노와이어 성장 방지막이 형성된 발광 다이오드를 오토클레이브에 투입하고, 산화아연 형성용 수용액을 사용하여, 수열합성법으로 n-GaN층 표면에 ZnO 나노와이어가 합성되도록 한다. 이때 ZnO의 합성온도는 60~200℃에서 수행될 수 있다. 또한 상기 산화아연 형성용 수용액은 아연염과 헥사메틸렌테트라아민을 포함할 수 있고, 상기 아연염과 헥사메틸렌테트라아민의 몰 비율은 바람직하게 2:1~1:2로 할 수 있고, 상기 아연염과 헥사메틸렌테트라아민 수용액의 몰 농도는 바람직하게 0.0001M~1M로 유지할 수 있다.

[0040] 이상과 같은 과정을 통해 ZnO 나노와이어가 형성되면, 전자선 증착법을 이용하여 ZnO 나노와이어의 표면에 MgO 나노와이어를 형성하여, 이종 접합형 가지형 나노 구조체가 형성된다.

[0041] 도 5는 공초점 주사 전기발광 현미경으로, 본 발명의 일 실시형태에 따른 ZnO 나노와이어 구조와 ZnO/MgO 나노와이어 구조의 각 위치별 발광 강도를 측정한 결과이다.

[0042] 도 5의 ZnO 나노와이어는, 탈 이온수 250mL 에 질산아연 분말 1.4874g, 헥사메틸렌테트라아민 분말 0.7009g을 용해(몰 비율 1:1)하여, 발광다이오드가 설치된 오토클레이브에 넣은 후, 3시간 동안 90℃를 유지하여 열을 가

함으로써 수열합성이 이루어지도록 한 후, 발광다이오드를 꺼낸 후 탈 이온수로 세정하는 방법으로 제조되었다.

[0043] 또한, 상기 ZnO 나노와이어가 형성된 발광다이오드를 전자선 증착기 (e-beam evaporator)에 넣어 전자선 증착법을 이용하여 상기 ZnO 나노와이어의 표면에 MgO 나노와이어를 형성하여 만들며, 이때 MgO를 형성하기 위한 전자선 증착 조건은 다음과 같이 수행할 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.

[0044] MgO의 증착의 소스로는 99.99%의 높은 순도를 갖고 있는 반지름 3mm MgO 펠릿을 사용하며, 상온에서 1~2nm/s의 증착속도로 증착 두께 20nm에서 2㎛까지 다양한 두께로 증착을 수행한다. 이때, 증착시 진공도는 3×10^{-6} torr, 전압 6 kV, 전류 15~20mA, 소스와 샘플간의 간격은 35cm로 유지하였다. 이와 같이 전자선 증착을 수행할 경우, 상부로 테이퍼진 형상의 ZnO 나노와이어에 의해, 도 1에 도시된 바와 같은 그림자 효과에 의해 MgO 나노와이어가 ZnO 나노와이어의 표면에 형성된다.

[0045] 도 5에 보이는 바와 같이, ZnO 나노와이어만 형성되어 있는 경우, 광도파로 현상으로 ZnO 나노선의 꼭지점에서는 광량 추출 효율이 높으나, ZnO 나노와이어의 측면에서는 빛의 추출이 매우 적음을 알 수 있다. 이에 비해, ZnO/MgO 이종 접합 가지형 나노와이어가 형성되어 있는 경우, ZnO 나노와이어의 측면으로 입사한 빛의 많은 부분이 MgO를 통해 외부로 방출되고 있음이 정성적으로 확인된다.

[0046] 도 6은 본 발명에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어를 구비한 수직형 발광다이오도의 발광특성을 모사분석하기 위한 구조를 나타낸 것이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 분석의 편의를 위하여 모사분석에 있어서 이종 접합형 가지형 나노와이어는, n-GaN층 상에 수직하게 성장되며 직경 500nm, 높이 3㎛인 ZnO 나노와이어와, 상기 ZnO 나노와이어의 측면에는 소자에 수평한 방향으로 형성되고, 상부에는 수직한 방향으로 형성되며 직경 약 20nm~250nm, 길이(높이) 50nm~1000nm의 MgO 나노와이어가 형성된 것을 조건으로 분석하였다.

[0047] 전산모사는 FDTD (Finite domain time difference) 방법을 통해 수행하였는데, 이 방법은 구조를 매우 작고 유한한 메쉬(mesh) 또는 그리드(grid)로 나누어 각 점에서 맥스웰 방정식을 풀어 근사하는 방법이다.

[0048] 상기 ZnO 나노와이어는 수직형 발광다이오드에 달았으며 수직형 발광 다이오드는 아래로부터 순차적으로 Ag 반사막 (300nm), p형 GaN 층 (200nm), InGaN/GaN MQW 활성층 (100nm), n형 GaN 층 (1.5㎛)로 이루어져 있는 것으로 하였다. 또한 전산모사에서 사용한 빛은 450nm 파장의 전기적 점 쌍극자(electric point dipole)로 활성층의 정중앙에 위치한다. 또한 FDTD 전산모사 계산 영역의 경계면은 아랫면의 경우 Ag 반사막과 같은 역할을 하기 위해 PEC (Perfect Electric Conductor (100% 반사 역할)로 두었으며, 나머지 4개의 옆면과 위층은 불필요한 빛 반사를 막기 위해(주변 영역은 공기이기 때문에 소자와 빛 사이에서 반사가 일어남) PML (Perfect Matched Layer (100% 흡수 역할))로 두었다.

[0049] 도 7은 상기 전산모사 분석을 통해 얻은 소자의 파필드 (Far field) 그래프이고, 도 8은 상기 전산모사 분석을 통해 얻은 소자 단면의 전기장 분포 (Eletric Field distribution) 그래프이다.

[0050] 도 7에 나타난 바와 같이, ZnO 나노와이어만 형성된 것(왼쪽)에 비해 ZnO/MgO 이종 접합 가지형 나노와이어(오른쪽)가 가운데에서의 세기가 약하고 전반적으로 퍼진 파필드를 갖는다. 한편, 나노와이어를 출광면의 상면에 형성한 발광 다이오드의 경우 대부분의 빛이 나노와이어를 통해 나오므로 파필드 세기가 가운데에서 매우 강하게 나타남에 비해, 본 발명에 따른 이종 접합 가지형 나노와이어 구조를 갖는 발광 다이오드의 경우, 파필드가 가운데에서 약하고 퍼지는 것을 볼 수 있는데, 이는 나노와이어에 접합된 가지로부터 빛이 방출되기 때문이다. 즉, ZnO 나노와이어에 접합된 MgO 나노와이어는 ZnO 나노와이어에 갇힌 도파를 빼내주는 역할을 한다고 볼 수 있다.

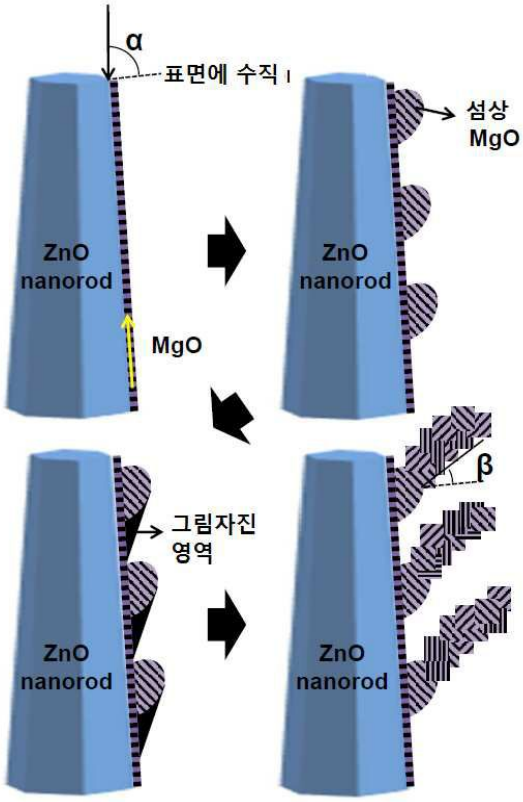
[0051] 또한, 도 8에 나타난 바와 같이, ZnO 나노와이어만 형성된 것(왼쪽)은 대부분의 전기장이 나노와이어 내부에만 있는 것을 볼 수 있다. 이에 비해 ZnO/MgO 이종 접합 가지형 나노와이어(오른쪽)의 경우, 나노와이어 내부의 전기장이 약해지고 나노와이어 외부에서 전기장이 강해진 것을 통해, 역시 ZnO에 접합 형성된 MgO 나노와이어가 ZnO 나노와이어 내부에 갇힌 도파를 빼내주는 역할을 함을 보여준다.

[0052] 도 9는 본 발명의 일 실시형태에 따른 이종 접합형 가지형 나노와이어에서, 제2 나노와이어를 이루는 MgO 나노와이어의 반경에 따른 발광다이오드의 효율을 나타내는 그래프이다. 도 9에 나타난 바와 같이, 제2 나노와이어의 반경이 17.5~37.5nm일 때는 ZnO 나노와이어만을 형성한 것에 비해 광추출 효율이 약 30% 이상 증가하고, 제2 나노와이어의 반경이 20~30nm일 때는 ZnO 나노와이어만을 형성한 것에 비해 광추출 효율이 약 50% 이상 증가함을 보여준다.

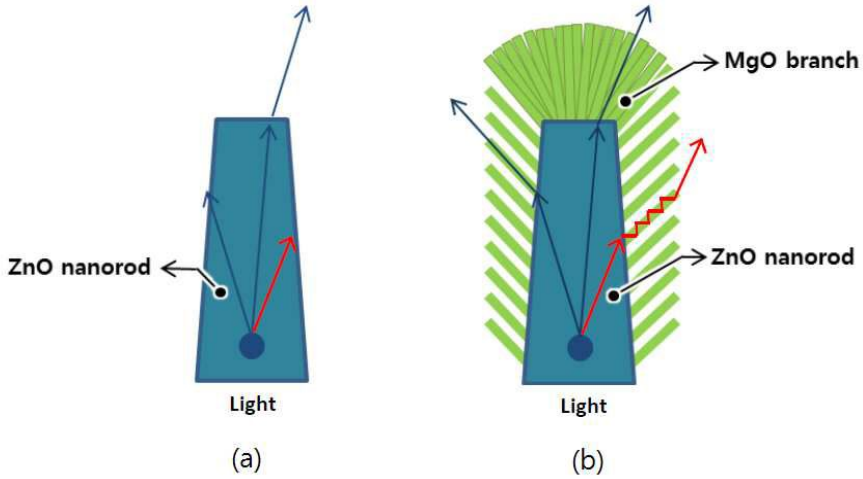
[0053] 도 10은 본 발명의 일 실시형태에 따른 가지형 나노와이어에서, 제2 나노와이어를 이루는 MgO 나노와이어의 길이(높이)에 따른 발광다이오드의 효율을 나타내는 그래프이다. 도 10에 나타난 바와 같이, 제2 나노와이어의 높이가 400~600nm일 때, ZnO 나노와이어만을 형성한 것에 비해 광추출 효율이 약 50% 이상 증가함을 보여준다.

도면

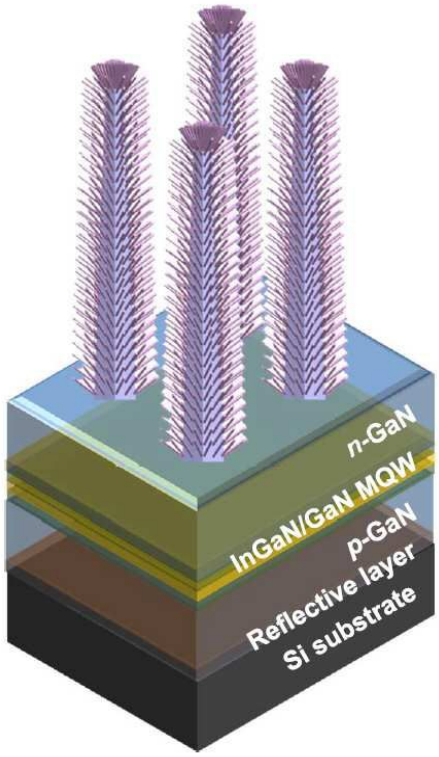
도면1



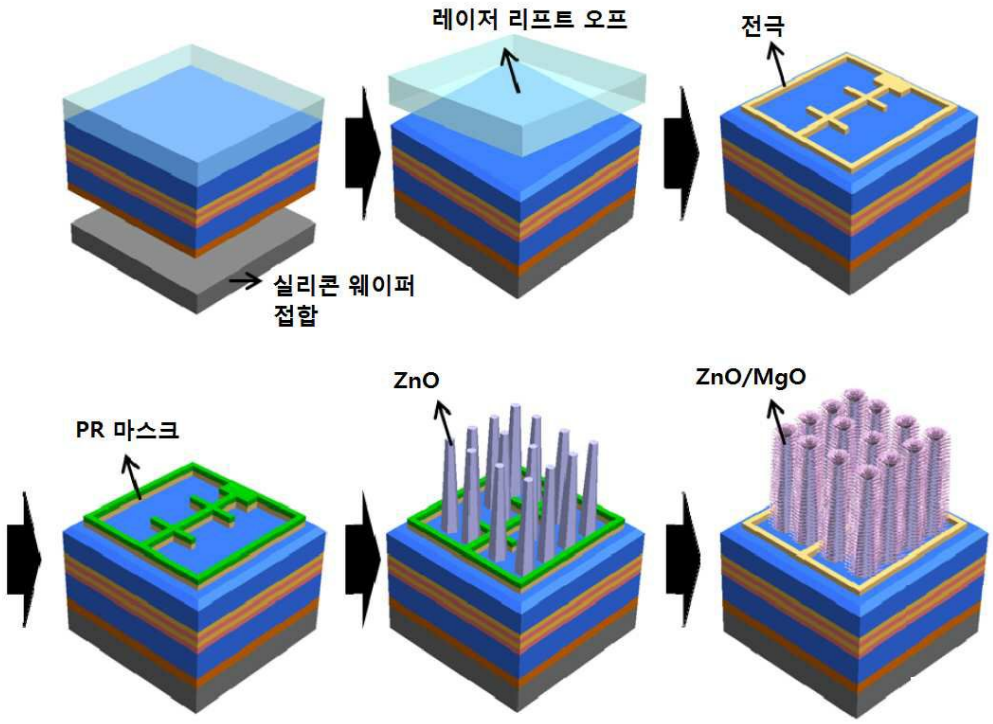
도면2


ZnO nanorod
Light
(a)
MgO branch
ZnO nanorod
Light
(b)

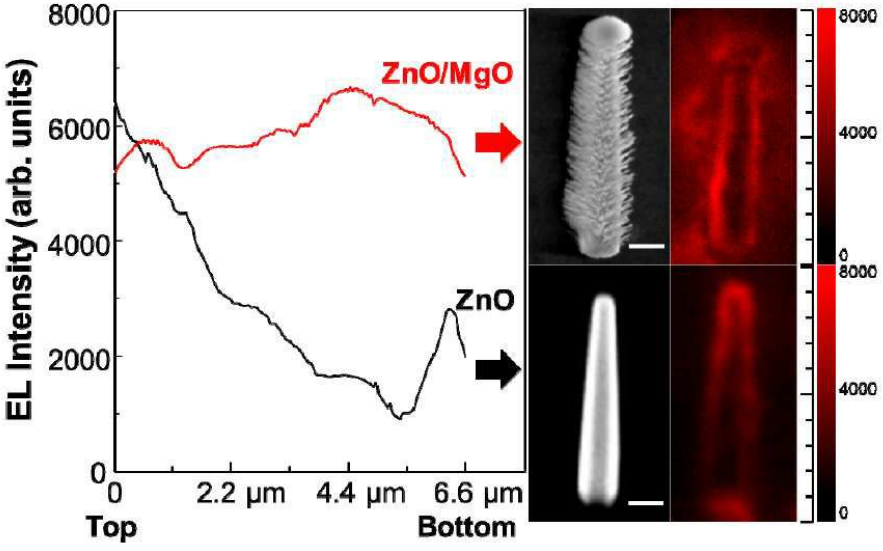
도면3


n-GaN
InGaN/GaN MQW
p-GaN
Reflective layer
Si substrate

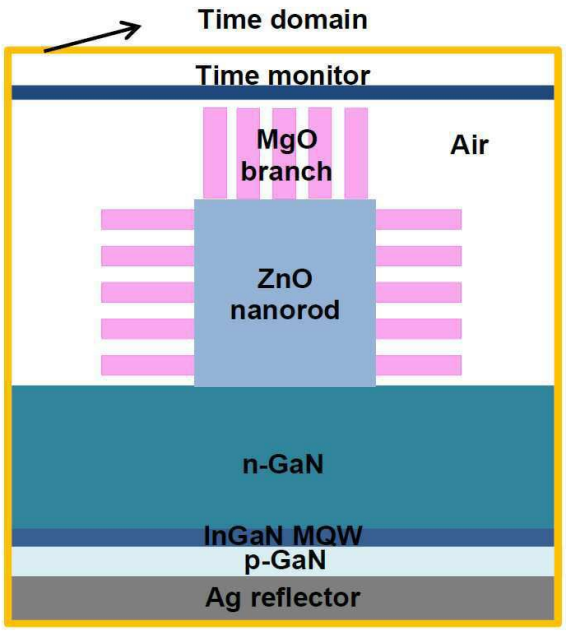
도면4


레이저 리프트 오프
전극
실리콘 웨이퍼
접합
ZnO
ZnO/MgO
PR 마스크

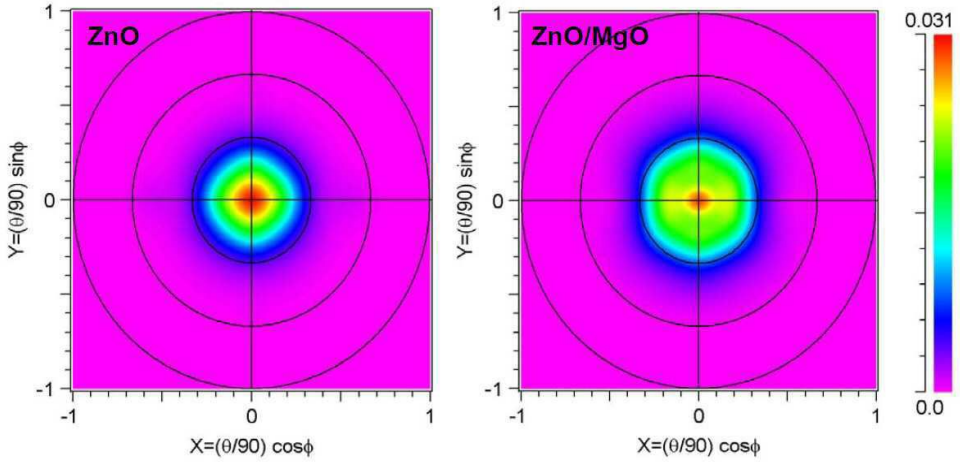
도면5


8000
6000
4000
2000
0
EL Intensity (arb. units)
ZnO/MgO
ZnO
0
2.2 μm
4.4 μm
6.6 μm
Top
Bottom
8000
4000
0
8000
4000
0

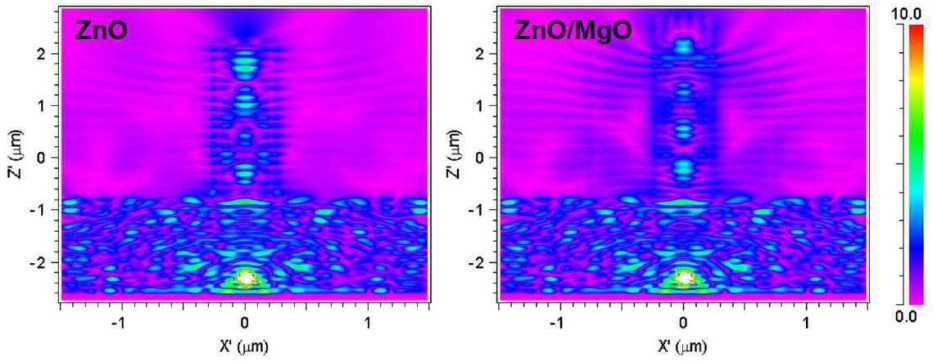
도면6


Time domain
Time monitor
MgO
branch
Air
ZnO
nanorod
n-GaN
InGaN MQW
p-GaN
Ag reflector

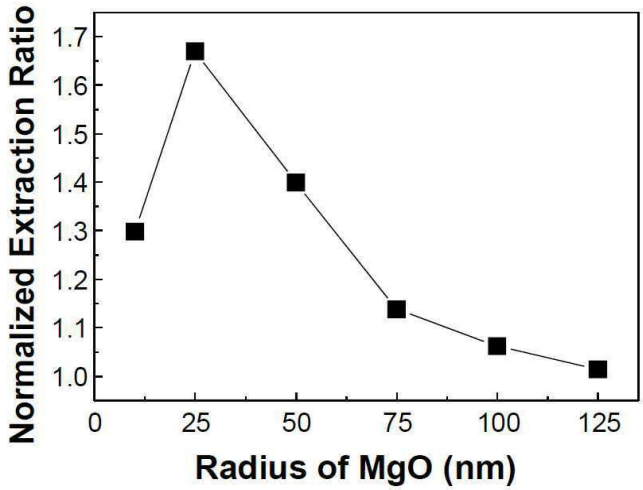
도면7


ZnO
ZnO/MgO
Y=(θ/90) sinϕ
X=(θ/90) cosϕ
1
0
-1
0.031
0.0

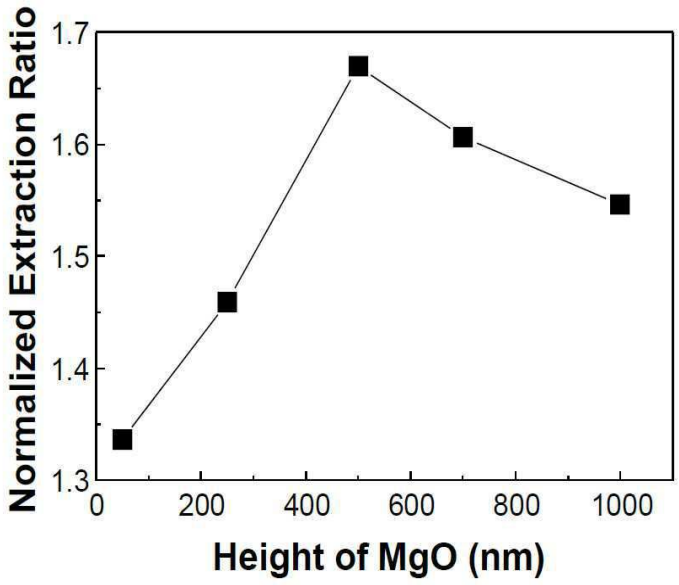
도면8


ZnO
ZnO/MgO
Z' (μm)
X' (μm)
10.0
0.0

도면9


Normalized Extraction Ratio
Radius of MgO (nm)

도면10


Normalized Extraction Ratio
Height of MgO (nm)