

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0115802 (43) 공개일자 2012년10월19일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H01L 33/16 (2010.01)	(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울 성북구 안암동5가 1	
(21) 출원번호 10-2011-0033334	(72) 발명자 김태근 경기도 성남시 분당구 서현로 177, 금강아파트 103-1301 (이매동)	
(22) 출원일자 2011년04월11일 심사청구일자 2011년04월11일	김동호 서울특별시 노원구 초안산로1길 18, 주공아파트 2단지 208동 1110호 (월계동)	
	(74) 대리인 특허법인주원	

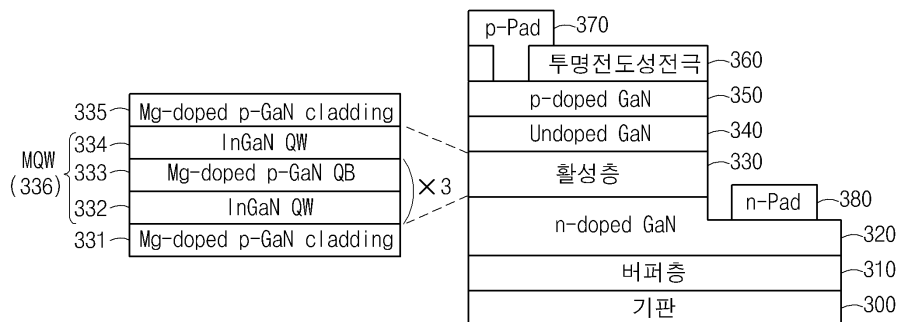
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자 및 그 제조 방법**

(57) 요약

고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자 및 그 제조 방법이 개시된다. 전기적/광학적 특성 향상을 위한 무분극 질화갈륨계 발광 소자는, Mg 도핑된 p타입 GaN MQB를 갖는 활성층 구조를 형성하고, Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩 층을 활성층의 상, 하부에 배치하는 구성으로 인해, 캐리어 주입 효율 및 재결합 효율을 향상시켜, 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 전기적/광학적 특성을 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

제 1 질화물 반도체 층;

상기 제 1 질화물 반도체 층 위에 형성된 제 1 클래딩 층;

상기 제 1 클래딩 층 위에 형성된 활성층;

상기 활성층 위에 형성된 제 2 클래딩 층; 및

상기 제 2 클래딩 층 위에 형성된 제 2 질화물 반도체 층; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제 1 클래딩 층 및 상기 제 2 클래딩 층은,

미리 설정된 불순물로 도핑되는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 활성층은,

양자 우물층 및 양자 장벽층을 서로 교차하며 복수층으로 형성하는 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 양자 장벽층은,

미리 설정된 불순물로 도핑되는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자.

청구항 5

제 2항 또는 제 4항에 있어서,

상기 불순물은,

p 타입 불순물인 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자.

청구항 6

제 2항 또는 제 4항에 있어서,

상기 불순물은,

$1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이상의 농도로 도핑되는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 불순물은,

1×10^{17} 내지 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 농도로 도핑되는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자.

청구항 8

- (a) 제 1 질화물 반도체 층 위에 제 1 클래딩 층을 형성하는 단계;
- (b) 상기 제 1 클래딩 층 위에 활성층을 형성하는 단계; 및
- (c) 상기 활성층과 제 2 질화물 반도체 층 사이에 제 2 클래딩 층을 형성하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 (a) 단계 및 상기 (c) 단계에서는,

상기 제 1 클래딩 층 및 상기 제 2 클래딩 층을 미리 설정된 불순물로 도핑하여 형성하는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법.

청구항 10

제 8항에 있어서,

상기 (b) 단계에서는,

(b-1) 상기 제 1 클래딩 층 위에 양자 우물층을 형성하는 단계;

(b-2) 상기 양자 우물층 위에 양자 장벽층을 형성하고, 상기 양자 장벽층 위에 상기 양자 우물층을 형성하는 단계; 및

(b-3) 상기 (b-2) 단계를 복수로 수행하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 (b-2) 단계에서는,

상기 양자 장벽층을 미리 설정된 불순물로 도핑하여 형성하는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법.

청구항 12

제 9항 또는 제 11항에 있어서,

상기 불순물은,

p 타입 불순물인 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법.

청구항 13

제 9항 또는 제 11항에 있어서,

상기 불순물은,

$1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이상의 농도로 도핑되는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법.

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 불순물은,

1×10^{17} 내지 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 농도로 도핑되는 것을 특징으로 하는 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방

법.

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 전기적/광학적 특성 향상을 위한 무분극 질화갈륨계 발광 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 최근 a-plane 또는 m-plane 방향으로 성장된 InGaN/GaN 활성층을 갖는 무분극성 질화갈륨계 발광 소자(nonpolar InGaN/GaN LED)는, 기존의 c-축 성장방향을 갖는 InGaN/GaN 발광 소자에 비해 에피층 성장시 갈륨(Ga)과 질소(N)의 전기음성도 차이에 의해 발생하는 자발 분극(spontaneous polarization) 및 압전 분극(piezoelectric polarization)의 발생이 억제되어 우수한 내부양자효율 및 변환효율을 갖는 발광소자로 많은 주목을 받고 있다.
- [0003] 도 1은 일반적인 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 기본 구조를 나타내는 도면으로, 일반적인 무분극 질화갈륨계 발광 소자는 기판(100), 기판(100) 위에 순차적으로 성장되는 버퍼층(110), n 도핑된 n형 GaN 층(120, n-doped GaN), 활성층(130), 도핑되지 않은 GaN층(140, undoped GaN), p 도핑된 p형 GaN 층(150, p-doped GaN), 투명 전도성 전극층(160), p형 전극(170, p-pad), 및 투명 전도성 전극층(160) 내지 활성층(130)이 식각되어 노출된 n형 GaN 층(120) 위에 형성되는 n형 전극(180, n-pad)의 구조로 구성된다.
- [0004] 이때, 활성층(130)은 InGaN QW(132, InGaN Quantum Well(양자 우물)) 및 도핑되지 않은 GaN QB(133, Undoped GaN Quantum Barrier(양자 장벽))가 3 또는 4층 정도 적층되어, MQW(136, Multiple Quantum Wells, 다중 양자 우물)구조로 구성된다(도 1에서 활성층(130)은 MQW(136)와 동일한 구조이다).
- [0005] 이와 같은 구조의 무분극 질화갈륨계 발광 소자는 상술한 바와 같이 우수한 내부양자효율 및 변환효율을 갖는 발광소자로 많은 주목을 받고 있지만, n형 GaN층(120)과 p형 GaN층(140) 사이에 InGaN/GaN MQW(136)이 삽입된 구조는 p-n 접합시 발생하는 n형 GaN층(120)과 p형 GaN층(140) 간 페르미-준위 정렬(Fermi-level alignment)에 의한 내부 전계(built-in potential)를 생성시키고, 이로 인해 에너지 밴드갭 변형(energy band-gap distortion)이 발생한다는 문제점이 있다.
- [0006] 또한, 무분극 질화갈륨계 발광 소자는 에피층 성장시 저항접합을 위해 고농도로 도핑된 n형 GaN층(120)과 n형 GaN층(120)의 상부에 연속적으로 성장되는 InGaN/GaN MQW(136) 간의 도핑농도 차이에 의해, 전도대(conduction band) 간 불연속적 접합(discontinuity) 현상이 발생한다는 문제점이 있다.
- [0007] 결론적으로, 상술한 에너지 밴드갭 변형의 발생 및 전도대의 불연속적 접합 현상의 발생으로 인하여 외부로부터 주입되는 캐리어(carrier, 전자-정공)의 주입 효율이 저하되고, 외부로부터 주입된 캐리어가 InGaN/GaN MQW(136) 내에서 재결합하지 못하는 캐리어 오버플로(carrier overflow) 현상이 발생하여 무분극 발광 소자의 재결합 효율을 저하시키는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 이와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 캐리어 주입 효율 및 재결합 효율을 향상시켜, 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 전기적/광학적 특성을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자는 제 1 질화물 반도체 층, 제 1 클래딩 층, 활성층, 제 2 클래딩 층, 및 제 2 질화물 반도체 층을 포함한다.
- [0010] 제 1 클래딩 층은 제 1 질화물 반도체 층 위에 형성되고, 활성층은 제 1 클래딩 층 위에 형성되며, 제 2 클래딩 층은 활성층 위에 형성되고, 제 2 질화물 반도체 층은 제 2 클래딩 층 위에 형성된다.
- [0011] 또한, 제 1 클래딩 층 및 상기 제 2 클래딩 층은 미리 설정된 불순물로 도핑될 수 있다.
- [0012] 또한, 활성층은 양자 우물층 및 양자 장벽층을 서로 교차하며 복수층으로 형성하는 구조를 포함할 수 있다.

- [0013] 또한, 양자 장벽층은 미리 설정된 불순물로 도핑될 수 있다.
- [0014] 이때, 불순물은 p 타입 불순물일 수 있다.
- [0015] 또한, 불순물은 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이상의 농도로 도핑될 수 있다.
- [0016] 또한, 불순물은 1×10^{17} 내지 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 농도로 도핑될 수 있다.
- [0017] 이러한 구성으로 인해, 캐리어 주입 효율 및 재결합 효율을 향상시켜, 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 전기적/광학적 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0018] 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법은, 제 1 질화물 반도체 층 위에 제 1 클래딩 층을 형성하는 (a) 단계, 제 1 클래딩 층 위에 활성층을 형성하는 (b) 단계, 및 활성과 제 2 질화물 반도체 층 사이에 제 2 클래딩 층을 형성하는 (c) 단계를 포함한다.
- [0019] 또한, (a) 단계 및 (c) 단계에서는 제 1 클래딩 층 및 제 2 클래딩 층을 미리 설정된 불순물로 도핑하여 형성할 수 있다.
- [0020] 또한, (b) 단계에서는 제 1 클래딩 층 위에 양자 우물층을 형성하는 (b-1) 단계, 양자 우물층 위에 양자 장벽층을 형성하고, 양자 장벽층 위에 양자 우물층을 형성하는 (b-2) 단계, 및 (b-2) 단계를 복수로 수행하는 (b-3) 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 또한, (b-2) 단계에서는 양자 장벽층을 미리 설정된 불순물로 도핑하여 형성할 수 있다.
- [0022] 또한, 불순물은 p 타입 불순물일 수 있다.
- [0023] 또한, 불순물은 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이상의 농도로 도핑될 수 있다.
- [0024] 또한, 불순물은 1×10^{17} 내지 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 농도로 도핑될 수 있다.

발명의 효과

- [0025] 본 발명에 의해 Mg 도핑된 p타입 GaN MQB를 갖는 활성층 구조를 형성하고, Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩 층을 활성층의 상,하부에 배치함으로써, 캐리어 주입 효율 및 재결합 효율을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 일반적인 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 기본 구조를 나타내는 도면.
- 도 2는 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 바람직한 일 실시예를 나타내는 도면.
- 도 3a는 도 1에 언급된 일반적인 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 활성층을 나타내는 도면.
- 도 3b는 도 2에 언급된 본 발명의 무분극 질화갈륨계 발광 소자에 대한 대조군 소자의 활성층을 나타내는 도면.
- 도 3c는 도 2에 언급된 본 발명의 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 활성층을 나타내는 도면.
- 도 4는 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 에너지 밴드 다이어그램을 나타내는 도면.
- 도 5는 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 재결합 비율을 나타내는 도면.
- 도 6은 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 내부 양자율을 나타내는 도면.
- 도 7은 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 L-I-V 특성을 나타내는 도면.
- 도 8은 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 전계발광 특성을 나타내는 도면.
- 도 9는 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 외부 양자 효율을 나타내는 도면.
- 도 10은 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법을 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다. 발명의 이해를 보다 명확하게 하기 위해

동일한 구성요소에 대해서는 상이한 도면에서도 동일한 부호를 사용하도록 한다.

- [0028] 도 2는 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 바람직한 일 실시예를 나타내는 도면이다.
- [0029] 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 구조는, 활성층(330) 및 활성층(330)의 상,하부에 배치되는 클래딩층(331, 335)의 구조를 제외하고 상술한 도 1의 일반적인 무분극 질화갈륨계 발광 소자 구조와 대응된다.
- [0030] 즉, 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자는 기판(300), 기판(300) 위에 순차적으로 성장되는 버퍼층(310), n 도핑된 n형 GaN 층(320, n-doped GaN), 활성층(330), 도핑되지 않은 GaN층(340, undoped GaN), p 도핑된 p형 GaN 층(350, p-doped GaN), 투명 전도성 전극층(360), p형 전극(370, p-pad), 및 투명 전도성 전극층(360) 내지 활성층(330)이 식각되어 노출된 n형 GaN 층(320) 위에 형성되는 n형 전극(380, n-pad)의 구조로 구성된다.
- [0031] 이때, 활성층(330)의 세부 구조를 도 1의 활성층(130)과 대비하여 살펴보면, 도 1의 활성층(130)은 InGaN QW(132, InGaN Quantum Well(양자 우물)) 및 도핑되지 않은 GaN QB(133, Undoped GaN Quantum Barrier(양자 장벽))가 복수(예컨대, 3 또는 4층 정도)로 적층되고, 최상위의 도핑되지 않은 GaN QB(133) 위에 InGaN QW(134)가 적층된, MQW(136, Multiple Quantum Wells, 다중 양자 우물)구조로 구성된다.
- [0032] 하지만, 도 2의 활성층(330)은 도 1의 도핑되지 않은 GaN QB(133)이 Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333)로 변경되어, InGaN QW(332) 및 Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333)가 서로 교차하며 복수(예컨대, 3 또는 4)로 적층되고, 최상위의 Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333) 위에 InGaN QW(334)가 적층된, MQW(336)구조로 구성된다.
- [0033] 더불어, 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자는 상술한 도 2의 활성층(330)의 상,하부에 Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(331, 335, Mg-doped p-GaN cladding)이 배치되는 구조로 구성된다.
- [0034] 즉, 도 2의 활성층(330)은 n 도핑된 n형 GaN 층(320) 위에 순차적으로 성장되는 Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(331), 서로 교차하며 복수(예컨대, 3 또는 4 정도)로 적층된 InGaN QW(332)와 Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333), InGaN QW(334), 및 Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(335)의 구조로 구성된다(332 내지 334가 MQW(336) 구조가 된다).
- [0035] 이때, Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(331), Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333), 및 Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(335)의 두께는 각각 6nm이 됨이 바람직하고, 도핑 농도는 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이상의 하이 도핑이 될 수 있으며, 특히, ' 1×10^{17} 내지 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ '가 됨이 바람직할 것이다.
- [0036] 이러한 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 구조로 인해, 기존 무분극 질화갈륨계 발광 소자에서의 내부 전계에 의한 에너지 밴드갭 변형을 근본적으로 억제하여 캐리어 주입 효율을 향상시킬 수 있고, 캐리어의 오버플로 현상을 완화하여 재결합 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0037] 또한, 상술한 바와 같은 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 구조로 인해, 도 1의 일반적인 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 문제점을 해결하고자 현재 연구되고 있는 발광 소자의 구조로 인해 발생하는 문제점인, 층 표면의 왜곡 및 적층 결함(stacking fault) 등과 같은 결함층의 발생으로 인해 발광 소자의 전기적/광학적 특성을 저하시키는 문제점을 해결할 수 있다.
- [0038] 현재 연구되고 있는 에피성장 구조는 외부로부터 주입된 캐리어의 오버플로 현상의 억제 및 캐리어 주입 효율 향상을 위해 p-Al(In)GaN EBL(Electron Blocking Layer, 전자 장벽층)을 InGaN/GaN MQW(136)의 상부에 삽입한 구조, 주입된 캐리어의 재결합 효율 향상을 위해 InGaN/GaN MQW(136) 내 실리콘(Si)을 강하게 도핑한 Si doped GaN QB를 삽입한 구조, 및 InGaN QW(132, 134) 성장 시 두께의 변화를 주어 성장하는 graded-thickness InGaN QW 구조 등이 연구되고 있으며, 이러한 연구들은 에피성장시 추가적인 층의 성장을 위한 에피층 성장 조건의 복잡성과 더불어, 고농도의 불순물 도핑에 의한 층 표면의 변형 및 적층 결함(stacking fault) 등과 같은 결함층을 발생시키는 문제점이 있다.
- [0039] 또한, p-Al(In)GaN EBL의 경우는 캐리어(전자)의 오버플로는 효과적으로 억제할 수 있지만, 캐리어(정공)의 주입은 막아, 결과적으로 의도치 않은 분극이 생성되어 발광 소자의 전기적/광학적 특성을 저하시킨다는 문제점이 있다.
- [0040] 즉, 상술한 바와 같은 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 구조로 인해, 결함층을 발생시키지 않고, 발광 소자의 전기적/광학적 특성을 저하시키지 않으면서, 캐리어 주입 효율 및 캐리어의 재결합 효율

을 향상시킬 수 있다.

- [0041] 도 3은 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 활성층 구조를 비교하는 도면으로, 도 3a는 도 1에 언급된 일반적인 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 활성층(130, 136)을 나타내고, 도 3b는 도 2에 언급된 본 발명의 무분극 질화갈륨계 발광 소자에 대한 대조군 소자의 활성층(236)을 나타내며, 도 3c는 도 2에 언급된 본 발명의 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 활성층(330, 336)을 나타낸다.
- [0042] 도 3a 및 도 3c의 구조는 상술한 도 1 및 도 2에서 언급하였으므로 자세한 설명은 생략한다.
- [0043] 도 3b는 도 3c의 구조에서 Mg 도핑된 상하부 클래딩층(331, 335) 및 QB(333) 구조를, Mg 도핑을 하지 않은, 즉 도핑되지 않은 상,하부 클래딩층(231, 235) 및 QB(233) 구조로 변경한 것이다.
- [0044] 즉, 도 3a의 활성층(130, 136)은 서로 교차하며 복수(예컨대, 3 또는 4)로 적층된 InGa_N QW(132)과 도핑되지 않은 Ga_N QB(133), 및 최상위의 도핑되지 않은 Ga_N QB(133) 위에 형성되는 InGa_N QW(134)이 순차적으로 적층된 MQW(136)구조로 구성된다.
- [0045] 또한, 도 3b의 활성층(236)은 서로 교차하며 복수(예컨대, 3 또는 4)로 적층된 InGa_N QW(232)과 도핑되지 않은 Ga_N QB(233), 및 최상위의 도핑되지 않은 Ga_N QB(233) 위에 형성되는 InGa_N QW(234)이 순차적으로 적층된 MQW(236)구조로 구성되며, 활성층(236)의 상, 하부에 도핑되지 않은 p타입 Ga_N 클래딩층(231, 235)이 추가로 배치되는 구조로 구성될 수 있다.
- [0046] 또한, 도 3c의 활성층(330, 336)은 서로 교차하며 복수(예컨대, 3 또는 4)로 적층된 InGa_N QW(332)과 Mg 도핑된 Ga_N QB(333), 및 최상위의 Mg 도핑된 Ga_N QB(333) 위에 형성되는 InGa_N QW(334)이 순차적으로 적층된 MQW(336)구조로 구성되며, 활성층(330, 336)의 상, 하부에 Mg 도핑된 p타입 Ga_N 클래딩층(331, 335)이 추가로 배치되는 구조로 구성될 수 있다.
- [0047] 이하에서 언급할 도 4 내지 도 9는 도 3의 구조를 갖는 발광 소자들의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.
- [0048] 또한, 이하에서 언급되는 흑색선은 도 3a의 구조를 갖는 소자, 청색선은 도 3b의 구조를 갖는 소자, 적색선은 도 3c의 구조를 갖는 소자를 지칭하는 것으로 이해하도록 한다.
- [0049] 도 4는 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 에너지 밴드 다이어그램(Energy-band diagram)을 나타내는 도면이다.
- [0050] 20mA의 전류를 주입하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 흑색선을 참조하면, 실제 에너지 밴드 구조 내에서는 p-n 접합이 발생함에 따른 MQW(136) 구조의 변형이 발생하고, 'A'부분(강하게 n 도핑된 n-Ga_N(120)과 InGa_N QW(132)이 만나는 부분)에서 전도대 간 불연속에 의해서 언덕 형태의 전도대 틸팅이 발생(전자 주입 장벽(electron injection blocking) 현상 발생)하는 것을 볼 수 있다.
- [0051] 이러한 두 가지 현상(MQW(136) 구조의 변형 및 전도대 틸팅)이 전도대 불연속에 의한 캐리어의 주입 효율을 감소시키는 원인이 되고, 결과적으로 캐리어가 오버플로 되어 캐리어의 재결합 효율을 낮추게 된다.
- [0052] 즉, n-Ga_N(120) 쪽에서 주입되는 전자와 p-Ga_N(150)쪽에서 주입되는 정공이 MQW(136) 내에서 재결합되어야지만 광으로 추출되는 효율이 100%에 가까운 효율로 가질 수 있는데, 실제로 전도대 불연속에 의해서 전자들이 MQW(136)로 주입되는게 아니라, 넘쳐서 흘러버리는 문제(오버플로)가 발생하므로, MQW(136) 구조 내부가 변형이 되면서 캐리어의 재결합 효율을 낮추게 된다.
- [0053] 반면, 청색선 및 적색선을 참조하면, 청색선 및 적색선과 같이 클래딩층이 있는 구조의 경우, 'A'부분에서 전도대 간 불연속에 의한 틸팅이 완화되는 것을 확인할 수 있고, 'B'부분에서 청색선 및 적색선이 흑색선 보다 평평해진 것으로 보아, 청색선 및 적색선의 구조가 에너지 밴드 다이어그램의 밴드 변형을 억제한다는 것을 확인할 수 있다.
- [0054] 또한, 청색선 및 적색선을 비교해보면, Mg 도핑을 한 적색선이 도핑을 하지 않은 청색선에 비해서 전체적으로 내부 전계에 의한 에너지 밴드갭의 변형이 완화되는 것으로 보아 캐리어 주입 효율이 향상됨을 알 수 있고, 전체적인 에너지 밴드 다이어그램의 기울기가 완화되는 것으로 보아, 전도대 간 불연속이 완화되어 캐리어 재결합 효율이 향상됨을 알 수 있다.
- [0055] 도 5는 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 재결합 비율(Racombination rate)을 나타내는 도면이다.

- [0056] 20mA의 전류를 주입하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 'C'부분을 보면, 클래딩층을 갖고 있는 청색선 및 적색선이 기본적인 구조인 흑색선에 비해서 재결합 비율이 훨씬 향상되고, Mg를 도핑한 적색선이 도핑하지 않은 청색선보다 재결합 비율이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0057] 도 6은 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 내부 양자 효율(IQE, Internal Quantum Efficiency)을 나타내는 도면이다.
- [0058] 1mA의 전류를 주입하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 흑색선의 경우 내부 양자효율이 81.9%, 청색선의 경우 86.6%, 적색선의 경우 91.1%를 나타냄을 확인할 수 있다.
- [0059] 즉, 클래딩층을 갖고 있는 구조가 기본적인 구조보다, Mg 도핑된 구조가 도핑되지 않은 구조보다 내부 양자효율이 높으며, Mg 도핑되며, 클래딩층을 갖고 있는 구조(적색선)의 경우 기본구조(흑색선)에 비해 내부 양자효율이 약 10% 정도 향상됨을 확인할 수 있으므로, 빛 에너지로 변환되는 비율(내부 양자효율)이 향상되어, 광학적 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0060] 도 7은 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 L-I-V(빛-전류-전압) 특성을 나타내는 도면이다.
- [0061] 20mA의 전류를 주입하여 시뮬레이션을 수행한 결과, forward voltage (V_f)는 흑색선이 3.82V, 청색선이 3.74V, 적색선이 3.82V를 나타내어, 적색선이 흑색선에 비해 약 0.15 V 정도 감소함을 확인할 수 있다.
- [0062] 또한, 광출력(light output power)은 흑색선이 1.98mW, 청색선이 2.1mW, 적색선이 2.13mW를 나타내어, 적색선이 흑색선에 비해 약 0.15mW 향상되는 것을 확인할 수 있다.
- [0063] 즉, Mg 도핑되며, 클래딩층을 갖고 있는 구조의 경우 기본구조에 비해 적은 전압으로 큰 광출력을 낼 수 있으므로, 전기적 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0064] 도 8은 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 전계발광(EL, Electroluminescence) 특성을 나타내는 도면이다.
- [0065] 전계발광 특성은 흑색선 대비 적색선이 170% 정도 향상됨을 확인할 수 있으므로, 광학적 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0066] 도 9는 도 3a 내지 도 3c에 대한 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 외부 양자 효율(EQE, External Quantum Efficiency)을 나타내는 도면이다.
- [0067] 20mA의 전류를 주입하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 흑색선이 74%, 청색선이 77.4%, 적색선이 78.9%를 나타내어, 외부 양자 효율은 적색선이 흑색선에 비해 약 4% 정도 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0068] 즉, 물질의 외부로 나오는 빛 에너지의 비율이 향상되어, 광학적 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0069] 도 10은 본 발명에 따른 고효율 무분극 질화갈륨계 발광 소자의 제조 방법을 나타내는 도면이다.
- [0070] 먼저, 기판(300) 위에 순차적으로 버퍼층(310) 및 n 도핑된 n형 GaN 층(320, n-doped GaN)을 형성하고(도 10a 참조), n 도핑된 n형 GaN 층(320) 위에 Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(331)을 형성한다(도 10b 참조).
- [0071] 그리고, Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(331) 위에 InGaN QW(332)와 Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333)을 서로 교차하며 복수(예컨대, 3 또는 4 정도)로 형성하는데, 도 10의 c에서와 같이, 서로 교차하며 3층으로 형성할 수 있다. InGaN QW(332)와 Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333)이 서로 교차된 후, 최상위에 위치한 Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333) 위에 InGaN QW(334)을 형성한다(도 10c 참조).
- [0072] 이때, InGaN QW(332) 내지 InGaN QW(334)가 MQW(336) 구조를 이루는 활성층(330)이 될 수 있다.
- [0073] 다음으로, InGaN QW(334) 위에 Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(335)을 형성한다(도 10d 참조).
- [0074] 도 10의 c 및 d에서, Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(331), Mg 도핑된 p타입 GaN QB(333), 및 Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(335)의 두께는 각각 6nm이 됨이 바람직하고, 도핑 농도는 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이상의 하이 도핑이 될 수 있으며, 특히, ' 1×10^{17} 내지 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ '가 됨이 바람직할 것이다.
- [0075] Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(335)이 형성되면, Mg 도핑된 p타입 GaN 클래딩층(335) 위에 순차적으로 도핑되지 않은 GaN층(340, undoped GaN), p 도핑된 p형 GaN 층(350, p-doped GaN), 및 투명 전도성 전극층(360)을 형성

한다(도 10e 참조).

[0076] 투명 전도성 전극층(360) 위에는 p형 전극(370, p-pad)을 형성하는데, p형 전극(370)은 투명 전도성 전극층(360)이 일부 식각되어 노출된 p 도핑된 p형 GaN 층(350)과 접촉하도록 형성할 수 있다(도 10f 참조).

[0077] 그리고, 투명 전도성 전극층(360) 내지 활성층(330)이 식각되어 노출된 n형 GaN 층(320) 위에 n형 전극(380, n-pad)을 형성한다(도 10g 참조).

[0078] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

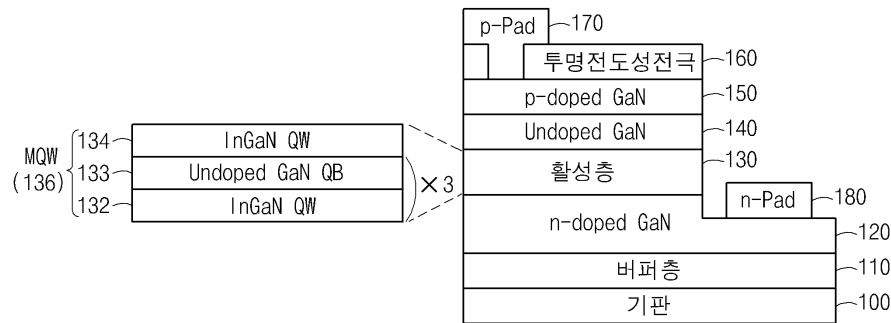
부호의 설명

[0079]

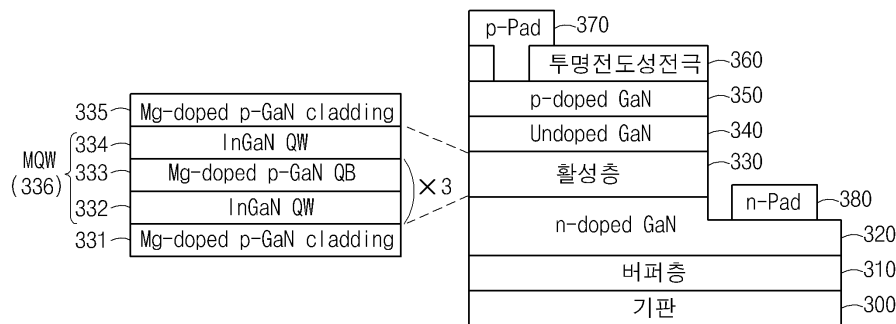
100, 300	기관
110, 310	버퍼층
120, 320	n-doped GaN
130, 330	활성층
231	Undoped GaN cladding
331	Mg-doped p-GaN cladding
132, 232, 332	InGaN QW
133	Undoped GaN QB
233	Undoped GaN QB
333	Mg-doped p-GaN QB
134, 234, 334	InGaN QW
235	Undoped GaN cladding
335	Mg-doped p-GaN cladding
136, 236, 336	MQW
140	Undoped GaN
150	p-doped GaN
160	투명 전도성 전극
170	p-pad
180	n-pad

도면

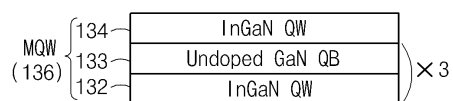
도면1



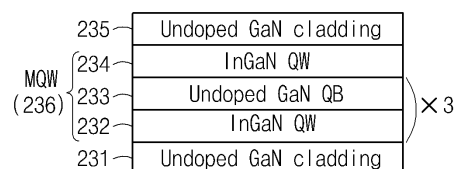
도면2



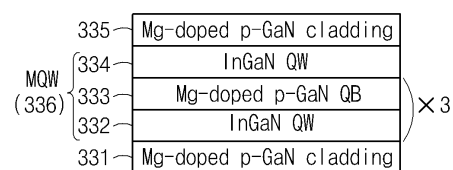
도면3a



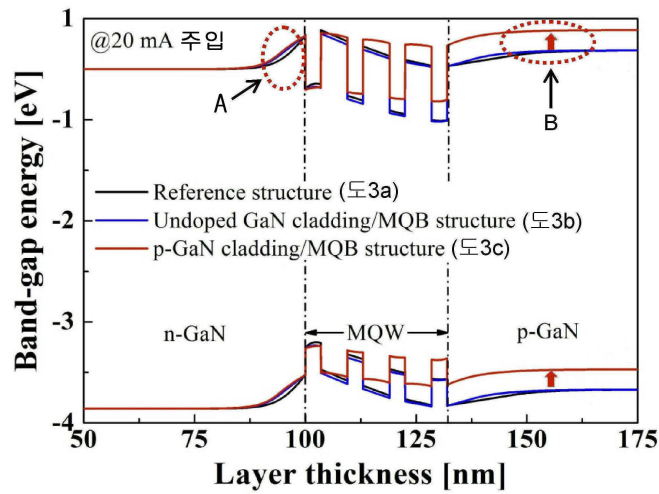
도면3b



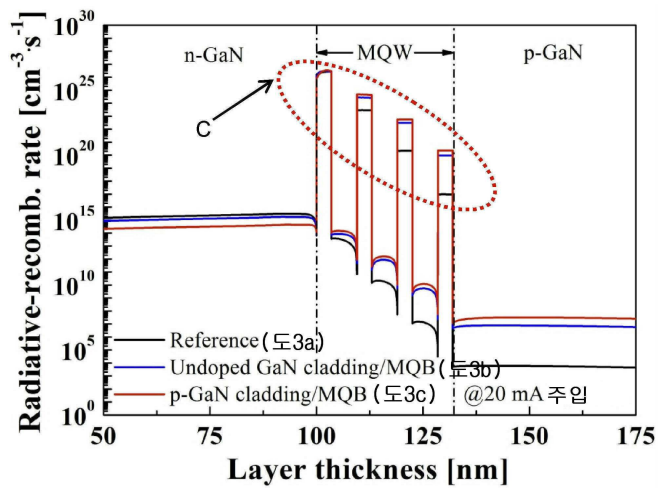
도면3c



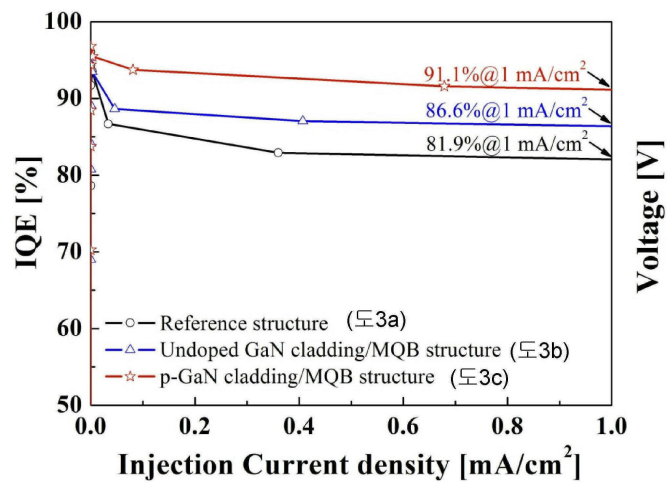
도면4



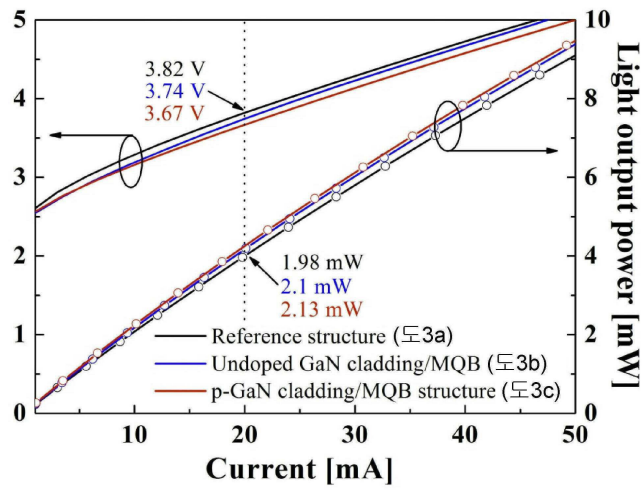
도면5



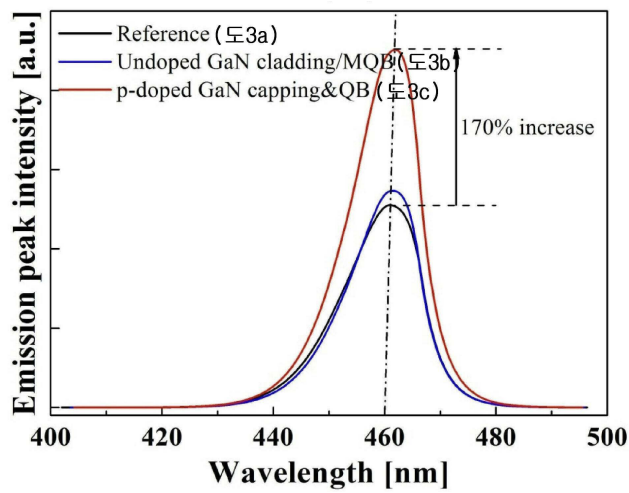
도면6



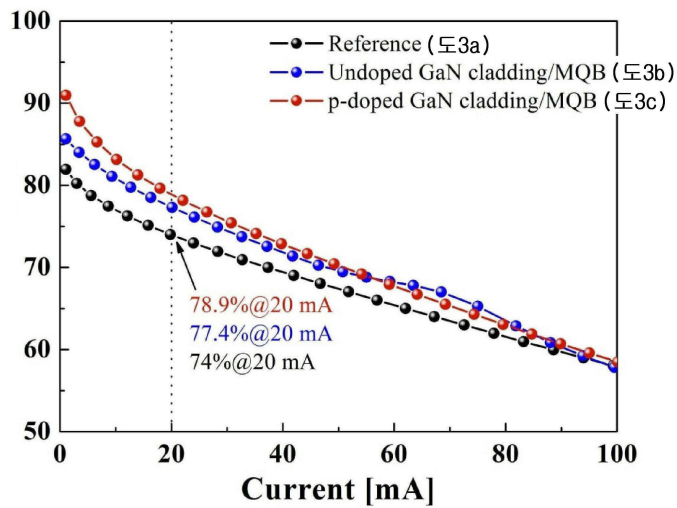
도면7



도면8



도면9



도면10a

n-doped GaN	320
버퍼층	310
기판	300

도면10b

Mg-doped p-GaN cladding	331
n-doped GaN	320
버퍼층	310
기판	300

도면10c

InGaN QW	334	MQW (336)
Mg-doped p-GaN QB	333	
InGaN QW	332	
Mg-doped p-GaN QB	333	
InGaN QW	332	
Mg-doped p-GaN QB	333	
InGaN QW	332	
Mg-doped p-GaN cladding	331	
n-doped GaN	320	
버퍼층	310	
기판	300	

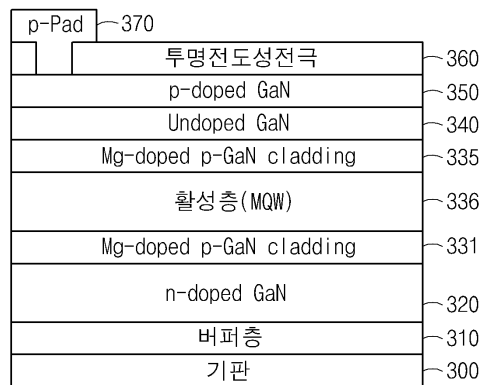
도면10d

Mg-doped p-GaN cladding	335
활성층(MQW)	336
Mg-doped p-GaN cladding	331
n-doped GaN	320
버퍼층	310
기판	300

도면10e

투명전도성전극	360
p-doped GaN	350
Undoped GaN	340
Mg-doped p-GaN cladding	335
활성층(MQW)	336
Mg-doped p-GaN cladding	331
n-doped GaN	320
버퍼층	310
기판	300

도면10f



도면10g

