



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월10일
(11) 등록번호 10-1937592
(24) 등록일자 2019년01월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/00 (2010.01)
H01L 33/08 (2010.01) H01L 33/12 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/06 (2013.01)
H01L 33/0008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0136352
(22) 출원일자 2017년10월20일
심사청구일자 2017년10월20일
(56) 선행기술조사문헌
KR101773709 B1*
KR1020160062659 A*
KR1020160117010 A
KR1020160105126 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
대구가톨릭대학교산학협력단
경상북도 경산시 하양읍 하양로 13-13
(72) 발명자
박승환
대구광역시 수성구 고산로12길 34 에텐타운 251동 1401호
(74) 대리인
특허법인 티앤아이

전체 청구항 수 : 총 3 항

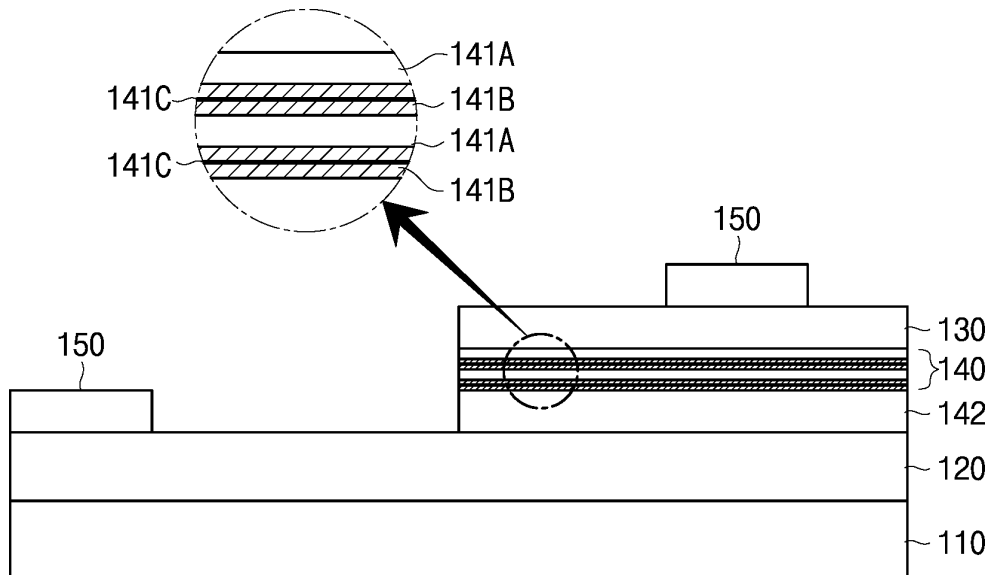
심사관 : 윤난영

(54) 발명의 명칭 양자우물구조를 이용한 자외선 광소자

(57) 요약

본 발명은 AlN 계열의 장벽층과 AlGaN 계열의 우물층을 복수개 교대로 구비하되, 상기 우물층에는 딥형상의 밴드 구조를 가지는 BaGaN 계열의 델타층이 구비되는 양자우물구조과 이를 이용한 자외선 광소자를 개시한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 33/08 (2013.01)

H01L 33/12 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

AlN 계열의 장벽층; 및
 AlGaN 계열의 우물층을 복수개 교대로 구비하되,
 상기 우물층에는 딥형상의 밴드구조를 가지는 BAIGaN 계열의 델타층이 구비되고,
 상기 BAIGaN 계열의 델타층에서 B의 함량은 0.03 내지 0.075 인 양자우물구조.

청구항 2

삭제

청구항 3

질화갈륨 계열의 n형 화합물 반도체층;
 질화갈륨 계열의 p형 화합물 반도체층; 및
 상기 n형 및 p형 화합물 반도체층 사이에 개재된 양자우물구조를 가지는 활성 영역을 구비하는 자외선 발광소자에 있어서,
 상기 양자우물구조는,
 AlN 계열의 장벽층; 및
 AlGaN 계열의 우물층을 복수개 교대로 구비하되,
 상기 우물층에는 딥형상의 밴드구조를 가지는 BAIGaN 계열의 델타층이 구비되고,
 상기 BAIGaN 계열의 델타층에서 B의 함량은 0.03 내지 0.075 인 자외선 발광소자.

청구항 4

삭제

청구항 5

제3항에 있어서,
 상기 활성 영역은 버퍼층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 양자우물구조를 이용한 자외선 광소자에 관한 것으로, 보다 상세하게는 BAIGaN 델타층이 우물층에 삽입된 양자우물구조 및 이를 이용한 자외선 광소자에 관한 것이다.

배경기술

[0003] 질화물 반도체는 발광 다이오드(LED)와 레이저 다이오드(LD) 등의 잠재적인 전자 및 광전자 장치 응용분야에 적용될 수 있기 때문에 광범위하게 연구되고 있으며, 특히, 양자우물(Quantum Well) 구조가 적용된 광소자는 널리

각광을 받고 있다.

[0004] 이러한 질화물계 양자 우물(QW) 구조의 몇 가지 문제점 중 하나는 스트레인 유도된 압전(PZ) 및 자발적(SP) 분극으로 인하여 큰 내부 필드를 갖는다는 것이다. 이런 문제점을 해결하기 위해서, 이들 양자 우물(QW) 구조 장치에서 내부 필드 효과를 감소시키기 위한 몇가지 방법이 제안되었다. 그 중에서도, 딥(dip) 형상의 델타층을 사용하면, 자외선(UV) AlGa_n/AlN 양자 우물(QW) 구조의 발광을 개선하는 데 유용한 것으로 밝혀졌다.

[0005] 이것은, 과도함수가 우물보다 작은 밴드갭을 갖는 델타층에 구속된다는 사실에 주로 기인한다. 반면, 비교적 작은 Al 함량(<0:5)을 갖는 AlGa_n/AlN 양자 우물 구조의 경우, GaN 델타층의 사용은 복사 재결합 속도의 증가에 덜 효과적일 것으로 예상되며, 이는 우물 내의 Al 함량이 감소함에 따라 델타층의 과도함수 구속이 감소되기 때문이다. 높은 Al-포함 AlGa_n 양자 우물에 더하여 250-300nm의 파장을 커버하는 중간 자외선 양자 우물 구조는 광전자 장치 응용 분야에 있어서 매우 중요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기 문제를 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 AlGa_n/AlN 양자 우물 구조에 BAIGa_n 델타층을 포함시킨 자외선 광소자를 제조함으로써 발광 강도를 향상시킬 수 있도록 하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 제1측면은 AlN 계열의 장벽층; 및 AlGa_n 계열의 우물층을 복수개 교대로 구비하되, 상기 우물층에는 딥형상의 밴드구조를 가지는 BAIGa_n 계열의 델타층이 구비되는 양자우물구조를 제공한다.

[0010] 바람직하게는, 상기 BAIGa_n 계열의 델타층에서 B의 함량은 0.01 내지 0.1 이다.

[0011] 본 발명의 제2측면은 질화갈륨 계열의 n형 화합물 반도체층; 질화갈륨 계열의 p형 화합물 반도체층; 및 상기 n형 및 p형 화합물 반도체층 사이에 개재된 양자우물구조를 가지는 활성 영역을 구비하는 자외선 발광소자에 있어서, 상기 양자우물구조는, AlN 계열의 장벽층; 및 AlGa_n 계열의 우물층을 복수개 교대로 구비하되, 상기 우물층에는 딥형상의 밴드구조를 가지는 BAIGa_n 계열의 델타층이 구비된다.

[0012] 바람직하게는, 상기 활성 영역은 버퍼층을 더 포함한다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 의하면, AlGa_n/AlN 양자 우물 구조에 BAIGa_n 델타층을 포함시킨 자외선 광소자를 제조함으로써 발광 강도를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 우물 구조를 포함하는 발광소자를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 2는 (a) 정사각형 우물을 갖는 종래의 Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN QW 구조, (b) AlGa_n 델타층을 갖는 딥 형상의 Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN QW 구조, (c) BAIGa_n 델타층을 갖는 딥 형상의 Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN QW 구조의 존 센터(k_{||})에서의 포텐셜 프로파일을 나타낸다. k_{||}는 평면내 파동 벡터이다.

도 3은 AlGa_n 및 BAIGa_n 델타층을 갖는 딥 형상의 Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN QW 구조에 대한 (a) 전자 및 홀 과도함수(C1 및 HH1) 및 (b) 광학 매트릭스 요소이다

도 4는 (a) AlGa_n 델타층, (b) BAIGa_n 델타층, 및 (c) 준-페르미-레벨 분리를 갖는 딥 형상의 Al_{0.4}Ga_{0.6}N/AlN QW 구조의 가전자대 구조를 BAIGa_n 델타층의 B 함량의 함수로서 나타낸다.

도 5는 (a) AlGa_n 및 BAIGa_n 델타층을 갖는 딥 형상의 Al_{0.4}Ga_{0.6}N/AlN QW 구조에 대한 자발 방출 스펙트럼과 (b) BAIGa_n 델타층의 B 함량의 함수로서의 자발 방출 피크를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 본 발명에 대하여 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서 본 명세서 및 특허청구범위에 사용된 용어 또는 단

어는 통상적이거나 사전적인 의미로 해석되어서는 안되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 따라서, 본 명세서상에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원 시점에 있어서, 이를 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 우물 구조를 포함하는 자외선광소자를 개략적으로 도시한 단면도이다.
- [0020] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 우물 구조(130)를 포함하는 자외선광소자는 기관(110), 제1 도핑층(120), 활성 영역인 양자우물구조(140) 및 제2 도핑층(130)을 포함할 수 있다.
- [0021] 이때, 기관(110)은 당해 기술분야에서 사용되는 것은 제한없이 적용할 수 있으며, 비제한적인 예로 육방정계 구조를 갖는 사파이어, 스피넬, 탄화실리콘 등을 사용할 수 있다.
- [0022] 상기 기관(110) 위에는 제1 도핑층(120)이 배치될 수 있으며, n형 반도체층 또는 p형 반도체층 중 어느 하나여도 무방하고, 바람직하게는 질화갈륨 계열의 n형 반도체층 또는 질화갈륨 계열을 p형 반도체층을 사용할 수 있다. 또한, 기관(110)과 제1 도핑층(120) 사이에 도핑층의 막질을 향상시키기 위해 추가로 버퍼층(도시되지 않음)을 더 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 제1 도핑층(120) 위에는 양자우물구조(141)와 버퍼층(142)을 포함하는 양자우물구조(140)가 배치될 수 있다.
- [0024] 양자우물구조(140)는 서로 다른 반도체 층 사이에 반도체 층의 에너지 밴드갭 보다 작은 에너지 밴드갭을 가지는 얇은 반도체 층을 삽입하여 형성되는 구조로써, 전자 또는 정공이 에너지 장벽에 갇혀 이차원적으로 움직이는 특성을 나타낸다. 본 양자우물구조(140)는 우물층(141B)과 장벽층(141A)이 최소한 1번 이상 적층된 형태일 수 있는데 바람직하게는 2번 이상 우물층(141B)과 장벽층(141A)이 교대로 적층되어 구성가능하다. 도 1의 예시에서는 2회 교대로 적층된 경우를 예로 도시하고 있다.
- [0025] 이때, 우물층(141B)은 작은 에너지 밴드갭을 갖는 얇은 층을 의미하며, 장벽층(141A)은 우물층(141B) 보다 밴드갭이 크며, 우물층을 둘러싸고 있는 층으로, 우물층 내의 전자와 정공을 우물 내로 속박시키는 역할을 한다. 이와 같은 양자 우물 구조를 갖는 경우 활성 영역 내의 전자와 정공이 양자우물구조 내에서 재결합하여 발광하게 되므로, 우물층이 활성 영역의 광학적 특성을 결정하게 된다.
- [0026] 이 경우, 우물층(141B)은 델타층(141C)을 포함한다. 델타층(141C)은 우물층(141B) 내에 위치할 수 있으며, 델타층(141C)의 위치는 우물층(141B) 내에서 제한되지 않고 다양한 영역에 배치되는 것이 가능하다. 이에 따라, 우물층(141B)은 밴드갭 에너지가 상대적으로 작은 영역과 상대적으로 큰 영역을 포함할 수 있다. 두께 방향에 따른 밴드갭 에너지 프로파일로 볼 때, 우물층(141B)은 밴드갭 에너지가 작은 영역에서 딥(dip) 형태의 에너지 프로파일을 보이는 딥-형태(dip-shaped)로 형성될 수 있다.
- [0027] 델타층(141C)의 두께는 우물층(141B)의 두께보다 얇을 수 있고, 약 1Å 이상 10Å범위 내의 두께를 가질 수 있고, 바람직하게는 4 Å 내지 6 Å, 예를 들어, 약 5Å의 두께를 가질 수 있다. 한편, 우물층(141B)의 두께는 델타층(141C)의 두께보다 클 수 있고, 예를 들어, 약 25Å의 두께를 가질 수 있다. 다만, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0028] 델타층(141C)에서 AlGaN 중 B의 함량에 따라서 발광 강도가 달라짐을 확인하였다. 이는 도 5에 도시하고 있는데 B의 함량은 바람직하게는, 0.01 내지 0.1 이다. 이 범위의 영역은 도 5를 참조하면, 델타층의 함량 범위는 기존의 것 보다 큰 발광강도가 나오는 영역이기 때문이다.
- [0030] (실험예)
- [0031] 본 실험에서는, 멀티밴드 유효 질량 이론과 년-마르코비안 모델을 사용하여 UV AlGaN/AIn 양자우물구조의 발광 특성에 대한 딥 형상의 AlGaN 델타 층 삽입의 효과를 이론적으로 확인하였다. 광학 특성을 AlGaN 층의 B 함량의 함수로서 분석하고 밴드갭 재정규화를 통해 자유 캐리어 모델을 고려한다.
- [0032] 먼저, AlGaN/AIn 양자우물구조가 두꺼운 AIn 버퍼층 상에서 성장한다고 가정한다. 활성층의 우물 두께는 25° A 로 고정된다. 자기 일관적(SC) 해는, 전자에 대한 쉬뢰딩거식, 홀에 대한 블록-대각화된 3×3 해밀톤, 푸아송식을 반복적으로 풀어 넘으로써 얻어진다. (0001)-배향 WZ 결정에 대한 블록-대각화된 해밀톤은 논문 "S.-H. Park and S.-L. Chuang, J. Appl. Phys. 87, 353 (2000)" 으로부터 취하고, 년-마르코비안 자발 방출 스펙트럼

$g_{sp}(\omega)$ 는 논문 "D. Ahn, Prog. Quantum Electron. 21, 249 (1997).과 S.-H. Park, S. L. Chuang, J. Minch, and D. Ahn, Semicond. Sci. Technol. 15, 203 (2000)"로부터 취하였다. 또한, 계산에 사용된 BN, GaN, 및 AlN에 대한 재료 매개변수는 "S.-H. Park, J. Appl. Phys. 110, 063105 (2011)", "S.-H. Park, Y.-T. Moon, D.-S. Han, J. S. Park, M.-S. Oh, and D. Ahn: Appl. Phys. Lett. 99, 181101 (2011)", 및 "S.-H. Park, Opt. Express 23, 3623 (2015)"와 이들 논문 내부에 있는 참고 문헌들로부터 취하였다.

[0033] $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 에 대한 밴드갭은 AlGaN과 BN의 밴드갭들 간의 선형 결합으로부터 얻어졌다. 즉, $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 의 밴드갭 에너지에 대한 분석식은 $E_g(y) = xE_g^{BN} + yE_g^{AlN} + (1-y)E_g^{GaN} + b_{AlGaN}(1-y)y$ 이고, 보잉(bowing) 매개변수 b_{AlGaN} 은 1.4eV이고, BN에 대한 밴드갭 E_g^{BN} 은 5.2eV이다. GaN, AlN, 및 BN의 자발 분극 상수는 각각 -0.034, -0.090, 및 $-2.174C/m^2$ 이다. 또한, 계산에 사용된 GaN, AlN, 및 BN의 압전 상수는 각각 -1.7, -2.0, 및 $0.297 \times 10^{-12}V/m$ 이다.

[0035] 도 2는 (a) 정사각형 우물을 갖는 종래의 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN$ QW 구조, (b) AlGaN 델타층을 갖는 딥 형상의 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN$ QW 구조, (c) BAlGaN 델타층을 갖는 딥 형상의 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN$ QW 구조의 준 센터($k_{||}$)에서의 포텐셜 프로파일을 나타낸다. $k_{||}$ 는 평면내 파동 벡터이다.

[0036] 도 2에서의 BAlGaN 델타층의 Al 및 B 함량은 각각 0.2 및 0.06이다. 델타층의 두께는 $5^\circ A$ 로 가정하였다. 또한, 각 양자우물 구조에 대한 전자 및 홀 파동함수들(C1 및 HH1)를 표시하였다. 포텐셜 프로파일은, 파동함수의 델타층 의존성을 더욱 명확하게 나타내도록 제로 캐리어 밀도에서 계산되었다. 또한, 우물 두께($L_w=25^\circ A$)과 배리어 두께($L_b=30^\circ A$)가 있는 다중 양자 우물(MQW) 구조를 고려한다.

[0037] 이에 따라, 층의 내부 필드는 주기적 경계 조건 $\sum_q l^{(q)}F^{(q)} = 0$ 을 사용함으로써 결정될 수 있고, 여기서, l 은 층의 두께를 나타낸다. 여기서는, 주기적인 조건 때문에 광학 특성의 연구시 단일 양자 우물만을 고려한다. 종래의 QW 구조는 전자 및 홀 파동함수들이 이격되어 있음을 나타낸다.

[0038] AlGaN 델타층을 포함하면, 전도대의 파동함수가 AlGaN 델타층의 포함과 함께 왼쪽으로 이동한다는 것을 알 수 있다. 한편, 가전자대의 파동함수(HH1)는 델타층의 포함에 의한 영향을 거의 받지 않는다. 그러나, BAlGaN 델타층의 경우에, 전자 파동함수의 확장뿐만 아니라, 가전자대에서의 파동함수도 오른쪽으로 이동하게 된다.

[0040] 도 3은 (a) AlGaN 및 BAlGaN 델타층을 갖는 딥 형상의 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN$ QW 구조에 대한 (a) 전자 및 홀 파동함수 (C1 및 HH1) 및 (b) 광학 매트릭스 요소를 나타낸다. BAlGaN 델타층의 Al 및 B 함량은 각각 0.2 및 0.06이다.

[0042] 비교를 위해, 종래의 AlGaN/AlN 양자우물 구조에 대한 매트릭스 요소를 표시하였다. 여기서는, 전자와 정공이 양자우물에 주입되고 이들의 밀도가 같다고 가정하였다. 광학 매트릭스 요소에 대한 자기 일관적 해를 얻는 데 사용되는 시트 캐리어 밀도는 $N_{2D} = 2 \times 10^{13} cm^{-2}$ 이다. BAlGaN 델타층을 포함시킴으로써 전자와 홀 파동함수들 간의 중첩이 크게 증가함을 관찰하였다. 즉, BAlGaN 델타층을 갖는 경우에 대한 전자와 홀 파동함수들 간의 중첩(교차 빗금 영역)은 AlGaN 델타층을 갖는 경우에 비해 훨씬 넓다(이중 교차 빗금 영역). 그 결과, 광학 매트릭스 요소는 BAlGaN 델타층의 포함에 따라 크게 증가된다. 한편, AlGaN 델타층을 갖는 양자우물 구조의 광학 매트릭스 요소는 델타층이 없는 종래의 AlGaN/AlN QW 구조의 광학 매트릭스 요소보다 약간 크다.

[0044] 도 4는 (a) AlGaN 델타층, (b) BAlGaN 델타층, 및 (c) 준-페르미-레벨 분리를 갖는 딥 형상의 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N/AlN$ QW 구조의 가전자대 구조를 BAlGaN 델타층의 B 함량의 함수로서 나타낸다. BAlGaN 델타층의 Al 및 B 함량은 각각 0.2 및 0.06이다.

[0045] 자기 일관적 해는 $N_{2D}=20 \times 10^{12} cm^{-2}$ 의 시트 캐리어 밀도로부터 얻어진다. 여기서, 준-페르미-레벨 분리 $\Delta E_{fc} (\Delta E_{fv})$ 는, 준-페르미 레벨과 전도대(가전자대)의 기저 상태 에너지 사이의 에너지 차로써 정의된다. 이것은, 준-페르미-레벨 분리가 양의 값이면 준-페르미-레벨이 제1 서브밴드 에너지 위에 위치함을 의

미한다. 더욱 큰 준-페르미-레벨 분리는 높은 서브밴드에서의 캐리어 모집단을 증가시킨다. 준-페르미-레벨은 전하 중성 조건으로부터 얻어진다. AlGaIn 델타층을 갖는 양자우물구조는, AlGaIn 델타층을 갖는 양자우물구조의 에너지 간격보다 두 개의 제1 서브밴드(HH1 및 LH1)와 더욱 높은 서브밴드(HH2 및 LH2) 사이의 작은 에너지 간격을 나타낸다. 서브밴드 에너지 간격의 감소는 더욱 높은 서브밴드에서의 캐리어 모집단을 향상시킬 것이다. 따라서, 델타층의 B 함량이 증가함에 따라 가전자대에서의 준-페르미-레벨 분리가 약간 감소한다. 그러나, 전도대에서의 준-페르미-레벨 분리는 델타층의 B 함량과 거의 무관하다.

[0047] 도 5는 (a) AlGaIn 및 AlGaIn 델타층을 갖는 딥 형상의 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N/AlN$ QW 구조에 대한 자발 방출 스펙트럼과 (b) AlGaIn 델타층의 B 함량의 함수로서의 자발 방출 피크를 나타낸다.

[0048] 자기 일관적 해는 $N_{2D}=2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 의 시트 캐리어 밀도로부터 얻어진다. 비교를 위해, 델타층이 없는 종래의 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N/AlN$ 양자우물구조에 대한 결과를 표시하였다. 델타층의 B 함량 x_d 가 증가함에 따라 발광 강도가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. $x_d=0.06$ 의 AlGaIn 델타층을 갖는 딥 형상의 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N/AlN$ QW 구조의 피크 강도는 종래의 양자우물의 2.5 배로 증가된다. AlGaIn 델타층의 경우, 전이 파장이 델타층의 포함에 따라 청색 이동함을 관찰하였다. 한편, AlGaIn 델타층의 경우, 전이 파장은 종래의 양자우물구조와 거의 동일하다. 한편 B의 함량은 바람직하게는, 0.01 내지 0.1 이다. 이 범위의 영역은 도 5를 참조하면, 델타층의 함량 범위는 기존의 것 보다 큰 발광강도가 나오는 영역이기 때문이다. 또한, 더욱 바람직하게는, 발광 강도가 도 5상의 세로축 8000을 상회하는 B 함량의 영역으로 0.03 내지 0.075 정도의 범위이다.

[0050] PZ와 SP 분극으로 인한 내부 필드가 일반적으로 넓은 우물을 가진 양자우물구조에서 지배적이며 그 이유는 전자 과도함수와 홀 과도함수 간의 공간적 분리가 이러한 구조에 대해 더욱 크기 때문이라는 점에 주목한다. 따라서, 델타층을 포함함으로써 발광의 증가가 넓은 우물에 대하여 향상될 것으로 예상된다.

[0051] 한편, c면 발광 다이오드(LED)에서 성장한 최적의 우물 폭은 통상적으로 ~2.5nm인 것으로 나타났다. 실험적 측면에서, BN 화합물 반도체는 입방형 및 우르자이트 형으로 발견될 수 있다. 여기서는, 우르자이트상 층을 고려하였다. 최근, AlGaIn/AlN 헤테로 구조는 유기금속 증기상 에피택시(MOCVD)에 의해 성공적으로 성장되었다. 이러한 실험 결과를 바탕으로, AlGaIn 델타층을 갖는 AlGaIn/AlN QW 구조가 UV 영역에서 광 강도를 개선하는 한 방법으로서 사용될 수 있다고 예상된다. 여기서, 원자 확산으로 인한 합금 변동 문제가 델타층을 갖는 실제 장치에서 중요할 것이라는 점에 주목한다.

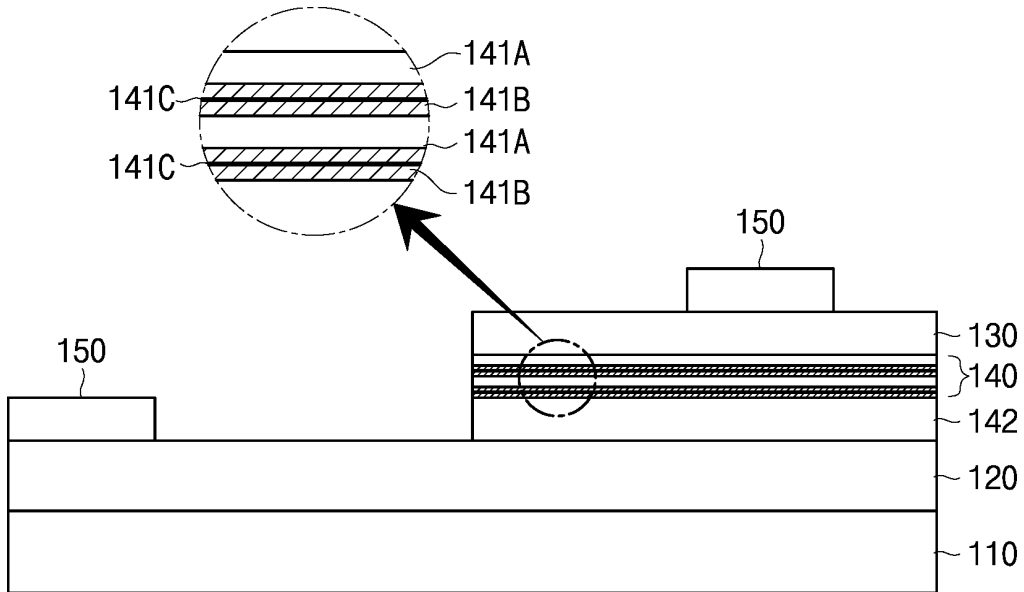
[0053] 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

부호의 설명

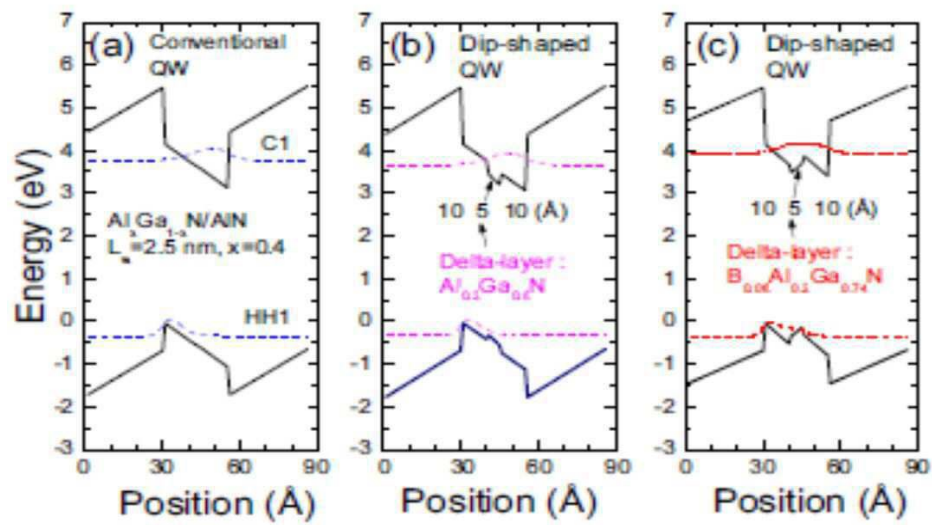
- [0055] 110: 기판
- 120: 제1 도핑층
- 130: 제2 도핑층
- 140: 양자우물구조
- 141A: 장벽층
- 141B: 우물층
- 141C: 델타층
- 142: 버퍼층
- 150: 전극패드

도면

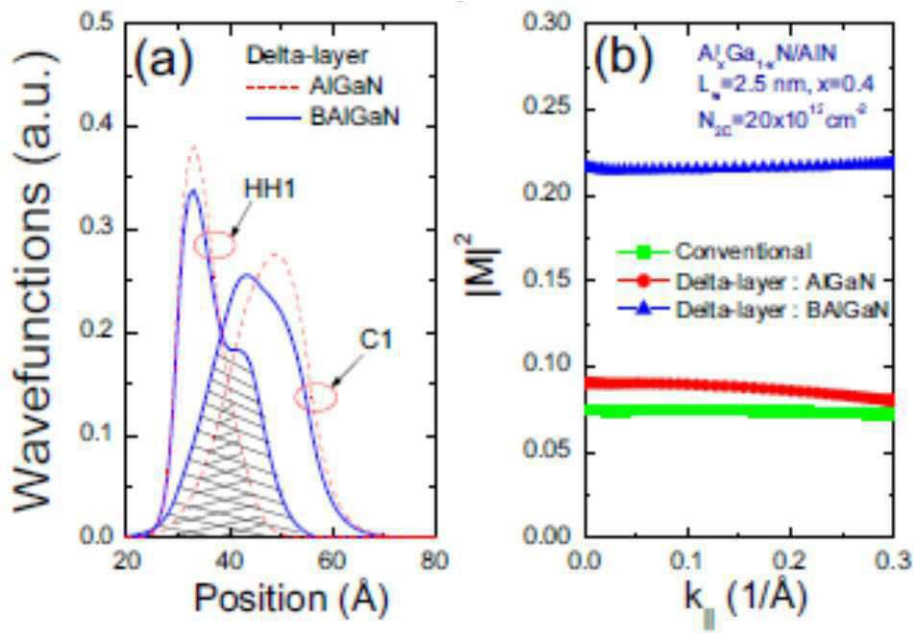
도면1



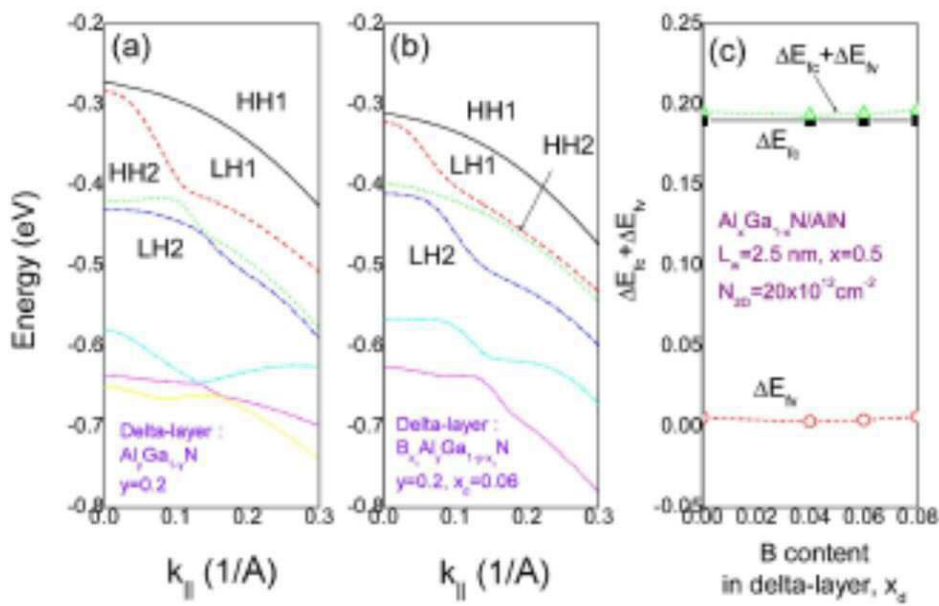
도면2



도면3



도면4



도면5

