



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0035964  
(43) 공개일자 2014년03월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H01L 33/00* (2010.01) *H01L 33/02* (2010.01)  
*H01L 33/04* (2010.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7034582
- (22) 출원일자(국제) 2012년06월11일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2013년12월26일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/041876
- (87) 국제공개번호 WO 2012/170996  
국제공개일자 2012년12월13일
- (30) 우선권주장  
61/495,840 2011년06월10일 미국(US)

- (71) 출원인  
더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아  
미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층
- (72) 발명자  
나카무라 슈지  
미국 캘리포니아 93160 산타 바바라 피오 박스 61656  
덴바아스 스티븐 피.  
미국 캘리포니아 93117 골레타 킹 다니엘 레인 287  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
리엔목특허법인

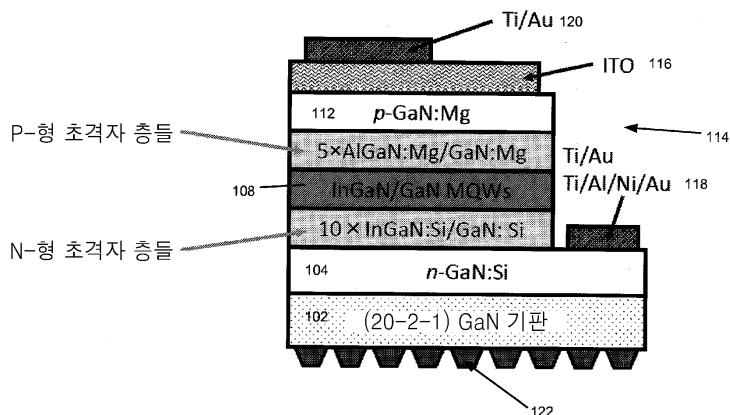
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 고 방출 파워 및 저 효율 저하의 반극성 청색 발광 다이오드들

### (57) 요 약

높은 방출 파워 및 낮은 효율 저하의 반극성 청색 발광 다이오드들이 개시된다.

**대 표 도** - 도1b



(72) 발명자

**피겔 다니엘 에프.**

미국 뉴멕시코 87110 앨버커키 노쓰이스트 모닝사  
이드 드라이브 1822

**판 지-치엔**

미국 캘리포니아 93117 골레타 버치 워크 762 아파  
트먼트 쥐

**자오 유지**

미국 캘리포니아 93117 골레타 엘커스 워크 731 아  
파트먼트 101

**다나카 신이치**

미국 캘리포니아 93111 산타 바바라 하버드 레인  
473

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

청색 방출 파장에서 피크 방출을 갖는 III-질화물 기반의 발광 다이오드(light emitting diode, LED)를 포함하고,

상기 발광 다이오드는 반극성 갈륨 질화물(Gallium Nitride, GaN) 기판 상에서 성장되고,

상기 청색 방출 파장에서의 상기 피크 방출은 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$  (Amps per centimeter square)의 전류 밀도에서 17 nm(nanometers)보다 작은 스펙트럼 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 발광 다이오드는 반극성 (20-2-1) GaN 기판 상에서 성장되는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 발광 다이오드는 반극성 (20-21) GaN 기판 상에서 성장되는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 청색 방출 파장은 430 nm 내지 470 nm의 범위인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 발광 다이오드의 효율 저하(efficiency droop)는 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 1 % 미만이고, 적어도  $50 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 5 % 미만이며, 적어도  $100 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 10 % 미만이고, 또는 적어도  $200 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 15 % 미만인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 6

제2항에 있어서,

상기 GaN 기판 상의 또는 그 위의 n-형 III-질화물 초격자(superlattice)(n-SL);

상기 n-형 III-질화물 초격자 상에 또는 그 위에 위치하며, 배리어들(barriers)을 가진 하나 또는 그 이상의 인듐 함유 양자 우물들(quantum wells)을 포함하고, 상기 양자 우물들은 양자 우물 개수, 양자 우물 조성 및 양자 우물 두께를 갖고, 상기 배리어들은 배리어 조성, 배리어 두께 및 배리어 도핑을 갖는, III-질화물 활성 영역; 및

상기 활성 영역 상의 또는 그 위의 p형 III-질화물 초격자(p-SL)를 더 포함하고,

상기 n-형 III-질화물 초격자는 주기들의 개수, 초격자 도핑, 초격자 조성 및 층들을 포함하고, 상기 층들의 각각은 층 두께를 가지며,

상기 양자 우물 개수, 상기 양자 우물 조성, 상기 양자 우물 두께, 상기 배리어 조성, 상기 배리어 두께, 상기 배리어 도핑, 상기 주기들의 개수, 상기 초격자 도핑, 상기 초격자 조성, 상기 층 두께는:

상기 피크 방출이 상기 청색 방출 파장에 존재하고,

상기 청색 방출 파장에서의 상기 피크 방출이, 상기 발광 다이오드가 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도로 구동될

때, 17 nm보다 작은 스펙트럼 폭을 갖도록 결정되는 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 기판의 반극성 면 상의 또는 그 위의 n-형 GaN 층으로서, 상기 기판은 거칠어진 후면을 갖는 반극성 GaN 기판이고, 상기 거칠어진 후면은 상기 발광 소자로부터 광을 추출하며, 상기 n형 III-질화물 초격자는 상기 n-형 GaN 층 상에 또는 그 위에 교대로 배치된 InGaN 및 GaN 층들을 포함하는, 상기 n형-GaN 층;

상기 n형 III-질화물 초격자 상에 또는 그 위에 위치하고, GaN 배리어들을 가진 InGaN 다중 양자 우물들(multi quantum wells)을 포함하는 활성 영역;

상기 활성 영역 상에 또는 그 위에 위치하고, 교대로 배치된 AlGaN 및 GaN 층들을 포함하는 p-형 초격자(p-SL);

상기 p-형 초격자 상의 또는 그 위의 p-형 GaN 층;

상기 p-형 GaN 층 상의 또는 그 위의 p-형 투명 도전 층;

상기 p-형 투명 도전 층 상의 또는 그 위의 p-형 패드;

상기 n-형 GaN 층을 향한 n-형 콘택;

상기 반극성 GaN 기판의 상기 거칠어진 후면에 부착된 아연 산화물(Zinc Oxide, ZnO) 서브마운트(submount);

상기 ZnO 서브마운트의 말단에 부착된 헤더(header); 및

상기 발광 다이오드를 밀봉하는 밀봉재를 더 포함하는 소자 구조로서,

발광 다이오드인 상기 소자 구조의 활성 면적은  $0.1 \text{ mm}^2$  이하인 것을 특징으로 하는 발광 소자 구조.

### 청구항 8

반극성 갈륨 질화물(GaN) 기판 상에 III-질화물 기반의 발광 다이오드(LED)를 성장시키는 단계를 포함하고,

상기 발광 다이오드는 청색 방출 과장에서 피크 방출을 갖고,

상기 청색 방출 과장에서의 상기 피크 방출은 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 17 nm보다 작은 스펙트럼 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조 방법.

### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 발광 다이오드는 반극성 (20-2-1) GaN 기판 상에서 성장되는 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조 방법.

### 청구항 10

제8항에 있어서,

상기 발광 다이오드는 반극성 (20-21) GaN 기판 상에서 성장되는 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조 방법.

### 청구항 11

제8항에 있어서,

상기 청색 방출 과장은 430 nm 내지 470 nm의 범위인 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조 방법.

### 청구항 12

제8항에 있어서,

상기 발광 다이오드의 효율 저하는 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 1 % 미만이고, 적어도  $50 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 5 % 미만이며, 적어도  $100 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 10 % 미만이고, 또는 적어도  $200 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에

서 15 % 미만인 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조 방법.

### 청구항 13

제8항에 있어서,

상기 발광 다이오드를 성장시키는 단계는,

상기 GaN 기판 상에 또는 그 위에 III-질화물 n-형 초격자(n-SL)를 성장시키는 단계;

상기 III-질화물 n-형 초격자 상에 또는 그 위에, 배리어들을 가진 하나 또는 그 이상의 인듐 함유 양자 우물들을 포함하는 III-질화물 활성 영역을 성장시키는 단계로서, 상기 양자 우물들은 양자 우물 개수, 양자 우물 조성 및 양자 우물 두께를 갖고, 상기 배리어들은 배리어 조성, 배리어 두께 및 배리어 도핑을 갖는, 상기 III-질화물 활성 영역을 성장시키는 단계;

상기 활성 영역 상에 또는 그 위에 III-질화물 p-형 초격자(p-SL)를 성장시키는 단계를 더 포함하고,

상기 III-질화물 n-형 초격자는 주기들의 개수, 초격자 도핑, 초격자 조성 및 충들을 포함하고, 상기 충들의 각각은 충 두께를 가지며,

상기 양자 우물 개수, 상기 양자 우물 조성, 상기 양자 우물 두께, 상기 배리어 조성, 상기 배리어 두께, 상기 배리어 도핑, 상기 주기들의 개수, 상기 초격자 도핑, 상기 초격자 조성, 상기 충 두께:

상기 피크 방출이 상기 청색 방출 과장에 존재하고,

상기 청색 방출 과장에서의 상기 피크 방출이, 상기 발광 다이오드가 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도로 구동될 때, 17 nm보다 작은 스펙트럼 폭을 갖도록 결정되는 것을 특징으로 하는 발광 소자의 제조 방법.

### 청구항 14

청색 방출 과장에서 피크 방출을 갖는 III-질화물 기반의 발광 다이오드(LED)를 포함하고,

상기 발광 다이오드는 벌크 반극성 또는 비극성 갈륨 질화물(GaN) 기판 상에서 성장되고,

효율 저하는 유사한 인듐(In) 조성을 갖고 유사한 전류 밀도에서 동작하는 극성 GaN 기판 상에서 성장된 III-질화물 기반의 발광 다이오드보다 낮은 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 15

제14항에 있어서,

상기 반극성 기판은 반극성 (20-2-1) 기판인 것을 특징으로 하는 발광 소자.

### 청구항 16

제14항에 있어서,

상기 발광 다이오드의 방출 스펙트럼의 FWHM(full width at half maximum)은 유사한 인듐 조성을 갖고 유사한 전류 밀도에서 동작하는 극성 GaN 기판 상에서 성장된 III-질화물 기반의 발광 다이오드의 방출 스펙트럼의 FWHM보다 낮은 것을 특징으로 하는 발광 소자.

## 명세서

### 기술 분야

[0001] 본 출원은 공동-계류 중이고 공통으로 양도된, Shuji Nakamura, Steven P. DenBaars, Daniel F. Feezell, Chih-Chien Pan, Yuji Zhao 및 Shinichi Tanaka에 의해 2011년 6월 10일에 출원되고 명칭이 "HIGH EMISSION POWER AND LOW EFFICIENCY DROOP SEMIPOLAR {20-2-1} BLUE LIGHT EMITTING DIODES"이며 대리인 문서 번호가 30794.416-US-P1 (UC 2011-833-1)인 미국 임시 특허 출원 일련 번호 제61/495,840호에 대해 35 U.S.C. 119(e) 조에 따라 우선권의 이익을 주장하고, 상기 임시 출원은 그 전체로써 본 명세서에 참조 병합된다.

[0002] 본 출원은 이하의 출원들에 연관된다. Shuji Nakamura, Steven P. DenBaars, Shinichi Tanaka, Daniel F.

Feezell, Yuji Zhao and Chih-Chien Pan에 의해 2010년 6월 10일에 출원되고 명칭이 "LOW DROOP LIGHT EMITTING DIODE STRUCTURE ON GALLIUM NITRIDE SEMIPOLAR {20-2-1} SUBSTRATES"이며 대리인 문서 번호가 30794.415-US-P1 (UC 2011-832-1)인 미국 임시 특허 출원 일련 번호 제61/495,829호에 대해 35 U.S.C. 119(e) 조에 따라 우선권의 이익을 주장하는, 공동-계류 중이고 공통으로 양도된, Shuji Nakamura, Steven P. DenBaars, Shinichi Tanaka, Daniel F. Feezell, Yuji Zhao 및 Chih-Chien Pan에 의해 2010년 6월 10일에 출원되고 명칭이 "LOW DROOP LIGHT EMITTING DIODE STRUCTURE ON GALLIUM NITRIDE SEMIPOLAR SUBSTRATES"이며 대리인 문서 번호가 30794.415-US-U1 (UC 2011-832-1)인 미국 실용 특허 출원 일련 번호 제xx/xxx,xxx호;

[0003] 공동-계류 중이고 공통으로 양도된, Matthew T. Hardy, Steven P. DenBaars, James S. Speck, 및 Shuji Nakamura에 의해 2010년 10월 29일에 출원되고 명칭이 "STRAIN COMPENSATED SHORT-PERIOD SUPERLATTICES ON SEMIPOLAR GAN FOR DEFECT REDUCTION AND STRESS ENGINEERING"이며 대리인 문서 번호가 30794.396-US-P1 (2011-203)인 미국 임시 출원 일련 번호 제61/408,280호에 대해 35 U.S.C. 119(e)조에 따라 우선권의 이익을 주장하는, Matthew T. Hardy, Steven P. DenBaars, James S. Speck, 및 Shuji Nakamura에 의해 2011년 10월 28일에 출원되고 명칭이 "STRAIN COMPENSATED SHORT-PERIOD SUPERLATTICES ON SEMIPOLAR GAN FOR DEFECT REDUCTION AND STRESS ENGINEERING"이며 대리인 문서 번호가 30794.396-US-U1 (2011-203)인 미국 실용 출원 일련 번호 제12/284,449호;

[0004] Chih Chien Pan, Jun Seok Ha, Steven P. DenBaars, Shuji Nakamura, 및 Junichi Sonoda에 의해 2009년 11월 4일에 출원되고 명칭이 "LED PACKAGING METHOD WITH HIGH LIGHT EXTRACTION AND HEAT DISSIPATION USING A TRANSPARENT VERTICAL STAND STRUCTURE"이며 대리인 문서 번호가 30794.335-US-P1인 미국 임시 특허 출원 일련 번호 제61/258,056호에 대해 35 U.S.C. 119(e)조에 따라 우선권의 이익을 주장하는, Chih Chien Pan, Jun Seok Ha, Steven P. DenBaars, Shuji Nakamura, 및 Junichi Sonoda에 의해 2010년 10월 20일에 출원되고 명칭이 "LED PACKAGING METHOD WITH HIGH LIGHT EXTRACTION AND HEAT DISSIPATION USING A TRANSPARENT VERTICAL STAND STRUCTURE"이며 대리인 문서 번호가 30794.335-US-P1인 미국 실용 특허 출원 일련 번호 제12/908,793호;

[0005] 상기 출원들 모두는 그 전체로써 본 명세서에 참조 병합된다.

[0006] 본 발명은 일반적으로 전자 및 광전자 소자들의 분야에 관한 것이고, 더욱 상세하게는, 고 방출 파워 및 저 효율 저하의 반극성(예를 들어, {20-1-1}) 청색 발광 다이오드들(light emitting diodes, LEDs)에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0007] (주의: 본 출원은 명세서에 걸쳐 팔호들, 예를 들어, [X] 내의 하나 또는 그 이상의 참조문헌 번호들을 통해 표시되는 다수의 다른 공개문헌들을 참조한다. 이러한 참조문헌 번호들에 따라 배열된 이러한 다른 공개문헌들의 리스트는 아래의 "참조문헌들(References)"로 명명된 섹션에서 찾을 수 있다. 이러한 공개문헌들 각각은 그 전체로써 본 명세서에 참조 병합된다.)

[0008] InGaN/GaN 기반의 고 휘도(hight-brightness) 발광 다이오드들(LEDs)은 이동 전화들, 백라이팅(back lighting) 및 일반 조명에서 그들의 적용들로 인해 많은 관심을 끌어왔다. 그러나, 우르츠광(wurtzite) 결정의 c-면 상에 성장된 LED들은 큰 분극 관련 전기장(polarization-related electric fields)으로 인하여 양자 구속 스타크 효과(Quantum Confined Stark Effect, QCSE)를 겪고, 이것은 활성 영역에서 밴드 벤딩(band bending)을 유발하며, 전자 및 정공 파동 함수들의 공간 분리로 인하여 내부 양자 효율의 저하를 야기한다. 또한, 내부 양자 효율은 캐리어 농도의 세제곱(the third power of carrier concentration)에 비례하는 Auger 비방사 재결합(Auger non-radiative recombination)으로 인해 높은 전류 밀도 영역에서 더욱 감소된다.

[0009] 반극성 (20-2-1) GaN 기반의 소자들은 매우 작은 QCSE를 나타내며, 그리하여, 전자-정공 파동 함수 오버랩의 증가로 인해 방사 재결합 비율이 증가하므로, 상기 소자들은 높은 방출 효율의 LED들에 대해 유망하다. 또한, 반극성 (20-2-1) 청색 LED들은 다른 전류 밀도에서 극성 (c-면) 청색 LED들과 비교할 때 더 좁은 FWHM(Full Width at Half Maximum)을 나타내는데, 이것은 합금 보조(alloy-assisted) Auger 비방사 재결합의 감소로 인하여 상대적으로 높은 내부 양자 효율에 기여할 수 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0010] 그러므로, LED들에서의 높은 방출 파워 및 낮은 효율 저하를 제공하는 향상된 방법들에 대한 요구가 본 기술 분

야에 존재한다. 본 발명은 이러한 요구를 충족시킨다. 구체적으로, 본 발명은 높은 방출 파워 및 낮은 효율 저하의 반극성 {20-1-1} 청색 LED를 상술한다.

### 과제의 해결 수단

- [0011] 본 명세서를 읽고 이해함에 따라, 본 기술 분야의 상술된 한계들을 극복하고 또한 다른 한계들을 극복하는 것이 명백해질 것이며, 본 발명은 반극성 (20-2-1) 면 상에서 성장된 작은 칩 사이즈(~ 0.1 mm<sup>2</sup>)를 갖는 질화물 기반의 청색 LED들을 개시하고, 상기 LED들은 신규한 투명 수직 기하학 구조의 ZnO 바(bar)로 패키징되며, 펄스 동작(1 %의 듀티 사이클) 하의 35, 50, 100 및 200 A/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도에서 52.56 %, 50.67 %, 48.44 % 및 45.35 %의 외부 양자 효율(external quantum efficiency, EQE) 레벨 및 단지 0.7 %, 4.25 %, 8.46 % 및 14.3 %의 효율 룰-오버(EQE<sub>peak</sub> = 52.91% @ 10A/cm<sup>2</sup>)를 각각 달성한다.
- [0012] 또한, 본 발명은 청색 방출 파장에서 피크 방출을 갖는 III-질화물 기반의 발광 다이오드(LED)를 개시하는데, 이때, 상기 LED는 반극성 갈륨 질화물(Gallium Nitride, GaN) 기판 상에서 성장되고, 상기 청색 방출 파장에서의 상기 피크 방출은 적어도 35 A/cm<sup>2</sup> (Amps per centimeter square)의 전류 밀도에서 17 nm(nanometers)보다 작은 스펙트럼 폭을 가진다.
- [0013] 상기 LED는 예를 들어, 반극성 (20-2-1) 또는 (20-21) GaN 기판 상에서 성장될 수 있다.
- [0014] 상기 청색 방출 파장은 430 nm 내지 470 nm의 범위일 수 있다.
- [0015] 상기 LED의 효율 저하는 적어도 35 A/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도에서 1 % 미만이고, 적어도 50 A/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도에서 5 % 미만이며, 적어도 100 A/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도에서 10 % 미만이고, 또는 적어도 200 A/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도에서 15 % 미만일 수 있다.
- [0016] 상기 소자는 상기 GaN 기판 상의 또는 그 위의 n-형 초격자(superlattice)(n-SL), 예를 들어, III-질화물 초격자; 상기 n-형 초격자 상에 또는 그 위에 위치하며, 배리어들(barriers)을 가진 하나 또는 그 이상의 인듐 함유 양자 우물들(quantum wells)을 포함하고, 상기 양자 우물들은 양자 우물 개수, 양자 우물 조성 및 양자 우물 두께를 갖고, 상기 배리어들은 배리어 조성, 배리어 두께 및 배리어 도핑을 갖는, III-질화물 활성 영역; 및 상기 활성 영역 상의 또는 그 위의 p형 III-질화물 초격자(p-SL)를 더 포함할 수 있다. 상기 n-형 초격자는 주기들의 개수, 초격자 도핑, 초격자 조성 및 층들을 포함하고, 상기 층들의 각각은 층 두께를 가지며, 상기 양자 우물 개수, 상기 양자 우물 조성, 상기 양자 우물 두께, 상기 배리어 조성, 상기 배리어 두께, 상기 배리어 도핑, 상기 주기들의 개수, 상기 초격자 도핑, 상기 초격자 조성, 상기 층 두께는 상기 피크 방출이 상기 청색 방출 파장에 존재하고, 상기 청색 방출 파장에서의 상기 피크 방출이, 상기 LED가 적어도 35 A/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도로 구동될 때, 17 nm보다 작은 스펙트럼 폭을 갖도록 결정될 수 있다.
- [0017] 상기 n-형 초격자는 n-형 GaN 층 상에 또는 그 위에 교대로 배치된 InGaN 및 GaN 층들을 포함할 수 있고, 상기 n-형 GaN 층은 상기 기판의 반극성 면 상에 또는 그 위에 있다.
- [0018] 활성 영역은 GaN 배리어들을 가진 InGaN 다중 양자 우물들(multi quantum wells, MQWs)을 포함하고, 상기 n-형 초격자 상에 또는 그 위에 위치할 수 있다.
- [0019] p-형 초격자는 교대로 배치된 AlGaN 및 GaN 층들을 포함하고, 상기 활성 영역 상에 또는 그 위에 위치할 수 있다.
- [0020] 상기 기판은 거칠어진 후면을 갖는 반극성 GaN 기판일 수 있고, 상기 거칠어진 후면은 상기 발광 소자로부터 광을 추출한다.
- [0021] 상기 소자는 상기 p-형 초격자 상의 또는 그 위의 p-형 GaN 층, 상기 p-형 GaN 층 상의 또는 그 위의 p-형 투명 도전 층, 상기 p-형 투명 도전 층 상의 또는 그 위의 p-형 패드, 상기 n-형 GaN 층을 향한 n-형 콘택, 상기 반극성 GaN 기판의 상기 거칠어진 후면에 부착된 아연 산화물(Zinc Oxide, ZnO) 서브마운트, 상기 ZnO 서브마운트의 말단에 부착된 헤더(header), 및 상기 LED를 밀봉하는 밀봉재를 더 포함할 수 있다. 상기 LED 소자 구조의 활성 면적은 0.1 mm<sup>2</sup> 이하 일 수 있다.
- [0022] 나아가, 본 발명은 청색 방출 파장에서 피크 방출을 갖는 III-질화물 기반의 발광 다이오드(LED)를 개시하는데,

상기 발광 다이오드는 벌크 반극성 또는 비극성 갈륨 질화물(GaN) 기판 상에서 성장되고, 효율 저하는 유사한 인듐(In) 조성을 갖고 유사한 전류 밀도에서 동작하는 극성 GaN 기판 상에서 성장된 III-질화물 기반의 발광 다이오드보다 낮다. 상기 발광 다이오드의 방출 스펙트럼의 FWHM(full width at half maximum)은 유사한 인듐 조성을 갖고 유사한 전류 밀도에서 동작하는 극성 GaN 기판 상에서 성장된 III-질화물 기반의 발광 다이오드의 방출 스펙트럼의 FWHM보다 낮을 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0023]

이제 도면들을 참조하는데, 도면들에서 동일한 참조 번호들은 전체에 걸쳐 대응되는 부분들을 나타낸다.

도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따라, MOCVD에 의해 반극성 {20-2-1} GaN 기판 상에 성장된 반극성 {20-2-1} LED의 에피 구조를 나타내는 단면 개략도이다.

도 1b는 소자로 제조된 도 1a의 구조를 나타내는 단면 개략도이다.

도 1c는 LED의 반극성 GaN 기판에 부착된 아연 산화물(ZnO)을 나타낸다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광전자 소자의 제조 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 3은  $200 \text{ A/cm}^2$ 까지의 다른 전류 밀도에서 반극성 (20-2-1) LED의 광 출력 파워(light output power, LOP)(mW) 및 외부 양자 효율(external quantum efficiency, EQE)(%)을 보여주는 그래프이다.

도 4는  $200 \text{ A/cm}^2$ 까지의 다른 펄스형(1% 뒤틱 사이클) 전류 밀도에서 극성 c-면 (0001) LED 및 반극성 (20-2-1) LED의 광 출력 파워(mW) 및 외부 양자 효율(%)을 보여주는 그래프이다.

도 5는 다른 전류 밀도에서 극성 (c-면) 및 반극성 (20-2-1) GaN 기반의 소자들에 대한 FWHM(full width at half maximum)을 보여준다.

도 6은 도 1b에 도시된 구조를 갖는 청색 발광 다이오드에 대하여 전류 밀도( $\text{A/cm}^2$ )의 함수로서의 방출 파장(nm) 및 전류 밀도의 함수로서의 FWHM(nm)을 보여주는 그래프이다.

도 7a는 515 nm에서의 피크 방출 파장 및 25 nm의 FWHM을 갖는 (20-2-1) LED 및 516 nm에서의 피크 방출 파장 및 40 nm의 FWHM을 갖는 (20-2-1) LED에 대하여 EL(Electroluminescence)을 파장의 함수로써 나타내는 그래프이다.

도 7b는 c-면 LED, (11-22) LED, (20-21) LED 및 (20-2-1) LED에 대하여, 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED들에 대한 FWHM(nm)을 파장 함수로서 나타내는 그래프이다.

도 8a는 c-면 LED, (11-22) LED, (20-21) LED 및 (20-2-1) LED에 대한 EL 파장(nm)을 구동 전류의 함수로서 나타내는 그래프이고, 여기서, LED 칩 사이즈는  $\sim 0.01 \text{ mm}^2$ 이다.

도 8b는 (11-22) LED, (20-21) LED 및 (20-2-1) LED에 대하여, 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED들에 대한 FWHM(nm)을 구동 전류의 함수로써 나타내는 그래프이다.

도 9a는 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED들에 대하여, EL 파장(nm) 및 FWHM을 구동 전류의 함수로써 나타내는 그래프이고, 도 9b는 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED들에 대하여, 다양한 구동 전류들에 대한 EL 인텐시티를 파장의 함수로써 나타내는 그래프이다.

도 10은 등방성으로 스트레인된 구조들(c-면) 및 이방성으로 스트레인된 구조들(반극성)에 대한 Auger 재결합 프로세스를 나타내는 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024]

바람직한 실시예에 대한 후술되는 설명에서, 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부된 도면들을 참고하여야 하고, 도면들은 본 발명이 실행될 수 있는 특정 실시예의 예시의 방법으로 나타난다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않은 구조적인 변경들이 이루어질 수 있고, 다른 실시예들이 활용될 수 있음을 이해하여야 한다.

[0025]

개요

[0026] 본 발명은 고 방출 파워 및 저 효율 저하의 반극성 (20-2-1) 청색 LED들을 개시한다. 이러한 LED들은 손전등들, 텔레비전들, 가로등들, 자동차 조명 및 일반적인 조명(실내 및 실외 모두)을 포함하는 다양한 제품들에서 이용될 수 있다.

[0027] 반극성 (20-2-1) 청색 LED들에서 관찰되는 저하 감소로 인하여, 상기 LED들은 패터닝된 사파이어 기판들 또는 실리콘 카바이드 기판들에서 성장된 상업적인 c-면 LED들에 비해 이점들을 제공하는데, 특히 높은 방출 파워 및 극히 낮은 효율-롤오버(rollover) 장치들의 경우에 이점들을 제공한다.

[0028] 기술적 설명

[0029] 극성 (c-면) InGaN/GaN 다중 양자 우물(MQW) LED들의 피크 양자 효율은 매우 낮은 전류 밀도, 전형적으로  $< 10 \text{ A/cm}^2$ 에 존재하고, 주입 전류가 더욱 증가함에 따라 점진적으로 감소하는데, 이것은 고 파워 LED 응용 제품들에 대해 대단히 중요한 제한이다. "효율 저하(efficiency droop)"라고 알려진 이러한 현상은, LED들의 피크 방출 파장이 UV 스펙트럼 범위에서 청색 및 녹색 스펙트럼 범위를 향해 더 증가하는 동안 더 심해진다. 그 근원들에 대한 많은 이론들이, 예를 들어, Auger 재결합, 전자 누설, 캐리어 주입 효율, 분극장(polarization field) 및 국소 상태들의 밴드 필링(band filling of localized states)이 보고 되어 왔다.

[0030] InGaN 청색 LED들에서 효율 저하의 탐구에 대해, 분극 관련 전기장으로 인한 비방사 Auger 재결합 또는 캐리어 누설이 효율 저하의 원인이었음을 보여줬다. InGaN 청색 LED들을 성장시키기 위한 기판으로 반극성 벌크 GaN을 이용함으로써, 활성 영역에서 분극 유도 QCSE가 감소될 수 있으며, 이는 방사 재결합 비율을 높이는 결과를 가져오고, 이것은 LED들의 전체 방출 효율(외부 양자 효율)을 증가시킨다. 또한, 반극성 LED들의 활성 영역에서 전자들 및 정공들의 더욱 균일한 분포는 양자 우물들에서 캐리어 농도의 감소를 가져오고, 효율 저하들을 야기하는 또 다른 가능한 메커니즘이 비방사 Auger 재결합을 감소시킬 수 있다.

[0031] 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따라 MOCVD에 의해 GaN 반극성 {20-2-1} 기판(102) 상에 성장된 청색 LED의 에피 구조(100)를 나타낸다. 이러한 소자 구조는  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 전자 농도를 가진  $1 \mu\text{m}$  두께의 비도핑된 GaN 층(104)과, 이어지는 10 쌍의 n-형으로 도핑된  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}/\text{GaN}$  (3/3 nm) 초격자(superlattice, SL)(106)를 포함한다. 이어서, 3.0 nm 두께의  $\text{In}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$  우물들 및 13 nm 두께의 GaN 배리어들을 포함하는(제1 GaN 배리어는  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 로 Si 도핑됨) 3-주기의 InGaN/GaN MQW 활성 영역(108)이 성장된다. 활성 영역의 상부에는 전자 차단층(electron blocking layer, EBL)으로 작용하는 5 쌍의 p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN (2/2 nm) SL(110) 및  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 의 정공 농도를 갖는  $0.2 \mu\text{m}$  두께의 p-형 GaN 캡핑층(112)이 있다.

[0032] 도 1b는 소자(예를 들어, LED)로 제조된 소자 구조(100)를 도시하며, 메사(114), 및 p-형 GaN 층(112) 상의 또는 그 위의 p-형 투명 도전층(예를 들어, 인듐 주석 산화물(indium tin oxide, ITO) 투명 p-콘택(116))을 나타낸다. Ti/AI/Au 기반의 n-콘택들(118) 및 Ti/Au p-페드들(120)이 n-GaN 층(104) 및 ITO 투명 p-콘택(116) 상에 또는 그 위에 각각 퇴적되거나, n-GaN 층(104) 및 ITO 투명 p-콘택(116)에 각각 접촉된다. 또한, GaN 기판(102)의 표면 거칠기(roughening)(122)도 도시되는데, 거칠어진 후면(122)은 LED로부터 활성 영역에 의해 방출되는 광을 추출(예를 들어, 산란, 회절)하기 위한 치수(dimension)를 갖는 피쳐들(features)을 가진다.

[0033] 도 1c는 반극성 GaN 기판(102)의 거칠어진 후면(122)에 부착된 아연 산화물(ZnO) 서브마운트(124) 및 ZnO 서브마운트(124)의 말단(128)에 부착된 헤더(header)(126)를 도시한다. 상기 LED는 LED를 밀봉하는 밀봉재(encapsulant)를 더 포함할 수 있고, LED의 활성 면적은 예를 들어,  $0.1 \text{ mm}^2$  이하이다.

[0034] 공정 단계들

[0035] 도 2는 (예를 들어, 벌크) 반극성 III-질화물 또는 갈륨 질화물(GaN) 기판 상에 성장한 III-질화물 기반의 발광 다이오드(LED)를 포함하고, 상기 LED는 청색 방출 파장에서 피크 방출을 가지며, 청색 방출 파장(예를 들어, 430 또는 470 nm 또는 430 nm 내지 470 nm)에서의 피크 방출은 상기 LED가 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도로 구동될 때 17 nm보다 작은 스펙트럼 폭을 갖는, 발광 소자를 제조하는 방법을 나타낸다. 상기 LED를 성장시키는 단

계는 후술하는 단계들을 포함할 수 있다.

[0036] 블록(200)은 반극성 III-족 질화물 상에 또는 그 위에, 예를 들어, 반극성 III-족 질화물(예를 들어, 벌크) 기판(102) 상에 또는 그 위에, 또는 기판(102)의 반극성 면(130) 상에 또는 그 위에, 하나 또는 그 이상의 제1 III-질화물 층들(예를 들어, 벼파 층) 및/또는 n-형 III-질화물 층들(104, 106)을 성장시키는 단계를 나타낸다. 반극성 III-족 질화물은 반극성 GaN일 수 있다. 반극성 III-족 질화물은 반극성 (20-2-1) 또는 (20-21) GaN 기판(102)일 수 있다. 제1 층 또는 벼파 층은 n-형 층들(104) 중 하나를 포함할 수 있다.

[0037] n-형 층들은 n-SL(106)을 포함할 수 있다.

[0038] n-SL(106)은 하나 또는 그 이상의 n-형 층들(104) 상에 또는 그 위에 있거나, 또는 제1 층 또는 벼파 층 상에 또는 그 위에 있을 수 있다.

[0039] n-SL은 SL층들(106a, 106b)을, 예를 들어, 하나 또는 그 이상의 인듐(In) 함유 층들 및 갈륨(Ga) 함유 층들, 또는 서로 다른 III-질화물 조성을 갖고 교대로 배치된 제1 및 제2 III-질화물 층들(106a, 106b)(예를 들어, InGaN 및 GaN 층들)을 포함할 수 있다.

[0040] n-SL(106)은 주기의 개수(예를 들어, 적어도 5 또는 적어도 10), SL 도핑, SL 조성 및 각각 층 두께를 가지는 층들(106a, 106b)을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 III-질화물 층들(106a, 106b)은 제1 또는 벼파 층(104)에 격자 정합된(lattice matched) 스트레인 보상된 층들을 포함할 수 있고, 완화(relaxation)를 위한 임계 두께보다 작은(예를 들어, 5 nm보다 작은) 두께를 가질 수 있다. 스트레인 보상된 층들은 소자(100) 및/또는 활성 영역(108)에서 결합 감소, 스트레인 완화 및/또는 스트레스 엔지니어링(stress engineering)을 위해 존재할 수 있다. n-SL(106)의 주기들의 개수는 블록(202)에서 성장된 활성 영역(108)이 제1 층(104)에서 적어도 500 나노미터만큼 떨어지도록 결정될 수 있다.

[0041] 스트레인 보상된 SL 층들에 대한 더 많은 정보는 Matthew T. Hardy, Steven P. DenBaars, James S. Speck, 및 Shuji Nakamura에 의해 2011년 10월 28일에 출원되고, 명칭이 "STRAIN COMPENSATED SHORT-PERIOD SUPERLATTICES ON SEMIPOLAR GAN FOR DEFECT REDUCTION AND STRESS ENGINEERING"이며, 대리인 문서 번호가 30794.396-US-U1 (2011-203)인 미국 특허 출원 일련 번호 제12/284,449호에서 찾아볼 수 있고, 상기 출원은 본 명세서에 참조로써 병합된다.

[0042] 블록(202)은 n-SL 상에 또는 그 위에 활성 영역 또는 하나 이상의 활성 영역(들)(108)을 성장시키는 단계를 나타낸다. 활성 영역들(108)은 청색 또는 녹색 파장 범위 또는 그보다 긴 (예를 들어, 적색 또는 황색 광) 파장에서 피크 인텐시티(intensity)를 갖는 또는 500 nm 또는 그보다 긴 파장에서 피크 인텐시티를 갖는 광(또는 전자기 방사선)을 방출할 수 있다. 그러나, 본 발명은 특정 파장들을 방출하는 소자들(100)에 한정되지 않고, 소자들(100)은 다른 파장들을 방출할 수 있다. 예를 들어, 본 발명은 자외선 발광 소자들(100)에 적용될 수 있다.

[0043] 발광 활성 층(들)(108)은 인듐(In) 함유 III-질화물 층들과 같은 또는 InGaN 층들과 같은 III-질화물 층들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 인듐 함유 층들은 하나 또는 그 이상의 (양자 우물 개수, 양자 우물 조성 및 양자 우물 두께를 갖는) 양자 우물들(QWs) 및 배리어 조성, 배리어 두께 및 배리어 도핑을 갖는 양자 우물 배리어들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 인듐 함유 층들은 예를 들어, GaN 배리어들을 가진 적어도 두 개 또는 세 개의 InGaN 양자 우물들을 포함할 수 있다. InGaN 양자 우물들은 적어도 7 %, 적어도 10 %, 적어도 18 % 또는 적어도 30 %의 인듐 조성 및 3 nm 이상, 예를 들어, 5 nm, 적어도 5 nm, 또는 적어도 9 nm의 두께 또는 우물 폭을 가질 수 있다. 그러나, 양자 우물 두께는 일반적으로는 2 nm 두께를 초과하지만 3 nm보다 작을 수도 있다.

[0044] 블록(204)은 활성 영역 상에 또는 그 위에 하나 또는 그 이상의 III-질화물 p-형 III-질화물 층들(예를 들어, p-SL 층들을 포함하는 p-SL)을 성장시키는 단계를 나타낸다. p-SL은 예를 들어, 교대로 배치된 AlGaN 및 GaN 층들(AlGaN/GaN 층들)을 포함할 수 있다. p-SL은 AlGaN 전자 차단층을 포함할 수 있다.

[0045] 층들(104, 106, 108, 110 및 112)은 p-n 접합(junction)을 형성할 수 있다. 일반적으로, 본 발명의 바람직한 실시예는 GaN 반극성 {20-2-1} 기판 상에 성장된 LED를 포함하고, 상기 구조는 활성 영역 아래의 n-형 SL, MQW 활성 영역 및 MQW 위의 p-형 SL 층을 포함한다. MQW 활성 영역은 전형적으로 두 개 또는 그 이상의 양자 우물들, 그리고 더욱 바람직하게는, 적어도 세 개의 양자 우물들을 포함할 것이다.

[0046] 반극성 면, 양자 우물 개수, 양자 우물 조성(예를 들어, In 조성), 양자 우물 두께, 배리어 조성, 배리어 두께, 배리어 도핑, SL의 주기들의 개수, SL 도핑, SL 조성 및 층 두께는, 발광 소자가 원하는 저하(예를 들어, 소자

가 적어도  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도로 구동될 때, 저하는 15% 이하일 수 있다)를 가지면서, 원하는 방출 파장에서 (예를 들어, 청색 방출 파장 또는 그보다 긴 방출 파장에서) 피크 방출을 가지도록 결정될 수 있다.

[0047] 블록(206)은 소자 구조를 제조하는 단계를 나타낸다.

[0048] 반극성 {20-2-1} 청색 LED들은 후술하는 바와 같이 더 제조될 수 있다.

[0049] 1. 이어서,  $300 \times 500 \mu\text{m}^2$ 의 다이오드 메사들이 염소 기반의 반응성 이온 에칭(reactive ion etching, RIE)에 의해 분리될 수 있다.

[0050] 2.  $250 \text{ nm}$ 의 ITO(indium-tin-oxide) 층이 투명 p-콘택으로 이용될 수 있고, ( $10/100/10/100 \text{ nm}$ )의 Ti/Al/Ni/Au 층들의 스택이 n-GaN 콘택으로 퇴적될 수 있다.

[0051] 3.  $200/500 \text{ nm}$  두께의 Ti/Au 금속 스택이 p-측(side) 및 n-측 와이어 본드 패드들의 역할을 하도록 ITO 층 및 n-GaN 콘택 상에 퇴적될 수 있다.

[0052] 블록(208)은 최종 결과인, 청색 방출 파장에서 피크 방출을 갖는 III-질화물 기반의 발광 다이오드(LED)와 같은 소자를 나타내며, 상기 LED는 (예를 들어, 벌크) 반극성 갈륨 질화물(GaN) 기판 상에 성장되고, 청색 방출 파장에서의 피크 방출은 상기 LED가 적어도  $35 \text{ Amps per centimeter square, A/cm}^2$ 의 전류 밀도로 구동될 때  $17 \text{ nm}$  보다 작은 스펙트럼 폭을 가진다. 상기 발광 소자는 적어도  $100 \text{ mW}$  또는 적어도  $50 \text{ mW}$ 의 광 출력 파워를 가질 수 있다. 상기 소자는 비극성 또는 반극성 (예를 들어, 20-2-1) 기판 상에 성장된 III-질화물 기반의 LED를 포함할 수 있고, 상기 LED의 효율 저하는  $35 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 1% 이하일 수 있고,  $50 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 5% 이하일 수 있으며,  $100 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 10% 이하일 수 있고, 그리고/또는  $200 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도에서 15% 이하일 수 있다.

[0053] 상기 발광 소자는  $100 \text{ A/cm}^2$ 보다 큰 전류 밀도에서 동작하는 III-질화물 기반의 반극성 또는 비극성 LED를 포함할 수 있다.

[0054] 상기 발광 소자는 반극성(예를 들어, 20-2-1) 또는 비극성 기판(예를 들어, GaN) 상에 성장된 III-질화물 LED를 포함할 수 있고, 이때, 유사한 인듐(In) 조성을 갖고 유사한 전류 밀도에서 동작하는 극성 (예를 들어, GaN) 기판 상에 성장된 III-질화물 기반의 LED보다 효율 저하가 낮을 수 있다.

[0055] 비교를 위하여, 참고 극성 (c-면) 청색 LED가 서로 다른 개수의 n-형 및 p-형 SL들을 가지는 것 외에는 동일한 구조 및 파장으로 성장되었고, 이어서 반극성 (20-2-1) 청색 LED와 비교되었다.

[0056] 상기 발광 소자는 반극성 또는 비극성 기판(예를 들어, GaN) 상에 성장된 질화물 기반의 LED를 포함할 수 있는데, 이때, 상기 LED의 방출 스펙트럼의 FWHM은 유사한 인듐 조성을 갖고 유사한 전류 밀도에서 동작하는 극성 (예를 들어, GaN) 기판 상에 성장된 III-질화물 기반의 LED의 방출 스펙트럼의 FWHM보다 낮을 수 있다.

[0057] 또한, 본 발명은 효율 저하를 줄이기 위해 의도적으로 이방성 스트레인이 추가된 질화물 기반의 LED를 포함하는 발광 소자를 개시한다. 상기 LED는 c-면, 반극성(예를 들어, 20-2-1) 또는 비극성 GaN 기판 상에, 또는 c-면 사파이어 기판 상에 성장될 수 있다. 상기 이방성 스트레인은 소자의 발광 층들에 추가될 수 있다. 상기 이방성 스트레인은 소자에서 Auger 재결합을 감소시킬 수 있다.

### 특성화

[0059] 밀봉된 소자들은, 셀프-히팅(self-heating) 효과들을 방지하기 위하여  $1 \text{ KHz}$ 의 주기 및 1 %의 듀티 사이클을 가진 펄스형(pulsed) 모드 및 DC 모드에서 테스트되었다. 상기 테스트들은  $200 \text{ mA}$ 까지의 순방향 전류로 상온에서 수행되었다. 도 3은  $200 \text{ A/cm}^2$ 까지의 서로 다른 전류 밀도에서 반극성 (20-2-1) LED의 광 출력 파워(light output power, LOP)(mW) 및 외부 양자 효율(external quantum efficiency, EQE)(%)을 보여주는 그래프이다. 상기 소자는 도 1a 내지 도 1c에 도시된 구조 및 패키징을 갖는다.

[0060] 반극성 (20-2-1)을 벌크 GaN 기판으로 이용하여 고 방출 파워 및 저 효율 저하를 달성하는 것의 이점들을 설명하기 위하여, 도 4는  $200 \text{ A/cm}^2$ 까지의 서로 다른 펄스형(1% 듀티 사이클) 전류 밀도에서 극성 c-면 (0111) LED 및 반극성 (20-2-1) LED의 LOP(mW) 및 EQE(%)를 보여주는 그래프이며, 이때, 상기 소자는 도 1a 내지 도 1c에

도시된 구조 및 패키징을 갖는다.

[0061] 또한, 서로 다른 전류 밀도들에서 대응되는 EQE 수들과 효율 저하도 또한 아래의 표 1에 나타난다.

표 1

		35 (A/cm <sup>2</sup> )	50 (A/cm <sup>2</sup> )	100 (A/cm <sup>2</sup> )	200 (A/cm <sup>2</sup> )
C-면 (0001)	EQE (%)	48.25	44.36	40.9	35.3
	효율 저하 (%)	2.78	10.62	17.59	28.87
반극성 (20-2-1)	EQE (%)	52.56	50.67	48.44	45.35
	효율 저하 (%)	0.7	4.25	8.46	14.3

[0063] 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 반극성 (20-2-1) 면 상에 LED들을 성장시킴으로써, 극성 (c-면) LED들에 비해 효율 저하가 35, 50, 100, 200 A/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도들에서 각각 2.78 %에서 0.7 %로, 10.62 %에서 4.25 %로, 17.59 %에서 8.46 %로, 그리고 28.87 %에서 14.3 %로 향상될 수 있다.

[0064] 반극성 (20-2-1) 면 상에서 LED들을 성장시킴으로 인한 전체 효율 성능에서의 이러한 큰 개선은, 합금 보조 비방사 Auger 재결합의 감소에 의해 설명될 수 있다. 도 5는 서로 다른 전류 밀도들에서 극성 (c-면) 및 반극성 (20-2-1) GaN 기반의 소자들에 대한 FWHM을 보여준다.

[0065] 반극성 청색 LED의 경우, 관찰된 FWHM은 극성 (c-면) LED의 FWHM보다 더 좁다. 감소된 FWHM에 대한 하나의 가능한 설명은 양자 우물들에서 InGaN 조성이 반극성 (20-2-1) 상에서 더욱 균일하다는 점이다. 반극성 (20-2-1) 상의 더 좁은 FWHM의 원인을 조사하기 위한 실험들이 현재 진행 중이다. 더 균일한 양자 우물 층들이 실제로 존재한다면, Auger 재결합 프로세스들을 보조할 수 있는 합금 산란(alloy scattering)이 반극성 LED에서 감소될 것으로 예상된다.

[0066] 도 6은 도 1b에 도시된 구조를 갖고 도 1c에 도시된 바와 같이 패키징된 청색 발광 다이오드에 대한 방출 파장 (nm) 대 전류 밀도(A/cm<sup>2</sup>), 그리고 FWHM(nm) 대 전류 밀도를 보여주는 그래프이다.

[0067] 도 7a는 515 nm의 피크 방출 파장 및 25 nm의 FWHM을 갖는 (20-2-1) LED 및 516 nm의 피크 방출 파장 및 40 nm의 FWHM을 갖는 (20-2-1) LED에 대한 EL(Electroluminescence)을 파장의 함수로서 나타내는 그래프이다.

[0068] 도 7b는 c-면 LED, (11-22) LED, (20-21) LED 및 (20-2-1) LED에 대하여, 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED들의 FWHM(nm)을 파장의 함수로서 나타내는 그래프이다.

[0069] 도 8a는 c-면 LED, (11-22) LED, (20-21) LED 및 (20-2-1) LED에 대한 EL 파장(nm)을 구동 전류의 함수로서 나타내는 그래프이며, 이때, LED 칩 사이즈는 ~0.01 mm<sup>2</sup>이다.

[0070] 도 8b는 (11-22) LED, (20-21) LED 및 (20-2-1) LED에 대하여, 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED 들에 대한 FWHM(nm)을 구동 전류의 함수로서 나타내는 그래프이다.

[0071] 도 9a는 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED들에 대한 EL 파장(nm) 및 FWHM을 구동 전류의 함수로서 나타내는 그래프이고, 도 9b는 녹색 파장 범위에서 피크 방출 파장을 갖는 LED들에 대한 EL 인텐시티를 다양한 구동 전류들에 대한 파장의 함수로서 나타내는 그래프이다(도 9b에 삽입된 그림은 제조된 LED 구조의 최상 표면을 나타낸다).

[0072] 도 10은 등방성으로 스트레인된 구조들(c-면) 및 이방성으로 스트레인된 구조들(반극성)에 대한 Auger 재결합 프로세스를 나타내는 도면인데, 이때,  $\Delta k$ 는 모멘텀(momentum)의 차이이고  $\Delta E$ 는 에너지의 차이이며, 전도대와 가전자대에서 전자들 및 정공들의 전이에 대한 모멘텀 보존 및 에너지 보존을 각각 만족하기 위하여, 이들은 각각 동일한 크기이지만 반대 부호를 가져야 한다( $\Delta k_1 + \Delta k_2 = 0$ ;  $\Delta E_1 + \Delta E_2 = 0$ )

[0073] 도면에 도시된 바와 같이, 전자-전자-정공(electron-electron-hole, EEH)의 직접적인 Auger 재결합은 등방성으로 스트레인된 구조에서 쉽게 발생할 수 있는데, 이것은 모멘텀과 에너지가 전이 중에 보존될 수 있기 때문이다 ( $\Delta k_1 = \Delta k_2$ ,  $\Delta E_1 = \Delta E_2$ ). 한편, 이방성으로 스트레인된 구조에서는 가전자대의 증가된 곡률로 인하여 EEH의 직접적인 Auger 재결합이 억제된다. 이 경우에, 에너지와 모멘텀 모두를 보존하는 최종 스테이트들(states)의 이용 가능성이 제한되고, 직접적인 Auger 재결합이 감소될 것이다. 그 결과, 합금 산란 또는 포논(phonon) 상

호작용들도 Auger 재결합이 발생하는 전이에 참여할 것이다. 상술된 바와 같이, 우수한 InGaN 균일성으로 인해 (20-2-1) 양자 우물들에서 합금 산란이 감소될 경우, 간접적인 Auger 재결합 프로세스도 감소될 것이다. 그 결과, 이러한 반극성 면 상에서 효율 저하가 감소될 것이다.

#### [0074] 가능한 변경들 및 변형들

소자(100)는 반극성 또는 비극성 소자일 수 있다. 기판(102)은 반극성 또는 비극성 III-질화물 기판일 수 있다. 소자 층들(104 내지 112)은 반극성 또는 비극성 층들일 수 있고, 또는 반극성 또는 비극성 방위(예를 들어, 층들(104 내지 112)은 서로 상에 또는 서로의 위에 그리고/또는 기판(102)의 최상/주요/성장 표면(130) 상에 또는 그 위에 성장될 수 있고, 최상/주요/성장 표면(130) 및 소자 층들의 최상 표면(예를 들어, 활성 층들)(130)은 반극성(예를 들어, 20-2-1 또는 {20-2-1}) 또는 비극성 면일 수 있다.

양자 우물들의 개수, 양자 우물들의 두께, 양자 우물의 조성, 배리어의 조성 및 활성 영역 도핑 레벨을 변경하는 것과 같은 활성 영역 설계에서의 변형들이 가능한 대안들이다. 또한, n-측 및 p-측 SL 층들도 변경될 수 있다. 예를 들어, 상기 층들 중 어느 하나가 생략될 수 있고, 다른 수의 주기들을 포함할 수 있으며, 다른 조성들 또는 도핑들을 가질 수 있고, 또는 바람직한 실시예에서 도시된 것과 다른 두께로 성장될 수 있다. 다른 반극성 면들 또는 기판들이 이용될 수 있다.

다른 변형들은 가능한 다양한 에피택셜 성장 기술들(MBE(Molecular Beam Epitaxy), MOCVD, VPE(Vapor Phase Epitaxy), HVPE(Hydride Vapor Phase Epitaxy) 등), 예를 들어, ICP(Inductively Coupled Plasma) 식각, RIE(Reactive Ion Etching), FIB(Focused Ion beam) 밀링(milling), CMP(Chemical Mechanical Planarization) 및 CAIPE(Chemically Assisted Ion Beam Etching)와 같은 다른 건식-식각 기술들을 포함한다. 높은 광 추출 구조들, 플립 칩 LED들, 수직 구조 LED들, 박형 GaN LED들, 칩-형상의 LED들의 형성 및 예를 들어, 서스펜디드(suspended) 패키지, 투명 스탠드(stand) 패키지 등과 같은 진보된 패키징 방법들도 이용될 수 있다.

#### [0078] 명명법

"(Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N)", "GaN", "InGaN", "AlGaInN", "III-족 질화물", "III-질화물" 또는 "질화물"이라는 용어들 및 그들의 대응하는 용어들은 화학식 Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N을 가지는 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N) 반도체들의 임의의 합금 조성을 지칭하는 것으로 의도된다(여기서, 0 ≤ x ≤ 1, 0 ≤ y ≤ 1, 0 ≤ z ≤ 1, 그리고, x + y + z = 1). 이러한 용어들은 단일 종 Al, Ga 및 In 뿐 아니라 이러한 III족 금속 종의 이원(binary) 및 삼원(ternary) 조성들의 각각의 질화물들을 포함하도록 넓은 범위로 이해되는 것으로 의도된다. 따라서, 이하에서 GaN 및 InGaN 물질들과 관련된 본 발명의 논의는 다양한 다른 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N) 물질 종들의 형성에도 적용 가능하다는 점을 이해할 수 있다. 또한, 본 발명의 기술적 사상 내의 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N) 물질들은 소량의 도판트들(dopants) 및/또는 다른 불순물 또는 함유 물질들을 더 포함할 수 있다.

많은 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N) 소자들이 결정의 극성 c-면을 따라 성장되는데, 비록 이것은 원치 않는 QCSE(quantum-confined Stark effect)를 야기하지만, 이는 강한 압전(piezoelectric) 및 자발적 분극들(spontaneous polarizations)의 존재로 인한 것이다. (Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N) 소자들에서 분극 효과들(polarization effects)을 감소시키기 위한 하나의 접근은 결정의 무극성 또는 반극성 면들 상에 상기 소자들을 성장시키는 것이다.

"비극성 면"이라는 용어는 일괄적으로 a-면들로 알려진 {11-20} 면들 및 일괄적으로 m-면들로 알려진 {10-10} 면들을 포함한다. 이러한 면들은 면 당 동일한 수의 III-족(예를 들어, 갈륨) 및 질소 원자들을 함유하고, 전하-중성적이다. 후속되는 비극성 층들은 서로 동등하므로(equivalent), 별크 결정은 성장 방향을 따라 분극되지 않을 것이다.

"반극성 면"이라는 용어는 c-면, a-면 또는 m-면으로 분류될 수 없는 임의의 면을 지칭하는데 이용될 수 있다. 결정학적인 용어들에서, 반극성 면은 적어도 두 개의 0이 아닌 h, i 또는 k 밀러 지수들(Miller indices) 및 0이 아닌 1 밀러 지수를 가지는 임의의 면일 것이다. 후속되는 반극성 층들은 서로 동등하므로, 결정은 성장 방향을 따라 감소된 분극을 가질 것이다.

#### [0083] 참조문헌들

[0084] 하기의 참조문헌들이 본 명세서에 참조로써 병합된다.

[0085] 1. Yuji Zhao, Shinichi Tanaka, Chih-Chien Pan, Kenji Fujito, Daniel Feezell, James S. Speck, Steven P. DenBaars, 및 Shuji Nakamura: "High-Power Blue-Violet Semipolar (20-2-1) InGaN/GaN Light-Emitting Diodes with Low Efficiency Droop at 200 A/cm<sup>2</sup>", Applied Physics Express 4 (2011) 082104.

[0086] 2. C. C. Pan, I. Koslow, J. Sonoda, H. Ohta, J. S. Ha, S. Nakamura, 및 S. P. DenBaars: "Vertical Stand Transparent Light-Emitting Diode Architecture for High-Efficiency and High-Power Light Emitting Diodes", Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 080210.

[0087] 3. J. Matthews 및 A. Blakeslee, J. Cryst. Growth 32 265 (1976).

[0088] 결론

[0089] 이는 본 발명의 바람직한 실시예들의 설명에 대한 결론이다. 본 발명의 하나 또는 그 이상의 실시예들의 상술된 설명은 이해와 설명의 목적으로서 개시되어 있다. 개시된 정확한 형상으로 본 발명을 배제하거나 한정하려는 목적이 아님을 유의한다. 많은 변형들과 변화들이 상술된 교시의 관점에서 가능하다. 본 발명의 기술적 사상은 상세한 설명에 의해 한정되는 것이 아니고, 하기의 첨부된 청구항들에 의해 한정된다.

### **부호의 설명**

[0090] 100: 소자 구조

102: (20-2-1) GaN 기판

104: n-GaN 층

106: n-형 초격자 층들

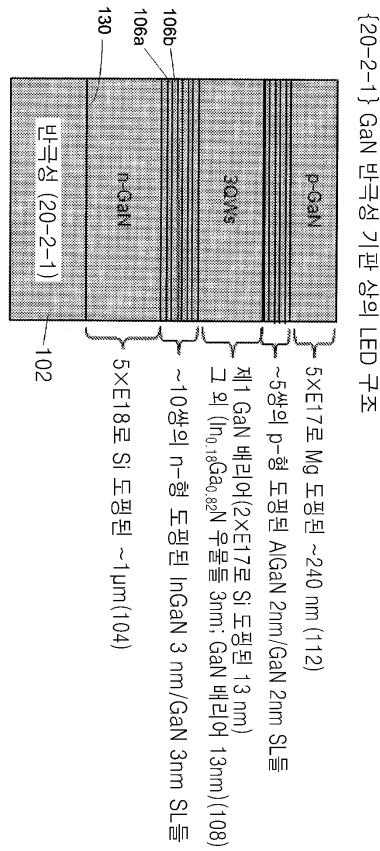
108: 활성 영역들

110: p-형 초격자 층들

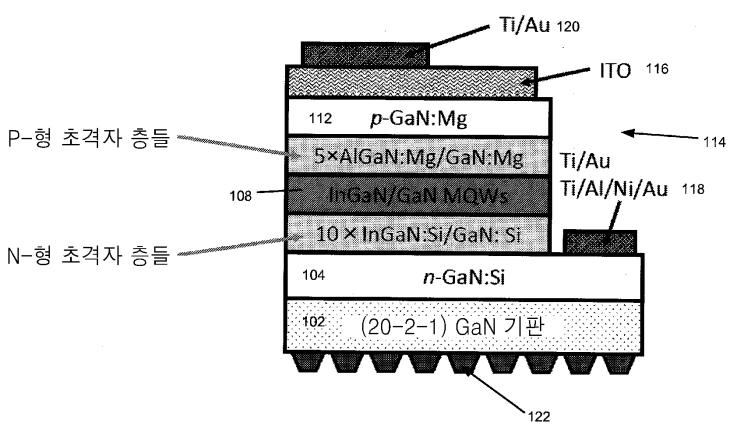
112: p-형 GaN 층

## 도면

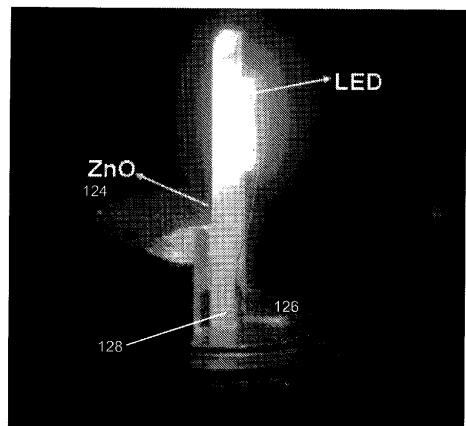
## 도면 1a



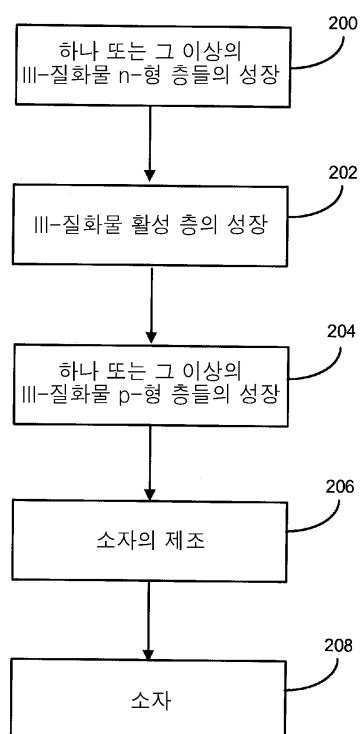
## 도면 1b



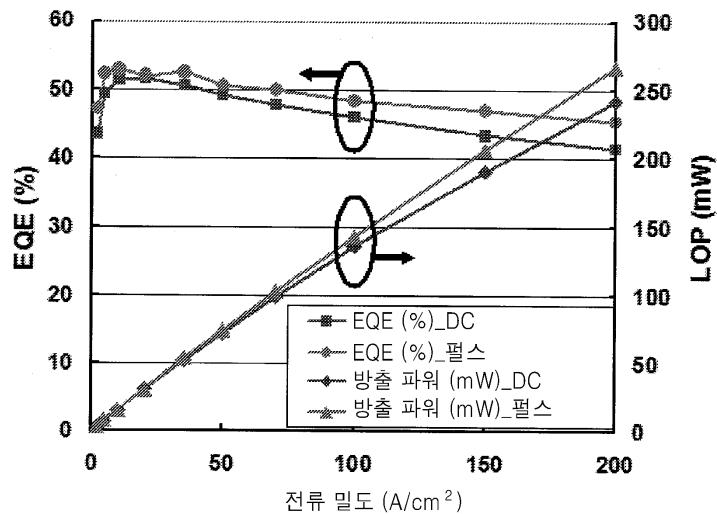
도면1c



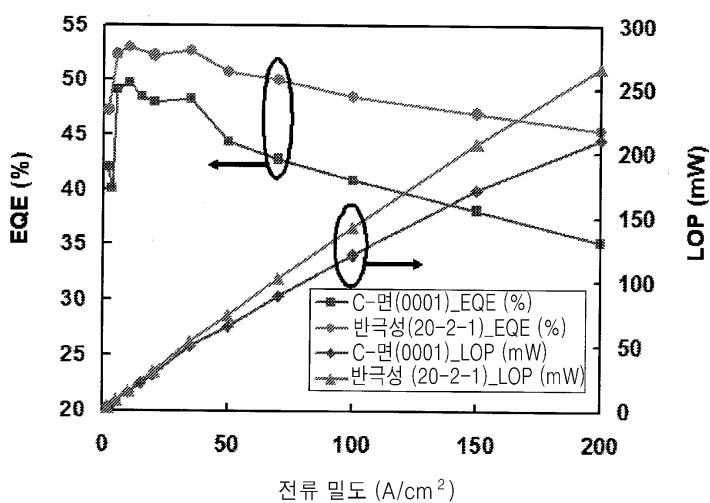
도면2



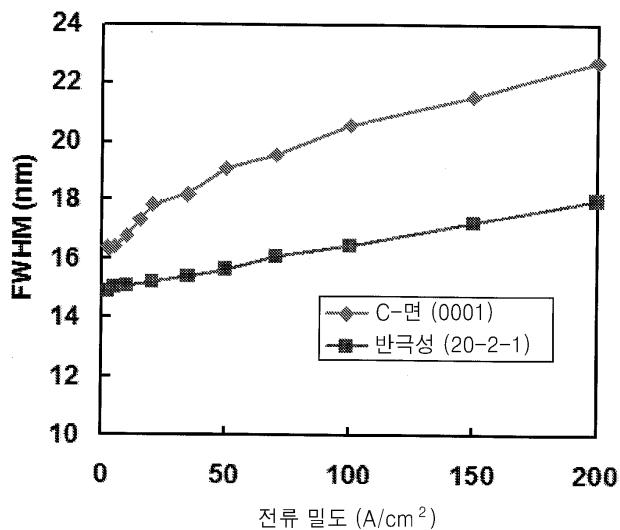
## 도면3



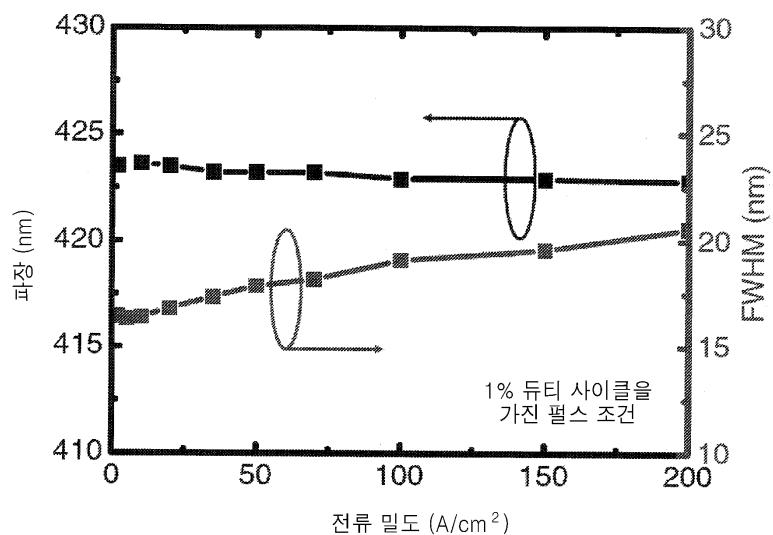
## 도면4



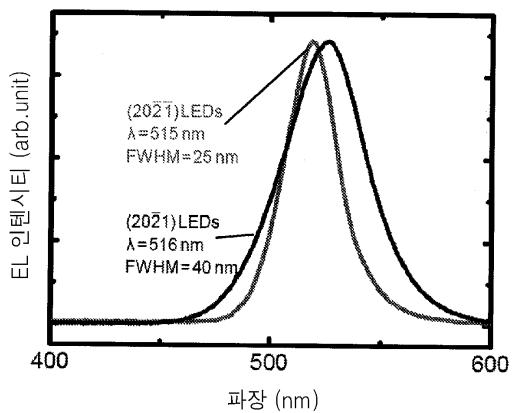
## 도면5



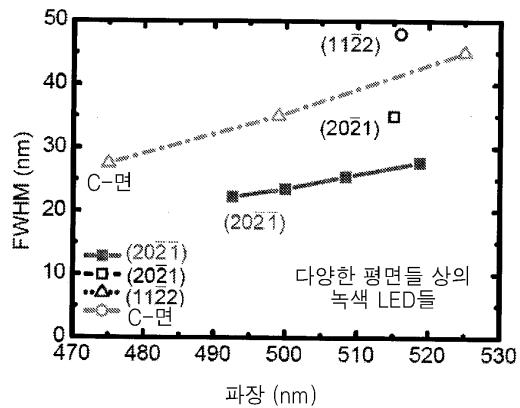
도면6



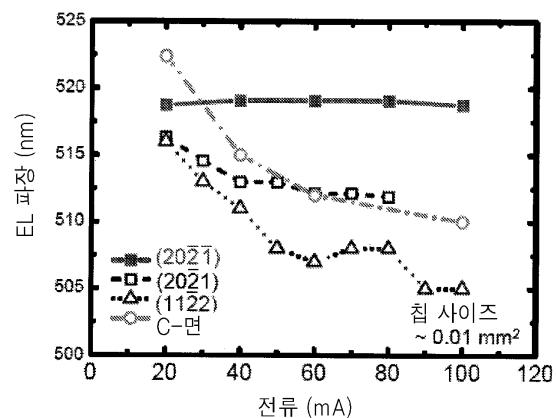
도면7a



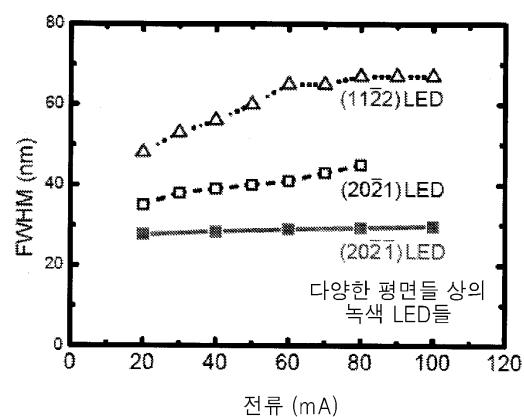
도면7b



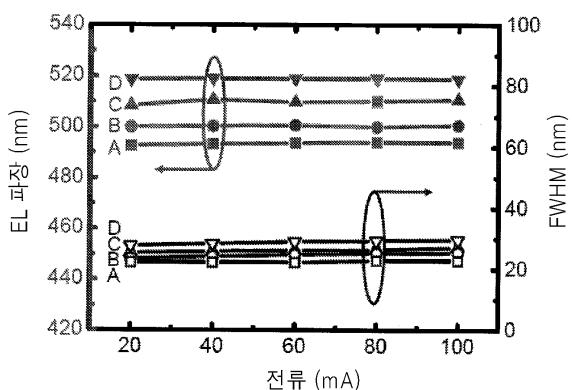
도면8a



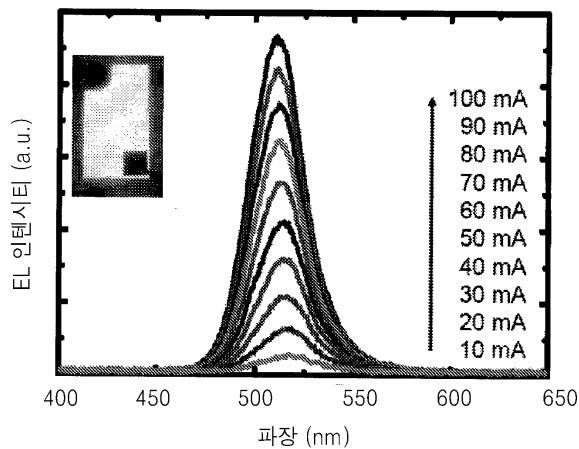
도면8b



도면9a



도면9b



도면10

