



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년10월13일
(11) 등록번호 10-2311754
(24) 등록일자 2021년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/12 (2010.01) H01L 33/00 (2010.01)
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/16 (2010.01)
H01L 33/22 (2010.01) H01L 33/32 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/12 (2013.01)
H01L 33/0008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0030356
(22) 출원일자 2020년03월11일
심사청구일자 2020년03월11일
(65) 공개번호 10-2021-0114784
(43) 공개일자 2021년09월24일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020190118797 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
이내성
서울시 서대문구 통일로 395번지 홍제센트럴아이파크 101-1003
이석현
광주광역시 광산구 임방울대로 673-5, 첨단7차라인아파트 706-502 (월계동)
(74) 대리인
특허법인이상

전체 청구항 수 : 총 10 항

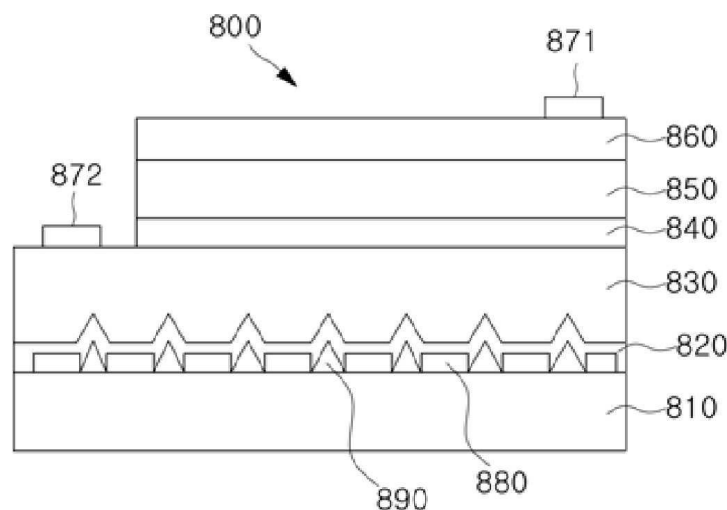
심사관 : 김동우

(54) 발명의 명칭 **휼 억제 및 발광층의 결정결함을 방지하기 위한 자외선 발광 소자**

(57) 요약

자외선 발광소자는 제1 금속과 산소의 결합으로 이루어진 격자 구조를 가지는 베이스 기판; 상기 베이스 기판 상에 형성된 복수의 반도체층; 상기 베이스 기판의 상면과 상기 복수의 반도체층의 사이에 형성된 제2 금속의 질화물층; 상기 베이스 기판 및 상기 제2 금속의 질화물층보다 작은 결합에너지를 가지는 재질로, 상기 베이스 기판의 상면을 부분적으로 덮도록, 상기 베이스 기판의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층의 사이에 형성되어, 베이스 기판의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층 간의 접촉면적을 감소시키는 제1 응력 흡수 패턴부; 및 상기 베이스 기판 및 상기 제2 금속의 질화물층보다 작은 결합에너지를 가지는 재질로, 상기 제1 응력 흡수 패턴부에 의해 덮이지 않고 노출되는 상기 베이스 기판의 상면에 성장되어, 상기 베이스 기판의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층 간의 접촉면적을 감소시키는 제2 응력 흡수 패턴부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 33/0075 (2013.01)

H01L 33/06 (2013.01)

H01L 33/16 (2013.01)

H01L 33/22 (2013.01)

H01L 33/32 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

자외선 발광소자에 있어서,

제1 금속과 산소의 결합으로 이루어진 격자 구조를 가지는 베이스 기관;

상기 베이스 기관 상에 형성되며, 제1 도전성을 가지는 제1 반도체층, 제1 도전성과 다른 제2 도전성을 가지는 제2 반도체층, 및 제1 반도체층과 제2 반도체층 사이에 개재되어 전자와 정공의 재결합에 의해 빛을 생성하는 활성층을 가지는 복수의 반도체층;

상기 베이스 기관의 상면과 상기 복수의 반도체층의 사이에 형성된 제2 금속의 질화물층;

상기 베이스 기관 및 상기 제2 금속의 질화물층보다 작은 결합에너지를 가지는 재료로, 상기 베이스 기관의 상면을 부분적으로 덮도록, 상기 베이스 기관의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층의 사이에 형성되어, 베이스 기관의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층 간의 접촉면적을 감소시키는 제1 응력 흡수 패턴부; 및

상기 베이스 기관 및 상기 제2 금속의 질화물층보다 작은 결합에너지를 가지는 재료로, 상기 제1 응력 흡수 패턴부에 의해 덮이지 않고 노출되는 상기 베이스 기관의 상면에 성장되어, 상기 베이스 기관의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층 간의 접촉면적을 감소시키는 제2 응력 흡수 패턴부를 포함하는 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 베이스 기관은 사파이어 기관이고, 상기 제2 금속의 질화물층은 AlN층인 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 제1 응력 흡수 패턴부는 질화실리콘으로 형성된 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 제2 응력 흡수 패턴부는 제3 금속의 질화물로 이루어지고,

상기 베이스 기관의 격자구조 중 상기 베이스 기관의 상면의 산소와 상기 제2 응력 흡수 패턴부의 제3 금속 반응하여 베이스 기관 및 제2 금속의 질화물층보다 결합에너지가 작은 경계층을 형성하는 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 5

청구항 2 및 4 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 응력 흡수 패턴부는 질화갈륨으로 형성된 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 활성층은 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ($0 \leq x < 1$, $0 < y < 1$)의 일반식으로 표현되는 양자우물구조를 가지며, 상기 활성층은 자외선 영역의 빛을 방출하는 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 제1 응력 흡수 패턴부는 섬 형태 또는 스트라이프 형태로 형성되는 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 제1 응력 흡수 패턴부는 복수의 개구부가 형성되도록 형성되고, 상기 개구부로 노출된 상기 베이스 기관의 상면에 상기 제2 응력 흡수 패턴부가 성장된 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 9

청구항 7 및 8 중 어느 한 항에 있어서,

제2 응력 흡수 패턴부가 상기 제1응력 흡수 패턴부보다 높게 돌출되며, 상기 제2 금속의 질화물층은 상기 제1 응력 흡수 패턴부 및 상기 제2 응력 흡수 패턴부의 프로파일을 따르는 프로파일을 가지는 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 10

청구항 2에 있어서,

상기 사파이어 기관의 두께는 1mm 미만인 것을 특징으로 하는 자외선 발광소자.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 휨 억제 및 발광층의 결정결함을 방지하기 위한 자외선 발광소자에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 베이스 기판 상에 반도체층을 형성할 때 발생하는 기판의 휨이 억제된 자외선 발광소자 및 기판으로부터 돌출된 입체 형상을 가지고, 발광층의 결함 형성을 억제하기 위한 자외선 발광소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] LED(light emitting diode; LED)는 전류를 빛으로 변환시키는 소자로서, 방출되는 빛의 파장은 발광소자를 구성하는 반도체 재료에 따라 달라진다. 이는 방출된 빛의 파장이 가전자대(valence band) 전자들과 전도대(conduction band) 전자들 사이의 에너지 차를 나타내는 반도체 재료의 밴드갭(band-gap)에 따르기 때문이다. 빛의 파장에 따르면, LED는 적색 LED, 청색 LED 및 자외선 LED로 구분될 수 있다.

[0003] 적색 LED의 제조에 있어서, GaAs 기판을 이용하며, AlInGaP의 4원계 화합물 단결정을 이용한다. 결정학적으로 GaAs와 AlInGaP는 매칭이 매우 잘되는 특징이 있다.

[0004] 청색 LED는 매우 일반화된 소자이고, 백색 광원의 리딩 디바이스이다. 청색 LED의 제조에 있어서, 사파이어 기판 상에 GaN 단결정 화합물을 사용하며, 양자우물구조를 위해 In을 alloy 형태로 투입하고 있다. 1980 년대

~1990 년대에 p-GaN의 형성이 이루어지지 않아 상용화가 진척되지 못했으나, 이후 p-GaN 활성화 기술이 개발되면서 상용화가 시작되었다.

- [0005] 자외선 LED는 최근 업계에서 가장 이슈가 되는 품목이다. 자외선 LED는 하부 성장기판으로서 사파이어 기판과, 사파이어 기판 상에 성장되는 AlN 기반의 화합물 단결정을 이용한다. AlN 특유의 물성으로 인해 고온 MOCVD 공정이 진행된다. 공정온도는 1200℃ 이상이다.
- [0006] 예를 들어, 자외선 발광소자는 자외선 영역의 빛을 방출하기 위하여, 발광소자를 구성하는 n형 반도체층, 활성층, p형 반도체층의 재료로서 각각 n-AlGaIn, AlGaIn, p-AlGaIn이 사용될 수 있다. 기판 상에 버퍼층, n형 반도체층, 활성층, p형 반도체층이 순차적으로 적층된다. 자외선 발광소자에 순방향의 전압을 인가하면, n형 반도체층, p형 반도체층에 있는 전자와 정공이 재결합을 위하여 천이되면서 그 에너지만큼 활성층에서 빛을 발산한다.
- [0007] 기판은 반도체 단결정 성장용 기판일 수 있으며, 예를 들어, 사파이어로 형성될 수 있다. 버퍼층은 기판, 예컨대 사파이어 기판과 그 위에 성장할 n형 반도체층(예: n-AlGaIn층)의 격자 차이를 최소화하기 위한 층으로 AlN을 사용할 수 있다.
- [0008] 그러나, 자외선 LED의 제조에 있어서, 사파이어 기판 상에 AlN 기반의 단결정이 형성되면서 기판의 휨 현상이 발생하는 문제가 있다. 기판이 휘어지는 문제는 물성의 저하와 심각하게 연결된다. LED는 화합물 단결정을 전제로 제작되는 소자이므로 내부의 응력은 밴드의 왜곡과 압전 효과를 유발한다. 또한, 캐리어의 이동시에 내부 field의 불규칙성을 증가시키므로 신뢰성을 저하시키고, 동작 특성을 떨어뜨린다.
- [0009] UV LED에 있어서 이와 같은 기판의 휨 문제는 매우 심각하다. 그러나 이에 대한 원인해명 및 해결책은 나오지 않은 상황이다. 이 문제를 해결하기 위해 통상 UV LED에서는 1 mm의 두께를 가진 사파이어를 이용한다. 칩 제조공정에서 이 정도의 두께에서는 휨 현상을 일으키지는 않으나, 단결정 막질 내부에는 매우 큰 응력이 숨겨져 있으며, 물성을 크게 떨어뜨리는 원인이 된다. 이에 따른 신뢰성의 저하는 심각한 문제이다.
- [0010] 자외선 LED의 제조에 있어서 여러가지 문제가 있지만, AlN 성장에 따른 기판의 휨 문제만 해결되어도 UV LED의 상업화를 본격적으로 앞당길 수 있다.
- [0011] 자외선 발광소자는 발생하는 빛의 파장 범위에 따라, UV-A(360~320nm), UV-B(320~280nm) 및 UV-C(280~220nm)로 구분된다. 기존의 청색 및 녹색 발광소자는 1200℃ 이하의 대용량 범용 MOCVD 장비를 이용하여 형성된다. 즉, 사파이어 기판 상에 형성되는 GaN층을 기반으로 하여 발광층의 In의 조성 변화를 통해 원하는 파장은 구현된다. 반면, 자외선 발광소자의 제조공정에서는 고온 MOCVD 장비가 이용되고, 사파이어 기판 상에 단결정 AlN 층을 모재로 하여 발광층에서의 Al의 조성 변화를 통해 다양한 파장 범위의 자외선이 형성된다.
- [0012] 예컨대, 기존의 자외선 발광소자는 고온 MOCVD 장비를 사용하여 사파이어 기판 상에 형성된 1~3um 두께를 가지는 단결정 AlN층/n형 AlGaIn층/다중양자우물 구조의 발광층/p형 AlGaIn층/p형 GaN 접촉층을 가지고, 각각의 막질들은 표면이 평탄한 평면 구조를 가진다. 평면 구조를 가지는 자외선 발광소자는 상부면 상에 분당 금속층 등을 도입하여 플립칩 구조를 가지며, 발광층에서 생성된 자외선은 기판을 향해 방출된다.
- [0013] 특히, AlN층의 형성시 고온이 요구되며, 심자외선인 UV-C 영역의 발광 동작이 수행되기 위해 AlN층은 발광층과 40% 이상의 Al 조성비의 차이가 나타난다. 이러한 Al 조성비의 차이에 기인하여 AlN층의 두께가 증가할수록 결정 구조의 응력(strain)에 의한 스트레스(stress)가 증가한다. 이는 사파이어 기판이 가지는 격자상수가 4.758 Å이고, AlN이 가지는 격자 상수가 3.111Å으로 격자 상수의 차이에 기인하며, 사파이어가 가지는 열팽창 계수가 $\alpha_a=7.5(10^{-6}K^{-1})$, $\alpha_c=8.5(10^{-6}K^{-1})$ (α_a 는 결정구조에서 a축 방향의 열팽창 계수, α_c 는 c축 방향의 열팽창 계수)이며, AlN이 가지는 열팽창 계수가 $\alpha_a=5.3(10^{-6}K^{-1})$, $\alpha_c=4.2(10^{-6}K^{-1})$ 임에 기인한다. 즉, 1300℃ 이상의 고온 공정으로 AlN 층을 형성할 경우, 사파이어와 AlN이 가지는 열팽창 계수의 차이로 인해 AlN이 두께가 증가할수록 응력이 더 크게 작용하고, AlN층의 상부 표면에서는 크랙(crack) 및 핏(pit)이 발생된다. 크랙은 결정 결함인 전위(dislocation)이 집중되어 결정질인 AlN층의 단면 상이 금이 뚜렷히 나타나는 현상을 지칭하며, 핏은 전위가 AlN층의 표면 상으로 전파되는 영역에서 비정질 상의 AlN의 덩어리들이 형성되는 현상을 지칭한다.
- [0014] 상술한 스트레스의 영향으로 n형 AlGaIn층에서는 도핑된 실리콘의 활성화율이 저하되며, 누설전류, 낮은 광출력 및 높은 동작전압이 초래된다.
- [0015] 도 8은 종래 기술에 따른 평면 구조를 가지는 자외선 발광소자를 도시한 단면도이다.
- [0016] 도 8을 참조하면, 사파이어 기판(100) 상에 AlN층(110), n형 AlGaIn층(120), 발광층(130), p형 AlGaIn층(140) 및

p형 GaN층(150)이 형성된다. 상기 막질들은 고온 MOCVD 장비를 통하여 형성된다. 또한, 자외선의 파장은 발광층(130) 내의 우물층에서의 Al의 조성에 의해 결정되며, n형 AlGaN층(120), p형 AlGaN층(140) 및 발광층(130)의 장벽층에서의 Al 조성비의 차이는 10% 이상일 때 광 효율이 증가한다.

[0017] 또한, 격자 상수의 차이 및 열팽창 계수의 차이에 의해 사파이어 기판(100)의 성장면인 (0001)면에서 수직 방향인 c축으로 성장된 AlN층(110)은 그 두께가 증가할수록 발광층(130)에 스트레스를 유발한다. 즉, 적층 구조가 증가할수록 전위밀도는 증가하는 경향을 가지며, 자외선 발광소자의 최상층에 크랙 및 핏의 결정 결함이 발생된다. 결정 결함에 의해 누설전류 등이 발생하여 성능 저하를 유발한다.

[0018] 또한, 하부의 막질에 대한 제어가 원활히 수행되어 발광층이 형성되더라도, 발광층의 상부에는 발광층보다 높은 분율의 Al을 가진 p형의 AlGaN층이 형성된다. 고온 공정에서 p형이 AlGaN층은 도판트인 Mg와 함께 형성되며, MOCVD 과정에서 발광층의 장벽층과 격자상수의 불일치 및 열팽창 계수의 차이로 인해 발광층에서 결정 결함이 발생된다. 또한, 발광층에서 결정 결함이 발생되지 않더라도 상부에 형성되는 p형 AlGaN층에서 격자 상수의 불일치 및 열팽창 계수의 차이에 의해 p형 AlGaN층 자체에서 결정 결함이 발생되기도 한다.

[0019] 결정 결함은 자외선 발광소자의 동작시 광효율을 저하시키고, 발광소자의 수명을 저하시키는 핵심적 요인이 된다. 또한, 원하는 기준으로서의 발광 데이터들이 생성되지 않으므로 수율이 저하되는 문제가 발생된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0020] 본 발명이 이루고자 하는 제1 기술적 과제는, 베이스 기판 상에 반도체층을 형성할 때 발생하는 기판의 휨을 억제하고 반도체층에 결함을 억제한 자외선 발광소자를 제공하는 데 있다.

[0021] 본 발명이 이루고자 하는 제2 기술적 과제는 발광층의 상부 또는 하부에 결정 결함의 발생을 억제하여 고품위의 단결정 화합물이 형성되는 자외선 발광소자를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0022] 본 발명의 제1 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 휨이 억제된 자외선 발광소자를 제공한다. 자외선 발광소자는 제1 금속과 산소의 결합으로 이루어진 격자 구조를 가지는 베이스 기판; 상기 베이스 기판 상에 형성되며, 제1 도전성을 가지는 제1 반도체층, 제1 도전성과 다른 제2 도전성을 가지는 제2 반도체층, 및 제1 반도체층과 제2 반도체층 사이에 개재되어 전자와 정공의 재결합에 의해 빛을 생성하는 활성층을 가지는 복수의 반도체층; 상기 베이스 기판의 상면과 상기 복수의 반도체층의 사이에 형성된 제2 금속의 질화물층; 상기 베이스 기판 및 상기 제2 금속의 질화물층보다 작은 결합에너지를 가지는 제질로, 상기 베이스 기판의 상면을 부분적으로 덮도록, 상기 베이스 기판의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층의 사이에 형성되어, 베이스 기판의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층 간의 접촉면적을 감소시키는 제1 응력 흡수 패턴부; 및 상기 베이스 기판 및 상기 제2 금속의 질화물층보다 작은 결합에너지를 가지는 제질로, 상기 제1 응력 흡수 패턴부에 의해 덮이지 않고 노출되는 상기 베이스 기판의 상면에 성장되어, 상기 베이스 기판의 상면과 상기 제2 금속의 질화물층 간의 접촉면적을 감소시키는 제2 응력 흡수 패턴부를 포함한다.

[0023] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 베이스 기판은 사파이어 기판이고, 상기 제2 금속의 질화물층은 AlN층일 수 있다.

[0024] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제1 응력 흡수 패턴부는 질화실리콘으로 형성될 수 있다.

[0025] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제2 응력 흡수 패턴부는 제3 금속의 질화물로 이루어지고, 상기 베이스 기판의 격자구조 중 상기 베이스 기판의 상면의 산소와 상기 제2 응력 흡수 패턴부의 제3 금속 반응하여 베이스 기판 및 제2 금속의 질화물층보다 결합에너지가 작은 경계층을 형성할 수 있다.

[0026] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제2 응력 흡수 패턴부는 질화갈륨으로 형성될 수 있다.

[0027] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 활성층은 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N(0 \leq x < 1, 0 < y < 1)$ 의 일반식으로 표현되는 양자우물구조를 가지며, 상기 활성층은 자외선 영역의 빛을 방출할 수 있다.

[0028] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제1 응력 흡수 패턴부는 섬 형태 또는 스트라이프 형태로 형성될 수 있다.

[0029] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제1 응력 흡수 패턴부는 복수의 개구부가 형성되도록 형성되고, 상기 개구부

로 노출된 상기 베이스 기판의 상면에 상기 제2 응력 흡수 패턴부가 성장될 수 있다.

[0030] 본 발명의 실시예에 있어서, 제2 응력 흡수 패턴부가 상기 제1응력 흡수 패턴부보다 높게 돌출되며, 상기 제2 금속의 질화물층은 상기 제1 응력 흡수 패턴부 및 상기 제2 응력 흡수 패턴부의 프로파일을 따르며 프로파일을 가질 수 있다.

[0031] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 사파이어 기판의 두께는 1mm 미만일 수 있다.

[0032] 상술한 제2 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명은, 기판 상에 형성된 AlN 단결정으로 구성되는 AlN 표면 보호층; 상기 AlN 표면 보호층 상에 형성되고, 상기 AlN 표면 보호층을 통해 전달될 수 있는 진행성 결정 결함을 차단하기 위한 스트레인 제어층; 상기 스트레인 제어층 상에 형성되며, AlGaN 재질을 가지며 상기 스트레인 제어층이 가지는 Al 분율 이하의 Al 분율을 가지는 반도체 지지층; 상기 반도체 지지층 상에 형성되고, n형으로 도핑되며, 상기 반도체 지지층이 가지는 Al 분율 이하의 Al 분율을 가지는 n형 AlGaN층; 상기 n형 AlGaN층 상에 형성되고, n형으로 도핑되며 격자 상수의 불일치에 따른 결정 결함의 발생을 억제하기 위한 제1 스트레인 완화층; 상기 제1 스트레인 완화층 상에 형성되고 다중양자우물 구조를 가지는 발광층; 및 상기 발광층 상에 형성되고, p형으로 도핑되며, 상기 발광층의 장벽층보다 높은 밴드갭을 가지는 p형 AlGaN층을 가지는 자외선 발광소자를 제공한다.

[0033] 상기 본 발명의 기술적 과제는, 기판 상에 형성된 AlN 단결정으로 구성되고, 표면에서 요철 구조를 가지는 AlN 지지층; 상기 AlN 지지층 상에 상기 AlN 지지층의 프로파일을 따라 형성되고, 상기 AlN 지지층보다 작은 두께를 가지는 AlN 표면 보호층; 상기 AlN 표면 보호층 상에 형성되고, 상기 AlN 표면 보호층을 통해 전달될 수 있는 진행성 결정 결함을 차단하기 위한 스트레인 제어층; 상기 스트레인 제어층 상에 형성되며, AlGaN 재질을 가지며 상기 스트레인 제어층이 가지는 Al 분율 이하의 Al 분율을 가지는 반도체 지지층; 상기 반도체 지지층 상에 형성되고, n형으로 도핑되며, 상기 반도체 지지층이 가지는 Al 분율 이하의 Al 분율을 가지는 n형 AlGaN층; 상기 n형 AlGaN층 상에 형성되고, n형으로 도핑되며 격자 상수의 불일치에 따른 결정 결함의 발생을 억제하기 위한 제1 스트레인 완화층; 상기 제1 스트레인 완화층 상에 형성되고 다중양자우물 구조를 가지는 발광층; 상기 발광층 상에 형성되고, 결정 결함의 발생을 억제하며, Al 분율은 상기 발광층의 장벽층이 가지는 Al 분율보다 큰 제2 스트레인 완화층; 및 상기 제2 스트레인 완화층 상에 형성되고, p형으로 도핑되며, 상기 발광층의 장벽층보다 높은 밴드갭을 가지는 p형 AlGaN층을 가지는 자외선 발광소자의 제공을 통해서도 달성된다.

발명의 효과

[0034] 본 발명의 제1 기술적 과제를 해결하기 위한 실시예에 따르면 자외선 LED 제조시 사파이어 기판과 AlN층 사이에 제1 및 제2 응력 흡수 패턴부를 형성하며, 사파이어 기판의 휨과 AlN층에 응력이 잔류되는 것을 억제하고 반도체층들에 결함이 억제되는 자외선 발광소자를 제공할 수 있다.

[0035] 본 발명의 제2 기술적 과제를 해결하기 위한 실시예에 따르면, AlN 지지층은 MOCVD 공정을 통해 평탄한 막질로 성장된 다음, 선택적 식각을 통해 블록부와 오목부를 가진 요철 구조로 형성된다. 식각을 통해 손상된 표면은 AlN 표면 보호층에 의해 치유되고, AlN 지지층이 가지는 결정 결함의 대부분은 치유된다. 이를 통해 AlN 표면 보호층 상에 형성되는 AlGaN 막질들은 높은 결정성을 확보할 수 있다. 또한, AlGaN 막질들이 가지는 높은 결정성으로 인해 원하는 영역의 파장 범위를 얻을 수 있으며, 수율 개선의 효과를 얻을 수 있다.

[0036] 또한, 발광층의 상부 또는 하부에는 스트레인 완화층이 형성되며, 스트레인 완화층에 의해 발광층은 고품위의 단결정으로 형성될 수 있으며, 전류가 전 영역에 걸쳐 고르게 확산되고, 높은 광추출 효율을 구현할 수 있다.

[0037] 이외, 스트레인 제어층은 반복 구조를 가지며, 계면에서 인위적인 점 결함들을 형성한다. 형성된 점 결함들에 의해 하부의 AlN층에서 생성되거나 전달되는 진행성 결정 결함들은 흡수되고, 상부의 반도체 지지층으로 전달되는 현상은 차단된다. 이를 통해 고품질의 화합물 단결정을 형성할 수 있고, 다양한 파장대의 자외선 발광소자를 형성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자외선 발광소자를 나타내는 도면이다.

도 2는 도 1의 베이스 기판 상에 형성되는 제1 응력 흡수 패턴부 및 제2 응력 흡수 패턴부의 일 예를 나타내는 도면이다.

- 도 3은 사파이어 기관의 결정구조를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 사파이어 기관 상에 GaN를 성장시키는 경우 결정구조의 매칭을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 반도체 박막층을 이루는 물질들의 결합에너지를 나타내는 표이다.
- 도 6은 AlN의 결정구조를 나타내는 도면이다.
- 도 7은 사파이어 기관 상에 AlN를 성장시키는 경우 결정구조의 매칭을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 종래 기술에 따른 평면 구조를 가지는 자외선 발광소자를 도시한 단면도이다.
- 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 자외선 발광소자의 단면도이다.
- 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 스트레인 제어층의 변형예를 도시한 일부 단면도이다.
- 도 11은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 p형 AlGaIn층 및 상부 컨택층의 변형예를 도시한 단면도이다.
- 도 12는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 제조된 자외선 발광소자의 상부 이미지이다.
- 도 13은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 제조된 상기 도 12의 자외선 발광소자의 PL 파장 분포를 도시한 그래프이다.
- 도 14는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 상기 도 12의 자외선 발광소자의 표면 발광 이미지 및 EL 특성을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0040] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0041] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다.
- [0042] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자외선 발광소자를 나타내는 도면이다. 도 2는 도 1의 베이스 기관 상에 형성되는 응력 흡수 패턴부의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0043] 본 실시예의 자외선 발광소자는 베이스 기관(810), 복수의 반도체층(830,840,850), 제2 금속의 질화물층(820), 제1 응력 흡수 패턴부(880) 및 제2 응력 흡수 패턴부(890)를 포함할 수 있다.
- [0044] 예를 들어, 베이스 기관(810)은 제1 금속과 산소의 결합, 즉 제1 금속의 산화물로된 기관으로서 다양한 물질, 예를 들어, 사파이어로 이루어질 수 있다. 사파이어 이외에도 금속과 산소의 결합물, 즉 금속 산화물 기관은 본 발명이 적용될 수 있다.
- [0045] 제2 금속의 질화물층(820)은 베이스 기관(810)의 상면에 형성될 수 있다. 제2 금속의 질화물층(820)은 이후 형성될 반도체 박막(예: 복수의 반도체층)을 위한 버퍼층일 수 있다.
- [0046] 제2 금속의 질화물층(820)과 베이스 기관(810)을 이루는 물질은 격자상수 및 결합에너지가 서로 다를 수 있다. 격자상수 차이가 큰 경우 베이스 기관(810)과 제2 금속의 질화물층(820) 간의 접촉으로 인해 스트레인이 발생되고 그 결과 응력이 잔류될 수 있다.
- [0047] 이 경우 제2 금속의 질화물층(820)의 결합에너지가 베이스 기관(810)의 결합에너지보다 현저히 작은 경우, 즉 제2 금속의 질화물층(820)이 상대적으로 베이스 기관(810)에 비해 무른 물질로 이루어진 경우, 제2 금속의 질화물층(820)에 결정결함이 다수 발생되면서 스트레인의 일부가 해소될 수 있다. 제2 금속의 질화물층(820)은 이러한 결정결함을 포함하게 되고, 상층의 반도체 박막으로의 결정결함의 전파 내지 확산을 차단하는 버퍼층의 기능

을 할 수 있다.

- [0048] 그러나 반도체 디바이스에 따라서는 베이스 기판(810)과 제2 금속의 질화물층(820) 간의 격자상수는 차이가 어느 정도 있지만 결합에너지의 차이는 상대적으로 크지 않은 경우가 있을 수 있다. 예를 들어, 베이스 기판(810)과 버퍼층의 격자상수가 어느 정도 차이가 있고, 모두 상당히 큰 결합에너지를 가지면서 그 차이가 작을 수 있다.
- [0049] 이 경우에는 베이스 기판(810)과 제2 금속의 질화물층(820)이 비슷하게 단단한 재질로 볼 수 있으므로 일반적으로 제2 금속의 질화물층(820)에 결정결합이 다수 발생하지는 않을 것이다. 그 결과 발생된 스트레인의 상당 부분은 유지될 것이고 베이스 기판(810)이나 제2 금속의 질화물층(820)에는 스트레인으로 인한 응력이 잔류되며, 결국 기판이 휘게 되는 문제가 유발될 수 있다.
- [0050] 제2 응력 흡수 패턴부가 제외되는 경우, 후술될 제1 응력 흡수 패턴부(880)에 의해 덮이지 않은 베이스 기판(810)의 상면의 산소와 제2 금속의 질화물층(820) 중 제2 금속이 반응하여 미세한 경계층이 형성될 수 있다.
- [0051] 제1 금속과 제2 금속은 동일한 금속인 경우, 상기 경계층은 베이스 기판(810)의 격자구조의 제1 금속-산소의 결합구조와 동일한 결합구조(즉, 제2금속-산소 결합구조)를 가지도록 형성되는 매우 미세한 층일 수 있다.
- [0052] 이러한 경계층은 베이스 기판(810)과 마찬가지로 단단한 구조를 가질 것이며, 제2 금속의 질화물층(820)에 결합 형성에 의한 스트레인의 해소 메커니즘을 더욱 방해하는 요소가 될 수 있다.
- [0053] 본 실시예에서는 베이스 기판(810)의 상면과 제2 금속의 질화물층(820)의 사이에 제1 응력 흡수 패턴부(880) 및 제2 응력 흡수 패턴부(890)가 형성된다.
- [0054] 제1 응력 흡수 패턴부(880)는 베이스 기판(810) 및 제2 금속의 질화물층(820)보다 작은 결합에너지를 가지는 재질로 형성될 수 있다. 즉, 응력 흡수 패턴부의 재질은 베이스 기판(810) 및 제2 금속의 질화물층(820)보다 상대적으로 무른 재질로 이루어질 수 있다.
- [0055] 제1 응력 흡수 패턴부(880)는 섬 형태 또는 스트라이프 형태 등 다양한 패턴으로 형성될 수 있다. 즉, 응력 제1 흡수 패턴부는 베이스 기판(810)의 상면을 부분적으로 덮도록 형성될 수 있다.
- [0056] 그 결과 제1 응력 흡수 패턴부(880)가 존재하지 않는 경우에 비해 베이스 기판(810)과 제2 금속의 질화물층(820)의 접촉면적이 감소된다. 따라서, 베이스 기판(810)과 제2 금속의 질화물층(820) 간의 접촉으로 인해 발생하는 스트레인의 양이 감소될 수 있다.
- [0057] 또한, 전술한 바와 같이 제1 응력 흡수 패턴부(880)는 베이스 기판(810) 및 제2 금속의 질화물층(820)에 비해 상대적으로 무른 재질이므로 발생한 스트레인을 흡수할 수 있다. 즉, 스트레인으로 인해 제1 응력 흡수 패턴부(880)가 압축되거나 팽창될 수 있고, 또는 베이스 기판(810)의 상면에서 제1 응력 흡수 패턴부(880)의 위치가 미세하게 이동될 수도 있고, 그 결과 스트레인을 상당히 제거하는 효과를 가질 수 있다.
- [0058] 또한, 제1 응력 흡수 패턴부(880)와 베이스 기판(810) 간의 접촉, 제1 응력 흡수 패턴부(880)와 제2 금속의 질화물층(820) 간의 접촉으로 인해 발생할 수 있는 스트레인도 전술한 메커니즘과 유사하게 제1 응력 흡수 패턴부(880)가 흡수 내지 감소시킬 수 있을 것이다. 그 결과, 기판 전체적으로 스트레인이 감소되고 응력이 감소되어 기판의 휨이 억제될 수 있다.
- [0059] 한편, 제2 응력 흡수 패턴부(890)는 바람직하게는 베이스 기판(810) 및 제2 금속의 질화물층(820)보다 작은 결합에너지를 가지는 재질로 이루어진다. 제2 응력 흡수 패턴부(890)는 제1 응력 흡수 패턴부(880)에 의해 덮이지 않고 노출되는 베이스 기판(810)의 상면에 성장될 수 있다. 제2 응력 흡수 패턴부(890)는 베이스 기판(810)의 상면과 제2 금속의 질화물층(820) 간의 접촉면적을 감소시킨다.
- [0060] 일 예로, 제2 응력 흡수 패턴부(890)는 제3 금속의 질화물로 이루어지고, 베이스 기판(810)의 격자구조 중 베이스 기판(810)의 상면의 산소와 제2 응력 흡수 패턴부(890)의 제3 금속 반응하여 베이스 기판(810), 제2 금속의 질화물층(820), 베이스 기판(810)과 제2 금속의 질화물층(820)이 접촉하여 형성할 수 있는 경계층보다 결합에너지가 작은 다른 경계층을 형성할 수 있다.
- [0061] 복수의 반도체층(830, 840, 850)은 베이스 기판(810) 상에 형성되며, 제1 도전성을 가지는 제1 반도체층(830), 제1 도전성과 다른 제2 도전성을 가지는 제2 반도체층(850), 및 제1 반도체층(830)과 제2 반도체층(850) 사이에 개재되어 전자와 정공의 재결합에 의해 빛을 생성하는 활성층(840)을 가질 수 있다.

- [0062] 제2 금속의 질화물층(820)은 베이스 기판(810)의 상면과 복수의 반도체층(830,840,850)의 사이에 형성될 수 있다. 제2 금속의 질화물층(820) 위에는 제1 반도체층(830)이 형성될 수 있다.
- [0063] 전술한 바와 같이, 베이스 기판(810), 응력 흡수 패턴부(880,890) 및 제2 금속의 질화물층(820)이 휨 억제 기판으로서 기능하므로, 휨이 억제된 자외선 발광소자가 제공될 수 있다. 또한, 응력 흡수 패턴부로 인해 응력이 흡수되므로 상층으로 결정결함이 전파 내지 확산되는 것이 감소 내지 방지될 수 있다.
- [0064] 다시 도 1 및 도 2를 참조하면, 전술된 자외선 발광소자(300)의 구체적 예로서, 베이스 기판(810)은 사파이어 기판이고, 제2 금속의 질화물층(820)은 AlN층일 수 있다. 즉, 제1 금속과 제2 금속이 모두 Al일 수 있다.
- [0065] 복수의 반도체층(830,840,850)은 사파이어 기판 상에 형성되며, 제1 도전성을 가지는 제1 반도체층(830), 제1 도전성과 다른 제2 도전성을 가지는 제2 반도체층(850), 및 제1 반도체층(830)과 제2 반도체층(850) 사이에 개재되어 전자와 정공의 재결합에 의해 빛을 생성하는 활성층(840)을 가질 수 있다.
- [0066] 자외선 발광소자는 자외선 발광소자를 구성하는 각 층의 종류와 구성물질에 따라 각기 다른 파장의 빛을 발생시킬 수 있다.
- [0067] 본 실시예에서 활성층(840)은 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N(0 \leq x < 1, 0 < y < 1)$ 의 일반식으로 표현되는 양자우물구조를 가지며, 제1 반도체층(830)은 n-AlGaIn, 제2 반도체층(850)은 p-AlGaIn이 사용될 수 있다. 활성층(840)은 자외선 영역의 빛을 방출할 수 있다.
- [0068] 버퍼층으로서 AlN층은 제1 응력 흡수 패턴부(880), 제2 응력 흡수 패턴부(890)와 복수의 반도체층(830,840,850)의 사이에 형성될 수 있다.
- [0069] 제1 응력 흡수 패턴부(880)은 사파이어 및 AlN보다 작은 결합에너지를 가지는 재질로 형성될 수 있다. 또한, 제1 응력 흡수 패턴부(880)은 질화실리콘(예: SiN)으로 형성될 수 있다. 제1 응력 흡수 패턴부(880)은 사파이어 기판의 상면을 부분적으로 덮도록, 사파이어 기판의 상면과 AlN층의 사이에 형성될 수 있다.
- [0070] 도 2를 참조하면, 제1 응력 흡수 패턴부(880)은 섬 형태 또는 스트라이프 형태 등 다양한 패턴으로 형성될 수 있다. 즉, 제1 응력 흡수 패턴부(880)은 베이스 기판(810)의 상면을 부분적으로 덮도록 형성될 수 있다.
- [0071] 제1 응력 흡수 패턴부(880)은 사파이어 기판과 AlN층의 접촉으로 인해 발생하는 스트레인 또는 응력을 흡수할 수 있다. 따라서, 사파이어 기판의 휨이 억제되어 휨이 억제 내지 방지된 자외선 발광소자를 제공할 수 있다. 이와 같이, 휨이 억제되므로, 본 실시예의 자외선 발광소자는 사파이어 베이스 기판의 경우 종래와 다르게 1mm 이하로 형성할 수도 있다.
- [0072] 제2 응력 흡수 패턴부(890)는 질화갈륨(예: GaN)로 형성될 수 있다. 제2 응력 흡수 패턴부(890)는 제1 응력 흡수 패턴부(880)에 의해 노출된 사파이어 기판의 상면에 형성될 수 있다.
- [0073] 또는, 도 2에 도시된 것과 다르게, 제1 응력 흡수 패턴부(880)는 복수의 개구부가 형성되도록 형성되고, 개구부로 노출된 베이스 기판(810)의 상면에 제2 응력 흡수 패턴부(890)가 성장될 수도 있다.
- [0074] 제2 응력 흡수 패턴부(890)가 제1응력 흡수 패턴부보다 높게 돌출될 수 있고, 제2 금속의 질화물층(820)은 제1 응력 흡수 패턴부(880) 및 제2 응력 흡수 패턴부(890)의 프로파일을 따르는 프로파일을 가질 수 있다.
- [0075] 이러한 자외선 발광소자는 먼저 사파이어 기판 상에 제1 응력 흡수 패턴부(880)가 형성될 영역이 개구된 마스크를 형성하고, 이러한 개구로 노출된 사파이어 기판의 상면에 SiN를 성장시켜 제1 응력 흡수 패턴부(880)을 도 2에 예시된 섬 형태 또는 스트라이프 패턴을 가지도록 형성한 후 마스크를 제거할 수 있다. 이후 노출된 사파이어 기판의 상면에 제2 응력 흡수 패턴부(890)를 성장시킬 수 있다.
- [0076] 또는 이와 다르게 사파이어 기판 상에 SiN층을 형성하고, SiN층 상에 마스크를 형성한 후, 제1 응력 흡수 패턴부(880)가 될 부분을 제외한 나머지 SiN층을 제거하고, 이로 인해 노출된 사파이어 기판의 상면에 GaN로 제2 응력 흡수 패턴부(890)를 형성한 후 마스크를 제거할 수도 있다.
- [0077] 이후, 제1 응력 흡수 패턴부(880) 및 제2 응력 흡수 패턴부(890)의 상면 상에 AlN층을 형성할 수 있다. 이후, 복수의 반도체층(830,840,850)을 형성하고, 제2 반도체층(850) 상에 P형 콘택층(860) 및 P층 전극을 형성하고, 식각되어 노출된 제1 반도체층(830) 상에 N층 전극을 형성할 수 있다.
- [0078] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 휨이 억제된 자외선 발광소자에서 휨이 억제되는 메커니즘을 더욱 상세히 설명

한다.

- [0079] 도 3은 사파이어 기판의 결정구조를 설명하기 위한 도면이다.
- [0080] 자외선 LED(UV LED)에서 발생하는 기판의 휨 문제는 AlN 기반의 화합물 단결정 구조에 기인한다. 또한, 이는 결정 구조의 면밀한 검토를 통해 원인의 파악이 가능하다. UV LED는 사파이어 웨이퍼 상에 AlN 버퍼층을 형성하고, 버퍼층 상에 AlGaIn 층들을 형성하는 구조를 가진다.
- [0081] 도 3에 제시된 바와 같이, 사파이어는 HCP 결정구조를 가진다. 사파이어 기판의 표면은 산소 원자가 노출되는 구조이며 결정 내에 Al 층들이 배치된다. 어떤 커팅을 수행하더라도 산소는 최외곽 표면에 배치된다. 컷팅시 Al 이 노출된다 하더라도, 산소와 높은 반응성으로 인해 노출 표면은 산소로 커버된다.
- [0082] 사파이어 기판 상에 GaN층이 성장되는 청색 LED에서 기판의 휨 현상이 없는 이유는 GaN과 사파이어의 결정성의 매칭에 원인이 있다. 청색 LED 제조공정에서 사파이어의 상면에 GaN을 증착하면 Ga는 사파이어 표면에서 Ga₂O₃를 형성하고, Ga₂O₃는 사파이어인 Al₂O₃와 잘 매칭되는 구조가 된다.
- [0083] 다음은 청색 LED가 사파이어 상에 형성되는 것을 더욱 상세히 설명한다.
- [0084] 도 4는 사파이어 기판 상에 GaN를 성장시키는 경우 결정구조에 있어서 원소의 층구조를 개념적으로 설명하는 도면이다. 도 5는 반도체 박막층을 이루는 물질들의 결합에너지를 나타내는 표이다.
- [0085] HCP 구조의 사파이어는 Al층과 산소층의 교대 적층 구조를 가진다. 또한, 청색 LED의 GaN도 Ga층과 질소층의 HCP 구조를 가진다. 특히, Ga는 사파이어의 산소와 계면에서 Ga₂O₃를 형성한다.
- [0086] 사파이어 자체를 볼 때, 격자상수(lattice constant)는 4.785이며, 결합에너지(binding energy)는 74.1 eV이다. 이러한 수치는 매우 견고한 물성치로서, 사파이어는 매우 견고한 물질임을 알 수 있다.
- [0087] 사파이어 상부의 GaN의 격자상수는 3.191로 사파이어와 격자 불일치가 매우 크다. 그러나 GaN의 결합에너지(binding energy)가 19.7 eV이며, 이는 사파이어에 비해 매우 낮은 결합 에너지 값이다.
- [0088] 즉, GaN 자체는 물리적 이격 가능성이 크며, 결함(defect)의 생성이 용이한 구조이다. 비유하자면, GaN는 사파이어에 비해 엇가락처럼 무른 재질로 이해하면 될 것이다. 또한, 계면에서 생성되는 Ga₂O₃의 결합에너지는 20.6 eV로 약한 결합을 형성한다. 즉, 낮은 결합에너지는 사파이어와 GaN 사이의 격자불일치를 결정결함으로 해소하므로 격자불일치에 의한 기판의 휨 현상이 발생되지 않는다.
- [0089] 본 발명에 따른 자외선 발광소자의 실시예에서는 제2 응력 흡수 패턴부(890)가 GaN로 이루어진다. 따라서 제2 응력 흡수 패턴부(890)는 휨 억제 기능을 가진다.
- [0090] 도 6은 AlN의 결정구조를 나타내는 도면이다.
- [0091] UV LED의 휨의 원인과 해결방법을 위해서는 UV LED의 template으로 작용하는 사파이어-AlN의 결정구조를 해석할 필요가 있다. 도 6에 제시된 바와 같이 AlN는 사파이어와 동일 또는 유사한 결정구조를 가진다.
- [0092] AlN의 격자상수는 3.112이며 3.191의 격자상수를 가지는 GaN과 큰 차이가 없다. 따라서, 사파이어 기판 상에 AlN이 형성되면, GaN이 형성된 경우와 비교하여 물성적 차이가 나타나지 않아야 한다. 그러나, 사파이어 기판 상에 AlN이 형성되면, GaN이 형성된 경우와 비교하여 물성적 차이가 나타난다.
- [0093] 본 발명의 발명자는 종래에 대부분의 연구자들이 이 지점에서 더 이상 해석을 진보시키지 못한 부분을 새롭게 해석하고 기술된 바와 같은 휨 억제 기판 및 이를 가지는 자외선 발광소자를 개시한다.
- [0094] 더 깊이 검토하면, AlN의 결합에너지는 73.85 eV로 19.7 eV의 값을 가지는 GaN에 비해 매우 높은 값을 가진다. 즉 AlN는 소재 자체가 매우 단단하며 한 번 결합이 이루어지면 쉽게 결정이 변하지 않는 특징이 있다. 이를 좀 더 자세히 살펴본다.
- [0095] 도 7은 사파이어 기판 상에 AlN를 성장시키는 경우 결정구조에 있어서 원소의 층구조를 개념적으로 설명하는 도면이다.
- [0096] 사파이어 기판 상에 AlN을 증착하면, Al은 사파이어의 산소와 결합하여 Al₂O₃를 생성한다. 즉, 사파이어와 AlN 막질의 계면에 매우 얇은 수준의 사파이어층이 생성된다. 따라서, 계면은 74 eV의 높은 결합에너지를 가지며, 매우 견고한 결합, 물리적 이격이 거의 없는 구조가 나타난다. 추가로 상부의 Al-N 결합의 결합에너지도 53.85 eV를 가지므로 매우 견고한 결합 상태가 상부로 진행되는 구조이다. 따라서, 사파이어와 AlN은 격자상수의 차이

를 대부분 스트레인(strain)으로 전환하여 내부에 매우 큰 응력을 담게 된다.

- [0097] 응력은 결정 성장에서 긍정적 요소로 작용할 수 있다. 즉, 결정 성장시 극성을 활발하게 하여 특정 영역에서의 성장을 활성화시킬 수 있다. 그러나, 응력이 불균일하게 분포되므로 결정면이 고르게 형성되지 못하는 문제점이 예측된다. 또한, 큰 응력에 의한 기판의 휨은 후공정을 불가능하게 하는 심각한 문제가 있다.
- [0098] 전술한 바와 같이 UV LED에서 기판의 휨 현상은 해석되었으며, 이를 극복할 수 있는 방법을 전술된 본 발명의 실시예들에 따른 휨 억제 기판 및 이를 가지는 자외선 발광소자를 통해 개시하였다. 전술된 제1 응력 흡수 패턴부(880) 및 제2 응력 흡수 패턴부(890)으로 인해 후속공정으로 형성될 AlN에 응력이 제거될 수 있다.
- [0099] 이러한 응력이 배제된 AlN 막질의 형성 기술은 UV LED 뿐 아니라, HEMT(High Electron Mobility Transister) 기술의 매우 큰 부분을 차지한다. HEMT는 통신용 디바이스로 매우 높은 가치와 범용성을 가지고 있다.
- [0100] 이하, 도 9 내지 도 14를 참조하여, 본 발명의 다른 실시예들에 따른 자외선 발광소자를 설명한다.
- [0101] 실시예
- [0102] 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 자외선 발광소자의 단면도이다.
- [0103] 도 9를 참조하면, 본 실시예의 자외선 발광소자는 기판(200), AlN 지지층(210), AlN 표면 보호층(220), 스트레인 제어층(230), 반도체 지지층(240), n형 AlGaN층(250), 제1 스트레인 완화층(261), 발광층(260), 제2 스트레인 완화층(263), p형 AlGaN층(270) 및 상부 컨택층(280)을 가진다.
- [0104] 기판(200)으로는 사파이어 등의 통상적인 발광 다이오드의 제작공정에 이용되는 결정성이 높은 소재가 사용된다.
- [0105] 기판(200)의 상부에는 AlN 지지층(210)이 형성된다. 상기 AlN 지지층(210)은 표면이 돌출되거나 함몰된 형태인 요철 구조를 가지며, 돌출된 표면의 볼록부(211), 함몰된 표면의 오목부(212) 및 오목부(212)와 볼록부(211)가 연결되는 AlN 경사면(213)을 가진다. 또한, 볼록부(211)의 폭이 오목부(212)의 폭보다 작게 설정됨이 바람직하다.
- [0106] 요철 구조를 형성하기 위해 고온용 MOCVD 장비를 이용하여 AlN의 막질이 형성된다. 상기 AlN 막질의 두께는 0.5 내지 3um가 적절하다. 형성된 AlN 막질은 표면이 평탄한 구조를 가진다. 이어서 통상의 포토리소그래피 공정을 이용하여 포토리소그래피 패턴이 형성된다. 형성된 포토리소그래피 패턴을 식각 마스크로 이용하여 식각이 수행되고, 표면으로부터 일정 깊이로 함몰된 요철 구조가 형성될 수 있다.
- [0107] 다만, 건식 식각 등에 의해 AlN 지지층(210)의 AlN 경사면(213) 및 오목부(212)의 표면 상태는 소정의 거칠기를 가질 수 있다. 다만, 최초 AlN 막질의 형성 공정에서 기판(200)과 AlN층과의 격자 상수의 불일치 및 열팽창 계수의 차이에 기인하여 AlN층의 표면 부근에서 발생된 결정 결함들은 볼록부(211)와 오목부(212)의 형성에 의해 제거된다. 전술한 바대로 열팽창 계수에서 사파이어와 AlN의 c축 방향의 열팽창 계수의 차이는 약 2배 이상의 차이를 보인다. AlN의 형성공정은 GaN에 비해 고온에서 수행되므로 열팽창 계수의 차이에 의한 응력은 더욱 심화되며, AlN의 두께가 증가할수록 응력에 따른 스트레스는 증가하고, AlN의 최상층 표면 부위에서는 결정 결함들이 증가하는 특징이 있다.
- [0108] 본 발명에서는 AlN층의 식각을 통해 표면에서부터 잔류하는 볼록부(211) 및 표면으로부터 함몰된 오목부(212) 및 이들의 AlN 경사면(213)을 가지는 AlN 지지층(210)이 형성된다. 이를 통해 AlN 지지층(210)은 결정결함이 제거된 상태가 된다. 또한, 볼록부(211)의 표면 상에 기 형성된 결정결함들은 AlN 경사면(213)에 의해 스트레인이 감소되는 효과를 유발한다. 이는 AlN 경사면(213)의 측면에는 다른 막질이 형성되지 않으므로 볼록부(211)에 형성된 스트레인은 기계적 응력을 측면인 AlN 경사면(213) 상으로 가하여 볼록부(211) 내부의 스트레인을 감소시키는데 기인한다.
- [0109] 형성되는 오목부(212)의 두께는 0.1 내지 0.5 um이며, 볼록부의 두께는 0.5um 내지 3um 가 적절하다. 오목부(212)의 두께가 0.1um 미만이면 식각의 불균일성에 기인하여 하부의 기판(200)이 노출될 위험이 있으며, 오목부(212)의 두께가 0.5um를 상회하면, 오목부(212)와 볼록부(211)의 단차가 충분치 못하여 본 발명이 원하는 요철 구조를 형성하기 곤란해진다. 또한, 볼록부(211)의 두께가 0.5um 미만이면 오목부(212)와 볼록부(211)의 단차가 충분치 못하며, 볼록부(211)의 두께가 3um를 상회하면 결정 결함들이 과도하게 형성되는 문제가 발생된다.
- [0110] 따라서, AlN층의 식각을 통해 형성된 AlN 지지층(210)은 결정 결함이 제거된 상태이다. 다만, 전술한 바대로 AlN 지지층(210)의 오목부(212) 및 AlN 경사면(213)은 식각에 의해 표면 상태가 거칠어진다. 또한, AlN 지지층

(210)의 볼록부(211)는 평면 상으로 복수개 형성되며, 규칙적으로 배열됨이 바람직하다.

- [0111] 상기 AlN 지지층(210) 상에는 AlN 표면 보호층(220)이 형성된다. 상기 AlN 표면 보호층(220)은 AlN 지지층(210)의 전면에 형성되며, AlN 지지층(210)의 두께보다 낮은 두께를 가진다. 예컨대, AlN 표면 보호층(220)은 50nm 내지 200nm의 두께를 가지고 AlN 지지층(210) 상에 키포멀하게 형성된다.
- [0112] 고온 MOCVD 공정을 통해 형성되는 AlN 표면 보호층(220)에 의해 AlN 지지층(210)의 표면 구조는 변경되지 않으나, AlN 표면 보호층(220)의 상부 표면은 매끈한 형상을 유지할 수 있으며, 결정 결함이 제거된 상태로 형성되어 이후의 막질의 단결정 성장을 유도할 수 있는 씨드층으로 기능한다.
- [0113] 화합물 반도체의 단결정 성장에서 결정 결함이 공공형 결함(vacancy defect), 치환형 결함(substitutional defect) 및 침입형 결함(interstitial defect) 등의 포인트 결함(point defect)인 경우, 결함의 이동 또는 전파가 상대적으로 용이하지 않다. 그러나, 전위 등의 선형 결함(line defect)은 결정면을 따라 빠르고 용이하게 전파되는 특징이 있다. 다만, 본 발명에서는 AlN 지지층(210)에 의해 결정 결함이 치유된 상태이므로 AlN 표면 보호층(220)이 형성되더라도 고품위의 막질 형성이 가능하다. 특히, 하부의 AlN 지지층(210)과 AlN 표면 보호층(220)은 동일 물질이므로 격자 상수 및 열팽창 계수도 동일하다. 따라서, 막질의 형성에 따른 결함은 생성되지 않는다.
- [0114] 상기 AlN 표면 보호층(220) 상에는 스트레인 제어층(230)이 구비된다. 스트레인 제어층(230)은 AlGa_N 재질을 가지며, Al_aGa_{1-a}N으로 표현된다. 상기 스트레인 제어층(230)에서의 Al의 분율 a는 발광층(260)에서 장벽층이 가지는 Al의 분율에 의존한다. 또한, 하부의 AlN 표면 보호층(220)과는 40%를 상회하는 Al 분율의 차이를 가지면 결정성이 손상될 우려가 있다. 따라서, 상기 스트레인 제어층(230)에서 Al 분율 a는 $0.6 \leq a < 1$ 로 설정됨이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 Al 분율 a는 $0.7 \leq a < 1$ 의 값을 가진다. 또한, AlN층 상에 형성되는 스트레인 제어층(230)은 AlGa_N의 조성을 가지므로 격자 상수의 차이에 따른 신규한 결정결함을 해소하기 위해 AlN 표면 보호층(220)보다 두꺼울 필요가 있다. 따라서, 스트레인 제어층(230)의 두께는 100nm 내지 400nm로 설정됨이 바람직하다.
- [0115] 또한, 본 발명에서 당업자는 각각의 막질의 두께의 설정 및 조절시 본 명세서에서 제시된 범위 내에서 AlN 표면 보호층(220)과 스트레인 제어층(230)의 두께를 선택하여 스트레인 제어층(230)의 두께가 AlN 표면 보호층(220)의 두께보다 크도록 할 수 있다. 즉, 2개의 막질들에서 제시된 범위가 겹치더라도 당업자는 범위 내에서 용이하게 막질의 두께를 필요에 따라 선택하여 스트레인 제어층(230)의 두께가 AlN 표면 보호층(220)의 두께보다 크도록 할 수 있다. 동일 취지로 이하에 설명되는 막질의 두께에서도 이를 적용할 수 있을 것이다.
- [0116] 스트레인 제어층(230) 상에는 반도체 지지층(240)이 형성된다. 상기 반도체 지지층은 AlGa_N 재질을 가지며, Al_bGa_{1-b}N으로 표현된다. 반도체 지지층이 가지는 Al의 분율 b는 스트레인 제어층(230)이 가지는 Al 분율 a보다 작을 것이 요구된다. 즉, 스트레인 제어층(230)보다 낮은 Al의 분율이 반도체 지지층(240)에서 구현된다. 상기 반도체 지지층은 n형 AlGa_N층의 형성을 위한 것으로 스트레인 제어층(230)에 비해 큰 두께를 가질 필요가 있다. 또한, 반도체 지지층(240)이 가지는 Al의 분율과 n형 AlGa_N층(250)이 가지는 Al의 분율 차이는 10% 이하로 설정됨이 바람직하며, 반도체 지지층(240)의 두께를 증가시켜 결정 결함의 생성을 최대한 억제한다. 반도체 지지층(240)의 두께는 1 내지 2 μ m임이 바람직하다.
- [0117] 반도체 지지층(240) 상에는 n형 AlGa_N층(250)이 형성된다. n형 AlGa_N층(250)은 Si 또는 Ge으로 도핑되고, n-Al_cGa_{1-c}N으로 표현될 수 있다. 상기 n형 AlGa_N층(250)에서의 Al의 분율 c는 반도체 지지층(240)이 가지는 Al 분율 b 이하임이 바람직하다. 특히, 분율 c와 분율 b가 상호동일한 값을 가지면 n형 AlGa_N층(250)의 형성이 극히 용이해진다. n형으로 도핑된 n형 AlGa_N층(250)에서는 전계가 인가되면, 전자가 발광층(260)으로 공급된다. 상기 n형 AlGa_N층(250)의 두께는 1 내지 2 μ m 임이 바람직하다.
- [0118] n형 AlGa_N층(250) 상에는 제1 스트레인 완화층(261)이 형성된다. 상기 제1 스트레인 완화층(261)은 Al_dGa_{1-d}N으로 표현된다. 제1 스트레인 완화층(261)은 n형 AlGa_N층(250)과 발광층(260)의 장벽층 사이의 격자 상수의 불일치에서 발생하는 결정 결함의 발생을 방지하기 위해 구비된다. 즉, n형 AlGa_N층(250)에서 Al의 분율이 장벽층의 Al 분율보다 큰 경우, 격자 상수의 불일치가 발생된다. 이를 해결하기 위해 제1 스트레인 완화층(261)의 Al의 분율 d는 장벽층이 가지는 Al의 분율 이상이며, n형 AlGa_N층(250)의 Al의 분율 c 이하로 설정된다. 이를 통해 발광층(260)에서 발생될 수 있는 결정 결함은 방지된다.
- [0119] 또한, 상기 제1 스트레인 완화층(261)은 n형으로 도핑됨이 바람직하다. n형으로 도핑되지 않은 intrinsic 타입으로 형성될 경우, n형 AlGa_N층(250)에서 발광층(260)으로 이동하는 전자의 경로에 높은 저항 성분이 나타나며,

이는 발열 및 효율의 감소현상을 유발한다. 또한, 상기 제1 스트레인 완화층(261)의 두께는 10 내지 50nm로 설정됨이 바람직하다. 제1 스트레인 완화층(261)의 두께가 10nm 미만이면, 격자 상수의 불일치 문제를 해결하기 힘들어진다. 또한, 두께가 50nm를 상회하면, 실질적인 n 도핑 영역이 과도하게 증가되고, 공정 시간이 길어져서 생산성이 저하되는 문제가 발생된다.

[0120] 상기 제1 스트레인 완화층(261) 상에는 발광층(260)이 구비된다. 발광층(260)은 다중양자우물 구조를 가짐이 바람직하다. 따라서, 상기 발광층(260)은 장벽층과 우물층이 교대 형성된 구조의 다중양자우물 구조를 가진다. 장벽층은 n형으로 도핑되거나 도핑되지 않은 상태로 제공될 수 있으며, Al_eGa_1-eN 의 화학식으로 표현된다. 또한, 우물층은 Al_fGa_1-fN 으로 표현되고, 장벽층보다 낮은 Al의 분율을 가진다. 전계가 인가되면 n형 AlGaN층(250)에서 공급되는 전자는 우물층의 전도대로 양자구속되고, p형 AlGaN층(270)의 정공은 우물층의 가전자대로 양자구속되어 전자와 재결합된다. 이를 통해 자외선이 생성된다.

[0121] 상기 발광층(260) 상에는 제2 스트레인 완화층(263)이 형성된다. 상기 제2 스트레인 완화층(263)은 상부에 형성되는 p형 AlGaN층(270)과 발광층(260)의 장벽층 사이의 격자 상수의 불일치에 따른 결정 결함의 발생을 방지한다. 또한, 제2 스트레인 완화층(263)은 전자 차단층(electron blocking layer)로서 기능한다. 이를 위해 상기 제2 스트레인 완화층(263)은 Al_gGa_1-gN 로 표현되는 화학식에서 Al의 분율 g가 장벽층의 Al 분율 e보다 큰 값을 가지고, n형 AlGaN층(250)이 가지는 Al의 분율 c 이상이 값을 가진다. 이를 통해 발광층(260)을 오버플로우 하는 전자가 p형 AlGaN층(270)으로 유입되어 정공과 재결합되는 현상을 방지한다.

[0122] 또한, 상기 제2 스트레인 완화층(263)은 5 내지 30nm의 두께를 가지며, 도핑되지 않은 진성(intrinsic)으로 형성된다. 즉, 제조공정상 제2 스트레인 완화층(263)은 MOCVD 공정에서 도판트가 사용되지 않는 진성 반도체로 제조됨이 바람직하다. 이를 통해 제2 스트레인 완화층(263)은 도판트가 유입된 경우에 비해 높은 결정성을 확보할 수 있다. 다만, 당업자는 제2 스트레인 완화층(263)이 진성 반도체로 제조되는 경우, 제2 스트레인 완화층(263)이 가지는 절연성에 의해 자외선 발광소자의 동작 상에 불리한 점이 발생할 것으로 의문을 가질 수 있다.

[0123] 그러나, 본 발명의 발명자들은 제2 스트레인 완화층(263) 상에 형성되는 p형 AlGaN층(270)의 형성공정에서 제2 스트레인 완화층(263)이 상당한 도전성을 가지는 것을 확인하였다. 도전성은 p형 AlGaN층(270)에 유입되는 도판트인 Mg이 얇은 두께를 가지는 제2 스트레인 완화층(263)으로 확산되는 현상에 기인한다. 즉, 제2 스트레인 완화층(263)이 p형 AlGaN층(270)의 형성에 도입되는 Mg의 확산으로 인해 도전성을 가지게 된다. Mg의 확산, 도전성의 확보 및 높은 결정성의 확보를 위해 제2 스트레인 완화층(263)은 5 내지 30nm의 두께를 가짐이 바람직하다. 제2 스트레인 완화층(263)이 5nm 미만이면, 격자 상수의 불일치 문제를 치유하기 곤란해진다. 또한, 30nm를 상회하는 두께를 가지면, p형 AlGaN층(270)으로부터 도판트의 확산이 충분치 못하여 제2 스트레인 완화층(263)에서 저항이 증가하는 문제가 발생된다.

[0124] 제2 스트레인 완화층(263) 상에는 p형 AlGaN층(270)이 형성되며, $p-Al_hGa_1-hN$ 으로 표현된다. 상기 p형 AlGaN층(270)에서 Al의 분율 h는 장벽층에서의 Al 분율 e와 동일하거나 상회하는 값을 가짐이 바람직하다. p형 AlGaN층(270)의 형성을 위해 도판트로써 Mg 또는 Zn이 사용되며, 형성된 p형 AlGaN층(270)은 상부 컨택층(280)으로부터 전달되는 정공을 발광층을 구성하는 우물층으로 공급한다. 다만, p형 AlGaN층(270)은 도판트의 활성화가 원활하지 못하는 기존의 문제점이 나타나므로 높은 전기적 저항을 가질 수 있다. 또한, p형 AlGaN층(270)의 도판트는 제2 스트레인 완화층(263)과의 계면에서 제2 스트레인 완화층(263)으로 확산된다.

[0125] p형 AlGaN층(270) 상에는 상부 컨택층(280)이 형성된다. 상부 컨택층(280)은 실질적인 정공의 공급 기능을 수행한다. 따라서, 정공의 생성 능력이 뛰어난 p-GaN이 사용됨이 바람직하다. 이외 p형 AlGaN층(270)보다 Al이 분율이 낮은 p-AlGaN이 사용될 수 있고, n-AlGaN이 사용될 수도 있다. 만일, 상부 컨택층(280)이 가지는 밴드갭이 발광층의 우물층 미만의 값을 가지면, 발광층(260)에서 형성된 자외선이 상부 컨택층(280)에 흡수될 수 있다. 이를 방지하기 위해 상부 컨택층(280)은 생성되는 자외선의 파장보다 낮은 두께를 가짐이 바람직하다.

[0126] 상기 도 9에서 최상층의 상부 컨택층(280)까지 다양한 막질들은 하부의 AlN 지지층(210)의 프로파일을 따라 형성된다. 다만, 막질은 하부의 막질에 컨포멀하게 형성되므로 각각의 막질이 가지는 불룩한 부위의 폭은 상부로 갈수록 증가한다. 또한, 불룩한 부위의 측면 영역은 좌우측으로 확대되는 형상을 가진다.

[0127] 각각의 막질의 불룩한 부위의 상부 평면은 극성면인 (0001)면이며, 오목한 부위의 하부 평면도 극성면인 (0001)면이다. 다만, 비탈진 형태의 측면은 비극성면이다. 비극성면에서는 응력이 나타나더라도 이를 상부의 막질로 전달하지 않는 특성이 있다. 또한, 비극성면은 전류의 집중 현상을 방지하고, 계면을 통해 전류를 고르게 분산하는 기능을 수행한다. 따라서, 발광층(260)에서는 전류의 집중현상이 최소화되고, 발광층(260) 내에 고르게 자

외선이 형성될 수 있다.

- [0128] 이외 발광층(260)은 요철 구조로 인해 실질적인 발광 면적이 증가하므로 높은 광효율을 획득할 수 있다.
- [0129] 또한, 최상층은 상부 컨택층(280)으로 구성될 수 있고, 상부 컨택층(280)이 제외된 p형 AlGaIn층(270)만으로 구성될 수 있다. 다만, 최상층은 요철 구조로 인해 돌출 평면(281)과 함몰 평면(282)을 가지고, 측면에는 비탈진 형태의 컨택 경사면(283)을 가진다. 바람직하게는 돌출 평면(281)이 가지는 폭 L1은 함몰 평면(282)이 가지는 폭 L2보다 크게 형성된다. 돌출 평면(281)이 가지는 폭 L1이 함몰 평면(282)이 가지는 폭 L2보다 작으면, 하부의 AlN 지지층(210)이 매우 작은 볼록부(211)를 가져야 한다. 이는 공정상 매우 어렵고, 프로파일을 제어하기 힘들다. 또한, 함몰 평면(282)의 폭 L2가 돌출 평면(281)의 폭 L1보다 크면, 패키지 공정시 자동 위치 조정 기능이 어려워진다.
- [0130] 또한, 발광층(260)의 하부에는 제1 스트레인 제어층(261)이 형성되고, 상부에는 제2 스트레인 제어층(263)이 형성된다. n형으로 도핑되는 제1 스트레인 제어층(261)은 n형 AlGaIn층(250)과 발광층(260) 사이의 격자 상수의 불일치에 기인한 결정 결함의 발생을 억제한다. 또한, p형 AlGaIn층(270)과 발광층(260) 사이에 형성되는 제2 스트레인 제어층(263)은 최초에는 진성 반도체로 절연 특성을 나타내나, p형 AlGaIn층(270)의 형성 공정 또는 형성 이후에 도판트의 확산에 의해 p형의 도전형질을 가진다. 형성 공정시 진성 반도체로 형성되므로 제2 스트레인 제어층(263)은 높은 결정성을 가질 수 있으며, 상부에 형성되는 p형 AlGaIn층(270)의 형성시 결정성을 향상시킨다.
- [0131] 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 스트레인 제어층의 변형예를 도시한 일부 단면도이다.
- [0132] 도 10을 참조하면, 스트레인 제어층(230)은 결합 치유층들(235a, 235b)이 반복적으로 형성되고, 반복적으로 형성된 결합 치유층들(235a, 235b)의 최상층에는 매칭층(236)이 형성된다.
- [0133] 각각의 결합 치유층들(235a, 235b)은 제1 AlGaIn층(231a, 231b), GaN층(232a, 232b), 제2 AlGaIn층(233a, 233b) 및 AlN층(234a, 234b)으로 구성된다.
- [0134] 제1 AlGaIn층(231a, 231b)에서 Al의 분율은 이후에 형성되는 반도체 지지층(240)이 가지는 Al 분율 이상의 값을 가진다. 또한, 제1 AlGaIn층(231a, 231b)은 10nm 내지 50nm의 두께를 가짐이 바람직하며, 10nm 내지 20nm의 두께를 가짐이 더욱 바람직하다. 제1 AlGaIn층(231a, 231b)의 두께가 10nm 미만이면 비정질 상태가 많아지며, 상부에 GaN층(232a, 232b)의 형성이 곤란해진다. 또한, 두께가 50nm를 상회하면, 반복 단위인 결합 치유층(235a, 235b)의 두께가 과도하게 증가하는 문제가 발생된다.
- [0135] 제1 AlGaIn층(231a, 231b) 상에는 GaN층(232a, 232b)이 형성된다. a 축 방향으로 제1 AlGaIn층(231a, 231b)과 GaN층(232a, 232b)의 격자 상수의 차이는 크지 않다. 다만, c축 방향으로 열팽창 계수의 차이는 크게 나타난다. 1000°C 이상으로 진행되는 MOCVD 공정에서 팽창된 하부의 제1 AlGaIn층(231a, 231b)과 GaN층(232a, 232b)은 공정이 완료되면 c 축 방향으로 수축이 발생되며, 열팽창 계수의 차이에 의해 제1 AlGaIn층(231a, 231b)에서의 수축이 더 크게 발생된다. 이는 제1 AlGaIn층(231a, 231b)과 GaN층(232a, 232b)의 계면에서 void 또는 dangling bond 등의 점 결함(point defect)을 유발한다.
- [0136] GaN층(232a, 232b)이 가지는 두께는 1nm 내지 5nm임이 바람직하다. GaN층(232a, 232b)의 두께가 1nm 미만이면 막질의 형성이 곤란하고, GaN층(232a, 232b)에서 진행성 결정 결함인 전위(dislocation)가 형성된다. 또한, GaN층(232a, 232b)의 두께가 5nm를 상회하면, 공정 시간이 증가 및 막질이 과도하게 두꺼워지는 문제가 발생된다.
- [0137] GaN층(232a, 232b) 상에는 제2 AlGaIn층(233a, 233b)이 형성된다. 제2 AlGaIn층(233a, 233b)이 가지는 Al의 분율은 반도체 지지층(240)과 동일하거나 이를 상회하는 값을 가지도록 설정된다. 상기 제2 AlGaIn층(233a, 233b)이 가지는 Al의 분율은 반도체 지지층과 동일함이 더욱 바람직하다. 제2 AlGaIn층(233a, 233b)의 두께는 10nm 내지 50nm임이 바람직하다. 제2 AlGaIn층(233a, 233b)이 가지는 막질의 두께는 하부의 막질 및 상부에 형성되는 막질의 종류에 따라 설정되며, 임의로 설정될 수 없다. 제2 AlGaIn층(233a, 233b)의 두께가 10nm 미만이면, 하부의 GaN층(232a, 232b)과 상부의 AlN층(234a, 234b) 사이에서 발생하는 c축 방향의 열팽창 계수의 차이로 인해 진행성 결정 결함인 전위가 발생되고, MOCVD 챔버로부터 웨이퍼가 이탈된 후, 막질에 미세한 균열이 발생된다. 또한, 제2 AlGaIn층(233a, 233b)의 두께가 50nm를 상회하면, GaN층(232a, 232b)과의 계면 또는 AlN층(234a, 234b)과의 계면에서 점 결함의 발생빈도가 감소된다.
- [0138] 격자 상수의 차이 및 c 축 방향으로의 열팽창 계수의 차이에 의해 GaN층(232a, 232b)과 제2 AlGaIn층(233a, 233b)의 계면에서는 점 결함이 발생된다. 만일, 제2 AlGaIn층(233a, 233b)이 개입되지 않고, GaN층(232a, 232b) 상에 AlN층(234a, 234b)이 직접 형성되면, 열팽창 계수의 차이로 인해 GaN층(232a, 232b) 또는 AlN층(234a,

234b)에서 균열이 발생된다.

- [0139] 상기 제2 AlGaIn층(233a, 233b)의 상부에는 AlN층(234a, 234b)이 형성된다. AlN층(234a, 234b)의 두께는 10 nm 내지 30nm의 두께를 가짐이 바람직하다. AlN층(234a, 234b)의 두께는 당업자 수준에서 충분히 변경 가능한 수치이며, 1 μ m를 상회하지 않는다면, 제조공정에서 큰 부담없이 변경 가능할 것이다. 또한, AlN층(234a, 234b)과 제2 AlGaIn층(233a, 233b) 사이의 계면에서는 열팽창 계수 등의 차이로 인해 점 결함이 발생할 수 있다.
- [0140] 상술한 결함 치유층(235a, 235b)은 이를 구성하는 각각의 막질들의 계면에서 인위적인 점 결함을 형성한다. 만일, 하부의 AlN 표면 보호층(220)을 통해 진행성 결정 결함이 존재하더라도 결함 치유층(235a, 234b)의 점 결함에 흡수되는 특징이 있으며, 상부의 반도체 지지층(240)으로 진행성 결정 결함이 전달되는 현상은 차단된다.
- [0141] 또한, 상기 결함 치유층(235a, 235b)은 하나의 반복 단위를 구성하며, 10 내지 50의 주기로 형성될 수 있다.
- [0142] 상기 결함 치유층(235a, 235b)의 최상층 상에는 매칭층(236)이 형성된다. 결함 치유층(235a, 235b)의 최상층은 AlN층으로 구성되므로, 결정 성장의 연속성을 확보하기 위해 매칭층(236)이 구비될 필요가 있다. 상기 매칭층(236)은 AlGaIn의 조성을 가지며, 반도체 지지층(240)이 가지는 Al 분율 이상의 Al 분율을 가진다. 예컨대, 상기 매칭층(236)은 상부에 형성되는 반도체 지지층(240)이 가지는 Al 분율과 동일한 값을 가짐이 바람직하다.
- [0143] 또한, 상기 매칭층(236)은 50 내지 100nm의 두께를 가짐이 바람직하다. 매칭층(236)의 두께가 50nm 미만이면 AlN층과 반도체 지지층(240) 사이에 진행성 결정 결함이 발생할 수 있으며, 100nm를 상회하면, 공정 시간이 증가하는 문제가 발생된다. 다만, 매칭층(236)의 두께는 당업자 수준에서 100nm 이상이라 하더라도 적용될 수 있는 수치이며, 필요에 따라 매칭층(236)은 생략 가능할 것이다.
- [0144] 도 11는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 p형 AlGaIn층 및 상부 컨택층의 변형예를 도시한 단면도이다.
- [0145] 도 11를 참조하면, p형 AlGaIn층(270)은 적어도 2개의 적층 구조를 가진다. 즉, 제1 p형 AlGaIn층(271), 제2 p형 AlGaIn층(272) 및 제3 p형 AlGaIn층(273)이 형성된다.
- [0146] 제1 p형 AlGaIn층(271)이 가지는 Al의 분율은 제2 스트레인 완화층(263)이 가지는 Al의 분율보다 낮게 설정된다. 또한, 제2 p형 AlGaIn층(272)이 가지는 Al 분율은 제1 p형 AlGaIn층(271)의 Al 분율보다 낮게 설정되며, 제3 p형 AlGaIn층(273)이 가지는 Al 분율은 제2 p형 AlGaIn층(272)의 분율보다 낮게 설정된다. 다만, 제3 p형 AlGaIn층(273)의 Al 분율은 발광층(260)의 우물층이 가지는 Al 분율 이상의 값을 가짐이 바람직하다.
- [0147] 즉, p형 AlGaIn층(270)을 구성하는 각각의 막질의 밴드갭은 제2 스트레인 완화층(263)보다 작으며, 발광층(260)의 우물층이 가지는 밴드갭보다 크게 설정되며, 상부로 갈수록 단차를 가지고, 밴드갭이 감소되도록 구성된다.
- [0148] p형 AlGaIn층(270) 상에 형성되는 상부 컨택층(280)은 제1 n형 AlGaIn층(285) 및 제2 n형 AlGaIn층(286)을 가진다. 제1 n형 AlGaIn층(285)이 가지는 Al의 분율은 p형 AlGaIn층(270)의 최상층이 가지는 Al 분율과 동일하게 설정됨이 바람직하다. 이를 통해 도판트인 Si이 유입되는 제1 n형 AlGaIn층(285)의 결정 성장이 용이해진다. 또한, 상기 제1 n형 AlGaIn층(285)은 고농도로 도핑됨이 유리하다.
- [0149] 상기 제1 n형 AlGaIn층(285) 상에는 제2 n형 AlGaIn층(286)이 형성된다. 제2 n형 AlGaIn층(286)은 제1 n형 AlGaIn층(285)보다 낮은 Al의 분율을 가진다. 따라서, 제1 n형 AlGaIn층(285)에 비해 낮은 밴드갭을 가지며, 고농도로 도핑됨이 바람직하다.
- [0150] 발광 동작시, p형 AlGaIn층(270)과 상부 컨택층(280)은 역바이어스가 인가된다. 따라서, 캐리어의 터널링이 p형 AlGaIn층(270)과 제1 n형 AlGaIn층(285) 사이의 공핍 영역에서 발생된다. 다만, 고농도로 도핑된 상부 컨택층(280)에 의해 공핍 영역의 폭은 감소되며, 터널링은 용이하게 발생된다.
- [0151] 도 12는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 제조된 자외선 발광소자의 상부 이미지이다.
- [0152] 도 12를 참조하면, 사파이어 기판, AlN 및 AlGaIn 막질의 특성상 투명한 이미지로 나타난다.
- [0153] 기판으로는 사파이어가 사용되며, AlN 지지층은 볼록부(211)의 두께가 1.6 μ m이며, 오목부(212)의 두께는 0.5 μ m이다. AlN 지지층의 상부에 형성되는 AlN 표면 보호층의 두께는 0.2 μ m이다. 상기 AlN 지지층을 형성하기 위해 MOCVD 챔버 내에는 N₂ 및 H₂의 분위기 가스가 투입되고, Al의 전구체로 TMA(Trimethyl Aluminium)이 사용되고, N의 전구체로는 NH₃가 사용된다. 공정 온도는 1100 $^{\circ}$ C로 세팅된다. 막질은 c 축으로 성장된다.
- [0154] 스트레인 제어층은 결함 치유층이 45회 반복 형성된 구조이며, 제1 AlGaIn층의 두께는 15nm, GaN층의 두께는 2nm, 제2 AlGaIn층의 두께는 15nm, AlN층의 두께는 20nm이다. 또한, 스트레인 제어층의 최상층에 형성되는 매칭

층은 70nm의 두께를 가지도록 제작된다.

- [0155] 스트레인 제어층에서 제1 AlGaIn층 및 제2 AlGaIn층은 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{In}$ 의 조성을 가지며, 매칭층도 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{In}$ 의 조성을 가지도록 한다. AlGaIn 막질들을 형성하기 위해 Al의 전구체로는 TMA가 사용되고, Ga의 전구체로는 TMG(Trimethyl Gallium)이 사용되고, In의 전구체로는 NH_3 이 사용된다. 공정온도는 AlN 지지층과 동일하게 1100 °C이다.
- [0156] 스트레인 제어층 상에 형성되는 반도체 지지층은 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{In}$ 의 조성을 가지며, 1.2 μm 의 두께로 형성된다. 공정 조건은 스트레인 제어층의 제조공정과 동일하다.
- [0157] 또한, n형 AlGaIn층은 스트레인 제어층의 제조공정과 동일한 조건으로 형성되며, Si를 도판트로 사용하며 캐리어의 농도는 $1\sim 2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 이다. 형성되는 n형 AlGaIn층의 두께는 1.2 μm 이며, Al의 분율은 반도체 지지층과 동일하게 0.7이다.
- [0158] n형 AlGaIn층 상에 형성되는 제1 스트레인 완화층은 20nm의 두께를 가지며, Al의 분율은 0.65로 설정된다.
- [0159] 발광층의 장벽층은 12nm의 두께와 0.6의 Al 분율을 가지고, 우물층은 4nm의 두께와 0.4의 Al 분율을 가진다. 발광층과 우물층은 5회 반복 형성된다.
- [0160] 제2 스트레인 완화층은 5nm의 두께를 가지고, Al의 분율은 0.8로 설정된다.
- [0161] p형 AlGaIn층을 구성하는 제1 p형 AlGaIn층은 15nm의 두께에 0.8의 Al 분율을 가지고, 제2 p형 AlGaIn층은 20nm의 두께에 0.65의 Al 분율을 가지며, 제3 p형 AlGaIn층은 30nm의 두께에 0.4의 Al 분율을 가진다.
- [0162] 83상부 콘택층의 제1 n형 AlGaIn층은 10nm의 두께에 0.4의 Al 분율을 가지고, 제2 n형 AlGaIn층은 5nm의 두께에 0.2의 Al 분율을 가진다.
- [0163] 우물층에 의해 발생하는 자외선은 280nm이 파장을 가지도록 설계된다.
- [0164] 상기 도 12의 이미지에서 AlN 지지층은 작은 원형의 형상을 가지는 볼록부(211)와 평탄한 형상으로서의 오목부(212)를 가진다. 또한, AlN 지지층 상의 다양한 막질들이 형성됨에 따라 볼록한 형상은 확대됨을 알 수 있다.
- [0165] AlN 지지층 상에 형성되는 막질들은 AlN 지지층의 형상을 따라 컨포멀하게 형성되어 원형의 형상을 유지한다. AlN 지지층 상에 형성되는 막질들은 투명하므로 이미지 상에 구별이 용이하지 않다. 다만, 최상층의 상부 콘택층(280)은 구별되며, AlN 지지층의 형상을 따라 원형을 가짐을 알 수 있다. 또한, AlN 지지층에서 볼록한 형상의 상부면인 볼록부(211)의 폭에 비해 최상층의 상부 콘택층(280)의 볼록한 형상인 돌출 평면(281)의 폭은 3배 이상의 값을 가짐을 알 수 있다. 또한, 각각의 막질들의 경사면 또는 측면은 짙은 색으로 나타난다. 경사면은 AlN 또는 AlGaIn 결정 구조의 비극성면이다. 짙은 색으로 표시되는 상부 콘택층(280)의 비탈면인 콘택 경사면(283)은 돌출 평면(281)과 함몰 평면(282)을 연결하고 있다.
- [0166] 또한, 각각의 막질들의 비탈면인 비극성면이 기판(200)의 평면과 이루는 각도는 10도 내지 80도임이 바람직하다. 비극성면이 기판의 평면과 이루는 각도가 10도 미만이면, AlN 지지층의 형성이 용이하지 않다. 즉, 건식 식각을 통해 AlN 지지층을 형성하기 위해 식각 가스의 농도의 조절 등을 통해 식각 속도를 감소시키더라도, 10도 미만의 경사각을 확보할 수 없으며, AlN 층 내의 결정 결함의 치유는 기대하기 힘들다. 또한, 비극성면과 기판의 평면 사이의 각도가 80도를 상회하면, AlN 지지층 상에 컨포멀한 막질들을 형성할 수 없는 문제가 발생한다. 따라서, 각각의 막질들에 대한 두께 조절이 불가능해진다.
- [0167] 본 실시예에서 비극성면은 AlN 지지층부터 상부 콘택층에 이르기까지 각각의 막질들에서 볼록한 평면과 오목한 평면 사이에 연결된 경사면을 지칭한다.
- [0168] 또한, 자외선 발광소자의 최상층의 상부 콘택층 또는 p형 AlGaIn층의 돌출된 상부 평면의 폭은 오목한 하부 평면의 폭 이상임이 바람직하다. 예컨대, 자외선 발광소자의 상부 콘택층의 상부 평면의 폭을 L1로 정의하고, 상부 콘택층의 하부 평면의 폭을 L2로 정의하면, L1의 값은 L2 이상임이 바람직하다. 만일 L1의 값이 L2의 값보다 작으면, MOCVD를 이용한 막질의 형성 공정에서 균일성을 확보하기 곤란해진다.
- [0169] 또한, AlN 지지층 상에 형성되는 막질들 중 적어도 어느 하나의 막질이 기판의 평면과 이루는 경사각은 AlN 지지층과 기판의 평면 사이의 경사각에 비해 작음이 바람직하다. 이는 AlN 지지층의 경사가 시작되는 코너 영역에 집중될 수 있는 결정 결함들이 상부에 형성되는 막질의 비극성면에 의해 차단됨을 통해 고품질의 단결정들을 형성할 수 있기 때문이다.

840: 활성층

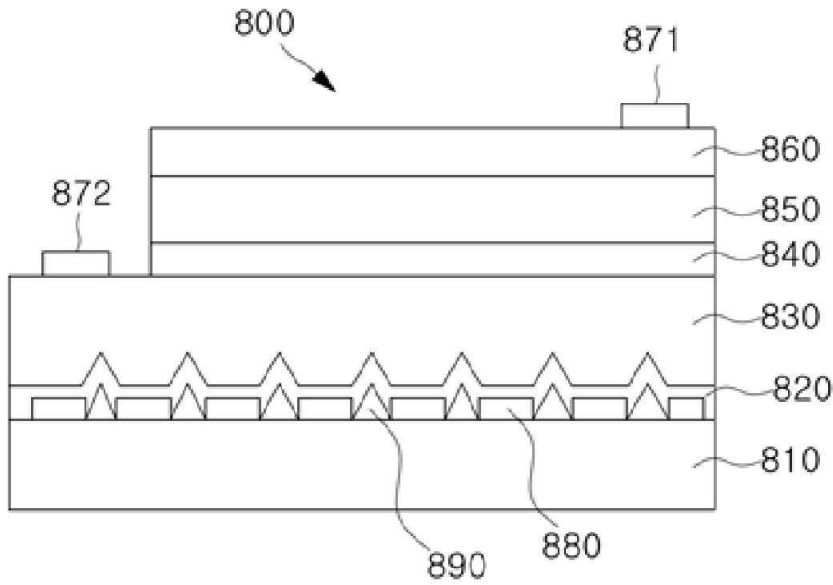
850: 제2 반도체층

860: P형 콘택층

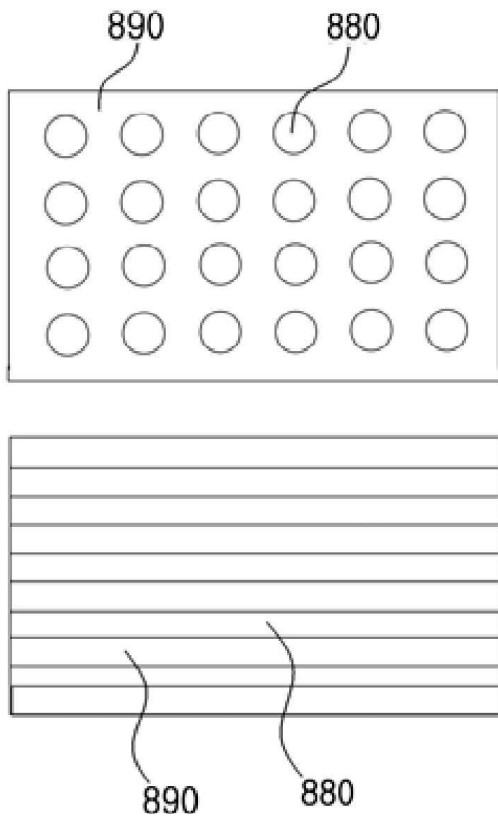
880: 응력 흡수 패턴부

도면

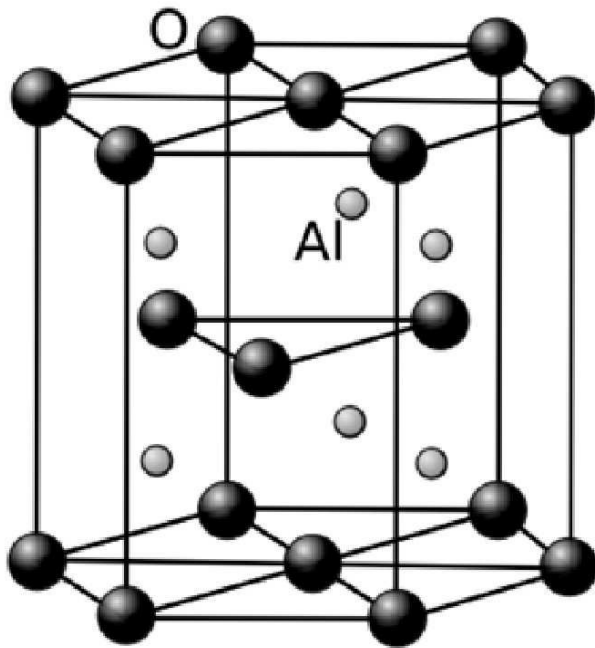
도면1



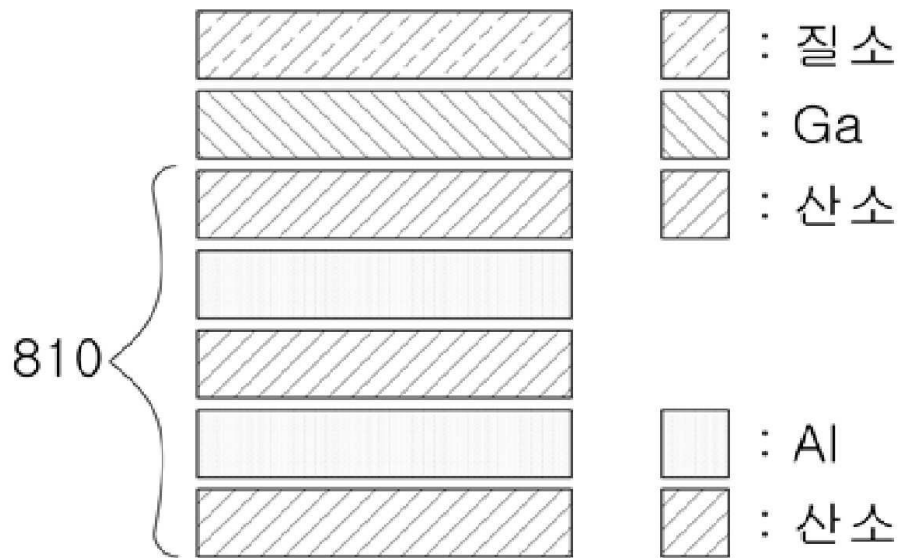
도면2



도면3



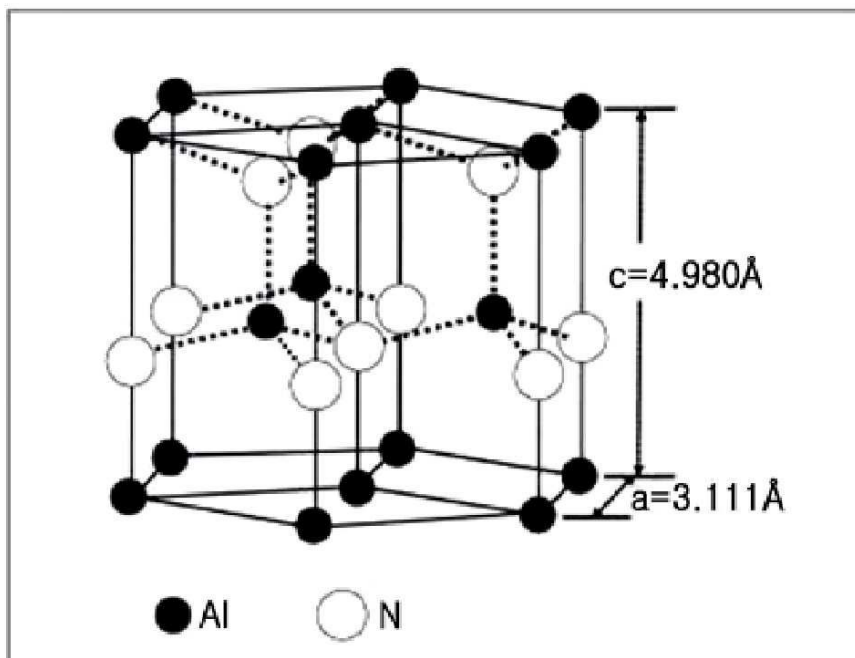
도면4



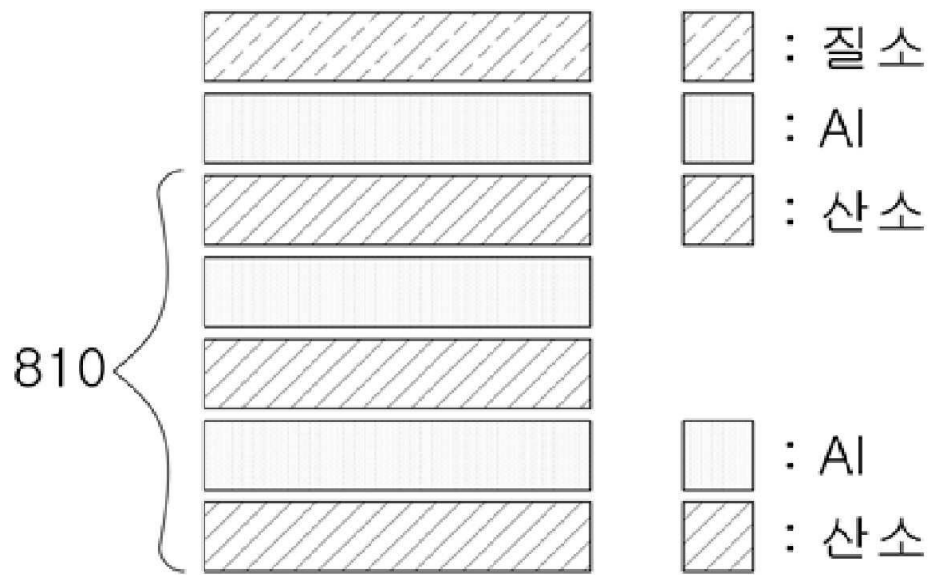
도면5

Sample	State	Binding energy(eV)	
GaN	Ga 3d	19.70 ± 0.03	Ga-N
		20.70 ± 0.03	N2s
	VBM	2.06 ± 0.03	
AlN	Al 2p	73.85 ± 0.01	Al-N
		75.05 ± 0.01	Al-O
	VBM	2.74 ± 0.09	
GaN/AlN	Al 2p	73.36 ± 0.01	Al-N
		75.05 ± 0.01	Al-O
	Ga 3d	18.56 ± 0.03	Ga-N
AlN/GaN	Al 2p	73.43 ± 0.01	Al-N
		74.63 ± 0.01	Al-O
	Ga 3d	19.23 ± 0.03	Ga-N
		20.23 ± 0.03	N2s

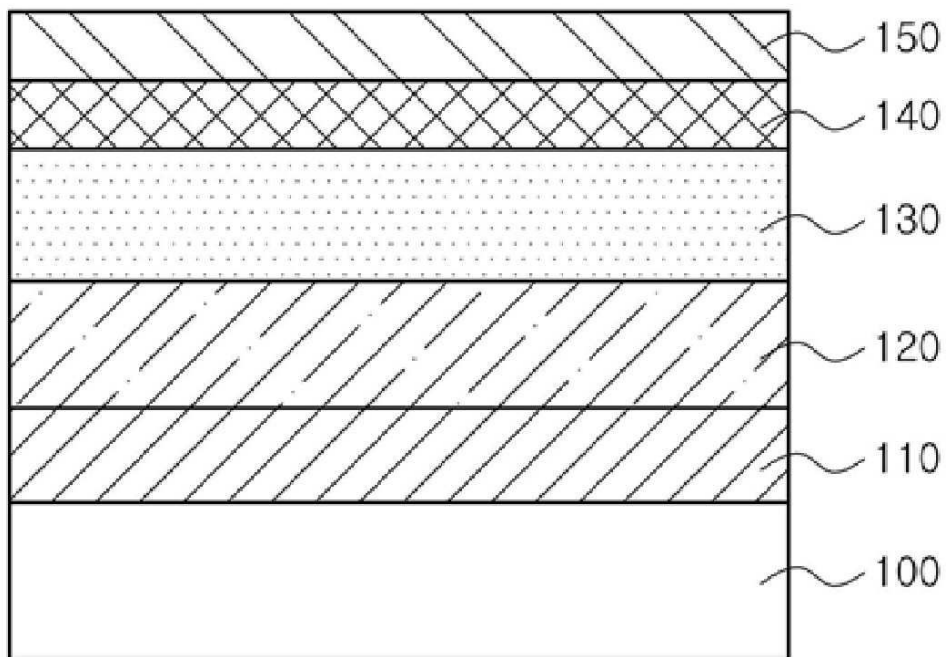
도면6



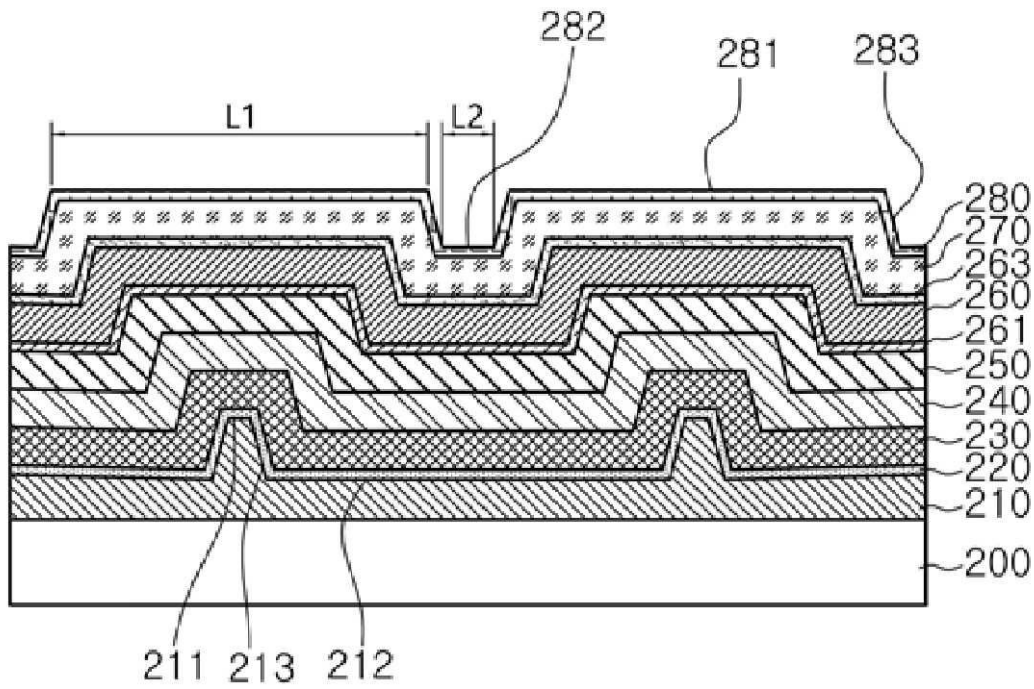
도면7



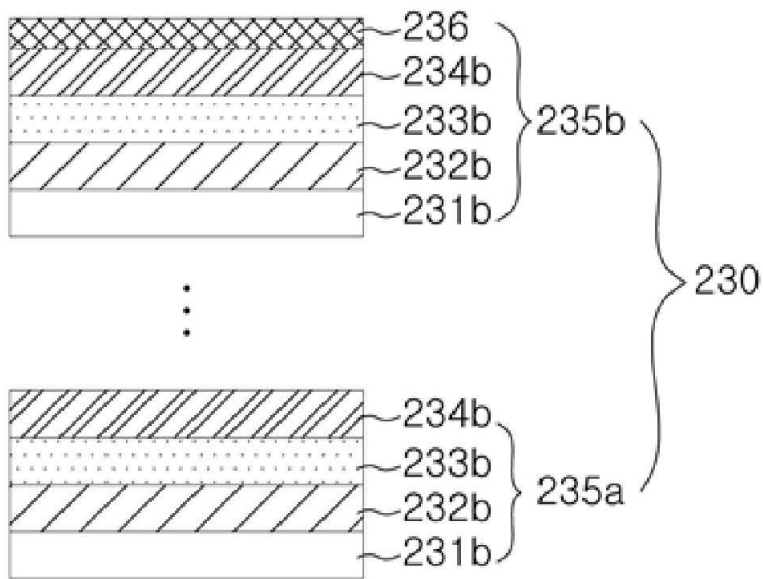
도면8



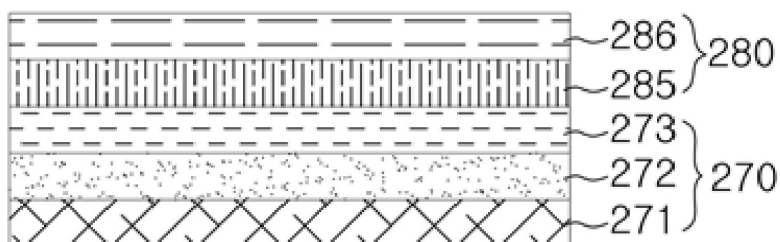
도면9



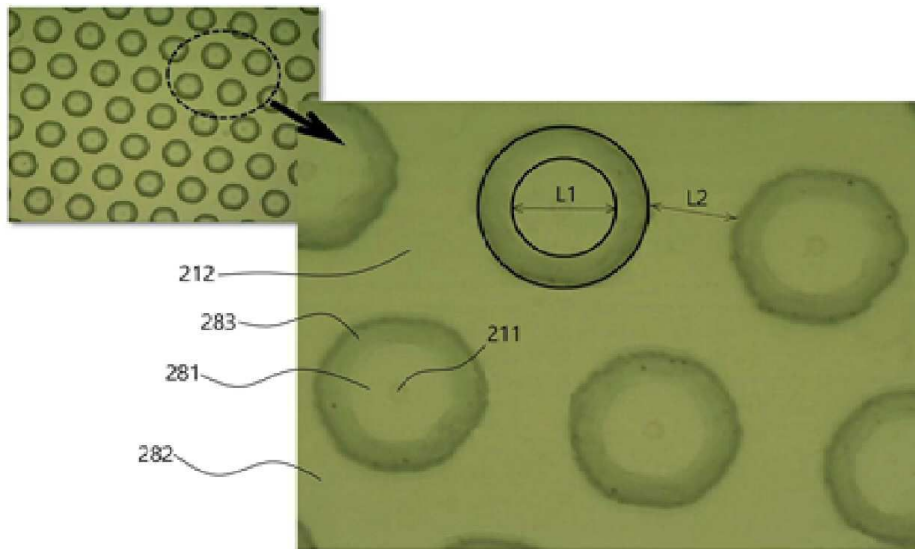
도면10



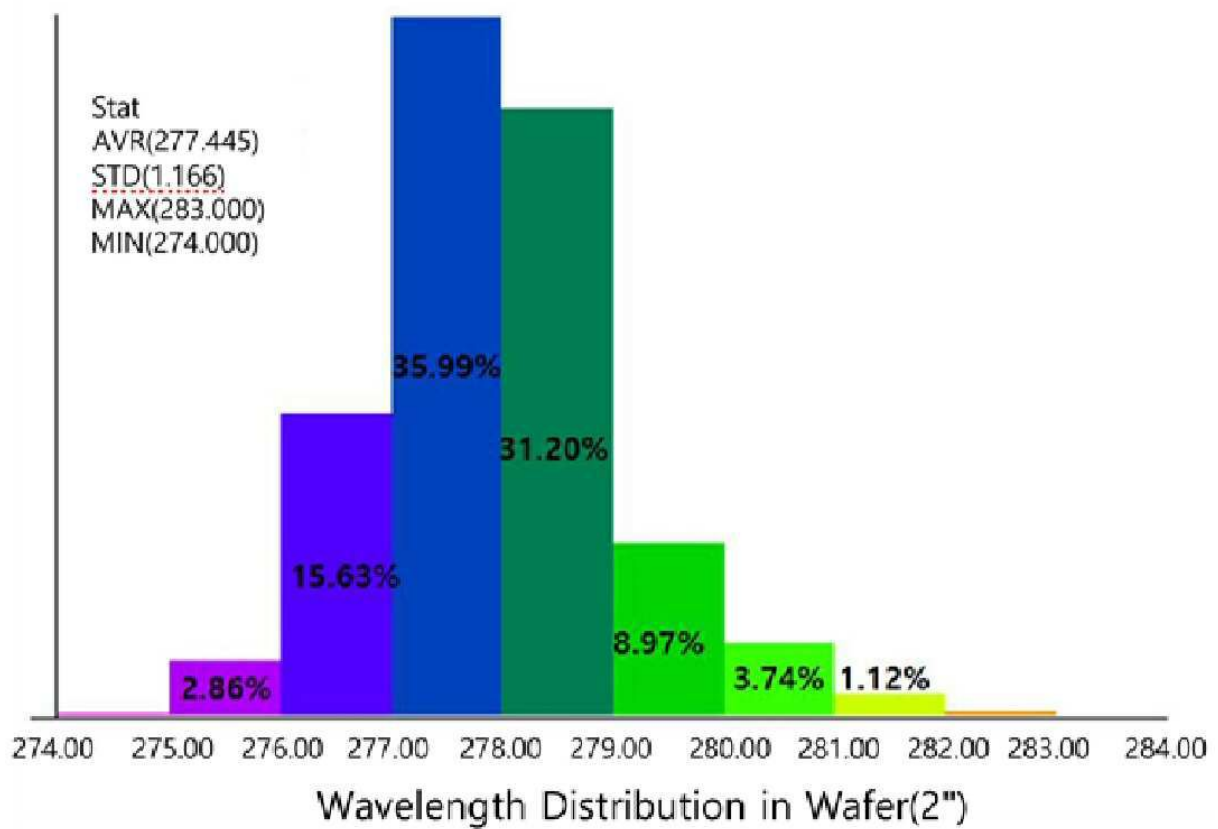
도면11



도면12



도면13



도면14

