



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0115902
(43) 공개일자 2009년11월10일

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0041612

(22) 출원일자 2008년05월05일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

송준오

경기 용인시 기흥구 중동 어은목마을 한라비발디아파트 4004동 1004호

(72) 발명자

송준오

경기 용인시 기흥구 중동 어은목마을 한라비발디아파트 4004동 1004호

전체 청구항 수 : 총 21 항

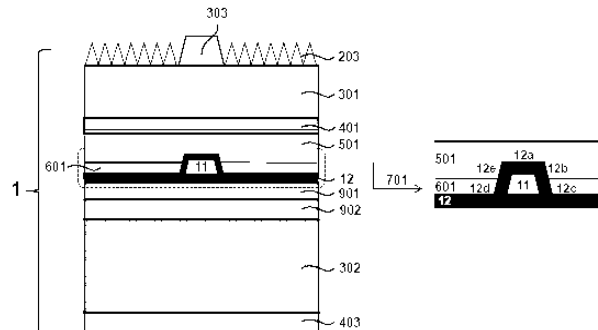
(54) 수직구조 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 및 제조방법

(57) 요약

본 발명은 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 및 그 제조 방법에 관한 것으로, n형 전극구조체; 상기 n형 전극구조체 하부에 n형 질화물계 클래드층, 질화물계 활성층, p형 질화물계 클래드층, 표면 개질층이 순차적으로 적층된 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 다층구조체; 상기 발광다이오드 소자용 다층구조체의 상부에 형성된 참호(trench) 형태의 커런트 블라킹 구조를 포함한 p형 전극구조체; 상기 p형 전극구조체가 형성된 발광다이오드 소자용 다층구조체 하면에 형성된 히트싱크 지지대, 및 p형 오믹접촉 전극구조체;로 구비된 것을 주요한 특징으로 함으로써, 질화물계 활성층에서의 빛 생성 효율 및 외부 양자 효율을 증가시킬 수 있는 이점이 있다.

상세하게는 샌드위치 구조의 웨이퍼 결합(sandwich-structured wafer bonding)과 포톤 빔 (photon-beam)을 이용하여 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

n형 전극구조체;

상기 n형 전극구조체 하면 n형 질화물계 클래드층, 질화물계 활성층, p형 질화물계 클래드층, 표면 개질층이 순차적으로 적층된 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 다층구조체;

상기 발광다이오드 소자용 다층구조체의 상부에 참호(trench) 형태의 커런트 블라킹 구조(current blocking structure)와 전극 박막층으로 구성된 p형 전극구조체;

상기 p형 전극구조체 하면 형성된 웨이퍼 결합층;

상기 웨이퍼 결합층 하면에 형성된 히트싱크 지지대; 및

상기 히트싱크 지지대 하면에 형성된 p형 오믹접촉 전극패드;를 포함하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 표면 개질층은 슈퍼래티스 구조(superlattice structure), n형 도전성의 InGa_N, Ga_N, AlIn_N, Al_N, In_N, AlGa_N, p형 도전성의 InGa_N, AlIn_N, In_N, AlGa_N, 또는 질소 극성(nitrogen polarity)으로 형성된 표면을 갖는 그룹 3족 질화물계으로 구성된 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 슈퍼래티스 구조의 표면 개질층은 그룹 2족, 3족, 또는 4족 원소 성분을 포함하고 있는 질화물(nitride) 또는 탄소질화물(carbon nitride)로 구성된 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 p형 전극구조체 일부인 커런트 블라킹 구조는 적어도 표면 개질층의 두께보다 더 깊게 수직방향으로 식각(etching)하여 상기 p형 질화물계 클래드층의 일부 영역을 대기(air)에 노출된 참호(trench) 형태 갖는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 p형 전극구조체 일부인 전극 박막층은 상기 표면 개질층과 대기에 노출된 p형 질화물계 클래드층에 전기전도성인 물질막을 부분적(partial) 또는 완전한(complete) 증착을 통해서 형성하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 p형 질화물계 클래드층에 접하고 있는 재충진된 전기전도성 전극 박막층은 쇼키성 접촉 계면(schottky contacting interface)을 형성하는 반면에, 상기 표면 개질층에 접하고 있는 전기전도성 전극 박막층은 오믹성 접촉 계면(ohmic contacting interface)을 형성하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 p형 전극구조체는 수직방향으로의 전류 집중 현상을 막는 역할 이외에도, 빛에 대한 높은 반사, 물질의 확

산 방지, 물질의 접착성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 별도의 다층(multi-layer)의 전극 박막층을 포함하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 히트싱크 지지대(heat-sink support)는 Si, GaAs, Ge, SiGe, AlN, GaN, AlGaIn, SiC, AlSiC 등의 웨이퍼(wafer)와 Ni, Cu, Nb, CuW, NiW, NiCu 등의 플레이트(plate) 또는 호일(foil)로 구성된 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자.

청구항 9

성장 기관 상면에 버퍼층을 포함한 n형 질화물계 클래드층, 질화물계 활성층, p형 질화물계 클래드층, 표면 개질층으로 구성된 그룹 3족 질화물계 발광다이오드 소자용 다층구조체를 순차적으로 성장시킨 성장 기관 웨이퍼를 준비하는 단계와;

상기 표면 개질층에 식각 공정을 이용하여 참호 형태의 커런트 블라킹 구조를 형성하는 단계와;

상기 커런트 블라킹 구조와 접촉하여 p형 전극구조체를 형성하는 단계와;

상기 p형 전극구조체 상면에 웨이퍼 결합층을 형성하는 단계와;

히트싱크 지지대인 이중 지지 기관 상/하면에 웨이퍼 결합층을 적층 형성하는 단계와;

상기 임시 기관 상면에 희생분리층 및 웨이퍼 결합층을 적층 형성하는 단계와;

상기 이중 지지 기관의 상/하면에 상기 성장 기관과 임시 기관을 위치시킨 샌드위치 구조로 웨이퍼를 결합시켜 복합체를 형성시키는 단계와;

상기 샌드위치 구조로 웨이퍼 결합된 복합체에서 상기 성장 기관 및 임시 기관을 각각 분리(lift-off)시키는 단계와;

상기 성장 기관이 제거된 복합체의 하부 질화물계 클래드층 상면에 표면 요철과 n형 전극구조체를 형성하는 단계와;

상기 임시 기관이 제거된 복합체의 이중 지지 기관 후면에 p형 오믹접촉 전극패드를 형성하는 단계;를 포함하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 참호 형태의 커런트 블라킹 구조를 형성하는 단계에서 식각 깊이는 최소한 표면 개질층 두께보다 깊게하여 p형 질화물계 클래드층을 대기에 노출시키는 것을 특징으로 하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 p형 전극구조체를 형성하는 단계에서 광학적 반사막(optical reflective layer), 물질 확산 방지막(diffusion barrier layer), 기계적 접착막(mechanical adhesive layer), 또는 산화 방지막(oxidation protection layer)을 첨가하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 12

제 9항에 있어서,

상기 n형 전극구조체를 형성하는 단계에서 상기 커런트 블라킹 구조와 동일한 치수 및 형상으로 하는 동시에, 수직방향으로 상기 커런트 블라킹 구조와 같은 위치에 대향되게 배치하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 13

제 9항에 있어서,

상기 희생분리층은 지지 기판을 분리(lift-off)하는데 유리한 산화물, 질화물, 또는 금속인 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 14

제 9항에 있어서,

상기 희생분리층은 강한 에너지를 갖는 특정 파장 대역의 포톤 빔(photon-beam)을 조사하여 분리할 경우, ZnO, GaN, InGaN, InN, ITO, AlInN, AlGaIn, ZnInN, ZnGaIn, MgGaIn로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성된 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 15

제 9항에 있어서,

습식 식각 용액(wet etching solution) 내에서 식각하여 분리할 경우는 Au, Ag, Pd, SiO₂, SiN_x로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성된 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 16

제 9항에 있어서,

상기 임시 기판은 성장 기판과 열팽창계수(thermal expansion coefficient) 차이가 2 피피엠(ppm) 이하를 갖는 것을 특징으로 하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 17

제 9항에 있어서,

이중 지지 기판은 전기 또는 열적으로 우수한 전도율을 갖는 것을 특징으로 하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 18

제 9항에 있어서,

상기 성장 기판 및 지지 기판 상층부에 형성하는 웨이퍼 결합층은 소정의 압력 및 200℃ 이상의 온도에서 강한 결합력을 갖는 전기전도성 물질막으로 형성된 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 19

제 9항에 있어서,

상기 웨이퍼 결합층은 Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr, Sn, In, Si, Ge, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성된 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 20

제 9항에 있어서,

상기 성장 기판 및 지지 기판 분리하는 공정은 화학-기계적인 연마(CMP), 습식 식각 용액을 이용한 화학적 식각 분해, 또는 강한 에너지를 갖는 포톤 빔을 조사하여 열-화학 분해 반응을 이용하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

청구항 21

제 9항에 있어서,

상기 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자의 전기 및 광학적 특성뿐만 아니라, 각 층간의 기계적 결합력을 강화시키기 위한 수단으로서 어닐링(annealing) 및 표면처리(surface treatment)와 같은 공정들을 각 단계 전/후에 도입하는 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 화학식 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$)으로 표기되는 단결정 그룹 3족 질화물계 반도체(epitaxial group 3 nitride-based semiconductor)를 이용한 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 더 상세하게 말하면, 성장 기판 상층부에 p형 전극구조체를 포함한 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 발광구조체가 성장된 성장 기판 웨이퍼(growth substrate wafer)와 본 발명자에 의해 개발된 샌드위치 구조의 웨이퍼 대 웨이퍼로 결합(wafer to wafer bonding) 공정과 기판 분리(lift-off) 공정을 접목하여 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다.

배경 기술

- <2> 최근 그룹 3족 질화물계 반도체 단결정을 이용한 발광다이오드(light emitting diode; LED) 소자는 질화물계 활성층으로 사용되는 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) 물질계는 그 에너지 대역폭(band gap)의 범위가 광범위하다. 특히 In의 조성에 따라 가시광의 전 영역에서의 발광이 가능한 물질로 알려져 있는 동시에 Al의 조성에 따라서는 초단파장 영역인 자외선 빛을 생성할 수 있어, 이를 이용한 제조된 발광다이오드는 전광관, 표시 소자, 백라이트용의 소자, 백색광원을 비롯한 의료용 광원 등 그 응용영역이 매우 넓으며 점차 응용의 범위가 확대 및 증가되는 추세에 있어 양질의 발광다이오드의 개발이 매우 중요시되고 있다.
- <3> 도 14는 종래 기술에 따른 수평구조 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자의 개략적인 구성 단면도로서, 사파이어 성장 기판(10) 상부에 버퍼층(buffering layer, 20), n형 질화물계 클래드층(30), 질화물계 활성층(40)과 p형 질화물계 클래드층(50)으로 구성된 발광다이오드 소자용 다층구조체가 순차적으로 성장되어 있고, 상기 p형 질화물계 클래드층(50)에서 n형 질화물계 클래드층(30) 일부 영역이 식각(etching)되어 있고, 상기 p형 질화물계 클래드층(50) 상부에 투명성 p형 오믹접촉 전극(60) 및 전극패드(70)가 순차적으로 형성되어 있고, 상기 일부 영역이 식각되어 대기(air)에 노출된 n형 질화물계 클래드층(30) 상부에 n형 오믹접촉 전극구조체(80)가 형성되어 있다.
- <4> 도 14에서 보인 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자를 몰드컵(mold cup)에 사파이어 성장 기판 후면에 접착제를 발라 접착(bonding)시키고, 하나의 리드 프레임과 n형 오믹접촉 전극구조체(80)를 연결시키고, 동시에 또 다른 하나의 리드 프레임과 p형 전극패드(70)를 와이어 결합 연결하여 조립한다. 상기와 같은 발광다이오드 소자 구동은 n 및 p 전극패드를 통하여 외부전압을 인가하면 n형 질화물계 클래드층(30) 및 p형 질화물계 클래드층(50)으로부터 각각 전자(electron) 및 정공(hole) 전하 캐리어(carrier)가 질화물계 활성층(40)으로 흘러 들어가 두 전하 캐리어의 재결합이 일어나면서 빛을 발광하게 된다. 상기 질화물계 활성층(40)으로부터 발광된 빛은 상기 질화물계 활성층(40)의 사방(四方)으로 방출하게 되며 상부 진행된 빛은 p형 질화물계 클래드층(50)을 통하여 외부로 방출되고, 상부로 진행된 빛의 일부는 하부로 진행하면서 발광다이오드 소자 외부로 빠져나가고, 일부는 사파이어 성장 기판(10)의 아래로 빠져나가 발광다이오드 소자의 조립시 사용되는 솔더에 흡수 또는 반사되어 다시 위로 진행하여 일부는 질화물계 활성층(40)을 비롯한 발광다이오드 소자용 다층구조체 내부에서 다시 흡수되기도 하고, 상기 질화물계 활성층(40)을 통하여 외부로 빠져나가게 된다.
- <5> 하지만, 상기의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자는 수평구조로서, 낮은 열전도 및 전기절연성인 사파이어 성장 기판(10)에 제조되기 때문에, 발광다이오드 소자 구동 시 필연적으로 발생하는 다량의 열을 원활히 방출하는데 어려움이 있어 소자의 전체적인 특성을 저하시키는 문제점이 있다.
- <6> 또한, 도 14에 도시된 바와 같이, 두 오믹접촉 전극 및 전극패드 형성을 위해서는 질화물계 활성층(40)의 일부 영역을 제거해야 하며, 이에 따라 발광면적이 감소하여 양질의 발광다이오드소자를 실현하기 어렵고, 동일한 사

이즈 웨이퍼에서 칩의 개수가 줄어들어 단가 경쟁력에서 뒤처지게 된다.

- <7> 또한, 웨이퍼 상부에 발광다이오드 소자의 제조 공정이 완료된 후, 단일화된 발광다이오드 소자로 분리하기위해 하는 래핑(lapping), 폴리싱(polishing), 스크라이빙(scribing), 소잉(sawing), 및 브레이킹(breaking) 등의 기계적인 공정 시에 사파이어 성장 기판(10)과 그룹 3족 질화물계 반도체의 벽개면(cleavage plane)의 불일치로 인하여 불량률이 높아 전체적인 제품수율이 떨어지는 단점도 갖고 있다.
- <8> 최근 들어, 상기의 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 성장 기판(10)을 제거하여 두 오믹접촉 전극 및 전극패드가 발광다이오드 소자의 상/하부에 대향되게 위치시켜, 외부에서 인가된 전류가 한 방향으로 흐르게 되어 발광효율이 향상된 수직구조 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자가 많은 문헌들(미국특허, US 6,071,795, US 6,335,263, US 20060189098)에서 개시되고 있다.
- <9> 도 15는 종래 기술의 일례로서, 수직구조 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자의 일반적인 제조 공정을 보인 단면도이다. 도 15에 도시된 바와 같이, 일반적인 수직구조 발광다이오드 소자 제조 방법은 사파이어 성장 기판(10) 위에 MOCVD 또는 MBE 성장 장비를 이용하여 발광다이오드 소자용 다층구조체를 형성시킨 후에 상기 다층구조체의 최상층부에 존재하는 p형 질화물계 클래드층(50) 상부에 반사성 p형 오믹접촉 전극구조체(90)를 형성시킨 다음, 상기 성장 기판 웨이퍼와 별도로 준비된 지지 기판 웨이퍼를 300℃ 미만의 온도에서 솔더링 결합(solder bonding)한 다음, 사파이어 성장 기판을 제거하여 수직구조 발광다이오드 소자를 제조하는 것이다.
- <10> 도 15를 참조하여 보다 상세하게 설명하면, 먼저 사파이어 기판(10)의 상부에 MOCVD 성장 장비를 이용하여, 언도프(undoped)된 GaN 또는 InGaN 버퍼층(20), n형 질화물계 클래드층(30), InGaN 및 GaN으로 형성된 질화물계 활성층(40), p형 질화물계 클래드층(50)을 순차적으로 성장한 다층구조체를 형성한 다음(도 15A), 상기 p형 질화물계 클래드층(50)의 상부에 반사성 p형 오믹접촉 전극구조체(90), 및 솔더링 반응 방지층(100)을 순차적으로 형성하여 성장 기판 웨이퍼(growth substrate wafer)를 준비한다(도 15B). 그런 다음, 도 15C에 나타난 바와 같이, 전기전도성인 지지 기판(110)의 상부와 하부 각각에 두 오믹접촉 전극(120, 130)을 형성하고, 상기 발광다이오드 소자용 다층구조체를 결합시키기 위한 솔더링 물질(140)을 증착하여 지지 기판 웨이퍼를 준비한다. 그런 후에, 제조된 성장 기판 웨이퍼의 솔더링 물질 확산방지층(100)과 지시기판 웨이퍼의 솔더링 물질(140)을 도 15D에 도시된 바와 같이 맞게 하여 솔더링 결합한다. 그 후, 상기 단일화된 다수개의 발광다이오드 소자들이 제조된 성장 기판 웨이퍼의 후면인 사파이어 성장 기판(10) 후면에 강한 에너지를 갖는 레이저를 조사하여 사파이어 성장 기판(10)을 다수개의 발광다이오드 소자들로부터 분리시키고(레이저 리프트 오프; LLO), 레이저에 의해 손상된 언도프(undoped)된 GaN 또는 InGaN 버퍼층(20)은 건식식각 공정을 이용하여 n형 질화물계 클래드층(30)이 노출될 때까지 전면으로 식각하고(도 15E), 상기 다수개의 발광다이오드 소자들에 해당하는 n형 질화물계 클래드층(30)의 상부에 n형 오믹접촉 전극구조체(80)를 형성한다(도 15F). 마지막으로, 상기 다수개의 발광다이오드 소자들과 전기전도성 지지 기판(110)에 래핑(lapping), 폴리싱(polishing), 스크라이빙(scribing), 소잉(sawing), 및 브레이킹(breaking) 등의 기계적인 절단공정을 수행하여 단일화된 발광다이오드 소자로 분리한다(도 15G).
- <11> 하지만, 상기의 종래 수직구조 발광다이오드 소자 제조 공정 기술은 하기와 같은 여러 문제점이 있어, 단일화된 수직구조 발광다이오드 소자를 대량으로 안전하게 확보하기가 어렵다. 즉, 상기 솔더링 결합을 낮은 온도 범위 내에서 수행하기 때문에, 그 이후에 행해지는 공정에서는 솔더링 결합 온도보다 높은 고온 공정을 행할 수 없어, 열적으로 안정한 발광다이오드 소자 구현이 어렵다. 더 나아가서, 열팽창계수와 격자상수가 다른 웨이퍼(dissimilar wafer) 사이에 결합을 하기 때문에, 결합 시에 열적 응력을 발생시켜 발광다이오드 소자의 신뢰성에 치명적인 영향을 미친다.
- <12> 더 최근 들어, 상기의 솔더링 결합에 의해 제조되는 수직구조 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해서, 솔더링 결합에 의해서 형성된 전기전도성 지지 기판 대신에 Cu, Ni 등의 금속 후막을 전기도금(electroplating) 공정에 의해 상기 반사성 p형 오믹접촉 전극구조체(90) 상부에 형성시키는 기술이 개발되어 부분적으로 제품 생산에 이용되고 있다. 그러나, 상기 전기도금 공정과 접목되어 제조된 수직구조 발광다이오드 제조 공정에서 발생하는 후속 공정들, 즉 고온 열처리, 래핑, 폴리싱, 스크라이빙, 소잉(sawing), 및 브레이킹 등의 기계적인 절단공정이 행해질 때 소자의 성능 저하 및 불량 발생 등의 문제점이 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <13> 본 발명은 상기 지적된 문제들을 인식하여 이루어진 것으로, 성장 기판(growth substrate) 상면에 화학식 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$)으로 표기되는 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 박막층과 효과적인 커런트 블라킹 구조를 포함한 p형 전극구조체로 구성된 발광다이오드 소자용 다층구조체 형성된 성장 기판 웨이퍼(growth substrate wafer)와 본 발명자에 의해 개발된 샌드위치 구조의 웨이퍼 대 웨이퍼로 결합(wafer to wafer bonding) 공정과 기판 분리(lift-off) 공정을 접목하여 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다.
- <14> 보다 상세하게는, 성장 기판 상면에 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 다층구조체가 형성된 성장 기판 웨이퍼, 히트싱크 지지대인 이종 기판 웨이퍼(dissimilar support substrate), 및 임시 기판 웨이퍼(temporary substrate wafer)를 샌드위치 구조로 웨이퍼 결합을 수행한 다음, 기판 분리(lift-off) 공정을 통해 상기 성장 기판 및 임시 기판을 각각 제거하여 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제 해결수단

- <15> 상기의 목적을 달성하기 위해,
- <16> n형 전극구조체; 상기 n형 전극구조체 하면에 n형 질화물계 클래드층, 질화물계 활성층, p형 질화물계 클래드층, 표면 개질층이 순차적으로 적층된 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 다층구조체; 상기 발광다이오드 소자용 다층구조체의 최상부에 참호(trench) 형태의 커런트 블라킹 구조(current blocking structure)와 전극 박막층으로 구성된 p형 전극구조체; 상기 p형 전극구조체 하면에 형성된 웨이퍼 결합층; 상기 웨이퍼 결합층 하면에 형성된 히트싱크 지지대; 및 상기 히트싱크 지지대 하면에 형성된 p형 오믹접촉 전극 패드;를 포함하는 수직구조 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자를 제공한다.
- <17> 본 발명의 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자에서, 상기 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 다층구조체 상면에 위치한 표면 개질층(surface modification)은 슈퍼래티스 구조(spuperlattice structure), n형 도전성의 InGa_N, Ga_N, AlIn_N, Al_N, In_N, AlGa_N, p형 도전성의 InGa_N, AlIn_N, In_N, AlGa_N, 또는 질소 극성으로 형성된 표면(nitrogen-polar surface)을 갖는 그룹 3족 질화물계이다. 특히, 상기 슈퍼래티스 구조의 표면 개질층은 그룹 2족, 3족, 또는 4족 원소 성분을 포함하고 있는 질화물(nitride) 또는 탄소질화물(carbon nitride)로 구성된다.
- <18> 본 발명의 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자에서, 상기 p형 전극구조체 일부인 커런트 블라킹 구조는 적어도 표면 개질층의 두께보다 더 깊게 수직방향으로 식각(etching)하여 상기 p형 질화물계 클래드층의 일부 영역을 대기(air)에 노출된 참호(trench) 형태를 갖는다.
- <19> 본 발명의 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자에서, 상기 p형 전극구조체 일부인 전극 박막층은 상기 표면 개질층과 대기에 노출된 p형 질화물계 클래드층에 전기전도성인 물질막을 부분적(partial) 또는 완전한(complete) 증착을 통해서 형성한다.
- <20> 상기 발광다이오드 소자용 다층구조체의 p형 질화물계 클래드층에 접하고 있는 전기전도성 전극 박막층은 쇼키성 접촉 계면(schottky contacting interface)을 형성하는 반면에, 상기 발광다이오드 소자용 다층구조체의 표면 개질층에 접하고 있는 전기전도성 전극 박막층은 오믹성 접촉 계면(ohmic contacting interface)을 형성하고 있다.
- <21> 상기 커런트 블라킹 구조를 포함하고 있는 p형 전극구조체는 수직구조의 발광다이오드 소자 구동 시에 일방적인 수직방향으로의 전류주입(vertical current injection)을 막고, 수평방향으로의 전류퍼짐(horizontal current spreading)을 촉진시켜 LED의 전체적인 성능을 향상시킬 수 있다.
- <22> 본 발명의 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자에서, p형 전극구조체는 수직방향으로의 전류 집중 현상을 막는 역할 이외에도, 빛에 대한 높은 반사, 물질의 확산 방지, 물질의 접착성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 다층(multi-layer)의 전극 박막층을 포함하는 것이 바람직하다.
- <23> 상기의 목적을 달성하기 위한 바람직한 양태(樣態)로, 본 발명은 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 다층구조체를 이용한 수직구조의 발광다이오드 소자 제조 방법에 있어서,

- <24> 성장 기관 상면에 버퍼층을 포함한 n형 질화물계 클래드층, 질화물계 활성층, p형 질화물계 클래드층, 표면 개질층으로 구성된 그룹 3족 질화물계 발광다이오드 소자용 다층구조체를 순차적으로 성장시킨 성장 기관 웨이퍼를 준비하는 단계와; 상기 표면 개질층에 식각 공정을 이용하여 참호 형태의 커런트 블라킹 구조를 형성하는 단계와; 상기 커런트 블라킹 구조와 접촉하여 p형 전극구조체를 형성하는 단계와; 상기 p형 전극구조체 상면에 웨이퍼 결합층을 형성하는 단계와; 히트싱크 지지대인 이중 지지 기관 상/하면에 웨이퍼 결합층을 적층 형성하는 단계; 상기 임시 기관 상면에 희생분리층 및 웨이퍼 결합층을 적층 형성하는 단계; 상기 이중 지지 기관의 상/하면에 상기 성장 기관과 임시 기관을 위치시킨 샌드위치 구조로 웨이퍼를 결합시켜 복합체를 형성시키는 단계; 상기 샌드위치 구조로 웨이퍼 결합된 복합체에서 상기 성장 기관 및 임시 기관을 각각 분리(lift-off)시키는 단계; 상기 성장 기관이 제거된 복합체의 하부 질화물계 클래드층 상면에 표면 요철과 n형 전극구조체를 형성하는 단계와; 상기 임시 기관이 제거된 복합체의 이중 지지 기관 후면에 p형 오믹접촉 전극패드를 형성하는 단계;를 포함한다.
- <25> 상기 표면 개질층 상부에 형성된 p형 전극구조체의 커런트 블라킹 구조는 소자 구동 시에 수평방향으로의 전류 퍼짐(horizontal current spreading)을 극대화시키기 위한 것으로서, 상기 n형 질화물계 클래드층 상부에 존재하는 n형 전극구조체와 동일한 치수와 형상으로 하는 동시에 수직방향으로 같은 위치에서 마주보는 대향되게 배치한다.
- <26> 상기 임시 기관 웨이퍼의 희생분리층(sacrificial separation layer)은 지지 기관을 분리하는데 유리한 물질로 이루어진다. 이때, 강한 에너지를 갖는 특정 파장 대역의 포톤 빔(photon-beam)을 조사하여 분리할 경우는 ZnO, GaN, InGaN, InN, ITO, AlInN, AlGaN, ZnInN, ZnGaN, MgGaN, 또는 습식 식각 용액(wet etching solution) 내에서 식각하여 분리할 경우는 Au, Ag, Pd, SiO₂, SiN_x로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <27> 상기 히트싱크 지지대(heat-sink support)인 이중 지지 기관은 전기 또는 열적으로 우수한 전도율을 갖는 것이 바람직하다. 이 경우, 상기 히트싱크 지지대는 Si, GaAs, Ge, SiGe, AlN, GaN, AlGaN, SiC, AlSiC 등의 웨이퍼(wafer)와 Ni, Cu, Nb, CuW, NiW, NiCu 등의 플레이트(plate) 또는 호일(foil)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <28> 상기 성장 기관, 이중 지지 기관, 및 임시 기관 상부에 존재하는 웨이퍼 결합층(wafer bonding layer)은 소정의 압력 및 200℃ 이상의 온도에서 강한 결합력을 갖는 전기전도성 물질막으로 형성한다. 이때, Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr, Sn, In, Si, Ge, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <29> 상기 성장 기관 및 지지 기관 분리하는 공정은 화학-기계적인 연마(CMP), 습식 식각 용액을 이용한 화학적 식각 분해, 또는 강한 에너지를 갖는 포톤 빔을 조사하여 열-화학 분해 반응을 이용한다.
- <30> 상기 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자의 전기 및 광학적 특성뿐만 아니라, 각 층간의 기계적 결합력을 강화시키기 위한 수단으로서 어닐링(annealing) 및 표면처리(surface treatment)와 같은 공정들을 각 단계 전/후에 도입하는 것이 바람직하다.

효 과

- <31> 앞에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 의해 제조된 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자는 커런트 블라킹 구조를 갖는 p형 전극구조체를 구비하고 있기 때문에 수직구조의 발광다이오드 소자 구동 시에 일방적인 수직방향으로의 전류주입(vertical current injection)을 막고, 수평방향으로의 전류퍼짐(horizontal current spreading)을 촉진시켜 LED의 전체적인 성능을 향상시킬 수 있다.
- <32> 이와 더불어서, 본 발명에 의한 수직구조 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드의 제조 방법에 의하면, 웨이퍼 대 웨이퍼 결합 시에 웨이퍼 휨(bending) 현상과 단일화된 발광다이오드 소자의 다층구조체에 아무런 손상 없이 제조할 수 있기 때문에 펩(fab) 공정의 가공성 및 수율을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <33> 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명에 따라 제조된 그룹 3족 질화물계 반도체 광전자 소자인 발광다이오드 및 소자 제조에 대해 보다 상세하게 설명하기로 한다.
- <34> 도 1은 본 발명에 따른 실시예로서, 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자를 보인 단면도이다.

- <35> 도시한 바와 같이, n형 전극구조체(303) 하면에 n형 질화물계 클래드층(301), 질화물계 활성층(401), p형 질화물계 클래드층(501), 표면 개질층(601), 커런트 블라킹 구조(11)와 전극 박막층(12)으로 구성된 p형 전극구조체(701), 웨이퍼 결합층(901, 902), 히트싱크 지지대(302), 및 p형 오믹접촉 전극패드(403)를 포함하는 수직구조의 발광소자인 발광다이오드(1)가 형성되어 있다.
- <36> 보다 상세하게 설명하면, 상기 질화물계 활성층(401)에서 생성된 빛이 효과적으로 외부로 방출하는데 유리하게 발광면인 n형 질화물계 클래드층(301)의 표면에 요철(203)이 형성되어 있고, 상기 n형 전극구조체(303)가 상기 n형 질화물계 클래드층(301) 위에 오믹접촉 계면(ohmic contacting interface)으로 형성되어 있다.
- <37> 미도시되었지만, 상기 수직구조의 발광다이오드(1) 소자 측면에는 측면을 통해 노출된 상기 질화물계 활성층(401)을 보호하기 위한 패시베이션막이 형성되어 있다. 이때, 상기 패시베이션막은 전기절연성인 산화물(oxide), 질화물(nitride), 불화물(fluoride)로 형성되어 있으며, 구체적으로 SiNx, SiO₂, Al₂O₃로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <38> 상기 패시베이션막이 형성된 발광다이오드(1) 소자의 상기 p형 질화물계 클래드층(501) 하면에는 표면 개질층(601)이 형성되어 있고, 상기 표면 개질층(601) 하면에는 커런트 블라킹 구조(11)와 전극 박막층(12)으로 구성된 p형 전극구조체(701)가 형성되어 있다.
- <39> 상기 표면 개질층(601)은 상기 n형 질화물계 클래드층(301), 질화물계 활성층(401), p형 질화물계 클래드층(501)을 성장한 후에 동일 성장 장비인 MOCVD, MBE 챔버 내에서 연속적으로 형성되며, 상기 표면 개질층(601)은 슈퍼래티스 구조(superlattice structure), n형 도전성의 InGa_N, Ga_N, AlIn_N, Al_N, In_N, AlGa_N, p형 도전성의 InGa_N, AlIn_N, In_N, AlGa_N, 또는 질소 극성으로 형성된 표면(nitrogen-polar surface)을 갖는 그룹 3족 질화물계로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <40> 특히, 상기 슈퍼래티스 구조의 표면 개질층은 그룹 2족, 3족, 또는 4족 원소 성분을 포함하고 있는 질화물(nitride) 또는 탄소질화물(carbon nitride)로 구성된다.
- <41> 상기 p형 전극구조체(701)는 커런트 블라킹 구조(11)와 전극 박막층(12)으로 구성되어 있고, 상기 커런트 블라킹 구조(11)는 상기 표면 개질층(601) 두께보다 더 깊게 식각하여 p형 질화물계 클래드층(501)의 일부 영역을 대기(air)에 노출된 참호(trench) 형태를 갖으며, 상기 표면 개질층(601)과 대기에 노출된 p형 질화물계 클래드층(501)에 전기전도성인 전극 박막층(12)을 증착하여 형성한다.
- <42> 확대된 도 1을 참조하면, 상기 p형 전극구조체(701)를 구성하고 있는 전극 박막층(12)은 상기 p형 질화물계 클래드층(501)과 표면 개질층(601)을 동시에 접하고 있다. 이때, 상기 p형 질화물계 클래드층(501)과 접하는 전극 박막층(12a, 12b, 12e)은 쇼키성 접촉 계면(schottky contacting interface)을 형성하고 있는 반면에, 상기 표면 개질층(601)과 접하는 전기전도성 물질막(12c, 12d,)은 오믹성 접촉 계면(ohmic contacting interface)을 형성하고 있다.
- <43> 한편, 상기 커런트 블라킹 구조(701)의 일부 영역(11)은 대기(air) 또는 전기절연성 물질로 형성되어 있다.
- <44> 상기 p형 전극구조체(701)는 빛에 대한 높은 반사, 물질의 확산 방지, 물질의 접촉성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 금속, 합금, 또는 고용체의 다층(multi-layer)으로 형성하고 있다.
- <45> 상기 p형 전극구조체(701)와 웨이퍼 결합층(901) 사이에 수직구조의 발광다이오드 소자 제조 시에 발생하는 물질 확산 이동을 방지(diffusion barrier)하는 물질 확산 장벽층(미도시)을 별도로 개재할 수 있다.
- <46> 상기 물질 확산 장벽층(미도시)을 구성하는 물질은 상기 p형 전극구조체(701)와 웨이퍼 결합층(901)을 구성하고 있는 물질의 종류에 따라서 결정되지만, 일례로, Pt, Pd, Cu, Rh, Re, Ti, W, Cr, Ni, Si, Ta, TiW, TiNi, NiCr, TiN, WN, CrN, TaN, TiWN, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <47> 웨이퍼 결합층(901, 902)은 소정의 압력 및 200℃ 이상의 온도에서 강한 결합력을 갖는 전기전도성 물질막으로 형성한다. 이때, Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr, Sn, In, Si, Ge, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <48> 상기 히트싱크 지지대(302)인 이중 지지 기판은 전기 또는 열적으로 우수한 전도율을 갖는 것이 바람직하다. 이 경우, 상기 히트싱크 지지대는 Si, GaAs, Ge, SiGe, AlN, GaN, AlGa_N, SiC, AlSiC 등의 웨이퍼(wafer)와 Ni, Cu, Nb, CuW, NiW, NiCu 등의 플레이트(plate) 또는 호일(foil)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성

되어 있다.

- <49> 본 발명의 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자에서, p형 전극구조체(701)는 수직방향으로의 전류 집중 방지(current blocking)와 빛에 대한 반사체(reflecting) 역할 이외에도, 물질의 확산 방지(diffusion barrier), 물질간의 결합 및 결합성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 별도의 박막층을 포함하는 것이 바람직하다.
- <50> 특히, 본 발명의 실시예에 따른 수직구조의 발광다이오드(1) 소자는 상기 p형 질화물계 클래드층(501) 위에 형성된 계면 개질층(601)을 이용하여 쇼키접촉 계면 및 오믹접촉 계면을 동시에 갖춘 p형 전극구조체(701)를 포함하고 있어, 수평방향으로의 전류 퍼짐을 향상시켜 외부 발광 효율을 증가시킬 수 있다.
- <51> 도 2는 본 발명에 따른 실시예로서, 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자를 보인 단면도이다.
- <52> 도시한 바와 같이, n형 전극구조체(303) 하면에 n형 질화물계 클래드층(301), 질화물계 활성층(401), p형 질화물계 클래드층(501), 표면 개질층(601), 커런트 블라킹 구조(11)와 전극 박막층(12)으로 구성된 p형 전극구조체(801), 웨이퍼 결합층(901, 902), 히트싱크 지지대(302), 및 p형 오믹접촉 전극패드(403)를 포함하는 수직구조의 발광소자인 발광다이오드(2) 소자가 형성되어 있다.
- <53> 보다 상세하게 설명하면, 상기 질화물계 활성층(401)에서 생성된 빛이 효과적으로 외부로 방출하는데 유리하게 발광면인 n형 질화물계 클래드층(301)의 표면에 요철(203)이 형성되어 있고, 상기 n형 전극구조체(303)가 상기 n형 질화물계 클래드층(301) 위에 오믹접촉 계면(ohmic contacting interface)으로 형성되어 있다.
- <54> 미도시되었지만, 상기 수직구조의 발광다이오드(2) 소자 측면에는 측면을 통해 노출된 상기 질화물계 활성층(401)을 보호하기 위한 패시베이션막이 형성되어 있다. 이때, 상기 패시베이션막은 전기절연성인 산화물(oxide), 질화물(nitride), 불화물(fluoride)로 형성되어 있으며, 구체적으로 SiNx, SiO₂, Al₂O₃로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <55> 상기 패시베이션막이 형성된 발광다이오드(2)의 상기 p형 질화물계 클래드층(501) 하면에는 표면 개질층(601)이 형성되어 있고, 상기 표면 개질층(601) 하면에는 커런트 블라킹 구조(11)와 전극 박막층(12)으로 구성된 p형 전극구조체(801)가 형성되어 있다.
- <56> 상기 표면 개질층(601)은 상기 n형 질화물계 클래드층(301), 질화물계 활성층(401), p형 질화물계 클래드층(501)을 성장한 후에 동일 성장 장비인 MOCVD, MBE 챔버 내에서 연속적으로 형성되며, 상기 표면 개질층(601)은 슈퍼래티스 구조(superlattice structure), n형 도전성의 InGa_nN, GaN, AlIn_nN, AlN, InN, AlGa_nN, p형 도전성의 InGa_nN, AlIn_nN, InN, AlGa_nN, 또는 질소 극성으로 형성된 표면(nitrogen-polar surface)을 갖는 그룹 3족 질화물계로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <57> 특히, 상기 슈퍼래티스 구조의 표면 개질층은 그룹 2족, 3족, 또는 4족 원소 성분을 포함하고 있는 질화물(nitride) 또는 탄소질화물(carbon nitride)로 구성된다.
- <58> 상기 p형 전극구조체(801)는 커런트 블라킹 구조(11)와 전극 박막층(12)으로 구성되어 있고, 상기 커런트 블라킹 구조(11)는 상기 표면 개질층(601) 두께보다 더 깊게 식각하여 p형 질화물계 클래드층(501)의 일부 영역을 대기(air)에 노출된 참호(trench) 형태를 갖으며, 상기 표면 개질층(601)과 대기에 노출된 p형 질화물계 클래드층(501)에 전기전도성인 전극 박막층(12)을 증착하여 형성한다.
- <59> 확대된 도 2를 참조하면, 상기 p형 전극구조체(801)를 구성하고 있는 전극 박막층(12)은 상기 p형 질화물계 클래드층(501)과 표면 개질층(601)을 동시에 접하고 있다. 이때, 상기 p형 질화물계 클래드층(501)과 접하는 전극 박막층(12a, 12b, 12e)은 쇼키성 접촉 계면(schottky contacting interface)을 형성하고 있는 반면에, 상기 표면 개질층(601)과 접하는 전기전도성 물질막(12c, 12d,)은 오믹성 접촉 계면(ohmic contacting interface)을 형성하고 있다.
- <60> 한편, 상기 커런트 블라킹 구조(801)의 일부 영역(12)은 전기전도성 물질로 형성되어 있다.
- <61> 상기 p형 전극구조체(801)는 빛에 대한 높은 반사, 물질의 확산 방지, 물질의 접촉성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 금속, 합금, 또는 고용체의 다층(multi-layer)으로 형성하고 있다.
- <62> 상기 p형 전극구조체(801)와 웨이퍼 결합층(901) 사이에 수직구조의 발광다이오드 소자 제조 시에 발생하는 물질 확산 이동을 방지(diffusion barrier)하는 물질 확산 장벽층(미도시)을 별도로 개재할 수 있다.

- <63> 상기 물질 확산 장벽층(미도시)을 구성하는 물질은 상기 p형 전극구조체(801)와 웨이퍼 결합층(901)을 구성하고 있는 물질의 종류에 따라서 결정되지만, 일례로, Pt, Pd, Cu, Rh, Re, Ti, W, Cr, Ni, Si, Ta, TiW, TiNi, NiCr, TiN, WN, CrN, TaN, TiWN, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <64> 웨이퍼 결합층(901, 902)은 소정의 압력 및 200℃ 이상의 온도에서 강한 결합력을 갖는 전기전도성 물질막으로 형성한다. 이때, Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr, Sn, In, Si, Ge, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <65> 상기 히트싱크 지지대(302)인 이중 지지 기판은 전기 또는 열적으로 우수한 전도율을 갖는 것이 바람직하다. 이 경우, 상기 히트싱크 지지대는 Si, GaAs, Ge, SiGe, AlN, GaN, AlGaIn, SiC, AlSiC 등의 웨이퍼(wafer)와 Ni, Cu, Nb, CuW, NiW, NiCu 등의 플레이트(plate) 또는 호일(foil)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <66> 본 발명의 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자에서, p형 전극구조체(801)는 수직방향으로의 전류 집중 방지(current blocking)와 빛에 대한 반사체(reflecting) 역할 이외에도, 물질의 확산 방지(diffusion barrier), 물질간의 결합 및 결합성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 별도의 박막층을 포함하는 것이 바람직하다.
- <67> 특히, 본 발명의 실시예에 따른 수직구조의 발광다이오드(2) 소자는 상기 p형 질화물계 클래드층(501) 위에 형성된 계면 개질층(601)을 이용하여 쇼키접촉 계면 및 오믹접촉 계면을 동시에 갖춘 p형 전극구조체(801)를 포함하고 있어, 수평방향으로의 전류 퍼짐을 향상시켜 외부 발광 효율을 증가시킬 수 있다.
- <68> 도 3 내지 도 13은 본 발명에 따른 일 실시예로서, 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법을 보인 단면도이다.
- <69> 도 3은 성장 기판(growth substrate) 상면에 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자용 다층구조체가 형성된 성장 기판 웨이퍼(growth substrate wafer)를 보인 단면도이다.
- <70> 도 3을 참조하면, 상기 성장 기판(growth substrate; 101) 상면에 기본적으로 n형 도전성의 단결정 반도체 물질로 이루어진 n형 질화물계 클래드층(301)과, 질화물계 활성층(401)과, p형 도전성의 단결정 반도체 물질로 이루어진 p형 질화물계 클래드층(501), 계면 개질층(601)을 포함한다.
- <71> 구체적으로 설명하면, 상기 n형부 질화물계 클래드층(301)은 n형 도전성의 GaN층과 AlGaIn층으로 이루어질 수 있으며, 상기 질화물계 활성층(401)은 다중양자우물구조(multi-quantum well)의 언도프(undoped)된 InGaIn층으로 이루어질 수 있다. 또한, 상부 질화물계 클래드층(501)은 p형 도전성의 GaN층과 AlGaIn층으로 구성될 수 있다. 상술한 그룹 3족 질화물계 반도체층으로 구성된 기본적인 발광다이오드 소자용 다층구조체를 이미 널리 공지된 MOCVD 또는 MBE 단결정 성장법 등의 공정을 이용하여 성장하기에 앞서, n형 질화물계 클래드층(301)과 상기 성장 기판(101)의 최상층부인 성장면과의 격자정합을 향상시키기 위해, 상기 성장 기판(101)의 최상층부인 성장면의 상부에 InGaIn, AlN, SiC, SiCN, 또는 GaN과 같은 또 다른 버퍼층(201)을 더 형성하는 것이 바람직하다.
- <72> 상기 p형 질화물계 클래드층(501) 상면에 위치한 계면 개질층(601)은 단결정 그룹 3족 질화물계 반도체 성장 장비인 MOCVD, MBE를 이용하여 성장 장비 챔버(chamber) 내에서 연속적으로 형성되며, 이미 널리 공지된 슈퍼래티스 구조(superlattice structure), n형 도전성의 InGaIn, GaN, AlInN, AlN, InN, AlGaIn, p형 도전성의 InGaIn, AlInN, InN, AlGaIn, 또는 질소 극성으로 형성된 표면(nitrogen-polar surface)을 갖는 그룹 3족 질화물계로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다. 특히, 상기 슈퍼래티스 구조의 표면 개질층은 그룹 2족, 3족, 또는 4족 원소 성분을 포함하고 있는 질화물(nitride) 또는 탄소질화물(carbon nitride)로 구성하는 것이 바람직하다.
- <73> 도 4는 성장 기판 웨이퍼의 상층부에 p형 전극구조체의 일부인 커런트 블라킹 구조(current blocking structure)를 형성하기 위한 첫 번째 공정인 식각(etching)을 수행한 후에 보인 단면도이다.
- <74> 도 4를 참조하면, 수직방향으로 상기 계면 개질층(601)의 두께(h)보다 더 깊게 식각하여 상기 p형 질화물계 클래드층(501)을 대기(air)에 노출시킨다.
- <75> 도 5는 성장 기판 웨이퍼의 p형 전극구조체의 일부인 전극 박막층을 형성하기 위한 두 번째 공정인 전기전도성 물질막을 증착시킨 후에 보인 단면도이다.

- <76> 도 5를 참조하면, 전기전도성인 전극 박막층(12)을 대기에 노출된 p형 질화물계 클래드층(501) 및 계면 개질층(601) 상부에 증착하여 형성하여 p형 전극구조체(701)를 완성한다. 특히, 상기 p형 전극구조체(701)는 여섯 영역으로 구분할 수 있는데, 대기에 노출된 p형 질화물계 클래드층(501)과 접하는 전극 박막층(12a, 12b, 12e)은 쇼키성 접촉 계면(schottky contacting interface)을 형성하고 있으며, 반면에 상기 계면 개질층(601) 상부에 접하는 전극 박막층(12c, 12d)은 옴식성 접촉 계면(ohmic contacting interface)을 형성하고 있다.
- <77> 또한, 상기 p형 전극구조체(701)의 일부 영역(11)은 대기(air) 내지 전기절연성인 산화물, 산화물, 불화물로 구성될 수 있다.
- <78> 도 6 내지 7은 p형 전극구조체 상부에 웨이퍼 결합층(wafer bonding layer)을 형성시킨 후에 보인 단면도이다.
- <79> 도 6을 참조하면, 상기 p형 전극구조체(701) 상부의 일부 영역에 전기전도성인 웨이퍼 결합층(901)을 증착한다. 이때, 상기 웨이퍼 결합층(901)은 빛에 대한 높은 반사, 물질의 확산 방지, 물질의 접촉성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 금속, 합금, 또는 고용체의 다층(multi-layer)으로 형성시킬 수 있다. 이 경우, Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <80> 도 7을 참조하면, 상기 p형 전극구조체(701) 상부의 전체 영역에 전기전도성인 웨이퍼 결합층(901)을 증착한다. 이때, 상기 웨이퍼 결합층(901)은 빛에 대한 높은 반사, 물질의 확산 방지, 물질의 접촉성 향상, 또는 물질의 산화 방지 역할을 수행할 수 있는 금속, 합금, 또는 고용체의 다층(multi-layer)으로 형성시킬 수 있다. 이 경우, Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <81> 도 8은 본 발명자에 의해 개발된 히트싱크 지지대인 이중 지지 기판 웨이퍼와 임시 기판 웨이퍼를 각각 준비한 단면도이다.
- <82> 도 8A에 도시된 바와 같이, 이중 지지 기판 웨이퍼는 히트싱크 지지대인 이중 지지 기판(302)과 상기 이중 지지 기판(302) 상/하면에 형성된 두층의 웨이퍼 결합층(902, 903)으로 구성되어 있다.
- <83> 상기 이중 지지 기판 웨이퍼의 히트싱크 지지대인 이중 지지 기판(302)은 전기 또는 열적으로 우수한 전도율을 갖는 것이 바람직하다. 이 경우, 상기 히트싱크 지지대는 Si, GaAs, Ge, SiGe, AlN, GaN, AlGaIn, SiC, AlSiC 등의 웨이퍼(wafer)와 Ni, Cu, Nb, CuW, NiW, NiCu 등의 플레이트(plate) 또는 호일(foil)을 우선적으로 선택한다.
- <84> 상기 이중 지지 기판 웨이퍼의 히트싱크 지지대인 이중 지지 기판(302) 상/하면에 형성된 웨이퍼 결합층(902, 903)은 소정의 압력 및 200℃ 이상의 온도에서 강한 결합력을 갖는 전기전도성 물질막으로 형성한다. 이때, Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr, Sn, In, Si, Ge, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <85> 도 8B에 도시된 바와 같이, 임시 기판 웨이퍼는 임시 기판(170), 희생분리층(180), 웨이퍼 결합층(904)으로 구성되어 있다.
- <86> 상기 임시 기판 웨이퍼의 임시 기판(170)은 500 나노미터(nm) 이하 파장 영역대에서 광학적으로 70 퍼센트(%) 이상의 투과율을 갖거나, 상기 성장 기판(101)과의 열팽창 계수 차이가 2 피피엠(ppm/℃) 이하인 물질이 바람직하다. 이 경우, 임시 기판(170)은 사파이어(Al_2O_3), 실리콘카바이드(SiC), 질화갈륨(GaN), 질화인듐갈륨(InGaN), 질화알루미늄갈륨(AlGaIn), 질화알루미늄(AlN), 스피넬(spinel), 리튬니오베이트(lithium niobate), 네오듐갈라이트(neodymium gallate), 갈륨산화물(Ga_2O_3)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <87> 상기 임시 기판 웨이퍼의 희생분리층(180)은 지지 기판을 분리하는데 유리한 물질로 이루어진다. 이때, 강한 에너지를 갖는 특정 파장 대역의 포톤 빔(photon-beam)을 조사하여 분리할 경우는 ZnO, GaN, InGaN, InN, ITO, AlInN, AlGaIn, ZnInN, ZnGaN, MgGaN, 또는 습식 식각 용액(wet etching solution) 내에서 식각하여 분리할 경우는 Au, Ag, Pd, SiO₂, SiN_x로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <88> 상기 임시 기판 웨이퍼의 웨이퍼 결합층(904)은 소정의 압력 및 200℃ 이상의 온도에서 강한 결합력을 갖는 전기전도성 물질막으로 형성한다. 이때, Au, Ag, Al, Rh, Cu, Ni, Ti, Pd, Pt, Cr, Sn, In, Si, Ge, 금속 실리사이드(metallic silicide)로 이루어진 그룹에서 선택된 어느 하나로 형성되어 있다.
- <89> 도 9는 이중 지지 기판의 상/하면의 웨이퍼 결합층과 성장 기판과 임시 기판의 웨이퍼 결합층을 각각 맞대어 정

렬시킨 후에 샌드위치 구조로 웨이퍼를 결합시켜 복합체를 형성한 단면도이다.

- <90> 도 9를 참조하면, 상기 성장 기관 웨이퍼의 웨이퍼 결합층(901)과 상기 이중 지지 기관 웨이퍼 상면의 웨이퍼 결합층(902), 상기 상기 이중 지지 기관 웨이퍼 하면의 웨이퍼 결합층(903)와 상기 임시 기관 웨이퍼의 웨이퍼 결합층(904)을 각각 맞대어 웨이퍼 결합 공정에 의해 샌드위치 구조의 복합체(3)를 형성한다.
- <91> 상기 웨이퍼 결합은 상온 내지 700℃ 이하의 온도 및 진공(vacuum), 산소(oxygen), 아르곤(argon), 또는 질소(nitrogen) 가스 분위기 하에서 소정의 정압력(hydrostatic pressure)을 인가하여 형성하는 것이 바람직하다.
- <92> 더 나아가서, 상기 웨이퍼 결합 공정을 수행하기 전/후에 두 물질 간(901/902, 903/904)의 기계적인 결합력 및 오믹접촉 계면 형성을 향상시키기 위해서 표면처리(surface treatment) 및 열처리(heat treatment) 공정이 도입될 수도 있다.
- <93> 도 10은 웨이퍼 결합된 샌드위치 구조의 복합체에서 성장 기관과 임시 기관을 각각 분리(lift-off)하는 공정을 보인 단면도이다.
- <94> 도시된 바와 같이, 상기 웨이퍼 결합된 샌드위치 구조의 복합체(3)에서 성장 기관 웨이퍼의 일부인 성장 기관(101)과 임시 기관 웨이퍼의 임시 기관(170)을 분리(lift-off)하는 공정은 강한 에너지를 갖는 포톤 빔인 레이저 빔(103)을 상기 광학적으로 투명한 성장 기관(101) 및 임시 기관(170) 후면에 조사하여, 상기 성장 기관(101)과 발광다이오드 소자용 다층구조체의 하부 질화물계 클래드층 간의 계면에서 열-화학 분해 반응을 발생시켜 상기 성장 기관(101)을 분리한다. 또한, 상기 임시 기관(170)과 희생분리층(180) 간의 계면에서 열-화학 분해 반응을 발생시켜 상기 임시 기관(170) 분리 제거한다.
- <95> 또한, 상기 성장 기관(101) 및 임시 기관(170)의 물리 및 화학적 물성에 따라서 화학-기계적인 연마 또는 식각 용액을 이용한 화학 습식 식각을 이용할 수 있다.
- <96> 도 11은 성장 기관 웨이퍼의 성장 기관과 임시 기관 웨이퍼의 임시 기관을 분리시킨 후에 하부 질화물계 클래드층 상부에 표면 요철이 도입된 복합체의 단면도이다.
- <97> 도 11을 참조하면, 상기 성장 기관(101)과 임시 기관(170)을 안정적으로 완전히 제거 시킨 후에 행하는 공정 단계로서, 화학적 습식 식각 또는 건식 식각을 이용하여 하부 질화물계 클래드층(301)이 대기(air)에 노출되도록 식각하고, 습식 또는 건식 식각을 이용하여 대기에 노출된 하부 질화물계 클래드층(301)의 표면에 요철(203)을 수행한다.
- <98> 도 12는 표면 요철이 형성된 하부 질화물계 클래드층 상면 일부 영역에 n형 전극구조체를 형성한 복합체의 단면도이다.
- <99> 도 12를 참조하면, 표면 요철(203)이 형성된 하부 질화물계 클래드층(301) 상면 일부 영역에 부분 n형 전극구조체(303)를 형성시킨다. 상기 n형 전극구조체(303)는 600nm 이하의 파장대역에서 50% 이상의 반사율을 갖는 반사성 물질로 형성하는 바람직하다. 이 경우, n형 전극구조체(303)는 Cr/Al/Cr/Au으로 구성할 수 있다.
- <100> 또한, 상기 n형 전극구조체(303)는 상부 질화물계 클래드층(501) 상면에 형성된 p형 전극구조체의 커런트 블라킹 구조(11)와 동일한 형상과 치수로 하는 동시에, 상기 발광다이오드 단면도 관점에서 수직방향으로 같은 위치에서 대향되게 배치한다.
- <101> 도 13은 히트싱크 지지대 후면에 p형 오믹접촉 전극패드를 형성한 후에 완성한 수직구조의 발광다이오드 소자를 보인 단면도이다.
- <102> 도 13을 참조하면, 상기 임시 기관(170)을 분리 제거시킨 히트싱크 지지대(302) 후면에 p형 오믹접촉 전극패드(403)를 형성하여 최종적으로 수직구조 발광다이오드 소자를 완성한다.
- <103> 이상의 본 발명은 상기에 기술된 실시예들에 의해 한정되지 않고, 당업자들에 의해 다양한 변형 및 변경을 가질 수 있으며, 이는 첨부된 특허청구범위에서 정의되는 본 발명의 취지와 범위에 포함되는 것으로 보아야 할 것이다.

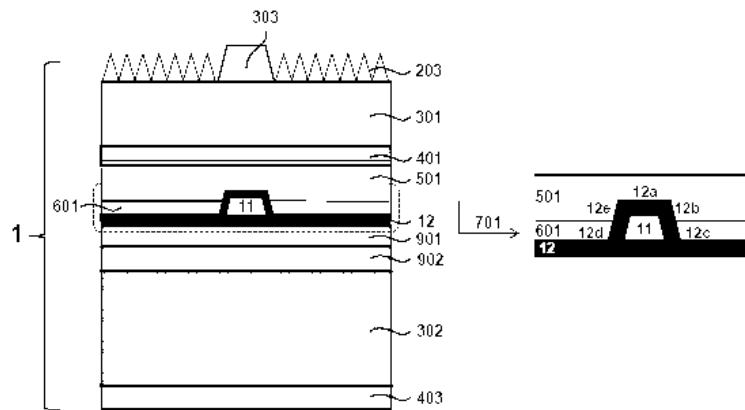
도면의 간단한 설명

- <104> 도 1은 본 발명에 따른 제1 실시예로서, 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자를 보인 단면도이고,

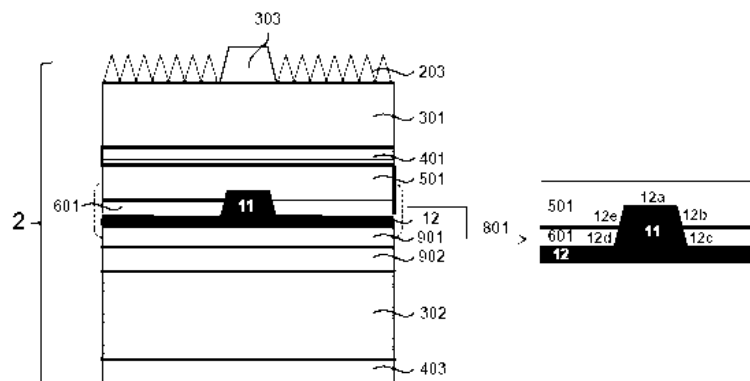
- <105> 도 2는 본 발명에 따른 제2 실시예로서, 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자를 보인 단면도이고,
- <106> 도 3 내지 도 13은 본 발명에 따른 일실시예로서, 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 방법을 보인 단면도이고,
- <107> 도 14는 종래기술에 따른 수평구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자의 개략적인 구성 단면도이고,
- <108> 도 15는 종래기술에 따른 수직구조의 그룹 3족 질화물계 반도체 발광다이오드 소자 제조 공정 단면도이다.

도면

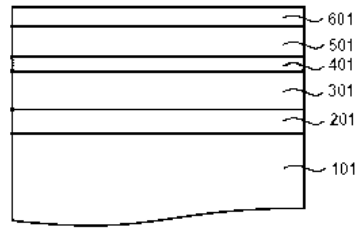
도면1



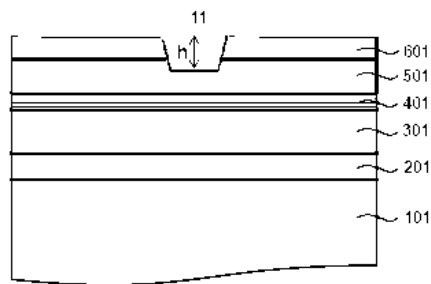
도면2



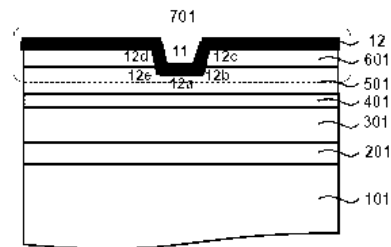
도면3



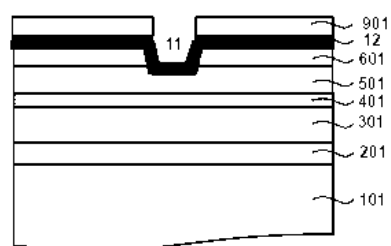
도면4



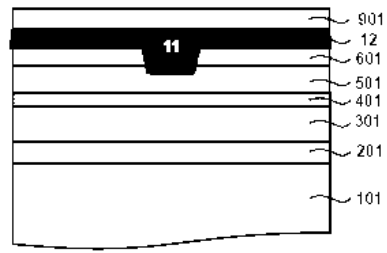
도면5



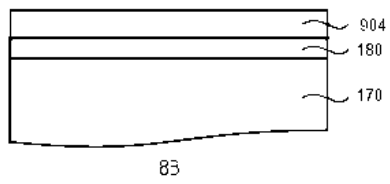
도면6



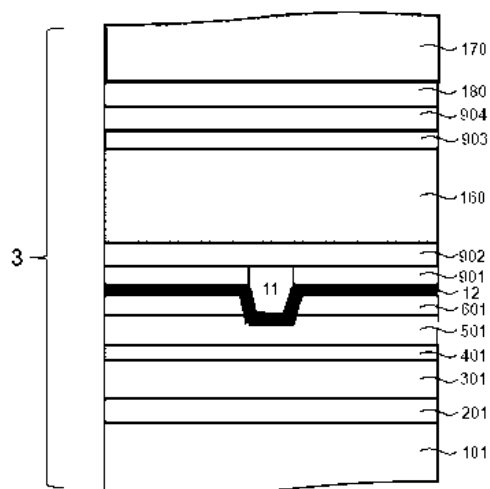
도면7



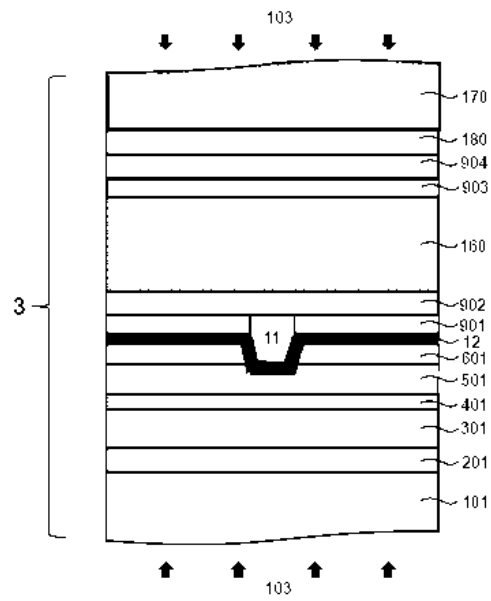
도면8



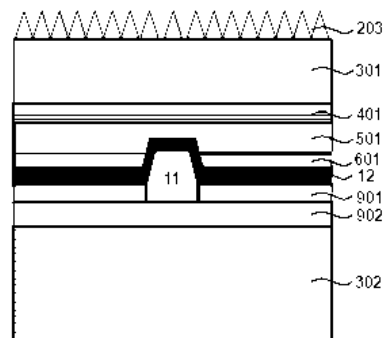
도면9



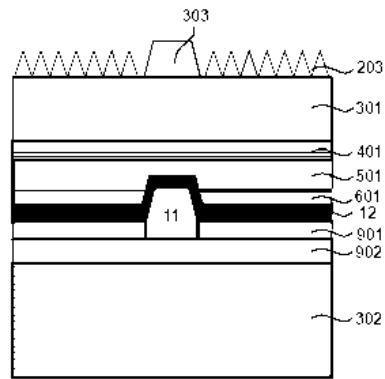
도면10



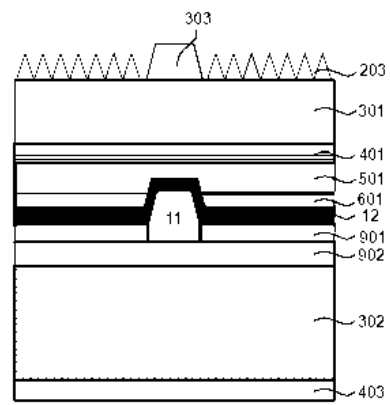
도면11



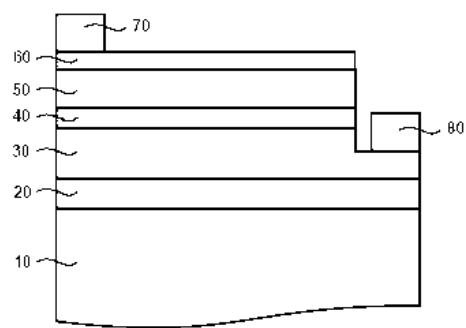
도면12



도면13



도면14



종래 기술

도면15

