



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0134950
(43) 공개일자 2015년12월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/14 (2010.01) H01L 33/04 (2010.01)
H01L 33/22 (2010.01)
(21) 출원번호 10-2014-0062459
(22) 출원일자 2014년05월23일
심사청구일자 2014년05월23일

(71) 출원인
광주과학기술원
광주광역시 북구 첨단과기로 123 (오룡동)
(72) 발명자
박성주
광주광역시 북구 첨단과기로 123 광주과학기술원
신소재공학과
홍상현
광주광역시 북구 첨단과기로 123 광주과학기술원
나노바이오재료전자공학과
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인이상

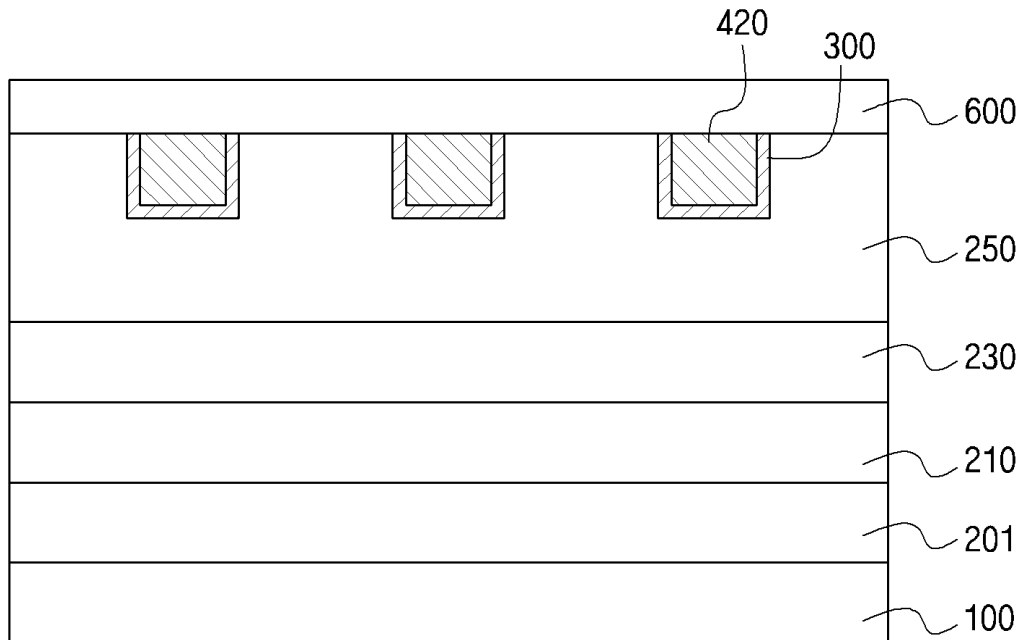
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **고효율 발광다이오드의 제조방법**

(57) 요약

고효율 발광다이오드의 제조방법이 제공된다. 상세하게는, 기판 상에 n형 질화갈륨층, 및 활성층을 순차적으로 형성하는 단계, 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계, 상기 p형 질화갈륨층의 홀의 측면 및 하면에 절연영역층을 형성하는 단계, 및 상기 절연영역층이 형성된 홀의 내부를 충전하는 금속층을 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2e



형성하는 단계를 포함하며, 상기 금속층은, 금속 디스크층의 형태이거나, 금속 디스크층 및 자성층이 순차적으로 적층된 형태로 형성하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법을 제공할 수 있다. 이에, 본 발명은 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층의 내부에 절연영역층을 형성함으로써, 질화갈륨층 내의 금속층의 형성에 의해 질화갈륨층의 박막질이 저하되거나 누설전류가 발생하는 것을 억제할 수 있다. 또한, 질화갈륨층 내부에 금속 디스크층을 형성함으로써, 표면 플라즈몬 공명을 통해 발광다이오드의 내부 양자 효율을 효과적으로 증가시킬 수 있다. 아울러, 질화갈륨층 내부에 자성층을 형성함으로써, 발광다이오드 내 불균일한 자기장을 인가할 수 있어 발광 재결합율이 증가되면서 발광효율이 향상될 수 있다.

(72) 발명자

김재준

광주광역시 북구 첨단과기로 123 광주과학기술원
나노바이오재료전자공학과

임용철

광주광역시 북구 첨단과기로 123 광주과학기술원
신소재공학부

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	GM07570
부처명	산업통상자원부
연구관리전문기관	한국광기술원
연구사업명	기술혁신사업
연구과제명	전력변환효율 75%급 LED 광소자공정 및 표준 분석 기술개발
기여율	1/1
주관기관	한국광기술원
연구기간	2014.06.01 ~ 2015.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

기판 상에 n형 질화갈륨층, 및 활성층을 순차적으로 형성하는 단계;
 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계;
 상기 p형 질화갈륨층의 홀의 측면 및 하면에 절연영역층을 형성하는 단계; 및
 상기 절연영역층이 형성된 홀의 내부를 충전하는 금속층을 형성하는 단계를 포함하며,
 상기 금속층은, 금속 디스크층의 형태이거나, 금속 디스크층 및 자성층이 순차적으로 적층된 형태로 형성하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계는,
 상기 활성층 상에 p형 질화갈륨층을 성장시키는 단계; 및
 상기 성장된 p형 질화갈륨층을 건식식각하여 복수개의 홀을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계는,
 상기 활성층 상에 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계;
 상기 p형 질화갈륨층 상에 복수개의 홀을 형성하기 위한 마스크층을 형성하는 단계;
 상기 p형 질화갈륨층 상에 상기 마스크층이 형성되지 않은 영역을 통해 상기 p형 질화갈륨층을 선택적으로 재성장시키는 단계; 및
 상기 마스크층을 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 절연영역층은 SiO₂, Si₃N₄, TiO₂, 및 Al₂O₃ 로 구성되는 군으로부터 선택되는 적어도 어느 하나를 사용하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 절연영역층은 10nm 내지 20nm의 두께로 형성하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
 상기 금속 디스크층은,
 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 또는 이들의 조합 중에서 선택되는 적어도 어

는 하나를 사용하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 자성층은,

철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni), 망간(Mn), 크롬(Cr), 및 바나듐(V)족 원소 중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 자성물질을 사용하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 자성층은 패터화된 구조로 형성되며,

상기 패터화된 구조의 자성층은 하나 이상의 자성물질을 사용하여 형성하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 발광다이오드의 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 표면 플라즈몬과 자기장을 이용하는 고효율 발광다이오드의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 휴대폰, LCD TV 백라이트, 모니터 LCD, 및 조명기기 등으로 널리 활용되고 있는, 발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)는 p-n 접합 구조를 가지는 화합물 반도체로서, 전하운반자(전자 또는 정공)의 재결합에 의해 빛을 발산하는 발광소자이다. 이러한 발광다이오드의 재료는 주로, 직접 천이형의 큰 에너지 밴드 갭을 가진 질화갈륨 기반의 화합물 반도체가 사용되고 있다. 상기와 같은 특징을 가진 질화갈륨 기반의 화합물 반도체는 질화물의 조성에 따라 거의 전파장 영역의 빛을 얻을 수 있어, 청색 및 자외선 영역의 발광다이오드용 물질로 많은 각광을 받고 있다.

[0003] 질화갈륨 기반의 발광다이오드의 효율을 향상시키기 위하여, 내부 양자 효율을 증가시키기 위한 다양한 개발이 시도되고 있다. 특히, 발광다이오드 내에 금속 나노입자를 삽입하여, 상기 금속 나노입자에 의해 생성되는 표면 플라즈몬(surface plasmon)을 이용한 발광다이오드의 방사 재결합율(radiative recombination rate)을 향상시키는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 표면 플라즈몬은 금속 입자의 표면에서 일어나는 전자들의 집단적 진동(collective charge efficiency)을 의미하는 것으로서, 금속과 유전체의 경계를 따라 진행되는 표면 전자기파를 말하는 것일 수 있다.

[0004] 도 1은 종래의 p형 질화갈륨층 내에 금속 나노입자를 삽입한 발광다이오드의 구조를 나타낸 모식도이다. 도 1을 참조하면, 상기 p형 질화갈륨층에 형성된 금속 나노입자에 의해 생성된 표면 플라즈몬과 활성층의 양자 간의 표면 플라즈몬 공명을 이용하여 발광다이오드의 내부 양자 효율을 증가시킬 수 있다.

[0005] 하지만, 이와 같은 구조의 발광다이오드를 제조시, 금속 나노입자가 함께 형성된 p형 질화갈륨층을 재성장하는 공정으로 인해 질화갈륨의 박막질이 저하되며 발광다이오드의 광효율이 낮아지는 문제점이 있다. 또한, 상기 삽입된 금속 나노입자에 의해 발광다이오드 내에 누설전류가 발생하고, 활성층의 양자우물에서 발생한 빛이 금속 나노입자에 일부 흡수되어 발광다이오드의 전기적 특성이 저하되는 단점이 있다.

[0006] 한편, 발광다이오드의 내부양자효율을 증가시키기 위한 다른 방법으로, 반도체층 상의 필름형태의 자성층을 형성하여, 불균일한 자기장을 활성층에 인가하는 연구가 진행되고 있다. 그러나, 필름 형태에서 생성된 자기장은 자기장의 세기에 한계가 있어, 이에 대한 개선이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 발광다이오드의 내부 양자 효율을 향상시키기 위하여 표면 플라즈몬 공명 및 자기장을 효과적으로 이용할 수 있는 구조를 가진 발광다이오드의 제조방법을 제공하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 이루기 위하여 본 발명의 일 측면은, 기판 상에 n형 질화갈륨층, 및 활성층을 순차적으로 형성하는 단계, 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계, 상기 p형 질화갈륨층의 홀의 측면 및 하면에 절연영역층을 형성하는 단계, 및 상기 절연영역층이 형성된 홀의 내부를 충전하는 금속층을 형성하는 단계를 포함하며, 상기 금속층은, 금속 디스크층의 형태이거나, 금속 디스크층 및 자성층이 순차적으로 적층된 형태로 형성하는 것을 특징으로 하는 고효율 발광다이오드의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0009] 일 실시예에서, 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계는, 상기 활성층 상에 p형 질화갈륨층을 성장시키는 단계, 및 상기 성장된 p형 질화갈륨층을 건식식각하여 복수개의 홀을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 다른 실시예에서, 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계는, 상기 활성층 상에 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계, 상기 p형 질화갈륨층 상에 복수개의 홀을 형성하기 위한 마스크층을 형성하는 단계, 상기 p형 질화갈륨층 상에 상기 마스크층이 형성되지 않은 영역을 통해 상기 p형 질화갈륨층을 선택적으로 재성장시키는 단계, 및 상기 마스크층을 제거하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 절연영역층은 SiO₂, Si₃N₄, TiO₂, 및 Al₂O₃ 로 구성되는 군으로부터 선택되는 적어도 어느 하나를 사용하여 형성하는 것일 수 있다.

[0012] 상기 절연영역층은 10nm 내지 20nm의 두께로 형성하는 것일 수 있다.

[0013] 상기 금속디스크층은, 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 또는 이들의 조합 중에서 선택되는 적어도 어느 하나를 사용하여 형성하는 것일 수 있다.

[0014] 상기 자성층은, 철(Fe), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 코발트(Co), 니켈(Ni), 망간(Mn), 크롬(Cr), 및 바나듐(V)족 원소 중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 자성물질을 사용하여 형성하는 것일 수 있다.

[0015] 상기 자성층은 패터화된 구조로 형성되며, 상기 패터화된 구조의 자성층은 하나 이상의 자성물질을 사용하여 형성하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명은 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층의 내부에 절연영역층을 형성함으로써, 질화갈륨층 내의 금속층의 형성에 의해 질화갈륨층의 박막질이 저하되거나 누설전류가 형성되는 것을 억제할 수 있다.

[0017] 또한, 질화갈륨층 내부에 금속 디스크층을 형성함으로써, 표면 플라즈몬 공명을 통해 발광다이오드의 내부 양자 효율을 효과적으로 증가시킬 수 있다.

[0018] 아울러, 질화갈륨층 내부에 자성층을 형성함으로써, 발광다이오드 내 불균일한 자기장을 인가할 수 있어 발광 재결합율을 증가되면서 발광효율이 향상될 수 있다.

[0019] 다만, 발명의 효과는 상기에서 언급한 효과로 제한되지 아니하며, 언급되지 않은 또 다른 효과들을 하기의 기재로부터 당업자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 종래의 p형 질화갈륨층 내에 금속 나노입자를 삽입한 발광다이오드의 구조를 나타낸 모식도이다.

도 2a 내지 도 2e는 본 발명의 일 실시예에 따른 고효율 발광다이오드의 제조방법을 설명하기 위한 단면도들이다.

도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계를 설명하기 위한 단면도들이다.

도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 다른 실시예에 따른 고효율 발광다이오드의 제조방법을 설명하기 위한 단면도들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하, 첨부된 도면을 참고하여 본 발명에 의한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0022] 본 발명이 여러 가지 수정 및 변형을 허용하면서도, 그 특정 실시 예들이 도면들로 예시되어 나타내어지며, 이하에서 상세히 설명될 것이다. 그러나 본 발명을 개시된 특별한 형태로 한정하려는 의도는 아니며, 오히려 본 발명은 청구항들에 의해 정의된 본 발명의 사상과 합치되는 모든 수정, 균등 및 대용을 포함한다.
- [0023] 도면들에 있어서, 층 및 영역들의 두께는 명확성을 기하기 위하여 과장 또는 축소된 것일 수 있다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [0024] 본 발명의 고효율 발광다이오드의 제조방법은 1) 기판 상에 n형 질화갈륨층, 및 활성층을 순차적으로 형성하는 단계, 2) 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계, 3) 상기 p형 질화갈륨층의 홀의 측면 및 하면에 절연영역층을 형성하는 단계, 및 4) 상기 절연영역층이 형성된 홀의 내부를 충전하는 금속층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 여기서, 상기 금속층은, 금속 디스크층의 형태이거나, 금속 디스크층 및 자성층이 순차적으로 적층된 형태로 형성하는 것일 수 있다.
- [0025] 도 2a 내지 도 2e는 본 발명의 일 실시예에 따른 고효율 발광다이오드의 제조방법을 설명하기 위한 단면도들이다.
- [0026] 단계 1)은 기판 상에 n형 질화갈륨층, 및 활성층을 순차적으로 형성하는 단계이다.
- [0027] 도 2a를 참조하면, 상기 기판(100)은 질화갈륨 기반의 반도체를 성장시킬 수 있는 반도체 단결정 성장용 기판으로, 공지된 기판을 사용할 수 있다. 상기 기판(100)은, 예를 들어, 사파이어(Sappihre), 실리콘(Si), 실리콘 카바이드(SiC), 질화갈륨(GaN), 갈륨비소(GaAs), 갈륨인(GaP), 또는 산화아연(ZnO) 기판일 수 있다. 바람직하게는, 상기 기판(100)은, 사파이어를 사용할 수 있다.
- [0028] 상기 기판(100) 상에 n형 질화갈륨층(210)을 형성하기 이전에, 실시예에 따라 불순물이 도핑되지 않은 질화갈륨층인 언도프트 질화갈륨층(201)을 형성할 수 있다. 상기 언도프트 질화갈륨층(201)은 상기 기판(100)과 상기 n형 질화갈륨층(210) 사이의 격자 상수 및 열팽창 계수 차이에 의한 전위(dislocation) 또는 크랙(crack) 등의 결함을 완화시키기 위해 형성하는 것일 수 있다. 상기 언도프트 질화갈륨층(201)은 일반적으로 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$)의 물질로 형성하는 것일 수 있다.
- [0029] 상기 기판(100) 상에 형성된 언도프트 질화갈륨층(201) 상에 n형 질화갈륨층(210)을 형성할 수 있다. 상기 n형 질화갈륨층(210)은 후술하는 활성층(230)에 전자를 제공하는 층으로서, n형 도펀트가 도핑된 질화갈륨계 물질(일반적으로, $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$)의 물질로 형성할 수 있다. 상기 n형 도펀트는, 예를 들어, Si, Ge, Se, Te, 또는 C를 주입하여 형성할 수 있다. 상기 n형 질화갈륨층(210)은, 예를 들어, 0.1 μ m 내지 30 μ m의 두께로 형성할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [0030] 상기 n형 질화갈륨층(210) 상에 활성층(230)을 형성할 수 있다. 상기 활성층(230)은 상기 n형 질화갈륨층(210)에서 제공된 전자와 후술하는 p형 질화갈륨층(250)에서 제공되는 정공이 재결합되는 층으로서, 일반적으로 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$)으로 이루어진 물질을 사용하여 형성할 수 있다. 상기 활성층(230)은, 우물층(well layer)과 장벽층(barrier layer)을 교대로 적층한 단일 또는 다중 양자 우물 구조(multiple quantum well, MQW)를 갖는 다층의 반도체 박막일 수 있다. 바람직하게, 상기 활성층(230)은 다중 양자 우물 구조를 가질 수 있으며, 상기 다중 양자 우물 구조는, 예를 들어, InGaN/GaN, AlGaN/(In)GaN, 또는 InAlGaN/(In)GaN의 다층구조로 형성한 것일 수 있다.
- [0031] 상기 기판(100) 상에 상기 언도프트 질화갈륨층(201), 상기 n형 질화갈륨층(210), 및 상기 활성층(230)을 형성하는 방법은 공지된 질화물 반도체 성장방법을 통해 수행할 수 있다. 상기 질화물 반도체 성장방법은, 예를 들어, 물리적 기상증착 (Physical Vapor Deposition, PVD), 또는 화학적 기상증착 (Chemical Vapor Deposition,

CVD)를 들 수 있으며, 구체적으로, 금속 유기 화학적 기상증착 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD), 이중형 열증착 (Dual-type Thermal Evaporator), 플라즈마 레이저 증착 (Plasma Laser Deposition, PLD), 스퍼터링(Sputtering), 또는 전자빔 증착(E-beam Evaporation) 등을 이용할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

- [0032] 단계 2)는 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계이다.
- [0033] 도 2b를 참조하면, 상기 p형 질화갈륨층(250)은 상기 활성층(230)에 정공을 제공하는 층으로서, p형 도펀트가 도핑된 질화갈륨계(일반적으로, $In_xAl_yGa_{1-x-y}N(0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1)$)의 물질로 형성할 수 있다. 상기 p형 도펀트는, 예를 들어, Mg, Be, Sr, Zn, Ca, 또는 Ba를 주입하여 형성할 수 있다. 상기 p형 질화갈륨층(210)은, 예를 들어, 0.1 μ m 내지 30 μ m의 두께로 형성할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [0034] 상기 p형 질화갈륨층(250)은 복수개의 홀을 가진 것으로서, 상기 홀은 후술하는 절연영역층, 금속 디스크층, 및 자성층을 형성하기 위해 구성된 것으로, 실시예에 따라 홀의 개수를 조절하여 형성할 수 있다. 상기 p형 질화갈륨층(250)에 복수개의 홀을 형성하는 방법은 실시예에 따라 다른 방법으로 형성할 수 있다.
- [0035] 일 실시예에서, 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계는, 상기 활성층 상에 p형 질화갈륨층을 성장시키는 단계, 및 상기 성장된 p형 질화갈륨층을 건식식각하여 복수개의 홀을 형성하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.
- [0036] 상기 건식식각은, 예를 들어, 플라즈마 식각(Plasma etching), 반응성 이온 식각(Reactive-Ion Etching, RIE), 유도 결합 플라즈마 반응성 이온 에칭(Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching, ICP-RIE)자기 강화 반응성 이온 식각 (Magnetically Enhanced Reactive-Ion Etching, MERIE), 반응성 이온 빔 식각(Reactive Ion Beam Etching)또는 스퍼터 식각(Sputter Etching) 등의 방법을 통해 수행할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [0037] 상기 p형 질화갈륨층(250)의 일부를 건식식각시, 식각의 깊이에 따라 후술하는 금속 디스크층, 및 자성층의 형성 위치가 달라질 수 있다. 상기 금속 디스크층과 상기 활성층의 이격거리는 후술하는 표면 플라즈몬 공명 발생에 영향을 줄 수 있다. 이에, 상기 건식식각의 깊이를 조절하여 상기 금속 디스크층과 상기 활성층의 이격거리를 용이하게 조절할 수 있다.
- [0038] 다른 실시예에서, 상기 활성층 상에 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계는, 상기 활성층 상에 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계, 상기 p형 질화갈륨층 상에 복수개의 홀을 형성하기 위한 마스크층을 형성하는 단계, 상기 p형 질화갈륨층 상에 상기 마스크층이 형성되지 않은 영역을 통해 상기 p형 질화갈륨층을 선택적으로 재성장시키는 단계, 및 상기 마스크층을 제거하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.
- [0039] 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성하는 단계를 설명하기 위한 단면도들이다.
- [0040] 도 3a를 참조하면, 기판(100) 상에 순차적으로 적층된 언도프트 질화갈륨층(201), n형 질화갈륨층(210), 및 활성층(230) 상에 일정크기의 p형 질화갈륨층(252)을 형성할 수 있다. 상기 일정 크기의 p형 질화갈륨층(252)은 최종적으로 형성되는 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층 보다 얇은 두께로 형성할 수 있다. 예를 들어, 상기 일정 크기의 p형 질화갈륨층의 전체 두께는, 30nm 내지 100nm의 범위로 형성할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다. 여기서, 상기 일정 크기의 p형 질화갈륨층(252)의 두께를 적절하게 조절하여 형성함으로써, 후술하는 금속 디스크층과 활성층의 이격거리를 용이하게 조절할 수 있다.
- [0041] 도 3b를 참조하면, 상기 활성층(230) 상에 일정 크기로 형성된 p형 질화갈륨층(252)의 상부의 일정 영역에 마스크층(260)을 형성할 수 있다. 상기 마스크층(260)이 형성되는 영역은 후술하는 금속 디스크층, 또는 금속 디스크층 및 자성층이 배치되는 위치일 수 있다. 상기 마스크층(260)은 일반적으로 반도체층을 패터닝하기 위해 사용하는 마스크 물질을 사용할 수 있으며, 예를 들어, SiO₂를 사용할 수 있다.
- [0042] 도 3c를 참조하면, 상기 일정 크기의 p형 질화갈륨층(252) 상의 일정 영역에 형성된 상기 마스크층(260)을 제외

한, 즉, 상기 마스크층(260)이 형성되지 않아, 일정 크기의 상기 p형 질화갈륨층(252)이 노출된 영역을 통해 상기 p형 질화갈륨층(252)을 선택적으로 재성장시킬 수 있다. 이는, p형 질화갈륨층의 재성장층(254)으로, 상기 일정 크기의 p형 질화갈륨층(252)과 동일한 물질이기 때문에, 하나의 p형 질화갈륨층(250)으로 볼 수 있다. 상기 p형 질화갈륨층의 재성장층(254)의 두께는 예를 들어, 50nm 내지 200nm의 범위로 형성할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0043] 도 3d를 참조하면, 상기 p형 질화갈륨층의 재성장층(254) 사이에 형성되어 있는 상기 마스크층(260)을 제거할 수 있다. 이에, 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층(250)을 형성할 수 있다.

[0044] 상기와 같이, 실시예에 따라 다양한 방법을 통해 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층을 형성할 수 있다. 이에, 상기 복수개의 홀이 배치된 영역에 후술하는 절연영역층, 금속 디스크층, 및 자성층을 형성할 수 있다. 이는, 종래의 금속 나노입자가 함께 형성된 질화갈륨층을 재성장함에 따라 질화갈륨층의 박막질이 저하되는 문제점을 개선한 것으로, 질화갈륨 박막질이 저하되는 것을 억제할 수 있어, 발광 다이오드의 효율을 유지할 수 있다.

[0045] 단계 2)에서 상기 활성층 상에 상기 p형 질화갈륨층을 성장시키는 방법은 앞서 단계1)에서 상술한 바와 같이, 공지된 질화물 반도체 성장방법을 통해 수행할 수 있다.

[0046] 단계 3)은 상기 p형 질화갈륨층의 홀의 측면 및 하면에 절연영역층을 형성하는 단계이다.

[0047] 도 2c를 참조하면, 상기 단계2)를 통해 형성된 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층(250)의 복수개의 홀(255)의 내부를 둘러싸는, 각각의 홀(255)의 측면 및 하면에 절연영역층(300)을 형성할 수 있다. 상기 절연영역층(300)은 각각의 홀에 각각 형성하는 것일 수 있다. 상기 절연영역층(300)이 상기 p형 질화갈륨층(250)의 홀의 하면 및 측면 등의 홀의 내부를 둘러싸는 형태로 형성됨으로써, 후술하는 금속 디스크층, 또는 금속 디스크층 및 자성층을 상기 절연영역층(300) 내부에 형성시 상기 p형 질화갈륨층(250)이 금속 증착 공정에 의해 영향을 받지 않도록 보호할 수 있다. 구체적으로, 상기 절연영역층(300)은, 상기 p형 질화갈륨층(250)과 금속 디스크층 및 자성층간의 접촉을 차단하여 누설전류가 형성되는 것을 억제할 수 있으며, 고전류 인가시 전류가 전극 부근에서 높은 밀도로 형성되는 것을 방지하여 전류를 고르게 확산시킬 수 있다.

[0048] 상기 절연영역층(300)은 SiO₂, Si₃N₄, TiO₂, 및 Al₂O₃ 로 구성되는 군으로부터 선택되는 적어도 어느 하나를 사용하여 형성하는 것일 수 있다. 상기 절연영역층(300)은 공지된 절연물질의 증착 방법을 통해 수행할 수 있으며, 예를 들어, 원자층 증착법(Atomic Layer Deposition, ALD), 화학적 기상 증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD), 또는 스퍼터링(Sputtering) 방법을 사용할 수 있다.

[0049] 상기 절연영역층(300)은 10nm 내지 20nm의 두께로 형성하는 것일 수 있다. 상기 절연영역층(300)의 두께가 10nm 미만인 경우, 상기 p형 질화갈륨층(250)과 후술하는 금속 디스크층 또는 금속 디스크층 및 자성층으로 이루어진 금속층 간의 접촉을 효과적으로 차단하기 어려울 수 있다. 상기 절연영역층(300)의 두께가 20nm 이상인 경우, 상기 p형 질화갈륨층(250)의 홀의 내부 면적이 좁아져 금속 디스크층을 형성할 수 있는 공간이 부족할 수 있다.

[0050] 단계 4)는 절연영역층이 형성된 홀의 내부를 충전하는 금속층을 형성하는 단계이다.

[0051] 상기 금속층은, 금속 디스크층의 형태이거나, 금속 디스크층 및 자성층이 순차적으로 적층된 형태로 형성하는 것일 수 있다.

[0052] 도 2d를 참조하면, 일 실시예에 따라, 상기 절연영역층(300) 내부에 금속 디스크층(420)의 형태인 금속층을 형성할 수 있다. 즉, 각각의 p형 질화갈륨층(250)의 복수개의 홀에 형성된 상기 절연영역층(300)의 내부에 각각의 금속 디스크층(420)을 형성하는 것일 수 있다. 상기 절연영역층(300) 내부에 상기 금속 디스크층(420)을 형성시, 상기 p형 질화갈륨층(250)의 홀 내부에 형성된 상기 절연영역층(300)으로 둘러싸인 홀의 내부를 충전하여, 상기 p형 질화갈륨층(250)의 최상단면과 동일한 높이의 상단면을 가질 수 있도록 형성할 수 있다.

[0053] 상기 금속 디스크층(420)은 표면 플라즈몬을 생성시키기 위하여 형성한 것일 수 있다. 상기 금속 디스크층(420)에 의해 생성된 표면 플라즈몬과 상기 활성층(230)의 양자 간의 상호작용에 의해 표면 플라즈몬 공명을 형성할 수 있다. 이는, 구체적으로, 상기 활성층(230)에서 나온 빛이 상기 금속 디스크층(420)의 금속 입자들과 작용하여 상기 금속 디스크층(420)과 질화갈륨 계면에 표면 플라즈몬이 여기될 수 있다. 이에, 상기 활성층(230)

의 엑시톤(exiton) 쌍극자 에너지가 상기 금속 디스크층(420)의 표면 플라즈몬으로 전사되면서, 상기 활성층(230) 내의 전자와 정공의 재결합을 통해 표면 플라즈몬을 생성할 수 있다. 이를 통해, 상기 표면 플라즈몬은 발광하는 빛과 결합하면서, 자발적인 재결합율(Spontaneous recombination)을 향상시킬 수 있다. 상기 자발적인 재결합율의 증가로 발광다이오드의 내부 양자 효율을 향상시킬 수 있다.

[0054] 상기 금속 디스크층(420)은 상기 활성층(230)과 충분히 가까운 거리에 배치될 때, 에너지 결합(coupling)이 잘 일어날 수 있다. 이를 위하여, 종래의 기술은 제한적인 두께(~50nm)로 p형 질화갈륨층을 형성하여 전기적 특성이 저하되는 문제점이 있었다. 이에, 본원발명은 상기 p형 질화갈륨층(250)의 두께를 줄이지 않아 전기적 특성이 그대로 유지하면서도, 상기 p형 질화갈륨층(250)의 복수개의 홀을 형성하고, 상기 복수개의 홀 내부에 각각 금속 디스크층을 형성함으로써, 상기 금속 디스크층(420)과 상기 활성층(230)의 거리를 가깝게 유지할 수 있다.

[0055] 상기 금속 디스크층(420)은, 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 또는 이들의 조합 중에서 선택되는 적어도 어느 하나를 사용하여 형성하는 것일 수 있다. 이는, 상기 금속 디스크층(420)이 표면 플라즈몬을 생성하는 데에 적합한 금속일 수 있다. 상기 금속 디스크층(420)에 의해 생성되는 표면 플라즈몬은 금속 종류에 따라 공명을 일으키는 에너지가 다를 수 있다. 실시예에 따라, 상기 금속 디스크층(420)은 상기 금속들로 이루어진 단층 또는 다층으로 형성할 수 있다. 상기 금속 디스크층(420)은 얇고 편평한 디스크(disk)의 형상으로 형성한 것일 수 있다. 상기 금속 디스크층(420)의 두께는 50nm 내지 200nm로 형성할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0056] 상기 금속 디스크층(420)은 공지된 금속 증착방법을 통해 형성할 수 있다. 상기 금속 디스크층(420)은, 예를 들어, 플라즈마 레이저 증착 (Plasma Laser Deposition, PLD), 스퍼터링(Sputtering), 또는 전자빔 증착(E-beam Evaporation) 등의 방법을 통해 수행할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0057] 도 2e를 참조하면, 상기 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층(250), 활성층(230), 및 n형 질화갈륨층(210)의 일부를 메사식각하여 n형 전극(500)을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층(250) 및 상기 금속 디스크층(420)의 상단면에 p형 전극(600)을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0058] 실시예에 따라, 상기 p형 전극(600) 하면에 투명 전도성 산화물 또는 질화물로 이루어진 투명전극층을 형성할 수도 있다(미도시). 이는, 상기 p형 전극을 통하여 유입되는 전류의 확산을 위한 층일 수 있으며, 전도성이 뛰어난 ITO(Indium-Tin-Oxide), ZnO(ZinC Oxide), SnO₂(Tin-dioxide), 또는 TiO₂(Titanium-dioxide)을 사용하여 형성할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0059] 상기 단계 4)의 절연영역층이 형성된 홀의 내부를 충전하는 금속층을 형성하는 단계에서, 본 발명의 다른 실시예에 따라, 상기 금속층을 금속 디스크층 및 자성층이 순차적으로 적층된 형태로 형성할 수 있다. 즉, 상기 절연영역층이 형성된 홀의 내부에 금속 디스크층을 형성하고, 상기 금속 디스크층 상에 자성층을 형성하는 것일 수 있다. 여기서 상기 금속 디스크층 및 상기 자성층 모두 상기 절연영역층으로 둘러싸인 홀 내부에 형성하는 것일 수 있다.

[0060] 도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 다른 실시예에 따른 고효율 발광다이오드의 제조방법을 설명하기 위한 단면도들이다.

[0061] 도 4a를 참조하면, 앞서 도 2c에서 설명한 바와 같이, 기판(100) 상에, 언도프트 질화갈륨층(201), n형 질화갈륨층(210), 활성층(230), 및 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층(250)이 순차적으로 형성되어 있고, 상기 p형 질화갈륨층(250)의 복수개의 홀의 측면 및 하면에 형성된 절연영역층(300)으로 둘러싸인 홀의 내부에 금속 디스크층(425)을 형성할 수 있다. 이 때, 상기 금속 디스크층(425)은 앞서 도 2d에서 절연영역층(300) 내부를 모두 충전하는 형태로 형성하는 것과 달리, 상기 절연영역층(300) 내부에서, 일정 크기의 두께로 형성되는 것일 수 있다. 상기 금속 디스크층(425)의 두께는, 예를 들어, 50nm 내지 150nm로 형성하는 것일 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0062] 도 4b를 참조하면, 상기 절연영역층(300)이 형성된 홀의 내부에 일정 크기로 형성된 금속 디스크층(425) 상에 자성층(440)을 형성할 수 있다. 즉, 각각의 p형 질화갈륨층(250)의 복수개의 홀에 형성된 상기 절연영역층(300)

0)의 내부에 형성된 금속 디스크층(425) 상에 각각의 상기 자성층(440)을 형성하는 것일 수 있다. 이에, 본 발명의 다른 실시예에 따라 상기 절연영역층(300)이 형성된 p형 질화갈륨층(250)의 홀의 내부에 상기 금속 디스크층(425) 및 상기 자성층(440)이 순차적으로 적층된 형태의 금속층(400)을 형성할 수 있다. 상기 자성층(440)의 두께는, 예를 들어, 50nm 내지 150nm로 형성하는 것일 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0063] 상기 자성층(440)은 상기 활성층(230) 내에 불균일한 자기장을 인가하여 상기 활성층(230)의 양자 우물 내의 전하운반자들의 나선운동 분포를 증가시켜 발광다이오드의 내부 양자 효율을 향상시킬 수 있다. 상세하게는, 상기 자성층(440)에 의해 상기 기관(100)과 수직인 방향으로 자기장이 형성되면서, 상기 활성층(230)의 전하 운반자들인 전자와 정공은 상기 불균일한 자기장의 영향을 받아 로렌즈 힘에 의해 상기 기관(100)과 수평인 방향으로 이동할 수 있다. 상기와 같이, 상기 활성층(230) 내부를 전하 운반자들이 이동함에 따라 전자 및 정공의 재결합율이 높아지면서, 발광다이오드의 내부 양자 효율이 향상되는 것일 수 있다.

[0064] 상기 자성층(440)은 철(Fe), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 코발트(Co), 니켈(Ni), 망간(Mn), 크롬(Cr), 및 바나듐(V)족 원소 중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 자성물질을 사용하여 형성하는 것일 수 있다. 이는, 상기 자성층(440)이 불균일한 자기장을 인가하는 데에 적합한 금속일 수 있다. 상기 자성층(440)을 상기 금속 디스크층(425) 상에 증착하는 방법은, 예를 들어, 스퍼터링(sputtering), 또는 전자빔 증착(E-beam evaporation) 등의 방법을 통해 수행할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0065] 상기 자성층(440)은 패터화된 구조로 형성되며, 상기 패터화된 구조의 자성층은 하나 이상의 자성물질을 사용하여 형성하는 것일 수 있다. 상기 패터화된 구조의 자성층(440)은 규칙적 또는 불규칙적으로 분포된 도트(dot) 또는 다각형의 형태로 형성된 것일 수 있다. 또한, 상기 패터화된 구조는 일정한 두께로 형성된 단층 또는 연속적인 다층의 형태를 가질 수 있으며, 다층의 형태를 가지는 경우, 하나의 자성물질로 다층을 형성하거나, 또는 하나 이상의 자성물질을 사용하여 다층을 형성할 수 있다. 예를 들어, 청색 발광다이오드로 구성하는 경우, 상기 자성층(440)은 은(Ag)을 주로 포함하는 자성물질로 형성할 수 있으며, 녹색 발광다이오드로 구성하는 경우, 상기 자성층(440)은 금(Au)을 주로 포함하는 자성물질로 형성할 수 있고, 자외선(UV) 발광다이오드로 구성하는 경우, 상기 자성층(440)은 백금(Pt)을 주로 포함하는 자성물질로 형성할 수 있다.

[0066] 이와 같이, 패터화된 구조의 자성층(440)은 종래의 필름 형태의 자성층 보다 상기 활성층(230)의 전하운반자에게 더욱 불균일한 자기장을 인가할 수 있어, 전하운반자들의 나선 운동을 할 수 있는 영역을 확대시킬 수 있다. 이에, 패터화된 구조의 자성층(440)은 발광다이오드의 내부 양자 효율을 향상시킬 수 있다.

[0067] 도 4c를 참조하면, 상기 복수개의 홀을 가진 p형 질화갈륨층(250), 활성층(230), 및 n형 질화갈륨층(210)의 일부를 메사식각하여 n형 전극(500)을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 p형 질화갈륨층(250) 및 상기 자성층(440)의 최상단면 상에 p형 전극(600)을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0068] 상기와 같이, 본원발명의 제조방법은 p형 질화갈륨층의 홀의 측면 및 하면에 형성된 절연영역층의 내부에 표면 플라즈몬 생성시킬 수 있는 금속 디스크층 또는/ 및 활성층의 전하운반자들에게 불균일한 자기장을 인가할 수 있는 자성층으로 이루어진 금속층을 질화갈륨층 내에 형성함으로써, 발광다이오드의 내부 양자 효율을 더욱 증가시킬 수 있고, 이에 고효율 발광다이오드를 제공할 수 있다. 또한, 본원발명의 제조방법은 종래의 금속 나노 입자의 질화갈륨층 삽입으로 인해 질화갈륨층의 박막질이 저하되거나, 누설전류가 발생하는 문제점을 보완할 수 있어, 수직형 구조(Vertical structure)의 발광다이오드 뿐만 아니라, 플립칩 구조(Flip-chip structure), 또는 수평형 구조(Lateral structure)의 발광다이오드 등 다양한 분야에 적극 활용될 수 있다.

[0069] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자

에게 자명한 것이다.

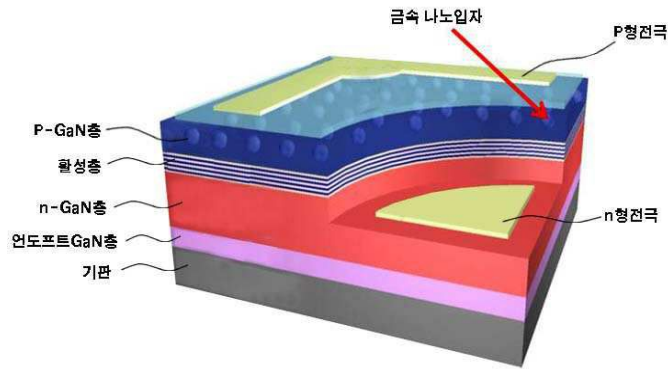
부호의 설명

[0070]

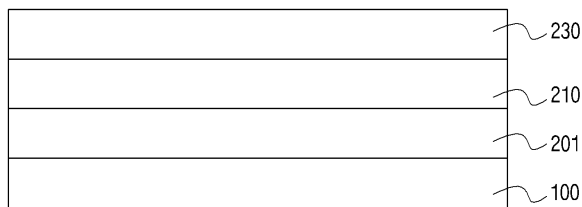
- 100: 기판 201: n형 질화갈륨층
- 210: 언도프트 질화갈륨층 230: 활성층
- 250, 252, 254: p형 질화갈륨층 300: 절연영역층
- 400: 금속층 420, 425: 금속 디스크층
- 440: 자성층 500: n형 전극
- 600: p형 전극

도면

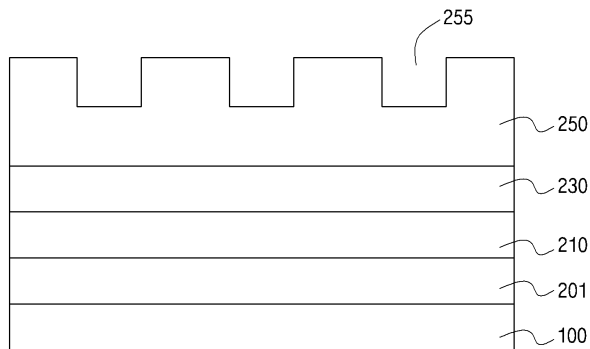
도면1



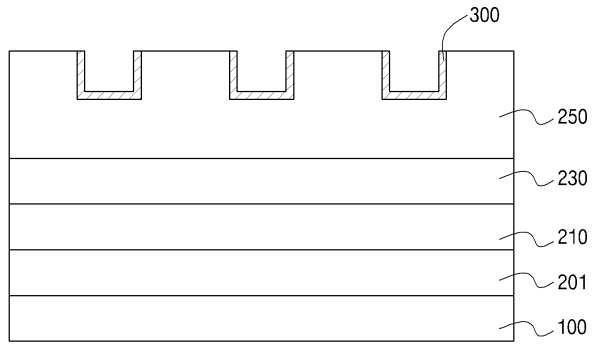
도면2a



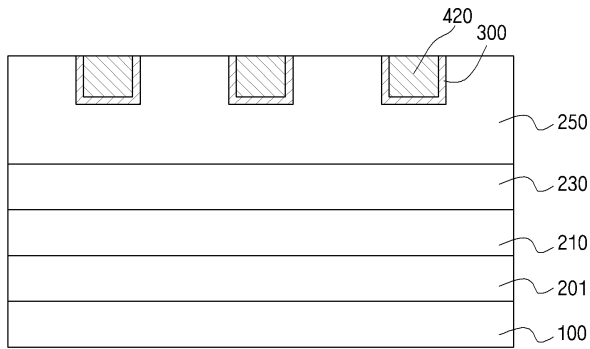
도면2b



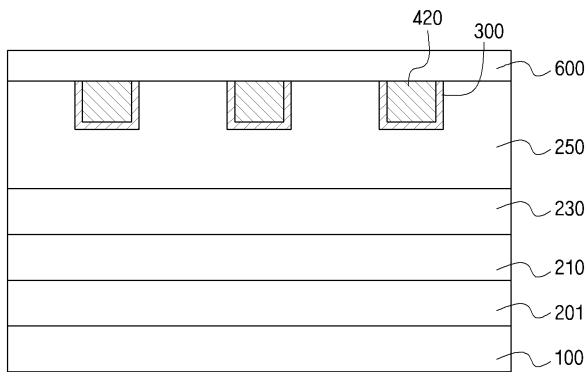
도면2c



도면2d



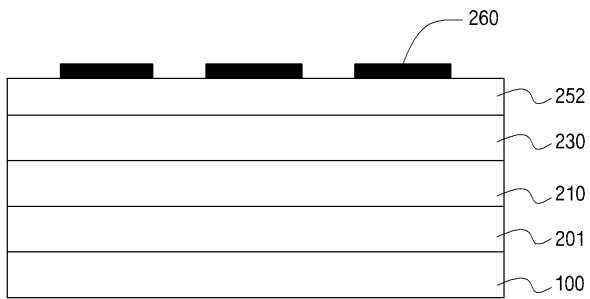
도면2e



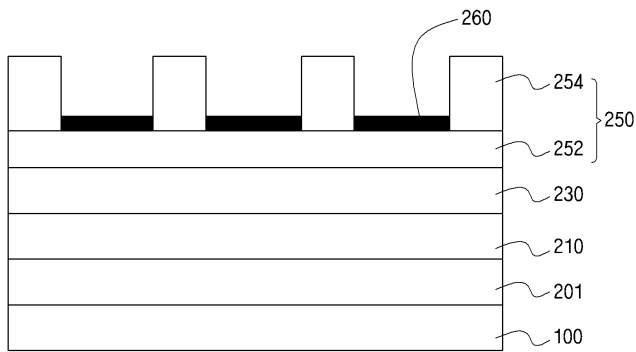
도면3a



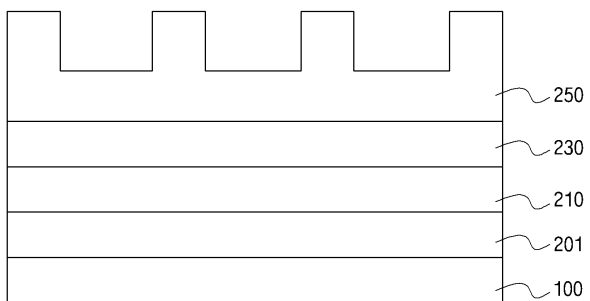
도면3b



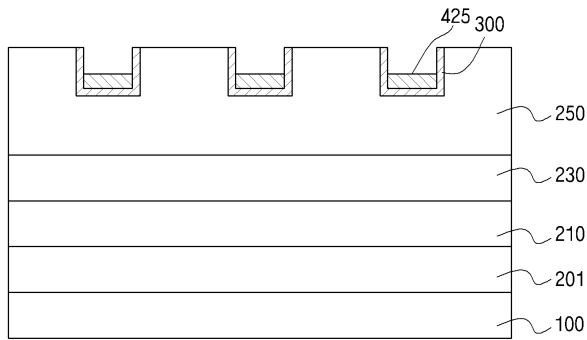
도면3c



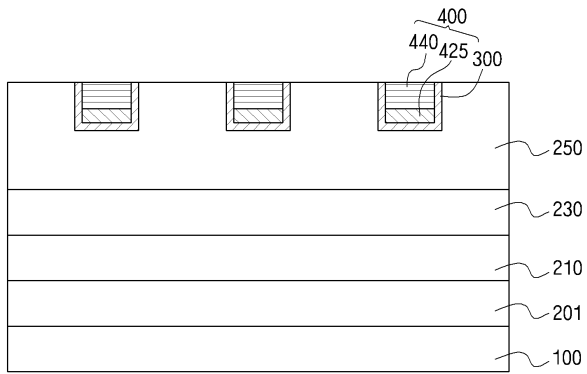
도면3d



도면4a



도면4b



도면4c

