



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0127472
 (43) 공개일자 2018년11월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/24 (2010.01) *H01L 33/00* (2010.01)
H01L 33/44 (2010.01) *H01L 33/52* (2010.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 33/24 (2013.01)
H01L 33/0008 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7031728
- (22) 출원일자(국제) 2017년04월05일
 심사청구일자 2018년10월31일
- (85) 번역문제출일자 2018년10월31일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2017/014238
- (87) 국제공개번호 WO 2017/195507
 국제공개일자 2017년11월16일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2016-095537 2016년05월11일 일본(JP)

- (71) 출원인
니기소 가부시키키가이샤
 일본국 도쿄도 시부야구 에비스 4-20-3
- (72) 발명자
사카이 하루히토
 일본, 9240004 이시카와 하쿠산-시,
 아사히가오카, 1-5-1, 씨/오 니기소 기켄 코., 리
 미티드
니와 노리타카
 일본, 9240004 이시카와 하쿠산-시,
 아사히가오카, 1-5-1, 씨/오 니기소 코., 리미티
 드
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
허용특

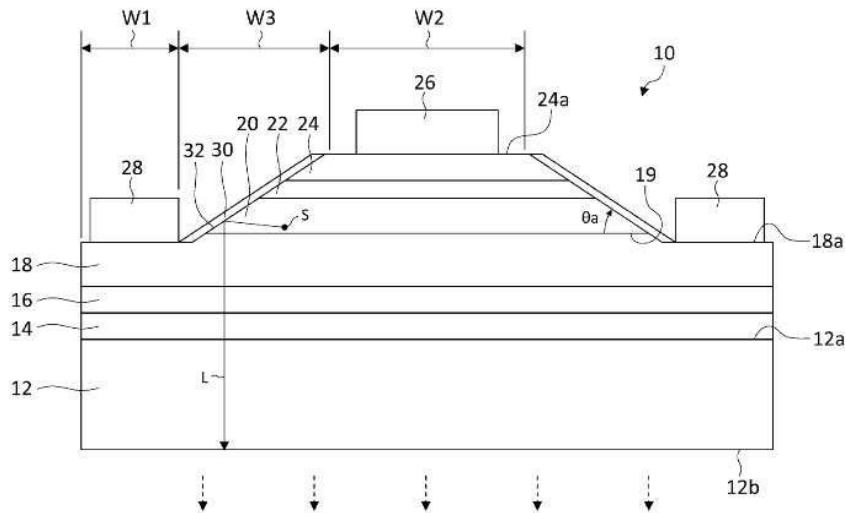
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 심자의 발광 소자

(57) 요약

심자의 발광 소자(10)는, 광추출면(12b); 광추출면(12b) 상에 마련되는 n형 반도체층; n형 반도체층 상에 마련되고, 밴드갭이 3.4eV 이상인 활성층(20); 및 활성층(20) 상에 마련되는 p형 반도체층을 구비한다. 활성층(20)이 발광하는 심자의 광은, 광추출면(12b)으로부터 외부로 출력된다. 활성층(20)의 측면(32)은, n형 반도체층과 활성층(20)의 계면(19)에 대해 경사지고, 그 경사각이 15도 이상 50도 이하이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 33/32 (2013.01)

H01L 33/44 (2013.01)

H01L 33/52 (2013.01)

(72) 발명자

이나즈 테츠히코

일본, 9240004 이시카와 하쿠산-시, 아사히가오카,
1-5-1, 씨/오 니기소 기켄 코., 리미티드

페르노 시릴

일본, 9240004 이시카와 하쿠산-시, 아사히가오카,
1-5-1, 씨/오 니기소 기켄 코., 리미티드

명세서

청구범위

청구항 1

광추출면;

상기 광추출면 상에 마련되는 n형 반도체층;

상기 n형 반도체층 상에 마련되고, 밴드갭이 3.4eV 이상인 활성층; 및

상기 활성층 상에 마련되는 p형 반도체층을 구비하고,

상기 활성층이 발광하는 심자외광은, 상기 광추출면으로부터 외부로 출력되고,

상기 활성층의 측면은, 상기 n형 반도체층과 상기 활성층의 계면에 대해 경사지고, 그 경사각이 15도 이상 50도 이하인 것을 특징으로 하는 심자외 발광 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광추출면을 갖는 사파이어 기판을 구비하고,

상기 n형 반도체층, 상기 활성층 및 상기 p형 반도체층은 AlGaIn계의 반도체층인 것을 특징으로 하는 심자외 발광 소자.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 활성층의 측면을 피복하고, 상기 활성층이 발광하는 심자외광에 대해 투명한 보호층을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 심자외 발광 소자.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 활성층의 측면의 경사각(θ_a)은, 상기 활성층의 굴절률(n_1)을 사용하여, 하기 식의 관계를 만족하는 것을 특징으로 하는 심자외 발광 소자.

[수학식 1]

$$\theta_a < \frac{\pi/2 + \sin^{-1}(1/n_1)}{2}$$

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 활성층의 측면의 경사각은, 20도 이상 40도 이하인 것을 특징으로 하는 심자외 발광 소자.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은, 심자외 발광 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

[0002] 최근, 청색광을 출력하는 발광 다이오드나 레이저 다이오드 등의 반도체 발광 소자가 실용화되어 있고, 더욱이 파장이 짧은 심자외광을 출력하는 발광 소자의 개발이 진행되고 있다. 심자외광은 높은 살균 능력을 갖기 때문에, 심자외광의 출력이 가능한 반도체 발광 소자는, 의료나 식품 가공의 현장에 있어서의 무수한 살균용 광원으로 주목 받고 있다. 이와 같은 심자외광용의 발광 소자는, 기판 상에 차례로 적층되는 질화 알루미늄 갈륨 (AlGaIn)계의 n형 클래드층, 활성층, p형 클래드층 등을 구비한다.

[0003] 심자외 발광 소자에서는, 예를 들면, p형 클래드층 상의 제1영역에 p 전극이 형성되고, 제1영역과 상이한 제2영역에서 활성층 및 p형 클래드층을 제거하여 n형 클래드층이 노출되고, 제2영역의 n형 클래드층 상에 n 전극이 형성된다. 활성층이 발광하는 심자외광은, 기판의 광추출면으로부터 출력된다(예를 들면, 특허문헌 1 참조).

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 일본국특허 제5594530호 공보

비특허문헌

[0005] (비특허문헌 0001) Applied Physics Letters 84, 5264(2004)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] AlGaIn을 사용하는 심자외 발광 소자에서는, AlN 조성비에 따라 AlGaIn 결정의 광학 특성이 변화하고, 그 특유의 편광 특성에 기인하여 광추출 효율이 저하되는 과제가 지적되고 있다(예를 들면, 비특허문헌 1 참조). 특히, 활성층의 AlN 조성비를 높여 더욱 단파장의 심자외광을 출력 가능한 구성으로 한 경우, 활성층의 계면을 따른 방향으로 전파하는 광성분이 증가하고, 활성층의 계면과 교차하는 방향으로 전파하여 기판의 광추출면으로부터 외부로 취출 가능한 광량이 저하되어버린다.

[0007] 본 발명은 이와 같은 과제를 해결하기 위한 것으로서, 그 예시적인 일 목적은, 심자외 발광 소자의 광추출 효율을 향상시키는 기술을 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 심자외 발광 소자는, 광추출면; 광추출면 상에 마련되는 n형 반도체층; n형 반도체층 상에 마련되고, 밴드갭이 3.4eV 이상인 활성층; 및 활성층 상에 마련되는 p형 반도체층을 구비한다. 활성층이 발광하는 심자외광은, 광추출면으로부터 외부로 출력된다. 활성층의 측면은, n형 반도체층과 활성층의 계면에 대해 경사지고, 그 경사각이 15도 이상 50도 이하이다.

[0009] 이 실시예에 의하면, 활성층의 측면을 경사시키는 것에 의해, 활성층의 계면을 따른 방향으로 전파하는 심자외광을 활성층의 측면에 의해 반사시켜, 활성층의 계면과 교차하는 방향으로 전파 방향을 변화시킬 수 있다. 특히, 측면의 경사각을 15도 이상 50도 이하로 하는 것에 의해, 활성층의 측면에 의해 반사된 심자외광의 전파 방향을 광추출면으로부터 외부로 출력 가능한 방향으로 변화시킬 수 있다. 이에 의해, 광추출면으로부터 출력되는 심자외광의 광량을 증가시켜, 광추출 효율을 향상시킬 수 있다.

[0010] 광추출면을 갖는 사파이어 기판을 구비하고, n형 반도체층, 활성층 및 p형 반도체층은 AlGaIn계의 반도체층이어도 좋다.

[0011] 활성층의 측면을 피복하고, 활성층이 발광하는 심자외광에 대해 투명한 보호층을 더 구비해도 좋다.

[0012] 활성층의 측면의 경사각(θ_a)은, 활성층의 굴절률(n_1)을 사용하여, 하기 식의 관계를 만족해도 좋다.

수학식 1

$$\theta_a < \frac{\pi/2 + \sin^{-1}(1/n_1)}{2}$$

[0013]

[0014]

활성층의 측면의 경사각은, 20도 이상 40도 이하여도 좋다.

발명의 효과

[0015]

본 발명에 의하면, 심자의 발광 소자의 광추출 효율을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016]

도 1은 실시예에 따른 심자의 발광 소자의 구성을 개략적으로 나타내는 단면도이다.

도 2는 심자의 발광 소자의 제조 공정을 개략적으로 나타내는 단면도이다.

도 3은 심자의 발광 소자의 제조 공정을 개략적으로 나타내는 단면도이다.

도 4는 심자의 발광 소자의 제조 공정을 개략적으로 나타내는 단면도이다.

도 5는 심자의 발광 소자의 제조 공정을 개략적으로 나타내는 단면도이다.

도 6은 비교예에 따른 심자의 발광 소자의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 7은 실시예에 따른 심자의 발광 소자의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 8은 측면의 경사각과 광추출면으로부터의 광출력량의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 9는 실시예에 따른 심자의 발광 소자가 발휘하는 효과를 모식적으로 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017]

이하, 도면을 참조하면서, 본 발명을 실시예에 대해 상세하게 설명한다. 한편, 설명에 있어서 동일한 요소에는 동일한 부호를 부여하고, 중복되는 설명을 적절히 생략한다. 또한, 설명의 이해를 돕기 위해, 각 도면에 있어서의 각 구성 요소의 치수 비율은, 꼭 실제의 발광 소자의 치수 비율과 일치하지 않는다.

[0018]

도 1은, 실시예에 따른 심자의 발광 소자(10)의 구성을 개략적으로 나타내는 단면도이다. 심자의 발광 소자(10)는, 기판(12), 제1베이스층(14), 제2베이스층(16), n형 클래드층(18), 활성층(20), 전자 블록층(22), p형 클래드층(24), p측 전극(26), n측 전극(28), 보호층(30)을 구비한다. 심자의 발광 소자(10)는, 중심 파장이 약 355nm 이하가 되는 "심자의외광"을 발광하도록 구성되는 반도체 발광 소자이다. 이와 같은 파장의 심자의외광을 출력하기 위해, 활성층(20)은, 밴드갭이 약 3.4eV 이상이 되는 질화 알루미늄 갈륨(AlGaIn)계 반도체 재료로 구성된다. 본 실시예에서는, 특히, 중심 파장이 약 310nm 이하의 심자의외광을 발광하는 경우에 대해 나타낸다.

[0019]

본 명세서에 있어서, "AlGaIn계 반도체 재료"란, 주로 질화 알루미늄(AIN)과 질화 갈륨(GaN)을 포함하는 반도체 재료를 말하고, 질화 인듐(InN) 등의 다른 재료를 함유하는 반도체 재료를 포함하는 것으로 한다. 따라서, 본 명세서에 말하는 "AlGaIn계 반도체 재료"는, 예를 들면, $In_{1-x-y}Al_xGa_yN$ ($0 \leq x+y \leq 1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)의 조성으로 나타낼 수 있고, AIN, GaN, AlGaIn, 질화 인듐 알루미늄(InAlIn), 질화 인듐 갈륨(InGaIn), 질화 인듐 알루미늄 갈륨(InAlGaIn)을 포함하는 것으로 한다.

[0020]

또한 "AlGaIn계 반도체 재료" 중, AIN을 실질적으로 포함하지 않는 재료를 구별하기 위해 "GaN계 반도체 재료"라고 하는 경우가 있다. "GaN계 반도체 재료"에는, 주로 GaN이나 InGaIn이 포함되고, 이들에 미량의 AIN을 함유하는 재료도 포함된다. 마찬가지로, "AlGaIn계 반도체 재료" 중, GaIn을 실질적으로 포함하지 않는 재료를 구별하기 위해 "AIN계 반도체 재료"라고 하는 경우가 있다. "AIN계 반도체 재료"에는, 주로 AIN이나 InAlIn이 포함되고, 이들에 미량의 GaIn이 함유되는 재료도 포함된다.

[0021]

기판(12)은, 사파이어(Al_2O_3) 기판이다. 기판(12)은, 결정 성장면(12a)과, 광추출면(12b)을 구비한다. 결정 성

장면(12a)은, 예를 들면, 사파이어 기판의 (0001)면이고, 결정 성장면(12a) 상에 제1베이스층(14) 및 제2베이스층(16)이 적층된다. 제1베이스층(14)은, AlN계 반도체 재료로 형성되는 층이고, 예를 들면, 고온 성장시킨 AlN(HT-AlN)층이다. 제2베이스층(16)은, AlGaN계 반도체 재료로 형성되는 층이고, 예를 들면, 언도프드 AlGaN(u-AlGaN)층이다.

- [0022] 기판(12), 제1베이스층(14) 및 제2베이스층(16)은, n형 클래드층(18)으로부터 위의 층을 형성하기 위한 하지층(템플릿)으로서 기능한다. 또한 이 층은, 활성층(20)이 발광하는 심자외광을 외부로 취출하기 위한 광취출 기판으로서 기능하고, 활성층(20)이 발광하는 심자외광을 투과시킨다. 따라서, 활성층(20)이 발광하는 심자외광은 기판(12)의 광추출면(12b)으로부터 외부로 출력된다. 광추출면(12b)은, 평탄면이 아니고, 서브 마이크론 내지 서브 밀리 정도의 미소한 요철 구조가 형성된 텍스처면이어도 좋다. 광추출면(12b)에 텍스처 구조를 형성하는 것에 의해, 광추출면(12b)에 있어서의 반사 내지 전반사를 억제하여 광취출 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0023] n형 클래드층(18)은, 제2베이스층(16) 상에 마련되는 n형 반도체층이다. n형 클래드층(18)은, n형의 AlGaN계 반도체 재료로 형성되고, 예를 들면, n형의 불순물로서 실리콘(Si)이 도핑되는 AlGaN층이다. n형 클래드층(18)은, 활성층(20)이 발광하는 심자외광을 투과시키도록 조성비가 선택되고, 예를 들면, AlN의 몰분율이 40% 이상, 바람직하게는, 50% 이상이 되도록 형성된다. n형 클래드층(18)은, 활성층(20)이 발광하는 심자외광의 파장보다 큰 밴드갭을 갖고, 예를 들면, 밴드갭이 4.3eV 이상이 되도록 형성된다. n형 클래드층(18)은, 100nm~300nm 정도의 두께를 구비하고, 예를 들면, 200nm 정도의 두께를 구비한다.
- [0024] n형 클래드층(18)의 제1영역(W1) 상에는 n축 전극(28)이 형성된다. n형 클래드층(18)의 제1영역(W1)과는 상이한 영역(제2영역(W2) 및 제3영역(W3)) 상에는 활성층(20)이 형성된다.
- [0025] n축 전극(28)은, n형 클래드층(18) 상에 마련되고, 제1영역(W1)에 형성된다. n축 전극(28)은, 예를 들면, 티타늄(Ti)/Al/Ti/Au의 적층 구조에 의해 형성된다. 각 금속층의 두께는, 예를 들면, 제1의 Ti층이 20nm 정도이고, Al층이 100nm 정도이고, 제2의 Ti층이 50nm 정도이고, Au층이 100nm 정도이다.
- [0026] 한편, n형 클래드층(18)과 n축 전극(28)의 접촉 저항을 낮추기 위해, n형 클래드층(18)과 n축 전극(28) 사이에 n형 컨택트층이 마련되어도 좋다. n형 컨택트층은, n형 클래드층(18)보다 Al 함유율이 낮아지도록 조성비가 선택되는 n형의 AlGaN계 반도체 재료 또는 GaN계 반도체 재료로 구성되어도 좋다. n형 컨택트층은, AlN의 몰분율이 20% 이하인 것이 바람직하고, AlN의 몰분율이 10% 이하인 것이 더욱 바람직하다.
- [0027] 활성층(20)은, n형 클래드층(18) 상에 마련된다. 활성층(20)은, AlGaN계 반도체 재료로 형성되고, n형 클래드층(18)과 전자 블록층(22)에 끼워져 더블 헤테로 접합 구조를 구성한다. 활성층(20)은, 단층 혹은 다층의 양자 우물 구조를 구성해도 좋다. 이와 같은 양자 우물 구조는, 예를 들면, n형의 AlGaN계 반도체 재료로 형성되는 배리어층과, 언도프드 AlGaN계 반도체 재료로 형성되는 우물층을 적층시키는 것에 의해 형성할 수 있다. 활성층(20)은, 파장 355nm 이하의 심자외광을 출력하기 위해 밴드갭이 3.4eV 이상이 되도록 구성되고, 예를 들면, 파장 310nm 이하의 심자외광을 출력할 수 있도록 조성비가 선택된다.
- [0028] 전자 블록층(22)은, 활성층(20) 상에 마련되는 p형 반도체층이다. 전자 블록층(22)은, p형의 AlGaN계 반도체 재료로 형성되는 층이고, 예를 들면, Mg 도핑된 AlGaN층이다. 전자 블록층(22)은, 활성층(20), p형 클래드층(24)보다 AlN의 몰분율이 높아지도록 조성비가 선택되고, 예를 들면, AlN의 몰분율이 40% 이상, 바람직하게는, 50% 이상이 되도록 형성된다. 전자 블록층(22)은, AlN의 몰분율이 80% 이상이 되도록 형성되어도 좋고, 실질적으로 GaN을 포함하지 않는 AlN계 반도체 재료로 형성되어도 좋다. 전자 블록층(22)은, 1nm~10nm 정도의 두께를 구비하고, 예를 들면, 2nm~5nm 정도의 두께를 구비한다.
- [0029] p형 클래드층(24)은, 전자 블록층(22) 상에 마련되는 p형 반도체층이다. p형 클래드층(24)은, p형의 AlGaN계 반도체 재료로 형성되는 층이고, 예를 들면, Mg 도핑된 AlGaN층이다. p형 클래드층(24)은, 활성층(20)보다 AlN의 몰분율이 높고, 전자 블록층(22)보다 AlN의 몰분율이 낮아지도록 조성비가 선택된다. p형 클래드층(24)은, 300nm~700nm 정도의 두께를 구비하고, 예를 들면, 400nm~600nm 정도의 두께를 구비한다.
- [0030] p축 전극(26)은, p형 클래드층(24) 상에 마련되고, 제2영역(W2)에 형성된다. p축 전극(26)은, p형 클래드층(24)과의 사이에서 오픈접촉을 실현할 수 있는 재료로 형성되고, 예를 들면, 니켈(Ni)/금(Au)의 적층 구조에 의해 형성된다. 각 금속층의 두께는, 예를 들면, Ni층이 60nm 정도이고, Au층이 50nm 정도이다.
- [0031] 한편, p형 클래드층(24)과 p축 전극(26)의 접촉 저항을 낮추기 위해, p형 클래드층(24)과 p축 전극(26) 사이에 p형 컨택트층이 마련되어도 좋다. p형 컨택트층은, p형 클래드층(24)보다 Al 함유율이 낮아지도록 조성비가 선택되는 p형의 AlGaN계 반도체 재료 또는 GaN계 반도체 재료로 구성되어도 좋다. p형 컨택트층은, AlN의 몰분율

이 20% 이하인 것이 바람직하고, AlN의 몰분율이 10% 이하인 것이 더욱 바람직하다.

- [0032] 활성층(20), 전자 블록층(22) 및 p형 클래드층(24)은, 측면(32)(메사면)이 경사지도록 구성되어 있다. 이 경사진 측면(32)은, n측 전극(28)이 형성되는 제1영역(W1)과 p측 전극(26)이 형성되는 제2영역(W2) 사이의 제3영역(W3)에 위치한다. 측면(32)은, n형 클래드층(18)과 활성층(20)의 계면(19)에 대해 경사각(θ_a)을 갖도록 형성된다. 측면(32)을 경사시키는 것에 의해, 활성층(20)(예를 들면 점(S))이 발광하는 심자외광(L)을 측면(32)에 의해 반사시켜, 기관(12)의 광추출면(12b)을 향하도록 한다.
- [0033] 측면(32)의 경사각(θ_a)은, 15도 이상 50도 이하가 되도록 구성되고, 바람직하게는 20도 이상 40도 이하가 되도록 구성된다. 측면(32)의 경사각(θ_a)을 이와 같은 각도 범위로 설정하는 것에 의해, 광추출면(12b)으로부터 출력되는 심자외광의 광량을 증가시켜, 광추출 효율을 향상시킬 수 있다. 이와 같은 각도 범위가 바람직한 이유에 대해서는, 별도로 후술한다.
- [0034] 측면(32)은, 보호층(30)에 의해 피복된다. 보호층(30)은, 활성층(20)이 발광하는 심자외광에 대해 투명한 절연 재료로 구성된다. 보호층(30)으로서, 예를 들면, 산화 실리콘(SiO_2), 산질화 실리콘(SiON), 질화 실리콘(SiN), 산화 알루미늄(Al_2O_3), 질화 알루미늄(AlN) 등을 사용할 수 있다. 보호층(30)은, 심자외광에 대한 굴절률이 낮은 재료로 구성되는 것이 바람직하고, 상기 재료 중에서는 SiO_2 (굴절률 1.4)가 바람직하다. 보호층(30)의 굴절률을 낮게 하고, 활성층(20)과의 굴절률 차를 크게 하는 것에 의해, 측면(32)에 의해 전반사가 생기는 각도 범위를 크게 하여 측면(32)에서의 심자외광의 반사율을 향상시킬 수 있다. 또한, 보호층(30)에 투명 재료를 사용하는 것에 의해, 보호층(30)이 심자외광을 흡수하는 것에 의한 손실을 저감할 수 있다.
- [0035] 이어서, 도 2~도 5를 참조하면서 심자의 발광 소자(10)의 제조 방법에 대해 설명한다. 먼저, 도 2에 나타내는 바와 같이, 기관(12) 상에 제1베이스층(14), 제2베이스층(16), n형 클래드층(18), 활성층(20), 전자 블록층(22), p형 클래드층(24)을 차례로 적층시킨다. AlGaIn계 반도체 재료로 형성되는 제2베이스층(16), n형 클래드층(18), 활성층(20), 전자 블록층(22) 및 p형 클래드층(24)은, 유기 금속 화학 기상성장(MOVPE)법이나, 분자선 에피택시(MBE)법 등의 주지의 에피택셜 성장법을 사용하여 형성할 수 있다.
- [0036] 다음으로, 도 3에 나타내는 바와 같이, p형 클래드층(24) 상에 마스크층(40)을 형성한다. 마스크층(40)은, p형 클래드층(24)의 제2영역(W2) 및 제3영역(W3) 상에 형성된다. 마스크층(40)은, 제3영역(W3)에 있어서 소정의 경사각(θ_b)을 갖도록 형성된다. 마스크층의 경사각(θ_b)은, 레지스트를 노광하여 마스크 패턴을 형성한 후의 레지스트의 포스트 베이킹 온도를 제어하는 것에 의해 조절할 수 있다. 예를 들면, 레지스트의 포스트 베이킹 온도를 낮추는 것에 의해 마스크층(40)의 경사각(θ_b)을 크게 할 수 있고, 레지스트의 포스트 베이킹 온도를 높이는 것에 의해 마스크층(40)의 경사각(θ_b)을 작게 할 수 있다. 사용하는 레지스트의 재료에 따라 다르지만, 예를 들면, 포스트 베이킹 온도를 100°C~200°C 사이로 조정하는 것에 의해, 마스크층(40)의 경사각(θ_b)을 70도~20도 사이로 조정할 수 있다.
- [0037] 이어서, 도 4에 나타내는 바와 같이, 마스크층(40) 상으로부터 활성층(20), 전자 블록층(22) 및 p형 클래드층(24)을 에칭한다. 도 4에서는, 에칭전의 구조를 파선으로 나타내고, 에칭후의 구조를 실선으로 나타내고 있다. 마스크층(40) 및 각 반도체층은, 반응성 이온 에칭이나 플라즈마 등을 사용하여 드라이 에칭되어, 마스크층(40)의 경사각(θ_b)에 대응한 경사각(θ_a)을 갖는 측면(32)이 형성된다. 이 드라이 에칭 공정은, n형 클래드층(18)의 상면(18a)이 노출할 때까지 진행된다. n형 클래드층(18)의 상면(18a)은, n형 클래드층(18)과 활성층(20)의 계면(19)과 같은 높이가 되도록 형성되어도 좋고, 계면(19)보다 낮은 위치가 되도록 형성되어도 좋다. 후자의 경우, n형 클래드층(18)의 일부가 이 에칭 공정에 의해 제거되어도 좋다.
- [0038] 측면(32)의 경사각(θ_a)은, 마스크층(40)의 경사각(θ_b), 마스크층(40) 및 반도체층의 에칭 속도에 의해 결정된다. 예를 들면, 각 반도체층보다 마스크층(40)의 에칭 속도가 상대적으로 큰 경우, 측면(32)의 경사각(θ_a)은 마스크층(40)의 경사각(θ_b)보다 작아진다. 그 결과, 마스크층(40)의 경사각(θ_b)을 20도~70도의 범위로 조정하는 것에 의해, 측면(32)의 경사각(θ_a)을 15도~50도의 범위내로 조정할 수 있다. 한편, 경사각(θ_a)이 15도 미만인 되도록 균일한 측면(32)을 형성하는 것은 제조상 어려워, 균일한 경사각(θ_a)을 갖는 측면(32)을 형성하기 위해서는, 경사각(θ_a)을 15도 이상으로 할 필요가 있고, 20도 이상으로 하는 것이 바람직하다.
- [0039] 다음으로, p형 클래드층(24) 상에 남은 마스크층(40)을 제거한 후, 도 5에 나타내는 바와 같이, 보호층(30)이 형성된다. 보호층(30)은, 적어도, 활성층(20), 전자 블록층(22) 및 p형 클래드층(24)의 측면(32)을 피복하도록 마련된다. 보호층(30)은, 측면(32)에 의해 심자외광을 바람직하게 반사 내지 전반사할 수 있는 정도로 두껍게

형성되는 것이 바람직하고, 예를 들면, 20nm~300nm 정도의 두께로 할 수 있다.

- [0040] 보호층(30)은, 제1영역(W1) 및 제3영역(W3)에 마련한 마스크 상으로부터 형성하는 것에 의해, 측면(32) 상에 선택적으로 형성해도 좋다. 기타, n형 클래드층(18)의 상면(18a), 측면(32), p형 클래드층(24)의 상면(24a)의 전체면을 피복하도록 보호층을 형성한 후에, 제1영역(W1) 및 제3영역(W3)에 대응하는 부분을 제거해도 좋다. 후자의 경우, 예를 들면, 플라즈마 등을 사용한 드라이 에칭에 의해 보호층의 일부를 제거해도 좋고, 불화수소산(HF) 등을 사용한 습식 에칭에 의해 보호층의 일부를 제거해도 좋다.
- [0041] 이어서, 제1영역(W1)에 노출하는 n형 클래드층(18)의 상면(18a) 상에 n축 전극(28)이 형성되고, 제2영역(W2)에 노출하는 p형 클래드층(24)의 상면(24a) 상에 p축 전극(26)이 형성된다. 한편, n형 클래드층(18)의 상면(18a)에 n형 컨택트층을 형성하고, n형 컨택트층 상에 n축 전극(28)을 형성해도 좋다. 마찬가지로, p형 클래드층(24)의 상면(24a) 상에 p형 컨택트층을 형성하고, p형 컨택트층 상에 p축 전극(26)을 형성해도 좋다. 이상의 공정에 의해, 도 1에 나타내는 심자와 발광 소자(10)가 완성된다.
- [0042] 이어서, 본 실시예에 따른 심자의 발광 소자(10)가 발휘하는 효과에 대해 설명한다.
- [0043] 도 6은, 비교예에 따른 심자의 발광 소자의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이고, 측면(32)의 경사각(θ_a)이 70도인 경우의 광선 추적의 결과를 나타낸다. 도시되는 바와 같이, 측면(32)을 향하는 광선의 대부분이 보호층(30)의 외면(30a)으로부터 밖으로 누설되어 있고, 측면(32)에 반사된 후에 n형 클래드층(18)을 향하는 광선의 비율이 극히 작은 것을 알 수 있다. 이와 같이, 측면(32)의 경사각(θ_a)이 큰 경우에는, 측면(32)을 향하는 심자외광을 기관(12)의 광추출면(12b)으로부터 추출할 수 없다.
- [0044] 도 7은, 실시예에 따른 심자의 발광 소자의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이고, 측면(32)의 경사각(θ_a)이 30도인 경우의 광선 추적의 결과를 나타낸다. 도시되는 바와 같이, 측면(32)을 향하는 광선의 일부는 보호층(30)의 외면(30a)으로부터 밖으로 누설되지만, 측면(32)을 향하는 광선의 대부분은 측면(32) 또는 보호층(30)의 외면(30a)에서 반사되어, n형 클래드층(18)을 향하고 있다. 또한, n형 클래드층(18)과 활성층(20)의 계면(19)에 입사하는 광선의 입사각이 작기 때문에, 기관(12)의 광추출면(12b)에 의해 전반사되지 않고 외부로 추출할 수 있다. 이와 같이, 측면(32)의 경사각(θ_a)을 작게 하는 것에 의해, 측면(32)을 향하는 심자외광의 일부를 기관(12)의 광추출면(12b)으로부터 추출할 수 있다.
- [0045] 도 8은, 측면(32)의 경사각(θ_a)과 광추출면(12b)의 광출력량의 관계를 나타내는 그래프이다. 이 그래프는, 상술한 심자의 발광 소자(10)의 구조를 모방한 모델에 대해 광선 추적에 의한 시뮬레이션을 실행하고, 광추출면(12b)으로부터의 광출력량을 계산하여 구했다. 계산 모델로서, 400 μm 두께의 사파이어 기관(굴절률 1.83), 2 μm 두께의 AlN 베이스층(굴절률 2.1), 2 μm 두께의 n형 AlGaN층(굴절률 2.3), 500nm 두께의 활성층(굴절률 2.56)을 적층시켜, 활성층 상에 p형 반도체층을 모방한 전흡수체를 경계층으로서 배치했다. 활성층의 측면을 경사시켜, 경사면 상에 산화 실리콘층(굴절률 1.4)을 배치했다. 활성층의 측면의 경사각(θ_a)을 20도~90도의 범위에서 변화시키고, 사파이어 기관으로부터 출력되는 광출력량을 구했다. 그래프의 종축은, 경사각(θ_a)=70도일 때의 광출력량을 1로 한 상대값이다.
- [0046] 도시되는 바와 같이, 경사각(θ_a)이 60도~90도의 범위에서는, 광출력량이 상대적으로 낮은 한편, 경사각(θ_a)이 20도~50도의 범위에서는, 광출력량이 5%~8% 정도 증가한 것을 알 수 있다. 이 시뮬레이션 결과로부터, 활성층(20)의 측면(32)의 경사각(θ_a)을 50도 이하로 하는 것에 의해, 광추출 효율을 향상시킬 수 있는 것을 알 수 있다.
- [0047] 도 9는, 실시예에 따른 심자의 발광 소자(10)가 발휘하는 효과를 모식적으로 나타내는 도면이고, 활성층(20)으로부터 발생하는 심자외광이 전파하는 모습을 모식적으로 나타낸다. 이하, 본 도면을 참조하면서, 경사각(θ_a)이 50도 이하가 되는 경우에 광추출 효율을 향상시킬 수 있는 이유에 대해 고찰한다.
- [0048] 활성층(20)이 임의의 지점(S)에서 발생하는 심자외광은, 주로 n형 클래드층(18)과 활성층(20)의 계면(19) 또는 활성층(20)과 전자 블록층(22)의 계면을 향한다. n형 클래드층(18)과 활성층(20)의 계면(19)에 입사하는 심자외광의 일부는, 기관(12)의 광추출면(12b)을 향하여 전파하여, 광추출면(12b)으로부터 외부로 출력된다. 또한, 계면(19)에 입사하는 심자외광이 다른 일부는, 계면(19)에서 반사되어 활성층(20)의 내부를 전파하여, 측면(32)을 향한다.
- [0049] 이 때, 활성층(20)으로부터 발생하는 심자외광이 어느 방향으로 전파될지는, 주로 파원(S)에서의 출사 방향과 심자의 발광 소자(10)를 구성하는 각 층의 굴절률에 의해 결정된다. n형 클래드층(18)과 활성층(20)의 계면(1

9)에 입사하는 심자외광의 입사각을 θ_1 로 하고, 활성층(20)의 굴절률을 n_1 로 하면, $\theta_1 < \sin^{-1}(1/n_1) = \theta_{c1}$ 의 관계를 만족하는 심자외광이면, 광추출면(12b)으로부터 심자외 발광 소자(10)의 외부로 출력된다. 이 때의 임계각(θ_{c1})(이하, 제1임계각(θ_{c1})이라고도 한다)은, 활성층(20)이 AlGaIn계 반도체 재료이고, 굴절률(n_1)=2.4~2.6 정도이면, 제1임계각(θ_{c1})=22~25도 정도이다. 이 제1임계각(θ_{c1})보다 입사각(θ_1)이 작으면, 광추출면(12b)에서 전반사가 발생하지 않고 심자외광이 광추출면(12b)으로부터 밖으로 출력된다.

[0050] n형 클래드층(18)과 활성층(20)의 계면(19)에서는 전반사가 발생하기 때문에, 소정 범위의 입사각(θ_1)을 갖는 심자외광은, 계면(19)으로부터 n형 클래드층(18)으로 출력되지 않는다. AlGaIn계 반도체 재료의 굴절률은, AlN 조성비가 높을(즉, 밴드갭이 높을)수록 굴절률이 낮아지는 경향이 있고, AlN 조성비가 상대적으로 낮은 활성층(20)의 굴절률(n_1)보다 AlN 조성비가 상대적으로 높은 n형 클래드층(18)의 굴절률(n_2)쪽이 낮다. 예를 들면, AlN 조성비가 40% 이상인 n형 클래드층(18)이면, 그 굴절률(n_2)=2.2~2.3 정도이다. 이 값을 사용하면, 계면(19)에 있어서의 임계각(θ_{c2})(이하, 제2임계각(θ_{c2})이라고도 한다)은, $\theta_{c2} = \sin^{-1}(n_2/n_1) = 58\sim 73$ 도 정도가 된다.

[0051] 이상으로부터, 계면(19)에 입사하는 심자외광의 입사각(θ_1)이 제1임계각(θ_{c1})보다 작은 경우, 광선(L_0)으로 표시되는 바와 같이, 광추출면(12b)으로부터 밖으로 심자외광이 출력된다. 한편, 계면(19)에 입사하는 심자외광의 입사각(θ_1)이 제2임계각(θ_{c2})보다 큰 경우에는 계면(19)에서 전반사되어, 광선(L_1)으로 나타내는 바와 같이 측면(32)을 향한다. 이 때, 측면(32)에 입사하는 심자외광의 입사각(θ_2)은, 계면(19)에서의 입사각(또는 반사각)(θ_1)과 측면(32)의 경사각(θ_a)을 사용하여, 기하학적으로 $\theta_2 = |\theta_1 - \theta_a|$ 로 나타낼 수 있다.

[0052] 측면(32)에 의해 반사되는 심자외광은, 측면(32)의 경사각(θ_a)에 상응하여 방향을 바꾸고, 광선(L_2)으로 표시되는 바와 같이 계면(19)에 입사각(θ_3)으로 재입사한다. 또한, 광선(L_4)으로 표시되는 바와 같이, 측면(32)에 의해 반사되지 않고 보호층(30)을 투과하여, 보호층(30)의 외면(30a)에 의해 반사되는 심자외광도 동일한 입사각(θ_3)으로 계면(19)에 재입사한다. 이 때의 재입사각(θ_3)은, 계면(19)에서의 최초의 입사각(또는 반사각)(θ_1)과 측면(32)의 경사각(θ_a)을 사용하여, 기하학적으로 $\theta_3 = |\theta_1 - 2\theta_a|$ 로 나타낼 수 있다.

[0053] 이 때, 계면(19)으로의 재입사각(θ_3)이 상술한 제1임계각(θ_{c1})보다 작은 경우, 광선(L_3)으로 나타내는 바와 같이, 광추출면(12b)으로부터 밖으로 심자외광이 출력된다. 즉, $|\theta_1 - 2\theta_a| < \theta_{c1}$ 의 조건(이하, 광취출 조건이라고도 한다)을 만족시키는 최초의 입사각(θ_1)이 존재하는 경사각(θ_a)이면, 활성층(20)의 측면(32)을 향하는 심자외광을 광추출면(12b)으로부터 외부로 취출할 수 있게 된다. 이와 같은 경사각(θ_a)의 조건은, 이하의 식 (1)에 의해 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\theta_a < \frac{\pi/2 + \sin^{-1}(1/n_1)}{2}$$

[0054]

[0055] 상기 식 (1)의 우변을 굴절률(n_1)=2.4~2.6로서 계산하면, 56~58도 정도가 된다. 따라서, 이 상한각보다 경사각(θ_a)을 작게 하면, 상술한 광취출 조건을 만족하는 심자외광을 발생시킬 수 있고, 나아가, 경사각(θ_a)을 더욱 작게 하는 것에 의해, 광취출 조건을 만족하게 되는 입사각(θ_1)의 각도 범위를 넓힐 수 있다. 이상의 고찰로부터, 측면(32)의 경사각(θ_a)은, 50도 이하로 하는 것이 바람직하고, 40도 이하로 하는 것이 더욱 바람직하다고 할 수 있다. 예를 들면, 경사각(θ_a)=40도인 경우, 입사각(θ_1)이 63도 이상이 되는 심자외광, 즉, 계면(19)에 의해 전반사되는 심자외광의 대부분을 제1임계각(θ_{c1})보다 작은 재입사각(θ_3)으로 계면(19)에 입사시킬 수 있다.

[0056] 활성층(20)에서 발생하는 심자외광의 출력 방향은, 활성층(20)의 AlN 조성비에 따라 다르다. 특히 단파장의 심

자외광(310nm 이하)을 출력하기 위해 활성층(20)의 AlN 조성비를 높이면, 계면(19)에 대해 수직인 방향의 광성분이 감소하고, 계면(19)을 따른 방향의 광성분이 증가하는 경향이 있다. 본 실시예에 의하면, 측면(32)의 경사각(θ_a)을 적절히 설정하는 것에 의해, 계면(19)에 의해 반사 내지 전반사되어버리기 때문에 광추출면(12b)을 향할 수 없는 심자외광의 방향을 적절히 변화시킬 수 있다. 따라서, 본 실시예에 의하면, 특히 단파장의 심자외광을 출력하는 심자외 발광 소자(10)에 있어서, 광추출면(12b)으로부터의 광취출 효율을 향상시킬 수 있다.

[0057] 이상, 본 발명을 실시예를 바탕으로 설명했다. 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않고, 다양한 설계변경이 가능하고, 다양한 변형예가 가능하며, 또한 그러한 변형예도 본 발명의 범위에 포함되는 것은, 당업자에게 이해되는 바이다.

[0058] [산업상 이용가능성]

[0059] 본 발명에 의하면, 심자외 발광 소자의 광취출 효율을 향상시킬 수 있다.

부호의 설명

[0060] 10: 심자외 발광 소자

12: 기관

12b: 광추출면

18: n형 클래드층

19: 계면

20: 활성층

22: 전자 블록층

24: p형 클래드층

26: p층 전극

28: n층 전극

30: 보호층

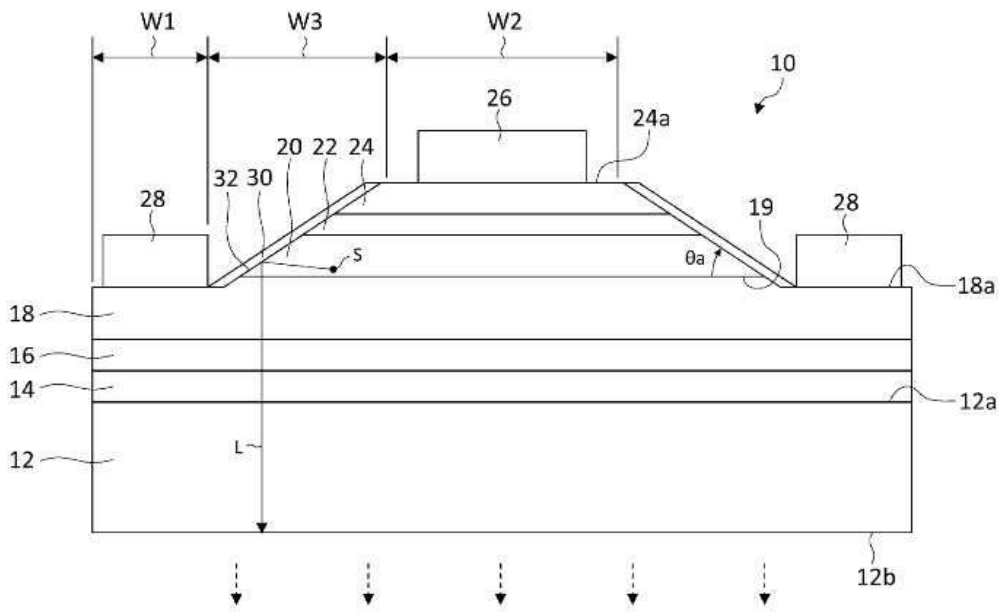
32: 측면

W1: 제1영역

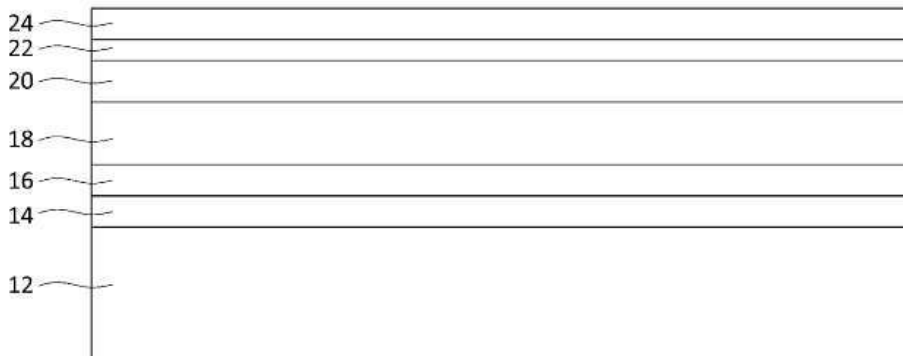
W2: 제2영역

도면

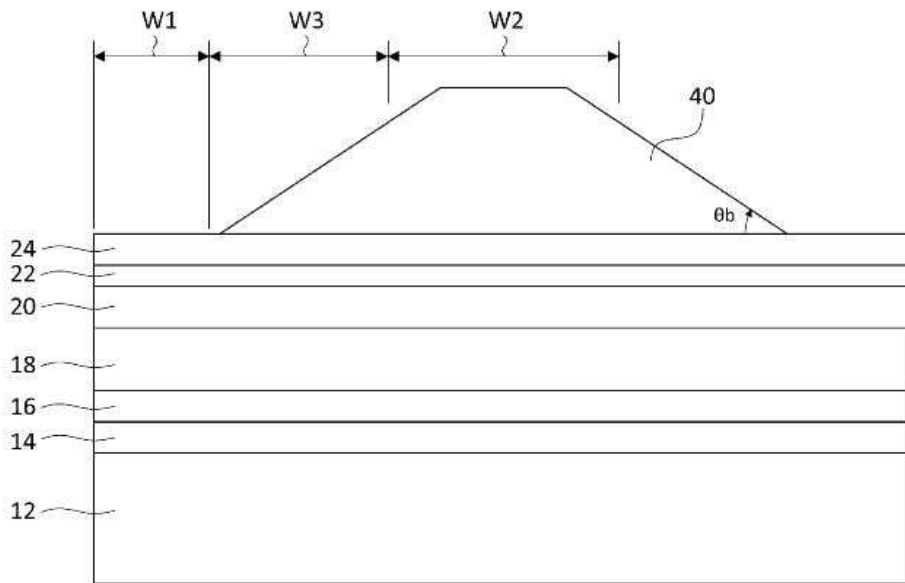
도면1



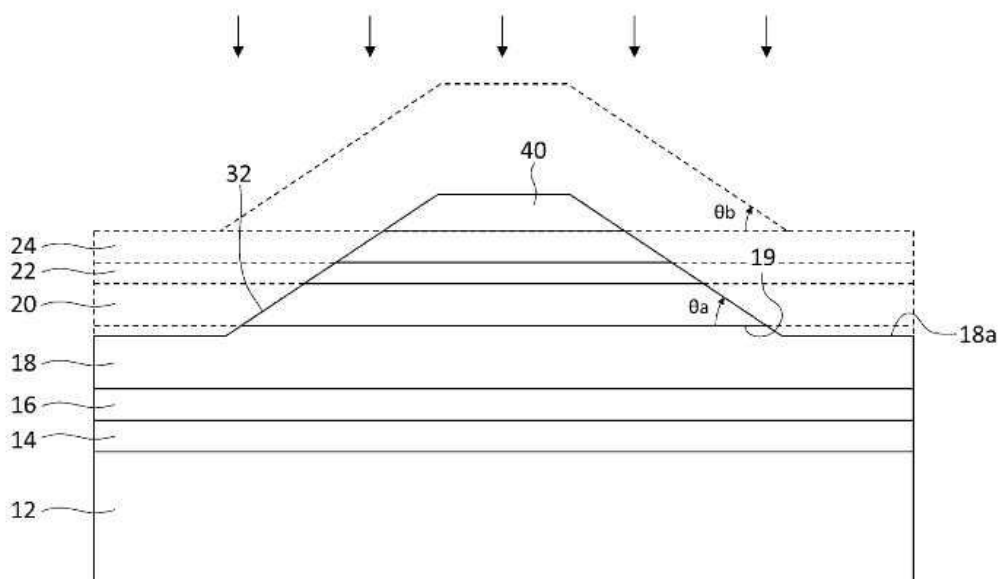
도면2



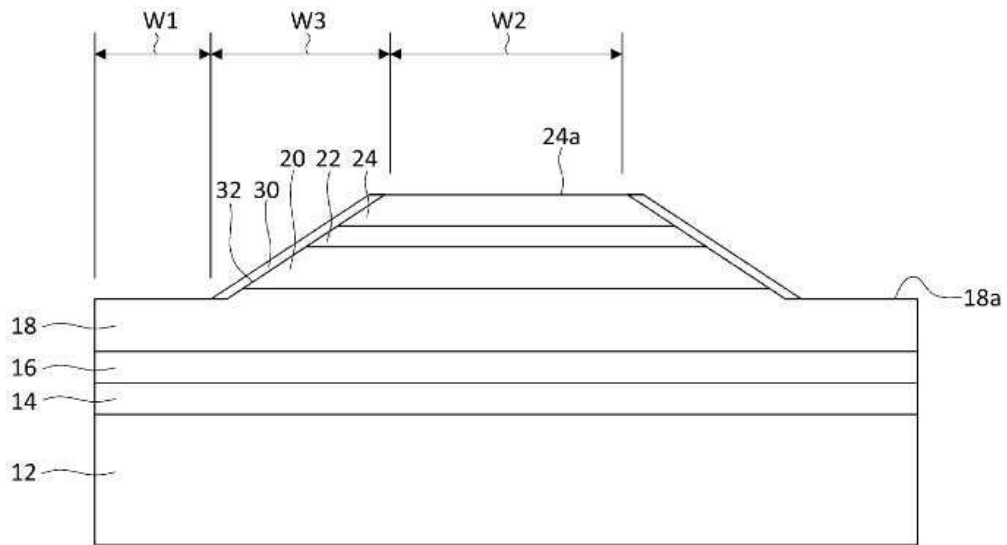
도면3



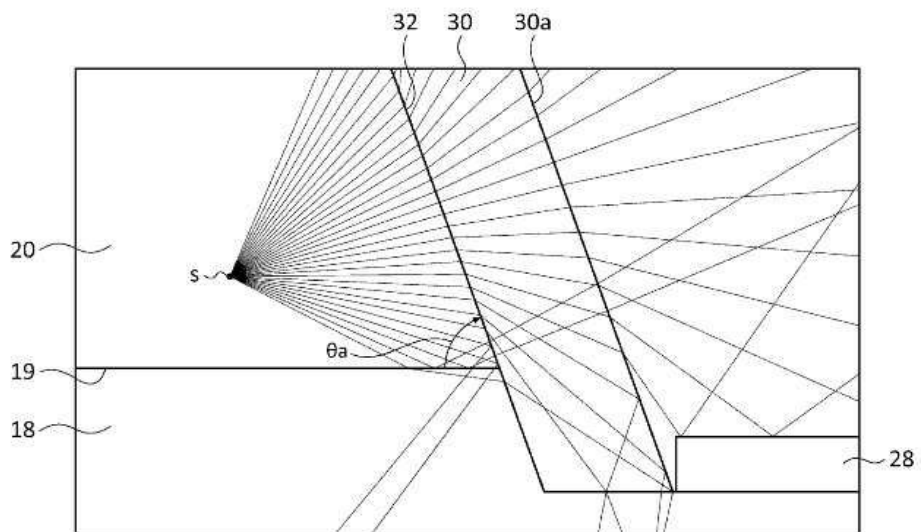
도면4



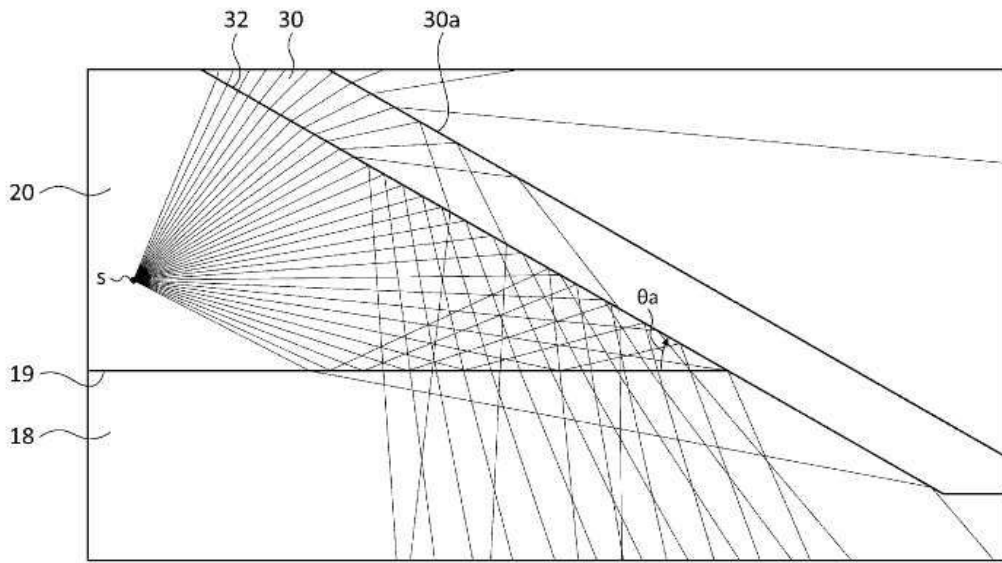
도면5



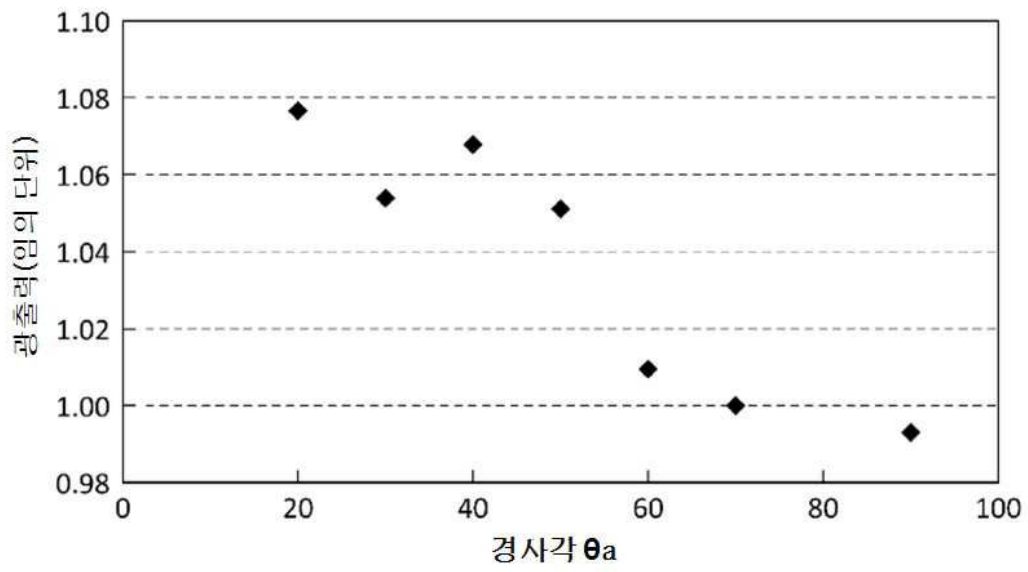
도면6



도면7



도면8



도면9

