



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년11월12일
(11) 등록번호 10-1459764
(24) 등록일자 2014년11월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/16 (2010.01) H01L 33/22 (2010.01)
(21) 출원번호 10-2008-0006073
(22) 출원일자 2008년01월21일
심사청구일자 2013년01월16일
(65) 공개번호 10-2009-0080218
(43) 공개일자 2009년07월24일
(56) 선행기술조사문헌
JP2007305998 A*
KR1020040075002 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
엘지이노텍 주식회사
서울특별시 중구 한강대로 416 (남대문로5가, 서울스퀘어)
(72) 발명자
김선경
서울특별시 서초구 바우피로 38, LG전자 전자기술원 (우면동)
(74) 대리인
서교준

전체 청구항 수 : 총 11 항

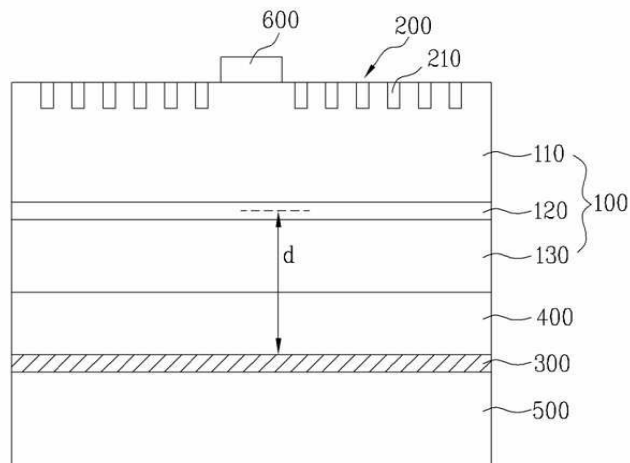
심사관 : 김동우

(54) 발명의 명칭 질화물계 발광 소자

(57) 요약

본 발명은 질화물계 발광 소자에 관한 것으로 특히, 발광 소자의 발광 효율과 신뢰성을 향상시킬 수 있는 질화물계 발광 소자에 관한 것이다. 이러한 본 발명은, 질화물계 발광 소자에 있어서, 반사층과; 상기 반사층 상에 위치하는 유전체층과; 상기 유전체층 상에 위치하며 발광층을 포함하는 반도체층과; 상기 반도체층 상에 형성된 광결정을 포함하여 구성되고, 상기 반사층으로부터 상기 발광층의 중심 사이의 거리는 $(2m + 1)\lambda/4n \pm \lambda/8n$ 이며, 상기 m은 0을 포함하는 자연수, λ 는 방출되는 빛의 파장, n은 반도체층의 굴절률인 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도10



특허청구의 범위

청구항 1

질화물계 발광 소자에 있어서,

반사층과;

상기 반사층 상에 위치하는 유전체층과;

상기 유전체층 상에 위치하며 발광층을 포함하는 반도체층과;

상기 반도체층 상에 형성된 광결정을 포함하여 구성되고,

상기 반사층으로부터 상기 발광층의 중심 사이의 거리는 $(2m + 1)\lambda/4n \pm \lambda/8n$ 이며, 상기 m은 0을 포함하는 자연수, λ 는 방출되는 빛의 파장, n은 반도체층의 굴절률인 것을 특징으로 하며,

상기 광결정은 상기 반도체층 상에 형성된 홀 패턴 또는 기둥구조를 포함하고,

상기 유전체층은

상기 반사층 상에 제1 투명 전도성 산화물층과, 상기 제1 투명 전도성 산화물층 상에 중간층과, 상기 중간층 상에 제2 투명 전도성 산화물층을 포함하며,

상기 중간층은 산화물 또는 질화물로 이루어지는 중간층 패턴을 포함하고,

상기 중간층 패턴 중 일부는 상기 광결정의 홀 패턴 또는 기둥구조와 같은 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 유전체층은, 오믹 전극인 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 유전체층은, 투명 전도성 산화물로 형성된 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 유전체층은, ITO(Indium-Tin-Oxide), IZO(Indium-Zinc-Oxide), AZO(Aluminum-Zinc-Oxide), MZO(Magnesium-Zinc-Oxide), GZO(Gallium-Zinc-Oxide) 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 발광층의 두께는 0.05λ 내지 $0.5 \lambda/n$ 인 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 반사층의 반사율은 50% 이상인 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 홀 패턴 또는 상기 기둥 구조의 직경은, 상기 광결정의 주기를 a라 할 때, $0.25a$ 내지 $0.45a$ 인 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 광결정의 주기는 $0.7 \mu m$ 내지 $5 \mu m$ 인 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 9

제 1항에 있어서, 상기 반사층은, Ag, Pt, 및 Al 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물계

발광 소자.

청구항 10

제 1항에 있어서, 상기 반사층은, 반도체 또는 금속으로 이루어지는 지지층 상에 위치하는 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

청구항 11

삭제

청구항 12

제 1항에 있어서,

상기 중간층 패턴 사이의 공간은 제3 투명 전도성 산화물이 채워지는 것을 특징으로 하는 질화물계 발광 소자.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 질화물계 발광 소자에 관한 것으로 특히, 발광 소자의 발광 효율과 신뢰성을 향상시킬 수 있는 질화물계 발광 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 발광 다이오드(Light Emitting Diode: LED)는 전류를 빛으로 변환시키는 잘 알려진 반도체 발광 소자로서, 1962년 GaAsP 화합물 반도체를 이용한 적색 LED가 상품화 된 것을 시작으로 GaP:N 계열의 녹색 LED와 함께 정보 통신기기를 비롯한 전자장치의 표시 화상용 광원으로 이용되어 왔다.

[0003] 이러한 LED에 의해 방출되는 광의 파장은 LED를 제조하는데 사용되는 반도체 재료에 따른다. 이는 방출된 광의 파장이 가전자대(valence band) 전자들과 전도대(conduction band) 전자들 사이의 에너지 차를 나타내는 반도체 재료의 밴드갭(band-gap)에 따르기 때문이다.

[0004] 질화 갈륨 화합물 반도체(Gallium Nitride: GaN)는 높은 열적 안정성과 폭넓은 밴드갭(0.8 ~ 6.2eV)을 가지고 있어, LED를 포함한 고출력 전자부품 소자 개발 분야에서 많은 주목을 받아왔다.

[0005] 이에 대한 이유 중 하나는 GaN이 타 원소들(인듐(In), 알루미늄(Al) 등)과 조합되어 녹색, 청색 및 백색광을 방출하는 반도체 층들을 제조할 수 있기 때문이다.

[0006] 이와 같이 방출 파장을 조절할 수 있기 때문에 특정 장치 특성에 맞추어 재료의 특징들에 맞출 수 있다. 예를 들어, GaN를 이용하여 광기록에 유익한 청색 LED와 백열등을 대체할 수 있는 백색 LED를 만들 수 있다.

[0007] 이러한 GaN 계열 물질의 이점들로 인해, GaN 계열의 LED 시장이 급속히 성장하고 있다. 따라서, 1994년에 상업적으로 도입한 이래로 GaN 계열의 광전자장치 기술도 급격히 발달하였다.

[0008] 일반적으로, 반도체 발광 다이오드(LED)의 총 발광효율은 내부양자효율과 외부추출효율로 나눌 수 있다.

[0009] 내부양자효율은 LED 소자를 구성하는 물질의 특성과 관련된 양으로, 성장 과정 중에 발생하는 반도체 물질 내의 결함 여부와 전류 주입의 효율성 등에 의해 정해진다.

[0010] 이에 반해 외부추출효율은 반도체 내에서 생성된 빛이 실제로 관찰하고자 하는 외부 매질까지 빠져나오는 효율을 일컫는 것으로, 아무런 구조적 변화가 도입되지 않는 경우 단순히 반도체와 외부 매질 사이의 굴절률 차이로 결정된다.

[0011] 결과적으로, 반도체 LED의 총 발광효율은 내부양자효율과 외부추출효율의 곱으로 나타낼 수 있으며, 고효율 반도체 LED 개발을 위해서는 이 두 효율을 동시에 개선하는 노력이 필요하다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0012] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 반사층과 빛이 발생하는 발광층 사이의 거리 조절을 통해 최적의 광 추출효율을 가질 수 있도록 하는 질화물계 발광 소자를 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

[0013] 상기 기술적 과제를 이루기 위한 것으로서, 본 발명은, 질화물계 발광 소자에 있어서, 반사층과; 상기 반사층 상에 위치하는 유전체층과; 상기 유전체층 상에 위치하며 발광층을 포함하는 반도체층과; 상기 반도체층 상에 형성된 광결정을 포함하여 구성되고, 상기 반사층으로부터 상기 발광층의 중심 사이의 거리는 $(2m + 1)\lambda / 4n \pm \lambda / 8n$ 이며, 상기 m 은 0을 포함하는 자연수, λ 는 방출되는 빛의 파장, n 은 반도체층의 굴절률인 것을 특징으로 한다. 상기 광결정은 상기 반도체층 상에 형성된 홀 패턴 또는 기둥구조를 포함할 수 있다. 상기 유전체층은 상기 반사층 상에 제1 투명 전도성 산화물층과, 상기 제1 투명 전도성 산화물층 상에 중간층과, 상기 중간층 상에 제2 투명 전도성 산화물층을 포함할 수 있다. 상기 중간층은 산화물 또는 질화물로 이루어지는 중간층 패턴을 포함할 수 있다. 상기 중간층 패턴 중 일부는 상기 광결정의 홀 패턴 또는 기둥구조와 같은 패턴을 포함할 수 있다. 상기 중간층 패턴 사이의 공간은 제3 투명 전도성 산화물이 채워질 수 있다.

효 과

[0014] 본 발명은 다음과 같은 효과가 있는 것이다.

[0015] 발광 소자의 반사층과 빛이 발생하는 발광층 사이의 거리 조절을 통해 추출효율 향상과 출력의 방향성을 획득할 수 있고, 이러한 거리 조절은 반도체층과 유전체층의 증착을 이용하여 효율적으로 조절 가능하다.

[0016] 특히, 유전체층으로 전도성 산화물층을 도입하는 경우 증착 과정으로 두께가 조절이 가능하므로, 보강간섭 조건에 해당하는 거리를 맞추는 것이 상대적으로 용이하다.

[0017] 또한, 광결정의 식각 깊이에 따라 추출효율이 최대가 되는 최적 주기가 장주기 영역으로 이동하므로, 포토 리소 그래피를 이용한 광결정 구현이 용이해진다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참고하여 본 발명에 의한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0019] 본 발명이 여러 가지 수정 및 변형을 허용하면서도, 그 특정 실시예들이 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.

[0020] 층, 영역 또는 기판과 같은 요소가 다른 구성요소 "상(on)"에 존재하는 것으로 언급될 때, 이것은 직접적으로 다른 요소 상에 존재하거나 또는 그 사이에 중간 요소가 존재할 수도 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 표면과 같은 구성 요소의 일부가 '내부(inner)'라고 표현된다면 이것은 그 요소의 다른 부분들 보다도 소자의 외측으로부터 더 멀리 있다는 것을 의미한다고 이해할 수 있을 것이다.

[0021] 나아가 '아래(beneath)' 또는 '중첩(overlies)'과 같은 상대적인 용어는 여기에서는 도면에서 도시된 바와 같이 기판 또는 기준층과 관련하여 한 층 또는 영역과 다른 층 또는 영역에 대한 한 층 또는 영역의 관계를 설명하기 위해 사용될 수 있다.

[0022] 이러한 용어들은 도면들에서 묘사된 방향에 더하여 소자의 다른 방향들을 포함하려는 의도라는 것을 이해할 수 있을 것이다. 마지막으로 '직접(directly)'라는 용어는 중간에 개입되는 어떠한 요소가 없다는 것을 의미한다. 여기에서 사용되는 바와 같이 '및/또는'이라는 용어는 기록된 관련 항목 중의 하나 또는 그 이상의 어느 조합 및 모든 조합을 포함한다.

[0023] 비록 제1, 제2 등의 용어가 여러 가지 요소들, 성분들, 영역들, 층들 및/또는 지역들을 설명하기 위해 사용될 수 있지만, 이러한 요소들, 성분들, 영역들, 층들 및/또는 지역들은 이러한 용어에 의해 한정되어서는 안 된다는 것을 이해할 것이다.

[0024] 본 발명의 실시예들은 예를 들어, 사파이어(Al_2O_3)계 기판과 같은 비도전성 기판상에 형성된 질화갈륨(GaN)계 발광 소자를 참조하여 설명될 것이다. 그러나 본 발명은 이러한 구조에 한정되는 것은 아니다.

- [0025] 본 발명의 실시예들은 도전성 기판을 포함하여 다른 기판을 사용할 수 있다. 따라서 GaP 기판상의 AlGaInP 다이오드, SiC 기판상의 GaN 다이오드, SiC 기판상의 SiC 다이오드, 사파이어 기판상의 SiC 다이오드, 및/또는 GaN, SiC, AlN, ZnO 및/또는 다른 기판상의 질화물계 다이오드 등의 조합이 포함될 수 있다. 더구나 본 발명은 활성 영역은 다이오드 영역의 사용에 한정되는 것은 아니다. 또한 활성영역의 다른 형태들이 본 발명의 일부 실시예들에 따라서 사용될 수도 있다.
- [0026] 반도체 발광 소자(LED)의 추출효율은 빛이 발생하는 반도체 발광층과 최종적으로 빛을 관측하는 매질(공기 또는 에폭시) 사이의 굴절률 차이에 의하여 결정된다. 반도체 매질은 통상적으로 높은 굴절률($n > 2$)을 가지므로, 광 추출효율은 대개 수 %에 지나지 않는다.
- [0027] 예를 들어, 질화갈륨($n = 2.4$) 기반의 청색 발광 소자의 경우, 외부 물질을 에폭시($n = 1.4$)로 가정했을 때 발광 소자의 상층부를 통한 광 추출효율은 약 9% 정도에 불과하다. 이를 제외한 나머지 빛들은, 소자 내부에 전반사 과정에 의해 갇혀 있으면서, 양자우물 층과 같은 흡수층에 의해 소실된다.
- [0028] 이러한 반도체 발광 소자의 추출효율을 개선하기 위해서는 전반사 과정을 겪는 빛들을 외부로 추출할 수 있도록 구조를 변형해야 한다. 이러한 구조 변형 중 가장 단순한 방안은 굴절률이 높은 물질로 이루어진 반구(hemisphere)를 발광 소자 상층부에 덧씌우는 것이다.
- [0029] 입사각은 빛과 입사면 사이의 각이므로, 반구의 각 점에서는 입사각이 항상 수직이다. 굴절률이 다른 두 매질 사이의 투과율은 입사각이 수직일 때 가장 높으며, 모든 방향에 대해 전반사 각도는 더 이상 존재하지 않게 된다.
- [0030] 실제로, 반도체 발광 소자의 경우, 에폭시로 이루어진 반구를 씌우게 되는데, 이는 표면 보호의 역할뿐만 아니라 추출효율 향상에도 기여한다.
- [0031] 이러한 효과를 더 극명하게 이용하는 방법은, 도 1에서와 같이, 에폭시 층(1)과 반도체 소자(2) 사이에 굴절률이 반도체와 유사한 반구(3)를 추가적으로 도입하는 것이다. 이 경우, 도 2에서 도시하는 바와 같이, 추가로 도입한 반구의 굴절률이 반도체의 굴절률에 접근할수록 추출효율은 점점 증가한다.
- [0032] 이는 반도체 소자와 추가로 도입한 반구 사이의 임계각이 커졌기 때문이다. 가시광선 영역에서 흡수가 없고, 투명한 물질의 한 예로 TiO_2 를 제안할 수 있다. 가령, 이 물질로 이루어진 반구를 적색 발광 소자에 적용한다고 가정했을 때, 이론적으로 기존대비 약 3배 이상의 추출효율 향상을 얻을 수 있다.
- [0033] 굴절률이 높은 반구를 추가적으로 도입하는 방법은, 단순하면서도 아주 효과적인 방법이다. 그러나 이러한 방법을 적용하기 위해서는 높은 굴절률을 가지면서, 동시에 빛의 발광 파장 영역에서 흡수가 없는 투명한 물질을 찾아야 한다.
- [0034] 또한, 발광 소자를 충분히 덮을 수 있는 만큼의 크기를 가진 반구를 제작하고, 이 반구를 부착하는 작업은 난제가 될 수 있다.
- [0035] 결국, 발광 소자의 광 추출 효율 향상을 위해서는 필연적으로 전반사 각도에 해당하는 빛을 추출할 수 있는 구조적 장치가 필요하다는 결론에 이른다. 이 역할을 할 수 있는 구조는 광결정과 같은 광 추출 구조가 그 일례가 될 수 있다.
- [0036] 빛의 투과라는 현상을 운동의 관점에서 보자면, 빛이 굴절률이 서로 다른 물질을 이동하는 것이다. 역학에서의 물체 이동과 마찬가지로 빛의 이동에도 운동량 보존 법칙이 항상 뒤따른다.
- [0037] 빛의 경우, 운동량은 파수 벡터($k = 2\pi n/\lambda$)에 해당한다. 다시 말해, 빛이 서로 다른 매질을 이동할 때에는 경계면의 평면 방향 운동량 성분이 보존되어야 한다. 이를 전반사 현상에 대입하면 보다 명확하게 이해할 수 있다.
- [0038] 전반사 현상은 빛이 굴절률이 높은 매질에서 낮은 매질로 이동할 때 발생한다. 굴절률이 높은 매질 내에 속해 있는 빛은 이미 큰 운동량을 지니고 있으므로, 특정 입사 각도 이상에서는 굴절률이 낮은 매질 내에서 어떠한 각도를 가지더라도 가질 수 없는(평면 성분의) 운동량을 지니게 된다.
- [0039] 빛의 투과를 위해서는 평면 성분의 운동량이 보존되어야 하므로, 빛이 선택할 수 있는 길은 반사 과정밖에 없다. 여기서, 운동량을 보존할 수 없는 최소의 입사각도가 바로 임계각에 해당하는 것이다.
- [0040] 이때, 도 3 및 도 4에서 도시하는 바와 같이, 광결정과 같은 광 추출 구조(50; 이하 광결정을 예를 들어 설명한

다.)는 운동량을 보존할 수 없는 전반사 각도의 빛에 대해 자신의 주기성(periodicity)이 생성하는 운동량 성분을 더하거나 감하여, 외부로 추출할 수 있도록 도와주게 된다. 이는, 분광기에서 말하는 빛의 회절 원리와 동일하다. 즉, 광결정의 주기에 따라 운동량의 크기가 달라지고, 이에 따라 전반사 각도에 해당하는 빛의 회절 효율이 달라진다.

- [0041] 도 5는 일반적인 수직형 GaN 발광 소자에 광결정을 도입할 때, 빛의 진행 거리에 따른 추출 효율의 변화를 나타내는 그래프이다. 이 그래프에서, 광결정을 도입하지 않는 평면 구조의 경우, 임계각보다 작은 입사각도를 가진 빛들이 추출된 뒤, 더 이상 추출 효율 향상이 이루어지지 않고 있는 반면에, 광결정 구조가 있는 경우는 빛이 광결정 구조와 만날 때마다 추출 효율이 계속 상승하고 있음을 알 수 있다.
- [0042] 즉, 광결정은 전반사 각도에 해당하는 빛이라도 추출할 수 있으며, 매 산란 과정마다 일정의 확률을 가지고 추출되고 있음을 의미한다. 도 6은 상술한 바와 같이 광결정 주기에 따라 추출 효율이 변하는 양상을 나타내고 있다.
- [0043] 추출 효율을 극대화하는 최적 주기가 존재한다는 사실은 광결정을 통한 추출 효율 향상 효과가 빛의 회절 과정이라는 것을 반증한다.
- [0044] 광결정에 의한 빛의 추출 효율은 광결정의 주기 외에도 광결정을 이루는 패턴의 깊이, 패턴이 차지하는 면적(Filling factor; 패턴을 이루는 단위 구조가 차지하는 면적; 도 7a 및 도 7b), 광결정 격자 구조(도 8a 내지 도 8c) 등과 같은 구조 변수와도 밀접한 상관 관계가 있다.
- [0045] 즉, 도 7a에 비하여 도 7b가 Filling factor가 큼을 알 수 있다. 또한, 도 8a는 사각 격자, 도 8b는 삼각 격자, 그리고 도 8c는 아키메디언(Archimedean) 격자를 나타내고 있다. 그 외에 랜덤, 쿼지 크리스탈(Quasicrystal), 슈도 랜덤(Pseudorandom) 등의 다양한 광결정 격자 구조가 적용될 수 있다.
- [0046] 이와 같이, 반도체 발광 소자 내에서 높은 추출 효율 향상 효과를 얻기 위해서는 최적의 광결정 구조를 고안하고 적용하는 것이 매우 중요하다.
- [0047] 일반적으로 발광층과 고 반사율 금속 거울 사이에 떨어진 거리가 발광층에서 발생하는 빛의 파장보다 작게 되면, 발광층의 특성을 조절할 수 있다.
- [0048] 도 9a 내지 도 9d는 FDTD 전산모사에 의하여 빛을 생성하는 전기 쌍극자(electric dipole)가 완전 거울과 매우 가까운 위치에 있을 때 어떠한 현상이 발생할 수 있는지를 묘사하고 있다. 전기 쌍극자는 편광에 따라 특정 방향으로 진동하고 있는 전자를 뜻한다.
- [0049] 안테나 이론에 따르면, 전기 쌍극자에서 발생하는 빛은 전자의 진동 방향에 대해 수직 방향을 극대점으로 하는 방사 패턴을 가진다. 즉, 전기 쌍극자가 고반사율 거울이 존재하지 않는 단일 유전체 공간 내에 놓여 있는 경우, 도 9a 및 도 9c와 같이, 방사 패턴은 각 편광 방향과 수직 방향이 극대점이 되도록 분포한다.
- [0050] 그러나 전기 쌍극자 주변에 고 반사율 거울이 빛의 파장보다 가깝게 위치하면, 발광 특성이 극명하게 변한다. 전기 쌍극자와 거울 사이의 거리에 따라 때로는 수직 방향을 중심으로 빛이 집중되기도 하며, 때로는 거울의 표면을 따라 빛이 진행하기도 한다.
- [0051] 이에 착안하면, 처음부터 발광층인 양자우물 층으로부터 주로 수직 방향 성분의 빛을 생성하는 조건을 적용하여 광 추출효율을 높일 수도 있다. 또한, 도 9a 내지 도 9d에는 묘사되지 않았지만, 여기 상태에 있는 전자가 바닥 상태로 전이할 때까지 걸리는 시간인 자연 상수(t , 감쇠율은 t 의 역수에 해당됨)를 조절할 수 있다.
- [0052] 이와 같이, 발광층의 발광 특성을 조절할 수 있다는 것을 다시 정리하면 다음과 같이 크게 두 가지로 나눌 수 있다.
- [0053] 우선, 발광층에서 발생하는 빛과 금속 거울에서 반사된 빛 사이의 간섭 효과에 의해 출력 방사 패턴을 조절할 수 있다는 것이고, 또한, 발광층 내의 쌍극자(dipole)와 금속 거울에 의해 생성되는 거울 쌍극자(image dipole) 사이의 상호 작용을 통해 감쇠율을 조절할 수 있다.
- [0054] 첫 번째 특성은, 고전적인 빛의 간섭 현상으로 설명할 수 있다. 발광층 주위에 거울이 존재하지 않거나, 거울과 발광층 사이의 거리가 충분히 멀어 거울에 의한 간섭 효과를 무시할 수 있는 경우, 발광층에서 발생하는 빛은 모든 방향에 대해 동일한 계수를 가지고 있는 구면파(spherical wave)로 간주할 수 있다.
- [0055] 만약, 거울이 발광층에 근접해 방사 패턴을 조절할 수 있는 범위 내에 있다면, 수직 방향에 대해 보강 간섭이

일어나는 것이 추출효율 측면에서 유리하다.

- [0056] 도 10은 광 추출 효율이 극대화될 수 있는 수직형 발광 소자의 일례를 나타내고 있으며, 이러한 발광 소자의 구조는, 지지층(500) 상에 반사 전극(300)이 위치하고, 이러한 반사 전극(300) 상에는 투명 전도성 산화물과 같은 유전체층(400)이 위치하며, 이러한 유전체층(400) 상에 반도체층(100)이 위치한다.
- [0057] 또한, 반도체층(100)은 p-형 반도체층(130)과, 발광층(120), 및 n-형 반도체층(110)을 포함할 수 있다.
- [0058] 이와 같은 수직형 발광 소자의 예를 고려할 때, 발광층(120)과 거울(반사 전극 또는 반사형 오믹 전극; 300) 사이의 거리(d)는 p-형 GaN 반도체층(130) 및 유전체층(400)의 두께에 해당한다. 따라서, 전기 특성을 저하하지 않는 범위 내에서, 수직 방향의 방사 패턴이 형성되는 p-형 GaN 반도체층(130) 및 유전체층(400)의 두께를 선택하는 것이 필요하다.
- [0059] 발광 특성 조절과 관련된 두 번째 특성은 공진기 양자전자 동역학 분야와 관련이 깊다. 그러나 이러한 현상 역시 거울의 대칭성을 활용하면 정성적으로 감쇠율을 조절하는 원리를 쉽게 설명할 수 있다.
- [0060] 도 11은 거울(51) 표면 주위에 수직방향과 수평방향의 편광을 가지는 전기 쌍극자가 놓여 있는 모습을 도식화한 것이다. 전자기장 이론에 따르면, 전기장은 거울(51) 표면에서 항상 0이 되어야 한다.
- [0061] 이 원리를 이용하면, 거울(51) 주위에 전기 쌍극자가 놓여 있는 상황을 전기 쌍극자와 거울(51) 반대편의 같은 거리에 놓여 있는 거울 쌍극자의 조합으로 동일하게 구현할 수 있다.
- [0062] 가령, z 방향의 편광을 가지는 전기 쌍극자의 경우, 거울(51) 표면에서의 전기장 조건을 만족하기 위해 쌍극자 모멘트(dipole moment) 방향이 일치해야 한다. 따라서 이 전기 쌍극자는 거울(51)과의 거리가 가까워질수록 마치 2개의 쌍극자가 겹쳐지는 효과가 발생한다. 결국, 이는 감쇠율이 네 배 증가하는 효과를 유발한다.
- [0063] 반면에, 수평방향의 편광을 가지는 전기 쌍극자는 거울(51) 표면에서의 전기장 조건을 적용하였을 때, 항상 반대 방향의 거울 쌍극자를 유도한다. 따라서, 수평방향의 전기 쌍극자는 거울(51)에 접근할수록, 감쇠율이 0에 접근하게 된다.
- [0064] 도 12에서와 같이, FDTD 전산모사 상에서 거울과 발광층 사이의 거리를 조절하면서 출력 패턴 변화에 의한 추출 효율 증가분과 발광층의 감쇠율을 산술적으로 계산하였다. 이때, 거울은 100%의 반사율을 가지는 완전 거울로 가정하였으며, 발광층의 두께는 12.5 nm로 설정하였다.
- [0065] 먼저, 추출효율 증대비에 대한 결과를 살펴보면, 대략 빛의 $1/4$ 파장을 주기로 추출효율의 극대/극소점이 나타난다는 것을 알 수 있다. 이는 빛의 간섭 효과에 의해 방사 패턴이 변하며, 이에 따라 추출효율이 조절된다는 것을 알려주는 증거이다.
- [0066] 실제로, 극대점과 극소점에서의 방사 패턴을 관찰하면, 극대점인 경우 수직 방향으로 강한 방출이 일어나고 있는 반면에 극소점인 경우 수직 방향의 빛은 거의 존재하지 않고, 대부분의 빛이 임계각보다 큰 특정 각도로 기울어진 채 방출된다.
- [0067] 추출효율이 극대가 되는 조건은 발광층과 거울 사이의 간격이 대략 $3/4(\lambda/n)$ 일 때이고, 대략 $\lambda/4n$ 의 홀수배일 때, 추출효율이 커짐을 알 수 있다.
- [0068] 만약, 도 10에서 도시하는 바와 같이, p-형 반도체층(130)과 반사층(300) 사이에 유전체층(400; 투명 전극)이 위치한다면, 상황이 달라질 수 있다.
- [0069] 이러한 유전체층(400)은 전류 확산층 역할을 하는 ITO 층 또는 ITO와 일반적인 유전체의 조합으로 구성될 수 있다. 이때, 유전체층(400)은 ITO 층의 경우 굴절률은 대개 1.8 내지 2.0 사이이며, 이는 GaN의 굴절률(2.4)보다 작다.
- [0070] 도 13은 유전체층(400)이 ITO로 이루어지며, 이러한 ITO의 굴절률을 1.8로 가정하고, p-형 반도체층(130)의 두께를 100 nm라 할 때, ITO의 두께에 따라 추출 효율이 어떻게 달라지는지를 묘사하고 있다. 결과에 따르면, ITO의 두께가 대략 80 nm에 이를 때, 최대 추출효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- [0071] 추출효율의 최대값은 대략 1.5배까지로 유전체층(400)의 도입과 관계없이 거의 동일하다. 반면, 추출효율이 최대가 되는 반사층(300)과 발광층(120) 사이의 물리적 거리는 유전체층(400) 도입 이후 증가했다는 것을 알 수 있다.
- [0072] 즉, p-형 반도체층(130)만 있는 경우 대략 140 nm 까지가 최적거리였다면, ITO 층과 같은 유전체층(400)을 추가

적으로 도입하는 경우, 최적 거리는 p-형 반도체층(130)의 두께와 유전체층(400)의 두께를 더한 180 nm가 된다. 하지만, 두 조건 모두 광학적 거리로 환산하면 $3/4(\lambda/n)$ 를 만족한다는 것을 알 수 있다.

- [0073] 이와 같은 사항을 고려할 때, 반사층(300)과 발광층(120)의 중심 사이의 거리는 $(2m + 1)\lambda/4n \pm a$ 값을 가질 수 있으며, 이때, m 은 0을 포함하는 자연수이다. 여기에서 a 값은 반사층(300)의 종류에 따른 변동폭을 나타내며, 대략 $\lambda/8n$ 의 값을 가질 수 있다.
- [0074] 다만, 여기서 n 은 p-형 반도체층(130)을 이루는 GaN의 굴절률이 아닌 p-형 반도체층(130)과 유전체층(400)을 이루는 ITO의 굴절률과 두께를 고려하여 얻은 평균 굴절률에 해당한다.
- [0075] 이와 같이, p-형 반도체층(130)과 반사 전극(300) 사이에 굴절률이 작은 유전체층(400; ITO 층)이 위치할 때, 공정상의 이점은, 도 13의 결과에서 알 수 있듯이, 추출효율이 극대가 되는 유전체층(400) 두께 구간이 넓게 분포한다는 것이다.
- [0076] 거울간섭 효과를 이용하기 위해서는 거울(반사 전극; 300)과 발광층(120) 사이의 거리가 중요한데, p-형 반도체층(130) 두께 자체는 성장 조건의 최적화에 맞추어 이미 결정된 것이라 볼 수 있다.
- [0077] 그러나, 유전체층(400)으로서 낮은 굴절률의 ITO 층을 이용하면 간섭효과가 극대가 되는 조건을 공정상에서 용이하게 구현할 수 있다. 이는, ITO 층은 스퍼터(Sputter)와 같은 일반적인 증착 장비로 적용 가능하며, 두께 또한 미세하게 조절할 수 있기 때문이다.
- [0078] 도 14는 이러한 ITO 층이 없거나 두께가 각각 60 nm, 120 nm로 고정될 때, p-형 반도체층(130) 두께에 따른 추출효율의 변화를 나타낸 그래프이다. 결과에서 알 수 있듯이, ITO 층의 두께가 증가할수록 추출효율이 극대가 되는 p-형 반도체층(130)의 두께가 얇아지는 방향으로 이동한다. 이는, ITO 층과 p-형 반도체층(130)에 대한 광학적 두께의 합이 특정한 값을 만족할 때, 추출효율이 극대가 됨을 의미한다.
- [0079] 거울에 의한 간섭 효과를 수직형 GaN 발광 소자 구조에 실제 적용하기 위해서는 전산모사 상에서 가정했던 사항을 해결해야 한다. 특히, 전산모사 상에서는 발광층(120)을 근사적으로 점광원으로 가정하였지만, 실제 발광 소자의 양자우물 층은 적층된 쌍(pair)의 수에 따라 50 내지 100 nm 정도의 두께를 가진다.
- [0080] 그러나 발광층(120)의 두께가 $0.5 \times \lambda/n$ 보다 커지게 되면, 거울에 의한 간섭 효과는 점점 사라지게 된다. 따라서, 내부양자효율은 유지하면서, 양자우물의 두께를 줄이는 성장 기술이 필수적이다. 따라서, 발광층(120)의 두께는 λ/n 의 0.05 내지 0.5배 사이에서 유지되는 것이 유리하다.
- [0081] 다음으로, 감쇠율 변화에 대한 결과를 살펴보면, 거울과 발광층(120) 사이의 간극이 작아질수록 감쇠율이 커지는 특성이 나타난다. 즉, 발광층(120)에 거울이 접근할수록, 이득 매질의 순환 과정이 빨라진다. 하지만, 여기서 주목해야 할 점은 감쇠율 변화가 곧 추출효율 증가로 이어진다는 것은 아니라는 점이다.
- [0082] 감쇠율은 단지, 발광층(120) 내에서 전자와 전공이 결합되었을 때, 얼마나 빠른 시간 내에 빛 에너지로 변환될 수 있는지를 나타내는 지표일 뿐이다. 따라서, 이를 추출효율과 연관짓기 위해서는 발광층(120) 내의 이득 매질의 비발광 결합에 의한 감쇠율을 함께 고려해야 한다.
- [0083] 비록, 감쇠율 변화를 추출효율로 직접 대입하는 것은 어렵지만, 감쇠율이 증가할수록 발광 결합 과정이 활발해져서, 즉, 상대적으로 비발광 결합 확률이 감소되어 추출효율 향상으로 이어질 것이라는 정성적인 관계는 유추할 수 있다.
- [0084] 이하, 컴퓨터 전산모사 계산(3D-FDTD)을 통해 수직형 GaN 발광 소자에 적용할 수 있는 광결정의 구조적 인자를 결정하고, 각 구조 인자에서 얻을 수 있는 상대적인 추출효율 증대비를 산출하는 과정을 설명한다.
- [0085] 수직형 발광 소자 구조는 수평형 구조와는 달리, 기관 측면을 통한 방사가 존재하지 않으므로, 전체 효율이 곧 수직방사에 의한 효율에 해당된다. 이때, 전산모사 상에서 분석하기 위한 발광 소자의 구조의 일례는 도 15a와 같이, 광결정(60)이 형성된 발광 소자 반도체층(100)으로 이루어지며, 광결정(60) 외측에는 봉지재로 사용될 수 있는 굴절률 1.4의 에폭시(70)가 위치하는 구조를 이용한다.
- [0086] 일반적인 발광 소자의 크기는 컴퓨터 메모리 한계로 인해 계산 구조 내에 다 포함 할 수가 없다. 이 문제를 해결하기 위해 대신 유한 크기(12 μm)의 발광 소자 구조의 양끝에 완전 거울(도시되지 않음)이 위치한 경우를 적용하였다.
- [0087] 또한, 도 15b에서와 같이, 발광 소자(100)의 발광층(양자우물 층; 22) 내부에는 흡수율($k = 0.045$)을 부여하였

다. 다만, 구조의 하단부에는 해석의 편의성을 위해 흡수율이 존재하는 실제 금속 거울 대신 역시 100%의 반사율을 가지는 완전 거울로 대체하였다.

- [0088] 수직형 구조는 거울에 의한 간섭 효과를 항상 고려해야 하므로, 구조 내에서 거울에 대한 발광층(22)의 상대적 위치가 중요한 변수가 된다. 거울과 발광층(22) 사이의 간섭 효과에 의해 방사 패턴이 바뀌게 되면, 효과적으로 작용하는 광결정(60) 구조 인자가 달라질 가능성이 있기 때문이다. 즉, 광결정(60) 주기에 따라 회절 과정에 의해 추출이 효율적으로 일어나는 빛의 각도가 다르다고 할 수 있다.
- [0089] 여기서는, 거울 효과가 배제된 상태에서 순수하게 광결정(60)에 의한 효과만을 산출하기로 한다. 거울에 의한 간섭 효과를 배제하기 위해서는 거울과 발광층(22) 사이의 거리를 멀리 설정하거나, 그 거리를 보장 간섭조건과 상쇄 간섭조건의 중간 지점 정도에 설정한다.
- [0090] 이와 같이, 발광층(22)이 거울의 간섭 효과로부터 자유로울 때의 방사 패턴은 도 16a와 같다. 이러한 방사 패턴을 살펴보면, 각도에 따라 미세한 간섭 무늬가 여전히 보이나 근사적으로 구면파로 간주해도 무방할 정도이다.
- [0091] 광결정(60) 주기에 대한 추출효율 변화를 살펴보면, 도 16b에서와 같이, 최대 추출효율을 얻을 수 있는 광결정(60) 주기는 약 800 nm 부근이며, 추출효율의 상대적 증대비는 약 2배 정도이다. 이때, 식각 깊이는 225 nm, 광결정을 이루는 홀(61)의 반지름은 0.25a로 고정하였다.
- [0092] 다음으로, 광결정(60)을 이루는 홀(61)의 크기에 따른 추출효율의 변화를 보면 도 17과 같다. 이때, 식각 깊이는 225 nm로 고정하였으며, 주기는 800 nm를 선택하였다. 결과를 살펴보면, 광결정(60)의 홀(61)의 크기가 0.35a일 때, 추출 효율은 최대가 되며, 상대적 증가분은 2.4배까지 커지는 것을 알 수 있다.
- [0093] 상술한 바와 같이, 수직형 GaN 발광 소자의 장점은 식각 깊이에 대한 제한이 적다는 점이다. 수평형 구조의 최대 식각 깊이는 p-형 GaN 반도체층의 두께(실제로는 저항 증가를 고려하여 p-GaN 층 두께의 절반 정도)에 의해 결정되나, 수직형 구조는 상대적으로 이보다 매우 두꺼운 n-형 GaN 반도체층의 두께(대략 3 μm)를 활용할 수 있다.
- [0094] 이와 같은 수직형 구조의 장점을 이용하기 위하여, 도 18에서와 같이, 광결정 형성을 위한 식각 깊이를 순차적으로 변경하면서, 이 식각 깊이에 따른 최적 주기를 조사하였다.
- [0095] 추출효율은 수평형 구조 연구에서 언급한 대로, 일정 수준 이상의 식각 깊이에 대해서 포화되는 경향이 나타난다.
- [0096] 하지만, 흥미로운 사실은 식각 깊이가 깊어질수록 주기가 큰 광결정 구조에 의한 추출효율은 꾸준히 상승하고 있다는 점이다. 이는, 식각 깊이를 깊게 하면서 실제 기술적으로 구현이 용이한 주기가 큰 광결정 구조를 활용할 수 있는 여지가 생긴다는 점에서 주목할 만하다.
- [0097] 이와 같이 식각 깊이가 커짐에 따라 주기가 큰 광결정 구조의 추출효율이 계속 상승하는 이유를 다음과 같이 생각할 수 있다.
- [0098] 첫째, 굴절률이 다른 두 매질을 빛이 투과하기 위해서는 평면 방향의 위상 정합 조건(phase-matching condition)을 만족해야 한다.
- [0099] 둘째, 빛이 굴절률이 높은 매질에서 낮은 매질로 진행할 때는, 특정 각도 이상에서 위상정합 조건을 만족할 수 없다. 이 특정 각도를 임계각이라 부르며, 임계각 이상에서는 전반사가 일어난다.
- [0100] 셋째, 광결정은 전반사 각도에 해당하는 빛을 외부로 추출할 수 있도록 돕는다. 즉, 광결정과 빛이 결합하면, 광결정의 운동량이 더해져서 전반사에 해당하는 빛이 위상정합 조건을 만족할 수 있다.
- [0101] 넷째, 광결정의 운동량은 주기에 반비례한다. 즉, 주기가 작은 광결정은 큰 운동량을 만들 수 있으므로, 전반사에 해당하는 빛 중에서 임계각에서 멀리 떨어진 수평 방향에 가깝게 진행하는 빛을 효과적으로 추출할 수 있다. 반면에, 주기가 큰 광결정은 상대적으로 수직 방향에 가깝게 진행하는 빛을 추출하는 데 효과적이다.
- [0102] 다섯째, 파동 광학 이론에 따르면, 도파로 구조 내의 전반사 과정을 모드에 대응하여 설명할 수 있다. 가령, 수평방향에 가까운 입사각도를 가진 빛은 기본 도파로 모드에 해당되며, 입사각도가 수직방향에 가까울수록 고차 모드에 해당한다.
- [0103] 여섯째, GaN 발광 소자 역시 수 마이크로미터 이상의 두께를 가진 도파로 구조로 간주할 수 있다.
- [0104] 따라서, 이와 같은 사실을 고려하여 GaN 발광 소자에 광결정을 적용할 때, 주기가 짧은 광결정은 기본 도파로

모드를 추출하는데 적합하며, 주기가 긴 광결정은 고차 도파로 모드를 추출하는데 적합하다는 사실을 알 수 있다.

- [0105] 일반적으로, 기본 도파로 모드는 어느 정도 이상의 광결정 식각 깊이($\sim \lambda/n$)에 대해 추출효율이 포화되는 경향을 나타내는 반면에, 고차모드로 갈수록 광결정 식각 깊이에 대해 추출효율이 꾸준히 상승하는 경향을 보인다.
- [0106] 결론적으로, 식각 깊이가 커질수록, 긴 주기를 가지는 광결정 구조에 의한 고차 모드에 추출효율이 계속 증가하게 된다.
- [0107] 이와 같이 추출효율을 극대화하기 위해, 광결정 구조 인자의 최적화 작업을 컴퓨터 전산모사 계산을 통해 실시하였다. 추출효율은 식각 깊이, 구멍 크기, 주기 등과 밀접한 상관 관계가 있을 수 있다.
- [0108] 특히, 수직형 GaN 발광 소자의 경우 상대적으로 두꺼운 n-형 GaN 반도체층이 광결정 형성에 활용되기 때문에, 식각 깊이에 대한 제약이 사실상 없으며, 이와 같이 깊은 식각 깊이를 도입하면 현재 기술에서 구현하기 쉬운 범위의 주기를 선택할 가능성도 커진다.
- [0109] 이하, 거울과 발광층 사이의 간극이 보강 간섭 조건에 있을 때 광결정 효과에 대해 설명한다. 보강 간섭 조건은 간극이 약 $3/4(\lambda/n)$ 일 때이며, 이때의 방사 패턴은 도 19에 나타나 있다. 이를 도 16b와 비교하면, 상대적으로 많은 양의 빛이 수직 방향으로 진행하고 있음을 알 수 있다.
- [0110] 이 조건에서 광결정을 도입했을 때의 추출효율 향상 정도를 조사하면 도 20과 같다.
- [0111] 먼저, 광결정을 적용하지 않는 구조에 대해, 보강 간섭 조건은 거울 효과가 거의 없는 구면파 조건에 비해 약 2배의 추출효율 향상 효과를 나타낸다. 이 값이 앞서 거울의 간섭 효과를 산출할 때(1.6배 증가)보다 더 큰 이유는 이번 구조에서는 흡수율을 고려하였기 때문이다.
- [0112] 광결정(주기 = 800nm, 식각 깊이 = 225nm)을 도입한 그래프를 비교하면, 보강 간섭 조건이 적용된 구조가 가장 우수한 특성을 나타낸다.
- [0113] 다만, 광결정 전/후의 상대적 증대비는 보강 간섭 조건 구조의 경우에는 최대 약 1.2배 정도이다. 그 이유는 발광층에서 발생한 빛이 처음부터 임계각 이내에 대부분 포함되어 광결정을 통해 추출되는 빛의 양이 그만큼 감소하였기 때문이다.
- [0114] 다음으로, 보강 간섭 조건에 대해 광결정 주기에 따른 추출효율의 변화를 조사하면 도 21과 같다.
- [0115] 이때, 광결정의 식각 깊이는 225 nm로 고정하였으며, 광결정을 이루는 홀의 크기는 $0.25a$ 이다. 보강 간섭 조건과 정상 조건의 주기에 대한 효율의 의존성을 알 수 있기 위하여 두 결과를 한 그래프에 표시하였다.
- [0116] 결과를 살펴보면, 보강 간섭 조건에 대한 최적 주기와 정상 조건에 대한 최적 주기는 눈에 띄는 차이를 나타내지 않으며, 최적 주기는 800 nm 근처에 형성된다.
- [0117] 이하, 도 22를 참고하여 광결정의 식각 깊이에 따른 추출효율 변화를 설명한다.
- [0118] 발광층의 출력 패턴이 구면파로 가정할 수 있는 정상 조건인 경우, 주기 약 $1\mu\text{m}$ 을 기준으로 식각 깊이에 대해 추출효율이 포화되는 주기와 식각 깊이에 비례하여 추출 효율이 계속 증가하는 주기로 나눌 수 있다.
- [0119] 그 이유는 광결정의 주기가 길어질수록, 임계각에 가까운 전반사 광을 잘 회절 하기 때문이다. 이 원리를 현재 논의하고 있는 보강 간섭 조건에 적용하면, 이 조건에서는 초기부터 수직 방향 중심의 방사가 이루어지기 때문에 주기가 긴 광결정의 역할이 더 중대해짐을 예상할 수 있다.
- [0120] 이 효과를 검증하기 위해 컴퓨터 전산모사 계산을 통해, 도 22 내지 도 24에서와 같이, 식각 깊이를 변화하며 주기에 대한 추출효율을 산출하였다. 앞선, 정상 조건과 비교하면, 식각 깊이가 커짐에 따라 추출효율이 최대가 되는 최적 주기가 보다 명확하게 긴 쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다.
- [0121] 가령, 식각 깊이가 900 nm인 경우에는 최적 주기가 $2\mu\text{m}$ 이상에서 발견된다. 이는 현재 일반적인 포토 리소그래피(photo-lithography)의 분해능으로 제작 가능한 구조에 해당하므로, 실용적인 측면에서 큰 의의를 가지고 있다.
- [0122] 이와 같은 광 추출효율이 극대화될 수 있는 발광 소자의 구조의 일례는 상술한 도 10의 구조와 같다.
- [0123] 즉, 지지층(500) 상에 반사층(300)이 위치하고, 이러한 반사층(300) 상에는 투명 전도성 산화물과 같은 유전체층(400)이 위치하며, 이러한 유전체층(400) 상에 p-형 반도체층(130)과, 발광층(120), 및 n-형 반도체층(110)을

포함하는 반도체층(100)이 위치한다.

- [0124] 이때, 유전체층(400)은 p-형 반도체층(130)과 오믹 접촉을 이룰 수 있는 물질로 이루어지며, 투명 전도성 산화물이 이용될 수 있다. 이러한 투명 전도성 산화물은 반도체층(100)보다 굴절률이 작은 ITO(Indium-Tin-Oxide)가 이용될 수 있으며, 기타 IZO(Indium-Zinc-Oxide), AZO(Aluminum-Zinc-Oxide), MZO(Magnesium-Zinc-Oxide), 또는 GZO(Gallium-Zinc-Oxide) 등의 물질이 이용될 수도 있다.
- [0125] n-형 반도체층(110) 상에는 다수의 홀(210) 패턴 또는 기둥 구조에 의하여 형성되는 광결정(200)이 위치할 수 있고, 이 n-형 반도체층(110) 상의 일부에는 n-형 전극(600)이 위치한다. 도시하는 바와 같이, n-형 전극(600)이 위치하는 부분에는 광결정(200) 패턴이 형성되지 않을 수도 있다.
- [0126] 이러한 광결정(200)은, 상기 홀(210)의 깊이 또는 기둥 구조의 높이는 300 nm 내지 3000 nm일 수 있고, 광결정(200)의 주기 또는 평균 주기는 0.7 내지 5 μm 일 수 있다. 즉, 광결정(200)은 규칙적인 패턴을 가질 수 있고, 평균 주기를 가지는 준 무작위 구조(pseudo-random) 패턴일 수도 있다. 이때, 홀(210) 또는 기둥 구조의 크기(직경)는 주기를 a라 할 때, 0.25a 내지 0.45a일 수 있다.
- [0127] 상술한 바와 같이, 반사층(300)과 발광층(120)의 중심 사이의 거리(d)는 0.65 내지 0.85 λ/n 일 수 있으며, 대략 $\lambda/4n$ 의 홀수배를 이룰 수도 있다.
- [0128] 이때, 이러한 반사층(300)과 발광층(120) 사이의 거리의 조절은 결국 p-형 반도체층(130) 및 유전체층(400)에 의하여 이루어질 수 있다. 즉, 이러한 반사층(300)과 발광층(120) 사이의 거리를 조절하여 광 추출에 있어서 보강 간섭 조건을 이룰 수 있다.
- [0129] 이와 같이, 투명한 유전체층(400)의 두께를 조절함으로써 보다 용이하게 광 추출 효율을 제어할 수 있다. 즉, 유전체층(400)의 두께를 제어함으로써 광 추출의 보강 간섭 조건을 보다 용이하게 조절할 수 있음을 의미한다.
- [0130] 이때, 반사층(300)의 반사율은 50% 이상인 것이 유리하며, Ag, Pt, 및 Al 중 어느 하나 이상의 물질을 포함할 수 있다.
- [0131] 한편, 도 25에서와 같이, 유전체층(400)은 투명 전도성 산화물층(410) 사이에 SiO_2 , TiO_2 와 같은 산화물 또는 Si_3N_4 와 같은 질화물로 이루어지는 중간층(420)이 위치하는 구조를 이룰 수 있다.
- [0132] 또한, 도 26에서와 같이, 이러한 산화물 또는 질화물로 이루어지는 중간층(430)은 특정 패턴을 이룰 수 있고, 이러한 패턴은 상술한 광결정 패턴과 일치 또는 유사한 패턴일 수 있다.
- [0133] 이러한 중간층(430) 패턴 사이의 공간은 투명 전도성 산화물이 채워질 수도 있고, 비워질 수도 있다.
- [0134] 이상과 같은 본 발명은 외부 광 추출효율 개선을 위해 수직형 GaN 발광 소자의 n-형 반도체층(110) 내에 광결정(200)을 도입할 때, 반사 전극(300)의 간섭효과와 식각 깊이를 활용하여, 제작이 용이한 긴 주기(1 μm 이상)의 광결정(200)에서 최대 추출효율을 얻을 수 있다. 또한, 반사층(300)의 간섭 효과만으로도 개선된 추출 효율 향상 효과를 가져올 수 있다.
- [0135] 이와 같은 발광 소자의 구조는 패키지를 이루었을 때, 패키지의 구조와 관계없이 높은 추출효율을 보일 수 있다.
- [0136] 상기 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구체적으로 설명하기 위한 일례로서, 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않으며, 다양한 형태의 변형이 가능하고, 이러한 기술적 사상의 여러 실시 형태는 모두 본 발명의 보호범위에 속함은 당연하다.

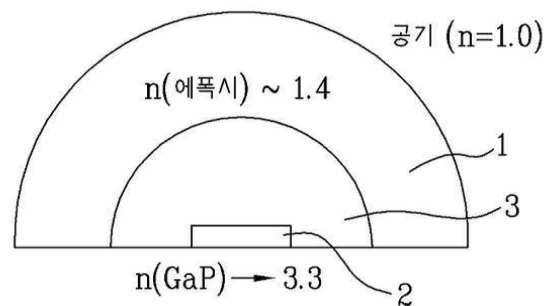
도면의 간단한 설명

- [0137] 도 1은 발광 소자의 광 추출효율을 위한 구조의 일례를 나타내는 단면도이다.
- [0138] 도 2는 도 1의 반구의 굴절률 증가에 따른 추출효율을 나타내는 그래프이다.
- [0139] 도 3 내지 도 8c는 광결정에 의한 광 추출효율의 증가를 나타내는 도이다.
- [0140] 도 9a 내지 도 9d는 전기 쌍극자의 방사 패턴을 나타내는 도이다.
- [0141] 도 10은 발광 소자 구조의 일 실시예를 나타내는 단면도이다.

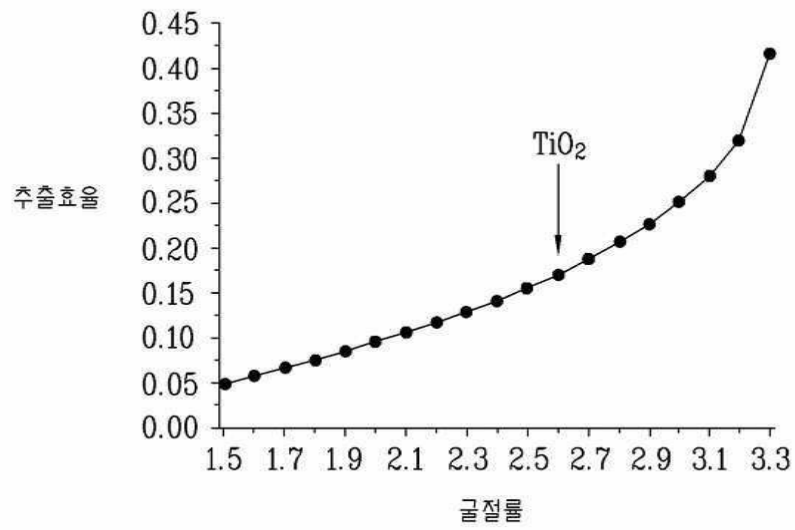
- [0142] 도 11은 거울면에 대한 쌍극자의 배치를 나타내는 개략도이다.
- [0143] 도 12는 거울과 발광층의 간격에 따른 추출효율의 증대비와 그에 따른 방사 패턴을 나타내는 도이다.
- [0144] 도 13은 오믹 전극의 두께에 따른 광 추출효율의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0145] 도 14는 p-형 반도체층의 두께에 따른 광 추출효율의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0146] 도 15a는 컴퓨터 전산모사를 위한 수직형 발광 소자 구조의 일례를 나타내는 단면도이다.
- [0147] 도 15b은 도 15의 구조에서 발광층의 흡수율을 표시한 단면도이다.
- [0148] 도 16a는 발광층이 거울로부터 충분히 먼 경우의 방사 패턴을 나타내는 도이다.
- [0149] 도 16b는 광결정의 주기를 변경하면서 광 추출효율을 조사한 그래프이다.
- [0150] 도 17은 광결정의 홀의 크기에 따른 광 추출효율의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0151] 도 18은 광결정의 식각 깊이에 따른 광 추출효율의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0152] 도 19는 발광층과 거울 사이의 간격이 보강 간섭 조건에 있을 때의 방사 패턴을 나타내는 도이다.
- [0153] 도 20 및 도 21은 보강 간섭 조건을 가지는 구조에서 광결정 도입에 따른 효과를 나타내는 그래프이다.
- [0154] 도 22 내지 도 24는 식각 깊이에 따른 추출효율의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0155] 도 25 및 도 26은 유전체층의 다른 실시예를 나타내는 단면도이다.

도면

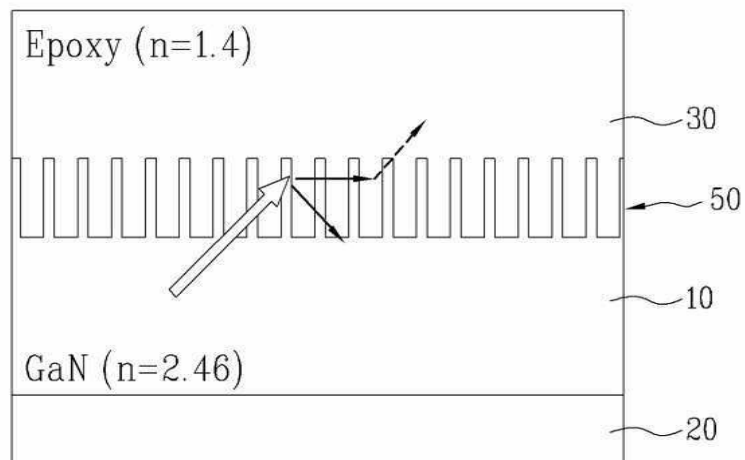
도면1



도면2



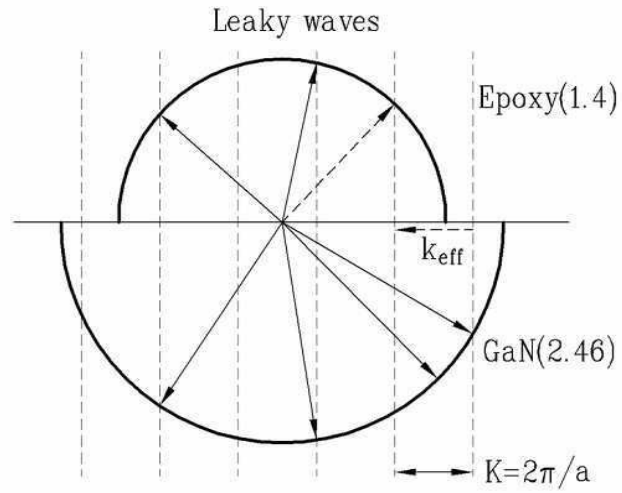
도면3



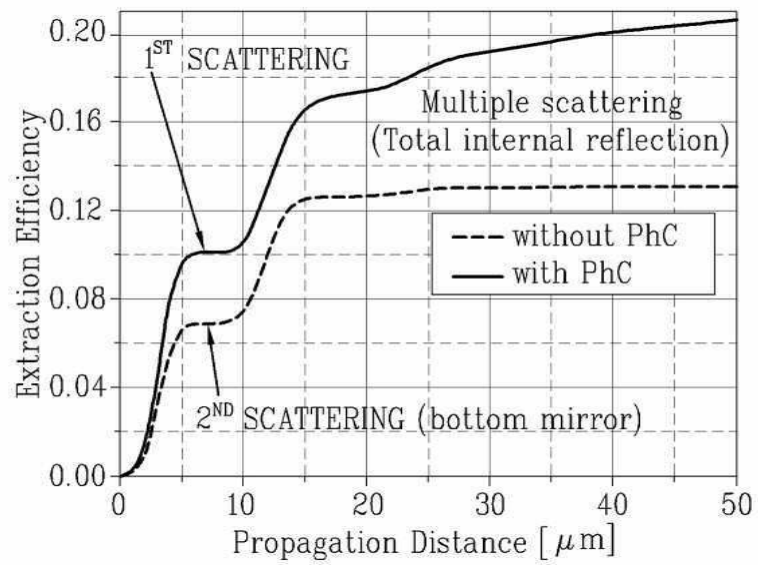
도면4

Phase Matching Condition :

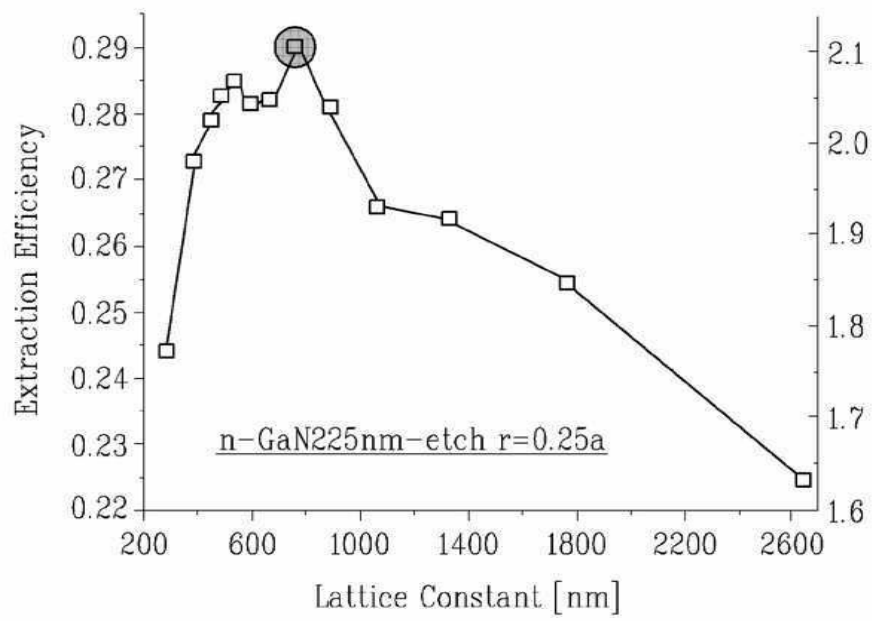
$$k_{\text{mode}} = k_{\text{eff}} \pm mK$$



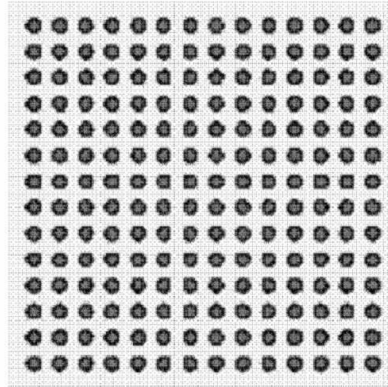
도면5



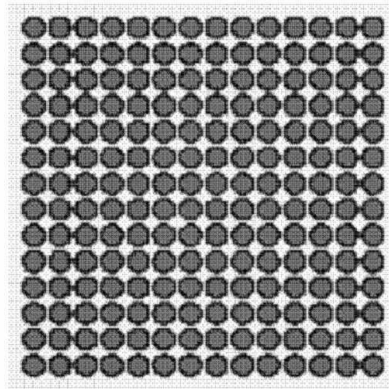
도면6



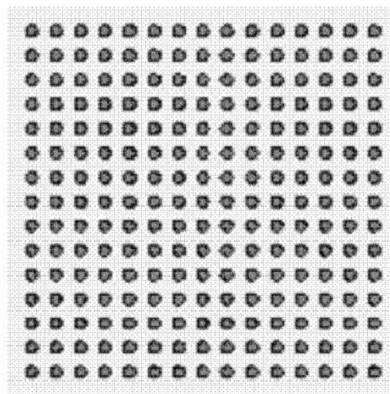
도면7a



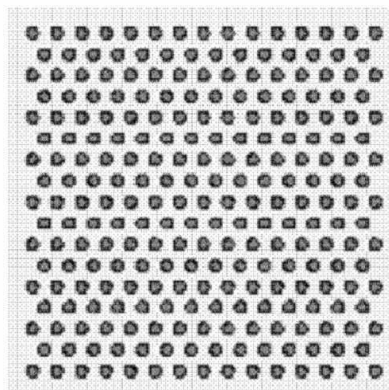
도면7b



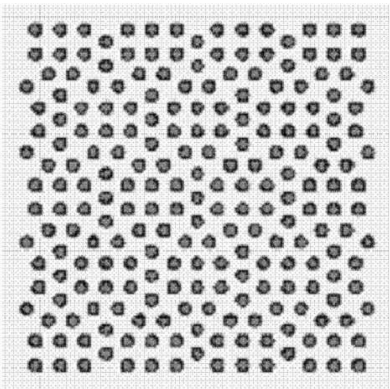
도면8a



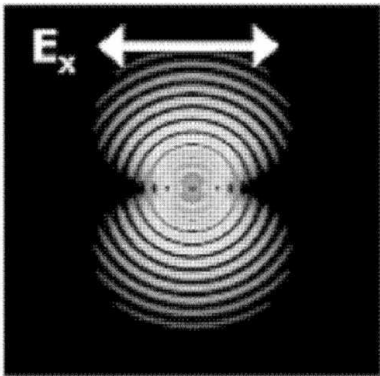
도면8b



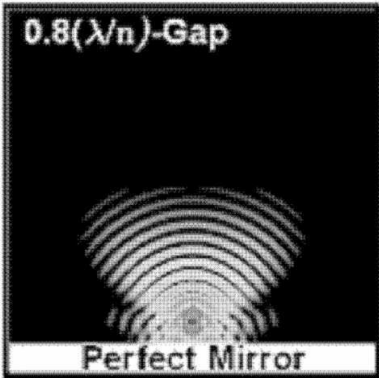
도면8c



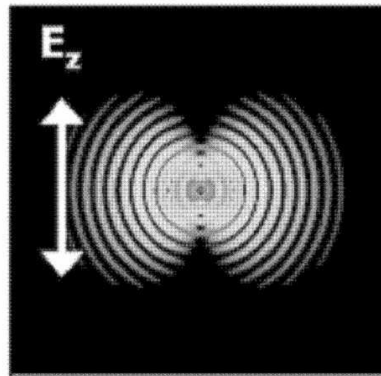
도면9a



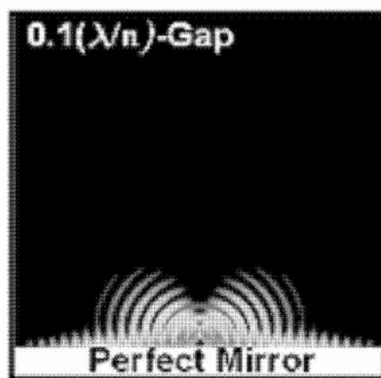
도면9b



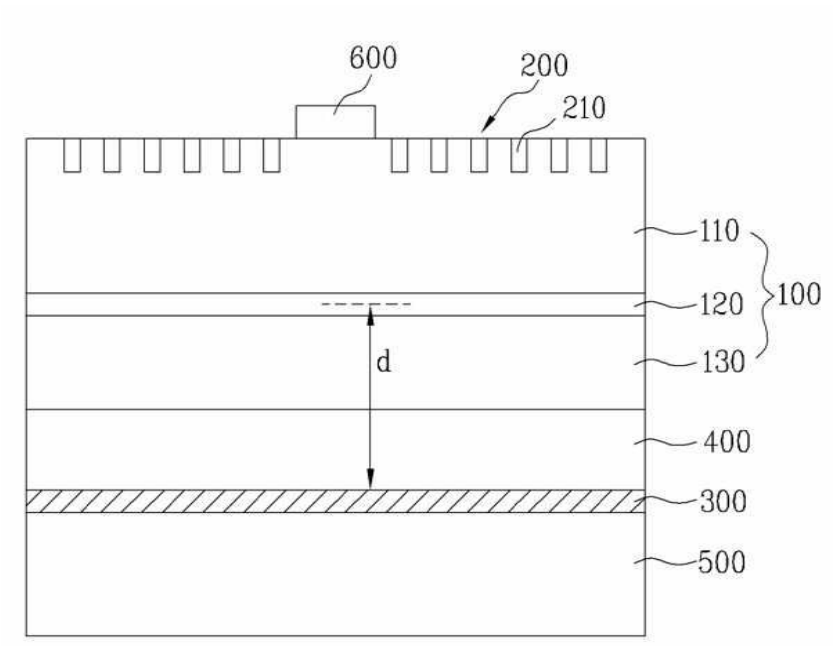
도면9c



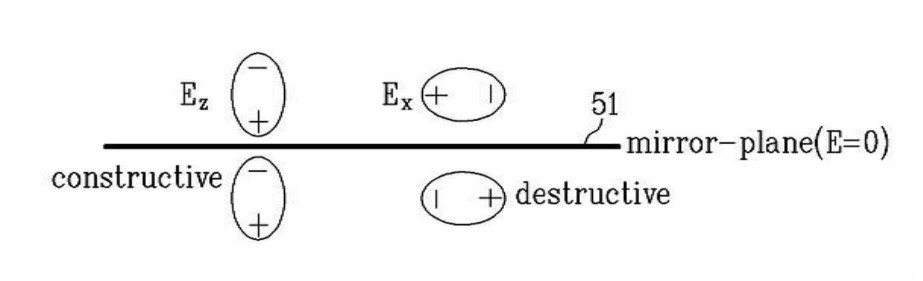
도면9d



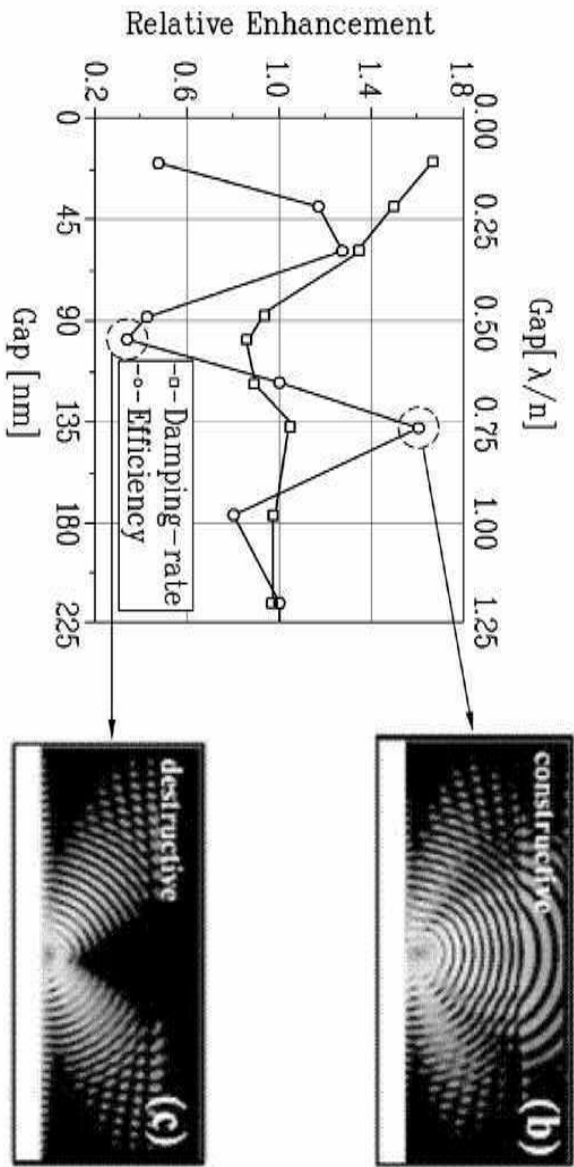
도면10



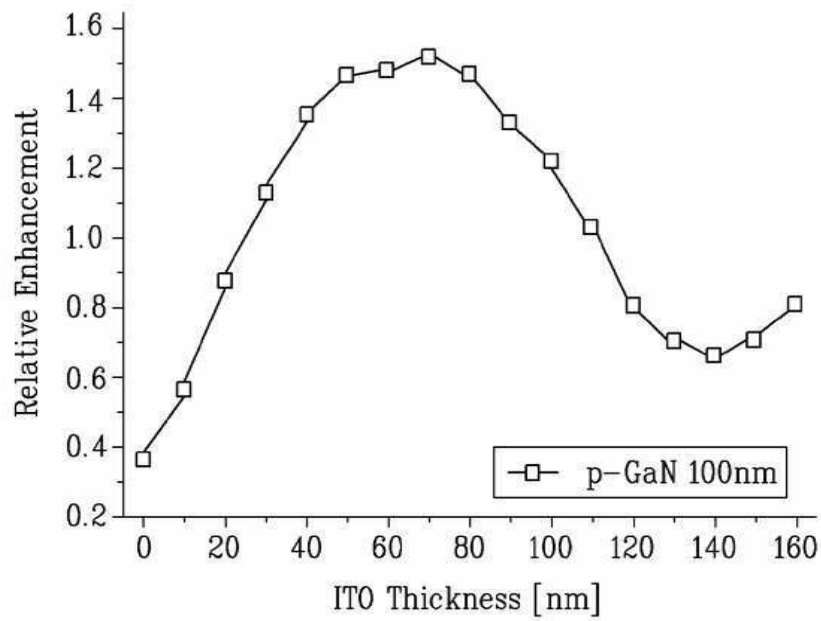
도면11



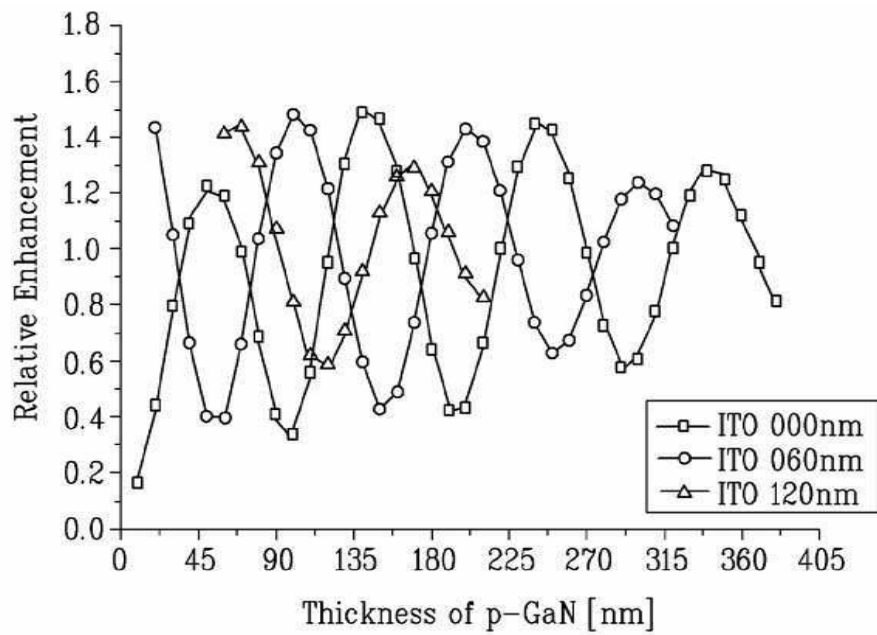
도면12



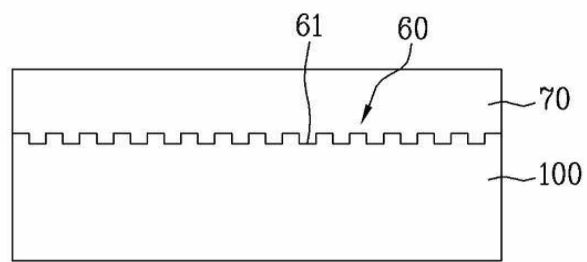
도면13



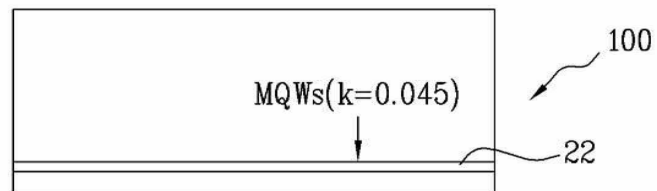
도면14



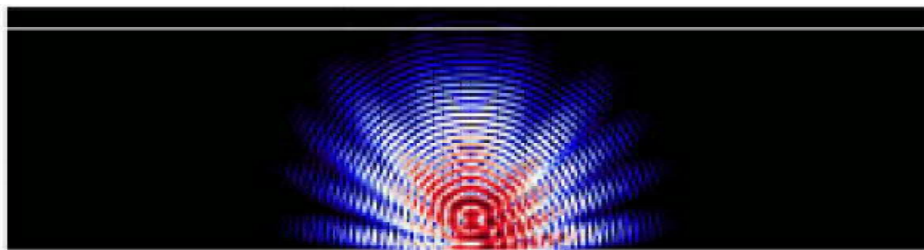
도면15a



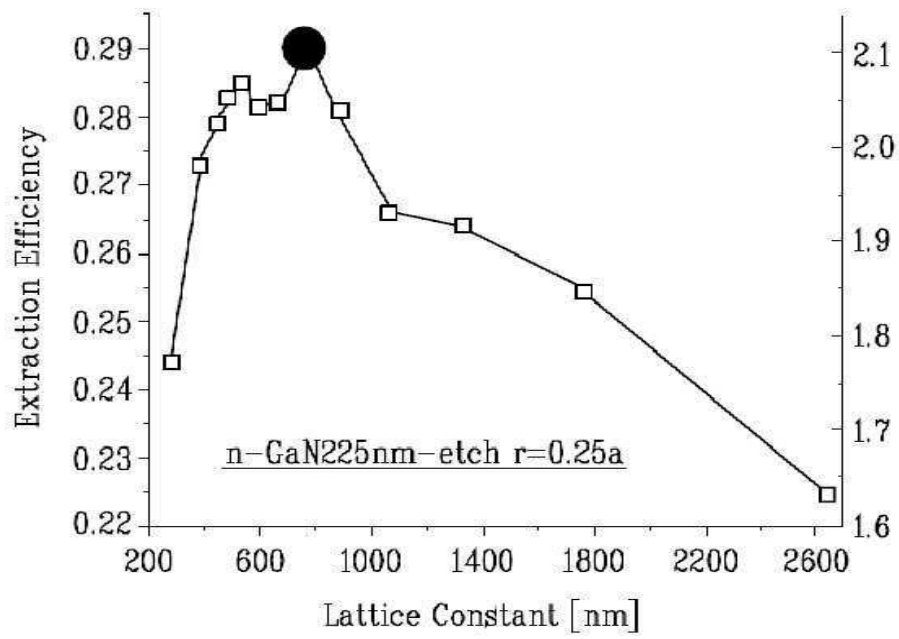
도면15b



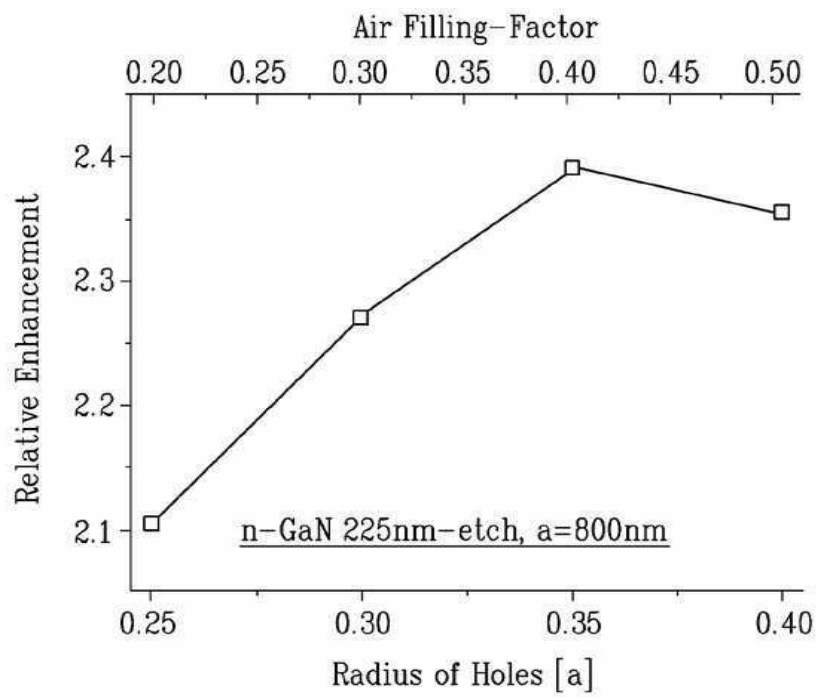
도면16a



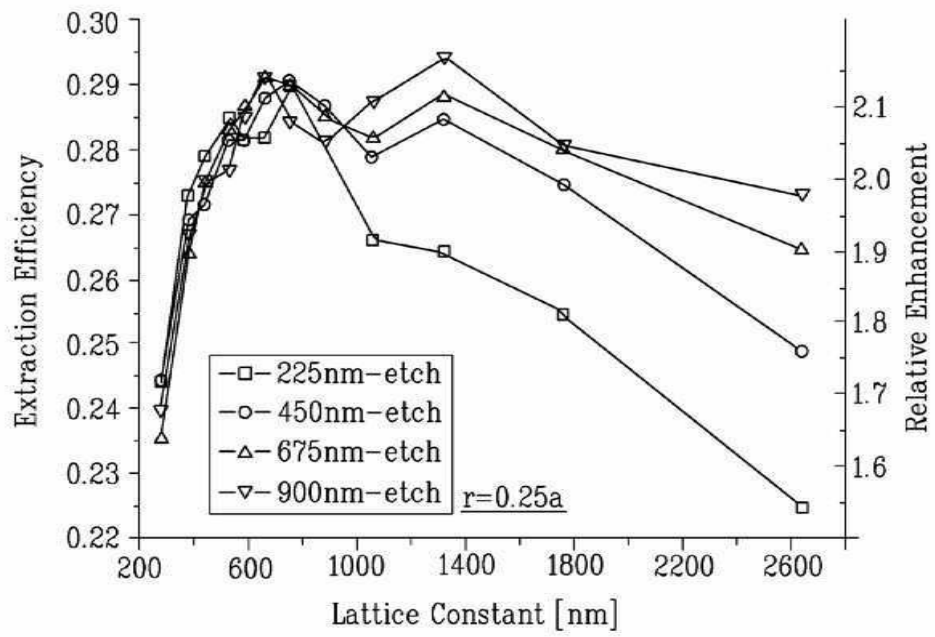
도면16b



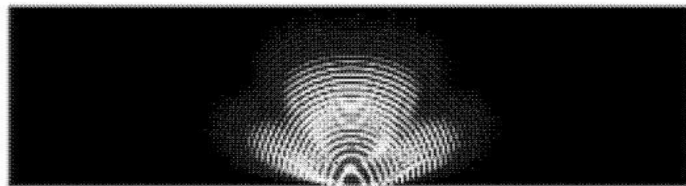
도면17



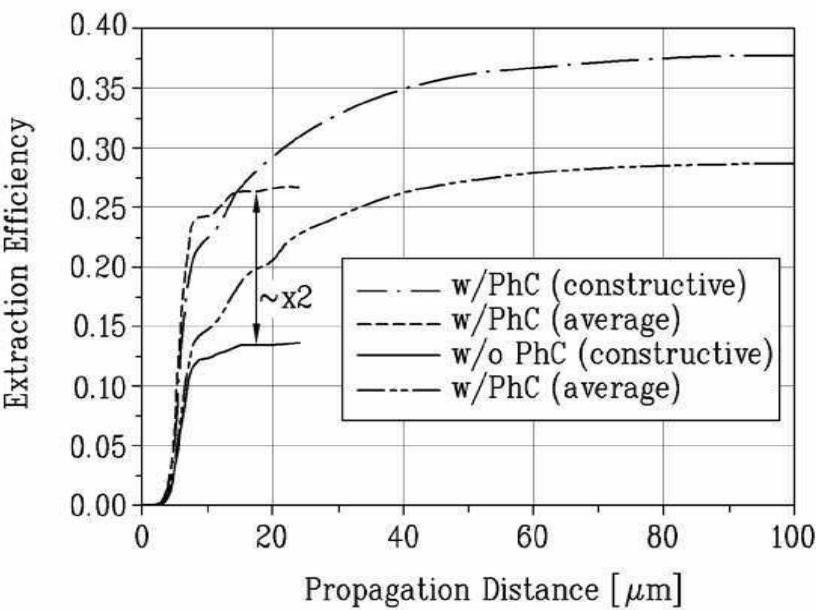
도면18



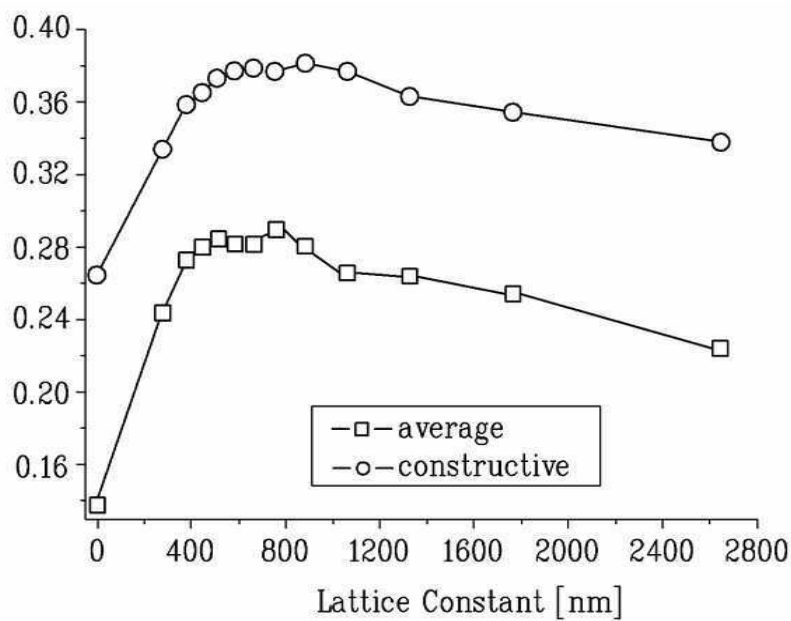
도면19



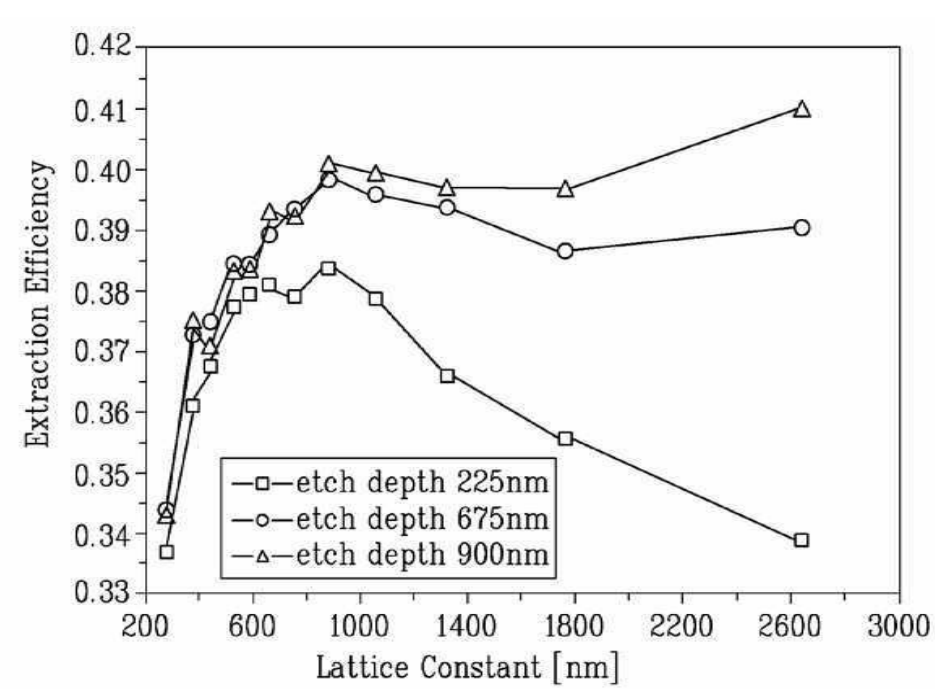
도면20



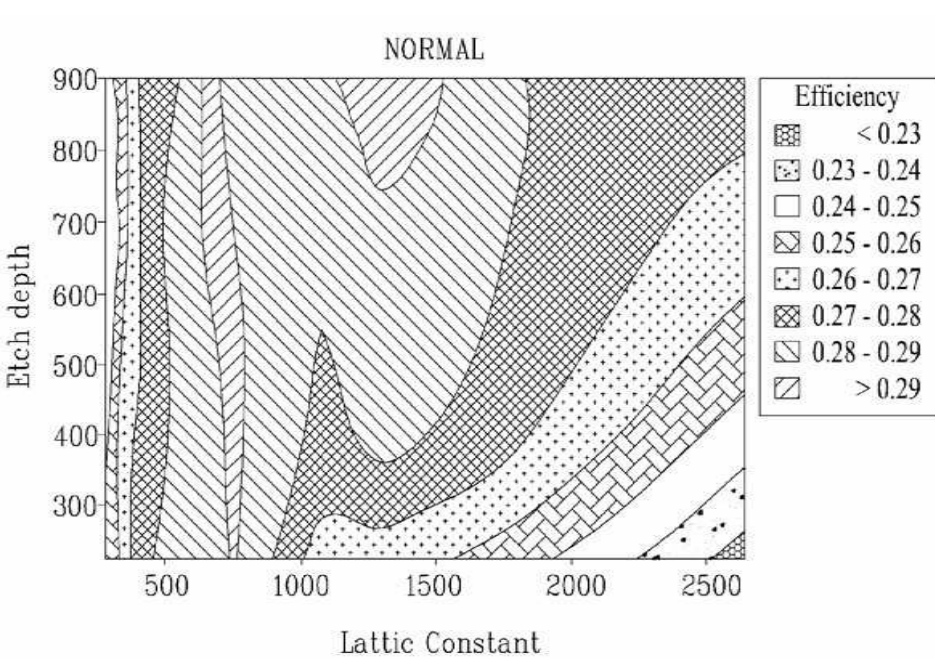
도면21



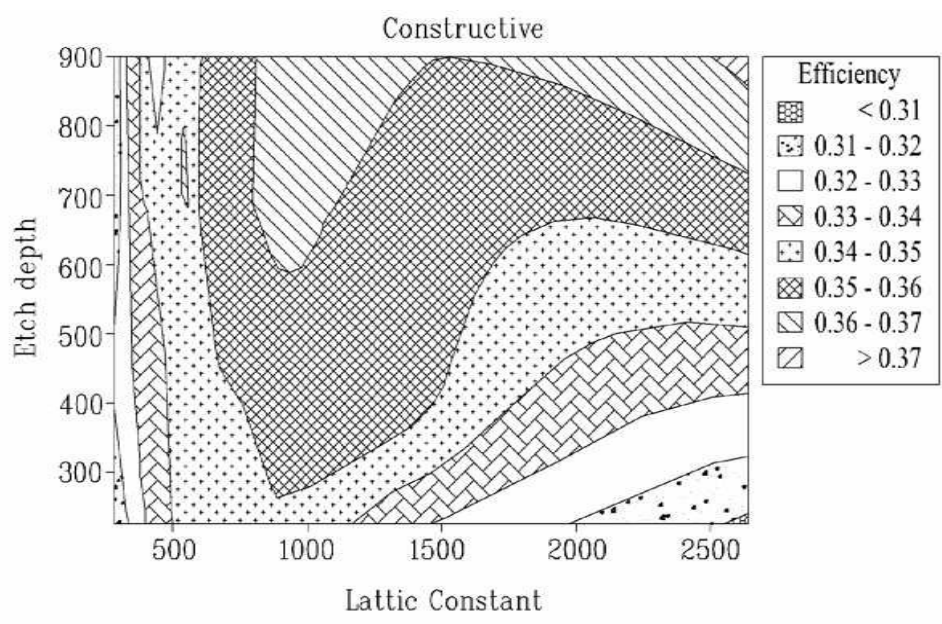
도면22



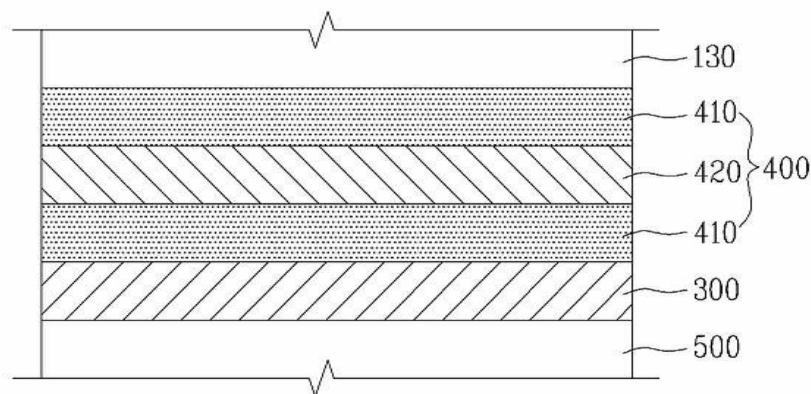
도면23



도면24



도면25



도면26

