



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년10월11일
(11) 등록번호 10-1317469
(24) 등록일자 2013년10월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.) *C30B 25/02* (2006.01) *H01L 33/00* (2010.01)
- (21) 출원번호 10-2011-7010086(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2003년04월15일
심사청구일자 2011년05월23일
- (85) 번역문제출일자 2011년05월02일
- (65) 공개번호 10-2011-0069133
- (43) 공개일자 2011년06월22일
- (62) 원출원 특허 10-2004-7016454
원출원일자(국제) 2003년04월15일
심사청구일자 2008년04월14일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2003/011175
- (87) 국제공개번호 WO 2003/089694
국제공개일자 2003년10월30일
- (30) 우선권주장
60/372,909 2002년04월15일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US20010029086 A1
EP0942459 A
- 전체 청구항 수 : 총 25 항
- 심사관 : 조수익

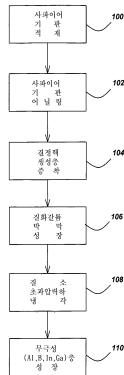
(54) 발명의 명칭 무극성 질화(알루미늄, 봉소, 인듐, 갈륨) 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치

(57) 요약

무극성 (Al_xB_yIn_zGa)_{1-x-y-z}N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 성형하기 위한 방법. 무극성 (1120) a면 GaN 층은 MOCVD를 이용하여 r면(1102) 사파이어 기판 위에서 성장된다. 상기 무극성 (1120) a면 GaN 층은 무극성 (Al_xB_yIn_zGa)_{1-x-y-z}N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 성형하기 위한 템플릿을 포함한다.

본 발명은 캘리포니아대 산타 바바라 고체 조명 및 디스플레이 연구소(SSLDC)의 회원사인 스텐리 전자(Stanley Electric Co., Ltd.), 미쓰비시 화공(Mitsubishi Chemical Corp.), 로옴 전자(Rohm, Co., Ltd.), 크리(Cree, Inc.), 마쓰시타 전공(Matsushita Electric Works), 마쓰시타 전기(Matsushita Electric Industrial Co.), 및 서울 반도체(Seoul Semiconductor Co., Ltd.)의 지원을 받아 이루어졌다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

덴바아아스, 스티븐 피.

미국, 캘리포니아주 93117, 골레타, 킹 다니엘 레
인 287

마르갈리스, 탈

미국, 캘리포니아주 93105, 산타 바바라, 몬트레이
파인 스트리트 3710, 아파트 비-206호

스펙, 제임스 에스.

미국, 캘리포니아주 93117, 골레타, 웨스트 캠퍼스
레인 947

나카무라, 슈지

미국, 캘리포니아주 93110, 산타 바바라, 비에자
드라이브 4517

미슈라, 우메쉬, 케이.

미국, 캘리포니아주 93108, 산타 바바라, 시캐모어
캐년 로드 1435

특허청구의 범위

청구항 1

질화물 반도체소자(nitride semiconductor device)에 있어서,
하나 이상의 무극성(non-polar) (Al, B, In, Ga)N 양자우물층(quantum well layers)을 포함하고,
상기 양자우물층은, 적어도 하나 인듐(Indium)을 포함하는 질화물 반도체소자.

청구항 2

제 1항에 있어서,
적어도 하나의 상기 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층은, InGaN 양자우물층인 질화물 반도체소자.

청구항 3

제 1항에 있어서,
적어도 하나의 상기 양자우물층은, 적어도 5나노미터의 두께를 가지며,
2.5nm의 두께를 가지는 무극성 양자우물층으로부터 방출되는 제 2 광(light)의 제 2 강도(intensity) 및 제 2 광발광(photoluminescence(PL)) 방출파장(emission wavelength) 보다 큰 제 1 강도 및 제 1 피크(peak) PL 방출파장을 가지는 제 1 광을 방출하는(emit) 질화물 반도체소자.

청구항 4

제 1항에 있어서,
상기 소자는, 빌광다이오드(light emitting diode) 또는 레이저 다이오드(laser diode)이며,
상기 빌광다이오드 또는 상기 레이저 다이오드의 활성층(active layer)은 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층을 포함하는 질화물 반도체소자.

청구항 5

제 1항에 있어서,
상기 소자는, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층으로부터 형성되는 혼테로구조(heterostructure)를 포함하는 트랜지스터인 질화물 반도체소자.

청구항 6

제 1항에 있어서,
상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층은 무극성 a-면층(a-plane layer)인 질화물 반도체소자.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층은 무극성 m-면층(m-plane layer)인 질화물 반도체소자.

청구항 8

질화물 반도체소자에 있어서,

무극성 GaN 기판상에 성장된 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층을 포함하는 질화물 반도체소자.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은 하나 이상의 양자우물(quantum wells)을 포함하는 질화물 반도체소자.

청구항 10

제 9항에 있어서,

적어도 하나의 상기 양자우물은, 적어도 5나노미터의 두께를 가지며,

2.5nm의 두께를 가지는 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물로부터 방출되는 제 2 광(light)의 제 2 강도(intensity) 및 제 2 광발광(photoluminescence(PL)) 방출파장(emission wavelength) 보다 큰 제 1 강도(intensity) 및 제 1 피크(peak) PL 방출파장을 가지는 제 1 광을 방출하는(emit) 질화물 반도체소자.

청구항 11

제 9항에 있어서,

적어도 하나의 상기 양자우물은, 양자우물층을 포함하는 인듐인 질화물 반도체소자.

청구항 12

제 9항에 있어서,

적어도 하나의 상기 양자우물은, InGaN 양자우물인 질화물 반도체소자.

청구항 13

제 8항에 있어서,

상기 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은, 혼테로구조를 포함하는 질화물 반도체소자.

청구항 14

제 8항에 있어서,

상기 소자는, 발광다이오드 또는 레이저 다이오드이며,

상기 발광다이오드 또는 상기 레이저 다이오드의 활성층은 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층으로부터 형성된 양자우물 또는 혼테로구조를 포함하는 질화물 반도체소자.

청구항 15

제 8항에 있어서,

상기 소자는, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층으로부터 형성되는 헤테로구조를 포함하는 트랜지스터인 질화물 반도체소자.

청구항 16

제 8항에 있어서,

상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은, 무극성 GaN 기판의 a-면 표면(a-plane surface) 상에 성장된 무극성 a-면층(a-plane layer)인 질화물 반도체소자.

청구항 17

제 8항에 있어서,

상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은, 상기 무극성 GaN 기판의 m-면 표면(m-plane surface) 상에 성장된 무극성 m-면층(m-plane layer)인 질화물 반도체소자.

청구항 18

제 8항에 있어서,

상기 무극성 GaN 기판은 $2.6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 보다 작은 스레딩 이탈밀도(threading dislocation density)를 가지는 질화물 반도체소자.

청구항 19

제 8항에 있어서,

상기 무극성 GaN 기판은 $3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 보다 작은 스택 오류밀도(stacking fault density)를 가지는 질화물 반도체소자.

청구항 20

제 8항에 있어서,

상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은 성장된(grown) 상기 무극성 GaN 기판의 무극성 표면(non-polar surface) 상에 성장되는 질화물 반도체소자.

청구항 21

질화물 반도체소자의 제조방법에 있어서,

하나 이상의 무극성(non-polar) (Al, B, In, Ga)N 양자우물층(quantum well layers)을 성장시키는 단계;
를 포함하고,

상기 양자우물층은, 적어도 하나의 인듐(Indium)을 포함하는 질화물 반도체소자의 제조방법.

청구항 22

제 21항에 있어서,

상기 성장시키는 단계는, 금속 유기 화학적 기상 증착법(metal organic chemical vapor deposition; MOCVD)에 의해 성장시키는 질화물 반도체소자의 제조방법.

청구항 23

제 21항에 있어서,

상기 무극성 양자우물층은, 무극성 GaN 기판상 또는 위에(on or above) 성장되는 질화물 반도체소자의 제조방법.

청구항 24

제 21항에 있어서,

GaN 기판의 성장된(grown) 무극성 표면을 얻는(obtaining) 단계; 및

상기 성장된 무극성 표면상 또는 위에(on or above) 상기 양자우물층을 성장시키는(growing) 단계;
를 더 포함하는 질화물 반도체소자의 제조방법.

청구항 25

하나 이상의 무극성 (Al,B, In, Ga)N층으로부터 형성된 헤테로 구조를 포함하는 트랜지스터(transistor).

청구항 26

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 반도체 재료, 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 무극성 (Al,B, In, Ga)N 양자우물 및 이형 구조 재료 및 장치에 대한 것이다.

배경기술

[0002] 본 출원은 본 명세서 내 참고자료로 편입되는, 대리인 관리번호 제30794.95-US-P1호로서, Michael D.Craven, Stacia Keller, Steven P.DenBaars, Tal Margalith, James S.Speck, Shuji Nakamura, 그리고 Umesh K. Mishra에 의해 2002년 4월 15일자로 출원된, "무극성 질화갈륨계 박막 및 이형구조 재료"로 명칭되고, 출원 계속중이고 일반적으로 할당받는 미합중국 임시특허출원 제60/372,909호에 의한 35 U.S.C. § 119(e)에 따른 이익을 향유한다.

[0003] 본 출원은 하기의 출원 계속중이고 일반적으로 할당받는 미합중국 실용특허출원:

- [0004] 대리인 관리번호 제30794.100-US-U1호로서, Michael D.Craven와 James S.Speck에 의해 동일자로 출원된, "유기 금속 화학 기상 증착법에 의해 성장된 무극성 A면 질화갈륨 박막"으로 명칭된, 일련번호 제_____,____호; 및
- [0005] 대리인 관리번호 제30794.102-US-U1호로서, Michael D.Craven, Stacia Keller, Steven P.DenBaars, Tal Margalith, James S.Speck, Shuji Nakamura, 그리고 Umesh K.Mishra에 의해 동일자로 출원된, "무극성 질화갈륨 박막의 전위 감소"로 명칭된, 일련번호 제_____,____호: 와 관련된 것으로서, 상기 출원 모두 본 발명의 참고자료에 편입된다.
- [0006] 본 발명은 University of California(캘리포니아 대학교)와 산타바바라 고체 상태 조명 & 전시 센터(Santa Barbara Solid State Lighting and Display Center)의 회원사인 Stanley Electrics Co. Ltd.(스탠리 전기 주식회사), Mitsubishi Chemical Corp.(미쓰비시 화학 회사), Rohm Co. Ltd.(롬 주식회사), Cree Inc., (크리 회사), Matsushita Electric Industrial Co.(마쓰시타 전기 공업 회사) 와 Seoul Semiconductor Co. Ltd.(서울 반도체 주식회사)의 지원을 받았다.
- [0007] (주: 본 출원은 하나 이상의 참조번호로 본 명세서 전체를 통해 표시된 바와 같이 상당수 다른 특허, 특허출원 및/또는 공보를 참고하였다. 상기 참조번호에 따라 정렬된 상기의 다른 공보 목록은 하기의 "참고문헌"이라 명명된 부분에서 찾을 수 있다. 상기 각각의 공보는 참고문헌으로서 이곳에 통합된다.)
- [0008] 현재 당업계에서 질화(알루미늄, 봉소, 인듐, 갈륨)((Al_xB_yIn_zGaN)) 이형구조(heterostructure) 및 양자우물(quantum well) 구조는 c-면(0001) 층들을 사용한다. III-N 박(film)의 총 편극은 자발성 및 압전성(piezoelectric) 편극 기여부로 구성되어 있는데, 모두 부르자이트(wurtzite) 질화물 결정 구조의 단 극성[0001]축으로부터 연유한다. 이형구조 질화물 내의 표면 및 계면에 존재하는 편극 불연속성은 고정 시트 전하와 관계되는데, 이것이 번갈아 전기장을 발생시킨다. 상기 내부 전기장의 정렬이 상기 c-면(0001) 층들의 성장 방향과 일치하기 때문에, 상기 계장(field)은 장치 구조 중 에너지 밴드(energy band)에 영향을 미친다.
- [0009] 양자우물에서, "경사진" 에너지 밴드는 전자와 홀 파장함수를 공간적으로 분리시키는데, 이것이 방사성 전이의 오실레이터 강도를 감소시키고 방출 파장을 적색천이시킨다. 이러한 효과는 양자 국한된 스타크 효과(Quantum confined Stark effect; QCSE)의 발현이고, GaN/(Al_xGaN) 양자우물에 대해서 철저히 분석되어져 왔다. 참고문헌 1-8을 참조하라. 추가적으로, 큰 편극으로 유발되는 계장은 도판트 및 불순물에 의해 부분적으로 가리워져, 그 결과 상기 방출특성을 정확히 조절하기가 어려울 수 있다.
- [0010] 상기 내부 계장은 또한 질화물계 이형구조 트랜지스터의 큰 이동성 시트전하 밀도에 대해 책임이 있다. 비록 상기 큰 2D 전자가스(2DEG)가 매력적이고 장치에 유용하다 할지라도, 상기 편극으로 유발되는 계장, 및 상기 2DEG 자체를, 정확히 제어하기는 어렵다.
- [0011] 무극성 성장이 부르자이트 질화물 반도체에 존재하는 강한 편극으로 유발된 전기장을 회피하는 유력한 수단이다. 편극으로 유발된 전기장은 무극성 성장 방향에 따른 편극 불연속성이 존재하지 않는 까닭으로 무극성 방향(예:[0001]축에 수직)으로 성장된 부르자이트 질화물 반도체에 영향을 미치지 않는다.
- [0012] 최근, 2개 집단에서 무극성 성장 방향에 따른 편극으로 유발된 전기장이 존재하지 않는 가운데 분자선 에피타시(molecular beam epitaxy; MBE)를 이용하여 무극성 GaN/(Al_xGaN) 다중양자우물(multiple quantum wells; MQW)s)을 성장시켰다. Waltereit 등은 γ -LiAlO₂(100) 기판 위에 m-면 GaN/Al_{0.1}Ga_{0.9}N 다중양자우물을 성장시켰고, Ng는 r면 사파이어 기판 위에 a면 GaN/Al_{0.15}Ga_{0.85}N 다중양자우물을 성장시켰다. 참고문헌 9-10을 참조하라.

[0013] 상기의 결과에도 불구하고, 무극성 GaN 배향의 성장을 재생가능한 방법으로 달성하기는 여전히 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 무극성 (Al_xB_yIn_zGaN) 양자우물 및 이형구조 재료를 성형하는 방법 및 장치들을 상술한다. 먼저, 무극성 $(1\bar{1}20)$ _a면 GaN 박막을 유기금속 화학 기상 증착법(MOCVD)을 이용하여 $(1\bar{1}02)$ _r면 사파이어 기판 위에 성장시킨다. 상기 무극성 $(1\bar{1}20)$ _a면 GaN 박막은 그 위에 무극성 (Al_xB_yIn_zGaN) 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 생산하기 위한 템플릿(template)이다.

[0015] 본 발명의 목적은 무극성 $(1\bar{1}20)$ _a면 GaN 박막을 템플릿으로 사용하여, 무극성 (Al_xB_yIn_zGaN) 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 생산하기 위한 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따르면, 질화물 반도체소자(nitride semiconductor device)에 있어서, 인듐(Indium)을 함유하는(containing) 하나 이상의 무극성(non-polar) (Al, B, In, Ga)N 양자우물층(quantum well layers)을 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체소자가 제공된다.

[0017] 여기서, 상기 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층의 적어도 하나가 InGaN 양자우물층인 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한, 상기 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층의 적어도 하나가, 적어도 5나노미터의 두께를 가지며, 피크(peak) 광발광(photoluminescence(PL)) 방출파장(emission wavelength)과, PL 방출파장보다 큰 밀도(intensity) 및 2.5nm의 두께를 가지는 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층으로부터 방출되는 광밀도(intensity of light)를 가지는 광(light)을 방출하는(emit) 것을 특징으로 한다.

[0019] 아울러, 상기 소자는, 발광다이오드(light emitting diode) 또는 레이저 다이오드(laser diode)이며, 상기 발광다이오드 또는 상기 레이저 다이오드의 활성층(active layer)은 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 더욱이, 상기 소자는, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층으로부터 형성되는 혼테로구조(heterostructure)를 포함하는 트랜지스터인 것을 특징으로 한다.

[0021] 또한, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층은 무극성 a-면층(a-plane layer)인 것을 특징으로 한다.

[0022] 아울러, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물층은 무극성 m-면층(m-plane layer)인 것을 특징으로 한다.

- [0023] 또한, 본 발명에 따르면, 질화물 반도체소자에 있어서, 무극성 GaN 기판상에 성장된 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층을 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체소자가 제공된다.
- [0024] 여기서, 상기 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은 하나 이상의 양자우물(quantum wells)을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0025] 또한, 상기 양자우물의 적어도 하나가, 적어도 5나노미터의 두께를 가지며, 피크 광발광(PL) 방출파장과, PL 방출파장보다 큰 밀도 및 2.5nm의 두께를 가지는 무극성 (Al, B, In, Ga)N 양자우물로부터 방출되는 광밀도를 가지는 광을 방출하는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 아울러, 상기 양자우물의 적어도 하나는 양자우물층을 포함하는 인듐인 것을 특징으로 한다.
- [0027] 더욱이, 상기 양자우물의 적어도 하나는 InGaN 양자우물인 것을 특징으로 한다.
- [0028] 또한, 상기 소자는, 상기 무극성 (Al, B, In, Ga)N층이 혼태로구조를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0029] 아울러, 상기 소자는, 발광다이오드 또는 레이저 다이오드이며, 상기 발광다이오드 또는 상기 레이저 다이오드의 활성층은 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층으로부터 형성된 양자우물 또는 혼태로구조를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0030] 더욱이, 상기 소자는, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층으로부터 형성되는 혼태로구조를 포함하는 트랜지스터인 것을 특징으로 한다.
- [0031] 또한, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은 무극성 GaN 기판의 a-면 표면(a-plane surface) 상에 성장된 무극성 a-면층(a-plane layer)인 것을 특징으로 한다.
- [0032] 아울러, 상기 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은 상기 무극성 GaN 기판의 m-면 표면(m-plane surface) 상에 성장된 무극성 m-면층(m-plane layer)인 것을 특징으로 한다.
- [0033] 더욱이, 상기 무극성 GaN 기판은 $2.6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 보다 작은 스레딩 이탈밀도(threading dislocation desity)를 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0034] 또한, 상기 무극성 GaN 기판은 $3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 보다 작은 스팩 오류밀도(stacking fault desity)를 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0035] 아울러, 하나 이상의 무극성 (Al, B, In, Ga)N층은 성장된(grown) 상기 무극성 GaN 기판의 무극성 표면(non-polar surface) 상에 성장되는 것을 특징으로 한다.
- [0036] 또한, 본 발명에 따르면, 질화물 반도체소자의 제조방법에 있어서, 인듐을 함유하는 하나 이상의 무극성 (Al, B,

In, Ga)N 양자우물층을 성장시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체소자의 제조방법이 제공된다.

[0037] 여기서, 상기 성장시키는 단계는, 금속 유기 화학적 기상 증착법(metal organic chemical vapor deposition ; MOCVD)에 의해 성장시키는 것을 특징으로 한다.

[0038] 또한, 상기 무극성 (Al,B, In, Ga)N 양자우물층은 무극성 GaN 기판상 또는 위에(on or above) 성장되는 것을 특징으로 한다.

[0039] 아울러, 상기 방법은, 성장된(grown) GaN 기판의 무극성 표면을 얻는(obtaining) 단계와, 상기 성장된 무극성 표면상 또는 위에(on or above) 상기 양자우물층을 성장시키는(growing) 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0040] 또한, 본 발명에 따르면, 하나 이상의 무극성 (Al,B, In, Ga)N층으로부터 형성된 헤테로 구조를 포함하는 트랜지스터가 제공된다.

발명의 효과

[0041] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 무극성 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 박막을 템플릿으로 사용하여, 무극성 (Al,B, In, Ga)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 생산하기 위한 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0042] 이하, 도면을 참조함에 있어, 도면 내 참조번호는 본 명세서의 대응부분을 나타낸다.

도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 무극성 (Al,B, In, Ga)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 형성하기 위한 방법의 각 공정을 도시한 흐름도이고;

도 2는 실온에서 측정된 1.5nm, 2.5nm 및 5.0nm의 공칭 우물폭을 갖는 5 주기 a면 $In_{0.1}GaN/In_{0.03}GaN$ 다중양자우물 구조의 광발광(PL) 스펙트럼을 도시한 것이며;

도 3은 여러가지 펌프동력용으로 측정된 5.0nm의 공칭 우물폭을 갖는 a면 $In_{0.03}Ga_{0.97}N/In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 다중양자우물 구조의 PL 스펙트럼을 도시한 것이며;

도 4(a)는 위성 최고점(satellite peak)이 선명하게 드러난, 10 주기 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N/GaN$ 초격자의 $2\Theta - \omega$ X선 회절 주사도를 나타낸 것이며; 그리고

도 4(b)는 도 4(a)에서 특징지어진 초격자의 PL 스펙트럼을 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 바람직한 실시예에 따른 이하의 상세한 설명에서, 참고문헌은 본 명세서의 일부분을 구성하는 첨부도면에 만들 어지고, 본 발명이 구현될 수 있는 특정의 실시예를 설명하는 방식으로 나타낸다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다른 실시예들이 이용되고 구조적인 변화가 있을 수 있을 것으로 이해된다.

[0044] 개요

[0045] 본 발명의 목적은 무극성 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 박막을 템플릿으로 사용하여, 무극성 (Al_xB_yIn_zGa)_{1-x-y-z}N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 생산하기 위한 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0046] MOCVD를 이용하여 $(1\bar{1}02)$ r면 사파이어 기판 위에 장치-품질 무극성 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 박막의 성장이, 모두 이곳의 참고자료로 편입된, 대리인 관리번호 제30794.95-US-P1호로서, Michael D.Craven, Stacia Keller, Steven P.DenBaars, Tal Margalith, James S.Speck, Shuji Nakamura, 그리고 Umesh K. Mishra에 의해 2002년 4월 15일자로 출원되어, "무극성 질화갈륨계 박막 및 이형구조 재료"라 명칭된, 출원 계속중이고 통상적으로 할당받은 미합중국 임시특허출원 제60/372,909호 뿐만 아니라, 대리인 관리번호 제30794.100-US-U1호로서, Michael D.Craven과 James S.Speck에 의해 동일자로 출원되어, "유기금속 화학 기상 증착법에 의해 성장된 무극성 Al_xB_yIn_zGa_{1-x-y-z}N계 질화갈륨 박막"이라 명칭된, 출원 계속중이고 통상적으로 할당받은 미합중국 실용특허출원 제____/____,____호에 기술되어 있다.

[0047] 본 발명은 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 층들 위에 이어서 수반되는 (Al_xB_yIn_zGa)_{1-x-y-z}N 양자우물 및 이형구조의 성장에 초점이 맞추어져 있다. 상기 구조의 발광 특성은 편극으로 유발된 전기장이 그들 전자띠 구조에 영향을 미치지 않으며, 그 결과 편극 없는 구조가 획득되었다는 것을 나타낸다. 편극으로 유발되는 전기장에 영향을 받지 않는 고성능 (Al_xB_yIn_zGa)_{1-x-y-z}N계 장치를 실현하는데 있어서 무극성 (Al_xB_yIn_zGa)_{1-x-y-z}N 양자우물을 개발시키는 것이 중요하다.

[0048] 무극성 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 층들 위에 증착시키기 위해 사용가능한 장치는 UV 및 인접-UV 광점파기 뿐만 아니라, 레이저 다이오드(LD), 발광 다이오드(LED), 공진 캐비티 LED(RC-LED), 수직 캐비티 표면 방출 레이저 (VCSEL), 고전자 이동성 트랜지스터(HEMT), 이형접합 양극성 트랜지스터(HBT), 이형접합 계장 효과 트랜지스터 (HFET)를 포함한다.

[0049] 단계별 설명

[0050] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 무극성 (Al_xB_yIn_zGa)_{1-x-y-z}N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 형성하는 방법의 각 단계를 나타낸 흐름도이다. 상기 방법의 공정은 양자우물 및 이형구조에 대해 합금 조성을 달리 하는 층의 성장이 이어지는, "템플릿" $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 층들의 성장을 포함한다.

[0051] 블록 100은 수직의, 근접하는, 회전하는 디스크인, MOCVD 반응로 내로 사파이어 기판을 적재하는 공정을 나타낸다. 상기 공정을 위해, 사파이어 $(1\bar{1}20)$ r면의 +/-2° 내에서 결정 방향에 따른 표면을 갖는 적층 준비된(epi-ready) 사파이어 기판은 상용 벤더로부터 얻을 수 있다. 비록 상기 사파이어 기판의 장외(ex-situ) 세척이 사전 예방 조치로서 사용될 수 있을지라도, 상기 MOCVD 반응로에 상기 사파이어 기판을 적재하기 전에 장외(ex-situ) 제작을 수행할 필요는 없다.

- [0052] 블록 102는 장내(in-situ) 고온(>1000°C)에서 상기 사파이어 기판을 어닐링하는 공정을 나타내는 것인데, 이는 상기 기판의 표면의 품질을 원자 규모로 개선한다. 어닐링 이후, 상기 기판의 온도는 이후에 수행되는 저온 결정핵 생성층(nucleation layer) 증착을 위해 저감된다.
- [0053] 블록 104는 상기 사파이어 기판 위에 얇고, 저온, 저압의, 질화물계 결정핵 생성층을 완충층으로서 증착시키는 공정을 나타낸다. 상기 층은 통상적으로 c면(0001) 질화물 반도체의 이형에피택셜 성장(heteroepitaxial growth)에 사용된다. 바람직한 실시예에서, 상기 결정핵 생성층은 대략 400-900°C 및 1 atm에서 증착된 1-100 나노미터(nm)의 GaN을 포함하나, 이에 한정되지 않는다.
- [0054] 상기 결정핵 생성층을 증착시킨 후에, 상기 반응로의 온도가 고온으로 상승되고, 그리고 블록 106은 상기 에피택셜 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 층을 대략 $1.5\ \mu\text{m}$ 의 두께로 성장시키는 공정을 나타낸다. 상기 고온 성장 조건은 대략 1100°C의 성장 온도, 0.2 atm 이하의 성장 압력, 분당 $30\ \mu\text{mol}$ 의 Ga 유량, 및 분당 $40,000\ \mu\text{mol}$ 의 N 유량을 포함하지만, 이에 한정되지는 않으며, 이로써 대략 1300의 V/III 비율을 제공한다. 바람직한 실시예에서, III족과 V족원으로 사용되는 전구체는, 비록 다른 전구체도 사용될 수 있지만, 각각 트리메틸갈륨 및 암모니아이다. 또한, 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서, 성장 조건들을 변경하여 다른 성장속도, 예를 들면, 초당 5와 9Å 사이, 를 산출해 낼 수 있다.
- [0055] 상기 고온 성장 공정이 완료되면, 블록 108은 상기 에피택셜 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 층을 질소 초과압력 하에 냉각시키는 공정을 나타낸다.
- [0056] 마지막으로, 블록 110은 무극성 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 층 위에 성장된, 합금 조성을 달리함으로써 전기적 성질이 다른 무극성 (Al,B,In,Ga)N 층을 나타낸다. 상기 무극성 (Al,B,In,Ga)N 층은 양자우물 및 이형구조를 제작하기 위해 사용된다.
- [0057] 상기 양자우물이 다른 밴드갭의 교대층(alternating layer)을 사용함으로써, 상기 구조의 에너지 밴드 프로파일(energy band profile)에 "우물"(well)이 성형된다. 상기 구조의 정밀한 층수는 원하는 양자우물의 수에 달려 있다. 여기(excitation)가 완료되면, 전도 및 가전자띠의 우물에는 전자 및 홀들이 각각 축적된다. 밴드간(band-to-band) 재결합이 상기 우물층에서 일어나는데, 이는 상태밀도(density-of-states)가 상기의 지점에서 가장 높기 때문이다. 따라서, 원하는 방출 특성과 가용 에피택셜 성장 능력에 따라 양자우물을 설계할 수 있다.
- [0058] 상기 무극성 $(11\bar{2}0)$ a면 GaN 층들 위에 성공적으로 성장된 상기 층의 공칭 두께 및 조성은:
- [0059] 8nm Si 도핑된 $\text{In}_{0.03}\text{GaN}$ 장벽
- [0060] 1.5, 2.5, 또는 5 nm의 $\text{In}_{0.1}\text{GaN}$ 우물
- [0061] 을 포함하나, 이에 한정되지 않는다.
- [0062] 더욱이, 상기의 블록들은 필요시 반복될 수 있다. 일례로, 상기 (In,Ga)N 층들의 무결함을 유지하기 위하여 GaN으로 캡핑된 MQW 구조를 성형하기 위해 블록 110을 5회 반복하였다. 이 예에서, 상기 MQW 구조를 포함하는

상기 층들을 825°C의 온도와 대기압 하에서 MOCVD를 이용하여 성장시켰다.

[0063] 상기 구조의 발광 특성으로 상기의 편극으로 유발되는 전기장은 상기 밴드 프로파일(band profile)에 영향을 미치지 않으며, 상기 양자우물은 편극이 존재하지 않는 것으로 간주될 수 있다는 것을 알 수 있다. 예를 들면, 도 2는 실온에서 측정된 1.5nm, 2.5nm, 및 5.0nm의 공칭 우물 두께를 갖는 5 주기 a면 $\text{In}_{0.1}\text{GaN}/\text{In}_{0.03}\text{GaN}$ MQW 구조의 광발광(PL) 스펙트럼을 나타낸다. 최고점(peak) PL 방출 파장 및 강도는 우물폭이 증가함에 따라 증가한다.

[0064] 게다가, 도 3은 여러가지 펌프 동력용으로 측정된 5.0nm의 공칭 우물폭을 갖는 a면 $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}/\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ MQW 구조의 PL 스펙트럼을 나타낸다. PL 강도는 예상대로 펌프 동력에 따라 증가하는 반면, 상기 최고점 방출 파장은 펌프 동력에 독립적이라는 것으로부터, 상기 밴드 프로파일은 편극으로 유발되는 전기장에 의해 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

[0065] (In,Ga)N 양자우물 외에, (Al,Ga)N/GaN 초격자를 함유하는 이형구조를 무극성 $(1\bar{1}\bar{2}0)$ _{a면} GaN 층들 위에 또한 성장시킬 수 있다. 예를 들면, 이형구조는 트랜지스터 작동용으로 필요한 전기 채널을 발생시키기 위해 전형적으로 2 개 층, 가장 일반적으로는 GaN 위의 (Al,Ga)N, 으로 구성된다. 상기 초격자층의 두께 및 조성을:

[0066] 9nm $\text{Al}_{0.4}\text{GaN}$ 장벽

[0067] 11nm GaN 우물

[0068] 을 포함하나, 이에 한정되지 않는다.

[0069] 일례로, 11nm GaN 우물층으로 종결되는 10 주기 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}/\text{GaN}$ 초격자를 성형하기 위해 블록 110을 10회 반복하였다. 상기 초격자는 하부 템플릿 층에서 수행된 것과 유사한 조건: ~1100°C 성장온도, ~0.1 atm 성장 압력, 38 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 의 Al 유량, 20 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 의 Ga 유량, 그리고 40,000 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 의 N 유량, 에서 MOCVD를 이용하여 성장시켰다. 상기 GaN 우물층을 성형하기 위해 상기 Al 유량을 간단하게 중지시켰다. 성공적인 성장 조건은 위에 제공된 값으로 엄격하게 제한되지 않는다. 상기 (In,Ga)N 양자우물과 유사하게, 상술한 초격자의 발광 특성으로 편극장은 상기 구조에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

[0070] 도 4(a)는 선명하게 정의된 위성 최고점(satellite peak)를 드러내는 10 주기 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}/\text{GaN}$ 초격자의 $2\theta - \omega$ x-선 회절주사도를 보여 주는데 반하여, 도 4(b)는 도 4(a)에서 특징지어진 상기 초격자의 PL 스펙트럼을 도시한다. 상기 편극으로 유발되는 계장이 존재하지 않는 것은 상기 초격자의 3.45 eV(~360nm) 밴드 가장자리(edge) 방출에 의한 것으로 입증되었다. 상기 밴드 가장자리 방출은 c-면 초격자에 존재하는 미묘한 적색천이를 경험하지 못했다.

[0071] 참고문헌

[0072] 하기 참고문헌은 참조용으로 여기에 편입시킨다.

[0073] 1. T. Takeuchi, S. Sota, M. Katsuragawa, M. Komori, H. Takeuchi, H. Amano, and I. Akasaki, Japanese Journal of Applied Physics, Part 2 (Letters) 36, L382-5 (1997).

- [0074] 2. P. Lefebvre, A. Morel, M. Gallart, T. Taliercio, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, B. Damilano, N. Grandjean, and J. Massies, *Applied Physics Letters* 78, 1252-4 (2001).
- [0075] 3. N. Grandjean, B. Damilano, S. Dalmasso, M. Leroux, M. Laugt, and J. Massies, *J. Appl. Phys.* 86 (1999) 3714.
- [0076] 4. M. Leroux, N. Grandjean, J. Massies, B. Gil, P. Lefebvre, and P. Bigenwald, *Phys. Rev. B* 60 (1999) 1496.
- [0077] 5. R. Langer, J. Simon, V. Ortiz, N. T. Pelekanos, A. Barski, R. Andre, and M. Godlewski, *Appl. Phys. Lett.* 74 (1999) 3827.
- [0078] 6. P. Lefebvre, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, N. Grandjean, M. Leroux, J. Massies, and P. Bigenwald, *Phys. Rev. B* 59 (1999) 15363.
- [0079] 7. I. Jin Seo, H. Kollmer, J. Off, A. Sohmer, F. Scholz, and A. Hangleiter, *Phys. Rev. B* 57 (1998) R9435.
- [0080] 8. P. Seoung-Hwan and C. Shun-Lien, *Appl. Phys. Lett.* 76 (2000) 1981.
- [0081] 9. P. Waltereit, O. Brandt, A. Trampert, H. T. Grahn, J. Menniger, M. Ramsteiner, M. Reiche, and K. H. Ploog, *Nature* 406 (2000) 865.
- [0082] 10. H. M. Ng, *Appl. Phys. Lett.* 80 (2002) 4369.
- [0083] 11. M. D. Craven, S. H. Lim, F. Wu, J. S. Speck, and S. P. DenBaars, *Appl. Phys. Lett.* 81 (2002) 469.
- [0084] 12. O. Brandt, P. Waltereit, and K. H. Ploog, *J. Phys. D, Appl. Phys. (UK)* 35 (2002) 577.
- [0085] 13. M. Leszczynski, H. Teisseire, T. Suski, I. Grzegory, M. Bockowski, J. Jun, S. Porowski, K. Pakula, J. M. Baranowski, C. T. Foxon, and T. S. Cheng, *Appl. Phys. Lett.* 69 (1996) 73.
- [0086] 14. A. F. Wright, *J. Appl. Phys.* 82 (1997) 2833.
- [0087] 15. I. H. Tan, G. L. Snider, L. D. Chang, and E. L. Hu, *J. Appl. Phys.* 68 (1990) 4071.

[0088] 16. E. Yablonovitch and E.O. Kane, Journal of Lightwave Technology LT-4(5), 504-6 (1986).

[0089] 결론

[0090] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상세한 설명을 결론 짓는다. 이하에서는 본 발명을 달성하기 위한 일부 대안적인 실시예들을 기술한다.

[0091] 예를 들면, 무극성 (Al_xIn_yGa_z)N 양자우물 및 이형구조 설계, 그리고 MOCVD 성장 조건들을 변경하여 대안적인 실시예들에 사용할 수 있다. 더욱이, 상기 층들의 특정 두께 및 조성은, 성장된 양자우물의 수 외에, 양자우물 구조 설계에 있어서 고유 변수이고, 그리고 본 발명의 대안적인 실시예들에 사용될 수 있다.

[0092] 게다가, 상기 특정의 MOCVD 성장 조건은 상기 양자우물 구조층의 치수와 조성을 결정한다. 이러한 면에서, MOCVD 성장 조건은 반응로에 의존적이며, 특정의 반응로 설계 간에서 변경될 수 있다. 산업계와 학계에서 현재 사용하는 다양한 반응로 설계와 더불어 상기 공정을 다양하게 변경시키는 것이 가능하다.

[0093] 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서, 성장온도, 성장 압력, V/III 비율, 전구체 유량, 및 원재료와 같은 조건들을 다양하게 변경시키는 것이 가능하다. 계면 품질을 제어하는 것은 상기 공정의 또 다른 중요한 관점이며, 특별한 반응로 설계에 있어서의 유량 변환 능력에 직접적으로 연관되어 있다. 계속해서 상기 성장 조건들을 최적화 한다면 상술한 집적 양자우물층의 보다 정확한 조성 및 두께조절에 이를 것이다.

[0094] 또한, MOCVD 보다 다른 성장 방법들을 본 발명에 사용할 수 있을 것이다. 예를 들면, 상기 성장 방법은 또한, 분자선 에피탁시(MBE), 액상 에피탁시(LPE), 하이브리드 기상 에피탁시(HVPE), 승화, 또는 플라즈마-증강화학 기상 증착법(PECVD)일 수 있다.

[0095] 게다가, 비록 무극성 a면 GaN 박막을 여기에 기술하였지만, 무극성 m-면 GaN 박막에도 동일한 기술을 적용할 수 있다. 더욱이, GaN 박막 대신에 무극성 InN, AlN, 및 AlInGaN 박막을 생산해 낼 수 있다.

[0096] 마지막으로, 무극성 GaN 성장에 있어서 사파이어 기판 이외의 기판을 사용할 수 있다. 상기 기판은 실리콘 카바이드, 질화 갈륨, 실리콘, 산화 아연, 보론 나이트라이드, 리튬 알루미네이트, 리튬 니오베이트, 게르마늄, 질화 알루미늄, 및 리튬 갤레이트를 포함한다.

[0097] 요약하면, 본 발명은 무극성 (Al_xB_yIn_zGa_w)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치들을 성형하는 방법을 상술한다.

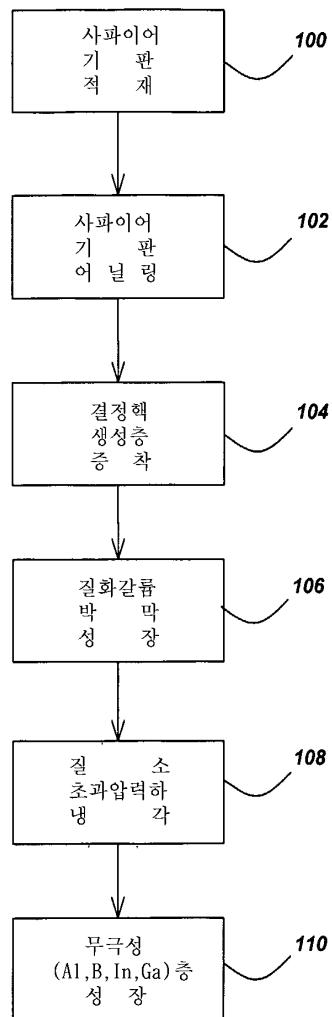
먼저, 무극성 $(1\bar{1}\bar{2}0)$ a면 GaN 박막을 MOCVD를 이용하여 $(1\bar{1}02)$ r면 사파이어 기판 위에 성장시

킨다. 상기 무극성 $(1\bar{1}\bar{2}0)$ a면 GaN 층은 무극성 (Al_xB_yIn_zGa_w)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치들을 생산하기 위한 템플릿(template)을 포함한다.

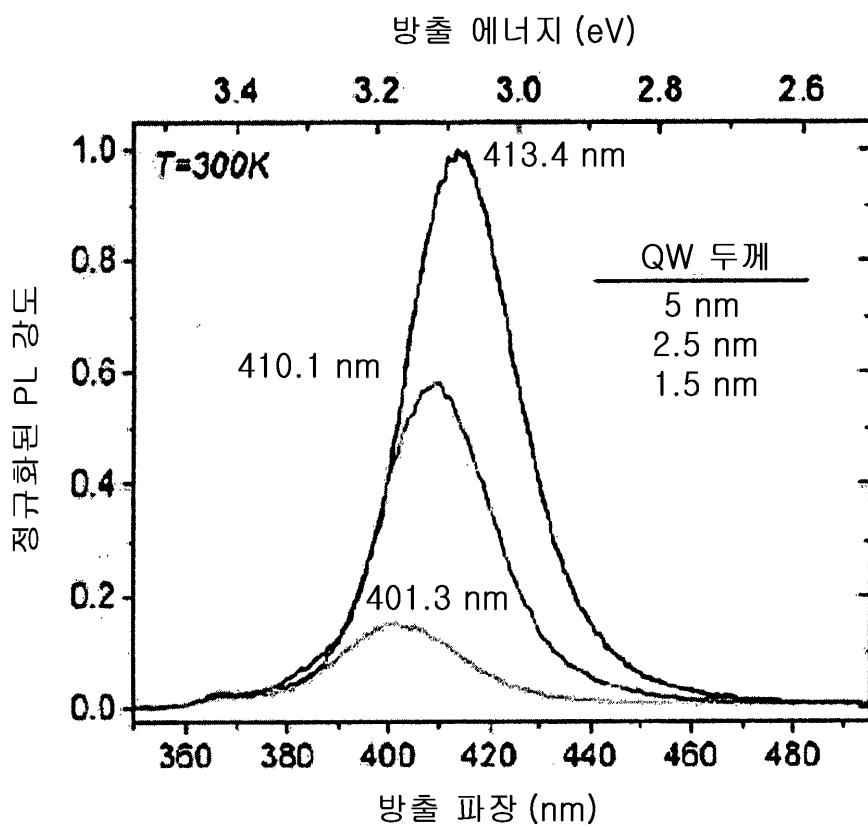
[0098] 도해와 설명을 목적으로 전술한 하나 이상의 본 발명에 따른 실시예들을 제공하였다. 본 발명을 개시된 정확한 형태대로 철저하게 규명해 내거나 제한하기 위한 의도는 아니다. 상기에서 교시된 것에 의해 다양한 변경과 변형이 가능하다. 본 발명의 범위가 상기 상세한 설명에 의해 제한되는 것은 아니며, 오히려 첨부된 청구범위에 의한다.

도면

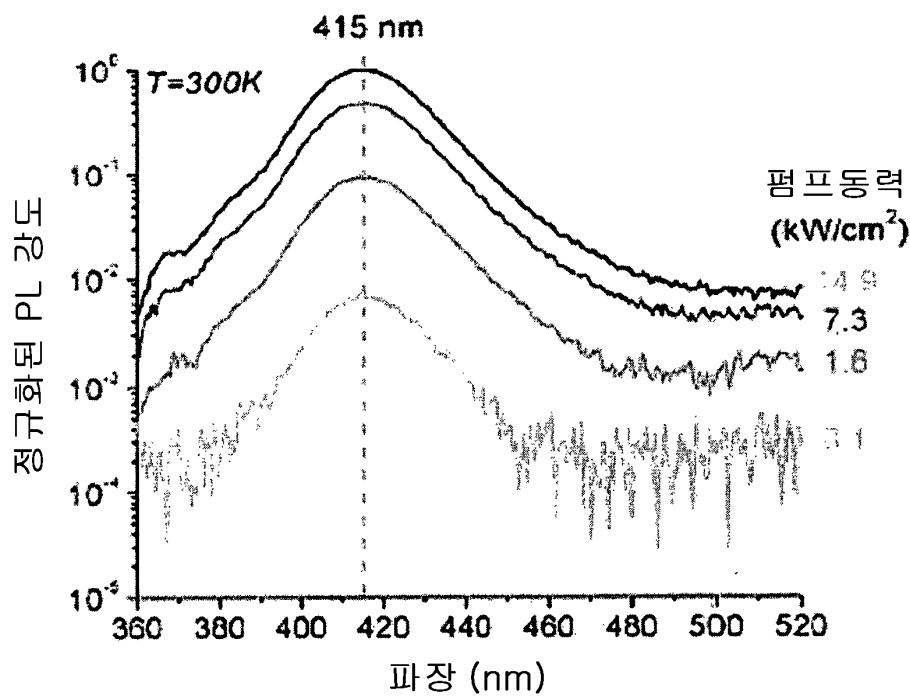
도면1



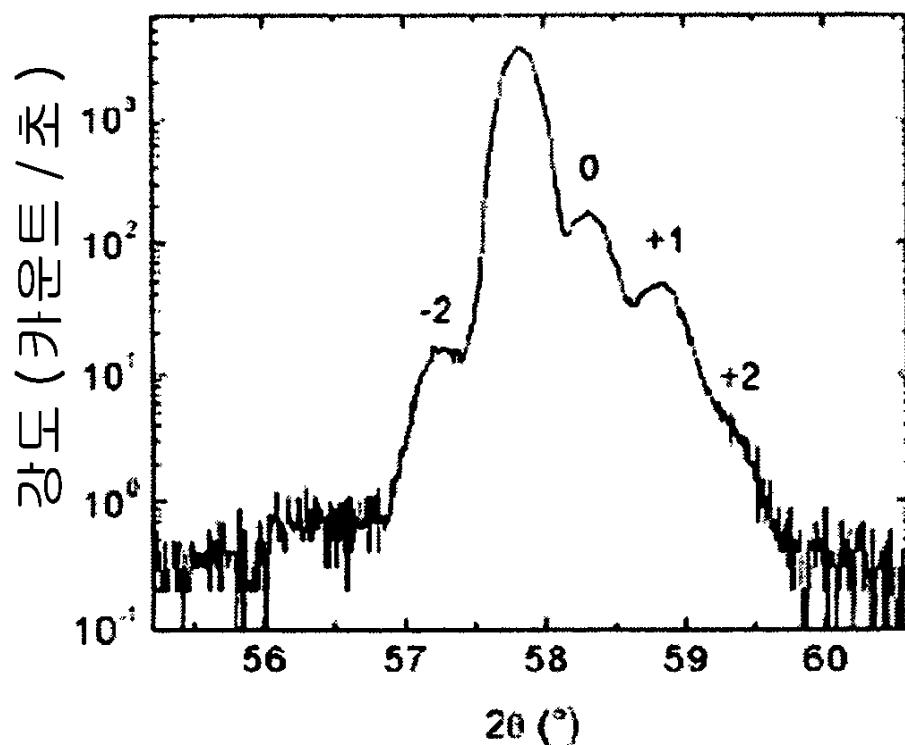
도면2



도면3



도면4a



도면4b

