



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월16일

(11) 등록번호 10-1537300

(24) 등록일자 2015년07월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-7004848

(22) 출원일자(국제) 2008년08월08일

심사청구일자 2013년08월06일

(85) 번역문제출일자 2010년03월04일

(65) 공개번호 10-2010-0051846

(43) 공개일자 2010년05월18일

(86) 국제출원번호 PCT/US2008/072669

(87) 국제공개번호 WO 2009/021201

국제공개일자 2009년02월12일

(30) 우선권주장

60/954,744 2007년08월08일 미국(US)

60/954,767 2007년08월08일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2006245564 A*

KR1020060110700 A*

JP2010529943 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아

미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층

(72) 발명자

이소 켄지

일본 가나가와 251-0056 후지사와 하토리
3-19-14-304

야마다 히사시

일본 이바라키 305-0817 츠쿠바 켄큐가쿠엔
디4-2-3-603

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 12 항

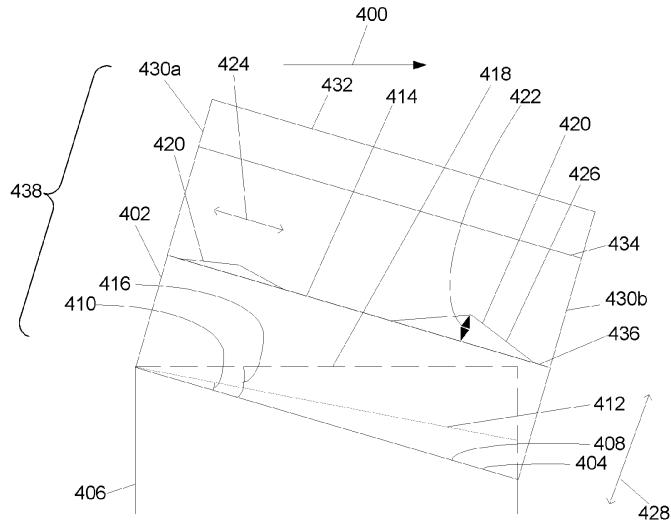
심사관 : 강병섭

(54) 발명의 명칭 미스컷 기판들 상에 성장된 평면의 무극성 m-면 III족-질화물 막들

(57) 요 약

무극성 III-질화물 막이 기판의 미스컷 상에 성장된다. <000-1> 방향을 향한 미스컷 각도는 0.75° 이상의 미스컷이고, <000-1> 방향을 향한 27° 보다 작은 미스컷이다. 표면 굴곡들은 억제되며 이는 폐시트된 피라미드들을 포함할 수 있다. 막을 사용하여 제조된 소자도 개시된다. 매끄러운 표면 모폴로지를 갖는 무극성 III-질화물 막은 무극성 III-질화물 막들의 표면 굴곡들을 억제하기 위해서 무극성 III-질화물 막들이 성장되는 기판의 미스컷 각도를 선택하는 것을 포함하는 방법을 사용하여 제조된다. 무극성 III-질화물 막들이 성장되는 기판의 미스컷 각도는 무극성 막으로부터 장파장의 발광을 얻기 위해 선택될 수 있다.

대 표 도 - 도4



(72) 발명자

사이트 마코토

일본 이바라키 305-0044 츠쿠바 나미키 3-22-30

히라이 아사코

미국 캘리포니아 93103 산타바바라 코네조 로드
114

덴바스 스티븐 피.

미국 캘리포니아 93117 골레타 엘더베리 드라이브
283

스페 제임스 에스.

미국 캘리포니아 93117 골레타 웨스트 캠퍼스 레인
947

나카무라 슈지

미국 캘리포니아 93160 산타바바라 피.오. 박스
61656

명세서

청구범위

청구항 1

기판의 미스컷(miscut) 상에 성장된 무극성 III-질화물 막으로서,

상기 기판의 미스컷이 c 방향(<000-1> 방향)을 향하여, 그리고 상기 기판의 무극성 면에 대해 0.75° 내지 27° 사이에서 선택된 미스컷 각도를 이루는 성장 표면을 제공하고, 상기 미스컷 각도는 상기 무극성 III-질화물 막의 최상위 표면에서의 표면 굴곡을 억제하도록 선택되고; 상기 무극성 III-질화물 막의 상기 최상위 표면이 성장 후에 상기 기판의 성장 표면과 평행한 무극성 III-질화물 막.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 질화 갈륨(GaN)인 것을 특징으로 하는 무극성 III-질화물 막.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 무극성 면은 m-면({1-100} 패밀리)인 것을 특징으로 하는 무극성 III-질화물 막.

청구항 6

삭제

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 미스컷 각도는 상기 막의 최상위 표면 상의, $1000 \mu\text{m}$ 길이에 대한, 하나 이상의 굴곡들의 평균 제곱근 (root mean square, RMS) 진폭 높이(amplitude height)가 60 nm 이하가 되도록 선택되는 것을 특징으로 하는 무극성 III-질화물 막.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 미스컷 각도는 상기 막의 최상위 표면 상의, $1000 \mu\text{m}$ 길이에 대한, 하나 이상의 굴곡들의 최대 진폭 높이가 109 nm 이하가 되도록 선택되는 것을 특징으로 하는 무극성 III-질화물 막.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 막 내에 III-질화물 발광 막을 더 포함하되, 상기 미스컷 각도는 상기 발광 막 내에 인듐 편입을 증가시키기 위해서 선택되며, 이에 의해 상기 발광 막에 의해 발광되는 광의 피크(peak) 파장이 적어도 425 nm 까지 증가되는 것을 특징으로 하는 무극성 III-질화물 막.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 막 내에 III-질화물 발광 활성(active) 막을 더 포함하되, 광의 피크 파장이 상기 활성 막을 통과하는 주입 전류에 반응하여 상기 활성 막에 의해 발광되고, 상기 활성 막의 합금 조성, 상기 무극성 면, 및 상기 미스컷 각도는 상기 활성 막의 분극을 줄이기 위해 선택되며, 이에 의해 상기 피크 파장이 주입 전류들의 범위에서 상기 피크 파장의 0.7 nm 이내에서 일정하게 유지되는 것을 특징으로 하는 무극성 III-질화물 막.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 전류들의 범위는 상기 발광되는 광의 세기들의 범위를 산출하며, 상기 세기들의 범위의 최대 세기는 상기 세기들의 범위의 최소 세기의 적어도 37배인 것을 특징으로 하는 무극성 III-질화물 막.

청구항 12

제 1 항의 상기 무극성 III-질화물 막을 사용하여 제조된 전자 소자.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 전자 소자는 상기 전자 소자의 성장에 충분할 만큼 매끄러운 표면 모폴로지를 가진 제 1 항의 상기 무극성 III-질화물 막 상에 성장되는 것을 특징으로 하는 전자 소자.

청구항 14

c 방향(<000-1> 방향)을 향하여, 그리고 기판의 무극성 면에 대해 0.75° 내지 27° 사이에서 선택된 미스컷 각도를 이루는 기판의 성장 표면인 상기 기판의 미스컷을 제공하고, 상기 미스컷 각도는 상기 무극성 III-질화물 막의 최상위 표면에서의 표면 굴곡을 억제하도록 선택되는 단계;

상기 무극성 III-질화물 막의 상기 최상위 표면이 성장 후에 상기 기판의 성장 표면에 평행하도록 상기 기판의 상기 성장 표면 상에 상기 무극성 III-질화물 막을 성장시키는 단계;

를 포함하는 III-질화물 막의 제조 방법.

청구항 15

기판의 미스컷 상에 성장된 무극성 III-질화물 막으로부터 발광하는 단계로서, 상기 기판의 미스컷은 c 방향(<000-1> 방향)을 향하여, 그리고 무극성 면에 대해 0.75° 내지 27° 사이에서 선택된 미스컷 각도를 이루는 상기 기판의 성장 표면이고, 상기 미스컷 각도는 상기 무극성 III-질화물 막의 최상위 표면에서의 표면 굴곡을 억제하도록 선택되고, 상기 무극성 III-질화물 막의 상기 최상위 표면은 성장 후에 상기 기판의 상기 성장 표면에 평행한, 기판의 미스컷 상에 성장된 무극성 III-질화물 막으로부터 발광하는 단계를 포함하는 광 발생 방법.

발명의 설명**기술 분야**

[0001]

본 발명은 (1) 평면의 무극성 m면 막들의 성장 기술, 더욱 상세하게는 표면 굴곡들(undulations)이 전혀 없이 원자적으로 매끄러운 m-GaN 막의 성장 기술에 관한 것이며, (2) InGaN/GaN 발광 다이오드들(light emitting diodes, LEDs) 및 레이저 다이오드들(laser diodes, LDs), 및 더욱 상세하게는 발광 파장이 미스컷 각도들을 선택하는 것에 의해 제어될 수 있는 미스컷(miscut) 기판들 상에 성장된 III-질화물 막들에 관한 것이다.

관련 출원들의 상호 참조

[0002]

본 출원은 공동-계류 중이고 본 출원인에게 양도된 다음의 출원들의 우선권을 35 U.S.C. Section 119(e)에 따라 주장한다:

[0004] "PLANAR NONPOLAR M-PLANE GROUP III-NITRIDE FILMS GROWN ON MISCUT SUBSTRATES"이란 발명의 명칭으로 Kenji Iso, Hisashi Yamada, Makoto Saito, Asako Hirai, Steven P. DenBaars, James S. Speck, 및 Shuji Nakamura에 의해 2007년 8월 8일 출원된 미국 가특허출원 제 60/954,774호(대리인 문서 번호 30794.249-US-P1 (2008-004-1); 및

[0005] "III-NITRIDE FILMS GROWN ON MISCUT SUBSTRATES"이란 발명의 명칭으로 Hisashi Yamada, Kenji Iso, Makoto Saito, Asako Hirai, Steven P. DenBaars, James S. Speck, 및 Shuji Nakamura에 의해 2007년 8월 8일 출원된 미국 가특허출원 제 60/954,767호(대리인 문서 번호 30794.248-US-P1 (2008-062-1);

[0006] 상기 출원들은 본 명세서에 참조로서 포함된다.

[0007] 본 출원은 공동-계류 중이고 본 출원인에게 양도된 다음의 미국 특허 출원들과 관련된다:

[0008] "PLANAR NONPOLAR M-PLANE GROUP III NITRIDE FILMS GROWN ON MISCUT SUBSTRATES"이란 발명의 명칭으로 Asako Hirai, Zhongyuan Jia, Makoto Saito, Hisashi Yamada, Kenji Iso, Steven P. DenBaars, Shuji Nakamura, 및 James S. Speck에 의해 2007년 6월 15일에 출원된 미국 가출원 제60/944,206호(대리인 문서 번호 30794.238-US-P1 (2007-674-1))의 우선권을 주장하며, "PLANAR NONPOLAR M-PLANE GROUP III NITRIDE FILMS GROWN ON MISCUT SUBSTRATES"이란 발명의 명칭으로 Asako Hirai, Zhongyuan Jia, Makoto Saito, Hisashi Yamada, Kenji Iso, Steven P. DenBaars, Shuji Nakamura, 및 James S. Speck에 의해 2008년 6월 16일에 출원된 미국 특허 출원 제12/140,096호(대리인 문서 번호 30794.238-US-P1 (2007-674-2)); 및

[0009] "NONPOLAR III-NITRIDE LIGHT EMITTING DIODES WITH LONG WAVELENGTH EMISSION"이란 발명의 명칭으로 Hisashi Yamada, Kenji Iso, 및 Shuji Nakamura에 의해 2007년 8월 8일에 출원된 미국 가특허출원 제60/954,770호(대리인 문서 번호 30794.247-US-P1 (2008-063-1))의 우선권을 주장하며, "NONPOLAR III-NITRIDE LIGHT EMITTING DIODES WITH LONG WAVELENGTH EMISSION"이란 발명의 명칭으로 Hisashi Yamada, Kenji Iso, 및 Shuji Nakamura에 의해 본 명세서와 동일자에 출원된 미국 특허 출원 제xx/xxx,xxx호(대리인 문서 번호 30794.247-US-U1 (2008-063-2));

[0010] 상기 출원들은 본 명세서에 참조로서 포함된다.

배경기술

[0011] 질화 갈륨(GaN) 및 이의 알루미늄과 인듐을 포함한 3원(ternary) 및 4원(quaternary) 화합물들(AlGaN, InGaN, AlInGaN)의 유용성은 가시광선 및 자외선 광전자 소자(optoelectronic devices)들과 고전력 전자 소자들의 제조에 관하여 잘 확립되었다. 이들 화합물들은 본 명세서에서 III족-질화물들, 또는 III-질화물들, 또는 단지 질화물들, 또는 학명(nomenclature) (Al,B,Ga,In)N으로 지칭된다. 이들 화합물들로 만들어진 소자들은 분자빔 에피택시법(molecular beam epitaxy, MBE), 유기금속 화학기상증착법(metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD), 및 수소화합물 기상 에피택시법(hydride vapor phase epitaxy, HVPE)을 포함하는 성장 기술들을 사용하여 통상적으로 에피택시로 성장된다.

[0012] GaN 및 이의 합금들(alloys)은 육방정계 우르자이트(hexagonal wurtzite) 결정 구조에서 가장 안정하고, 상기 구조는 서로 120° 회전되어 있는 두 개(또는 세 개)의 등가 기저면(equivalent basal plane) 축들에 의해 설명되는데(a-축), 상기 모든 축들은 유일한 c-축에 대해 수직이다. III족 및 질소 원자들은 결정의 c-축을 따라 번갈아 나타나는 c-면들을 차지한다. 우르자이트 구조에 포함되는 대칭 요소들(symmetry elements)은 III-질화물들이 c-축을 따라 벌크 자발 분극(bulk spontaneous polarization)을 나타내는 것에 영향을 주며, 우르자이트 구조는 압전 분극(piezoelectric polarization)을 나타낸다.

[0013] 전자 및 광전자 소자들에 관한 현재의 질화물 기술은 극성(polar) c-축을 따라 성장된 질화물 막들을 사용한다. 그러나, III-질화물 기반의 광전자 및 전자 소자들에 있어서 전통적인 c-면 양자 우물(quantum well) 구조들은 원치 않는 양자-구속 스타크 효과(quantum-confined Stark effect, QCSE)를 겪게 되는데, 이는 강한 압전성 및 자발 분극들이 존재하기 때문이다. c-방향을 따르는 강한 빌트-인(built-in) 전기장들이 전자들과 홀들(hole s)의 공간 분리(spatial separation)를 가져오고, 그에 따라 억제된 캐리어(carrier) 재결합 효율, 감소된 진동자 세기(oscillator strength) 및 적색-편이된 발광을 초래한다.

[0014] GaN 광전자 소자들에서 자발 및 압전 분극 효과들을 없애려는 하나의 방법은 결정의 무극성 면들 상에 소자들을 성장시키는 것이다. 이러한 면들은 같은 수의 Ga 및 N 원자들을 포함하며, 전하-중성(charge-neutral)이다. 더욱이, 후속의 무극성 면들은 서로 등가이므로, 벌크 결정은 성장 방향을 따라 분극되지 않을 것이다. GaN에

서 대칭-동가(symmetry-equivalent) 무극성 면들의 이러한 두 패밀리들(families)이 통칭하여 a-면들로 알려진 {11-20} 패밀리 및 통칭하여 m-면들로 알려진 {1-100} 패밀리이다.

[0015] 분극의 다른 원인은 압전 분극이다. 이는 재료가 압축(compressive) 또는 인장(tensile) 변형(strain)을 겪을 때 일어나며, 비유사 조성의 (따라서 격자 상수들(lattice constants)이 다른) (Al, In, Ga, B)N 막들이 질화물 헤테로구조(heterostructure)로 성장할 때 일어날 수 있다. 예를 들어, GaN 템플레이트(template) 상의 얇은 AlGaN 막은 면내 인장 변형(in-plane tensile strain)을 가질 것이고, GaN 템플레이트 상의 얇은 InGaN 막은 면내 압축 변형(in-plane compressive strain)을 가질 것인데, 양자는 GaN에 대한 격자 매칭(matching)에 기인한다. 그러므로, GaN 상의 InGaN 양자 우물에서, 압전 분극은 InGaN 및 GaN의 자발 분극 방향보다는 그 반대 방향을 가리킬 것이다. GaN에 격자 매치된 AlGaN 막에서, 압전 분극은 AlGaN 및 GaN의 자발 분극 방향과 같은 방향을 가리킬 것이다.

[0016] c-면 질화물 위의 무극성 면들을 사용하는 것의 이점은 총 분극이 줄어들 것이라는 것이다. 특정 면들 상의 특정 합금 조성들의 경우 분극이 없는 경우도 있다. 이러한 시나리오들은 미래의 과학 논문들에서 상세하게 논의될 것이다. 중요한 점은 c-면 질화물 구조들의 경우와 비교하여 분극이 줄어들 것이라는 점이다.

[0017] 비록 무극성 m-면 GaN 상의 고성능의 광전자 소자들이 구현되었지만, 이러한 재료들에서 매끄러운 표면을 얻는 것은 어려운 것으로 알려져 있다. m-면 GaN 표면은 통상적으로 패시트들(facets), 또는 오히려 거시적 표면 굽곡들로 덮여 있다. 표면 굽곡은 바람직하지 않은데, 예를 들어, 양자 구조들에서 패시팅을 시작하고, 합금 원자들 또는 도편트들(dopants)의 불균일한 편입이 결정 패시트들 등에 의존하기 때문이다.

[0018] 이러한 무극성 m-면 GaN 상의 InGaN/GaN 다중 양자 우물들(MQWs)로부터 장파장의 발광을 얻는 것은 어렵다는 것도 발견되었다. 이는 대체로 InGaN/GaN MQW들의 낮은 In 편입 때문이다. c-면 상에 성장된 소자들의 발광 파장은 450 nm인 반면 동일한 성장 조건(들)에서 m-면 상에 성장된 소자들의 발광 파장은 통상적으로 400 nm이다. 성장 온도를 줄이는 것은 In 편입을 증가시킨다; 그러나, 결정의 질(quality)은 저하될 것이다. 이는 청색, 녹색, 황색, 및 백색 LED들과 같은 어플리케이션들(applications)에서 중요한 문제가 될 것이다.

발명의 내용

[0019] 본 발명은 미스컷 기판들 상에 성장된 III족-질화물 막들의 성장에 관한 기술을 설명한다. 예를 들어, 청색 발광이 MQW들의 열화없이 얻어진다. 또한, 본 발명은 무극성 m-면 질화물들의 평면 막들의 성장 기술을 설명한다. 예를 들어, 표면 굽곡들이 전혀 없는 원자적으로 매끄러운 m-GaN 막이 본 발명을 이용하여 구현된다. 그러므로, 본 발명은 표면 거칠기(roughness), 발광 파장, 및 인듐 편입이 미스컷 각도들을 선택하는 것에 의해 제어될 수 있는 미스컷 기판들 상에 성장된 III-질화물 막들을 설명한다.

[0020] 상술한 종래 기술의 한계들을 극복하며, 본 명세서를 읽고 이해하면 명백해질 다른 한계들을 극복하기 위해서, 본 발명은 무극성 III-질화물 막들의 표면 굽곡들을 억제하기 위해 무극성 III-질화물 막들이 성장되는 기판의 미스컷 각도를 선택함으로써 거시적 표면 굽곡들이 전혀 없이 원자적으로 매끄러운 표면을 가지는 평면의 무극성 III-질화물 막들을 성장시키기 위한 방법을 개시한다.

[0021] 미스컷 각은 c-축 방향(예컨대 <000-1> 방향)을 향하는 평면 내(in-plane) 미스컷 각이 될 수 있으며, 또한 미스컷 각도는 <000-1> 방향을 향한 0.75° 이상의 미스컷 각도(m-면에 대하여) 및 <000-1> 방향을 향한 27° 보다 작은 미스컷 각도(m-면에 대하여)일 수 있다.

[0022] 본 발명은 기판의 미스컷 상에 성장된 무극성 III-질화물 막을 더 개시하는데, 기판의 미스컷이 무극성 면에 대해 미스컷 각도를 이루고 있는 기판의 표면을 제공하며; 상기 무극성 III-질화물 막 성장의 최상위 표면이 실질적으로 상기 표면과 평행하다.

[0023] 최상위 표면의 매끄러운 표면 모풀로지(morphology)는 무극성 III-질화물 막의 표면 굽곡들을 억제하기 위해서 무극성 III-질화물 막이 성장되는 상기 기판의 미스컷 각도를 선택함으로써 결정될 수 있다.

[0024] 미스컷 각도는 상기 막의 최상위 표면 상의, 1000 μm 길이에 대한, 하나 이상의 굽곡들의 평균 제곱근(root mean square, RMS) 진폭 높이(amplitude height)가 60 nm 이하이도록 할 수 있다. 미스컷 각도는 상기 막의 최상위 표면 상의, 1000 μm 길이에 대한, 하나 이상의 굽곡들의 최대 진폭 높이가 109 nm 이하이도록 할 수 있다.

[0025] 미스컷 각도는 상기 막 내의 III-질화물 발광 막 내에 인듐 편입을 증가시키기 위해서 선택될 수 있으며, 이에

의해 상기 발광 막에 의해 발광되는 광의 피크(peak) 파장이 적어도 425 nm까지 증가된다.

[0026] 피크 파장의 광이 상기 활성 막을 통과하는 주입 전류에 반응하여 상기 막 내의 III-질화물 발광 활성 막에 의해 방출될 수 있으며, 상기 활성 막의 합금 조성, 무극성 면, 및 미스컷 각도는 상기 활성 막의 분극을 줄이기 위해 선택될 수 있고, 이에 의해 피크 파장이 주입 전류들의 범위에서 피크 파장의 0.7 nm 이내에서 일정하게 유지된다. 전류들의 범위는 방출되는 광의 세기들의 범위를 산출하며, 최대 세기는 최소 세기의 적어도 37배가 될 수 있다.

[0027] 상기 막을 사용하여 소자가 제조될 수 있다. 소자는 소자의 성장에 있어 충분할 만큼 매끄러운 표면 모폴로지를 가진 상기 막 상에 성장될 수 있다.

[0028] 본 발명은 III-질화물 막의 제조 방법을 더 개시하며, 무극성 면에 대해 미스컷 각도를 이루는 상기 기판의 표면인 기판의 미스컷을 제공하는 단계; 및 III-질화물 막 성장의 최상위 표면이 실질적으로 상기 기판의 표면에 평행하도록 상기 기판의 미스컷 상에 상기 III-질화물 막 성장을 자라게 하는 단계를 포함한다.

[0029] 본 발명은 기판의 미스컷 상에 성장된 무극성 III-질화물 막으로부터 발광하는 단계를 포함하는 발광 방법을 더 개시하며, 기판의 미스컷은 무극성 면에 대해 미스컷 각도를 이루는 상기 기판의 표면이고, III-질화물 막 성장의 최상위 표면은 실질적으로 상기 표면에 평행하다.

도면의 간단한 설명

[0030] 이제 도면들을 참조하며, 명세서 전체에 걸쳐 유사한 참조 번호들은 대응하는 부분들을 나타낸다.

도 1의 (a) 내지 (f)는, <000-1>을 향한 다양한 미스컷 각도들에 대한 자립(freestanding) m-GaN 기판들 상에 성장된 m-면 GaN 막들 표면의 광학 현미경 사진들이다.

도 2는 m-면 GaN 표면의 진폭 높이 측정들로부터 계산된 평균 제곱근(RMS) 값들을 표면이 성장된 미스컷 각도들의 함수로 도시한다.

도 3은 m-면 GaN 표면의 진폭 높이 측정으로부터 계산된 최대 진폭 높이 값들을 표면이 성장된 미스컷 각도(<000-1>을 향한)의 함수로 도시한다.

도 4는 기판의 미스컷 상의 III-질화물 막 및 후속의 소자 막들의 단면도이다.

도 5는 미스컷 기판들 상에 성장된 LED들로, 다른 미스컷 각도들(미스컷 각도들 0.01°, 0.45°, 0.75°, 1.7°, 5.4°, 9.6° 및 27°) 상에 성장된 LED들의 전기발광(electroluminescence, EL) 스펙트럼들을 도시한다.

도 6은 $\Theta = 5.4^\circ$ 인 미스컷 기판 상에 성장된 LED의 전기발광 스펙트럼들을 도시하며, 아래에서부터 위로, 주입 전류 1 mA, 2 mA, 5 mA, 10 mA, 20 mA, 30 mA, 40 mA, 50 mA, 60 mA, 70 mA, 80 mA, 90 mA, 및 100 mA (즉, 세기는 전류에 따라 증가한다)에 대한 스펙트럼들이다.

도 7은 $\Theta = 5.4^\circ$ 인 미스컷 기판 상에 성장된 소자의 전기발광 세기 및 피크(peak) 파장 대 전류를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 아래의 바람직한 실시예의 설명에서, 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부한 도면들에 대해 참조 번호가 만들어지며, 도면은 본 발명이 실시될 수 있는 특정한 실시예를 도시하는 방법에 의해 보여진다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 다른 실시예들이 이용될 수 있으며 구조적 변화가 만들어질 수 있음이 이해될 것이다.

개요

[0033] 본 발명은 무극성 III-질화물 막들의 매끄러운 표면 모폴로지를 얻기 위한 방법을 설명한다. 특히, 무극성 III-질화물 막들의 표면 굴곡들이 무극성 III-질화물 막들이 성장하는 기판의 미스컷 각도를 제어함으로써 억제된다.

[0034] 현재의 질화물 소자들은 통상적으로 극성 [0001] c-방향으로 성장되며, 이는 수직형(vertical) 소자들에서 프라이머리 전도 방향(primary conduction direction)을 따라 전하 분리를 일으킨다. 발생된 분극장들(polarization fields)은 현재 최신의 광전자 소자들의 성능에 불이익하다.

[0035] 무극성 방향을 따른 이들 소자들의 성장은 전도 방향을 따르는 빌트-인 전기장들을 줄임으로써 소자의 성능을

크게 향상시킨다. 그러나, 거시적 표면 굴곡들이 통상적으로 소자의 표면들에 존재하고, 이는 연속적인 막 성장에 해롭다.

[0036] 현재까지, 소자 성장을 위해 향상된 소자 막들, 템플레이트들, 또는 기판들을 제공한다 하더라도, 거시적 표면 굴곡들 없는 무극성 III-질화물 막들을 성장시키는 수단들은 존재하지 않았다. 본 발명의 새로운 특징은 미스컷 기판을 통해서 무극성 III-질화물 막들이 거시적이고 원자적으로 평면의 막들로 성장될 수 있다는 것이다. 증거로서, 발명자들은 GaN의 {10-10} 평면의 막들을 성장시켰다. 그러나, 본 발명의 범위는 단지 이들 예들에 한정되지 않는다; 그보다는, 본 발명은 호모에피택시(homoepitaxial) 또는 혼테로에피택시(heteroepitaxial)인지에 무관하게 모든 무극성 평면의 질화물 막들에 관련된다.

[0037] 본 발명은 막들의 발광 파장이 미스컷 각도를 선택함으로써 제어될 수 있는 미스컷 기판들 상에 성장된 III족 질화물 막들을 더 설명한다. 특히, III-질화물 막들의 In 편입은 III-질화물 막들이 성장되는 기판의 미스컷 각도를 선택함으로써 증가된다.

[0038] 본 발명 이전에, m-면 온-축(on-axis) 상에 성장된 LED들의 발광 파장은 통상적으로 400 nm이었으며, 이는 광학 소자들을 위한 어플리케이션들을 한정하였다. 본 발명의 추가적인 새로운 특징은 III-질화물 막들의 In 편입의 증가가 미스컷 기판 상의 성장을 통하여 달성될 수 있다는 것이다. 이의 증거로서, 발명자들은 미스컷 기판들 상에 InGaN/GaN 기반의 LED들을 성장시켰다. <000-1> 방향을 향하여 0.75° 이상의 각도를 갖는 미스컷 상에 성장된 막의 파장이 440 nm 인 반면, m-면, (10-10), 온-축 상에 성장된 막의 발광 파장은 390 nm이었다.

기술적 설명

매끄러운 III-질화물 막들을 성장시키기 위한 미스컷 사용

[0041] 본 발명의 제 1 실시예는 평면의 무극성 III-질화물 막들을 성장시키는 방법을 포함한다. 특히, 본 발명은 성장 공정에서 미스컷 기판들을 사용한다. 예를 들어, 기판이 거시적 및 원자적으로 모두 평면인 {10-10} GaN의 성장을 위해 적절한 방향으로 미스컷 각도를 가지는 것이 결정적으로 중요하다.

[0042] 본 발명의 제 1 실시예에서, GaN 표면들은 <000-1> 방향으로 미스컷 각을 갖는 자립 GaN 기판 상에 통상의 MOCVD 방법을 사용하여 성장되었다. 성장된 GaN 막의 두께는 5 μm 이었다. 미스컷 기판들은 c-면 GaN 벌크 결정들로부터 슬라이스(slice)되어 준비되었다. <000-1>을 향한 m-면으로부터의 미스컷 각도들은 0.01°, 0.45°, 0.75°, 5.4°, 9.6°, 및 27° 이었으며, 이들은 X선 회절(X-ray diffraction, XRD)에 의해 측정되었다. 상기 샘플들은 2-인치(inch) 웨이퍼 홀더(wafer holder) 상의 다른 위치들로, 동일한 배치(batch)에서 성장되었다. 표면 모폴로지는 광학 현미경 및 진폭 높이 측정에 의해 조사되었다.

매끄러운 막들의 성장을 나타내는 실험 결과들

[0043] 도 1은 <000-1>을 향한 다양한 미스컷 각도들을 갖는 자립 m-GaN 기판들 상에 성장된 m-면 GaN 막들 표면의 광학 현미경 사진들을 보여준다. 명목상 온-축인, 기판 상에 성장된 {10-10} GaN 막들은 4-파이어드된 피라미드들(four-faceted pyramids)로 구성되는 거시적 표면 굴곡들을 가지는 것이 발견되었다. 이들 피라미드 패시트들은 도 1의 (a) 및 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 통상적으로 a, c⁺ 및 c⁻ 방향들로 기울어지는데, 도 1의 (a)는 0.01°의 미스컷 각도를 가지며, 도 1의 (b)는 0.45°의 미스컷 각도를 가진다. 도 1의 (c), 도 1의 (d), 도 1의 (e), 및 도 1의 (f)에 도시된 바와 같이 0.75° 이상의 미스컷 각도를 갖는 기판 상의 표면은 매끄러운 모폴로지를 가지는 것이 발견되었는데, 도 1의 (c)는 0.75°의 미스컷 각도를 가지며, 도 1의 (d)는 5.4°의 미스컷 각도를 가지고, 도 1의 (e)는 9.6°의 미스컷 각도를 가지고, 도 1의 (f)는 27°의 미스컷 각도를 가진다.

[0044] 도 2는 다양한 미스컷 각들 상에 성장된 m-면 GaN 표면의 진폭 높이 측정으로부터 계산된 평균 제곱근(RMS) 값을 도시한다. 각각의 미스컷 기판들 상의 막들의 1000 μm 길이에 대한 RMS 표면 거칠기는 <000-1>을 향한 미스컷 각도들 0.01°, 0.45°, 0.75°, 5.4°, 9.6°, 및 27°에 대하여 각각 356 nm, 128 nm, 56 nm, 19 nm, 15 nm, 및 16 nm이었다. RMS 값은 미스컷 각도가 증가함에 따라 감소하는 것이 발견되었다. 일반적으로, 광전자 및 전자 소자들에서 60 nm보다 작은 RMS 값이 기대된다. 그러므로, 기판의 미스컷 각도는 0.75° 이상인 것이 바람직하다.

[0045] 도 3은 <000-1>을 향한 다양한 미스컷 각도들을 갖는 기판들 상에 성장된 m-면 GaN 표면의 진폭 높이 측정으로

부터 계산된 최대 진폭 높이 값들을 도시한다. 각각의 미스컷 기판들 상의 막들의 $1000 \mu\text{m}$ 길이에 대한 최대 진폭 높이 값들은 <000-1>를 향한 미스컷 각도들 0.01° , 0.45° , 0.75° , 5.4° , 9.6° 및 27° 에 대하여 각각 500 nm , 168 nm , 109 nm , 93 nm , 33 nm , 및 52 nm 이었다. 최대 진폭 높이 값은 미스컷 각도가 증가함에 따라 감소하는 것이 발견되었다. 도 2에서 판단한 바와 같이, 기판의 미스컷 각도는 0.75° 이상인 것이 바람직하다.

[0047] 소자 구조들

[0048] 도 4는 기판(406)(예컨대 질화 갈륨)의 미스컷(404) 상의 무극성 III-질화물 막 성장(402)의 c-방향(400)에 따른 개략 단면도인데, 기판(406)의 미스컷(404)은 무극성 면(412)과 미스컷 각도(410)만큼의 각을 이루는 기판(406)의 표면(408)을 제공하고, III-질화물 막 성장(402)의 최상위 표면(414)은 실질적으로 기판(406)의 표면(408)과 평행하다; 그리고 미스컷 각도(410)는 c 방향(400) (예컨대 <000-1> 방향)을 향한다. 표면(414)은 무극성 면일 수 있다.

[0049] 도 4는 기판(406)의 표면(408)(예컨대 성장 표면) 상의 무극성 III-질화물 막 성장(402)도 또한 도시하는데, 기판(406)의 표면(408)은 기판(406)의 결정학적 면(crystallographic plane)(418)과 방향각(orientation angle)(416)을 이룬다; 그리고 무극성 III-질화물 막(402)의 최상위 표면(414)은 GaN(또는 III-질화물)의 무극성 면(예컨대 a-면 또는 m-면)(412)에 대해 미스컷 각도(410)만큼 각을 이루고, 실질적으로 기판(406)의 표면(408)에 평행하다.

[0050] 본 발명은 미스컷 각도(410) 및/또는 미스컷 각 방향(400)을 다양하게 함으로써 매끄러운 막들(402)을 얻는 방법을 개시한다. 미스컷 각도(410)는 굴곡들(420)을 억제하기 위해서 표면 굴곡들(420)의 방향(400)으로 향할 수 있다. 무극성 III-질화물 막(402)의 최상위 표면(414)은 매끄러운 표면(414) 모폴로지를 가질 수 있으며, 이는 무극성 III-질화물 막들(402)의 표면 굴곡들(420)을 억제하기 위해서 무극성 III-질화물 막들(402)이 성장되는 기판(406)의 미스컷 각도(410)를 선택함으로써 결정된다. 예를 들어, <000-1> 방향(400)을 향한 미스컷 각도(410)는 0.75° 이상인 미스컷 각 및 <000-1> 방향(400)을 향한 27° 보다 작은 미스컷 각이 될 수 있다. 미스컷 각도(410)는 (표면(414)의) $1000 \mu\text{m}$ 길이(424)에 대한 막(402)의 최상위 표면(414) 상의 하나 이상의 굴곡들(420)의 RMS 진폭 높이(422)가 60 nm 이하가 되도록 할 수 있다. 미스컷 각도(410)는 $1000 \mu\text{m}$ 길이(424)에 대한 막의 최상위 표면(414) 상의 하나 이상의 굴곡들(420)의 최대 진폭 높이(422)가 109 nm 이하가 되도록 할 수 있다. 표면 굴곡들(420)은 패시트된 피라미드들(즉, 패시트들(426)을 가진 피라미드들)을 포함할 수 있다. 막(402)의 두께(428)는 어느 특정한 두께(428)에 한정되지 않는다.

[0051] 다른 소자들이 상기 막(402)을 사용하여 제조될 수 있다. 예를 들어, 막(402)은 후속의 III-질화물 화합물 성장을 위한 기판 또는 템플레이트가 될 수 있다. 무극성 III-질화물-기반의 소자(예컨대, 양자 우물들, 장벽 막들(barrier layers), 트랜지스터 활성 막들, 발광 활성 막들, p-타입 막들, 및 n-타입 막들 등과 같은 소자 막들(430a, 430b))는 매끄러운 표면(414) 모폴로지를 가지는 막(402) 상에 성장될 수 있으며, 상기 막(402)은 기판(406)의 미스컷 각(410) 상에 성장된다.

[0052] 미스컷 각도(410)는 최상위 표면(414) 상의 또는 무극성 III-질화물 막(402) 내의 표면 굴곡들(420)을 광학 소자들의 성장을 위해 적절한 수준으로 억제하기 위하여 선택될 수 있다. 예를 들어, 최상위 표면(414) 상의 소자 막들(430a, 430b)의 후속의 성장은 소자 막들(430a)의 최상위 표면(432), 또는 양자 우물 막 계면 또는 발광 막 계면, 또는 에피택시 막 계면이 되기 전에 충분할 만큼 매끄러운 소자 막들(430a, 430b) 사이의 계면(들)을 생성시킬 수 있다. 굴곡들(420)은 제거될 수 있다. 표면(414) 상에 막들(430a, 430b)이 성장된 후, 표면(414)은 계면(436)이 된다.

[0053] 발광 회장 제어를 위한 미스컷 사용

[0054] 또한, 본 발명의 제 2 실시예는 성장 공정에서 미스컷 기판들을 사용하는 III-질화물 막들을 포함한다. 본 실시예에서, 기판이 InGaN 막의 In 편입을 증가시키기 위해 적절한 방향으로 미스컷 각도를 가지는 것이 결정적으로 중요하다.

[0055] 본 발명의 제 2 실시예에서, LED 소자의 에피택시 막들은 통상의 MOCVD 방법을 사용하여 <000-1> 방향을 향한 미스컷 각도를 가지는 자립 GaN 기판상에 성장된다. 미스컷 기판들은 c-면 GaN 벌크 결정들로부터 슬라이스되어

준비되었다. <000-1>을 향한 m-면으로부터의 미스컷 각도들은 0.01° , 0.45° , 0.75° , 1.7° , 5.4° , 9.6° , 및 27° 이며, 이는 X선 회절(XRD)에 의해 측정되었다. 샘플들은 2-인치 웨이퍼 홀더 상의 다른 위치들로, 동일한 배치에서 성장되었다. LED 구조는, $5\mu\text{m}$ -두께의 Si-도핑된 GaN 막, 6-주기들(periods)의 GaN/InGaN MQW, 15nm -두께의 도핑되지 않은 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 막, 및 $0.3\mu\text{m}$ -두께의 Mg-도핑된 GaN이 포함되었다. MQW들은 2.5 nm InGaN 우물들 및 20 nm GaN 장벽들을 포함한다. LED 구조의 결정 성장 후에, 샘플들은 p-타입 활성화를 위해 어닐(anneal)되고 후속의 n- 및 p-타입 금속화(metallization) 공정이 수행되었다. p-콘택(contact)은 $300\ \mu\text{m}$ 의 지름을 가지며, 발광 특성은 실온(room temperature)에서 측정되었다.

발광 파장의 제어를 나타내는 실험 결과들

[0056] LED들로부터의 전기발광(EL) 스펙트럼들이 도 5에 도시된다. 측정은 실온, $20\ \text{mA}$ 의 순방향 전류(DC) 하에서 수행되었다. m-면 온-축 상(0.01°) 및 <000-1>을 향한 0.45° 미스컷을 가진 기판 상에 성장된 InGaN/GaN MQW들의 발광 스펙트럼들은 $390\text{--}395\text{ nm}$ 근방의 단일한 피크 발광을 나타내었다. 440 nm 근방의 발광 세기는 <000-1>을 향하여 미스컷 각도를 0.75° 부터 증가시킴에 따라 증가되는 것으로 나타난다는 것을 발견하였다. $20\ \text{mA}$ 에서 측정된, 각각의 미스컷 기판 상의 막들의 피크 발광 파장들은 오방향(mis-orientation) 각도들(또는 미스컷 각도들) 0.01° , 0.45° , 0.75° , 1.7° , 5.4° , 9.6° , 및 27° 에 대해 각각 391 nm , 396 nm , 396 nm , 395 nm , 454 nm , 440 nm , 및 443 nm 이었다. 또한, 0.75° 의 미스컷 각도에 대한 데이터는 421 nm 파장에서 두번재 피크값을 가지는 것이 발견되었다. 이 파장(421 nm)은 다른 파장들($440\text{--}452\text{ nm}$)보다 짧았다; 그러나 이는 2-인치 웨이퍼 홀더에서 성장 온도 차이에 의해 발생된 것이다. 따라서 0.75° 이상의 미스컷 각도들을 가진 기판들을 통해서 장파장 발광을 얻는 것이 가능하다. 화살표(502)에 의해 나타낸 것과 같이, 가상의 수직선(500)의 오른쪽에 있는 스펙트럼들은 미스컷 각도가 $\Theta \geq 0.75^\circ$ 인 기판 상의 LED들에서 얻어졌다.

[0057] 그러므로, 도 5는 막(438) 내에 또는 막(402) 상에 있는 III-질화물 발광 막(GaN 장벽들 사이에 끼워진 InGaN 양자 우물(들)을 포함한 활성 막(430b)과 같은)으로 인듐 편입을 증가시키기 위해서 어떻게 미스컷 각도(410), Θ 가 선택될 수 있는지 보여주며(예를 들면, 0.75° 이상), 이에 의해 예를 들어, 발광 막에 의해 발광되는 피크 파장이 425 nm 를 넘어서(적어도 425 nm) 증가된다. 통상적으로, 발광은 전자-홀 재결합에 의해 이루어지는데, 발광 막(43 b)의 전도대(conduction band)의 양자 우물 상태에 있는 전자와 발광 막(43 b)의 가전자대(valence band)의 양자 우물 상태에 있는 홀 사이에서 이루어진다. 통상적으로, 활성 막에 인듐이 많을수록, 활성 막의 밴드갭(bandgap)이 작아지며, 따라서 더 긴 방출 파장이 활성막으로부터 얻어질 수 있다.

[0058] 도 6은 미스컷 각도 5.4° 를 갖는 기판 상에 성장된 LED의 EL 스펙트럼들을 다양한 주입 전류들에 따라 도시한다. 모든 스펙트럼들이 454 nm 근방에서 단일한 피크 파장을 나타낸다는 것을 발견하였다.

[0059] 도 7에서 EL 세기 및 피크 파장이 주입 전류의 함수로 도시된다. 피크 파장은 적용된 범위에서 거의 일정했고, 이는 분극의 효과가 현저히 줄어들었음을 가리킨다.

소자 구조들

[0060] 또한, 도 4는 III-질화물 발광 활성 막(430b)을 도시하며, 이는 발광 막(430b)을 통과하는 주입 전류에 응답하는 피크 파장의 광을 발광할 수 있다. 발광 막(430b)의 합금 조성(인듐 조성 또는 성분을 포함하는), 및/또는 특정의 무극성 면(412), 및/또는 미스컷 각도(410)는 막(430b)의 분극을 줄이기 위해서 선택될 수 있으며, 도 6 및 도 7에 도시된 바와 같이, 이에 의해 피크 파장은 주입 전류들의 범위에서 실질적으로 일정하게 유지된다.

[0061] 예를 들어, m-면(412), 5.4° 의 미스컷 각도(410), 및 양자 우물들의 InGaN 합금 조성을 포함하는 발광 활성 막(430b)은 감소된 분극을 갖는 무극성 발광 막(430b)을 생산할 수 있으며, 이에 의해(또는 특성 지어지기를) 활성 막(430b)에 의해 발광되는 피크 파장이 주입 전류들의 범위에서 피크 파장의 0.7 nm 이내에서(그러나 이에 한정되지는 않고) 일정하게 유지된다. 주입 전류들의 범위는 0 에서 $100\ \text{mA}$ 이 될 수 있고, 또는 주입 전류들의 범위가 활성 막(430b)에 의해 발광되는 세기들의 범위를 산출하기에 충분하도록, 최대 세기는 적어도 최소 세기의 37 배이도록 될 수 있다(즉, 상기 범위에서 최대 전류는 최소 전류에 의해 산출되는 최소 세기의 적어도 37 배인 최대 세기를 산출한다). 그러나, 다른 전류의 범위들 및 세기의 범위들도 예상되며, 예를 들어, III-질화물 반도체 LED들에서 통상적으로 사용되는 전류 범위들 및 세기 범위들이 있다. 더욱이, 전류들 또는 세기들의 범위에 대해 피크 파장이 일정하게 유지되는 정도는 변화될 수 있으며, 발광 막(430b)의 분극 및 무극성 정도의

척도가 된다(즉, 더 넓은 전류들의 범위에서 피크 파장이 더욱 일정하게 유지될수록, 발광 막(430b)은 더욱 무극성이 된다). 피크 파장은 세기들 및 전류들의 범위에 대해 실질적으로 일정하게 유지될 수 있다.

[0064] 이 기술은 발광하지 않는 III-질화물 막들, 또는 패시브(passive)(예컨대 광학적으로 펌프된(optically pumped)) 막들을 포함하여 III-질화물 막들의 무극성 특성을 파악하는데 일반적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 발광 막(430b)과 실질적으로 비슷한 합금 조성, 및 실질적으로 유사한 무극성 면(412)에 대하여 실질적으로 유사한 미스컷 각도(410)를 가지는 III-질화물 막은 상술한 발광 막 III-질화물 막(430b)과 동일한 무극성 정도를 가질 수 있다.

[0065] 소자는 p-타입 막(430a) 및 n-타입 막(402)를 더 포함할 수 있는데, 활성 막(430b)은 적어도 하나의 무극성 InGaN 양자 우물(GaN 장벽들 사이에 끼인)을 p-타입 막(430a)과 n-타입 막(402) 사이에 포함한다. 미스컷 각도(410)는 선택될 수 있으며, 이에 의해 활성 막(430b)은 주입 전류가 n-타입 막(402)과 p-타입 막(430a) 사이를 통과할 때, 425 nm(예컨대)를 넘는 피크 파장을 포함하는 광을 발광한다. 그러나, 다른 질화물 기반의 양자 우물들 및 장벽들도 예상된다.

가능한 변형들 및 변경들

[0066] 상술한 미스컷 GaN 자립 기판들(406)에 추가하여, m-면 SiC, ZnO, 및 γ -LiAlO₂와 같은 이질의 기판들(406)도 시작 재료로 사용될 수 있다. 버퍼(buffer) 막들이 요구될 수 있다 하더라도, 무극성 III-질화물 화합물들의 성장에 적합한 어느 기판이라도 사용될 수 있다.

[0067] 비록 본 발명이 InGaN/GaN 막들(402)을 사용하여 증명되었으나, AlN, InN 또는 어떤 관련된 합금(예컨대 III-질화물 화합물)도 사용될 수 있다.

[0068] 본 발명은 상술한 MOCVD 에피택시 성장 방법에 한정되지 않을 뿐 아니라, HVPE, MBE 등과 같은 다른 결정 성장 방법들도 사용할 수 있다.

[0069] 또한, 본 기술 분야의 당업자는 이들 기술들, 공정들, 재료들 및 미스컷 각도들 등을 인식할 것이며, 또한 <0001> 방향, a-축 방향과 같은 유사한 결과들을 갖는 다른 방향들(400)에 미스컷 각도들을 적용할 것이다.

[0070] 막(402)은 후속의 막들(430a 및 430b) 또는 막(438) 그 자체를 위한 기판이 될 수 있으며, 소자 또는 소자 막들(430a, 430b)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 막(402)은 n-타입 막(예컨대 n-타입 GaN 막)을 포함할 수 있고, 또는 막(438)은 활성 막(430b)(예컨대 발광 막), p-타입 막(430a), 및 n-타입 막(402)을 포함할 수 있는데, 활성 막(430b)은 p-타입 막(430a)과 n-타입 막(402)의 사이에 있다. 어떤 경우든, 막(402, 438)은 기판(406)의 미스컷(404) 상의 무극성 III-질화물 막 성장(402, 438)인데, 기판(406)의 미스컷(404)은 무극성 면(412)에 대하여 미스컷 각도(410)만큼 각을 이루고 있는 기판(406)의 표면(408)이고, III-질화물 막 성장(402, 408)의 최상위 표면(414, 432)은 실질적으로 기판(406)의 표면(408)과 평행하다. 막(438) 내의 막들의 계면들(434, 436)도 표면(408)과 실질적으로 평행하다.

[0071] 추가적인 막들이 사용될 수 있으며, 예를 들어, n-타입 막이 막(402)과 활성 막(430b) 사이의 추가적인 막이 될 수 있으며, 또는 예를 들어, 추가적인 장벽 막들(또는 AlGaN 막)이 p-타입 막(430a)과 활성 막(430b)의 사이에 있을 수 있다. 예를 들어, 적절한 n-타입 콘택들 및 p-타입 콘택들이 n-타입 막 및 p-타입 막에 각각 만들어질 수 있다.

[0072] 비록 LED 구조의 특정한 예가 상기에 제시되었지만, 본 발명은 특정한 소자 구조에 한정되지 않는다.

이점들 및 개선점들

[0073] 온-축의 m-면 GaN 에피택시 막들은 그 표면들 상에 항상 피라미드 형상의 모양들(426)을 가진다. 결정의 미스컷 방향(400) 및 각도(410)를 제어함으로써, 더 매끄러운 표면들(414)이 얻어질 수 있으며, 따라서 양질의 소자 구조들(430a, 430b)이 얻어질 수 있다.

[0074] 예를 들어, 매끄러운 양자 우물 계면들(434, 436)을 가진 막들(430a, 430b)을 포함하는 레이저 다이오드는 소자의 성능을 향상시킬 것이다. 다른 예로, 고 전자 이동도 트랜지스터들(high electron mobility transistors, HEMTs) 또는 헤테로접합 바이폴라 트랜지스터들(heterojunction bipolar transistors, HBTs)과 같은 헤테로구

조 에피 소자들을 위한 매끄러운 계면(434, 436)은 캐리어 산란(scattering)을 줄이고 2차원적 전자 기체(two dimensional electron gas, 2DEG)의 고 이동도를 가능하게 할 것이다. 종합적으로, 본 발명은 활성 막 편평도가 소자의 성능에 결정적인 어떠한 소자에서라도 그 성능을 향상시킬 것이다.

[0077] 또한, 미스컷 기판을 통한 향상된 스텝-흐름 성장 모드(step-flow growth mode)가 높은 도편트 농도를 갖는 GaN 막들에서 통상적으로 관찰되는 결함(defect) 형성 및 전파(propagation)를 억제할 수 있을 것이다. 또한, 이는 m-GaN의 성장 윈도우(window)를 확대시킬 것이며, 이는 제조 중에 더 향상된 수율을 가져오고, 어느 종류의 측면 에피택시의 과성장(lateral epitaxial overgrowth), 선택 영역 성장, 및 나노 구조 성장들에도 유용할 것이다.

[0078] 또한, 본 발명에 선행해서, m-면 GaN 에피택시 막들 온-축 상에 성장된 InGaN/GaN MQW의 파장은 400 nm 근방에 한정 되었다. 결정 미스컷 방향 및 각도를 제어함으로써, In 편입의 증가가 얻어질 수 있으며, 따라서 구조들의 장파장 발광이 얻어질 수 있다.

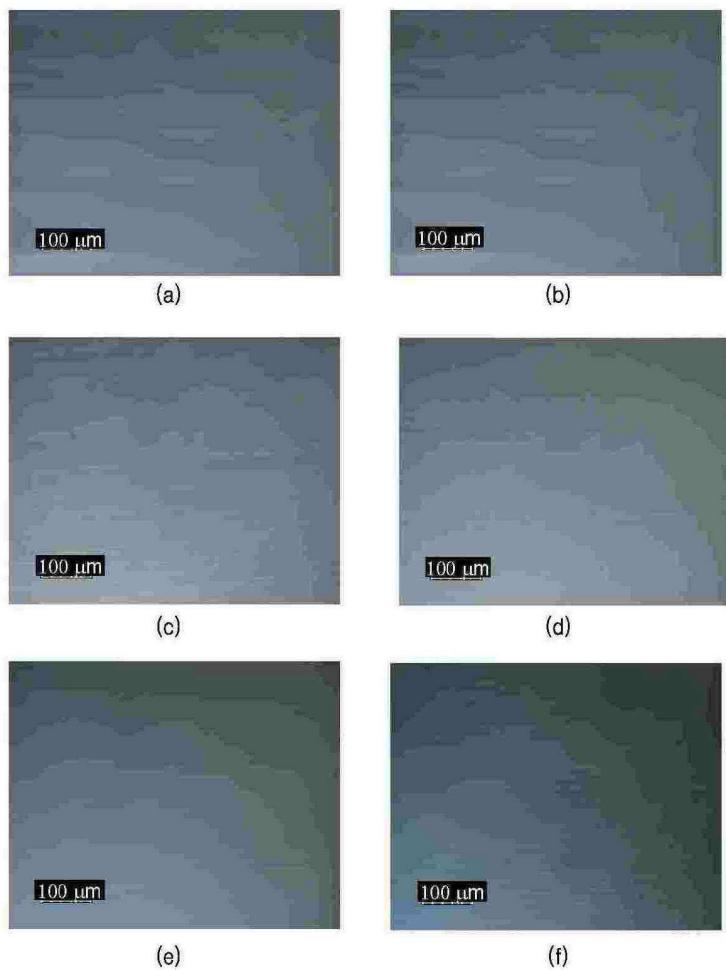
[0079] 예를 들어, 분극 효과들이 없는 청색, 녹색, 황색, 및 백색 LED들은 소자들의 성능을 향상시킬 것이다. 다른 예로, 고 전자 이동도 트랜지스터들(HEMTs) 또는 해테로접합 바이폴라 트랜지스터들(HBTs)과 같은 In-포함 소자들도 본 발명의 막들을 사용하여 향상된 소자 성능을 가질 것이다. 종합적으로, 본 발명은 어느 소자의 성능이 라도 향상 시킬 것이다.

[0080] 결론

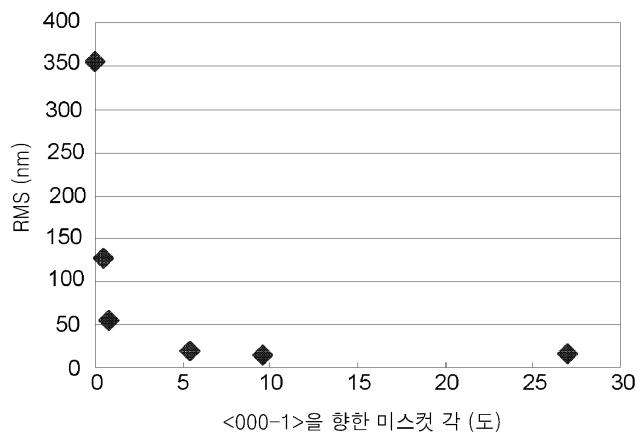
[0081] 본 발명의 바람직한 실시예의 설명을 결론짓는다. 본 발명의 하나 이상의 실시예들의 상술은 도시 및 설명의 목적으로 기술되었다. 이는 총망라하거나 개시된 형식대로 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 많은 변형들 및 변경들이 상기 교훈의 관점에서 가능하다. 본 발명의 범위는 이러한 상세한 설명에 의해 제한되지 않으며, 오히려 본 명세서에 첨부된 청구 범위에 의해 제한되는 것이 의도된다.

도면

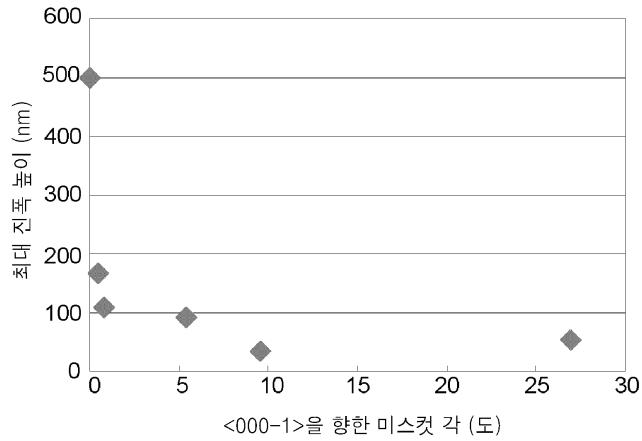
도면1



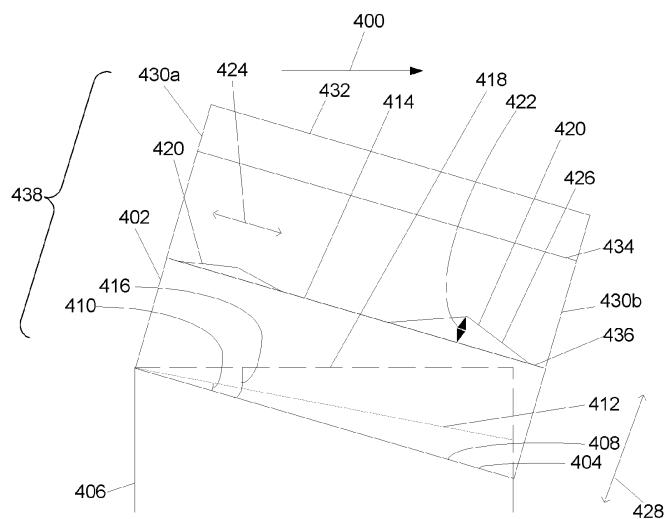
도면2



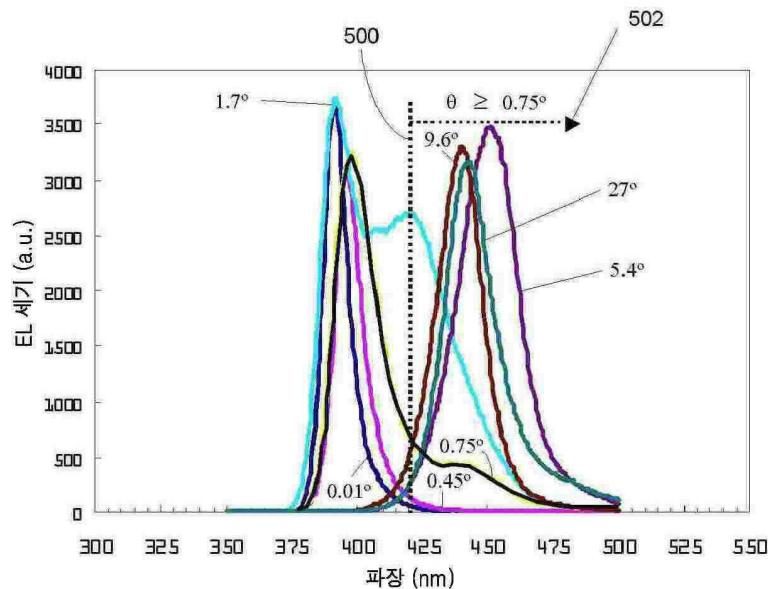
도면3



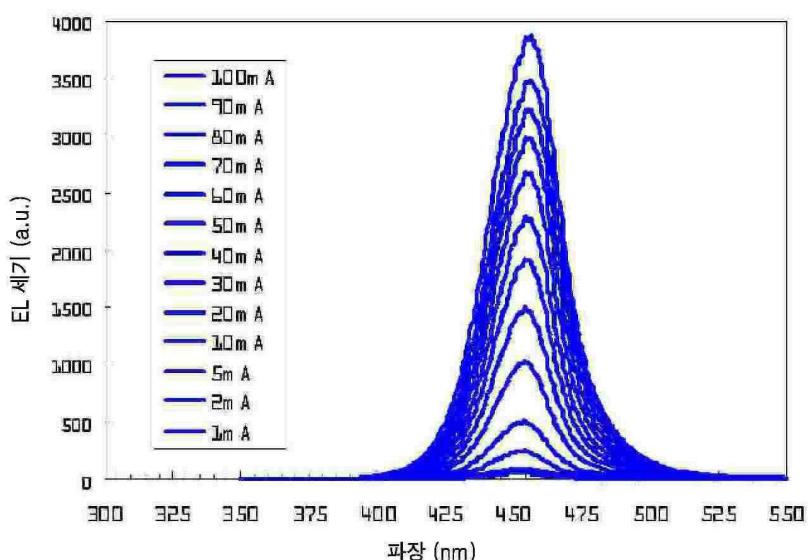
도면4



도면5



도면6



도면7

