



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년05월16일  
(11) 등록번호 10-1145755  
(24) 등록일자 2012년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/20 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2007-7023104  
(22) 출원일자(국제) 2006년03월10일  
심사청구일자 2011년02월17일  
(85) 번역문제출일자 2007년10월09일  
(65) 공개번호 10-2007-0120982  
(43) 공개일자 2007년12월26일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2006/008595  
(87) 국제공개번호 WO 2006/099138  
국제공개일자 2006년09월21일  
(30) 우선권주장  
60/660,283 2005년03월10일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
US20050214992 A1  
US20040251471 A1

(73) 특허권자  
재팬 사이언스 앤드 테크놀로지 에이전시  
일본국, 사이타마켄, 가와구치시, 혼조 4 쯔메 1-8  
더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아  
미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층

(72) 발명자  
베이커 트로이 제이.  
미국 캘리포니아 93111 산타 바바라 월넛 레인 158  
하스켈 벤자민 에이.  
미국 캘리포니아 93110 산타 바바라 오클랜드 드라이브4521 유닛 에이치  
(뒷면에 계속)

(74) 대리인  
리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 18 항

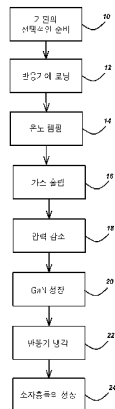
심사관 : 정성중

(54) 발명의 명칭 평면의 반극성 갈륨 질화물의 성장을 위한 기술

(57) 요약

넓은 영역의 반극성의 질화물 필름이 기판의 표면에 평행하도록, 미스컷된 스피넬 기판 위에 평면의 반극성 질화물 필름을 성장시키는 방법이 개시된다. 평면의 필름들과 기판들은: (1) 특정 방향으로 미스컷된 {100} 스피넬 기판 위에 성장된 {10 $\bar{1}$ 1} 갈륨 질화물(GaN), (2) {110} 스피넬 기판 위에 성장된 {10 $\bar{1}$ 3} 갈륨 질화물(GaN), (3) {1 $\bar{1}$ 00} 사파이어 기판 위에 성장된 {11 $\bar{2}$ 2} 갈륨 질화물(GaN) 및 (4) {1 $\bar{1}$ 00} 사파이어 기판 위에 성장된 {10 $\bar{1}$ 3} 갈륨 질화물(GaN)이다.

도 2



(72) 발명자

**피니 폴 티.**

미국 캘리포니아 93101 산타 바바라 비아 앤도라  
4117A

**덴바스 스티븐 피.**

미국 캘리포니아 93117 플레타 킹 다니엘 라인 287

**스펙 제임스 에스.**

미국 캘리포니아 93117 플레타 웨스트 캠퍼스 라인  
947

**나카무라 슈지**

미국 캘리포니아 93160 산타 바바라 피.오.박스  
61656

---

특허청구의 범위

청구항 1

평면의 반극성(semi-polar) 질화물 필름을 기판 위에 성장시키되, 상기 평면의 반극성 질화물 필름이 상기 기판의 표면에 평행하게 성장되는 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서, 적어도 10mm×10mm의 상기 평면의 반극성 질화물 필름의 표면 영역이 상기 기판의 표면에 평행한 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서, 적어도 2 인치 직경을 갖는 상기 평면의 반극성 질화물 필름의 표면 영역이 상기 기판의 표면에 평행한 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서, 상기 평면의 반극성 질화물 필름은 특정 방향으로 미스컷된 {100} 스피넬 기판 위에 성장된  $\{10\bar{1}1\}$  갈륨 질화물(GaN)인 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 5

제4 항에 있어서, 상기 특정 방향은 <001>, <010> 및 <011> 방향을 포함하는 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서, 상기 평면의 반극성 질화물 필름은 특정 방향으로 미스컷된 (100) 스피넬 기판 위에 성장된  $\{10\bar{1}1\}$  AlN, InN, AlGaIn, InGaIn 또는 AlInIn인 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 7

제6 항에 있어서, 상기 특정 방향은 <001>, <010> 및 <011> 방향을 포함하는 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 8

제1 항에 있어서, 상기 평면의 반극성 질화물 필름은 {110} 스피넬 기판 위에 성장된  $\{10\bar{1}3\}$  갈륨 질화물(GaN)인 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 9

제1 항에 있어서, 상기 평면의 반극성 질화물 필름은  $\{1\bar{1}00\}$  사파이어 기판 위에 성장된  $\{11\bar{2}2\}$  갈륨 질화물(GaN)인 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 10

제1 항에 있어서, 상기 평면의 반극성 질화물 필름은  $\{1\bar{1}00\}$  사파이어 기판 위에 성장된  $\{10\bar{1}3\}$  갈륨 질화물(GaN)인 질화물 필름의 성장 방법.

청구항 11

제1 항에 있어서, 상기 기판을 반응기에 로딩하되, 상기 반응기는 산소를 제거하기 위하여 진공으로 만들어지고 그 후 질소로 다시 채워지는 단계;

퍼니스를 켜고, 상기 기판의 표면의 질화를 촉진시키는 조건 아래에 상기 반응기의 온도를 램핑하는 단계;

대기압에서 상기 기판 위로 질소, 수소 또는 암모니아 가스를 흘리는 단계;

상기 퍼니스가 설정 온도에 도달할 때 상기 반응기의 압력을 감소시키는 단계;

상기 반응기의 압력이 감소된 후에, GaN의 성장을 시작하기 위하여 암모니아를 흘리고 갈륨(Ga) 위에 염화수소(HCl)를 흘리기 시작하여 상기 기판 위에 갈륨 질화물(GaN) 성장을 수행하는 단계; 및

상기 GaN의 성장 후에 상기 반응기를 냉각시키되, 상기 HCl 흐름을 멈추고, 상기 반응기는 상기 GaN을 보존하기 위하여 암모니아를 흘리면서 냉각시키는 질화물 필름의 성장 방법.

**청구항 12**

제11 항에 있어서, 상기 기판은 상기 반응기에 로딩되기 전에 미스컷되는 질화물 필름의 성장 방법.

**청구항 13**

제11 항에 있어서,  $\{11\bar{2}2\}$  GaN의 성장을 위하여, 퍼니스가 성장 온도로 램핑되는 중에 암모니아가 흘러져서 질화가 낮은 온도에서 일어나도록 하는 질화물 필름의 성장 방법.

**청구항 14**

제11 항에 있어서,  $\{10\bar{1}3\}$  GaN의 성장을 위하여, 상기 온도 램핑 단계 중에 단지 수소와 질소만이 흘러지고, 상기 기판은 그 후 성장 온도에서 암모니아 흐름과 함께 고온 질화되는 질화물 필름의 성장 방법.

**청구항 15**

제1 항에 있어서, 상기 평면의 반극성 질화물 필름이 성장된 후, 상기 평면의 반극성 질화물 필름 위에 하나 또는 그 이상의 소자층들을 성장시키는 단계를 더 포함하는 질화물 필름의 성장 방법.

**청구항 16**

제15 항에 있어서, 상기 평면의 반극성 질화물 필름 위에 상기 소자층을 성장시키는 단계는 상기 소자층들을 n형 및 p형의 도펀트로 도핑하는 단계와 제성장된 층 안에 하나 또는 그 이상의 양자 우물을 성장시키는 단계를 포함하는 질화물 필름의 성장 방법.

**청구항 17**

제16 항에 있어서, 상기 소자층들로부터 발광 다이오드를 제조하는 단계를 더 포함하는 질화물 필름의 성장 방법.

**청구항 18**

청구항 1의 방법을 사용하여 성장된 평면의 반극성 질화물 필름.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 출원은 평면의 반극성 갈륨 질화물(planar semi-polar gallium nitride)의 성장 기술에 관련된다.

[0002] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0003] 본 출원은 35 U.S.C. 119(e) 규정 아래에서 다음의 공동-계류 중이고 공동-양수된 미국 특허 출원의 이익을 주장한다:

[0004] Troy J. Baker, Benjamin A. Haskell, Paul T. Fini, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2005년 3월 10일 출원된, "TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR SEMI-POLAR GALLIUM NITRIDE,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/660,283 (대리인 정리 번호 30794.128-US-P1);

[0005] 상기 출원은 여기에 참조에 의하여 통합된다.

[0006] 본 출원은 다음의 공동 계류 중이고 공동-양수된 출원에 관련된다:

- [0007] Robert M. Farrell Troy J. Baker, Arpan Chakraborty, Benjamin A. Haskell, P. Morgan Pattison, Rajat Sharma, Umesh K. Mishra, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2005년 6월 1일 출원된, "TECHNIQUE FOR THE GROWTH AND FABRICATION OF SEMIPOLAR (Ga,Al,In,B)N THIN FILMS, HETEROSTRUCTURES, AND DEVICES,"라는 제목으로 미국 예비 특허 출원 번호 60/686,244 (대리인 정리 번호 30794.140-US-P1 (2005-668));
- [0008] Troy J. Baker, Benjamin A. Haskell, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2005년 7월 13일 출원된, "LATERAL GROWTH METHOD FOR DEFECT REDUCTION OF SEMIPOLAR NITRIDE FILMS,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/698,749 (대리인 정리 번호 30794.141-US-P1 (2005- 672));
- [0009] Michael Iza, Troy J. Baker, Benjamin A. Haskell, Steven P. DenBaars, and Shuji Nakamura에 의해 2005년 9월 9일 출원된, "METHOD FOR ENHANCING GROWTH OF SEMIPOLAR (Ga,Al,In,B)N VIA METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/715,491 (대리인 정리 번호 30794.144-US-P1 (2005-722));
- [0010] John F. Kaeding, Michael Iza, Troy J. Baker, Hitoshi Sato, Benjamin A. Haskell, James S. Speck, Steven P. DenBaars, and Shuji Nakamura에 의해 2006년 1월 20일 출원된, "METHOD FOR IMPROVED GROWTH OF SEMIPOLAR (Ga,Al,In,B)N,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/760,739 (대리인 정리 번호 30794.150-US-P1 (2006-126));
- [0011] Hitoshi Sato, John F. Kaeding, Michael Iza, Troy J. Baker, Benjamin A. Haskell, Steven P. DenBaars, and Shuji Nakamura에 의해 2006년 1월 20일 출원된, "METHOD FOR ENHANCING GROWTH OF SEMIPOLAR (Ga,Al,In,B)N VIA METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/760,628 (대리인 정리 번호 30794.159-US-P1 (2006-178));
- [0012] John F. Kaeding, Hitoshi Sato, Michael Iza, Hirokuni Asamizu, Hong Zhong, Steven P. DenBaars, and Shuji Nakamura에 의해 2006년 2월 10일 출원된 "METHOD FOR CONDUCTIVITY CONTROL OF SEMIPOLAR (Ga,Al,In,B)N,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/772,184 (30794.166-US-P1 (2006-285));
- [0013] Hong Zhong, John F. Kaeding, Raj at Sharma, James S. Speck, Steven P. DenBaars, and Shuji Nakamura에 의해 2006년 2월 17일 출원된, "METHOD FOR GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B) N OPTOELECTRONICS DEVICES," 라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/774,467 (대리인 정리 번호 30794.173-US-P1 (2006-422));
- [0014] Benjamin A. Haskell, Michael D. Craven, Paul T. Fini, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2005년 6월 6일 출원된, "GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY,"라는 제목의 미국 실용 특허 출원 번호 10/537,644 (대리인 정리번호호대리인 정리번호 30794.93-US-WO (2003-224-2)), 이 출원은 35 U.S. C. Section 365(c)의 규정 아래 Benjamin A. Haskell, Michael D. Craven, Paul T. Fini, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2003년 7월 15일 출원된, "GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY,"라는 제목의 국제 특허 출원 번호 PCT/US03/21918의 이익을 주장하며, 이 출원은 35 U.S. C. Section 119(e)의 규정 아래 Benjamin A. Haskell, Michael D. Craven, Paul T. Fini, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2002년 12월 16일 출원된, "GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/433,843 (대리인 정리번호 30794.93-US-P1 (2003-224-1))의 이익을 주장한다;
- [0015] Benjamin A. Haskell, Paul T. Fini, Shigemasa Matsuda, Michael D. Craven, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2005년 6월 3일 출원된, "GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY,"라는 제목의 미국 특허 출원 번호 10/537,385 (대리인 정리번호호 30794.94-US-WO (2003-225-2), 이 출원은 35 U.S. C. Section 365(c)의 규정 아래 Benjamin A. Haskell, Paul T. Fini, Shigemasa Matsuda, Michael D. Craven, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2003년 7월 15일 출원된, "GROWTH OF PLANAR, NON- POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY,"라는 제목의 국제 특허 출원 번호 PCT/US03/21916 (대리인 정리번호 30794.94-WO-U1 (2003-225-2))의 이익을 주장하며, 이 출원은 35 U.S. C. Section 119(e)의 규정 아래 Benjamin A. Haskell, Paul T. Fini, Shigemasa Matsuda, Michael D. Craven, Steven P. DenBaars, James S. Speck, and Shuji Nakamura에 의해 2002년 12월 16일 출원된, "TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE

BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/433,844 (대리인 정리번호 30794.94-US-P1 (2003-225-1))의 이익을 주장한다;

[0016] Michael D. Craven and James S. Speck에 의해 2003년 4월 15일 출원된, "NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE THIN FILMS GROWN BY METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION,"라는 제목의 미국 실용 특허 출원 번호 10/413,691 (대리인 정리번호 30794.100-US-U1 (2002-294-2)), 이 출원은 35 U.S. C. Section 119(e)의 규정 아래 Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, TaI Margalith, James S. Speck, Shuji Nakamura, and Umesh K. Mishra에 의해 2002년 4월 15일 출원된 "NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BASED THIN FILMS AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS,"라는 제목으로 미국 예비 특허 출원 번호 60/372,909 (대리인 정리번호 30794.95-US-P1 (2002-294/301/303))의 이익을 주장한다;

[0017] Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, TaI Margalith, James S. Speck, Shuji Nakamura, and Umesh K. Mishra에 의해 2003년 4월 15일 출원된, "NON-POLAR (Al,B,In,Ga)N QUANTUM WELL AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS AND DEVICES,"라는 제목의 미국 실용 특허 출원 번호 10/413,690 (대리인 정리번호 30794.101-US-U1 (2002-301-2)), 이 출원은 35 U.S. C. Section 119(e)의 규정 아래 Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, TaI Margalith, James S. Speck, Shuji Nakamura, and Umesh K. Mishra에 의해 2002년 4월 15일 출원된 "NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BASED THIN FILMS AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/372,909 (대리인 정리번호 30794.95-US-P1 (2002-294/301/303))의 이익을 주장한다;

[0018] Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, TaI Margalith, James S. Speck, Shuji Nakamura, and Umesh K. Mishra에 의해 2003년 4월 15일 출원된 "DISLOCATION REDUCTION TN NON-POLAR GALLIUM NITRIDE THIN FILMS,"라는 제목으로 미국 실용 특허 출원 번호 10/413,913 (대리인 정리번호 30794.102-US-U1 (2002-303-2)), 이 출원은 35 U.S. C. Section 119(e)의 규정 아래 Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, TaI Margalith, James S. Speck, Shuji Nakamura, and Umesh K. Mishra에 의해 2002년 4월 15일 출원된, "NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BASED THIN FILMS AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS,"라는 제목의 미국 예비 특허 출원 번호 60/372,909 (대리인 정리번호 30794.95-US-P1)의 이익을 주장한다;

[0019] Michael D. Craven and Steven P. DenBaars에 의해 2003년 12월 11일 출원된, "NONPOLAR (Al, B, In, Ga)N QUANTUM WELLS,"라는 제목의 국제 특허 출원 번호 PCT/US03/39355 (대리인 정리번호 30794.104-WO-01 (2003-529-1)), 이 출원은 위에서 확인된 특허 출원 번호 PCT/US03/21918 (30794.93-WO-U1), PCT/US03/21916 (30794.94-WO-U1), 10/413,691 (30794.100-US-U1), 10/413,690 (30794.101-US-U1), 10/413,913 (30794.102-US-U1)의 일부 계속 출원(CIP: continuation-in-part)이며, 이들 모든 출원은 참조에 의하여 여기에 통합된다.

**배경 기술**

[0020] 관련 기술

[0021] 갈륨 질화물(GaN)의 유용성 및 알루미늄과 인듐을 포함하는 갈륨 질화물의 3원, 4원 화합물(AlGa<sub>n</sub>, InGa<sub>n</sub>, AlInGa<sub>n</sub>)은 가시영역 및 자외선 영역의 광전자 소자 및 고-전압 전자 소자의 제조를 위하여 잘 확립되어 있다. 이 소자들은 통상 분자빔 에피택시(molecular beam epitaxy: MBE), 유기금속 화학기상증착(metalorganic chemical vapor deposition: MOCVD), 수소화물 기상 에피택시(hydride vapor phase epitaxy: HVPE)를 포함하는 증착 기술을 사용하여 에피택셜하게 성장된다.

[0022] GaN과 그 합금들은 육방정 우르차이트(hexagonal wurtzite) 결정 구조에서 가장 안정적이다. 상기 결정 구조는 서로에 대하여 120° 회전된 두 개의 (또는 세 개의) 등가의 기준면 축들(basal plane axes, a-축들)에 의하여 기술되는데, 이 축들은 모두 유일한 c-축에 대하여 수직이다. III 족과 질소 원자들이 결정의 c-축을 따라 번갈아서 c-면을 차지한다. 우르차이트 구조에 포함된 대칭 구성요소들은 III-질화물들이 c-축을 따라 벌크 자발 분극(bulk spontaneous polarization)을 가지는 것을 나타내며, 우르차이트 구조는 압전 분극(piezoelectric polarization)을 보여준다.

[0023] 전자 및 광전자 소자들을 위한 현재의 질화물 기술은 극성의 c-방향을 따라 성장되는 질화물 필름을 채용한다. 그러나 III-질화물 계의 광전자 및 전자 소자들에서 일반적인 c-면의 양자 우물 구조는 강한 압전 분극 및 자발 분극의 존재에 기인하는 바람직하지 않은 양자-가둠 슈타르크 효과(quantum-confined Stark effect: QCSE)를 겪는다. c-방향을 따른 강한 내부 전기장(built-in electric fields)은 전자와 홀의 공간적인 분리를 야기시켜서, 결과적으로 제한된 캐리어 재결합 효율, 감소된 진동자 강도(oscillator strength) 및 적색-편이(red-

shifted) 발광을 일으킨다.

- [0024] GaN 광전자 소자에서 자발 및 압전 분극 효과를 제거하기 위한 한 가지 접근은 소자를 결정의 비극성(non-polar) 면들 위에 성장시키는 것이다. 그러한 면들은 같은 수의 Ga 및 N 원자들을 포함하고 전하-중성(charge-neutral)이다. 더욱이, 연속하는 비극성 층들은 서로 동등하며 따라서 벌크 결정은 성장 방향을 따라 분극되지 않는다. GaN에서 대칭-등가(symmetry-equivalent)의 비극성 면들의 두 개의 그러한 족들(families)은 집합적으로 a-면으로 알려진  $\{11\bar{2}0\}$  족과 집합적으로 m-면으로 알려진  $\{1\bar{1}00\}$  족이다. 불행하게도, 예를 들면, 위의 상호-참조된 출원에 기술된 바와 같은 캘리포니아 대학(University of California)의 연구원들에 의하여 이루어진 진보에도 불구하고, 비극성의 GaN의 성장은 해결해야 할 어려움이 남아있으며 III-질화물 산업에서 아직 널리 채용되고 있지 않다.
- [0025] GaN 광전자 소자에서 분극 효과를 감소시키거나 가능한 제거하기 위한 다른 접근은 소자를 결정의 반극성 면들(semi-polar planes) 위에 성장시키는 것이다. "반극성"이라는 용어는 두 개의 0이 아닌 h, i 또는 k 밀러 지수 및 0이 아닌 l 밀러 지수 모두를 갖는 넓은 범위의 면들을 지칭하는데 사용될 수 있다. c-면의 GaN 헤테로에피택시(heteroepitaxy)에서 일반적으로 관찰되는 반극성 면들의 예의 일부는  $\{11\bar{2}2\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$  및  $\{10\bar{1}3\}$  면을 포함하며, 이들은 피트(pit)의 페이스(facet)에서 발견된다. 이들 면들은 또한 평면의 필름의 형태로 발명자들이 성장시킨 것과 동일한 면들일 수 있다. 우르차이트 결정 구조에서 반극성 면들의 다른 예들은, 다음에 제한되는 것은 아니지만,  $\{10\bar{1}2\}$ ,  $\{20\bar{2}1\}$  및  $\{10\bar{1}4\}$  를 포함한다. 질화물 결정의 분극 벡터(polarization vector)는 이러한 면들 내에 있지도 않고 또는 이러한 면들에 수직하지도 않으며, 오히려 면들의 표면 수직(surface normal)에 대하여 기울어진 각도에 존재한다. 예를 들면,  $\{10\bar{1}1\}$  및  $\{10\bar{1}3\}$  면들은 c-면에 대하여 각각  $62.98^\circ$  및  $32.06^\circ$  이다.
- [0026] 분극의 다른 원인은 압전 분극(piezoelectric polarization)이다. 이것은 물질이 압축 또는 신장 스트레인을 경험할 때 발생하며, 마찬가지로 유사하지 않은 조성의 (그러므로 다른 격자 상수의) (Al, In, Ga, B)N 층들이 질화물 헤테로구조에서 성장될 때 발생할 수 있다. 예를 들면, GaN 템플릿(template) 위의 얇은 AlGaIn 층은 내면(in-plane) 인장 스트레인(tensile strain)을 가지고, GaN 템플릿 위의 얇은 InGaIn 층은 내면 압축 스트레인(compressive strain)을 가질 것이며, 둘다 GaN에 대한 격자 정합(lattice matching)에 기인한다. 그러므로, GaN 위의 InGaIn 양자 우물에 대하여, 압전 분극은 InGaIn과 GaN의 자발 분극의 경우와는 반대 방향을 향할 것이다. GaN에 격자 정합된 AlGaIn 층에 대하여, 압전 분극은 AlGaIn과 GaN의 자발 분극의 경우와 동일한 방향을 향할 것이다.
- [0027] c-면의 질화물에 대한 반극성 면들을 사용하는 것의 이점은 전체 분극이 감소될 것이라는 것이다. 특정 면 위의 특정 합금 조성에 대하여 제로 분극이 있을 수도 있다. 그러한 시나리오는 장래의 과학 논문에서 상세하게 논의될 것이다. 중요한 점은 c-면의 질화물 구조와 비교하여 분극이 감소될 것이라는 점이다.
- [0028] GaN의 벌크 결정은 사용 가능하지 않으며, 그러므로 후속 소자의 재성장을 위한 표면을 제공하도록 결정을 단순히 자르는 것은 불가능하다. 일반적으로, GaN 필름은 처음에는 헤테로에피택셜하게, 즉, GaN에 적당한 격자 정합을 제공하는 이종의 기판 위에 성장된다.
- [0029] 반극성의 GaN 면이 패터닝된 c-면 방향의 스트라이프의 측면에서 증명되었다. Nishizuka 등이 이 기술에 의하여  $\{11\bar{2}2\}$  InGaIn 양자 우물을 성장시켰다. (Nishizuka, K., Applied Physics Letters, Vol. 85, No. 15, 11 October 2004을 보라.) 이들은 또한 반극성의  $\{11\bar{2}2\}$  면의 내적(internal) 양자 효율이 c-면의 것보다 더 높은 것을 증명하였으며 이것은 감소된 분극에서 기인한다.
- [0030] 그러나 반극성의 면을 생성하는 이 방법은 본 발명의 것과 매우 다르다; 상기 방법은 에피택셜 측방향 과성장(epitaxial lateral overgrowth: ELO)에서 생성된 결과물이다. ELO는 GaN 및 다른 반도체들에서 결함을 감소시키는데 사용된다. 그것은 마스크 물질, GaN에 대하여는 종종 SiO<sub>2</sub>의 스트라이프를 패터닝하는 것을 포함한다. GaN은 마스크 사이의 열린 윈도우로부터 성장하며 그 후 마스크 위로 성장한다. 연속적인 필름을 형성하기 위하여, GaN은 그 후 측면 성장에 의하여 합체된다. 이들 스트라이프들의 페이스는 성장 변수들에 의하여 조절될 수 있다. 성장이 스트라이프 합체 전에 멈추면, 적은 영역의 반극성의 면이 노출될 수 있다. 표면

적은 기껏해야 10 $\mu$ m의 넓이일 수 있다. 더욱이, 반극성 면은 기판 표면에 평행하지 않을 것이다. 이에 더하여, 표면적은 반극성의 LED로 공정을 진행하기에 너무 적다. 더욱이, 경사진 패킷 위에 소자 구조를 형성하는 것은 정상적인 면 위에 그런 소자들을 형성하는 것보다 상당히 더 어렵다.

[0031] 본 발명은 반극성의 질화물의 평면 필름의 성장에 대한 기술을 기술하며, 여기에서 넓은 면적의 (Al, In, Ga)<sub>N</sub>이 기판 표면에 평행하다. 예를 들면, 샘플들은 반극성의 질화물의 성장을 위하여 예전에 실험된 수 마이크로미터 넓이의 면적에 비교하여 종종 10mm\*10mm 또는 2 인치 직경의 기판 위에 성장된다.

발명의 상세한 설명

[0032] 발명의 요약

[0033] 본 발명은 반극성의 질화물을 GaN의 {10 $\bar{1}$ 1}, {10 $\bar{1}$ 3} 및 {11 $\bar{2}$ 2} 면의 필름과 같은 평면의 필름으로서 성장시키는 방법을 기술한다. 반극성의 질화물 반도체의 성장은 우르차이트 구조의 III-질화물 소자 구조들에서 분극 효과를 감소시키는 방법을 제공한다.

실시 예

[0038] 다음의 바람직한 실시예의 기술에서 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 도시한, 실시예의 일부를 구성하는 첨부된 도면을 참조하였다. 또한, 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예들이 사용될 수 있고 구조적인 변화가 만들어질 수 있음이 이해되어야 할 것이다.

[0039] 개관

[0040] 예를 들면, GaN의 {10 $\bar{1}$ 1}, {10 $\bar{1}$ 3} 및 {11 $\bar{2}$ 2} 면과 같은 반극성의 질화물 반도체의 성장은 우르차이트-구조의 III-질화물 소자 구조들에서 분극 효과를 감소시키는 수단을 제공한다. 반도체 용어 질화물은 (Ga,Al,In,B)<sub>N</sub> 및 이들 반도체들의 임의의 합금 조성을 지칭한다. 현재의 질화물 소자들은 극성의 [0001] c-방향으로 성장되며, 이것은 수직 소자들에서 주요 도전(conduction) 방향을 따라 전하 분리를 가져온다. 결과적인 분극장들(polarization fields)은 현재의 최신 기술의 광전자 소자들의 성능을 열화시킨다. 반극성의 방향을 따른 이들 소자들의 성장은 도전 방향을 따른 내부 전기장을 감소시킴에 의하여 소자 성능을 현저하게 향상시킬 수 있다.

[0041] 지금까지, 소자층, 템플릿 또는 소자 성장의 기판으로서 사용되기에 적절하도록 반극성의 질화물을 큰 면적, 고품질의 필름로 성장시키기 위한 방법이 존재하지 않았다. 본 발명의 새로운 특징은 반극성의 질화물이 평면의 필름으로서 성장될 수 있는 것을 확립한 것이다. 증거로서, 발명자들은 GaN의 {10 $\bar{1}$ 1}, {10 $\bar{1}$ 3} 및 {11 $\bar{2}$ 2} 면 필름을 성장시켰다. 그러나 이 아이디어의 범위는 이들 예들에만 한정되지 않는다. 이 개념은 모든 질화물의 반극성의 필름에 관련된다.

[0042] 기술적인 기술

[0043] 본 발명은 넓은 면적의 반극성의 질화물이 기판 표면에 평행한, 평면의 질화물 필름을 성장시키기 위한 방법을 포함한다. 이것의 예들은 {10 $\bar{1}$ 1} 및 {10 $\bar{1}$ 3} GaN 필름들이다. 이 특정한 실시예에서, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 스피넬(spinel) 기판이 성장 공정에 사용된다. 스피넬이 {10 $\bar{1}$ 1} GaN 성장을 위한 적절한 방향으로 미스컷되는 것이 매우 중요하다. 축 위에 있고(on-axis) <001> 방향을 향하여 미스컷된 {100} 스피넬 위에 성장되는 {10 $\bar{1}$ 1} GaN은 서로에게 90도인 두 도메인을 가질 것이다. 이것은 도 1a(미스컷 아님)과 도 1b(<010>에서 미스컷)에 보이는 (100) 스피넬 위의 GaN의 광학 현미경 사진에서 명백하다.

[0044] 그러나 도 1c(<011>에서 미스컷)의 (100) 스피넬 위의 GaN의 광학 현미경 사진에서 보이는 바와 같이, {10 $\bar{1}$ 1} 단결정 GaN이 <011>에서 미스컷된 {100} 스피넬 위에서 성장한다. <011> 방향을 향한 미스컷을 가진 (100) 스피넬 위에 성장된 필름이 단결정이고, <010> 방향을 향한 미스컷을 가진 경우 두 개의 도메인을 가지는 것을 증명하기 위하여 X-선 회절(XRD)이 사용되었다.

[0045] {10 $\bar{1}$ 3} 단결정 GaN이 명목상 온-축인 (의도적인 미스컷이 걸여된) {110} 스피넬 위에 성장되었다. {10 $\bar{1}$ 3} GaN



이 단결정임을 증명하기 위하여 XRD가 사용되었다.

[0046] 또한,  $\{11\bar{2}2\}$  GaN과  $\{10\bar{1}3\}$  GaN의 평면 필름이 m-면의 사파이어,  $\{1\bar{1}00\}$   $Al_2O_3$  위에 성장되었다. 반도체 성장에서 하나의 기판이 동일한 에피택셜 물질의 두 개의 구별되는 면의 성장을 위하여 사용되는 것은 일반적이지 않다. 그러나 GaN 성장 전에 다른 온도에서 암모니아를 흘림으로써 면이 재연가능하게 선택될 수 있다. 다시, XRD가 필름의 단결정 특성을 확인하는데 사용되었다.

[0047] 그러므로 평면의 반극성 질화물 필름의 4가지 예들이 실험적으로 증명되었다:

[0048] 1) 특정 방향으로  $\langle 001 \rangle$ ,  $\langle 010 \rangle$  및  $\langle 011 \rangle$  미스컷된  $\{100\}$  스피넬 위의  $\{10\bar{1}1\}$  GaN

[0049] 2)  $\{110\}$  스피넬 위의  $\{10\bar{1}3\}$  GaN

[0050] 3)  $\{1\bar{1}00\}$  사파이어 위의  $\{11\bar{2}2\}$  GaN 및

[0051] 4)  $\{1\bar{1}00\}$  사파이어 위의  $\{10\bar{1}3\}$  GaN.

[0052] 이들 필름들은 산타 바바라의 캘리포니아 대학(University of California)의 Shuji Nakamura의 실험실에 있는 HVPE 시스템을 사용하여 성장되었다.  $\{10\bar{1}1\}$  과  $\{10\bar{1}3\}$  모두를 위한 성장 변수의 일반적인 개요는 10 Torr와 1000 Torr 사이의 압력과 900°C와 1200°C 사이의 온도이다. 이 넓은 범위의 압력은 이들 면들이 특정된 기판 위에 성장될 때 매우 안정함을 보여준다. 에피택셜 관계들은 반응기의 종류에 관계없이 유효하여야 한다. 그러나 이들 면들을 성장시키기 위한 반응기의 조건들은 개별적인 반응기와 성장 방법 (예를 들면, HVPE, MOCVE 및 MBE)에 따라 변화될 것이다.

[0053] 공정 단계들

[0054] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예의 공정 단계들을 도시한 흐름도이다. 특정적으로, 이들 공정 단계들은 넓은 면적의 평면의 반극성 질화물 필름이 기판의 표면에 평행한, 평면의 반극성 질화물 필름을 성장시키기 위한 방법을 포함한다.

[0055] 블록 10은 기판을 준비하기 위한 선택적인 단계를 나타낸다. 예를 들면, 준비단계는 기판의 미스컷을 수행하는 것을 포함할 수 있다.  $\{10\bar{1}1\}$  GaN의 성장을 위하여,  $\langle 100 \rangle$  방향으로 ( $\langle 010 \rangle$  과  $\langle 011 \rangle$ 을 포함하는) 미스컷을 가진 (100) 스피넬 기판이 사용될 수 있다.  $\{10\bar{1}3\}$  GaN의 성장을 위하여, 온-축의 (110) 스피넬 기판이 사용된다. (110) 스피넬은 임의의 방향으로 미스컷을 가질 수도 있고 가지지 않을 수도 있지만, (100) 스피넬 위에  $\{10\bar{1}1\}$  GaN을 성장시키기 위하여 미스컷은 필요하지 않다.

[0056] 블록 12는 HVPE 반응기로 기판을 로딩하는 단계를 나타낸다. 반응기는 산소를 제거하기 위하여 적어도  $9E-2$  Torr로 진공되며, 그 후 질소로 다시 채워진다.

[0057] 블록 14는 퍼니스를 켜고 기판의 표면의 질화를 촉진시키기 위한 조건 아래 반응기의 온도를 높이는(ramping) 단계를 나타낸다.

[0058] 블록 16은 가스를 흘리는 단계를 나타낸다. 공정은 일반적으로 질소, 수소 및/또는 암모니아를 대기압에서 기판 위로 흘린다.

[0059] 블록 18은 반응기의 압력을 감소시키는 단계를 나타낸다. 퍼니스의 설정온도는 1000°C이고, 반응기가 이 온도에 도달하면, 반응기의 압력이 62.5 Torr로 감소된다.

[0060] 블록 20은 GaN 성장을 수행하는 단계를 나타낸다. 압력이 감소된 후에, 암모니아 흐름은 1.0 slpm (standard liters per minute)으로 설정되고, GaN의 성장을 시작하기 위하여 75 sccm(standard cubic centimeters per minute)의, Ga (갈륨) 위의 HCl(염화 수소) 흐름이 개시된다.

[0061] 블록 22는 반응기를 냉각시키는 단계를 나타낸다. 20분에서 60분의 GaN 성장 시간 후에 HCl 흐름이 멈추어지고, 반응기는 GaN 필름을 보호하기 위하여 암모니아를 흘리면서 냉각된다.

[0062] 이들 단계들의 최종 결과는 넓은 표면적(적어도 10mm\*10mm 또는 2 인치 직경의)의 평면의 반극성 질화물 필름이 기판의 표면에 평행한, 평면의 반극성 질화물 필름을 포함한다. 비록 공정 단계들이 스피넬 기판과 결합되어 기술되었지만 m-면의 사파이어가  $\{11\bar{2}2\}$  또는  $\{10\bar{1}3\}$  GaN을 성장시키기 위하여 사용될 수 있다. 이 공정은 하나만 제외하고 위에서 기술된 바와 동일하다.  $\{11\bar{2}2\}$  GaN의 성장을 위하여 퍼니스 온도를 성장 온도까지 올리는 동안 암모니아가 흘러지며, 따라서 질화가 저온에서 일어난다.  $\{10\bar{1}3\}$  GaN을 선택하기 위하여 단지 수소와 질소가 램핑 온도 단계 동안 흘러진다. 기판은 그 후 성장 온도에서 암모니아 흐름으로 고온 질화되어야 한다.

[0063] HVPE 시스템을 사용하여 반극성의 필름이 성장된 후에, 블록 22는 MOCVD 또는 MBE를 사용하여 기판 위에 소자 층들을 성장시키는 단계를 나타낸다. 이 단계는 일반적으로 질화물 층을 n 형 또는 p 형으로 도핑하는 단계 및 재성장된 층에 하나 또는 몇 개의 양자 우물을 성장하는 단계를 포함한다. 이 단계에서 LED가 청정실에서 표준 LED 공정을 방법을 사용하여 만들어질 수 있다.

[0064] 도 3은 HVPE에 의해 성장된  $\{10\bar{1}1\}$  GaN 템플릿 위에 MOCVD에 의해 성장된 녹색 LED의 사진이다. 특정적으로, 템플릿은 앞에서 기술된 HVPE 성장 공정에 의하여 성장되며 LED 구조는 MOCVD에 의하여 성장된다. 이것이 제1의  $\{10\bar{1}1\}$  GaN LED이다.

[0065] 가능한 변경과 변용들

[0066] 본 발명의 범위는 인용된 특정 예들보다 더 많은 것을 포함한다. 이 개념은 임의의 반극성의 평면 위의 모든 질화물에 관계된다. 예를 들면, 미스컷 (100) 스피넬 기판 위에  $\{10\bar{1}1\}$  AlN, InN, AlGaIn, InGaIn 또는 AlInIn을 성장시킬 수 있다. 다른 예들은 적절한 기판이 발견되면  $\{10\bar{1}2\}$  질화물을 성장시킬 수 있는 것이다. 이들 예들과 다른 가능성들은 평면의 반극성 필름의 모든 이익들을 여전히 갖는다.

[0067] 산타 바라라, 캘리포니아 대학의 Shuji Nakamura의 실험실에서 수행된 연구는 HVPE를 사용하여 이루어졌다; 그러나 또한, MOCVD 또는 MBE를 사용하여 질화물의 반극성의 평면들을 직접 성장시키는 것이 가능하다. 비록 m-면 사파이어 위의 GaN의 예에서 보여진 바와 같이 변화할 수는 있더라도 에피택셜 관계들은 대부분의 성장 방법에 대하여 동일해야 한다. 예를 들면, MOCVD로 성장한  $\{10\bar{1}1\}$  GaN LED는 HVPE 템플릿 없이 미스컷 (100) 스피넬 위에 직접 성장될 수 있다. 이 개념은 평면의 반극성 질화물 필름을 생성하는 임의의 성장 기술을 커버한다.

[0068] 반응기 조건들은 반응기 유형과 디자인에 의해 변화할 것이다. 여기에 기술된 성장은 단지 반극성의 GaN의 성장을 위한 유용한 것으로 밝혀진 조건들 중에서 하나의 세트를 기술한 것일 뿐이다. 이들 필름들은 압력, 온도, 가스 흐름 등의 넓은 변수 공간 아래 성장할 수 있고, 이들 모두는 평면의 반극성 질화물 필름을 생성시킬 것이다.

[0069] 성장 공정에서 변화시킬 수 있는 다른 단계들이 있다. 본 실시예의 반응기 조건에서 핵화층(nucleation layer)은 불필요한 것으로 발견되었다; 그러나 다른 반응기들에 대하여 핵화층을 사용하는 것은 필요하거나 필요하지 않을 수 있으며, 이것은 GaN 필름의 성장에서 일반적인 실시이다. 기판의 질화가 일부 필름들을 위하여 표면 모폴로지를 향상시키고, 다른 필름들을 위하여 실질적인 성장 면을 결정하는 것으로 또한 알려져 왔다. 그러나 이것은 임의의 특정한 성장 기술을 위하여 필요할 수도 있고, 필요하지 않을 수도 있다.

[0070] 이점과 향상

[0071] 존재하는 실시는 표면에 수직인 c-면으로 GaN을 성장시키는 것이다. 이 면은 소자 성능에 유해한 자발 분극과 압전 분극을 갖는다. c-면 질화물 필름에 대한 반극성의 장점은 극성의 감소와 이에 연관된 일부 소자들을 위한 내적인 양자 효율의 증가이다. 소자에서 분극 효과를 완전히 제거하기 위하여 비극성 면들이 사용될 수 있다. 그러나 이들 면들은 성장시키기 매우 어려우며, 그러므로 비극성 질화물 소자들은 현재 생산되고 있지 않다. 비극성 질화물 필름에 대한 반극성의 장점은 성장의 용이성이다. 반극성의 면들은 그들이 성장할 수 있는 넓은 변수 공간을 갖는다. 예를 들면, 비극성의 평면들은 대기압에서 성장하지 않지만 반극성의 평면들은 실험적으로 62.5 Torr로부터 760 Torr까지 성장하는 것이 증명되었으며, 이것보다 더 넓은 범위를 가지는 것이 가능할 수 있다.  $\{1\bar{1}00\}$  GaN은 낮은압력에서 성장되지만, 압력이 760 Torr까지 증가하는 경우, 모든 다른 것들이

동일하다면, c-면의 GaN이 생성될 것이다. 이것은 두 면들에 대한 단위 셀의 윤곽에 관계될 수 있다. {11 $\bar{2}$ 0} GaN의 다른 어려움은 InGaN 소자들을 위한 In의 통합에 있다. {10 $\bar{1}$ 1} GaN에 대하여 In의 통합이 매우 순조로운 것으로 발견되었다.

[0072] ELO 측벽에 대한 평면의 반극성 필름의 장점은 LED 또는 다른 소자들로 공정이 진행될 수 있는 넓은 표면 면적이다. 다른 장점은 ELO 측벽 반극성의 평면의 경우와 달리 성장 표면이 기판 표면에 평행한 것이다

[0073] 요약하면, 본 발명에서는 평면의 반극성 질화물 필름을 성장시키는 것을 확립하였다. 이것은 네 가지 분리된 경우에 대하여 실험적으로 확인되었다. 앞에서 논의된 장점들은 모든 평면의 반극성 필름에 대하여 관계될 것이다.

[0074] 참조

[0075] 다음의 문헌들이 참조에 의하여 여기에 통합될 것이다.

[0076] [1] Takeuchi, Tetsuya, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 39, (2000), pp. 413-416. 이 논문은 반극성 GaN 필름의 극성에 관한 이론적인 연구이다.

[0077] [2] Nishizuka, K., Applied Physics Letters, Vol. 85 No. 15, 11 October 2004. 이 논문은 ELO 물질의 {11 $\bar{2}$ 2} GaN 측벽의 연구이다.

[0078] [3] T. J. Baker, B. A. Haskell, F. Wu, J. S. Speck, and S. Nakamura, "Characterization of Planar Semipolar Gallium Nitride Films on Spinel Substrates," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 29, (2005), L920.

[0079] [4] A. Chakraborty, T. J. Baker, B. A. Haskell, F. Wu, J. S. Speck, S. P. Denbaars, S. Nakamura, and U. K. Mishra, "Milliwatt Power Blue InGaN/GaN Light-Emitting Diodes on Semipolar GaN Templates," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 30 (2005), L945.

[0080] [5] R. Sharma, P. M. Pattison, H. Masui, R. M. Farrell, T. J. Baker, B. A. Haskell, F. Wu, S. P. Denbaars, J. S. Speck, and S. Nakamura, "Demonstration of a Semipolar (10-1-3) InGaN/GaN Green Light Emitting Diode," Appl. Phys. Lett. 87, 231110 (2005).

[0081] [6] T. J. Baker, B. A. Haskell, F. Wu, J. S. Speck, and S. Nakamura, "Characterization of Planar Semipolar Gallium Nitride Films on Sapphire Substrates," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 6, (2006), L154.

[0082] 결론

[0083] 이것으로 본 발명의 바람직한 실시예의 기술을 마친다. 본 발명의 하나 또는 그 이상의 실시예들의 앞의 기술은 도해와 기술의 목적으로 제공되었다. 이것은 한정적이거나 본 발명을 기술된 정확한 형태로 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 많은 변형들과 변화들이 위의 교시에 비추어 가능하다. 발명의 범위가 이 상세한 기술에 의해서가 아니라 오히려 부가된 청구항들에 의하여 제한되는 것으로 의도된다.

산업상 이용 가능성

[0084] 본원 발명은 평면의 반극성 질화물 필름은 자발 분극 또는 압전 분극이 감소되거나 제거되며, 향상된 성능을 갖는 광전자 소자 또는 전자 소자의 제조를 위하여 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 참조하는 도면에서 같은 참조 번호는 해당 부분을 끝까지 나타낸다.

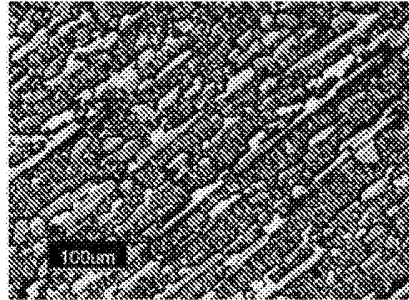
[0035] 도 1a, 1b 및 1c는 도 1a(미스컷(miscut) 아님), 도 1b(<010>에서 미스컷) 및 도 1c(<011>에서 미스컷)의 기판 미스컷을 갖는 (011) 스피넬(spinel) 위의 GaN의 광학 현미경사진들이다.

[0036] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예의 공정 단계들을 도시하는 흐름도이다.

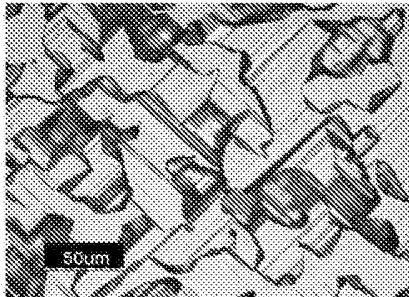
[0037] 도 3은 HVPE에 의해 성장된 {10 $\bar{1}$ 1} GaN 템플릿 위에 MOCVD에 의하여 성장된 LED의 사진이다.

도면

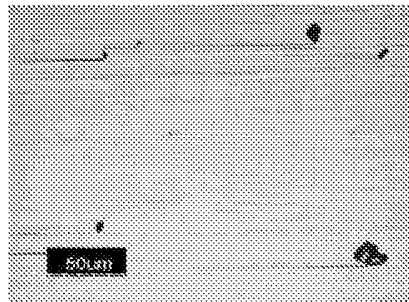
도면1a



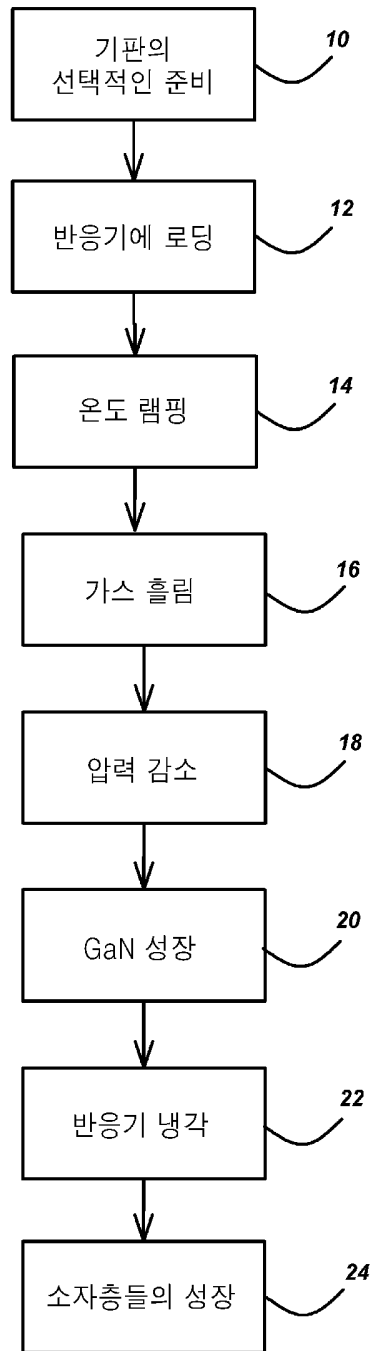
도면1b



도면1c



도면2



도면3

