



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0064713
 (43) 공개일자 2012년06월19일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/20 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2012-7010536(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2006년05월31일
 심사청구일자 2012년05월10일
- (62) 원출원 특허 10-2007-7030279
 원출원일자(국제) 2006년05월31일
 심사청구일자 2011년05월27일
- (85) 번역문제출일자 2012년04월24일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2006/020995
- (87) 국제공개번호 WO 2006/130622
 국제공개일자 2006년12월07일
- (30) 우선권주장
 60/685,908 2005년05월31일 미국(US)

- (71) 출원인
 재팬 사이언스 앤드 테크놀로지 에이전시
 일본국, 사이타마켄, 가와구치시, 혼조 4 쯤메 1-8
 더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아
 미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층
- (72) 발명자
 이메르 빌게 엠.
 미국 캘리포니아 93117 골레타 게일리 워크 716 #101
 스페크 제임스 에스.
 미국 캘리포니아 93117 골레타 웨스트 캠퍼스 레인 947
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 리엔목특허법인

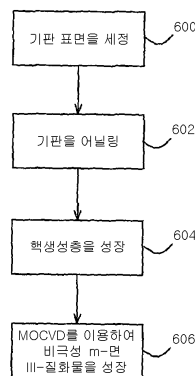
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 **유기금속 화학기상증착법을 이용한 평면 비극성 m-면 갈륨 질화물의 성장**

(57) 요약

m-면 갈륨 질화물(GaN) 에피택셜층과 같은 평면 비극성 m-면 III족-질화물 물질의 성장방법을 개시하며, 유기금속 화학기상증착법(MOCVD)을 이용하여 m-면 실리콘 탄화물(m-SiC) 기판과 같은 적절한 기판 상에 상기 III족-질화물 물질이 성장한다. 상기 방법은, 표면으로부터 산화물을 제거하기 위해 상기 기판을 세정성 산성 용매 침지를 수행하는 단계, 상기 기판을 어닐링하는 단계, 상기 어닐링한 기판 상에 알루미늄 질화물(AlN)과 같은 핵생성층을 성장시키는 단계, 및 MOCVD를 이용하여 상기 핵생성층 상에 비극성 m-면 III족-질화물 에피택셜층을 성장시키는 단계를 포함한다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

덴바야스 스티븐 피.

미국 캘리포니아 93117 클레타 킹 다니엘 레인
287

나카무라 슈지

미국 캘리포니아 93160 산타 바바라 피.오. 박스
61656

특허청구의 범위

청구항 1

상부 표면(top surface)을 포함하는 비극성 m-면 III족-질화물 박막(non-polar m-plane III-nitride film)을 포함하고,

상기 상부 표면은 에피택셜하게 성장되며,

상기 상부 표면이, 성장한 상태에서, 적어도 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ (5 micrometers by 5 micrometers)의 면적에 걸쳐 2.54 나노미터(nm)보다 크지 않은 표면 거칠기(surface roughness)를 갖는 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 초기 III-족 질화물 결정은,

상기 III-족 질화물 결정의 a-모자이크(a-mosaic)에 대하여 0.22° 보다 크지 않고, 그리고/또는

상기 III-족 질화물 결정의 c-모자이크(c-mosaic)에 대하여 1.2° 보다 크지 않은 (1-100) 온-축 FWHM (on-axis full width at half maximum)을 갖는 하나 또는 그 이상의 온-축 록킹 곡선들(rocking curves)에 의해 특징지어지며,

상기 록킹 곡선들은 X선 회절(X-ray diffraction)에 의해 측정되는 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은, X선 회절에 의해 측정될 때, 0.38° 보다 크지 않은 (10-12) 오프-축(off-axis) FWHM을 갖는 오프-축 록킹 곡선에 의해 특징지어지는 결정 품질을 갖는 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 갈륨 질화물(gallium nitride) 결정인 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 알루미늄 질화물(AlN), 알루미늄 갈륨 질화물(AlGaN) 또는 인듐 갈륨 질화물(InGaN)인 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 6

제1항에 있어서,

기관 상에 성장된 제1 질화물 층; 및

상기 제1 질화물 층 상에 성장된 상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막을 더 포함하는 소자 구조물.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 질화물 층은 AlN 또는 갈륨 질화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 소자, 웨이퍼, 기판 또는 템플릿(template)인 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 갈륨 질화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 프리 스탠딩(free-standing)이 되도록 충분히 두꺼운 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 상부 표면 상에 성장된 상기 비극성 광학전자(optoelectronic) 또는 전자(electronic) 소자를 더 포함하는 소자 구조물.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 실리콘 카바이드(silicon carbide) 기판 상에 성장되는 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 갈륨 질화물 기판 상에 성장된 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막의 개별적인 그레인들(grains)은 상기 상부 표면의 높이 측정에 기초할 때 구별되지 않는 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 상부 표면은 주로 계단식 성장(steped growth)에 의한 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 상부 표면은 상기 III-족 질화물 결정의 가장 큰 표면인 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 초기 또는 제1 비극성 m-면 III-족 질화물 결정이고,

상기 초기 또는 제1 비극성 m-면 III-족 질화물 결정은 기관의 표면 상에 성장되며,

후속의 비극성 m-면 III-족 질화물 층이 상기 초기 또는 제1 비극성 m-면 III-족 질화물 결정의 상부 표면 상에 성장되고,

상기 상부 표면은 상기 기관의 상기 표면에 대항하는(opposite) 성장 표면인 것을 특징으로 하는 소자 구조물.

청구항 18

유기금속 화학기상증착법(MOCVD)에 의해 비극성 m-면 III-족 질화물 박막을 성장시키는 단계를 포함하고,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막의 상부 표면이, 성장된 상태에서, 적어도 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 의 면적에 대하여 2.54 nm 보다 크지 않은 표면 거칠기를 갖는 것을 특징으로 하는 소자 구조물의 성장 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 성장 단계는 최적화된 성장 조건들을 사용하는 것을 특징으로 하는 소자 구조물의 성장 방법.

청구항 20

제18항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막이 갈륨 질화물 또는 알루미늄 질화물이고,

상기 성장 단계는,

200 내지 5500 사이의 V족/III족 비율,

50 내지 760 Torr의 성장 압력, 및

1000°C 내지 1275°C 사이의 성장 온도에서 수행되는 것을 특징으로 하는 소자 구조물의 성장 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

기관 상에 1175°C 이상의 온도에서 150 nm 이하의 두께까지 알루미늄 질화물(AlN) 층을 성장시키는 단계; 및

상기 AlN 층 상에 상기 비극성 m-면 III-족 질화물 층을 성장시키는 단계를 더 포함하는 소자 구조물의 성장 방법.

청구항 22

제18항에 있어서,

상기 비극성 m-면 III-족 질화물 박막은 갈륨 질화물이고, 상기 성장 단계는 100 Torr 이하의 성장 압력에서 수행되는 것을 특징으로 하는 소자 구조물의 성장 방법.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 성장 단계는 700 이하의 V족/III족 비율, 약 3500 또는 그 이하의 V족/III족 비율, 또는 200 내지 3000 사이의 V족/III족 비율에서 수행되는 것을 특징으로 하는 소자 구조물의 성장 방법.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 성장 단계는 1100°C 내지 1160°C의 온도 범위에서 수행되는 것을 특징으로 하는 소자 구조물의 성장 방법.

청구항 25

제18항에 있어서,

1000℃ 내지 1275℃의 온도에서 기판 상에 제1 질화물 층을 성장시키는 단계; 및

1000℃ 내지 1275℃의 온도에서 상기 제1 질화물 층 상에 상기 비극성 m-면 III-족 질화물 층을 성장시키는 단계를 더 포함하는 소자 구조물의 성장 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 유기금속 화학기상증착법(MOCVD)을 이용한 평면 비극성 {1-100} m-면 갈륨 질화물의 성장에 관한 것이다.

배경기술

[0002] (관계 출원들과의 상호참조)

[0003] 본 출원은 이하의 동시 계류중(co-pending)이고 일반 양도된(commonly-assigned) 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장한다:

[0004] 빌게 이머(Bilge M. Imer), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars)에 의하여 2005년 5월 31일 출원된 미국임시특허출원 제60/685,908호 "유기금속 화학기상증착법을 이용한 평면 비극성 {1-100} m-면 갈륨 질화물의 성장(GROWTH OF PLANAR NON-POLAR {1-100} M-PLANE GALLIUM NITRIDE WITH METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (MOCVD))", (변호사 도킷(docket) 번호 제30794.136-US-P1(2005-566)호); 상기 출원은 본 명세서의 참조로서 결합된다.

[0005] 본 출원은 하기의 동시 계류중(co-pending)이고 일반 양도된(commonly-assigned) 미국특허출원들과 관련이 있다:

[0006] 빌게 이머(Bilge M. Imer), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars)에 의하여 2005년 05월 31일에 출원된 미국임시특허출원 제60/685,952호 "단일 단계 측벽 측방향 에피택셜 과성장을 이용한 비극성 갈륨 질화물의 결함 감소(DEFECT REDUCTION OF NON-POLAR GALLIUM NITRIDE WITH SINGLE-STEP SIDEWALL LATERAL EPITAXIAL OVERGROWTH)", (변호사 도킷번호 제30794.135-US-P1(2005-565)호를 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하여, 빌게 이머(Bilge M. Imer), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars)에 의하여 동일 자에 출원된 미국실용신안등록출원 제xx/xxx,xxx호의 "측벽 측방향 에피택셜 과성장(SLEO)을 이용한 비극성 및 준극성 III-족-질화물의 결함 감소(DEFECT REDUCTION OF NON-POLAR AND SEMI-POLAR III-NITRIDES WITH SIDEWALL LATERAL EPITAXIAL OVERGROWTH (SLEO))", (변호사 도킷번호 제30794.135-US-U1(2005-565)호);

[0007] 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 폴 피니(Paul T. Fini), 시게마사 마쓰다(Shigemasa Matsuda), 마이클 크라벤(Michael D. Craven), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2003년 07월 15일에 출원된 국제특허출원 제PCT/US03/21916호 "수소화물 기상 에피택시에 의한 평면, 비극성 a-면 갈륨 질화물의 성장(GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)", (변호사 도킷번호 제30794.94-WO-U1(2003-225-2)호); 및 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 폴 피니(Paul T. Fini), 시게마사 마쓰다(Shigemasa Matsuda), 마이클 크라벤(Michael D. Craven), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2002년 12월 16일에 출원된 미국임시특허출원 제60/433,844호 "수소화물 기상 에피택시에 의한 평면, 비극성 a-면 갈륨 질화물의 성장기술(TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)", (변호사 도킷번호 제30794.94-US-P1 (2003-225-1)호)를 우선권 주장하여 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 폴 피니(Paul T. Fini), 시게마사 마쓰다(Shigemasa Matsuda), 마이클 크라벤(Michael D. Craven), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2005년 06월 03일에 출원된 미국임시특허출원 제10/537,385호 "수소화물 기상 에피택시에 의한 평면, 비극성 a-면 갈륨 질화물의 성장(GROWTH OF PLANAR,

NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY),"(번호사 도킷번호 제30794.094-US-Wo(2002-225-2)호); 및

[0008] 마이클 크라벤(Michael D. Craven), 스타시아 켈러(Stacia Keller), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 탈 마갈리스(Tal Margalith), 제임스 스펙(James S. Speck), 슈지 나카무라(Shuji Nakamura), 및 유메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra)에 의하여 2002년 4월 15일 출원된 미국임시특허출원 제60/372,909호 "비극성의 질화갈륨계 박막들 및 이중 구조 물질들(NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BASED THIN FILMS AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS),"(번호사 도킷번호 제30794.95-US-P1(2002-294/301/303)호) 를 우선권 주장하여 마이클 크라벤(Michael D. Craven)과 제임스 스펙(James S. Speck)에 의하여 2003년 4월 15일 출원된 미국실용신안등록출원 제10/413,691호 "금속유기 화학기상증착법에 의하여 성장한 비극성 a-면 갈륨 질화물 박막들(NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE THIN FILMS GROWN BY METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION),"(번호사 도킷번호 제 30794.100-US-U1(2002-294-2)호).

[0009] 상기의 모든 출원들은 본 명세서에서 참조로서 인용된다.

[0010] 갈륨 질화물(GaN) 및 그의 삼원계 및 사원계 화합물들은 가시광선 및 자외선 고출력 및 고성능 광전자 소자들 및 전자 소자들의 제조에 주요한 후보자들이다. 이러한 소자들은 통상적으로 분자빔 에피택시법(molecular beam epitaxy, MBE), 유기금속 화학기상증착법(metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD), 또는 수소 화물 기상 에피택시법(hydride vapor phase epitaxy, HVPE)을 포함하는 성장 기술들에 의하여 에피택셜하게 성장한다.

[0011] 기관의 선택은 원하는 GaN 성장 방위를 얻기 위하여 중요하다. III족-질화물 성장에 가장 광범위하게 사용되는 기관들의 일부는 SiC, Al₂O₃, 및 LiAlO₂을 포함한다. 이러한 기관들의 다양한 결정학적 방위들은 상업적으로 얻을 수 있다.

[0012] 도 1(a) 및 도 1(b)는 육방정계 GaN에 있어서 관심있는 결정학적 방향들과 면들의 개략도이다. 특히, 이러한 개략도는 다른 결정학적 성장 방향들을 나타내고, 육방정계 섬유아연석(wurtzite) GaN 구조의 관심있는 면들을 나타내며, 도 1(a)는 결정학적 방향들인 a₁, a₂, a₃, c, <10-10> 및 <11-20>를 나타내고, 도 1(b)는 a(11-20), m(10-10) 및 r(10-12) 면들을 나타낸다. 도 1(b)에 채워진 패턴들은 관심있는 면들을 도시하기 위함이며, 상기 구조의 물질들을 표현하는 것은 아니다.

[0013] 큰 성장 안정성 윈도우 때문에 평면 c-면 GaN를 성장하는 것이 상대적으로 용이하다. 그러므로, 거의 모든 GaN-계 소자들은 극성 c-축과 평행하게 성장한다. 그러나, c-면 성장의 결과로서, 각각의 물질층은 상기 층들의 대향 면들로 전자들 및 홀들을 분리한다. 또한, 인접한 층들 사이의 계면들에서의 스트레인은 피에조 분극화를 일으키고, 이는 전하분리를 한층 더 야기한다.

[0014] *도 2(a) 및 도 2(b)는 분극화에 의한 밴드 구부러짐과 전자-홀 분리의 개략도로서 이러한 효과를 나타내며, 도 2(a)는 깊이(nm)에 대한 에너지(eV) 그래프로 c-면 양자 우물을 나타내고, 도 2(b)는 깊이(nm)에 대한 에너지(eV) 그래프로 a 비극성 양자 우물을 나타낸다.

[0015] 이러한 분극화 효과들은 전자들과 홀들 재결합의 경향을 감소시키며, 이에 따라 최종 소자의 성능을 저하시킨다. GaN 광전자 소자들의 피에조 분극화 효과들을 제거할 수 있는 하나의 가능한 시도는 GaN의 a-{11-20} 및 m-{1-100} 면들의 군집과 같은 결정의 비극성 면들 상에 소자들을 성장시키는 것이다. 이러한 면들은 Ga 원자들과 N 원자들을 같은 갯수로 포함하고 전하 중립이다.

[0016] 평면 {1-100} m-면 GaN 성장은 HVPE 및 MBE 방법들에 의하여 달성되어 왔다. 그러나, 본 명세서에 설명되는 본 발명 이전에는 평면 m-면 GaN 성장은 MOCVD에 의하여 달성되지 않았다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0017] 본 발명의 일반적인 목적은 MOCVD를 이용하여 평면 비극성 m-{1-100} 면 GaN 물질을 성장하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 상기 방법은, 성장단계 전에 엑스-시투(ex situ)로 기판 표면으로부터 산화물을 제거하기 위하여, 상기 기판을 세정성 산성 용매 침지(a solvent clean and acid dip)를 수행하는 하는 단계, 상기 기판을 인-시투(in situ) 어닐링하는 단계, 상기 어닐링된 기판 상에 알루미늄 질화물(AlN) 핵생성층을 성장시키는 단계, 및 MOCVD를 이용하여 상기 핵생성층 상에 비극성 m-면 GaN 에피택셜층을 성장시키는 단계를 포함한다. 본 발명은 분극화된 필드들을 제거하기 위하여 m-면 GaN의 비극성 특성을 이용하는 장점이 있고, 온도, 압력 및 전구체 유동과 같은 성장 변수들에 있어서 유연성을 가지며, 성장 중에 m-GaN 안정성의 장점을 이용할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 최적 품질의 m-면 GaN을 얻기 위하여, AlN 및 GaN층들에 대하여 400 내지 5500의 범위 및 200 내지 3000의 범위의 V족/III족 비율들, 50 Torr 내지 760 Torr의 범위에서 변화하는 성장 압력들, 1100°C 내지 1275°C 및 1000°C 내지 1160°C의 온도 시리즈들로 각각 실험되었다. 이러한 조건들의 변경은, 결정 및 표면이 성장 조건들 내에서의 변화에 극히 민감하고 작은 성장 윈도우에 의하여 한정되는 평면 비극성 a-면 GaN 박막들과는 달리, 결정 및 표면 품질에 심각하게 영향을 주지 않는다. m-GaN의 비극성 특성과 결합한 성장 안정성의 장점은 III족-질화물 비극성 소자 연구에서 새로운 가능성을 제시한다.

도면의 간단한 설명

[0020] 참조하는 도면상에서 동일 부호는 전체에 걸쳐 동일한 요소를 지칭한다.

*도 1(a) 및 도 1(b)는 육방정계 GaN에서 관심있는 결정학적 방향들 및 면들의 개략도이다.

도 2(a) 및 도 2(b)는 분극화의 결과 밴드 구부러짐과 및 전자-홀 분리의 개략도이다.

도 3은 상부로부터 저부까지 m-면 SiC 상의 비극성 평면 m-면 GaN의 구조적인 특성을 제공하고, 관심있는 결정면이 단위 셀에서 도시된다.

도 4는 2.54 nm의 표면 거칠기값을 가지는 5µm×5µm의 원자힘 현미경(atomic force microscopy, AFM) 표면 영상이다.

도 5는 온-축(on-axis) 및 오프-축(off-axis)에 대한 X-선 회절 록킹 곡선(rocking curve)을 도시한다.

도 6은 본 발명의 바람직한 실시시에 따라 MOCVD를 이용하여 평면 m-면 III족-질화물들을 성장하는 공정단계들을 도시하는 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 바람직한 실시시에 따라 도 6의 공정단계들의 결과들을 더 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 바람직한 실시예의 이하의 설명에서는, 본 명세서의 일부를 이루며 본 발명이 실현되는 특정한 실시예를 도시하기 위하여 첨부된 도면을 참조한다. 본 발명의 기술적 사상의 범위를 벗어나지 않고, 다른 실시예들도 구현가능하며, 구조적인 변형이 가능함을 이해할 수 있다.

[0022] **개관**

[0023] 극성 [0001] c-방향의 (Ga, In, Al, B)N 물질들의 성장은, 주 전도방향을 따라서 전하 분리를 일으키는 분극화 필드에 의하여 광학 소자들의 성능을 저하시킨다. 따라서, 최근의 연구는, 이러한 효과들을 제거하고 소자 성능을 현저하게 증가시키기 위하여, 이러한 물질들의 a-[11-20] 및 m-[1-100] 방향들을 따라서 비극성 방향 성장에 초점을 두어 수행되고 있었다. GaN의 a-면 및 m-면 성장이 HVPE 및 MBE에 의하여 수행되었으나, 단지 GaN의 비극성 a-{11-20}면의 성장은 MOCVD에 의하여 수행되어 왔다. 그러나, 평면 a-면 GaN에 대한 성장 윈도우는 매우 작으며, 이러한 특정 방향은 압력 및 전구체 유동과 같은 성장 변수들의 변화에 매우 민감하다. 이에 따라, MOCVD를 이용한 GaN 성장에 있어서 새로운 비극성 방향의 탐구를 하게되었다. 그러나, m-면 성장에 대하여, MOCVD에 요구되는 높은 성장 온도들 때문에 기판 유용성은 문제점이 있다. γ-LiAlO₂와 같은 상업적으로 구할 수 있는 기판들은 MOCVD 성장에 요구되는 온도에 비하여 낮은 용융온도를 가진다. MOCVD 성장동안 안정성이 있고 상업적으로 구할 수 있는 m-SiC 기판들의 출현으로 본 발명은 가능하게

되었다. 본 발명은 MOCVD에 의하여 m-SiC 상에 m-{1-100} 면 GaN의 최초의 성공적인 성장이다.

[0024] 기술적 설명

[0025] 성장 전에 m-면 SiC 기판은 수소 내에서 어닐링된다. AlN층은 GaN 박막이 성장되기 전에 핵생성층으로서 형성된다. 마지막으로, MOCVD에 의하여 GaN층이 성장된다. 도 3은 단위 셀에서 관심있는 비극성 m-면 GaN (1-100) 결정면을 도시한다.

[0026] m-면 GaN의 최적 품질을 달성하기 위하여, AlN 및 GaN층들에 대하여 400 내지 5500 범위 및 200 내지 3000의 범위의 V족/III족 비율들, 50 Torr 내지 760 Torr 범위에서 변화하는 성장 압력들, 1100°C 내지 1275°C 및 1000°C 내지 1160°C의 온도 시리즈들로 각각 실험되었다. AlN 및 GaN 모두에 대한 m-면은 온도들, 반응기 압력들, 및 전구체 유동들의 넓은 범위에서 안정하였다.

[0027] 가장 우수한 품질의 GaN 박막들을 유도하는, 최적의 AlN 핵생성층들은 150 nm 이하의 핵생성층 두께를 가지고 1175°C 보다 높은 온도, 상대적으로 낮은 압력들, 및 3500 까지의 V족/III족 비율에서 구현되었다.

[0028] GaN층 에피택시에 대하여, 가장 바람직한 조건들은 낮은 NH₃ 기상 압력에서의 100 Torr 이하와 같은 낮은 압력들, 1100°C 내지 1160°C의 범위의 온도들, 및 700 이하의 V족/III족 비율들에서 구현되었다.

[0029] 도 4는 결과적인 m-면 GaN 물질의 5 μm×5 μm 원자힘 현미경(AFM) 표면 영상을 도시한다. 입자들은 <11-20> 방향을 따라 배향되고, 또한 5 μm×5 μm 스캔에 대한 표면 거칠기값(제곱평균값, root mean square)은 2.54 nm 까지이다.

[0030] 도 5는 온-축 및 오프-축에서의 x-선 회절 록킹 곡선을 도시하는 오메가(도)에 대한 갯수들/초의 그래프이다. 하기의 표 1에 나타난 바와 같이, 온-축(1-100)의 최대 값 절반에서의 전체 폭(full width at half max, FWHM)은, a-모자이크 및 c-모자이크에 대하여 각각 0.22° 및 1.2° 로 낮게 측정되었고, 오프-축(10-12) 반사에서는 FWHM은 0.38° 를 가졌다. 이러한 거칠기 및 FWHM 값들은 상기 핵생성층 및 에피택셜 GaN 박막 자체의 성장 조건들의 변화에 의하여 크게 변화하지 않는다.

표 1

록킹 곡선 FWHM 값들		
온-축 값		오프-축 값
a-모자이크	c-모자이크	
0.22°	1.2°	0.38°

[0032] 공정단계

[0033] 도 6은 본 발명의 바람직한 일실시예에 따라 MOCVD를 이용하여 평면 비극성 {1-100} m-면 III족-질화물 에피택셜 박막을 성장하는 공정단계들을 도시하는 흐름도이고, 상기 평면 비극성 m-면 III족-질화물 에피택셜 박막은 평면 m-면 GaN 에피택셜층을 포함할 수 있다. 도 7은 도 6의 공정단계들의 각각의 결과들을 더 도시한다.

[0034] 블록 600은, 성장 단계를 위해 기판(700)을 반응기 내로 장입하기 전에 기판(700) 표면으로부터 산화물(702)을 제거하기 위하여, 적절한 기판(700)을 세정성 산성 용매, 예를 들어 1:10 희석된 BHF:DI 용액에 침지하는 단계를 나타낸다.(본 단계가 추천되기는 하지만, 생략한다고 하여 그 결과를 심각하게 변화시키지는 않는다.) 기판(700)은 비극성 m-면 III족-질화물 성장을 위하여 적절한 m-SiC 또는 소정의 기판을 포함할 수 있다.

[0035] 블록 602는 상기 성장 단계 이전에, 예를 들어 수소 내에서 기판(700)을 인-시튜(in situ) 어닐링하는 단계를 나타낸다.(본 단계가 추천되기는 하지만, 생략한다고 하여 그 결과를 심각하게 변화시키지는 않는다.)

[0036] 블록 604는 기판(700) 상에 핵생성층(704)을 성장시키는 단계를 나타낸다. 핵생성층(704)은 통상적으로 알루미늄 질화물(AlN) 핵생성층 또는 개재층을 포함하지만, 그러나 비극성 m-면 III족-질화물 성장에 대해 적절한 소정의 핵생성층(704)을 포함할 수 있다. 또한, 상기 어닐링 단계 이후 및 상기 비극성 m-면 III족-질화물 성장단계 이전에, 핵생성층(704)을 성장시킬 수 있다.

[0037] 블록 606은 MOCVD를 이용하여 비극성 m-면 III족-질화물 에피택셜층(706)을 성장시키는 단계를 나타낸다. 비극성 m-면 III족-질화물 에피택셜층(706)은 통상적으로 비극성 m-면 GaN 에피택셜층을 포함하지만, 그러나 다른 비극성 m-면 III족-질화물 에피택셜층들을 또한 포함할 수 있다. 또한, 비극성 m-면 III족-질화물 에피택셜층(706)은 핵생성층(704) 상에 또는 기판(700) 자체 상에 성장할 수 있다.

[0038] 바람직하게는, 마지막 결과는, 비극성 m-면 III족-질화물의 평면 에피택셜층을 가지는, 소자, 또는 프리 스탠딩(free standing) 웨이퍼, 또는 기판, 또는 템플릿(template)이다.

[0039] 가능한 응용들 및 변형들

[0040] 바람직한 일 실시예가 AlN 개재층을 이용하여 m-SiC 상에 비극성 m-GaN의 MOCVD 성장을 개시한다고 하여도, 그 상에 비극성 m-면 III족-질화물 에피택셜 박막이 형성될 수 있는 대체적이고 적절한 기판들은 6H 또는 4H m-면 SiC, 프리 스탠딩 m-GaN, LiGaO₂ 및 LiAlO₂를 포함하지만, 그러나 이에 한정되지는 않는다.

[0041] 상기 성장 단계 전에, 상기 적절한 기판은, 인-시튜 또는 엑스-시튜 등의 많은 다른 방법들로 처리될 수 있거나, 또는 전혀 처리되지 않을 수 있다.

[0042] 비극성 에피택셜 박막은 다양한 조건들 및 방법들에서 성장한 GaN 또는 AlN과 같은 다른 핵생성층들을 덮도록, 또는 베어 기판(bare substrate)을 덮도록 핵생성하거나 성장할 수 있다.

[0043] 에피택셜 박막은 다양한 두께들을 가지는 GaN, AlN, AlGa_n 및 InGa_n을 포함하는 소정의 비극성 m-면 III족-질화물 물질일 수 있으나, 그러나 이에 한정되지는 않는다.

[0044] 비극성 m-면 III족-질화물 물질의 성장을 위하여 요구되는 성장 파라미터들은 반응기마다 다를 수 있다.

[0045] 최종적으로, 공정단계들은 필요한 경우 생략되거나, 추가되거나, 또는 재배열될 수 있음을 이해할 수 있다.

[0046] 이러한 변수들은 본 발명의 일반적인 실현을 본질적으로 변화하지 못한다.

[0047] 장점들 및 개선점들

[0048] m-{1-100} 면 GaN의 성장은 HVPE 및 MBE에 의하여 성공적으로 구현될 수 있다. 그러나, 본 발명은 MOCVD에 의하여 성장한 고품질의 평면 비극성 m-{1-100} 면 GaN의 최초의 성공적인 구현이다.

[0049] 평면 m-면 GaN의 성장은, 큰 성장 윈도우에 의한 안정성의 관점에서 MOCVD를 이용한 평면 a-{11-20} GaN의 성장에 비하여, 장점이 있다. 이는, AlN 핵생성층 및 GaN 에피택셜 박막을 위하여 온도, 압력 및 전구체 유동들과 같은 성장변수들이 달라지는 경우에 나타난다.

[0050] 최적 품질의 m-면 GaN을 얻기 위하여, AlN 및 GaN층들에 대하여 400 내지 5500의 범위 및 200 내지 3000의 범위의 V족/III족 비율들, 50 Torr 내지 760 Torr의 범위에서 변화하는 성장 압력들, 1100°C 내지 1275°C 및 1000°C 내지 1160°C의 온도 시리즈들로 각각 실험되었다. 이러한 조건들의 변경은, 결정 및 표면이 성장 조건들 내에서의 변화에 극히 민감하고 작은 성장 윈도우에 의하여 한정되는 평면 비극성 a-면 GaN 박막들과는 달리, 결정 및 표면 품질에 심각하게 영향을 주지 않는다.

[0051] m-GaN의 비극성 특성과 결합한 성장 안정성의 장점은 III족-질화물 비극성 소자 연구에서 새로운 가능성을 제시한다.

[0052] 참조

[0053] 이하의 참조들은 본 명세서에 참조로서 인용된다:

[0054] 1. "Molecular-beam epitaxy of GaN/Al_xGa_{1-x}N multiple quantum wells on R-plane (10-12) sapphire substrates," H. M. Ng, Appl. Phys. Lett. 80, 4369 (2002).

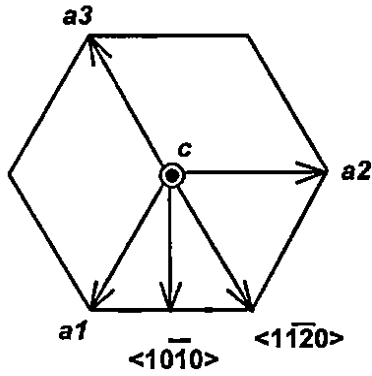
[0055] 결론

[0056]

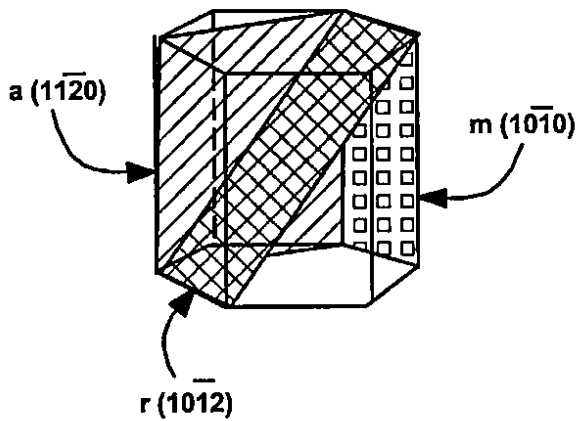
본 발명의 바람직한 실시예에 대한 설명을 결론짓는다. 개시와 설명을 위하여 발명의 하나 또는 그 이상의 실시예들에 대하여 상술한 바와 같은 설명들이 제공되었다. 그러나, 이는 본 발명을 개시된 형태로 한정하는 것은 아니다. 상기의 개시에 기반하여 여러 가지 변형 및 변경이 가능하다. 본 발명의 기술적 사상은 상술한 바에 한정되지 않으며 이하에 첨부된 청구항들에 의하여 한정된다.

도면

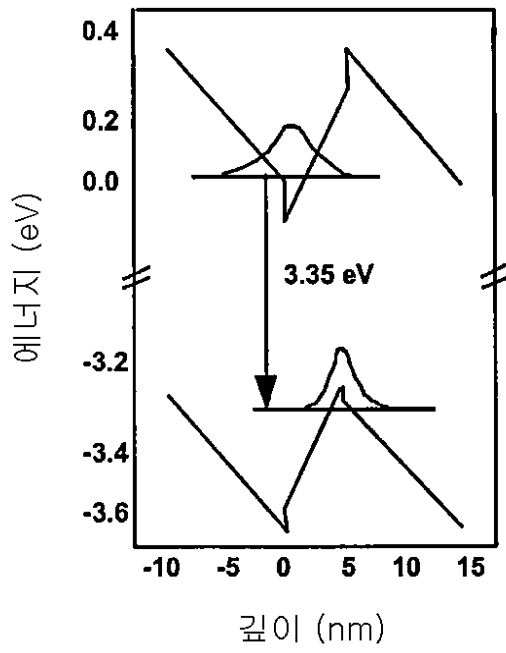
도면1a



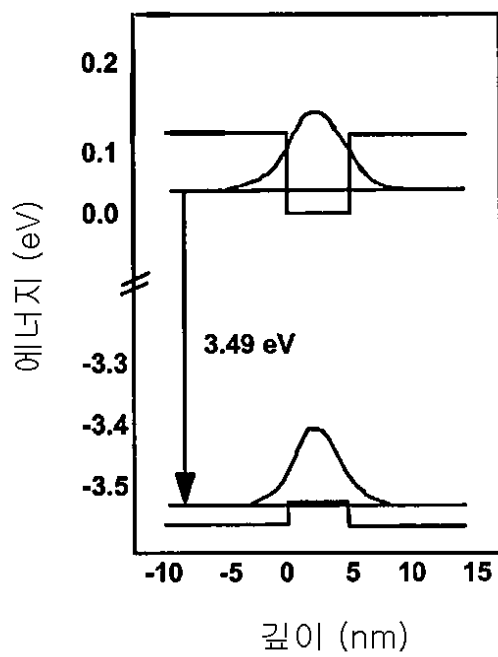
도면1b



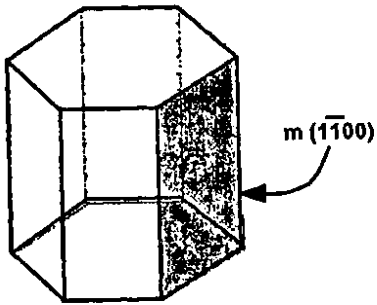
도면2a



도면2b



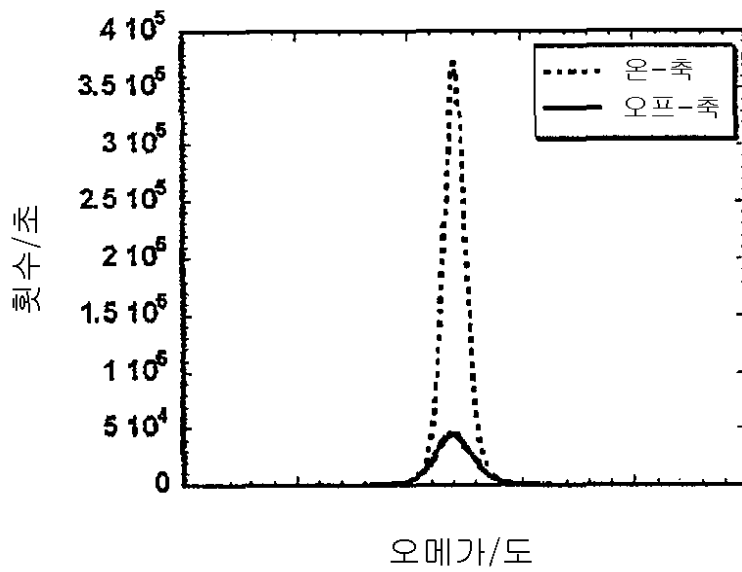
도면3



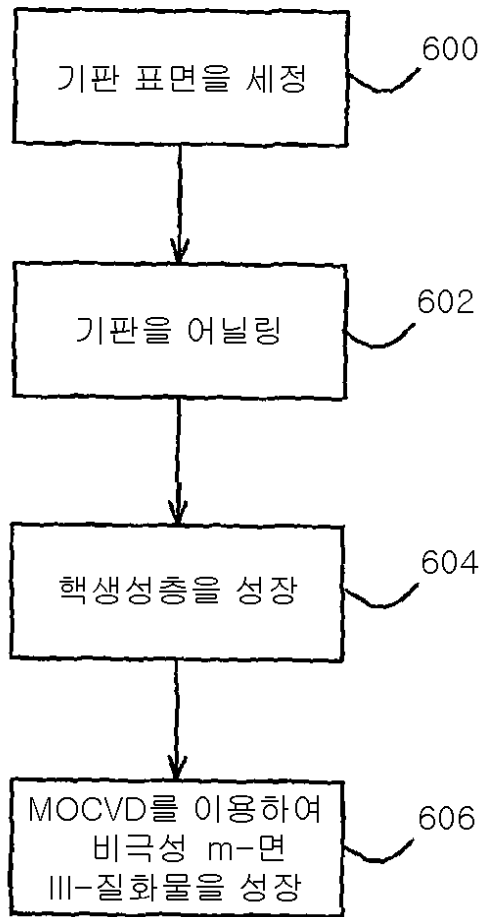
도면4



도면5



도면6



도면7

