



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년11월09일
(11) 등록번호 10-0992960
(24) 등록일자 2010년11월02일

(51) Int. Cl.
H01L 21/318 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2004-7016455
(22) 출원일자(국제출원일자) 2003년04월15일
심사청구일자 2008년04월14일
(85) 번역문제출일자 2004년10월14일
(65) 공개번호 10-2004-0102097
(43) 공개일자 2004년12월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/011176
(87) 국제공개번호 WO 2003/089695
국제공개일자 2003년10월30일
(30) 우선권주장
60/372,909 2002년04월15일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP11346002 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
크레이븐, 마이클디.
미국, 캘리포니아주 93117, 골레타, 디어허스트 드라이브 68 1/2
스펙, 제임스에스.
미국, 캘리포니아주 93117, 골레타, 웨스트 캠퍼스 레인 947
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 25 항

심사관 : 설관식

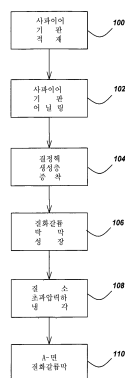
(54) 유기금속 화학기상 증착법에 의해 성장된 무극성 A면질화갈륨 박막

(57) 요약

무극성 (Al,B,In,Ga)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 형성하기 위한 방법. 무극성 a-면(1120) GaN 층은 MOCVD를 이용하여 r면(1102) 사파이어 기판 위에서 성장된다. 상기 무극성 a-면(1120) GaN 층은 무극성 (Al,B,In,Ga)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치를 형성하기 위한 템플릿을 포함한다.

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

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

(a) 기판 위에 질화물계 완충층을 증착시키는 공정; 및
(b) 유기금속 화학기상 증착법에 의해 상기 완충층 위에 무극성 III족 질화물 막을 성장시키는 공정;
을 포함하고, 여기서 상기 (a) 및 (b) 공정으로부터 제조된 무극성 III족 질화물 막은 적층 결함 밀도가 $3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 이하이고 실 전위 밀도는 $2.6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 이하인 평면 성장 면을 가지는 것을 특징으로 하는 유기금속 화학기상 증착을 이용하여 기판 위에 무극성 III족 질화물 박막을 성장시키는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 기판은 r면 사파이어 기판인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 r면 기판에 따른 상기 III족 질화물막의 면내(in-plane) 배향이 $[0001]_{\text{GaN}}$ $[\bar{1}101]_{\text{사파이어}}$ 및 $[\bar{1}100]_{\text{GaN}}$ $[11\bar{2}0]_{\text{사파이어}}$ 인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 기판은 실리콘 카바이드, 질화 갈륨, 실리콘, 산화 아연, 보론 나이트라이드, 리튬 알루미늄옥사이드, 리튬 니오베이트, 게르마늄, 질화 알루미늄, 및 리튬 갈레이트로 구성된 군으로부터 선택된 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 성장 공정 (b)에 앞서 1000°C 초과 온도에서 상기 기판을 어닐링하는 공정을 추가로 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 증착 공정 (a)는 상기 질화물계 완충층 위에 무극성 III족 질화물 막을 성장시키는 공정을 포함하는 상기 성장 공정 (b)에 앞서 $400\text{--}900^\circ\text{C}$ 에서 상기 기판 위에 상기 질화물계 완충층을 증착시키는 공정을 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 증착 공정 (a)는 상기 기판 위에 상기 질화물계 완충층을 대기압 하에서 증착시키는 공정을 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 증착 공정 (a)는 $400\text{--}900^\circ\text{C}$ 및 대기압 하에서 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 증착 공정 (a)는 상기 기판 위에서 III족 질화물 성장을 개시하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 질화물계 완충층은 1-100 나노미터의 질화 갈륨을 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 성장 공정 (b)는 상기 질화물계 완충층보다 높은 온도에서 질화물계 완충층 위에 무극성 III족 질화물 막을 성장시키는 공정을 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 성장 공정 (b)은 0.2 기압 이하에서 상기 질화물계 완충층 위에 무극성 III족 질화물 막을 성장시키는 공정을 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서, 상기 성장 공정 (b)은 분당 30 μmol 의 갈륨 유량, 및 분당 40,000 μmol 의 질소 유량으로 상기 질화물계 완충층 위에 무극성 III족 질화물 막을 성장시키는 공정을 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제 1 항에 있어서, 상기 성장 공정 (b)는 평면 질화 갈륨 막을 생산하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

(a) 기관 위에 증착된 질화물계 완충층; 및

(b) 상기 완충층 위에 성장된 무극성 III족 질화물 막;

을 포함하고, 여기서 상기 (a) 및 (b) 공정으로부터 제조된 무극성 III족 질화물 막은 적층 결함 밀도가 $3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 이하이고 실 전위 밀도는 $2.6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 이하인 평면 성장 면을 가지는 것을 특징으로 기관 위에 무극성 III족 질화물 막을 가지는 구조체.

청구항 31

제 30 항에 있어서, 상기 기관이 r면 사파이어 기관임을 특징으로 하는 구조체.

청구항 32

제 31 항에 있어서, 상기 III족 질화물의 면내 방향성은 상기 r면 기관에 대하여 $[0001]_{\text{GaN}}$ $[\bar{1}101]_{\text{사파이어}}$ 및 $[\bar{1}100]_{\text{GaN}}$ $[\bar{1}120]_{\text{사파이어}}$ 임을 특징으로 하는 구조체.

청구항 33

제 30 항에 있어서, 상기 기관은 실리콘 카바이드, 질화 갈륨, 실리콘, 산화 아연, 보론 나이트라이드, 리튬 알루미늄 나이트라이드, 리튬 니오베이트, 게르마늄, 알루미늄 나이트라이드, 및 리튬 갈레이트를 포함한 군으로부터 선택됨을 특징으로 하는 구조체.

청구항 34

제 30항에서,

상기 무극성 III족 질화물 막은 GaN, InN, AlN, AlInGaN인 것을 특징으로 하는 구조체.

청구항 35

제 30항에 있어서,

상기 무극성 III족 질화물 막은 a-면인 것을 특징으로 하는 구조체.

청구항 36

제 30항에 있어서,

상기 막의 성장 방향은 상기 막의 c-축에 직각 방향인 것을 특징으로 하는 구조체.

청구항 37

제 30항에 있어서,

상기 평면 성장 면은 광학적으로 정반사성인 것을 특징으로 하는 구조체.

청구항 38

제 30항에 있어서,

상기 무극성 III족 질화물 막은 잘린(miscut) 기판에서 성장하는 것을 특징으로 하는 구조체.

청구항 39

제 30항에 있어서,

상기 막은 상기 평면 성장 면상에 후속되는 (Al, B, In, Ga)N 장치 성장을 위한 기본 층인 것을 특징으로 하는 구조체.

청구항 40

제 30항에 있어서,

상기 평면 성장 면은 2.6nm가 넘지않는 표면 거칠기를 가지는 것을 특징으로 하는 구조체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 반도체 재료, 방법, 및 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 유기금속 화학기상 증착법(MOCVD)에 의해 성장된 무극성 a 면 질화갈륨(GaN) 박막에 대한 것이다.

배경기술

[0002] 관련 출원과의 상호 참조

[0003] 본 출원은 본 명세서 내 참고자료에 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 할당받은 미합중국 임시특허출원 제60/372,909호에 의한 35 U.S.C. § 119(e)에 따른 이익을 향유한다.

[0004] 본 출원은 하기의 출원 계속중이고 일반적으로 할당받은 미합중국 실용특허출원:

[0005] 대리인 관리번호 제30794.101-US-U1호로서, Michael D.Craven, Stacia Keller, Steven P.DenBaars, Tal Margalith, James S.Speck, Shuji Nakamura, 그리고 Umesh K. Mishra에 의해 동일자로 출원되어, "무극성 (Al,B,In,Ga)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치"라 명칭된, 일련번호 제___/___,___호; 및

[0006] 대리인 관리번호 제30794.102-US-U1호로서, Michael D.Craven, Steven P.DenBaars, 그리고 James S.Speck에 의해 동일자로 출원되어, "무극성 질화갈륨 박막의 전위 감소"라 명칭된, 일련번호 제___/___,___호; 와 관련된 것으로서, 상기 출원 모두 본 발명의 참고자료에 편입된다.

[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] 질화물계 광전자 및 전자 장치에서 편극으로 유발되는 전기장이 이형구조 위에서 일반적으로 가지는 대형 효과

때문에 부르자이트(wurtzite) III족 질화물 화합물의 편극에 대한 관심이 고조되어 왔다. 질화물계 광전자 및 전자 장치는 편극으로 유발되는 효과에 영향을 받기 쉬운데, 이는 그들이 극성 c-방향[0001]에서 성장된 질화물 막을 사용하기 때문인 것으로, 상기 축을 따라 질화물 막의 자발성 및 압전성(piezoelectric) 편극이 정렬된다. 질화물 막의 총 편극은 조성과 긴장상태(strain state)에 의존적이므로, 불연속성이 인접 장치 층 사이의 계면에 존재하게 되고, 내부 전기장을 일으키는 고정 시트(박판) 충전과 관련된다.

[0009] 편극으로 유발되는 전기장이, 비록 질화물계 트랜지스터 구조 내 2차원 전자가스(2DEG)에는 장점을 보인다 할 지라도, 양자우물(QW) 구조에서 전자와 홀 파동함수를 공간적으로 분리하기 때문에 QW 기반의 장치, 예컨대 레이저 다이오드와 발광 다이오드에서의 캐리어 재결합 효율성을 떨어뜨린다. 참고문헌 1을 참조하라. 오실레이터(진동자) 강도 및 광학 전이의 적색천이에 상응하는 축소가 GaN c-축을 따라 성장되는 AlGaIn/GaN과 GaN/InGaIn 양자우물에 대해 보고되었다. 참고문헌 2-7을 참조하라.

[0010] GaN c-축(무극성) 방향에 수직인 방향으로의 구조성장이라는 유력한 수단에 의해 상기 편극으로 유발되는 계장(field)의 효과를 제거한다. 예를 들면, 상기 성장방향에 따른 편극으로 유발되는 전기장의 존재없이 플라즈마 보조 분자선 에피택시(MBE)를 이용하여 최근에는 리튬 알루미늄이트 기판 위에 m-면 AlGaIn/GaN 양자우물을 성장시켰다. 참고문헌 8을 참조하라.

[0011] a-면 질화물 반도체의 성장은 또한 부르자이트 질화물 양자 구조에서 편극으로 유발되는 전기장 효과를 제거하는 수단을 제공한다. 예를 들면, 종래 기술에, MOCVD와 분자선 에피택시(MBE)를 이용하여 r면 사파이어 위에 a-면 GaN 성장을 달성하였다. 참고문헌 9-15를 참조하라. 그러나, 상기의 종전 노력에 의해 보고된 막 성장은 저온 완충층을 이용하지 않았고, 평활한 평면을 갖지 못했으며, 따라서 상기 층을 이형 구조 성장과 분석에는 부적절 하였다. 결과적으로, 이전에 보고된 MOCVD를 이용하여 r면 사파이어 위에 GaN 의 성장과 비교하여 개선된 구조적 품질 및 표면을 나타내는 막의 성장 방법을 개선할 필요가 있다.

발명의 상세한 설명

[0019] 발명의 요약

[0020] 본 발명은 무극성 a-면 GaN 박막을 MOCVD를 이용하여 r면 사파이어 기판 위에 성장시키는 방법을 상술한다. 무극성 a-면 GaN 박막의 성장방향이 극성 c-축에 수직이므로, 본 발명은 편극으로 유발되는 효과로부터 자유로운 질화물계 장치의 경로를 제공한다. 편극으로 유발되는 전기장이 무극성 a-면 GaN 박막 위에 성장된 (Al,B,In,Ga)N 장치층에 미치는 영향은 설명 있다 하더라도 최소에 그칠 것이다.

[0021] 발명의 상세한 설명

[0022] 바람직한 실시예에 따른 이하의 상세한 설명에서, 참고문헌은 본 명세서의 일부분을 구성하는 첨부도면에 만들어지고, 본 발명이 구현될 수 있는 특징의 실시예를 설명하는 방식으로 나타낸다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다른 실시예들이 이용되고 구조적 변화가 있을 수 있을 것으로 이해된다.

[0023] 개요

[0024] 본 발명은 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막을 MOCVD를 이용하여 $(1\bar{1}02)$ r면 사파이어 기판 위에 성장시키는 방법을 상술한다. 상기 방법은 r면 사파이어 위에 상기 GaN 성장을 개시하기 위해 대기압에서 성장된 저온의 완충층을 사용한다. 그 다음, 평면 막을 제작하기 위해 저압, 예를 들면 ~0.1 기압(atm)에서 고온 성장 공정을 수행한다.

[0025] 본 발명을 이용하여 평면 성장 표면을 얻었다. 특히, 상기 r면 사파이어 기판에 따른 상기 GaN의 면내(in-plane) 배향은 $[0001]_{\text{GaN}} \parallel [\bar{1}101]_{\text{사파이어}}$ 및 $[\bar{1}100]_{\text{GaN}} \parallel (11\bar{2}0)_{\text{사파이어}}$ 로 확인되었다.

[0026] 생성되는 막은 (Al,B,In,Ga)N 장치 층들의 이후 수반되는 성장에 적합한 표면을 갖는다. 특히, 편극으로 유발된 전기장은 무극성 a-면 GaN계 층 위에 성장된 (Al,B,In,Ga)N 장치층에, 설명 있다하더라도, 최소한의 영향을 미칠 것이다.

[0027] 단계별 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막을 $(1\bar{1}20)_r$ 면 사파이어 위에 성장시키기 위한 MOCVD 공정의 각 단계를 나타낸 흐름도이다. 상기 성장 공정은 c-사파이어 위의 c-GaN 성장에 대한 표준이 된 2 단계 공정에 따라 만들어졌다. 참고문헌 16을 참조하라.

[0029] 블록 100은 수직의, 근접하는, 회전하는 디스크인, MOCVD 반응로 내로 사파이어 기판을 적재하는 공정을 나타낸다. 상기 공정을 위해, 사파이어 $(1\bar{1}20)_r$ 면의 $\pm 2^\circ$ 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 제작을 수행할 필요는 없다.

[0030] 블록 102는 장내(in-situ) 고온($>1000^\circ\text{C}$)에서 상기 사파이어 기판을 어닐링하는 공정을 나타내는 것인데, 이는 상기 기판의 표면의 품질을 원자 규모로 개선한다. 어닐링 이후, 상기 기판의 온도는 이후에 수행되는 저온 결정 핵 생성층(nucleation layer) 증착을 위해 저감된다.

[0031] 블록 104는 상기 사파이어 기판 위에 얇고, 저온, 저압의, 질화물계 결정 핵 생성층을 완충층으로서 증착시키는 공정을 나타낸다. 바람직한 실시예에서, 상기 결정 핵 생성층은 1-100 나노미터(nm)의 GaN을 포함하나, 이에 한정되지 않으며, 대략 $400-900^\circ\text{C}$ 및 1 atm의 저온, 저압 증착 조건에서 증착된다. 상기 층들은 일반적으로 c-면(0001) 질화물 반도체의 이형에피택셜 성장에 사용된다. 특히, 상기 증착 공정은 상기 r면 사파이어 기판 위의 GaN 성장을 개시한다.

[0032] 상기 결정 핵 생성층을 증착시킨 후에, 상기 반응로의 온도가 고온으로 상승되고, 그리고 블록 106은 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막을 상기 기판 위에 성장시키는 공정을 나타낸다. 바람직한 실시예에서, 상기 고온 성장 조건은 대략 1100°C 의 성장 온도, 대략 0.2 atm 이하의 성장 압력, 분당 $30\mu\text{mol}$ 의 Ga 유량, 그리고 분당 $40,000\mu\text{mol}$ 의 N 유량을 포함하지만, 이에 한정되는 것은 아니므로, 대략 1300의 V/III 비율을 제공한다. 바람직한 실시예에서, III족과 V족원으로 사용되는 전구체는, 비록 다른 전구체를 사용할 수도 있다 할지라도, 각각 트리메틸갈륨 및 암모니아이다. 또한, 본 발명의 범위를 벗어나지 아니하는 범위 내에서, 성장 조건들을 변경하여 다른 성장속도, 예를 들면, 초당 5와 9\AA 사이, 를 산출해 낼 수 있다. 대략 $1.5\mu\text{m}$ 두께의 무극성 GaN을 성장시킨 것을 특징으로 한다.

[0033] 상기 고온 성장 공정이 완료되면, 블록 108은 상기 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막을 질소 초과압력 하에 냉각시키는 공정을 나타낸다.

[0034] 마지막으로, 블록 110은 r면 사파이어 기판 위의 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 막이 생성되는 상기 공정들의 마지막 결과를 나타낸다. 수반하는 장치 성장용 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 기저층을 성형하기 위하여 상기 공정들을 사용하여 층을 제조하기 위해 사용가능한 장치는 UV 및 인접-UV 광검파기 뿐만 아니라, 레이저 다이오드(LD), 발광 다이오드(LED), 공진 캐비티 LED(RC-LED), 수직 캐비티 표면 방출 레이저(VCSSEL), 고전자 이동성 트랜지스터(HEMT), 이형접합 양극성 트랜지스터(HBT), 이형접합 계장 효과 트랜지스터(HFET)를 포함한다.

[0035] 실험결과

[0036] 4 바운스 Ge(220)-탄색화된 Cu K α 복사 및 검파기 팔(arm) 위의 1.2mm의 수용 슬릿 모드에서 동작하는 PhilipsTM 4-원, 고해상도의, x-선 회절장치(HR-XRD)를 사용하여 GaN 박 및 r면 사파이어로 성장된 결정학적 배

향 및 구조적 품질을 결정하였다. 상기 사파이어 기판에 따른 상기 a-GaN 막의 극성을 결정하기 위해 수렴성 빔 전자회절(CBED)을 사용하였다. A-GaN의 결합 구조를 명확히 하기 위해 켄마(wedge polishing) 및 이온 제분(ion milling)으로 제작한 평면도 및 단면 투과 전자 현미경(TEM) 시료를 분석하였다. 디지털 인스트루먼트 D3000 원자력 현미경(AFM)은 탭핑 모드에서 상기 표면 형태의 이미지를 발생시켰다.

[0037] 도 2(a)는 상기 GaN 막의 성장 방향이 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN으로 인식되는 $2\theta-\omega$ 회절 주사도를 나타낸다.

상기 주사는 사파이어 $(1\bar{1}02)$, $(2\bar{2}04)$, 및 GaN $(11\bar{2}0)$ 반사를 탐지하였다. 상기 측정의 감도 내에서, $2\theta=34.604^\circ$ 에 해당하는 어떠한 GaN(0002) 반사도 탐지되지 않았다는 것은, 어떠한 c-면(0002) 함량도 상기 막들에 존재하지 않는다는 것을 나타내며, 그러므로 상기 GaN 성장 배향에 있어서의 불안정성은 관심사가 아니다.

[0038] 도 2(b)는 GaN 및 r-사파이어 간의 면내 에피택셜 관계를 결정하기 위해 사용되는 축벗어난(off-axis) Φ 스캔의 컴파일로서, 상기 축벗어난 반사에 근접시키기 위해 사용되는 경사각 Ψ 는 각 주사도에서 주목된다. 상기 a-면 성장 표면을 확인한 이후, 상기 GaN 및 상기 r-사파이어 간의 에피택셜내(in-epitaxial) 관계를 결정하기 위해 축벗어난 회절 최고점(peak)을 사용한다. 축벗어난 반사를 상기 회절장치의 분산면(scattering plane)으로 가져오기 위해 두 개의 시료 Φ 및 Ψ 를 조정하였는데, Φ 는 상기 시료 표면에 수직에 대한 회전각이고, Ψ 는 Bragg 및 분산면의 교차에 의해 형성된 축에 대한 시료의 경사각이다. 상기 시료를 특별한 축벗어난 반사를 위

해 정확한 Ψ 에 경사지게 한 후, 도 2(b)에 나타낸 바와 같이 Φ 스캔은 GaN $(10\bar{1}0)$ $(10\bar{1}1)$ 및 사파이어 (0006) 최고점을 탐색하였다. 상기 최고점의 ϕ 지점 사이의 상호관계는 다음과 같은 에피택셜 관계를

결정했다: $[0001]_{\text{GaN}} \parallel [\bar{1}101]_{\text{사파이어}}$ 및 $[\bar{1}100]_{\text{GaN}} \parallel [11\bar{2}0]_{\text{사파이어}}$.

[0039] 도 2(C)는 상기 GaN 및 r면 사파이어 사이의 에피택셜 관계를 나타낸 개략도이다. 상기 결정학적인 배향의 x-선 분석을 보충하기 위해, CBED를 사용하여 GaN 극성을 결정하였다. 상기 GaN c-축을 따라 정렬된 극성 Ga-N 결합의 방향으로 극성 기호를 정의 하였다; 상기 양성 c-축[0001]은 갈륨 원자로부터 질소 원자까지를 가리킨다. 따라서, 갈륨-면 c-GaN 막이 [0001] 성장 방향을 가지는 반면, 질소-면 c-GaN 결정은 [0001] 성장 방향을 가진다. r-사파이어 위에서 성장되는 a-GaN에 대해, $[0001]_{\text{GaN}}$ 은 상기 사파이어 c-축 돌출

$[\bar{1}101]_{\text{사파이어}}$ 와 정렬되고, 따라서, 상기에서 정의된 에피택셜 관계는 극성에 관해서 정확하다. 결과적으로, 상기 양성 GaN c-축은 상기 성장 표면(CBED를 이용하여 결정된 것과 같이) 위의 사파이어 c-축 돌출과 같은 방향을 가리킨다. 상기의 관계는 다양한 성장 기술을 사용하여 여러 집단에서 종래 보고된 것과 일치한다. 참고문헌 9, 12 그리고 14를 참조하라. 그러므로, 상기 에피택셜 관계는 r면 사파이어 기판 위의 GaN 성장을 위해 특별히 정의된다.

[0040] 도 3(a) 및 3(b)은 각각 r면 사파이어 기판 위의 a-면 GaN 막의 결합 구조에 대한 단면 및 평면 TEM 이미지이다. 상기의 이미지들은 각각 라인과 평면적 결함의 존재를 드러낸다. 도 3(a) 및 3(b)에 대한 회절

조건은 각각 $g=0002$ 및 $g=\bar{1}0\bar{1}0$ 이다.

[0041] 도 3(a)에 있어서, 상기 단면 TEM 이미지는 성장 방향 $[11\bar{2}0]$ 에 평행한 라인 방향과의 상기 사파이어/GaN에서 연유하는 실전위(threading dislocation; TD)의 큰 밀도를 드러낸다. 평면도 TEM에 의해 결정된 TD 밀도는 $2.6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 이었다. TD 라인 방향이 상기 성장 방향에 평행함에 따라서, 순수한 나선 전위는 성장 방향

$b=\pm[\bar{1}1\bar{2}0]$ 에 따라 정렬된 부르터스(Burgers) 벡터를 가질 것이고, 반면 순수한 가장자리(edge) 전위는

$b=\pm[0001]$ 를 가질 것이다. 결정학적으로 등가인 $[11\bar{2}0]$ 방향이 동족의 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 으로 처리될

수 없으므로 c-GaN에 따른 a-GaN의 감소되는 대칭은 혼합된 전위의 특성화를 복잡하게 한다. 특히, 혼합된 전위의 가능한 부르터스 벡터는 3 개의 종속 분할로 나누어질 수 있다: (1) $b=\pm [1\bar{2}10]_{b=}$ 및 (3) $b=\pm [\bar{2}110]_{b=}$, (2) $b=\pm [11\bar{2}0]_{\pm}$ 및 (3) $b=\pm [11\bar{2}0]_{\pm}$ 및 $b=\pm [11\bar{2}0]_{\pm}$ 및 $b=\pm [\bar{2}110]_{\pm}$.

[0042] 라인 결합 외에, 도 3(b)에 있어서 평면 TEM 이미지는 상기 a-GaN 막에서 관찰되는 평면 결합을 드러낸다. 상기 평면 TEM 이미지에서 $3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 의 밀도를 갖는 c-축에 수직으로 정렬된 적층 결합이 관찰되었다. 뾰뾰히 들어찬 평면의 에피텍셜 성장과 일반적으로 관련된, 적층 결합은 고온 성장의 초기 단계 중에서 형성되는 3-차원(3D) 섬(island)의 c-면의 측면 위에서 대부분 시작되는 것으로 보인다. 결과적으로, 상기 적층 결합은 현재 본질적인 것으로 여겨지며, 반대 기호의 쇼클리(Shockley) 부분 전위에 의해 종결하게 된다. r면 사파이어 기판 위에서 성장된 a-면 AlN 막에서 유사한 특성을 갖는 적층 결합을 관찰하였다. 참고문헌 17을 참조하라. 상기 적층 결합은 상기 뾰뾰히 들어찬 (0001)에 평행하고 밀도가 $\sim 3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 인 공통의 결합 면을 가진다.

[0043] 상기 a-면 GaN 결정 품질을 특징짓기 위해서 상기 GaN 축상(on-axis) $(11\bar{2}0)$ 및 축벗어난(off-axis) $(10\bar{1}1)$ 반사에 대한 오메가 진동 곡선을 측정하였다. 상기 축상 최고점의 최대폭 반최대값(full-width half-maximum; FWHM)은 0.29° ($1037''$)였고, 반면 상기 축벗어난 최고점은 0.46° ($1659''$)의 FWHM과 함께 더 큰 배향적인 퍼짐을 나타내었다. 상기 초소형 구조가 실질적인 전위 밀도를 함유하므로 큰 FWHM 값이 예상된다. c-사파이어 위의 c-GaN 막에 대해 헤잉(Heying) 등이 제시한 분석에 따르면, 축상 최고점 폭은 나선(screw)에 의해 넓혀지고, 전위에 의해 혼합되는 반면, 축벗어난 폭은 가장자리-구성요소 TD(이 TD 라인은 상기 막 법선에 평행한 것으로 가정한다)에 의해 넓혀진다. 참고문헌 18을 참조하라. 상기 축상 최고점에 비해 상기 축벗어난 최고점이 넓으므로 r-사파이어 위의 a-GaN에 대한 가장자리 전위밀도는 비교적 클 것으로 예상된다. A-GaN TD 지형을 진동 곡선 측정과 연관시키기 위한 추가적인 초소형 구조의 분석이 요구된다.

[0044] 도 4(a) 및 도 4(b)는 각각 상기 성장된(as-grown) a-면 GaN 막의 표면의 AFM 진폭 및 고도 이미지다. 도 4(a)의 AFM 진폭 이미지에서의 표면 공동(pit)은 상기 GaN c-축에 평행하게 균일하게 정렬되는 반면, 도 4(b)의 AFM 고도 이미지에서 보이는 테라스는 상기 c-축에 수직으로 정렬된다.

[0045] 상기 a-GaN 성장 표면이 비록 2.6nm의 표면 RMS 조도(roughness)에 광학적으로 정반사성이라 하더라도, 도 4(a)에서 나타난 AFM 진폭 이미지에서 선명하게 관찰될 수 있는 바와 같이, 상기 a-GaN 성장 표면은 초미세(submicron) 규모로 공동(pit)이 난다. 상기 표면 공동이 상기 표면으로 전위 종료를 장식하고 있는 것으로 제안되었다; 평면 TEM에 의해 결정된 전위 밀도는 크기 순서내에서 상기 표면 공동 밀도와 관계된다.

[0046] GaN c-축[0001]을 따라 정렬된 작은 표면 공동 외에, 상기 c-축에 수직인 희미한 테라스가 AFM 고도 이미지에서 드러난다. 비록 상기 심(seam)이 원자적 단계로 선명하게 정의되지는 않지만, 상기 결정학적인 특징은 상기 표면 성장 모드의 초기 신호일 수 있다. 상기 a-면 성장 공정의 개발에 있어서의 상기 초기 지점에서, 상기 공동 또는 상기 테라스 어느 것도 특별한 결합 구조와는 상관이 없다.

[0047] 참고문헌

[0048] 하기 참고문헌은 참조용으로 여기에 편입시킨다.

[0049] 1. I. P. Smorchkova, C. R. Elsass, J. P. Ibbetson, R. Vetury, B. Heying, P. Fini, E. Haus, S. P.

DenBaars, J. S. Speck, and U. K. Mishra, J. Appl. Phys. 86, 4520 (1999).

- [0050] 2. O. Ambacher, J. Smart, J. R. Shealy, N. G. Weimann, K. Chu, M. Murphy, W. J. Schaff, L. F. Eastman, R. Dimitrov, L. Wittmer, M. Stutzmann, W. Rieger, and J. Hilsenbeck, J. Appl. Phys. 85, 3222 (1999).
- [0051] 3. I. Jin Seo, H. Kollmer, J. Off, A. Sohmer, F. Scholz, and A. Hangleiter, Phys. Rev. B 57, R9435 (1998).
- [0052] 4. R. Langer, J. Simon, V. Ortiz, N. T. Pelekanos, A. Barski, R. Andre, and M. Godlewski, Appl. Phys. Lett. 74, 3827 (1999).
- [0053] 5. P. Lefebvre, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, N. Grandjean, M. Leroux, J. Massies, and P. Bigenwald, Phys. Rev. B 59, 15363 (1999).
- [0054] 6. P. Lefebvre, A. Morel, M. Gallart, T. Taliercio, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, B. Damilano, N. Grandjean, and J. Massies, Appl. Phys. Lett. 78, 1252 (2001).
- [0055] 7. T. Takeuchi, C. Wetzel, S. Yamaguchi, H. Sakai, H. Amano, I. Akasaki, Y. Kaneko, S. Nakagawa, Y. Yamaoka, and N. Yamada, Appl. Phys. Lett. 73, 1691 (1998).
- [0056] 8. P. Waltereit, O. Brandt, A. Trampert, H. T. Grahn, J. Menniger, M. Ramsteiner, M. Reiche, and K. H. Ploog, Nature (London 406, 865 (2000).
- [0057] 9. T. Sasaki and S. Zembutsu, J. Appl. Phys. 61, 2533 (1987).
- [0058] 10. C. J. Sun and M. Razeghi, Appl. Phys. Lett. 63, 973 (1993).
- [0059] 11. T. Metzger, H. Angerer, O. Ambacher, M. Stutzmann, and E. Born, Phys. Status Solidi B 193, 391 (1996).
- [0060] 12. T. Lei, K. F. Ludwig, Jr., and T. D. Moustakas, J. Appl. Phys. 74, 4430 (1993).
- [0061] 13. C. R. Eddy, Jr., T. D. Moustakas, and J. Scanlon, J. Appl. Phys. 73, 448 (1993).
- [0062] 14. T. D. Moustakas, T. Lei, and R. J. Molnar, Physica B 185, 36 (1993).
- [0063] 15. K. Iwata, H. Asahi, K. Asami, R. Kuroiwa, and S. Gonda, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 36, L661 (1997).
- [0064] 16. H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki, and Y. Toyoda, Appl. Phys. Lett. 48, 353 (1986).
- [0065] 17. K. Dovidenko, S. Oktyabrysky, and J. Narayan, J. Appl. Phys. 82, 4296 (1997).
- [0066] 18. B. Heying, X. H. Wu, A. S. Keller, Y. Li, D. Kapolnek, B. P. Keller, S. P. DenBaars, and J. S. Speck, Appl. Phys. Lett. 68, 643 (1996).

[0067] 결론

[0068] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상세한 설명을 결론 짓는다. 이하에서는 본 발명을 달성하기 위한 일부 대안적인 실시예들을 기술한다.

[0069] 예를 들면, 상술한 개재물들이 지적하는 바와 같이, 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막들을 $(1\bar{1}02)_r$ 면 사파이어 기판 위에 성장시키기 위해 사용될 수 있는 MOCVD 기술 및 장비의 다양한 변경 및 변동이 있을 수 있다. 더욱이, 다른 성장 조건들이 다른 MOCVD 반응로 설계를 위해 최적일 수도 있다. 산업계와 학계에서 현재 사용하는 다양한 반응로 설계와 더불어 상기 공정을 다양하게 변경시키는 것이 가능하다. 상기의 차이에도 불구하고, 상기 성장 매개변수는 상기 막의 품질을 개선하기 위해 아마 최적화될 수 있다. 상기 MOCVD 성장에 대해 가장 중요한 변수는 성장 온도, V/III 비율, 전구체 유량, 및 성장 압력을 포함한다.

[0070] 상기 MOCVD 성장 기술과 함께 가능한 다수의 변경에 더하여, 다른 변경도 가능하다. 예를 들면, 상기의 수반되는 에피택셜 GaN 성장을 최적화 하기 위하여 상기 r면 사파이어 기판의 특징의 결정학적 배향을 변경할 수도 있

다. 게다가, 특별한 결정학적인 방향의 잘못자른(miscut) 특별한 각도를 갖는 r면 사파이어 기판이 성장용으로 최적일 수도 있다.

[0071] 또한, 결정핵 생성층 증착이 평활한 성장 표면과 최소의 결정체 결함을 갖는 에피텍셜 GaN 막을 얻는데 있어 중요하다. 기본적인 MOCVD 매개변수를 최적화하는 것 외에, GaN 대용으로 AlN 또는 AlGaIn 결정핵 생성층을 사용하는 것이 고품질의 a-면 GaN 막을 획득함에 있어 유용한 것으로 판명할 수 있었다.

[0072] 게다가, 비록 무극성 a-면 GaN 박막을 여기에 기술하였지만, 무극성 m-면 GaN 박막에도 동일한 기술을 적용할 수 있다. 더욱이, GaN 박막 대신에 무극성 InN, AlN, 및 AlInGaIn 박막을 생산해 낼 수 있다.

[0073] 마지막으로, 무극성 GaN 성장에 있어서 사파이어 기판 이외의 기판을 사용할 수 있다. 상기 기판은 실리콘 카바이드, 질화 갈륨, 실리콘, 산화 아연, 보론 나이트라이드, 리튬 알루미늄네이트, 리튬 니오베이트, 게르마늄, 질화 알루미늄, 및 리튬 질화물을 포함한다.

[0074] 요약하면, 본 발명은 에피텍셜 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 막의 고온 성장 이전에 완충층으로서 저온 결정핵 생성층을 사용함으로써 r면 $(1\bar{1}02)$ 사파이어 기판 위의 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막의 성장을 기술한다. 상기 에피텍셜 관계는 상기 성장 표면 위의 사파이어 c-축 돌출과 같은 방향을 가리키는 양성의 GaN c-축을 갖는 $[0001]_{\text{GaN}} \parallel [\bar{1}101]_{\text{사파이어}}$ 및 $[\bar{1}100]_{\text{GaN}} \parallel [11\bar{2}0]_{\text{사파이어}}$ 이다.

[0075] 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.

도면의 간단한 설명

[0012] 이제, 도면을 참조함에 있어, 도면 내 참조번호는 본 명세서의 대응부분을 나타낸다.

[0013] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막을 $(1\bar{1}20)$ r면 사파이어 위에 성장시키기 위한 MOCVD 공정의 각 공정을 나타낸 흐름도이고;

[0014] 도 2(a)는 GaN 막의 성장 방향을 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN과 동일시하는 $2\theta-\omega$ 회절주사도를 나타내며;

[0015] 도 2(b)는 축벗어난 반사에 접근하기 위해 사용되는 경사각 ψ 는 각 주사도에서 주목되는 것으로, GaN과 r-사파이어 간의 면내(in-plane) 에피텍셜 관계를 결정하는데 이용되는 축벗어난 주사도의 컴파일이며;

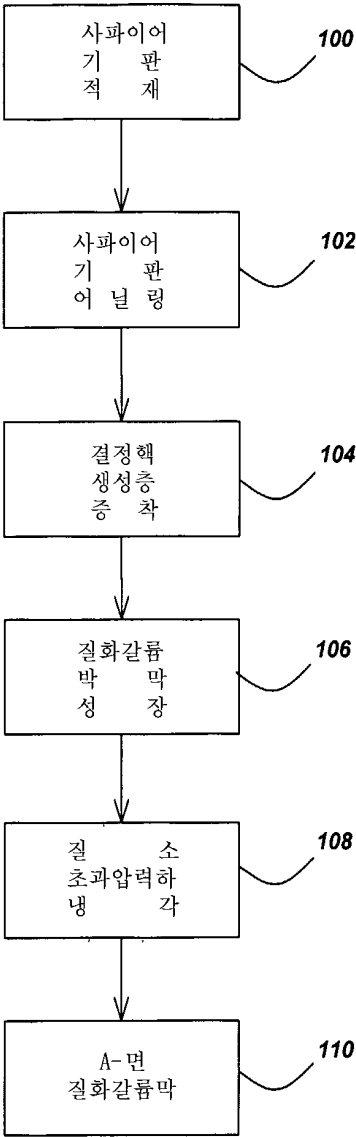
[0016] 도 2(c)는 GaN 과 r면 사파이어 간의 에피텍셜 관계에 대한 개략도이며;

[0017] 도 3(a) 및 3(b)는 r면 사파이어 위의 a-면 GaN 박의 결함 구조에 대한 단면과 평면의 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이며;

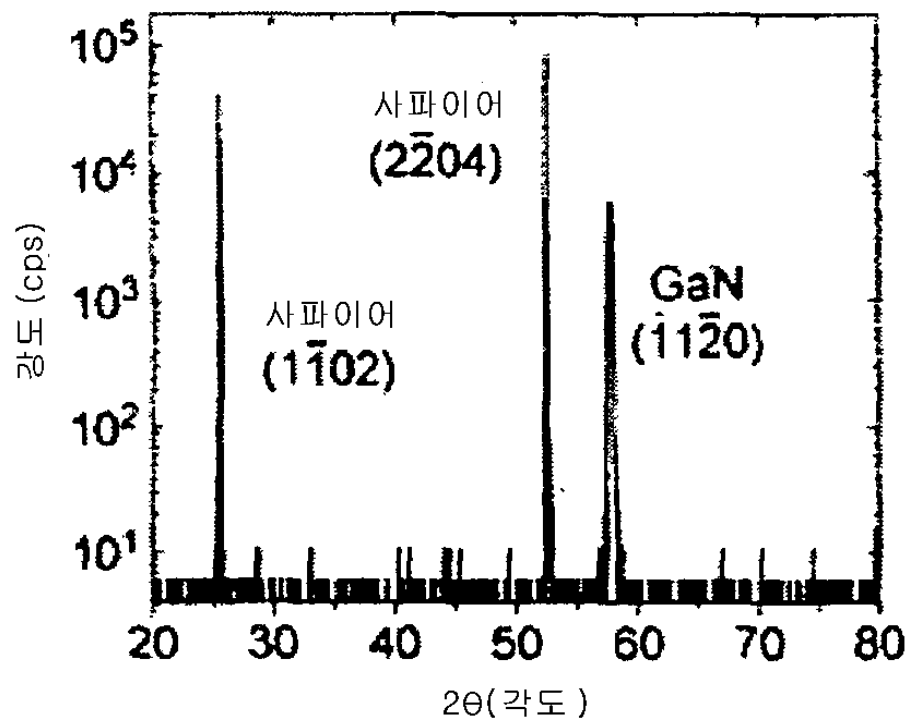
[0018] 도 4(a) 및 도 4(b)는 성장된 a-면 GaN 막 표면의 원자력 현미경(AFM) 진폭과 고도 이미지를 나타낸다.

도면

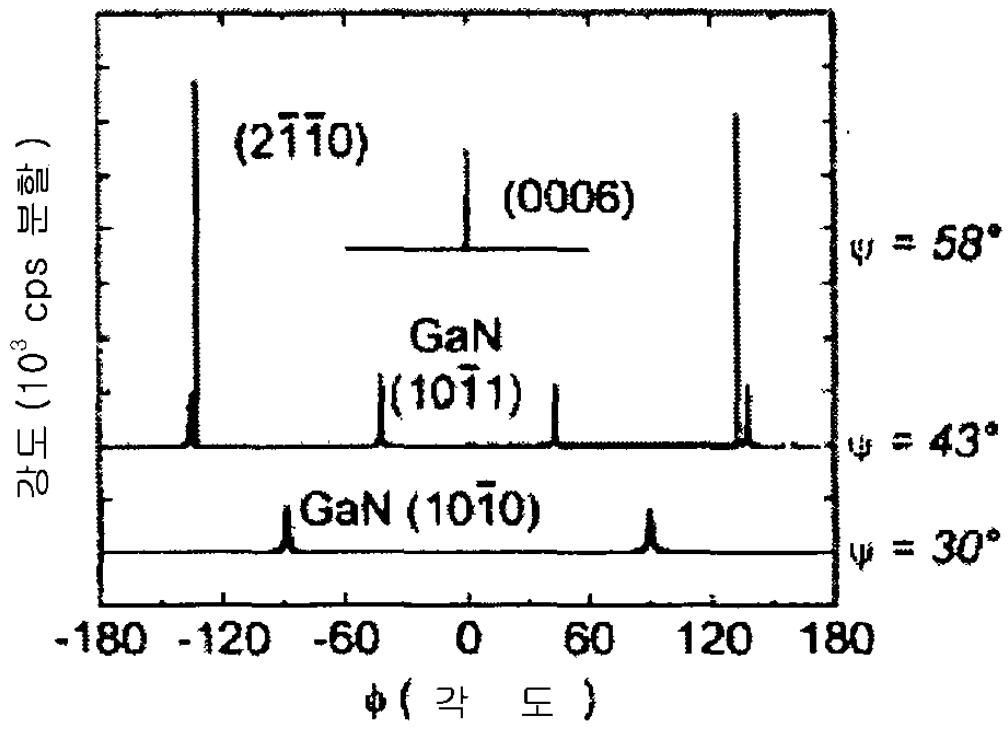
도면1



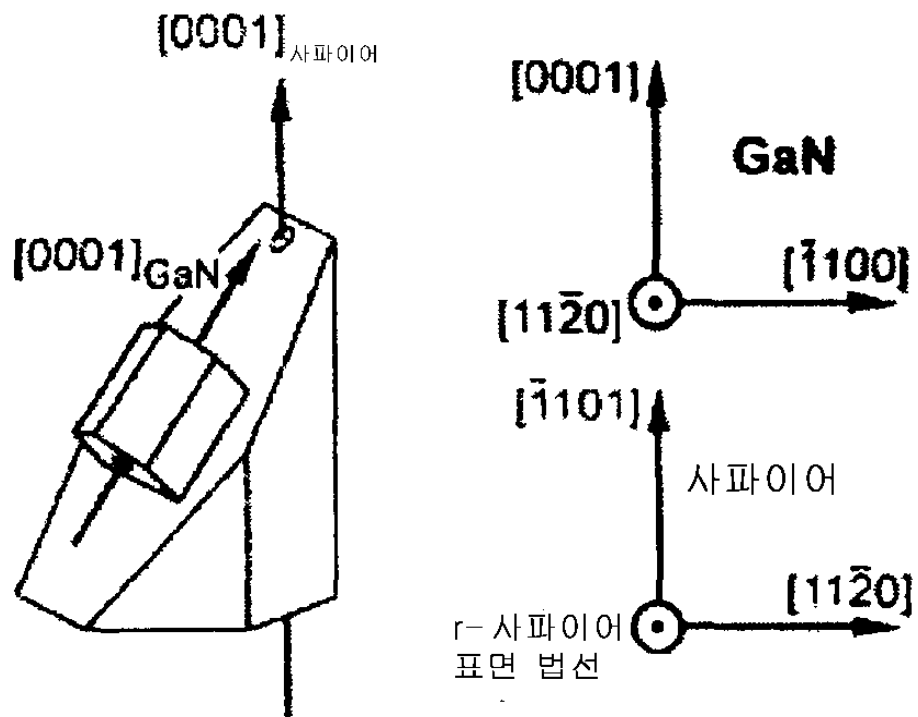
도면2a



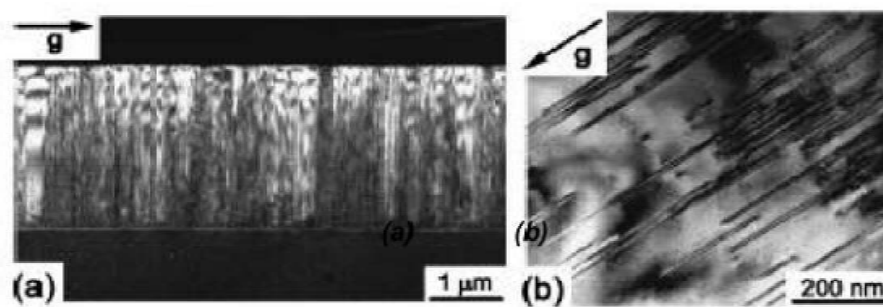
도면2b



도면2c



도면3



도면4

