



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년04월08일

(11) 등록번호 10-1510461

(24) 등록일자 2015년04월02일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 $H01L\ 21/20$  (2006.01)  $H01L\ 21/318$  (2006.01)  
 $H01L\ 21/365$  (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2008-7020383
- (22) 출원일자(국제) 2007년01월19일  
 심사청구일자 2012년01월18일
- (85) 번역문제출일자 2008년08월20일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2007/001699
- (87) 국제공개번호 WO 2007/084782  
 국제공개일자 2007년07월26일
- (30) 우선권주장  
 60/760,739 2006년01월20일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
 US06039803 A  
 US20050245095 A1  
 JP10341060 A  
 US20050214992 A1

- (73) 특허권자  
 더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아  
 미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층  
 캐뎀 사이언스 앤드 테크놀로지 에이전시  
 일본국, 사이타마켄, 가와구치시, 혼조 4 조메 1-8
- (72) 발명자  
 캐딩 존 에프.  
 미국 캘리포니아 94040 마운틴 뷰 보니타 에비뉴 981 아파트먼트 23  
 이자 마이클  
 미국 캘리포니아 93101 산타 바바라 마운틴 에비뉴 1929  
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
 리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 54 항

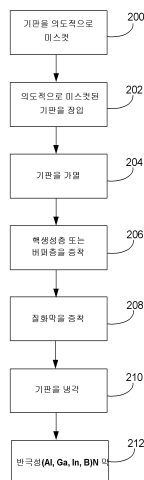
심사관 : 김한수

(54) 발명의 명칭 반극성 (A l , I n , G a , B)N의 개선된 성장 방법

(57) 요약

의도적으로 미스컷된 기판을 이용하여 반극성 (Al,In,Ga,B)N 반도체 박막의 개선된 성장을 위한 방법을 개시한다. 특히, 방법은, 기판을 의도적으로 미스컷하는 단계, 기판을 반응기 내에 장입하는 단계, 질소 및/또는 수소 및/또는 암모니아의 유동 하에서 기판을 가열하는 단계, 가열된 기판 상에  $In_xGa_{1-x}N$  핵생성층을 증착하는 단계,  $In_xGa_{1-x}N$  핵생성층 상에 반극성 질화물 반도체 박막을 증착하는 단계, 및 질소 과압 하에서 기판을 냉각하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

**베이커 트로이 제이.**

미국 캘리포니아 93111 산타 바바라 월넛 라인 158

**사토 히토시**

일본 가나가와 228-0003 잠시 히바리가오카  
3-18-10

**하스켈 벤자민 에이.**

미국 캘리포니아 93110 산타 바바라 유닛 에이치  
오크 글렌 드라이브 4521

**스펙 제임스 에스.**

미국 캘리포니아 93117 골레타 웨스트 캠퍼스 라인  
947

**덴바스 스티븐 피.**

미국 캘리포니아 93117 골레타 엘더베리 드라이브  
283

**나카무라 슈지**

미국 캘리포니아 93160 산타 바바라 피.오. 박스  
61656

**이동선**

경기도 안양시 동안구 귀인로 237, 초원 대림 아파  
트 203동 1003호 (평촌동)

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

(a) 기판의 미스컷(miscut)의 크기 및 방향을 선택하고, 상기 기판의 미스컷 표면을 획득하는(obtaining) 단계; 및

(b) 반극성 방위를 선택하고, 상기 기판의 상기 미스컷 표면 상에 또는 그 위에 상기 반극성 방위를 갖는 반극성 III족-질화물 반도체 막을 성장시키는 단계를 포함하고,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 최상 성장 표면은, 10  $\mu\text{m}$  폭에 비하여 크고, 미스컷 되지 않은 기판의 표면 상의 반극성 III족-질화물 반도체 막의 최상 성장 표면에 비해 감소된 표면 거칠기 및 감소된 파세팅(faceting)을 가지며,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은, X-선 회절에 의해 측정된, 0 도보다 크고 0.55 도보다 작은 FWHM(full width at half maximum)을 갖는 록킹 곡선(rocking curve)을 특징으로 하는 결정 품질을 갖는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 {100}, {1-100}, {10-10} 또는 {10-14}의 결정 방위로부터 의도적으로 미스컷된 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 미스컷의 상기 크기는 0.5° 내지 20° 의 범위의 미스컷 각도인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 미스컷의 상기 크기는 0.5° 내지 3° 의 범위에서 변화하는 미스컷 각도인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 성장을 위하여 상기 기판은 주어진 결정학적 방향으로 의도적으로 미스

컷되고, 이에 따라 상기 기관의 상기 미스컷 표면을 형성하고, 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 대칭과 정합하기 위하여 상기 기관의 대칭을 낮추는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 단일 결정학적 도메인을 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 11**

제 9 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 기관의 상기 미스컷 표면 상에 이중 에피택셜하게 증착되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 12**

제 1 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 식  $Ga_nAl_xIn_yB_zN$  (여기에서  $0 \leq n \leq 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$  및  $n+x+y+z=1$ )을 가지는 (Ga,Al,In,B)N 반도체들의 합금 조성을 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 13**

제 1 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 {10-11} 갈륨 질화물이고,

상기 미스컷 표면을 갖는 상기 기관은 <011> 방향으로 미스컷된, 의도적으로 미스컷된 {100}  $MgAl_2O_4$  스피넬 (spinel) 기관인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 14**

제 1 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 {11-22} 갈륨 질화물이고,

상기 미스컷 표면을 갖는 상기 기관은 <0001> 방향으로 미스컷된, 의도적으로 미스컷된 {1-100}  $Al_2O_3$  사파이어 기관인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 15**

제 1 항에 있어서,

상기 미스컷 표면을 갖는 상기 기관은 반극성 평면을 따라서 벌크 III족-질화물 결정을 절단함으로써 획득되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

상기 반극성 평면의 노출된 표면은 질소면인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 17**

제 1 항에 있어서,

상기 미스컷 표면을 갖는 상기 기관은 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 성장을 위하여 우선적인 핵생성 위치들로 기능하는 단차 에지들(step edges) 또는 킹크들(kinks)을 제공하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체

막의 성장 방법.

**청구항 18**

제 1 항에 있어서,

상기 선택하는 단계는, 비의도적으로 미스컷된 기판들 상의 증착과 비교하여, 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 감소된 결함 밀도들 또는 더 매끈하고 더 평평한 계면들 또는 표면들을 제공하는 상기 기판의 상기 미스컷의 상기 크기 및 상기 방향을 선택하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 19**

제 1 항에 있어서,

상기 선택하는 단계는, 비의도적으로 미스컷된 기판 상에 증착된 반극성 III족-질화물 반도체 막과 비교하여, 상기 미스컷 표면 상에 증착된 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막이 더 우수한 결정도 및 감소된 관통 전위들(threading dislocation)을 가지도록 상기 기판의 상기 미스컷의 상기 크기 및 상기 방향을 선택하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 20**

제 1 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 상기 표면 거칠기 및 상기 파세팅(faceting)은 미스컷 각도가 증가됨에 따라 감소되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 21**

제 1 항에 있어서,

- (1) 상기 미스컷의 상기 크기 및 상기 방향을 기초로 하여, 상기 기판을 의도적으로 미스컷하는 단계;
- (2) 상기 기판을 반응기 내에 장입하는 단계;
- (3) 질소, 수소 또는 암모니아 중 적어도 하나를 포함하는 유동 하에서 상기 기판을 가열하는 단계;
- (4) 상기 가열된 기판의 상기 미스컷 표면 상에 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막을 증착하는 단계; 및
- (5) 질소 또는 암모니아를 포함하는 유동 하에서 상기 기판을 냉각하는 단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 22**

제 21 항에 있어서,

상기 증착하는 단계 (4)는:

- (i) 상기 가열된 기판의 상기 미스컷 표면 상에 핵생성층을 증착하는 단계; 및
- (ii) 상기 핵생성층 상에 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막을 증착하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 23**

제 1 항의 방법을 이용하여 제조된 소자.

**청구항 24**

제 23 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 소자의 부분이며,

상기 소자는 비의도적으로 미스컷된 기관 상에 제조된 소자에 비하여 더 밝은 발광을 가지는 발광 다이오드인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 25**

제 23 항에 있어서,

상기 기관은 의도적으로 미스컷되고, 상기 소자 내의 전체 분극장(polarization field)의 방위를 제어하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 26**

(a) 기관을 의도적으로 미스컷하는 단계; 및

(b) 의도적으로 미스컷된 상기 기관 상에, 상기 기관의 대칭보다 낮은 대칭을 갖는 물질 층을 이중 에피택셜하게 증착하는 단계;

를 포함하는 기관 상에 물질 층의 성장을 강화하는 방법.

**청구항 27**

제 1 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 기관의 상기 미스컷 표면 상에 이중 에피택셜하게 증착되고,

상기 기관은 갈륨 질화물과는 다른 물질인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 28**

크기와 방향을 갖는 미스컷으로 미스컷된 기관으로서, 상기 미스컷은 상기 기관의 미스컷 표면을 포함하는, 상기 기관; 및

상기 기관의 상기 미스컷 표면 상에 또는 그 위에 증착된, 반극성 방위를 갖는 반극성 III족-질화물 반도체 막을 포함하고,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 최상 성장 표면은, 10 μm 폭에 비하여 크고, 미스컷 되지 않은 기관의 표면 상의 반극성 III족-질화물 반도체 막의 최상 성장 표면에 비해 감소된 표면 거칠기 및 감소된 파세팅을 가지며,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은, X-선 회절에 의해 측정된, 0 도보다 크고 0.55 도보다 작은 FWHM을 갖는 록킹 커브를 가지는 것을 특징으로 하는 결정 품질을 가지는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 29**

제 28 항에 있어서,

상기 기관의 상기 미스컷 표면은 {100}, {1-100}, {10-10} 또는 {10-14}의 결정 방위로부터 미스컷된 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 30**

제 28 항에 있어서,

상기 미스컷의 상기 크기는 0.5° 내지 20° 의 범위의 미스컷 각도인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 31**

제 30 항에 있어서,

상기 미스컷의 상기 크기는 0.5° 내지 3° 의 범위에서 변화하는 미스컷 각도인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 32**

제 28 항에 있어서,

상기 기판은 주어진 결정학적 방향으로 미스컷되고, 이에 따라 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 대칭과 정합하기 위하여, 상기 기판의 대칭을 낮추는 상기 기판의 상기 미스컷 표면을 형성하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 33**

제 32 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 단일 결정학적 도메인을 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 34**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 기판의 상기 미스컷 표면 상에 이중 에피택셜하게 증착되고,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 기판의 대칭에 비하여 낮은 대칭을 가지는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 35**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 식  $Ga_nAl_xIn_yB_zN$  (여기에서  $0 \leq n \leq 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$  및  $n+x+y+z=1$ )을 가지는 (Ga,Al,In,B)N 반도체들의 합금 조성을 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 36**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 {10-11} 갈륨 질화물이고,

상기 기판은 <011> 방향으로 미스컷된 {100}  $MgAl_2O_4$  스피넬(spinel) 기판인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 37**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 {11-22} 갈륨 질화물이고,

상기 기판은 <0001> 방향으로 미스컷된 {1-100}  $Al_2O_3$  사파이어 기판인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 38**

제 28 항에 있어서,

상기 기판은 반극성 평면을 따라서 상기 미스컷 표면을 가지는 벌크 III족-질화물 결정이고,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 기판의 상기 미스컷 표면 상에 동종 에피택셜하게 성장된 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 39**

제 38 항에 있어서,

상기 미스컷 표면은 질소면을 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 40**

제 28 항에 있어서,

상기 기판의 상기 미스컷 표면은 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 성장을 위하여 우선적인 핵생성 위치들로 기능하는 단차 에지들(step edges) 또는 킹크들(kinks)을 제공하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 41**

제 28 항에 있어서,

상기 미스컷 표면은, 유사한 증착 조건들 하에서 기관들의 미스컷되지않은 표면들 상에 유사한 반극성 III족-질화물 반도체 막의 증착과 비교하여,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막의 감소된 결함 밀도들 또는 더 매끈하고 더 평평한 계면들 또는 표면들을 제공하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 42**

제 28 항에 있어서,

상기 미스컷 표면은, 유사한 증착 조건들 하에서 기관들의 미스컷되지않은 표면들 상에 증착된 유사한 반극성 III족-질화물 반도체 막과 비교하여,

상기 기관의 상기 미스컷 표면 상에 증착된 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막이 더 우수한 결정성과 감소된 관통 전위들을 가지도록 하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 43**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 소자의 일부이며,

상기 소자는, 기관의 미스컷되지않은 표면 상에 제조된 유사한 소자에 비하여, 더 밝은 발광을 가지는 발광 다이오드인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 44**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 상기 기관의 상기 미스컷 표면 상에 이중 에피택셜하게 증착되고,

상기 기관은 갈륨 질화물과는 다른 물질인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 45**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 막은 제조 방법을 이용하여 제조되고,

상기 제조 방법은,

핵생성층을 거쳐서 상기 미스컷 표면 상에 상기 반극성 III-족 질화물 반도체 막을 성장시키는 단계를 포함하고,

상기 성장시키는 단계는 유기금속 화학기상증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD) 또는 수소화물 기상 에피택시법(Hydride Vapor Phase Epitaxy, HVPE)에 의해 수행되며;

성장 압력은 10 torr 내지 1000 torr 사이이고,

성장 온도는 400 °C 내지 1400 °C 사이이며,

상기 성장시키는 단계는 질소, 수소 및 암모니아로부터 선택된 적어도 하나의 가스를 포함하는 유동을 이용하는 것을 특징으로 소자.

**청구항 46**

제 45 항에 있어서,

상기 제조 방법은,

<011> 방향으로 미스컷된 {100} 스피넬 기관을 제공하는 단계로서, 상기 미스컷의 크기는 0.5° 내지 20° 의 범



위의 미스컷 각도인 상기 제공하는 단계;

상기 기판의 상기 미스컷 표면 상에  $Al_xGa_{1-x}N$  핵생성층을 성장시키는 단계; 및

상기 핵생성층 상에 {10-11} GaN을 포함하는 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막을 성장시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 47**

제 45 항에 있어서,

상기 제조 방법은,

<0001> 방향으로 미스컷된 {1-100}  $Al_2O_3$  사파이어 기판을 제공하는 단계로서, 상기 미스컷의 크기는  $0.5^\circ$  내지  $20^\circ$  의 범위의 미스컷 각도인 상기 제공하는 단계;

상기 기판의 상기 미스컷 표면 상에  $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$  핵생성층을 성장시키는 단계; 및

상기 핵생성층 상에 {11-22} GaN을 포함하는 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막을 성장시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 48**

제 45 항에 있어서,

상기 최상 성장 표면 상에 제조되는 발광 소자는 적어도 50 마이크로와트의 출력 전력을 갖는 광을 방출하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 49**

제 28 항에 있어서,

상기 최상 성장 표면은 평평한 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 50**

제 28 항에 있어서,

상기 최상 성장 표면은 상기 미스컷 표면에 평행인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 51**

제 28 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 갈륨 질화물인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 52**

제 1 항에 있어서,

상기 미스컷은 상기 최상 성장 표면 상에 제조되는 발광 다이오드가 220 마이크로와트보다 큰 출력 전력을 갖는 광을 방출하도록 상기 크기, 상기 방향 및 상기 결정 품질을 가지는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 53**

제 1 항에 있어서,

상기 최상 성장 표면 상에 제조되는 발광 소자는 적어도 50 마이크로 와트의 출력 전력을 갖는 광을 방출하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 54**

제 1 항에 있어서,

상기 최상 성장 표면은 평평한 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 55**

제 1 항에 있어서,

상기 최상 성장 표면은 상기 미스컷 표면에 평행인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 56**

제 1 항에 있어서,

상기 반극성 III족-질화물 반도체 막은 갈륨 질화물인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 57**

제 1 항에 있어서,

유기금속 화학기상증착법(MOCVD) 또는 수소화물 기상 에피택시법(HVPE)을 이용하여, 상기 미스컷 표면 상의 핵 생성층 상에 상기 반극성 III족-질화물 반도체 막을 성장시키는 단계를 더 포함하고,

상기 유기금속 화학기상증착법 또는 상기 수소화물 기상 에피택시법은 10 torr 내지 1000 torr 사이의 성장 압력, 400 °C 내지 1400 °C 사이의 성장 온도, 질소, 수소 및 암모니아에서 선택된 적어도 하나의 가스, 및 0.5° 내지 20° 의 범위의 미스컷 각도를 포함하는 상기 미스컷의 상기 크기를 이용하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 막의 성장 방법.

**청구항 58**

(a) III족-질화물 막에 대한 반극성 방위를 선택하는 단계;

(b) 상기 반극성 방위에 따라 기판 및 상기 기판의 미스컷을 선택하고, 상기 기판의 상기 미스컷을 기초로 미스컷된 기판을 획득하는 단계; 및

(c) 상기 미스컷된 기판 상에 상기 반극성 방위를 갖는 반극성 III족-질화물 막을 증착하는 단계를 포함하고,

상기 반극성 III족-질화물 막은 상기 기판의 상부 표면 위에서 평평하고, 단결정이며, 220 마이크로와트 보다 큰 출력 전력을 갖는 광을 방출하는 발광 소자 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 III족-질화물 막의 성장 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 반극성 (Al,In,Ga,B)N의 개선된 성장을 위한 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] (관계 출원들과의 상호참조)

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

[0004] 존 카에딩(John Kaeding), 마이클 이자(Michael Iza), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 히토시 사토(Hitoshi Satoh), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 제임스 스펙(James S. Speck), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 1월 20일 출원된 미국임시특허출원 제 60/760,739호의 "반극성 (Al,In,Ga,B)N의 개선된 성장 방법(METHOD FOR IMPROVED GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N)," (대리인 관리(DOCKET)번호 제30794.150-US-P1 (2006-126)호); 상기 출원은 본 명세서의 참조로서 결합된다.

[0005] 본 출원은 하기의 동시 계류중이고 공동 양도된 미국특허출원들과 관련이 있다:

[0006] 트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 폴 피니(Paul T. Fini), 스티븐 덴바스

(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2005년 3월 10일에 출원된 미국임시특허출원 제60/660,283호의 "평면 반극성 갈륨 질화물의 성장 기술(TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR SEMI-POLAR GALLIUM NITRIDE)," (대리인 관리번호 제30794.128-US-P1 (2005-471)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는, 트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 폴 피니(Paul T. Fini), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 3월 10일에 출원된 미국특허출원 제 11/372,914호의 "평면 반극성 갈륨 질화물의 성장 기술(TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR SEMI-POLAR GALLIUM NITRIDE)," (대리인 관리번호 제30794.128-US-U1 (2005-471)호);

[0007]

로버트 파렐 2세(Robert M. Farrell, Jr.), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 아르펜 차크라보르티(Arpan Chakraborty), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 모건 패티슨(P. Morgan Pattison), 라자트 샤마(Rajat Sharma), 우메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2005년 6월 1일 출원된 미국임시특허출원 제60/686,244호의 "반극성 (Ga,Al,In,B)N 박막들, 이종구조들, 및 소자들의 성장 및 제조 기술(TECHNIQUE FOR THE GROWTH AND FABRICATION OF SEMIPOLAR (Ga,Al,In,B)N THIN FILMS, HETEROSTRUCTURES, AND DEVICES)," (대리인 관리번호 제 30794.140-US-P1 (2005-668)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는, 로버트 파렐 2세(Robert M. Farrell, Jr.), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 아르펜 차크라보르티(Arpan Chakraborty), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 모건 패티슨(P. Morgan Pattison), 라자트 샤마(Rajat Sharma), 우메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 6월 1일 출원된 미국특허출원 제11/444,946호의 "반극성 (Ga,Al,In,B)N 박막들, 이종구조들, 및 소자들의 성장 및 제조 기술(TECHNIQUE FOR THE GROWTH AND FABRICATION OF SEMIPOLAR (Ga,Al,In,B)N THIN FILMS, HETEROSTRUCTURES, AND DEVICES)," (대리인 관리번호 제 30794.140-US-U1 (2005-668)호);

[0008]

트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2005년 7월 13일 출원된 미국임시특허출원 제60/698,749호의 "반극성 질화물 박막들의 결함 감소를 위한 측방향 성장 방법(LATERAL GROWTH METHOD FOR DEFECT REDUCTION OF SEMIPOLAR NITRIDE FILMS)," (대리인 관리번호 제30794.141-US-P1 (2005-672)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는, 트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 제임스 스펙(James S. Speck) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 7월 13일 출원된 미국특허출원 제11/486,224호의 "반극성 질화물 박막들의 결함 감소를 위한 측방향 성장 방법(LATERAL GROWTH METHOD FOR DEFECT REDUCTION OF SEMIPOLAR NITRIDE FILMS)," (대리인 관리번호 제30794.141-US-U1 (2005-672)호);

[0009]

마이클 이자(Michael Iza), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2005년 9월 9일 출원된 미국임시특허출원 제60/715,491호의 "유기금속 화학기상증착을 통한 반극성 (Al,In,Ga,B)N의 성장 강화 방법(METHOD FOR ENHANCING GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N VIA METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)," (대리인 관리번호 제30794.144-US-P1 (2005-772)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는, 마이클 이자(Michael Iza), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 9월 8일 출원된 미국특허출원 제11/517,797호의 "유기금속 화학기상증착을 통한 반극성 (Al,In,Ga,B)N의 성장 강화 방법(METHOD FOR ENHANCING GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N VIA METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)," (대리인 관리번호 제30794.144-US-U1 (2005-772)호);

[0010]

시드하르스 라잔(Siddharth Rajan), 창수 서(Chang Soo Suh), 제임스 스펙(James S. Speck) 및 우메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra)에 의하여 2005년 9월 16일 출원된 미국임시특허출원 제60/717,996호의 "N-극성 알루미늄 갈륨 질화물/갈륨 질화물 강화-모드 필드 효과 트랜지스터(N-POLAR ALUMINUM GALLIUM NITRIDE/GALLIUM NITRIDE ENHANCEMENT-MODE FIELD EFFECT TRANSISTOR)," (대리인 관리번호 제30794.148-US-P1 (2006-107)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는, 시드하르스 라잔(Siddharth Rajan), 창수 서(Chang Soo Suh), 제임스 스펙(James S. Speck) 및 우메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra)에 의하여 2006년 9월 16일 출원된 미국특허출원 제 11/523,286호의 "N-극성 알루미늄 갈륨 질화물/갈륨 질화물 강화-모드 필드 효과 트랜지스터(N-POLAR ALUMINUM GALLIUM NITRIDE/GALLIUM NITRIDE ENHANCEMENT-MODE FIELD EFFECT TRANSISTOR),"

(대리인 관리번호 제30794.148-US-U1 (2006-107)호);

- [0011] 히토시 사토(Hitoshi Satol), 존 카에딩(John Kaeding), 마이클 이자(Michael Iza), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 1월 20일 출원된 미국임시특허출원 제60/760,628호의 "유기금속 화학기상증착을 통한 반극성 (Al,In,Ga,B)N의 성장 강화 방법(METHOD FOR ENHANCING GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N VIA METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)",(대리인 관리번호 제30794.159-US-P1 (2006-178)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는, 히토시 사토(Hitoshi Satol), 존 카에딩(John Kaeding), 마이클 이자(Michael Iza), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 동일한 날에 출원된 미국특허출원 제 호의 "유기금속 화학기상증착을 통한 반극성 (Al,In,Ga,B)N의 성장 강화 방법(METHOD FOR ENHANCING GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N VIA METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)",(대리인 관리번호 제30794.159-US-U1 (2006-178)호);
- [0012] 존 카에딩(John Kaeding), 히토시 사토(Hitoshi Satol), 마이클 이자(Michael Iza), 히로쿠니 아사미즈(Hirokuni Asamizu), 홍 중(Hong Zhong), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 2월 10일 출원된 미국임시특허출원 제60/772,184호의 "반극성 (Al,In,Ga,B)N의 전도도 제어 방법(METHOD FOR CONDUCTIVITY CONTROL OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N)",(대리인 관리번호 제 30794.166-US-P1 (2006-285)호);
- [0013] 홍 중(Hong Zhong), 존 카에딩(John Kaeding), 라자트 샤마(Rajat Sharma), 제임스 스펙(James S. Speck), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 2월 17일 출원된 미국임시특허출원 제60/774,467호의 "반극성 (Al,In,Ga,B)N 광전자 소자들의 성장 방법(METHOD FOR GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N OPTOELECTRONICS DEVICES)",(대리인 관리번호 제30794.173-US-P1 (2006-422)호);
- [0014] 아르펜 차크라보르티(Arpan Chakraborty), 광충 김(Kwang-Choong Kim), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 우메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra)에 의하여 2006년 5월 9일 출원된 미국임시특허출원 제60/798,933호의 "인-시츄 실리콘 질화물 나노마스킹을 이용한 비극성 및 반극성 갈륨 질화물 내의 결함 감소 기술(TECHNIQUE FOR DEFECT REDUCTION IN NONPOLAR AND SEMIPOLAR GALLIUM NITRIDE FILMS USING IN-SITU SILICON NITRIDE NANOMASKING)",(대리인 관리번호 제30794.180-US-P1 (2006-530)호);
- [0015] 니콜라스 피첸바움(Nicholas A. Fichtenbaum), 우메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra), 칼 네우펠드(Carl J. Neufeld) 및 스타시아 켈러(Stacia Keller)에 의하여 2006년 5월 31일 출원된 미국임시특허출원 제60/809,774호의 "N-극성 나노필라 및 나노스트라이프 배열 상의 재성장 에 의하여 형성된 광전자 소자들(OPTOELECTRONIC DEVICES FORMED BY REGROWTH ON N-POLAR NANOPILLAR AND NANOSTRIPE ARRAYS)",(대리인 관리번호 제30794.182-US-P1 (2006-638)호);
- [0016] 스타시아 켈러(Stacia Keller), 우메쉬 미쉬라(Umesh K. Mishra), 및 니콜라스 피첸바움(Nicholas A. Fichtenbaum)에 의하여 2006년 11월 15일 출원된 미국임시특허출원 제60/866,035호의 "유기금속 화학기상증착에 의한 고품질 N-면 GaN, InN, AlN, 및 이들의 합금의 이중 에피택셜 성장 방법(METHOD FOR HETEROEPITAXIAL GROWTH OF HIGH-QUALITY N-FACE GaN, InN, and AlN AND THEIR ALLOYS BY METAL ORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)",(대리인 관리번호 제30794.207-US-P1 (2007-121)호);
- [0017] 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 매튜 슈미트(Mathew C. Schmidt), 광충 김(Kwang Choong Kim), 제임스 스펙(James S. Speck) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2006년 12월 11일 출원된 미국임시특허출원 제60/869,540호의 "비극성 (M-평면) 및 반극성 발광 소자들(NON-POLAR (M-PLANE) AND SEMI-POLAR EMITTING DEVICES)",(대리인 관리번호 제30794.213-US-P1 (2007-317)호); 및
- [0018] 광충 김(Kwang Choong Kim), 매튜 슈미트(Mathew C. Schmidt), 쑹 우(Feng Wu), 아사코 히라이(Asako Hirai), 멜빈 맥라우린(Melvin B. McLaurin), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars), 슈지 나카무라(Shuji Nakamura) 및 제임스 스펙(James S. Speck)에 의하여 2006년 12월 12일 출원된 미국임시특허출원 제60/869,701호의 "다양한 기판들 상의 (Al, In, Ga, B)N의 M-평면 및 반극성 평면들의 결정 성장(CRYSTAL GROWTH OF M-PLANE AND SEMIPOLAR PLANES OF (Al, In, Ga, B)N ON VARIOUS SUBSTRATES)",(대리인 관리번호 제30794.214-US-P1 (2007-334)호);

- [0019] 상기 출원들은 모두 본 명세서에서 참조로서 결합된다.
- [0020] (유의점: 본 출원은, 대괄호 내에, 예를 들어 [참조 x]로 표기된 하나 또는 그 이상의 참조번호에 의하여 명세서 전체에 걸쳐서 지적된 바와 같은 수많은 다른 간행물들 및 특허들을 참조한다. 이러한 참조 번호에 따라서 순서 지어진 다른 간행물들 및 특허들의 목록은 하기에 "참조(References)"로 표기된 구역에 게재된다. 이러한 간행물들 및 특허들 각각은 본 명세서에서 참조로서 인용된다.)
- [0021] 갈륨 질화물(GaN)과 알루미늄 및 인듐과 결합된 그의 삼원계 및 사원계 화합물들(AlGaIn, InGaIn, AlInGaIn)의 유용성은 가시광선 및 자외선 광전자 소자들 및 고성능 전자 소자들의 제조에 잘 정립되어 있다. 이러한 소자들은 통상적으로 분자빔 에피택시법(molecular beam epitaxy, MBE), 유기금속 화학기상증착법(metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD), 및 수소화물 기상 에피택시법(hydride vapor phase epitaxy, HVPE)을 포함하는 성장 기술들에 의하여 에피택셜하게 성장한다.
- [0022] 갈륨 질화물 및 그의 합금은 육방정 섬유아연석(wurtzite) 구조에서 가장 안정적이며, 상기 구조는, 서로에 대하여 120° 회전되어 있고 특유한 c-축에 대하여 모두 수직인 두 개(또는 세 개)의 동등한 기저 평면(basal plane) 축들(a-축들)에 의하여 설명된다. III족 및 질소 원자들은 상기 결정의 c-축을 따라서 서로 교대하여 c-평면들을 점유한다. 상기 섬유아연석 구조 내에 포함되는 대칭 요소들은 III족-질화물들이 이러한 c-축을 따라서 벌크 자발 분극을 포함하는 것을 나타내고, 또한 상기 섬유아연석 구조는 압전(piezoelectric) 분극을 나타낸다.
- [0023] 전자 및 광전자 소자들을 위한 현재의 질화물 기술은 상기 극성 c-방향을 따라서 성장한 질화물 막들을 포함한다. 그러나, III-질화물계 광전자 및 전자 소자들 내의 종래의 c-평면 원자 우물 구조들은, 강한 압전 및 자발 분극들의 존재로 인하여 원하지 않는 양자구속 스타크 효과(quantum-confined Stark effect, QCSE)의 영향을 받는다. 상기 c-방향을 따른 강한 내재적인 전기장들은 전자들 및 홀들의 공간적인 분리를 야기하며, 이에 따라 캐리어 재결합 효율의 제한, 발진기 강도(oscillator strength)의 감소 및 적색 편이 방출을 나타낸다.
- [0024] 갈륨 질화물 광전자 소자들 내의 자발 및 압전 분극 효과들을 제거하기 위한 하나의 시도는 결정의 비극성 평면들 상에 소자들을 성장시키는 것이다. 이러한 평면들은 동일한 갯수의 갈륨(Ga) 및 질소(N) 원자들을 포함하고, 전하적 중성(charge-neutral)이다. 또한, 후속의 비극성 층들은 결정학적으로 서로 동등하며, 이에 따라 상기 결정은 성장 방향에 따라 극성을 가지지 않는다. 갈륨 질화물 내의 대칭이고 동등한 비극성 평면들의 이와 같은 두 가지 군들은 총합하여 a-평면들로 알려진 {11-20} 군 및 총합하여 m-평면들로 알려진 {1-100} 군이다. 불행히도, 본 발명의 양수인인 캘리포니아 대학의 연구자들에 의하여 발전되었지만, 비극성 질화물들의 성장은 아직 도전이 남아있고, III족-질화물 산업에서 광범위하게 적용되지는 않는다.
- [0025] 갈륨 질화물 광전자 소자들 내의 분극 효과들을 감소 또는 가능한 제거하는 다른 시도는 결정의 반극성 평면들 상에 소자들을 성장시키는 것이다. 상기 반극성 평면들이란 용어는, 두 개의 0이 아닌 h, i, 또는 k 밀러 지수들, 및 0이 아닌 l 밀러 지수를 가지는 다양한 평면들을 지칭할 수 있다. c-평면 갈륨 질화물 이중에피택시의 반극성 평면들의 공통으로 관찰된 예들의 일부는 피트들(pits)의 파세트들(facets)에서 발견되는 {11-22}, {10-11}, 및 {10-13} 평면들을 포함한다. 또한, 이러한 평면들은 저자들이 평면 막들의 형태로 성장시킨 평면들과 동일할 수 있다. 상기 섬유아연석 결정 구조 내의 반극성 평면들의 다른 예들은 {10-12}, {20-21}, 및 {10-14}을 포함하지만, 그러나 이에 한정되지는 않는다. 질화물 결정의 분극 벡터는 이러한 평면들 또는 이러한 평면들에 수직하여 존재하지 않고, 상기 평면의 표면의 수직에 대하여 일정한 각도로 경사진다. 예를 들어, 상기 {10-11} 및 {10-13} 평면들은 각각 상기 c-평면에 대하여 62.98° 및 32.06° 로 경사진다.
- [0026] 자발 분극에 추가하여, 질화물들에 존재하는 분극의 다른 형태는 압전 분극이다. 이는 물질이 압축 또는 인장 스트레인을 받는 경우에 발생하고, 질화물 이중 구조 내에 비유사한 조성의 (Al, In, Ga, B)N 층들(또한 따라서 다른 격자 상수들임)이 성장하는 경우에 발생한다. 예를 들어, 갈륨 질화물과의 격자 정합에 기인하여, 갈륨 질화물 템플릿(template) 상의 스트레인드 알루미늄 갈륨 질화물(AlGaIn) 층은 평면 내의(in-plane) 인장 스트레인을 가지고, 갈륨 질화물 템플릿 상의 스트레인드 인듐 갈륨 질화물(InGaIn) 층은 평면 내의 압축 스트레인을 가진다. 따라서, 갈륨 질화물 상의 인듐 갈륨 질화물(InGaIn) 원자 우물에 대하여, 압전 분극은 인듐 갈륨 질화물(InGaIn) 및 갈륨 질화물의 자발 분극과는 반대 방향을 향하게 된다. 갈륨 질화물에 대하여 격자 정합된 알루미늄 갈륨 질화물(AlGaIn) 층의 경우에는, 압전 분극은 알루미늄 갈륨 질화물 및 갈륨 질화물의 자발 분극과 동일한 방향을 향하게 된다.



- [0027] c-평면 질화물들을 덮는 반극성 평면들의 사용은 전체 분극이 감소되는 이득이 있다. 특정의 평면들 상에 특정의 합금 조성들에 대하여 심지어 0인 분극이 가능하다. 중요한 것은 c-평면 질화물 구조들과 비교하여 분극이 감소된 것이다.
- [0028] 갈륨 질화물의 벌크 결정들은 아직 이용할 수 없으며, 따라서 후속의 소자 재성장을 위한 표면이 존재하기 위하여 결정을 간단하게 자르는 것이 가능하지 않다. 일반적으로, 갈륨 질화물에 대하여 타당한 격자 정합을 제공하기 위하여, 갈륨 질화물 막들은 처음에는 이중 에피택셜하게, 즉 외부 기관들 상에 성장한다. 공통적인 기관 물질들은 사파이어 ( $Al_2O_3$ ) 및 스피넬(spinel,  $MgAl_2O_4$ )이다.
- [0029] 이러한 기관 물질들의 큰 결정들은 본 기술분야에서 경험있는 당업자에 의하여 제조될 수 있다. 이어서 결정들은 기관 웨이퍼들을 절단하고, 상기 웨이퍼 표면은 밀러 지수들(hkl)에 의하여 통상적으로 특정되는 특정한 결정학적 방위를 가진다. 통상적으로, 낮은 지수 결정 방위들은 그 상에 증착되는 물질의 결정 대칭과 정합하도록 선택된다. 예를 들어, 육방정 평면 내(in-plane) 대칭을 포함하는 (0001) 사파이어 기관들은 종래의 극성 질화물 층들의 성장을 위하여 사용되며, 이는 육방정 평면 내 대칭을 또한 포함한다. 상기 기관과 증착된 층 또는 층들 사이의 결정학적 관계의 존재는 에피택시(epitaxy)로 정의된다.
- [0030] 또한, 외부 기관 상의 질화물 층의 이중 에피택셜 성장은 몇 개의 원자들을 포함하는 작은 핵들로부터 먼저 시작한다. 평평한 원자 표면 상에 형성되는 핵들의 에너지는 원자 단차들(atomic steps) 또는 킥크들(kinks)에서 형성된 핵들의 에너지 보다 높으며, 이는 상기 단차들이나 킥크들이 핵들의 표면 에너지를 최소화하기 때문이다. 낮은 지수 평면 (hkl)으로부터 기관 결정을 의도적으로 미스컷하는 것은 단차 에지들 및 킥크들을 형성한다. 이와 같이 미스컷된 표면 방위는 인접 표면(vicinal surface)으로 정의된다.
- [0031] 도 1은 원자 단차들 또는 킥크들의 인접 표면을 개략적으로 나타낸다. 미스컷 각도( $\beta$ )는 표면 수직(n)과 부재 번호 g로 정의된 주 결정방위 [uvw] 사이의 각도로 정의된다. 본 기술분야에서 경험있는 당업자에 의하여 기관들은 특정한 크기의 미스컷 각도로 벌크 결정으로부터 절단될 수 있다. 또한, 미스컷 벡터(g)의 방향은 도 1에서 각도  $\alpha$ 로 정의된 바와 같이, 특정한 평면 내 결정학적 방향 [uvw]에 관계되어 특정될 수 있다.
- [0032] 반극성 갈륨 질화물 평면들은 패터닝된 c-평면 방위의 스트라이프들의 측면들 상에 나타났다. 니시주카 등(Nishizuka et al.)은 이러한 기술을 이용하여 {11-22} 인듐 갈륨 질화물(InGaN) 양자 우물들을 성장시켰다 [1]. 또한, 그들은 반극성 평면 {11-22}의 내부 양자 효율이 c-평면에 비하여 높은 것을 발견하였고, 이는 감소된 극성때문이다.
- [0033] 그러나, 반극성 평면들을 제조하는 니시주카 등의 방법은 본 발명과는 매우 다르며, 이는 에피택셜 측방향 과성장(Epitaxial Lateral Overgrowth, ELO) 기술을 이용하기 때문이다. 상기 ELO는 갈륨 질화물 및 다른 반도체들에서 결함들을 감소시키기 위해 사용하는 까다로운 공정 및 성장 방법이다. 이는 마스크 물질의 패터닝된 스트라이프를 포함하고, 갈륨 질화물에는 종종 실리콘 산화물( $SiO_2$ )을 사용한다. 이어서 갈륨 질화물은 상기 마스크 사이의 개방된 윈도우들로부터 성장하고, 이어서 상기 마스크를 덮도록 성장한다. 연속적인 막을 형성하기 위하여, 상기 갈륨 질화물은 측방향 성장에 의하여 합체된다. 이러한 스트라이프들의 파셋트들은 성장 파라미터들에 의하여 제어될 수 있다. 상기 스트라이프들이 합체되기 전에 성장이 중지되면, 반극성 평면의 작은 면적이 노출될 수 있고, 일반적으로 최대한 10  $\mu m$  폭이며, 그러나 이용가능한 표면 면적이 너무 작아 반극성 LED를 제조할 수 없다. 또한, 상기 반극성 평면은 상기 기관 표면과 평행하지 않고, 경사진 파셋트들 상의 소자 구조를 형성하는 것은 수직 평면 상에 이러한 구조들을 형성하는 것에 비하여 매우 어렵다. 또한, 모든 질화물 조성들이 ELO 공정들과 호환가능하지는 않고, 따라서 갈륨 질화물의 ELO 만이 폭넓게 이용된다.
- [0034] 본 발명은 반극성 질화물들의 평평한 막들의 성장을 허용하는 방법을 개시하고, 의도적으로 미스컷된 기관들의 사용을 통하여 (Al,In,Ga,B)N의 넓은 면적은 상기 기관 표면과 평행하다. 예를 들어, 반극성 질화물들의 성장을 먼저 나타내는 수 마이크로 미터 폭의 면적과 비교하여, 샘플들은 2 인치 직경 기관들 상에 성장된다.
- [0035] HVPE에 의하여 성장하고 후속하여 {11-22} 평면 상에서 절단 및 연마된 두꺼운 c-평면 갈륨 질화물 결정에 대한 논문이 발표된 바 있다 [2]. 이어서, 발광 다이오드는 이러한 평면 상에 성장하였다. 그러나, 반극성 소자를 제조하는 방법은 본 발명의 바람직한 실시예와는 매우 다르다. 갈륨 질화물 반극성 표면이 노출되고 소자 구조의 후속의 증착, 다시 말하면 동종 에피택시로 알려진 증착을 위하여 상술한 방법은 벌크 갈륨 질화물 기관을 사용한다. 본 발명의 바람직한 실시예의 중요한 특징들 중의 하나는 이중 에피택시 공정을 사용하는 것이고, 이에 의하여 반극성 질화물 막을 형성하기 위하여 다른 물질의 기관을 사용한다. 또한, 본 발명은 전체 면적이 반극성 막인 통상적으로 2 인치의 큰 웨이퍼의 사용을 허용할 수 있는 점에서 상술한 방법과는 다르다. 넓은

면적의 갈륨 질화물 결정들을 사용할 수 없으므로, 단지 일반적인 4 mm×10mm 크기를 가지는 반극성 막을 사용하는 상술한 방법과는 이러한 점에서 매우 대조적이다.

[0036] (Al, In, Ga)N 박막들의 반극성 방위들의 성장은 반도체 결정의 전체 분극을 제거할 수 없다. 그러나, (Al, In, Ga)N 박막들의 반극성 방위들의 성장은 이러한 층들로부터 제조된 반도체 소자 구조들의 성장 방향을 따라 전체 분극의 불연속성을 완화한다. 표면 모폴로지 및/또는 결정 품질을 개선하기 위하여, 반도체 박막들의 에피택셜 성장 동안에 의도적으로 미스컷된 기판들이 사용될 수 있다. 갈륨 질화물의 경우에는, 예를 들어, 히라마쓰 등(Hiramatsu, et al.) [3], 또는 그루도우스키 등(Grudowski, et al.) [4]을 참조한다. 그러나, 의도적인 미스컷의 사용은 (Al, In, Ga)N 이종 구조들 내의 분극-관계 효과들의 완화를 위한 (Al, In, Ga)N 반도체 박막들 내의 분극장의 상대적 방위를 제어하기 위하여 사용될 수 없다.

[0037] 미스컷된 기판들은 일반적으로 반도체 박막들의 성장을 위하여 사용된다. 이는 반도체 막들의 동종 에피택시 및 이종 에피택시에 공통적으로 적용가능하다.

**발명의 상세한 설명**

[0038] 본 발명은 의도적으로 미스컷된 기판 상에 반극성 질화물 반도체 막을 증착하는 단계를 포함하는 소자-품질의 평평한 반극성 질화물 반도체 박막의 성장 강화 방법을 개시한다. 상기 기판은 낮은 지수(index)의 결정 방위로부터 의도적으로 미스컷될 수 있고, 상기 미스컷은 크기 및 방향을 가질 수 있다. 상기 미스컷의 방향 및 크기는, 상기 반극성 질화물 반도체 막의 에피택셜 관계, 결정 대칭, 층 극성, 전위 밀도, 표면 모폴로지 및 전기적 특성들에 영향을 주도록 선택될 수 있다. 상기 크기는, 상기 기판 물질, 상기 반극성 질화물 반도체 막의 방위, 증착 형태, 및 증착 조건들에 의존하여 변화할 수 있다. 상기 미스컷의 크기는 0.5° 내지 20° 의 범위를 가지거나, 바람직하게는 0.5° 내지 3° 의 범위에서 변화할 수 있다.

[0039] 상기 기판은 <011> 방향으로 의도적으로 미스컷될 수 있다. 상기 반극성 질화물 반도체 막의 성장 표면은 10 마이크론(microns) 폭에 비하여 클 수 있고, 상기 의도적으로 미스컷된 기판의 표면에 실질적으로 평행할 수 있다. 상기 반극성 질화물 반도체 막의 성장을 위한 기판은 주어진 결정학적 방향으로 의도적으로 미스컷될 수 있고, 이에 따라, 상기 의도적으로 미스컷된 기판을 형성하고, 상기 기판의 대칭을 낮출 수 있다. 상기 대칭은 상기 반극성 질화물 반도체 막의 대칭과 정합할 수 있고, 이에 따라 특유의 에피택셜 관계가 되며, 상기 반극성 질화물 반도체 막은 단일 결정학적 도메인을 포함한다. 상기 낮은 대칭 반극성 질화물 반도체 박막은, 높은 대칭 기판 상에 이종 에피택셜하게 증착될 수 있다. 결과적인 반도체 박막은 단일 극성 방향을 가질 수 있고, 이에 따라 전기적, 광학적, 및 소자 특성들을 개선한다.

[0040] 상기 의도적으로 미스컷된 기판은 상기 반극성 질화물 반도체 막의 성장을 위하여 우선적인 핵생성 위치들로 기능하는 단차 에지들 또는 킥들을 제공할 수 있다. 상기 우선적인 핵생성 위치들은, 비의도적으로 미스컷된 기판들과 비교하여, 핵의 더 우수한 합체, 감소된 결함 밀도들 또는 더 매끈하고 더 평평한 계면들 또는 표면들 및 개선된 파세트 안정성과 같은 개선된 층 특성들을 제공할 수 있다. 상기 의도적으로 미스컷된 기판상에 증착된 반극성 질화물 반도체 막은, 비의도적으로 미스컷된 기판들 상에 증착된 반극성 질화물 반도체 막과 비교하여, 더 우수한 결정도 및 감소된 관통 전위들을 가질 수 있다. 상기 반극성 질화물 반도체 박막의 거시적인 표면 거칠기 및 파세팅은 미스컷 각도가 증가됨에 따라 감소될 수 있다.

[0041] 상기 반극성 질화물 반도체 박막은, 식  $Ga_nAl_xIn_yB_zN$  (여기에서  $0 \leq n \leq 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$  and  $n+x+y+z=1$ )을 가지는 (Ga,Al,In,B)N 반도체들의 합금 조성을 포함할 수 있다. 상기 반극성 질화물 반도체 막은 {10-11} 갈륨 질화물일 수 있고, 상기 의도적으로 미스컷된 기판은 <011> 방향으로 미스컷된 {100} MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 스피넬 기판일 수 있다. 상기 반극성 질화물 반도체 막은 {11-22} 갈륨 질화물일 수 있고, 상기 의도적으로 미스컷된 기판은 <0001> 방향으로 미스컷된 {1-100} Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 사파이어 기판일 수 있다. 상기 의도적으로 미스컷된 기판은, 반극성 평면을 따라서 벌크 질화물 결정을 절단하고, 상기 의도적으로 미스컷된 기판 상에 상기 반극성 질화물 반도체 막을 동종 에피택셜하게 성장시켜 구할 수 있다. 상기 반극성 평면은 질소 표면 또는 갈륨 표면을 가질 수 있다.

[0042] 상기 방법은 (a) 기판을 의도적으로 미스컷하는 단계, (b) 상기 기판을 반응기 내에 장입하는 단계, (c) 질소, 수소 또는 암모니아 중 적어도 하나를 포함하는 유동 하에서 상기 기판을 가열하는 단계, (d) 상기 가열된 기판 상에 상기 반극성 질화물 반도체 막을 증착하는 단계, 및 (e) 질소 과압 하에서 상기 기판을 냉각하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 가열된 기판 상에 핵생성층을 증착하는 단계, 및 상기 핵생성층 상에 상

기 반극성 질화물 반도체 막을 증착하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0043] 소자는 본 발명의 방법을 이용하여 제조할 수 있다. 상기 소자는, 비의도적으로 미스컷된 기판 상에 제조된 소자에 비하여 더 밝은 발광을 가지는 발광 다이오드일 수 있다.

[0044] 따라서, 본 발명은 높은 대칭 기판 상에 낮은 대칭 층의 성장을 강화하는 방법을 개시하며, 상기 방법은 상기 낮은 대칭 층의 대칭과 정합되도록 상기 높은 대칭 기판을 의도적으로 미스컷하는 단계, 및 상기 의도적으로 미스컷된 기판 상에 낮은 대칭 층을 이중 에피택셜하게 증착하는 단계를 포함할 수 있다.

**실시예**

[0051] 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 구현 가능하며, 구조적인 변형이 가능함을 이해할 수 있다.

[0052] 개관

[0053] 본 발명은, <011> 방향으로 미스컷된(miscut) {100} MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 스피넬(spinel) 기판들 상 및 <0001> 방향으로 미스컷된 {1-100} (m-평면) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (사파이어) 기판들 상에 MOCVD, HVPE 또는 MBE를 포함하지만 이에 한정되지는 않는 기술들을 통하여 반극성 질화물 반도체 막을 성장하는 방법을 개시한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 의도적으로(intentionally) 미스컷된 기판의 사용은 반극성 질화물 층들의 성장을 위한 우선적인 핵생성 위치들로서 기능하는 단차 에지들(step edges) 및/또는 킹크들(kinks)을 제공한다. 이에 따라, 핵의 합체, 감소된 결함 밀도들, 매끈하고 평평한 계면들, 및 원하는 반극성 파세트(facet)의 안정성을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 개선된 층 특성들이 야기된다. 이러한 특성들은 반극성 질화물 층들로부터 형성된 반도체 소자들에 바람직하다.

[0054] 또한, 도 1에 도시된 바와 같이, 주어진 결정학적 방향으로 의도적인 미스컷의 응용은, 비의도적으로(non-intentionally) 미스컷된 기판의 대칭에 비하여 반극성 질화물 층들의 성장에 사용되는 기판의 대칭을 낮출 수 있다. 상기 반극성 질화물 층에 대하여 상기 의도적으로 미스컷된 기판의 대칭 정합은 특유한 에피택셜 관계를 나타내며, 이에 따라 반극성 질화물 층은 단일 결정학적 도메인을 포함할 수 있다.

[0055] 기술적 설명

[0056] 본 발명은 의도적으로 미스컷된 기판들을 사용하여 고품질의 반극성 질화물 층들을 성장하는 방법을 개시한다. 이러한 예들은 <011> 방향으로 미스컷된 {100} MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 스피넬 기판 상에 증착된 {10-11} 갈륨 질화물 막들 및 <0001> 방향으로 미스컷된 {1-100} Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 사파이어 기판 상에 증착된 {11-22} 갈륨 질화물 막들이다. 상기 {1-100} 결정 표면의 낮은 대칭에 의하여, 상기 {1-102} 사파이어 평면을 향하거나 또는 그로부터의 미스컷은 원하는 결과에 의존하여 특정될 수 있다.

[0057] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 0.5° 내지 3.0° 범위에서 변화하는 미스컷의 크기, 다른 기판 물질들, 기판 방위들, 미스컷 각도들, 및 미스컷 방향들이 본 발명의 범위에 벗어남이 없이 사용될 수 있고, 0.5° 내지 20° 의 범위를 포함할 수 있으나 이에 한정되지는 않는다.

[0058] 또한, 피할 수 없는 제조 상의 공차를 이유로 하여, 미스컷 각도 및 방향은 의도하는 미스컷 각도 및 방향에 대하여 작은 양으로 변화할 수 있다. 본 명세서에 개시된 상기 미스컷 크기들 및 방향들은 의도하는 값들을 지칭하고, 또한 본 발명의 범위에 벗어남이 없이 작은 차이들이 가정된다.

[0059] 또한, 제조 상의 공차 때문에, 질화물 층들의 거의 모든 증착은 인접하는 표면 상에 발생한다. 본 발명의 범위는 반극성 질화물 층들의 모든 증착을 포함하고, 상기 기판의 미스컷은 의도적으로 제어되어 물질 및/또는 소자 특성들을 개선한다.

[0060] 이러한 막들은 상업적으로 이용가능한 MOCVD 시스템을 이용하여 성장시켰다. {10-11} 갈륨 질화물을 위한 성장 파라미터들의 일반적인 경계는 10 torr 및 1000 torr 범위의 압력, 및 400°C 및 1400°C 범위의 온도이다. 이러한 압력과 온도의 변화들은 적절한 기판을 이용한 갈륨 질화물의 성장의 안정성을 나타낸다. 에피택셜 관계들



및 조건들은 반응기의 유형에 무관하게 유지될 수 있다. 그러나, 상기 이러한 평면들을 성장시키기 위한 반응기 조건들은 각각의 반응기들 및 성장 방법들(예를 들어, HVPE, MOCVD, 및 MBE)에 따라 변화될 수 있다.

- [0061] 공정 단계들
- [0062] 도 2는 의도적으로 미스컷된 기판 상에 반극성 질화물 반도체 막을 성장하는 단계를 포함하는 소자-품질의 평평한 반극성 질화물 반도체 박막의 성장 강화 방법을 도시하는 흐름도이다. 또한, 상기 방법은 모든 적절한 기판을 이용한 모든 반극성 질화물 막의 증착에 사용될 수 있다.
- [0063] 블록 200는 기판을 의도적으로 미스컷하는 단계를 도시한다.
- [0064] 블록 202는, 예를 들어, HVPE, MOCVD 또는 MBE 반응기와 같은 증착 또는 성장 챔버 내로 상기 의도적으로 미스컷된 기판을 장입하는 단계를 도시한다.
- [0065] 블록 204는 상기 의도적으로 미스컷된 기판을 가열하는 단계를 도시하며, 통상적으로 대기압 하에서 상기 기판 위로 질소 및/또는 수소 및/또는 암모니아를 유동시킨다.
- [0066] 블록 206은 상기 의도적으로 미스컷된 기판 상에 핵생성층 또는 버퍼층을 증착하는 단계를 도시한다.
- [0067] 블록 208은 상기 버퍼층 또는 핵생성층 상에 또는 직접적으로 상기 의도적으로 미스컷된 기판 상에 반극성 질화물 반도체 막을 증착하는 단계를 도시한다.
- [0068] 블록 210은, 예를 들어, 질소 또는 암모니아 과압 하에서 상기 기판을 냉각하는 단계를 도시한다.
- [0069] 블록 212는 상기 방법에 의하여 반극성 (Al, Ga, In, B)N 막의 결과적인 형성을 도시한다.
- [0070] 도 2에 도시된 단계들은 필요한 경우 생략되거나 또는 그 이상의 단계가 추가될 수 있음을 유의한다.
- [0071] 특히, 본 발명의 바람직한 실시예들에 따라 도 2의 방법은 스피넬 또는 사파이어 기판들 상에 반극성 갈륨 질화물 박막들의 성장을 위한 MOCVD 공정에 적용될 수 있다.
- [0072] 블록 200에 도시된 바와 같이, {10-11} 갈륨 질화물의 성장을 위하여, (100) 스피넬 기판이 <011> 방향으로 미스컷되어 사용된다. 블록 202에 도시된 바와 같이, 상기 기판은 MOCVD 반응기 내로 장입된다. 블록 204에 도시된 바와 같이, 상기 반응기의 히터는 가동되어 상기 기판의 표면의 질화를 촉진하기 위한 조건들 하에서 1150 °C까지 증가된다. 일반적으로, 본 단계 동안에 대기압에서 기판 위로 질소 및/또는 수소 및/또는 암모니아가 유동한다. 설정 온도에 도달하면, 암모니아 유동은 0.1 내지 3.0 slpm 범위로 설정된다. 블록 206에 도시된 바와 같이, 1 분 내지 20 분 이후에,  $Al_xGa_{1-x}N$  버퍼층 또는 핵생성층의 성장을 시작시키기 위하여, 상기 반응기의 설정 온도는 1190 °C로 상승하고, 상기 반응기의 압력은 76 torr로 감소되고, 0 내지 3 sccm 범위의 트리메틸갈륨(Trimethylgallium, TMGa) 및/또는 20 sccm의 트리메틸알루미늄(Trimethylaluminum, TMAI)이 반응기에 인입된다. 1 분 내지 40 분 이후에, 상기  $Al_xGa_{1-x}N$  핵생성층은 원하는 두께에 도달한다. 이때에, 블록 208에 도시된 바와 같이, 약 1 시간 내지 4 시간 범위의 갈륨 질화물 성장을 위하여, 상기 TMAI 유동은 차단되고, 상기 TMGa 유동은 9.5 sccm로 증가된다. 블록 210에 도시된 바와 같이, 상기 갈륨 질화물이 원하는 두께에 도달하면, 상기 TMGa 유동은 중단되고, 상기 갈륨 질화물 막을 보전하기 위하여 암모니아가 유동하면서 상기 반응기는 냉각된다.
- [0073] 제2 실시예에 있어서, 블록 200에 도시된 바와 같이, {11-22} 갈륨 질화물의 성장을 위하여, {1-100} 사파이어 기판이 <0001> 방향으로 미스컷되어 사용된다. 블록 202에 도시된 바와 같이, 상기 기판은, MOCVD 반응기 내로 장입된다. 블록 204에 도시된 바와 같이, 상기 히터는 가동되어 대기압 하에서 일반적으로 질소 및/또는 수소 및/또는 암모니아가 기판 상에 유동되면서 1150 °C까지 증가된다. 블록 206에 도시된 바와 같이, 1 분 내지 20 분 이후에,  $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$  버퍼층의 성장을 시작시키기 위하여, 상기 반응기의 설정 온도는 700 °C로 감소되고, 암모니아 유동은 0.1 내지 3.0 slpm 범위로 설정되고, 0 내지 3 sccm 범위의 트리메틸갈륨(TMGa) 및/또는 0 내지 100 sccm 범위의 트리메틸인듐(trimethylindium, TMI) 및/또는 0 내지 20 sccm 범위의 트리메틸알루미늄(TMAI)이 반응기에 인입된다. 1 분 내지 40 분 이후에, 상기  $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$  핵생성층은 원하는 두께에 도달한다. 이때에, 블록 208에 도시된 바와 같이, 약 1 시간 내지 4 시간 범위의 갈륨 질화물 성장을 위하여, 상기 TMAI 유동 및/또는 상기 TMI 유동 및/또는 상기 TMG 유동은 차단되고, 온도는 1185 °C로 증가되고, 상기 TMGa는 15 sccm로 증가된다. 블록 210에 도시된 바와 같이, 상기 갈륨 질화물이 원하는 두께에 도달하면, 상기

TMGa 유동은 중단되고, 상기 갈륨 질화물 막을 보전하기 위하여 암모니아가 유동하면서 상기 반응기는 냉각된다.

[0074]

가능한 응용들 및 변형들

[0075]

본 발명의 범위는 개시된 특정한 실시예들에 비하여 넓은 범위를 포함한다. 이러한 개념은 모든 반극성 평면 상의 모든 질화물들에 적용된다. 예를 들어, 미스컷된 (100) 스피넬 기판 상에 {10-11} AlN, InN, AlGa<sub>2</sub>N, InGa<sub>2</sub>N, 또는 AlInN이 성장될 수 있다. 다른 실시예는, {10-14} 4H-SiC와 같은 적절한 기판이 사용되는 경우에, {10-12} 질화물들을 성장시키는 것이다. 또한, 두 개의 방위들의 평면 내 에피택셜 관계는 기판에 대하여 90° 회전에 의하여 달라지는, 갈륨 질화물의 반극성 {10-13} 및 {11-22} 반극성 방위들이 (10-10) 사파이어 상에 증착될 수 있음을 보여준다. 따라서, 두 개의 다른 방위들의 증착에 있어서의 개선은 동일한 기판에 응용되는 다른 미스컷 방위들의 사용을 요구할 수 있다.

[0076]

증착된 질화물 층들의 품질을 개선하기 위하여, 반극성 질화물 층들의 성장을 위하여 적절한 기판은 미스컷될 수 있다. 본 발명이 반극성 질화물 층들의 이중 에피택셜 성장을 특징적으로 지칭한다고 하여도, 벌크 갈륨 질화물 및 알루미늄 질화물(AlN) 기판들 상에 반극성 질화물 층들의 성장을 개선하기 위하여, 의도적인 미스컷이 또한 사용될 수 있다. 따라서, 갈륨 질화물 또는 알루미늄 질화물 기판이 제공되는 경우에는, 반극성 막들은 동종 에피택셜하게 성장될 수 있다. 모든 벌크 성장 기술들이 사용될 수 있으며, 예를 들어, 아모노서말(ammonothermal), 플럭스(flux), 고압력, 및 HVPE이다. 벌크 결정들은 모든 방위(예를 들어, 반극성, 비극성 및 극성)로 성장할 수 있고, 후속의 동종 에피택시를 위하여 반극성 평면 상에 후속으로 절단되고 연마된다.

[0077]

이러한 실시예들 및 다른 가능성들은 평평한 반극성 막들의 잇점을 야기할 수 있다. 이러한 개념은 낮은 지수 결정 방위로부터 의도적으로 미스컷된 시작 기판을 사용하여 평평한 반극성 질화물 막을 발달시키는 모든 성장 기술을 포함하며, 상기 미스컷은 특정한 크기 및/또는 결정학적 방향을 포함한다.

[0078]

미스컷 각도( $\beta$ )의 크기는 사용된 특정한 기판 물질, 증착된 층의 특정한 반극성 질화물 방위, 사용된 증착 기술의 유형 및 사용된 최적의 증착 조건들에 의존하여 달라질 수 있다. 예를 들어, 갈륨 질화물 층의 MOCVD 성장 동안에 형성된 핵들은 갈륨 질화물 층의 HVPE 성장 동안에 형성된 핵들에 비하여 작을 수 있다. 따라서, 더 높은 밀도의 단차 에지들을 발생하는 더 큰 미스컷 각도는 HVPE 성장에 비하여 MOCVD 성장에 잇점이 있다.

[0079]

본 발명의 바람직한 실시예에 있어서, 상기 기판의 대칭을 낮추기 위하여 상기 미스컷의 방향이 선택되고, 이에 따라 질화물 층의 대칭과 정합한다. 예를 들어, (100) 스피넬의 4-폴드(4-fold) 대칭은 <011> 방향의 미스컷에 의하여 감소된다. 이에 따라, 평면 내 <011> 방향들 각각과 정렬되는 4 도메인들보다는, 상기 미스컷 방향과 정렬되는 갈륨 질화물의 [0001] 방향을 가지는 단일 도메인 질화물 층을 형성한다. 결과적으로, 분극장(polarization field)의 방향의 변화에 의한 네가티브 분극-관련 효과가 제거된다. 본 발명은 특히 반극성 질화물 층들의 성장을 개시하지만, 이러한 기술은 높은 대칭 기판 상에 낮은 대칭 층이 이중 에피택셜하게 증착될 수 있는 모든 물질 시스템에 사용될 수 있다.

[0080]

본 발명의 제2 실시예에 있어서, 상기 미스컷의 방향은 상기 반극성 질화물 층의 결정 품질과 표면 모폴로지에 영향을 주도록 선택될 수 있다. 그러나, 미스컷의 방향 및 크기는 에피택셜 관계, 결정 대칭, 층 극성, 전위 밀도, 표면 모폴로지 및/또는 전기적 특성들을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 증착된 질화물 층의 결정 특성들 중 어느 하나 또는 모두에 영향을 주도록 선택될 수 있다.

[0081]

반응기 조건들은 반응기 유형과 설계에 따라 변화할 수 있다. 상술한 바와 같은 성장은 반극성 갈륨 질화물의 성장을 위하여 유용하다고 발견된 조건들 중의 단지 하나의 설정을 개시한다. 다른 조건들은 이러한 성장을 위하여 사용될 수 있다. 특히, 이러한 막들은 압력, 온도, 가스 유동들 등과 같은 평평한 반극성 질화물 막을 생성할 수 있는 모든 파라미터들 하에서 성장할 수 있음을 발견하였다.

[0082]

성장 공정에 있어서 변화할 수 있는 다른 단계들이 있다. 상기 기판을 질화처리하는 것은 일부의 막들을 위한 표면 모폴로지를 개선하고 다른 막들에서 성장한 실제 평면을 결정하는 것을 발견하였다. 그러나, 이는 특정한 성장 기술을 위하여 필요하거나 필요없을 수 있다.

[0083]

바람직한 실시예는 <011> 방향으로 미스컷되고 AlGa<sub>2</sub>N 핵생성층을 포함하는 (100) 스피넬 기판 상의 갈륨 질화물 막의 성장을 개시한다. 상기 핵생성층의 사용과 조성은 사용된 증착 기술과 시스템을 나타낸다. 그러나, 다른 기술들도 유사한 결과를 이루기 위하여 사용될 수 있다. 또한, 상기 핵생성층 상에 성장한 구조는 변화하거나

등급된 조성을 가지는 다중 층들을 포함할 수 있다. 질화물 소자들의 주성분은 (Al,Ga,In,B)N 조성과는 다른 층들을 포함하는 이중 구조들을 포함할 수 있다. 본 발명은 모든 질화물 합금 조성 및 모든 갯수의 층들 또는 이들의 조합의 성장을 위하여 사용될 수 있으며, 예를 들어, 상기 반극성 질화물 반도체 박막들은 식  $Ga_nAl_xIn_yB_zN$ (여기에서,  $0 = n = 1$ ,  $0 = x = 1$ ,  $0 = y = 1$ ,  $0 = z = 1$  및  $n + x + y + z = 1$ )을 가지는 (Ga,Al,In,B)N 반도체들의 합금 조성을 포함할 수 있다. Fe, Si, 및 Mg와 같은 도판트들은 종종 질화물 층들 내로 도핑된다. 이러한 도판트들 또는 특정하게 개시되지 않은 다른 도판트들의 결합은 본 발명의 실행과 호환 가능하다.

[0084]

장점들 및 개선점들

[0085]

기존의 실행은 표면에 수직한 c-평면을 가지는 갈륨 질화물을 성장시키는 것이다. 이러한 평면은 소자 성능에 유해한 자발 분극 및 압전 분극을 가진다. c-평면 질화물 막들 위의 반극성은 분극을 감소시키고 이와 관련하여 특정 소자들의 내부 양자 효율을 증가시키는 잇점이 있다.

[0086]

비극성 평면들은 소자들 내의 분극 효과들을 완전히 제거하는 것에 사용될 수 있다. 그러나, 이러한 평면들은 성장시키기 매우 어려우며, 따라서 현재 비극성 질화물 소자들은 제조되지 않는다. 비극성 질화물 막들 위의 반극성은 성장을 용이하게 하는 잇점이 있다. 반극성 평면들은 성장을 위한 큰 파라미터 공간을 가지는 것이 발견되었다. 예를 들어, 비극성 평면은 대기압에서 성장하지 않으나, 반극성 평면들은 62.5 torr 내지 760 torr의 범위에서 성장하는 것을 실험적으로 보여주었으며, 아마도 더 넓은 범위를 가질 것으로 예상된다.

[0087]

ELO 측벽 상의 평평한 반극성 막들의 잇점은 LED 또는 다른 소자 내로 처리할 수 있는 큰 표면 면적이다. 다른 잇점은, ELO 측벽 반극성 평면들과는 달리, 상기 성장 표면이 기판 표면에 평행한 것이다.

[0088]

반극성 질화물 층들의 성장을 위한 의도적으로 미스컷된 (100) 스피넬 기판들의 사용은 비의도적으로 미스컷 기판들에 비하여 더 매끈한 반극성 질화물 층들을 제조할 수 있다. 또한, 투사된 갈륨 질화물 [0001] 방향과 평행한 <011> 방향으로의 의도적인 미스컷의 사용은 비의도적으로 미스컷되거나 또는 <011> 외의 다른 방향으로 미스컷된 기판들에 대하여 단일 도메인 질화물 층들을 가능하게 한다.

[0089]

도 3은 반극성 질화물 반도체 막의 대칭에 대한 의도적으로 미스컷된 기판의 대칭 정합에 따른 특유한 에피택셜 관계를 나타내며, 이에 따라 상기 반극성 질화물 반도체 박막은 단일 결정학적 도메인을 포함한다. 예를 들어, 도 3a는 비의도적으로 미스컷된 (100) 스피넬 기판 상에 성장한 (10-11) 방위된 반극성 갈륨 질화물 막의 표면 모폴로지를 도시한다. 상기 막은 많은 수의 결합되지 않은 아일랜드들을 포함한다. 또한, 서로에 대하여 90도로 회전된 다중 결정 도메인들이 도시된다. 도 3b, 도 3c 및 도 3d에 도시된 바와 같이, (100) 스피넬 기판에 대하여 <011> 방향으로 0.5도 보다 큰 미스컷의 의도적인 응용은 갈륨 질화물 막들과 단일 결정학적 도메인을 전체적으로 결합시킨다. 도 3b의 미스컷( $\beta$ )은 0.5도, 도 3c의 미스컷( $\beta$ )은 1.5도, 및 도 3c의 미스컷( $\beta$ )은 3.0도이다. 또한, 거시적인 표면 거칠기 및 파세팅(faceting)은 미스컷 각도가 증가될수록 감소되며, 이에 따라 질화물계 발광 다이오드들, 레이저 다이오드들, 필드효과 트랜지스터들, 및 다른 소자 구조들의 성장 및 제조들에 적절한 매끈한 표면을 형성된다. 따라서, 도 3은 미스컷된 기판 상에 우선적인 핵생성 위치들이 비의도적으로 미스컷된 기판들 상의 증착과 비교하여 핵들의 합체 및 매끈하고 평평한 계면들 또는 표면들과 같은 개선된 층의 특성들을 위하여 제공되는 것을 도시한다.

[0090]

증착된 반도체 막들의 결정 품질은 고해상도 x-선 회절 록킹(rocking) 곡선 측정들에 의하여 측정된다. 적절한 x-선 회절 피크의 전체-폭-절반-최대(full width at half-maximum, FWHM)는 실험된 층들의 상대적인 결정 모자이크 및 결합 밀도를 나타낸다. 도 4에 도시된 바와 같이, 개선된 합체 및 표면 모폴로지와 함께, 온-축(on-axis) (10-11) 반사의 FWHM은 미스컷 각도가 증가됨에 따라 감소된다. 이에 따라, 의도적으로 미스컷된 기판들 상에 증착된 반극성 질화물 층들을 위하여, 이중 에피택셜 결정 증착에 의하여 생성된 판통 전위들을 감소시킨다.

[0091]

또한, 본 발명의 제2 바람직한 실시예에 있어서, 반극성 {11-22} 질화물 층들의 성장을 위한 의도적으로 미스컷된 {1-100} 사파이어 기판의 사용은 비의도적으로 미스컷된 기판들에 비하여 더 우수한 반극성 질화물 층들을 제조할 수 있음을 보여준다. 도 5에 도시된 바와 같이, {11-22} 록킹 곡선의 FWHM을 통하여 x-선 회절에 의하여 측정된 결정 품질은 의도적으로 미스컷된 {1-100} 사파이어 기판 상의 막들은 비의도적으로 미스컷된 기판들에 비하여 더 우수한 결정도를 가지는 것을 보여준다. 동시에, 도 5에 도시된 바와 같이, 의도적으로 미스컷된 사파이어 기판 상에 성장한 막들 상에 제조된 발광 다이오드들(LED)의 출력 전력은 비의도적으로 미스컷된 기판

들 상상에 제조된 것에 비해 더 밝음을 보여준다.

- [0092] 광전자 소자들을 위한 반극성 평면들을 이용하여 야기되는 잇점은 갈륨면 또는 질소면의 평면들의 기능일 수 있다. 본 발명의 방법을 이용하여 반극성 평면들 상에 성장한 발광 소자들의 출력 전력이 개선되며, 소자가 성장하는 반극성 평면이 {11-22} 갈륨면 또는 {11-2-2} 질소면인지 불분명하다. 이점에서, 질소면은 아직 잘 이해되지 않는 일부의 잇점들을 가질 수 있다. 미스컷 기판 상의 증착 후에 반극성 평면의 노출된 표면은 질소면 또는 갈륨면이고, 소자는 질소면 또는 갈륨면 상에 증착될 수 있다
- [0093] 반극성 갈륨 질화물의 성장을 위하여 의도적으로 미스컷된 {1-100} 사파이어의 사용은 또한 {11-22} 대신에 표면 파세트들을 안정하기 위하여 사용될 수 있다. 예를 들어, 큰 {10-11} 파세트들이 안정화될 수 있다. 이러한 파세트들은 분극장의 방위의 제어를 더 허용하고, 상기 소자의 면적을 증가시키고, 또한 광전자 소자들의 광추출을 개선할 수 있다 [11].
- [0094] 참조
- [0095] 이하의 간행물들은 본 명세서에 참조로서 결합된다:
- [0096] [1] Nishizuka, K., Applied Physics Letters, Vol. 85 Number 15, 11 October 2004. 본 논문은 ELO 물질의 {11-22} 갈륨 질화물 층벽들의 연구이다.
- [0097] [2] M. Funato, M. Ueda, Y. Kawakami, Y. Naruka, T. Kosugi, M Takahashi, and T. Mukai, Jpn. J. of Appl. Phys. 45, L659 (2006). 본 논문은 벌크 반극성 갈륨 질화물 상에 성장한 반극성 발광 다이오드의 성장을 개시한다.
- [0098] [3] K. Hiramatsu, H. Amano, I. Akasaki, H. Kato, N. Koide, and K. Manabe, J. of Cryst. Growth 107, 509 (1991). 본 논문은 극성 갈륨 질화물의 표면 모폴로지를 개선하기 위한 미스컷된 기판의 사용을 개시한다.
- [0099] [4] P. A. Grudowski, A. L. Holmes, C. J. Eiting, and R. D. Dupuis, Appl. Phys. Lett. 69, 3626 (1996). 본 논문은 극성 갈륨 질화물의 광냉광(photoluminescence)을 개선하기 위한 미스컷된 기판의 사용을 개시한다
- [0100] [5] H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki and Y. Toyoda, Applied Physics Letters Vol. 48 (1986) pp. 353. 본 논문은 갈륨 질화물의 결정 품질을 개선하기 위한 알루미늄 질화물 버퍼층의 사용을 개시한다.
- [0101] [6] S. Nakamura, Japanese Journal of Applied Physics Vol. 30, No. 10A, October, 1991, pp. L1705-L1707. 본 논문은 갈륨 질화물의 결정 품질을 개선하기 위한 갈륨 질화물 버퍼층의 사용을 개시한다.
- [0102] [7] D. D. Koleske, M.E. Coltrin, K. C. Cross, C. C. Mitchell, A. A. Allerman, Journal of Crystal Growth Vol. 273 (2004) pp. 86-99. 본 논문은 사파이어 기판에 대한 갈륨 질화물 버퍼층 모폴로지의 발달의 영향을 개시한다.
- [0103] [8] B. Moran, F. Wu, A. E. Romanov, U. K. Mishra, S. P. Denbaars, J. S. Speck, Journal of Crystal Growth Vol. 273 (2004) pp. 38-47. 본 논문은 실리콘 탄화물 기판 상에 대한 알루미늄 질화물 버퍼층 모폴로지의 발달의 영향을 개시한다.
- [0104] [9] U.S. Patent No. 4,855,249, issued on August 8, 1989, to Akasaki, et al., and entitled "Process for growing III-V compound semiconductors on sapphire using a buffer layer."
- [0105] [10] U.S. Patent No. 5,741,724, issued on April 21, 1998, to Ramdani, et al., and entitled "Method of growing gallium nitride on a spinel substrate."
- [0106] [11] J. F. Kaeding, Ph.D. Thesis, University of California, Santa Barbara, January 2007. "The heteroepitaxial growth of semipolar GaN for Light Emitting Diodes." 본 연구는 반극성 갈륨 질화물의 성장을 위한 미스컷 기판들의 사용을 개시한다.
- [0107] 결론

[0108] 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 형태로서 배타시키거나 한정하는 것은 아니다. 상기의 개시에 기반하여 본 발명의 핵심으로부터 본질적으로 벗어나지 않고 여러 가지 변형 및 변경이 가능하다. 본 발명의 기술적 사상은 상술한 바에 한정되지 않으며 이하에 첨부된 청구항들에 의하여 한정된다.

**산업상 이용 가능성**

[0109] 본 발명의 범위는 개시된 특정한 실시예들에 비하여 넓은 범위를 포함한다. 이러한 개념은 모든 반극성 평면상의 모든 질화물들에 적용된다. 예를 들어, 미스컷된 (100) 스피넬 기판 상에 {10-11} AlN, InN, AlGa<sub>N</sub>, InGa<sub>N</sub>, 또는 AlInN이 성장될 수 있다. 다른 실시예는, {10-14} 4H-SiC와 같은 적절한 기판이 사용되는 경우에, {10-12} 질화물들을 성장시키는 것이다. 또한, 두 개의 방위들의 평면 내 에피택셜 관계는 기판에 대하여 90도 회전에 의하여 달라지는, 갈륨 질화물의 반극성 {10-13} 및 {11-22} 반극성 방위들이 (10-10) 사파이어 상에 증착될 수 있음을 보여준다. 따라서, 두 개의 다른 방위들의 증착에 있어서의 개선은 동일한 기판에 응용되는 다른 미스컷 방향들의 사용을 요구할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0045] 참조하는 도면상에서 동일 부호는 전체에 걸쳐 동일한 요소를 지칭한다.

[0046] 도 1 은 미스컷 기판을 개략적으로 나타낸다.

[0047] 도 2는 본 발명의 방법 및 본 발명의 일부 실시예들에 사용된 공정 단계들을 도시하는 흐름도이다

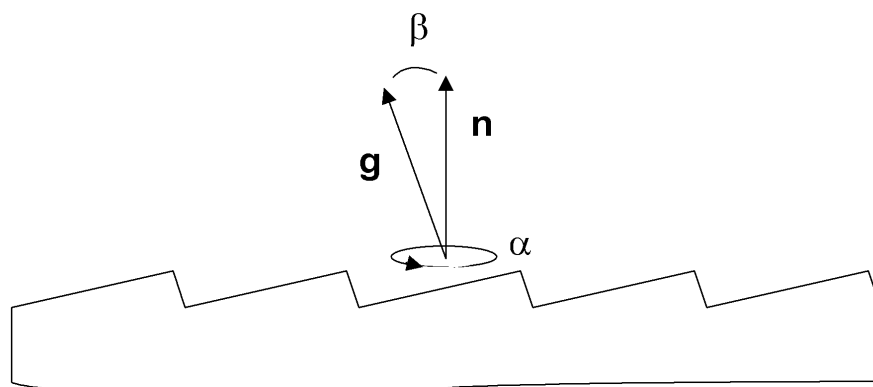
[0048] 도 3a, 도 3b, 도 3c 및 도 3d는 미스컷 기판들 상에 증착된 반극성 질화물 층들의 광학현미경 사진이다. 도 3a의 기판은 비의도적인 미스컷이다. 도 3b의 기판은 0.5 도의 미스컷 각도( $\beta$ )를 가진다. 도 3c의 기판은 1.5 도의 미스컷 각도( $\beta$ )를 가진다. 도 3d의 기판은 3.0 도의 미스컷 각도( $\beta$ )를 가진다.

[0049] 도 4는 기판 미스컷 각도( $\beta$ )에 대한 (10-11) x-선 록킹 곡선의 전체-폭-절반-최대(FWHM)를 도시하는 그래프이다.

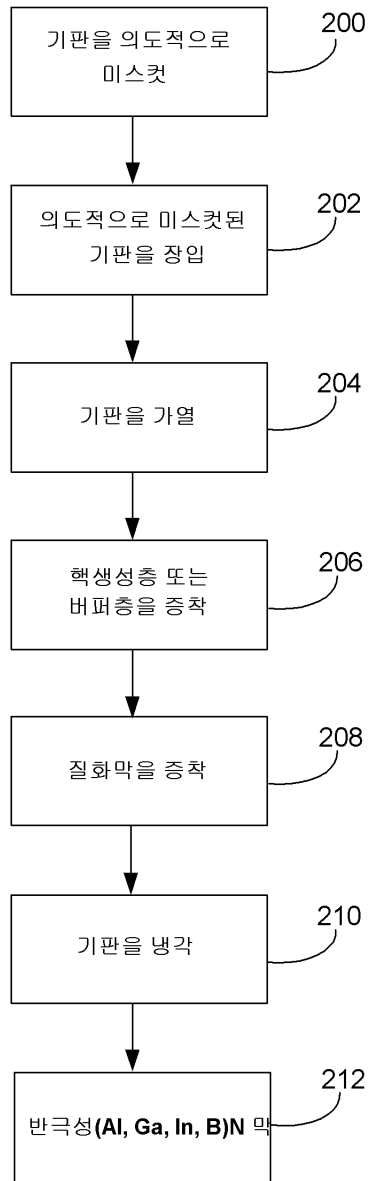
[0050] 도 5는 기판 미스컷 각도의 함수로서 출력 전력(마이크로 와트로 측정됨)과 (11-22) x-선 록킹 곡선의 FWHM를 도시하는 그래프이다.

**도면**

**도면1**

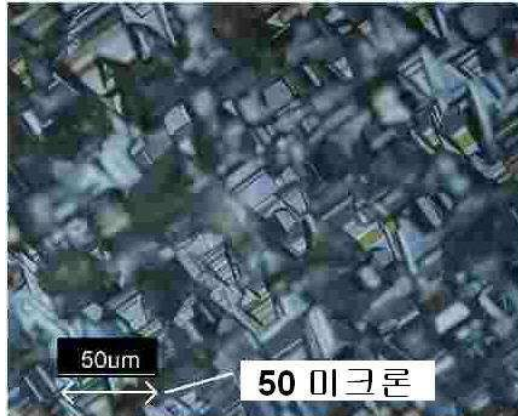


도면2

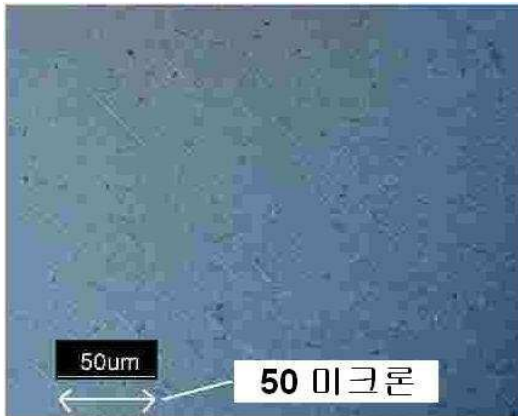




도면3a



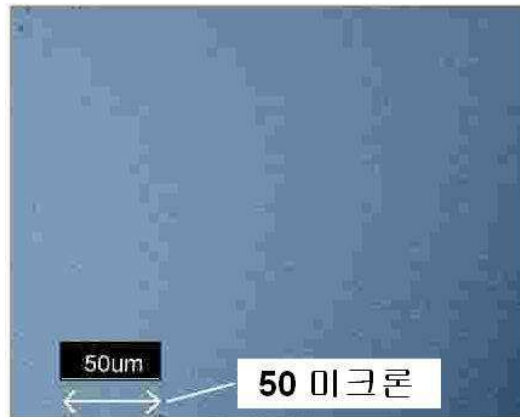
도면3b



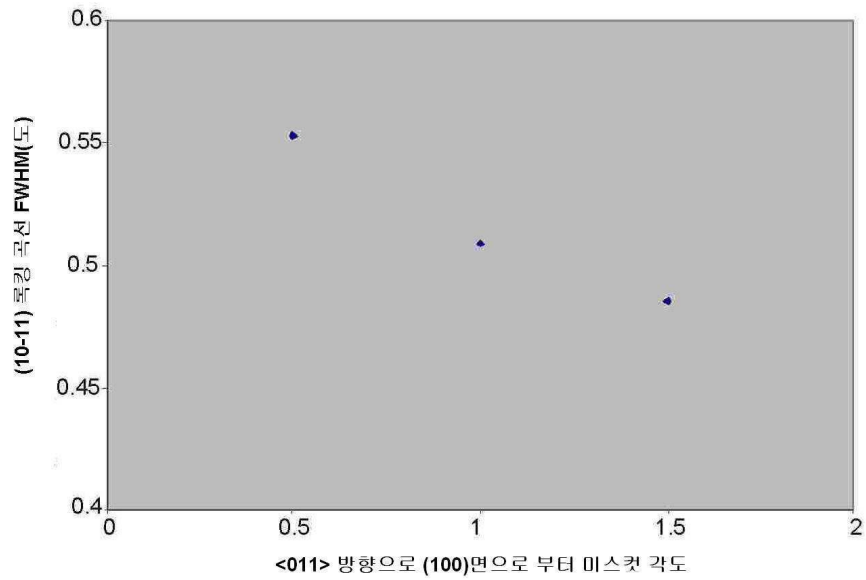
도면3c



도면3d



도면4





도면5

