



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0017056  
(43) 공개일자 2008년02월25일

- (51) Int. Cl.  
*H01L 21/20* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2007-7030280  
(22) 출원일자 2007년12월26일  
심사청구일자 없음  
번역문제출일자 2007년12월26일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2006/020996  
국제출원일자 2006년05월31일
- (87) 국제공개번호 WO 2006/130623  
국제공개일자 2006년12월07일
- (30) 우선권주장  
60/685,952 2005년05월31일 미국(US)
- (71) 출원인  
더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아  
미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층  
재팬 사이언스 앤드 테크놀로지 에이전시  
일본국, 사이타마켄, 가와구치시, 혼조 4 조메 1-8
- (72) 발명자  
이메르 빌게 엠.  
미국 캘리포니아 93117 골레타 게일리 워크 716 #101  
스펙트 제임스 에스.  
미국 캘리포니아 93117 골레타 웨스트 캠퍼스 레인 947  
덴바야스 스티븐 피.  
미국 캘리포니아 93117 골레타 킹 다니엘 레인 287
- (74) 대리인  
리엔목특허법인

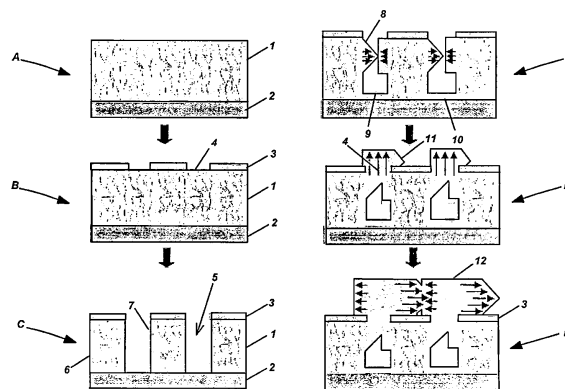
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 측벽 측방향 에피택셜 과성장(SLEO)한 비극성 및준극성 III족-질화물들의 결함 감소

(57) 요약

패턴된 마스크를 통하여 식각된 템플릿 물질의 측벽들로부터 측방향 에피택셜 과성장을 수행하여 a-{11-20} 면 및 m-{1-100} 면과 같은 비극성 또는 {10-1n} 면 III족-질화물들과 같은 준극성 내의 관통 전위 밀도를 감소하는 방법이 개시된다. 상기 방법은, 비극성 또는 준극성 GaN 템플릿과 같은 템플릿 물질 상에 패턴된 마스크를 증착하는 단계, 마스크 내에서 개구부들을 통하여 다양한 깊이들로 템플릿 물질을 식각하는 단계, 트랜치 저부들로부터 수직으로 성장하는 물질이 측벽들의 상부들에 도달하기 전에 측벽들의 상부들로부터 측방향으로 합체하여 비극성 또는 준극성 III족-질화물을 성장하는 단계를 포함한다. 합체된 형상들은 마스크의 상기 개구부들을 통하여 성장하고 또한 충분히 합체되고 연속되는 박막을 완성하기 전에 유전체 마스크를 덮는 측방향으로 성장한다.

대표도 - 도3



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

(a) 패터닝 마스크를 통하여 식각된 템플릿(template)의 측벽들로부터 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질의 측방향 에피택셜 과성장을 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위(threading dislocations) 밀도의 감소 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 물질은 비극성 또는 준극성 결정 배향을 가지는 III족-질화물 물질인 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

(1) 상기 템플릿 물질 상에 상기 패터닝 마스크를 형성하는 단계;

(2) 상기 템플릿 물질 내에 측벽들을 한정하는 하나 또는 그 이상의 트랜치들 또는 필라들을 형성하기 위하여, 상기 패터닝 마스크 내의 하나 또는 그 이상의 개구부들을 통하여 상기 템플릿 물질을 식각하는 단계; 및

(3) 상기 트랜치들의 저부로부터 수직으로 성장하는 III족-질화물 물질이 상기 측벽들의 상부들에 도달하기 전에 상기 측벽들의 상부들로부터 측방향으로 성장하는 III족-질화물 물질이 합체하도록, 상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질을 상기 측벽들의 상부들로부터 측방향으로 성장시키고 또한 상기 트랜치들의 저부로부터 수직으로 성장시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 측벽들의 상부들로부터 측방향 성장한 상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질은, 상기 트랜치들의 저부들로부터 수직성장하는 상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질을 차단하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

### 청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 개구부들은 후속되는 측방향 성장 단계들에서 평면 측벽들을 생성하기 위하여 배열되는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

### 청구항 6

제 3 항에 있어서,

상기 템플릿 물질은, 수직 성장 속도에 대한 측방향 성장 속도들의 경쟁을 보상하기 위하여, 상기 개구부들의 치수들에 대하여 상응하거나(comparable) 또는 계량된(scaled) 두께를 가지는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 식각단계는, 상기 트랜치들의 저부들로부터 성장하는 상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질들이 상기 측벽들의 상부들에 도달하기 전에, 상기 측벽들의 상부들로부터 성장하는 상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질이 합체를 위한 성장을 위하여, 상기 개구부들의 치수들에 대하여 상응하거나 계량된 하나 또는 그 이상의 식각 깊이로 수행하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소

방법.

**청구항 8**

제 3 항에 있어서,

상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질은 합체 후에 상기 개구부들을 통하여 수직으로 상향 성장하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 9**

제 3 항에 있어서,

상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질은 합체 후에 상기 개구부들을 통하여 성장하고,

과성장한 비극성 또는 준극성 III족-질화물 박막을 형성하기 위하여 상기 패턴된 마스크를 덮도록 측방향으로 이어서 성장하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 과성장한 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질 내의 결함들을 제거하거나 감소하여 전위 밀도를 감소하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 11**

제 3 항에 있어서,

통상적인 단일 단계 측방향 에피택셜 과성장을 이용하여 III족-질화물 물질들 내에 형성된 양에 비하여 적어도 한 자릿수(one order of magnitude)가 작도록 전위 밀도를 감소하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 12**

제 3 항에 있어서,

측방향 및 수직 성장 속도를 제어하기 위하여, a- $\{11\bar{2}0\}$  면 갈륨 질화물(GaN) 박막들의 성장 조건들은, 성장의 다른 단계들에서 1000℃ 내지 1250℃의 범위의 온도, 20 Torr 내지 760 Torr의 범위의 반응기 압력, 및 100 내지 3500의 범위의 V족/III족 비율에 의하여 특정된 성장 조건들이고,

상기 성장 조건들은 상기 측방향 성장 속도가 상기 수직 성장 속도에 비하여 크도록 하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 13**

제 3 항에 있어서,

상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질은, 노출된 템플릿 물질의 영역들만으로부터 성장하고, 패턴된 마스크 상에는 성장하지 않는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 14**

제 3 항에 있어서,

상기 비극성 III족-질화물 물질의 갈륨(Ga)-면 상의 성장 속도들은 증가시키고 상기 비극성 III족-질화물 물질의 질소(N)-면 상의 성장 속도들은 제한하여, 이방성 요소에 의하여 적층 결함 밀도들을 감소하는 단계를 더 포함하고,

이에 따라 통상적인 단일 단계 측방향 에피택셜 과성장을 이용하여 질화물 물질 내에 완성된 것보다 적어도 한 자릿수가 작도록 적층결함 밀도를 감소하고, 상기 질소-면에 대하여 적층결함들을 제한하는 것을 특징으로 하는

비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 15**

제 3 항에 있어서,

상기 기판을 식각하거나 또는 상기 트랜치들의 저부들 상에 추가적인 마스크를 증착하여, 상기 트랜치들의 저부들로부터의 성장을 제한하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비극성 및 준극성 III족-질화물 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**청구항 16**

청구항 제1항의 방법을 이용하여 제조한 소자, 웨이퍼, 기판, 또는 템플릿.

**청구항 17**

(a) 패터닝 마스크를 통하여 식각된 템플릿 물질의 측벽들로부터 에피택셜 물질의 측방향 에피택셜 과성장을 수행하는 단계는:

- (1) 상기 템플릿 물질 상에 패터닝 마스크를 형성하는 단계;
  - (2) 측벽들, 상기 측벽들의 상부들, 하나 또는 그 이상의 저부들을 포함하는 하나 또는 그 이상의 트랜치들 또는 필라들을 상기 템플릿 물질 내에 형성하기 위하여, 상기 패터닝 마스크의 하나 또는 그 이상의 개구부들을 통하여 상기 템플릿 물질을 식각하는 단계;
  - (3) 상기 하나 또는 그 이상의 저부들로부터 수직 성장하는 에피택셜 물질이 상기 상부들에 도달하기 전에, 상기 상부들로부터 에피택셜 물질이 측방향으로 성장 및 합체하는 단계;
  - (4) 상기 성장 및 합체 단계(3) 이후에, 상기 하나 또는 그 이상의 개구부들을 통하여 수직 방향으로 상기 에피택셜 물질이 성장하는 단계; 및
  - (5) 상기 성장 및 합체 단계(3) 이후에, 연속되는 박막을 형성할 수 있는 과성장 물질을 형성하기 위하여, 상기 에피택셜 물질이 상기 패터닝 마스크를 덮도록 측방향으로 성장하는 단계를 포함하고,
- 상기 단계 (3) 및 상기 단계 (5)의 성장은 측방향 과성장 기술을 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 에피택셜 성장한 비극성 및 준극성 III족-질화물 박막들, 소자들, 또는 기판들 내의 관통 전위 밀도의 감소 방법.

**명세서**

**기술분야**

<1> 본 발명은 측벽 측방향 에피택셜 과성장(sidewall lateral epitaxial overgrowth, SLEO)에 의한 비극성 및 준극성 III족-질화물들의 결함 감소에 관한 것이다.

**배경기술**

- <2> (관계 출원들과의 상호참조)
- <3> 본 출원은 이하의 동시 계류중(co-pending)이고 일반 양도된(commonly-assigned) 미국특허출원의 미국법 제35호 (특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장한다:
- <4> 빌게 이머(Bilge M. Imer), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars)에 의하여 2005년 5월 31일 출원된 미국임시특허출원 제60/685,952호 "단일 단계 측벽 측방향 에피택셜 과성장에 의한 비극성 갈륨 질화물의 결함감소(DEFECT REDUCTION OF NON-POLAR GALLIUM NITRIDE WITH SINGLE-STEP SIDEWALL LATERAL EPITAXIAL OVERGROWTH)",(변호사 도킷(docket) 번호 제30794.135-US-P1 (2005-565)호); 상기 출원은 본 명세서의 참조로서 결합된다.
- <5> 본 출원은 하기의 동시 계류중(co-pending)이고 일반 양도된(commonly-assigned) 미국특허출원들과 관련이 있다:
- <6> 빌게 이머(Bilge M. Imer), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars)에 의하여 2005년 5월 31일에 출원된 미국임시특허출원 제60/685,908호의 "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)), "(번호사 도킷 번호 제30794.136-US-P1 (2005-566)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는 빌게 이머(Bilge M. Imer), 제임스 스펙(James S. Speck), 및 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars)에 의하여 동일한 날에 출원된 미국실용신안등록출원 제 xx/xxx,xxx호의 "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)), "(번호사 도킷 번호 제30794.136-US-U1 (2005-566)호);

- <7> 상기 출원들은 모두 본 명세서에서 참조로서 인용된다.
- <8> 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 수소화물 기상 에피택시법(hydride vapor phase epitaxy, HVPE)을 포함하는 성장 기술들에 의하여 박막으로서 에피택셜하게 성장한다. 기관의 선택은 III족-질화물 성장 방향을 결정하기 위하여 중요하다. 질화물 성장을 위하여 가장 광범위하게 사용되는 기관들 중의 일부는 SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 및 LiAlO<sub>2</sub>를 포함한다. 이러한 기관들의 다양한 결정학적 방위들은 GaN의 a-면, m-면, 또는 c-면 성장을 야기하며, 상업적으로 구할 수 있다.
- <9> 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 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, c, <10-10> 및 <11-20>를 나타내고, 도 1(b)는 면들인 a(11-20), m(10-10) 및 r(10-12)를 나타낸다. 도 1(b)에 채워진 패턴들은 관심있는 면들을 도시하기 위함이며, 구조의 물질들을 표현하는 것은 아니다.
- <10> 큰 성장 안정성 윈도우(압력, 온도 및 전구체 유동들) 및 그 안정성 때문에 c-면 GaN를 성장하는 것은 상대적으로 용이하다. 따라서, 극성 c-축을 따라서 거의 모든 GaN-계 소자들이 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. 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.
- <11> 이러한 분극화 효과들은 전자들과 홀들의 재결합의 경향을 감소시키며, 이에 따라 최종 소자의 성능을 저하시킨다. GaN 광전자 소자들의 피에조 분극화 효과들을 제거하는 하나의 가능한 시도는 GaN의 a-{11-20} 및 m-{1-100} 면들의 균집과 같은 결정의 비극성 면들 상에 소자들을 성장시키는 것이다. 이러한 면들 Ga 원자들과 N 원자들을 같은 갯수로 포함하고 전하 중립이다.
- <12> GaN 물질들이 낮은 성능을 가지는 다른 이유는 기관과 일치하는 격자가 부족하여 발생하는 결함들의 존재이다. GaN의 벌크 결정들은 폭 넓게 구할 수 없으므로, 후속의 소자 재성장을 위하여 표면에 나타나도록 결정을 간단하게 절단하는 것이 불가능하다. 모든 GaN 박막들은 초기에는 이중 에피택셜하게 성장하며, 즉 GaN에 대하여 격자 불일치를 가지는 외부 기관들 상에 성장한다.
- <13> 소자 성능을 향상하기 위하여, GaN 박막들 내에 전위 밀도를 감소시키려는 꾸준한 연구가 있다. 관심을 가지는 확장된 결함들의 두 가지 주요한 형태는 관통 전위들(threading dislocations) 및 적층결함들이다. 극성 c-면 GaN 박막들 내에서 감소된 전위 및 적층결함 밀도를 얻을 수 있는 주요 수단은, 단일 단계 및 이중 단계 측방향 에피택셜 과성장(lateral epitaxial overgrowth, LEO, ELO, 또는 ELOG), 선택적 면적 에피택시, 캔틸레버 및 펜데오 에피택시(pendeo-epitaxy)를 포함하는, 다양한 측방향 과성장 기술들을 사용하는 것이다. 이러한 공정들의 본질은, 수직 성장에 대하여 측방향 성장이 우세하도록, 박막 표면에 대하여 수직으로 전달되는 전위들을 차단(마스크를 이용함)하거나 약화시키는 것이다. 이러한 전위 감소 기술들은 HVPE 및 MOCVD에 의하여 c-면 GaN의 성장을 위하여 광범위하게 개발되어 왔다.
- <14> 본 발명은 소정의 성장 기술에 의하여 비극성 a-면 및 m-면 GaN의 측벽 측방향 에피택셜 과성장(sidewall lateral epitaxial overgrowth, SLEO)에 대한 최초의 성공적인 실행이다. 본 명세서에 개시된 본 발명 이전에는, a-면 및/또는 m-면 GaN의 SLEO에 대하여 개시된 바가 없었다.

**발명의 상세한 설명**

<15> 본 발명의 일반적인 목적은, 유전체 마스크를 통하여 식각된 질화물 물질의 측벽들로부터 측방향 과성장을 수행하여 높은 품질(최소 결함 밀도)을 가지는 비극성(non-polar) a-{11-20} 및 m-{1-100} 면 및 준극성(semi-polar) {10-1n} 면 평면 III족-질화물을 생성하는 것이다. 상기 방법은, 비극성 또는 준극성 III족-질화물 템플릿 상에 패터닝된 마스크를 증착하는 단계, 상기 마스크 내의 개구부들을 통하여 다양한 깊이들까지 템플릿 물질을 식각하는 단계, 및 트렌치 저부들로부터 수직으로 성장하는 물질이 표면에 도달하기 전에, 측벽들의 상부들로부터 측방향으로 합체되어 비극성 또는 준극성 에피택셜 박막을 재성장하는 단계를 포함한다. 충분히 합체되고 연속적인 박막이 완성될 때까지, 합체된 형상들은 상기 마스크의 개구부들을 통하여 성장하고, 유전체 마스크를 덮도록 측방향으로 성장한다.

<16> r-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 상면 상의 a-GaN와 같이 이중 에피택셜하게 성장한 평면 비극성 물질들은, 박막을 통하여 10<sup>10</sup> cm<sup>-2</sup>까지의 전위 밀도와 3.8×10<sup>5</sup> cm<sup>-1</sup>의 적층결함 밀도(c-축에 대하여 수직으로 배열됨)를 포함한다. 단일 단계 측방향 에피택셜 과성장을 이용하여, 전위 밀도는 10<sup>7</sup> cm<sup>-2</sup> 내지 10<sup>9</sup> cm<sup>-2</sup>로 감소될 수 있고, 적층결함들은 질소 면들 상에만 국부적으로 위치한다. 본 발명에 따라, 측벽 측방향 에피택셜 과성장(sidewall lateral epitaxial overgrowth)을 이용하여, 전위 밀도는 과성장 영역들 내에서뿐만 아니라 윈도우 영역들 내에서도 결함들을 제거함으로써 매우 낮은 값으로 감소될 수 있다. 또한, 갈륨-면 성장을 우세하게 하고 질소-면 성장을 제한하여, 적층결함 밀도를 그 자릿수들을 낮출 정도로 감소할 수 있다.

<17> 본 발명은, 분극 필드들을 제거하기 위하여, 비극성 III족-질화물들의 방위를 또한 이용할 수 있다. 결과적으로, 본 발명에 따라 제조된 물질을 이용하여, 긴 수명 낮은 누설 전류, 효과적인 도핑 및 높은 출력 효율과 같은 소자 개선이 가능하다. 또한, 격자 불일치 문제점을 해결하기 위하여 필요한, 두껍고 비극성 및 준극성 질화물 프리 스탠딩 기판은 다양한 방법들에 의하여 우수한 물질을 제조할 수 있다.

**실시 예**

<25> 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.

**<26> 개관**

<27> 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.

<28> 극성, 준극성 및 비극성 III족-질화물 물질들에 공통되는 다른 문제는 높은 결함 밀도이고, 가장 공통된 문제는 전위들 및 적층결함들이다. 이중 에피택셜 성장에서, 적절한 III족-질화물 기판들, 및 적층결함들 형상의 부족에 의한 격자 불일치의 결과로서 전위들이 발생하며, 이는 성장중에, 예를 들어, a-면 GaN 성장 동안에 질소-면 측벽 상에 우세한 성장중에, 원자 적층의 무질서에 의한다. 본 발명에 따라, 갈륨(Ga)-면 성장을 우세하게 하고 질소-면 성장을 제한하여 이러한 적층결함들의 발생을 최소화한다.

<29> 직접적으로 성장한 (Ga, In, Al, B)N 물질들 내의 전위 밀도는 매우 높다. 비극성 물질들을 사용함에 의한 이러한 결함들을 감소하거나 또는 이상적으로는 제거하여, 고성능 소자들을 얻을 수 있다. 수년간에 걸쳐, 극성 및 비극성 GaN 내에 LEO를 포함한 다양한 방법들에 의하여 이러한 결함들은 감소되어 왔다. 이러한 공정들의 본질은 수직 성장에 대하여 측방향 성장이 우세하도록 하여 박막 표면에 대하여 수직으로 전달되는 전위들을 차단하거나 약화하는 것이다. 모든 LEO 방법은 표면 상에 증착된 마스크를 이용하여 결함 물질을 차단하는 단계를 포함한다. 단일 단계 LEO는 단지 하나의 마스크 패터닝 단계 및 재성장 단계를 포함하고, 이에 따라 간단하게 공정이 수행되고 성장하지만, 결과적으로 결함 감소에 있어서 이중 단계 LEO에 비하여 효과적이지 않다. 이중 단계 LEO는 결함 감소에 있어서 효과적이지만, 그 명칭이 암시하는 바와 같이, 단일 단계 LEO에 비하여 공정 단계와 성장 노력이 두 배가 된다. 결과적으로, 이러한 방법들 중에 어느 것도 현재까지 동시에 편리하면서 효과적일 수 없다. 본 발명에 따른 SLEO를 이용하면, 단일 단계 LEO와 같이 단순한 공정 단계 및 성장 방법들을 이용하고, 이중 단계 LEO와 같이 효과적으로 비극성 또는 준극성 질화물들 내의 이러한 결함들을 제거할 수 있

다. 본 발명은 비극성 또는 준극성 질화물 물질의 식각된 필라 측벽들의 상부 상에 핵생성되고 상기 상부들로부터 성장하고, 결합 물질들이 이중 에피택셜 계면(트렌치들의 저부)으로부터 상부에 도달하기 전에, 인접한 필라 측벽들의 상부들을 합체한다.

- <30> 본 발명은 두 가지 방법으로 물질들의 소자 성능을 개선한다. (1) 분극 효과들을 제거하거나 감소하기 위하여, 비극성 물질, a-{11-20} 면 및 m-{1-100} 면 또는 준극성 {10-1n} 면 III족-질화물 물질들의 본질적인 구조적 장점들을 이용하거나, (2) 독창적이고, 재생산가능하고 간단하고 및 효과적인 공정 및 성장 방법을 이용하여 효과적으로 결함들을 제거한다.
- <31> 기술적 설명
- <32> 본 발명은, 유전체 마스크를 통하여 식각된 질화물 물질의 측벽들로부터 LEO를 이용하여 비극성 및 준극성 질화물들 내의 관통 전위(threading dislocation) 밀도를 감소한다. 상술한 바와 같이, 적층결합들은 수직으로 배향된 면들 중 하나인 질소-면 상에 잔류한다. 또한, 본 발명은 이방성 요소, 즉 Ga-(0001) 면 상에 높은 성장 속도들을 증가하고, N-(000-1) 면 성장 속도들을 제한함에 의한 이방성 요소로 적층결합 밀도를 감소한다. 다양한 성장 조건들 및 공정 방법들을 이용하여, 본 발명은, 유전체 마스크 상을 덮는 측벽들로부터의 비극성 GaN의 측방향 성장 및 합체를 나타낸다.
- <33> 도 3은 패터닝 마스크를 통하여 식각된 템플릿 물질의 측벽들로부터 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질의 LEO를 이용하여, 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질 내의 관통 전위 밀도를 감소하는 방법을 도시하는 개략적인 흐름도이다.
- <34> 일 실시예에 있어서, 상기 방법은, A, B 및 C로 표기된 세 가지 SLEO 공정단계들과 D, E, 및 F로 표기된 세 가지 성장 또는 재성장 단계들을 포함한다.
- <35> 단계 A - 템플릿(template) 물질(1)은 적절한 기판(2) 상에 형성된다. 템플릿 물질(1)은 적절한 기판(2) 상에 증착된, {11-20} 또는 {1-100} 또는 {10-1n} 면 GaN와 같은 비극성 또는 준극성 질화물 에피택셜 박막을 포함할 수 있다.
- <36> 단계 B - 템플릿 물질(1) 상에 패터닝 마스크(3)를 형성한다. 패터닝 마스크(3)는 유전체 마스크이거나 여러가지 수단들 중에 하나를 이용하여 템플릿 물질(1) 상에 증착될 수 있다. 패터닝 마스크(3)는 하나 또는 그 이상의 개구부들(4)을 포함할 수 있고, 개구부들(4)은 하부의 템플릿 물질(1)에 접근을 허락하는 홀들(apertures) 또는 줄무늬들(stripes)을 포함한다.
- <37> 단계 C - 템플릿 물질(1) 내에 하나 또는 그 이상의 트렌치들(5) 또는 필라들(6)을 형성하기 위하여, 패터닝 마스크(3) 내의 상기 개구부들(4)을 통하여 템플릿 물질(1)이 식각되며, 트렌치들(5) 또는 필라들은 측벽들(7)을 한정한다. 템플릿 물질(1)이 패터닝 마스크(3)의 개구부들(4)을 통하여 식각될 때에, 후속되는 측방향 성장 단계들에서 평면 측벽들(7)을 생성하도록 개구부들(4)의 방위가 배열된다.
- <38> 단계 C 이후에, 템플릿 물질(1)은 성장단계들을 위하여 반응기 내로 장입된다.
- <39> 단계 D - 제1 성장 단계 "측방향(SIDE)"이 수행되며, 상기 단계에서는 먼저 {11-20} 또는 {1-100} 또는 {10-1n} 면 GaN를 포함할 수 있는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질이 성장되며, 이는 트렌치들(5)의 저부들(9)로부터 수직 성장하는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질이 측벽들(7)의 상부들(8)에 도달하기 전에, 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질이 측벽들(7)의 상부들(8)로부터 측방향으로(화살표로 도시됨) 성장 및 합체됨에 의한다. 바람직하게는, 상기 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질은 패터닝 마스크(3) 상이 아니라 노출된 템플릿 물질(1)의 영역으로부터만 성장한다. 특히, 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질은 측벽들(7)의 상부들(8) 및 트렌치들(5)의 저부들(9) 모두의 상에 핵생성하고 성장한다. 트렌치들(5)의 저부들(9)로부터 수직으로 성장하는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질은, 이중 에피택셜 계면(10)으로부터 결합 물질들을 포함할 수 있다. 측벽들(7)의 상부들(8)로부터 측방향으로 성장하는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질의 합체는, 트렌치들(5)의 저부들(9)로부터 수직으로 성장하는 결합 물질들을 차단할 수 있다.
- <40> 단계 E - 제2 성장 단계 "상향(UP)"이 수행되며, 제1 성장 단계 또는 합체 단계를 수행한 후에, 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질(11)은 상기 개구부들(4)을 통하여 수직으로(화살표로 도시됨) 성장한다.
- <41> 단계 F - 제3 성장 단계 "덮음(OVER)"이 수행되며, 과성장한 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질을 형성하기 위하여, 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질(12)은 패터닝 마스크(3)를 덮도록 측방향으로(화살표로 도시됨) 성장한다. 이러한 성장은, 과성장한 물질(12)이 충분히 합체되고 연속되는 박막을 형성할 때까지, 또는 합체되

지 않은 과성장으로 잔존한다고 하여도, 계속될 수 있다.

- <42> 도 3의 방법의 결과는 상기 방법을 사용하여 제조한 소자, 또는 프리 스탠딩 웨이퍼, 또는 기판, 또는 감소된 결함 밀도 템플릿이다.
- <43> 수직 성장 속도에 대한 측방향 성장 속도들의 경쟁을 보상하기 위하여, 템플릿 물질(1)은 패터닝 마스크(3) 내에 개구부들(4)의 치수들에 상대적으로 상응(comparable)하거나 계량된(scaled) 두께를 가질 수 있음에 유의한다. 이러한 관점에서, 상기 치수들은 개구부들(4)의 폭이거나 또는 측벽들(7)의 상부들(8)을 측방향을 따라 합체한 치수들이다.
- <44> 예를 들어, 보상을 위하여, 템플릿 물질(1) 두께는, 식각 후에 트렌치(5)를 형성하고, 상응하도록 선택될 수 있고, 이는 트렌치들(5)의 저부들(9)로부터의 성장이 측벽들(7)의 상부들(8)에 도달하기 전에 측벽들(7)의 상부들(9)이 합체될 수 있도록 분리된 개구부들(4)의 폭 치수에 상응하여 선택할 수 있다.
- <45> 만일 측방향 및 수직 성장 속도들이 서로 상응하다면, 개구부들(4)의 치수들은 템플릿 물질(1)의 두께보다 작아야 됨을 의미한다. 반면, 측방향 성장 속도가 수직 성장 속도에 비하여 빠르다면, 개구부들(4)의 치수들은 템플릿 물질(1)의 두께에 비하여 클 수 있다.
- <46> 이와 유사하게, 트렌치들(5)의 저부들(8)로부터 성장하는 결함있는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질이 측벽들(7)의 상부들(8)에 도달하기 전에 측벽들(7)의 상부들(8)이 합체되도록, 상기 식각은 개구부들(4)의 치수들에 대하여 상대적으로 상응하거나 계량된 하나 또는 그 이상의 식각 깊이들일 수 있다.
- <47> 또한, 트렌치들(5)의 저부들(9)로부터의 성장은 기판(2)에 대한 식각에 의하여 또는 트렌치들(5)의 저부들(9) 상에 추가적인 마스크(3)를 증착함에 의하여 방지될 수 있다. 적어도 단계 A 및 단계 C는 측방향 과성장 기술을 이용하여 성장하는 단계를 포함할 수 있다.
- <48> 도 3에 도시된 제1(D), 제2(E) 또는 제3(F) 성장 단계들 동안 측방향 및 수직 성장 속도를 제어하기 위하여, 비극성 a- $\{11-20\}$  면 갈륨 질화물 박막들의 성장 조건들은 1000°C 내지 1250°C 범위의 온도, 20 Torr 내지 760 Torr 범위의 반응기 압력, 및 100 내지 3500의 범위의 V족/III족 비율으로 특정되며, 상기 제1, 제2 또는 제3 성장 단계들 중에 적어도 하나를 수행하는 동안 상기 조건들은 측방향 성장 속도가 수직 성장 속도에 비하여 클 수 있도록 한다. 이러한 조건들은 반응기마다 달라질 수 있으며, 성장 방법마다 달라질 수 있다.
- <49> 본 발명을 이용하여, 마스크(3) 및 합체된 개구부들(4)(윈도우) 영역들을 덮도록 과성장한 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질 내에 결함들을 제거하거나 또는 감소시켜 전위 밀도를 감소할 수 있다. 이러한 관점에서, 통상적인 단일 단계 LEO를 이용하여, 전위 밀도는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질 내에 완성된 경우에 비하여 적어도 한 자릿수(one order of magnitude) 작은 크기로 감소될 수 있다.
- <50> 또한, 적절한 성장 조건들을 이용하여, 본 발명은 비극성 III족-질화물 물질의 갈륨(Ga)-면 상의 성장 속도를 증가시키고 비극성 III족-질화물 물질의 질소(N)-면 상의 성장 속도를 제한하여, 이방성 요소들에 의하여 적층 결함 밀도를 감소할 수 있고, 이에 따라 비극성 질화물 물질 내에 완성되거나 통상적인 단일 단계 LEO를 이용하여 완성한 적층결함 밀도에 비하여 적어도 한 자릿수(one order of magnitude) 작은 크기로 감소할 수 있고, 질소-면들에 대한 적층결함들을 제한할 수 있다.
- <51> 결과적으로, 본 발명은 측방향 과성장 기술을 이용하여 성장할 수 있는 에피택셜 물질을 이용하여 수행될 수 있다. 따라서, 상기 에피택셜 물질은 비극성  $\{11-20\}$  또는  $\{1-100\}$  면 GaN 또는 준극성  $\{10-1n\}$  면 GaN와 같은 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질을 포함할 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 따라서, 템플릿 물질은 에피택셜 물질로부터 핵생성 및 성장하는 모든 물질을 포함할 수 있다.
- <52> 실험 결과들
- <53> 예를 들어, 템플릿을 형성하기 위하여 MOCVD를 의하여 낮은 온도 GaN 핵생성층을 이용하여, 3  $\mu\text{m}$  두께의 비극성 a-면 또는 m-면 GaN 박막이 r-면  $\text{Al}_2\text{O}_3$  기판 상에 증착된다. 또는, 상기 박막은 AlN 핵생성층을 이용하여 m-면 SiC 상에 증착될 수 있다. 플라즈마 강화 화학기상증착 (PECVD)에 의하여, 템플릿 상에 1  $\mu\text{m}$  두께의  $\text{SiO}_2$  박막이 증착된다. 통상적인 포토 리소그래피를 이용하여, 2  $\mu\text{m}$  폭 개구부들에 의하여 분리되는 8  $\mu\text{m}$  폭 줄무늬들을 포함하는 포토레지스트 마스크 층을 패터닝한다. 줄무늬의 방위는 a-GaN에는  $\langle 1-100 \rangle$  및 m-GaN에는  $\langle 11-20 \rangle$ 으로 선택된다. GaN 템플릿 두께는 마스크 윈도우의 폭에 대응하여 선택될 수 있고, 이는 트렌치들의 저부들이 상부에 도달하기 전에 GaN 측벽들의 상부들이 합체되도록 분리된 트렌치를 형성할 수 있다. 이어서,



수직 SiO<sub>2</sub> 측벽들을 얻기 위하여 유도결합 플라즈마(inductively coupled plasma, ICP) 식각을 이용하여 패터닝 마스크를 건식식각하여, 노출된 SiO<sub>2</sub>를 완전히 식각하여 제거한다. 잔류하는 포토레지스트는 스트리퍼(stripper)에 의하여 제거되고, 이어서 샘플들은 용매에 의하여 세정된다. 반응성 이온 식각(reactive ion etching, RIE)을 이용하여, SiO<sub>2</sub> 개구부들을 통하여 노출된 3 μm 두께 비극성 GaN은 2 μm 이상이 낮아지도록 식각한다. 상기 샘플은 재성장하기 전에 최종 용매 세정으로 처리한다. 2 μm 폭 개구부들에 의하여 분리된 8 μm 폭 SiO<sub>2</sub> 줄무늬들에 의하여 패터닝되는 식각된 비극성 GaN 템플릿을 포함하는 웨이퍼는 재성장을 위하여 MOCVD 반응기 내에 장입된다. 이와 같은 특정한 재성장 동안, 측방향 성장을 강화하기 위하여 낮은 압력들 및 다양한 V족/III족 비율들에서 상대적으로 높은 성장 온도들을 사용한다. 성장의 다른 단계들에서, V족/III족 비율을 변화하여 상대적으로 측방향 및 수직 성장 속도들을 제어한다. 성장공정 동안, 트렌치들의 저부에 GaN 측벽들 및 노출된 GaN 물질(또는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 SiC) 상에 GaN이 핵생성되고, 또한 식각된 GaN 측벽들의 상부들로부터 합체되고 마스크 개구부들을 통하여 SiO<sub>2</sub> 마스크 상에 그를 덮도록 성장한다. 이어서, 살기 박막은 상기 SiO<sub>2</sub> 마스크를 덮도록 측방향으로 성장하고, 최종적으로 인접하는 GaN 줄무늬들이 합체한다.

<54> 도 4(a)는 제1 성장 단계에서 MOCVD에 의하여 성장한 SLEO 물질의 주사 전자 현미경 사진이고, 또한 도 4(b)는 트렌치 저부들로부터 성장을 차단하는 GaN 필라 측벽들의 상부들로부터 성장한 측벽의 제1 단계를 개략적으로 도시한다.

<55> MOCVD를 이용하여 SLEO에 의해 합체된 a-면 GaN 박막의 일례는 도 5(a) 및 도 5(b)에 단면도로 도시되어 있고, 도 5(a)는 합체된 SLEO 물질의 주사 전자 현미경 사진이고, 도 5(b)는 합체된 SLEO 물질을 더 도시하는 개략도이다.

<56> 상술한 바와 같이, 상기 일례의 재성장은, 트렌치 저부로부터 성장한 결합 물질이 측벽들의 상부들에 도달하기 전에, 식각된 측벽들의 상부들로부터 측방향으로 비극성 GaN이 먼저 합체된다(단계 D - 제1 성장단계). 이어서, 비극성 물질의 인접한 줄무늬들이 낮은 결합 밀도로 연속되는 a-GaN 박막을 형성하도록 합체되기 전에, 합체된 물질은 상기 개구부로부터 성장하고(단계 E - 제2 성장단계) 또한, 8 μm 폭 마스크 줄무늬를 덮도록 성장한다(단계 F - 제3 성장단계). 측벽 성장을 이용하여, 관통 전위들은 차단되며, 이에 따라 합체된 박막들은 과성장 영역들에서뿐만 아니라 윈도우 영역들에서도 낮은 전위 밀도를 가진다. 높은 갈륨(Ga)-면 수평 성장 속도들을 이용하여, 적층결합 밀도는 감소되고 질소(N)-면 과성장의 면적으로만 제한된다.

<57> 이러한 SLEO 물질의 완전하게 합체된 박막은 도 5(a) 및 도 5(b)에 도시된 MOCVD를 이용하여 완성된다. 비극성 GaN의 줄무늬는 SiO<sub>2</sub> 마스크 내에 2 μm 폭 개구부(윈도우를 포함함)를 통하여 성장하고, 후속되는 측방향 성장 단계들에서 평면 측벽들을 완성하기 위하여 <1-100>에 평행하게 패터닝된다. 이어서, 상기 비극성 GaN는 마스크 줄무늬에 의하여 한정된 8 μm 폭 마스크된 영역 상에 성장한다.

<58> 가능한 응용들 및 변형들

<59> 바람직한 일 실시예는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 템플릿의 식각된 측벽들로부터 LEO 공정을 나타낸다. 그 상에 비극성 또는 준극성 III족-질화물 또는 GaN 템플릿이 형성되는 다른 적절한 기판 물질들은 a-면 및 m-면 SiC 또는 r-면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 포함하지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 측벽 성장 공정을 위하여 기저물로 이용되는 템플릿 물질은 다양한 두께들 및 결정학적 방위들을 가지는 GaN, AlN, AlGa<sub>1-x</sub>N, 및 InGa<sub>1-x</sub>N을 포함하는 비극성 또는 준극성 III족-질화물 템플릿 물질일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 이러한 물질은 MOCVD 또는 HVPE 또는 다른 다양한 방법들을 이용하여 형성될 수 있다. 이러한 템플릿 물질을 성장하기 위하여, GaN 및 AlN을 포함하는 다른 핵생성층들을 이용할 수 있다. 유전체를 포함하는 다양한 마스크 물질 및 개구부 또는 개구부 공간, 크기들 및 치수들의 다양한 형상의 마스크를 이용할 수 있다. 다른 마스크 두께들을 이용한 마스크 증착 방법들 및 다양한 방위들을 이용한 마스크 패터닝 기술은 이러한 본 발명의 실행에 있어서 결과를 변화시키지 않고 사용될 수 있다. 마스크 및/또는 템플릿 물질을 식각하는 동안, 습식 및 건식 식각 기술들을 포함하는 많은 다른 식각 방법들이 이용될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 템플릿 물질의 식각 깊이는, 측벽들로부터 측방향으로 성장하는 물질이 합체하고 트렌치 저부들로부터 수직으로 성장하는 결합 물질을 차단할 수 있는 한 변화할 수 있다. 측벽들로부터만의 성장을 보장하는 기판의 식각단계가 공정 중에 포함될 수 있다. 식각에 의하여 형성된 하나 또는 그 이상의 트렌치들은 U-형 또는 V-형 홈들, 홀들 또는 피트들을 포함하는 여러 가지 형상들을 가질 수 있다.

<60> 다른 가능한 변화는, 상술한 바와 같이, III족-질화물 물질을 식각한 후에 추가적인 마스크가 측벽들에서부터

만 재성장하기 위하여 트렌치들의 저부 상에 증착될 수 있다.

- <61> 측벽들로부터의 비극성 또는 준극성 III족-질화물의 측방향 과성장에 요구되는 성장 파라미터들은 반응기마다 달라질 수 있다. 이러한 변화들은 본 발명의 일반적인 실행을 근본적으로 변화하지는 않는다. 바람직하지만, 마스크를 덮는 박막의 최종 합체는 본 발명의 실행에 요구되는 것은 아니다. 따라서, 상기 개시는 측벽들로부터 합체되거나 및 합체되지 않는 측방향으로 과성장한 비극성 또는 준극성 III족-질화물 박막들에 적용된다.
- <62> 본 명세서에 개시된 본 발명 및 모든 가능한 변형들은, 다른 층을 덮는 하나의 층을 합체한 후에, SLEO 공정을 여러 번 반복하도록 응용될 수 있으며, 이에 따라 결합 밀도를 더 감소하기 위하여 다중 단계 SLEO를 생성한다.
- <63> 본 발명은 유기금속 화학기상증착법(MOCVD), 및 수소화물 기상 에피택시(HVPE), 및 분자빔 에피택시(MBE), 또는 SLEO 공정 및 성장의 다양한 단계들에서 이러한 성장 방법들의 조합을 포함하는 성장 방법에 의하여 수행될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- <64> 장점들 및 개선점들
- <65> 본 발명은 비극성 GaN의 SLEO의 최초의 성공적인 실행이다. 비극성 또는 준극성 III족-질화물 물질들에서 가장 간단한 방법으로 가장 효과적으로 전위들의 존재를 감소할 수 있으며, 또한 결과적인 소자들 내의 분극 효과를 방지할 수 있다.
- <66> 예를 들어, 도 6(a), 도 6(b) 및 도 6(c)는 원자힘 현미경 사진들 및 x-선 회절 FWHM 값들이며, 평면 비극성 평면, 단일 단계 LEO과 SLEO GaN을 비교하여 박막 품질의 현저한 증가를 나타낸다. 도 6(a)는 0.29° (110)의 온-축(on-axis) FWHM 및 0.46° (101)의 오프-축(off-axis) FWHM을 가지고, 6.0 nm까지의 rms를 가지는 평면 a-GaN를 나타낸다. 도 6(b)는 0.17°의 온-축 FWHM 및 0.27°의 오프-축 FWHM을 가지고, 5.822(0.467) nm까지의 rms를 가지는 단일 단계 LEO a-GaN를 나타낸다. 도 6(c)는 0.082°의 온-축 FWHM 및 0.114°의 오프-축 FWHM을 가지고, 0.620(0.499) nm까지의 rms를 가지는 SLEO a-GaN를 나타낸다.
- <67> 평면 비극성 GaN 박막들은,  $10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 까지의 높은 관통 전위 밀도 및  $3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 의 적층결합 밀도(질소(N)-면 상의 c-축에 대하여 수직)를 가진다고 알려져 있다. 이러한 값들은 HVPE 또는 MOCVD에 의한 단일 단계 측방향 에피택셜 성장을 이용하여 하나 또는 두 자릿수들(one or two orders of magnitude)을 낮출 정도로 감소된다. 또한 본 발명에 따르면, 이러한 전위들 및 적층결합들의 밀도는 각각  $10^6 \text{ cm}^{-2}$  내지  $10^7 \text{ cm}^{-2}$ 의 범위 및  $10^3 \text{ cm}^{-1}$  내지  $10^4 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위까지 더 감소된다.
- <68> 이와 같은 발견 전에, 충분히 합체되고 매끄러운 비극성 GaN 박막의 감소된 결합 밀도는 단일 단계 LEO 및 이중 단계 LEO 방법들의 수단을 이용하여 시도된 바 있다. 그러나, 이러한 방법들 모두 충분히 합체된 전위 없는, 재생산 가능한 물질을 얻음에 있어서 시간 및 에너지에 대하여 가장 효과적인 방법으로서 성공하지 못하였다. 이중 단계 LEO는 대부분의 결합들을 감소할 수 있다고 하여도, 많은 양의 시간, 에너지, 및 자원을 필요로 하였다. 통상적인 단일 단계 LEO는, 비록 단순하다고 하더라도(단지 하나의 공정 및 성장 단계들을 포함하여), 대부분의 결합들을 제거할 수 없다.
- <69> 현재의 발견에서는, 이러한 두 가지 방법들의 장점들을 결합하여, 단지 하나의 공정 및 성장 단계를 포함하는 반면, 대부분의 영역들이 결합이 없도록 결합을 감소할 수 있다. 다시 말하면, 이러한 본 발명은 단일 단계 LEO 시도들과 함께 이중 단계 LEO 결과를 가질 수 있다. 이와 같이 동시의 효율적인 결합 감소 및 분극 필드의 제거는 물질을 덮어서 성장한 전자, 광전자, 및 전자기계 소자들에 있어서 획기적인 개선을 제공할 수 있다.
- <70> MOCVD에 의하여 GaN의 측벽 측방향 과성장(sidewall lateral overgrowth, SLEO)과 유사한 이전 발표는 펜데오-에피택시(pendeo-epitaxy)로 알려져있다. 이 기술은 극성 c-면 GaN 성장만을 보여준다. 또한, 공정 및 성장의 관점에서 중요한 차이들이 있다. 예를 들어, 상대적으로 비싼 SiC인 기판은 "준(pseudo)" 마스크로서 사용되며, 이는 성장은 측벽들에서만 성장하고 기판 상에는 성장하지않는 선택적 성장을 의미한다. 결과적으로, 물질은 기판을 향하여 식각되고, 또한 식각 공정은 일정한 깊이까지 기판 내로 계속될 수 있다. 결과적으로, 성장은 열린 윈도우들을 통하여 시작될 수 없다. 따라서, 트렌치들의 저부로부터 수직 성장한 물질이 측벽들의 상부들에 도달하기 전에, 열린 윈도우들을 통하여 측벽들의 상부들을 합체하기 위하여 성장하는 동안 포함되는 변수가 없다. 측방향 성장은 전체 식각된 측벽에서의 핵생성 및 그로부터의 성장을 포함한다. 중요한 초점은 전체 필라의 성장이다.
- <71> 다른 유사한 연구인 트렌치들로부터의 측방향 과성장(lateral overgrowth from trenced, LOFT)은 필라들의 상

부 및 저부에 SiO<sub>2</sub> 마스크를 증착한 후, 측벽들을 노출하여 트렌치들로부터 GaN이 성장하는 것이다. 이것은 단지 극성 c-GaN를 보여준다.

<72> 현재, 벌크 결정들을 얻을 수 없으므로, GaN 박막들은 이중 에피택셜하게 성장하여야 하며, 이러한 성장 공정에서는 완전한 격자 정합 기관들을 구할 수 없다. 결과적으로, 본 발명은 최종적인 단일 에피택셜 성장을 위한 프리 스탠딩(free standing) GaN 기관의 성장을 위한 우수한 기저물질을 제공할 수 있다.

<73> 참조

<74> 이하의 참조들은 본 명세서에 참조로서 인용된다:

<75> 1. Tsvetanka S. Zhelva, Scott A. Smith, et al, "Pendeo-Epitaxy - A new approach for lateral growth GaN structures," MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 4S1, G3.38 (1999).

<76> 2. Y. Chen, R. Schneider, Y. Wang, "Dislocation reduction in GaN thin films via lateral overgrowth from trenches", Appl. Phys. Letters., 75 (14) 2062 (1999).

<77> 3. Kevin Linthicum, Thomas Gehrke, Darren Thomson, et al., "Pendeoepitaxy of gallium nitride films," Appl. Phys. Lett., 75 (2) 196 (1999).

<78> 4. M. D. Craven, S. H. Lim, F. Wu, J. S. Speck, and S. P. DenBaars, "Threading dislocation reduction via laterally overgrown nonpolar (11-20) a-plane GaN," Appl. Phys. Lett., 81 (7) 1201 (2002). 5. Changqing Chen, Jianping Zhang, Jinwei Yang, et al., "A new selective area lateral epitaxy approach for depositing a-plane GaN over r-plane sapphire," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 (2003) pp. L818-820.

<79> 결론

<80> 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 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.

**산업상 이용 가능성**

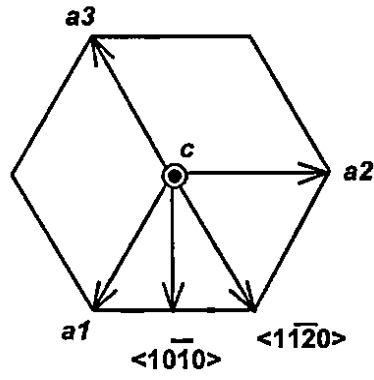
<81> 현재의 발견에서는, 이러한 두 가지 방법들의 장점들을 결합하여, 단지 하나의 공정 및 성장 단계를 포함하는 동안에, 대부분의 영역들이 결합이 없도록 결합이 감소될 수 있도록 허용할 수 있다. 다시 말하면, 이러한 본 발명은 단일 단계 LEO 시도들에 의한 이중 단계 LEO를 가질 수 있다. 동일한 시간에서의 분극 필드의 이러한 효율적인 결합 감소 및 제거는 이러한 물질을 덮어서 이어서 성장하는 전자, 광전자, 및 전자기계 소자들에 있어서 획기적인 개선을 제공할 수 있다. 본 발명에 따라 제조된 물질을 이용하여, 긴 수명 낮은 누설 전류, 효과적인 도핑 및 높은 출력 효율과 같은 소자 개선이 가능하다. 또한, 격자 불일치를 해결하기 위하여 필요한, 두껍고 비극성 및 준극성 질화물 프리 스탠딩 기관은 다양한 방법들에 의하여 우수한 물질을 제조할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

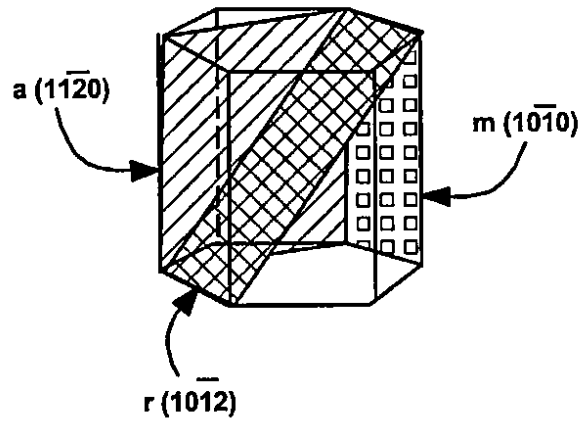
- <18> 참조하는 도면상에서 동일 부호는 전체에 걸쳐 동일한 요소를 지칭한다.
- <19> 도 1(a) 및 도 1(b)는 육방정계 GaN에서 관심있는 결정학적 방향들 및 면들의 개략도이다.
- <20> 도 2(a) 및 도 2(b)는 분극화의 결과 밴드 구부러짐과 및 전자-홀 분리의 개략도이다.
- <21> 도 3은 세 가지 SLEO 공정 단계들 및 재성장의 세 단계를 개략적으로 도시하는 흐름도이다.
- <22> 도 4(a)는 제1 성장단계에서 MOCVD에 의하여 성장한 SLEO 물질의 주사 전자 현미경 사진이고, 도 4(b)는 트렌치 저부들로부터 성장을 차단하는 GaN 필라 측벽들의 상부들로부터 측벽 성장의 제1 단계를 도시한다.
- <23> 도 5(a)는 합체된 SLEO 물질의 주사 전자 현미경 사진이고, 도 5(b)는 합체된 SLEO 물질을 더 도시하는 개략도이다.
- <24> 도 6(a), 도 6(b) 및 도 6(c)는, 원자힘 전자현미경 사진 및 x-선 회절 전체 폭 절반 최대값(Full Width Half Maximum)이고, 평면 비극성 평면, 단일 단계 LEO, 및 SLEO GaN의 각각 비교하여 구현한 박막 품질의 획기적인 개선을 도시한다.

도면

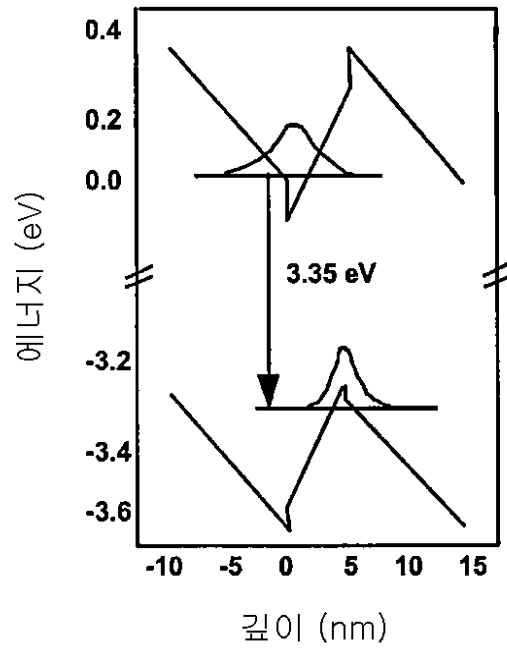
도면1a



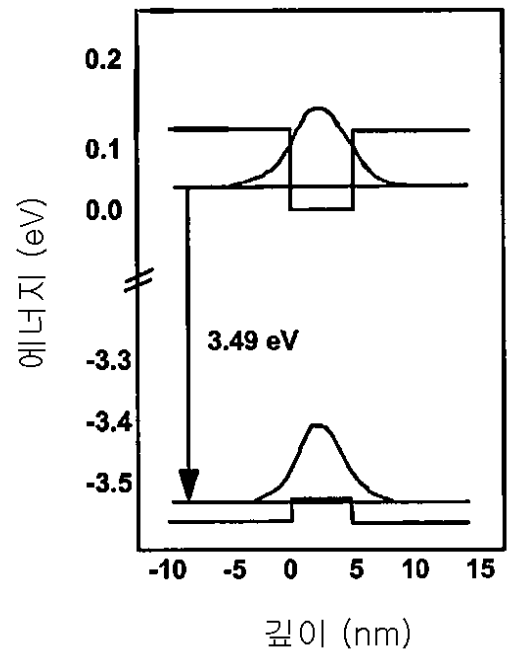
도면1b



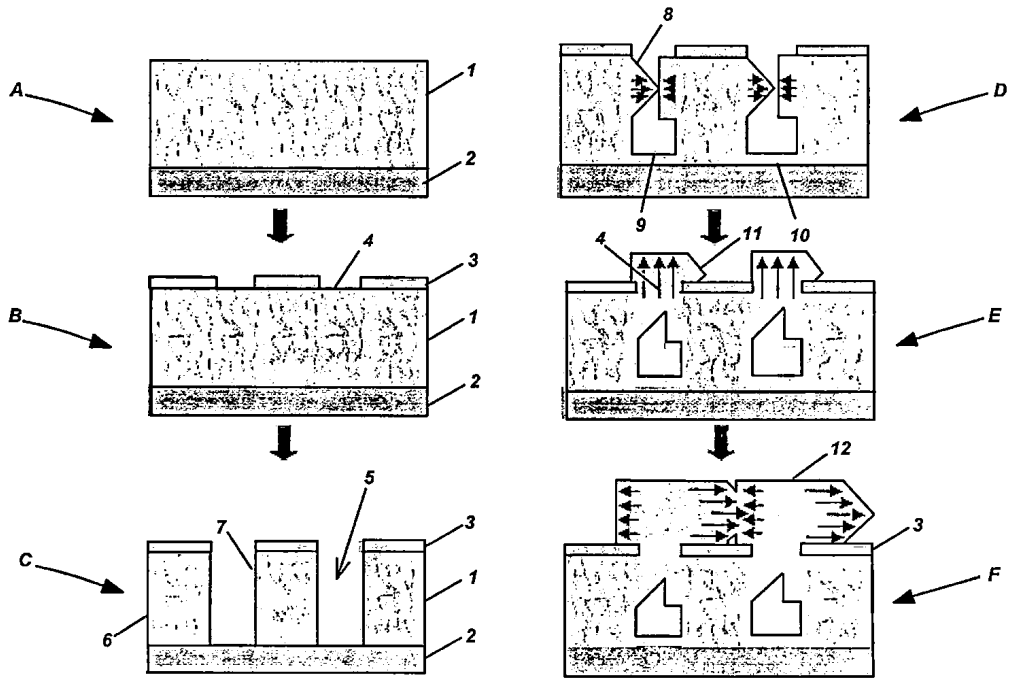
도면2a



도면2b



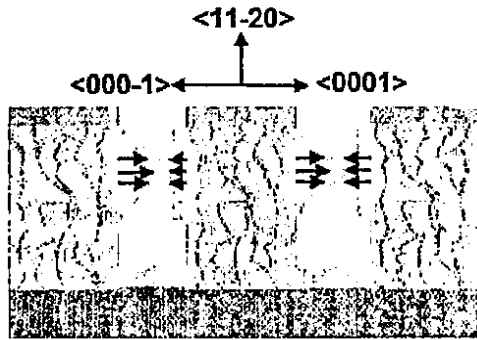
도면3



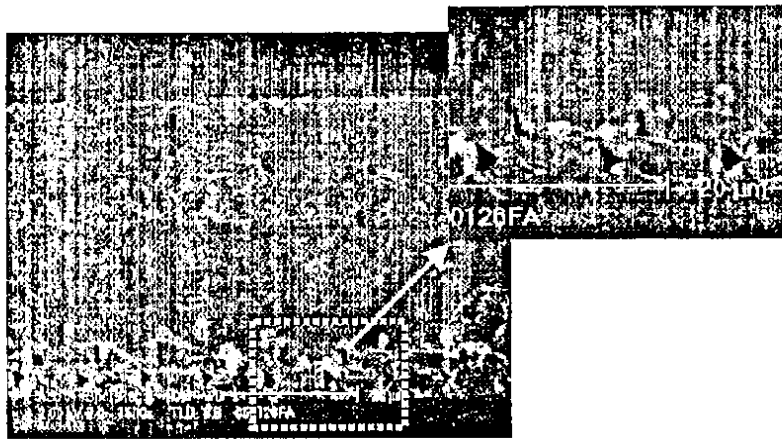
도면4a



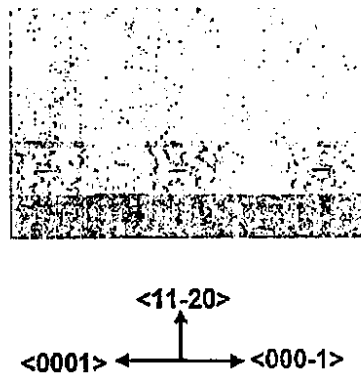
도면4b



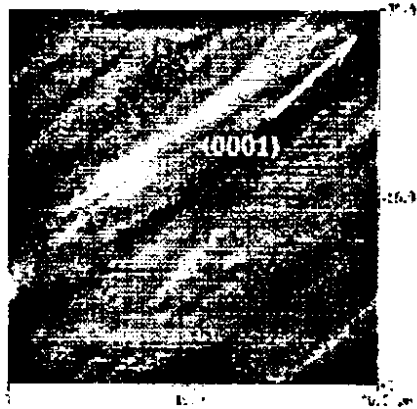
도면5a



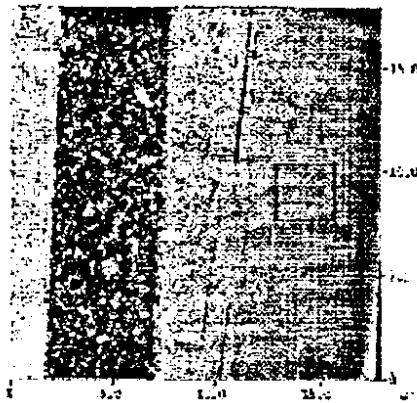
도면5b



도면6a



도면6b



도면6c

