



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2008-0104148  
 (43) 공개일자 2008년12월01일

- |   |   |
|---|---|
| <p>(51) Int. Cl.<br/> <i>C30B 33/06</i> (2006.01) <i>H01L 33/00</i> (2008.05)</p> <p>(21) 출원번호 10-2008-7022396<br/>                 (22) 출원일자 2008년09월12일<br/>                 심사청구일자 없음<br/>                 번역문제출일자 2008년09월12일<br/>                 (86) 국제출원번호 PCT/US2007/004533<br/>                 국제출원일자 2007년02월20일<br/>                 (87) 국제공개번호 WO 2007/098215<br/>                 국제공개일자 2007년08월30일<br/>                 (30) 우선권주장<br/>                 60/774,467 2006년02월17일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인<br/>                 더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아<br/>                 미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층</p> <p>(72) 발명자<br/>                 종 홍<br/>                 미국 캘리포니아 91780 템플 씨티 세레노 드라이브 5205<br/>                 케딩 존 프란시스<br/>                 미국 캘리포니아 94040 마운틴 뷰 보니타 에비뉴 981 아파트먼트 23<br/>                 (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인<br/>                 리엔목특허법인</p> |
|---|---|

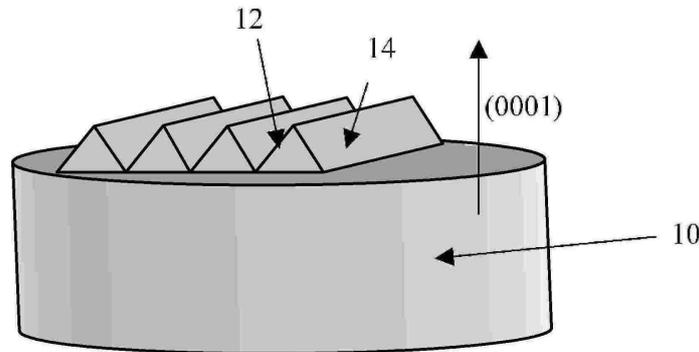
전체 청구항 수 : 총 43 항

**(54) 반극성 (A 1, I n, G a, B)N 광전자 소자들의 성장 방법**

**(57) 요약**

적절한 물질의 경사진 표면 상에 소자의 활성층이 성장하는 단계를 포함하는 광전자 소자의 제조 방법이 개시된다. 상기 경사진 표면은 파셋트된 표면을 포함한다. 본 발명은 상기 파셋트된 표면들을 제조하는 방법을 개시한다. 하나의 제조 공정은 적절한 물질 상에 에피택셜 층을 형성하는 단계, 특정한 결정 방위를 가지는 파셋트들을 형성하기 위하여 마스크를 통하여 에피택셜 층을 식각하는 단계, 및 파셋트들 상에 하나 또는 그 이상의 활성층들을 증착하는 단계를 포함한다. 다른 방법은 파셋트된 표면을 형성하기 위하여 측방향 과성장 기술을 이용하여 물질의 층을 성장시키는 단계, 및 파셋트된 표면들 상에 하나 또는 그 이상의 활성층들을 증착하는 단계를 포함한다. 파셋트된 표면들은 일반적으로 반극성 평면들이다.

**대표도** - 도1



(72) 발명자

**샤르마 라자트**

미국 캘리포니아 93117 골레타 윌로우 스프링스 레  
인 50 아파트먼트 203

**스펙 제임스 스티븐**

미국 캘리포니아 93117 골레타 웨스트 캠퍼스 레인  
947

**덴바스 스티븐 피.**

미국 캘리포니아 93117 골레타 엘더베리 드라이브  
283

**나카무라 슈지**

미국 캘리포니아 93160 산타 바바라 피.오. 박스  
61656

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

(a) 기관 또는 템플레이트(template)의 하나 또는 그 이상의 경사진(oblique) 표면들 또는 파셋트된(faceted) 표면들을 포함하는 소자.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은, 반극성 또는 비극성 평면들인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은,  $\{11\bar{2}2\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{10\bar{1}3\}$ ,  $\{10\bar{1}2\}$ ,  $\{20\bar{2}1\}$ , 또는  $\{10\bar{1}4\}$  평면들을 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은, 상기 기관 또는 상기 템플레이트의 표면 상에 형성되고,

상기 기관 또는 상기 템플레이트는, 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들이 형성되기 전에 c-평면인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은, 상기 기관 또는 상기 템플레이트의 식각되어 경사진 표면들 또는 파셋트된 표면들인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은, 상기 기관 또는 상기 템플레이트의 표면 내의 트렌치들(trench), 그루브들(groove), 또는 피트들(pit)의 측벽들 또는 파셋트들(facet)인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 트렌치들, 상기 그루브들, 또는 상기 피트들은, 10 마이크로미터(micron)보다 크지않은 최대 깊이와 3 내지 10 마이크로미터 범위의 간격(spacing)을 가지는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은, 상기 기관 또는 상기 템플레이트의 에피택셜 측방향 과성장 의 표면들인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

(b) 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들 상에 에피택셜하게 형성되거나, 또는 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들 상에 형성된 하나 또는 그 이상의 에피택셜층 상에 에피택셜하게 형성된 하나 또는 그 이상의 활성층들을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 활성층들 또는 상기 에피택셜 층들은, 동종 에피택셜층 또는 재성장층인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 11**

제 9 항에 있어서,

상기 소자는, 기관, 발광 다이오드(light emitting diode, LED), 레이저 다이오드(laser diode, LD), 전기적 주입 소자(electrically injected device), 상기 활성층들이 발광하는 다른 소자, 고전자 이동도 트랜지스터, 또는 내부 분극장들의 감소 또는 증가된 홀 이동도로부터 이득을 얻는 소자인 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 12**

제 9 항에 있어서,

(c) 하나 또는 그 이상의 n-형 질화물 층들; 및

(d) 하나 또는 그 이상의 p-형 질화물 층들을 더 포함하고,

(e) 상기 활성층들은 발광하고, 질화물계이고, 또한 상기 n-형 질화물 층들 및 상기 p-형 질화물 층들 사이에 위치하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 13**

제 9 항에 있어서,

(c) n-형 도파층(waveguide layer);

(d) p-형 도파층;

(e) 상기 n-형 도파층 상에 위치하거나 또는 그 아래에 위치하는 하나 또는 그 이상의 n-형 층들; 및

(f) 상기 n-형 도파층 상에 위치하거나 또는 그 아래에 위치하는 하나 또는 그 이상의 p-형 층들을 더 포함하고,

(g) 상기 활성층들은 발광하고, 상기 n-형 도파층과 상기 p-형 도파층 사이에 위치하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 14**

제 9 항에 있어서,

상기 활성층들, 상기 기관, 상기 템플레이트, 또는 상기 에피택셜 층들의 적어도 하나는, (Al, Ga, In, B)N계 물질을 포함하거나 또는 (Al, Ga, In, B)N 물질의 성장에 적절한 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 15**

제 9 항에 있어서,

상기 활성층들은, 인듐을 포함하는 다중 양자 우물(multi quantum well, MQW) 층들을 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 16**

제 9 항에 있어서,

상기 에피택셜 층들 또는 상기 템플레이트, 또는 이들 모두는, n-형 물질 또는 p-형 물질을 포함하는 것을 특징

으로 하는 소자.

**청구항 17**

제 9 항에 있어서,

상기 활성층들 상에 하나 또는 그 이상의 n-형 층들 또는 p-형 층들을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 소자.

**청구항 18**

(a) 기판 또는 템플레이트의 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 또는 기울어진(inclined) 파세트들을 형성하는 단계;를 포함하는 하나 또는 그 이상의 결정학적 방위들을 가지는 반도체 소자의 제조 방법

**청구항 19**

제 18 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들은, 반극성 방위 또는 비극성 방위를 가지도록 형성된 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 20**

제 18 항에 있어서,

상기 템플레이트는, (Al,Ga,In,B)N 물질을 포함하거나 또는 질화물 물질의 성장에 적절하거나,

또는 상기 기판은 벌크 알루미늄 질화물 또는 갈륨 질화물이거나,

또는 상기 기판 및 상기 템플레이트 모두는 (Al,Ga,In,B)N 물질을 포함하거나 또는 (Al, Ga, In, B)N 물질의 성장에 적절한 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 21**

제 18 항에 있어서,

상기 템플레이트 또는 상기 기판은, c-평면인 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 22**

제 18 항에 있어서,

상기 템플레이트는, 결함 감소를 위하여 하나 또는 그 이상의 측방향으로 에피택셜하게 과성장한 층들, 소자의 하나 또는 그 이상의 n-도핑된 층들 또는 p-도핑된 층들, 또는 분산된 브래그(Bragg) 반사기를 형성하기 위하여 변화하는 굴절율을 갖는 하나 또는 그 이상의 층들 중에 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 23**

제 18 항에 있어서,

상기 형성하는 단계는, 상기 템플레이트 또는 상기 기판을 식각하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 24**

제 23 항에 있어서,

상기 식각하는 단계는 건식 식각으로 수행되고,

상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들을 위한 더 큰 경사는, 더 큰 정도의 화학적 식각과 더 작은 정도의 물리적 식각에 의하여 구현되는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 25**

제 23 항에 있어서,

상기 식각은, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들인 측벽들을 가지는 피트들, 트렌치들 또는 그루브들을 형성하기 위하여, 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 표면의 하나 또는 그 이상의 영역들을 식각하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 26**

제 23 항에 있어서,

(1) 상기 식각하는 단계는, 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 표면의 하나 또는 그 이상의 영역들을 상기 경사진 표면들의 표면 영역을 결정하는 1 나노미터 내지 10 마이크로미터 범위의 최대 깊이로 식각하는 단계를 포함하고,

(2) 상기 영역은, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 표면들의 경사 각도를 결정하는 3 내지 10 마이크로미터 범위의 폭을 가지는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 27**

제 23 항에 있어서,

상기 식각하는 단계는:

(1) 마스크된 영역들 및 마스크되지 않은 영역들을 생성하기 위하여, 상기 기판 또는 상기 템플레이트 상에 영역을 마스크하는 단계; 및

(2) 상기 마스크되지 않은 영역들을 통하여 상기 기판 또는 상기 템플레이트를 식각하는 단계를 더 포함하고,

상기 마스크된 영역들은 상기 마스크되지 않은 영역들에 비하여 상대적으로 낮은 속도로 식각되는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 28**

제 27 항에 있어서,

상기 마스크된 영역들 또는 상기 마스크되지 않은 영역들은, 나노임프린팅(nanoimprinting)을 이용하여 형성된 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 29**

제 27 항에 있어서,

상기 마스크된 영역들은, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들의 경사 각도를 결정하는 간격을 가지는 스트라이프들(stripe)인 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 30**

제 29 항에 있어서,

상기 간격은, 3 내지 10 마이크로미터의 범위인 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 31**

제 18 항에 있어서,

상기 형성하는 단계는:

(1) 측방향 에피택셜 과성장(lateral epitaxial overgrowth, LEO), 측벽 에피택셜 측방향 과성장(side-wall lateral epitaxial overgrowth, SELO), 또는 캔틸레버 에피택셜 측방향 과성장(cantilevered lateral epitaxial overgrowth, CEL0)을 포함하는 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 에피택셜 측방향 과성장을 수행하는 단계; 및

(2) 인접한 과성장한 스트라이프들이 합체되기 이전에, 상기 에피택셜 측방향 과성장을 종료하는 단계;를 더 포

함하고,

에피택셜 과성장한 하나 또는 그 이상의 표면들은 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들을 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 32**

제 18 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들이, 모두 동일한 방위를 갖는 것은 아닌 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 33**

제 18 항에 있어서,

상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들은, 25도 내지 50도 범위의 경사 각도로 형성되는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 34**

제 18 항에 있어서,

반극성 방위를 가지는 결정학적 파세트들을 형성하는 단계 (a)를 수행한 후에, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들을 어닐링하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 35**

제 18 항에 있어서,

(b) 상기 단계 (a)에서 형성된 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들 상에 하나 또는 그 이상의 에피택셜 층들을 증착하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 36**

제 35 항에 있어서,

상기 증착 단계 (b)는 상기 경사 각도를 원하는 경사 각도로 감소시키므로, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파세트들은, 원하는 정도 보다 큰 경사 각도를 가지도록 형성되는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 37**

제 35 항에 있어서,

상기 에피택셜 층들을 증착하기 위하여, 유기금속 화학기상증착(metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD), 분자빔 에피택시(molecular beam epitaxy), 승화(sublimation), 기상 에피택시(vapor phase epitaxy), 또는 아모노서말 성장(ammonothermal growth)을 이용하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 38**

제 35 항에 있어서,

적어도 상기 제1 에피택셜 층은, 재성장하거나 또는 동종 에피택셜하게 증착된 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 39**

제 35 항에 있어서,

상기 에피택셜 층들은, 하나 또는 그 이상의 n-형 층들, 하나 또는 그 이상의 p-형 층들, 또는 하나 또는 그 이상의 (Al, In, Ga, B)N 층들 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 40**

제 35 항에 있어서,

상기 증착하는 단계 (b)는:

- (1) 수소, 질소 및 암모니아의 유동 하에서 약 1050℃의 상승한 웨이퍼 온도에서 유기금속 화학기상증착(MOCVD)을 이용하여, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파셋트들 상에 n-형 갈륨 질화물(GaN) 층을 재성장시키는 단계;
- (2) 상기 웨이퍼 온도를 약 800℃로 낮추고 재성장한 n-형 GaN 층 상에 하나 또는 그 이상의 발광 (In,Ga)N 층들을 증착하는 단계; 및
- (3) 상기 발광 (In,Ga)N 층들 상에 하나 또는 그 이상의 추가적인 소자 층들을 증착하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 41**

제 35 항에 있어서,

상기 증착 단계 (b)는, 실질적으로 평평한 최종 표면을 가지는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

**청구항 42**

제 18 항의 방법을 이용하여 제조된 소자.

**청구항 43**

제 42 항에 있어서,

상기 소자는, 기관, 발광 다이오드, 레이저 다이오드, 광전지 셀(photovoltaic cell), 고전자 이동도 트랜지스터, 또는 내부 분극장들의 감소 또는 증가된 홀 이동도로부터 이득을 얻는 소자인 것을 특징으로 하는 소자.

**명세서**

**기술분야**

- <1> 본 발명은 반극성 (Al,In,Ga,B)N 광전자 소자들의 성장 방법에 관한 것이다.
- <2> (관계 출원들과의 상호참조)
- <3> 본 출원은 이하의 동시 계류중(co-pending)이고 공동 양도된(commonly-assigned) 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장한다:
- <4> 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 관리(DOCKET)번호 제30794.173-US-P1 (2006-422)호); 상기 출원은 본 명세서의 참조로서 결합된다.
- <5> 본 출원은 하기의 동시 계류중이고 공동 양도된 미국특허출원들과 관련이 있다:
- <6> 라자트 샤마(Rajat Sharma), 폴 패터슨(Paul M. Pattison), 존 카에딩(John Kaeding), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2005년 2월 9일 출원된 미국특허출원 제11/054,271호의 "반도체 발광 소자(SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE)," (대리인 관리번호 제30794.112-US-01 (2004-208)호);
- <7> 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);

- <8> 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);
- <9> 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);
- <10> 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);
- <11> 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 제11/523,286호의 "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);
- <12> 존 카에딩(John Kaeding), 마이클 이자(Michael Iza), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 히토시 사토(Hitoshi Satol), 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 관리번호 제30794.150-US-P1 (2006-126)호)의 미국특허출원의 미국법 제35호(특허법)제119조(e)에 의거한 이익을 주장하는, 존 카에딩(John Kaeding), 동선 리(Dong-Seon Lee), 마이클 이자

(Michael Iza), 트로이 베이커(Troy J. Baker), 히토시 사토(Hitoshi Satol), 벤자민 하스켈(Benjamin A. Haskell), 제임스 스펙(James S. Speck), 스티븐 덴바스(Steven P. DenBaars) 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2007년 1월 19일 출원된 미국특허출원 제11/655,573호의 "반극성 (Al,In,Ga,B)N의 개선된 성장 방법(METHOD FOR IMPROVED GROWTH OF SEMIPOLAR (Al,In,Ga,B)N),"(대리인 관리번호 제30794.150-US-U1 (2006-126)호);

- <13> 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 제11/655,572호의 "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);
- <14> 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 제30794.166-US-P1 (2006-285)호);
- <15> 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);
- <16> 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 재성장기에 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);
- <17> 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 고 품질 N-면 갈륨 질화물, 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);
- <18> 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
- <19> 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);
- <20> 상기 출원들은 모두 본 명세서에서 참조로서 결합된다.

<21> (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.)

**배경 기술**

<22> 갈륨 질화물(GaN)과 알루미늄 및 인듐과 결합된 그의 삼원계 및 사원계 화합물들(AlGa<sub>n</sub>, InGa<sub>n</sub>, AlInGa<sub>n</sub>)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.

<23> 갈륨 질화물(GaN) 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.

<24> 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.

<25> 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 평면들

의 이와 같은 두 가지 군들은 총합하여 a-평면들로 알려진  $\{11\bar{2}0\}$  군 및 총합하여 m-평면들로 알려진  $\{1\bar{1}00\}$  군이다. 불행히도, 본 발명의 양수인인 산타바바라 소재의 캘리포니아 대학의 연구자들에 의하여 발전되었지만, 비극성 질화물들의 성장은 아직 도전이 남아있고, III족-질화물 산업에서 광범위하게 적용되지는 않는다.

<26> 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 이중 에피택시의 반극성 평면들의 공통으로 관찰된 예들의 일부는 피트들(pit)의 파세트들(facet)에서 발견되는  $\{11\bar{2}2\}$ ,

$\{10\bar{1}1\}$ , 및  $\{10\bar{1}3\}$  평면들을 포함한다. 또한, 이러한 평면들은 산타 바바라 소재의 캘리포니아 대학의 발명자들이 평면 막들의 형태로 성장시킨 평면들과 동일할 수 있다. 상기 섬유아연석 결정 구조 내의 반극성 평면들의 다른 예들은  $\{10\bar{1}2\}$ ,  $\{20\bar{2}1\}$ , 및  $\{10\bar{1}4\}$  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  $\{11\bar{2}2\}$  및  $\{10\bar{1}3\}$  평면들은 각각 상기 c-평면에 대하여 58.43° 및 32.06° 로 경사진다. 주어진 반극성 평면 및 c-평면 사이의 내부 평면 각도들은 하기의 표 1에 나타난다.

**표 1**

<27> c-평면에 대한 반극성 평면들의 각도들

준극성 평면	10-12	10-14	10-13	11-24	10-12
c-평면에 대하여 기울어진 각도	18.76°	25.16°	32.06°	39.14°	43.22°
준극성 평면	11-23	11-22	10-11	11-21	10-1-2
c-평면에 대하여 기울어진 각도	47.33°	58.43°	61.98°	72.92°	74.80°

<28> 자발 분극에 추가하여, 질화물들에 존재하는 분극의 제2 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 질화물(GaN)과의 격자 정합에 기인하여, 갈륨 질화물 템플릿(template) 상의 얇은 알루미늄 갈륨 질화물(AlGaIn) 층은 평면 내의(in-plane) 인장 스트레인을 가지고, 갈륨 질화물 템플릿 상의 얇은 인듐 갈륨 질화물(InGaIn) 층은 평면 내의 압축 스트레인을 가진다. 따라서, 갈륨 질화물 상의 인듐 갈륨 질화물 원자 우물에 대하여, 압전 분극은 인듐 갈륨 질화물 및 갈륨 질화물의 자발 분극과는 반대 방향을 향하게 된다. 갈륨 질화물에 대하여 격자 정합된 알루미늄 갈륨 질화물 층의 경우에는, 압전 분극은 알루미늄 갈륨 질화물 및 갈륨 질화물의 자발 분극과 동일한 방향을 향하게 된다.

<29> c-평면 질화물들을 덮는 반극성 평면들의 사용은 전체 분극이 감소되는 이득이 있다. 특정의 평면들 상의 특정의 합금 조성들에 대하여 심지어는 분극이 0이될 수 있다. 이와 같은 시나리오는 과학 논문에 상세하게 설명되어 있다 [4,5]. 중요한 것은 c-평면 질화물 구조들과 비교하여 분극이 감소된 것이다.

<30> 반극성 갈륨 질화물 평면들은 패터닝된 c-평면 방위의 스트라이프들의 측면들 상에 나타났다. 니시즈카 등 (Nishizuka et al.)은 이러한 기술을 이용하여  $\{11\bar{2}2\}$  인듐 갈륨 질화물(InGaIn) 양자 우물들을 성장시켰다 [1]. 또한, 그들은 반극성 평면  $\{11-22\}$ 의 내부 양자 효율이 c-평면에 비하여 높은 것을 발견하였고, 이는 감소된 분극 때문이다. 니시즈카 등의 방법은 마스크 물질의 스트라이프들을 패터닝하는 단계를 포함하며, 종종 갈륨 질화물에 대하여는 실리콘 산화물(SiO<sub>2</sub>)이다. 상기 갈륨 질화물은 마스크 사이의 열린 윈도우들로부터 성장하고, 상기 마스크를 덮도록 성장한다. 연속된 막을 형성하기 위하여, 상기 갈륨 질화물은 측방향 성장에 의하여 합체된다. 이러한 스트라이프들의 파세트들은 성장 파라미터들에 의하여 제어될 수 있다. 상기 스트라이프들이 합체되기 전에 상기 성장이 중단되면, 반극성 평면의 작은 영역이 노출될 수 있다. 상기 반극성 평면은 상기 기판 표면에 대하여 일정한 정도로 기울어질 수 있다. 예를 들어, 니시즈카 등은 c-평면에 대하여 58.43°의 각도를 가지는 갈륨 질화물 평면을 성장시켰고, 상기 갈륨 질화물 평면의 최상면에 인듐 갈륨 질화물 양자 우물들을 가진다 [2].

<31> 니시즈카의 방법이 높은 결정 품질의 반극성 방위된 파세트들을 제공한다고 하여도, 극성  $\{0001\}$  방위 또는 비극성  $\{11\bar{2}0\}$  방위를 가지는 넓은 영역을 포함하는 다중 결정 파세트들을 형성한다. 더욱 중요하게는, 상기 반극성 방위된 파세트의 영역은 다소 작고 불연속적이고, 이에 따라 상기 반극성 방위된 파세트들 상에 전기적으로 주입된 광전자 소자들의 성장 및 제조가 거의 불가능하다.

<32> 산타바바라 소재 캘리포니아 대학의 우리의 연구자들은 기판 표면에 대하여 평행한 넓은 영역의 (Al, In, Ga, B)N 을 가지고 전기적으로 주입된 광전자 소자들의 사용에 적절한 평면 반극성 질화물 막들을 제조하는 노력을 계속하고 있다. 우리의 연구 그룹은, m-평면 사파이어 기판 상에 이중 에피택셜하게 증착된 HVPE를 이용하여 성장한 20 μm 두께의  $\{10\bar{1}3\}$  갈륨 질화물 템플릿(template)를 통하여, 반극성 인듐 갈륨 질화물/갈륨 질화물 다중 양자 우물(multiple quantum well, MQW) 발광 다이오드들(LED)을 성공적으로 성장시켰다 [3]. c-평면 질화물 소자들과 비교하여, 우리의 반극성 발광 다이오드들은 구동 전류의 증가와 함께 전기장 발광(electroluminescence)의 최대 파장의 제한된 청색 변위를 보이며, 이에 따라 QCSE의 현저한 감소를 나타낸다. QCSE의 감소는 이론적으로 높은 내부 양자 효율을 야기한다. 그럼에도 불구하고, 현재의 반극성 방위된 LED들의 출력은 다소 낮으며, 즉, 20 mA의 구동 전류에서 상기 출력은 120 μW, 및 최대 출력은 단지 250 μW이다. 이에 비교하여, c-평면 질화물 LED들은 밀리วัต트(milliwatt, mW) 범위의 출력이다.

<33> 반극성 질화물 LED의 더 낮은 출력은 다소 낮은 결정 품질에 의한 비방사성(non-radiative) 재결합 중심들의 높은 밀도에 기인할 수 있다. 질화물 반도체의 성장이 이중 에피택셜이므로, 질화물 반도체 층들과 기판 물질의 격자 상수들 사이의 큰 차이가 비방사성 재결합 중심들로 기능하는 많은 전위들을 발생시킨다. 더 좋은 품질의

반극성 질화물 반도체 층들을 얻기 위하여, 성장 조건들, 방법들, 및 기술의 더 적절한 최적화가 요구된다.

<34> 정리하면, 현재의 기술들을 이용하여 고품질이고 반극성 방위의 전기적으로 주입된 질화물 광전자 소자들(또는 반극성 소자들로 지칭됨)을 성장시키고 제조하는 것은 다소 어려우며, c-방위의 경쟁자들의 성능과 비교하여 이러한 소자들을 만들기 위한 많은 연구가 필요할 것이다. 본 명세서에 개시된 본 발명의 목적은 현재의 첨단 c-방위 (Al, Ga, In, 또는 B) 질화물 성장, 식각, 및 에피택셜 측방향 과성장(ELO) 기술들을 통하여 고품질의 반극성 소자들을 동종 에피택셜하게 제조하는 것이다.

**발명의 상세한 설명**

<35> 본 발명은, 기판 또는 템플레이트의 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 또는 파셋트된 표면들을 포함하는 소자를 개시한다. 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은 상기 기판 또는 상기 템플레이트 상에 형성될 수 있고, 상기 기판 또는 상기 템플레이트는 c-평면이다. 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은 반극성 평면들 또는 비극성 평면들일 수 있고, 예를 들어,  $\{11\bar{2}2\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{10\bar{1}3\}$ ,  $\{10\bar{1}2\}$ ,  $\{20\bar{2}1\}$ , 또는  $\{10\bar{1}4\}$  평면들일 수 있다. 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 식각되어 경사진 표면들 또는 파셋트된 표면들일 수 있고, 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은 상기 템플레이트 또는 기판의 표면 내의 트렌치들, 그루브들, 또는 피트들의 측벽들 또는 파셋트들일 수 있다. 상기 트렌치들, 상기 그루브들, 또는 상기 피트들은 10 마이크로미터(micron)보다 크지 않은 최대 깊이와 3 내지 10 마이크로미터 범위의 간격(spacing)을 가질 수 있다. 또는, 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들은 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 에피택셜 측방향 과성장들의 표면들일 수 있다.

<36> 하나 또는 그 이상의 활성층들은 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들 상에 에피택셜하게 형성되거나, 또는 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들 상에 형성된 하나 또는 그 이상의 에피택셜층 상에 에피택셜하게 형성될 수 있다. 상기 활성층들 또는 상기 에피택셜 층들은 상기 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 상에 동종 에피택셜하게 형성되거나 또는 재성장될 수 있다. 상기 소자는 n-형 질화물 층, p-형 질화물 층 및 상기 n-형 질화물 층과 상기 p-형 질화물 층 사이의 활성층들을 포함할 수 있고, 상기 활성층들은 발광하고, 질화물계이다. 또는, 상기 소자는 n-형 도파층, p-형 도파층, 상기 n-형 도파층과 상기 p-형 도파층 사이의 발광하는 활성층들, 상기 n-형 도파층 상에 위치하거나 또는 그 아래에 위치하는 하나 또는 그 이상의 n-형 질화물 층들, 및 상기 n-형 도파층 상에 위치하거나 또는 그 아래에 위치하는 하나 또는 그 이상의 p-형 질화물 층들을 포함할 수 있다.

<37> 상기 활성층들, 상기 기판, 상기 템플레이트, 또는 상기 에피택셜 층들 중에 적어도 하나는 (Al, Ga, In)N계 물질을 포함할 수 있다. 상기 활성층들은 인듐을 포함하는 다중 양자 우물층들(MQW)을 포함할 수 있다. 하나 또는 그 이상의 p-형 층들은 상기 활성층들 상에 위치하거나 또는 그 아래에 위치하는 상기 경사진 표면들 상에 형성될 수 있거나, 또는 상기 에피택셜 층들 또는 상기 템플레이트는 n-형 또는 p-형 물질을 포함할 수 있다.

<38> 또한, 본 발명은 하나 또는 그 이상의 결정학적 방위들을 가지는 반도체 소자의 제조 방법을 개시하고, 상기 방법은 기판 또는 템플레이트의 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 또는 기울어진 파셋트들을 형성하는 단계를 포함한다. 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파셋트들은 반극성 또는 비극성 방위를 가질 수 있다.

<39> 상기 템플레이트는 (Al,Ga,In,B)N 물질을 포함할 수 있고, 또는 상기 기판은 벌크 알루미늄 질화물 또는 갈륨 질화물을 포함할 수 있고, 또는 상기 기판 및 상기 템플레이트 모두는 (Al,Ga,In,B)N 물질을 포함할 수 있다. 상기 템플레이트 또는 상기 기판은 c-평면일 수 있다. 상기 템플레이트는, 결함 감소를 위하여 하나 또는 그 이상의 측방향으로 에피택셜하게 과성장한 층들, 소자의 하나 또는 그 이상의 n-도핑된 층들 또는 p-도핑된 층들, 또는 분산된 브래그(Bragg) 반사기를 형성하기 위하여 변화하는 굴절율을 갖는 하나 또는 그 이상의 층들 중에 적어도 하나를 포함할 수 있다.

<40> 상기 형성하는 단계는, 상기 템플레이트 또는 상기 기판을 식각하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 식각하는 단계는 건식 식각으로 수행될 수 있고, 상기 경사진 표면들을 위한 더 큰 경사는 더 큰 정도의 화학적 식각과 더 작은 정도의 물리적 식각에 의하여 구현될 수 있다. 상기 식각은 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파셋트들인 측벽들을 가지는 피트들, 트렌치들 또는 그루브들을 형성하기 위하여, 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 표면의 하나 또는 그 이상의 영역들을 식각하는 단계를 포함할 수 있다.

<41> 상기 식각하는 단계는, 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 표면의 하나 또는 그 이상의 영역들을 상기 경사진

표면들의 표면 영역을 결정하는 1 나노미터 내지 10 마이크로미터 범위의 최대 깊이로 식각하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 영역의 폭은 2 내지 10 마이크로미터 범위의 폭이고, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 표면들의 경사 각도를 결정한다.

- <42> 상기 식각하는 단계는, 마스크된 영역들 및 마스크되지 않은 영역들을 생성하기 위하여, 상기 기판 또는 상기 템플레이트 상에 영역을 마스크하는 단계와 상기 마스크되지 않은 영역들을 식각하는 단계를 더 포함하고, 상기 마스크된 영역들은 상기 마스크되지 않은 영역들에 비하여 상대적으로 낮은 속도로 식각된다. 상기 마스크된 영역들 및 상기 마스크되지 않은 영역들은 나노임프린팅을 이용하여 형성될 수 있다. 상기 마스크된 영역들은 상기 경사진 표면들의 경사 각도를 결정하는 간격을 가지는 스트라이프들일 수 있고, 상기 간격은 3 내지 10 마이크로미터의 범위일 수 있다.
- <43> 상기 형성하는 단계는, 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 에피택셜 측방향 과성장을 수행하는 단계와 인접한 과성장 스트라이프들의 합체 이전에 상기 에피택셜 측방향 과 성장을 종료하는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 에피택셜 과성장의 하나 또는 그 이상의 표면들은 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 과세트들을 포함할 수 있다.
- <44> 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 과세트들이 모두 동일한 방위를 가지지 않을 수 있다. 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 과세트들은 25도 내지 50도 범위의 경사 각도를 가지며 형성할 수 있다.
- <45> 상기 방법은, 반극성 방위를 가지는 결정학적 과세트들을 생성하기 위하여, 상기 경사진 표면들을 형성한 후에 상기 경사진 표면들을 어닐링하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- <46> 상기 방법은, 상기 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 상에 하나 또는 그 이상의 에피택셜 층들을 증착하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 증착 단계는, 상기 경사 각도를 원하는 경사 각도로 감소시키므로, 상기 경사진 표면들은 원하는 정도 이상의 경사 각도를 가지도록 형성될 수 있다. 상기 에피택셜 층들을 증착하기 위하여 유기금속 화학기상증착, 분자빔 에피택시, 승화, 기상 에피택시, 또는 아모노서말 성장을 이용할 수 있다.
- <47> 본 발명의 방법에 따라서, 적어도 상기 제1 에피택셜 층은 재성장하거나 또는 동종 에피택셜하게 증착될 수 있다. 상기 에피택셜 층들은 n-형 층, p-형 층, 발광층, 활성층, 또는 (Al,In,Ga,B)N 층 중 적어도 하나를 가질 수 있다.
- <48> 상기 증착 단계는, 수소, 질소 및 암모니아의 유동 하에서 약 1050°C의 상승한 웨이퍼 온도에서 유기금속 화학 기상증착을 이용하여 상기 경사진 표면들 상에 n-형 갈륨 질화물(GaN) 층을 재성장시키는 단계, 상기 웨이퍼 온도를 약 800°C를 낮추고 재성장한 n-형 질화물 층 상에 하나 또는 그 이상의 발광 (In,Ga)N 층들을 증착하는 단계, 및 상기 발광 (In,Ga)N 층들 상에 하나 또는 그 이상의 소자 층들을 더 증착하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- <49> 상기 증착 단계는 실질적으로 평평한 최종 표면을 가질 수 있다. 본 발명의 방법은, 기판 또는 소자, 예를 들어 기판, 발광 다이오드, 레이저 다이오드, 광전지 셀, 고전자 이동도 트랜지스터, 또는 내부 분극장들의 감소 또는 증가된 홀 이동도로부터 이득을 얻는 소자를 제조하기 위하여 사용할 수 있다.

**실시예**

- <70> 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.
- <71> **개관**
- <72> 본 발명은, 고효율 (Al,In,Ga)N 계 광전자 소자들의 성장을 위한 새로운 방법을 개시하고, 활성영역을 포함하지 않거나 이에 한정되는 않는 소자 구조의 하나 또는 그 이상의 층들은 반극성 방위를 가지도록 설명될 수 있다. 상기 방법은, 소자 품질의 질화물 반도체 박막 템플레이트(template) 층들을 이용하며, 상기 층들은 c-평면 또는 a-평면 사파이어 기판 상에 성장된 c-평면 갈륨 질화물을 포함할 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 이러한 층들 및 후속의 소자 층들은 MOCVD, MBE 또는 HVPE를 포함하는 기술들을 통하여 성장할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 다른 식각 기술들의 사용은 소자 구조 재성장을 위하여 c-평면 갈륨 질화물 막들 상에 반극성 방위된 과세트들을 생성한다. 이에 따라, 감소된 분극 야기 내부 전기 장들 및 높은 p-형 도핑 효율과 같은 반극성 질화물 방위들의 고유한 잇점을 유지하고, 통상적인 평면 반극성 막들과 비교하면 표면 거칠

기의 작은 증가에 대하여, 매우 감소된 결합 밀도와 같은 소자 층 특성들과 공통적인 성장 파라미터들을 사용하는 능력을 개선한다. 이러한 특성들은 반극성 질화물 층들로 형성된 반도체 소자들에게 바람직하다.

<73> 또한, 식각 조건들을 변화시켜, 원하는 반극성 방위에 상응하도록 경사 각도들을 변화하면서 갈륨 질화물 파세트들을 형성할 수 있으므로, (Al,In,Ga)N 템플레이트들 상의 반극성 (Al,In,Ga)N 평면들(c-평면 갈륨 질화물을 포함하지만 한정되는 것은 아님)을 형성하기 위하여 식각을 사용하는 것은, 기판 물질에 무관하게 소자 성장을 위한 반극성 갈륨 질화물 평면을 선택할 수 있다.

<74> 측방향 에피택셜 과성장은 c-평면, a-평면, 또는 m-평면 방위된 (Al,In,Ga,B)N 템플레이트들로부터 반극성 방위된 파세트들의 형성에 대한 다른 시도이다. c-평면 사파이어 기판, 실리콘 탄화물(SiC) 기판, 또는 (Al,In,Ga)N 템플레이트 상에 실리콘 산화물(SiO<sub>2</sub>) 또는 실리콘 질화물(SiN)과 같은 선택적인 마스크 물질들 먼저 패터닝하여, 적절한 성장 조건들을 이용하여 반극성 파세트들을 성장시킬 수 있다 [1,2].

<75> 기술적 설명

<76> 본 발명은 고품질(즉, 낮은 결합 밀도 및 높은 내부 양자 효율) 발광 소자들을 제조하는 방법을 개시한다. 상술한 바와 같이, 반극성 방위된 평면은 상기 c-평면에 대하여 경사진 각도를 가진다. 본 발명은 후속의 소자 재성장을 위하여 c-평면 갈륨 질화물 템플레이트 상에 원하는 반극성 평면에 상응하여 동일한 경사 각도를 가지는 파세트들을 생성하기 위하여, 식각 또는 ELO와 같은 특정한 기술들을 사용한다. 이어서, 이러한 파세트들 상에 성장한 소자들은 반극성 방위되어야 하고, 높은 내부 양자 효율과 같은 반극성 방위된 소자들의 모든 잇점들을 가질 수 있어야 한다. 또한, 이러한 소자들의 결합 밀도는 동종 에피택셜 성장에 의하여 낮아야 한다.

<77> 에피택셜 층들은 {0001} 사파이어 기판 상에 일반적으로 증착된다. 그러나, 이러한 결과들을 달성하기 위하여 다른 기판 물질들 또는 결정 방위들이 또한 사용될 수 있다. 본 명세서에 개시된 에피택셜 성장은 MOCVD 기술에 의하여 수행될 수 있다. 동일한 목적들을 달성하기 위하여 MBE와 같은 에피택셜 성장 기술들도 또한 사용될 수 있다. 건식 식각 기술 또는 ELO 기술은 발광층의 재성장 이전에 원하는 표면 무늬(surface texture)를 형성하기 위하여 사용될 수 있다. 그러나, 동일한 표면 무늬를 형성하기 위하여 다른 기술들이 또한 사용될 수 있다. 특정한 무늬 패턴 및 깊이는 하기에 더욱 상세하게 개시되어 있다. 그러나, 이러한 파라미터들 값들의 범위가 사용될 수 있다.

<78> 도 1은 표면 무늬(surface texturing)를 형성한 후의 소자 성장 또는 재성장을 위한 대표적인 파세트되거나 경사진 표면을 3차원으로 개략적으로 도시하며, c-평면 (0001) n-형 갈륨 질화물 템플레이트 층(10)(또는 c-평면 (0001) 사파이어 기판) 및 반극성 방위된 갈륨 질화물 파세트들(12, 14)를 포함한다. 상기 파세트들(12, 14)은 예를 들어, 상기 기판(10) 내의 트렌치들, 그루브들 또는 피트들의 측벽들을 포함한다. 이와 같이 반극성 방위로 파세트된 스트라이프들은 상기 템플레이트 또는 기판 상의 재성장을 위하여 적절한 모든 방향을 따라서 형성될 수 있다. 이러한 파세트들을 형성하기 위하여, 건식 식각 또는 ELO를 사용할 수 있다.

<79> 도 2 및 도 3은 건식 식각 기술을 사용하여 도 1에 개시된 결과를 형성하는 단계를 포함하는 공정단계들을 개략적으로 도시한다. 도 2는 사파이어 기판(16), 갈륨 질화물 템플레이트 층(18), 및 n-형 갈륨 질화물 층(20)을 도시한다. 도 3은 사파이어 기판(16), 갈륨 질화물 층(18), n-형 갈륨 질화물 층(20) 및 건식 식각에 의하여 상기 갈륨 질화물 층(20) 상에 형성된 반극성 방위된 파세트들, 경사진 표면들 또는 기울어진 파세트들(12, 14)을 도시한다. 도 4는 도 3의 상기 파세트된 표면 상에 에피택셜 층(22)을 증착한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.

<80> 도 5 및 도 6은 MOCVD를 이용하여 소자 재성장을 수행한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다. 도 5는 사파이어 기판(16), 갈륨 질화물 템플레이트 층(18), n-형 갈륨 질화물 층(20), 이러한 반극성 방위된 파세트들 상에 성장된 발광층(또는 활성층들)(22), 및 재성장층(24)을 형성한 후에 가능한 파세트된 표면을 도시한다. 도 6은 사파이어 기판(16), 갈륨 질화물 템플레이트 층(18), n-형 갈륨 질화물 층(20), 이러한 반극성 방위된 파세트들 상에 성장된 발광층(22), 및 재성장층(26)을 형성한 후의 가능한 파세트된 표면을 도시한다.

<81> 도 7 및 도 8은 ELO 기술을 이용하여 도 1에 도시된 결과는 형성하는 단계를 포함하는 공정단계들을 개략적으로 도시한다. 도 7은 사파이어 기판(16), 갈륨 질화물 템플레이트 층(28), 및 패터닝된 SiO<sub>2</sub> 또는 SiN 스트라이프들(30)을 도시한다(이러한 스트라이프들은 상기 c-평면 사파이어 기판 상에 또한 패터닝될 수 있음). 도 8은 MOCVD를 이용하여 ELO 재성장을 수행한 후에 형성된 기판(16), 갈륨 질화물 층(28), 패터닝된 SiO<sub>2</sub> 또는 SiN 스트라이프들(30), 및 파세트들(32)을 도시한다. 이러한 재성장을 수행하기 위하여 HVPE 및 MBE가 또한 사용될 수

있다.

- <82> 도 9 및 도 10은 MOCVD를 이용하여 소자 재성장을 수행한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다. 도 9는 사파이어 기판(16), 갈륨 질화물 층(28), 패턴된 SiO<sub>2</sub> 또는 SiN 스트라이프들(30), ELO에 의하여 형성된 파셋트들(32), 상기 반극성 방위된 파셋트들(32) 상에 성장된 발광층(34), 및 재성장층(36)을 형성한 후의 가능한 파셋트된 표면을 도시한다. 도 10은 사파이어 기판(16), 갈륨 질화물 층(28), 패턴된 SiO<sub>2</sub> 또는 SiN 스트라이프들(30), ELO에 의하여 형성된 파셋트들(32), 상기 반극성 방위된 파셋트들 상에 성장된 발광층(34), 및 재성장층(38)을 형성한 후의 가능한 평면 표면을 도시한다.
- <83> 따라서, 도 1 내지 도 10은 기판(10) 또는 템플레이트(18,20)의 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 또는 파셋트된 표면들(12,14,32) (상기 템플레이트는 추가적인 층들(18), 예를 들어, n-형 또는 p-형 층들을 포함할 수 있음), 및 상기 경사진 표면들 또는 상기 파셋트된 표면들(12,14,32) 상에 에피택셜하게 형성된 하나 또는 그 이상의 활성층들(22,34)을 포함하는 소자의 일부 예들을 도시한다. 추가적인 에피택셜 층들은 상기 경사진 표면들(12,14) 및 상기 활성층들(22,34) 사이에 형성될 수 있다. 상기 에피택셜 층들 또는 활성층들의 일부 예들은 동종 에피택셜 층들, 성장층들, 재성장층들, 이종 에피택셜 층들, n-형 또는 p-형 물질, 또는 (Al,Ga,In,B)N 계 층들을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 에피택셜 층들, 예를 들어, (Al, Ga, In, B)N 층들, n-형 또는 p-형 층들은 상기 활성층들 상에 형성될 수 있다. 따라서, 상기 기판 또는 상기 템플레이트 상의 경사지거나 또는 파셋트된 표면들은 에피택셜 층들의 후속의 증착을 위한 기판으로서 기능한다.
- <84> 본 발명의 중요성은, 상기 반극성 방위된 파셋트들 상에 질화물계 발광층들을 성장시켜, 이러한 층들의 결정학적 방향은 반극성이고, 또한, 이러한 층들의 성장은 동종 에피택셜이며, 이에 따라 상기 발광층들은 매우 낮은 결함 밀도를 가지는 것이다.
- <85> 공정 단계들
- <86> 도 11은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라, 상기 발광 소자를 형성하는 건식 식각 기술을 포함하는 일반적인 성장 및 제조 순서를 도시하는 흐름도이다. 온도들, 가스 유동 속도들, 및 공정단계의 횟수들이 사용된 반응기에 대하여 특정되었으나, 이는 단지 참조로서 개시된 것임에 유의하여야 한다. 다른 온도들, 가스 유동 속도들, 및 공정단계의 횟수들이 본 발명의 범위에 벗어남이 없이 사용될 수 있다.
- <87> 1. 블록 40에 있어서, 반응기 챔버로 산소가 인입되는 것을 방지하기 위하여, 비워지고 질소 가스로 다시 채워지는 보조 챔버(antechamber)를 통하여, 상기 MOCVD 반응기 내로 c-평면 사파이어 기판이 장입된다.
- <88> 2. 블록 42에 있어서, 수소(H<sub>2</sub>) 및 질소(N<sub>2</sub>) 가스의 혼합물이 상기 반응기 챔버를 통하여 유동하고, 히터의 온도는 추정되는 웨이퍼 표면 온도를 1075℃까지 증가시키며(측정된 열전대의 온도는 925℃임), 상기 사파이어 기판을 예비처리하기 위하여 약 10분간 유지한다.
- <89> 3. 블록 44에 있어서, 상기 온도를 감소시켜 추정되는 웨이퍼 표면 온도를 570℃로 감소시키고(측정된 열전대의 온도는 470℃임), 암모니아(NH<sub>3</sub>) 가스를 수소 및 질소 가스들에 추가하여 상기 반응기 챔버 내에 인입한다. 상기 온도가 안정되면, 트리메틸갈륨(tri-methyl gallium, TMG)의 작은 유동이 상기 반응기 챔버 내로 주입되고, 얇고 대부분 비결정인 갈륨 질화물의 "핵생성"층이 상기 기판 상에 증착된다.
- <90> 4. 블록 46에 있어서, 상기 TMG 유동이 중단되고, 상기 온도는 제어된 속도로 증가되어 추정되는 웨이퍼 표면 온도를 1050℃까지 증가시킨다(측정된 열전대의 온도는 900℃임). 상기 온도가 안정되면, 상기 TMG의 유동은 다시 재개된다. 이에 따라, 갈륨 질화물의 비의도적으로 도핑된(unintentionally doped, UID) 템플레이트 층의 성장이 시작되어, 상기 기판 상에 약 2 내지 10 mm의 갈륨 질화물이 증착될 때까지 계속된다.
- <91> 5. 블록 48에 있어서, 이때에 n-형 전도성 갈륨 질화물을 얻기 위하여, 실란(silane, SiH<sub>4</sub>) 가스의 작은 유동이 상기 반응기 내로 주입된 가스 흐름 내로 인입된다. 상기 성장이 1 마이크로미터 두께의 n-형 전도성 갈륨 질화물 층이 상기 템플레이트 층 상에 증착될 때까지 계속된다.
- <92> 6. 블록 50에 있어서, 상기 TMG 및 상기 SiH<sub>4</sub>의 유동이 종료되어 상기 증착이 중단되고, 상기 온도는 실온까지 냉각된다. 증착된 갈륨 질화물 막의 열화를 방지하기 위하여, 상기 냉각 동안에 NH<sub>3</sub>의 유동이 계속된다. 이어서, 상기 샘플이 상기 반응기로부터 제거된다.
- <93> 7. 블록 52에 있어서, 적절한 표면 준비를 수행한 후에 적절한 포토레지스트가 상기 샘플 상에 도포되고, 이어

서 적절한 포토리소그래피 방법을 이용하고 이와 같이 특정한 목적을 위하여 설계된 마스크를 이용하여, 상기 포토레지스트 상에 원하는 패턴이 전이된다. 다른 마스크들이 다른 파셋트 경사 각도들을 가지도록 설계될 수 있다. 본 실시예에 있어서 경사진 각도들은 25° 내지 50° 범위인 것이 바람직하다.

- <94> 마스크 설계에서 고려하여야 할 중요한 요소는 상기 파셋트들의 영역을 결정하는 원하는 식각 깊이(상기 파셋트들의 높이)이며, 즉, 상기 높이가 클수록 상기 파셋트들의 영역이 증가된다. 상기 파셋트 영역을 가능한 증가시키는 것이 항상 바람직하다. 반면에, 파셋트들의 영역을 증가시키는 것은 더 큰 식각 깊이를 요구하며, 이에 따라 더 거친 표면을 가진다. 본 발명의 바람직한 실시예에 있어서, 일련의 실험들의 결과로서 2 μm의 식각 깊이가 선택되었다. 그러나, 1 나노미터 내지 1 마이크로미터 범위의 식각 깊이가 또한 고려될 수 있다.
- <95> 상기 선택된 식각 깊이를 가지고, 상기 마스크의 상세함이 결정된다. 도 12 및 표 2를 참조하며, 여기에서 W는 각각의 크롬 스트라이프의 폭이고, D는 각각의 스트라이프 상이의 간격(spacing) (크롬 없음)이다.

**표 2**

<96> 다른 반극성 평면들의 마스크 치수들

반극성 평면	10-14	10-13	11-24	10-12	11-23
W ( μm)	1	1	1	1	1
D ( μm)	8.51	6.4	5	4.25	3.68

- <97> 이어서, 적절한 현상액을 이용하여 상기 포토레지스트를 현상하고, 하드 베이킹(hard-bake) 한다. 이어서, 상기 샘플은 산소 플라즈마를 이용하여 "찌꺼지 제거(de-scummed)"된다.
- <98> 8. 블록 54에 있어서, 상기 샘플은 건식 식각을 위하여 유도 결합 플라즈마(inductive coupled plasma, ICP) 장치 내로 장입된다. 건식 식각은 화학적 식각과 물리적 식각의 두 가지 유형의 식각 메커니즘을 가진다. 상기 화학적 식각은 상기 식각 챔버 내로의 염소, BCl<sub>3</sub> 등과 같은 다른 화학적 활성 가스들의 유동 속도 및 상기 식각 챔버의 압력에 의하여 제어된다. 상기 물리적 식각은 상기 식각 챔버 내로의 희가스들(noble gases) 또는 질소 가스와 같은 화학적으로 불활성 가스의 유동 속도들, 상기 플라즈마의 밀도를 제어하는 상기 ICP의 전력, 및 상기 샘플에 충격을 가하는 상기 플라즈마의 전력을 제어하는 바이어스 전력에 의하여 제어된다.
- <99> 일반적인 지침에 따라, 기울어진 측벽들은 더 높은 정도의 화학적 식각과 더 낮은 정도의 물리적 식각에 의하여 얻어질 수 있다. 다시 말하면, 화학적 활성 가스들의 더 높은 농도, 더 높은 챔버 압력들, 화학적 불활성 가스들의 더 낮은 농도, 더 낮은 ICP 및 바이어스 전력은 더 기울어진 측벽을 형성한다. 다른 경사 각도를 위한 식각 파라미터들은 이러한 지침을 따라서 선택될 수 있다.
- <100> 상기 무너를 가지는 표면, 즉, 상기 기울어진 파셋트들을 생성하기 위하여, 상기 포토레지스트 마스크에 의하여 보호되지 않는 증착된 갈륨 질화물 층들의 영역이 특정한 조건들 하에서 식각될 수 있다. 포토레지스트에 의하여 보호되는 영역에 있어서, 상기 포토레지스트는 상대적으로 느린 속도로 식각된다. 상기 식각은 상기 갈륨 질화물 막 내에 약 2 μm의 식각 깊이를 얻기 위하여 적절한 지속 시간동안 수행된다. 먼저 설정된 식각 속도들 및 포토레지스트와 갈륨 질화물 막 사이의 식각 선택비는 상기 지속 시간을 결정하기 위하여 사용된다.
- <101> 따라서, 블록 52 내지 블록 54은, 기판 또는 템플레이트의 표면에 마스크를 형성하고, 상기 표면의 마스크되지 않은 영역들 식각하여, 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 또는 기울어진 파셋트들을 형성하는 단계의 일 실시예를 도시한다.
- <102> 9. 블록 56에 있어서, 상기 샘플은 상기 ICP 장치로부터 제거되고, 적절한 용매들을 사용하여 잔류하는 포토레지스트를 제거한다. 얻어진 갈륨 질화물 막의 식각 프로파일의 바램직한지 여부를 확인하기 위하여 프로파일로미터(profilometer)를 사용한다. 이어서, 상기 샘플은 용매들을 사용하여 세정되고, 상기 MOCVD 반응기 내로 다시 장입되기 위하여 준비된다.
- <103> 10. 블록 58에 있어서, 상기 샘플은 소자 구조 재성장을 위하여 상기 MOCVD 반응기 내로 다시 장입된다. NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub> 가스들을 포함하는 혼합물이 유동하는 동안, 상기 온도는 증가되어 추정되는 웨이퍼 표면 온도를 1050 °C까지 증가시킨다. 상기 온도가 안정되면, 적절한 부피의 TMG 및 SiH<sub>4</sub>는 상기 가스 흐름 내로 인입되고, 약 100 nm의 n-형 전도성 갈륨 질화물 층이 상기 반극성 방위로 파셋트된 표면 상에 재성장된다. TMG, SiH<sub>4</sub> 및 H<sub>2</sub>

의 유동이 중단되면, 상기 온도는 감소되어 추정되는 웨이퍼 표면 온도를 800℃까지 감소시킨다(측정된 열전대의 온도는 675℃임). 인듐-함유 발광층은 상기 온도에서 상기 재성장된 n-형 전도성 갈륨 질화물 층 상에 증착된다. 3 nm 두께의 (In,Ga)N 양자 우물(QW) 층은 상기 재성장된 n-형 전도성 반극성 갈륨 질화물 층 상에 증착된다. 상기 (In,Ga)N 우물층이 증착되는 동안, 트리에틸갈륨(tri-ethyl gallium, TEG) 및 트리메틸인듐(trimethyl indium, TMI)의 적절한 유동들이 유동되며, 반면 상기 갈륨 질화물 층의 증착동안에는 TEG 만이 유동된다. 상기 소자 구조의 나머지 부분이 표준 성장 파라미터들을 사용하여 상기 반극성 방위된 발광층 상에 성장된다.

- <104> 상기 성장 파라미터들은 소자, 즉, 발광 다이오드(도 17 참조 [10]), 또는 레이저 다이오드(도 18 참조 [9])가 성장하는 개개의 반극성 방위된 파셋트들에 의존하여 변화한다.
- <105> 따라서, 블록 58은 상기 경사진 표면들 또는 기울어진 파셋트들 상에 하나 또는 그 이상의 에피택셜 층들을 증착하는 단계의 예를 도시한다.
- <106> 11. 블록 60에 있어서, 상기 챔버 내로의 NH<sub>3</sub>를 제외한 모든 가스의 유동은 종료되어 상기 증착이 중단되고, 상기 온도는 상온까지 감소된다. 상기 증착된 갈륨 질화물 막의 열화를 방지하기 위하여 NH<sub>3</sub>의 유동은 냉각되는 동안 계속된다. 이어서, 상기 샘플은 상기 반응기로부터 제거된다.
- <107> 도 13은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 발광소자를 형성하는 ELO 기술을 포함하는 통상적인 성장 및 제조 단계를 도시하는 흐름도이다. 온도들, 가스 유동 속도들, 및 공정단계의 횡수들이 사용된 반응기에 대하여 특정되었으나, 이는 단지 참조로서 개시된 것임에 유의하여야 한다. 다른 온도들, 가스 유동 속도들, 및 공정단계의 횡수들이 본 발명의 범위에 벗어남이 없이 사용될 수 있다.
- <108> 블록 40 내지 블록 50은 도 11 및 도 13에서 동일하다.
- <109> 블록 62에 있어서, 적절한 표면 준비를 수행한 후에 플라즈마-강화 화학기상증착(plasma-enhanced chemical vapor deposition, PECVD)을 통하여 적절한 두께의 SiO<sub>2</sub> 층이 상기 샘플 상에 증착된다.
- <110> 블록 64에 있어서, 적절한 표면 준비를 수행한 후에 적절한 포토레지스트가 상기 샘플 상에 도포되고, 이어서 적절한 포토리소그래피 방법을 이용하고 이와 같이 특정한 목적을 위하여 설계된 마스크를 이용하여, 상기 포토레지스트 상에 원하는 패턴이 ELO 재성장기에 적절한 방향을 따라서 전이된다. 적절한 현상액을 이용하여 상기 포토레지스트를 현상한다. 상기 샘플은 산소 플라즈마를 이용하여 "찌꺼지 제거(de-scummed)"된다.
- <111> 블록 66에 있어서, 상기 샘플은 유도 결합 플라즈마(ICP) 장치 내로 장입된다. 식각액으로서 CHF<sub>3</sub> 가스가 사용되고, 또는 상기 샘플은 버퍼된 불화 수소(buffered hydrate fluoride, BHF) 용액 내에 침지된다. 상기 포토레지스트 마스크에 의하여 보호되지 않는 증착된 SiO<sub>2</sub> 층의 영역은 특정한 조건들 하에서 식각되어, 무늬를 가지는 표면이 생성된다. 포토레지스트에 의하여 보호된 영역들 내에서, 상기 포토레지스트는 상대적으로 느린 속도로 식각된다. 상기 증착된 SiO<sub>2</sub> 층의 두께인 원하는 식각 깊이를 얻기 위하여, 상기 식각은 적절한 지속 시간 동안에 수행된다. 먼저 설정된 식각 속도들 및 포토레지스트와 갈륨 질화물 막 사이의 식각 선택비는 상기 지속 시간을 결정하기 위하여 사용된다. 이어서, 상기 샘플은 상기 챔버 또는 용액으로부터 제거되고, 적절한 용매들이 잔존하는 포토레지스트를 제거하기 위하여 사용된다.
- <112> 블록 68에 있어서, 상기 샘플은 상기 MOCVD 반응기 내로 다시 장입된다. NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub> 가스들이 유동하는 동안, 상기 온도는 증가되어 추정되는 웨이퍼 표면 온도를 1050℃까지 증가시킨다. 상기 온도가 안정되면, 상기 챔버 압력이 76 torr로 유지되는 동안 적절한 부피의 TMG 및 SiH<sub>4</sub>는 상기 가스 흐름 내로 인입되고, 상기 반극성 방위된 파셋트들이 상기 무늬를 가지는 표면 상에 재성장된다.
- <113> 상기 단계의 일 예는 c-평면 갈륨 질화물 템플레이트 상에 {10-11} 방위 파셋트들을 성장하는 단계이다.
- <114> 먼저, 표준 2-단계 공정을 이용하여 c-평면 사파이어 기판 상에 1 내지 3 μm 두께의 갈륨 질화물 층이 성장한다. PECVD를 이용하여 약 200 nm의 SiO<sub>2</sub>가 증착된다. 이어서, 통상적인 포토리소그래피를 이용하여 5 내지 10 μm 폭의 스트라이프들이 10 내지 100 μm 범위의 주기성을 가지고 패턴닝되고, BHF 산 또는 건식 식각 기술들을 이용하여 식각된다. 1015 내지 1100℃ 범위의 온도, 76 Torr의 반응기 압력, 50 내지 100 μmol/min의 TMG 전구체 유동, 및 1 내지 2 slpm 범위의 NH<sub>3</sub> 유동 하에서 후속의 MOCVD 재성장기가 수행된다. 이어서, 상기 {10-

11) 파세트들(또는 경사진 표면들)이 형성된다(도 14 참조 [7]).

- <115> 블록 58 및 블록 60은 도 11 및 도 13에서 동일하다.
- <116> 가능한 응용들 및 변형들
- <117> 본 발명의 바람직한 실시예는, MOCVD에 의하여 c-평면 사파이어 기판 상에 증착된 2 내지 10 mm 두께의 {0001} 방위된 갈륨 질화물 템플레이트에서 시작된다. 그러나, (Al,In,Ga,B)N 층들의 에피택셜 성장에 적절한 모든 초기 템플레이트가 본 발명의 의도를 벗어나지 않고 사용될 수 있다. 알루미늄 질화물 또는 알루미늄 갈륨 질화물 합금을 포함하며 이에 한정되지는 않는 다른 (Al,In,Ga,B)N 합금들이 초기 템플레이트로 사용될 수 있다. 이러한 템플레이트는 사파이어, SiC, 스피넬(spinel), 또는 실리콘 기판들을 포함하며 이에 한정되지는 않는 다양한 초기 기판들 상에 이중 에피택셜하게 성장될 수 있다. 또는, 상기 템플레이트는 벌크 알루미늄 질화물 또는 갈륨 질화물 기판들 상에 동중 에피택셜하게 증착될 수 있다. 또한, 벌크 알루미늄 질화물 또는 갈륨 질화물 기판들은 에피택셜 템플레이트 층들의 예비 성장없이 사용될 수 있다. 초기 템플레이트를 성장시키기 위하여 MOCVD, MBE, HVPE, 승화(sublimation), 및/또는 아모노서말 성장(ammonothermal growth)를 포함하며 이에 한정되지는 않는 다양한 기술들이 사용될 수 있다.
- <118> 상기 초기 템플레이트는, 최종 소자 구조 내의 활성층 또는 수동층들로서 기능할 수 있는 다양한 조성 및/또는 도핑의 하나 또는 그 이상의 층들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 초기 템플레이트는 균일하게 실리콘 도핑되어 LED의 n-형 층을 형성한다. 또는, 마이크로캐비티(microcavity) LED 내의 거울로서 사용되는 분산된 브래그(Bragg) 반사기를 형성하는 다양한 굴절율을 가지는 층들의 모든 갯수를 포함할 수 있다. 또는, 상기 초기 템플레이트는 결함 감소를 위하여 측방향으로 에피택셜하게 과성장된 층(들)을 포함할 수 있다. 이들은 단순히 예시적이며 본 발명에 적절한 초기 템플레이트 층들 내에 다양한 변형들을 배제적인 항목을 구성하는 것은 아니다. 최종적으로, 상기 초기 템플레이트의 두께는 본 발명의 범위에 영향을 주지않는 상기 식각의 의도된 깊이, 상기 소자 구조의 요구사항들, 또는 다른 파라미터들에 의존하여 0.5 mm 내지 1000 mm 범위로 조정될 수 있다.
- <119> 바람직한 실시예에 개시된 마스크 패턴들 외에도, 식각된 파세트들의 경사 각도를 다양하게 하기 위하여 다양한 마스크 패턴들이 사용될 수 있다. 본 발명의 바람직한 실시예에 개시된 기울어진 파세트들이 낮은 지수의 결정학적 반구성 평면들에 상응하도록 의도되었다고 하여도, 5° 내지 90° 범위의 기울어진 모든 각도가 본 발명에서 사용되기 위하여 형성될 수 있다.
- <120> 본 발명의 바람직한 실시예는 {0001} 방위된 템플레이트 층(들)을 가지고 시작된다. 본 발명에 개시된 식각 또는 측방향 과성장 기술들은 "반구성"으로 개시될 수 있는 기울어진 파세트들을 형성한다. 그러나, 상기 초기 템플레이트의 추가적인 방위들은 상기 기울어진 파세트의 다른 방위일 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 바람직한 실시예에 개시된 기술들은 평면 반구성  $\{11\bar{2}0\}$  템플레이트들에 적용될 수 있고, 이에 따라 본 발명의 범위 내에서  $\{1\bar{1}00\}$  방위된 광전자 구조들을 제조할 수 있다.
- <121> 본 발명의 바람직한 실시예에 개시된 광전자 소자들은 MOCVD에 의하여 증착된다. 그러나, 동일하거나 또는 유사한 소자 구조들을 증착하기 위하여 MBE 또는 HVPE를 포함하지만 이에 한정되지는 않는 다양한 성장 기술들을 이용할 수 있다. 본 발명에 의하여 형성된 상기 기울어진 파세트들 상에 증착된 층들의 갯수, 유형, 조성, 및 의도적이거나 비의도적인 불순물 조성은 본 발명의 바람직한 실시예에서 개시된 바에 의하여 한정되는 것은 아니다. 상기 증착된 층(들)은 제조될 광전자 소자의 원하는 특성에 의존한다. 본 발명에서 개시된 기술들에 의하여 제조될 수 있는 소자들은 발광 다이오드들(LED)또는 레이저 다이오드들(LD)에 한정되는 것은 아니다. 본 발명에 의하여 달성할 수 있는 내부 분극 장들의 감소, 개선된 p-형 전도도, 및 낮은 결함 밀도들로부터 이득을 얻는 마이크로캐비티 LED들(MCLED), 수직-캐비티 표면 발광 레이저들(vertical-cavity surface emitting lasers, VCSEL), 광전지 셀들, 또는 높은 전자 이동도 트랜지스터들(high electron mobility transistor, HEMT)을 포함하지만 이에 한정되지는 않는, 다른 소자 구조들이 제조될 수 있다.
- <122> 상기 기울어진 파세트들의 형성 후에, 후속의 단계들은 상기 기울어진 파세트들의 각도를 변경할 수 있다. 예를 들어, 열 어닐링 단계는 식각 손상을 치유하고, 결정학적 파세트들을 형성하기 위하여 사용될 수 있다. 또한, 후속의 성장 단계들은 상기 기울어진 파세트들의 각도를 감소시키는 경향이 있다. 따라서, 의도하는 소자에 원하는 정도에 비하여 더 큰 각도의 기울기를 가지도록 파세트들을 식각하는 것이 바람직할 수 있다. 가장 중요한 형상은 소자 구조 내의 발광층들이 초기 템플레이트 표면의 수직에 대하여 기울어진 파세트 상에 증착되

는 것이다. 최종 구조는 기울어진 형상들을 가지거나 또는 가지지 않을 수 있다.

- <123> 본 발명에 사용된 기술들 내의 제한들에 의하여, 본 발명의 범위로부터 벗어남이 없이, 결과적인 구조들은 표면 수직에 대하여 하나 또는 그 이상의 0° 내지 90°의 범위의 각도들로 기울어진 형상들은 가질 수 있다. 또한, 다양한 경사 각도들을 가지는 다중 형상들을 가지는 구조들을 의도적으로 구현하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 재성장을 위하여 잔류하는 일부의 0° 각도들을 보장하기 위하여, 경사진 표면들이 템플레이트 또는 기관의 표면의 단지 일부에 형성될 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 평면 및 기울어진 형상들이 혼합된 소자들이 다중 파장들은 방출하는 소자들을 형성하기 위하여 사용될 수 있다. 이에 대하여는, 본 명세서의 참조로서 결합된, 라자트 샤마(Rajat Sharma), 폴 패터슨(Paul M. Pattison), 존 카에딩(John Kaeding), 및 슈지 나카무라(Shuji Nakamura)에 의하여 2005년 2월 9일 출원된 미국특허출원 제11/054,271호의 "반도체 발광 소자 (Semiconductor light emitting device)," (대리인 관리번호 제30794.112-US-01 (2004-208)호)를 참조한다. 전기적 콘택들은 모든 소자의 형상들을 연결하기 위하여 설계될 수 있다. 또는, 이들은 전류가 원하는 경사 각도를 가지는 영역들에 한정되도록 설계될 수 있다.
- <124> 본 실시예에 있어서, 마스크로부터 패턴을 전이하기 위하여 종래의 포토리소그래피 기술들을 사용한다. 그러나, 포토리소그래피 기술의 한계 때문에, 상기 마스크 상의 스트라이프의 폭(W)은 1 μm 보다 작을 수는 없다. 이러한 한계는 건식 식각 이후의 상기 샘플 상의 1 μm 까지의 c-평면 방위 갈륨 질화물 평탄면(plateau)을 남긴다. c-평면 방위 갈륨 질화물 평탄면은 반극성 방위된 파세트 영역을 감소시키므로, 본 발명에서는 피하여야 한다.
- <125> 도 15 및 도 16은 이러한 평탄면들을 형성하는 단계를 개략적으로 도시한다. 도 15는 예를 들어 플라즈마 식각과 같은 식각(72)에 의한 1 μm 까지의 폭의 포토레지스트(70)를 가지는 샘플을 도시한다. 도 16은 식각 및 용매 세정의 과정이 수행된 후에 상기 포토레지스트에 의하여 덮인 영역 상의 평탄면(74)의 형성을 도시한다. 또한, 도 16은 측벽들이 경사진 표면들인 기관 또는 템플레이트의 표면의 하나 또는 그 이상의 영역들을 식각하여 상기 기관 또는 상기 템플레이트 내에 형성된 트렌치들, 그루브들 또는 피트들의 깊이(76)를 도시한다.
- <126> 이러한 c-평면 갈륨 질화물 평탄면의 폭/영역을 감소시키는 하나의 가능한 방법은 나노임프린팅 기술의 사용이다. 나노임프린팅 리소그래피(nano-imprinting lithography, NIL)는 하드 몰드 또는 스탬프(ICP/RIE 식각 이후에, 마스크 물질로서 크롬을 사용하여 전자-빔으로 종종 생성됨)를 사용하며, 이들은 폴리머의 유리전이온도 주위의 제어된 온도들 및 압력을 이용하여 폴리머 물질을 엠보싱하기 위한 상기 표면 상에 한정된 나노 크기 형상들을 포함한다. 이들은 폴리머의 표면 상에 토포그래피(topography)를 생성하고, 이에 따라 이방성 산소 플라즈마를 통하여 더 전이된다. 상기 NIL은 상대적으로 간단한 장비와 쉬운 공정 방법을 사용하여 10 나노미터 형상의 프린팅을 가능하게 한다. 이러한 기술들을 이용하여, 크롬 마스크 상의 이러한 스트라이프들의 폭은 나노미터 크기로 감소되며, 이에 따라 c-평면 갈륨 질화물 평탄면의 영역이 크게 감소된다.
- <127> 상기 실시예에 대한 다른 가능한 변형 또는 변화는 식각 시스템이다. 바람직한 실시예에 있어서 식각을 수행하기 위하여 ICP 장비가 선택된다고 하여도, 다른 식각 장비들 또는 기술들이 또한 적절할 수 있다.
- <128> 식각 이외에도, 본 발명은 상술한 반극성 방위된 파세트들을 생성하기 위하여 ELO 기술을 또한 사용한다. 바람직한 실시예에 있어서, SiO<sub>2</sub> 스트라이프들은 ELO를 위하여 상기 샘플 상에 증착된다. 그러나, SiN을 포함하지 않는 것에 한정되지는 않는 다른 물질들이 SiO<sub>2</sub>를 치환하여 또한 사용될 수 있다. 또한, 측벽 에피택셜 측방향 과성장(SELO), 또는 캔틸레버된 에피택셜 측방향 과성장(CELO)을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 다른 측방향 과성장 기술들이 반극성 방위된 파세트들을 생성하기 위하여 사용될 수 있다.
- <129> 본 발명의 방법 또는 소자는 질화물 물질 시스템에 한정되지 않는다.
- <130> 일반적인 공정 단계들
- <131> 도 19는 상술한 특정한 방법과 대조하여, 하나 또는 그 이상의 결정학적 방위들을 가지는 반도체 소자를 제조하는 일반적인 방법을 도시하는 흐름도이다.
- <132> 블록 102는 기관 또는 템플레이트의 하나 또는 그 이상의 경사진 표면들 또는 기울어진 파세트들을 형성하는 단계를 도시한다.
- <133> 상기 형성단계는, 상기 템플레이트 또는 상기 기관을 식각하는 단계를 포함할 수 있고, 예를 들어 측벽들이 기울어진 파세트들인 예를 들어, 그루브들, 트렌치들 또는 피트들을 형성하기 위한 상기 템플레이트 또는 상기 기관의 표면의 하나 또는 그 이상의 영역들을 식각하는 단계를 포함한다. 상기 식각 단계는, 마스크된 영역 및

마스킹되지 않은 영역을 형성하기 위하여 상기 기판 또는 상기 템플레이트 상의 영역을 마스크하는 단계 및 경사진 표면들 또는 기울어진 파셋트들을 형성하기 위하여 상기 마스크되지 않은 영역을 통하여 상기 기판 또는 상기 템플레이트를 식각하는 단계를 포함하며, 상기 마스크된 영역은 상기 마스크되지 않은 영역에 비하여 상대적으로 느린 속도로 식각된다. 상기 식각은 상기 경사진 표면들의 표면 영역을 결정하는 1 나노미터 내지 10 마이크로미터 범위의 최대 깊이를 형성할 수 있고, 식각된 상기 영역들의 폭(예를 들어, 상기 마스크되지 않은 영역)은 3 내지 10 마이크로미터일 수 있고, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 표면들의 경사 각도를 결정한다. 상기 마스크된 영역들은, 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파셋트들의 경사 각도를 결정하는, 예를 들어 3 내지 10 마이크로미터 범위의 간격을 가지는 스트라이프들일 수 있다.

<134> 또한, 상기 형성하는 단계는, 상기 기판 또는 상기 템플레이트의 에피택셜 측방향 과성장을 수행하는 단계 및 인접한 과성장 스트라이프들이 합체되기 이전에 에피택셜 측방향 과성장을 종료하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 에피택셜 측방향 과성장은 표준 측방향 에피택셜 과성장(LEO), 측벽 에피택셜 측방향 과성장(SELO), 또는 캔틸레버 에피택셜 측방향 과성장(CELO)을 포함할 수 있고, 상기 에피택셜 과성장의 하나 또는 그 이상의 표면들은 경사진 표면들 또는 기울어진 파셋트들을 포함한다..

<135> 블록 104는, 예를 들어 반극성 방위를 가지는 결정학적 파셋트들을 생성하도록 상기 경사진 표면들 또는 상기 기울어진 파셋트들을 어닐링하는 단계를 도시한다.

<136> 블록 106은 상기 경사진 표면들, 상기 기울어진 파셋트들 또는 상기 어닐링된 파셋트들 상에 하나 또는 그 이상의 에피택셜 층들, 예를 들어 질화물 또는 (Al, In, Ga, B)N 층들을 증착하는 단계를 도시한다. 상기 에피택셜 층들은 초기 템플레이트를 성장시키기 위하여 유기금속 화학기상증착(MOCVD), 분자빔 에피택시(MBE), 수소화물 기상 에피택시법(HVPE), 승화(sublimation), 또는 아모노서말 성장(ammonothermal growth)을 이용하여 증착될 수 있다. 상기 방법은, 소자, 예를 들어 에피택셜 층들의 추가적인 증착을 위한 기판, LED 또는 LD와 같은 발광 소자, 광전지 셀, HEMT, 내부 분극 장들의 감소 또는 개선된 홀 이동도로부터 이득을 얻을 수 있는 소자를 형성하기 위하여 사용될 수 있다.

<137> 종래의 실행에 대한 장점들 및 개선점들

<138> III-질화물 소자의 제조를 위한 종래의 실행은 표면에 수직인 c-평면을 가지는 갈륨 질화물을 성장시키는 것이다. 이러한 평면은 소자 성능에 유해한 자발 분극 및 압전 분극을 가진다. c-평면 질화물 막들에 대하여 반극성의 잇점은 분극을 감소시키고 이와 관련되어 특정 소자들의 내부 양자 효율을 증가시키는 것이다.

<139> 비극성 평면들은 소자들 내의 분극 효과들을 완전히 제거하기 위하여 사용될 수 있다. 그러나, 이러한 평면들은 성장시키기 매우 어려우며, 따라서 현재 비극성 질화물 소자들은 제조되지 않는다. 비극성 질화물 막들 위의 반극성은 성장을 용이하게 하는 이점이 있다. 우리는 반극성 평면들은 성장을 위한 큰 파라미터 공간을 가지는 것이 발견하였다. 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.

<140> 평면 반극성 갈륨 질화물의 성장이 가능성이 있어 보여도, 현재의 성장 기술들은 아직 미개척되어 있고, 최적의 성장 조건들과 최선의 기판 물질을 결정하기 위하여 더 많은 연구가 필요하다.

<141> 또한, 비극성/반극성 p-형 갈륨 질화물은 고품질 LED 및 LD 제조에 중요한 높은 홀 농도를 가진다. [6]

<142> 본 발명의 하나의 시도는, 최적의 c-평면 갈륨 질화물 성장 기술들을 일부의 식각기술과 함께 이용하여, MOCVD 및 MBE를 포함하지만 이에 한정되지는 않는 기술을 이용하여 소자-구조 재성장을 위한 반극성 방위된 갈륨 질화물 파셋트들을 형성하는 것이다. 본 발명의 다른 시도는 최적의 c-평면 갈륨 질화물 ELO 기술들을 이용하여 소자-구조 재성장을 위한 반극성 파셋트들을 생성하는 것이다.

<143> 현재의 발명의 잇점들의 예들은 하기에 개시된다:

<144> a. 본 발명은 반극성 파셋트들 상에 형성된 발광층을 포함하는 전기적으로 주입된 반극성 방위된 광전자 소자들을 최초로 제공할 수 있다.

<145> b. 본 발명은 동종 에피택셜 성장을 위하여 결정 결함들을 감소시킨다.

<146> c. 본 발명은 소자들을 위한 반극성 평면의 선택에 있어서 더 넓은 범위를 제공한다.

<147> d. 소자 구조 재성장을 수행한 후의 파셋트된 표면은 광 추출 효율을 강화할 수 있다.

<148> 도 17은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LED 에피택셜 구조를 개략적으로 도시하며, 버퍼층(78) (예를 들어, 30 nm의 갈륨 질화물 버퍼층), n-형 층(80) (예를 들어, 4 μm의 n-갈륨 질화물 층), 양자 우물 영역(82) (예를 들어, 3 nm의 도핑되지 않은  $In_xGa_{1-x}N$  MQW 층, 여기에서 x는 0.45임), 제1 p-형 층(84) (예를 들어, 100 nm의  $p-Al_xGa_{1-x}N$  층, 여기에서 x는 0.20임), 및 제2 p-형 층(86) (예를 들어, 0.5 μm의 p-갈륨 질화물 층)을 포함한다.

<149> 도 18은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LD 에피택셜 구조를 개략적으로 도시하며, n-갈륨 질화물 층(88) (예를 들어, 5 μm의 n-갈륨 질화물 층), 알루미늄 갈륨 질화물 층(90) (예를 들어, 1.0 μm의 알루미늄 갈륨 질화물:실리콘 층), 제1 가이드층(92) (예를 들어 0.1 μm의 n-갈륨 질화물), 활성영역(94) (예를 들어, 3x nm의 인듐 갈륨 질화물 MQW 층), 제2 가이드층(96) (예를 들어, 0.1 μm의 p-갈륨 질화물), SLS 층(98) (예를 들어, 2.5nm/25nm/0.5 μm의 p-(알루미늄 갈륨 질화물/갈륨 질화물) SLS 층), 및 p-갈륨 질화물 층(100) (예를 들어, 0.1 μm의 p-갈륨 질화물 층)을 포함한다.

<150> 참조

<151> 이하의 간행물들은 본 명세서에 참조로서 결합된다:

<152> [1] Nishizuka, K., et al., Applied Physics Letters, Vol. 84, No. 15 (2004).

<153> [2] Nishizuka, K., et al., Applied Physics Letters, Vol. 87, No. 11 (2005).

<154> [3] Sharma, R. et al., Applied Physics Letters, Vol. 87, No. 9 (2005).

<155> [4] Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 29, pp. L920-L922 : (A13, H04)(2005).

<156> [5] Troy J. Baker, Benjamin A. Haskell, Feng Wu, Paul T. Fini, James S. Speck and Shuji Nakamura, "Characterization of Planar Semipolar Gallium Nitride Films on Spinel Substrates," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 29 (2005).

<157> [6] M. McLaurin, T. E. Mates, and J. S. Speck, "Molecular-beam epitaxy of p-type m-plane GaN," Applied Physics Letters, 86, 262104 (2005).

<158> [7] Romanov, A., Fini, P., Speck, J., Journal of Applied Physics, Vol. 93, No. 1 (2003).

<159> [8] Fini, P., "Threading Dislocation Reduction in Gallium Nitride Thin Films on Sapphire Via Lateral Epitaxial Overgrowth," PhD Thesis, University of California, Department of Engineering, p. 61 (2000).

<160> [9] Tojyo, Tsuyoshi. Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, pp. 3206-3210 (2001).

<161> [10] Nakamura, S. et al, "The Blue Laser Diode - the complete story," Springer, 2000, 2<sup>nd</sup> edition, page 280.

<162> 결론

<163> 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 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**

<164> 현재의 발명의 잇점들의 예들은 하기에 개시된다:

<165> a. 본 발명은 반극성 파세트들 상에 형성된 발광층을 포함하는 전기적으로 주입된 반극성 방위된 광전자 소자들을 최초로 제공할 수 있다.

<166> b. 본 발명은 동종 에피택셜 성장을 위하여 결정 결함들을 감소시킨다.

<167> c. 본 발명은 소자들을 위한 반극성 평면의 선택에 있어서 더 넓은 범위를 제공한다.

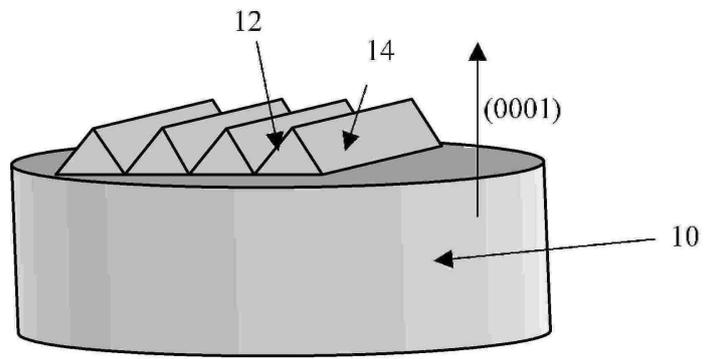
<168> d. 소자 구조 재성장을 수행한 후의 파셋트된 표면은 광 추출 효율을 강화할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

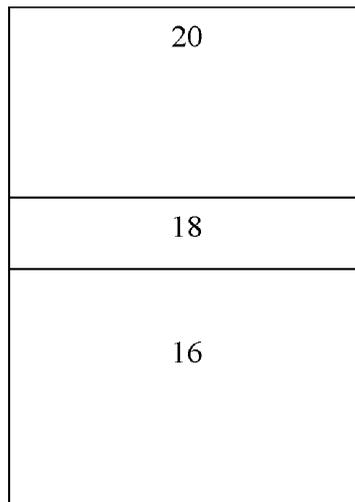
- <50> 참조하는 도면상에서 동일 부호는 전체에 걸쳐 동일한 요소를 지칭한다.
- <51> 도 1은 표면 무늬(surface texturing)를 형성한 후의 소자 재성장을 위한 대표적인 파셋트된 표면을 3차원으로 개략적으로 도시한다.
- <52> 도 2는 파셋트된 표면이 처리되기 전의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.
- <53> 도 3은 도 2의 표면을 식각하여 파셋트를 처리한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.
- <54> 도 4는 도 3의 파셋트된 표면 상에 에피택셜 층을 증착한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.
- <55> 도 5는 식각에 의하여 파셋트된 표면을 형성하고, 상기 파셋트들 상에 제1 재성장층을 형성하고, 상기 제1 재성장층 상에 제2 재성장층을 형성한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.
- <56> 도 6은 평면 표면을 형성하기 위하여 식각에 의하여 파셋트된 표면을 형성하고, 상기 파셋트들 상에 제1 재성장층을 형성하고, 상기 제1 재성장층 상에 제2 재성장층을 형성한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.
- <57> 도 7은 파셋트된 표면을 형성하기 위하여 공정을 수행하기 전의 ELO 수행하기 위한 패턴된 마스크를 가지는 구조를 도시한다.
- <58> 도 8은 도 7의 표면 상에 ELO 재성장을 수행한 후의 구조를 도시한다.
- <59> 도 9는 ELO에 의하여 반극성 방위된 파셋트들을 형성하고, 상기 파셋트들 상에 제1 재성장층을 형성하고, 상기 발광층 상에 제2 재성장층을 형성한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.
- <60> 도 10은 평면 표면을 형성하기 위하여 ELO에 의하여 반극성 방위된 파셋트들을 형성하고, 상기 파셋트들 상에 제1 재성장층을 형성하고, 상기 발광층 상에 제2 재성장층을 형성한 후의 샘플의 단면을 개략적으로 도시한다.
- <61> 도 11은 소자를 형성하는 건식 식각을 포함하는 일반적인 성장 순서 및 제조 순서를 도시하는 흐름도이다.
- <62> 도 12는 파셋트된 표면을 형성하기 위한 식각을 제어하기 위하여 사용될 수 있는 마스크 패턴을 개략적으로 도시한다.
- <63> 도 13은 소자를 형성하는 ELO 기술을 포함하는 일반적인 성장 순서 및 제조 순서를 도시하는 흐름도이다.
- <64> 도 14는 <11-20> 또는 <1-100> 갈륨 질화물 파셋트를 먼저 식각하고, 이어서 갈륨 질화물 재성장을 수행한 후에, {10-11} 파셋트된 표면의 주사전자현미경 사진이다.
- <65> 도 15는 식각을 수행하는 동안 1 μm 폭까지의 포토레지스트를 가지는 샘플을 개략적으로 도시한다.
- <66> 도 16은 식각과 용매 세정 공정을 수행한 후의 포토레지스트에 의하여 덮인 영역 상에 평탄면(plateaus)의 형성을 도시한다.
- <67> 도 17은 LED 에피택셜 구조의 개략도이다.
- <68> 도 18은 레이저 다이오드(laser diode, LD) 에피택셜 구조의 개략도이다.
- <69> 도 19는 하나 또는 그 이상의 결정학적 방위들을 가지는 반도체 소자를 제조하는 방법을 도시하는 흐름도이다.

도면

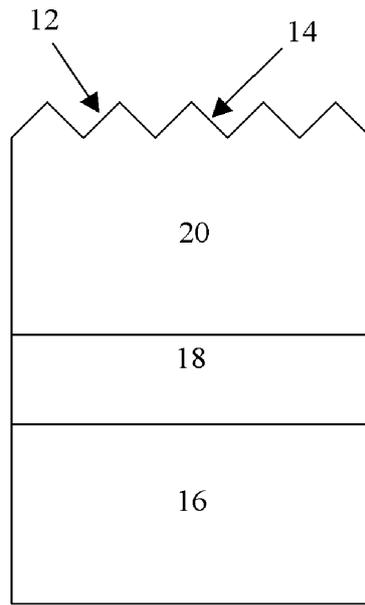
도면1



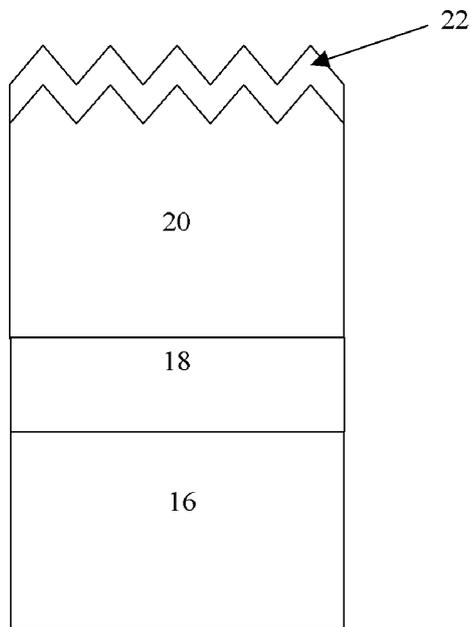
도면2



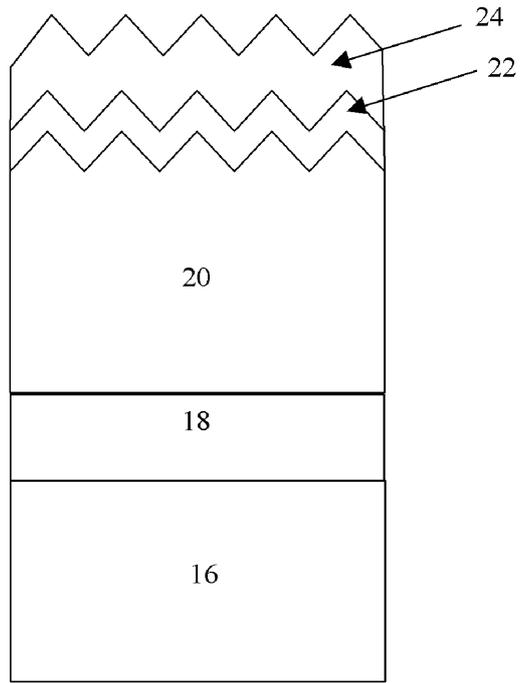
도면3



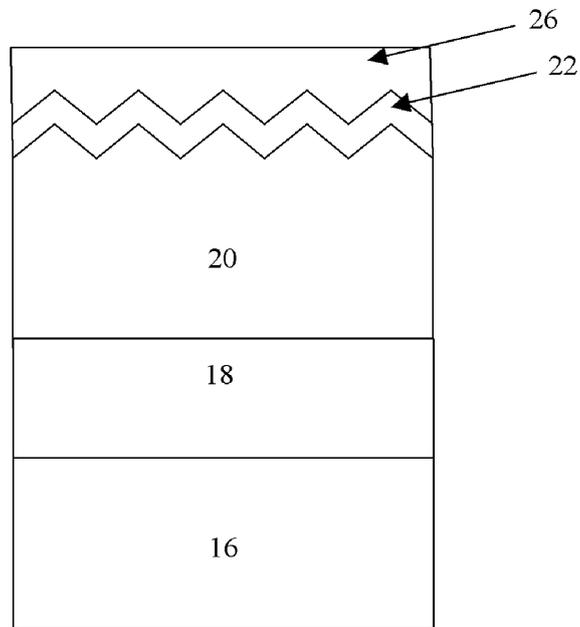
도면4



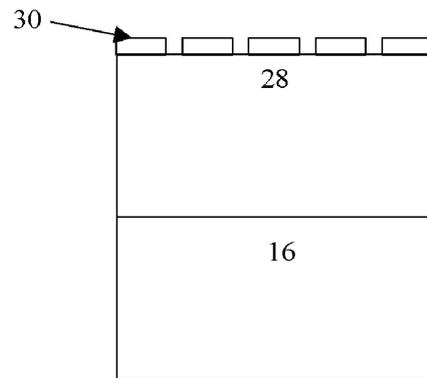
도면5



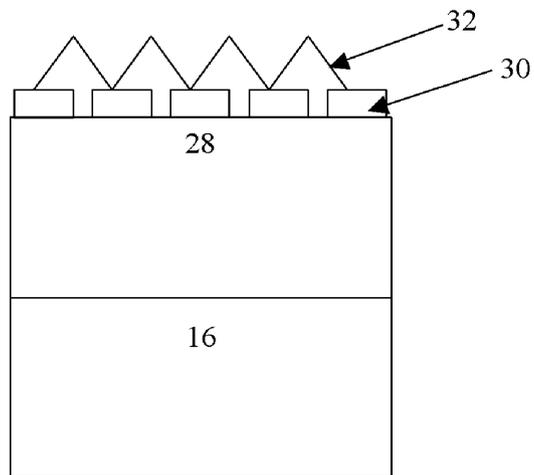
도면6



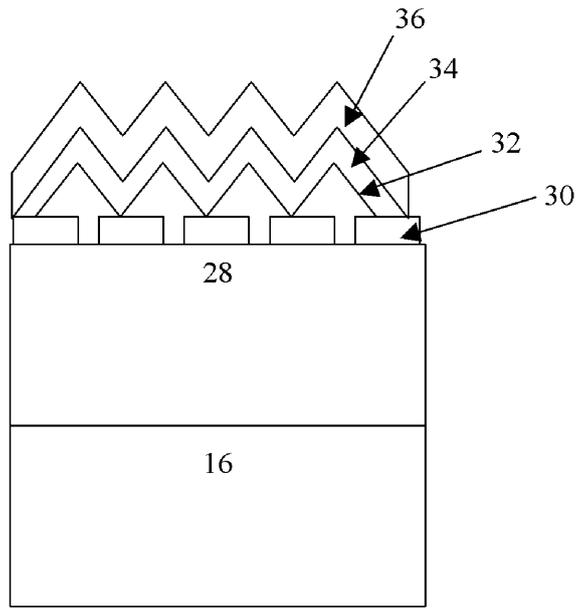
도면7



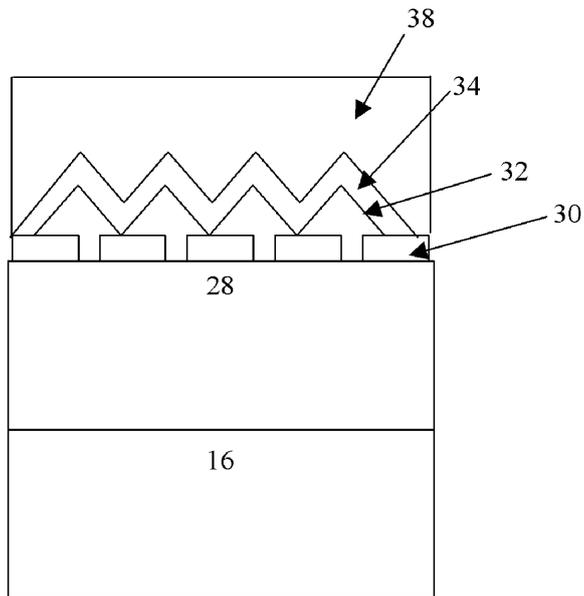
도면8



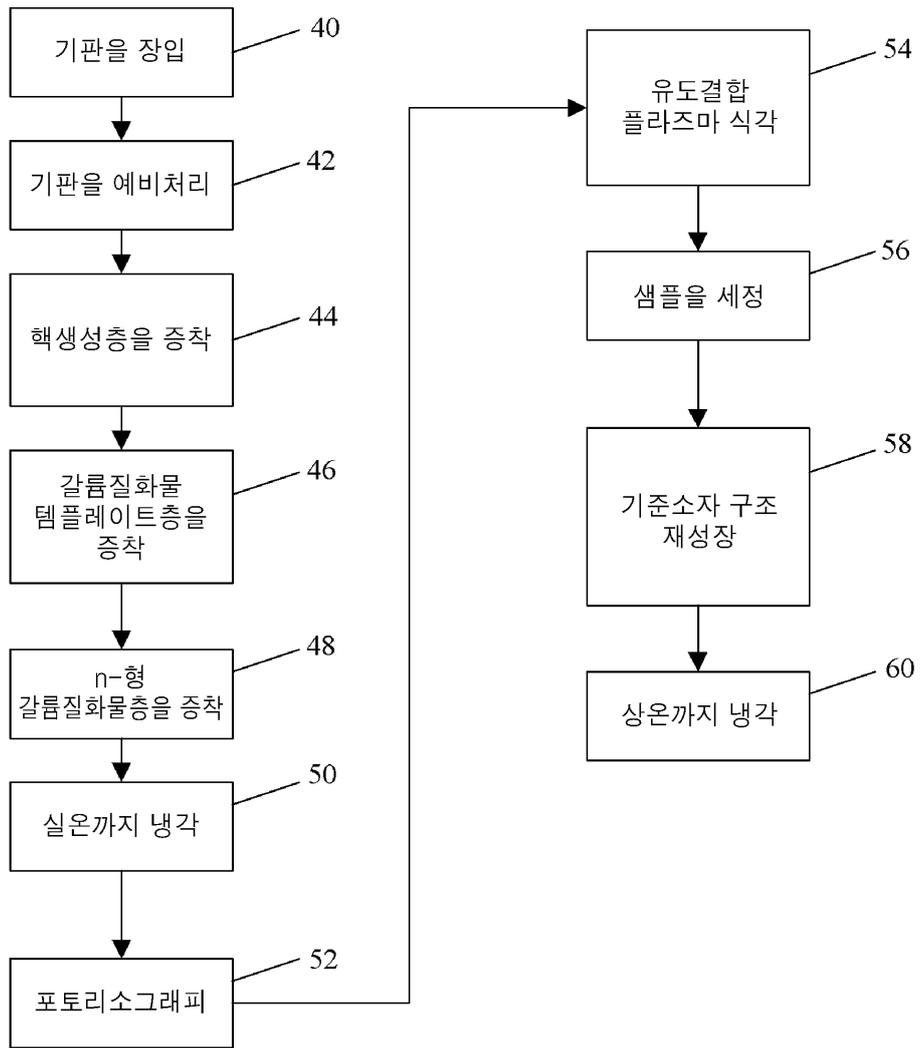
도면9



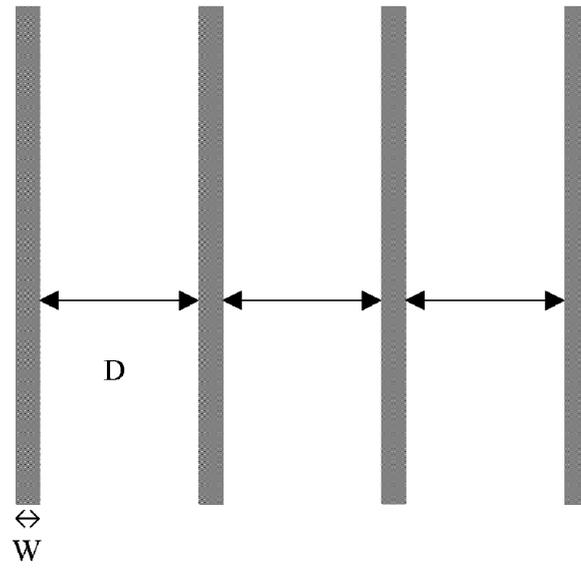
도면10



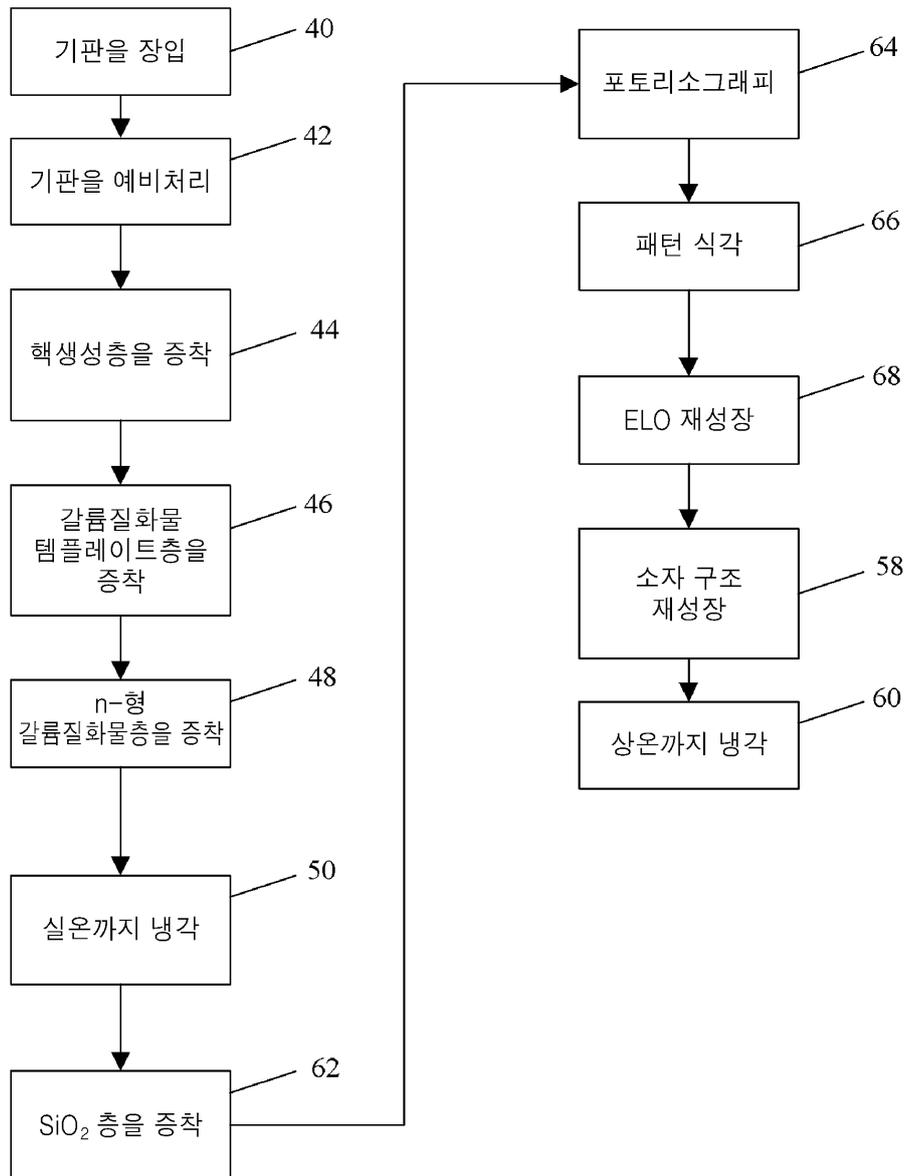
도면11



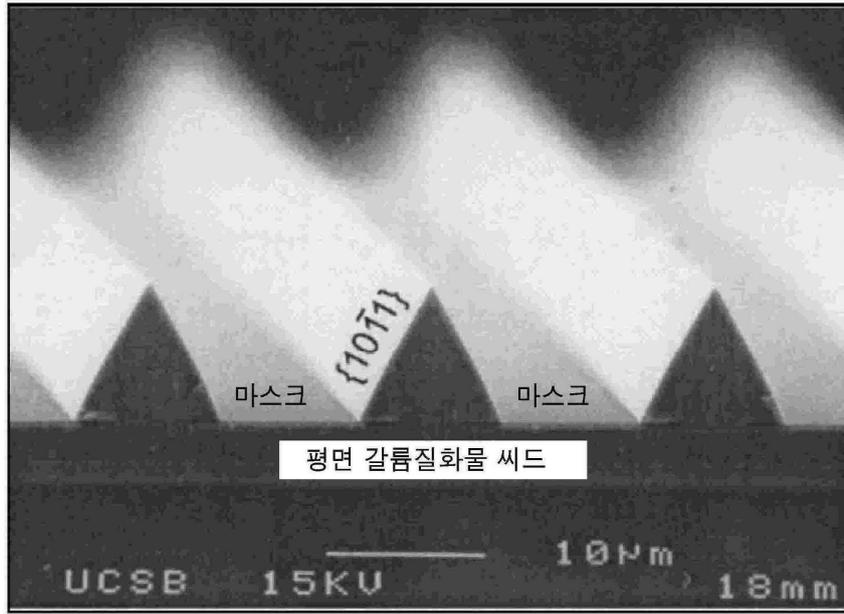
도면12



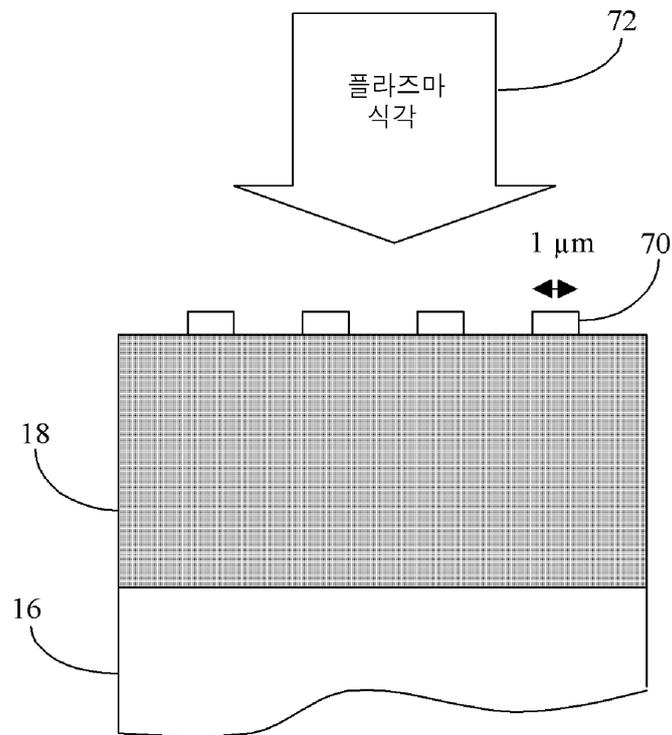
도면13



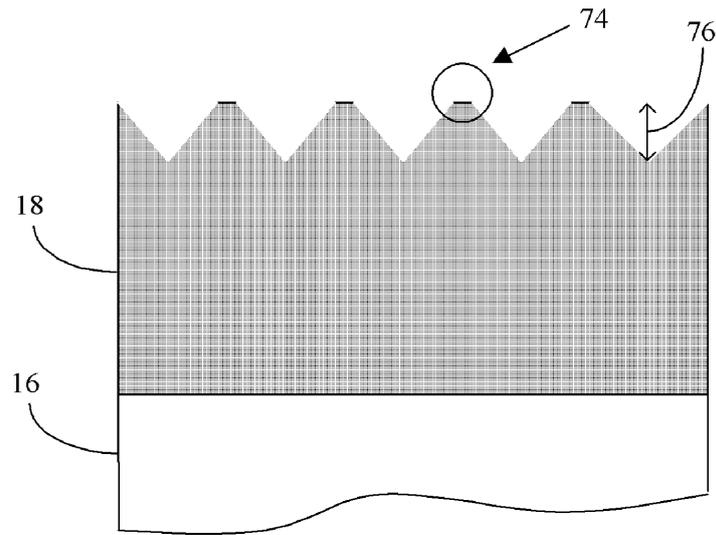
도면14



도면15



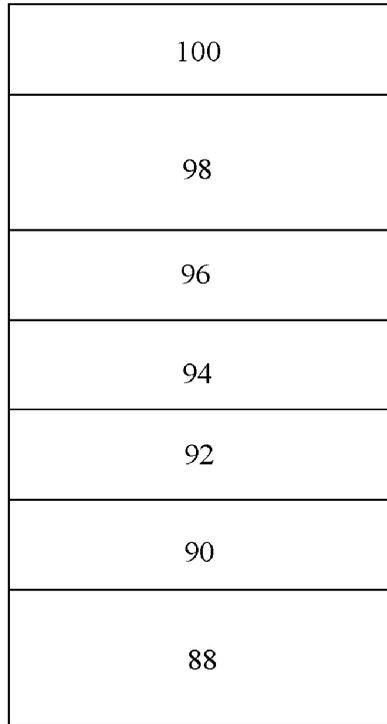
도면16



도면17

86
84
82
80
78

도면18



도면19

