(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0029603
(43) 공개일자 2008년04월03일

(51) Int. Cl.
H01L 33/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-0096437
(22) 출원일자 2006년09월29일
심사청구일자 2006년09월29일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(72) 발명자
변동진
서울 성북구 안암동5가 고려대학교 자연계캠퍼스 공학관 609호
최재홍
대구 북구 서변동 영남네오빌블루 109동 607호
진정근
서울 동대문구 답십리3동 태양아파트 다동 510호
(74) 대리인
현종철

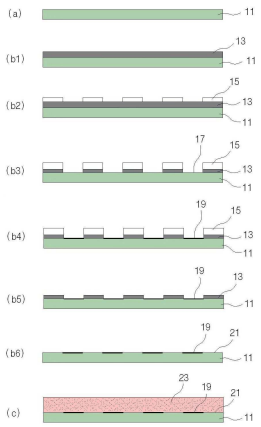
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 질화갈륨 박막 제조용 단결정 기판, 질화갈륨 박막제조방법 및 질화갈륨 박막 제조용 단결정 기판으로 제조된질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드 및레이저다이오드

(57) 요 약

질화갈륨 박막 제조용 단결정 기판, 질화갈륨 박막 제조방법 및 질화갈륨박막 제조용 단결정 기판으로 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드 및 레이저다이오드가 제공된다. 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 제조용 단결정 기판은 사파이어, 실리콘 카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨(GaAs)으로 이루어지며, 동일 평면 상에, 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부; 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온 비주입 구획부를 포함하는 것을 특징으로 하며, 질화갈륨 박막의 성장을 종래와 다른 방식으로 빠르게 성장시킬 수 있으며, 결과적으로 질화갈륨 박막의 결정성 및 광학적 특성을 향상시킬 수 있다. 또한, 상기 단결정기판을 이용한 질화갈륨 박막 제조방법은 제작이 용이하고 질화갈륨 박막의 결정성 및 광학적 특성을 향상시킬 수 있으며, 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드 및 레이저다이오드는 광학적 특성이 우수하다는 장점이 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

사파이어, 실리콘 카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨(GaAs)으로 이루어지며, 동일 평면 상에, 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부; 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부를 포함하는 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 패턴의 형상은 원형, 타원형, 스트라이프형(줄무늬형) 또는 다각형인 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 기판의 재질은 사파이어이고 질소이온주입 패턴부의 표면에는 질화알루미늄막이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 질소이온주입 패턴부에 대한 질소이온의 도즈량은 $1\times10^{15}/cm^2$ 내지 $1\times10^{17}/cm^2$ 이고, 주입에너지는 10 내지 100 keV범위인 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판.

청구항 5

(a) 단결정기판을 준비하는 단계;

(b) 상기 단결정기판의 동일 평면상에 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부를 형성하는 단계; 및

(c) 상기 질소이온주입 패턴부 및 질소이온비주입 구획부의 표면에 질화갈륨박막을 성장시키는 단계를 포함하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 단결정기판은 사파이어, 실리콘 카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨으로 이루어진 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 7

제 5항에 있어서, 상기 (b)단계의 패턴의 형상은 원형, 타원형, 스트라이프형(줄무늬형) 또는 다각형인 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 8

제 5항에 있어서, 상기 (b)단계의 질소이온주입처리는 이온도즈량 $1\times10^{15}/cm^2$ 내지 $1\times10^{17}/cm^2$ 및 주입에너지 10 내지 100 keV범위에서 행하는 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 9

제 5항에 있어서, 상기 (b)단계는

(b1) 상기 단결정기판의 표면에 유전체층을 성장시키는 단계;

(b2) 상기 유전체층의 표면에 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 구획하는 구획부보호막을 형성하는 단계;

(b3) 상기 패턴의 유전체층을 제거하여 패턴부를 형성하는 단계;

(b4) 상기 패턴부에 질소이온을 주입하여 질소이온주입 패턴부를 형성하는 단계;

(b5) 상기 구획부보호막을 제거하는 단계; 및

(b6) 상기 구획부보호막이 제거된 후에 노출된 유전체층을 제거하여 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 10

제 9항에 있어서, 상기 유전체층은 실리콘산화막(SiO_2), 실리콘질화막(Si_3N_4) 또는 실리콘산화질화막(SiON)인 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 11

제 9항에 있어서, 상기 (b2)단계의 구획부보호막을 형성하는 방법은 포토리소그래피공정, 잉크젯법 또는 임프린팅법인 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 12

제 9항에 있어서, 상기 (b3)단계의 유전체층을 RIE로 제거하는 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 13

제 9항에 있어서, 상기 (b6)단계의 유전체층 제거는 불산으로 제거하는 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 14

제 5항에 있어서, 상기 (c)단계의 질화갈륨 박막 성장은 먼저 기판에 완충층을 형성한 후, 그 위에 에피층을 형성하는 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 15

제 5항에 있어서, 상기 (c)단계의 질화갈륨 박막 성장은 유기금속화학기상증착법, 분자선 에피탁시법, 원자층단위증착법 또는 플라즈마화학증착법에 의한 것을 특징으로 하는 질화갈륨 박막 제조방법.

청구항 16

제 1항 및 제 4항중 어느 한 항의 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드.

청구항 17

제 1항 및 제 4항중 어느 한 항의 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 레이저다이오드.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<14> 본 발명은 질화갈륨 박막 제조용 기판에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 질화갈륨 박막의 결정성 및 광학적 특성을 향상시키기 위한 질화갈륨 박막 제조용 기판, 질화갈륨 박막 제조방법 및 질화갈륨 박막 제조용 단결정 기판으로 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드 및 레이저다이오드에 관한 것이다.

<15> 울자이츠(Wurtzite)구조를 가지는 질화갈륨은 상온에서 3.4eV의 직접 천이형 밴드갭을 가지며 청색 및 자외선영역의 발광다이오드(light emitting diode; LED)와 레이저다이오드(laser diode; LD) 소자에 유용하게 사용되는 재료이다. 특히 같은 울자이츠 구조를 가지며 밴드갭이 각각 1.9eV, 6.2eV인 질화인듐(InN), 질화 알루미늄(AlN)과 연속적인 고용체를 형성할 수 있기 때문에 불순물의 활성에너지 및 도핑 농도에 따라 파장 조절이 가능하므로 조성에 따른 삼원계 질화물을 제조하여 파장의 선택 범위가 넓은 가시 발광 다이오드의 제작이

가능하다. 여기서 사용하는 질화갈륨은 질화알루미늄갈륨(Aluminum Gallium Nitride), 질화인듐갈륨(Indium Gallium Nitride) 및 질화알루미늄인듐갈륨(Aluminum Indium Gallium Nitride)의 합금을 포함하는 개념이다.

<16> 질화갈륨은 상기와 같은 좋은 응용성을 가지나 물질의 특성상 벌크 형태의 단결정 제조가 매우 어려워 현재 상업화된 것은 유기금속화학기상증착법(metal organic chemical vapor deposition; MOCVD)을 이용하여 기판 위에 에피층을 성장한 박막 물질을 사용한다. 따라서 질화갈륨박막은 호모 에피텍셜 성장보다 헤테로 에피텍셜 성장이 더 일반적이며, 이에 따른 기판의 선택이 중요한 문제이다. 질화갈륨박막 성장에 사용되는 이종기판은 여러 가지가 고려될 수 있으나, 화학적으로 안정하고 내열성이 있는 사파이어(sapphire; α-Al_2O_3)기판이 대표적으로 사용되고 있다. 그러나 사파이어 기판 같은 이종기판을 사용할 경우 기판과 질화갈륨간에 격자 부정합의 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어 사파이어기판과 질화갈륨과의 격자 부정합의 차이는 최대 16%정도 날 수 있으며, 다른 이종기판에서도 상기와 같은 문제가 있다. 상기의 격자 부정합으로 인해, 박막 성장 초기부터 발생하는 부정합 전위, 실(threading)전위, 적층결함 및 반전 도메인경계(IDB; inversion domain boundary)등의 결함이 관찰된다. 이러한 결함의 정도가 소자의 수명과 발광 효율을 높이는데 매우 중요한 요소이므로, 결함을 개선하는 노력이 여러 방법을 통해 시도되고 있다. 이와 관련하여 종래에 시도된 방법으로는 완충층을 사용하는 것이다. 통상적으로 Akasaki에 의한 질화알루미늄(H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki and Y. Toyoda, Appl. Phys. Lett. 48, 353 1986) 이나 Nakamura에 의해 성공을 거둔 질화갈륨 완충층(S. Nakamura, Jpn. J. Appl. Phys. 30, L1705 1991)이 주로 사용되고 있는데, 이는 비정질 또는 다결정질의 완충층이 기판과 동일한 결정성을 갖는 많은 핵생성 장소를 제공하여 질화갈륨의 성장을 용이하게 해주며, 박막과 기판 사이의 계면 에너지를 감소시켜 측면성장을 촉진시켜주는 역할을 한다. 그런데 질화갈륨의 박막결정성장 전에 유기금속 화학 기상 증착법 혹은 분자선 에피탁시 방법으로 질화알루미늄 혹은 질화갈륨 완충층을 먼저 형성한 후 질화갈륨박막을 성장하는 경우 상기의 보고와 같이 완충층이 그 위에 성장되는 질화갈륨 박막의 2차원적 성장을 용이하게 하여 결과적으로 박막결정의 품질이 향상되는 보고가 있으나 Hashimoto 등은 질화 처리 시간에 따라 오히려 표면이 거칠게 되는 결과를 초래하여 저품위의 질화갈륨이 형성되었음을 보고하였고(T. Hashimoto, Y. Terakoshi, M. Ishida, M. Yuri, O. Imafuji, T. Sugino, A. Yoshikawa and K. Itoh, J. Crystal Growth 189/190, 254 (1998), Uchida 등은 질화 처리된 사파이어 기판의 표면에 비정질 형태의 화합물이 생성되어 돌출(protrusion)표면을 형성한다고 보고하였다(K. Uchida, A. Watanabe, F. Yano, M. Kouguchi, T. Tanaka and S. Minigawa, Solid-State Electronics 41(2), 135 (1997)). 따라서 통상의 공정방법으로는 그 공정조건의 최적화 여부에 따라 다른 결과들이 얻어지고 있음을 알 수 있고 결과적으로 이 같은 공정은 결정성장시 매우 민감한 공정으로 작용하여 제어과정에 어려움이 있을 수 밖에 없었다.

<17> 이러한 문제를 해결하기 위해 대한민국 등록특허 10-0472260에는 사파이어 기판 표면 전체에 질소이온주입처리법을 사용하여 질화갈륨 박막 성장시 발생하는 결함을 감소시키는 방법이 개시되어 있다. 상기 방법은 사파이어 기판 표면 전체에 질소이온을 주입하여 하나의 상(phase)인 비정질의 질화알루미늄층 혹은 질화산화알루미늄층을 형성함으로써 격자 부정합으로 생기는 탄성 변형 에너지를 감소시켜 질화갈륨 박막의 결정성 및 광학적 특성을 향상시킬 수 있으나, 전위(dislocation)결함의 문제는 지속적으로 개선할 필요가 있고, 비정질층으로부터 질화갈륨 박막을 성장시키게 되므로 발생하는 성장속도 감소 또한 개선의 여지가 있었다.

<18> 또한 질화갈륨을 기반으로 하는 광소자는 상기와 같이 광특성 개선을 위해 상기와 같은 양질의 질화갈륨 박막을 성장시키는 기술이 필수적인 요소이나, 최근 들어 질화갈륨 박막의 결정성 개선을 통한 광소자의 광특성 개선보다 내부에서 발생한 광량을 적절히 광소자의 외부로 추출하는 방법을 사용하고 있다. 이를 위해 도입된 방법의 하나로 패턴된 사파이어 기판(Patterned Sapphire Substrate; PSS)을 이용하는 방법이 있으나, 이 방법은 사파이어 기판과 같이 강도가 강한 기판의 경우 기존의 RIE(Reactive Ion Etching) 등의 방법으로 쉽게 식각하기 어렵고 두께를 원하는 만큼 조절하기 어려운 문제점 등이 있어 양산에 어려움이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<19> 따라서, 본 발명이 이루고자 하는 첫 번째 기술적 과제는 질화갈륨 박막의 결정성 및 광학적 특성을 향상시킬 수 있는 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판을 제공하는 것이다.

<20> 본 발명이 이루고자 하는 두 번째 기술적 과제는 제작이 용이한 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판의 제조 및, 그를 이용한 질화갈륨 박막 제조방법을 제공하는 것이다.

<21> 본 발명이 이루고자 하는 세 번째 기술적 과제는 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드를 제공하는 것이다.

<22> 본 발명이 이루고자 하는 네 번째 기술적 과제는 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 레이저다이오드를 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

<23> 본 발명은 상기 첫 번째 기술적 과제를 달성하기 위하여,

<24> 사파이어, 실리콘 카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨(GaAs)으로 이루어지며, 동일 평면 상에, 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부(19); 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부(21)를 포함하는 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판을 제공한다.

<25> 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 패턴의 형상은 원형, 타원형, 스트라이프형(줄무늬형) 또는 다각형일 수 있다.

<26> 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 기판의 재질은 사파이어이고 질소이온주입 패턴부의 표면에는 질화알루미늄막이 형성되어 있는 것일 수 있다.

<27> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 질소이온주입 패턴부에 대한 질소이온의 도즈량은 $1\times10^{15}/cm^2$ 내지 $1\times10^{17}/cm^2$ 이고, 주입에너지는 10 내지 100 keV범위일 수 있다.

<28> 본 발명은 상기 두 번째 기술적 과제를 달성하기 위하여,

<29> (a) 단결정기판(11)을 준비하는 단계;

<30> (b) 상기 단결정기판(11)의 동일 평면상에 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부(19) 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부(21)를 형성하는 단계; 및

<31> (c) 상기 질소이온주입 패턴부(19) 및 질소이온비주입 구획부(21)의 표면에 질화갈륨박막(23)을 성장시키는 단계를 포함하는 질화갈륨 박막 제조방법을 제공한다.

<32> 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 단결정기판은 사파이어, 실리콘 카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨으로 이루어질 수 있다.

<33> 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 (b)단계의 패턴의 형상은 원형, 타원형, 스트라이프형(줄무늬형) 또는 다각형일 수 있다.

<34> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b)단계의 질소이온주입처리는 이온도즈량 $1\times10^{15}/cm^2$ 내지 $1\times10^{17}/cm^2$ 및 주입에너지 10 내지 100 keV범위에서 행할 수 있다.

<35> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b)단계는 (b1) 상기 단결정기판의 표면에 유전체층을 성장시키는 단계; (b2) 상기 유전체층의 표면에 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 구획하는 구획부보호막을 형성하는 단계; (b3) 상기 패턴의 유전체층을 제거하여 패턴부를 형성하는 단계; (b4) 상기 패턴부에 질소이온을 주입하여 질소이온주입 패턴부를 형성하는 단계; (b5) 상기 구획부보호막을 제거하는 단계; 및 (b6) 상기 구획부보호막이 제거된 후에 노출된 유전체층을 제거하여 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

<36> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 유전체층은 실리콘 산화막(SiO_2), 실리콘 질화막(Si_3N_4) 또는 실리콘 산화질화막(SiON)일 수 있다.

<37> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b2)단계의 구획부보호막을 형성하는 방법은 포토리소그래피공정, 잉크젯법 또는 임프린팅법일 수 있다.

<38> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b3)단계의 유전체층을 RIE로 제거할 수 있다.

<39> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b6)단계의 유전체층 제거는 불산으로 제거할 수 있다.

<40> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (c)단계의 질화갈륨 박막 성장은 먼저 기판에 완충층을 형성한 후, 그 위에 에피층을 형성할 수 있다.

<41> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (c)단계의 질화갈륨 박막 성장은 유기금속화학기상증착법, 분자선 에

피탁시법, 원자층단위증착법 또는 플라즈마화학증착법에 의할 수 있다.

<42> 본 발명이 이루고자 하는 세 번째 기술적 과제는 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드를 제공한다.

<43> 본 발명이 이루고자 하는 네 번째 기술적 과제는 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 레이저다이오드를 제공한다.

<44> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.

<45> 본 명세서에서 사용되는 '질화갈륨'이란 용어는 질화알루미늄갈륨(Aluminum Gallium Nitride), 질화인듐갈륨(Aluminum Gallium Nitride) 및 질화알루미늄인듐갈륨(Aluminum Indium Gallium Nitride)의 합금을 포함하는 개념으로, 식 $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$(여기서, $0\leq a$, $0\leq b$, $a+b\leq 1$)로 나타낼 수 있다.

<46> 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판은 사파이어, 실리콘 카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨(GaAs)으로 이루어지며, 도 2에 나타낸 바와 같이 동일 평면 상에, 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부; 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부를 포함하는 것을 특징으로 한다. 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판은 사파이어, 실리콘 카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨(GaAs)으로 이루어질 수 있다. 상기 기판들은 질화갈륨과 종류가 다른 경우라 하더라도, 기판상에 질화갈륨 결정 성장이 가능하고, 본 발명에 의할 경우 질화갈륨과 이종 결정 간의 격자 부정합을 감소시킬 수 있어 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판으로 사용할 수 있다. 상기 질소이온주입 패턴부는 도 2에서 보는 바와 같이 삼각형 또는 육각형 등의 일정한 형상의 패턴이 규칙적으로 반복형성되어 구성되고, 패턴부에 대하여 질소이온주입처리(N^+-ion implantation)가 된 것을 특징으로 한다. 또한 상기 패턴은 구획부에 의해 각각의 패턴이 구획되어 있고, 상기 구획부는 질소이온주입처리가 되어 있지 않은 상태의 단결정기판 표면인 것을 특징으로 한다. 즉, 동일 평면 상에 질소이온주입 처리가 된 패턴부 및 질소이온주입 처리가 되지 않은 구획부를 규칙적으로 반복형성함으로써, 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판의 동일 평면에 대하여 비정질부와 결정부 즉, 두 개의 상(two phase)을 형성할 수 있다. 상기와 같이 성질이 다른 두 개의 상을 동일 평면상에 형성함으로써, 두 개의 상위에 에피층을 형성할 경우 두 상위에 각각 다른 성장속도와 성장모드로 에피층을 형성하게 된다. 질소이온주입처리가 된 부분의 경우는 표면에 AlN 혹은 AlON막이 형성되어 격자 부정합을 완화할 수 있으나, 비정질이므로 에피층의 성장속도가 느릴 수 있다. 또한, 상기 질소이온주입처리가 되지 않은 구획부의 경우는 격자 부정합은 완화되지 않으나, 패턴부에 비해 에피층의 성장속도가 빠르고, 그 결과 수직방향으로의 성장 외에 패턴부를 향해 수평성장(측면성장)을 할 수 있는 상태가 될 것으로 판단된다. 하나의 구획부로부터 수평성장이 일어나는 경우, 인접한 구획부로부터도 동시에 수평성장이 일어날 수 있고, 결과적으로 구획부간에 수평성장한 부분이 패턴부에서 수직성장한 에피층의 표면에서 만나게 되며, 서로 만나게 된 부분은 동일한 결정구조를 갖는 물질이므로 격자 부정합의 측면에서 유리한 효과를 갖게 된다고 할 수 있다. 또한 질소이온주입처리가 된 패턴부의 완화된 격자 부정합이 결정의 성장에 의해 전파되는 모드도 생각할 수 있다. 즉 본 발명에 의하면, 질소이온주입 처리된 표면은 AlN 또는 AlON막이 형성되어 격자 부정합을 완화하게 되고, 질소이온주입 처리되지 않은 표면에서 성장된 에피층은 성장속도 차이에 의해 수평성장(측면성장)을 함으로써 격자 부정합이 완화된다고 판단된다.

<47> 본 발명은 복수개의 규칙적으로 반복된 패턴으로 구성된 패턴부 및 구획부를 형성함으로써, 상기의 복합적 작용이 전체 단결정기판의 표면에 대해서 균일하게 일어나도록 할 수 있다.

<48> 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 패턴의 형상은 원형, 타원형, 스트라이프형(줄무늬형) 또는 다각형 등 그 형태와 크기에 제한되지 않는다. 상기 다각형은 삼각형 내지 36각형일 수 있으며, 패턴의 형상이 육각형 또는 삼각형이 모여서 전체적으로 육각형 형태를 취하게 되는 경우 등에 있어서는 질화갈륨이 6방정계의 결정이므로, 결정성장 측면에서 유리할 수 있다. 특히, 본 발명은 패턴부와 구획부에 대하여 동일한 평면상에서 질화갈륨 결정이 성장하게 되므로, 패턴부와 구획부가 모두 육각형의 형상을 갖는 경우 결정성장이 유리하게 일어날 수 있다고 예상된다.

<49> 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 기판의 재질은 사파이어이고 질소이온주입 패턴부의 표면에는 질화알루미늄막이 형성될 수 있다.

<50> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 질소이온주입 패턴부에 대한 질소이온의 도즈량은 $1\times10^{15}/cm^2$ 내지 $1\times10^{17}/cm^2$ 이고, 주입에너지는 10 내지 100 keV범위일 수 있다. 본 발명에 따른 질소이온주입처리법은 기판에 조사되는 질소이온의 투여량을 이온 도즈량에 따라 제어할 수 있으므로 기판 표면의 균일한 질소원자의 분포를

기대할 수 있으며, 따라서 이온도즈에 의한 기판 표면의 응력 에너지가 질소 이온 분포의 규칙성에 의해 비교적 적거나 불균일한 집중 현상을 방지할 것으로 기대되므로 균일한 핵생성을 유도할 수 있다는 장점이 있다. 상기 이온도즈량이 $1\times10^{15}/cm^2$ 미만인 경우는 질화알루미늄상이 충분히 형성되지 못할 염려가 있고, $1\times10^{17}/cm^2$ 초과인 경우는 질소이온주입 처리가 과잉이 되어 기판 표면이 많이 손상을 입게 되고, 그로 인하여 표면이 너무 거칠어져 질화갈륨 에피층 성장시에 결정성이 나빠질 염려가 있기 때문이다. 마찬가지로 주입에너지가 10 keV 미만의 경우는 질화알루미늄상이 충분히 형성되지 못할 염려가 있고, 주입에너지가 100 keV 초과인 경우는 기판표면이 손상을 입어 질화갈륨 에피층의 결정성이 나빠질 염려가 있다.

<51> 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 제조방법은 도 1에 나타낸 바와 같이 (a) 단결정기판(11)을 준비하는 단계; (b) 상기 단결정기판(11)의 동일 평면상에 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부(19) 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부(21)를 형성하는 단계; 및 (c) 상기 질소이온주입 패턴부(19) 및 질소이온비주입 구획부(21)의 표면에 질화갈륨박막(23)을 성장시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<52> 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 제조방법은 상기의 본 발명에 따른 동일 평면 상에, 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부(19); 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부(21)를 포함하는 질화갈륨박막 제조용 단결정기판에 대하여 패턴부, 비패턴부의 구분 없이 동일한 방식으로 질화갈륨박막을 성장시키는 것을 특징으로 한다.

<53> 상기의 질화갈륨박막 제조용 단결정기판에서 살펴 본 바와 같이, 상기 단결정기판은 사파이어, 실리콘카바이드, 산화아연, 실리콘 또는 비화갈륨으로 이루어질 수 있으며, 상기 (b)단계의 패턴의 형상은 원형, 타원형, 스트라이프형(줄무늬형) 또는 다각형 등일 수 있으며, 규칙적으로 반복되는 형상인 한 제한되는 것은 아니나, 상기 다각형은 삼각형 내지 36각형일 수 있다. 또한 상기 (b)단계의 질소이온주입처리는 이온도즈량 $1\times10^{15}/cm^2$ 내지 $1\times10^{17}/cm^2$ 및 주입에너지 10 내지 100 keV범위에서 행하는 것을 특징으로 할 수 있다.

<54> 상기 (b)단계는 상기 단결정기판(11)의 동일 평면상에 규칙적으로 반복형성된 패턴을 포함하는 질소이온주입 패턴부(19) 및 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부(21)를 형성할 수 있는 한 방법에 제한이 있는 것은 아니나, 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 (b)단계는 (b1) 상기 단결정기판(11)의 표면에 유전체층(13)을 성장시키는 단계; (b2) 상기 유전체층(13)의 표면에 복수개의 규칙적으로 반복형성된 패턴을 구획하는 구획부보호막(15)을 형성하는 단계; (b3) 상기 패턴의 유전체층을 제거하여 패턴부(17)를 형성하는 단계; (b4) 상기 패턴부(17)에 질소이온을 주입하여 질소이온주입 패턴부(19)를 형성하는 단계; (b5) 상기 구획부보호막(15)을 제거하는 단계; 및 (b6) 상기 구획부보호막(15)이 제거된 후에 노출된 유전체층을 제거하여 상기 패턴을 구획하는 질소이온비주입 구획부(21)를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<55> 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 유전체층(13)은 일반적인 이온 임플랜테이션(ion implantation) 방어막인 실리콘 산화막(SiO_2), 실리콘 질화막(Si_3N_4), 실리콘산화질화막(SiON) 등 을 사용할 수 있다. 상기 유전체층(13)은 질화갈륨 박막 제조용 기판에 대하여 기상증착 등의 방법으로 증착될 수 있는 한, 특별히 한정되는 것은 아니나, 질소이온주입처리시 질소이온주입으로부터 구획부를 보호할 수 있는 정도의 강도를 가져야 한다.

<56> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b2)단계의 구획부보호막(15)을 형성하는 방법은 포토리소그래피공정, 잉크젯법 또는 임프린팅법 등을 사용할 수 있으며, 패턴부의 형태를 나타낼 수 있고, 마스크의 역할을 할 수 있는 한 공지의 어떤 방법이라도 상기 구획부보호막을 형성하기 위해 사용할 수 있다.

<57> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b3)단계의 유전체층(13)을 제거하는 방법도 공지의 방법을 사용할 수 있으나, 상기 유전체층을 RIE(Reactive Ion Etching)로 제거할 경우 원하는 깊이로 제거함으로써 정밀한 패턴부를 형성하고, 구획부보호막의 손상을 막아줌으로써 후행의 공정에서 패턴부에만 질소이온주입처리가 가능하도록 할 수 있다.

<58> 상기 (b4)단계의 질소이온주입처리는 이온도즈량 $1\times10^{15}/cm^2$ 내지 $1\times10^{17}/cm^2$ 및 주입에너지 10 내지 100 keV범위에서 행할 수 있으며, 상기 (b5)단계의 구획부보호막(15)의 제거는 구획부보호막의 형성방법에 따라 상이하며, 포토리소그래피법에 의해 포토레지스트(photo resist)를 구획부보호막으로 사용한 경우 그에 따른 적절한 용매 예를 들어, AZ1512를 포토레지스트로 사용한 경우 n-methyl pyrrolidone을 용래로 제거할 수 있다.

<59> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (b6)단계의 유전체층 제거는 공지의 방법에 의할 수 있으나, 불산으로 제거할 경우 기판에 잔류하는 유전체층을 단순한 공정만으로 제거할 수 있다는 장점을 갖는다.

<60> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (c)단계의 질화갈륨 박막 성장은 먼저 기판에 완충층을 형성한 후, 그 위에 에피층을 형성할 수 있다. 질화알루미늄 또는 질화갈륨과 같은 질화물계 화합물반도체 완충층을 비교적 낮은 온도에서 형성함으로써, 질화물계 화합물반도체결정의 격자변형을 완화시켜 에피층의 물리적 특성 및 광학적 특성이 개선된다.

<61> 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 (c)단계의 질화갈륨 박막 성장은 공지의 박막 성장 방법에 의할 수 있으며, 특히 유기금속화학기상증착법, 분자선 에피탁시법, 원자층단위증착법 또는 플라즈마화학증착법 등에 의할 수 있다.

<62> 본 발명에 따른 발광다이오드는 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨박막을 포함할 수 있으며, 본 발명에 따른 상기 질화갈륨 박막제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨박막의 질화갈륨의 개선된 결정성 및 광학적 특성에 의해 상기 발광다이오드 역시 광학적 특성을 개선하는 것이 가능하다.

<63> 본 발명에 따른 레이저다이오드 또한 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨박막을 포함할 수 있으며, 본 발명에 따른 상기 질화갈륨 박막제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨박막의 질화갈륨의 개선된 결정성 및 광학적 특성에 의해 상기 레이저다이오드 역시 광학적 특성을 개선하는 것이 가능하다.

<64> 이하, 바람직한 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세히 설명하지만, 본 발명이 이에 의해 제한되는 것은 아니다.

<65> <실시예 1>

<66> 저압화학기상증착기(성진세미텍; SJF-1000LP-T4)로 SiH_4와 NH_3를 이용하여 직경 2인치의 사파이어 기판(신코사, 일본) 위에 1,300Å두께의 실리콘 질화막(Si_3N_4)을 성장 시켰다. 상기 실리콘 질화막 표면에 삼각형 패턴이 형성된 마스크를 사용해 포토 리소그래피 공정으로 한변의 길이 30㎛, 인접한 삼각형 사이의 간격 5㎛인 삼각형이 규칙적으로 반복형성된 패턴을 구획하는 구획부보호막을 형성시켰다. 상기 포토 리소그래피 공정에 사용한 포토레지스트는 AZ1512였으며, 형성된 포토레지스트층의 두께는 1.6㎛이었다. 이후 상기 구획부보호막에 의해 보호되지 않는 실리콘 질화막을 RIE(Plasma 100MPS-C, Oxford(영국))로 제거함으로써 패턴부를 형성하였다. 사파이어 기판 위의 패턴부에만 질소이온을 주입시키기 위해, 실리콘 질화막과 포토레지스트를 방어막으로 둔 채, 60keV의 에너지와 $1\times10^{16}/cm^2$의 이온도즈(ion dose)로 질소이온을 주입(N^+-implantation)시켰다. 그 후 n-methyl pyrrolidone으로 포토레지스트를 제거한 후, RIE(Plasma 100MPS-C, Oxford(영국))로 실리콘 질화막을 제거하였다. 결과적으로 삼각형 형상의 질소이온주입부 면적이 전체 사파이어 단결정 기판 표면적의 60%에 해당하는 질화갈륨성장용 단결정기판이 준비되었다.

<67> 상기의 포토레지스트 및 실리콘 질화막이 제거된 사파이어 기판은 유기물 세척을 행한 후, H_2SO_4:H_3PO_4=3:1용액과 10% HF용액에서 각각 10분간 에칭을 한 후 유기금속 화학 기상 증착용 반응기(D-180(Spectra Blue); Emcore(미국))에 장착하였다. 수소 분위기에서 1,100℃에서 10분간 열세척을 한 후 550℃까지 온도를 내려 약 30nm 두께의 질화갈륨 완충층을 성장시켰으며, 반응기 압력 500Torr이었다. 상기 완충층을 성장 시킨 후 다시 온도를 1,040℃까지 올려 약 2㎛두께의 질화갈륨 에피층을 성장시켰으며, 반응기 압력 500Torr이었다. 이어 동일 온도에서 N-형 도핑된 질화갈륨 에피층을 형성시킨 후, UV LED칩을 성장시켰다. UV LED의 multi-quantum well은 InGaN, GaN, AlGaN을 1,000℃에서 10~20nm 두께로 5주기 성장해 제작하였다.

<68> <실시예 2>

<69> 패턴형상을 대각선의 길이 70㎛, 인접한 육각형 사이의 간격 35㎛인 육각형으로 대체하여 결과적으로 육각형 형상의 질소이온주입부 면적이 전체 사파이어 단결정 기판 표면적의 33%에 해당하는 질화갈륨성장용 단결정기판을 준비한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하다.

<70> <비교예 1>

<71> 직경 2인치의 사파이어 기판(신코사, 일본)에 대하여, 유기물 세척을 행한 후, H_2SO_4:H_3PO_4=3:1용액과 10% HF용액에서 각각 10분간 에칭을 한 후 유기금속 화학 기상 증착용 반응기(D-180(Spectra Blue); Emcore(미국))에 장착하였다. 수소 분위기에서 1,100℃에서 10분간 열세척을 한 후 550℃까지 온도를 내려 약 30nm 두께의 질화갈륨 완충층을 성장시켰으며, 반응기 압력 500Torr이었다. 상기 완충층을 성장 시킨 후 다시 온도를 1,040℃까지 올려 약 2㎛두께의 질화갈륨 에피층을 성장시켰으며, 반응기 압력 500Torr이었다. 이어 동일 온도에서 N-형 도핑된 질화갈륨 에피층을 형성시킨 후, UV LED 구조를을 성장시켰다. UV LED의 multi-quantum well은 InGaN,

GaN, AlGaN을 1,000℃에서 10~20nm 두께로 5주기 성장해 제작하였다.

<72> <시험예 1>

<73> 질화갈륨 박막 성장용 기판의 표면형상 확인시험

<74> 실시예 1 또는 실시예 2의 패턴부에 대한 질소이온주입 전단계에서, 사파이어기판 표면에 유전체층 및 포토레지스트에 의해 구획된 패턴부가 형성되었음을 확인하기 위하여, 패턴부가 형성된 사파이어기판의 표면에 대하여 SEM사진을 촬영하였다. 그 결과를 도 2에 나타내었다.

<75> 도 2에서 보는 바와 같이 사파이어기판 표면에 유전체층 및 포토레지스트에 의해 구획된 삼각형 또는 육각형의 패턴이 규칙적으로 반복형성된 패턴부가 형성되었음을 확인할 수 있다. 따라서 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판을 재현성 및 정밀성을 만족시키며 제조할 수 있음을 알 수 있다.

<76> <시험예 2>

<77> 패턴부 형성 확인 시험

<78> 실시예 1의 패턴부에 대한 질소이온주입 전단계에서, 사파이어기판 표면에 유전체층 및 포토레지스트에 의해 구획된 패턴부가 형성되었음을 확인하기 위하여, 패턴부가 형성된 사파이어기판의 단면에 대하여 SEM사진을 촬영하였다. 그 결과를 도 3에 나타내었다.

<79> 도 3에서 보는 바와 같이 사파이어기판 표면에 1300Å두께의 실리콘 질화막(Si_3N_4) 및 그 상부에 두께 1.6㎛의 포토레지스트가 형성되어 있으며, 패턴부는 상기 실리콘 질화막 및 포토레지스트가 완전히 제거되어 사파이어기판 표면이 노출되어 있음을 알 수 있다. 상기 실리콘 질화막 및 포토레지스트에 의해 질소이온주입으로 부터 기판의 표면 구획부를 보호할 수 있고, 패턴부에 대하여만 질소이온주입이 가능하도록 할 수 있다.

<80> <시험예 3>

<81> 에피층 결정성 분석 시험

<82> 실시예 1 및 비교예 1의 질화갈륨 에피층 성장을 마친 단계에서 에피층의 결정성을 분석하기 위해 이중결정 X-선 회절분석기(Xpert PRO, PAnalitical)로 이중결정 X-선 회절법(DCXRD; double crystal X-ray diffraction)을 실시하여, X-선 요동곡선(X-ray rocking curve)을 도 4에 나타내었다. 그 결과 질화갈륨피크(0002)에서의 X-선 요동곡선(X-ray rocking curve)의 반치폭(FWHM)를 보면, 비교예 1의 경우는 0.096인 반면 실시예 1의 경우는 0.085를 나타낸다. 반치폭이 작은 값을 나타낼수록 균일한 결정이 형성되었다고 할 수 있으므로, 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 에피층의 결정성이 종래 기술에 비해 뛰어남을 상기의 결과로부터 확인할 수 있다.

<83> <시험예 4>

<84> 에피층 광학적 특성 시험

<85> 실시예 1 및 비교예 1의 질화갈륨 에피층 성장을 마친 단계에서 에피층의 광학적 특성을 분석하기 위해 상온에서 질화갈륨의 포토루미네슨스 스펙트럼을 PL장치(RPM2000, Accent optical technologies(영국))로 측정하였다. 그 결과를 도 5에 나타내었다. 도 5에 나타낸 바와 같이 질화갈륨의 발광파장인 365nm에서 실시예 1의 경우가 비교예 1의 경우보다 높은 강도를 나타냄을 알 수 있다. 또한 질소공공이나 여러 결함으로 인하여 발생하는 550nm파장 부근의 황색발광(yellow luminescence)이 비교예 1에 비해 실시예 1의 경우 현저히 낮은 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 실험예 3의 결과와 마찬가지로 본 발명에 따른 질화갈륨 에피층이 종래기술에 의한 질화갈륨 에피층에 비해 광학적 특성이 우수함을 알 수 있다.

<86> <시험예 5>

<87> N-형 도핑된 질화갈륨 에피층 결정성 시험

<88> 실시예 1 및 비교예 1의 도핑이 되지 않은 질화갈륨 에피층 위에 N-형 도핑된 질화갈륨 에피층을 성장시켜 그 결정성을 확인하기 위해 이중결정 X-선 회절분석기(Xpert PRO, PAnalitical)로 이중결정 X-선 회절법(DCXRD; double crystal X-ray diffraction)을 실시하여, X-선 요동곡선(X-ray rocking curve)을 도 6에 나타내었다. 그 결과 질화갈륨피크(0002)에서의 X-선 요동곡선(X-ray rocking curve)의 반치폭(FWHM)를 보면, 비교예 1의 경우는 0.070인 반면 실시예 1의 경우는 0.063을 나타낸다. 반치폭이 작은 값을 나타낼수록 균일한 결정이 형성되었다고 할 수 있으므로, 본 발명에 따른 N-형 도핑된 질화갈륨 에피층의 결정성이 종래 기술에 비해 뛰어남을

확인할 수 있다.

<89> <시험예 6>

<90> UV LED의 광학적 특성 시험

<91> 실시예 1, 실시예 2 및 비교예 1에서 제조된 UV LED의 광학적 특성을 시험하기 위하여, 웨이퍼 상에서 전극을 설치하고, 100mA의 전류를 흘려주어 각각 2개의 UV LED에 대하여 그 광도를 LED chip tester(ELT-1000, Ecopia21)로 측정하였다. 그 결과를 도 7 및 도 8에 나타내었으며, 그 결과를 보면 실시예 1 및 실시예 2 모두 비교예 1에 비해 광도가 79~80% 향상된 값을 나타냄을 알 수 있다. 실시예 1의 질소주입처리 패턴부의 표면적이 전체 표면적의 60%이고 실시예 2의 경우 33%임에도 광도 향상 효과가 비슷한 정도를 나타내고 있다. 즉, 질소주입처리 패턴부의 표면적에 관계없이 광도 향상 효과가 뛰어나다는 결과가 나타난 이유는 본 발명의 반복형성된 균일한 패턴 때문인 것으로 판단된다. 또한, 실시예 1에 비해 실시예 2의 광도가 다소 높은 값을 나타내는 것은, 실시예 2의 단결정기판 표면의 패턴부 및 구획부의 형상이 모두 육각형을 나타낸 것이, 육방정계인 질화갈륨의 결정 성장 측면에서 유리한 영향을 준 인자 중 하나라고 판단된다.

<92> 상기 결과는 패턴의 형태나 질소이온주입부의 면적이 상이함에도 종래 기술에 비해 본 발명에 따른 UV LED의 광학적 특성이 우수함을 나타내는 것이다. 상기의 결과는 질소이온주입 처리된 표면은 격자 부정합을 완화하게 되고, 질소이온주입 처리되지 않은 표면에서 성장된 에피층은 성장속도 차이에 의해 수평성장(측면성장)을 함으로써 격자 부정합이 완화되는 효과가 복합적으로 발생하며, 균일한 패턴에 의해 상기 복합적 효과도 전체 기판에 대하여 균일하게 발생하게 되어, 상기 에피층으로 부터 성장된 UV-LED의 광학적 특성 또한 개선된 것으로 판단된다.

발명의 효과

<93> 상기에서 살펴본 바와 같이, 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판은 질화갈륨 박막의 성장을 종래와 다른 방식으로 빠르게 성장시킬 수 있으며, 결과적으로 질화갈륨 박막의 결정성 및 광학적 특성을 향상시킬 수 있다. 또한, 상기 단결정기판을 이용한 질화갈륨 박막 제조방법은 제작이 용이하고 질화갈륨 박막의 결정성 및 광학적 특성을 향상시킬 수 있으며, 상기 질화갈륨 박막 제조용 단결정기판에 의해 제조된 질화갈륨 박막을 포함하는 발광다이오드 및 레이저다이오드는 광학적 특성이 우수하다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 본 발명에 따른 질화갈륨 박막 제조방법의 일 실시예를 나타낸 그림이다.

<2> 도 2는 실시예 1 및 실시예 2의 유전체층 및 포토레지스트에 의해 구획된 패턴부가 형성된 사파이어기판의 표면을 촬영한 SEM사진이다.

<3> 도 3은 실시예 1의 유전체층 및 포토레지스트에 의해 구획된 패턴부가 형성된 사파이어기판의 단면에 대하여 SEM사진이다.

<4> 도 4는 실시예 1 및 비교예 1의 질화갈륨 에피층에 대한 X선 회절분석의 반치폭을 나타낸 그래프이다.

<5> 도 5는 실시예 1 및 비교예 1의 질화갈륨 에피층에 대한 포토루미네슨스 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.

<6> 도 6은 실시예 1 및 비교예 1의 도핑이 되지 않은 질화갈륨 에피층 위에 성장시킨 N-형 도핑된 질화갈륨 에피층에 대한 X-선 회절분석의 반치폭을 나타낸 그래프이다.

<7> 도 7은 실시예 1 및 비교예 1에서 제조된 UV LED의 광도측정결과를 나타낸 그래프이다.

<8> 도 8은 실시예 2 및 비교예 1에서 제조된 UV LED의 광도측정결과를 나타낸 그래프이다.

<9> <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

<10> 11: 단결정기판 13: 유전체층

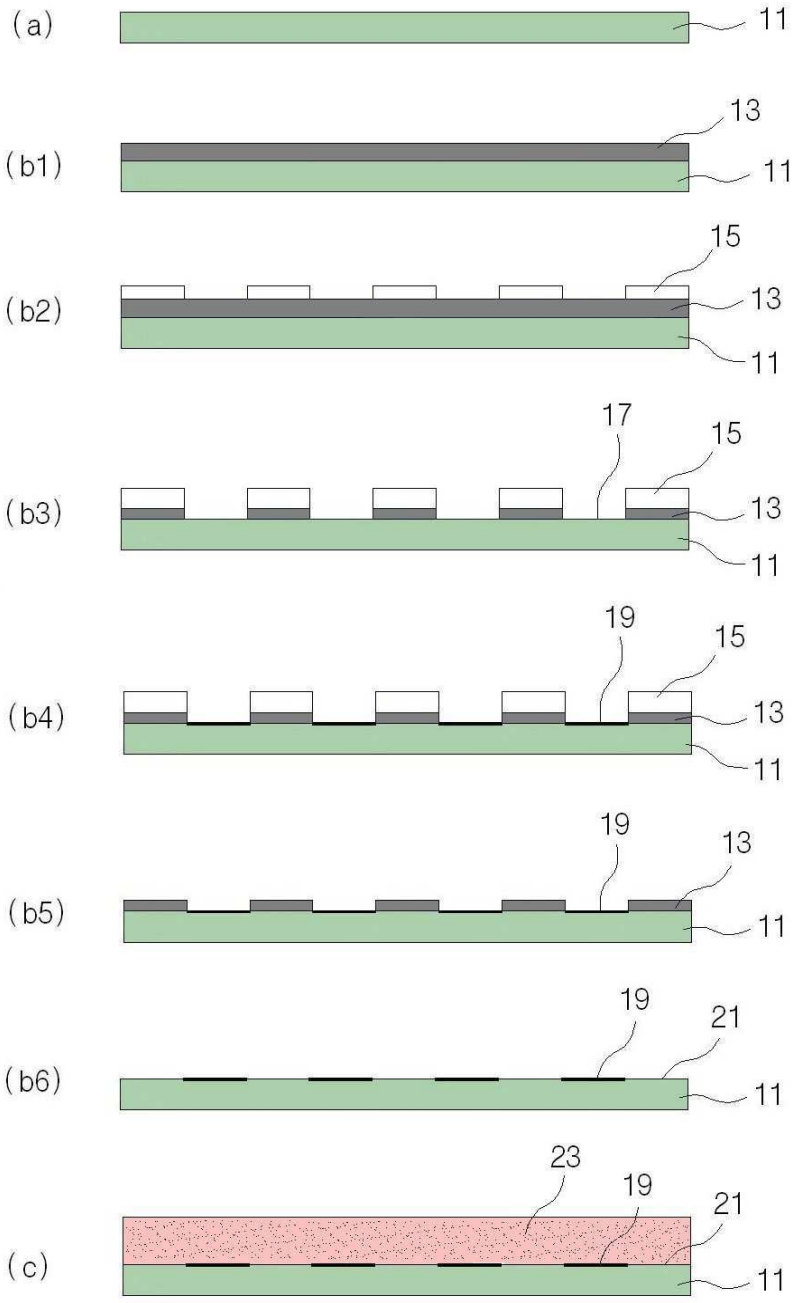
<11> 15: 구획부보호막 17: 패턴부

<12> 19: 질소이온주입 패턴부 21: 질소이온비주입 구획부

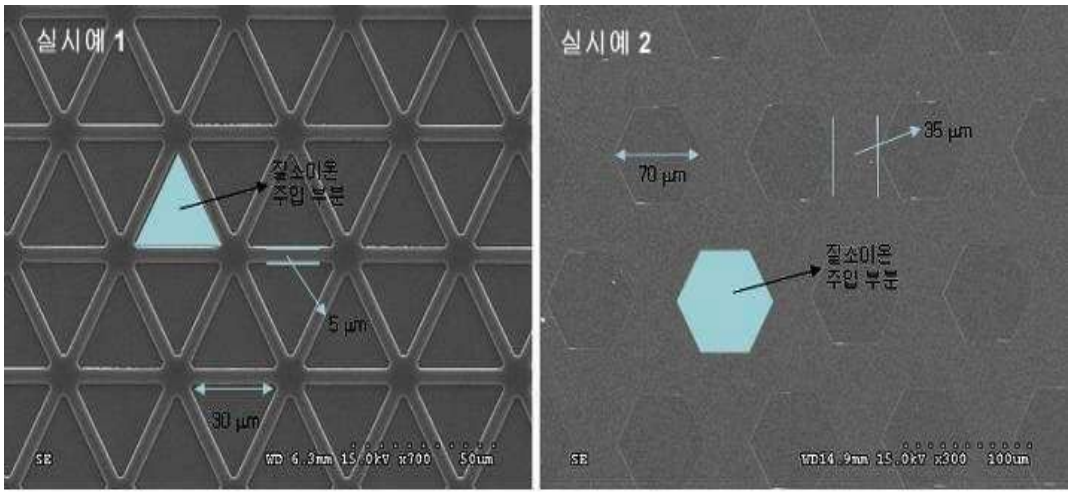
<13> 23: 질화갈륨 박막

도면

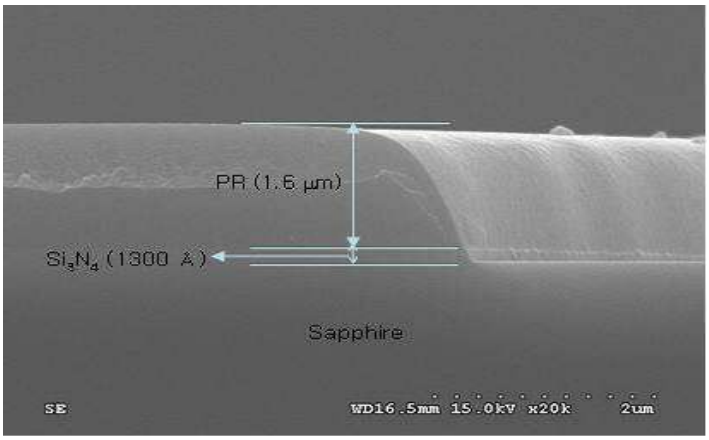
도면1


(a)
11
(b1)
13
11
(b2)
15
13
11
(b3)
17
15
13
11
(b4)
19
15
13
11
(b5)
19
13
11
(b6)
19
21
11
(c)
23
19
21
11

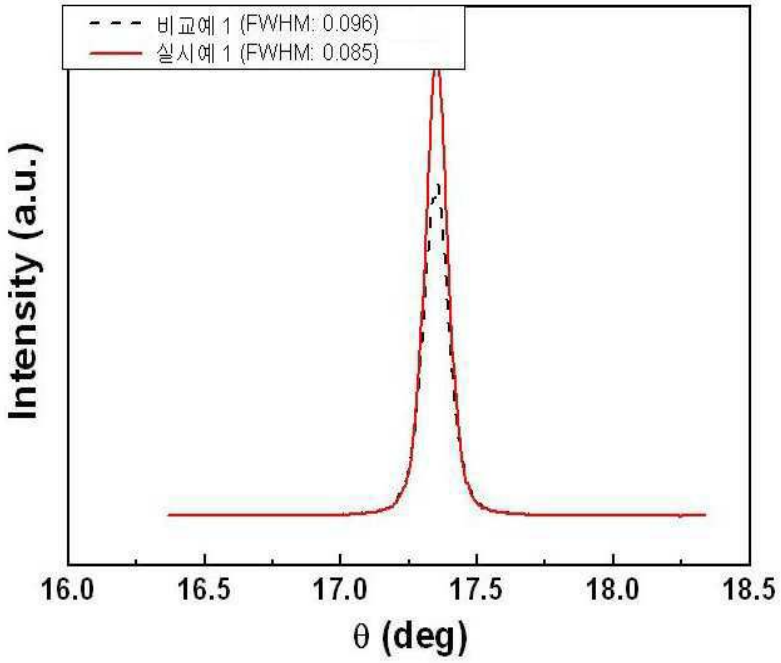
도면2


실시예 1
질소이온
주입 부분
5 μm
30 μm
SE
WD 6.3mm 15.0kV x700 50um
실시예 2
70 μm
35 μm
질소이온
주입 부분
SE
WD14.9mm 15.0kV x300 100um

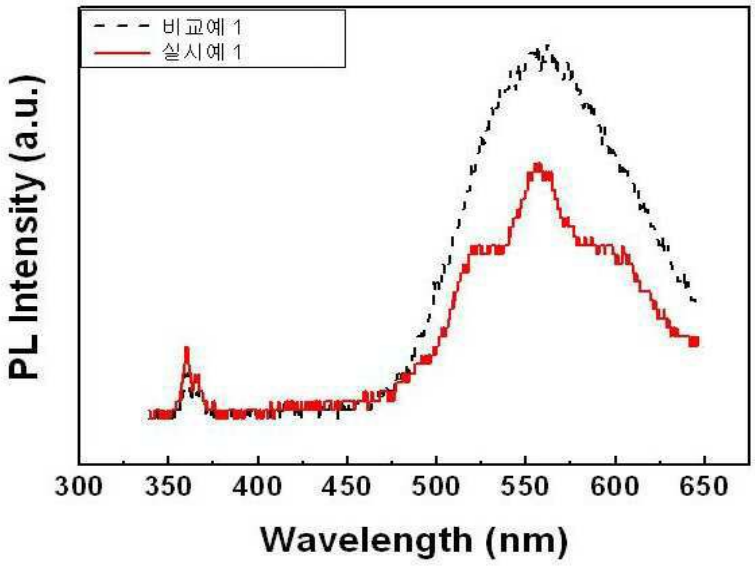
도면3


PR (1.6 μm)
Si_3N_4 (1300 Å)
Sapphire
SE
WD16.5mm 15.0kV x20k 2um

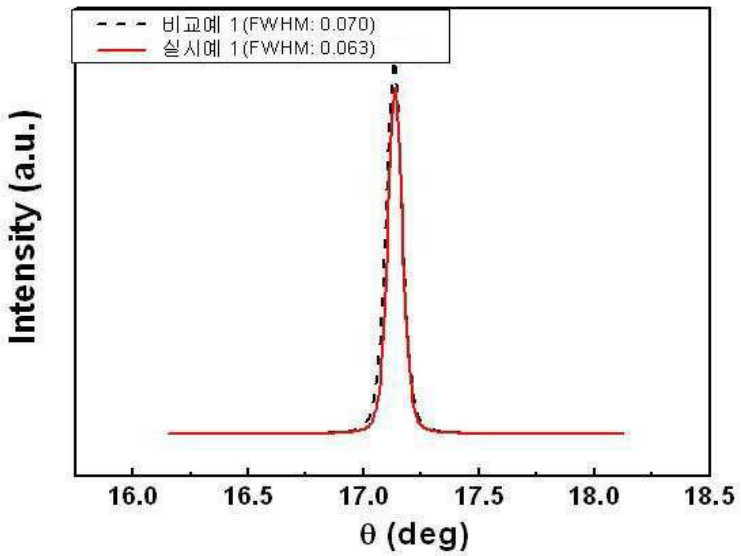
도면4


비교예 1 (FWHM: 0.096)
실시예 1 (FWHM: 0.085)
Intensity (a.u.)
16.0
16.5
17.0
17.5
18.0
18.5
θ (deg)

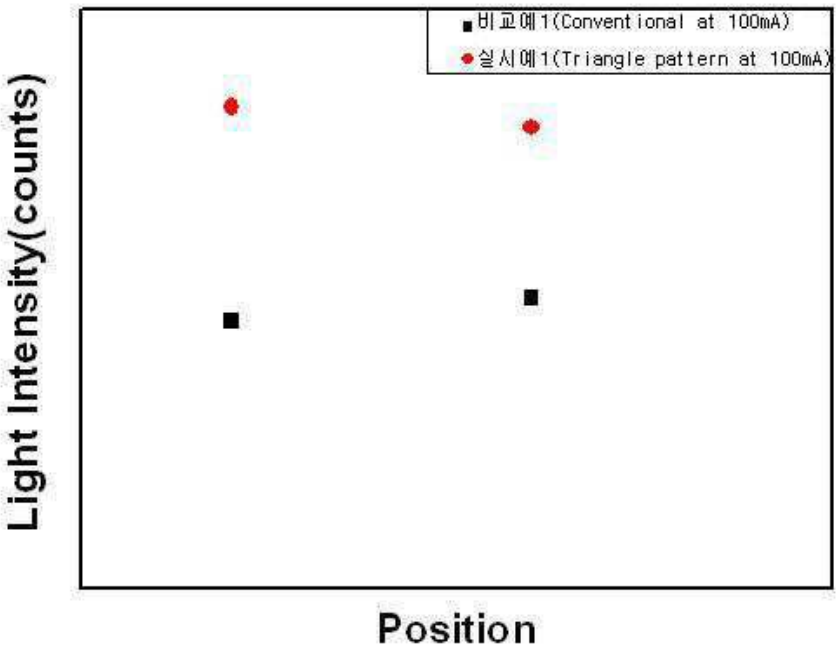
도면5


비교예 1
실시예 1
PL Intensity (a.u.)
300
350
400
450
500
550
600
650
Wavelength (nm)

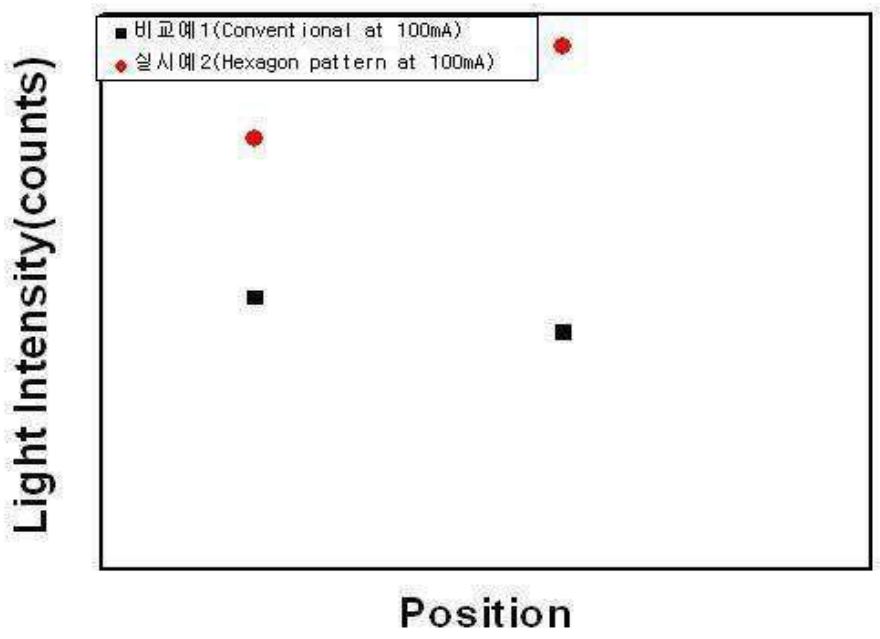
도면6


비교예 1(FWHM: 0.070)
실시예 1(FWHM: 0.063)
Intensity (a.u.)
16.0
16.5
17.0
17.5
18.0
18.5
θ (deg)

도면7


비교예1(Conventional at 100mA)
실시예1(Triangle pattern at 100mA)
Light Intensity(counts)
Position

도면8


비교예1(Conventional at 100mA)
실시예2(Hexagon pattern at 100mA)
Light Intensity(counts)
Position