



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. H01L 33/00 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년01월29일 10-0674859 2007년01월20일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2005-0061360 2005년07월07일 2005년07월07일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	10-2007-0006224 2007년01월11일
----------------------------------	---	------------------------	--------------------------------

(73) 특허권자 삼성전기주식회사
 경기 수원시 영통구 매탄3동 314번지

(72) 발명자 알렉산더 포민
 경기 수원시 영통구 매탄3동 314번지 삼성전기(주)내

이규한
경기 수원시 영통구 매탄동 1254-1 203호

김제원
경기 수원시 영통구 영통동 황골마을2단지아파트 쌍용아파트249-2006

(74) 대리인 특허법인씨엔에스

(56) 선행기술조사문헌 JP2002344019 A KR1020050100485 A * 심사관에 의하여 인용된 문헌	KR1020050036737 A US6791117 B2
---	-----------------------------------

심사관 : 이진홍

전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 질화물 단결정의 조면처리방법 및 이를 이용한 질화물발광소자 제조방법

(57) 요약

본 발명은 질화물 단결정의 조면처리방법 및 이를 이용한 질화물 발광소자 제조방법에 관한 것으로서, 황산(H₂PSO₄)과 인산(H₃PO₄) 및 알루미늄이 혼합된 에칭액을 마련하는 단계와, 상기 에칭액을 질화물 단결정 표면에 적용하여 조면처리를 실시하는 단계를 포함하는 질화물 단결정 조면처리방법을 제공한다.

또한, 본 발명은, 제1 도전형 질화물 반도체층, 활성층 및 제2 도전형 질화물 반도체층이 순차적으로 적층된 질화물 발광구조를 형성하는 단계와, 적어도 상기 질화물 발광구조의 일면에 황산(H₂PSO₄)과 인산(H₃PO₄) 및 알루미늄이 혼합된 에칭액을 적용하여 상기 에칭액을 질화물 단결정 표면에 적용하여 조면처리를 실시하는 단계를 포함하는 질화물 발광소자 제조방법을 제공한다.

대표도

도 4

특허청구의 범위

청구항 1.

황산(H_2PSO_4)과 인산(H_3PO_4) 및 알루미늄이 혼합된 에칭액을 마련하는 단계와, 상기 에칭액을 질화물 단결정 표면에 적용하여 조면처리를 실시하는 단계를 포함하는 질화물 단결정 조면처리방법.

청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 에칭액 중 황산과 인산의 혼합비는 1:0.5 내지 1:10인 것을 특징으로 하는 질화물 단결정 조면처리방법.

청구항 3.

제1항에 있어서,

상기 에칭액 중 알루미늄의 함량은 0.1mol/l 이상인 것을 특징으로 하는 질화물 단결정 조면처리방법.

청구항 4.

제3항에 있어서,

상기 에칭액 중 알루미늄의 함량은 상기 에칭액이 적용되는 온도에서 상기 혼합액 중 포화상태에 해당하는 것을 특징으로 하는 질화물 단결정 조면처리방법.

청구항 5.

제1항에 있어서,

상기 에칭액이 적용되는 온도는 200℃ 이상인 것을 특징으로 하는 질화물 단결정 조면처리방법.

청구항 6.

제1 도전형 질화물 반도체층, 활성층 및 제2 도전형 질화물 반도체층이 순차적으로 적층된 질화물 발광구조를 형성하는 단계; 및

적어도 상기 질화물 발광구조의 일면에 황산(H_2PSO_4)과 인산(H_3PO_4) 및 알루미늄이 혼합된 에칭액을 적용하여 상기 에칭액을 질화물 단결정 표면에 적용하여 조면처리를 실시하는 단계를 포함하는 질화물 발광소자 제조방법.

청구항 7.

제6항에 있어서,

상기 에칭액 중 황산과 인산의 혼합비는 1:0.5 내지 1:10인 것을 특징으로 하는 질화물 발광소자 제조방법.

청구항 8.

제6항에 있어서,

상기 에칭액 중 알루미늄의 함량은 0.1mol/l 이상인 것을 특징으로 하는 질화물 발광소자 제조방법.

청구항 9.

제8항에 있어서,

상기 에칭액 중 알루미늄의 함량은 상기 에칭액이 적용되는 온도에서 상기 혼합액 중 포화상태에 해당하는 것을 특징으로 하는 질화물 발광소자 제조방법.

청구항 10.

제6항에 있어서,

상기 에칭액이 적용되는 온도는 200℃ 이상인 것을 특징으로 하는 질화물 발광소자 제조방법.

청구항 11.

제6항에 있어서,

상기 에칭액이 적용되는 상기 질화물 발광구조의 일면은 상기 제2 도전형 질화물층의 상면인 것을 특징으로 하는 질화물 발광소자 제조방법.

청구항 12.

제6항에 있어서,

상기 조면처리과정에서 형성되는 피트의 깊이에 대한 상단폭의 비는 50 이상인 것을 특징으로 하는 질화물 발광소자 제조방법.

청구항 13.

제6항에 있어서,

상기 조면처리과정에서 형성되는 피트의 적어도 일부는 육각형인 단면구조를 갖는 특징으로 하는 질화물 발광소자 제조방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 질화물 단결정의 조면처리방법에 관한 것으로서, 질화물 발광소자의 휘도향상에 적합한 피트구조가 부여되도록 개선된 습식에칭공정을 이용한 질화물 단결정 조면처리방법 및 질화물 발광소자 제조방법에 관한 것이다.

일반적으로, 질화물 반도체 발광소자의 광효율은 내부양자효율(internal quantum efficiency)과 광추출효율(light extraction efficiency, 또는 "외부양자효율"이라고도 함)에 의해 결정된다. 특히, 광추출효율은 발광소자의 광학적 인자, 즉 각 구조물의 굴절률 및/또는 계면의 평활도(flatness) 등에 의해 결정된다.

이러한 광추출효율측면에서, 질화물 반도체 발광소자는 근본적인 제한사항을 가지고 있다. 즉, 반도체 발광소자를 구성하는 반도체층은 외부대기나 기판에 비해 큰 굴절률을 가지므로, 활성층으로부터 발생된 광의 상당부분은 내부 전반사되어 실질적으로 원하지 않는 방향으로 전파되거나 전반사과정에서 손실되어 광추출효율이 낮을 수 밖에 없다.

이러한 문제를 해결하기 위해서, 광방출영역으로 정의되는 표면에 요철을 형성하는 방안이 사용되고 있다. 예를 들어, 질화물 발광소자는 광추출효율을 향상시키기 위해서 p형 질화물층 상면에 요철이 형성될 수 있다. 도1에는 이러한 질화물 발광소자가 도시되어 있다.

도1을 참조하면, 질화물 발광소자는 버퍼층(12)이 형성된 사파이어기판(11) 상에 순차적으로 형성된 n형 질화물층(14), 활성층(15) 및 p형 질화물층(16)을 포함한다. 상기 p형 질화물층(16)과 상기 n형 질화물층(14)에는 각각 p축 및 n축 전극(19,18)이 형성된다. 여기서, 주된 광방출면으로 정의되는 p형 질화물층(16)의 상면(16a)은 조면처리공정을 통해 높은 표면거칠기가 부여된다.

따라서, 활성층(15)에서 생성된 광은 p형 질화물층(16)의 거친 표면(16a)을 통해 보다 효과적으로 추출될 수 있다.

하지만, 이러한 조면처리공정은 높은 경도를 갖는 질화물층에 적용되므로, 통상적인 에칭공정으로서 원하는 표면거칠기를 얻기 어렵다. 미국특허등록 제6,884,647호에서는, 반응성 이온에칭(RIE)을 이용하여 p형 질화물층(16) 표면에 요철을 형성하는 방안이 제시되어 있으나, 반응성 이온에칭공정에 사용되는 높은 에너지로 인해, p형 질화물층(16)의 결정이 손상될 뿐만 아니라, 활성층(15)의 결정성도 저하시켜 발광효율을 크게 저하시킬 수 있다.

이에 반해, 습식에칭공정은 결정손상측면에서 높은 안정성을 갖지만, 앞서 설명한 바와 같이 질화물 단결정이 높은 경도를 가지므로, 사용가능한 에칭액이 매우 제한적이다. 대표적으로, 질화물 단결정에 적용되는 에칭액으로서 황산과 인산을 혼합한 에칭액이 알려져 있다.

하지만, 이러한 습식에칭에 의해 표면에 형성된 피트(pit, 도1a의 P)는 광추출효과를 향상시키는데 그다지 유익하지 않다. 즉, 습식에칭에 의한 피트(P)의 형상은 그 깊이(d)에 대한 폭(w)의 비가 50이상으로서 지나치게 완만한 형태가 된다. 이와 같이, 피트형상이 완만한 경우에, 피트의 측면경사도가 작으므로, 질화물층과 외부대기의 높은 굴절률 차이에 따른 광추출 임계각(약 23.6°)보다 큰 각으로 입사되는 광을 효과적으로 증가시킬 수 없다.

따라서, 당 기술분야에서는, 습식에칭에 의한 광추출효율 개선방안도 에칭피트형상의 제한적 특성으로 인해 적절하지 못하다고 인식되고 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기한 기술적 과제를 해결하기 위한 것으로서, 그 목적은 결정성의 손상이 작은 습식에칭공정을 이용하면서도 광추출효율을 높히는데 적합한 가파른 피트구조를 갖는 표면을 형성하기 위한 질화물 단결정의 조면처리방법을 제공하는 데 있다.

본 발명의 다른 목적은 상기한 질화물 단결정 조면처리기술을 이용하여 광추출효율을 향상시킬 수 있는 질화물 발광소자 제조방법을 제공하는데 있다.

발명의 구성

상기한 기술적 과제를 달성하기 위해서, 본 발명의 일 관점은

황산(H_2PSO_4)과 인산(H_3PO_4) 및 알루미늄이 혼합된 에칭액을 마련하는 단계와, 상기 에칭액을 질화물 단결정 표면에 적용하여 조면처리를 실시하는 단계를 포함하는 질화물 단결정 조면처리방법을 제공한다.

바람직하게, 상기 에칭액 중 황산과 인산의 혼합비는 1:0.5 내지 1:10일 수 있다. 또한, 상기 에칭액 중 알루미늄의 함량은 적어도 약 0.1 mol/l로 첨가하는 것이 바람직하며, 에칭온도에서 거의 포화수준으로 첨가하는 것이 보다 바람직하다.

충분한 에칭속도를 얻기 위해서, 상기 에칭액이 적용되는 온도는 약 200°C 이상에서 실시하는 것이 바람직하다.

본 발명에 따른 질화물 단결정의 조면처리방법은, 질화물 발광소자의 광추출효율을 개선하기 위한 요철형성공정으로서 유익하게 채용될 수 있다. 따라서, 본 발명의 다른 관점은 제1 도전형 질화물 반도체층, 활성층 및 제2 도전형 질화물 반도체층이 순차적으로 적층된 질화물 발광구조를 형성하는 단계와, 적어도 상기 질화물 발광구조의 일면에 황산(H_2PSO_4)과 인산(H_3PO_4) 및 알루미늄이 혼합된 에칭액을 적용하여 상기 에칭액을 질화물 단결정 표면에 적용하여 조면처리를 실시하는 단계를 포함하는 질화물 발광소자 제조방법을 제공한다.

본 발명에 따라 조면처리된 질화물 발광구조의 일면은 주된 광추출면으로 정해지며, 바람직하게는 상기 제2 도전형 질화물층의 상면일 수 있다.

또한, 상기 조면처리과정에서 형성되는 피트는 광추출효과가 향상되도록, 그 깊이에 대한 상단폭의 비가 30이하인 가파른 구조로서 형성될 수 있으며, 상기 조면처리과정에서 형성되는 피트의 적어도 일부는 육각형인 단면구조일 수 있다.

본 발명은 반응성 이온에칭(RIE)과 같은 건식식각공정에 비해 결정손상이 적은 습식에칭을 이용하여 비경면을 형성하면서, 광추출에 유익한 프로파일을 갖는 피트구조를 제공하는데 특징이 있다.

본 발명에서 채용된 에칭액은 황산과 인산의 혼합액에 알루미늄을 첨가한 형태로서 제공된다. 후술될 실시예를 통해 확인되는 바와 같이, 황산과 인산에 알루미늄을 첨가할 경우에, 가파른 프로파일을 갖는 피트를 형성할 수 있다. 즉, 본 발명의 에칭액에 의해 표면에 형성된 피트는 그 깊이에 대한 상단폭이 30이하이므로, 통상의 에칭액을 적용한 경우보다 2배이상으로 가파른 형상의 피트를 얻을 수 있다.

본 발명은 알루미늄이 함유된 에칭액을 마련하는 단계로 시작된다. 본 발명에서 사용되는 에칭액 중 황산과 인산의 혼합비는 이에 한정되지는 않으나, 1:1 내지 1:10이 바람직하다. 황산 또는 인산의 혼합량이 많거나 적은 경우에는 에칭률이 다소 저하되는 문제가 있다. 또한, 상기 에칭액 중 알루미늄의 함량은 약 0.1 mol/l인 것이 바람직하다. 알루미늄 함량이 0.1 mol/l보다 적은 경우에는 충분한 프로파일 개선 효과를 기대하기 어렵다. 충분히 가파른 형상을 얻기 위해서, 알루미늄의 함량을 1 mol/l 이상으로 하는 것이 보다 바람직하며, 나아가 에칭온도에서 혼합액의 포화수준으로 알루미늄을 첨가하는 것이 가장 바람직하다.

이어, 질화물 단결정에 상기 에칭액을 적용하여 조면화처리를 실시한다. 충분한 에칭속도를 얻기 위해서, 상기 에칭액이 적용되는 온도는 약 200°C 이상에서 실시하는 것이 바람직하다. 본 발명에서 사용되는 질화물 단결정 또는 질화물층이라는 용어는 $Al_xIn_yGa_{(1-x-y)}N$ (여기서, $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$)를 만족하는 헥사고갈 결정층을 말한다. 상기 질화물 단결정은 통상적인 에칭공정을 통해서 쉽게 식각되지 않는 높은 화학적 안정성을 가지며, 에칭되더라도 가파른 프로파일을 갖는 피트를 형성하기 어렵다. 이로 인해, 발광소자의 광추출효율을 개선하는데 큰 효과가 없다.

이러한 문제를 해결하기 위해서, 본 발명에서는 에칭액 중 알루미늄을 첨가한다. 본 발명자는 에칭액 중 알루미늄이온은 측방향 에칭속도를 둔화시키고 상대적으로 수직방향 에칭속도를 향상시키는 작용을 한다는 것을 알아 냈다. 결과적으로, 본 발명에서 얻어지는 에칭 피트는 종래에 비해 깊이에 대한 상단폭의 비가 2배이상(예, 6배)으로 개선되며, 따라서, 통상의 습식에칭공정에서보다 발광소자의 광추출효율을 획기적으로 개선시킬 수 있었다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하기로 한다.

(실시예 1)

본 실시예는 본 발명에서 채용된 에칭액에 의해 질화물 표면에 요철이 형성될 수 있음을 확인하기 위해서 실시되었다.

우선, 인산과 황산을 각각 500sccm로 약 10분간 공급될 수 있도록 에칭액을 마련하였으며, 여기서 상기 혼합된 에칭액(총 약 10ℓ)에 1mol 알루미늄(순도: 99.99%)을 첨가시켰다.

상기 에칭액을 가열시킨 후에, 가열된 에칭액을 상기 유량의 조건으로 220℃의 온도에서 질화물 발광소자의 p형 질화물층(상부 질화물층)상면에 적용시키고, 약 10분간 에칭을 진행시켰다.

도2a는 에칭처리 전에 p형 질화물층 상면을 촬영한 AFM사진이며, 도2b는 에칭처리 후에 p형 질화물층 상면을 촬영한 AFM 사진이다.

도2a를 참조하면, 에칭처리 전의 p형 질화물층은 매끄러운 경면을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이에 반해, 도2b에 나타난 바와 같이, 에칭처리 후의 p형 질화물층 표면에는 육각형상의 에칭피트가 다수 형성된 거친 표면이 형성되었음을 확인할 수 있다.

도3a 및 도3b는 에칭처리전후의 표면거칠기 정도를 확인하기 위해서 측면프로파일을 측정한 결과이다. 에칭처리전의 p형 질화물층의 표면거칠기(Ra)는 도3a와 같이 평균 0.928nm이며, 최대 6.082nm로 나타났으나, 도3b와 같이 에칭처리후의 p형 질화물층의 표면거칠기(Ra)는 평균 3.003nm이며, 최대 18.605nm로 나타났다. 특히, 도3b에 나타난 바와 같이, 에칭피트가 매우 가파른 형상을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이러한 알루미늄첨가에 따른 에칭피트형상의 개선효과는 실시예2에서 보다 상세히 설명하기로 한다.

하기 표1은 본 실시예에서 에칭 전과 에칭 후에 EL세기를 측정한 결과이다. 측정횟수는 5회에 걸쳐 서로 다른 위치에서 실시하였으며, 에칭전후의 비교대상은 동일한 위치에서 측정한 결과이다.

[표 1]

측정횟수	에칭전 EL세기(a.u.) (피크파장)	에칭후 EL세기(a.u.) (피크파장)	증가율(%)
1	556(@463.92nm)	642(@464.6nm)	15.4
2	506(@461.78nm)	576(@461.78nm)	13.8
3	421(@459.63nm)	469(@459.99nm)	11.1
4	380(@461.78nm)	429(@462.13nm)	12.8
5	430(@465.35nm)	473(@467.13nm)	10

상기 표1과 같이, 피크파장은 거의 변화하지 않고, 측정된 모든 위치에서 10~15.4%의 휘도 향상의 효과를 나타내었다. 상기 결과를 통해 에칭피트형성에 의해 휘도개선효과가 있을 뿐만 아니라, 거의 전면적에 원하는 에칭피트가 형성되었음을 확인할 수 있었다.

(실시예 2)

본 실시예는 본 발명에서 채용된 에칭액 중 알루미늄의 작용과 효과를 보다 명확히 설명하기 위해서 실시되었다.

본 실시예에서는, 실시예1과 동일한 조건으로 에칭액을 마련하였다. 즉, 인산과 황산을 각각 500sccm로 약 10분간 공급될 수 있도록 에칭액을 마련하였으며, 여기서 상기 혼합된 에칭액(총 약 10ℓ)에 1mol 알루미늄(순도: 99.99%)을 첨가시켰다.

한편, 알루미늄이 첨가하는 것만을 제외하고, 동일한 조건으로 인산과 황산을 혼합하여 다른 에칭액을 마련하였다.

이와 같이, 마련된 2개의 에칭액을 동일한 조건으로 가열시킨 후에, 가열된 에칭액을 상기 유량의 조건으로 220℃의 온도에서 질화물 발광소자의 p형 질화물층(상부 질화물층)상면에 적용시키고, 약 10분간 에칭을 진행시켰다.

도4a 및 도4b는 상기 에칭결과로 얻어진 2개의 p형 질화물층 표면을 AFM사진으로 촬영한 사진이다. 도4a(알루미늄 미첨가) 및 도4b(알루미늄 첨가) 모두에서 질화물층 표면도 에칭피트가 형성된 것을 확인할 수 있으나, 도4a에 비해 알루미늄을 첨가한 에칭액을 사용한 도4b에서 에칭피트가 보다 깊게 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

2개의 샘플에 대해, 에칭피트형상을 비교하기 위해서, 그 깊이에 대한 상단폭의 비를 측정하여 평균비를 산출하였다. 그 결과, 깊이에 대한 상단폭의 비가 알루미늄을 첨가한 에칭액을 사용한 경우는 12로 나타났으나(도2b), 알루미늄을 첨가하지 않은 경우에는 66으로 나타났다(도2a). 이는 알루미늄에 의한 효과로서, 앞서 설명한 바와 같이 측방향의 에칭속도에 비해 수직방향의 에칭속도를 크게 향상시킨 결과로 이해할 수 있다.

또한, 표면거칠기 측면에서도 2배이상 개선된 효과를 나타냈다. 즉, 표면거칠기를 RMS(root means square)로 표현할 경우에, 알루미늄을 첨가한 에칭액을 사용한 경우는 10nm로 나타났으나(도2b), 알루미늄을 첨가하지 않은 경우에는 4.6nm로 나타났다(도2a).

이와 같이, 알루미늄은 수직방향 에칭속도를 향상시켜 에칭피트를 광추출개선에 유리한 가파른 형상으로 형성시킬 뿐만 아니라, 표면거칠기도 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 실시예1과 유사하게, 본 실시예 중 종래와 같이 알루미늄을 첨가하지 않은 에칭액으로 처리된 샘플에 대해서 에칭전과 에칭 후의 EL세기를 측정하였다. 측정조건도 실시예1과 유사하게 5회에 걸쳐 서로 다른 위치에서 실시하였으며, 에칭전후의 비교대상은 동일한 위치에서 측정한 결과이다. 그 결과는 하기 표2과 같다.

[표 2]

측정횟수	에칭전 EL세기(a.u.) (피크파장)	에칭후 EL세기(a.u.) (피크파장)	증가율(%)
1	550(@464.92nm)	578(@464.6nm)	5.0
2	520(@462.78nm)	554(@462.78nm)	6.5
3	410(@460.63nm)	439(@460.99nm)	7.1
4	350(@461.78nm)	372(@462.13nm)	6.4
5	450(@465.35nm)	473(@467.13nm)	5.2

상기 표2에 나타난 결과와 같이, 종래에의 경우도 처리전후의 피크파장은 거의 변화하지 않으나, 휘도개선효과가 5~7.1%에 불과한 것으로 나타났다. 앞서 실시예 1에서 측정된 결과(10~15.4%의 휘도향상)와 비교할 때에 본 발명에 따른 에칭처리방법을 통해 종래 방식보다 2배정도의 휘도향상효과의 효과를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 에칭액 중 알루미늄 작용에 의해 피트구조가 적절히 개선되었기 때문이다.

본 발명은 상술한 실시형태 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니며, 첨부된 청구범위에 의해 한정하고자 한다. 따라서, 청구범위에 기재된 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 당 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 형태의 치환, 변형 및 변경이 가능할 것이며, 이 또한 본 발명의 범위에 속한다고 할 것이다.

발명의 효과

상술한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 질화물 결정에 사용되는 에칭액인 황산(H_2PSO_4)과 인산(H_3PO_4)의 혼합액에 알루미늄을 첨가함으로써, 에칭피트의 형상을 광추출효과에 유익한 가파른 형상으로 개선할 뿐만 아니라, 표면거칠기도 보다 향상시킬 수 있다. 따라서, 질화물 발광소자의 광추출효율을 개선하기 위한 조면처리공정에 보다 유익하게 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

도1a는 종래의 질화물 발광소자의 단면도이며, 도1b는 질화물 발광소자의 표면에 형성된 피트 구조를 나타내는 개략도이다.

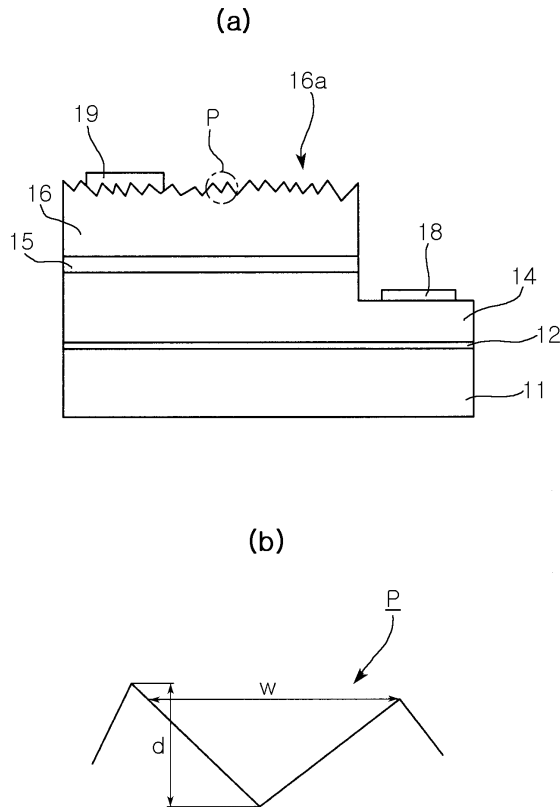
도2a 및 도2b는 각각 본 발명에 따른 조면처리 전과 후에 질화물 발광소자의 표면을 나타내는 AFM사진이다.

도3a 및 도3b는 각각 본 발명에 따른 조면처리 전과 후에 질화물 발광소자의 측단면프로파일을 나타내는 그래프이다.

도4a 및 도4b는 각각 Al을 첨가하지 않은 습식에칭공정과 본 발명에 따라 Al을 첨가한 습식에칭공정으로부터 얻어진 질화물 발광소자의 표면을 나타내는 AFM사진이다.

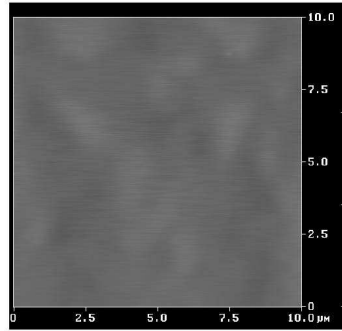
도면

도면1

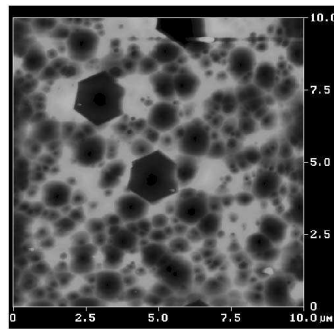


도면2

(a)

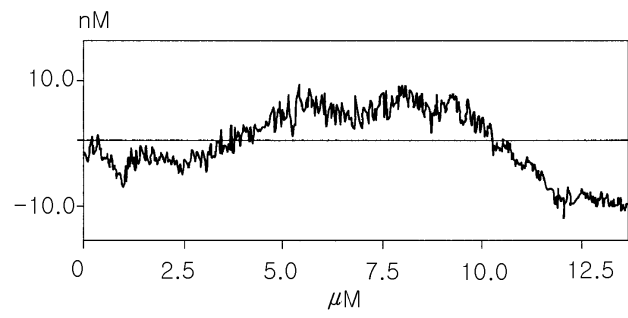


(b)

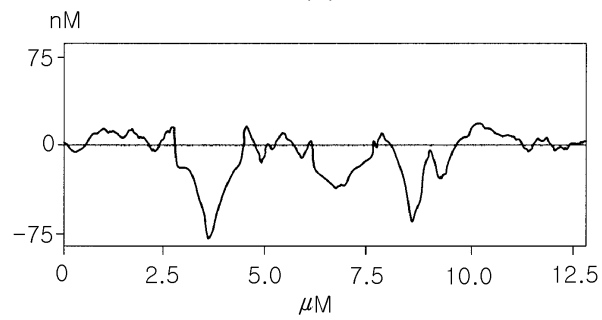


도면3

(a)

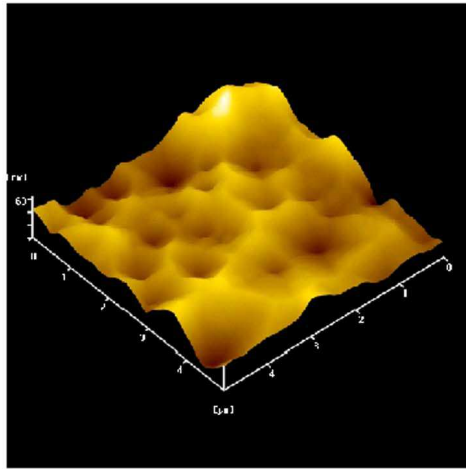


(b)



도면4

(a)



(b)

