



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호

10-2013-0004759

(43) 공개일자

2013년01월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 33/36 (2010.01) H01L 33/40 (2010.01)

H01L 33/28 (2010.01)

(21) 출원번호

10-2011-0066014

(22) 출원일자

2011년07월04일

심사청구일자

2011년07월04일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)

(72) 발명자

최석호

경기도 수원시 영통구 영통동 989-2 현대아파트 726동1103호

김창오

서울특별시 종로구 종로51가길 38-2 (창신동)

(74) 대리인

이덕록

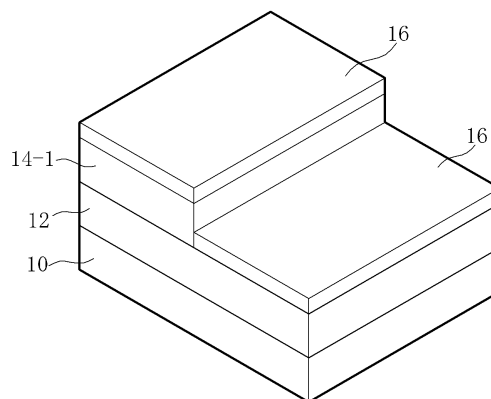
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법**

(57) 요약

본 발명은 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 제조방법에 관한 것으로, 사파이어기판상에 유기금속화학증착방법을 사용하여 갈륨나이트라이드 p-n 에피층을 증착하는 제1 단계; 소자 제작을 위해 유도결합플라즈마를 사용하여 상기 p-GaN 에피층의 일부를 n-GaN layer까지 식각하는 제2 단계; 및 RF 스퍼터링 방법으로 전극으로서 GZO 박막을 직경 500 μm 의 세도우마스크(shadow mask)를 사용하여 증착하는 제3 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2011-0017373

부처명 교육과학기술부

연구사업명 도전과제

연구과제명 그래핀 기반 융복합 나노구조의 특성및 소자응용연구

주관기관 한국연구재단

연구기간 2011.05.01 ~ 2012.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

사파이어기판상에 유기금속화학증착방법을 사용하여 갈륨나이트라이드(GaN) p-n 에피층을 증착하는 제1 단계;

소자 제작을 위해 유도결합플라즈마를 사용하여 상기 p-GaN 에피층의 일부를 n-GaN layer까지 식각하는 제2 단계; 및

RF 스퍼터링 방법으로 전극으로서 Ga-doped ZnO박막(ZnO:Ga, 이하:GZO 박막으로 칭함)을 섀도우 마스크(shadow mask)를 사용하여 상기 p-GaN 및 n-GaN 상에 증착하는 제3 단계;를

포함하는 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 제조방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 제3 단계에서의 GZO 박막에서 Ga 양은 총질량(Ga+ZnO)의 mol수에 대해서 1mol%의 간격으로 1~5 mol% 까지 변화시켜 기판온도 400℃에서 증착된 것을 특징으로 하는 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 제조방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 제3 단계에서, GZO 박막에서 Ga 양은 총질량(Ga+ZnO)의 mol수에 대해서 2 mol%이며, 기판온도 400℃에서 증착된 것을 특징으로 하는 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 제조방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 제3 단계에서, Ga의 활성화와 박막의 질을 향상시키기 위해 RTA를 사용하여 질소분위기에서 900℃로 3 분간 열처리를 실시하는 제4 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 제조방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 제1 단계에서, 증착된 p-n 에피층의 총 두께는 3~5 μm 이고,

제3 단계에서 증착된 두께는 50~150 nm인 것을 특징으로 하는 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 제조방법.

청구항 6

상기 제1 항 내지 제 5항 중 어느 한 항의 방법에 의해 제조된 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디.

명세서

기술분야

본 발명은 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법에 관한 것으로, 더욱

[0001]

상세하게는 적외선 및 가시광선의 투과율이 매우 좋고, 전기 전도성과 플라즈마에 대한 내구성이 매우 우수한 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 현재 갈륨나이트라이드(GaN)를 기반으로 하는 엘이디(LED)가 상용화되어 엘씨디(LCD)의 백라이트유닛(back light unit), 전광판, 조명 등에 적용되고 있다. 이러한 LED의 전극으로서 불투명한 전극을 쓸 경우에는 전극 사이에서 발생하는 빛이 차단되어 LED의 밝기를 저하시키기 때문에 주로 투명 전극을 사용한다. 투명 전극이라 불리려면 비저항이 $1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 이하, 면저항이 $10^3 \Omega/\text{sq}$ 이하로 전기전도성이 우수하고 380~780 nm의 가시광선 영역에서의 투과율이 80% 이상이라는 성질을 만족시키는 물질이어야 한다. 또한 광학적 밴드갭(optical band gap)이 3.5 eV 정도이기 때문에 자외선 영역은 모두 투과시키고 적외선 영역의 높은 반사율, 적절한 에칭 특성을 가지고 있어야 한다. 지금까지 가장 널리 사용되고 있는 투명 전극 물질로는 ITO (Indium-tin oxide, $\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$)가 있는데, ITO는 광학적 특성과 전기적 특성이 매우 우수하지만 플라즈마에 노출되는 경우 열로 인해 특성이 심하게 변한다. 또한 구성물질중의 하나인 인듐(In)은 생산 단가가 높고, 대표적인 희소, 고갈 자원의 하나로서, 그 공급량이 크게 떨어지고 있다. 전문가들에 따르면 인듐(In)이 짧게는 10년, 길게는 25년 정도면 모두 고갈될 것이라고 한다. 이는 인듐(In)이 아연광의 부산물로 정제되기 때문에 희소성이 높기 때문이다. 따라서 인듐을 포함하지 않는 새로운 투명 전극 박막의 개발이 매우 시급한 형편이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0003] 본 발명의 목적은 투명 전극으로 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법을 제공함에 있다.
- [0004] 적외선 및 가시광선의 투과율이 매우 좋고, 전기 전도성과 플라즈마에 대한 내구성이 매우 우수한 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법을 제공함에 있다.
- [0005] 낮은 온도에서도 성장시킬 수 있고, 생산 원가 또한 비교적 낮아서 대면적 디스플레이의 투명 전극에 적용할 수 있는 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0006] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 제조방법은
- [0007] 사파이어기판상에 유기금속화학증착방법을 사용하여 갈륨나이트라이드(GaN) p-n 에피층을 증착하는 제1 단계;
- [0008] 소자 제작을 위해 유도결합플라즈마를 사용하여 상기 p-GaN 에피층의 일부를 n-GaN layer까지 식각하는 제2 단계; 및
- [0009] RF 스퍼터링 방법으로 전극으로서 Ga-doped ZnO박막($\text{ZnO}:\text{Ga}$, 이하:GZO 박막으로 칭함)을 세도우 마스크(shadow mask)를 사용하여 상기 p-GaN 및 n-GaN 상에 증착하는 제3 단계;를 포함한다.
- [0010] 바람직하게는, 상기 제3 단계에서의 GZO 박막에서 Ga 양은 총 질량($\text{Ga}+\text{ZnO}$)의 mol수에 대해서 1mol%의 간격으로 1~5 mol% 까지 변화시켜 기판온도 400℃에서 증착된 것을 특징으로 한다.
- [0011] 또한 바람직하게는, 상기 제3 단계에서, GZO 박막에서 Ga 양은 총 질량($\text{Ga}+\text{ZnO}$)의 mol수에 대해서 2 mol%이며, 기판온도 400℃에서 증착된 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 바람직하게는, 상기 제3 단계에서, Ga의 활성화와 박막의 질을 향상시키기 위해 RTA를 사용하여 질소분위기에서 900℃로 3 분간 열처리를 실시하는 제4 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한 바람직하게는, 상기 제1 단계에서, 증착된 p-n 에피층의 총 두께는 3~5 μm 이고,

[0014] 제3 단계에서 증착된 두께는 50~150nm인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0015] 이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법에 의하면, 갈륨이 도핑되어 적외선 및 가시광선의 투과율이 매우 좋고, 전기 전도성과 플라즈마에 대한 내구성이 매우 우수한 효과가 있다.

[0016] 또한, 갈륨이 적용되어 낮은 온도에서도 성장시킬 수 있고, 생산 원가 또한 비교적 낮아서 대면적 디스플레이의 투명 전극에 적용할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1 내지 도 3은 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디의 제조과정을 순차적으로 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디를 전극실험 하는 도면이다.

도 5 및 도 6은 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디의 홀 측정 시험 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디의 비저항과 농도 및 이동도와 관계를 나타낸 그래프이다.

도 8은 도 7의 세부적인 수치를 나타낸 표이다.

도 9는 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막의 갈륨양에 따른 광루미네센스 측정 결과를 나타낸 그래프이다.

도 10은 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막의 갈륨양에 따른 광루미네센스 최고점의 세기를 도 9에서 얻은 그래프이다.

도 11은 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디의 전류와 전압 관계를 나타낸 그래프이다.

도 12 내지 도 16은 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디의 EL 측정 결과를 나타낸 그래프이다.

도 17 및 도 18은 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디의 EL 측정 결과를 나타낸 그래프이다.

도 19 및 도 20은 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디의 밴드 다이어그램을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법에 대하여 첨부도면을 참조로 상세히 설명한다.

[0019] 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디에서는 투명 전극으로 ZnO를 사용하였다. 약 3.4 eV의 밴드갭을 가지고 있는 ZnO는 적외선 및 가시광선의 투과율이 매우 좋고, 전기 전도성과 플라즈마에 대한 내구성이 매우 우수하다. 또한 낮은 온도에서도 성장시킬 수 있고, 생산 원가 또한 비교적 낮

아서 대면적 디스플레이의 투명 전극의 유망한 물질로 떠오르고 있다.

[0020] 불순물이 첨가되지 않은 순수한 ZnO 박막의 경우에는 절연체에 가까워 전기 전도도가 작으므로 전하 농도 및 전기 전도도를 높여주기 위해 Ga를 첨가하였다.

[0021] RF 마그네트론 스퍼터를 사용하여 p-GaN와 n-GaN 박막 위에 각각 직경이 500 μm 인 Ga-doped ZnO (ZnO:Ga) 박막을 100 nm 두께로 증착하였다. Ga양은 0~5 mol% 까지 변화시켰다.

[0022] 시료 제작과정

[0023] 도 1 내지 도 4를 참조하면, 상업용 GaN LED의 통상적인 제작 기법인 유기금속화학기상증착(metal-organic chemical vapor deposition, MOCVD) 방법을 사용하여 c-sapphire 기판(10) 위에 GaN p-n epilayers를 제작하였다.

[0024] GaN p-n epilayers의 총 두께는 약 3~5 μm , 바람직하게는, 3.5 μm 이다.

[0025] n-GaN layer(12)의 전극 접촉을 위해 유도결합플라즈마 (inductively coupled plasma, ICP) 식각 방법을 이용하여 p-GaN layer(14)를 식각하고, p-GaN layer 패턴(14-1)이 형성되었다.

[0026] 소자 제작과정 및 전계발광 효과측정

[0027] LED 소자를 구현하기 위해 전극으로써 Ga-doped ZnO (ZnO:Ga) 박막을 직경이 500 μm 인 섀도우 마스크(shadow mask)(도시안됨)를 사용하여 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 기판온도 400℃에서 각각 p-GaN layer 패턴(14-1)와 n-GaN layer(12) 위에 50~150nm, 바람직하게는 100 nm의 두께로 증착하였다.

[0028] Ga 양은 총 질량 (Ga+ZnO)의 mol수에 대해서 1 ~ 5 mol% 까지 변화시켰다.

[0029] Ga의 활성화와 GZO 박막의 질을 향상시키기 위해 급속열처리(rapid thermal annealing system, RTA)를 사용하여 질소 분위기에서 900℃로 3 분간 열처리를 실시하였다.

[0030] p-GaN layer위에 있는 GZO 전극에 (+) 전압, n-GaN 위에 있는 GZO 전극에 (-) 전압을 인가하여 주입 전류에 따른 전계 발광 (electroluminescence, EL) 특성을 측정하였다(도 12 내지 도 18참조).

[0031] 홀효과 측정시료 제작과정

[0032] 도 5를 참조하면, 홀 효과 측정을 통하여 GZO 박막(160)의 비저항(resistivity), 캐리어 농도(carrier concentration), 이동도(mobility), 도핑 타입(doping type) 등을 알아보기 위해 RF 마그네트론 스퍼터링 증착 기법을 사용하여 400℃에서 p-Si(100)기판 위에 50~150nm, 바람직하게는 100 nm 두께로 증착하였다.

[0033] Ga 양은 총질량(Ga+ZnO)의 mol 수에 대해서 1 ~ 5 mol% 까지 변화시켰다.

[0034] Ga의 활성화와 GZO 박막의 질을 향상시키기 위해 RTA를 사용하여 질소 분위기에서 900℃로 3 분간 열처리를 실시하였다.

- [0035] 도 6을 참조하면, 홀 효과 측정을 위해 $0.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$ 크기의 시료에 인듐 솔더링으로 전극을 제작하고, Van der Pauw 방법으로 측정하였다.
- [0036] Ga 양에 따른 GZO 박막의 홀 측정 결과
- [0037] 도 7 및 도 8을 참조하면, 박막은 모두 n-type 특성을 나타낸다.
- [0038] Ga 양이 0 에서 2 mol% 까지 증가됨에 따라 박막의 이동도(mobility)와 농도(concentration)는 증가되고 비저항(resistivity)은 감소되었다.
- [0039] Ga 양이 2 mol% 위로부터는 박막의 이동도(mobility)와 농도(concentration)는 점점 감소되고 비저항(resistivity)은 점점 증가되었다.
- [0040] Ga 양이 2 mol% 일 때 비저항(resistivity)이 가장 낮고 이동도(mobility), 농도(concentration)가 가장 높다.
- [0041] Ga 양에 따른 GZO 광루미네선스 측정 결과
- [0042] 도 9 및 도 10을 참조하면, Ga 양이 0 에서 2 mol% 까지 증가됨에 따라 자외선 영역에서 나타나는 광루미네선스(photoluminescence, PL)의 Peak의 세기가 증가되었다.
- [0043] Ga 양이 2 mol% 이상에서는 주요 피크의 PL 세기가 점점 감소되었다.
- [0044] Ga 양에 따른 GZO의 홀 측정 결과와 경향이 일치하였다.
- [0045] GZO/p-GaN/n-GaN/GZO 구조의 전류-전압 곡선
- [0046] 도 11을 참조하면, 1 에서 4 mol% 까지의 Ga 양이 첨가된 GZO를 전극으로 사용한 소자에 대해서는 다이오드 곡선이 명확히 나타났다 (ZnO를 전극으로 사용한 소자의 경우 전류가 거의 흐르지 않음).
- [0047] 5 mol% GZO 전극을 사용한 소자에서는 다이오드 곡선이 관찰되지 않았다. 이는 첨가된 Ga 양이 ZnO 내에 치환될 수 있는 Ga 양 보다 많아 잉여 Ga이 결함(defect)으로 작용하여 누설 전류(leakage current)가 급격히 증가됨으로 인해 다이오드 곡선이 나타나지 않는 것으로 여겨진다.
- [0048] 2 mol% GZO 전극을 사용한 소자의 문턱 전압(threshold voltage)은 약 6.5 V이고 누설 전류(leakage current)는 $4 \times 10^{-4} \text{ A}$ 인데, 이는 다른 GZO 전극을 사용한 소자들과 비교했을 때 가장 낮은 값이다. 그 이유으로써는 낮은 문턱 전압(threshold voltage)은 홀 측정 결과, 2 mol% GZO 에서 가장 낮은 비저항(resistivity)으로 인한 것이고, 낮은 누설 전류(leakage current)는 PL 결과, 2 mol% 일 때 PL 피크의 세기가 가장 크게 관찰됨으로써 가장 좋은 양질의 박막 형성에 의한 것으로 여겨진다.
- [0049]
- [0050] GZO/p-GaN/n-GaN/GZO 소자의 EL 측정 결과
- [0051] 도 12 내지 도 15를 참조하면, 1mol% GZO 부터 1 mol% 간격으로 2 mol%, 3mol%, 4mol%, 5mol%의 GZO를 포함한 소자의 EL 측정결과를 나타내었다. 주입 전류에 따른 EL 스펙트럼을 보면 모든 소자에서 약 375 nm와 560 nm 근

처에서 EL peak가 관찰되었다.

- [0052] 약 375 nm에서 관찰되는 peak는 GaN의 N vacancy로 인해 형성되는 shallow donor와 valence band 사이의 재결합(recombination)에 의한 것이고, 약 560 nm에서 관찰되는 피크는 GaN의 격자 결함(lattice defects)에 의한 것으로 여겨진다.
- [0053] GZO/p-GaN/n-GaN/GZO 소자의 EL 측정 결과
- [0054] 도 17을 참조하면, 2 mol% GZO를 사용한 소자의 EL peak의 세기가 주입 전류의 전체 범위에서 우세하게 관찰되었다.
- [0055] 홀 효과 결과, PL 측정 결과 및 EL 측정 결과를 볼 때 박막의 비저항(resistivity)와 결정 성질(crystal quality)이 소자의 전기적 특성을 증대시키는 데에 중요한 역할을 한다고 여겨진다.
- [0056] GZO/p-GaN/n-GaN/GZO 소자의 EL 측정 결과
- [0057] 도 18을 참조하면, 모든 소자에 대해서 주입 전류에 따라 EL peak의 세기가 선형적으로(linear)증가하였다. 결함(Defect)에 의한 EL이기 때문에 Ga 양에 대해서 별다른 경향을 보이지 않았다.
- [0058] 밴드 다이어그램 (without applied bias)
- [0059] 도 19를 참조하면, 인가 전압이 없는 경우 페르미 준위는 모두 같은 위치에 있다.
- [0060] 평형 상태에서는 p-GaN 밴드가 아치 형태로 휘어진다.
- [0061] 밴드 다이어그램 (+15 V)
- [0062] 도 20을 참조하면, 전압 인가 시 GZO/p-GaN은 역방향 전압이 인가되고, p-GaN/n-GaN에는 순방향 전압이 인가된다. 이런 경우 전체 전압은 GZO/p-GaN에 대해 역방향 전압이 인가된다.
- [0063] n-GaN에서 공급되는 전자와 GZO로부터 공급되는 정공으로 인해 발생하는 잉여 정공과의 결합, 또는 p-GaN 내의 deep level에 포획된 정공과의 결합으로 인해 빛이 발생하는 것이라 여겨진다.
- [0064] 전체적으로 본 발명에 대해 다시 한번 설명하면,
- [0065] MOCVD를 사용하여 c-sapphire 기판 위에 통상적으로 제작되고 있는 GaN p-n epilayers를 증착하였다.
- [0066] 소자 제작을 위해 ICP를 사용하여 n-GaN layer까지 식각한 후 전극으로서 GZO 박막을 RF 스퍼터링 방법으로 직경 500 μm 의 shadow mask를 사용하여 50~150nm, 바람직하게는 100 nm 두께로 증착하였다.
- [0067] Ga 양은 1~5 mol% 까지 변화시켰고, Ga의 활성화와 박막의 질을 향상시키기 위해 RTA를 사용하여 질소분위기에서 900°C로 3 분간 열처리를 실시하였다.
- [0068] 홀 측정 결과 모든 박막은 n-type 특성을 가지고 있고, 2 mol % GZO 박막에서 가장 낮은 비저항(resistivity)과 가장 높은 전자 이동도(electron mobility)와 농도(concentration)가 관찰되었다. PL 에서도 2 mol% GZO 박막이 가장 큰 PL 세기를 보였다.

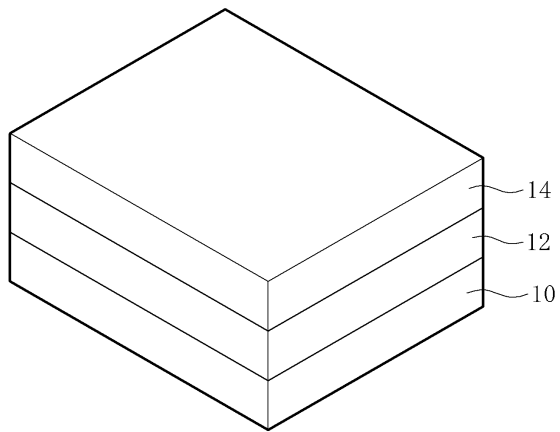
- [0069] 전류-전압 곡선에서 2 mol% GZO를 전극으로 사용한 소자가 가장 작은 문턱 전압(threshold voltage)와 누설 전류(leakage current)를 보였다.
- [0070] EL peak의 세기는 2 mol% GZO를 전극으로 사용한 소자가 다른 GZO를 사용한 소자보다 약 375 nm의 자외선 영역에서 가장 강하게 관찰되었다.
- [0071] 밴드 그림을 통해 인가되는 전체 전압이 GZO/p-GaN에 역전압 방향으로 인가되는 것으로 여겨진다.
- [0072] 발광 메커니즘을 n-GaN의 전도대에서 p-GaN 전도대로 이동되는 전자와 p-GaN의 잉여 정공과의 결합, 또는 p-GaN의 deep level에 포획된 정공과의 결합으로 설명할 수 있다.
- [0073] 본 발명에 따른 갈륨이 도핑된 산화아연박막을 전극으로 사용한 질화갈륨 엘이디 및 그 제조방법에 의하면, 갈륨이 도핑되어 적외선 및 가시광선의 투과율이 매우 좋고, 전기 전도성과 플라즈마에 대한 내구성이 매우 우수한 효과가 있다.
- [0074] 또한, 갈륨이 적용되어 낮은 온도에서도 성장시킬 수 있고, 생산 원가 또한 비교적 낮아서 대면적 디스플레이의 투명 전극에 적용할 수 있는 효과가 있다.
- [0075] 이상에서는 본 발명의 일 실시예를 중심으로 설명하였지만, 당업자의 수준에서 다양한 변경이나 변형을 가할 수 있다. 이러한 변경과 변형이 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한 본 발명에 속한다고 할 수 있다. 따라서 본 발명의 권리범위는 이하에 기재되는 청구범위에 의해 판단되어야 할 것이다.

부호의 설명

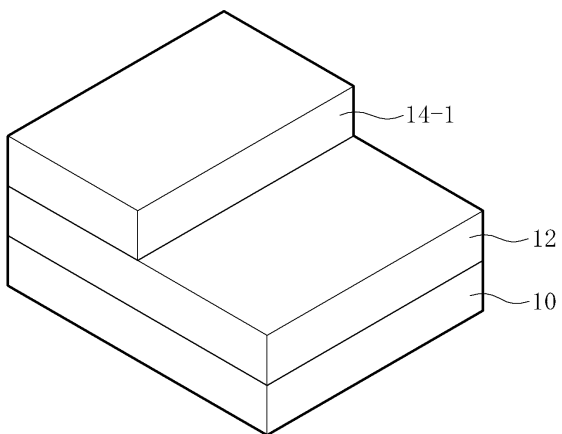
- [0076] 10: c-사파이어 기판
12: n형 GaN 박막
14: p형 GaN 박막
16: GZO 박막

도면

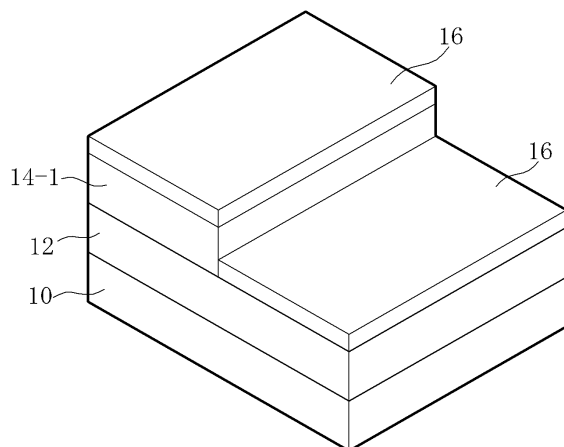
도면1



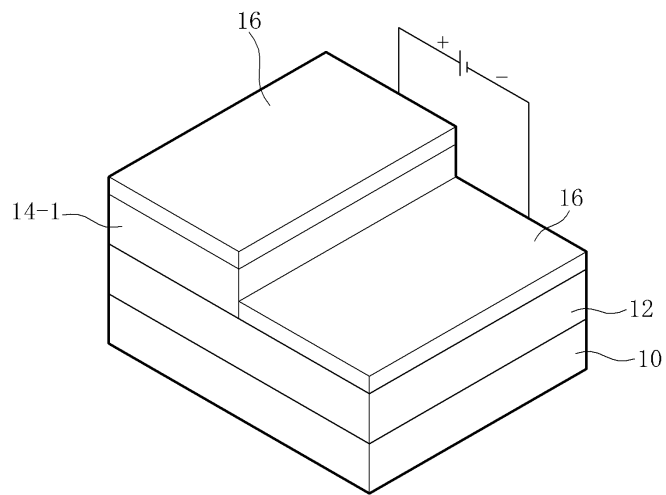
도면2



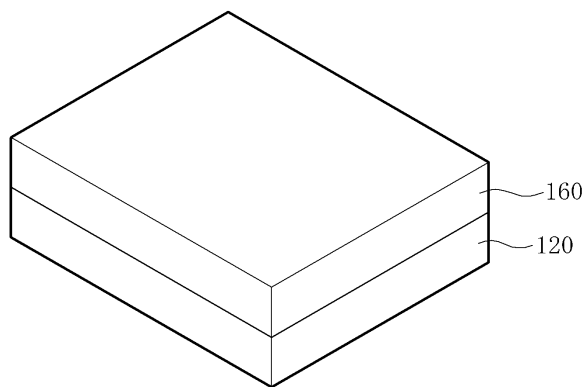
도면3



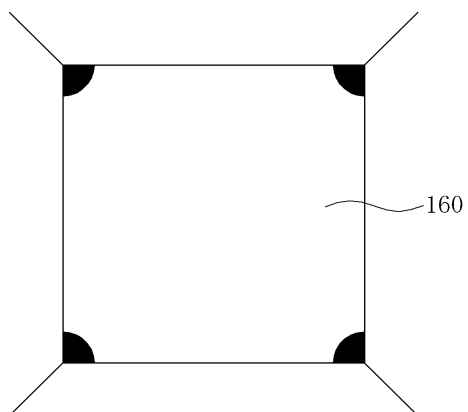
도면4



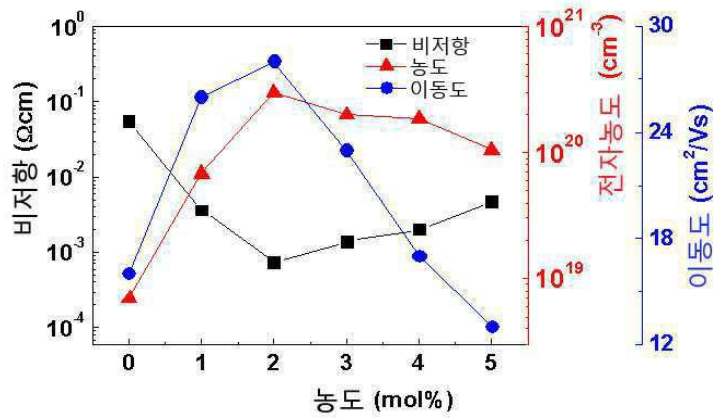
도면5



도면6



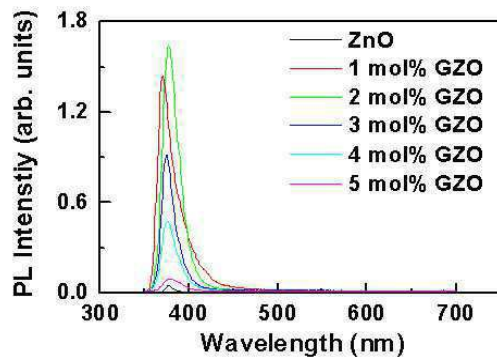
도면7



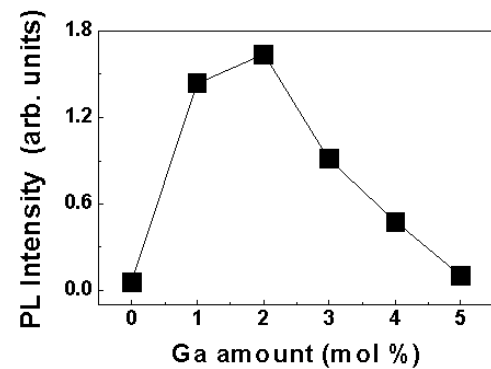
도면8

Ga 농도	비저항 (Ωcm)	이동도 (cm ² /Vs)	농도 (cm ³)	도핑 타입
0 mol%	5.5×10^{-2}	16	7.0×10^{18}	n
1 mol%	3.6×10^{-3}	26	6.8×10^{19}	n
2 mol%	7.4×10^{-4}	28	3.0×10^{20}	n
3 mol%	1.4×10^{-3}	23	2.0×10^{20}	n
4 mol%	2.0×10^{-3}	17	1.9×10^{20}	n
5 mol%	4.7×10^{-3}	13	1.0×10^{20}	n

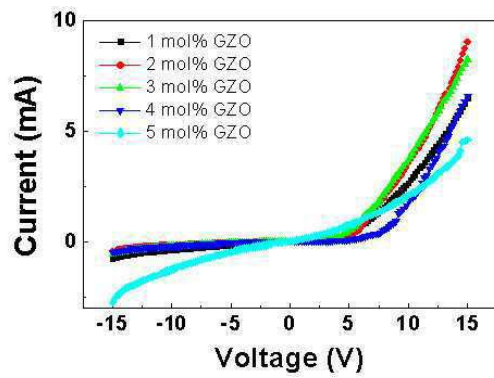
도면9



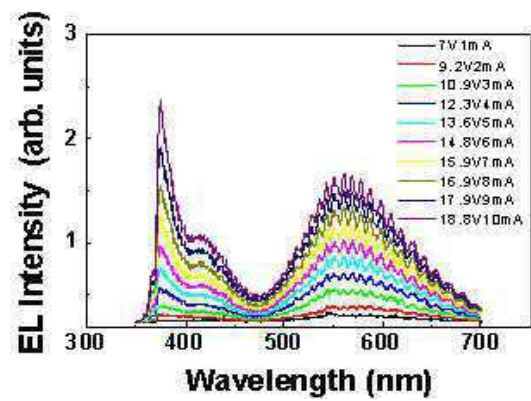
도면10



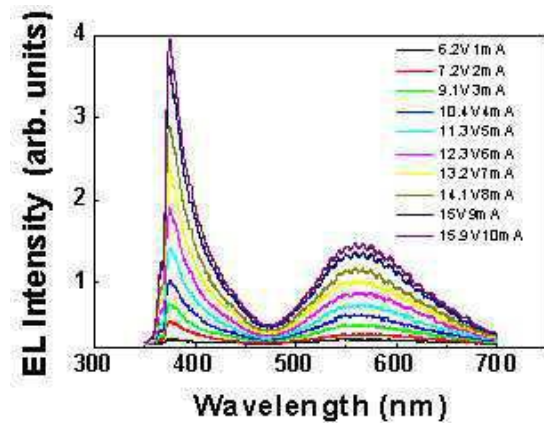
도면11



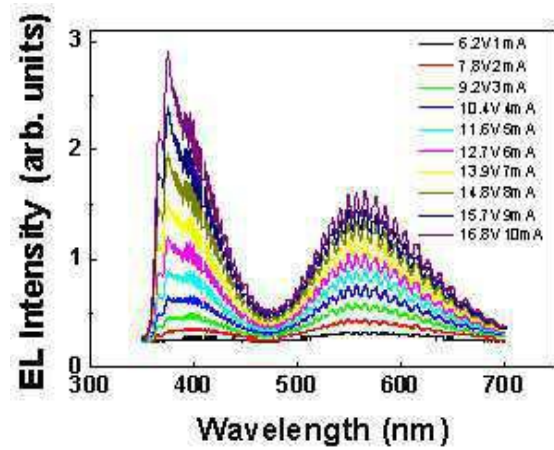
도면12



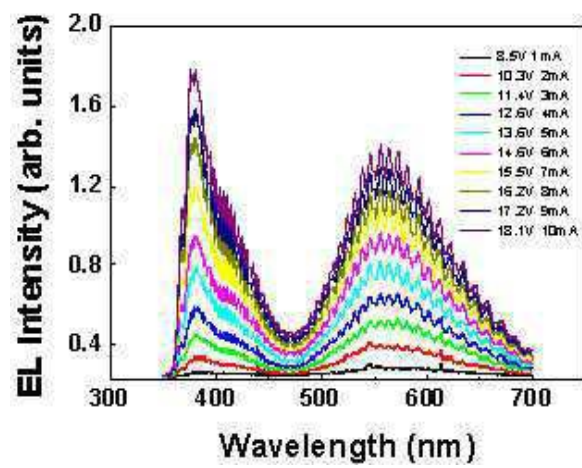
도면13



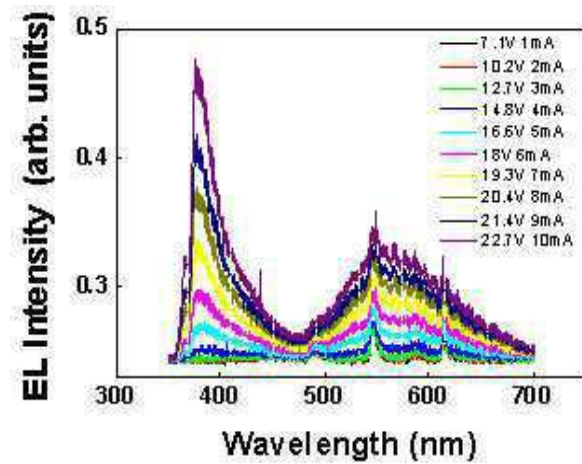
도면14



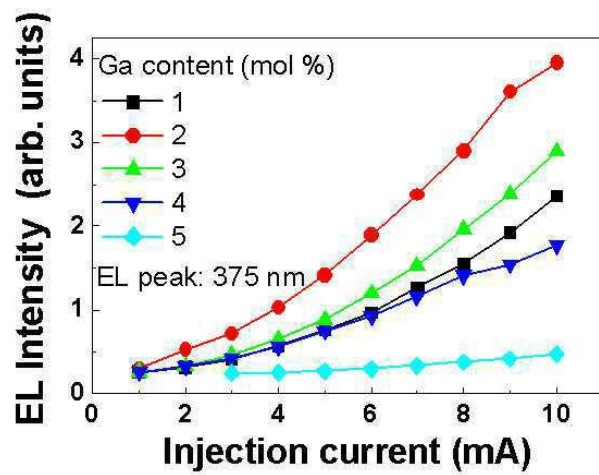
도면15



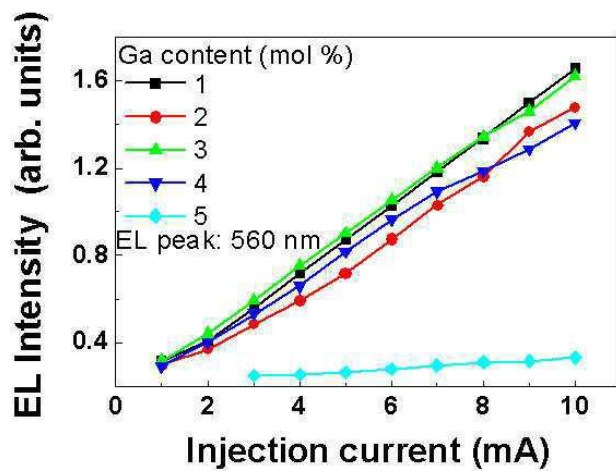
도면16



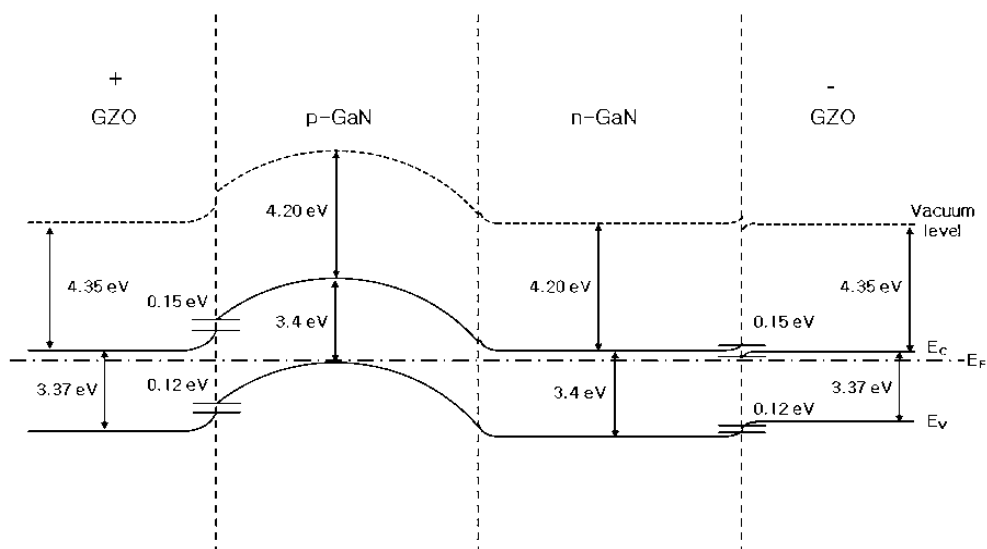
도면17



도면18



도면19



도면20

