



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년06월03일
(11) 등록번호 10-1038767
(24) 등록일자 2011년05월27일

(51) Int. Cl.

H01L 21/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0090395
(22) 출원일자 2009년09월24일
심사청구일자 2009년09월24일
(65) 공개번호 10-2011-0032745
(43) 공개일자 2011년03월30일
(56) 선행기술조사문헌
KR100716258 B1
JP2008192767 A

(73) 특허권자

한국기초과학지원연구원

대전광역시 유성구 어은동 52번지

(72) 발명자

유석재

대전시 유성구 전민동 엑스포 아파트 303-1601

김성봉

대전시 유성구 송강동 청솔 아파트 103 동 203 호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

주은희

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 정성중

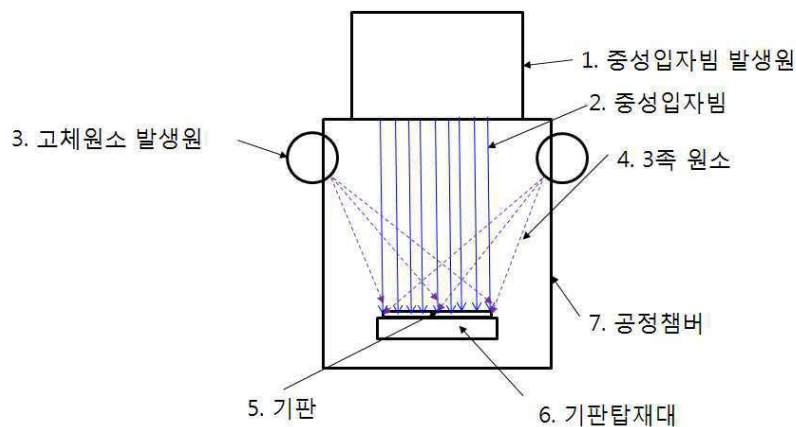
(54) 질화물반도체 단결정 박막형성 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 중성입자 빔을 사용하여 반도체 발광 소자를 제작하는 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 기판에 형성하는 질화물 반도체 단결정 박막, 예를 들면 GaN 층의 형성을 종래와 같이 기판을 가열하여 열 에너지로 반응에너지를 제공하는 것이 아니라 중성입자 빔의 운동에너지로 반응에너지의 일부를 제공하므로 기판의 온도를 상대적으로 많이 낮출 수 있다. 중성입자 빔은 반응물 중 질소를 포함하고 반응성은 없으나 운동량과 운동에너지를 상당량 제공하는 불활성 원소 Ar을 포함한다. 또한, 반응에 필요한 3 족 고체원소인 Ga, Al, In 등을 고체원소 발생원을 통해 공정 챔버 내의 기판 위에 분사하여 600 °C 정도의 기판 온도에서도 중성입자 빔에 의해 직접 질화물 반도체 단결정 박막을 형성할 수 있으며, 도핑에 필요한 고체원소인 Si, Mg 등의 원소도 도핑용 고체원소 발생원을 통해 기판으로 분사하여 도핑을 수행 할 수 있다.

본 발명에 따르면, 기판 온도의 저온화로 기판과 박막의 열화 방지 및 도핑 원소의 원하지 않는 확산을 방지하여 우수한 발광 특성을 갖는 반도체 발광 소자를 비교적 간편하게 제작할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김대철

대전시 유성구 어은동 한빛아파트 103동 903호

김영우

경기도 용인시 기흥구 보라동 현대모닝사이드 2차
아파트 105동

이봉주

대전시 유성구 도룡동 431-6 현대아파트 103동
1001호

특허청구의 범위

청구항 1

전자회전공명(ECR: Electron Cyclotron Resonance)에 의한 플라즈마 발생방식을 이용하고 중성화 반사판을 구비한 중성입자 빔 발생원으로부터, 질소(N) 원자와 불활성 원소를 포함하는 중성입자 빔을 방출하는 단계; 및 상기 중성입자 빔이 기관에 닿기 직전 또는 직후에 3 족 고체원소를 방출하는 단계;를 포함하여, 상기 중성입자 빔과 상기 3 족 고체원소가 상기 기관상에 질화물 반도체 단결정 박막으로 증착되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 질화물 반도체 단결정 박막의 형성 방법에 의해 형성되고 있는 질화물 반도체 단결정 박막에, 도핑하고자 하는 고체원소를, 전구체 분사 가스 없이 직접적으로 제공하도록 방출하는 단계를, 상기 3 족 고체 원소 방출 단계와 동시에 더 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 3

전자회전공명(ECR: Electron Cyclotron Resonance)에 의한 플라즈마 발생방식을 이용하고 중성화 반사판을 구비한 중성입자 빔 발생원으로부터, 질소(N) 원자와 불활성 원소를 포함하는 중성입자 빔을 방출하고, 상기 중성입자 빔의 방출과 동시에 3 족 고체원소를 방출하고, 기관 위에 형성되는 질화물 반도체 단결정 박막에 도핑하고자 하는 고체원소 또한 동시에 방출하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 4

제2 또는 3항에 있어서, 상기 불활성 원소는 Ar, He, Ne, Kr, Xe 중 하나이거나, 둘 이상의 원소를 혼합한 것으로 구성되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 3 족 고체원소는 Al, Ga, In 중 하나이거나, 둘 이상의 원소를 혼합하여 구성되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 기관의 온도를 200 내지 800 °C 로 유지하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 중성입자 빔의 운동에너지를 2 내지 100 eV로 하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 3 족 고체원소의 방출 단계는 출사와 정지를 주기적으로 반복하는 모듈레이션(modulation) 모드로 동작하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 출사 시간 τ_{on} 과 정지 시간 τ_{off} 의 비율은

$$\frac{\tau_{off}}{\tau_{on}} \geq \frac{\Gamma_{III}}{\gamma N_a \Gamma_a} - 1$$

을 만족하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

여기서 Γ_{III} 는 3 족 고체원소의 플럭스 (atoms/cm² s), Γ_a 은 중성입자 빔 플럭스, γ 는 중성입자 빔 속에서 질소원자 비율, τ_{out} 은 출사시간, τ_{off} 은 정지시간이다.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 3족 고체원소의 방출과 도핑하고자 하는 고체원소의 방출은 출사 및 정지를 동기화하여 주기적으로 반복하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 3족 고체원소의 방출과 도핑하고자 하는 고체원소의 방출은 출사 및 정지를 서로 엇갈리게 하여 주기적으로 반복하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법.

청구항 12

질소(N)와 불활성 원소를 중성입자로 발생시켜 기판 위로 출사하는 중성입자 빔 발생장치;
 상기 중성입자 빔 발생장치의 동작과 함께 3 족 고체원소를 기판상으로 분사하는 고체원소 발생장치; 및
 형성되는 질화물 반도체 단결정 박막에 도핑 원소를 전구체 분사 가스 없이 직접적으로 제공하기 위한 도핑용 고체원소 발생장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 질화물 반도체 단결정 형성 장치 및 방법에 관한 것이며, 좀 더 상세하게는 중성입자 빔을 이용하여 박막 증착 온도를 낮춘 질화물 반도체 단결정 형성 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 질화물 반도체 단결정 박막은 LED(Light Emitting Diode) 또는 레이저 다이오드 제작에 널리 사용되며, 질화물 반도체 단결정을 기판 위에 형성시키기 위해서는 기판을 고온으로 유지할 필요가 있다.

[0003] 즉, 기존의 박막 형성은 1,000 °C 이상의 고온의 결정 성장 온도를 필요로 하며, 이러한 고온 처리로 인하여 제작되는 단결정체의 응용 분야는 매우 제한된다.

[0004] 종래 질화물 반도체 단결정을 형성하는 대표적인 기술로는 MOCVD (Metal Organic CVD)법, MBE(Molecular Beam Epitaxy)법 등이 있는데 이러한 방법들에 의해 질화물 반도체 박막을 얻기 위해서는 기판 온도를 1,050 내지 1,100 °C 정도로 가열된 상태를 유지하여야 한다. 그에 따라 질화물 반도체 박막이 형성되는 기판, 예를 들면, 사파이어 기판의 열팽창으로 인한 기판 자체의 뒤틀림 등의 열화가 문제될 수 있고, 나아가 기판 위에 형성된 질화물 반도체 박막과 기판의 격자 상수(lattice constant)의 차이 및 열팽창 계수의 차이로 인한 박막의 손상이 문제될 수 있다.

[0005] 또한, 발광 소자 제작의 예로서, 사파이어 기판 위에 n-형 GaN 층, InGaN 활성층 및 p-형 GaN 층을 형성할 수 있으며, n-형 GaN과 p-형 GaN 층의 형성을 위해서는 단결정 GaN 층에 Mg 및 Si 등의 불순물을 도핑 한다. 이러한 경우 기판을 통한 가열 온도가 1,000 °C 이상의 고온이면, 도핑 되는 불순물 원자의 고온에 의한 확산이 활성화되어, 예를 들면, p-형 GaN 막의 형성을 위해 도핑 된 Mg 원자가 LED 발광소자의 활성층인 다중양자 우물층(multi-quantum well)으로 확산되어 발광소자의 발광 특성이 훼손되며, 이는 n-형 GaN 막에서도 같은 현상이 일어날 수 있다. 그에 따라 궁극적으로 발광 소자의 발광 특성은 저하될 수밖에 없다.

[0006] 상기와 같은 종래 기술에 대해 대한민국 등록특허 제10-0251035호는, 플라즈마 CVD를 이용하여 기판에 비정질(amorphus) 또는 다결정 박막을 제작한 후, 중성입자 빔을 사용하여 상기 박막을 단결정화하는 방법을

제안한다.

[0007] 그러나 상기 공보에 공개된 방법은, 원하는 단결정 박막을 얻기 위해 비정질(armophus) 또는 다결정 박막을 미리 플라즈마 CVD법에 의해 제작하여야 하고, 박막의 단결정화를 위해 중성입자 빔을 소정의 각도로 조사시키기 위해 다양한 구조의 반사기를 제공하여야 하므로 제작 공정에 많은 노력과 복잡한 장비의 제작을 요하므로 원하는 반도체 발광 소자의 생산 단가를 높여 LED 등의 보급 내지는 시장성을 떨어뜨릴 수 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0008] 따라서 본 발명의 목적은 반도체 발광 소자를 제작함에 있어서, 전술한 문제점을 해결할 수 있도록 기관에 가해지는 높은 공정 온도 대신에 적당한 에너지를 갖는 중성입자 빔을 이용하여 기존의 공정 온도보다 매우 낮은 저온의 공정온도를 유지하면서도 고품질의 질화물반도체 단결정 박막을 성장시킬 수 있는 중성입자 빔을 이용한 질화물반도체 단결정 박막형성 장치 및 방법을 제공함에 있다.

[0009] 또한, 본 발명의 또 다른 목적은 고품질의 질화물 반도체 단결정 박막의 제작에 있어서, 좀 더 간소화된 장비와 노력을 들여 반도체 발광 소자의 가격 경쟁력을 향상시키는 데 있다.

과제 해결수단

[0010] 본 발명은, 전자회전공명(ECR: Electron Cyclotron Resonance)에 의한 플라즈마 발생방식을 이용하고 중성화 반사판을 구비한 중성입자 빔 발생원으로부터, 질소(N) 원자와 불활성 원소를 포함하는 중성입자 빔을 방출하는 단계; 및

[0011] 상기 중성입자 빔이 기관에 닿기 직전 또는 직후에 3 족 고체원소를 방출하는 단계;를 포함하여,

[0012] 상기 중성입자 빔과 상기 3 족 고체원소가 상기 기관상에 질화물 반도체 단결정 박막으로 증착되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명은, 상기 질화물 반도체 단결정 박막의 형성 방법에 의해 형성되고 있는 질화물 반도체 단결정 박막에, 도핑하고자 하는 고체원소를 전구체 분사 가스 없이 직접적으로 제공하도록 방출하는 단계를, 상기 3 족 고체 원소 방출 단계와 동시에 더 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명은, 전자회전공명(ECR: Electron Cyclotron Resonance)에 의한 플라즈마 발생방식을 이용하고 중성화 반사판을 구비한 중성입자 빔 발생원으로부터, 질소(N) 원자와 불활성 원소를 포함하는 중성입자 빔을 방출하고,

상기 중성입자 빔의 방출과 동시에 3 족 고체원소를 방출하고,

[0015] 삭제

[0016] 기관 위에 형성되는 질화물 반도체 단결정 박막에 도핑하고자 하는 고체원소 또한 동시에 방출하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명은, 상기 불활성 원소는 Ar, He, Ne, Kr, Xe 중 하나이거나, 둘 이상의 원소를 혼합한 것으로 구성되는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명은, 상기 질화물 반도체 단결정 박막의 형성 방법에 있어서,

[0019] 상기 기관의 온도를 200 내지 800 °C 로 유지하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

[0020] 또한, 본 발명은, 상기 질화물 반도체 단결정 박막의 형성 방법에 있어서,

[0021] 상기 기관의 온도를 600 내지 700 °C 로 유지하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은, 상기 3 족 고체원소의 방출 단계는 출사와 정지를 주기적으로 반복하는 모듈레이션

(modulation) 모드로 동작하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

또한, 본 발명은, 출사 시간 τ_{off} 과 정지 시간 τ_{on} 의 비율은

$$\frac{\tau_{off}}{\tau_{on}} \geq \frac{\Gamma_{III}}{\gamma \Gamma_a} - 1$$

을 만족하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

여기서 Γ_{III} 는 3 족 고체원소의 플럭스 (atoms/cm² s), Γ_a 은 중성입자 빔 플럭스, γ 는 중성입자 빔 속에서 질소원자 비율, τ_{on} 은 출사시간, τ_{off} 은 정지시간이다.

또한, 본 발명은, 상기 질화물 반도체 단결정 박막의 형성 방법에 있어서,

상기 중성입자 빔의 운동에너지를 2 내지 100 eV로 하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

또한, 본 발명은, 상기 질화물 반도체 단결정 박막의 형성 방법에 있어서,

상기 중성입자 빔의 운동에너지를 10 내지 30 eV로 하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

또한, 본 발명은, 상기 질화물 반도체 단결정 박막의 형성 방법에 있어서,

상기 중성입자 빔의 발생 및 중성입자 빔의 운동에너지 부여를 위해 중성입자 빔 발생원에 인가하는 전위 V는,

$$V = -\frac{1}{\gamma_g} \frac{E_a}{q} - V_p$$

를 만족하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

상기 수식에서,

E_a 은 중성입자 빔의 에너지,

V_p 는 플라즈마 전위,

q 는 플라즈마 하전입자의 전하량,

γ_g 는 플라즈마 하전입자가 반사판에 충돌 후 중성입자로 변환되어 나올 때 유지되는 에너지 효율을 나타내며, 반사판 물질 및 입사각도에 따라 0.3 내지 0.9의 값을 갖는다.

또한, 본 발명은, 중성입자 빔의 운동에너지 E_a 으로부터 충돌을 통하여 Ga 원자가 얻는 에너지 E_{Ga} 는

$$E_{Ga} = \frac{4 M_{Ga} M_a}{(M_{Ga} + M_a)^2} E_a \cos^2 \theta$$

인 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

여기서 M_{Ga} 는 Ga 원자의 질량, M_a 는 중성입자 빔 원소의 질량을 의미하고, θ 는 충돌 직전 중성입자 빔 원소의 진행 방향과 이루는 충돌 후의 Ga 원자의 진행 방향 사이의 각도이다.

또한, 본 발명은, 상기 3족 고체원소의 방출과 도핑하고자 하는 고체원소의 방출은 출사 및 정지를 동기화하여 주기적으로 반복하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

또한, 본 발명은, 상기 3족 고체원소의 방출과 도핑하고자 하는 고체원소의 방출은 출사 및 정지를 서로 엇갈리게 하여 주기적으로 반복하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 방법을 제공할 수 있다.

- [0046] 또한, 본 발명은, 질소(N)와 불활성 원소를 중성입자로 발생시켜 기관 위로 출사하는 중성입자 빔 발생장치;
- [0047] 상기 중성입자 빔 발생장치의 동작과 함께 3 족 고체원소를 기관상으로 분사하는 고체원소 발생장치; 및
- [0048] 형성되는 질화물 반도체 단결정 박막에 도핑 원소를 제공하기 위한 도핑용 고체원소 발생장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 질화물 반도체 단결정 박막 형성 장치를 제공할 수 있다.

효 과

- [0049] 본 발명에 따르면, 질화물 반도체의 단결정 박막 형성에 있어서, 필요한 에너지를 중성입자 빔의 운동에너지와 기관의 온도에 의한 열에너지 양자의 안배에 의해 제공하므로, 기관의 온도를 상당히 낮출 수 있어, 기관 자체의 열 변형을 방지할 수 있고, LED 소자 제작에 필요한 다층 박막에서 도핑 되는 불순물층간 경계를 넘어 확산 되는 문제를 해소할 수 있으므로 고효율 및 고품질의 LED 소자를 제작할 수 있다.
- [0050] 또한, 본 발명에 따르면, 질화물 반도체 박막의 형성을 중성입자 빔에 의해 처음부터 단결정 상태로 제작하므로 단결정 박막을 제작한 후 단결정화하는 방법 및 그에 따른 제조 장치에 비해 훨씬 더 간편한 방법 및 장치를 제공할 수 있으므로 반도체 발광 소자의 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0051] 이하, 첨부 도면을 참조하여 본 발명에 따른, 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.
- [0052] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물반도체 단결정 박막형성과정을 설명하기 위한 구성도이다.
- [0053] 공정 챔버(7) 안에 기관(5)을 기관 탑재대(6) 위에 장착하고, 공정 챔버(7) 윗 편에 중성입자 빔 발생원(1)을 설치한다. 상기 중성입자 빔 발생원(1)은 본 발명자에 의해 발명되고 출원된 대한민국 특허출원 제10-2009-0051750호에 상세히 기재된 것을 채택하므로 그 구성에 대한 기재는 생략한다.
- [0054] 상기 중성입자 빔 발생원(1)은, 기관(5) 위에 증착하고자 하는 질화물 반도체 단결정 박막을 형성하는 데 필요한 반응물 중 하나인 질소(N)와, 반응물에 해당하지 않지만 반응물들의 화학 반응 내지는 단결정 형성에 필요한 에너지를 공급하는 역할을 하는 불활성 원소를 중성입자 빔으로 생성하고 필요한 운동 에너지를 부여하여 출사한다. 본 실시예에서 사용하는 불활성 원소는 아르곤(Ar)이며, 질소와 아르곤을 중성입자 빔으로 생성하여 기관(5) 위로 출사한다.
- [0055] 또한, 사용하는 불활성 원소는 Ar을 포함하여 He, Ne, Kr, Xe 등의 불활성 원소를 각각 사용하거나 이들 중 둘 이상의 원소를 적절하게 혼합하여 사용할 수도 있다.
- [0056] 공정 챔버(7)의 상단에는 또한 고체원소 발생원(3)을 장착하며, 상기 고체원소 발생원(3)은 3 족 원소, 예를 들면, Al, Ga, In의 고체 원소를 이퓨전 셀(effusion cell)에 넣어 가열하여 증기로 만들어 공정 챔버(7) 내로 분사한다.
- [0057] 상기 중성입자 빔의 출사와 3 족 고체원소의 증기 분사는 거의 동시에 연속적으로 이루어지도록 동작을 제어하나, 고체원소 발생원(3)은 중성입자 빔 발생원(1)과는 달리 출사와 정지를 주기적으로 반복하는 모뮬레이션(modulation) 모드로 동작시킬 수 있다.
- [0058] 출사시간 동안의 3 족 원소의 단위면적당 수는 한 주기(출사시간 + 정지시간) 동안의 중성입자 빔 속의 질소 원자수와 같거나 많도록 해야 한다. 즉,

[0059]
$$\Gamma_{III} \tau_{on} \geq \gamma \Gamma_a (\tau_{on} + \tau_{off})$$

[0060] 따라서, 출사와 정지 시간 비율은 다음과 같이 정할 수 있다.

[0061]
$$\frac{\tau_{off}}{\tau_{on}} \geq \frac{\Gamma_{III}}{\gamma \Gamma_a} - 1$$

[0062] 여기서 Γ_{III} 는 3 족 고체원소의 플럭스 (atoms/cm² s), Γ_a 은 중성입자 빔 플럭스, γ 는 중성입자 빔 속에서 질소원자 비율, τ_{on} 은 출사시간, τ_{off} 은 정지시간이다.

[0063] 예를 들어, Ga 경우를 이퓨전 셀(effusion cell)로 1,200 °C에서 증기화 할 경우에 0.1 Torr의 증기압이 생기며, 이는 약 3×10^{19} atoms/cm² s의 플럭스에 해당한다. 이 증기압에 도달하는 플럭스는 약 $\Gamma_{III} = 5 \times 10^{15}$ atoms/cm² s 이고, 중성입자 빔의 플럭스가 $\Gamma_{n} = 6 \times 10^{15}$ atoms/cm² s 라고 하고, $\eta = 0.5$ 라고 하면, 질소의 플럭스는 3×10^{15} atoms/cm² s 가 되어 $\tau_{off}/\tau_{on} \geq 1.6$ 이 되어, 10 초간 Ga를 출사하면 최소한 16 초 이상은 정지 상태로 유지해야 한다.

[0064] 상기 고체원소 발생 방법은 이퓨전 셀(effusion cell)에 의한 증기화 이외에 고체원소 타겟을 전자빔, 이온빔, 레이저빔으로 조사하여 고체원소를 얻는 방법도 있다. 또한, 스퍼터링 방법에 의해 얻을 수도 있다.

[0065] 예를 들어, Ga를 이퓨전 셀로 증기화 할 경우에 가열 온도에 따라 증기압이 결정되고, 증기압에 의해 출사구에서의 고체원소 플럭스가 결정되기 때문에, 온도를 조절하여 원하는 플럭스를 제공할 수 있다. 즉, 출사구에서의 플럭스 Γ 는

[0066]
$$\Gamma = \frac{P}{\sqrt{MkT}}$$
 이다.

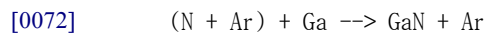
[0067] 여기서, P 는 증기압 [Pa], M 은 증기화 하려는 원소의 질량 [kg], k 는 플랑크 상수, T 는 이퓨전 셀 가열 온도 [K] 이다. 예를 들어, 1,007 °C 에서는 증기압은 10^{-3} Torr 이고, 1,132 °C에서는 10^{-2} Torr이므로, 이에 해당하는 출사구에서의 고체 원소 플럭스는 각각 약 3×10^{17} atoms/cm² s과 약 3×10^{18} atoms/cm² s이 된다.

[0068] 고체원소 증기는 분사된 후, 특별한 방향성을 가지지 않고 공정 챔버(7) 내에서 확산 내지는 표류 이동하여 챔버 하단의 기판(5) 위에 도달하고, 질소 및 불활성 원소를 포함한 중성입자 빔은 그 발생원에서 소정의 전위를 플라즈마에 인가하여 반사판에 충돌시켜 중성입자 빔을 발생시켜 기판(5) 쪽으로 출사하므로 중성입자 빔은 상당한 운동에너지와 하방의 운동량을 가지고 기판(5)에 도달하게 된다. 상기 중성입자 빔에 포함된 질소와 상기 3 족 고체원소인 Ga 증기가 기판(5) 상에서 화학 결합하여 GaN 단결정 박막을 형성하게 된다. 이 경우, 기판(5) 상에서의 중성입자 빔의 플럭스가 3 족 고체원소의 플럭스 보다 작게 되면 단결정 형성에 충분한 에너지 전달이 되지 않기 때문에 중성입자 빔의 플럭스와 3 족 고체원소의 플럭스가 기판(5)에 도달하는 시점에서 거의 같아야 GaN로의 화학 결합 및 단결정화를 기대할 수 있으며, 바람직하게는 3 족 고체원소 증기가 기판(5) 위에 도달하기 직전 또는 직후에 같은 양의 중성입자 빔이 기판(5)에 도달하도록 중성입자 빔 발생원(1)과 고체원소 발생원(3)의 동작을 제어한다.

[0069] 본 실시예에서 기판(5)의 온도는 200 내지 800 °C, 바람직하게는 600 내지 700 °C로 기존의 MOCVD 방법에 비해 매우 낮은 온도로 가열한다. 이는 기존의 MOCVD 방법의 경우, 반응원소들이 화학 결합을 하고 단결정으로 되는 데 필요한 에너지를 거의 모두 기판을 가열하여 공급되는 열에너지에 의존하였기 때문이다. 그러나, 본 발명의 경우, 기판을 가열하여 공급하는 열에너지의 양을 줄여 기판 온도를 낮추고 이에 대해 중성입자 빔에 운동에너지를 부여하여 반응 원소들의 화학 결합 및 단결정 형성에 필요한 에너지를 운동에너지 형태로 공급하는 것이다.

[0070] 즉, 본 발명은 질화물반도체 단결정 성장에 참여하는 3 족 원소가 질소 원자와 쉽게 질화물반도체 단결정 구조로 반응할 수 있도록 충분한 운동에너지를 갖도록 하여 저온 하에서도 질화물반도체 단결정 박막의 성장이 용이하도록 하여 질화물반도체 단결정 박막의 특성을 개선할 수 있다.

[0071] 상술한 바에 따라 기판(5)에 형성되는 GaN 단결정 박막 형성에 대한 화학식은 다음과 같다.



[0073] 왼쪽 항의 괄호는 N과 Ar로 구성된 중성입자 빔을 표시하고 있다. 여기서 Ar의 주 역할은 Ga 원자에 운동에너지 및 운동량 전달이다. 즉, Ga 원자가 기판에 충돌 전후에 Ar으로부터 운동에너지와 운동량을 전달받아, 에너지가 높은 Ga 원자로 변환되어 중성입자빔 내의 N 원자와 반응하여 GaN 결정을 형성하게 된다. 이는 기존의 GaN 층을 형성시킨 후에 중성입자, 이온, 전자, 또는 레이저 빔으로 어닐링(annealing)하는 방법과는 전혀 다른 새로운 방법이다.

[0074] 중성입자 빔의 운동에너지 E_n 으로부터 충돌을 통하여 Ga 원자가 얻는 에너지 E_{Ga} 는 다음과 같다.

[0075]
$$E_{Ga} = \frac{4 M_{Ga} M_n}{(M_{Ga} + M_n)^2} E_n \cos^2 \theta$$

[0076] 여기서 M_{Ga} 는 Ga 원자의 질량, M_n 는 중성입자 빔 원소의 질량을 의미하고, θ 는 충돌 직전 중성입자 빔 원소의 진행 방향과 이루는 충돌 후의 Ga 원자의 진행 방향 사이의 각도이다. 이 식에 따르면 Ga 원자는 중성입자 빔 내의 Ar 원자로부터 최대 93 % 의 에너지를 얻을 수 있고, N 원자로부터는 최대 56 % 정도의 에너지를 얻을 수 있다.

[0077] 중성입자 빔의 운동에너지는 중성입자빔 발생원 내에서 초기에 플라즈마를 중성화반사판 쪽으로 당기기 위해 인가하는 전위 V에 의해 결정될 수 있다. 따라서, 상술한 바와 같이, 기판(5)을 가열하여 공급하는 열에너지에 따른 기판의 온도를 200 내지 800 °C 등으로 하고자 할 경우, 인가 전위를 조절하여 중성입자 빔의 운동에너지를 1 내지 100 eV로 부여할 수 있으며, 좀 더 상세하게는, 기판의 온도를 600 내지 700 °C 으로 하고자 할 경우, 중성입자 빔의 운동에너지를 10 내지 30 eV로 부여할 수 있다.

[0078] 또한, 중성입자 빔 발생 메커니즘을 분석하여, 상기 중성입자 빔의 발생 및 중성입자 빔의 운동에너지 부여를 위해 중성입자 빔 발생원에 인가하는 전위 V는 다음과 같다.

[0079]
$$V = -\frac{1}{\gamma_g} \frac{E_n}{q} - V_p$$

[0080] 상기 수식에서,

[0081] E_n 은 중성입자 빔의 에너지,

[0082] V_p 는 플라즈마 전위,

[0083] q 는 플라즈마 하전입자의 전하량,

[0084] γ_g 는 플라즈마 하전입자가 반사판에 충돌 후 중성입자로 변환되어 나올 때 유지되는 에너지 효율을 나타내며, 반사판 물질 및 입사각도에 따라 0.3 내지 0.9의 값을 갖는다.

[0085] 또한, 반도체 발광 소자의 제작에는 상기와 같은 GaN 단결정 박막을 p-형 또는 n-형으로 만들기 위해 불순물을 도핑 할 필요가 있다.

[0086] 특히, 기존의 MOCVD 방법으로 p-형 도핑을 할 경우에, p-형 도핑 반응기체인 전구체(Precursor)로서 Cp_2Mg 와 같은 수소를 다량 포함하고 있는 분자 기체를 사용하기 때문에 막 형성과정에서 다량의 수소가 발생되어 Mg와 결합을 하게 되어 Mg가 도핑원소로서 기능을 하지 못하도록 하여 도핑 효율이 매우 떨어지게 된다. 게다가 이러한 낮은 효율의 도핑 상황에서 도핑 밀도를 맞추기 위해 과다하게 전구체 기체를 사용하기 때문에 도핑되지 않은 Mg이 다량 생기게 되어 이들이 p 형 GaN의 특성을 나쁘게 한다.

[0087] 결국 기존의 MOCVD 경우에는 도핑 효율을 높이려고 온도를 높이면, Mg의 활성층으로의 확산이 문제가 되고 온도를 낮추어 다량의 전구체 가스를 주입하면 도핑 효율이 낮아지고 도핑되지 않은 Mg에 의해 p 형 GaN의 특성이 저하된다.

[0088] 그러나 중성입자 빔과 수소가 없는 고체원소 자체를 사용하게 되면 기존의 문제점을 극복할 수 있다. 중성입자 빔과 고체원소를 이용하는 불순물 도핑을 위한 장치가 도 2에 도시된다.

[0089] 도 2를 보면, 도핑용 고체원소 발생원(8)이 공정 챔버(7) 상단에 장착되어 있음을 알 수 있다. 상기 도핑용 고체원소 발생원(8)에서는, 예를 들면, GaN층 도핑에 필요한 원소인, 예를 들면, Si 또는 Mg 원소를 스퍼터링(sputtering) 장치 또는 전자빔(electron beam) 조사 장치를 이용하여 증기화 하고, 고체원소 증기를 공정 챔버

(7) 안으로 분사한다. 녹는점이 650 ℃로 낮은 Mg 경우에 이퓨전 셀을 사용할 수도 있으나, Si 경우에는 녹는점이 1,410 ℃로 높아 이퓨전 셀 대신에 스퍼터링 장치 또는 전자빔 조사 장치를 이용하여 증기화 하는 것이 유리하다.

[0090] 상기 도핑 원소인 Si은 GaN층에 혼입되어 상기 GaN 층을 n형으로 만든다. 또한, 형성된 n-형 GaN 층의 바로 위에는 일반적으로 활성층인 InGaN 층을 형성하며, 그 위에 p형 GaN 층을 형성하여 반도체 발광 소자를 제작한다. Mg원소의 경우, p형 GaN층을 형성하기 위해 도핑된다. 도핑 과정 또한 중성입자 빔의 운동에너지를 통해 이루어지며, 기판(5)의 온도가 상대적으로 저온인 600 내지 700 ℃이므로 종래 1000 ℃ 이상의 고온에서 문제되었던 도핑 원소의 확산에 따른 n 형과 p 형의 특성 저하에 따른 발광 특성의 열화현상을 해소할 수 있다. 즉, 종래 MOCVD 방법에서는 기판의 가열에 의한 열에너지에 의해 p형 GaN층의 도핑원소인 Mg원소가 LED 발광소자의 활성층인 InGaN 층으로 형성된 다중양자우물층 (multi-quantum well)으로 확산되어 활성층의 기능을 약화시켜 발광 소자의 발광 특성을 저하 시켰으나 본 실시예에서는 중성입자 빔에 의한 운동에너지가 반응에너지의 상당량을 제공하여 기판의 온도를 낮출 수 있으며, 각 층을 형성할 때 마다 중성입자 빔의 운동에너지를 적정 수준으로 제어하여 도핑 원소가 다른 층으로 확산되지 않도록 하여 발광 소자의 발광 특성을 향상시킬 수 있다.

[0091] 상기 도핑 과정을 화학식으로 나타내면 아래와 같다.

[0092] n 형 도핑: $(N+Ar)+Ga+Si \rightarrow GaN:Si+Ar$

[0093] p 형 도핑: $(N+Ar)+Ga+Mg \rightarrow GaN:Mg+Ar$

[0094] 본 발명의 권리는 위에서 설명된 실시예에 한정되지 않고 청구범위에 기재된 바에 의해 정의되며, 본 발명의 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 청구범위에 기재된 권리범위 내에서 다양한 변형과 개작을 할 수 있음은 자명하다.

도면의 간단한 설명

[0095] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 질화물반도체 단결정 박막형성과정을 설명하기 위한 장치 구성도.

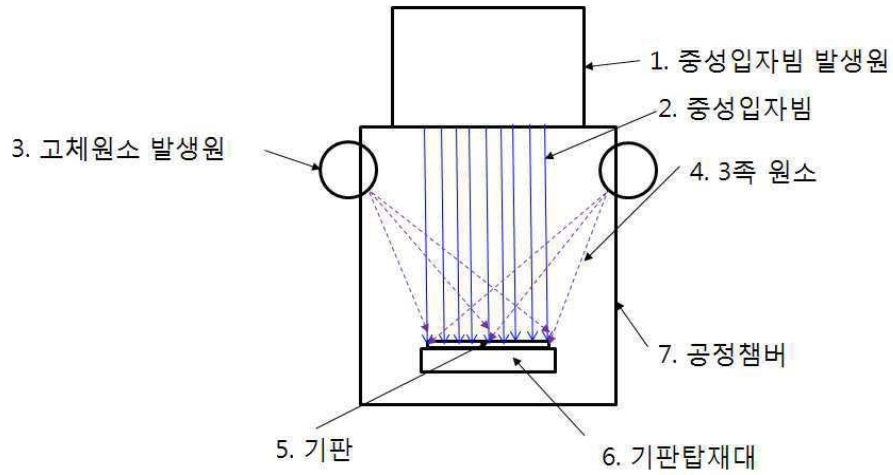
[0096] 도 2는 도 1에 따라 제작되는 질화물반도체 단결정 박막을 도핑하기 위한 장치 구성도,

[0097] *도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명*

- | | |
|----------------------|-----------------|
| [0098] 1: 중성입자 빔 발생원 | 2: 중성입자 빔 |
| [0099] 3: 고체원소 발생원 | 4: 3 족 원소 |
| [0100] 5: 기판 | 6: 기판 탑재대 |
| [0101] 7: 공정 챔버 | 8: 도핑용 고체원소 발생원 |

도면

도면1



도면2

