

MOCVD를 이용한 GaAs/AlGaAs GRIN-SCH 양자 우물 레이저의 제작 및 특성

손 정 환*, 권 영 세
한국 과학 기술원, 전기 및 전자 공학과

Fabrication and Characteristics of GaAs/AlGaAs GRIN-SCH Quantum Well Laser Diode by MOCVD

Jung-Hwan Son, Young-Se Kwon
Department of Electrical Engineering, KAIST

ABSTRACT

GRIN-SCH quantum well structured Laser Diode were fabricated using MOCVD and operated as CW at room temperature. The threshold current density of the LD with 670um cavity length was 530 A/cm². For the ridge waveguide type index guiding structured LD with 6um stripe width and 240 um cavity length, the threshold current was 50mA. The maximum differential quantum efficiency was 0.95W/A when the optical output was 60mW. The lasing wavelength of QW LD was 865nm. In the L-1 measurement, TE mode was superior to TM mode. From the near field pattern, single lateral mode operation was observed.

1. 서론

GaAs/AlGaAs 반도체 레이저는 레이저 프린터나 광디스크 장치에의 응용용 개별 소자로서 뿐만 아니라 고속, 단거리, 다기능 광통신에 이용되는 광전집적회로의 개발이 요구되면서 성능향상이 꾸준히 진행되었으며 낮은 발진개시 전류, 고속력, 안정된 모드 특성, 고속 변조 등의 특성을 얻기 위한 여러가지 구조가 제안되었다. 특히 이중 이형 헷합구조(double heterostructure)에서 활성층의 두께를 de Broglie의 물질파장 ($\lambda = h/p \sim 300\text{\AA}$ for GaAs) 이하로 줄인 양자우물(quantum well) 레이저는 양자우물내에서 전자가 2차원적 상태밀도(density of state)를 갖기 때문에 낮은

발진개시 전류와 높은 양자효율 등 좋은 특성을 얻을 수 있다. 그러나 두께가 얇아지면서 전자나 정공이 활성층 내에 집중이 잘 되지 않으며 이를 극복하기 위하여 다중 양자우물(multi quantum well) 구조나 GRIN-SCH(graded-index separate-confinement heterostructure)구조 등이 제안되었다.

1976년 Kazarinov[1]는 GaAs 활성층에 Al조성이 경사진 AlGaAs층으로 이중 이형 헷합구조를 이룬다면 "funnel"효과에 의해 활성층에 전자,정공의 집중이 촉진되고 선자파가 경사진 굴절률분포에 그 영역내에서만 전파되어 전자, 정공과 전자파의 분포가 효과적으로 중첩되므로 발진개시 전류가 낮아질 것이라고 예측하였고 1981년 Tsang[2]이 MBE를 이용하여 최초로 GRIN-SCH 양자우물 레이저를 제작하였다. 그후 MBE, MOCVD등을 이용한 많은 연구가 발표되었으며 발진개시 전류 밀도가 100A/cm² 정도가 되기에 이르렀고, 1987년에는 Yrivi[3]가 MBE와 LPE를 동시에 사용한 BH구조로서 0.95mA의 발진개시 전류를 얻기도 했다. Al조성을 경사지게 할 때에는 선형적으로 또는 포물선형으로 하며 MOCVD의 경우 Al조성을 연속적으로 변화시키지 않고 계단형태의 분포를 갖게하기도 한다. GRIN-SCH 양자우물레이저는 다른 레이저에 비해 발진개시 전류가 훨씬 낮으며 높은 광출력을 내고 온도변화에 둔감하여 높은 특성온도(characteristic temperature, T₀)를 갖는다. 또 양자효율이 높고 고속 변조 특성을 가지고 있어 근거리 통신망(Local Area Network)에 쓰이는 GaAs/AlGaAs 광전집적 회로에 매우 유용하다.

본 논문에서는 MOCVD를 이용하여 상온에서

* 발진개시 전류와 높은 양자효율 등 좋은 특성을 얻을 수

(CW(continuous wave)동작을 하는 GRIN-SCH 양자우물 레이저를 제작하여 그특성을 측정하였으며 역시 CW동작을 하는 이중 이형 접합 레이저와 특성과 비교를 하였다.

II. GRIN-SCH 양자우물 레이저의 구조 및 제작

(100)±0.5° 방향인 n⁺-GaAs기판(Si doped)을 TCE-Acetone-Methanol 순서로 cleaning하고 DI-water로 헹군후 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O=5:1:1 (60C) 용액에서 3분간 식각하여 기판표면의 물리적 결함이 있는 부분을 없앤다. DI-water로 헹군후 HCl:H₂O=1:1 용액에 5분간 담궈서 식각할때 생긴 산화막을 제거하고 DI-water로 충분히 헹구어 IPA에서 린인후 공기중에서 건조시켜 결정성장을 하게된다.

사용된 MOCVD장비는 상압에서 성장시키며 수평형 반응관을 가지고 있다. 물리보덴 susceptor를 지향 가열 방식으로 가열하며, 성장막의 균일성을 높이기 위해 water jacket이 설치되어 있다. TMG, TMA, AsH₃ (5%)과 더불어 p형 도우핑 원료로서 DEZ와 n형 도우핑 원료로서 SiH₄ (60ppm) 이 사용되었다. 처리된 기판을 반응판에 넣은후 반응판내의 산소나 수증기를 제거하기 위하여 진공을 뽑고나서 수소를 1시간 정도 흘려준다. 성장전에 기판표면의 산화막을 제거하기 위하여 750°C에서 AsH₃ 을 흘려 주며 5분간 가열하여 준다.[4] 성장온도는 750°C이며 carrier 가스인 수소의 유량은 2 l/min로서 반응판내의 가스의 선형속도는 10cm/s가 된다. V/III 비는 GaAs의 경우는 20 이고, AlGaAs의 경우 25~30 이며, 성장속도는 각층마다 500~1000 Å/min 이다.

성장된 각 층의 구조는 그림(1)과 같다. SLB(superlattice buffer)층은 GaAs와 Al_{0.5}Ga_{0.5}As 를 각각 100Å 석 10주기를 성장시켰는데 이것은 기판으로 부터의 결함이나 불순물이 활성층으로 전해지는 것을 막으며 GaAs층과 Al_{0.5}Ga_{0.5}As clad 층의 격자 부정합을 해소해주고 성장면울 평탄하게 해주는 역할을 한다.[5] N,P-Al_{1-x}Ga_xAs 경사형역은 Al의 조성이 0.5에서 0.25로 0.05씩 변화하는 계단형태의 분포를 가지며, 대개는 free carrier absorption을 줄이기 위해 도우핑을 하지 않으나 여기서는 n형과 p형을 만들기 위해 Si과 Zn을 도우핑

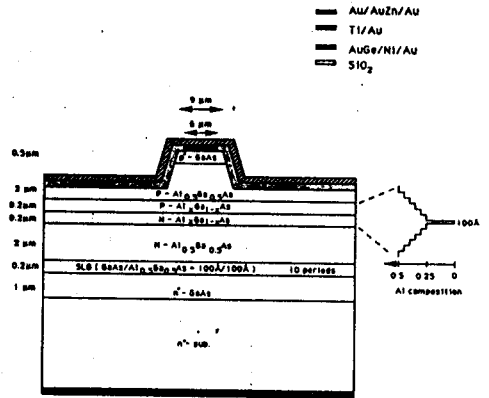


그림 (1). Ridge waveguide 형태로 제작된 GRIN-SCH 양자우물 레이저의 단면 구조

하였다. 100Å 의 양자우물 활성층은 계면의 급준성을 높이기 위해 성장중에 환성층과 Al_{0.25}Ga_{0.75}As 층 사이에 30sec의 싱징 중지 시간을 두었다. p⁺-GaAs cap층은 1x10²⁰ cm⁻³으로 도우핑시켜 저항성 접촉 형성을 용이하게 하였다.

성장된 시료를 stripe형태와 broad형태로 제작하였는데 stripe형태는 ridge waveguide 형태의 index guiding구조로 제작하였다. 공정순서는 아래와 같다. 먼저 p⁺-GaAs위에 lift-off공정용 이용하여 6um 폭을 갖는 Au/AuZn/Au를 증착하고 2단계 RTA(rapid thermal alloy)를 이용하여 저항성 접촉을 형성한다. 이때 specific contact resistivity r_c=1x10⁻⁷Ωcm²의 값을 가졌다. 다음으로 ridge형태의 mesa식각을 하고 SiO₂와 Ti/Au 증착을 한다. n⁺-GaAs기판쪽은 lapping을 하고 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O=3:1:1 용액에서 식각을 하여 두께를 100um 정도 되게 한 다음 AuGe/Ni/Au를 증착하고 RTA를 이용하여 저항성 접촉을 형성한다. broad형태의 레이저는 폭이 140um가 되는 shallow mesa구조로 제작 하였다. 특성비교에서 사용되는 이중 이형 접합 레이저는 Al_{0.3}Ga_{0.7}As clad층을 갖고 GaAs환성층의 두께가 0.1um가 되며 GRIN-SCH 양자우물 레이저와 같이 6um의 폭을 갖는 ridge waveguide형태로 제작하였다.

III. 제작된 레이저의 특성 및 검토

Stripe형태의 GRIN-SCH 양자우물 레이저의 전류-전압 특성에서 cutin전압은 1.4V이며 역방향 항복전압은 10V이고 순방향 미분저항은 4Ω 이었다. Broad 형태에 레이저에서 전류-광출력 측정으로부터 공진기 길이가 670um일때 발진개시 전류 밀도 $J_{th}=530A/cm^2$ 이었으며 그림(2)에서 보듯이 공진기 길이와 발진개시 전류 밀도의 관계로부터 총 내부 손실 $\alpha=10cm^{-1}$ 임을 알 수 있다 상온에서 CW동작을 하는 stripe형태의 GRIN-SCH 양자우물 레이저와 이중 이형 접합 레이저의 전류-광출력 특성곡선을 그림(3)에 나타내었다. 광출력이 10mW이르기 까지 kink현상이 없이 선형적인 특성을 보이고 있으며 발진개시 전류는 GRIN-SCH 양자우물 레이저가 현저히 낮음을 볼 수 있다. Pulse동작에서 양자우물 레이저의 경우 광출력이 최대 100mW이상 나왔으며 그림(4)에서 보듯이 공진기 길이가 340um일때 광출력이 60mW에서 미분 양자효율이 최대 0.95W/A까지 되었다. 그림(4)와 그림(5)에서 보듯이 GRIN-SCH 양자우물 레이저의 경우 전류 주입이 늘어남에 따라 η_i 가 계단식으로 높아짐을 볼 수 있는데 이는 양자우물 구조에서, 활성층에 주입되는 전류의 양이 변함에 따라 각 준위의 천이에 따른 광이득이 달라져서 발진하는 천이 준위가 바뀌게 되며 따라서 발진 파장도 변하게 된다.

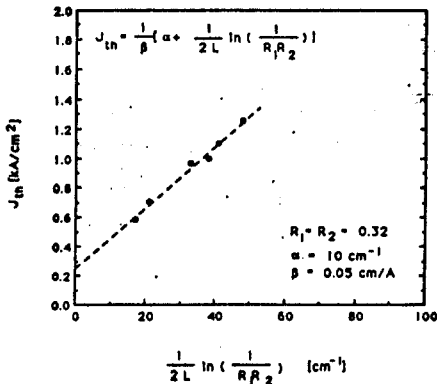


그림 (2). 발진개시 전류 밀도와 공진기 손실과의 관계 곡선

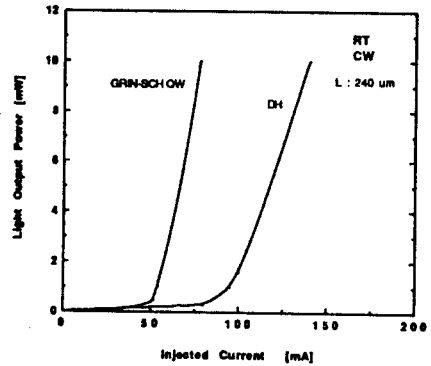


그림 (3). CW 동작에서의 전류-광출력 특성 곡선

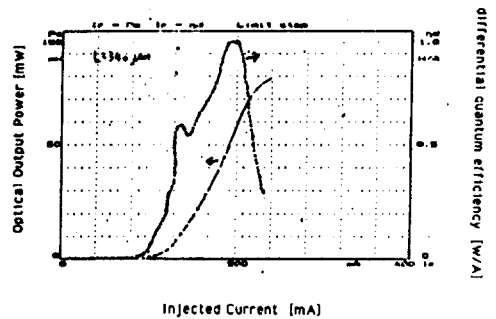


그림 (4). Pulse 동작에서의 GRIN-SCH 양자우물 레이저의 전류-광출력(양자효율) 특성 곡선

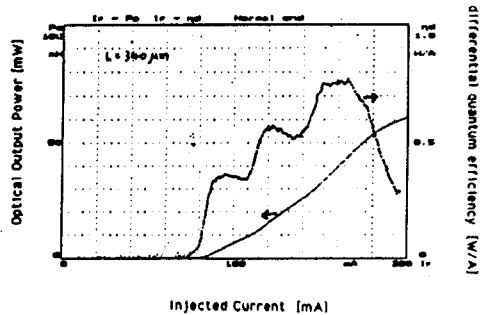


그림 (5). GRIN-SCH 양자우물 레이저의 전류-광출력 (양자효율) 특성 곡선

GRIN-SCH 구조를 가지면 양자우물 활성층에 전자, 정공의 집중이 잘되므로 이런 현상이 더 두드러진다. [6] 그림(6)에는 이중 이형 접합 레이저의 η_d 특성을 나타냈으며 양자우물 구조와 같은 증가는 나타나지 않고 있다. 그림(7)에는 GRIN-SCH 양자우물 구조의 모드에 따른 전류-광출력 특성곡선을 나타내고 있으며 양자우물 구조의 특징인 TE 모드의 우세함을 잘 보여주고 있다. 그림(8)에는 발전 스펙트럼을 보이고 있는데 GRIN-SCH 양자우물 레이저의 경우 발전 파장이 865nm로서 계산된 값보다 길게 나왔으며 이중 이형 접합 레이저의 경우 884nm이었다. 그림(9)에는 NFP(near field pattern)을 보이고 있으며 stripe 쪽이 좁아서 단일 평방향 모드만 발전함을 알수 있다.

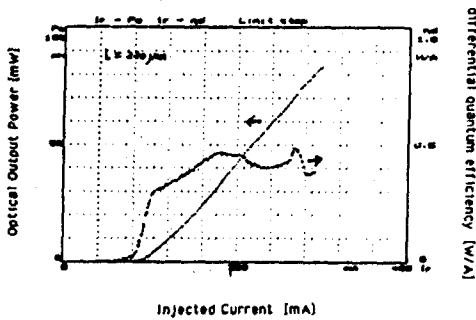


그림 (6). 이중 이형 접합 레이저의 전류-광출력(양자효율) 특성 곡선

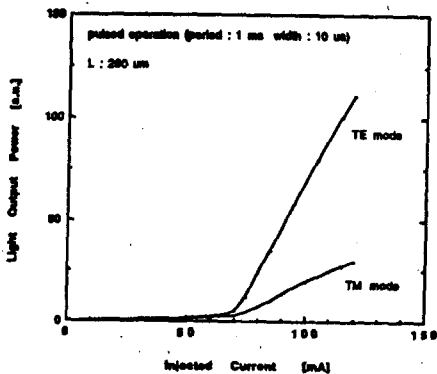
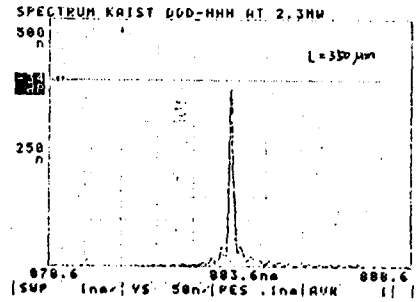
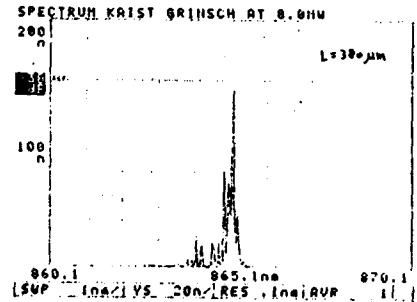


그림 (7). GRIN-SCH 양자우물 레이저의 모드에 따른 전류-광출력 특성 곡선



a) 이중 이형 접합 레이저



b) GRIN-SCH 양자우물 레이저

그림 (8). 레이저의 발전 스펙트럼

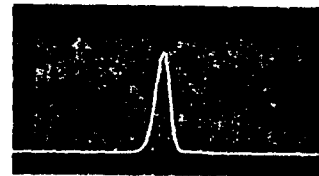


그림 (9). GRIN-SCH 양자우물 레이저의 near field pattern

IV. 결 론

MOCVD를 이용하여 상온에서 CW 동작을 하는 GRIN-SCH 양자우물 레이저를 제작하였다. 이중 이형 접합 레이저보다 발진개시 전류가 낮았고 광출력과 양자효율이 매우 높았다. TE 모드의 우세성과 발진 파장을 측정하였으며, NFP에서 평방향 모드 특성을 알아보았다. 이런 GRIN-SCH 양자우물 레이저는 광전집적회로에 매우 유용하다.

참고 문헌

- [1] R.F.Kazarinov and G.v.Tsarenkov, Sov. Phys. Semicond. 10, 178 (1976)
- [2] W.T.Tsang, Appl. Phys. Lett. 39, 134 (1981)
- [3] P.L.Derry, A.Yariv, K.Y.Lau, N.Bar-Chaim, K.Lee and J.Rosenberg, Appl. Phys. Lett. 50, 1773 (1987)
- [4] T.F.Kuech and E.Veuhoff, J. Crystal Growth 68, 148 (1984)
- [5] H.Iwamura, T.Saku, Y.Hirayama, Y.Suzuki and H.Okamoto, Jpn. J. Appl. Phys. 24, L911 (1985)
- [6] N.B.Patel, T.J.S.Mattos, F.C.Prince and A.S.Nunes, IEEE J. Quantum Electron. QE-23, 988 (1987)

본 연구는 '90 특정 연구 과제인 "레이저 및 광기술 분야"의 위탁 과제에서 수행한 것임.