

論文94-31A-10-10

고출력 InGaAs 레이저 다이오드 제작

(Fabrication of High Power InGaAs Diode Lasers)

桂 溶 燦*, 孫 洛 辰*, 權 五 大*

(Yong Chan Kye, Nak Jin Son and O'Dae Kwon)

要 約

MOCVD로 에피성장된 gain-guide broad-area single quantum well separate confinement heterostructure의 레이저 다이오드(LD)를 제작하였다. 활성층으로는 InGaAs, 도파층으로는 GaAs를 사용하였으며, 파장은 962~965nm이다. LD의 채널폭은 150 μ m 이며, 공진기 길이는 300~800 μ m 이다. 거울면 코팅하지 않은 LD의 경우, 광출력은 2A의 펄스전류원으로 구동할 때 약 0.7W이며, 이로부터 구한 외부양자효율은 약 60%이다. 문턱전류밀도는 공진기 길이 800 μ m 일때 약 200A/cm²인데, 투과전류밀도에 대한 strain 효과를 관찰하였다. 또한, 내부양자효율은 88%, 내부손실은 18cm⁻¹ 정도이며, 빛의 퍼짐도는 집합면 평행방향과 수직방향으로 각각 7°, 40° 정도로 측정되었다. 광출력 증대를 위하여 LD의 거울면에 AR/HR 코팅을 수행하였으며, TEC로 냉각되는 Cu heat-sink에 die bonding하여, 2A 구동전류에서 1.2W의 CW 광출력을 얻었다.

Abstract

Gain-guided broad-area single quantum well separate confinement heterostructure diode lasers have been fabricated from structures grown by metal organic vapor phase epitaxy. The active layer of the epi-structure is InGaAs emitting 962~965nm and the guiding layer GaAs. The channel width is fixed to 150 μ m and the cavity length varies within the range of 300~800 μ m. For uncoated LD's, the output power of 0.7W has been obtained at a pulsed current level of 2A, which results about 60% external quantum efficiency. The threshold current density is 200A/cm² for the cavity lengths of 800 μ m LD's. The strain effect upon the transparent current density has been observed. The internal quantum efficiency is expected to be 88% and the internal loss to be 18cm⁻¹. The beam divergence has been measured to be 7° to lateral and 40° to transverse direction. Finally, 1.2W continuous-wave output power has been obtained at a current level of 2A for AR/HR coated LD's die-bonded on Cu heat-sink and cooled by TEC.

I. 서론

*正會員, 浦項工科大学 電子電氣工學科
(Dept. of Elec. & Elec. Eng., POSTECH
/RIST)
接受日字: 1994年 2月 4日

최근 적외선 파장대역의 고체레이저 펄핑용 광원으로 AlGaAs, GaAs, InGaAs, InGaAsP 등의 활성층을 가지는 레이저 다이오드(LD) 개발이 활발하

다. LD로 펄핑할 경우, 기존의 적외선 램프 펄핑보다 효율이 높고, 소형화 할 수 있으며, 신뢰도, 가격 면에서 크게 유리하다.

펄핑용 LD의 파장으로 가장 큰 관심의 대상은 810nm와 980nm이다. 810nm 파장은 1064nm Nd:YAG 레이저의 흡수피크에 해당하며, AlGaAs 혹은 GaAs 활성층으로부터 얻어낼 수 있다. 한편, 980nm 파장은 1.55 μm Er:Glass 레이저의 흡수피크로서, InGaAs 혹은 InGaAsP 활성층으로부터 얻는다.^[1] 1.55 μm 파장은 광통신에서 뿐 아니라 eye-safe 파장영역이므로, 군사용, 의료용으로도 중요한 파장이다. 따라서 이를 펄핑하기 위한 980nm LD에 대한 관심이 고조되고 있으며, 특히 차세대 광통신망의 핵심요소인 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)의 펄핑용 광원으로 각광받고 있다.

펄핑을 위한 LD의 출력은 펄핑대상인 고체레이저의 용도에 따라 다르며, 수십 mW에서 수kW에까지 이른다. 이와같은 고출력 LD 제작을 위해서는 어레이를 이용해야 하는데, 본 실험은 장기적으로 고체레이저 펄핑용 고출력 LD 어레이 제작을 위한 기초 작업으로서 의미를 가진다.

II. 본 론

1. LD의 구조

본 실험에서는 LD의 구조로서 gain-guided broad-area single quantum well separate confinement heterostructure를 택하였다.^[2] 양자우물구조는 잘 알려진 바와 같이 발광효율이 높고, LD에 응용될 경우 문턱전류밀도와 온도감도가 작은 장점이 있으므로, 특히 고출력 LD 구조로 적합하다.

접합면에 평행방향으로의 광도파 구조는 gain-guided 구조인데, 특별한 굴절계수 차이를 두지 않으므로, 활성층의 이득에 의해 빛이 도파되는 구조이다. 따라서, 이득영역이 넓게 분포할 경우, 기본모드 뿐만 아니라 여러 고차모드가 동시에 도파되는 단점이 있으나, ridge waveguide 혹은 buried heterostructure 등의 index-guided 구조보다 구현하기 쉬우며, broad-area로 고출력을 얻기 위해서는 오히려 적합한 구조라 할 수 있다. Separate Confinement Heterostructure(SCH)는 접합면에 수직방향으로의 광도파구조이다.

양자우물구조를 채택할 경우 활성층의 구속도가 작아지는 단점을 보완하기 위한 구조로서, 활성층과 피복층 사이에 도파층을 삽입하여 활성층의 구속도를 증가시킨다.

2. LD의 제작

LD의 제작은 기존의 제작공정을 따랐으며^[3], 제작공정을 간단히 요약하면, MOCVD를 이용한 에피층 성장, SiO₂ 절연막 증착, stripe channel 형성, lapping 및 polishing, Ohmic contact, cleaving 순으로 진행된다. 제작이 완료된 LD의 단면을 그림1에 나타내었다.

InGaAs층의 최적성장온도는 GaAs층의 최적성장 온도 735 $^{\circ}\text{C}$ 보다 훨씬 낮은 640 $^{\circ}\text{C}$ 정도로 알려져 있다. 또 고농도 도핑된 AlGaAs층을 얻기 위해서는 750 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 하여야 한다. 따라서, 에피층 성장 도중에 온도를 변화시켜야 한다.^[4] 본 실험에서는 N AlGaAs 피복층 성장은 750 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수행하였고, 도파층인 GaAs 성장도중 온도를 680 $^{\circ}\text{C}$ 로 낮추어 InGaAs 활성층을 성장시켰다. 온도를 높이는 과정도 이와 비슷한데, 도파층 GaAs 성장도중 750 $^{\circ}\text{C}$ 로 온도를 높인 후 P AlGaAs 피복층을 성장시켰다. 모든 에피층은 연속적으로 성장되었으며 중간에 interrupt는 주지 않았다. 특히 interrupt를 InGaAs 활성층과 위 GaAs 도파층 사이에 두게 되면, 성장 중지되는 동안 In이 desorption을 일으키므로 interrupt를 두어서는 안 된다.

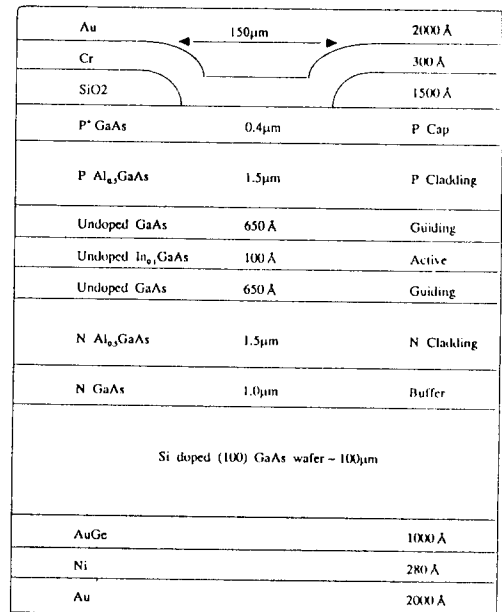


그림 1. 활성층 InGaAs LD의 단면도

Fig. 1. Schematic diagram of the strained laser structure.

3. InGaAs 활성층의 특성

GaAs는 격자상수가 5.65Å 정도이고 InAs는 6.05Å 정도이므로 $In_xGa_{1-x}As$ 는 In의 조성비가 커짐에 따라 격자상수가 커지며 5.6~6.05Å 사이의 값을 가진다. 따라서 GaAs기판 위에 InGaAs층을 임계두께 이상 에피성장 시키면 격자부정합에 의한 misfit dislocation의 증가로 격자구조가 relax된다.^[5] 임계두께는 In의 비율에 반비례하여 작아지는데 In 조성비 $x \sim 0.25$ 에서 100Å 정도이므로 In 조성비 $x \sim 0.25$ 까지는 양자우물구조로 relax되지 않은 InGaAs층을 GaAs층 위에 성장시킬 수 있다. 따라서 $In_xGa_{1-x}As$ 활성층으로부터 얻을 수 있는 파장범위는 0.86~1.05μm 정도이다.

한편, 임계두께 이하로 성장시킨 격자부정합된 InGaAs 격자구조에서는 격자정합된 격자구조에 비해 전기적, 광학적으로 여러가지 우수한 특성을 가진다. 레이저에서 볼 수 있는 특성으로는 다음과 같다. 첫째, biaxial compressive strain에 의해 valence band의 상태밀도가 줄어들므로 population inversion되기 위한 캐리어 밀도가 작아지고, 따라서 문턱전류밀도가 감소한다.^[6] 둘째, In 원자의 격자 강화효과(lattice hardening effect)에 의해 DLD(Dark Line Defect) 등의 degradation이 적는데, 이는 In 원자의 dislocation pinning 효과 때문이다.^[7] 셋째, 상태밀도의 감소는 Auger recombination의 감소와 연관되므로 높은 온도에서의 LD 특성을 향상시킨다. 따라서 InGaAs 활성층은 파장 대역에 있어서 중요한 물질일 뿐만아니라, GaAs에서는 볼 수 없는 우수한 재료적 특성도 가진다.

4. LI 특성

제작된 LD chip은 우선 IV 특성을 측정하여 PN 접합이 제대로 형성되었는지 확인한다. IV 특성으로부터 다이오드의 직렬저항을 구할수 있는데, 채널폭 150μm, 공진기 길이 500μm LD의 경우 평균 0.5W 정도의 직렬저항을 가지는 것으로 측정되었다.

그림 2는 주파수 1kHz, 펄스폭 1μs의 전류구동원으로 LD를 구동하고 Si photodiode를 이용하여 측정한 LI 특성이다. 이는 공진기 길이 500μm인 코팅 안한 LD에 대한 것으로, 문턱전류 ~0.2A, 문턱전류밀도 ~260A/cm², 외부양자효율 ~30%/facet, 구동전류 2.0A에서 약 0.7W의 광출력을 보이고 있다. 일반적으로 LD의 광출력을 정확히 측정하기는 힘들다. 광출력은 PD에서 나오는 광전류를 보정하여 측정하는데, neutral density filter의 투과율, detector photodiode의 반응도가 파장에 따라 다르

므로 정확한 보정이 요구된다.

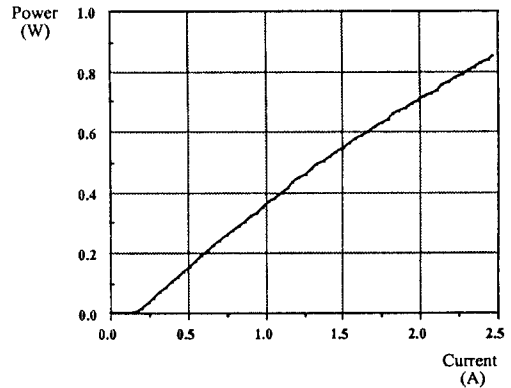


그림 2. 공진기 길이 500μm인 InGaAs LD의 LI 특성
Fig. 2. Light-Current characteristic of an InGaAs laser with a 500μm cavity length.

5. 외부양자효율과 공진기 길이와의 관계

그림 3은 LD의 공진기 길이를 변화시키며 LI 특성에서 구한 외부양자효율을 도기한 결과이다. 외부양자효율과 공진기 길이 관계에서 y절편으로부터 내부양자효율(η_i)을, 기울기로부터 내부손실(α)을 구할수 있는데, 본 실험의 LD에 대해서는 $\eta_i \sim 88\%$, $\alpha \sim 18cm^{-1}$ 였다. 내부양자효율은 주입된 전자가 공진기 내에서 빛으로 바뀌는 효율을 의미하며, 내부손실은 활성층과 도파층에서의 free-carrier absorption, 그리고 이종접합 경계면에서의 scattering loss 등을 포함한다.

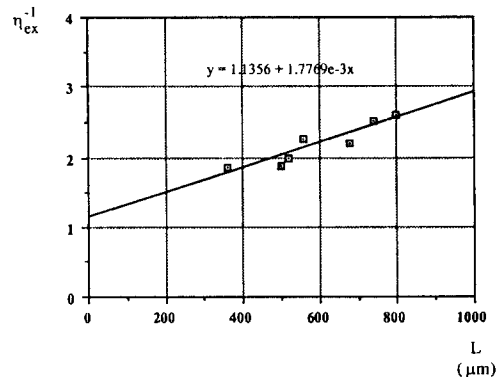


그림 3. 외부양자효율과 공진기 길이와의 관계
Fig. 3. The relationship between the external quantum efficiency and the cavity length.

6. 문턱전류밀도와 공진기 길이와의 관계

그림 4는 공진기 길이를 변화시키며 문턱전류밀도(J_{th})를 측정한 결과이다. 잘 알려진바와 같이 공진기 길이가 길어짐에 따라 문턱전류밀도가 작아짐을 볼 수 있다.

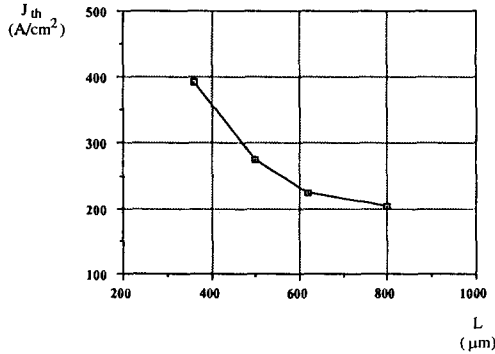


그림 4. 문턱전류밀도와 공진기 길이와의 관계
Fig. 4. The relationship between the thrsh-old current density and the cavity length.

InGaAs를 활성층으로 사용하면 AlGaAs 혹은 GaAs 활성층의 LD에 비해 문턱전류밀도가 크게 줄어든다. 이는 InGaAs 활성층에서의 strain 효과 때문인데, 이는 valence band의 유효질량감소에 기인한 투과전류밀도(J_0)의 감소로 나타나고, 결과적으로

문턱전류밀도 감소에 일조하게 된다. 부연설명하면, biaxial compressive strain에 의해 밴드구조가 바뀌는데, 특히 valence band의 유효질량이 크게 감소하여 conduction band와의 비대칭성이 줄어들기 때문에, population inversion되기 위해 필요한 캐리어 밀도가 줄어들고 따라서 투과전류밀도가 작아진다는 것이다.^[6]

Strain의 효과를 확인하기 위해서는 투과전류밀도를 구해야 한다. 투과전류밀도와 문턱전류밀도의 관계는 다음과 같이 모델링 되므로^[8],

$$J_{th} = \frac{J_0}{\eta_i} \exp \left(\alpha_i + \frac{1}{L} \ln \left(\frac{1}{R} \right) \right) \quad (1)$$

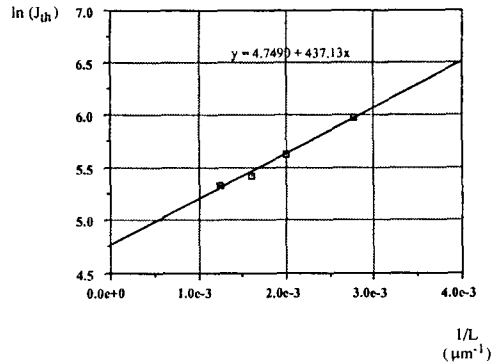


그림 5. ln(J_{th})와 1/L의 관계
Fig. 5. Ln(J_{th}) vs. 1/L.

Wed Jul 14 14: 54: 23 1993

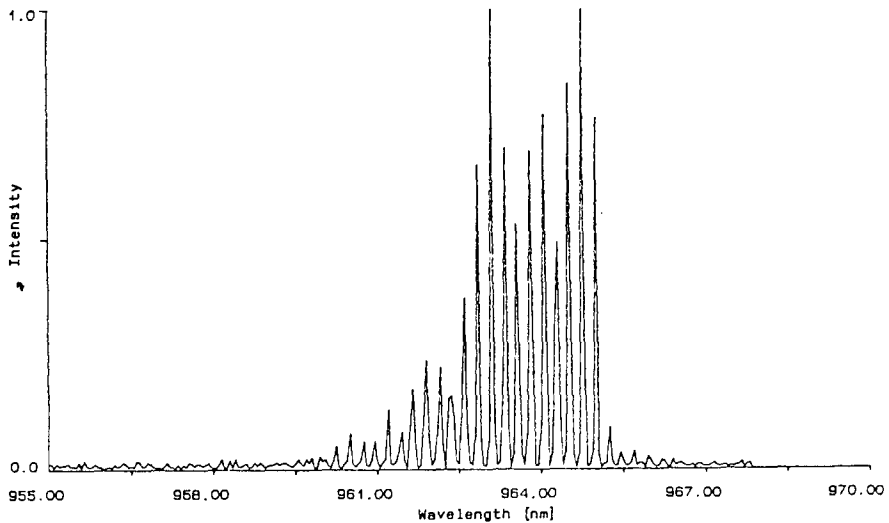


그림 6. InGaAs LD의 스펙트럼
Fig. 6. The spectrum of the InGaAs LD.

Wed Jul 14 15: 02: 06 1993

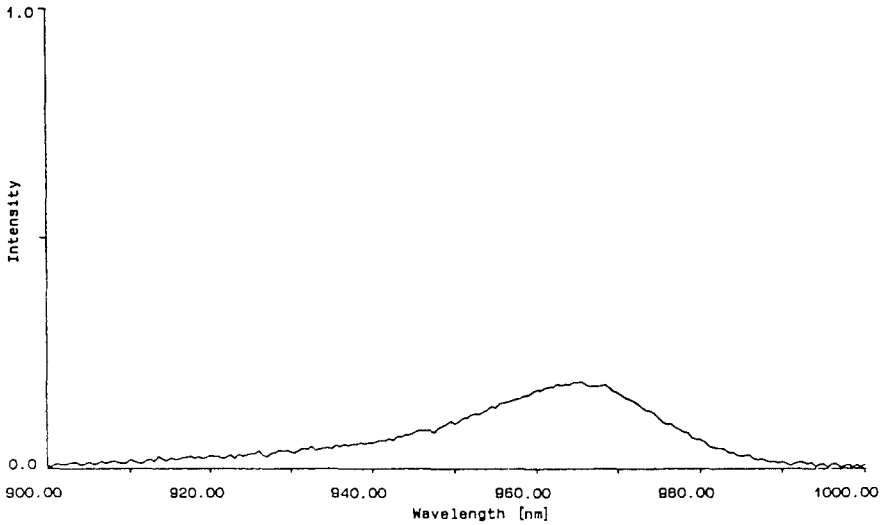


그림 7. InGaAs LD의 자발방출 스펙트럼

Fig. 7. The spontaneous emission spectrum of the InGaAs LD.

1/L에 대해 $\ln(J_{th})$ 을 plot해서 그 기울기와 y절편을 이용하면 투과전류밀도 J_0 를 구할 수 있다. 그림 5는 활성층 InGaAs LD의 경우, $\ln(J_{th})$ 와 1/L을 plot한 것이고, 이로부터 투과전류밀도를 구한 결과, 약 $51A/cm^2$ 이었다. 마찬가지로 방법으로 비슷한 구조의 GaAs LD의 경우에 대해서 투과전류밀도를 구했는데, 약 $140A/cm^2$ 였으므로, 이로부터 strain 효과를 확인할 수 있다.

7. 스펙트럼 측정

LD에서 나오는 빛의 스펙트럼 측정하기 위한 장치 구성을 간단히 설명하면, 펄스구동된 LD에서 나오는 빛을 분광기에 입사시키고, 분광기를 거쳐 나온 빛을 Dewar cooled type Ge detector를 이용하여 전류 신호로 바꾼 후, 전류증폭기를 통해 증폭된 신호를 lock-in 앰프로 입력하여, 파장에 따른 상대적인 빛의 세기를 검출한다.

그림 6은 공진기 길이 500mm인 InGaAs LD의 스펙트럼으로서 구동전류 $500mA \sim 2.0 \times I_{th}$ 에서 측정하였다. 962~965nm 파장범위에서 다중모드로 발진하고 있으며, 모드간 간격 2.6\AA 는 $\Delta\lambda \sim \lambda^2/2nL$ 을 만족하고 있다. 그림 7은 그림 6 측정에 사용된 InGaAs LD의 문턱전류이하에서 자발방출 스펙트럼이다. 자발방출 스펙트럼에서 피크는 964nm 근처이고, 그림 6과 비교하면 spectral hole burning 현상을 발견할 수 있다. 즉, 그림 6의 envelope은

964nm에서 움푹 꺼진 모양을 하고 있는데, 문턱전류 근처에서는 964nm에서 먼저 발진이 시작되지만, 펌핑이 증가함에 따라 이 파장에서 이득의 포화 때문에, side lobe들로 모드가 편이된다.

8. 빛의 퍼짐도

양자우물구조 gain-guided broad-area LD는 광도파 구조상 접합면 수직방향으로는 기본모드만 도파되고, 접합면 평행방향으로는 고차모드도 도파된다. 또, 빛이 나오는 부분이 접합면을 따라 길쭉한 직사각형 모양이므로, 접합면 수직방향으로 퍼짐도가 커서 이 방향으로 서 있는 타원모양의 spot을 예상할 수 있다.

LD의 광출력이 0.5W일때 빛의 퍼짐도를 측정한 결과, 접합면 평행방향으로 퍼짐도의 반치폭은 약 7° 이며, 접합면 수직방향으로는 약 40° 로서 타원형의 spot을 확인할 수 있다. 또, 접합면 수직방향으로는 기본모드만 도파되고, 접합면 평행방향으로는 고차모드도 존재함을 볼 수 있었다.

9. 거울면 AR/HR 코팅

LD의 성능향상을 위해 거울면 코팅을 하였다. 거울면 코팅은 거울면 보호와 광출력 증대를 목적으로 하며, 보통 앞쪽 거울면은 10%이내의 AR(Anti-Reflective) 코팅, 뒤쪽 거울면은 90%이상의 HR(High-Reflective) 코팅으로 이루어진다. AR 코팅

은 굴절계수 $n \sim (n_{air} n_{sub})^{1/2}$ 인 $\lambda/4$ 두께층 (quarter-wave film)을 이용하면 되고, HR 코팅은 굴절계수가 적당히 차이나는 2개의 $\lambda/4$ 두께층을 몇번 반복시키면 (multi-layer quarter-wave films) 얻을 수 있다. 실험은 삼성종합기술원의 sputter를 사용하여 수행하였으며^[9], AR 코팅은 $\lambda/4$ SiO₂층으로, HR 코팅은 $\lambda/4$ SiO₂/Si층 2쌍으로 하였다. 이때, AR 코팅과 HR 코팅의 반사율은 각각 7%, 90%정도이다. 그림 8은 AR/HR 코팅한 LD와 안한 LD의 LI 특성을 비교한 것으로 약 1.4 배의 광출력 향상효과를 볼 수 있다.

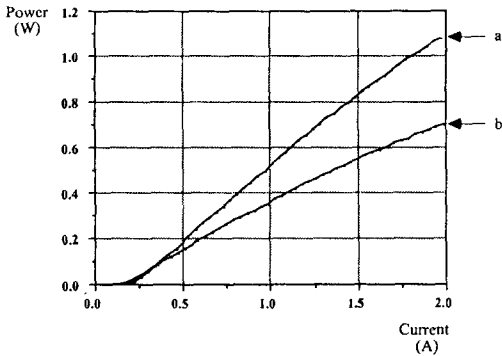


그림 8. AR/HR 코팅한 LD와 안한 LD의 LI 특성 비교
 (a) 코팅한 LD (b) 코팅 안한 LD
 Fig. 8. LI vs current for the laser with and without AR/HR coating.
 (a) LD with AR/HR coating.
 (b) LD without AR/HR coating

10. CW 동작

고출력 LD가 상품화되기 위해서는 CW(continuous-wave) 동작이 요구된다. 주지하다시피 LD의 광출력 특성은 열에 의해 급격히 저하되므로, 열 발산 문제의 해결은 LD chip의 제작 못지 않은 중요한 기술적 문제이다. 특히 고출력 LD의 경우, 동작 전류가 수 A 이상이므로 일반적인 금속제 heat-sink만 사용하는 것보다는 외부에 TEC(Thermo-Electric Cooler : Peltier Device) 등을 연결, 열을 발산시키는 적극적인 방법이 필요하다.

CW 모드동작을 위해서는 우선 heat-sink에 LD chip을 열저항이 최소화되도록 붙이는 die bonding 작업과 외부 전류구동장치로의 접속을 위한 wire bonding 작업이 필요하다. Bonding이 끝난 LD chip과 구리 볼트는 thermal compound를 이용, TEC에 붙여지는데, 이로써 CW 동작을 위한 준비작

업을 끝나게 된다. 실험은 삼성종합기술원의 die bonder와 wire bonder를 이용하여 boning 작업을 수행하였으며, 최종적으로 500mW급 LD용 TO-3 package에 조립되었다.^[10] 조립이 끝난 개략도를 그림 9에 나타내었다.

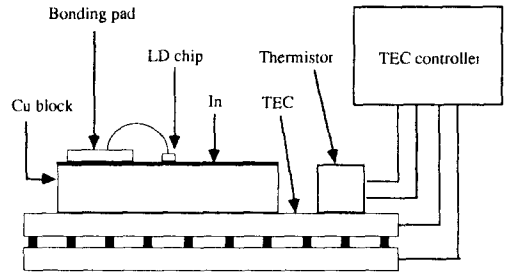


그림 9. 조립이 끝난 LD package의 개략도
 Fig. 9. The schematic diagram of the LD package.

AR/HR 코팅된 InGaAs LD에 대해서 상기한 bonding 및 조립공정을 거친 후 CW 모드동작 테스트를 하였다. 그림 10은 조립이 끝난 InGaAs LD의 펄스모드 LI 측정결과이고 그림 11은 TEC 온도 ~ 20℃에서 CW 모드 LI 측정결과이다. 구동전류 2A에서 1.2W 정도의 광출력을 얻었으며, 펄스 모드와 CW 모드의 광출력에 거의 차이가 없는 것으로 미루어 볼 때, die bonding이 아주 잘 되어 TEC를 통해 열이 원활히 발산되고 있는 것으로 보인다. 또, CW 모드동작을 위해 가장 중요한 소자특성인 직렬저항은, 이 소자의 경우 0.3Ω으로 오옴접촉이 잘 이루어졌음을 볼 수 있다.

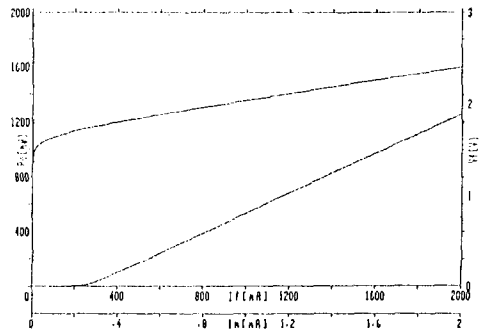


그림 10. TEC에 조립된 InGaAs LD의 펄스모드 LI 특성
 Fig. 10. LI characteristic of the pulse mode of the InGaAs LD fabricated with TEC.

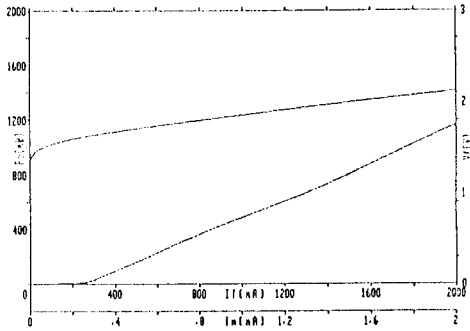


그림 11. TEC에 조립된 InGaAs LD의 CW 모드 LI 특성

Fig. 11. LI characteristic of the pulse mode of the InGaAs LD fabricated with TEC.

III. 결론

MOCVD로 에피성장시킨 활성층 InGaAs의 양자 우물구조 gain-guided broad-area LD를 제작하였다. 고출력을 얻기 위해 채널폭을 150 μ m로 넓게 하였고, 구속도를 높이기 위해 SCH구조를 채택하였다.

IV 측정, 펄스모드 LI 측정, 스펙트럼 측정, 빛의 퍼짐도 측정을 수행하였으며 측정결과의 전형적인 값들은, 펄스구동전류 2A에서 광출력 \sim 0.7W, 문턱전류 최저 \sim 0.2A, 문턱전류밀도 최저 \sim 200A/cm², 외부양자효율 최고 \sim 60%, 내부양자효율 \sim 88%, 내부손실 \sim 18cm⁻¹, 직렬저항 \sim 0.5W, 파장 962 \sim 965nm, 접합면 수평 / 수직방향 빛의 퍼짐도 \sim 7 $^\circ$ / \sim 40 $^\circ$ 정도이다. 공진기 길이와 문턱전류밀도의 관계로부터 투과전류밀도를 구하였고, 이로부터 InGaAs 활성층의 strain 효과를 확인하였다.

또한, 거울면의 AR/HR 코팅을 수행하여 약 1.4 배의 광출력 증대효과를 보았고, die bonding, wire bonding 후 TEC에 조립하여, 구동전류 2A에서 약 1.2W의 CW 동작을 확인하였다.

감사의 글

본 실험의 AR/HR 코팅, bonding 및 CW 동작 테스트에 많은 도움을 주신 삼성종합기술원 LD 프로젝트실의 오윤경 선임, 방동수 주임, 류연수 주임 그리고 김태일 실장님께 깊은 감사를 드립니다.

* 본 연구는 산업과학기술연구소(RIST) 기술개발 과제와 국방과학연구소(ADD) 기초연구과제의 지원을 받았음.

參考文獻

[1] C.A.Wang and S.H.Groves, "New materials for diode laser pumping of solid-state lasers", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.28, No.4, pp.942-951, Apr. 1992.

[2] Kimio Shigihara, Yutaka Nagai, et.al., "High-power operation of broad-area laser diodes with GaAs and AlGaAs single quantum wells for Nd:YAG laser pumping", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.27, No.6, pp.1537-1543, June 1991.

[3] 孫墳承, 桂溶燦, 權五大, "고출력 AlGaAs SCH-SQW 레이저 다이오드 개발", *電子工學會論文誌-A*, 第30卷 A編 第30號, pp.27-32, 1993年 10月

[4] C.A.Wang and H.K.Choi, "Role of GaAs bounding layers in improving OMVPE growth and performance of strained-layer InGaAs/AlGaAs quantum-well diode lasers", *J.Elec.Material*, Vol.20, No.11, pp.929-934, 1991.

[5] J.W. Matthews and A.E.Blakeslee, "Defects in epitaxial multilayers, I : Misfit dislocations", *J.Cryst.growth*, Vol.27, pp118-125, 1974.

[6] E. Yablonovitch and E.O.Kane, "Reduction of lasing threshold current density by the lowering of valence band effective mass", *J.Lightwave Technol.*, Vol.LT-4, pp.504-506, May 1986.

[7] P.A.Kirkby, "Dislocation pinning in GaAs by the deliberate introduction of impurities", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.QE-11, pp562-568, July 1975.

[8] James J.Coleman, et.al., "Threshold current density in strained layer InxGal-xAs-GaAs quantum-well heterostructure lasers", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.28, pp.1983-1989, Oct.

1992.

- [9] 오윤경, 정현돈, 박계오르기, 김태일, "High reflective coating에 의한 InGaAsP 반도체 레이저의 특성변화", 第2回 光子技術學術會議

論文集, pp.113-114, 1993年 10月

- [10] 류연수, 김태일, "조립방법에 따른 고출력 laser diode의 특성", 第2回 光子技術學術會議 論文集, pp.111-112, 1993年 10月

 著者紹介



桂溶燦(正會員)

1992年 2月 포항공과대학교 전자전기공학과(공학사). 1994年 2月 포항공과대학교 전자전기공학과(공학사). 1994年 2月 ~ 현재 삼성 종합 기술원 LD프로젝트실 근무



孫洛辰(正會員)

1993年 2月 부산대학교, 전자공학과(공학사). 1993年 3月 ~ 현재 포항공과대학교, 전자전기공학과 석사과정 재학중



權五大(正會員)

1946年 4月 15日生. 1969年 서울대 전기공학과 졸업. 1975年 Rice Univ. 전자공학 석사. 1978年 Rice Univ. 전자공학 박사. 1978年 ~ 1979年 Cornell Univ. 레이저 분광연구실 Postdoc Fellow. 1980年 ~ 1982年 Cornell Univ. 통계물리/응용물리 연구부 선임 연구원. 1982年 ~ 1986年 Dow Corp. 중앙연구소 자성체 /광전자 연구부 책임 연구원. 1986年 ~ 현재 포항공대 전자전기공학과 교수. 주관심 분야는 양자 및 광전자공학, 광교환 및 광컴퓨팅 등임.