

광대역 이득 레이저 다이오드 설계 및 제작

권오기 · 김강호 · 김현수 · 김종희 · 심은덕 · 오광룡[†]

한국전자통신연구원 반도체 · 원천기술연구소 광통신소자 연구부

Ⓣ 305-350 대전시 유성구 가정동 161번지

(2003년 3월 7일 받음, 2003년 5월 7일 수정본 받음)

광대역 이득 특성을 얻기 위한 InGaAsP-InP 응력보상 비대칭 다중 양자우물(Asymmetric Multiple Quantum Well, AMQW) 구조를 성장하고, Ridge Waveguide Laser Diodes(RWG-LDs)를 제작하였다. 제작 후 소자의 동작변수와 모드 이득을 측정하였으며, 얻어진 결과를 비교, 분석하였다. 외부 공진기형 구조에서 넓고 평탄한 이득특성을 얻기 위해 한쪽 단면에 Anti-Reflection(AR) 코팅을 수행하여 AR coated AMQW RWG LD의 이득특성을 분석하였다.

주제어 : broad gain LD, asymmetric multiple quantum well, AR coating.

I. 서 론

WDM용 시스템에 사용되는 외부공진기형 파장가변 반도체 레이저 다이오드는 동작영역에 대해 좁은 선폭 및 넓은 파장가변 특성이 필수적이며, 파장가변 영역에 대해 모드 호핑 및 광출력 변동이 적은 특성을 가져야 한다.^[1,2] 일반적으로 활성층에 양자우물 구조를 도입하게 되면 양자화 효과에 의해 벌크 구조에서의 $k=0$ 에서 나타나는 정공간의 Degeneracy가 없어지고, band-mixing 효과가 작아져서 적은 주입 전하량으로도 밴드갭 근처에서 높은 이득치를 갖게 된다. 그러나, 균일한 다중 양자우물 구조를 파장 가변용 광원으로 활용할 경우에는 이득 대역폭이 좁은 문제점을 가지고 있다. 양자우물 구조를 사용하여 이득 대역폭을 넓히는 연구는 90년대 후반부터 양자우물 폭과 조성을 불균일하게 하는 비대칭 다중 양자우물(Asymmetric Multiple Quantum Well, 이후 AMQW로 표기함.) 구조를 도입함으로써 효과적으로 해결할 수 있고, 현재에는 100 nm 이상의 넓은 파장가변 폭을 갖는 구조들에 대한 실험 결과들이 보고되어지고 있다.^[3-6] InGaAsP 물질구조의 장파장용 소자의 실험결과로서 X. Zhu 등은 64Å와 32Å 두께의 InGaAsP 양자우물 3쌍을 교대로 성장시켜 2 μm 폭의 Ridge Waveguide Laser Diodes(이후 RWG-LDs로 표기함.)를 제작하였으며, as-cleaved 구조에서 공진기 길이가 250 μm, 주입전류가 90 mA에서 약 118 nm(1317~1435 nm)의 튜닝범위를 얻었다.^[5] C. F. Lin 등은 87Å 두께의 InGaAs 양자우물과 60Å 두께의 InGaAsP 양자우물을 각각 2층과 3층으로 성장시켜 Bent-stripe RWG 구조의 반도체 광 증폭기를 제작하였으며, 주입전류가 200~1200 mA에서 약 240 nm(1300~1540 nm)의 매우 넓은 튜닝범위를 얻었다.^[6] 그러나 위의 두 소자 구조의 결과는 넓은 튜닝범위에 비해 비교적 주입전류가 높고, 파장가변 범위에 대해 광출력 및 발진개시 전류의 변동이 큰 것으

로 분석된다. 따라서, InGaAsP-InP 외부공진기형 파장가변 광원에서 넓고 평탄한 이득 특성과 적당한 발진개시전류를 얻기 위해서는 적절한 발진이득과 대역폭을 갖는 에피층 및 공진기 설계가 필수적이며 다음의 몇가지 사항을 주의할 필요가 있다. 첫째, InGaAsP-InP 물질구조는 전도대 밴드갭이 0.4 이하로 비교적 작기 때문에 전자를 양자우물에 가두기 어려워 발진개시 전류를 증가시키고, 온도 특성을 저하시키는 원인이 되고 있다. 따라서, 손실이 높은 구조, 즉 반사율이 낮거나 공진기 길이가 짧은 구조에서는 발진시 높은 전하밀도로 인해 주입효율의 감소와 내부 광손실(특히 inter-valence band absorption)이 증가하기 때문에 충분한 이득을 얻기 위한 구조로 설계해야 한다. 둘째, 우수한 소자특성을 위해 양자우물내 압축 응력 구조를 도입하게 되면 가전자대의 무거운 정공은 낮은 에너지로, 가벼운 정공은 높은 에너지로 이동하기 때문에 band-mixing 효과가 더욱 감소되어 가전자대 상태밀도의 감소로 격자정합된(lattice matched) 양자우물 구조에 비해 더욱 낮은 발진개시전류와 높은 미분이득을 얻을 수 있다. 그러나, 압축응력 구조는 낮은 가전자대 상태밀도로 인해 최대 이득이 감소되며, 높은 미분이득으로 인해 쉽게 포화되는 특성을 가지기 때문에 주의해야 한다. 셋째, 일반적으로 외부 공진기형 파장가변 광원에서 회절격자의 0차에서 광을 출사 시키는 구조에서는 회절격자에 가까운 측의 레이저 다이오드 면에는 AR 코팅, 반대 면에는 HR 코팅을 수행하고, 레이저 다이오드의 단면에서 광을 출사 시키는 구조에서는 회절격자에 가까운 측의 레이저 다이오드 면에는 AR 코팅, 다른 측면(광 출사면)에는 As-cleaved 구조를 갖게 된다. 따라서 광 출사면의 선정으로 인한 거울손실의 변화로 광대역 이득특성을 얻기 위한 구조가 변경되므로 주의해야 된다. 한편, 회절격자의 회절특성에 의한 AR 코팅면에서의 유효 반사율은 코팅된 면의 반사율, 회절격자의 회절 효율, 입사각, blaze angle 등에 좌우^[7]되므로, 거울손실을 포함한 총 손실에서 광대역 이득특성을 얻기 위한 최적의 공진기 길이의 선정은 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

[†]E-mail: kroh@etri.re.kr

본 연구에서는 코팅되지 않은 공진기 구조에서 약 50 nm의 광대역 이득 대역폭을 얻기 위한 1.55 μm InGaAsP-InP Strain Compensated AMQW 구조를 성장하였고, 성장된 에피층을 바탕으로 RWG-LD를 제작하여, 낮은 발진개시 전류와 광대역 이득특성을 실험적으로 확인하였다. 또한, AMQW 구조에서 주입전류 증가에 따라 양자우물 폭이 넓은 쪽에서 좁은 쪽으로 이득피크가 천이함을 실험적으로 검증하기 위해 단면에 TiO_2 와 SiO_2 의 2층막을 형성해서 AR 코팅을 한 뒤 주입전류에 따른 이득 스펙트럼을 측정하였다. 본 논문의 II절에서는 에피층 설계 및 LD 제작에 대해 설명하고, III절에서는 제작된 소자에 대한 as-cleaved 구조와 AR 코팅된 구조의 모드 이득 측정결과에 대해 분석하도록 하겠다.

II. AMQW 에피층 설계 및 RWG-LD 제작

그림 1에서는 설계된 InGaAsP-InP 비대칭 다중 양자우물 구조를 나타내고 있다. 모드 이득 해석을 통해 주입 전하밀도가 약 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 에서 100Å의 양자우물은 약 1575 nm, 80Å의 양자우물은 1550 nm, 60Å의 양자우물은 1525 nm에서 이득 피크치를 갖도록 구조를 설계하였고^[12], 양자우물 조성은 0.5% 압축응력의 $\text{In}_{0.666}\text{Ga}_{0.334}\text{As}_{0.871}\text{P}_{0.129}$ 6층(100Å:3층, 80Å:1층, 60Å:2층), 전위장벽의 조성은 0.4% 인장 응력의 $\text{In}_{0.733}\text{Ga}_{0.267}\text{As}_{0.457}\text{P}_{0.543}$ 5층(100Å:4층, 50Å:1층), SCH 영역의 조성은 격자 정합된 $\text{In}_{0.893}\text{Ga}_{0.107}\text{As}_{0.235}\text{P}_{0.765}$ (1400Å)이다. 응력효과가 고려된 밴드갭 해석을 통해 전도대 밴드갭 에너지는 138 meV, 가전자대의 밴드갭 에너지는 180 meV(무거운 정공), 120 meV(가벼운 정공)을 얻었다. 한편, 양자우물의 배치에 따라 활성층내 전하분포의 불균일한 특성으로 LD의 광대역 이득특성에 영향을 미침이 보고되었다.^[8,9] 따라서 본 구조에서는 이를 고려하여 두꺼운 양자우물은 p-doping 편에, 얇은 양자우물은 n-doping편에 위치시켰으며, 본 구조의 밴드갭 에너지는 참고문헌[8]에서 나타난 밴드갭에 비해 상대적으로 낮기 때문에 활성층내 균일한 전하밀도 분포일 것으로 예상된다.

그림 2는 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)로 성장된 웨이퍼의 PL(Photo Luminescence) 스펙트럼 특성

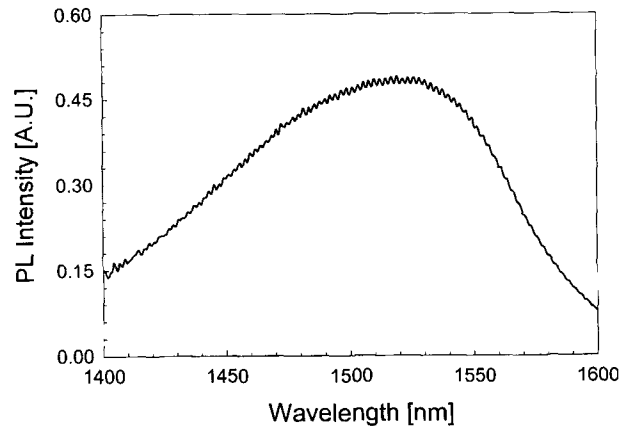


그림 2. PL 특성.

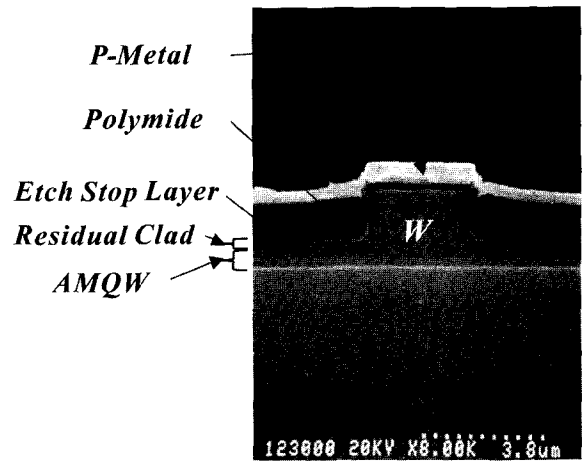


그림 3. RWG-LD의 단면 SEM 사진.

을 나타내고 있고, 약 1470~1560 nm에 걸쳐 넓고 평탄한 스펙트럼 특성이 나타난다.

그림 3은 제작된 RWG-LD의 단면 SEM 사진이다. Ridge 폭(W)과 높이는 각각 3 μm , 1.8 μm 이고, 전류 Pad 부분과 p-open 부분의 원활한 Metal Contact을 위해서 Polyimide 단차 부분을 채웠고, 정확한 Ridge 높이와 Residual 클래드층 두께를 형성하기 위해 Residual 클래드층 위에 Etch stop 층(1.05 μm InGaAsP, p-type doping : $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)을 성장시켜서 전식 및 습식 식각으로 Ridge Shape을 형성하였다.^[10]

III. 소자 측정

그림 4는 RWG-LD의 공진기 길이가 (a) 1220 μm 와 (b) 500 μm 에서의 P-I 및 dP/dI 특성곡선을 각각 나타내고 있다. 공진기 길이가 1220 μm 인 경우에는 평균 60 mA와 0.147 mW/mA의 발진개시전류와 Slope Efficiency를 얻었고, 500 μm 인 경우에는 각각 39 mA와 0.24 mW/mA를 얻었다.

그림 5는 공진기 길이에 따른 역 미분 양자효율과 발진개시 전류를 각각 측정된 결과이며, 역 미분 양자효율과 공진기 길이와의 관계는 $1/\eta_a = 12.9 \times 10^{-4} L[\mu\text{m}] + 1.1188$ 로 얻어졌고, 관계식 (1)을 통해 0.894의 내부양자효율과 13 cm^{-1} 의 내부손

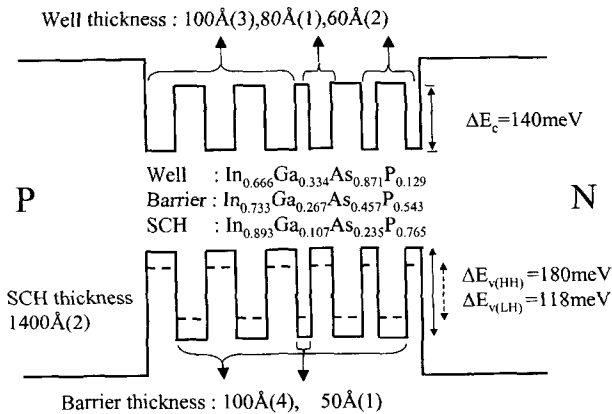


그림 1. 설계된 AMQW 구조.

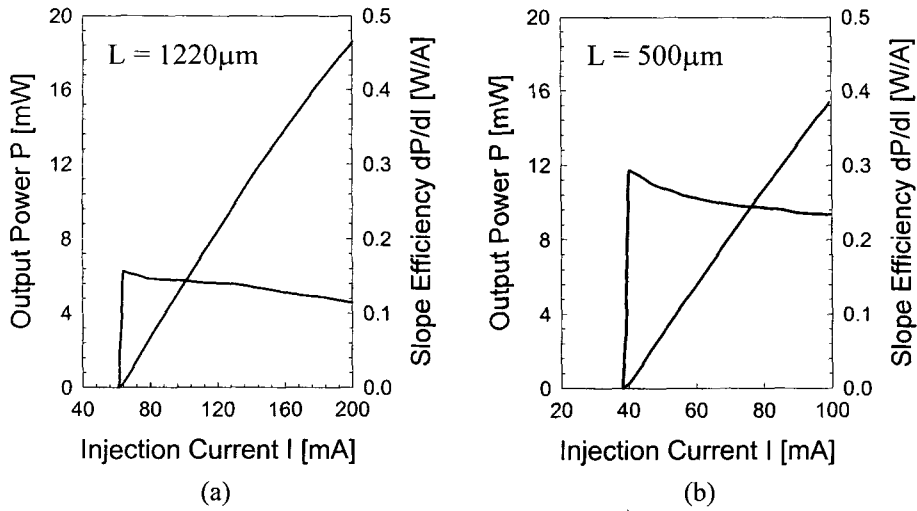


그림 4. 공진기 길이(L)가 (a) 1200 μm와 (b) 500 μm에서의 P-I 및 dP/dI-I 특성.

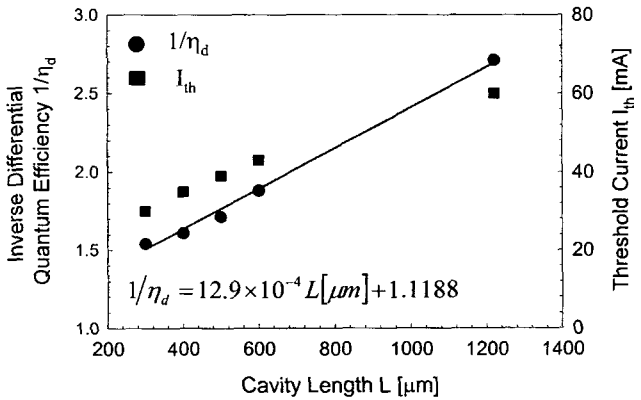


그림 5. 공진기 길이에 따른 역 미분양자효율 $1/\eta_d$ (circle)과 발진개시전류 I_{th} (square) 특성.

실험을 얻을 수 있었다.

$$\frac{1}{\eta_d} = \frac{\alpha_i}{\eta_i \ln(1/R)} L + \frac{1}{\eta_i} \quad (1)$$

여기서, η_d 는 미분 양자효율, η_i 는 내부 양자효율이며, α_i 는 내부손실, L은 공진기 길이, R은 반사율이다.

그림 6은 As-cleaved 단면의 공진기 길이가 400 μm이고, 주입전류가 25 mA와 33 mA에서의 ASE(Amplified Spontaneous Emission) 스펙트럼을 각각 나타낸다. 측정시 스펙트럼 분석기의 resolution 밴드폭은 0.06 nm, Sensitivity는 -78 dBm으로 설정하였고, 주입전류가 낮을 때에는 ASE의 분포모양이 가우시안 형태에서 문턱전류($I_{th} = 36$ mA) 근처에서는 로렌치안 형태로 바뀔 수 있다.

순 모드이득(Net Modal Gain)은 그림 6에서 측정한 ASE로부터 식 (2)과 같이 도출 될 수 있다.^[11]

$$G = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{\sqrt{\rho} - 1}{\sqrt{\rho} + 1} \right) \quad (2)$$

여기서 ρ 는 ASE 광세기의 peak와 valley간 비를 나타낸다.

그림 7은 공진기 길이가 (a) 1220 μm와 (b) 400 μm LD에

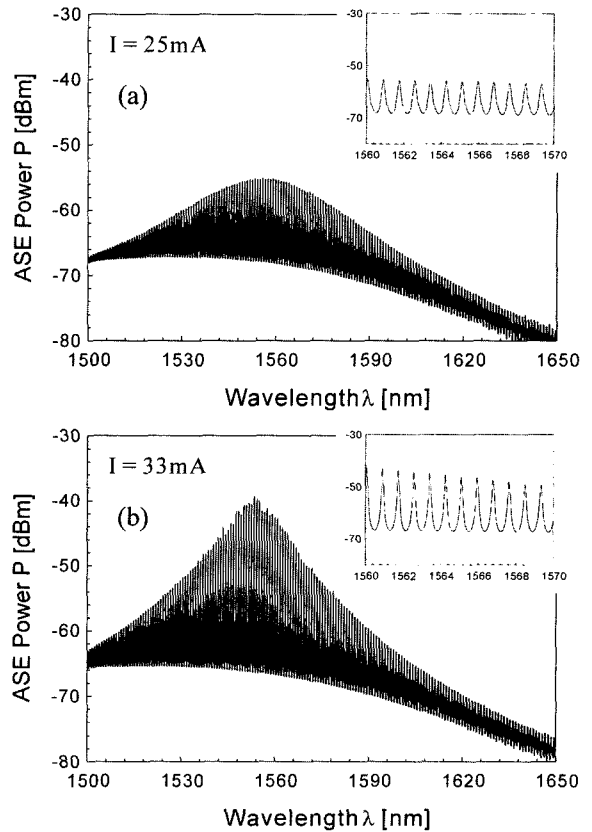


그림 6. 공진기 길이가 400 μm이고, 주입전류가 (a) 25 mA 일때와 (b) 33 mA 일때의 ASE 스펙트럼 특성.

서 순 모드 이득 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 7(a)와 7(b) 모두 주입전류와 상관없이 장파장영역에서는 임의의 값으로 각각 수렴되고 있고, 그림 5에서 얻어진 내부손실이 13 cm^{-1} 이고, as-cleaved인 경우(이 경우 1220 μm와 400 μm LD에서의 거울손실은 각각 약 9 cm^{-1} 와 28 cm^{-1} 임.) 1220 μm와 400 μm LD의 총 손실은 각각 21 cm^{-1} 와 41 cm^{-1} 이므로 이득 스펙트럼의 측정결과는 비교적 정확함을 알 수 있다. 공진기 길이가

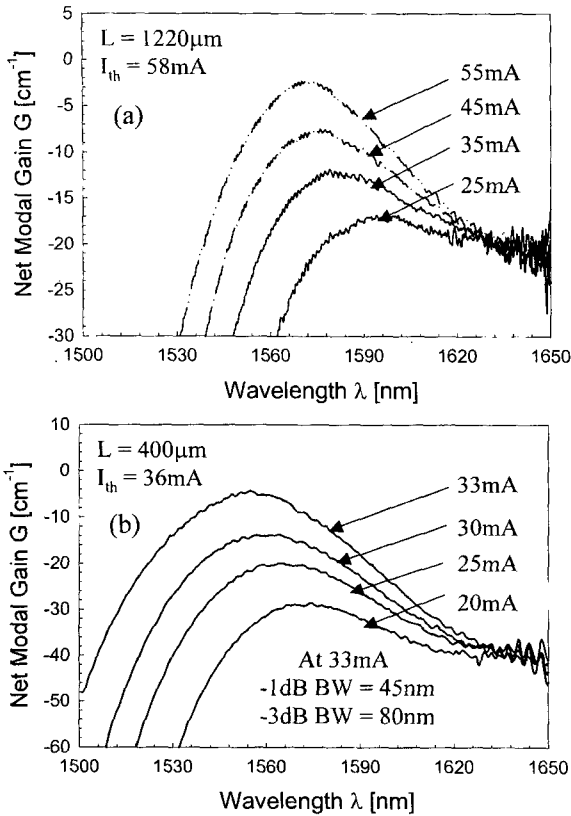


그림 7. 공진기 길이가 (a) 1220 μm와 (b) 400 μm에서의 주입전류에 따른 순 모드 이득 스펙트럼.

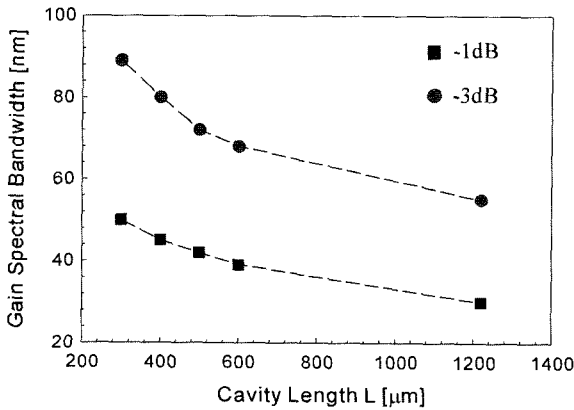


그림 8. 공진기 길이에 따른 -1 dB 이득폭(square)과 -3 dB 이득폭(circle).

짧을수록 발전개시 전류는 감소하나 전류밀도는 증가하기 때문에 400 μm LD에서의 이득 피크치와 대역폭은 1220 μm LD에 비해 증가하게 되고, Band-filling 효과로 인해 이득피크 파장은 단파장에 있음을 알 수 있다. 그림 7(b)에서 주입전류가 33 mA일때 -1dB 이득폭은 45 nm(1535 nm~1580 nm), -3dB 이득폭은 80 nm(1520 nm~1600 nm)을 얻을 수 있었다.

그림 8은 공진기 길이에 따른 -1 dB 이득폭과 -3 dB 이득폭을 각각 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 공진기 길이가 짧을수록 높은 거울손실에 대해 발전시 주입전하밀도 증가로 이득폭이 증가함을 알 수 있고, 길이가 300 μm인 소자

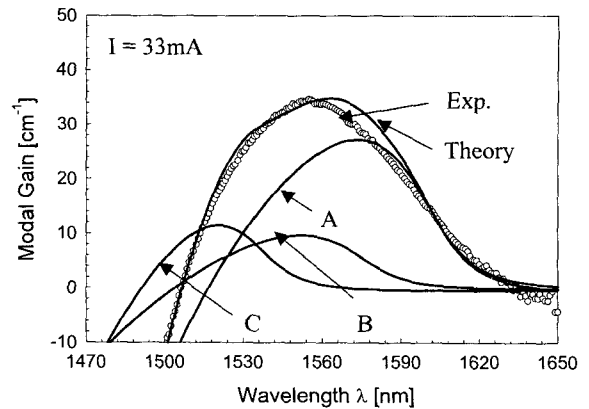


그림 9. 공진기 길이가 400 μm에서 주입전류가 33 mA에서 모드이득의 실험치(circle)와 이론치(solid line) 여기서 A, B, C는 각각 100Å, 80Å, 60Å 양자우물의 이론치 모드이득 스펙트럼.

에서 약 50 nm의 -1 dB 이득과 90 nm의 -3 dB 이득폭을 얻을 수 있다.

그림 9는 그림 7(b)의 주입전류가 33 mA에서의 순 모드 이득에 총 손실(41 cm⁻¹)을 더한 모드 이득(Modal Gain)에 대해 이론적 해석[12]을 통해 얻은 모드 이득의 이론치를 각각 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 100Å 양자우물의 모드 이득(A)이 지배적이고, 단파장영역에서는 80Å 양자우물의 모드 이득(B)과 60Å 양자우물의 모드 이득(C)이 이득폭을 넓게 해주는데 공헌함을 알 수 있다.

AMQW에 주입전류를 증가시키면 초기에는 두꺼운 양자우물이 투명전하밀도가 적 때문에 두꺼운 양자우물에서 이득 특성이 지배적이지만, 전류가 증가할수록 얇은 양자우물도 투명전하밀도에 도달하게 되고, 두꺼운 양자우물에서의 단파장편 이득특성이 얇은 양자우물의 이득특성을 높여주며, 동시에 폭이 좁은 양자우물의 미분이득이 크기 때문에 충분히 높은 주입전류에서는 이득 피크치의 천이가 발생한다. 본 연구에서는 이득피크치의 천이를 실험적으로 확인하고, 넓고 평탄한 이득 특성을 확인코자 공진기 한면에 AR 코팅을 수행하였다. 넓은 파장범위의 AR 코팅효과를 위해 TiO₂와 SiO₂ 2층막으로 증착하였고, E-beam 챔버내 TiO₂ 증착시 공기압은 1×10⁻⁴ torr, SiO₂은 9×10⁻⁵ torr로 설정하였다.

그림 10은 공진기 길이가 1220 μm이고, 주입전류가 55 mA 일때 코팅 전(A)과 후(B)의 순 모드 이득 스펙트럼을 나타내고 있다. 파장이 1574 nm에서 모드 이득 피크치를 나타내며, 이득 피크치에서 코팅전후의 이득차는 약 20.7 cm⁻¹로 였고, 장파장 영역(약 1635 nm)에서의 이득차는 약 18 cm⁻¹로 나타났다. 반사율은 관계식 (3)에 따라 이득 피크치에서는 약 0.22%, 장파장 영역에서는 약 0.4%로 얻을 수 있었다.

$$R_{Coating}(\lambda) = R_{Cleave} \exp(-2\Delta\alpha_m(\lambda)L) \quad (3)$$

여기서, $\Delta\alpha_m(\lambda)$ 은 코팅 전후의 이득차, λ 은 파장, $R_{Coating}$ 은 코팅 후 반사율, R_{Cleave} 는 코팅 전 반사율이다.

그림 11은 한쪽면에 AR 코팅된 (a) 1220 μm LD와 (b) 500 μm LD에 대한 주입전류에 따른 순 모드 이득 스펙트럼을 나타내

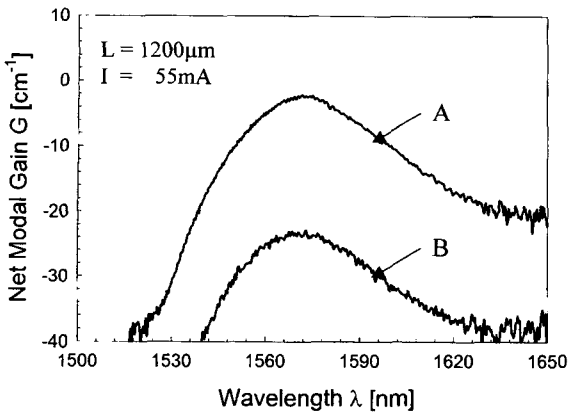


그림 10. 공진기 길이가 1200 μm이고, 주입전류가 55 mA일때 (A) 코팅전과 (B) 코팅후의 이득 스펙트럼 비교.

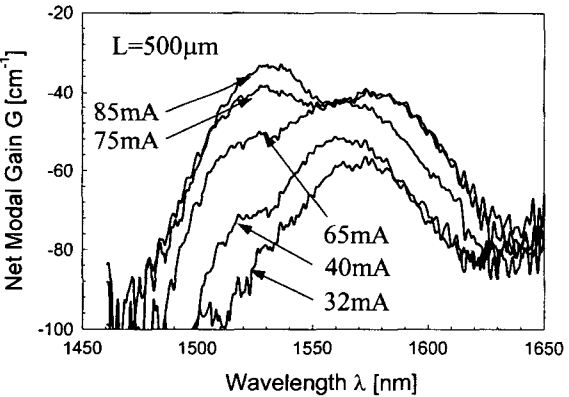
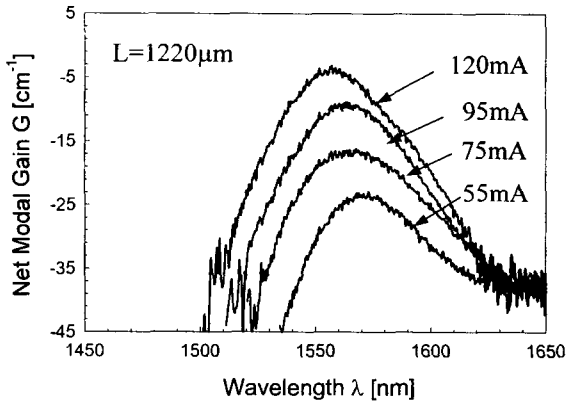


그림 11. AR 코팅후 공진기 길이가 (a) 1200 μm, (b) 500 μm에서 주입전류에 따른 모드 이득 스펙트럼.

고 있다. 그림 7의 스펙트럼 특성과 동일하게 장파장 영역에서는 임의의 값으로 각각 수렴되고 있다. 장파장 영역에서의 반사율이 0.4% 이므로, 1220 μm LD의 거울손실은 약 27 cm⁻¹, 500 μm LD는 약 66 cm⁻¹이고, 전체손실은 각각 40 cm⁻¹와 79 cm⁻¹로 얻을 수 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 실험치의 측정결과와 비교적 일치함을 확인 할 수 있다. 그림 11(a)에서는 코팅전의 스펙트럼 특성인 그림 7(a)와 비교하여 거울손실이 높아 졌기 때문에 발진 이득도 증가함을 볼 수 있다. 그러나 주입 전류 증가에 대해 얇은 양자우물로의 이득피크 파장의 천이를 확인할 수 없었다. 이러한 원인은 실제 양자우물내

주입전하 밀도는 크지 않기 때문이다. 그림 11(b)에서는 주입 전류가 40 mA에서부터 60 Å 양자우물에서의 이득특성(1525 nm에서 이득 피크치를 가짐.)이 확인되며, 주입전류가 75 mA에서 가장 평평한 이득특성을 나타냄을 확인 할 수 있고, 이때 -1 dB 이득대역폭은 90 nm(1508 nm~1598 nm), -3 dB 대역폭은 110 nm(1500 nm~1610 nm)를 얻을 수 있었다. 한편, 65 mA 이상에서의 이득 스펙트럼은 장파장으로 이동하게 된다. 이는 활성층 근처의 온도상승으로 인해 Fermi-Dirac distribution function이 넓어지고, 동시에 Quasi-Fermi Level이 낮아져서 장파장으로 이동하면서 넓어진 것으로 판단된다. 또한 높은 주입전류에서는 낮은 주입전류에 비해 미분이득이 매우 낮아지게 되며 100 Å 양자우물의 이득 피크치는 포화되는 경향이 나타난다. 이는 온도상승으로 인한 이득의 감소와 함께 내부 광손실이 증가^[13]된 것으로 판단되며, 양자우물내 이득 포화현상이 다소 심한 압축 양자우물을 도입하였기 때문에 높은 주입전하밀도에서 이득포화 특성이 격자정합 구조에 비해 빨리 발생할 수 있을 것임을 생각 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 넓고 평탄한 이득특성을 얻기 위한 InGaAsP-InP AMQW RWG-LD를 설계 및 제작하였다. 제작후 내부 변수 및 이득 측정을 통해 300 μm LD에서 -1 dB 이득폭은 50 nm, -3 dB 이득폭은 90 nm를 얻을 수 있었고, AR 코팅후 500 μm LD에서 이득 피크치의 천이를 확인하였고, 75 mA에서 -1 dB 이득폭은 90 nm, -3 dB 이득폭은 110 nm인 매우 평탄한 이득 특성을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] K. C. Harvey and C. J. Myatt, "External-cavity diode laser using a grazing-incidence diffraction grating," *Opt. Lett.*, vol. 16, no. 12, pp. 910-912, 1991.
- [2] W. R. Trutna and L. F. Stokes, "Continuously tuned external cavity semiconductor laser," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. 11, no. 8, pp. 1279-1286, 1993.
- [3] H. S. Gingrich, D. R. Chumney, S. Z. Sun, S. D. Hersee, L. F. Lester, and S. R. Brueck, "Broadly tunable external cavity laser diodes with staggered thickness multiple quantum wells," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, vol. 9, no. 2, pp. 155-157, 1997.
- [4] T. F. Krauss, G. Homodromitros, B. Voegle, and R. M. De La Rue, "Broad spectral bandwidth semiconductor lasers," *Electron Lett.*, vol. 33, no. 13, pp. 1142-1143, 1997.
- [5] X. Zhu, D. T. Cassidy, M. J. Hamp, D. A. Thompson, B. J. Robinson, Q. C. Zhao, and M. Davies, "1.4-mm InGaAsP-InP Strained multiple-quantum-well laser for broad-wavelength tunability," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, vol. 9, no. 9, pp. 1202-1204, 1997.
- [6] C. F. Lin, Y. S. Su, and B. R. Wu, "External-cavity semiconductor laser tunable from 1.3 to 1.54 μm for optical communication," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, vol. 14, no. 1, pp. 3-5, 2002.

- [7] V. K. Kononenko, I. S. Manak, S. V. Nalivko, "Design and characteristics of widely tunable quantum-well laser diodes," *Spectrochimica Acta A*, vol. 55, pp. 2091-2099, 1991.
- [8] M. J. Hamp, D. T. Cassidy, B. J. Robinson, Q. C. Zhao, D. A. Thompson, and M. Davies, "Effect of barrier height on the uneven carrier distribution in asymmetric multiple-quantum-well InGaAsP Lasers," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, vol. 10, no. 10, pp. 1380-1382, 1998.
- [9] M. K. Hamp and D. T. Cassidy, "Experimental and theoretical analysis of the carrier distribution in asymmetric multiple quantum-well InGaAsP lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 37, no. 1, pp. 92-99, 2001.
- [10] K. Y. Liou, W. T. Tsang, F. S. Choa, E. C. Burrows, G. Raybon, and C. A. Burrus, "Low-threshold and high-temperature operation of 1.55 μm self-aligned ridge-waveguide multiple-quantum-well lasers grown by chemical-beam epitaxy," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 59, no. 26, pp. 3381-3383, 1991.
- [11] G. Hunziker, W. Knop, and C. Harder, "Gain measurement on one, two, and three strained GaInP quantum well laser diodes," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 30, no. 10, pp. 2235-2238, 1994.
- [12] 권오기, 김강호, 김현수, 김종희, 오광룡, "비대칭 다중 양자 우물 레이저 다이오드에서 모드이득의 이론 및 실험적 분석," *한국광학회지*, vol. 14, no. 3, 2003(계재 예정).
- [13] K. Prosyk, J. G. Simmons, and J. D. Evans, "Well number, length, and temperature dependence of efficiency and loss in InGaAsP-InP compressively strained MQW ridge waveguide lasers at 1.3 μm ," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 33, no. 8, pp. 1360-1368, 1997.

Design and Fabrication of Broad Gain Laser Diodes

Oh-Kee Kwon, Kang-ho Kim, Hyun-Su Kim, Jong-Hoi Kim, Eun-Deok Sim, and Kwang-Ryong Oh[†]

Optical Communication Devices Department, ETRI
 161 Gajeong-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-350, KOREA

[†]E-mail: kroh@etri.re.kr

(Received March 7, 2003, Revised manuscript May 7, 2003)

Asymmetric multiple quantum well ridge waveguide laser diodes (AMQW RWG LDs) with a wide and flat gain spectrum were designed and fabricated. The operating parameters and gain spectra were measured and analyzed for uncoated and anti-reflection (AR) coated LDs. For AR coated 500 μm -long RWG LDs, the extremely flat gain spectrum over a spectral range of 90 nm was obtained at the current 75 mA.

OCIS Code : 140.2020, 140.3430.