

현대전자 광소자 개발 현황

신 영 근

현대전자 산업(주) 시스템IC연구소 광소자개발실

1. 서 론

현대전자 광소자개발실에서 현재 개발중인 소자는 그 응용에 따라서 크게 둘로 나눌 수가 있는데 첫번째는 광통신용 소자이고 두번째는 정보처리용 소자이다.

광통신용 소자는 주로 SONET/SDH에 응용이 되는 155Mbps, 622Mbps, 그리고 2.5Gbps급 송신 및 수신 모듈에 사용되는 1.3 μ m 및 1.55 μ m 파장 대역의 페브리 페롯 및 분포 격환형 타입의 레이저 다이오드와 PIN 및 APD 타입의 포토다이오드가 있다. 아울러 10Gbps급 송수신 모듈을 위해서 단일소자와 집적소자를 모두 개발중인데 단일소자로서는 DFB LD와 PIN PD를 들 수 있고 집적소자로서는 DFB LD와 MODULATOR를 집적시킨 EML device, PIN PD와 InP계 HBT를 집적시킨 OEIC 수신기를 들 수 있다. WDM은 최근에 들어서 많은 연구가 이루어지고 있는 분야인데 현대전자에서는 우선 WDM용 광원으로서 단일 DFB LD이외에 DFB LASER ARRAY를 개발중에 있다.

정보처리용 소자로서는 LASER POINTER 및 DVD용 OPTICAL PICK-UP을 위한 635 nm/670 nm 파장대의 RED LIGHT-EMITTING LD가 통상산업부 과제로 개발중에 있고 차세대 DVD OPTICAL PICK-UP 용 GaN계 재료를 이용한 청

색 레이저도 아울러 개발중에 있다.

<표1>은 현재 광소자개발실에서 개발중인 광통신용 CHIP 및 MODULE의 목록을 보인다. 본 논문은 6개의 장으로 이루어져 있는데 제 2장과 제 3장은 각각 단일소자 SOURCE 와 단일소자 DETECTOR에 관한 내용이며 제 4 장에서는 집적소자들이 소개된다. 155Mbps급 및 2.5Gbps급 송수신 모듈은 제 5장에서 소개되며 제 6 장에서는 가시광 레이저가 언급이 되며 마지막으로 제 7 장에서는 결론을 맺는다.

2. DISCRETE DEVICE-SOURCE

2.1 1.3 μ m PBH FP LD

1.3 μ m LD는 fiber in the loop(FITL), fiber to the home (FTTH), computer interconnector 등 광통신 시스템에 폭넓게 응용되는 필수적인 소자이다. 이러한 소자를 제작함에 있어 낮은 임계전류, 안정된 단일횡모드 동작, 높은 신뢰성 등의 이유로 BH 레이저를 선호하고 있으며, 레이저 다이오드의 전반적인 특성 향상을 위하여 strained MQW을 채택하고 있다. 근래에는 제조경비를 줄이기 위하여 높은 T_0 , 높은 광결합 효율을 확보하는데 많은 연구가 진행되고 있으며, 장수명 신뢰성의 확

표 1. 현대전자에서 현재 개발중인 CHIP 및 MODULE (1997년 1월 현재)

구 분	DEVICE TYPE	응 용
DISCRETE DEVICE	1.3 μ m PBH FP LD 1.3 μ m RW FP LD 1.3 μ m PBH DFB LD 1.55 μ m PBH DFB LD	155Mbps, 622Mbps 155Mbps, OTDR 622Mbps, CATV 2.5Gbps, 10Gbps
	PIN PD MONITOR PD APD	155Mbps, 622Mbps, 10Gbps LD MONITOR 2.5Gbps
INTEGRATED DEVICE	DFB ARRAY EML DEVICE RECEIVER	WDM 10Gbps 10Gbps
MODULES	155Mbps Tx/Rx MODULES 2.5Gbps LD/PD MODULES	

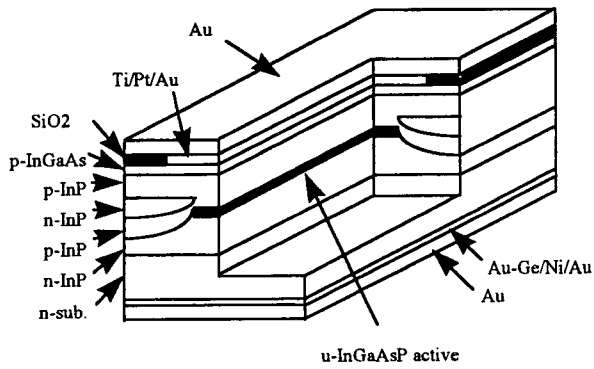


그림 1. Schematic diagram of 1.3 μm PBH FP LD.

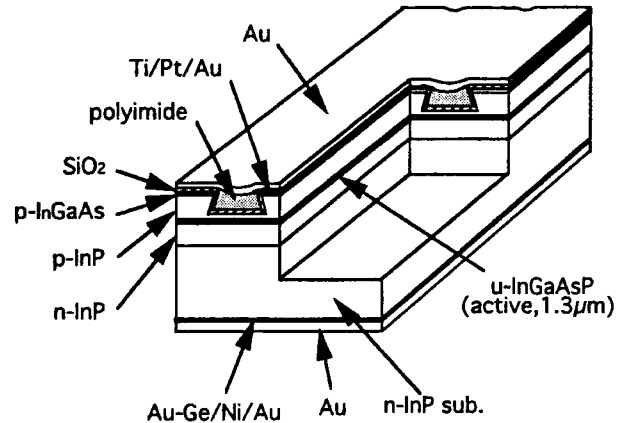


그림 3. Schematic diagram of a RM-RW laser.

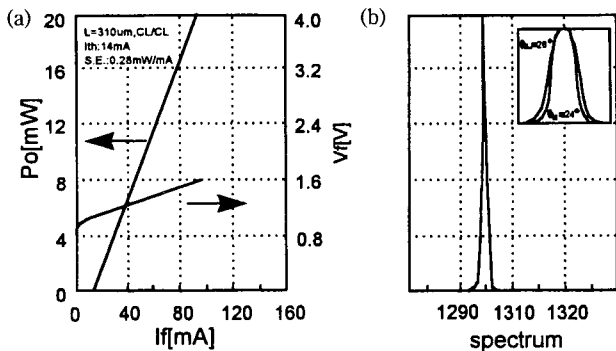


그림 2. I-L/I-V (a), FFP & Spectrum(b).

보여도 많은 노력을 기울이고 있다. 현재 우리실에서는 1.3μm PBH FP LD 개발을 완료해서 신뢰성 확보에 주력하고 있다.

PBH LD를 제작하기 위해서는 메사에치와 재성장기가 필수적이다. 적절한 메사모양을 만들기 위하여 크게 두가지의 방법이 사용되는데 Br계 습식에칭과 CH₄/H₂를 이용한 건식에칭이 그것이다. 우리실에서는 전자를 채택하고 있다. 에칭 마스크로는 SiO₂를 사용하고 활성층폭은 1.5~2μm 부근으로 조절한다. LP-MOVPE 로 p, n current blocking layer를 순차적으로 성장하고 SiO₂ 제거후 p-InP overcladding layer와 p-InGaAs ohmic contact layer를 성장한다. 특히 재성장시에 고온분위기에서 발생할 수 있는 활성층과 전류차단층간 경계면부분의 결함을 억제하기 위하여 적절한 표면처리와 필수적이며 재성장기 용이할 수 있도록 적절한 메사모양의 구현이 중요하다. p,n electrode로는 Ti/Pt/Au, AuGe/Ni/Au를 각각 사용한다.

위와 같이 제작된 PBH LD의 개략도 소자의 특성을 각각 그림 1 과 그림 2 에 나타내었다. 공진기길이는 310μm, as-cleaved 상태에서 발진파장은 1.3μm이며, I_{th}는 14mA, S.E.(Slope Efficiency)는 0.28mW/mA, FFP는 24°×28°, T₀는 50-60K 이었으며 85 °C까지 모드안정성이 유지되었다. 발진파장의 온도에 대한 변화는 2.8Å/°C 이었다. Aging test 결과로 유추한 상온에서의 수명은 20년 이상이었다.

2.2 1.3μm RW FP LD

InP계 RW-LD(ridge-waveguide laser diode)는 제작공정이 비교적 간단하기 때문에 저비용 및 높은 공정수율, 넓은 범위의 온도특성, 낮은 기생특성과 고신뢰성을 갖는다. 따라서 본 내용에서는 광통신 가입자망에 적용 가능한 155Mbps급 고출력 단일모드 1.3μm RM(reverse mesa) RW-LD의 특성과 광결합 효율에 대해서 논의하였다. RM구조는 보통의 VM(vertical mesa)구조보다 문턱전류(I_{th}), 직렬저항과 도파관 손실을 감소시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.

RM-RW-LD는 1단계 LP-MOCVD를 이용하여 n-InP 기판위에 n-InP buffer층, u-InGaAsP(λ=1.31μm) 활성층, p-InP clad층, p-InGaAsP(λ=1.1μm) etch stop층, p-InP clad층, p-InGaAs contact층을 각각 순차적으로 성장시켰다. 제작과정은 4.0μm 폭의 SiO₂ stripe을 형성하여 p-InGaAs contact층과 p-InP clad층을 선택적으로 식각하면 활성층 폭이 2.0μm로 되며 대략 70°의 각도를 갖는다. 이 구조에서 PECVD로 SiO₂를 passivation한 후 선택적으로 양옆에 polyimide로 매립하여 평탄화 및 film stress를 효과적으로 감소시킬 수 있고, ridge 윗부분의 SiO₂를 RIE로 제거시킨 후 전극을 형성시켰다. 그림 3 은 이와같이 제작된 RM-RW-LD의 개략도이다.

제작된 RM-RW-LD를 CW에서 측정된 I-L, FFP, spectrum을 그림 4 에 나타내었다. 여기서 chip의 공진기 길이는 300μm이고 AR/HR(10%/85%) coating을 하여 bonding한 후 상온에서 측정된 결과이다. I_{th}는 24~26mA S.E.는 0.41mW/mA, 파장은 1311.3nm, 최대전력(P_{max})은 전류가 300mA에서 80mW 이었고, 5mW 전력에서 FFP는 θ_{||}=25°, θ_⊥=37°로 각각 나타났다. 그리고 전류를 630mA까지 가해서 수십회 이상 반복 측정한 결과, 소자의 열화현상은 관찰할 수 없었다. 온도 특성(T₀)은 20~60 °C에서 73.1K와 60~90 °C에서 52.2K이

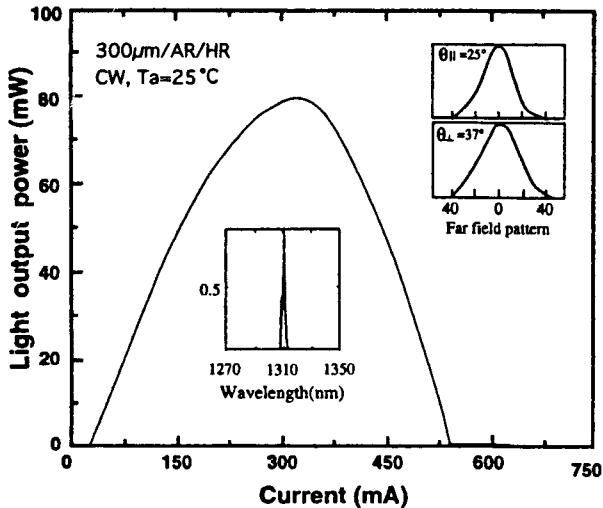


그림 4. L-I, emission spectra, and far field patterns from an AR/HR coated laser.

었다. 그리고 장수명 열화 시험 결과로서 소자에 대한 신뢰성은 우수한 특성을 갖고 있다. 또한 RM-RW-LD와 aspherical lens를 사용하여 제작한 fiber pigtail로 부터 측정된 I-L 및 I-V 특성 결과에 의하면 S.E.는 0.22mW/mA 로서 약 50% 정도의 높은 광결합 효율을 얻을 수 있었다.

2.3 1.3 μ m PBH-DFB LD

SONET/SDH 용 622Mbps 급 송신모듈 및 광 CATV에 적용을 위해 단일 발진 파장을 갖는 1.3 μ m DFB 레이저 다이오드 개발에 많은 노력이 기울여지고 있다.

비교적 낮은 가격에 공급이 되어야 하므로 cooler를 사용하지 않는 간단한 패키징을 사용하며, 이를 위해 구동전력을 작게 함으로써 동작중에 발생하는 열 및 이로 인한 다른 동작특성의 변화 등에 의한 성능저하를 최소화 줄일 수 있어야 한다. 낮은 임계전류(threshold current)와 높은 경사효율(Slope Efficiency), 그리고 높은 양자효율(Quantum Efficiency)은 FP (Fabry-Perot) 구조의 레이저 다이오드에서와 같이 필수적으로 요구된다.

임계전류, 경사효율 등의 특성은 FP 구조와 유사하나 DFB 구조의 레이저 다이오드는 FP 구조에 비해 제조공정이 복잡하고, 광스펙트럼 상에서 단일 파장으로 발진해야 하며, 동시에 발진하는 부모드(side mode)들과의 광크기가 최소한 30dB 이상의 차이를 나타내야 한다.

DFB 레이저 다이오드의 제작과정에서 중요한 공정은 회절격자의 제작과 활성층의 성장, 메사에치, 그리고 전류차단층 재성장 등이다.

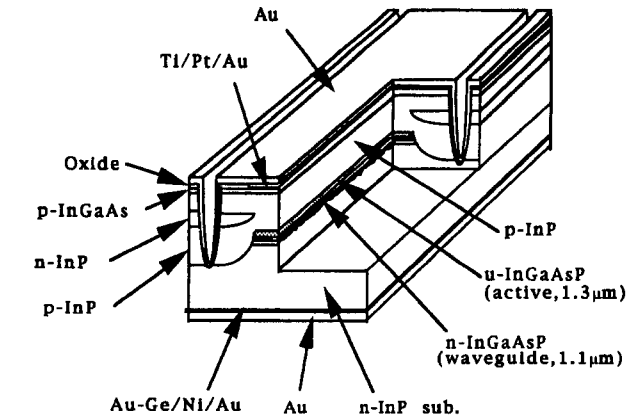


그림 5. Schematic diagram of a 1.3 μ m DFB LD.

DFB 구조에서는 단일 발진파장을 얻기 위해 광 회절격자 (grating)를 소자내에 삽입하여 회절격자 간격에 의해 결정되는 파장만 발진 할 수 있도록 한다. 회절격자를 제작하는 방법은 크게 나뉘 전자빔 리소그래피(e-beam lithography)방법과 홀로그래피(holography) 간섭을 이용하여 광 회절격자를 제작하는 방법이 있다. 현대전자에서는 후자의 방법으로 회절격자를 제작하고 있다.

회절격자를 제작할 때, 회절격자의 높이와 주기를 적절히 조절하는 기술이 매우 중요하며 격자의 높이와 주기에 따라 소자 특성이 변하게 된다. 회절격자의 높이는 κ 값이 40~60cm⁻¹의 값을 가지도록 조절하였다. 회절격자 위에 MOCVD를 이용하여 DH(double heterostructure)구조를 성장하는데 회절격자의 변형을 방지하면서 적당한 높이를 유지하는 기술이 요구된다. Br계의 식각용액을 사용하여 활성층의 폭이 1.5~2 μ m가 되도록 메사 식각을 하고 전류차단층을 성장한다. 이 때, 계면의 결함을 최소화 하는 성장조건이 필요하다.

DFB 레이저 다이오드의 수율은 FP 레이저 다이오드에 비해 현저하게 낮는데 이는 복잡한 제조공정이 큰 원인이며, 또한 절단된 두 거울면에서의 회절격자의 상대적인 위상차이가 단일 파장 모드 및 중심 파장 위치를 결정하는데 민감하게 작용하기 때문이다. 제작된 DFB 레이저 다이오드(그림 5)는 양쪽의 두 거울면으로 비슷한 양의 광출력을 내게 되나 한 쪽 거울면으로 대부분의 광출력을 내게하고 다른 거울면으로는 필요한 광출력만을 낼 수 있도록 하기 위해 거울면에 무반사(AR)막 및 고반사(HR)막 코팅을 하게 된다. 이 코팅은 양쪽 거울면으로부터의 내부 회환을 방지하고, FP 모드를 억제하고 중심 모드와 부모드간의 광크기의 차이를 더 크게 해주며 반사로 인한 노이즈의 감소를 가져와 결국 DFB 레이저 다이오드의 수율향상도 가져오게 된다. DFB 특성을 좋게 하기 위해서는 1% 이하의 낮은 무반사막 코팅을 구현하는 것이 필요한데, 이를

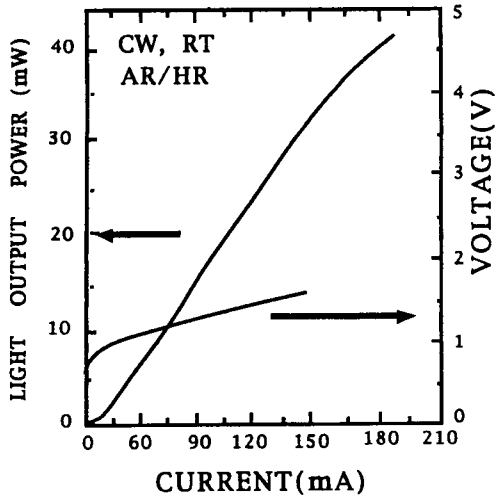


그림 6. I-L and I-V characteristics.

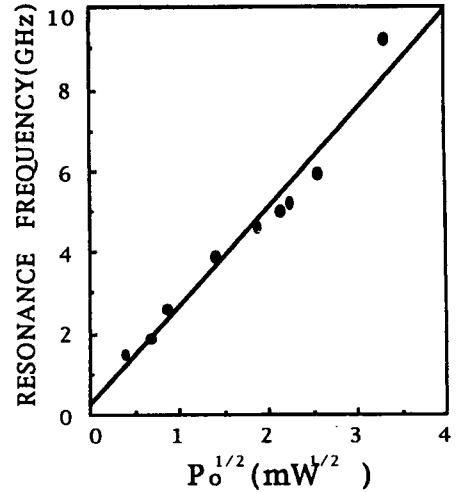


그림 8. f_r vs $\sqrt{P_o}$.

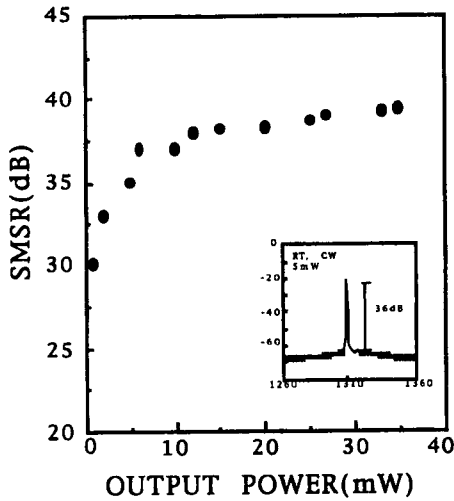


그림 7. SMSR vs output power and emission spectra at 5mW.

위해서는 매우 정밀하게 산화막이나 금속막의 두께를 조절할 수 있어야 한다.

그림 6은 $300\mu\text{m}$ 공진기의 소자를 사용하여 CW, 25°C 에서 측정된 I-L, I-V 곡선을 보여 준다. 임계전류는 11mA, 경사효율은 0.28mW/mA , 최대전력은 40mW 이상임을 알 수 있다. 온도변화에 따른 소자특성을 조사한 결과 T_0 값은 $50\sim 60\text{K}$, 온도에 따른 발진 파장의 변화는 $0.7\sim 0.8\text{\AA}/^\circ\text{C}$ 였으며, $20\sim 85^\circ\text{C}$ 까지의 온도변화에서도 35dB 이상의 광크기 차이를 유지하며 단일모드 동작을 하였다.

그림 7은 전력에 따른 주모드와 부모드사이의 광크기의 차이를 나타내는데 최대 39dB의 차이를 얻었고, 최대 35mW까지 단일 모드 동작을 확인할 수 있었다. 한편 삽입한 그림은 출력 5mW, CW, 25°C 에서 측정된 DFB 레이저 다이오드의 스펙트럼을 나타내며 발진 파장은 1306nm, 광크기 차이는 36dB였다.

그림 8은 RIN(relative intensity noise) 스펙트럼과 전력의 관

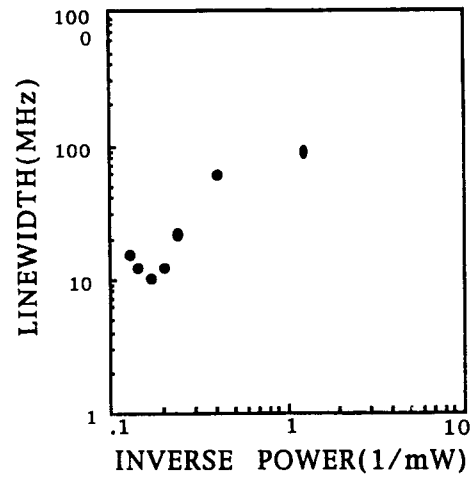


그림 9. Spectral linewidth vs the inverse power.

계에서 공진주파수 값을 측정된 결과를 나타내며 이로부터 계산된 dg/dn 값은 $2.4 \times 10^{-16}\text{cm}^2$ 이었고 1GHz 근처에서 -150dB/Hz 의 RIN 값을 얻었다.

그림 9는 선폭과 전력의 역값과의 관계를 나타내는데 출력 5mW에서 10MHz의 값을 얻을 수 있었고 선폭의 재확대 원인은 스페셜 홀 버닝(spatial hole burning)에 기인한 것으로 생각된다. MQW 구조를 도입하여 값을 낮추고 κL 값을 조절하여 홀 버닝 효과를 감소시키는 연구가 현재 진행중에 있다.

현재 광소자개발실에서는 $1.3\mu\text{m}$ PBH DFB 레이저 다이오드의 개발이 완료단계에 있으며 신뢰성 확보에 주력하고 있고, MQW 활성층 구조의 DFB 레이저 다이오드에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

2.4 $1.55\mu\text{m}$ DFB-PBH LD

최근에 초고속 정보통신 서비스의 필요성이 강조되면서 짧

은 시간 내에 음성, 문자, 화상등의 복합적인 대용량의 정보를 주고 받을 수 있는 광통신 시스템의 중요성이 한층 부각되고 있다. 그 일환으로 주요 거점도시들을 연결하는 2.5Gbps급 혹은 10Gbps급의 광통신망에는 1550nm 파장의 DFB 레이저 다이오드가 송신단에서 광원으로 쓰이고 있다. 1.55 μm 의 파장에서는 전송손실이 최소가 되기 때문이다. 또한 부모드(side mode) 억제율이 30dB 이상인 단일 발진파장 특성을 얻기 위하여 광 회절격자(grating)를 소자내에 삽입하여 격자 간격에 맞는 파장만 발진 할 수 있도록 하는 DFB 구조의 레이저를 사용하고 있다.

제작과정으로는 크게 소자설계, 에피택셜(epitaxial) 결정 성장, 공정, 테스트 및 패키징으로 나눌수 있다. 소자설계 단계에서는 발진파장, 광출력크기, 고속변조 특성 등을 고려하여 내부 구조를 결정하고 이에 맞추어 MOCVD를 사용하여 결정층들을 성장한다. 공정은 Holographic Lithography방법을 이용하여 회절격자제작, 식각, 광 리소그래피, 산화막증착, 금속증착 등의 과정이 있다. 공정을 마친 후에는 원하는 소자 크기에 맞추어 절단하고 필요한 경우에는 양쪽 거울면에 광 코팅막을 증착한 후 전기적 본딩을 하고 레이저 다이오드의 광학적, 전기적 특성을 테스트 한다. 또한 광학적 및 전기적 테스트를 마친 소자들은 장시간의 안정적인 동작을 위한 신뢰성 시험를 거쳐 최종적으로 선별되어져 시스템에서 원하는 형태로 패키징 하게 된다.

특성 향상을 위하여 다중양자우물(MQW) 구조를 활성층으로 도입하고, 중계거리 확대 및 광섬유의 파장 분산에 따른 전송파형의 둔화를 줄이기 위해 단일 축모드의 발진이 가능한 1차 회절격자 주기를 갖는 DFB 형의 PBH LD를 제작 하였다. 고속 동작을 위하여 10~20nm의 detuning을 갖으며 1.55 μm 근방에서 gain peak이 형성되도록 회절격자의 주기를 2400 \AA 근방으로 하였으며 이때 식각된 회절격자의 높이는 약 600 \AA 이었다. MQW 활성층의 구조는 Well은 InGaAs 80 \AA 두께로 5층을, Barrier는 InGaAsP(1.3 μm 조성)로 두께는 각 200 \AA 정

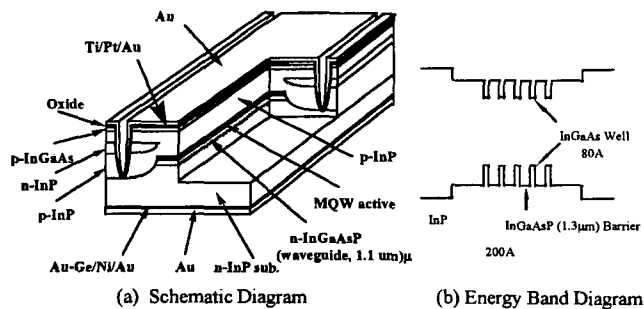


그림 10. PBH-DFB LD의 Schematic Diagram과 Energy Band Diagram.

도로 하고, 광학적 및 전기적 운반자 구속을 위하여 SCH (separate confinement heterostructure) 층을 각 800 \AA 으로 하였다. 성장된 DH를 메사에칭 후 전류차단층인 p-InP 층과 n-InP 층을 성장한다. 이때 성장은 선택성장으로 메사 위의 산화막에는 성장이 되지 않고 식각된 부분에서만 성장이 진행된다. 소자의 주파수 특성 향상을 위하여 분리에칭을 함으로써 정전용량을 줄일 수 있었다. PBH-DFB LD 의 개략도와 Energy Band Diagram을 그림 10 에 나타내었다.

이렇게 만들어진 DFB 레이저 다이오드는 내부 양자 효율, $\eta_i=0.70$ 과 내부 손실, $\alpha=25\text{cm}^{-1}$ 로 각각 나타났다. 안정적인 단일모드 동작과 고출력 동작을 위하여 거울면 전면에 약 1% 정도의 AR(Anti-reflection) coating을 하고 상온, CW에서 동작하는 300 μm cavity LD는 $I_{th}=11\text{mA}$, S.E.=0.24mW/mA이었고 최대출력은 40mW 이상이다.(그림 11) SMSR은 12mW에서 포화되기 시작하였고 최대 40dB를 얻을 수 있었다. 도파로 두께 및 grating 높이에 따라 다르게 제작된 결합계수(coupling coefficient, κ)는 stop band 측정에 의해 구할 수 있었다. 온도를 20~85 $^{\circ}\text{C}$ 까지 변화시켜 가면서 임계 전류와 파장의 변화를 관찰한 결과로부터 85 $^{\circ}\text{C}$ 까지 단일모드 동작하며 특성온도, T_0 는 47K였고 파장 shift는 0.88 $\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$ 이었다.

또한 2.5Gbps 혹은 10Gbps 전송용으로 사용하기 위해서는 발진파장의 광스펙트럼 폭이 넓어지는 처핑(chirping)현상이 작아야 한다. 먼저 전류 변화에 따른 공진주파수와 3dB 대역폭을 측정하였다. 6GHz와 4GHz의 3dB 대역폭과 공진주파수를 측정할 수 있었다. 이러한 결과들은 2.5Gbps급 직접변조 동작에 충분함을 보여주고 있다. 미분이득(dg/dn)은 $2.5 \times 10^{-16}\text{cm}^2$ 이었고 이 값은 자연방출광의 gain spectrum로부터 구한 값과 거의 일치함을 알 수 있었다. 또한 주파수 선폰은 수

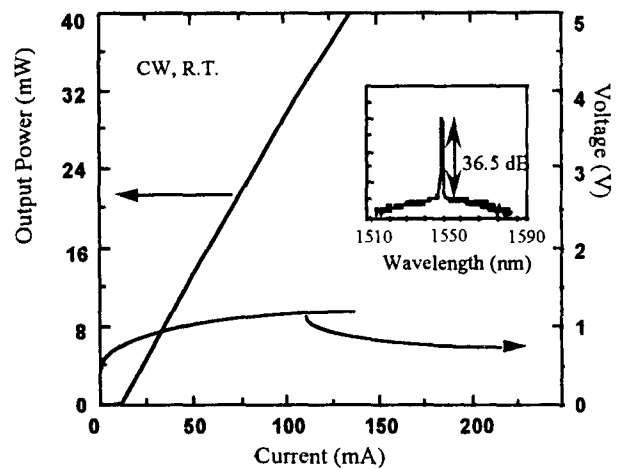


그림 11. DFB-PBH laser diode의 I-L-V 특성과 5mW에서 측정된 Spectrum.

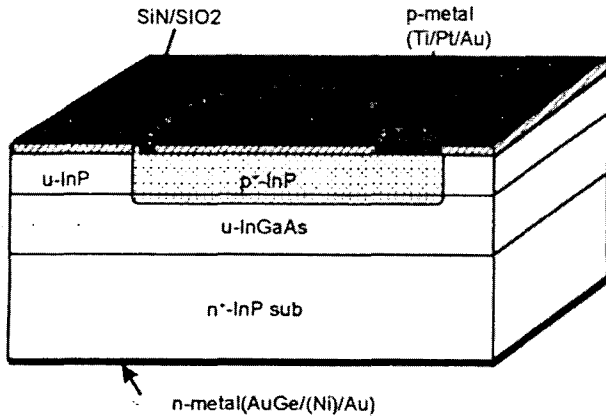


그림 12. Schematic diagram of pin-PD.

MHz에서 수십 MHz까지 LD의 출력에 따라 변화하였다.

이상과 같은 연구과정을 통하여 제작된 1.55 μm PBH-DFB LD는 2.5Gbps급 송신 모듈의 광원으로써 사용하기에 충분한 특성을 갖추고 있으며 향후 주파수 특성을 더욱 발전시켜 10Gbps 초고속 광통신용 LD 제작에 노력을 기울일 것이다.

3. DISCRETE DEVICE-DETECTOR

3.1 PIN-PHOTODIODES

광통신 시스템 수신기에 사용되는 PHOTODIODE는 광신호를 전기적인 신호로 변환하는 소자이다. PIN PHOTODIODE (PIN-PD)는 155Mbps, 622Mbps등의 수신기에 많이 사용되고 있으며, 2.5Gbps급에서도 APD를 대신하여 몇몇 회사에서 제품을 생산하고 있다. 또한, 10Gbps급에서는 AVALANCHE PHOTODIODE(APD)보다 일찌기 연구 대상으로 자리를 굳혔다. 또한 수광지름을 크게하여 송신기의 LASER DIODE 출력 MONITOR용 및 각종 측정시스템의 검출기로 많이 사용되고 있다.

현대전자에서는 155Mbps급의 PIN-PD의 개발을 완료했으며, 622Mbps급 및 10Gbps급 PIN-PD에 대해서도 개발 중에 있다. 개발된 PIN-PD는 수신기용으로 50 μm 및 80 μm 의 수광지름을 갖는 PD와 송신기의 LD 출력 MONITOR용으로 사용되는 280 μm PD가 있다. 개발 완료된 PIN-PD의 기본적인 구조, 공정 및 결과에 대해서 간단히 기술한다.

그림 12에서 보는 바와 같이 평탄형 전면광입사형 소자로서 MOCVD에 의해서 성장되며 흡수층(InGaAs)의 도핑농도는 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 이하로 하고 두께는 2.1~2.5 μm 로 한다. 성장이 끝난 웨이퍼에 pn 접합을 형성하기 위하여 SEALED AM-POULE 방법으로 Zn 확산을 실시하고 PECVD에 의해 SiN/

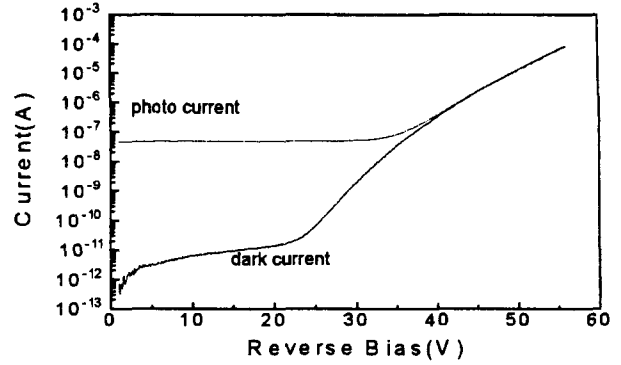


그림 13. I-V Characteristics of pin-PD.

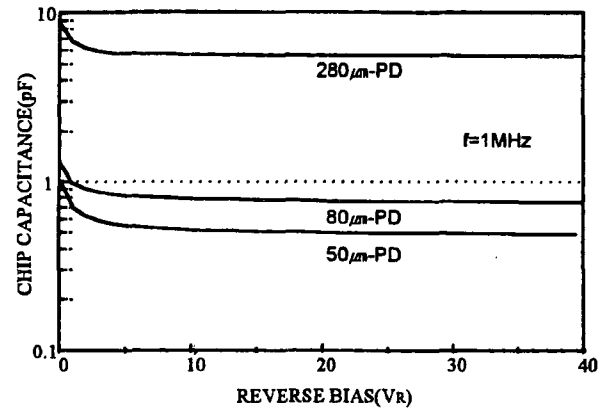


그림 14. C-V Characteristics of pin-PD.

SiO₂ 로 동시에 보호막 및 무반사막 COATING을 실시한다. p형 금속으로서 Ti/Pt/Au를 사용하고 PAD 영역은 약 2 μm 의 금 도금을 한다. 이후, 이면연마 공정을 거쳐 웨이퍼 두께를 약 150 μm 로 만든 후, n형금속으로 AuGe/(Ni)/Au를 E-BEAM 또는 열증착기로 증착한다. 공정이 완료된 웨이퍼를 scribing 및 cleaving을 하여 CHIP을 제작한다.

제작된 CHIP을 HEADER에 bonding한 형태로 특성 측정을 한다. PD CHIP의 I-V 및 C-V특성곡선을 그림 13 과 그림 14에 각각 나타내었다. 수광지름 50 μm 와 80 μm PIN-PD의 경우 -5V의 전압에서 50 pA의 아주 낮은 암전류특성을 보이며 CHIP 용량은 각각 0.5~0.6 pF, 0.8~0.9 pF을 나타낸다. MONITOR-PD의 경우에는 암전류 200 pA이하 이며 용량은 5~8 pF을 보여준다. 용량의 차이를 보이는 이유는 pad 크기의 차 때문이다. 또한, 수광지름에 따른 각 PD의 Responsivity는 -1.6 V에서 평균 0.95 A/W이다. 여기에 사용된 측정조건으로서 파장은 1.3 μm 이며 BARE SMF를 사용한다. 또한 신뢰성 시험으로서 85 $^{\circ}\text{C}$ /40 V 조건에서 1500시간 동안 암전류 및 항복전압의 변화는 일어나지 않았으며, 최대온도 200 $^{\circ}\text{C}$ 까지 시험중에 있다.

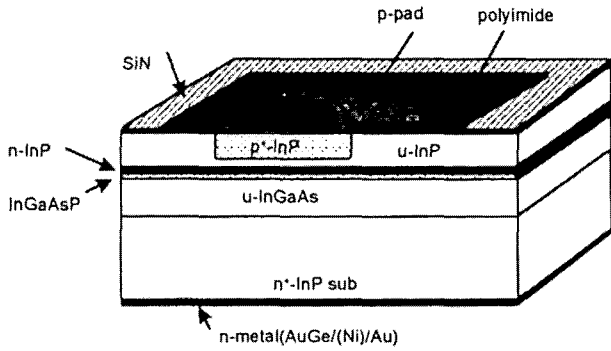


그림 15. Schematic diagram of APD.

3.2 AVALANCHE PHOTODIODES

AVALANCHE PHOTODIODE(APD)는 현재 2.5Gbps급 광 수신기에 실용화되었으며 10Gbps급에서도 활발한 연구가 진행되고 있다. APD는 제조시 어려움이 크게 두가지가 있다. 증폭 조건이 일어나기 위한 성장시의 어려움과 제조시 확산영역의 가장자리에서 일어나는 EDGE BREAKDOWN 현상을 억제하기 위한 구조설계 및 확산방법이다. APD의 기본구조에는 SAM(Separate Absorption and Multiplication), SAGM(Separate Absorption, Grading, and Multiplication), 그리고 SAGCM(Separate Absorption, Grading, Charge, and Multiplication)등이 있으며 EDGE BREAKDOWN을 억제하기 위한 방법으로는 GUARD RING, FLOATING GUARD RING, PARTIAL/NO PARTIAL CHARGE SHEET 구조등이 있는데 현재는 FLOATING GUARD RING과 PARTIAL/NO PARTIAL CHARGE SHEET 구조가 많이 연구되고 있다.

본 실에서는 기본적으로 SAGCM 구조를 채택하고 있고 수광영역층의 중심부를 식각하여 가장자리의 전계를 중심부의 전계보다 낮게하므로써 EDGE BREAKDOWN을 억제하는 방법을 사용하였으며 최근에는 이러한 방법과 함께 FLOATING GUARD RING구조를 혼합 사용하는 구조를 연구 중에 있다. 또한 이러한 구조를 만들기 위해서는 구조 및 마스크의 설계와 함께 Zn확산 PROFILE의 평가가 우선되어야 한다.

그림 15는 수광지름 50 μ m APD CHIP의 구조이다. n⁺-InP 기판위에 BUFFER층을 성장하고 u-InGaAs 흡수층을 약 2.0 μ m의 두께로 성장한 후, InGaAsP BANDGAP GRADING 층을 성장한다. 그 후, n-InP CHARGE 층을 성장하고 u-InP 층 및 In-GaAs Ohmic Contact 층을 성장한다. 성장시 CHARGE 층의 두께 및 농도가 소자의 특성을 좌우하므로 특히 중요하다. APD의 제작은 PIN-PD와 거의 동일한 방법을 사용하고 PAD의 용량을 줄이기 위하여 SiN/Polyimide로 보호막을 형성하고 무반사막으로 SiN을 사용한다.

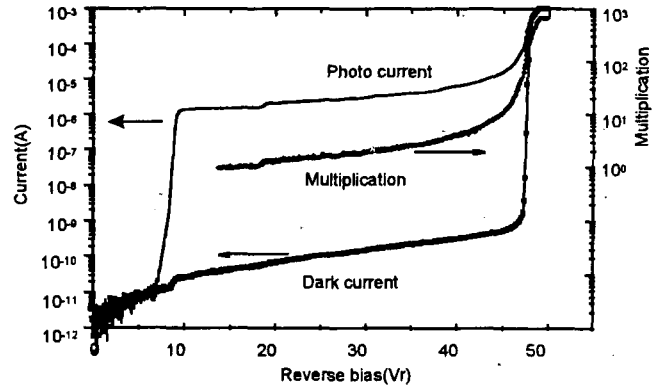


그림 16. I-V Characteristics of APD.

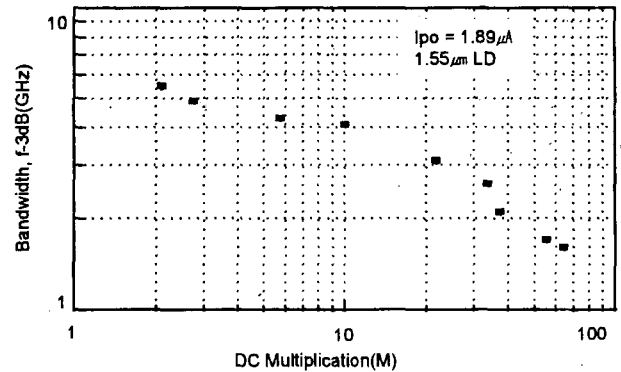


그림 17. Frequency response of APD.

그림 16은 APD CHIP의 일반적인 I-V특성곡선을 보여준다. BREAKDOWN 전압(V_b)은 40~60 V, 암전류(@0.9 V_b)는 1 nA이하이며 GAIN은 30이상이다. CHIP의 평균용량은 0.3~0.35 pF이다. 그림 17은 소신호 주파수응답특성 측정결과를 보여준다. M=10에서 -3dB 대역폭은 2.5GHz이상이고 GAIN-BANDWIDTH PRODUCT는 40GHz이상이므로 평가된다. 또한 25~130 $^{\circ}$ C의 온도 범위에서 BREAKDOWN 전압에 대한 온도특성은 0.13~0.17%/ $^{\circ}$ C이다.

현대전자는 PIN-PD의 경우 생산을 위한 성능 및 수율향상에 주력하고 있으며, 10Gbps급 PIN-PD를 연구중에 있다. 또한 APD의 경우 소자의 성능향상을 위하여 구조설계 및 공정의 안정화에 힘을 기울이고 있다.

4. INTEGRATED DEVICE

4.1 WDM DEVICE

WDM lightwave system은 전송용량(transmission capacity)의 증가와 비용 절감을 위한 가장 유망한 기술로써, Packaging과 Control circuitry에 대한 단위과장당 비용절감을 위하여

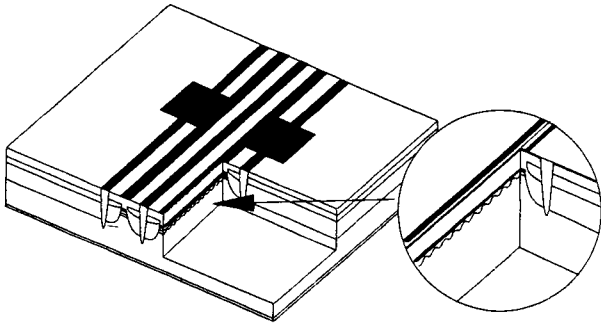


그림 18. Schematic Diagram of 2-Wavelength DFB array.

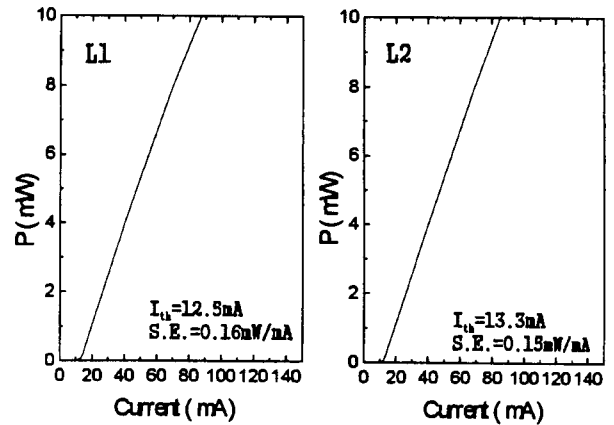
monolithic integrated multiwavelength DFB/DBR laser array에 대한 연구가 최근에 활발히 진행되고 있다.

본 실에서는 이러한 추세에 부응하여 각각 $1.3\mu\text{m}$, $1.55\mu\text{m}$ 파장영역에서 1.6 nm spacing을 갖는 multiwavelength DFB LD array 개발을 목표로 연구가 진행되고 있다. 다중파장 DFB array 제작을 위한 관건은 각 레이저의 파장을 정확하게 조절하는 것이며, 이를 위해서는 회절격자의 제작 방법이 중요하다. 일반적으로 균일한 파장간격을 얻기 위해서 각 레이저는 Bragg 파장 $\lambda_0=2n_{\text{eff}}\Lambda$ 에 일치하는 발진 파장을 가져야 하며, 다파장레이저 array를 얻기 위해서는 집적된 각 레이저의 굴절률(n_{eff})이나 회절격자주기에 변화를 주어야 한다. 일반적으로 회절격자주기를 달리하기 위한 여러 가지 방법들이 있으나, 본 실에서는 경제적이고 손쉬운 방법으로 Holography system을 이용한 Multi-Step Grating 제작 방법을 사용하여 각각 $1.3\mu\text{m}$, $1.55\mu\text{m}$ 영역에서의 다파장 DFB array를 제작하기 위한 연구가 진행되고 있다.

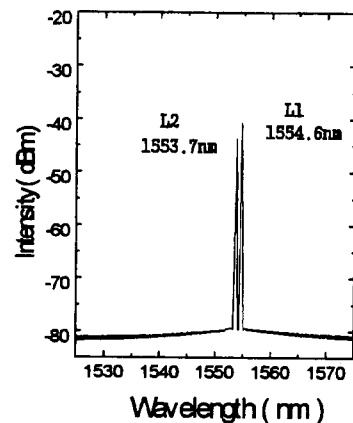
여기서 2파장 DFB array의 소자구조와 특성을 소개한다. 제작된 2파장 DFB array의 구조는 그림 18에 나타났다. 각 레이저는 PBH 구조를 가지고 있으며, 두 레이저를 전기적으로 고립시키기 위하여 분리에칭을 하였다. 또한 두 레이저의 활성층 사이의 간격은 $25\mu\text{m}$ 이며, 하나의 array chip이 가지는 폭의 넓이는 $300\mu\text{m}$ 이다.

그림 19는 2400\AA , 2398\AA 의 회절격자주기를 갖도록 제작된 2파장 DFB array의 I-L특성과 Spectrum 특성을 보여준다. 공진기 길이는 $300\mu\text{m}$ 이고, 3% AR coating을 하였다. 그림 19(a)에서 레이저 L1, L2의 임계전류와 정사효율은 각각 12.5mA , 0.16mW/mA 와 13.3mA , 0.15mW/mA 이다. 또한 그림 19(b)는 5mW 의 출력, CW 상온에서 각각 측정된 Spectrum을 함께 나타낸 것이다. 두 laser의 파장은 각각 1554.6nm , 1553.7nm 이고, SMSR은 39dB , 36dB 이다.

한편, 2071\AA , 2073\AA 의 회절격자 주기를 갖도록 제작된 DFB array의 I-L특성과 Spectrum특성은 그림 20에 나타내었다.



(a) I-L Curves at CW, AR Coating



(b) Spectrum at 5mW, CW

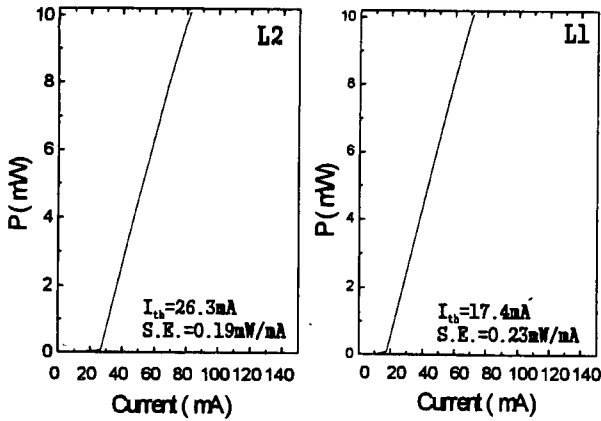
그림 19. (a) I-L Curves at CW, AR Coating (b) Spectrum at 5mW, CW.

공진기 길이는 $300\mu\text{m}$ 이고, 3% AR coating되었다. 그림 20(a)에서 laser L1, L2의 임계전류와 경사효율은 각각 17.4mA , 26.3mA 와 0.23mW/mA , 0.19mW/mA 이다. 레이저 L1의 파장과 SMSR은 각각 1343.4nm , 35dB 이고 laser L2는 1344.2nm , 38dB 이다.

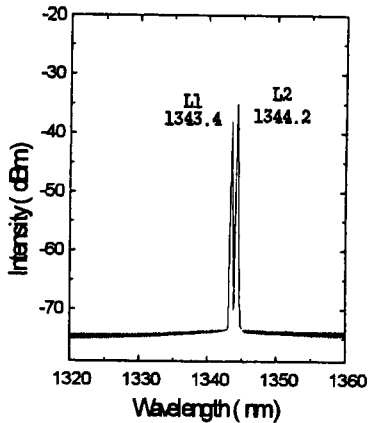
현재 목표는 각 레이저의 파장간격이 1.6 nm 인 8파장 DFB array를 제작하는 것이다. 이를 위해서는 웨이퍼에 process damage를 최소화 할 수 있으면서, 보다 정교하게 주기를 조절할 수 있는 회절격자 제작 방법이 사용되어야 한다. 이와 함께 array에 집적되는 파장의 수가 많아질수록 각 레이저의 수율이 문제가 될 것이므로 이를 개선하기 위한 연구가 이루어져야 한다.

4.2 EML DEVICE

정보화가 가속화되면서 장거리 대용량의 광통신 시스템이 요구되고 있다. 이를 만족하기 위해서는 $1.55\mu\text{m}$ 대역의 고속변



(a) I-L Curves at CW, AR Coating



(b) Spectrum at 5mW, CW

그림 20. (a) I-L Curves at CW, AR coating (b) Spectrum at 5mW, CW.

조가 가능하고 스펙트럼이 안정된 광원이 요구된다. 일반적으로 광원으로는 단일파장의 DFB 레이저가 사용되는데 레이저를 직접 변조하는 경우 변조속도가 증가함에 따라 주파수 특성이 저하되며 광섬유로 전송되면서 분산이 커져 신호의 왜곡이 증가한다. 본 연구실에서는 10GHz 급의 변조속도에서는 레이저를 직접 변조하기보다는 광변조기를 이용하여 광원을 변조하고자 한다.

광변조기는 Chirp 이 적어 주파수 특성이 우수하며 변조깊이 또한 직접 변조의 경우보다 우수하다. 이러한 변조기로 전계흡수(Electro-Absorption) 현상을 이용한 EA 변조기 또는 위상의 변화를 이용한 Mach-Zender 간섭기형 변조기 등이 있다. 그림 21 은 제작한 EA 변조기의 개략도로서 Core 흡수층은 광원의 편광에 따른 영향을 최소화하기 위해 Bulk 층으로 약 $0.3\mu\text{m}$ 두께로 하였고 폭은 약 $2.5\mu\text{m}$ 정도로하여 기본모드가 도파됨을 확인하였다. 흡수층은 InGaAsP(PL Peak: $1.45\mu\text{m}$) Bulk 로 전압이 인가되지 않았을 때 사용파장인 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 투과손실 계수는 약 20 cm^{-1} 정도로 비교적 작으며 인가 전압에 따른 소광비(Extinction Ratio) 는 $1.55\mu\text{m}$ 을 도파하였을

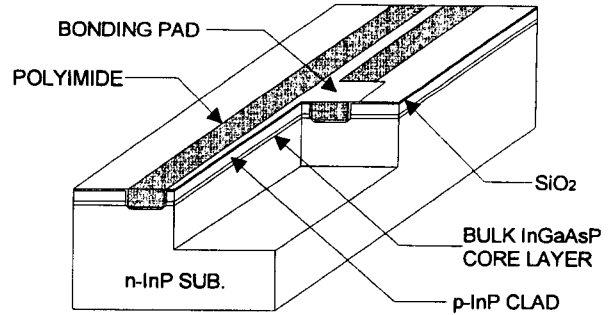


그림 21. Schematic Diagram of a Modulator.

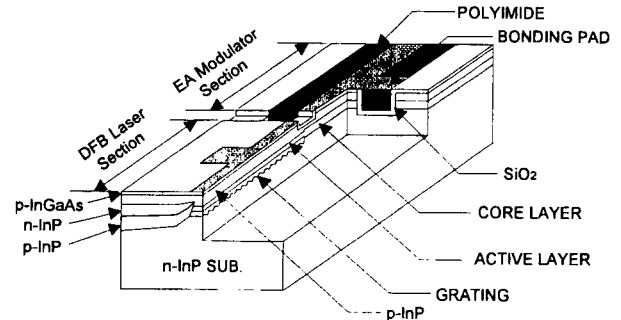


그림 22. Schematic Diagram of an EML Device.

때 2.5 V 에서 14 dB 이상으로 동작전압은 비교적 작다. 편광에 따른 의존성은 TM 모드가 도파될 때의 특성이 TE 모드인 경우보다 약 10% 정도 우수함을 보였다. 흡수층이 Bulk 인 경우와 Quantum Well 인 경우에서 흡수현상이 차이가 나며 Quantum Well 인 경우는 흡수 Edge 가 Bulk 에 비해 급준하고 Well 에 구속된 전자의 흡수가 인가 전압에 따라 급격히 변하여 Bulk 보다 작은 전압의 동작이 가능하여 Quantum Well 을 흡수층으로 하는 변조기도 개발 중이다.

EA 변조기의 다른 장점은 DFB 레이저와 집적이 가능하다는 점이다. 변조기가 집적된 DFB 레이저를 EML(Electro-absorption Modulator integrated Laser) 소자 또는 MIDFB 레이저(Modulator Integrated DFB Laser) 라고 한다. 광원은 단일파장으로 발진하며 집적된 광변조기로 도파되어 고속변조된다. 레이저와 광변조기는 전기적으로 독립시켜 각각 독립적으로 동작하게 된다. 집적 방법은 DFB 레이저 구조의 일부를 식각한 후 변조기 구조를 재성장하여 Butt 결합하는 경우와 MQW 구조를 이용하는 경우 선택성장을 통해 레이저 부분의 활성층보다 변조기 부분의 흡수층의 Bandgap Energy 가 더 크도록 부분성장을 하여 도파로를 직접 결합하는 방법 등이 있다. 그림 22 는 본 연구실에서 연구하고 있는 EML 소자의 개략도이다. 식각후 변조기 부분의 재성장을 통해 Butt 결합하는 방식을 이용하고 있으며 DFB 레이저 부분은 PBH 구조로 하고 EA 변조기 부분은 깊이 식각하여 고속변조를 위해 기생효과를 최소화

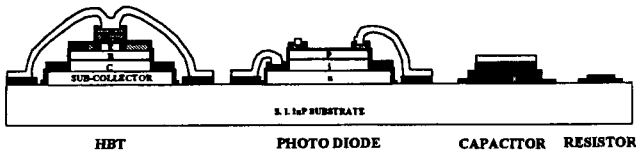


그림 23. Schematic Diagram of the fabricated devices.

Composition	Concentration	Thickness	Dopant
InGaAs	$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	2000 Å	Si
InP	$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	3000 Å	Si
InP	$5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	2000 Å	Si
InGaAs	undoped	20 Å	
InGaAs	$5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	600 Å	C
InGaAs	$3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$	5000 Å	Si
InGaAs	$5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	5000 Å	Si

그림 24. HBT epi-layer structure.

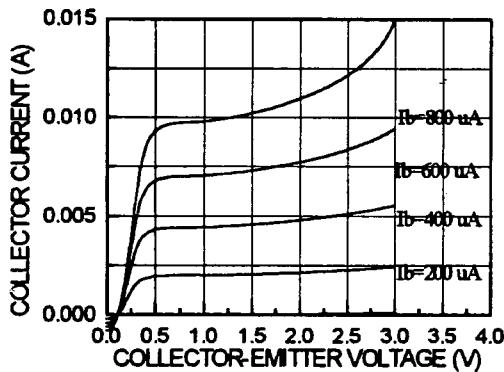


그림 25. I-V curve of InP/InGaAs HBT with a $2.6 \times 10 \mu\text{m}^2$ emitter size.

하였다. 향후 선택성장을 이용한 EML 소자를 개발할 계획이다.

4.3 InP/InGaAs HBTs for OEIC Receivers

최근 세계적으로 활발히 연구되고 있는 InP-based 화합물 반도체 소자는 GaAs-based 화합물 소자에 비하여 초고속 특성, 열 전달 특성, 표면 특성, 저전력 소모 특성 등이 우수하여 초고속 디지털 소자로 큰 각광을 받고 있다. 에피 성장이나 소자 제작 등에 있어 현재의 기술 수준은 GaAs-based 소자에 비하여 뒤져 있으나 곧 자신의 고유 응용 영역을 확보 할 것으로 기대된다. InP/InGaAs HBT는 monolithic pin-HBT Optical Receiver를 포함한 송수신 모듈용 IC 개발 및 위성 통신용 주요

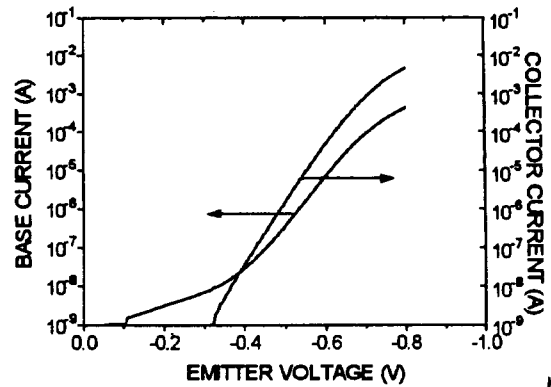


그림 26. Gummel Plot of InP/InGaAs HBT with a $2.6 \times 10 \mu\text{m}^2$ emitter size.

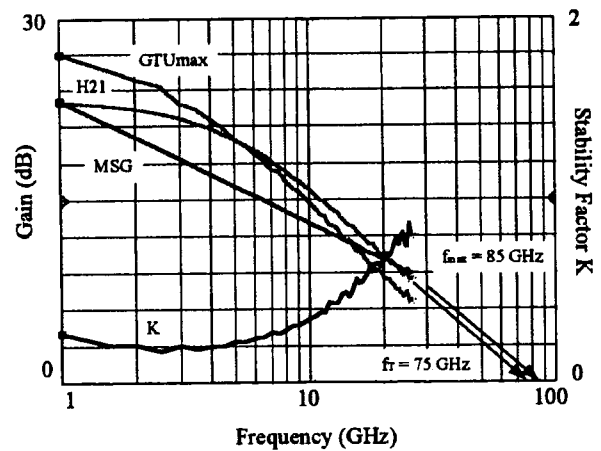


그림 27. Microwave gain characteristics of InP/InGaAs HBT with a $2.6 \times 10 \mu\text{m}^2$ emitter size at $I_c = 13 \text{ mA}$ and $V_{CE} = 15 \text{ V}$.

부품으로 응용되는 핵심 소자로 대두되었다.

현대전자에서도 10Gbps급 OEIC Receiver용 InP/InGaAs HBT를 개발하고 있다. 그림 23 과 그림 24 에서 보는 바와 같이 HBT의 베이스와 컬렉터 및 서브 컬렉터를 포토 다이오드의 p, i, n 층으로 사용하며, 수동 소자로는 NiCr 저항과 MIM 커패시터를 사용하는데 한 개의 SiN_x 막을 이용하여 HBT의 passivation, PD의 무반사 코팅, 그리고 커패시터의 유전체로 사용하는 공정을 개발하였다.

그림 25 와 그림 26 은 $2.6 \times 10 \mu\text{m}^2$ 에미터 크기를 갖는 에미터 공통 HBT의 DC 특성을 보여주는 그림이다. 전류 이득이 15, 베이스 및 컬렉터 전류의 이상 계수가 각각 1.3 및 1.1의 값을 가지며 에미터-컬렉터 항복 전압 및 오프셋 전압은 4 V 와 100 mV이다.

$J_c = 50 \text{ kA/cm}^2$, $V_{CE} = 1.5 \text{ V}$ 의 바이어스 조건에서 측정된 동일 소자의 RF 특성을 그림 27 에 나타내었다. 전류 이득 차단 주파수가 75GHz이고 전력 이득 차단 주파수는 85GHz 이



그림 28. Photograph of a single mode fiber pigtailed 1.3 μm PBH laser.

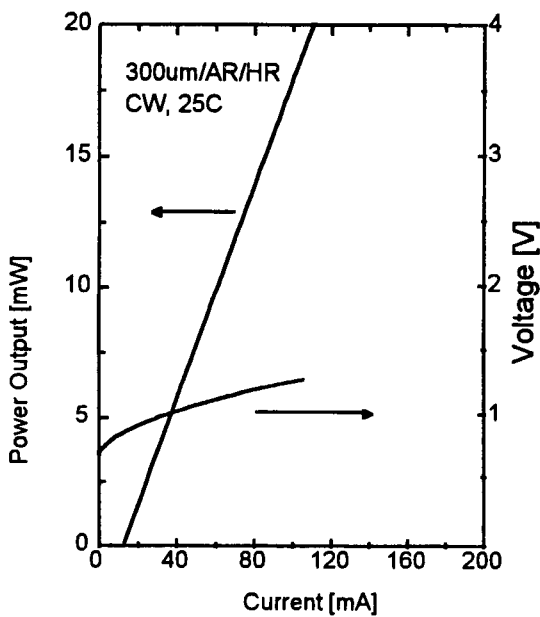


그림 29. L-I-V from an AR/HR coated 1.3 μm PBH laser chip.

상으로 이는 10Gbps급 이상의 Photoreceiver를 제작하기에 충분한 우수한 성능의 소자이다.

동일 기판 위에 여러 가지 크기의 수동 소자들이 제작되었는데 NiCr 저항 및 MIM 커패시터는 각각 $13 \Omega/\square$ 및 $3 \times 10^{-8} \text{ F}/\text{cm}^2$ 의 값으로 측정되었다.

5. 송수신 모듈

5.1 155Mbps급 송·수신 모듈

초고속 정보통신망 구축사업에 있어서 장거리기간통신망 및 광 CATV 등에 사용되며 일반 가입자에게까지 사용될 예정인 155Mbps급 송·수신모듈 및 이에 응용이 가능한 1.3μm PBH

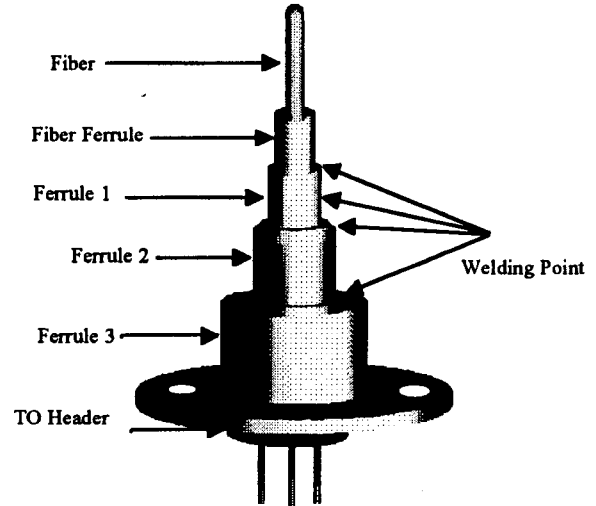


그림 30. Schematic diagram of fiber pigtail and welding points.

(planar buried heterostructure) LD 및 PIN-PD를 이용한 Fiber Pigtail 제작 및 특성에 보고한다.

송신 모듈용 Fiber Pigtail 제작 및 특성

Fiber Pigtail은 TO CAN type으로 레이저 다이오드와 단일모드 Fiber간의 광결합에 Ball Lens를 사용하여 Laser Welding하는 능동정렬 방식을 이용하였으며 Ball Lens Cap부분은 LD의 열화를 방지하기 위하여 Hermetic sealing을 하였다.(그림 28)

Fiber Pigtail 제작에 사용된 1.3μm PBH-LD를 CW에서 L-I 및 I-V 특성을 측정하였는데(그림 29) Chip의 공진기 길이는 300μm이고 AR/HR(10%/80%) coating을 하였으며 문턱전류 (I_{th})는 14mA, S.E.는 0.5mW/mA, 최대전력(P_{max})은 60mW이상이었다.

또한, 레이저 다이오드의 출력을 모니터하기 위하여 수광지름 280μm의 planar type PIN-PD를 사용하였다. InGaAs를 흡수층으로 하는 모니터 PD의 I_d (dark current)는 약 200pA, 정전용량 5pF, 그리고 1.3μm파장에서 Responsivity 0.95A/W 이상을 갖는다.

그림 30은 TO Header에 LD, 모니터-PD를 bonding 하고 Ball Lens를 sealing한 후 Fiber에 능동정렬하여 Laser Welding한 것을 나타내었다. welding에는 YAG Laser를 이용하여 3-point(120°) welding을 하였으며 welding후의 광결합 변화를 최소화하기 위하여 beam의 power balance는 2%이하로 최적화하였다.

그림 31은 PBH-LD를 이용하여 제작된 Fiber Pigtail의 L-I 및 모니터 전류 특성이며, 광결합효율은 10%이상을 얻을 수 있었다.

그림 32는 25℃에서 65℃까지 측정된 Fiber Pigtailed

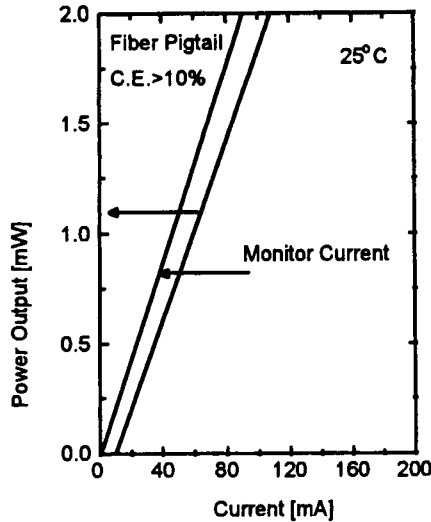


그림 31. L-I and monitor current characteristics of the fiber pigtailed 1.3 μm PBH laser.

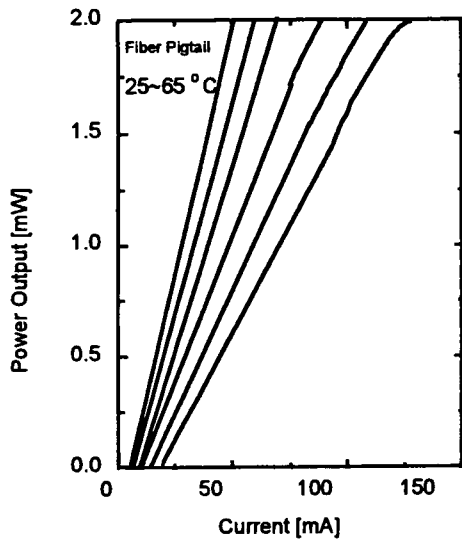


그림 32. L-I characteristics of the fiber pigtailed 1.3 μm PBH laser measured at different temperatures.

PBH 레이저의 L-I 특성으로 T_0 값은 55K를 얻을 수 있었다.

또한, Fiber Pigtail의 광결합효율 향상을 위하여 Ball Lens 대신에 Aspherical Lens를 사용하여 실험중에 있으며 약 50%의 광결합효율을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

수신 모듈용 Fiber Pigtail 제작 및 특성

광수신 모듈용 Fiber Pigtail은 InGaAs PIN-PD를 이용하여 제작하였으며 포토다이오드(PD)와 단일모드 Fiber간의 광결합에 Ball Lens를 사용하여 Laser Welding하는 능동정렬 방식을 이용하였으며 Ball Lens부분은 PD의 Degradation을 방지하기 위하여 Hermetic sealing을 한 TO CAN type이다.

Fiber Pigtail에 사용된 InGaAs PIN-PD는 수광지름 50μm,

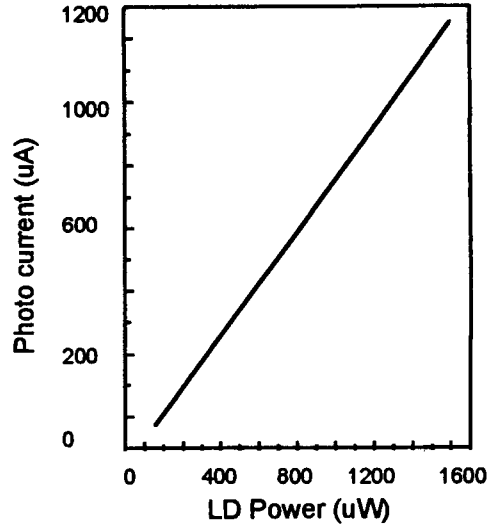


그림 33. LD Power vs. Photocurrent of the fiber pigtailed PIN PD.

-5V의 역 바이어스하에서 측정된 암전류는 50pA 이하이고 정전용량은 0.5pF이었다.

광수신 모듈용 Fiber Pigtail은 TO Header에 PD를 Bonding 하고 Ball Lens Cap을 sealing한 후 Fiber로부터 나오는 Beam을 PD의 수광부에 Align 한 후 Laser welding하였다. welding에는 YAG Laser를 이용하여 3-point welding을 하였으며, 광결합효율은 85% 이상을 얻을 수 있었고 LD Power에 대한 PD의 전류특성을 그림 33에 나타내었다.

155Mbps 송신 모듈

광송신 모듈은 LD의 광출력을 일정수준으로 유지해주는 APC 기능과 소광비 조절, 경고신호 발생기능이 포함된 ASIC chip을 이용하여 20pin DIP형으로 제작하였다.

제작된 모듈은 +5V 단일 전원으로 동작되며 소모전류는 50mA이고, 상온평균 광출력은 -2dBm, 소광비는 10dB 이상이었다.

155Mbps 수신 모듈

광수신 모듈은 단일모드 광섬유를 통하여 전송된 1.3μm 파장의 광신호를 광검출기에서 전류로 변환하여 PECL 레벨로 출력시키는 기능을 갖는다. 데이터/클럭재생 및 경고신호 발생 기능을 포함하는 ASIC, TIA형의 GaAs preamplifier 및 수동소자들이 내장된 PCB기판은 20pin DIP 형으로 제작하였다.

제작된 광수신 모듈은 +5V 단일 전원으로 동작되며 소모전류는 160mA이고, $2^{23}-1$ PRBS NRZ 입력에서 1×10^{-10} 이하의 BER(Bit Error Rate)을 갖는 수신감도는 -37dBm이고 Overload 광출력은 -5dBm이었다.

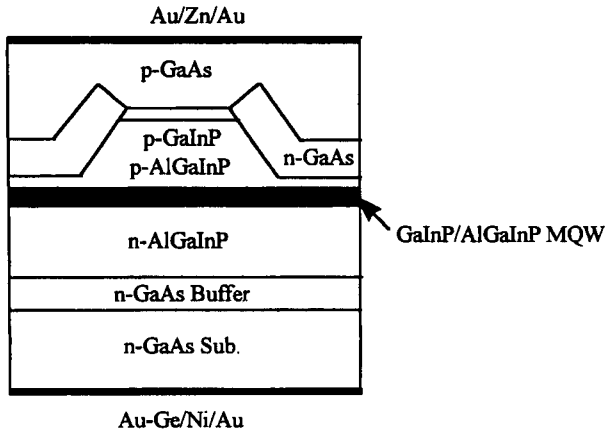


그림 34. SBR 구조로 최종 완성된 소자 단면도.

5.2 2.5Gbps급 광통신용 MODULE

2.5Gbps급 광모듈은 초고속 정보통신망 구축 및 B-ISDN 사업에 필수적인 핵심 부품으로 1초에 25억개의 신호를 전송할 수 있는 2.5Gbps급으로 기존 전화선 3만2천개로 전송하는 정보를 동시에 송신할수 있는 용량을 갖고 있다.

송신 모듈 패키징에는 두개의 마이크로 광학계를 이용, 능(수)동 혼합 광정렬결합 방식을 사용하여 광결합효율을 극대화(55%)시켰고 통신거리 40Km 까지 광증폭기(EDFA)없이 2.5Gbps의 신호를 전송할수있다.

레이저 다이오드의 작동온도(모듈온도)를 측정하여 레이저 다이오드를 항상 일정한 온도로 유지해주기 위해 온도측정용 THERMISTOR 와 온도제어용 열전모듈을 내장하였고, 특히 광학 부분에 광 아이솔레이터를 사용하여 광 FIBER 및 내부광학계로부터 레이저 다이오드로 향한 반사광을 차단시켰다. 한편, 모듈에 사용된 레이저 다이오드는, 활성층에 다중양자우물 구조(MQW)가 도입된 발진파장 1550nm대의 분포궤환형(DFB) 평면매립 이중구조형(PBH)으로 유기금속 화학기상성장장치(MOCVD)로 다단계선택성장방법으로 제조되었으며 발진 임계전류가 10mA이하, 측모드억제율(SMSR)이 40dB이상 이고 변조대역폭이 8GHz로써 고속동작한다. 레이저 다이오드의 자동출력조절용 포토다이오드는 수광지름이 280 μ m 이고 Responsivity가 95%이상인 평면형 구조로 수동정렬방식으로 조립되었다. 모듈의 특성 IMPEDANCE는 25ohm으로 매칭하였고 0.5nm의 linewidth를 가지며, 0dBm의 평균광출력을 가진다.

이상과 같이 현대전자에서 진행중인 2.5Gbps급 송신 모듈에 대해서 간단히 언급하였다. 모듈부품의 최소화, 원가절감, 높은 광결합 효율, 조립공정의 간소화, 모듈의 신뢰성확보 등이 중요하며 동급의 수신 모듈도 APD를 사용하여 개발중에 있다.

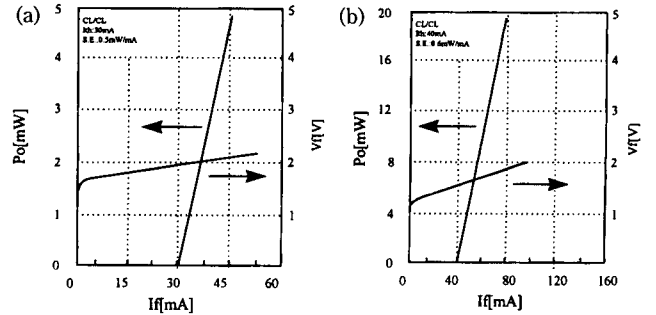


그림 35. 제작된 적색 LD의 L-I 특성. (a) 635 nm, 5mW급 LD의 L-I 특성, (b) 670 nm, 20mW급 LD의 L-I 특성.

6. VISIBLE LASERS

670nm, 635nm Visible 적색 LD는 광디스크, barcode reader, 그리고 레이저 빔 프린터(LBP) 등에 응용될 수 있는 LD로서 고해상도 및 고속화 등 고성능 정보처리 장치뿐만 아니라 현재의 레이저 포인터 등에 응용되고 있으며, 현재 보편적으로 사용되고 있는 CDP 용 AlGaAs LD 를 점차적으로 대체하여 앞으로 다가올 Digital Video Disk 시장에서도 Optical pick-up 용 광원으로써 많은 수요가 예상된다.

이러한 소자 제작에 적용되는 물질은 AlGaInP/GaInP/GaAs 계로 이 물질고유의 특성을 제어해야 고성능의 소자제작이 가능하며 특히 MOCVD 성장상의 난점으로 대두되는 Ordering structure 생성, Al 조성증가에 따른 p-AlGaInP doping 향상의 난점과 Defect 생성등의 문제가 선결되어야 한다. 이를 위해 적정 성장조건을 산출해야함은 물론 수소 원자에 의한 Zn Passivation 방지, 적정 방위이탈각을 갖는 기판 사용, 양자우물 구조에서의 Strain 및 Interface control 등을 최적화하는데 주력하였다. 본 실에서는 적색 LD의 응용 분야에 맞추어 635nm, 5mW급 LD와 670nm, 20mW급 LD제작에 주력하였으며 이를 위해 각각 $Ga_{0.5}In_{0.5}P/(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 의 구조와 0.5% Compressive Strain이 도입된 $Ga_{0.45}In_{0.55}P/(Al_{0.4}Ga_{0.6})_{0.5}In_{0.5}P$ 구조의 다중 양자 우물 구조가 각각 적용되었다. 이러한 박막 결정성장 공정의 최적화외에도 Index-guide Type의 SBR(Selectively Buried Ridge)구조 실현을 위해 습식 식각 공정, 선택 및 재성장 공정 및 전극형성 공정최적화에 주력 하였다. 이러한 공정을 통해 완성된 소자 구조를 그림 34 에 나타내었고, 이상과 같이 제작된 소자의 전반적인 특성을 그림 35에 나타내었다. 635nm 파장의 LD의 경우 I_{th} 는 대략 30mA, S.E. 는 0.5~0.6mW/mA, FFP 는 $9^{\circ} \times 32^{\circ}$ 이었고 670nm의 경우는 I_{th} 는 대략 40mA, S.E. 는 0.5~0.6mW/mA, FFP 는 $19^{\circ} \times 38^{\circ}$, CW 에서의 최대 출력은 20mW 이상이였다.

7. 결 론

현대전자에서 현재 주로 개발중에 있는 CHIP은 DISCRETE 한 LASER DIODE 및 PHOTODIODE 그리고 이를 이용한 SONET/SDH 송수신 모듈에 국한되어 있지만 앞으로는 TDM 및 WDM 용 INTEGRATED DEVICE 및 이를 이용한 ADVANCE 한 PACKAGE 개발에 총력을 기울일 계획이다.

아울러 미래 DVD 용 OPTICAL PICK-UP 에 응용이 가능한 BLUE LASER 개발에도 전력을 다할 예정이다.

8. 감사의 말

시스템IC 연구소장 민위식 박사의 지속적인 격려와 인내에 감사를 드린다.