

# 광통신용 반도체 레이저



**심종인**  
한양대학교 공학대학  
전자공학과 조교수

## I. 서 론

광섬유 통신망은 차세대 초고속, 대용량 기간 통신망으로서 확실히 자리를 잡아가고 있다. 이러한 광섬유통신을 실현시키기 위해서는 빛을 발생시키는 발광소자, 빛을 전송하는 전송로로서의 광섬유, 광섬유로 전송된 빛을 받는 수광소자로 구성되어 있다. 광섬유는 그 전송길이 수 km 수천km에 달하기 때문에, 광섬유에 사용되는 발광 및 수광소자는 증계기수를 줄일 수 있도록 광섬유의 전송특성에 맞추어 개발되어 왔다.

광섬유통신에 사용되는 파장  $1.3\mu\text{m}$  혹은  $1.55\mu\text{m}$ 대의 광원으로는 InP기판에 기반을 둔 화합물 반도체를 이용한 레이저 다이오드(LD)가 사용된다[1-3]. 최근에 널리 사용되기 시작한 광섬유 통신망의 광원으로 반도체 레이

저가 사용되기 때문에, 반도체 레이저를 최신 소자로 생각하기 쉽다. 그러나 반도체 레이저의 발전은 이미 1960대 초에 달성되었으며[4-5], 아직까지도 그 기본적인 원리나 구조에는 거의 변화가 없는 지극히 발전속도가 느린 소자이다. 그 구조도 Si 반도체 IC에 비교 조차될 수 없는 간단한 pn접합 다이오드로 되어 있다. 이러한 발전과정을 살펴보면 반도체 레이저 다이오드가 얼마나 기술적으로 어렵고 매력있는 소자인가를 짐작할 수 있을 것이다.

본 기술해설에서는 광통신에 사용되는 반도체 레이저의 발전 원리, 구조, 재료 및 제작방법, 동작특성, 응용등에 대해서 간단히 소개하기로 한다.

## II. 동작원리

반도체 레이저의 기본구조는 p-i-n접합 다이오드이며, 다이오드에 전류를 흘리면 발진이 일어난다. 그림1에 반도체 레이저의 기본 구조를 모식적으로 나타내었다. 레이저광을 얻기 위해서는 높은 광이득을 주는 활성매질과 광을 충분히 증폭시킬 수 있는 광공진기가 필요하다. 반도체 레이저에 전류를 주입하면, 여기된 캐리어들은 평행상태로 돌아 갈려고 하면서 자연방출광을 발생한다. 이 자연방출광은 광공진기 내의 이득 매질을 수없이 왕복하

면서 유도방출과정을 통해 충분히 증폭되며, 광이득이 광손실과 같아 지게 되면 발진하게 된다. 일단 발진이 일어나면 발진에 필요한 전류보다 여분으로 주입된 캐리어들은 거의 모두 유도방출에 의해 재결합되고, 따라서 레이저 광출력은 주입전류에 비례하여 증가하게 된다. 레이저 발진이 일어나는 전류를 발진개시 전류라 한다. 발진광은 좁은 스펙트럼과 높은 coherence를 유지한다.

광이득은 p-i-n 반도체 구조로 되어 있는 활성층(i)층에 전자와 정공을 주입함으로써 일어난다. 주입된 캐리어들로부터 효율적으로 발광특성을 얻기 위해서는, 빛이 발생하는 활성층에서의 캐리어 재결합 기구가 발광재결합에 의해 지배되는 재료가 사용되어야 한다. 이것이 반도체 발광소자 재료로서 주기율표 III족-V족, II족-VI족 원소들로 구성된 화합물 반도체가 사용되는 가장 큰 이유이다. 유도방출에 의한 정의 광이득은 식(1)의 Burnard-Durafforg조건을 만족하면 얻어지기 시작한다[6].

$$F_c - F_v > E_g \quad (1)$$

여기서  $F_c$ 와  $F_v$ 는 각각 전도대의 전자 및 가전자대의 정공의 quasi-Fermi 준위이며,  $E_g$ 는 활성층의 밴드갭 에너지로 레이저 광의 에너지와 거의 같은 값을

갖는다. 정의 이득이 얻어지기 시작하는 활성층 내의 캐리어 밀도는  $1.03 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$  정도이고, 이를 얻기 위한 전류밀도는 약  $1.0 [\text{KA/cm}^2]$  정도이다. 식(1)로부터 적은 양의 주입 캐리어수로 많은 이득을 얻기 위해서는, 전자와 정공의 quasi-Fermi 준위들이 주입 캐리어수에 따라 쉽게 변화하여야 한다. 이를 위해서는 전도대 및 가전자대 내에 전자가 존재할 수 있는 상태수를 적게 할 필요가 있다. 전도대 및 가전자대의 상태수는 활성층 구조의 차원을 줄임으로써 상태수를 대폭 개선할 수 있다.

레이저 발전을 위해서는 광공진기가 필요하다. 반도체 레이저의 공진기로서 가장 일반적으로 사용되는 것은 2장의 평행판을 이용한 Fabry-Perot형 구조이다. 2장의 평행거울은 반도체 레이저 구조가 형성되어 있는 기판을 절단할 시 나타나는 결정면으로서, 아마 이 세상에 존재하는 가장 균일한 평면중에 하나일 것이다. 또 다른 광공진기 구조로서 DFB (Distributed Feedback) 구조[7], DBR (Distributed Bragg Reflector)구조[8]등이 있다. 이 공진기는 강한 파장의존성을 갖고 있기 때문에 단일파장 레이저에 응용되고 있다.

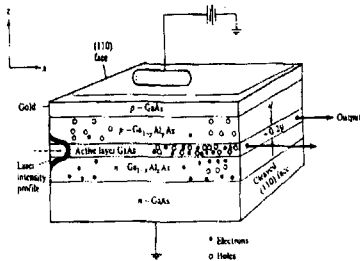


그림 1. 반도체 레이저의 기본 구조

### III. 기본 구조

실용적인 통신용 레이저에서는 광원에 요구되는 성능에 맞추어 그림1의 구조보다 훨씬 복잡한 구조로 되어 있다. 그림2에 가장 횡방향 모드가 제어된 BH-FP형 반도체 레이저의 구조를 나타내었다. 반도체 레이저 분야에서는 두개의 반사면을 연결한 방향을 종(longitudinal)방향, 접합면에 수직인 방향을 횡(transverse)방향, 접합면에 평행한 방향을 측(lateral)방향이라 한다. 종방향, 횡방향, 측방향의 모든 방향에 대해서 도파기구 및 경계조건에 따라 공진기의 고유모드가 결정된다.

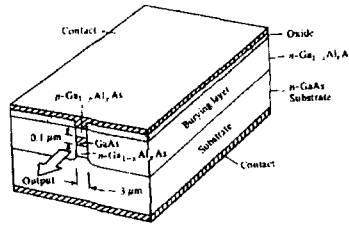


그림 2. GaAs/AlGaAs BH-FP-LD

#### 1. 수직방향 구조

반도체 레이저는 초기 동종접합 레이저로부터 출발하여, DH (Double Heterostructure)구조 출현에 의해 상온연속발전동작이 가능하게 되었다. 이후 활성층에 캐리어 및 광속을 효과적으로 할 수 있도록 DH구조를 개량한 SCH(Separated Confinement Heterostructure)가 사용되고 있다. 또한 활성층에는 bulk결정에서 보다 강하게 캐리어 구속이 가능한 QW(Quantum Well)구조 제작이 가능케 되었다. 현재에는 QW구조에 strain을 도입함으로써 전자의 에너지 분산특성을 제어하고, 이를 통해 반도체 레이

저의 발전특성을 향상시키는 노력을 행하고 있다.

활성층은 기본적으로 두가지 역할이 있다. 하나는 빛의 발생과 증폭(이득)이고, 다른 하나는 빛의 도파기능이다. 광이득을 크게 얻기 위해서는 주입된 전자와 정공을 동일 공간내에 잘 구속해 주어야 하며, 빛을 효과적으로 증폭되기 위해서는 반전분포를 이루고 있는 활성층 영역에 많은 빛이 통과하도록 하여야 한다. 이를 위해 일반적으로 SCH구조가 주로 사용된다.

그림3에 SCH-MQW 구조를 갖는 활성영역의 에너지 밴드 diagram, 굴절을 분포를 나타내었다. 반도체 레이저의 안정한 발전특성과 높은 신뢰성을 얻기 위해서는 활성층 두께를 박막화하는 것이 좋다. 활성층 두께를 수십~수백 정도로 얇게 하면, 이 종접합계면에 수직인 방향으로의 전자나 정공의 운동은 1차원 양자우물형 potential에서의 입자의 운동과 같이 양자화된다. 이와 같이 1차원 양자우물형 potential에서의 간혀 있는 전도대 및 가전자대의 전자의 상태수는 bulk 상태에서 보다도 대폭으로 감소한다. 이 경우 식(1)에서 논한 바와 같이 적은 주입캐리어수(N)로도 높은 광이득(g)이 기대된다. 그러나 단순한 DH구조에서, 활성층 두께를 박막화하면 광속이 약화되어, 발전개시전류의 급격한 상승이 초래된다. SCH구조는 수십Å~수백Å 정도로 박막화하여도 광은 SCH구조에 의해 충분히 구속되기 때문에 높은 미분이득(dg/dN)과 동시에 200 (A/cm<sup>2</sup>) 정도의 낮은 발전개시전류밀도를 얻을 수 있다.

반도체 레이저에 수직인 방향으로 SCH-MQW구조를 본격적으로 통신용 반도체 레이저에 채

용하게 된 것은 1990년대에 접어들어서 부터이다. 이로 인해 기존의 Bulk활성층을 채용한 구조에서 보다 낮은 발진개시전류, 직접변조대역폭의 확대, 변조시 발생하는 파장천이 특성의 축소, 온도특성향상 등의 많은 특성개선을 이룰 수 있게 되었다.

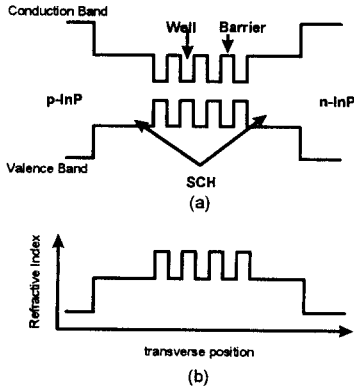


그림 3. SCH-MQW 구조의 (a) 에너지 band diagram 와 (b) 굴절율 분포

### 2. 수평방향 구조

실용적인 대부분의 반도체 레이저의 활성영역은 그림 2에서와 같이 수직방향만이 아니라 수평방향으로도 제한되어 있다. 수평방향으로의 활성층폭은 보통 0.5  $\mu\text{m}$  ~ 1.5  $\mu\text{m}$  정도이다. 이와 같이 활성영역을 수평방향으로 제한하여 stripe형 반도체 레이저를 제작하는 이유는 (1) 발진개시전류의 저감, (2) 발진횡모드(평행방향)의 제어, (3) 열저항의 감소, (4) 신뢰성의 고조 등을 위해서다. 상기 사항은 실용화 관점에서는 모두 매우 중요한 사항이다. 이 가운데에서 기술적으로 가장 어려운 점은 횡모드 제어이다. 1980년대에는 반도체 레이저의 횡모드 제어를 위해 많은 연

구가 행해졌다.

광의 도파기구에는 굴절율도파와 이득도파로 크게 나눌 수 있다. 굴절율도파는 굴절율차에 의해, 이득도파는 이득 또는 손실차에 의해 도파된다. 반도체 레이저의 초기 구조는 그림1과 같은 이득도파 구조가 주로 사용되었으나, 발진모드의 불안정성, 출력에 따른 출사빔의 움직임, 높은 발진개시전류 등의 이유로 현재에는 대부분 굴절율도파 구조를 채용하고 있다. 굴절율도파 구조 가운데, PBH (Planar Buried Heterostructure), DC-PBH (double Channel-Planar Buried Heterostructure), CM-BH (Constricted Mesa-PBH), 그림2의 BH (Buried Heterostructure) 구조 등이 현재 가장 널리 사용되는 수평방향 구조이다.

### 3. 종방향 구조

반도체 레이저의 종방향 구조는 주로 발진스펙트럼(종모드)의 결정에 중요한 역할을 한다. 가장 일반적인 구조는 2장의 평행 mirror를 사용한 FP(Fabry-Perot)구조이다. 이외에 강한 종모드 선택성을 갖고 있는 DFB (Distributed Feedback) 레이저, DBR (Distributed Bragg Reflector) 레이저, 원형상 도파로 구조로 된 Ring 레이저, 복수의 공진기를 직렬로 연결한 복합 공진기 레이저 등이 있다. 여기서 가장 기본적인 구조는 FP, DFB, DBR구조이다.

가장 일반적인 FP구조의 반사경은 III-V족 반도체 결정의 (110) 절단면을 이용한다. 신뢰성 및 출력특성 향상의 측면에서 절단면은 SiO<sub>2</sub> 등의 유전체 박막을 보호막으로 코팅한다. 종모드의 파장은 반사경의 간격, 즉 공진기길이 L에 관계한다. 도파모드

의 등가굴절율을 n이라 하면, 발진가능한 종모드의 파장은 식 (2)의 공진조건에 의해 결정된다.

$$\frac{m\lambda}{2n} = L \quad (2)$$

여기서 m은 수백수천정도의 정수값이다. 종모드간 간격은 약 1nm정도이다. 실제 FP레이저에서 식(4)의 위상조건을 만족하는 종모드수는 무수히 많지만, 이 가운데 실제 발진하는 종모드수는 이득조건을 만족하는 이득피크 근처의 수개 정도이다.

그림4는 DFB레이저 및 DBR 레이저 구조의 개념도이다. FP구조에서의 반사경 대신에 도파로에 형성된 회절격자가 도파광을 반사시킨다. 회절격자가 형성된 광도파로에서는 입사파장에 따라 반사율이 크게 변한다. FP레이저에서는 복수의 종모드 발진이 얻어지는 반면, DFB(혹은 DBR) 레이저에서는 반사율이 최대로 되는 파장만이 발진하게 된다. 발진파장은 식(3)에 의해 결정된다.

$$\lambda = \frac{2n\Lambda}{m} \quad (3)$$

여기서 n은 모드굴절율, 는 회절격자 주기, m은 회절차수이다. 통신용 반도체에서는 강한 반사율이 기대되는 회절차수 1의 회절격자가 사용되며, 회절격자주기는 원하는 발진파장에 맞추어 2,100Å ~ 2,400Å 정도로 제작된다. 회절격자 제작은 He-Cd, Ar 레이저 빔의 간섭을 이용한 로판법이 주로 사용된다. DFB 혹은 DBR레이저들은 외부 온도변화, 주입전류변화등에 관계 없이 안정된 단일파장동작을 하기 때문에, 광섬유의 분산특성에 의해 정보전송이 제한받는 경우에는

반드시 이용되고 있다.

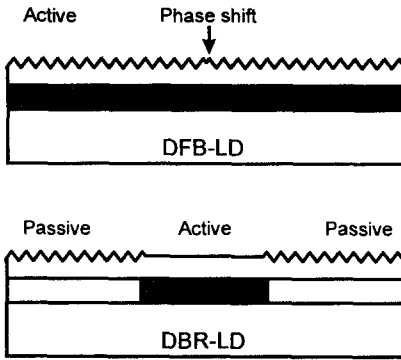


그림 4. (a) DFB-LD 및 (b) DBR-LD의 구조

#### IV. 재료 및 제작방법

반도체 레이저의 발진파장  $\lambda$  은 활성층 재료의 밴드갭  $E_g$ 에 의하여 결정된다.

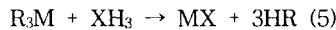
$$\lambda [\mu\text{m}] = \frac{1.2398}{E_g [eV]} \quad (4)$$

화합물 반도체의 밴드갭  $E_g$ 는 조성에 의해서 변화된다. 예를 들어, 광섬유 통신용 반도체 재료로서는 InP기판에 격자정합을 이룬  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  화합물 반도체가 활성층으로 사용되는데, In의 조성  $x$ 와 As의 조성  $y$ 를 조절함으로써 발진파장을  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  ( $1.7\mu\text{m}$ )에서 부터 InP ( $0.9\mu\text{m}$ )까지 변화 가능하다. 따라서 광섬유 통신에 사용되는 파장  $1.3\mu\text{m}$  혹은  $1.55\mu\text{m}$ 대의 반도체 레이저는 InP기판에 격자정합을 이룬  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  화합물 반도체를 순차적으로 성장하여 DH구조를 형성함으로써 제작된다.

결정성장 방법으로는 액상성장법(LPE), 기상성장법(VPE), 분자선성장법(MBE) 등이 있다. InGa

AsP계의 결정성장은 주로 LPE나 유기금속기상성장법(MOVPE)방법이 사용된다. LPE방법은 양질의 결정 다층막을 성장시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 성장속도가 비교적 빠르기 때문에 다중양자우물(MQW)과 같은 수 nm두께의 다층 이종접합구조를 성장하기에는 곤란하고, 대면적 기판에 균일하게 결정성장을 하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 현재 LPE방법은 주로 수  $\mu\text{m}$  정도의 두꺼운 결정성장을 요구하는 재성장공정에 주로 사용된다.

MOVPE에서는 성장속도를 매우 작게 조절가능하기 때문에 다중양자우물과 같은 수십십 원자층에 상당하는 초박막의 성장이 가능하다. MOVPE 결정성장법에서는 III족(Ga, In)의 유기금속과 V족(As, P)의 수소화물을 기체상태로  $600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ 의 고온의 기판위에 공급하여, 기판에 원하는 화합물반도체를 성장시킨다. III-V족 화합물의 결정성장은 기본적으로 식(5)로 나타난 반응식을 따른다.



여기서 R은 알카리기( $\text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5$ ), M은 III족 원소(Al, Ga, In), X는 V족원소(As, P)를 의미한다. p형 dopant로서는 TEZn, TMZn,  $\text{H}_2\text{Se}$  등이, n형 dopant로서는  $\text{SiH}_4$ (혹은  $\text{Si}_2\text{H}_6$ )등이 주로 사용된다. MOVPE법에서는 일반적으로 V족 과잉분위기에서 행하여진다. 성장속도는 III족유기금속의 분압에 대체로 비례하며, 기판의 결정방향이나 성장온도 등에는 별로 의존하지 않는다.

#### V. 광통신에서의 응용

광섬유 통신용 광원에는 다양

한 조건들이 요구된다. 그 조건으로서는 고속변조가 가능할 것, 광섬유와의 결합효율이 높아 광섬유에의 입력파워가 클 것, 발광파장과 광섬유와 저손실 영역과의 일치성, 발광스펙트럼이 좁을 것, 반사잡음에 대해 강할 것, 소형이며 신뢰성이 뛰어날 것 등이 있다. 또한 아날로그통신에서는 전류-광출력 특성에 직선성이 요구된다. 현재 광통신에 이용되는 반도체 레이저는 광신호를 간단히 전류로 조절할 수 있고, 변조대역폭 약  $10\text{GHz}$ , 광섬유 입력 파워 약  $0\text{dBm}$ , 발광스펙트럼 선폭  $0.01\text{nm}$  수 nm 정도, 수명 100만 시간 이상, chip size  $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$  정도이다.

광섬유 통신에 사용되고 있는 반도체 레이저는 파장  $0.8\mu\text{m}$  대의 GaAlAs계 레이저와  $1.3\mu\text{m}$  혹은  $1.55\mu\text{m}$  대의 InGaAsP계 레이저로 구별된다. GaAlAs계 레이저는 광섬유 손실이  $0.8\mu\text{m}$ 대에서  $35\text{dB/km}$ 로 크기 때문에,  $100\text{Mbps}$ 이하의 비교적 단거리에 응용된다. InGaAsP계 레이저는 광섬유 손실이  $1.3\mu\text{m}$ 대에서 약  $0.6\text{dB/km}$ ,  $1.55\mu\text{m}$ 대에서 약  $0.2\text{dB/km}$ 로 매우 낮기 때문에,  $100\text{Mbps}$  장거리에 전송에 이용되고 있다. 특히, DFB레이저는

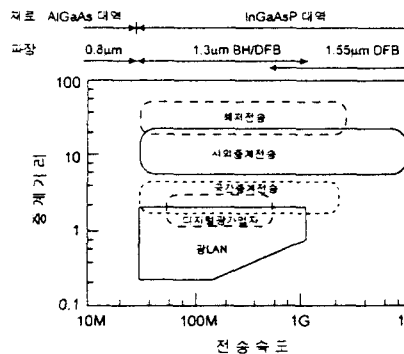


그림 5. 반도체 레이저의 적용영역

단일파장으로 발진하기 때문에, 단일모드광섬유와 함께 사용함으로써 초고속초장거리 전송이 가능하다. 그림5에 반도체 레이저의 적용영역을 나타내었다. 주요 적용분야는 공중망 통신, 해저통신, 광LAN등이 있다.

## VI. 최신의 광통신용 반도체 레이저

음성, 데이터, 이미지, 동화상 등 각종 정보전송량의 확대로 인해 최근 들어 광섬유 통신망은 급격히 증가되고 있다. 차세대 공중 통신망에서의 광통신망은 기존의 기간 전송망에서 가정까지 확대될 전망이다. 기간 전송망에서는 정보량은 수십Gbps이상으로 늘어나고 있으며, 광가입자망에서는 155Mbps가 기본 전송속도가 되고 있다. 이와 같이 광섬유 통신의 응용 범위가 확대됨에 따라, 광통신 반도체 레이저는 그 사용용도에 맞추어 개발되고 있다. 여기서는 155Mbps급 광가입자망용 광원인 1.3 $\mu$ m FP 레이저, 10Gbps급 기간 전송망용 광원등에 대해서 소개한다.

### 1. 광가입자망용 1.3 $\mu$ m FP 레이저

광가입자망에서는 데이터 전송 거리가 비교적 짧기 때문에, 광섬유의 분산이 zero가 되는 1.3 $\mu$ m대의 레이저가 가장 유망하다. 또한 대량생산에 유리한 FP(Fabry-Perot) 구조가 될 것으로 생각되어 진다. 광가입자망용 1.3 $\mu$ m FP레이저를 제작하는데 가장 중요한 것은 경제적이고, 대량 생산이 가능하여야 한다. 현재 광통신 모듈의 대량 생산에 걸림돌이 되고 있는 부분은 광섬유와 반도체 레이저 간의 좋은

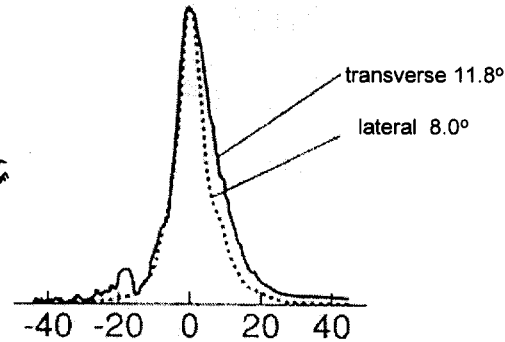
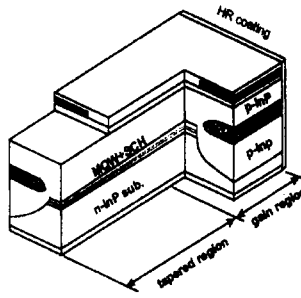


그림 6. 1.3 $\mu$ m FP -LD 및 Far field pattern

광결합을 이루는데 많은 작업시간과 인건비가 소요된다는 것이다. 최근에는 반도체 레이저로부터의 FFP(Far-Field Pattern)을 좁고 원형에 가깝게 하여, 광섬유와 레이저 사이에 렌즈의 사용없이도 쉽게 광결합이 가능도록 할려는 연구가 집중적으로 이루어지고 있다.

그림6은 광모드변환기가 집적화된 1.3 $\mu$ m FP-LD의 구조도이다 [9]. 활성층이 존재하는 부분의 광도파로 두께는 두껍게 제작하고, 출사단으로 가면서 점차 광도파로 두께가 얇아지는 구조로 되어 있다. 이러한 구조를 택한 이유는 다음과 같다. 빛의 회절성질로 부터, 반도체 레이저의 FFP과 출사단면의 광모드 크기와는 반비례 관계가 유지된다. 출사단의 레이저의 광도파로의 두께와 폭을 작게하여 광모드 크기를 키우면, FFP은 좁아지게 된다. 그러나 활성층이 있는 영역의 광도파로의 면적이 줄어들면 레이저의 발진특성이 열화되기 때문이다.

### 2. 1.55 $\mu$ m DFB-LD와 광흡수변조기 집적 소자

DFB-LD와 같은 단일파장 반도체 레이저는 전류에 의해 광출

력을 변조할 시 단일파장으로 동작하기 때문에 대용량 기간 광통신 전송에 사용되어 왔다. 그러나 이러한 단일파장 레이저도 변조시에는 광출력 변화에 따라 발진파장이 변화하게 되며, 이를 동적파장천이(chirping)이라 한다.

이와 같이 반도체 레이저의 직접변조시 발생하는 동적파장천이 현상은 단일모드 광섬유의 분산 특성으로 인해 전송대역폭을 크게 제한하는 문제점이 있다. 1.55 $\mu$ m DFB-LD를 2.5Gbps로 직접변조하여 단일모드 광섬유를 통해 전송할 수 있는 전송거리는 약 40km로 제한된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 최근 장거리 대용량 광전송 시스템용 광원으로서 외부 변조기를 사용하는 경향이 증가하고 있다. 광흡수 변조기는 양자우물구조에서 얻어지는 전계광학 효과인 QCSE(quantum confine stark effect) [10]를 이용한다. 광흡수 변조기는 전압이 인가되지 않을 경우 입사되는 파장에 대하여 흡수가 거의 일어나지 않지만, 일정한 전압(역바이어스)이 인가된 경우에는 여기자에 의해 전송되는 광이 흡수하게 되어 전송되는 광 신호의 변조가 이루어 질 수 있다.

그림 7에 일반적인 DFB-LD

와 광흡수 변조기가 집적된 소자의 구조와 바이어스에 따른 출력 특성을 나타내었다[11]. DFB-LD는 DC동작을 하며, 광변조기에서 출사광은 고속변조된다. 이 소자는 선택 MOVPE(Selective Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 결정 성장 방법을 사용하면 1.55 $\mu\text{m}$  DFB-LD와 광흡수 변조기의 활성영역에 밴드갭이 서로 다른 물질을 한번의 성장으로 형성가능하며, 이로 인해 소자의 신뢰성의 향상 및 높은 광출력을 기대할 수 있어 각광을 받고 있다.

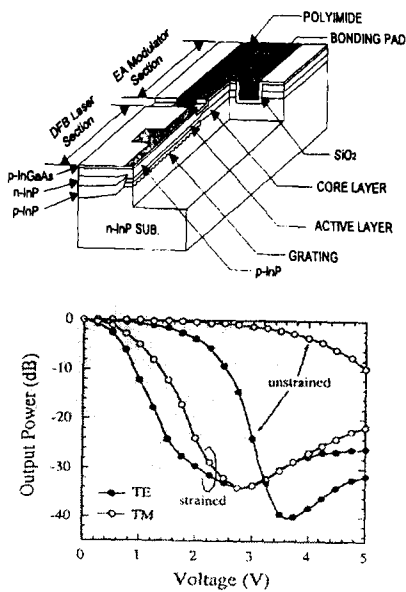


그림 7. DFB-LD와 EA-MOD가 집적화된 소자

### 3. 파장가변 레이저

파장가변 반도체 레이저는 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 이나 FDM (Frequency Division Multi-plexing) 시스템의 광원이나 local oscillator로서 각광을 받고 있다. 파장가변기술은 반도체 레이저 관련

기술중 가장 어려운 기술중의 하나라 할 수 있다. 그림8에 파장가변 DBR레이저 구조를 나타내었다. DBR레이저는 FP레이저의 반사경 대신에, 반사율에 파장의존성을 갖는 회절격자를 채용한 구조로 되어 있다. DBR레이저의 발진파장은 회절격자가 형성된 도파로에서의 Bragg파장  $\lambda_B$  ( $\lambda_B = 2 \mu \Lambda / m$ )으로 거의 정해진다. 따라서 회절격자의 Bragg파장  $\lambda_B$ 를 변화시키면 발진파장을 변화시킬 수 있다. DBR영역에 전류를 주입하면 광모드유효 굴절률  $\mu$ 가 변화하게 되어, 결국  $\lambda_B$  및 발진파장이 변화하게 된다[12]. DBR영역에서의 전류 주입만으로 발진파장을 변화시킬 경우, 발진파장이 불연속적으로 가변된다는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해서 활성영역과 회절격자영역 사이에 위상조절영역을 삽입한다. DBR영역과 위상조절영역에의 전류를 조절함으로써 주입함으로써 약 5-10nm정도의 연속적인 파장의 변화를 가능하게 하는 것으로 알려져 있다.

### 결론

1960년대 반도체 레이저의 태동 이래, 반도체 레이저 관련기술은 1970년대 횡모드 제어 기술 확립, 1980년대 단일파장 레이저 기본 구조 완성, 1990년대 파장가변 기술의 확립등으로 다소 느리게 발전되어 왔다. 이는 광도파, 캐리어 주입, 광과 캐리어의 상호작용 등이 복합적으로 발생하는 비선형소사이기 때문일 것이다. 반도체 레이저는 고신뢰성, 고성능, 다기능이 동시에 요구되는 광섬유 통신 광원으로서 핵심 부품이다. 본 기술해설에서는 광

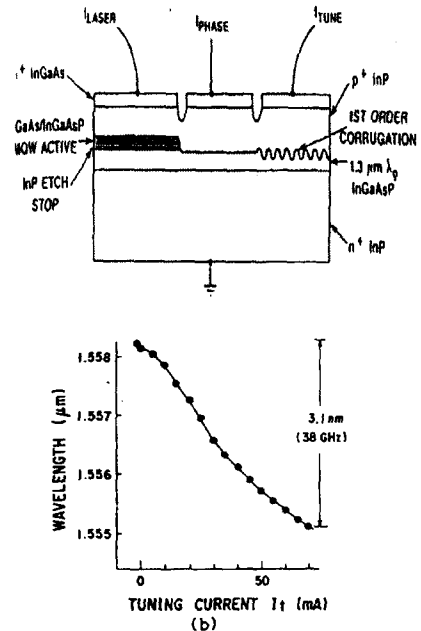


그림 8. 파장가변DBR laser 와 파장 변환특성

통신에 사용되는 반도체 레이저의 발진원리, 구조, 재료 및 제작 방법, 동작특성, 응용, 최신의 연구동향등에 대해서 간단히 소개하였다.

### 참고 문헌

- [1] H.C.Casey, Jr. and M.B. Panish, *Heterostructure lasers*, New York: Academic Press, 1978
- [2] Govind P. Agrawal and Niloy K. Dutta, *Semiconductor laser*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1986
- [3] Y. Suematsu and A.R. Adams, *Handbook of Semiconductor lasers and photonic integrated circuits*, Chapman & Hall, 1994

- [4] M.I.Nathan, W.P.Dumke, G. Burns, F.H.Dill, Jr., and G. Lasher, *Appl. Phys. Lett.* **1**,62(1962)
- [5] T.M.Quist, R.H.Rediker, R.J. Keyes, W.E.Krag, B.Lax, A.L.McWhorter, and H.J. Zeigler, *Appl. Phys. Lett.* **1**,91(1962)
- [6] M.G.A.Bernrd and G. Dura-ffourg, *Phys. Stat. Solidi* **1**,699 (1961)
- [7] K.Aiki, M.Nakamura, and J. Umeda, *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-12**, 597(1976)
- [8] F.K.Reinhart, R.A.Logan, and C.V. Shank, *Appl. Phys. Lett* **27** 45 (1975)
- [9] H. Kobayashi, M.Ekawa, N. Okazaki, O. Aoki, S. Ogita, and H. Soda, *IEEE Photon. Tech Lett.*, 1080 (1994)
- [10] D.A.Miller, D.S.Chemla, T. C. Damen, A.C.Gossard, W. Wiegmann, T.H.Wood and C.A. Burrus, *Phy. Rev.* **B**. 1043(1985)
- [11] T. Ido, H. Sano, D.J.Moss, S.Tanaka, and A. Takai, *IEEE Photon. Tech Lett.*, 1207(1994)
- [12] S. Murata, I. Mito, and K. Kobayashi, *Electron. Lett.*, **23**, 403(1987)

< 정영철 위원 >