

Fabry-Perot 공진기형 AlGaAs 반도체 레이저 증폭기의 이득특성

김도훈 · 권진혁

영남대학교 물리학과

단일 종모드로 동작하며, 10 mW의 출력을 가지는 AlGaAs반도체 레이저를 이용하여 Fabry-Perot 공진기형 레이저 증폭기 시스템을 구성하고 비포화 신호이득(unsaturated signal gain), 신호이득 대역폭(signal gain bandwidth), 포화출력(saturation power)을 측정하였다. 증폭기 레이저의 펌핑전류에 따른 비포화 신호 이득은 발진 문턱 전류 근처에서 0.7 μW의 레이저 출력을 증폭기 레이저에 입사시켰을 때 최대 25 dB을 얻었으며 이때 신호이득의 대역폭이 3 GHz정도임을 확인하였다. 또한 입력 세기(input power)에 따른 비포화 신호이득의 변화를 측정하고 이때의 포화출력을 측정하였다.

I. 서 론

결정성장 기술의 발달과 새로운 구조의 개발에 힘입어서 1980년대에 급격하게 개발된 GaAs계열과 InP계열의 반도체 레이저는 그장점들-소형, 간단한 전원장치, 긴수명, 고속변조응답성, 높은효율-때문에 앞으로 몇몇 분야에서 He-Ne 레이저와 같은 기존의 레이저들을 점차 대체할것으로 전망되며 또한 반도체 레이저 자체의 출력과 효율의 증대는 더많은 새로운 응용분야를 개척하고있다.^[1]

반도체 레이저의 몇몇 대표적인 응용분야를 보면 high data rate optical communication, beam-combining에 의한 고출력 반도체 레이저 시스템, Nd-YAG와 같은 다른 고체 레이저의 펌핑, 분광학, optical memory, 그리고 optical electronics등의 일반적인 광전자 산업용까지 그 용도가 매우 다양하다.^[2,4] 특히 이들 중에서도 현재 관심을 끌고있는 분야는 0.16 dB/km의 저손실을 갖는 석영광섬유 및 InGaAsP/InP레이저, InGaAs검출기의 개발로 말미암은 high data rate 광통신에서의 반도체 레이저 광증폭기로서의 응용인데 광통신에서 Er이 첨가된 광섬유 증폭기(Er-doped fiber amplifier : EDFA), Raman이득 광증폭기 등과 함께 다양한 연구가 진행되고 있다.^[5,6]

완전 광통신(all-optical communication) 시스템의 가능성을 시사하는 반도체 레이저 증폭기 (semiconductor laser amplifier: SLA)에 관한 연구는 최근에 들어와서야 비로소 시작 되었는데, 이는 반도체 레이저 증폭기가 가지는 특성 즉, 높은 이득, 넓은 주파수 대역폭, 그리고

단일모드의 도파관 구조로 인하여 단일모드 광섬유에 접속시에 낮은 접속손실등에 기인한다.^[7] 광통신 시스템에서 반도체 레이저 증폭기가 수신기의 광검출기 바로앞에 위치해서 전치증폭기(preamplifier)로 사용되는 경우에는 광섬유로부터의 직접적인 신호광의 수신에 비해서 최저수신신호의 출력레벨을 증가시켜 S/N비를 크게 향상시킬수 있으며 또한 SLA에 의한 직접적인 광증폭으로써 광증폭기(optical linear repeater)로 사용되어 digital regenerative repeater spacing을 크게 확장할 수 있다. 또한 반도체 레이저 증폭기는 optical circuit, optical switching, local area network등과 같은 시스템에서 삽입손실(insertion loss)이나 분기손실(branching loss)을 보상하는 광 증폭기(optical booster amplifier)로써 사용되어 광컴퓨터나 광신호처리 등에서 작은부피로 유용하게 사용되어질 전망이다.^[8,9]

반도체 레이저 증폭기는 크게 resonant type으로써의 Fabry-Perot형 증폭기(Fabry-Perot amplifier: FPA)와 non-resonant type으로써의 주행파증폭기(traveling wave amplifier: TWA)로 구분되어진다.^[10] FPA는 기존의 반도체 레이저를 문턱전류 바로 아래에서 동작 시킴으로써 비교적 간단하게 구성할 수 있고 Fabry-Perot 공진 조건 하에서는 큰 신호이득을 가진다. 그러나 수 GHz의 좁은 이득대역폭 때문에 입력신호와 Fabry-Perot공진모드 사이의 주파수를 일치 시키기가 까다롭다는 어려움이 있다. 반면에 TWA는 수THz의 이득대역폭을 가지므로 입력신호의 변동이나 증폭기의 온도변화에도 신호이득 특성이 비교적 안정하다는 장점을 가지나 반도체 레이저의 양단면을 무반사증착을 하여야 하므로

제작이 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 반도체 레이저 증폭기의 특성들을 조사 하였으며 먼저 TWA의 실험에 앞서서 비교적 구입이 손쉬운 기존의 반도체 레이저 다이오드를 이용하여 FPA를 구성하고 Febrly-Perot공진기형 반도체 레이저의 증폭기의 중요한 요소인 펌핑전류와 입력세기에 대한 신호이득의 의존성과 신호이득의 대역폭, 그리고 포화 출력을 실험으로 측정하였으며 Fabry-Perot관계식에 의 해서 해석을 하였다.

II. Fabry-Perot 관계식에 의한 해석

일반적인 Fabry-Perot 공진기형 증폭기에 대한 신호 이득 G_c 는 Fabry-Perot 관계식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼수가 있다.^[11-13]

$$G_c = \frac{P_{out}}{\eta \cdot P_{in}} = \left[\frac{(1 - \sqrt{R_1 R_2}) G_s}{(1 - R_1)(1 - R_2)} + \frac{4\sqrt{R_1 R_2}}{(1 - R_1)(1 - R_2)} \cdot \sin^2 \left(\frac{2\pi(v - v_0)L}{C_0} + \phi_N \right) \right]^1 \quad (1)$$

$$\phi_N = \frac{(\alpha \cdot g_0 \cdot L)}{2} \left[\frac{I}{I + I_s} \right] \quad (2)$$

여기서 P_{out} 과 P_{in} 는 각각 증폭기로의 레이저광의 입력과 출력이며, η 는 반도체 레이저의 경우 입력 레이저광과 증폭기 레이저 active layer와의 결합효율(coupling efficiency)을 나타낸다. 한편 G_s 는 single-pass gain 이며, v 는 레이저 증폭기에 입사하는 신호광의 주파수, v_0 는 Fabry-Perot 형태로 이루어진 반도체 레이저 증폭기의 공진주파수이고 R_1, R_2 는 각각 레이저의 출력거울과 반사거울의 반사율이다. 또한 L 은 증폭기의 길이이며 C_0 는 진공중에서의 광속을 나타내고 α 는 반도체 활성영역에서의 허수굴절율의 증가에따른 실수굴절율의 감소의 비로 정의되는 선폭확대계수(linewidth broadening coefficient), g_0 는 소신호이득계수(small signal gain coefficient), I 는 출력강도, I_s 는 포화출력강도를 각각 의미한다.

위의 (1)식에서 \sin^2 항이 바로 주파수의 어긋남과 활성영역에서의 주입된 carrier밀도에 의존하는 비선형 굴

절율에 의한 신호이득의 변화를 나타내는데, "Ostuka" 등의 논문에 의하면^[13] 결합효율을 고려한 입력세기 $\eta \cdot P_{in}$ 가 120 μW 이상일때 신호이득의 asymmetry한 특성이 나타난다고 알려져 있으나 본 연구에서는 입력세기를 10 μW 이하로 하였으므로 신호이득의 측정에서 ϕ_N 항을 고려치 않는다. 이때 입력신호가 공진기의 공진주파수와 완전히 일치하는 공진조건인 $v = v_0$ 일때와 입력신호광의 주파수가 공진기의 공진모드와 완전히 어긋나있는 비공진조건, $v = v_0 + (C_0/4L)$ 일때 증폭기로 부터 출력신호의 출력비는 단순히 위의 Fabry-Perot관계식에 의해서

$$V = \left\{ \frac{1 + \sqrt{R_1 R_2} G_s}{1 - \sqrt{R_1 R_2} G_s} \right\}^2 \quad (3)$$

로 주어진다. 공진, 비공진 조건일때 반도체 레이저증폭기의 출력비 V 를 실험적으로 측정하고 우리가 이미 알고있는 레이저 거울의 반사율과 증폭기의 길이, 광속 값을 위의 식들에 대입함으로써 single-pass gain G_s 와 신호이득 G_c 를 위의 식으로 부터 얻을수가 있다. 한편 Fabry-Perot형의 증폭기에서 신호이득 G_c 는 입사하는 신호의 주파수 v 에 의존하므로 신호이득곡선의 FWHP (full width half power)는 (1)식에 의해서 다음과같이 표현되어 질 수 있다.

$$2 \cdot \Delta v = \frac{C_0}{\pi L} \sin^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{(1 - R_1)(1 - R_2)}}{2(R_1 R_2)^{1/4}} G_c^{-1/2} \right\} \quad (4)$$

여기서 신호이득 G_c 는 공진조건이 만족 되었을때의 신호이득값을 나타낸다. 또한 (4)식에서 신호이득의 대역폭이 거울의 반사율 R_1, R_2 가 작을수록 넓어짐을 알수 있으므로 무반사 증착된 주행과 증폭기의 대역폭이 Fabry-Perot 공진기형태의 증폭기보다 더 넓음을 예측할 수 있다.

III. 실험 장치 및 방법

1. 주파수 안정화

반도체 레이저에서 증폭매질의 굴절율은 온도와 전하 밀도에 크게 의존하므로 먼저 반도체 레이저의 온도 안정화와 전류의 안정화가 무엇보다도 중요하다.^[14] 현재 반도체 레이저의 주파수 안정화를 위한 방법으로는 크게 반도체 레이저의 온도와 전류의 변화를 최소화 시켜서 주파수의 안정화를 꾀하는 수동적인 주파수 안정화 방

법과, 능동적인 방법으로써 레이저의 광의 주파수 변화를 탐지해서 레이저의 바이어스전류에 직접 제한 시키는 전기적 부궤환 (negative electrical feedback: NEF) 방법,^[15] 외부 기준 공진기를 이용하는 방법,^[16] 원자나 분자의 흡수선을 이용하여 주파수를 안정화 시키는 방법^[17] 등으로 구분되어진다. 본 실험에서는 여러 주파수 안정화 방법중에서도 그 방법이 다른 방법에 비해서 비교적 간편하고 다루기가 용이한 온도와 전류를 안정화 시켜서 주파수의 안정화를 도모 하였다.

반도체 레이저의 증폭기 실험을 위해서 제작한 레이저 다이오드의 온도와 전류를 조절하기위한 전체적인 장치의 개략도는 그림 1과 같다. 레이저 다이오드에 공급되는 전류는 0.1 mA 이하로 미세조절되며 thermoelectric cooler(TEC)를 레이저 다이오드방열판에 직접 부착하여 레이저의 온도를 조절하였다. 그림 2는 반도체 레이저의

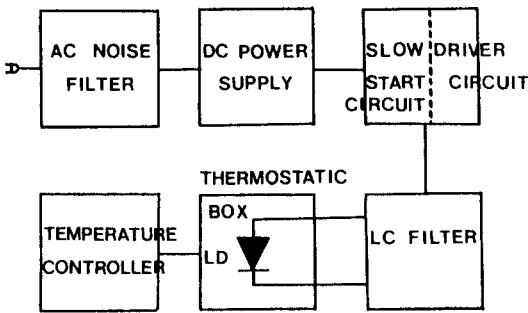


그림 1. 반도체 레이저 구동시스템의 개략도.

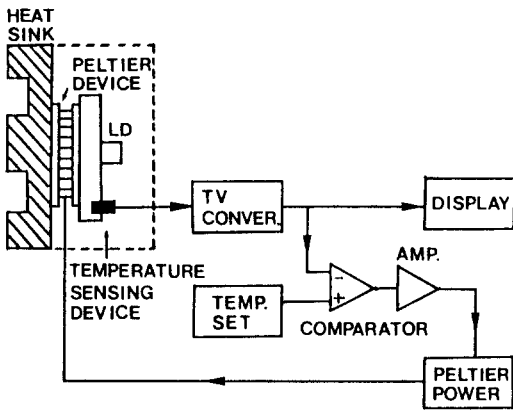


그림 2. 반도체 레이저 광파의 주파수 안정화를 위한 온도 조절장치의 개략도. 레이저 다이오드는 항온상자속에 위치하며 또한 Peltier소자에 부착되어 0.02℃범위 이내에서 온도가 미세하게 조절된다.

온도를 조절하기 위한 장치의 개략도를 좀더 세부적으로 보인다. 반도체 레이저의 온도를 TEC를 사용해서 최종적으로 0.02℃이하로 조절하며 레이저의 온도는 온도감지소자 AD590을 이용해서 온도를 전압으로 바꾸고 미리 설정한 온도와 비교해서 다시 TEC의 입력전류를 조절하게된다. 이때 이러한 온도범위내에서는 레이저의 주파수표류가 약 600 MHz로 예상되나 이는 FPA실험에서 증폭기의 신호이득 대역폭을 약 3 GHz로 취할때 신호이득의 측정에는 큰 영향을 끼치지 않음을 알 수 있고 실제의 실험에서도 확인하였다.

2. 신호이득측정 실험장치

FPA의 신호이득 특성을 측정하기위해 그림 3과 같은 장치를 꾸몄다. 발진기(oscillator)와 증폭기는 각각 정상동작시에 780 nm 파장근처에서 단일 종모드로 10 mW의 출력을 가지는 double heterostructure(DH)구조의 Hitachi, HL7802E의 동일한 레이저를 각각 사용하였으며 그림 4에 보이는 것처럼 발진기는 단일종모드로 동작하도록 하였다. 이때 발진기와 증폭기 레이저의 문턱전류는 각각 광출력/전류 curve(LI-curve)를 구하여 보편적으로 사용되는 linear fit 방법으로 실험적으로 정하였으며 레이저 방열판의 온도를 20℃를 고정하였을때 발진기와 증폭기의 문턱전류는 각각 44 mA, 44.5 mA 였다. 그림 4는 정상상태에서 단일종모드로 발진하는 발진기의 스펙트럼과 발진문턱 아래에서 동작하는 증폭기의 스펙트럼을 분광기와 PM-tube, recorder를 이용해서 그린 모습이다. 여기서 증폭기의 중심파장이 7849.5 Å으로써 발진기의 발진파장 근처에 있음을 보여 준다. 이때 증폭기에서의 공진조건을 만족시키기 위해서는 먼저 입력신호의 주파수는 고정시키고 TEC로 증

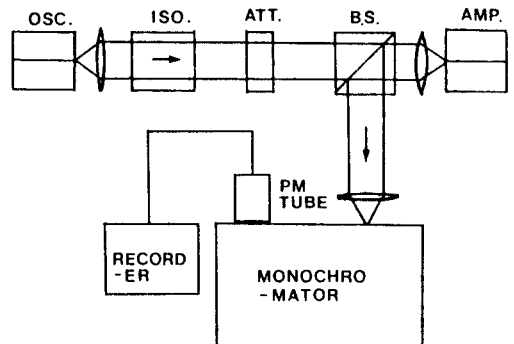


그림 3. 신호이득 측정을 위한 실험 장치도. 증폭기의 입사면으로 부터의 출력이 분광기로 입사된다.

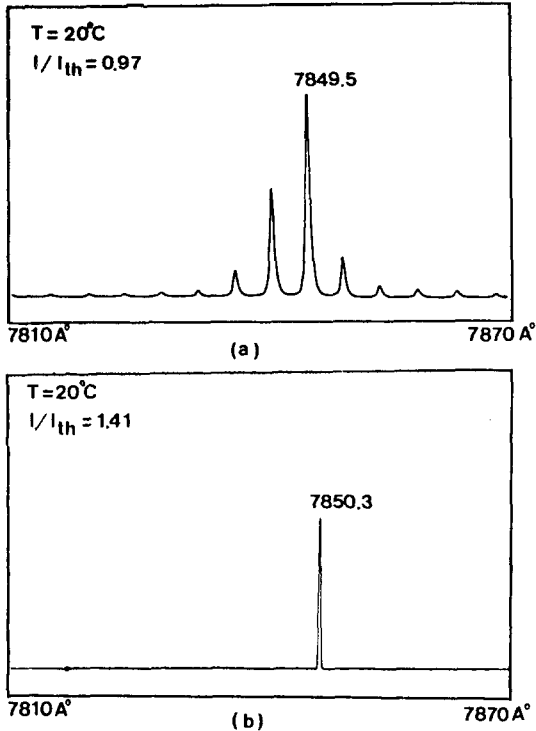


그림 4. 각각 독립적으로 동작하는 증폭기와 발진기의 스펙트럼모습.

폭기의 온도를 조절하여 증폭기의 공진주파수를 전체적으로 이동시켜 공진조건을 대략적으로 만족시키도록 하였고 또한 발진기의 주입전류를 미세조절하여 좀 더 세밀하게 증폭기의 공진조건을 만족시켰다.

그림 3과 같은 실험장치에서 발진기에서 나오는 단일종모드의 레이저광은 $\lambda/4$ plate 와 선편광자로 구성된 광분리기(optical isolator)를 거치고 입력 세기를 조절하기 위한 광 감쇄기(attenuator)를 통과하여 증폭기 레이저로 입사하게되고 다시 증폭기의 입사면으로 부터 나오는 증폭된 레이저광은 분광기로 입사하며 출구에서 PM-tube로 그 신호를 측정해서 기록하게된다. 또한 분광기의 출구에 PM-tube대신 CC-TV 카메라를 두고 증폭 시스템에서의 주파수의 어긋남을 직접 관측하였다.

그림 5는 입력 레이저의 주파수가 증폭기의 공진모드의 주파수와 일치하는 공진조건 일때의 분광기를 통해서 얻은 증폭된 출력신호의 스펙트럼과 완전 비공진 조건에서 신호의 스펙트럼의 모습이다. 특히 완전 비공진 조건일때 증폭기의 공진모드들 사이에서 증폭된 신호의 모습을 살펴볼 수 있다. 따라서 공진, 비공진조건일때의

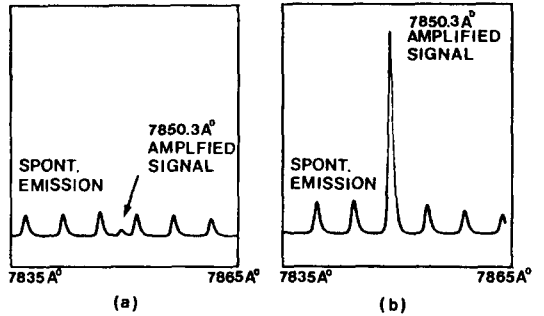


그림 5. 같은 입력세기일때 공진, 비공진 조건에 따른 증폭된 신호의 스펙트럼모습. (a)비공진조건, (b)공진조건을 나타낸다.

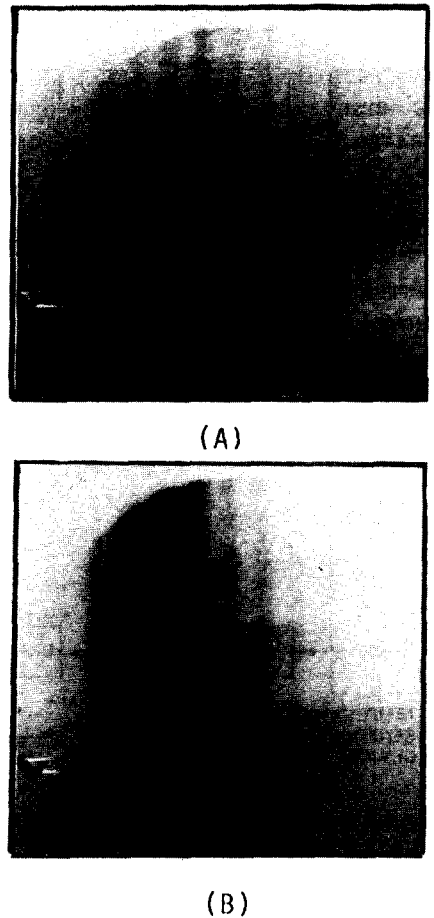


그림 6. 분광기의 출구에서 CC-TV 카메라와 TV monitor로 관측한 (a)비공진, (b)공진 조건에서의 증폭신호의 모습.

이러한 증폭신호의 스펙트럼의 강도를 비교함으로써 출력신호의 강도비를 측정할 수 있고 (1)식에 의해서 single-pass gain을 구하여 신호이득값을 측정하였다.

그림 6은 신호이득측정 실험에서 분광기의 출구에서 PM-tube대신 CC-TV 카메라로 관측한 레이저 스펙트럼을 TV-monitor에 나타난 모습이며 각각 (a)비공진, (b)공진조건일때에 발진모드의 모습을 볼 수 있다.

IV. 실험 결과

1. 신호이득 측정

그림 5에서와 같이 분광기를 통해서 측정된 공진, 비공진 조건일 때의 스펙트럼 강도비를 구하여 (3)식과 (1)식을 이용해서 신호이득 G_c 값을 얻었을때 입력신호의 세기와 규격화된 증폭기의 펌핑전류에 따른 신호이득 G_c 의 변화를 그림 7에 나타내었다. 이때 (1)식에서 신호이득 값은 증폭기 레이저의 양 단면의 반사율 R_1, R_2 를 각각, 0.32로두고 증폭기의 길이 L 을 실제 사용된 반도체 레이저의 활성영역의 길이 $300 \mu\text{m}$ 로 하여 계산하였다.

결과로써 그림 7에 나타난 것처럼 일정한 입력세기에서는 증폭기의 펌핑전류가 커짐에따라 신호이득이 증가하고 증폭기의 발진문턱전류 $I/I_{th}=1$ 근처에서 최대 값을 보이며 문턱전류를 넘어서면서 점차 신호이득값이 작아짐을 알 수 있다. 본 실험에서는 $0.7 \mu\text{W}$ 입력시 증폭기 레이저의 발진문턱전류 근처에서 고정된 입력 레

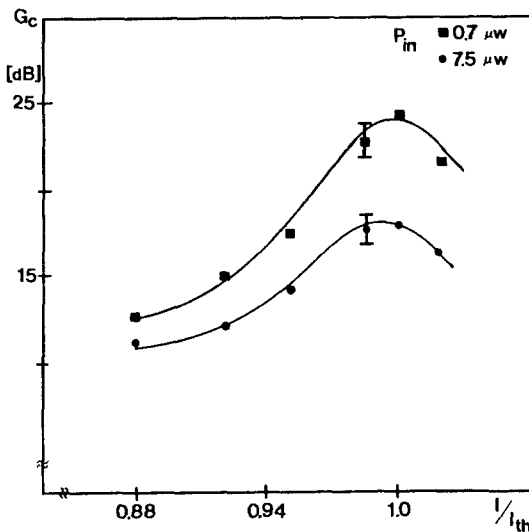


그림 7. 규격화된 증폭기 펌핑전류에 따른 비포화신호 이득.

이저의 파장 7850.3 \AA 에 대해 최대 25 dB의 신호이득값을 얻었으며 또한 증폭기의 동일한 펌핑전류에 대해서는 입력 세기가 작아질수록 신호이득이 커짐을 알 수 있었다. 또한 실험에서 입력신호의 크기는 증폭기 밖에서의 값을 power meter로 측정된 값이며 실제로 10% 정도의 결합효율¹⁾을 고려한 증폭기 레이저 활성영역 내에서의 입력신호의 세기 ($\eta \cdot P_m$)는 $0.07 \mu\text{W}$ 이하일것으로 예상된다.

2. 신호이득 대역폭

(1)식에서, Fabry-Perot 공진기형 증폭기의 신호이득 G_c 는 입력신호의 주파수 ν 와 증폭기의 공진주파수 ν_0 와의 차이 $\Delta \nu$ 에 의존하므로 이러한 주파수의 어긋남에 따른 G_c 의 변화를 측정하면 곧 신호이득의 대역폭을 측정할 수 있다. 따라서 실험에서는 발진기의 주파수를 고정시키고 증폭기의 온도를 변화시킴으로써 신호이득의 공진주파수 어긋남 의존성을 조사하였다. 이는 본 실험에서 사용한 증폭기 반도체 레이저의 온도변화당 주파수변화가 $32 \text{ GHz}/^\circ\text{C}$ 정도로 측정되었으므로 주파수의 어긋남은 증폭기의 온도변화를 주파수의 변화로 환산하여 0.05°C 의 간격으로 측정하였다. 이때 0.05°C 의 온도변화는 1.6 GHz 의 주파수변화로 환산되어지며 그림 8에 나타난것 처럼 증폭기의 발진문턱 전류 근처에서 신호이

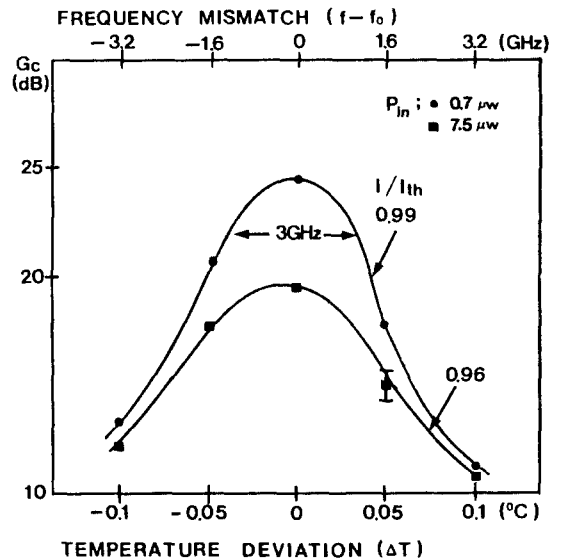


그림 8. 증폭기에서의 주파수어긋남에 따른 신호이득의 변화, $P_m=0.7 \mu\text{W}$, $I/I_{th}=0.99$ 일때 FWHM가 약 3 GHz 정도임을 알 수 있다.

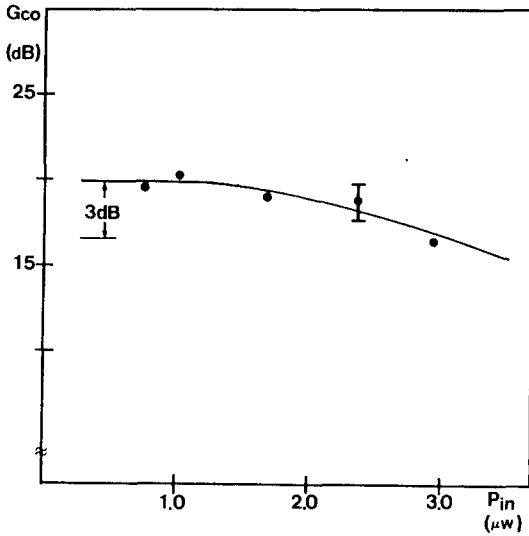


그림 9. 입력세기에 따른 비포화 신호이득의 변화, 0.7 μW 입력시 20 dB의 G_m 가 3 μW 일때 3 dB 감소함을 보인다.

득이 25 dB일때 신호이득이 3dB 감소하는 지점에서의 신호이득 대역폭은 약 3 GHz 정도로 측정된다.

이는 (4)식에서 신호이득이 25 dB이고 공진기의 길이를 300 μm 로 하여 계산한 신호이득대역폭이 2.5 GHz 정도 이므로 (4)식의 이론값과 일치함을 알 수 있다.

3. 포화 출력

그림 9는 레이저광의 입력 세기에 따른 비포화 신호이득 G_m 의 변화를 측정한 그래프이다. 동일한 펄핑전류 조건에서는 입력 세기가 증가함에 따라 비포화 신호이득 G_m 의 값이 점차 감소함을 보여주는데 입력 세기가 0.7 μW 일때의 20 dB의 비포화신호이득이 입력레이저의 세기가 3 μW 일때 3 dB 감소함을 측정할 수 있었다. 또한 이때 실제로 증폭기로부터의 포화 출력은 약 100 μW 정도에서 포화됨을 측정할 수 있었는데 이는 일반적으로 반도체 증폭기내에서의 증폭된 자연방출(amplified spontaneous emission: ASM)때문인 것으로 알려져있다.^[8]

V. 결 론

본 실험에서는 AlGaAs DH 반도체 레이저로 Fabry-Perot 공진기형 증폭기 시스템을 구성하여 증폭기 시스템의 특성을 결정하는 중요한 요소인 비포화 신호이득, 신호이득 대역폭, 포화출력을 실험적으로 측정하였으며

이를 Fabry-Perot 관계식에 의한 결과와 비교하였다.

증폭기 실험에서 비포화 신호이득은 0.7 μW 의 입력시 발진문턱전류 근처에서 최대 25 dB의 높은 신호이득을 얻었으며 이때의 신호이득 대역폭을 측정된 결과 약 2.5 GHz 정도임을 알 수 있었으므로 Fabry-Perot 관계식에 의한 결과와 거의 일치함을 알 수 있었다. 또한 증폭기의 입력 세기에 따른 비포화이득을 측정하였을때 0.7 μW 입력에서 20 dB의 비포화 신호이득이 3 μW 입력시에 3 dB 감소함을 알 수 있었고 이때 증폭기로부터의 출력은 100 μW 근처에서 포화됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Laser and Optronics, Jan. 37 (1989).
- [2] J. H. Kwon and J. H. Lee., "Far field beam pattern of one MW combined beam of laser diode array amplifiers for space power transmission," NASA TM101529, Dec., 1 (1988).
- [3] T. Y. Fan et al., "Diode laser-pumped solide-state lasers," IEEE J. of Quantum Electron, QE-24, 895 (1988).
- [4] J. C. Camparo, Contemp. Phys., 26, 443 (1985).
- [5] N. A. Olsson et al., Tech. Dig. Opt. Fiber Commun. Conf. (San Francisco, CA, 22-26, Jan. 1990) Post Deadline Paper PD4-1.
- [6] C. R. Giles and E. Desurvire et al., "Transient gain and talk in erbium-doped fiber amplifiers," Opt. Lett. 14, 880 (1989).
- [7] M. J. Adams et al., "Analysis of semiconductor laser optical amplifiers," IEE Proceedings, Vol. 132, Pt. J, No. 1, (1985).
- [8] J. C. Simon et al., "Semiconductor laser amplifier for single mode optical fiber communications," J. Opt. Commun., Vol. 4, 51 (1983).
- [9] T. Mukai et al., "S/N error rate performance in AlGaA semiconductor laser preamplifier and linear repeater systems," IEEE J. of Quantum electron, QE-18, 1560 (1982).
- [10] T. Mukai et al., "Gain, frequency bandwidth, and saturation output power of AlGaAs DH laser amplifier," IEEE J. of Quantum Electron, QE-17, 1028 (1981).
- [11] D. Ross, Lasers: Light amplifiers and Osciffators, New York, Academic, (1969).
- [12] Y. Yamamoto et al., "Characteristics of AlGaAs Fabry-Perot cavity type laser amplifier, IEEE J. of Qutuam Electron, QE-16, 1047 (1980).

- [13] K. Otsuka and S. Kobayashi, "Optical bistability and nonlinear resonance in a resonant-type semiconductor laser amplifier," *Electron. Lett.*, Vol 19, NO. 7, 263 (1983).
- [14] H. C. Casey and M. B. Panish, *Heterostructure Lasers*, New York Academic, (1978).
- [15] K. Kuboki and M. Ohtsu, "A synthesized method to improve coherence in semiconductor lasers by electrical feedback," *IEEE J. of Quantum Electron*, QE-21, 1905 (1985).
- [16] D. Dahmani and L. Hollberg, "Frequency stabilization of semiconductor lasers by resonant optical feedback," *Optics Lett.* **12**, 876 (1987).
- [17] H. Tsuchida and M. Ohtsu et al., "Frequency stabilization of AlGaAs semiconductor laser based on the Rb-D₂ line," *Jap. J. Appl. Phys* **21**, 561 (1987).
- [18] H. Kawaguchi, "Multiple bistability and multistability in a Fabry-Perot laser diode amplifier," *IEEE J. of Quantum Electron*, QE-23, 1429 (1987).
- [19] L. Thylen, "Amplified spontaneous emission and gain characteristics of Fabry-Perot and traveling wave type semiconductor laser amplifiers," *IEEE J. of Quantum Electron*, QE-24, 1532 (1988).

Gain Characteristics of Fabry-Perot Type AlGaAs Semiconductor Laser Amplifier

Do Hoon Kim and Jin Hyuk Kwon

Department of Physics, Yeungnam University, Gyongsan 713-749

The unsaturated signal gain, signal gain bandwidth, and saturation power which are important parameters determining characteristics of the semiconductor laser amplifier were measured for an AlGaAs Fabry-Perot cavity type laser amplifier and compared with the results of Fabry-Perot formula. The unsaturated signal gain 25 dB is obtained near oscillation threshold current at 0.7 μ W input power. The corresponding signal gain bandwidth was about 3 GHz. Also, We measured the variation of the saturation signal gain and saturation power.