

## Littman형 파장가변 다이오드 레이저 시스템의 설계 · 제작 및 성능평가

조재현 · 박준구 · 백은식<sup>†</sup>

경희대학교 전자정보학부 전자공학전공

Ⓣ 449-701 경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지

(2000년 10월 5일 받음, 2001년 6월 23일 수정본 받음)

상용 반도체 레이저 다이오드에 Littman형 외부공진기를 결합하여 파장가변 레이저 다이오드 시스템을 제작하였다. 0차 출력광은 단일 종모드로 동작하며 CFP의 분해능인 9 MHz이내의 선폭을 예상할 수 있었으며, 다이오드 구동전류 140 mA 및 동작온도 25°C의 조건하에서 거울을 수동나사로 회전시키는 성긴 튜닝(coarse tuning)시 3.475 nm의 파장가변 범위를 보였으며, PZT(piezoelectric transducer)에 200 Hz의 톱니파 전압을 인가해서 거울을 회전시키는 미세 튜닝(fine tuning)시 0.042 nm의 범위내에서 연속적인 파장가변이 가능하였다.

분류코드 : LO.060, OE.050.

### I. 서 론

출력파장을 가변시킬 수 있는 광원은 순수과학, 공학 및 산업현장에서 광범위하게 응용되고 있다. 최초의 광대역 파장가변 레이저인 염료(dye) 레이저의 경우, 분광학, 광화학, 원격탐지, 의료등의 분야에서 널리 사용되고 있다.<sup>[1]</sup> 최근에는 초대용량 광메모리 구현의 접근방법으로 홀버닝 메커니즘이 검토되면서, 이 메커니즘을 활용하는 홀버닝 광메모리 시스템의 광원으로서, 파장가변 외부공진기 반도체 다이오드 레이저 시스템이 부각되고 있다.<sup>[2]</sup>

여기에서 소개되는 가변파장 다이오드 레이저 시스템은 홀버닝 광메모리 관련 연구에 필수적인 홀버닝 광메모리용 가변파장 광원으로서 그 응용을 목표로 하여 제작되었으며 이러한 용도에 따라 가변파장 범위 및 파장가변 속도 그리고 안정적인 동작구간 등을 결정하였음을 밝힌다.

일반적인 반도체 다이오드 레이저는 크기가 작고 사용하기가 간편한 장점이 있는 반면, 광자 공동 수명(photon cavity lifetime)이 짧기 때문에 선폭이 넓고 다중모드로 동작하며 단일파장을 출력하므로, 그 응용에 제한이 따른다. 반면, 파장가변 외부공진기 다이오드 레이저(External-Cavity Diode Laser; ECDL)시스템은 단일 반도체 레이저 다이오드와 파장선택 필터, 외부거울, 거울의 반사각을 가변시키는 PZT등이 포함된 외부공진기가 결합되어, 레이저 다이오드의 출력빔을 반도체 레이저 공진기내의 이득매질로 궤환(feedback)시킴으로써 레이저 출력빔의 파장을 특정범위로 가변시키는 광원으로서, 그 구성방법이 간단하고 출력파장의 안정화가 용이하며, 선폭이 매우 좁은 특성이 있다. DFB(Distributed FeedBack)나 DBR(Distributed Bragg Reflector) 레이저와 같은 단일칩 레이저도 넓은 범위의 파장가변이 가능하지만, 외부공진기 레이저에 비

해 선폭이 100배~1000배 가량 넓은 단점이 있다. 본 논문에서는 상용 반도체 다이오드 레이저로부터의 출력광을 회절격자에서 회절시켜 1차 회절광을 외부거울로 궤환시키는 Littman형 외부공진기를 도입하였다. Littman형 파장가변 다이오드 레이저 시스템은 공진기의 주파수가 튜닝될 때 출력빔의 방향이 움직이지 않기 때문에 양호한 지향성을 가지고 있고, 단순하고 견고하며 특수 코팅이나 다른 추가적인 작업 없이 상용 다이오드 레이저를 사용할 수 있으며 단일 다이오드 레이저에 비해 광궤환에 덜 민감하고, 훨씬 좁은 선폭을 가지고 있다. 또한 초저온상태(8 K)의 홀버닝용 매질(Tm<sup>3+</sup> : YAG)의 inhomogeneous 선폭(0.03 nm)보다 넓은 0.04 nm이상의 범위에서 연속적인 파장가변이 가능하다

본 논문의 구성은, 우선 2절에서 파장가변 외부공진기 다이오드 레이저 시스템의 동작원리와 설계 예를 제시하고 3장에서는 설계 제작된 파장가변 레이저 시스템의 구동전류 및 온도, 외부공진기의 길이에 따른 파장가변 특성과 PZT 구동에 의한 파장가변, 그리고 선폭축소 효과등의 실험 결과들을 논의하고, 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

### II. 파장가변 외부공진기 다이오드 레이저 시스템

반도체 레이저 다이오드 출력광의 파장을 가변시킬 수 있는 외부공진기 다이오드 레이저(External-Cavity Diode Laser; ECDL) 시스템은 단일 반도체 레이저 다이오드에 파장선택 필터, 외부거울, PZT등으로 구성된 외부공진기를 결합시킴으로써, 레이저 출력빔의 파장을 특정범위로 가변시키는 파장가변 광원으로서, 그 구조가 간단하고 주파수 안정화가 비교적 용이하며 일정한 범위 내에서의 안정적인 튜닝이 가능한 장점을 가지고 있다. 본 절에서는 이 파장가변 외부공진기 다이오드 레이저 시스템의 동작원리를 간략히 기술하고, 시스템 설계 예를 제시한다.

<sup>†</sup>E-mail: wsbaek@khu.ac.kr

**2.1 Littman형 파장가변 다이오드 레이저 시스템의 동작원리**

레이저 다이오드를 이용한 파장가변 기술 중 가장 널리 이용되고 있는 방법인 회절격자를 이용하는 방법으로는 Littrow형과 Littman형이 대표적인데, 그 중 Littrow형은 회절격자의 1차 회절광을 직접 다이오드 레이저에 케환시키고 출력광으로 0차 회절광을 이용하는 것으로 파장가변시 회절격자의 회전에 의해 출력광의 방향이 바뀌는 단점을 가지고 있다. 반면, Littman형은 1차 회절된 광을 외부거울을 이용하여 회절격자에 의해 다시 한번 회절되게 함으로써 회절격자를 두 번 사용한다. 출력광은 Littrow형과 마찬가지로 회절격자의 0차 회절광이 된다. 이는 파장가변이 거울에 의해서 이루어지므로 광의 경로가 바뀌지 않는 장점을 가지고 있다. 아래 그림 1은 Littman형 외부공진기 다이오드 레이저 시스템의 구조이다.

Littman형 외부공진기는 상용 반도체 레이저 다이오드, 레이저 다이오드로부터 나오는 빔을 평행빔으로 만들기 위한 비구면 렌즈(biaspheric plastic lens), 반사형 홀로그래픽 회절격자, 1차 회절광을 다이오드로 케환시키기 위한 광케환용 거울등으로 구성된다. 이 시스템의 동작 원리는 레이저 다이오드에서 나온 빔을 비구면렌즈를 통과시켜 평행빔으로 만든 후, 이 평행빔이 회절격자에 입사하여 0차 광과 1차 회절광으로 각각 나뉜다. 이 때 1차 회절빔의 경로상에 광케환용 거울을 설치하여 이 빔이 다시 회절격자를 지나 다이오드로 되돌아가도록 만들어 결국 이 케환빔에 의하여 발진 파장이 변하도록 하는 것이다. 격자(grating) 공식으로부터 유도되는 외부공진기의 0차 출력 파장은 다음과 같다.<sup>[1]</sup>

$$\lambda = \frac{d}{m} (\sin \alpha + \sin \beta) \tag{1}$$

여기서,  $d$ 는 격자의 간격,  $m$ 은 회절차수이다. 또한, 회절격자에 의한 외부공진기의 단일통과(single-pass) 선폭은 다음의 Schawlow-Townes의 공식에 의해 주어진다.<sup>[4]</sup>

$$\Delta\lambda_G = \frac{dw_1}{mf} \cos \alpha \tag{2}$$

여기서,  $w_1$ 은 다이오드 레이저의 beam waist 이고,  $f$ 는 집속(collimating) 렌즈의 초점 거리이다. 위 식은 회절격자의 통과대역(passband)를 나타낸다. 격자의 회절효율을 높이기 위한 방법에는 두 가지가 있는데 그 중 하나는 다이오드 레이저에

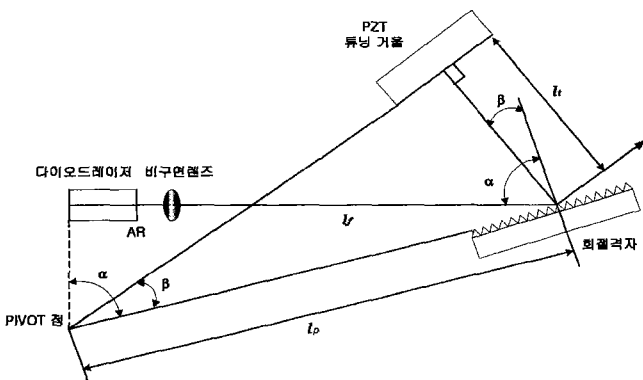


그림 1. Littman형 외부 공진기 시스템의 구조.

서 나오는 빔을 회절격자에 거의 수평하게 입사(grazing-incidence)시키는 것이고, 다른 하나는 다이오드 레이저는 거의 선편광되어 있으므로 이 편광방향과 회절격자의 회절무늬 사이의 각도를 조절하는 것이다. 빔을 회절격자에 거의 수평하게 입사시키면 빔 자체가 회절격자에 닿는 면적의 커져서 groove 수가 많은 회절격자를 사용한 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 따라서 빔을 거의 수평으로 입사시키면 작은 회절격자라도 분산이 증가되어 파장 선택성이 향상된다. 결과적인 출력파장은 식 (1)과 외부공진기 기본공식인 식 (3)에 의해서 결정되어진다.<sup>[3,5,6]</sup>

$$\lambda = \frac{2}{N} L(\beta) = \frac{2}{N} [l_f + l_r(\beta)] \tag{3}$$

여기서,  $L(\beta) = l_f + l_r(\beta) = l_f + l_p \sin \beta$ 이다. 식 (1)은 회절격자 공식이고, 식 (3)은 공진기 기본식이다. 여기서,  $N$ 은 모드수,  $L$ 은 전체 외부공진기의 길이를 나타낸다. 식 (1), (3)을 이용하면 다음 식이 유도된다.

$$\frac{2}{N} l_f = \frac{d}{m} \sin \alpha = \frac{2}{N} l_p = \frac{d}{m} \tag{4}$$

빔이 회절격자에 거의 평행하게 입사하면,  $\sin \alpha \approx 1$  이고, 이 때  $l_f = l_p$ 로 놓을 수 있다. 이로부터 모드수와, 이 외부공진기의 전체 파장 가변범위를 계산할 수 있다. 또한, 공진기의 길이를 반파장의 정수 배로 유지하면 모드 홉핑(mode hopping) 없이 파장을 연속적으로 스위칭할 수 있다.

**2.2 Littman형 가변파장 다이오드 레이저 시스템의 구성**

아래 사진 1은 본 연구실에서 제작한 Littman형 가변파장 다이오드 레이저 시스템을 보이고 있다. 본 시스템은 25°C에서 788.499 nm의 파장을 발진하고 종모드 간격이 0.31 nm인 GaAlAs 다이오드 레이저(Sharp LT024MD0)로 제작되었다. 다이오드 레이저에서 나오는 빔을 평행빔으로 만들기 위해 사용한 비구면 렌즈는 초점거리가 4.5 mm이며, NA(Numerical Aperture)는 0.4이다. 비구면 렌즈를 지나서 평행하게 된 빔은 1800 line/mm의 반사형 홀로그래픽 회절격자(American Holographic, no. 135.1800)에 입사하게 된다. 평행빔은 회절격자에서 0차(0-th order)와 1차(1-st order) 회절빔으로 나누어진다. 이때 입사각 즉,  $\alpha \approx 80^\circ$ 를 유지하였고, 외부공진기의 길이는  $\approx 10$  cm로 이는 종모드 간격 1.5 GHz에 해당한다. 외부공진기의 길이를  $\approx 20$  cm로 늘릴 경우는 종모드 간격이 0.75 GHz가 된다.

외부공진기의 모든 구성요소들은 외부 진동이나 음향에 대한 발진주파수의 반응을 최소화하기 위하여 동판(brass) 위에 설치하고 에폭시로 고정하였다. Littman형 가변파장 다이오드 레이저 시스템 설계에 있어 중요한 점은 정확한 피봇 점(pivot point)을 잡은 후, 이를 중심으로 거울을 회전시켜 파장을 변화시켜야 하며, 또한 광케환용 회전거울에 의해 반사되는 빔이 정확히 다이오드 레이저 안의 이득매질로 들어가도록 정렬을 잘 맞추는 것이다. 이를 위하여 광케환용 거울과 회절격자를 x, y, z축을 갖는 마운트(mount) 위에 설치하였고, 이를 적

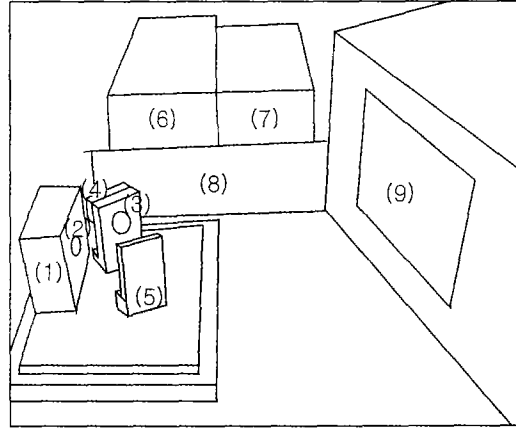
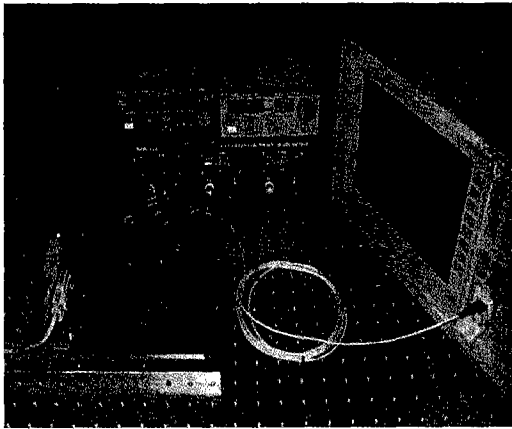


사진 1. Littman형 가변파장 다이오드레이저 시스템. (1) 다이오드레이저 (2) 비구면 렌즈 (3) 외부거울 (4) PZT (5) 회절격자 (6) 온도제어기 (7) 전류원 (8) PZT컨트롤러 (9) 광 스펙트럼 분석기.

외선 카메라(IR viewer)로 확인하였다. 1차 회절빔의 경로상에 있는 회전거울에 PZT(Piezoelectric Transducer)를 부착하여 이 거울을 미세회전시킴으로서 가변파장실험을 수행하였다. PZT에 인가되는 전압은 0 V에서 145 V까지의 전압으로, 톱니 파의 형태로 인가되며 PZT로 인하여 피봇 포인트 중심으로 회전하는 거울의 회전각은 0.0073°로서 이것을 파장 튜닝범위로 환산하면 약 0.061 nm(≈ 30 GHz)가 된다.

### III. 실험결과 및 성능평가

본 논문에서 소개하는 Littman형 가변파장 레이저 다이오드는 홀버닝 광메모리 시스템을 위한 광원으로의 사용을 목적으로 하고 있다. 따라서 홀버닝용 매질의 흡수대역을 파악 후, 그 중심파장에서 약 0.04 nm의 미세튜닝이 가능하도록 최적화 되어야 했다. 이를 위하여 Sharp사의 LT024MD0에 구동전류 튜닝과 온도튜닝을 통해 원하는 중심파장 근처로 이동 후 외부공진기의 성긴튜닝(coarse tuning)을 병행하여 중심파장에 정확히 일치시킨다. 따라서 구동전류 및 다이오드의 온도변화에 따른 특성을 조사하여 호핑이 없는 안정적인 구간에서 공진기를 구성해야 했으며 또한 공진기의 길이에 따른 파장가변 범위도 고려의 대상이 되었다.

#### 3.1. 레이저 다이오드 구동전류 및 동작온도에 따른 파장가변 특성

반도체 레이저 다이오드 LT024MD0(SHARP)사는 구동전류를 변화시킴으로써 파장가변이 가능하며, 이것은 캐리어 농도의 변화에 의한 굴절률의 변화에 기인한다.

아래 그림 2에 외부공진기 파장가변 레이저 다이오드 시스템의 전류변화에 따른 출력파장의 측정값을 보이고 있다. 이 실험에서 온도는 25°C로 고정되었으며 3회 반복 측정하였다. 이때 126 mA~127 mA 구간에서 관찰된 호핑은 본 다이오드 레이저의 특성에서 기인한다. 실제 가변파장 다이오드레이저에서는 호핑된 구간 외의 선형적인 특성을 갖는 구간을 이용 하였으며, 이 구간 내에서의 구동전류에 의한 파장 변화폭은

0.12 nm 정도이다.

다이오드 동작온도에 따른 레이저 다이오드 시스템의 파장 변화는 온도가 변화함에 따른 매질이득이 변화하기 때문이다. 아래 그림 3은 온도에 따른 파장변화의 측정값이다. 이 실험에서 다이오드 구동전류는 120 mA로 고정하였다. LT024MD0 (SHARP 社)

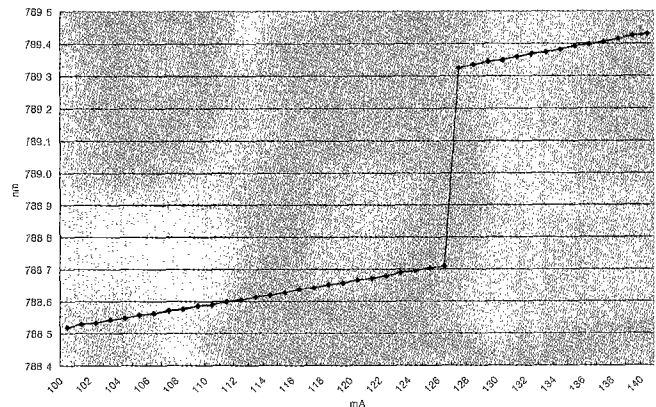


그림 2. 다이오드 구동전류 변화(100~140 mA)에 따른 파장변화.

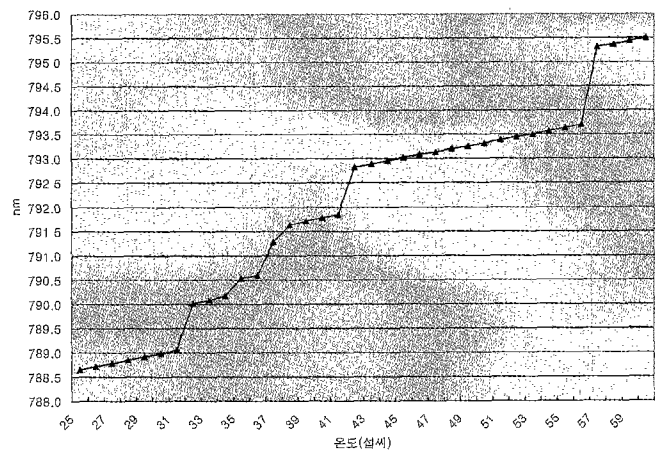


그림 3. 다이오드 동작온도(25~60°C)에 따른 파장가변.

그림 3에서 동작온도의 변화에 따른 파장의 변화는 지수함수의 형태로 변화하여야 하나 각각 32°, 42°, 57°C에서 호핑이 관찰되었다. 일반적으로 이러한 호핑들은 상용의 다이오드 레이저가 나타내는 특성곡선의 일부이며 원인은 동작온도의 변화에 따라 gain curve shift되면서 발진되는 모드가 달라지기 때문이다. 그림 3을 보면 43~56°C에서는 안정적인 구간이 0.8 nm 정도로 나타난다. 동작온도 변화에 따른 파장변화 구간은 구동전류 변화에 의한 것 보다 안정화되어 있지 못한데, 그림에도 불구하고 동작온도에 대해 안정화되어 있는 구간을 이용하는 이유는 구동전류가 안정화 구간에 있더라도 동작온도가 모드호핑 발생구간에 위치할 경우 미세한 환경변화에도 급격한 파장변화를 초래할 수 있기 때문이다.

3.2. 공진기의 길이에 따른 파장 가변범위의 변화

외부공진기의 길이증가에 따른 파장의 가변 범위(tuning range)는 공진기 길이에 반비례한다.<sup>[7]</sup> 외부공진기의 길이 변화에 따른 파장 가변범위를 측정하였다. 본 실험에서는, 파장 가변을 외부공진기의 거울을 수동나사로 회전시키는 성긴 튜닝(coarse tuning)과 PZT 전압인가에 의한 미세튜닝(fine tuning)을 실시하였으며, 외부공진기의 길이는 각각 10 cm와 20 cm로 구성하여, 실험결과를 비교하였다. 표 1은 외부공진기의 길이에 따른 파장 변화에 관한 실험결과이다. 같은 실험을 중심파장이 784.129 nm인 레이저 다이오드(Thorlabs. Co., HL7851G)를 채용한 경우에도 수행하였다.

위의 실험결과, 외부 공진기의 길이가 두 배로 늘어남에 따라, 파장가변 범위는 거의 반으로 줄어들음을 알 수 있다. 따라서, 연속적 파장 튜닝범위를 크게 하기 위해서는 외부공진기의 길이를 최소화하여 설계하는 것이 바람직하다. 또한, 파장 튜닝범위가 외부거울 반사계수의 제곱근에 비례한다는 사실이 발표된 바 있다.<sup>[7,8]</sup> 그러므로, 외부공진기를 이용한 파장가변 다이오드 레이저 시스템의 설계에 있어서, 얻고자 하는 최대 파장범위를 결정한 후, 외부공진기 길이와 거울의 반사계수를 최적화하여 설계하는 것이 중요하다. 본 실험에서는 공진기 길이 10 cm로 결정하여 최종적으로 가변파장 외부공진기를 구성하였다.

3.3. PZT구동에 의한 파장가변

구동전류에 의한 튜닝, 그리고 다이오드의 온도에 의한 튜닝을 통해 호핑이 없는 안정적인 구간에서 거울이 있는 마운트의 나사를 돌리는 성긴튜닝(coarse tuning)을 하여 원하는 중심파장을 결정한 후에 PZT를 구동하여 미세튜닝(fine tuning)을 하여 빠른 주파수 스위칭을 행하였다.

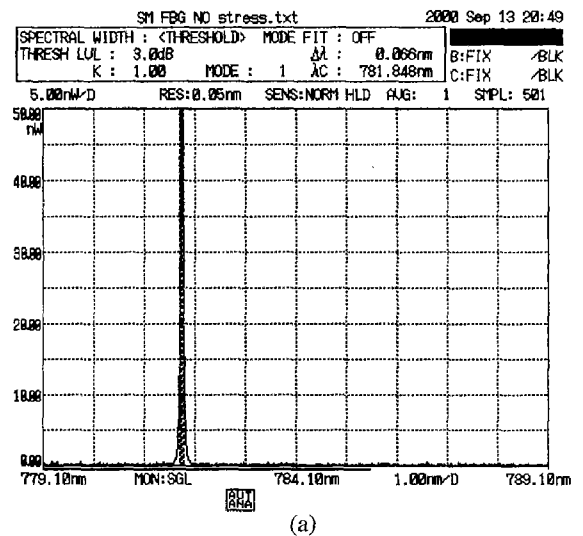
3.3.1 성긴 튜닝(coarse tuning)

외부공진기의 길이를 10 cm로 구성하고, 25°C의 동작온도에

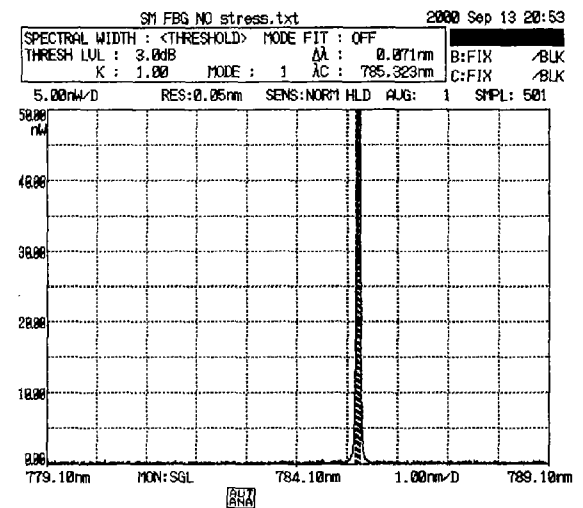
서 성긴 튜닝을 수행한 결과, 전체 파장가변 범위는 약 3.475 nm로 측정되었다. 외부공진기의 거울을 수동나사로 회전시키는 성긴 튜닝은 수동나사 1회 회전시, 회절격자의 1차 회절빔을 케환시키기위한 외부거울을 약 0.4° 회전시킨다. 이 실험결과는 식 (1)과 회절격자공식 즉, 식 (3)의 조합에 의해 계산한 이론값 3.455 nm와 일치하였다. 물론, 외부공진기의 길이를 더 짧게 설계하면 더 넓은 범위의 파장가변 범위를 얻을 수 있다. 다음 그림 4는 파장가변의 측정값을 보이고 있다.

3.3.2 미세 튜닝(fine tuning)

본 파장가변 다이오드 레이저 시스템의 미세 튜닝은 외부공진기의 거울에 부착된 PZT에 전압을 인가해서 거울을 회전시킴으로써 미세한 파장의 변화를 일으키는 것이다. PZT 전압인가에 의한 거울의 회전은 상당히 미세한 정도이며, 0 V에서 145 V까지 전압을 변화시켰을 때, 원래의 각도에서 0.0073°만큼 회전한다. 실제로, 본 실험에서는 PZT에 인가되는 전압으



(a)



(b)

그림 4. 성긴 튜닝(coarse tuning)시 (a) 최소파장과 (b) 최대파장이 실험에서 다이오드 동작온도는 25°C, 구동전류는 140 mA로 고정하였다.

표 1. 외부공진기 길이변화에 따른 최대 파장가변 범위

레이저 다이오드	Sharp. Co.	Thorlabs. Co.,
외부 공진기 길이	LT024MD0	HL7851G
10 cm	3.475 nm	3.218 nm
20 cm	1.615 nm	1.527 nm

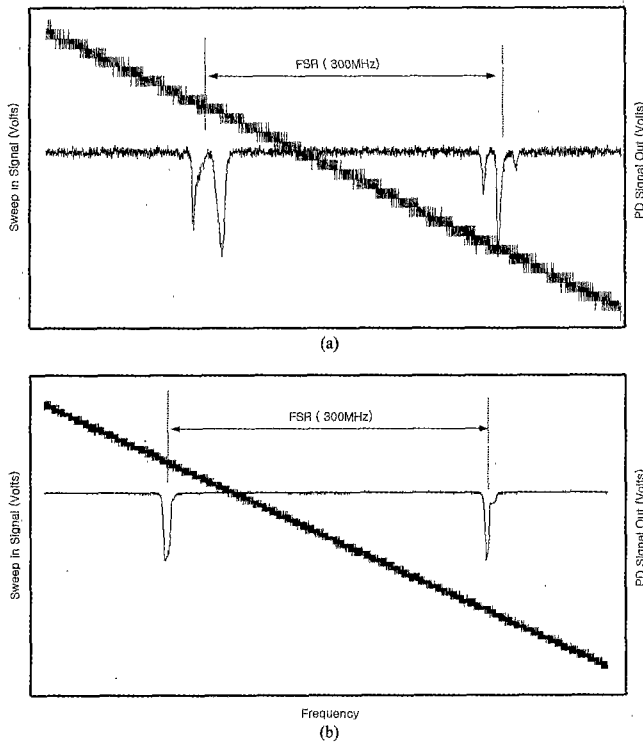


그림 5. (a) 단일 다이오드 레이저 및 (b) Littman형 외부공진기 다이오드 레이저 시스템 출력광의 선폭 측정.

로 톱니파와 같은 램프함수가 반복되는 주기파형을 선택하였다. 이는 결과적으로 레이저 출력 파장(혹은 주파수)의 주기적인 가변을 가능하게 하며, 스위핑(sweeping)되는 파장가변의 속도는 톱니파를 발생시키는 신호발생기(function generator)의 주파수에 의해 결정된다. 즉, 신호발생기의 주파수를 높이면, 파장가변의 스위핑속도를 빠르게 할 수 있다. 그러나, 본 실험에서 사용한 광스펙트럼 분석기(ANDO, AQ-6315B)의 스캐닝 속도가 0.5초이기 때문에, 스위핑되는 도중의 각각의 출력파장값은 측정할 수 없었다. 반면, PZT에 인가되는 톱니파의 주파수를 약 1.85 Hz로 비교적 낮게 설정하였을 때, 파장가변의 정도는 광스펙트럼 분석기의 분해능(0.001 nm)까지 측정할 수 있었다. 따라서, PZT에 인가되는 전압에 의해 0.001 nm 단위로 원하는 파장을 선택적으로 채택할 수 있다. 요약하면, 미세 튜닝의 경우, PZT에 인가되는 전압을 0 V<sub>min</sub>에서 145 V<sub>max</sub>까지 변화시켰을 때, 레이저 출력파장의 가변범위는 약 0.042 nm로 측정되었다. 또한, 전압을 0 V~145 V내의 어느 특정값에 고정시키면, 그 전압값에 해당하는 출력파장을 생성시킬 수 있었다. 파장가변속도를 제어하고 있는 신호발생기의 주파수를 1.85 Hz에서 200 Hz까지 변화시켜가며, 파장가변실험을 수행하였다.

3.4. 선폭축소

Littman형 외부공진기를 채택하면, 주파수영역에서의 선폭의 축소가 일어나고 또한, 단일 모드(single mode)의 선택이 가능해진다. 본 논문에서 설계 제작한 외부공진기 다이오드 레이저 시스템의 선폭을 측정하기 위해 CFP(Confocal Fabry-

Perot) 에탈론을 이용하였다. 본 실험에서 사용한 CFP의 자유 대역폭(Free Spectral Range; FSR)은 300 MHz이었고, CFP를 이용하여 외부공진기를 결합하지 않은 단일 레이저 다이오드의 선폭을 측정된 결과, 그림 5(a)에 보인 것과 같은 결과를 얻었다. 이 그림을 보면, 단일 레이저 다이오드의 스펙트럼은 다중모드로 발진하고 있음을 알 수 있다. Littman형 외부공진기를 구성하여 같은 조건으로 측정을 반복하였을 때, 그림 5(b)와 같이 0차(0-th order)로 출력되는 빛은 단일모드로 동작하고 있음을 관찰할 수 있었다. Littman형 외부공진기의 선폭은 약 9 MHz이므로 본 CFP 간섭계의 분해능 한계(≈9 MHz)를 고려하면 9MHz 이내의 선폭을 가지고 있음을 예측할 수 있다. 결과적으로, 본 Littman형 외부공진기는 안정한 파장가변이 가능하며 CFP의 분해능의 한계를 고려할 때 선폭축소가 가능함을 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 고분해능의 CFP를 이용하여 측정된 Littman형 외부공진기의 선폭은 10 kHz 미만으로 보고된 바 있다.<sup>[5,9]</sup> 본 연구에서도 분해능이 1 MHz 이하인 CFP를 사용한다면 현재 상태로도 외부공진기의 선폭은 1 MHz 미만임을 입증할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

상용 반도체 레이저 다이오드에 Littman형 외부공진기를 결합하여 파장가변 레이저 다이오드 시스템을 제작하였다. 외부공진기내의 회절격자에 의한 0차 회절 출력광은 단일 종모드로 동작하며 분해능의 한계인 9 MHz이내의 선폭을 가질 것으로 예상되었고, 다이오드 구동전류 140 mA 및 동작온도 25°C의 조건하에서 거울을 수동나사로 회전시키는 성긴 튜닝(coarse tuning)시 3.475 nm의 파장가변 범위를 보였으며, PZT (piezoelectric transducer)에 200 Hz의 톱니파 전압을 인가해서 거울을 회전시키는 미세 튜닝(fine tuning)시 0.042 nm의 범위로 연속적인 파장가변이 가능하였다.

본 논문의 Littman형 파장가변 다이오드 레이저 시스템은 다이오드 레이저의 구동전류와 동작온도를 적절하게 조정하여, 가변시키고자하는 파장범위의 중심파장에 맞추어 놓은 후, 0.042 nm의 범위내에서 파장(주파수) 스위핑이 가능하다. 또한 다이오드레이저의 간단한 교체로 응용범위에 해당하는 중심파장에서 파장가변이 가능한 장점을 지니고 있다. 본 연구실에서 제작된 시스템은 현재 홀버닝 광메모리용 광원으로 사용되고 있으며, 향후 광원의 선폭이 좁고 파장가변이 요구되는 응용분야에 본 시스템이 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 '98, '99 대학기초연구지원사업의 지원으로 수행되었음을 밝히며, 본 시스템의 선폭측정실험을 도와주신 한양대학교 물리학과 오차환교수님께 감사드립니다.

참고문헌

[1] F. J. Durate, *Tunable Lasers Handbook* (Academic press,

- 1995).
- [2] T. W. Mossberg, "Swept-carrier time-domain optical memory," *Opt. Lett.*, vol. 17, no. 7, p. 535, 1992.
- [3] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, (Pergamon, 6th ed, New York, 1980).
- [4] M. Lax, *Quantum noise V: Phase noise in a homogeneously broadened maser*. in physics of Quantum Electronics, (McGraw Hill) pp. 738-747.
- [5] K. C. Harvey and C. J. Myatt, "External-cavity diode laser using a grazing-incidence diffraction grating," *Opt. Lett.*, vol. 16, no. 12, p. 910, 1991.
- [6] H. Lin, T. Wang, and T. W. Mossberg, *Opt. Lett.*, vol. 20, p. 1658, 1995.
- [7] 문한섭, 이호성 외, "Littman형 공진기를 이용한 다이오드 레이저 선폭축소 및 Rb원자에 대한 포화 분광학," 한국물리학회, vol. 35, no. 2, 1995.
- [8] 이성호, "광궤환에 의한 레이저 다이오드의 광주파수 변화," 서울산업대학교 논문집, 제42회, 1995.
- [9] *Laser and instruments* (Phillip trading Co. LTD., 1997) no. 435, p. 16.
- [10] Michael G. Littman and Harold. J. Metcalf, "Spectrally narrowed pulsed dye laser without beam expander," *Appl. Opt.* vol. 17, p. 2224, 1978.
- [11] W. R. Babbitt and T. W. Mossberg, *Opt. Lett.*, vol. 20, p. 91, 1995.
- [12] 백운식, "스펙트럴 홀로그래피 기술을 이용한 광교환용 소광 패킷 라우터의 구현," 한국통신 광교환 기술 워크샵, 1997.
- [13] Mark W. Fleming and Aram Mooradian, "Spectral characteristics of external-cavity controlled semiconductor lasers," *IEEE Journal of Quantum Electron.*, vol. QE-17, no. 1, p. 44, 1981.
- [14] H. Lin, T. Wang, G. A. Wilson, and T. W. Mossberg, "Experimental demonstration of swept-carrier time-domain optical memory," *Opt. Lett.*, vol. 20, no. 1, p. 91, 1995.
- [15] H. Lin, T. Wang and T. W. Mossberg, "Demonstration of 8-Gbit/in<sup>2</sup> areal storage density based on swept-carrier frequency-selective optical memory," *Opt. Lett.*, vol. 20, no. 15, p. 1658, 1995.

### A study on the construction and the performance evaluation of Littman type tunable diode laser system

Jae Hun Cho , Joon Koo Park, and Woon Sik Baek<sup>†</sup>

*School of Electronics and Information, Electronics Major, Kyung Hee University, YongIn 449-701, KOREA*

<sup>†</sup>*E-mail: wsbaek@khu.ac.kr*

(Received October 5, 2000 ; Revised manuscript received June 23, 2001)

A Littman type tunable external-cavity diode laser system was developed. The laser output which is the 0th-order diffracted beam from a diffraction grating in an external cavity is a single longitudinal mode. Its FWHM was measured as less than 9 MHz. With the diode driving current of 140 mA and operating temperature of 25°C, the coarse tuning range of 3.475 nm was measured. A fine tuning experiment in which an external mirror was rotated by a PZT driven by a sawtooth wave was performed, and its tuning range of 0.042 nm was measured.

*Classification codes* : LO.060, OE.050.