≪연구논문≫ The Journal of Optical Society of Korea (Korean Edition) Volume 5, Number 1, March 1994

657 nm 가시광 반도체레이저의 선폭 축소와 파장가변특성

윤태현 · 서호성 · 정명세
한국표준과학연구원, 역학 연구부

(1993년 12월 23일 받음)

Littrow형 회절격자를 이용한 확장공진기를 657 nm 영역에서 연속동작하는 상용 InGaAsP 단일모우드 가시광 반도체를 이용하여 구성하였다. 제작한 확장공진기 시스템에서 657 nm InGaAsP 가시광 반도체레이저의 선폭은 60 MHz에서 10 MHz 이하로 축소되었다. Littrow 회절격자의 설치각도와 레이저의 온도 및 주입 전류에 대한 반도체레이저의 주파수(파장) 의존성을 레이저 파장계를 이용하여 측정하였다. 상용 CQL820D 가시광 반도체레이저의 회절격자의 설치각도, 레이저 온도 및 주입전류에 대한 비례계수는 각각 1 THz/mrad, 32.4 GHz/K, 그리고 6.14 GHz/mA이었다.

I. 서 론

최근들어 가시광 영역에서 단일모우드로 동작하는 레이저 다이오우드 (LD)가 상용화되어 쉽게 구입할 수 있게 되었다. 이러한 레이저들은 비교적 값이 싸고, 소형이며, 전기적으로 주파수 변환을 용이하게 할 수 있는 등의 장점을 갖고 있기 때문에 소형 광주파수 표준기의 개발과,[1-3] 고분해 원자 분광학 연구에 널리 사용되고 있다.[4-6] 특히 알칼리 금속인 ^{40}Ca 원자와 ^{86}Sr 원자들은 자연선폭이 매우 작은 $^1S_0$–$^3P_1$ 사이의 intercombination 천이선 (Ca 원자의 경우 중심파장 657 nm에서 자연선폭 400 Hz, Sr 원자의 경우 689 nm에서 6.4 kHz의 자연선폭을 갖는다.)이 있으므로 이들 천이선을 주파수 표준선으로 사용할 경우 가시광 반도체레이저를 이용한 소형 광주파수 표준기의 개발이 가능하게 되었다.[1,2,4]

그러나 고분해 레이저 분광학 연구에 이러한 가시광 반도체레이저를 사용하려고 하면, 반도체레이저의 여러 가지 문제점을 해결해야 한다. 상업용 가시광 반도체레이저의 발진선폭은 대개 수 100 MHz 정도로 매우 넓으며, 출력이 20 mW 이하이고, 레이저 빔의 비점수차가 커 타원형태로 나온다. 고분해 분광실험을 위해서는 이들 여러가지 동작특성 중에서 특히, 레이저 발진선폭을 분광하고자 하는 원자 천이선의 선폭 이하로 줄이는 일이 우선 해결하여야 할 문제이다.

반도체레이저는 외부 광의 궤환(feedback)에 대해서 다른 레이저에 비해 민감한데, 이는 반도체레이저의 출력면의 반사율이 낮기 때문이다. 이러한 특성은 반도체레이저의 선폭을 광학적 궤환방법으로 축소하는데 이용할 수 있다. 즉 회절격자 또는 패브리페로(Pabry-Perot) 공진기와 같은 높은 분산특성을 갖는 광학소자를 레이저 공진기 바깥에 두고 이들로부터 반사된 빛을 이용하여 반도체레이저의 주파수 특성을 개선시킬 수 있는 방법이 연구되고 있다.[7-10] 이러한 외부 광 궤환에 의한 반도체레이저의 선폭축소 연구는 AlGaAs를 활성매질(active medium)로 사용하는 근적외선 레이저에서 많이 연구되었다. 그러나 InGaAsP를 활성매질로 사용하는 가시광 반도체레이저에서는 이러한 외부 공진기에 의한 선폭 축소 효과가 근적외선 AlGaAs 레이저보다 작은 것으로 알려져 있다.[1] Simonsen 등의 보고에 따르면 이러한 효과는 가시광 반도체레이저가 근적외선 레이저보다 완화진동(relaxation oscillation) 진폭이 큰기 때문이다. 완화진동의 진폭이 크면 레이저의 출력이 완화 진동모우드로 분산되어 광궤환에 의한 레이저 발진 주파수의 잠김범위가 (locking range) 좁아진다. 이러한 이유때문에 가시광 영역에서 좁은 천이선을 가진 Ca, Sr, Li 등의 알칼리 금속 원자에 대한 고분해 분광실험에서, Simonsen,[1] Tino,[2] Ohtsu[4] 등은 InGaAsP 레이저를 회절격자를 이용한 확장 공진기와 공초점 공진기를 동시에 사용하여 선폭 100 kHz 이하의 가시광 반도체레이저를 제작하였다. 또한 Boshier 등은 가시광 반도체레이저의 출력면에 무반사 코팅을 하여 광 궤환 효율을 높힘으로써 2 GHz 이상 연속적으로 주파수를 가변할 수 있고 발진

선폭이 50 kHz 정도인 가시광 반도체레이저 분광기를 제작하였다고 보고하였다.[5]

본 논문에서는 칼슘 원자의 $^1S_0$–$^3P_1$ 간의 intercombination 천이선 (657 nm) 분광 연구에 사용하기 위하여 InGaAsP를 활성매질로하는 가시광 반도체레이저를, Littrow형 회절격자를 이용한 확장공진기 구성 및 이 레이저의 선폭 축소와 파장 가변특성 실험에 대한 결과를 보고한다. 실험에 사용한 반도체 레이저는 상용의 굴절율 도파형(index-guided) InGaAsP 레이저로써 단일 모우드로 연속동작하고, 레이저 출력은 최대 5 mW, 발진 파장은 25℃ 에서 653 nm (Toshiba TOLD 9421(s)), 및 656 nm (Phillips, CQL820D)에서 발진하는 두 종류를 이용하였다. Littrow 회절격자를 이용한 확장 공진기(extended cavity) 시스템에서 레이저의 발진 선폭은 10 MHz 이하로 줄어 들었다. 그리고 레이저의 발진 파장을 칼슘 원자의 $^1S_0$–$^3P_1$ 사이의 intercombination 천이선에서 발진시킬 수 있도록 회절격자의 설치각도, 레이저의 온도, 그리고 주입 전류에 대한 레이저 주파수(파장)의 비례 계수를 측정하였다. 본 논문에서 제작한 InGaAsP 가시광 반도체레이저 분광기는 칼슘 원자의 intercombination 천이선인 파장 657.459 nm에서 10 MHz 이하의 선폭을 가지고 2 GHz 이상 주파수 주사가 가능하며, 2.4 mW 이상의 출력을 가진다.

II. Littrow 회절격자를 이용한 광귀환 확장공진기

InGaAsP 가시광 반도체 레이저의 선폭을 축소하고 파장 주사를 위한 Littrow형 회절격자[11]를 사용한 확장공진기의 구조를 그림 1에 나타내었다. 확장 공진기는 반도체레이저의 한쪽면과 회절격자에 의해 구성된다.

실험에서는 상용 가시광 레이저 다이오우드중에서 온도를 조절하여 657 nm를 얻을 수 있는 굴절률 도파형 InGaAsP 가시광 레이저로써, 상온에서 연속 동작하고 단일모우드로 발진하며, 출력이 5 mW인 TOLD 9421(s)와 CQL820D를 사용하였다. 표 1에는 실험에 사용한 두 레이저의 일반적인 레이저 특성을 보여준다.

표 1에서 알 수 있듯이 TOLD 9421(s)는 CQL820D보다 단파장인 653 nm에서 발진하며, 높은 문턱전류값을 가지는 것이 CQL820D와 크게 구별되는 점이다. 또한 TOLD 9421(s)의 경우 657 nm를 얻기 위하여는 레이저 온도를 47℃ 정도와 주입전류를 110 mA로 유지해야하기 때문에 장시간 동작시 노쇠 효과에 의한 레이저 특성 변화가 심하고, 또한 주 모우드에 대한 완화진동의 진폭이 10% 정도 되기 때문에 안정된 단일모우드 발진을

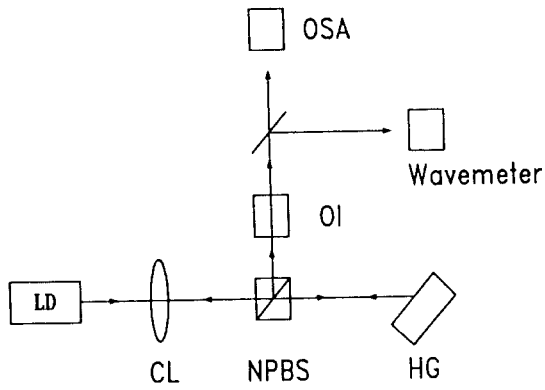


그림 1. Schematic diagram of the extended cavity laser diode (ECLD) employing Littrow grating. (LD; laser diode, CL; collimating lens, NPBS; non-polarizing beam splitter, HG; holographic grating, OI; optical isolator, OSA; optical spectrum analyzer).

표 1. TOLD9421(s)와 CQL820D 가시광 반도체레이저의 특성 비교.

특성 \ 레이저	TOLD 9421(S)	CQL820
시험온도 (℃)	25	25
발진파장 (nm)	653	656
종모우드	단일모우드	단일모우드
출 력 (mW)	5	5
문턱전류 (mA)	60	32
발진선폭 (MHz)	70	60
온도계수 (GHz/K)	40	32
전류계수 (GHz/mA)	2	6
완화진동	강암(10%)	약함(<1%)

얻을 수 없어 파장 주사 실험의 대부분은 29℃ 에서 657 nm를 얻을 수 있고, 완화 진동이 TOLD 9421(s)보다 적은 (1% 미만) CQL820D 레이저를 이용하였다.

반도체레이저의 발진 선폭을 축소하기 위해서 먼저 레이저의 온도와 주입전류를 안정화 시켜야 한다. 반도체레이저의 온도와 전류를 안정화 시키기 위해 ±1 mK의 온도 안정도와 ±1 μA의 전류안정도를 갖는 온도 조절기와 전류 공급기를 제작하였다.[9] 레이저의 온도를 주위환경의 온도변화로부터 격리시키고 원하는 온도로 맞추기 위해 2개의 TE 냉각소자 (thermo-electric cooler)를 직렬로 연결하여 사용하였고, 온도 조절용 센서는 1 μA/K의 온도대 전류의 변환계수를 갖는 AD 590 센서를

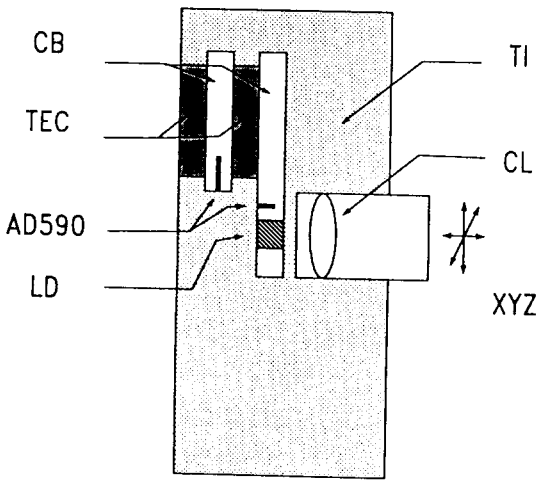
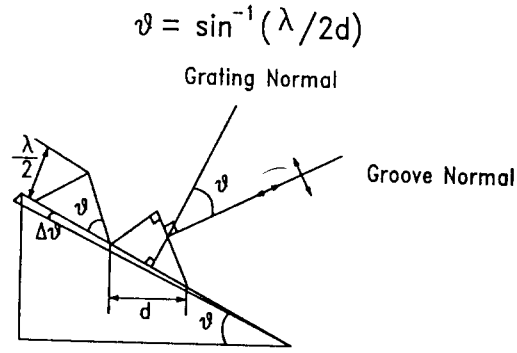


그림 2. Schematic diagram of the LD module. (CB; Cu block, TEC; thermo-electric cooler, LD; laser diode, TI; thermal isolator, CL; collimating lens).



ϑ = 23.23 degree
for λ = 657.460 nm
d = 0.8 μm (1200g/mm)

그림 3. Simple structure of Littrow grating for wavelength tuning.

이용하였다. 제작한 온도조절기로 반도체 레이저의 온도를 ±1 mK의 정밀도로 0℃ ~ +50℃ 사이에서 가변할 수 있었다. 반도체레이저와 TE 냉각소자는 주위 온도와 차단되도록 알루미늄 상자 안에 설치하였다. 한편 전류 공급 장치는 ±1 μA의 정밀도로 0~120 mA 사이의 전류를 공급할 수 있도록 제작하였고, 전류 제한 회로를 이용하여 과전류나 펄스잡음 전류가 반도체레이저로 공급되지 못하도록 하였다. 실험에서는 반도체레이저의 온도와 전류를 전압으로 변환하여 nV의 민감도를 가진 Sensitive Digital Voltmeter(Keithley 182)를 이용하여 측정하였다. NA(numerical aperture)가 0.65인 집속 렌즈로 반도체레이저의 출력을 집속하였고, 집속 렌즈는 XYZ 세축 방향으로 조절할 수 있게 하였다. 그림 2에는 제작한 레이저 다이오우드 모듈의 개략도를 보여준다.

확장 공진기는 그림 1에서 보는 바와 같이 Littrow 회절격자의 1차 회절 빔을 반도체레이저 쪽으로 광 귀환시키는 구조로 되어 있다. 레이저와 회절격자 사이의 거리는 약 10 cm로 하였다. 사용한 회절격자의 격자상수는 1200 lines/mm이고 633 nm 파장에 대해 브레즈(braze) 입사되도록 되어있다. 레이저의 편광방향과 회절격자의 선과 수직되게 입사하여 일차 회절빔의 효율을 극대화 시켰다. 회절격자의 반사각은 657 nm에서 약 23° 이었다. 확장공진기 내부에 정육면체의 광속 분할기를 설치하여 레이저 출력의 일부를 분리하였으며, 광 격리소자(isolator)를 지나 분해능이 10 MHz이고 FSR(free spectral range)가 2 GHz인 광스펙트럼 분석기로 레이저 발진선폭을 측정하고 파장계로 발진 파장을 측정하였다. Littrow 회절격자로 확장 공진기를 구성하면 레이저 선폭이 축소되는데, 실험에서도 광스펙트럼 분석기의 분해능 한계인 10 MHz 이내까지 축소됨을 확인 하였다. 확장공진기로 얻을 수 있는 레이저 출력은 광속 분할기 한 면에서 2.4 mW이었다. 레이저와 회절격자를 외부 진동으로부터의 영향을 줄이기 위해 슈퍼인바(super-inbar) 판위에 설치하고 보조지지봉으로 고정하였다. 그림 3에는 Littrow 회절격자에 의한 간단한 파장 가변 원리를 보여준다. 회절격자에서 반사된 일차 회절빔이 다시 같은 경로로 레이저 다이오우드에 입사되며, Littrow 회절격자의 설치 각도 θ를 $\Delta\theta$만큼 회전시킴으로써, Littrow 회절격자의 방정식[11]을 만족하는 파장에서 레이저가 발진하도록 레이저의 파장을 선택할 수 있다.

레이저의 파장은 1×10^{-6}의 정확도를 가진 파장계를 이용하여 측정하였다. 반도체레이저 출력의 일부를 단일모우드 광섬유를 통하여 다른 테이블에 있는 파장계로 전송하였다. 실험에 사용한 파장계는 두개 종모우드의 출력비교를 이용하여 안정화한 He-Ne 레이저를 기준 광원으로 사용하고, 압축공기에 의해 부양되어 구동되는 2개의 코너큐브 프리즘이 쌍으로 구성되는 간섭무늬 계수비교 방식의 파장계이다. 또한 파장계는 기준 레이저의 편광방향과 피측정 레이저의 편광방향을 수직으로하여 두 레이저빔이 서로 다른 방향으로 같은 광로를 이동하여 광속 분할기에서 간섭하는 방식으로 간섭계가 구성되어

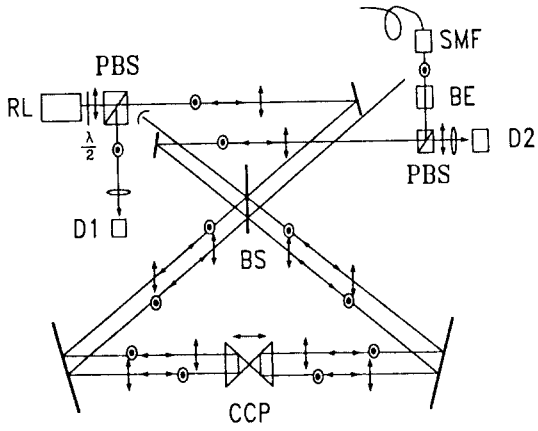


그림4. Optical layout of the wavemeter. (RL; reference laser, PBS; polarizing beam splitter, BS; beam splitter, D1, D2; detecters for unknown and reference lasers, CCP; corner-cube prism pair. BE; beam expander, SMF; single mode fiber).

있다. 그림 4에는 실험에 사용한 파장계의 구조를 나타내었다.

III. InGaAsP 가시광 반도체레이저의 파장 가변특성 실험

반도체레이저를 Littrow 회절격자를 이용하여 확장공진기를 구성하였을 때, 회절격자의 설치각도, 레이저의 온도 및 주입전류를 변경시킴으로써 레이저 파장을 주사할 수 있다. 따라서 657.459 nm의 칼슘원자의 $^1S_0$-$^3P_1$ intercombination 천이선 분광에 필요한 파장을 얻기 위하여 실험에 사용한 TOLD 9421(s)와 CQL820D 레이저의 파장을 회절격자의 설치각도와 레이저 온도 및 주입전류를 변화시키면서 레이저의 발진 파장을 측정하였다. 회절격자에서 반사된 빔을 광 귀환시키면서 광스펙트럼 분석기로 선폭 축소와 단일모우드 발진을 확인하고 레이저의 온도를 조절하여 657.459 nm에서 발진시킨다. 그림 5와 그림 6에는 측정된 두 레이저의 온도와 파장과의 관계를 보여준다. TOLD 9421(s)의 경우에는 657 nm를 얻기 위하여 온도를 47℃로 유지하였으며, CQL 820D 레이저는 29℃에서 657 nm의 발진파장을 얻을 수 있었다. 이때 회절격자를 사용하지 않으면 표 1에서와 같이 발진 선폭이 60 MHz 정도이고 단일모우드 발진 구간이 좁아서 파장계 간섭무늬의 가시도가 0에 가까워 파장을 측정할 수 없었다. 그림 5와 6에서와 같이 레이저

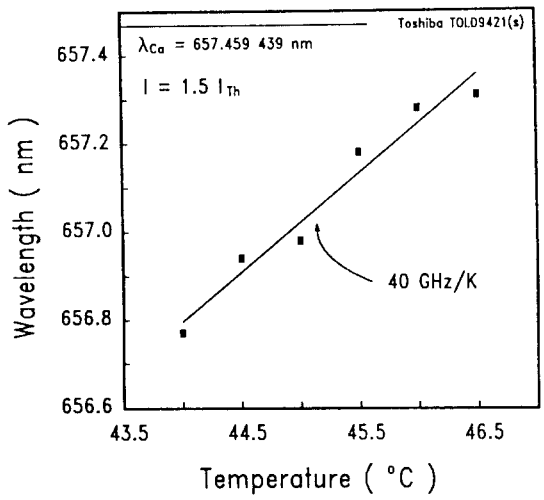


그림 5. Wavelength dependance of the TOLD9421(s) LD as a function of temperature. ($I=1.5\ I_{th}$).

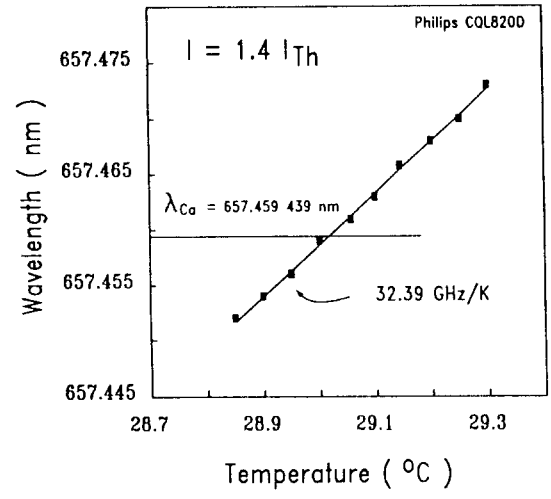


그림 6. Wavelength dependance of the CQL820D LD as a function of temperature. ($I=1.4_{th}$).

온도변화에 따른 레이저 주파수(파장)는 선형적으로 변화하는 것을 알 수 있었고 비례계수는 TOLD 9421(s)와 CQL820D에 대해 각각 40 GHz/mK과 32.4 GHz/mK이었다. 이때 주입전류는 각각 1.5 I_{th}($I_{th}=60$ mA), 1.4 I_{th} ($I_{th}=32$ mA)이었다.

TOLD 9421(s) 레이저는 657 nm의 발진파장을 얻기 위하여 온도를 47℃로 유지해야 했을 뿐만아니라 주입전류도 110 mA로 공급해야 했고, 확장 공진기를 구성했을 때 완화 진동 진폭의 크기가 주 모우드의 10%

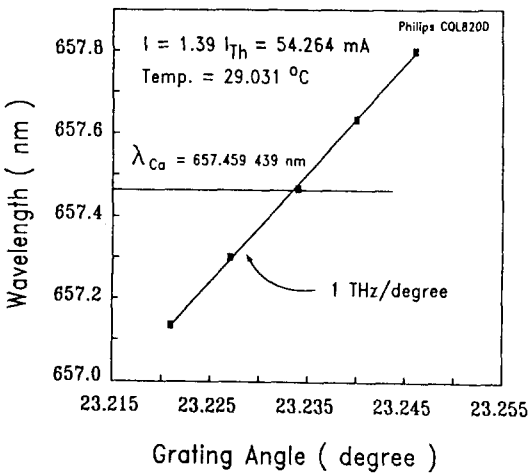


그림 7. Wavelength dependance of the CQL820D LD as a function of Littrow grating angle. (I = 1.39 I_{th}, T = 29.031℃).

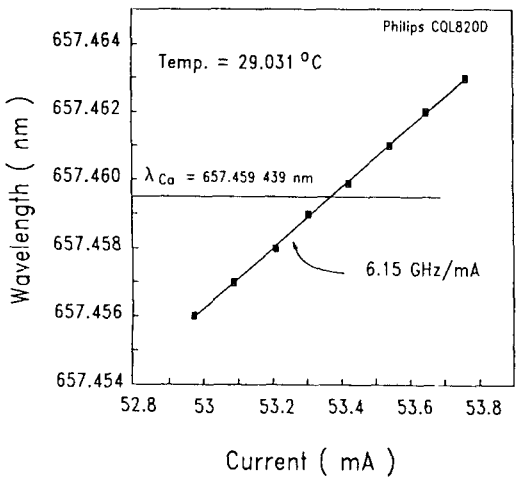


그림 8. Wavelength dependance of the CQL820D LD as a function of injection current. (T = 29.031 ℃ , θ = 23.235°)

정도로써 (CQL820D 레이저의 경우 1% 이하) 고분해 분광용 광원으로 사용하기에 부적합을 알았다. 따라서 칼슘 원자 분광을 위해서는 CQL820D 레이저가 보다 적합하다고 판단하여, 회절격자의 설치 각도와 주입 전류에 대한 레이저 파장 주사 실험은 CQL820D 레이저를 사용하여 실험하였다.

주입 전류와 온도를 각각 I = 1.4 I_{th}, T = 29.031℃ 로 고정하고 회절격자의 각도를 변화하면서 측정한 CQL820 D 레이저의 파장에 대한 실험 값이 그림 7에 있다. 그림 7에서 회절격자 각도는 상용의 거울지지대에 부착된 마이크로미터로 회전시켰으며 Littrow 회절격자의 파장과 회전각과의 관계식으로부터 회전 각도를 환산하였다(그림 3 참조).

Littrow 회절격자로 확장 공진기를 구성하고 레이저 주파수를 주사할 때, 회절격자 설치각도를 0.006° 회전시킴에 따라 반도체레이저 자체의 FSR(116 GHz($\Delta\lambda$ = 0.167 nm))에 해당하는 발진모우드가 선택되었으며, 최소 1 FSR 단위로 주파수(파장)를 주사할 수 있었다. 측정한 회절격자 각도에 대한 레이저 파장의 주사 계수는 1 THz/mrad(= 26.4 nm/degree)이었다.

레이저의 파장은 주입전류를 미세하게 조절함으로써 모우드호핑(mode hopping) 없이 연속적으로 가변할 수 있었다. 온도를 변환시킴으로써 파장을 연속적으로 변환시킬 수도 있으나 응답속도가 느리고 주파수(파장) 변환계수가 너무커 미세 조절이 어려운 단점이 있다. 전류변화에 대한 파장의 비례계수를 알기 위하여 회절격자 각도와 레이저 온도를 칼슘 분광선인 657.459 nm 영역에서 발진하도록 23.235°와 29.031℃ 로 고정하고, 주입전류를 변화시키면서 레이저 파장을 측정하였다. 그림 8에는 측정한 실험결과를 보여준다.

그림 8에서 알 수 있듯이 53.38 mA에서 칼슘 원자의 intercombination 천이선에 해당하는 파장을 얻을 수 있었고, 레이저 주파수(파장)의 전류에 대한 비례상수는 6.15 GHz/mA이었다. 회절격자 각도와 레이저 온도를 고정하고, 확장공진기 길이를 변화시키지 않은 상태에서 전류만 주사 하였을 때, 레이저 주파수는 최대 200 MHz까지 모우드호핑없이 연속적으로 주사할 수 있었다. 보다 넓은 영역에서 연속적으로 주사시키려면 주입전류와 확장공진기 길이를 동시에 주사시켜야 한다. 이를 위하여 회절격자를 미세 이동시킬 수 있는 PZT 위에 설치하였고, 주입전류와 회절격자를 동시에 주사하여 2 GHz 이상 모우드호핑 없이 레이저 주파수를 연속적으로 주사시킬 수 있었다.

IV. 결론 및 논의

단일모우드 InGaAsP 가시광 반도체레이저를 Littrow 회절격자를 이용한 확장 공진기를 구성하여 주파수를 10 MHz 이하로 축소하였다. 레이저 파장계를 이용하여 회절격자의 설치 각도와 레이저 온도 그리고 주입 전류를 변화시키면서 칼슘 원자의 $^1S_0$–$^3P_1$ 사이의 intercombination 천이선을 분광하기위한 657.459 nm의 반도체레이저

발진파장을 실험적으로 얻었다. 레이저 주파수(파장)는 회절격자의 설치 각도, 레이저 온도 및 주입 전류변화에 선형적으로 비례하였으며, 상용 CQL820D (Philips 사) InGaAsP 가시광 반도체레이저의 각각에 대한 비례 계수는 1 THz/mrad, 32.4 GHz/K, 그리고 6.14 GHz/mA이었다. 상용으로 657 nm를 얻을 수 있는 또하나의 InGaAsP 가시광 반도체레이저인 TOLD9421(s) (Toshiba 사)는 문턱 전류가 60 mA로써 CQL820D 레이저의 32 mA 보다 약 2배 가량 높고, 또한 1.5 GHz 완화 진동 진폭이 주 모우드의 10% 가량되어 안정된 단일모우드 동작을 얻기가 어려웠다. 위의 실험결과로부터 InGaAsP 가시광 반도체레이저를 이용한 칼슘 원자의 분광 실험에는 CQL820D 레이저가 보다 적합함을 알 수 있었다.

InGaAsP를 활성 매질로 사용하는 가시광 반도체레이저는 근적외선 이나 적외선 반도체레이저와는 달리 완화진동의 진폭이 상대적으로 커서[1] (TOLD9421(s)의 경우 주 모우드의 10%, CQL820D의 경우 1% 이하) 선폭 축소된 레이저의 출력이 완화진동의 모우드로 분산되는 단점이 있다. 또한 이들 가시광 반도체에서는 회절격자나 외부 공진기, 또는 외부 반사 거울에서 반사된 빛이 광 궤환되면 레이저의 종모우드가 20 GHz 이상으로 확대되어 레이저의 가간섭 성이 소멸되는 coherence collapse 현상[1]이 잘 일어난다. 따라서 본 실험에서도 Littrow 회절격자를 광 축에 완전히 일치하게 광 궤환시킬 수 없었고 약간 광 축에서 벗어나게 해야 했다. 위의 두 효과는 레이저 출력면에 무반사 코팅을하여 완전한 확장 공진기를 꾸밀경우 없어진다.[5] 이에따라 레이저 다이오우드 출력면에 Al_2O_3 무반사 코팅을 하였으며 이들을 이용한 실험이 진행되고 있어, 앞으로 100 kHz 정도의 선폭을 갖는 657 nm 가시광 반도체레이저를 Littrow형 확장공진기에서 얻을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] H. R. Simonsen, IEEE J. Quant. Electron., **29**(3), 877(1993).

[2] G. M. Tino, M. Basanti, M. de Angelis, L. Gianfrani, and M. Inguscio, Appl. Phys., **B55**, 397(1992).

[3] A. Akulshin, A. Celicov, M. Ohtsu, K. Nakagawa, and V. Velichansky, Jpn. J. Appl Phys., **32**(part 2, 9B), L1356(1993).

[4] M. Ohtsu, H. Susuki and K. Nemoto, Jap. J. Appl. Phys., **29**(8), L1463(1990).

[5] M. G. Boshier, D. Berkeland, E. A. Hinds, and V. Sandighdar, Opt. Commun., **85**, 355(1991).

[6] C. E. Wieman and L. Hollberg, Rev. Sci. Instrum., **62**, 1(1991).

[7] J. J. Maki, N. S. Campbell, C. M. Grande, R. P. Knorpp, and D. H. McIntyre, Opt. Commun., **102**, 251(1993).

[8] T. P. Dinneen, C. D. Wallace, and P. L. Gould, Opt. Commun., **92**, 277(1992).

[9] C. H. Shin and M. Ohtsu, Opt. Lett., **15**, 1455 (1990).

[10] L. Hollberg, R. Fox, N. Mackie, A. S. Zibrov, V. L. Velichansky, R. Ellingsen, and H. G. Robinson, Proc. 10th Int. Laser Spectroscopy, Conf. Font-Rowen, France, June, 1991, eds, M. Ducloy, E. Gaicabina, and G. Gamy, p.347 (1992).

[11] W. Demtröder, *Laser-Spektroskopie,* 2nd ed., (Springer-Verlag, 1991) p.75.

Linewidth Reduction and Wavelength Tuning Characteristics of a 657 nm Visible Laser Diode

Tai Hyun Yoon, Ho Suhng Suh, and Myung Sai Chung

Korea Research Institute of Standards and Science, Division of Mechanical Metrology, Length Group, Taejon 305-600, Korea

(Received: December 23, 1993)

We have reduced the oscillating linewidth of the commercial single mode InGaAsP visible laser diodes which emits in the 657 nm region of the spectrum down to 10 MHz by making a extended cavity employing the Littrow-type grating. The wavelength tuning characteristics of the commercial visible laser diode (CQL820D, Philips Co.) for the grating angle, laser temperature, and injection currents were measured by using the wavemeter. The proportional coefficients of the laser were found to be 1 THz/mrad, 32.4 GHz/K, and 6.14 GHz/mA, respectively.