모드록킹된 다이오드 여기 1.3㎛ Nd:YAG 레이저

이영우*

*목원대학교 전자공학과

Laser Diode Pumped Mode-Locked 1.3㎛ Nd-YAG Laser

Young-Woo Lee*

*Department of Electronic Engineering, Mokwon University

E-mail : ywlee@mokwon.c.kr

요 약

본 연구는 1.3㎛ 파장의 초고속 Nd:YAG레이저 펄스를 얻기 위해 AOM을 이용하여 모드록킹 Nd:YAG레이저 공진기를 구성하였다. 여기용 반도체 레이저는 중심파장 810nm, 출력 1.2W이며, 레이저 매질은 직경 3mm, 길이 10mm로 Nd^{3+}가 1.0at%로 도핑된 Nd:YAG Rod를 사용하였다. 모드록킹에는 음향광학 변조기(변조 주파수 40MHz)를 사용하여 펄스폭 τp=80ps의 극초단 펄스를 얻었다.

키워드

Mode-Locked Laser, Diode Pumped Laser, Nd-YAG Laser

Ⅰ. 서 론

최근 짧은 시간에 일어나는 자연현상을 연구하는 초고속 분광학 (ultrafast spectroscopy)에 사용되며,[1-2] 초고속 광통신 분야등에 이용되고 있는 극초단 고출력 레이저 펄스를 얻기 위해 선진각국의 통신관련연구소(AT&T(미국), NTT(일본),BT(영국))에서 활발히 연구가 진행되고 있다. 극초단 펄스를 발생시키는 기술은 주로 모드록킹을 통해 생성되는데, 모드록킹은기체(CO_2 ,Ar+, He-Ne 등), 액체(dye), 고체(Nd:YVO_4 , Nd:glass. ruby, Ti:sapphire, Nd:YAG 등)의 모든 레이저가 가능하지만, 광펄스의 시간폭은 형광선폭의 역에 비례하므로 극초단 펄스를 얻기 위해서는 형관선폭이 넓은 고체 레이저와 색소레이저로 제한되며, 특히 이득률이 높으면 기계적 ,열적 특성이 좋아 극초단 고출력 레이저로 쓰일 수 있는 고체 매질을 사용하여야한다. 일반적으로 고체레이저의 여기원으로는 플래시 램프와 아크램프 등이 주로 사용되고 있다. 그러나 플래시 램프는 발광 스펙트럼이 자외영역에서 적외영역까지 넓은 파장대를 형성하고 있고, 레이저 매질에 흡수되는 에너지가 약 8% 정도[3]에 불과하므로 높은 여기효율을 기대하기 어렵다. 또 고반복 발진시에 여기에너지의 많은 부분이 열로 변환되어 레이저매질에 열 부하가 생겨 시스템의 안정화가 어렵고 고평균 출력을 얻는 것이 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 1980년대 중반 이후부터 반도체레이저(Laser Diode)를 여기광원으로 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[4-6]특히 ND 계열의 고체레이저 매질의 흡수 스펙트럼이 790~810nm에 발진파장을 갖는 GaA1As계의 반도체 레이저가 Nd:YLF (790nm), Nd:YAG 및 Nd:YVO4 (809nm)의 흡수 스펙트럼과 잘 일치하기 때문에 높은 여기효율을 얻을 수 있다. 여기원인 반도체 레이저의 파장선택성에 의해 레이저 매질에서의 열부하가 최소화되어 발진스펙트럼이 깨끗하고[4-6] cw동작으로 수십만 시간 이상의 수명을 안정되게 동작시킬 수 있다.또한 저소비 전력이며 발진 스펙트럼폭이 3nm 이하로 좁아 고체레이저 매질 원자의 공명여기를 이용하므로 매우 높은 여기효율을 얻을

수 있으며 결정내에서 발진에 기여하지 않는 열의 축적이 매우 낮아 flash lamp에 비해 1/3정도로 열의 축적을 억제할 수 있어 장치의 소형화가 가능하다. Nd:YAG는 1.3㎛에서 유효방출단면적이 $1.5\times10^{-19}cm^2$로 비교적 적으므로 레이저 공진기 안에서 빔 손실이 적도록 설계하여야 한다.[7] 또한 모드록킹을 위해서는 공진기 길이를 충분히 확보하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 초고속 레이저 광 펄스를 발생하기 위해서 A-O 변조기를 사용하여 Nd:YAG의 모드록킹을 행하였으며, 발진되어 나오는 레이저의 파워 및 스펙트럼 특성과 Nd:YAG 레이저의 출력특성을 측정하였다.

II. 1.3㎛ Nd-YAG 매질의 분광학적 특성

레이저 다이오드를 여기광으로 사용하는 Nd^{3+} 이온이 도핑된 레이저 매질은 Nd:YAG, $Nd:YVO_4$, Nd:YLF 와 Nd:YAP 등이 있다. 일반적인 Nd 도핑 농도는 1.0 at.%이며 유도 방출 단면적은 $6.5\times10^{-19}cm^2$(@1.064nm)이다. Nd:YAG 레이저는 현재 가장 일반적으로 사용되는 고체 레이저 매질중 하나이다. $Nd:YVO_4$ 도 자주 쓰이는 고체 레이저이며 , Nd:YAG와 같이 Nd^{3+}을 활성 물질로 첨가한 레이저이다.

Nd:YAG 매질의 상준위 수명은 240us로 $Nd:YVO_4$ 매질의 상준위 수명 92us보다 매질의 상준위 수명이 3배정도 크다.유도 방출 단면적은 Nd:YAG 매질이 1063nm 파장에서 $6.5\times10^{-19}cm^2$, 1319nm 파장에서 $1.5\times10^{-19}cm^2$이며 $Nd:YVO_4$ 매질은 1064nm 파장에서 $25\times10^{-19}cm^2$, 1342nm 파장에서 $5.6\times10^{-19}cm^2$으로 $Nd:YVO_4$ 매질이 Nd:YAG 매질보다 4배정도 크다.

Nd:YLF와 Nd:YAP도 앞에서 설명한 NdYAG와 $Nd:YV0_4$ 매질에 비해서는 일반적으로 사용되지 않는 매질이지만, 1310nm에서의 발진 특성을 가진 매질들이다.

레이저 다이오드를 여기원으로 하는 있는 신고체 레이저 매질로 Nd^{3+} 이온이 도핑된 매질은 Nd:YAG, $Nd:YVO_4$, Nd:YLF, Nd:YAP등이 있는데, 우선 Nd:YAG 레이저 매질에 관한 분광학적 특성을 조사하였다. Nd:YAG 레이저는 현재 가장 널리 사용되는 고출력 고체레이저 의 하나이다. Nd:YAG(neodymium-doped Yttrium garnet) 결정은 YAG($Y_3\ Al_5O_{1\ 2}$)결정에 Nd^{3+} 이온이 불순물로 들어가 YAG결정의 Y^{3+} 일부와 Nd^{3+}가 자리바꿈을 하여 안정한 Nd:YAG 레이저 매질이 된다.YAG는 성장속도가 느리기 때문에 가격이 비싸지만 무색이며, 가시광에서 적외광 영역까지 투명하고, 광학적으로 등방적이며, 열전도도가 높아서 열에 안정하며, 강도와 경도가 높아서 잘 부숴지지 않으며, doping농도가 다른 고체 레이저 매질보다 높기 때문에 여기원으로 적당한 매질이다.

III. 모드-록킹된 다이오드 여기 Nd-YAG 레이저

본 연구는 1.3㎛ 파장의 초고속 Nd:YAG 레이저 펄스를 얻기 위한 실험이다. 반도체 레이저를 Nd:YAG 레이저의 여기원으로 사용하기 위해서는 반도체 레이저의 비임을 Nd:YAG매질에 강한 집속 모드를 형성하고 집속 모드 영역에만 효율적으로 여기시켜야 작은 여기출력으로도 비교적 쉽게 1.3㎛대의 Nd:YAG 레이저 발진이 가능 하였다.

A-0 변조기를 이용한 모드록킹 Nd:YAG 레이저 공진기를 그림 1에서 보인다.

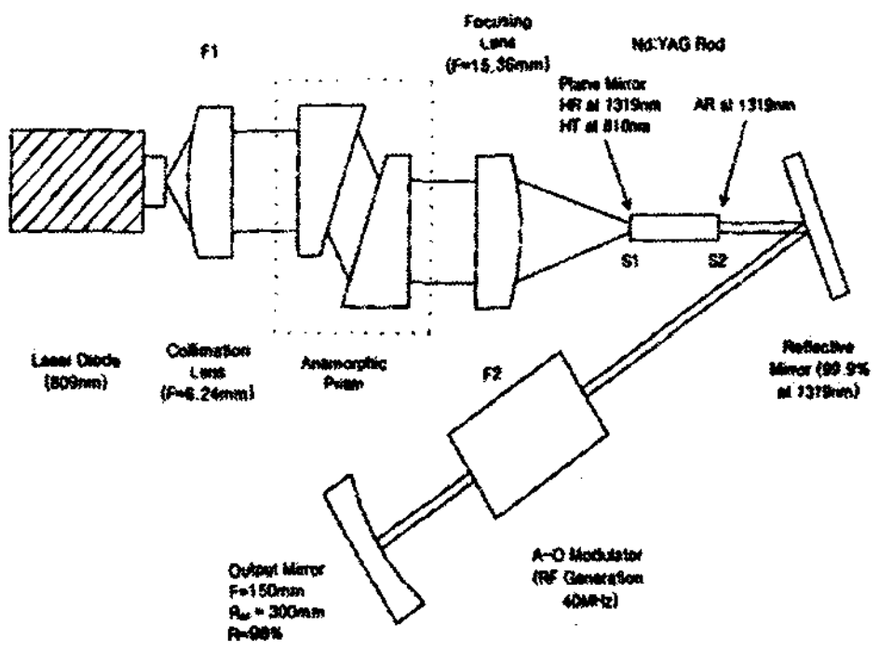

그림 1 A-O 변조기를 이용한 모드록킹 Nd:YAG 레이저 공진기 장치도

Nd:YAG 여기용 반도체 레이저의 발광 스펙트럼을 그림 2에서 보여준다. 반도체 레이저(SDL-2300)는 SDL사의 정격출력 1.2W의 다이오드 레이저로 810nm에 중심파장을 가지며, 스펙

트럼 반치폭이 약 2nm이다.

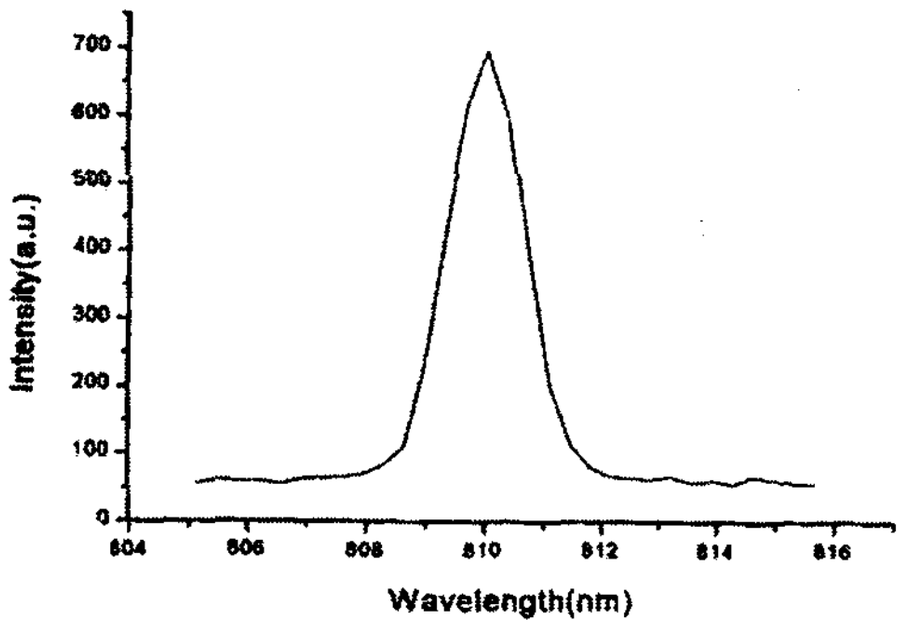

그림 2. 여기용 레이저다이오드의 광출력 스펙트럼

SDL-2300-H1은 TE방식(Thermo Electric)의 heat sink (SDL-820-H)를 사용하여 냉각시켰다. 이 반도체 레이저는 수직축으로 32 ;수평축으로 12 의 발산각을 가진다. 이 발산각은 반도체의 활성층의 폭과 활성층의 두께의 차이로 인하여 종축과 횡축사이에 큰 차이가 있어 출력 빔의 패턴이 타원형을 이루는데, 이와같은 이유로 공진기 모드와의 정합성이 나빠 고효율의 레이저를 얻기가 어렵기 때문에 본 실험에서는 이러한 문제를 해결하여 최적화된 집속광학계로 레이저매질에 효율좋게 집광시키기 위하여 2배율의 Anamorphic prism(06GPA001:MellesGriot)을 사용하였다. 이로서 수직축 빔을 2배로 확대하여 광의 집광특성을 개선하였다. 프리즘 삽입으로 인해 약간의 빔 손실이 있었으나, 공진기 모드와의 정합성이 좋아졌기 때문에 이것은 무시할 수 있었다.

그림1의 F_1 과 F_2 는 각각 810nm에 대하여 손실을 최대한 줄이기 위하여 무반사 코팅하였다.

Collimation 렌즈인 F_1 은 다이오드 레이저의 발산각이 크기 때문에 공간적인 손실을 최소로 하기 위하여 초점거리가 짧은 Aspheric 렌즈(C110TM-B, f= 6.24mm)를 사용하여 Collimation 하였다. F_2 는 Focusing Lens로 초점거리는 15.36mm로 여기광을 Nd-YAG 매질에 집속시켰다.

공진기 부분은 Nd-YAG 매질과 반사경 및 Output Mirror로 구성되어졌다. 먼저 Nd-YAG 매질은 Nd^{3+}이 1.0at %로 도핑되어 있으면 직경 3mm × 길이 10mm 로 한 쪽 단면(S1)을 반사경으로 사용할 수 있도록 하였으며, 여기광이 잘 투과하도록 810nm의 파장대에 대해 무반사코팅과 1.3㎛에 대해 99.9%의 반사율을 갖는다.Output Mirror는 초점거리 150mm이며 곡률반경은 300mm이며, 발진문턱을 낮추기 위해서 1.3㎛ 의 파장을 98% 반사하게 하였다.

Nd:YAG 레이저 매질은 직경 3mm × 길이 8.4mm 이며, 효율을 높이기 위하여 매질에 1064nm와 809nm에 대하여 무반사 코팅을 하였다. 음향광학 변조기(Acousto-Optic Light Modulator; IntraAction Corp. A0M-40N)는 빔의 직경이 1×3mm을 가지며, 최대 전원공급 2.8W Power공급에 40MHz의 RF(Radio Frequency)전기신호를 인가하면 80MHz의 광파를 변조시키게 된다. 따라서 여기에 필요한 공진기 길이는 약 1.825m이다. A-O Modulator는 RF Power에 따라 광로를 틀어 준다. 따라서 A-O Modulator를 공진기에 삽입하여 RF Power를 조정하며, 최적의 모드가 선택된 Power로 고정하여, 최적의 모드락킹을 얻었으며 1.3㎛ Nd:YAG 레이저 초고속 레이저 빔의 출력파워와 펄스폭을 측정하였다.

그림 3은 반도체 레이저의 출력 변화에 따른 Nd:YAG 레이저의 출력을 보여준다. 발진은 입력파워 650mW일 때의 출력은 5mW의 출력을 갖는다. 최대 1W의 입력파워를 입사했을 때 21mW의 출력을 얻었다. 레이저의 출력파워는 Molectron사의 파워미터(MAX 5200)로 측정 하였으며, 경사효율은 2%이다.

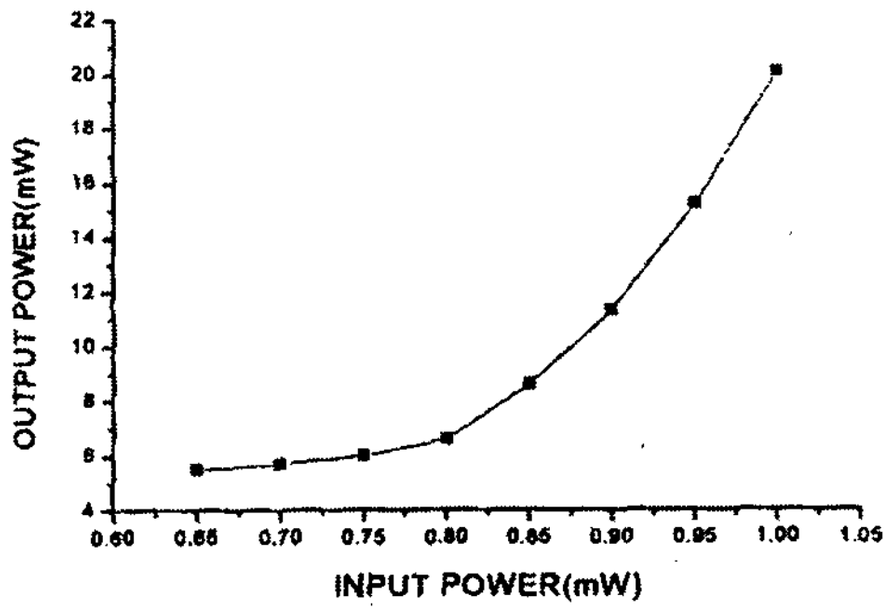

그림 3 여기 광원의 입력에 대한 ND:YAG 레이저의 출력 변화

그림 4는 1mm 두께의 $LilO_3$ 을 주파수 더블링 크리스탈로 사용한 무배경 자체상관기

(backfround free autocorrelation)을 사용하여 측정한 결과를 보여준다. 실제 펄스폭은 gaussian을 가정하였을 때 τp=80ps의 펄스폭을 얻었다.

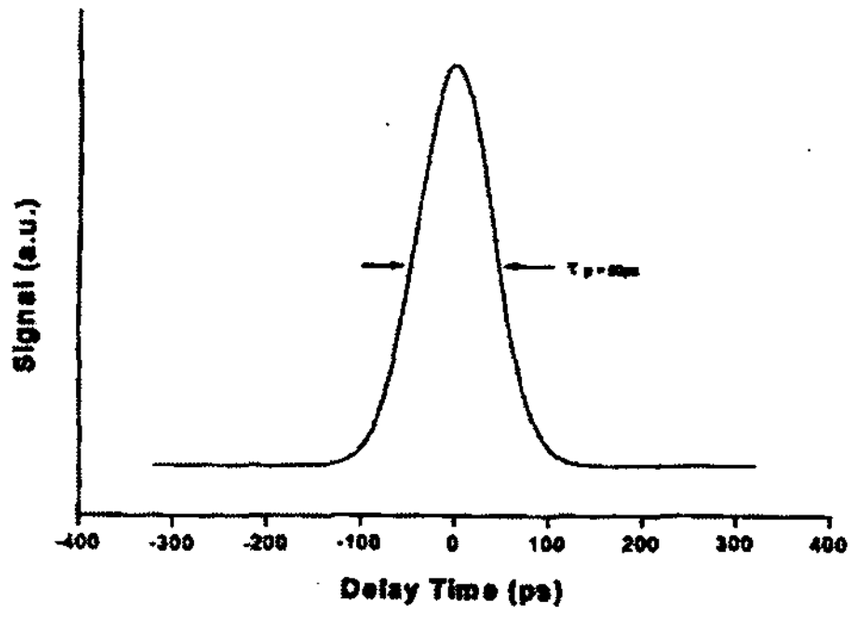

그림 4 모드록킹된 ND:YAG레이저의 광 펄스 출력 스펙트럼

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 초고속 레이저 광 펄스를 발생하기 위해서 A-O 변조기를 사용하여 Nd:YAG의 모드록킹을 행하였으며, 발진되어 나오는 레이저의 파워 및 스펙트럼 특성과 Nd:YAG 레이저의 출력특성을 측정하였다. 실험을 통해 펄스폭 80ps의 모드록킹된 ND:YAG 레이저 펄스를 획득하였으며, 생성된 극초단 펄스는 초고속 분광학에 응용이 가능하다.

참고문헌

[1] G. R. Fleming and A. E. Sigman, Ed., "Ultrafast Phenoena V", Springer-Verlag, Berlin (1988)

[2] T. Yajima, K. Yoshihara, C. B. Harris, and S. Shionoya, Ed., "Ultrafast Phenoena VI", Springer-Verlag, Berlin (1988)

[3] W. Köechner, "Solid-state Laser Engineering", Springer-Verlag Berlin Heidelberg (1988)

[4] D. C. Shannon and R. W. Wallace, Opt. Lett. 5, 318 (1991)

[5] W. Streifer, D. R. Scifres, C. L. Harnagel, D. F. Wech, J. Berger and <. Skamoto, IEEE. J. Quantum Electron., QE-24, 883 (1998)

[6] R. L. Byer, SCIENCE 239, 742 (1988)

[7] A. W. Tucker, M. Birnbaum, and C. L. Fincher, J. Appl. Phys, 14, 622 (1990)