

중편핑 단일 종모드 색소레이저 제작 및 특성연구  
Construction and Study of Longitudinally Pumped  
Single Mode Pulsed Dye Laser

이종훈<sup>o</sup>, 한재민, 김중복, 이종민  
한국에너지연구소 이론물리화학연구소

ABSTRACT

Single mode pulsed grazing incidence dye laser which has TEM<sub>00</sub> spatial beam pattern, near gaussian temporal shape and narrow band width(less than 500MHz) has been constructed. The improved performance comes as a results of reduction of cavity length(~5cm) and definition of optical path by means of longitudinal pumping. Using 1.0X10<sup>-4</sup>M Rh-6G dye, conversion efficiency was approximately 2.2% and tuning range was 548-564nm.

서 론

1972년 Hansch가 공진기 내에 거울 대신 회절격자를 Littrow mount시켜 일정 선폭 내의 파장을 가진 광만 되돌려 발진 선폭 축소에 획기적 기여를 한 후[1] 색소레이저는 공진기 내에 보다 적은 수의 광학기기를 두고 보다 좁은선폭, 높은효율, 넓은 가변영역을 가지도록 꾸준히 개선되어왔다.[2,3,4] 회절격자의 분해능은 회절격자의 diffraction order m과 사용되어진 회절격자의 총격자층 수 N의 곱에 비례하므로 회절격자의 많은 면적을 이용하여

선폭을 줄이기 위해 Hansch형 공진기에서는 회절격자 앞에 광속확대기를 사용하였으나 회절격자를 입사광에 대해 거의 90도로 놓여 두는 grazing incidence형의 개발[2,3]은 광속확대기가 없이도 수 GHz의 선폭을 가지는 발진광을 얻을 수 있게 하였다. 1984년 Littman은 grazing incidence형 공진기 구조에서 공진기 길이를 축소하고 중편핑 방법으로 광편핑 함으로써 공진기 내에 에타론을 두지 않고도 선폭이 300MHz 이하인 단일 종모드를 발진시킨 후 tuning mirror의 회전축을 적절히 선택하여 연속적으로 scanning하면서 발진시키는 데 성공하였다.[4] 본 연구에선 Littman이 개발한 단일 종모드 색소 레이저를 시험제작한 후 그 특성을 분석하였다.

이 론

공진기의 길이  $L(\theta d)$ 는 공진파장  $\lambda$ 와 식(1)의 관계를 가진다.

$$\lambda = 2L(\theta d)/N \quad (1)$$

위 식에서 N은 mode number이며 단일 모드 발진을 연속적으로 scanning하기 위해선 N이 일정해야 하므로 공진기 길이를 연속적으로

변화시켜야 함을 알 수 있다. Liu와 Littman은 공진기 내의 파장 선택 소자인 회절격자의 각분산식을 만족하면서 공진기 길이를 동시에 변화시키기 위해선 그림 1에서 보듯이 tuning mirror의 회전축이 end mirror, 회절격자, tuning mirror의 표면이 만나는 점이 되어야 함을 증명하였다.[5] 그림 1에서 공진기의 길이  $L(\theta d)$ 는  $EG+GT$  이며  $\theta_0$ 를 입사각,  $\theta d$ 를 회절각이라 할때  $EG=PG\sin\theta_0$ ,  $GT=PG\sin\theta d$  이므로  $L(\theta d)$ 는 식 (2)로 표현된다.

$$L(\theta d) = PG(\sin\theta_0 + \sin\theta d) \quad (2)$$

$d$ 를 회절격자쌍 사이의 거리라 할 때 회절격자식은 식 (3)으로 표현된다.

$$m\lambda = d(\sin\theta_0 + \sin\theta d) \quad (3)$$

식(2)와 식(3)에서 공진기 길이와 공진 파장은 식(4)의 관계를 가진다.

$$\lambda = 2L(\theta d)/(2PGm/d) \quad (4)$$

식 (4)에서 mode number  $N$ 은  $\theta d$  에 무관하며  $N=2PGm/d$  가 됨을 알 수 있다.

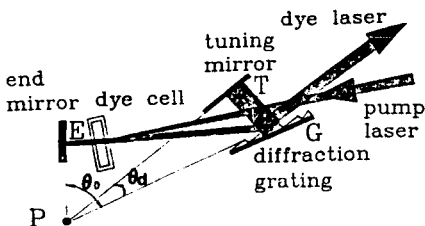


그림1. 단일 종모드 발진을 위한 공진기의 모습

### 실 험

그림 1과 같은 공진기 구조에서 전체 공진기의 길이는 5cm 정도로 축소시켜 이윳한 mode 사이의 거리를 넓히고 짧은 펄프광 펄스에 의해서도 공진기 내 발진광이 여러번 왕복하도록 하여 mode competing이 일어나도록 하였으며 광 펄프는 펄스폭 15ns, 에너지 1mJ이하의 Nd:YAG의 제 2 조화파를 쫓점거리 70cm의 벤즈(CVI, PLCX360.8/25.4)로 색소셀 면에 대해 5도 정도의 각으로 집속시키는 longitudinal pumping 방식을 채택하였다. 이러한 펄프방식은 펄프광이 집속되는 곳의 색소만 여기시키므로 공진기 내의 광이 다중왕복을 하며 증폭될 때 광의 행로를 공간적으로 고정시켜 색소의 활성 영역은 pinhole의 역할을 하게되면서 발진광의 beam waist를 결정하고 여러 모드가 발진하는 것을 막게했다. 그러나 색소의 활성 영역이 짧음에 따라 형광이 증폭되는 정도가 적어 정렬은 He-Ne 레이저를 이용하지 않고선 거의 불가능하였다. 그림 1의 공진기 구조에서 dielectric coating된 거울(Newport, 1"  $\phi$ , surface:  $\lambda/20$ )과 회절격자(American Holographic Co., 10X10X25, 2400line/mm)는 mount(Daedal)에 epoxy로 고정시켰다. Tuning mirror는 rotary stage(Newport) 위에 놓여 있어 파장을 가변시킬 수 있게 하였으며 모든 mount는 단일 몸체의 기판에 bolt로 강하게 고정시켰다. 색소셀은 NSG Precision 사의 제품(model:T-506, 길이:2mm, AR coated)을 이용하였다.

### 실 험 결 과

사진 1의 (a)는 단일 모드 발진을 알아보기 위해 FSR이 10GHz인 solid etalon(CVI ET-100)을 이용하여 발진광의 간섭무늬를 찍은 것으로 단일 모드로 발진하며 선폭은 500MHz이하임을 알 수

있다. 정확한 선폭을 재기 위해선 FSR이 3GHz이하인 etalon을 사용해야 하나 자재가 없어 확인하지 못하였다. 이때의 시간적 모양을 Tektronix 7934 storage oscilloscope로 잡은 것이(detector: SP1-KL) 사진 1의 (b)로 거의 gaussian임을 보여주며 출력광의 공간적 모양은 사진 2에서 보듯 거의 TEM<sub>00</sub>임을 알 수 있다.

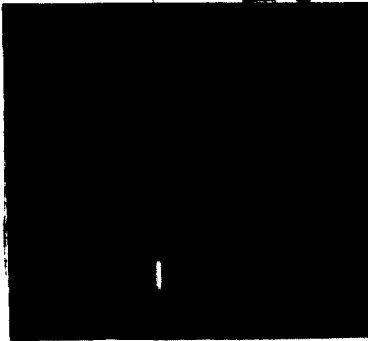
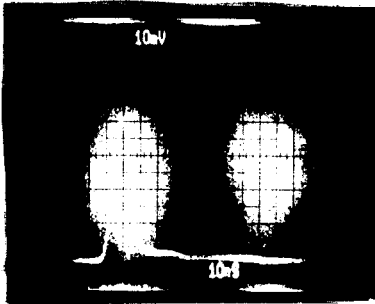


사진 1. (a). 단일 종모드 발진시

에타론 간섭무늬. FSR:10GHz



(b). 단일 종모드 발진시

출력광의 시간적 모양

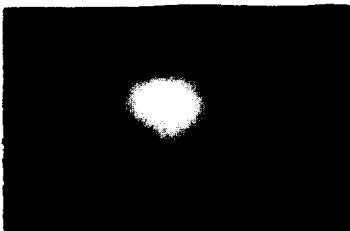


사진 2. 단일 종모드 색소레이저

출력광의 공간적 모양

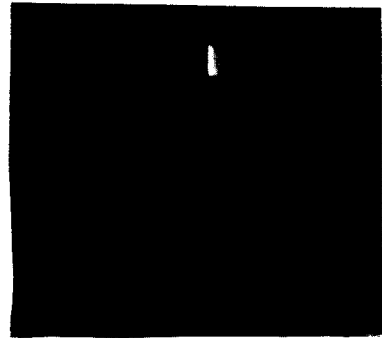


사진 3. 2개의 모드가 발진시

에타론 간섭무늬. FSR:10GHz

사진 3은 2개의 모드가 발진할 때의 간섭무늬이다.  $1.0 \times 10^{-4} \text{M}$ 의 Rh-6G(용매: 메탄올)색소를 사용하였을 때 tuning range는 548-564nm 이었으며 tuning maximum인 파장 558nm에서 에너지 전환 효율은 2.2%이었다. (Moletron J3-09 pyroelectric energy meter)

### 결 론

Grazing incidence형 색소 레이저에서 공진기 길이를 축소시키고 longitudinal pumping 방식을 채택함으로써 단일 모드 발진에 성공하였다. 이러한 레이저는 500MHz 이하의 선폭을 지니고 TEM<sub>00</sub> 형태의 공간적 분포와 gaussian의 시간적 모양을 가져 우수한 beam quality가 필요한 원자 분광학, 동위원소분리, 비선형 분광학의 제 분야에 널리 이용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. T.W.Hansch, Appl.Opt.11,895(1972)
2. M.G.Littman, and H.Metcalf, Appl.Optics.17, 2224 (1978)
3. I.Shoshan, N.N.Danon and U.P.Oppenheim, J. of Appl. Phys. 48,4495(1977)
4. M.G.Littman, Appl.Optics.15, 4465(1984)
5. K.Liu, and G. Littman, Optics Letter.6, 117 (1981)