

고분해능 펄스형 색소레이저 연구

Development of high resolution pulsed dye laser

김성호, 이병철, 정도영, 한재민, 이종민

한국원자력 연구소, 원자분광학실

중범핑 Littman 공진기에서 선폭 500 MHz 이하의 단일 종모드 색소레이저를 발진시켰으며, 에탈론 간섭무늬를 이용하여 단일종모드 색소레이저의 주파수를 안정화시켰다. 아울러 이들 레이저의 여러 특성을 조사하였으며, 최대효율은 2% , 문턱에너지는 130 uJ이었다.

I. 고분해능 펄스형 색소레이저에 알맞는 공진기형태

파장가변 색소레이저의 개발은 레이저를 이용한 원자분광학연구에 있어서 필수적이다. 특히 최근에 활발히 연구되고있는 다광자 이온화 실험을 행하기 위해서는 연속발진의 색소레이저 보다 출력이 크고, 반복률이 높은 좁은 선폭의 펄스형 레이저의 개발이 필요하다. 이러한 개발에 획기적인 발전을 가져온 것은 Hansch가 공진기내에 파장선택 소자인 Littrow 회절격자를 사용한 후 부터이다.

회절격자의 분해능은 회절격자의 회절차수와 사용되어진 격자흡수의 곱에 비례하므로 선폭축소와 함께 고출력에 의한 회절격자의 광손상을 막기위하여 망원경 광속확대기, 프리즘 광속확대기, grazing incidence grating을 공진기 내부에 설치한다. 망원경 광속확대기를 사용하는 경우에는 정렬이 어렵고 공진기 길이가 길어지는 단점이 있으며, 프리즘광속확대기를 사용하면 정렬은 쉬우나 프리즘면의 반사손실이 커 효율이 떨어진다. 이렇게 제작된 색소레이저의 선폭은 대체로 수

GHz이며 Hansch는 공진기내에 에탈론을 두어 선폭을 300MHz 로 축소하였다.[1] 한편 M.G.Littman과 I. Schoshan은 부수적인 광속확대기를 사용하지않고, 회절격자를 입사각이 거의 90도가 되게 놓음으로써 짧은 공진기 내에서 많은 면적의 회절격자를 사용할수 있게 설계하였다.[2] 이러한 설계에 의한 레이저 발진선폭은 Hansch 형의 결과와 비슷하였으며, 공진기 길이도 대폭 줄어 짧은 펄스로 펄핑할 때도 다중왕복이 이루어져 좁은선폭의 레이저 발진이 가능하게 되었다. 그러나 입사각이 커짐에 따라 효율이 줄어드는 단점이 있어, 이를 보완하기 위하여 망원경 광속확대기나 프리즘 광속확대기를 사용하여 회절격자를 비교적 작은 각도에 놓음으로써 효율을 증가시키기도 한다.

그후 Littman은 grazing incidence형 공진기 구조에서 공진기 길이를 축소하고 중범핑 방법으로 광범핑함으로써 공진기내에 에탈론을 두지않고 단일 종모드를 발진시킨후, 단일종모드를 연속적으로 주사하면서 발진하는데 성공하였다. [3]

본 연구에서는 종펌핑 Littman 공진기에서 단일 종모드 발진과 고휘력 Nd:YAG 레이저 및 고반복율의 구리증기레이저로 펌핑될 때의 특성을 연구하였다.

II. 종펌핑 Littman 공진기에서 단일종모드 색소레이저 발진

그림 1과 같은 공진기에서 종펌핑을 함으로서 매질이 균일하게 여기되므로 출력광의 공간적인 분포가 Gaussian에 가깝다. 또한 전체 공진기 길이를 5cm 이내로 짧게 하면 종모드 간의 거리가 멀어지므로 이로 인하여 단일종모드 발진이 유리하다. 아울러 한 펄스광을 받는 동안 공진기 내의 발진광이 여러번 왕복함으로써 ASE가 적은 단일종모드의 레이저 출력을 얻을 수 있다. 광펌핑은 펄스폭 15nsec, 에너지는 1mJ 이하의 Nd:YAG레이저의 제 2 조화파를 초점거리 70cm인 렌즈로 색소셀에 집속시켜 종펌핑을 하였으며, 이때 사용된 광학부품은 표 1에 나타내었다.

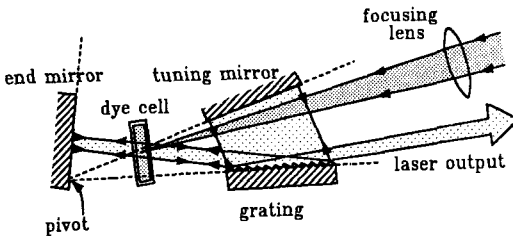


그림 1. 단일종모드 발진을 위한 종펌핑 Littman 공진기

표 1. 실험에 사용된 광학부품

end mirror	유전체 coating mirror
회절격자	American Holographic Co., 10x10x25, 2400line/mm
tuning mirror	Al mirror
색소셀	NSG Precision Co., T-506, optical depth:2mm
rotatable stage	NRC 480

이와 같이 발진된 레이저광의 스펙트럼을 알아보기 위하여 FSR가 10GHz인 에탈론을 이용하여 발진광의 간섭무늬를 조사하였으며, 이때 레이저는 그림 2에 나타난 바와같이 선폭이 500 MHz로서 단일종모드로 발진함을 알수있다. 이때 사용된 색소는 Rh-66로서 그 농도는 0.1mM 이었으며 최대 에너지 전환효율은 2% 이었다.



그림 2. 단일종모드 색소레이저 출력의 에탈론 무늬

III. 단일종모드 색소레이저의 주파수 안정화

단일종모드 색소레이저를 고분해분광학에 사용하기 위해서는 레이저 발진 주파수의 연속적인 scanning과 아울러 주파수 안정화 필수적이다. 색소레이저의 주파수 변화는 긴시간 요동과 짧은 시간 요동이 있다. 전자의 경우는 온도변화에 따른 공진기 길이변화와 색소 용액의 굴절율 변화가 가장 주된 요인이며, 후자의 경우는 기계적인 색소용액의 요동등이 주된요인이다. 여기서 특히 문제가 되는 것은 긴시간 요동이며 이를 없애기 위하여 많은 방법의 실험들이 행하여 졌다.

본 실험에서는 그림 3에 나타낸 바와 같이 단일 종모드 색소레이저 출력광을 에탈론에 투과시켜 간섭 무늬를 얻은후 간섭무늬위에 인접한 두개의 photodiode를 설치하였다. 이로써 주파수 변화는 두 photodiode의 상대적인 신호의 변화를 가져오며, 이 차이 (오차신호)를 증폭하여 공진기에 부착된 PZT에 가함으로써 공진기 길이변화에 따른 주파수변화를 제거하였다.

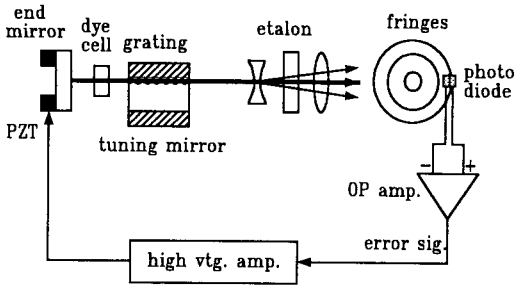


그림 3. 오차신호를 얻기위한 실험장치도

그림 4는 레이저 주파수 변화에 따른 오차 신호를 나타내었다. 주파수 안정을 확인하기 위하여 수은원자에서 다광자 이온신호를 관측하였으며 그림 5에서 나타낸 바와 같이 수시간에 걸쳐 안정화가 이루어졌다.

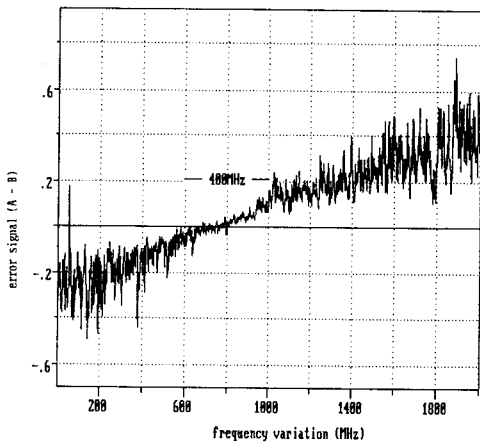


그림 4. 주파수 변화에 따른 오차신호

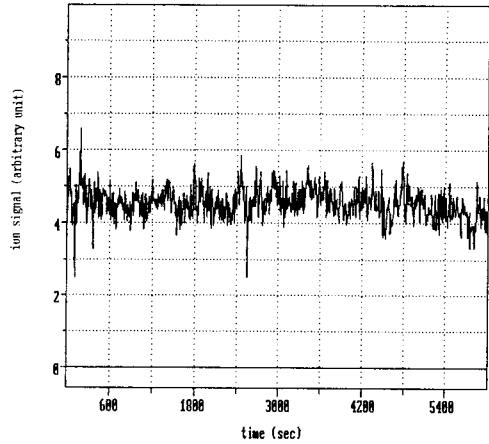
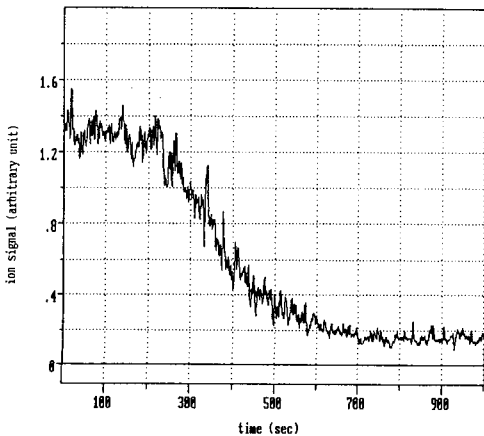


그림 5. 주파수 안정화를 시키지않을때의 이온신호(상)와 안정화를 시켰을때의 이온신호(하)

IV. 고반복률의 펄스형 색소레이저

색소레이저의 높은 효율과 안정된 발진을 위하여 가장 좋은 펌핑광은 구리증기 레이저라고 알려져있다. 구리증기레이저로 펌핑되는 색소레이저는 색소셀이 잘 설계되어야 한다. 특히 열에 의한 색소의 변질을 방지하고 triplet 준위에 머무르는 색소를 억제하기 위하여 색소용액을 빠르게 순환시켜야한다.

렌즈에 의하여 색소셀에 집속되는 광의 폭을 0.5mm 이하로, 구리증기레이저의 반복률을 10KHz 일때 펌핑광을 받고 다음 펌핑광을 받을때까지 새로운 색소용액이 채워지기 위해서는 5m/sec 이상의 속도로 용액을 흘러야함을 알수있다.

본실험에 사용된 펌프는 Micropump 사의 221로서 유량을 변화시킬수 있으며, 그 유량과 압력은 최대 각각 13.6l/min 및 4.3기압이다. 아울러 색소셀은 고속류에 적당한 Hellma 사의 690.072를 사용하였다. 고반복률의 구리증기레이저로 펌핑할때 색소용액의 속도 변화 및 입력에너지 변화에 따른 출력특성을 조사하였다. 종펌핑 Littman 공진기에서 먼저 색소용액의 속도와 레이저 출력과의 관계는 그림 6에 나타내었으며

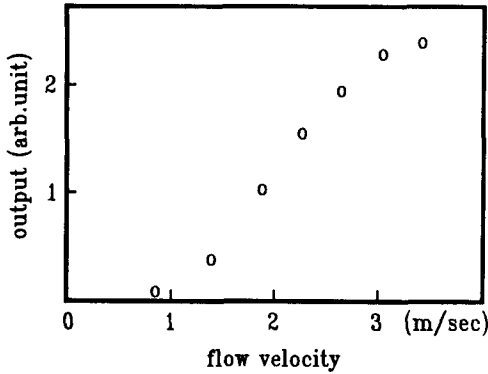


그림 6. 색소용액의 속도에 따른 출력변화

용액의 속도가 4m/min 까지 빨라질수록 출력이 증가하였다. 다음으로 입력에너지 변화에 따른 출력변화는 그림7에 나타내었으며, 레이저가 발진하기 위한 최소의 에너지는 130uJ이고 최대에너지 변환효율은 0.5%이다.

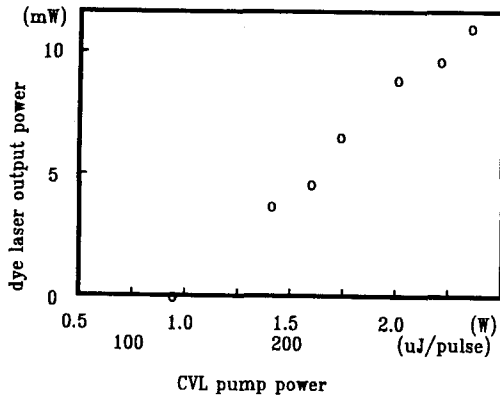


그림 7. 펌핑에너지에 따른 출력변화

V. 결론

레이저 출력광의 공간적인 분포가 우수한 종펌핑 Littman 공진기에서 공진기 길이를 5cm 이내로 단축하여 단일종모드 발진의 색소레이저를 얻을 수 있었다. 단일종모드 색소레이저는 온도변화에 의하여 공진기

길이 변화에 의해 인하여 종모드 이동이 생긴다. 이러한 주파수이동은 에탈론에 의한 레이저출력의 간섭 무늬를 두개의 인접한 photodiode로서 주파수 변화를 잃어 공진기거울에 부착된 PZT에 귀환시킴으로써 제거시킬 수 있었다. 고반복률의 구리증기 레이저로 펌핑될 때 색소용액의 속도가 4m/sec까지 증가할수록 출력은 증가하였으며, 최대효율은 Nd:YAG 레이저 펌핑시 2%이었으며 문턱에너지는 130 uJ이었다.

참고문헌

1. T.W Hansch, Appl. Opt., 11, 895(1972).
2. M.G.Littman, H.Metcalf, Appl.Opt.,17, 2224(1978).
3. M.G.Littman Appl. Opt., 15, 4465(1984).