

# 맥동레이저로 들뜨운 LiSAF 레이저의 출력특성

김철민, 박종대, 조창호  
배재대학교 물리학과

## Operating Characteristics of LiSAF laser pumped by a pulsed laser

Chil-Min Kim, Jong-Dae Park, Chang-Ho Cho  
*Department of Physics, PaiChai University*

$\text{Cr}^{3+}$ :LiSAF 레이저의 출력 특성을 조사하기 위하여 이 레이저를 들뜨울 수 있는 640nm DCM dye 레이저를 이용하여 이 레이저를 들뜨워 그 출력의 특성을 조사하였다. 이 레이저 결정을 3cm 크기의 공진기 안에 넣어 820nm에 전반사하고 93%의 반반사율을 갖는 거울을 양쪽에 달아 이 레이저를 들뜨워 그 출력의 특성을 보았다. 실험은 3%의  $\text{Cr}^{3+}$  첨가율을 갖는 결정과 10%의 첨가율을 갖는 두 종류의 결정을 선택하여 각각의 경우에 들뜨움 레이저 빛의 편각이 광축에 대하여 평행한 것과 수직 한 것에 대하여 각각의 효율이 어느정도 이며 slope efficiency가 어느정도인 가를 각각 살폈다. 그 결과 이 레이저는 최대 10%의 효율을 22mJ의 들뜨움 에너지에 대하여 가졌고 또 그 최대 slope efficiency는 19%를 가져 아주 좋은 효율을 가진 레이저 매질임을 확인 하였다.

Operating characteristics of a  $\text{Cr}^{3+}$ :LiSAF laser pumped by 640 nm pulsed DCM dye laser are observed. The laser consists of a 93% reflectivity of half mirror and a total reflector, and the lenth between two mirrors is 3 cm. Maximum efficiency is 10% for 22 mJ of pumping energy and the maximum slope efficiency is 19%.

**Key words** : LiSAF laser.

### I. 서 론

넓은 파장대의 레이저 빛을 내는 주파수 가변 고체레이저는 발진 선폭이 넓음으로 짧은 레이저 맥동을 만들 수 있어 그 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 레이저의 하나로 LiSrAlF 결정에  $\text{Cr}^{3+}$ 를 첨가시킨  $\text{Cr}^{3+}$ :LiSAF 레이저는 높은 출력과 레이저의 효율, 에너지 저장시간, 레이저 빛살의 질, 열적 특성 등이 좋아 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>1)</sup>. 이 레이저는 Payne 등이 개발하여<sup>2)</sup>

최근 수십 femto 초의 짧은 레이저의 맥동 까지 만들어 내어<sup>3)</sup> 짧은 레이저의 맥동을 만들 수 있는 고체 레이저 중의 하나로 알려지고 있으며 이와 비슷한 레이저로는  $\text{Cr}^{3+}$ 를 LiCaAlF 결정이나 LiSrCaAlF 결정에 첨가시킨 레이저 등이 있으나<sup>4)</sup> 이 중  $\text{Cr}^{3+}$ :LiSAF레이저가 가장 효율이나 특성이 좋은 것으로 알려지고 있다. 이 레이저 결정은 Hexagonal 구조를 가지고 있어 uniaxial 결정에 속하며<sup>4)</sup> 흡수띠는  $^4A_2$ 의 바닥 상태에서  $^4T_2$ 로의 흡수와  $^4A_2$ 에서  $^4T_{1a}$ 로의 흡수를 가지고 있고  $^4T_2$ 에서  $^4A_2$ 로의 레이저 전이를 가지고 있다.

\* 이 논문은 93년도 교내 연구비의 지원을 받았음.

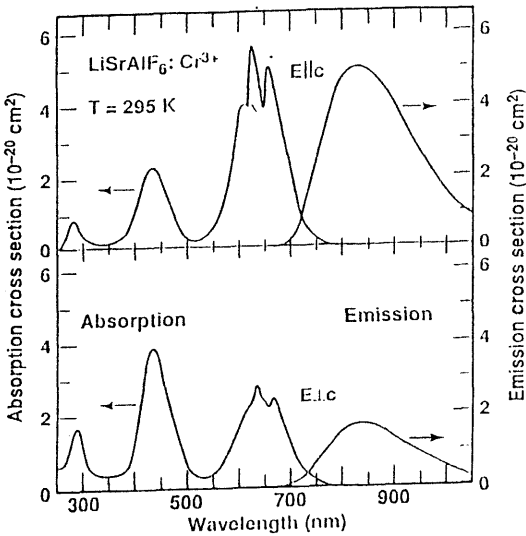


그림 1. LiSAlF 결정의 흡수대와 발광대

그래서 이 레이저는 그림 1에서 보는 바와 같이  ${}^4T_2$  에서  ${}^4A_2$ 로 전이에 해당하는 약 780 nm에서 1040 nm에 이르는 넓은 출력 띠를 가지고 있고  ${}^4A_2$  와 바닥 상태에서  ${}^4T_2$ 로의 흡수띠에 해당하는 640 nm 근처에서의 넓은 흡수 띠와  ${}^4A_2$ 에서  ${}^4T_{1a}$ 로의 흡수에 해당하는 440nm 근처에서의 넓은 흡수띠를 가지고 있다<sup>5)</sup>. 그래서 이 레이저를 들뜨우기 위해서는 440 nm의 레이저 빛이나 640 nm의 레이저 빛으로 들뜨우게 되는데 이 레이저 결정 특성상 640 nm는 광축에 대해서 평행으로 들뜨워야 하며 440 nm의 레이저에 대해서는 광축에 수직으로 들뜨워야 한다. 또한 이 레이저를 들뜨울 수 있는 레이저로는 640 nm 근처의 발진 파장에 해당하는 He-Ne 레이저, Diode 레이저, Dye 레이저 등이 있고 440 nm로 들뜨울 수 있는 레이저로서는 Dye 레이저, Ar 레이저, 최근 개발되고 있는 청색 diode 레이저 등이 있다. 여기서는 이 레이저의 출력특성을 조사하기 위하여 640 nm의 맥동 Dye레이저로 이 레이저를 들뜨워 이 레이저의 출력특성을 조사하였다.

II. 실험 방법

이 레이저를 들뜨우기 위해서는 640 nm의 레이저 빛이나 440 nm의 레이저 빛이 필요한데 그 중 640 nm의 레이저 빛이 더욱 효율이 좋은 것

으로 알려 지고 있다. 이 레이저를 들뜨우는 640nm의 레이저 빛을 얻기 위해서 DCM Dye 레이저를 사용하였는데 이 Dye레이저를 얻기 위해서는 Nd:YAG레이저의 2차 고조파를 사용하였다. 이 레이저를 들뜨우기 위해서 pumping 레이저 빛을 전반사 거울 뒤쪽에서 lens로 집속시켜 레이저 결정에 조사했으며 이때의 pumping 광원의 편극을 결정의 편극에 평행하거나 수직하도록 입사 시켰다. 이때 사용한 전반사 거울은 640 nm에 대해서는 투과하고 레이저의 출력에 해당하는 820 nm에 대해서는 99.5% 이상의 반사율을 가지도록 2중 coating된 레이저 거울을 사용하였다. 반반사 거울은 레이저의 출력인 820 nm에 대해 93%의 반사율을 가지는 거울을 사용하였다. 레이저의 출력은 적외선에 해당하므로 직접 눈으로 확인 할 수 없어 그 출력을 IR viewer로 확인 하였고 pumping 레이저 에너지는 Scientech 362 Joule meter로 측정하였고 출력 에너지는 Gentec Joule meter로 측정하였다. 레이저 공진기 길이는 2.5 cm 에서 실험하였으며 레이저 결정은 Cr<sup>3+</sup>이 10 % 첨가된 경우에는 그 두께가 2 mm, 3% 첨가된 경우에는 그 두께가 4 mm되는 것을 각각 사용하였다. 또한 레이저의 출력은 pin-photo diode를 이용하여 그 출력 파형을 확인 하였다. 전체적인 실험 열개는 그림 2 처럼 구성하였다.

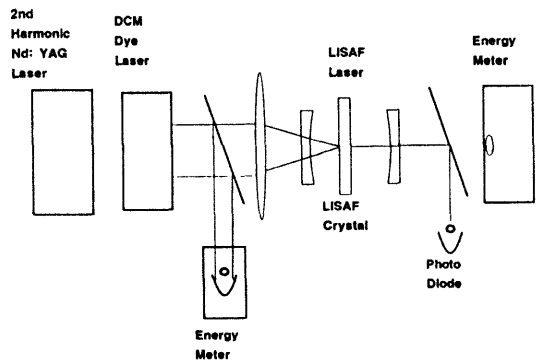


그림 2. 실험 장치도

III. 실험 결과

Nd:YAG 레이저에서 발진하는 2차고조파는 532 nm의 레이저 빛이고 이 빛을 DCM Dye에 입사시키면 DCM Dye는 640 nm를 중심 파장으로

로하는 넓은 파장대의 레이저 빛이 나온다. 이를 회절발 거울을 사용하여 분광시키면 640 nm 영역의 좁은 선폭의 레이저 빛이 나오는데 이를 pumping 광원으로 사용하였다. 이 레이저 빛은 LiSAF 결정을  $^4A_2$ 의 바닥 상태에서  $^4T_2$ 의 윗 준위로 전이 시키는데 이때 레이저 빛은  $^4T_2$ 에서  $^4A_2$ 로의 전이에 의해 발진하게 된다. 이때 발진 레이저 빛은 780 nm에서 1040 nm에 걸치는 파장의 빛이 나오게 된다. 이는 고체 결정의 특성상 band의 구조가 곡선을 가지고 있기 때문에 그 전이선이 같다 하여도 흡수 파장과 발진 파장이 달라지게 되기 때문이다. 그래서 이 레이저는 그 효율이 아주크게 되는데 이는 Ti:Sapphire 레이저 등 일반 다른 주파수 가변 고체레이저에서 보이는 현상과 같다.

이 레이저로 LiSAF 레이저를 들뜨우게 되면 레이저는 넓은 파장의 레이저 빛이 발진하게 되나 실제로는 레이저 거울의 coating이 820 nm 근처에 맞추어져 있으므로 실제로는 좁은 선폭의 레이저 빛이 발진하게 된다. 그림 3은 이렇게 하여 발진되는 LiSAF 레이저의 빛을 보여준다. 앞쪽의 작은 레이저 출력은 DCM Dye로부터 나오는 pumping 레이저 빛이며 뒤에 나오는 레이저 빛은 LiSAF 레이저 빛이다. 이 레이저 빛은 그 맥동 너비가 약 120 nsec 정도의 짧은 레이저 빛이다.

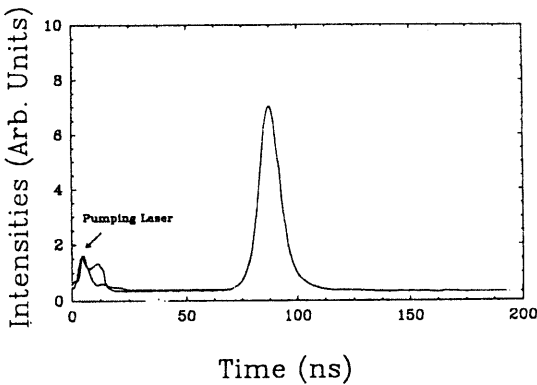


그림 3. 들뜨움 레이저 빛과 LiSAF 레이저 빛의 파형

이러한 레이저의 효율을 보기 위해서는 그 출력 에너지를 보아야 하는데 두 레이저의 출력을 동시에 읽어야 하므로 입사 레이저 빛의 5%를 반반사 거울을 통하여 첫번째 에너지 측정기에 넣었고 LiSAF 레이저의 에너지는 두번째 에너지

측정기에 넣었다. 각 에너지를 환산하여 총 입사 에너지에 대한 레이저 출력에너지를 구하였는데 입사에너지의 에너지 크기에 따라 출력 에너지의 비율을 구하였다. 실험은 먼저 10%의  $Cr^{3+}$ 이 첨가된 LiSAF 레이저의 효율을 들뜨움 광원의 편극에 따라 보았고 그 다음은 3%의  $Cr^{3+}$ 이 첨가된 LiSAF 레이저에 대해 들뜨움 광원의 편극에 따라 레이저 출력의 효율을 보았다.

그림 1에서 보는 바와 같이 이 레이저의 흡수율은 640 nm의 들뜨움에 대해서 들뜨움 광원의 편극이 광축에 대하여 평행일 때 흡수율이 수직일 때 비하여 크므로 이에 대한 레이저 효율을 보기 위한 것이다. 10%의 LiSAF 레이저의 경우에 대한 실험의 결과는 그림 4 (a)에 나와 있는

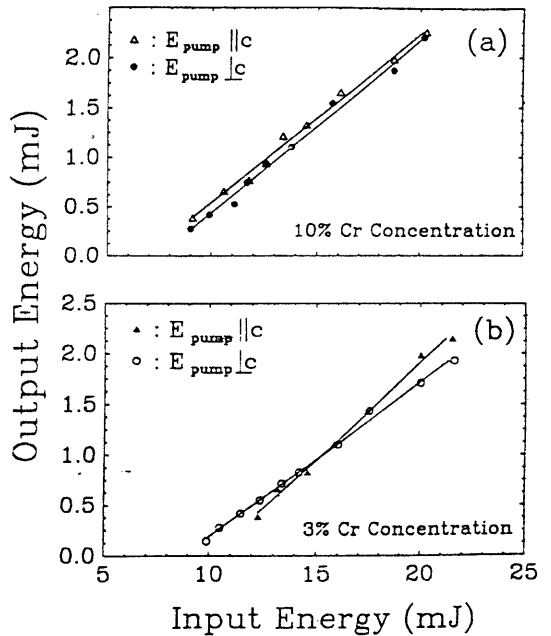


그림 4. 입력 에너지에 따른 LiSAF 레이저의 출력 에너지

데 이 그림을 보면 입사 빛의 편극이 평행할 때나 수직할 때 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 LiSAF 결정이 입사 레이저의 빛을 모두 흡수할 만큼 첨가물의 양이 큰 때문으로 추정되는데 이 그림에서 보면 레이저 발진의 문턱에너지는 약 8 mJ 정도로 나타났다. 그리고 이 레이저는 입력 에너지가 크면 클수록 그 효율이 증가하는데 그 slope efficiency를 측정된 결과 약 17% 였다. 이는 편극이 광축에 평행하거나 수직하거나

마찬가지였는데 최대효율은 평행한 경우는 약 11.1% 였고 수직인 경우는 약 10.9%였다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 그 효율에 별 차이가 없음을 나타낸다.

두번째로는 3%의 첨가물에 대하여 실험하였다. 3%의 첨가물일 때는 편극이 광축에 평행일 경우 광축에 수직인 경우와 비교한 결과 입사 에너지가 낮을 때 평행한 경우가 수직인 경우보다 그 효율이 낮았으나 입사 에너지가 커질수록 그 효율이 더 빨리 증가해 높은 입사에너지에서는 효율이 더 큰 것 볼 수 있는데 이는 결정의 흡수율이 평행한 경우가 더 좋은 흡수계수를 가지는 현상으로 볼 수 있다. 그래서 여기서 구한 문턱 발진에너지는 편극이 평행한 경우에는 약 10 mJ 이고 수직인 경우에는 약 9 mJ 정도로 나타났다. 이때 구한 slope efficiency는 평행한 경우가 약 19% 였고 수직인 경우는 약 15% 였다. 또 최대 효율은 평행인 경우가 10% 수직인 경우가 약 8.9% 였다.

## VI. 결 론

LiSAF레이저는 실험의 결과에서 보듯 그 slope efficiency가 약 17%이며 효율도 약 22 mJ의 입력에 대하여 11% 이었다. 이는 입력 레이저의 출력을 더 이상 올릴 수 없어서 이 정도의 효율 밖에 얻지 못했으나 실제로 만약 입력 에너지를 더 올릴 수 있으면 slope efficiency를 근거로 예상한다면 20% 이상 올릴 수 있을 것으로 추측된다. 그리고 레이저 결정의 광축에 따른 입사 빛의 편극 상태를 보면 광축에 평행한 편극의 입사가 훨씬 높은 효율을 지녔었다. 이는 결정의 흡수계수가 크기 때문에 단위면적당 훨씬 많은 에너지를 저장할 수 있기 때문인 것으로 풀이된다. 이러한 현상은 3%의 결정이나 10%의 결정에서 모두 나타난다.

이 레이저 외에도 LiCAF레이저나 LiSCAF 레이저도 비슷한 특성을 가지는 것으로 알려지고 있으므로 이러한 레이저에 대한 연구도 계속할 필요가 있으며 LiSAF 레이저에서 cw로 발진하는 경우에서의 에너지 효율이나 slope efficiency 등을 조사해야하며 또한 이 레이저에서 극초단 맥동을 발생시켜 그 맥동폭을 수 femto 초로 줄이는 일 등이 필요하다.

## V. 인 용 문 헌

1. L.L. Chase and S.A. Payne, Opt. Photo. News, 16, August(1990)
2. S.A. Payne, L.L. Chase, L.K. Smith, W.L. Kway and H.W. Newkirk, J. Appl. Phys, 1051, 66(1989)
3. N.H. Rizvi, P.M.W. French, and J.R. Taylor, Opt. Lett, 15, 1605(1992)
4. S.A. Payne, L.L. Chase, H.W. Newkirk, L.K. Smith, and W.F. Kruepe, IEEE, J. Quantum. Electron, 2243, 24(1988); J.A. Caird, S.A. Payne, P.R. Staver, A.J. Ramponi, L.L. Chase, and W.F. Kruepe, IEEE, J. Quantum Electron, 1077, 24(1988); B. Chai, M. Bass, and M. Stalder, Advanced Solid State Lasers Topical Meeting, March 5 (1990); S.A. Payne, L.L. Chase, J.J. Atherton, J.A. Caird, W.L. Kway, M.D. Shinn, R.S. Hughes and L.K. Smith, Solid-state lasers, SPIE Conf. series, Vol.84 (1990)
5. L.L. Chase, S.A. Payne, L.K. Smith, W.L. Kway, H.W. Newkirk, B.H.T. Chai and M. Long, OSA Proceeding on tunable solid-state lasers, M.L. Shand and H.P. Jenssen, eds, 71, Vol5(1989)