

## Alexandrite 레이저의 형광특성

윤 태현, 김 규욱, 원 중욱  
한국표준연구소 레이저 연구실

Flourescence characteristics of the Alexandrite Laser  
Tai Hyun Yoon, Gyu Ug Kim, Jong Wook Won  
Laser Laboratory  
Korea Standards Research Institute

CW arc 램프로 펄핑하는 Alexandrite 레이저의 형광을 Optical Spectrum Analyzer 를 이용하여 측정하였다. Vibronic 천이에 해당하는 광대역 형광 스펙트럼이 관측되었고 arc 램프 입력에 따른 peak 형광의 세기 및 peak intensity 파장의 입력 power 의존성을 조사하였다. 형광의 세기는 입력 power 에 따라 0.16 /kW 의 비율로 증가하였고, peak intensity 파장은 입력 power 가 5 kW 까지는 5 nm/kW 비율로 장파장쪽으로 이동하였다.

### 서론

Alexandrite ( $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$ ) 레이저는  $\text{Cr}^{3+}$  이온이 레이저 천이를 갖는 vibronic 레이저의 일종이다. Alexandrite 레이저의 발진파장은 상온에서 730 nm ~ 790 nm 의 근적외선 광대역에 걸쳐있으며 이는  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$  결정내의  $\text{Cr}^{3+}$  이온의 치환위치 및 결정축에 따라 다르며 전체적인 천이특성을 이해하기 위하여는 Alexandrite 레이저의 흡수 및 형광 특성을 알아야 한다. 상온에서 관측한 Alexandrite 레이저의 흡수 스펙트럼이 그림 1 에 나타나 있다.

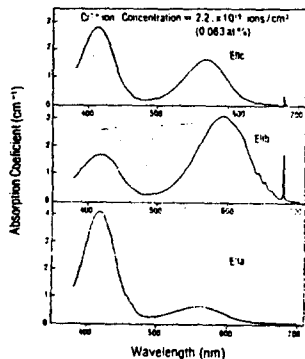


Fig. 1 Alexandrite absorption spectra at room temperature.

그림 1 에는 순수한 전자천이에 해당하는 R-line 흡수가 680 nm 에서 보이며 결정의 a, b, c 축에 따라 흡수 스펙트럼이 다른 것은  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$  내의  $\text{Cr}^{3+}$  이온이 결정축

에 따라 다른 결정장 (crystal field) 를 받아 에너지 level 구조가 다르기 때문이다. 그림 2 에는  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$  결정내의  $\text{Cr}^{3+}$  이온의 에너지 level 구조를 보여준다. 또한  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$  결정내에  $\text{Cr}^{3+}$  이온 site 는 inversion site 와 mirror site 가 있는데 레이저 천이에 관여하는 site 는 mirror site 이며 전체  $\text{Cr}^{3+}$  이온의 78 % 가 mirror site 에 있는 것으로 ESR (Electron Spin Resonance) 실험결과 밝혀졌다. 1)

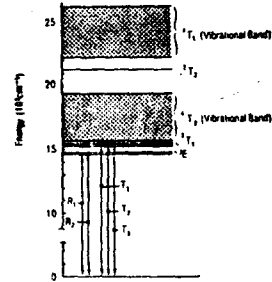


Fig. 2 Energy level diagram of  $\text{Cr}^{3+}$  in Alexandrite; broad bands are the Stokes sidebands of  ${}^4A_2 \rightarrow {}^4T_2$ ,  ${}^4T_1$  transitions as indicated.

Alexandrite 내의  $\text{Cr}^{3+}$  이온의 상온 형광 스펙트럼을 그림 3 에 보였다. 2) 그림 3 에서 알 수 있듯이  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$  결정의 a, b, c 축에 대하여 강한 의존성을 가지며 E//b 인 편광에 대하여 다른 축보다 강한 형광을 냈은 알 수 있어 대부분의 Alexandrite 레이저의 emission 이 결정의 b 축에 따른다. Vibronic 레이저의 형광 스펙트럼은 Tanabe - Sugano 이론으로 3) 설명되어 있는데 Alexandrite 레이저의  $\text{Cr}^{3+}$  이온에 대하여도 적용할 수가 있다. Tanabe - Sugano 이론에 의해 Alexandrite 레이저의  $\text{Cr}^{3+}$  이온에 대한 에너지 level 이 바로 그림 2 이다. 그림 2 에서 넓은 level 은  ${}^4A_2 \rightarrow {}^4T_2$  와  ${}^4A_2 \rightarrow {}^4T_1$  천이의 강한 진동 축대파 이다. 앞에서 기술했듯이 R<sub>1</sub> 과 R<sub>2</sub> 선이  ${}^4A_2 \rightarrow {}^2E$  천이에 해당하며 각각 680.4 nm 와 678.5 nm 의 천이 파장을 가진다.

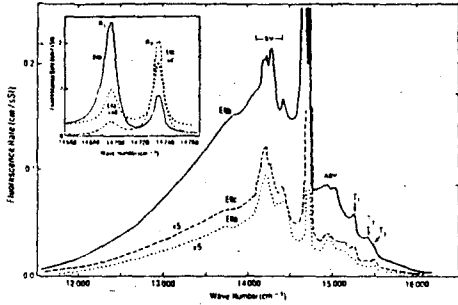


Fig. 3 Alexandrite Cr<sup>3+</sup> - fluorescence spectra at room temperature.

실험

제작중인 Alexandrite 레이저의 형광특성을 측정하기 위하여 그림 4 와 같은 실험장치를 이용하였으며, 600 nm ~ 1300 nm 파장 영역에서 파장 분석을 할 수 있는 Optical Spectrum Analyzer (OSA:Anritsu MS96A) 를 사용하여 Alexandrite 레이저의 형광을 기록하였다. 실험에 사용한 Alexandrite rod 는 레이저 발생시 사용할 것 6.35 × 110 mm (Cr<sup>3+</sup> 농도 0.14 At.%) 를 이용하였으며 편평 cavity 의 구조는 이미 발표한 바 있다.<sup>1)</sup> Arc 램프는 6.5 kW 까지 출력이 가능하며, 레이저 형광은 단일 모드 광섬유를 이용하여 OSA 로 전송되었다.

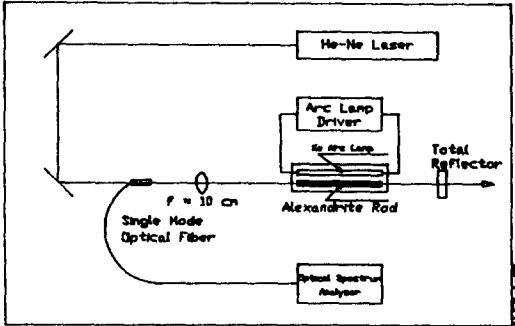


Fig. 4 Schematic diagram to measure the fluorescence of the Alexandrite rod.

그림 5 에는 입력 power 가 3.6 kW 일때의 Alexandrite 의 형광사진이다. 레이저 발진파장 영역인 730 ~ 790 nm 사이에서 넓은 형광이 있음을 보여준다. 또한 그림 5 에서 형광의 peak intensity 파장이 약 730 nm 에 있음을 알 수 있다. 또한 형광의 peak intensity 가 arc 램프의 입력 power 에 따라 선형적으로 변하는데 그림 6 에 보이는 것 처럼 비례상수는 0.16 /kW 이다. 그림 6 에서는 상대적인 intensity 크기를 arc 램프의 입력 power 가 6.4 kW 일 때를 기준으로하여 normalize

한 값이다.

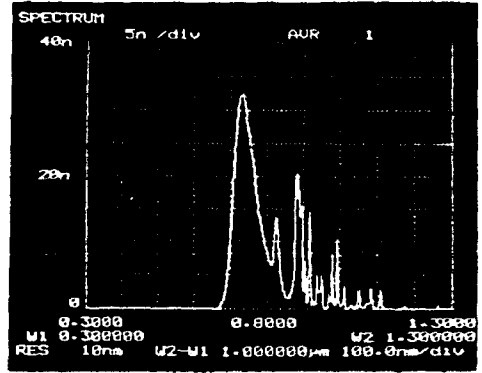


Fig. 5 Fluorescence spectra of the Alexandrite rod pumped of 3.6 kW Xe arc lamp.

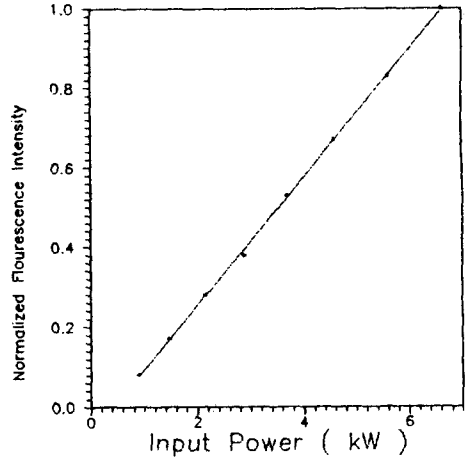


Fig. 6 Normalized fluorescence peak intensity as a function of arc lamp input power.

Alexandrite rod 의 형광 peak intensity 파장이 또한 arc 램프 입력 power 에 따라 변화함을 알았는데 그림 7 에 그 결과를 나타내었다. 형광 peak intensity 파장은 arc 램프 입력 power 에 따라서 비 선형적으로 변하고 있으며 입력 power 가 증가할 수록 장파장 쪽으로 이동하였다. 이때 형광 peak intensity 파장의 이동을 least square fitting 한 결과 평균적으로 3.6 nm/kW 의 기울기로 이동하며 입력 power 가 5 kW 까지는 5 nm/kW

로 기울기가 급하며 5 kW 이상에서는 saturation 되었다.

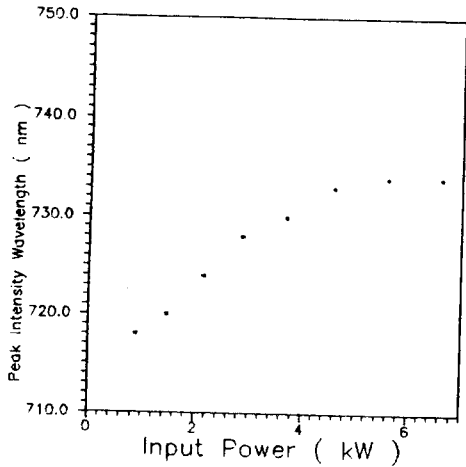


Fig. 7 Arc lamp input power dependence of peak intensity fluorescence of the Alexandrite rod.

형광 peak intensity 파장의 입력 power 의존성을 이해하기 위해서는  $Cr^{3+}$  이온의 에너지 level 에 관한 정확한 이해가 필요하며 또한 vibronic 천이의 형광과 전이장과의 상호작용 특성에 관한 일반적인 이론이 필요하다. Alexandrite 레이저의 rate equation 으로 형광 peak intensity 파장의 입력 power 의존성을 설명하려고 하였으나 아직까지 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다.

#### 결론

Alexandrite 레이저의 상온에서의 형광을 optical spectrum analyzer 를 이용하여 측정하였다. Arc 램프의 입력 power 에 따른 형광 peak intensity 는 선형적으로 증가하였으며 이때 비례상수는 0.16 /kW 이었다. 또한 형광 peak intensity 파장도 arc 램프 입력 power 에 따라 장파장 쪽으로 이동하였는데 입력 power 가 5 kW 까지는 5 nm/kW 의 비율로 이동하였고 5 kW 이상에서는 saturation 되었다. Alexandrite 레이저의 형광특성을 설명하기 위한 이론적인 연구가 진행중이다.

본 연구는 과학기술처 시행 특정연구과제의 일환으로 수행되었음

#### References

- 1] C.E. Forbes, J. Chem. Phys., **79**(6), 2590 (1983)
- 2] J.C. Walling et. al., IEEE J. Quan. Elec., **16**(12), 1302 (1980)
- 3] Y. Tanabe and S. Sugano, J. Phys Soc. Japan, **9**, 753 (1954)
- 4] 문태현 등, '89 레이저 광기술 워크샵, 파라다이스 보고, 52 (1989)