

Ce³⁺:YAlO₃ 단결정의 5d 상태 흡수 및 비발광 천이*

김지병 · 임기수

충북대학교 물리학과

이건준 · 김동호

한국표준과학연구원 분광연구그룹

한재민

한국원자력연구소 원자분광학연구실

(1994년 10월 20일 받음)

Ce:YAlO₃ 단결정 재료에 대한 5d 준위로부터 전도대로의 여기상태 흡수스펙트럼을 최초로 측정하였다. 이를 위해 XeCl 레이저의 308 nm와 색소레이저의 400~650 nm의 빛을 사용하였고 555 nm와 465 nm에서 최대치를 갖는 흡수띠를 얻었으며, 이로부터 여기상태 흡수 cross section과 oscillator strength를 계산하였다. 또한 5d 준위로부터 비발광 천이과정 연구를 위해 300~700 K의 온도영역에서 형광수명시간을 측정하였고, 5d 준위로부터의 ESA와 천이를 배위좌표를 사용하여 설명하였다.

I. 서 론

Ce³⁺ 이온은 4f¹의 기저상태 전자배열을 이루고 있기 때문에 +3가의 희토류 이온중 가장 단순한 광 스펙트럼구조를 가지고 있다.^[1] Ce³⁺ 이온이 첨가된 광재료에서 4f-4f천이는 적외선영역에서, 4f-5d천이는 매우 넓은 근 자외선 영역에서 주로 나타난다. 4f의 전자준위는 spin-orbit coupling 으로 인해 ²F_{5/2}와 ²F_{7/2}으로 갈라지고 cubic 대칭구조가 아닌 결정장에서는 다시 각각 3개와 4개로 갈라져서 Kramer degeneracy를 제외하곤 완전히 분리된다. 5d 준위 역시 스핀-궤도 결합과 결정장에 의하여 5개로 분리된다. 5d 전자 밀도분포가 5s와 5p의 shielding 효과를 별로받지 않고 주위 결정장의 영향을 상대적으로 크게 받아 에너지 준위가 띠를 형성한다. 따라서 흡수 스펙트럼에서 넓은 띠로 나타나고 Stoke shift로 인해 형광스펙트럼에서도 넓은 띠로 나타난다.

이러한 매우 넓은 자외선 영역의 형광띠를 이용한 고체레이저 개발연구가 최근에 일부 재료에 대해 수행된 바 있다. 그 중에서 Ce³⁺:LaF₃와 Ce³⁺:YLF는 레이저

발진에 성공하였으나,^[2,3] Ce³⁺:YAG, Ce³⁺:CaF₂ 등은 실패로 끝났다.^[4,5] Ce³⁺:LaF₃와 Ce³⁺:YLF 경우는 band edge로의 천이가 가능하려면 60000 cm⁻¹ 이상의^[6] 큰 에너지가 필요하여 5d 준위로부터의 ESA(excited state absorption)^[7]를 무시할 수 있었다. 이 두 재료에서는 펄핑광의 2 광자 흡수로 인한 광이온화 과정으로 인해 color center가 형성이 되어 레이저의 문턱에너지나 반복율을 제한하였을 뿐이다. 그러나 Ce³⁺:YAG 등은 가장 낮은 5d 준위로부터의 ESA로 인해 광손실이 크게 나타났다.^[8,9] 4f-5d로의 광펄핑 후 ~ps의 짧은 시간에 가장 낮은 5d 준위에 수 십 ns동안 잠시 머물게 되는데, 이때 펄핑광이나 형광의 파장영역에서의 ESA나 비발광천이는 형광효율을 크게 감소시키게 된다. Ce³⁺ 재료의 이러한 현상에 관한 연구는 고체레이저 개발을 위해서 뿐 아니라 최근에는 phosphors^[10]와 관련하여 재료의 분광특성을 이해하기 위해서도 연구되고 있다.

YAP은 다양한 이온의 레이저발진이 보고된 잘 알려진 레이저 host로서^[11] Ce³⁺:YAlO₃은 Ce³⁺:YLF나 Ce³⁺:LaF₃의 290~320 nm와 Ce:YAG의 400~500 nm의 사이 영역인 330~400 nm 영역에서 형광을 내고 있다.^[12] 또한 이 재료에서는 Ce이온이 C₁₆구조를 가지며 다른 Ce재료보다 Ce이온과 ligand 거리가 멀어 최근 발표된 이론과

*이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

계산에 의하면 oscillator strength가 큰 것으로 알려져 있다.^[13]

본 연구에서는 $Ce^{3+}:YAIO_3$ 단결정 재료에 대한 308 nm 광 펌핑 후 5d준위로부터의 가시광선 영역의 ESA 스펙트럼측정을 통해 $YAIO_3$ 내부에서의 Ce^{3+} 전자의 에너지상태를 밝히고자 하였다. 또한 최근 Lyu 등이^[14] 수행한 $Ce^{3+}:YAIO_3$ 의 발광 및 비발광실험에서 7 ns의 Q-switched 레이저를 사용하여 수 ns의 형광수명시간을 얻으나 본 연구에서는 1 ps의 펄스폭을 갖는 synchronously pumped ps dye laser를 사용하여 그들의 결과에 대한 상대적으로 더 정확하고 수정된 실험결과를 얻었다.

II. 실험방법

실험에 사용한 시료는 Castech에서 Czochralski방법으로 성장시킨 것을 구입한 것으로서 c 축으로 잘린 0.2% $Ce^{3+}:YAIO_3$ 이고 크기는 $6 \times 6 \times 10 \text{ mm}^3$ 이다. 가시광선 흡수스펙트럼을 측정하기 위해 두께 450 μm 로 자른 후 매우 얇게 polishing하였고 분광광도계(Varian Cary5E)를 사용하였으며, 적외선영역에서는 상온에서 FTIR spectrometer(Bomem DA8.16)를 사용하였다. 형광스펙트럼은 150 W xenon램프와 0.2 m monochromator(Jobin Yvon)를 사용하였다. 여기상태 흡수(ESA)스펙트럼 측정을 위해 그림 1과 같은 장치를 사용하였다. 펌프광으로는 14 ns의 펄스폭을 갖는 308 nm의 XeCl레이저(Lumonics

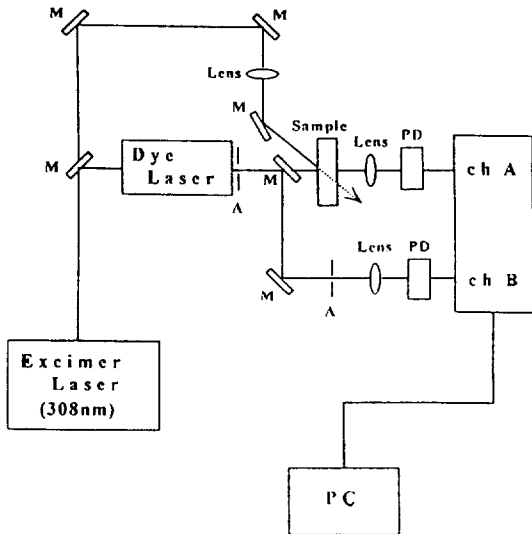


그림 1. 펌프-촉침 방법을 이용한 ESA 측정장치 (PD: photodiode, A: aperture, PC: personal computer)

EX-748)을, 그리고 촉침광으로는 XeCl 레이저로 펌핑된 400~650 nm영역에서의 색소레이저(Lumonics HD-500)를 사용하였다.

시료표면에서 펌핑광의 크기는 6 mm², 촉침광의 크기는 2 mm²으로하여 중첩시켰다. ESA를 측정하기 위해 XeCl 레이저의 세기를 약 3 MW/cm²으로 하였고 색소레이저는 색소에 따라 다르나 펌핑광의 1/100 이하로 매우 약한 빔을 사용하였다. 두 빔의 교차각은 20° 정도로 하였고 펌핑광은 시료를 지난 후에 차단하였으며 촉침광의 세기는 photodiode(Newport 818-BB)로 측정하였다. ESA의 신호를 얻기위해 펌핑광이 있을 때와 없을 때의 촉침광의 세기를 측정하고 두 채널을 이용하여 규격화한 후 각각 그 스펙트럼을 PC에 저장하였다. 색소를 바꿀때 색소의 파장이 중복되게 하여 신호가 중복된 파장에서는 일치하도록 조절하였다.

그리고 고온에서의 형광수명시간을 측정하기 위해서 노(furnace)를 제작하였고 300~800 K 범위에서 온도조절을 가능하게 하였다. 수 ns의 짧은 형광시간을 측정하기 위해 그림 2와 같이 극초단 펄스레이저와 시간상관단일광자계수(time correlated single photon counting: TCSPC)장치를 사용하였다. 짧은 펄스를 얻기위해 mode-

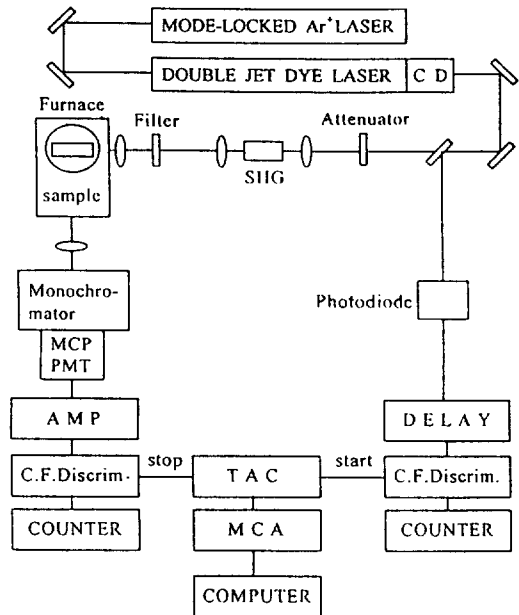


그림 2. 고온에서의 형광수명시간 측정장치(MCP-PMT: microchannel plate photomultiplier tube, CFD: constant fraction discriminator, TAC: time to amplitude converter, MCA: multichannel analyzer).

locked 아르곤레이저(Coherent Innva 200)로 색소레이저(Coherent 702)를 펌핑하였다. 이득매질은 Rh6G 색소를, 포화흡수체로는 DODCI를 사용하였고 cavity dumper(Coherent 7220)를 사용하여 3.8 MHz에서 파장 590 nm, 평균 출력 20 mW, 폭이 약 1 ps의 짧은 펄스를 얻었고, 이것을 BBO를 거쳐 295 nm의 빔으로 만들어서 시료에 입사시켰다. 시료로부터 방출되는 광 신호는 초점거리가 15 cm인 두 개의 렌즈를 사용하여 단색화 장치(Jobin-Yvon H20)에 입사시켰고 광전증배관(microchannel plate-Hamamatsu R2809)로 전기신호로 바꾸었다. 이 신호를 증폭기(Philip Scientific), constant fraction discriminator(Tennelec), time-to-amplitude converter(Tennelec)와 counter 및 multichannel analyzer(Tennelec/Nucleus)를 거쳐 PC에 저장하였다.

III. 결과 및 논의

1. 흡수 및 형광 스펙트럼

상온에서 자외선 및 가시광선 영역의 흡수 스펙트럼은 그림 3(a)과 같다. 이미 알려진 흡수 스펙트럼¹²⁾보다 훨씬 잘 분해된 303 nm(33000 cm⁻¹), 290 nm(34500 cm⁻¹), 260 nm(36400 cm⁻¹), 238.7 nm(41900 cm⁻¹), 220 nm(45500 cm⁻¹)에서 5개의 peak가 선명하게 나타나고 있고 band edge에 의한 흡수도 200 nm 이상에선 나타나지 않고 있다. 적외선 영역에서도 그림 3(b)와 같이 투과 스펙트럼에서 ²F_{5/2}의 3개의 Stark 준위 중 가장 낮은 준위로부터 ²F_{7/2}의 4개의 준위의 천이가 2085 cm⁻¹, 2485 cm⁻¹, 2695 cm⁻¹, 3250 cm⁻¹에서 뚜렷하게 관찰되었다.

저온에서의 형광스펙트럼은 그림 4와 같이 2개의 peak가 348 nm와 374 nm에서 잘 분리되어 나타나며 가장 낮은 5d 준위로부터 spin-orbit coupling에 의해 분리된 ²F_{5/2}와 ²F_{7/2}로의 천이를 보여주고 있다.

흡수와 형광 스펙트럼으로부터 Stokes shift는 약 4300 cm⁻¹임을 알 수 있다. 그러나 최근 Mares 등이¹⁶⁾ 발견했다고 보고한 500 nm 영역에서의 넓은 형광띠는 전혀 발견할 수 없었다. 그들의 실험 결과에 의하면 자외선 형광과 녹색형광의 세기의 비는 약 10:1 정도 이상이 되어야 하나 본 연구에서는 녹색형광 대신 자외선 형광세기의 약 10³ 정도의 형광을 630 nm에서 관찰할 수 있었다. 그러나 Weber¹²⁾와 Lyu¹⁴⁾의 실험에서는 자외선 이외의 형광에 대한 아무런 보고도 없었다. 최근 연구 결과에 의하면 단결정은 아니나 Ce:YAlO₃ phosphor를 준비할때 열처리에 따라 Ce:YAG의 phase를 일부 갖게

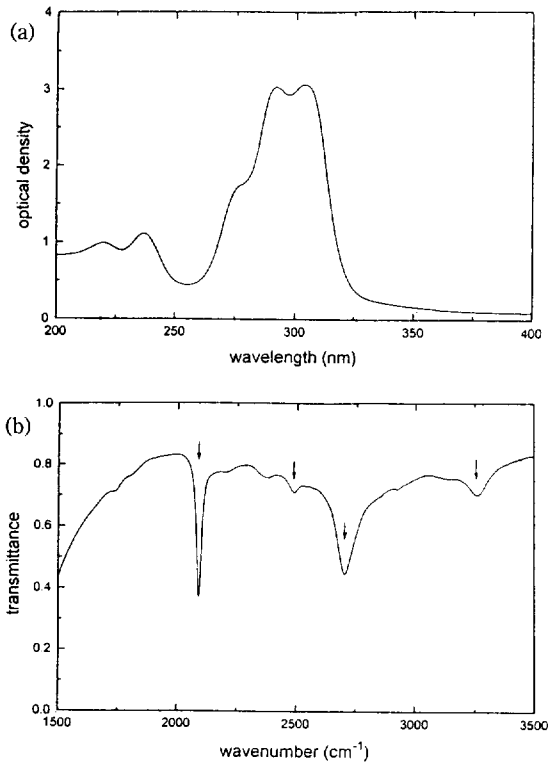


그림 3. Ce³⁺ 이온이 첨가된 YAlO₃ 광흡수스펙트럼 (a) 자외선 및 가시광선 영역 (b) 적외선 영역.

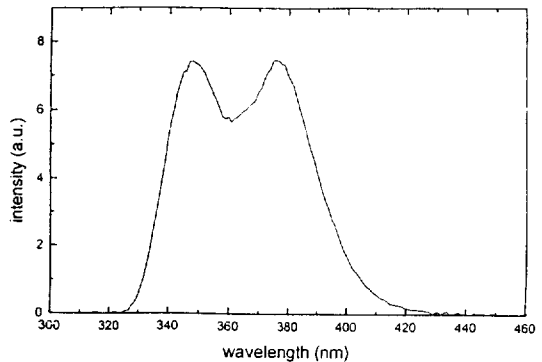


그림 4. Ce³⁺:YAlO₃의 20 K에서의 형광 스펙트럼.

되어 500~650 nm에서 매우 약한 Ce:YAG 형광을 발한다는 보고가¹⁷⁾ 있으므로, Mares의 매우 약한 녹색형광이나 이 연구에서의 적색형광이 시료의 준비과정에서의 열처리에 기인한 극소수의 다른 Ce이온의 site로부터의 형광이라고 생각된다.

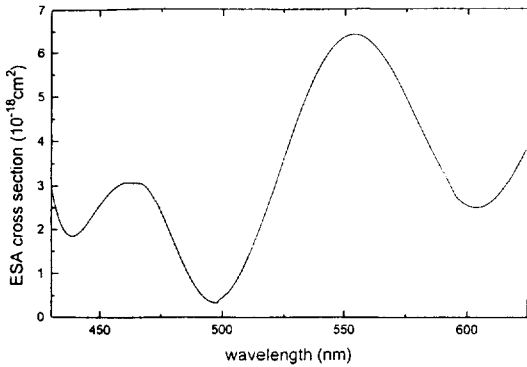


그림 5. Ce³⁺:YAIO₃의 5d state로부터의 ESA 스펙트럼에서 얻은 흡수 cross section.

2. 여기상태흡수

ESA의 측정이 400~650 nm 영역에서 수행되었고 이 파장영역에서는 기저준위 ²F_{5/2}로부터의 흡수가 없으므로 다음과 같은 간단한 식으로부터 ESA에 대한 cross section σ*를 계산할 수 있었다.^[18]

$$\ln \frac{I_u}{I_b} = \sigma^* N_0 (1 - e^{-\alpha_p L}) \frac{1}{\pi(R^2 + r^2)} \quad (1)$$

여기서 I_u와 I_b는 각각 펌핑광이 없을 때와 있을 때의 시료두께 L을 투과한 측정광의 세기, N₀는 펌핑광의 광자수, α_p는 펌핑광 파장에서 기저준위로부터의 흡수계수, R과 r은 각각 Gaussian빔으로 가정된 펌핑광과 측정광의 1/e 반경이며 펌핑양자효율은 1로 근사하였다. 이렇게 하여 얻은 ESA스펙트럼은 그림 5와 같다.

555 nm와 465 nm에서 각각 6.5 × 10⁻¹⁸ cm²와 3 × 10⁻¹⁸ cm²의 peak를 얻었고, 반치폭은 각각 65 nm, 32 nm이었다. 이 스펙트럼으로부터 ESA에 대한 oscillator strength f*는^[19]

$$f^* = 1.13 \times 10^{12} \frac{9n}{(n^2 + 2)} \int \sigma^*(\nu) d\nu \quad (2)$$

로 주어지는데 YAP의 굴절율 1.98을 이용하여 계산하였고 555 nm와 465 nm의 여기상태 흡수비에 대해 f*의 값으로 대략 0.05와 0.01을 얻었다. 이것은 최근에 알려진 Ce:YAG의 ESA에 대한 f*의 0.03과^[18] 비슷함을 알 수 있다. 그리고 555 nm에서 펌핑광의 세기에 따른 ESA의 크기를 측정할 결과 직선성을 보였고, 이것은 앞의 식 (1)과 같이 ESA의 크기가 N₀에 비례하고, Ce³⁺:YLF와는 달리 2광자 흡수에 의한 것이 아님을 보여준다.^[20] 흡수스펙트럼에 나타난 다른 4개의 5d 준위가 모두 no-pho-

non line의 위치 30800cm⁻¹로^[14]부터 약 15000 cm⁻¹ 이내에 있기 때문에 만약 5d-5d 천이라면 650 nm 이상의 파장영역에서 ESA가 관찰되어야 할 것이다. 또한 5d-5d 전기쌍극자 천이는 선택규칙(selection rule)에 의해서는 가능하지 않으므로 Ce³⁺:YAG에서와 마찬가지로 매우 약하게 나타날 것이다. 그러나 555 nm에서 매우 강한 흡수를 나타내며 no-phonon line으로부터의 ESA를 고려하면 이것은 약 220 nm의 흡수대에 해당한다. 555 nm는 기저상태로부터의 흡수스펙트럼인 그림 1에서는 band edge가 시작하는 곳으로서 전혀 peak가 나타나지 않고 있다. 이곳은 가장 높은 5d 준위와 전도대가 중첩되기 시작하는 곳으로 공간적으로 비교적 국한된 5d 파동함수와 국한되지 않은 Bloch파동함수와 서로 중첩되게 된다. 따라서 기저준위인 4f로부터 이곳으로의 천이는 이러한 두가지 성분에 영향을 받는다. 그러나 가장 낮은 5d 궤도로부터의 ESA는 Bloch파동함수 즉 평면파 성분에 주로 영향을 받는다. 즉 초기상태와 나중상태의 파동함수의 중첩비율이 중요하게 된다. 초기상태 파동함수가 공간적으로 좁게 국한된 4f로부터 전도대로의 천이보다는 공간적으로 넓게 퍼져있는 5d로부터 전도대로의 천이가 보다 낮은 에너지에서 흡수 peak를 갖게 될 것이므로 그림 5의 peak를 그림 1의 스펙트럼으로부터 직접 추정할 수 없음은 분명하다. Ce³⁺:YAG의 700 nm에서의 ESA 때가 이와 비슷한 성질을 보이고 있다.^[18] 결론적으로 Ce³⁺:YAP에서 측정된 555 nm와 465 nm에서의 ESA는 가장 낮은 5d준위에서 다른 5d준위로의 ESA가 아니라 전도대로의 천이라고 할 수 있다. 그러나 465 nm에서 존재하는 약한 ESA가 이것으로는 설명하기 어렵다. 기저준위로부터의 흡수 스펙트럼에서는 이 파장에서 흡수를 발견할 수 없었고, 신호가 매우 약하여 펌핑광의 세기에 따른 신호의 세기의 변화를 제대로 측정할 수 없었으나 Ce:YLF의 경우처럼 강한 자외선 펌핑에 의해 형성된 color center일 가능성이 많다.^[20] 그러나 이를 규명하기 위해선 보다 체계적인 연구가 필요하다.

3. 발광 및 비발광 천이

Ce³⁺의 5d-4f의 발광율은 다음과 같이 쓸 수 있다.^[14]

$$\frac{1}{\tau} = \frac{64\pi^2 e^2 n(n^2 + 2)^2}{27hg_1 \lambda^3} |\langle 4f|r|5d \rangle|^2 \quad (3)$$

그리고 그림 6은 Ce³⁺의 5d로부터 형광소멸시간 τ를 300~700 K에서 측정된 결과이다.

저온에서의 발광수명시간 τ은 17.1 ns으로 알려져 있

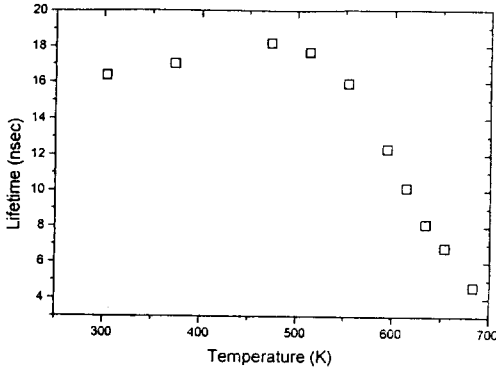


그림 6. 고온에서 1 ps 펄스레이저를 이용하여 측정한 Ce³⁺:YAlO₃의 5d state로부터의 형광수명시간.

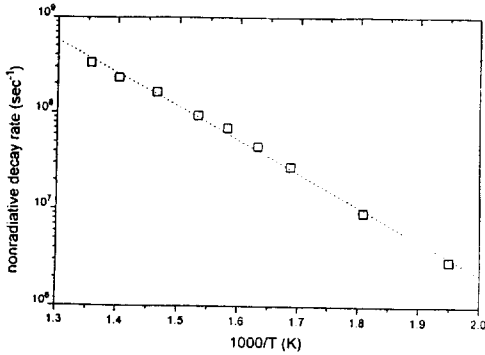


그림 7. 5d state로부터의 비발광천이율의 온도에 따른 변화.

으나^[14], 온도가 증가할수록 서서히 증가한다. 온도가 증가함에 따라 결정장에 의한 odd-parity성분이 4f나 5d 파동함수에 섞이게 되어 그 만큼 5d→4f의 oscillator strength가 감소하게 될 것이다. 또한 5d와 5p나 전도대의 odd-parity성분과의 혼합에 의한 영향도 생각할 수 있다. 그러나 온도가 500 K 이상에서는 비발광천이율이 두드러지게 커지므로 발광천이의 온도에 따른 변화를 무시할 수 있게 된다. 그림 6의 결과와

$$\frac{1}{\tau_{nr}} = \frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0} \quad (4)$$

으로부터 500 K 이상에서의 비발광천이율 1/τ_{nr}을 그림 7과 같이 얻을 수 있었다. 이것으로부터 Arrhenius방정식

$$\frac{1}{\tau_{nr}} = A e^{-\Delta E/kT} \quad (5)$$

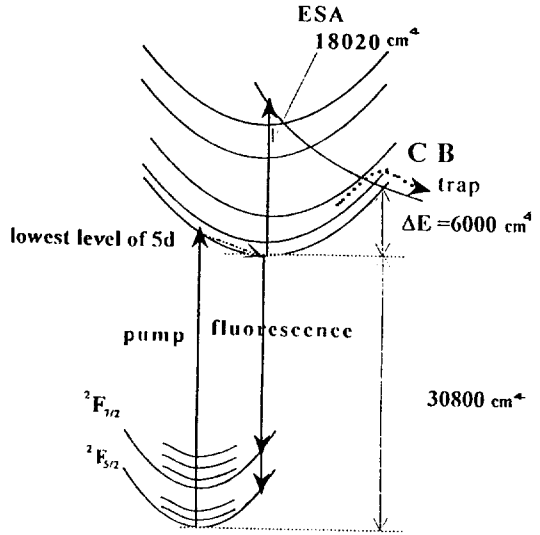


그림 8. 배위좌표를 이용한 Ce³⁺:YAlO₃의 전자 에너지 모델(CB: conduction band).

을 이용하여 ΔE = 6000 cm⁻¹와 A = 4 × 10¹³ sec⁻¹을 간단히 얻을 수 있었다.

이것은 Lyu^[14]가 얻은 ΔE = 9700 cm⁻¹와 A = 1 × 10¹⁷ sec⁻¹과 상당한 차이를 보이고 있다. 그들은 수 ns의 소멸시간을 측정하는데 7 ns 펄스의 레이저와 약 1 ns의 기기감응시간을 갖는 광전증배관을 사용하여 오차요인이 많으나 본 연구에서는 1 ps의 레이저 펄스와 기기감응시간이 50 ps인 TCSPC 장치로 구성된 초고속형광소멸 측정시스템을 사용하여 광원과 기기로 인한 오차요인을 제거하였으므로 보다 정확한 값을 얻었다고 할 수 있다. 앞의 ESA의 결과와 비발광 천이로부터 얻은 ΔE로부터 그림 8과 같은 배위좌표 모형으로 Ce³⁺:YAlO₃의 천이 구조를 설명할 수 있다. thermal activation에 의해 전도대로 이동한 전자는 YAlO₃ 내부에 소량이나 항상 존재하는 trap에 머물게 될 것이다. 이러한 trap으로부터의 after-glow를 관측하기전에는 이 모델을 확증할 수는 없으나 이와 유사한 Ce³⁺:YAG에서 최근 이러한 것이 발견되어^[18] 가능성을 더해 주고 있다.

IV. 결 론

Ce³⁺:YAP 재료에 대해 가시광선영역에서 ESA스펙트럼 측정을 하여 475 nm와 555 nm에서 반치폭이 각각 32 nm, 65 nm인 흡수 띠를 얻었다. 이는 5d로부터 전도

대에 이르는 천이로 여겨지며 peak의 흡수 cross section은 각각 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^2$, $6.5 \times 10^{18} \text{ cm}^2$ 을 얻었다. 여기서 레이저 빔의 직경 측정과 Gaussian 근사 등이 주요오차요인이라고 할 수 있다. 또한 300~700 K에서의 5d로부터의 형광소멸시간의 변화로부터 thermal activation 에너지 $\Delta E = 6000 \text{ cm}^{-1}$ 과 $A = 4 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$ 를 얻었고 ESA의 결과와 함께 배위좌표계를 사용하여 $\text{Ce}^{3+}:\text{YAlO}_3$ 의 에너지준위와 천이의 구조에 대한 모델을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] R. Reisfeld and C. K. Jorgensen, *Laser and Excited States of Rare Earths*(Springer-Verlag, New York, 1977).

[2] D. J. Ehrlich, P. F. Moulton and R. M. Osgood, Jr., *Opt. Lett.* **5**, 339(1980).

[3] D. J. Ehrlich, P. F. Moulton and R. M. Osgood, Jr., *Opt. Lett.* **4**, 184(1979).

[4] R. R. Jacobs, W. F. Krupke and M. J. Weber, *Appl. Phys. Lett.* **33**, 410(1978).

[5] G. J. Pogatschnik and D. S. Hamilton, *Phys. Rev.* **B36**, 8251(1987).

[6] K. H. Yang and J. A. DeLuca, *Appl. Phys. Lett.* **31**, 594(1977).

[7] S. A. Payne, L. L. Chase, W. F. Krupke and L. A. Boatner, *J. Chem. Phys.* **88**, 6751(1988).

[8] W. J. Miniscalco, J. M. Pellegrino and W. M. Yen, *J. Appl. Phys.* **49**, 6109(1978).

[9] J. F. Owen, P. B. Dorain and T. Kobayasi, *J. Appl. Phys.* **52**, 1216(1981).

[10] A. J. Wojtowicz, M. Balcerzyk and A. Lempicki, *J. Lumin.* **60&61**, 987(1994).

[11] A. A. Kaminskii, *Laser Crystal*(Springer-Verlag, New York, 1990).

[12] M. J. Weber, *J. Appl. Phys.* **44**, 3205(1973).

[13] G. M. Williams, N. Edelstein, L. A. Boatner and M. M. Abraham, *Phys. Rev.* **B40**, 4143(1989).

[14] Li-Ji Lyu and D. S. Hamilton, *J. Lumin.* **48&49**, 251(1991).

[15] 이민영, 김동호, *한국광학회지* **5**, 90(1994).

[16] J. A. Mares, M. Nikl and K. Blazek, *Phys. Stat. Sol. (a)***127**, K65(1991).

[17] D. J. Robbis, B. Cockayne, J. L. Galsper and B. Lent, *J. Electrochem. Soc.* **126**, 1213(1979).

[18] D. S. Hamilton, S. K. Gayen, G. J. Pogatschnik, R. D. Ghen and J. Miniscalco, *Phys. Rev.* **39**, 8807(1989).

[19] B. Henderson and G. F. Imbusch, *Optical Spectroscopy of Inorganic Solids* (Clarendon, Oxford, 1989). p. 262.

[20] Ki-Soo Lim and D. S. Hamilton, *J. Lumin.* **40&41**, 319(1988).

Excited State Absorption and Nonradiative Transition from the Lowest 5d State of $\text{Ce}^{3+}:\text{YAlO}_3$

Ji-Byung Kim and Ki-Soo Lim

Department of Physics, Chungbuk National University, Cheongju 360-763

Geon Jun Lee and Dongho Kim

Spectroscopy Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-606

Jae-Min Han

Atomic Spectroscopy Department, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-606

(Received: September 20, 1994)

We have measured the excited state absorption in $\text{Ce}:\text{YAlO}_3$ crystals for the first time and assigned it for a $5d \rightarrow$ conduction band transition. Two broad absorption bands were observed at 555 nm and 465 nm following the 308 nm XeCl laser excitation and their cross sections and oscillator strengths were calculated. We have also measured the fluorescence lifetimes in between 300 K and 700 K to study the nonradiative relaxation from the lowest 5d state of Ce^{3+} ions and explained ESA and the transition process from the state in terms of a configurational coordinate.