

## Aluminum Borate 화합물에 있어서 $\text{Eu}^{2+}$ 이온의 발광성

張 起 錫

공군사관학교 화학과  
(2000. 4. 9 접수)

### A Fundamental Study of $\text{Eu}^{2+}$ Luminescence in Aluminum Borate Compounds

Ki-Seog Chang

Department of Chemistry, Korea Air Force Academy, Chungbuk 363-849, Korea  
(Received April 9, 2000)

**요 약.** 알루미늄 보레이트 화합물,  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ ,  $\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 와  $\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 은 매우 효과적으로  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 형광성을 나타내는 발광격자를 가지고 있다. 발광 피크는  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물에 있어서 450 nm이고  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물에 있어서 411 nm이며  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물에 있어서 375 nm이다. 그러므로  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물은 파란색을 내는 좋은 형광체이며, 특별히, 진공자외선 제논 플라즈마 램프에 있어서 우수한 형광물질로 기대된다.  $\text{Eu}^{2+}$  이온은 PDP 형광체로서 관심이 높으며, Stokes shift는 형광물질의 도핑격자 크기에 의해서 결정이 된다. Stokes shift는 발광 파장을 결정하는 하나의 중요한 요소이다. 만일, 도핑격자의 크기가 작아짐에 따라  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 5d 에너지 준위가 낮아지면, 발광 파장은 길어지고 Stokes shift 크기는 커진다. 그러므로 결정격자의 크기를 측정하면  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 Stokes shift와 5d 에너지 준위 등의 발광성질을 예측할 수 있다.

**ABSTRACT.** The compounds,  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ ,  $\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  and  $\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  are good host lattices for highly efficient  $\text{Eu}^{2+}$  luminescence. The europium emission peaks at 450 nm in  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ , 411 nm in  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  and 375 nm in  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ . The  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  Phosphor shows a high output and should be a good maintenance in VUV Xe lamps. It is ideally suited for use in PDP phosphors. The  $\text{Eu}^{2+}$  ion is interesting because the Stokes shift emission is a strong host dependent. The difference in the Stokes shift is one important factor leading to a difference in wavelength. If the 5d level of  $\text{Eu}^{2+}$  ion is lower in energy, according to a decrease in the doping lattice size, then the emission wavelength will be longer and the Stokes shift will be smaller. Therefore, a knowledge of the relationship between the crystal lattice size and the Stokes shift, (or the energy of the 5d level), is essential for being able to predict  $\text{Eu}^{2+}$  emission properties.

## 서 론

희토류 원소들(rare earth elements) 중,  $\text{Eu}^{2+}$  이온은 도핑(doping)격자의 크기와 발광물질의 구조에 따라서 광범위한 발광파장, 빨간색으로부터 자외선까지 넓은 범위의 파장을 내는 독특한 성질을 지닌 유일한 금속이온이다. 그 결과,  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 형광체는 다양한 색깔의 빛을 내는데 이용되고 있다. 이미, 보고된 물질로서  $\text{SrMg}_2\text{Si}_4$ :  $\text{Eu}^{2+}$  화합물은 자외선 근처의 빛을 발

광하는 썬텐 화장품의 주된 형광물질이고  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ :  $\text{Eu}^{2+}$  화합물은 형광등에 이용될 뿐 아니라 플라스틱 디스플레이의 파란색을 내는 형광체로 이용되고 있다.  $\text{SrGa}_2\text{Si}_4$ :  $\text{Eu}^{2+}$  화합물은 전자발광 디스플레이(electroluminescent display)의 녹색을 내는 형광물질로 알려져 있다. 란타넘 원소들 중,  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 발광소멸 수명이 d  $\rightarrow$  f 궤도의 에너지 전이(parity allowed transition)에 의해서 비교적 짧은 약 1  $\mu\text{s}$ 이기 때문에 디스플레이를 구성하는 파란색 형광체로서  $\text{Ce}^{3+}$  이온과 함께 상업적

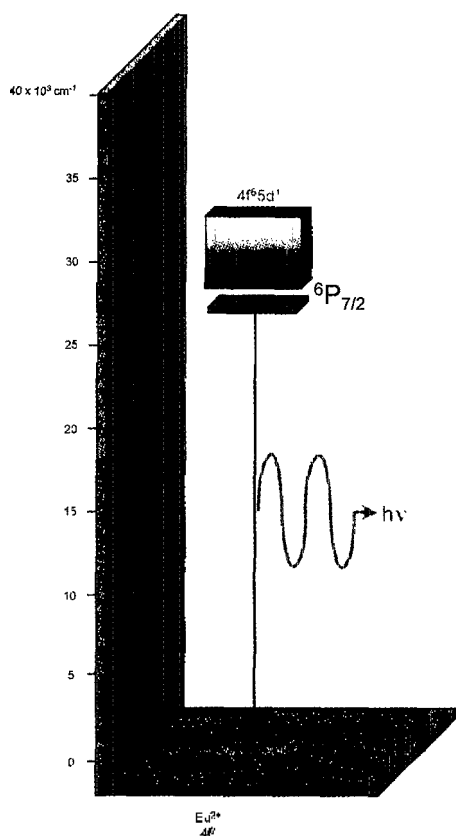


Fig. 1. Energy level diagram for  $\text{Eu}^{2+}$  ion.

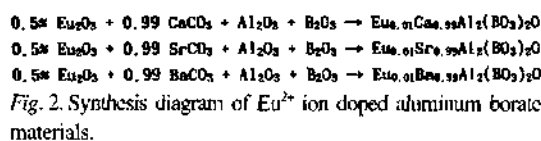
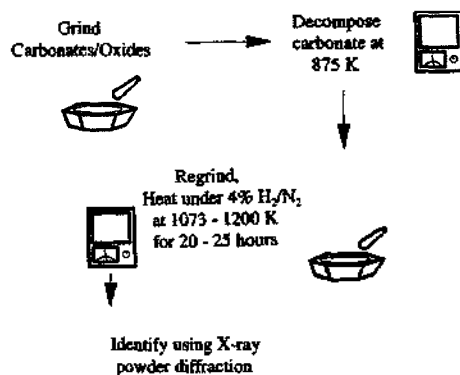
인 관심이 무엇보다 높다. 발광물질의 도핑격자 구조와 크기에 의한 발광피크의 확장현상을 제외하더라도, 넓은 발광피크는 넓은 밴드의  $4f^6 5d^1$  에너지준위로부터 좁은 밴드의  $4f^7$  에너지준위로의 에너지전이에 의해서 비롯되며, 간혹, 선 발광피크는  $4f^7$  전자배치 속에서 관찰될 수 있다(Fig. 1). 다른 중요한 요소는  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 5d 에너지준위와 밀접하게 관련된 Stokes shift이다. 형광체인  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 발광과정에 있어서,  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 Stokes shift는 강력하게 주 발광물질의 도핑격자 크기에 관계되므로 결정구조와 함께 관심이 매우 높다. 그러므로 결정구조, Stokes shift, 그리고 5d 에너지준위 사이의 관련성에 대한 정보는 매우 중요하며, 그러한 요소들은 형광체  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 발광성질을 파악하는 기본자료가 된다. 이 연구보고서에서는 새로운 화합물,  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ ,  $\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 와  $\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 에  $\text{Eu}^{2+}$  이온이 도핑된 형광물질을 합성하여 발광파장을 측정하며, 발광물질의 구조와 치환격자의 대칭성과 크기 등

에 관련된  $\text{Eu}^{2+}$  이온의 형광특성을 조사하는데 연구의 목적을 두고 있다.

## 실 험

### 분말시료의 합성

$\text{Eu}^{2+}_{0.01}\text{M}_{0.99}\text{Al}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ ( $\text{M}=\text{Ca, Sr and Ba}$ ) 분말 시료는 0.5%  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ (Alfa, 99.999%)와 99%  $\text{MCO}_3$ ( $\text{M}=\text{Ca, Sr, and Ba}$ )(Alfa, 99.99%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (Alfa, 99.999%)와  $\text{B}_2\text{O}_3$ (Alfa, 99.98%)의 혼합물을 가열하고  $\text{CO}_2$  기체를 제거한 후, 후속 열처리 과정을 거쳐 합성하였다. 먼저, 이 혼합물을 절대온도 893 K에서 약 1시간 동안 가열하여  $\text{CO}_2$  기체를 제거하고, 다시 실온까지 식힌 다음, 시료를 막자사발에 넣고 미세하게 분쇄하여 잘 섞는다. 분말결정(powder crystal) 화합물을 만들기 위해서, 잘 섞인 미세한 분말 시료를 다시 백금 도가니(Pt crucible)에 넣고 전자로에서 1173~1273 K의 온도로 12시간 동안 가열한다(Fig. 2). 이때,  $\text{Eu}^{3+}$  이온을  $\text{Eu}^{2+}$  이온으로 환원시키기 위하여, 가열하는 동안 Fig. 2에서처럼 4%  $\text{H}_2/\text{N}_2$  가스를 전기로에 계속적으로 불어넣는다. 생성물의 X-선 회절모형(X-ray powder diffraction pattern)은 필립스사의 회절기(Philips diffractometer)를 이용하여 측정하였으며, 단결정의 결정구조로부터 얻어진 자료와 함께 컴퓨터 프로그램의 하나인 LAZY-PULVERIX(the computer program LAZY-PULVERIX)<sup>1</sup>에 의해서 계산된 피크의 모양과 위치를 비교하여 생성된 물질을 확인하였다.



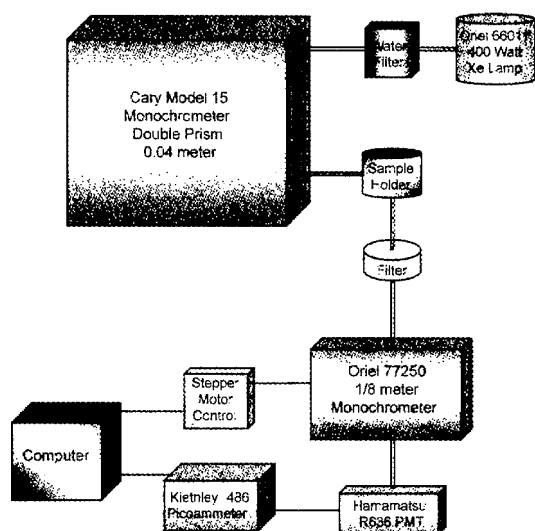


Fig. 3. Spectrometer diagram: Schematic diagram for the molecular luminescence/excitation spectrometer.

### 분광학적 측정

형광체의 분광학적 측정은 Fig. 3에서 보여준 분광기의 개략도처럼 Cary excitation, Oriol emission monochromator와 Oriol 350-w Xe lamp가 장착된 Spectrofluorimeter를 사용하였다. 광학적 성질의 측정을 위한 시료는 합성된 분말 결정체 상태이며, 발광물질의 형광 분광선은 monochromator를 이용하여 형광과장을 PMT에 집적하였다.

### Stokes Shift 측정

우리는 이 보고사에서 발광과정의 일반적인 이해를 발전시키기 위해서 형광물질의 Stokes shift를 측정하였다.<sup>2</sup> 형광체 이온의 발광과정은 configurational coordinate diagram(Fig. 4(a))을 사용하여 아주 쉽게 설명할 수 있다. 일치된 흡광과 발광의 분광선은 Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)에서 보여주고 있다. Fig. 4(a)에서  $g$ 로 표시된 안정한 바닥상태의 전자는 형광체의 격자와 형광체와 직접 결합한 주변의 가까운 원자간 평균거리,  $r_e$  의 해서 나타날 수 있는 harmonic potential로 표시할 수 있다.  $e^*$ 로 표시된 들뜬 전자상태는 새로운 원자간 거리,  $r^*$ 로 일종의 구조적 재조정(재정렬)에 의한 에너지 전이를 기대할 수 있다. 스펙트로스코피 용어의 정의에 있어서, 빛의 흡수는  $g$ 상태로부터  $e^*$ 상태로의 에너지전이를 말하며, Fig. 4(b)에서는 점선으로 표시하였다. Fig. 4(b)에서 실선으로 표시된  $e^*$ 상태로부터  $g$ 상태로의 에너지 전이는 발광과정을 나타낸다. 격자간 거리,  $r_e$ 의 증가에

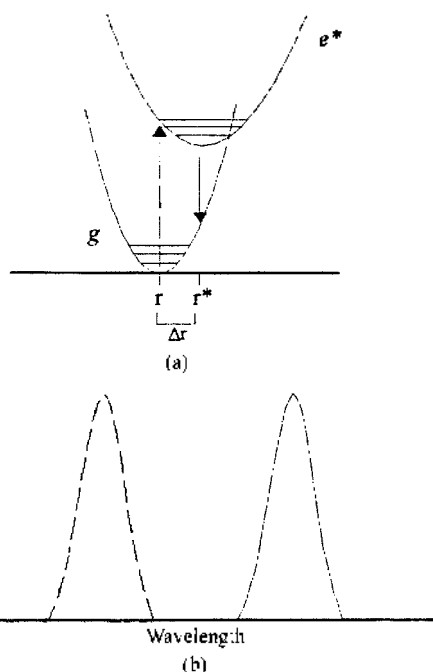


Fig. 4. Configurational coordinate diagram (a), and associated spectra (b). Absorption of energy causes the transition from the ground state,  $g$ , to the excited state,  $e^*$  (dashed line), resulting in the excitation curve in (b). After a structural rearrangement, given by  $\Delta r$ , a photon of longer wavelength is emitted, given by the solid curve in (b).

따라서 발광하는 빛은 흡수된 빛보다 낮은 에너지(긴 파장)를 갖게 될 것이다. 흡광과 발광사이의 에너지차이를 Stokes shift라고 정의하고, 이는 형광체와 리간드사이의 진동에너지로 들뜬 정도를 측정할 수 있다. 빨간색 형광체인  $Eu^{2+}$ 이온에서 보여진 것처럼  $\Delta r = r^* - r_e$  값이 매우 작기 때문에  $f \rightarrow f$  에너지 전이는 격자의 크기변화와 크게 관련되어지지 않고 오히려 격자 주변의 환경에 직접적으로 영향을 받는다. 반면에,  $Eu^{2+}$  이온에서는 d-f 전이가 결정장 세기의 변화에 따라서 영향이 크므로 d-f 에너지 전이는 형광체 격자의 크기에 따라 밀접한 관계가 있다. 사실, Fig. 1과 Fig. 4는  $Eu^{2+}$  이온의 configurational coordinate diagram을 나타내며, 안정한 바닥상태의  $g$ 는 전자배치상태  $4f^7$ 의  $^8S_{7/2}$  term으로 나타내고 들뜬 상태의  $e^*$ 는 전자배치상태  $4f^65d^1$ 와  $4f^7$ 의  $^6P_{7/2}$  term이다. 위의 Stokes shift 정의에 따라, 흡광과 발광피크사이의 에너지 차이에 의해서 Stokes shift를 측정하였다.

Table 1. Site symmetry and geometry of  $\text{MAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  (M=Ca, Sr & Ba)

Compound	Space group	Site symmetry	Site geometry	M-O distance
$\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$	$R\bar{3}c$	$S_6$	Trigonal Antiprism	2.381Å
$\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$	R32	$D_3$	Trigonal Prism	2.552Å
$\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$	R32	$D_3$	Trigonal Prism	2.748Å

## 결과 및 고찰

### $\text{MO}_6$ (M=Ca, Sr and Ba) 팔면체 분자구조와 M-O 결합길이

$\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물<sup>1</sup>은 스페이스그룹(Space group)이  $R\bar{3}c$ 인 대칭성(centrosymmetry) 구조이며,  $\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 와  $\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물<sup>1</sup>은 동일한 결정구조이고 스페이스 그룹은 R32로 비대칭성(noncentrosymmetry) 구조이다(Table 1). 형광체인  $\text{Eu}^{2+}$  이온은 발광물질의 알칼리 토금속, 즉, Ca, Sr와 Ba 원자 격자 위치에 도핑되는데, 각각의 격자 대칭성은  $\text{CaO}_6$  분자구조의 경우  $S_6$ 로 trigonal antiprism이고 서로 같은 분자구조를 갖는  $\text{SrO}_6$ 와  $\text{BaO}_6$  구조는  $D_3$ 으로 약간 비틀어진 trigonal prism이다(Fig. 5와 Table 1). 알칼리 토금속 원자들, Ca, Sr와 Ba 원자의 크기에 따라서 단위세포들의 부피( $V/z$ :  $V$ =volume of the unit cell and  $z$ =number of compound in the unit cell)가 결정되며, 가장 중요한 도핑격자의 분자구조인  $\text{MO}_6$ 에 있어서 M-O의 원자간 거리는 원자의 크기의 증가에 따라 증가한다; Ca-O의 경우는 2.381Å이고 Sr-O의 경우는 2.552Å이며, 그리고 Ba-O의 경우는 2.748Å으로 증가한다.

### 형광체 분말시료의 X-선 회절모형과 계산된 X-선 회절모형

Fig. 6의 위는 합성된 형광체 분말시료,  $\text{Eu}_{0.01}\text{Ca}_{0.99}\text{Al}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 의 X-선 회절모형(XRD)이고 Fig. 6의 아래는  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물의 단결정 결정구조로부터 얻어진 자료에 의해서 계산된 피크위치와 모형의 X-선 회절모형으로, 두 XRD 그림은 서로 일치함을 보여준다. 우

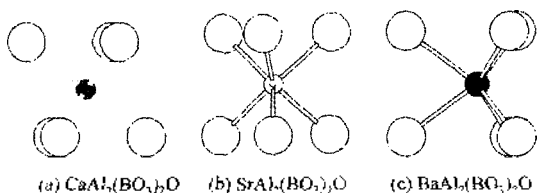
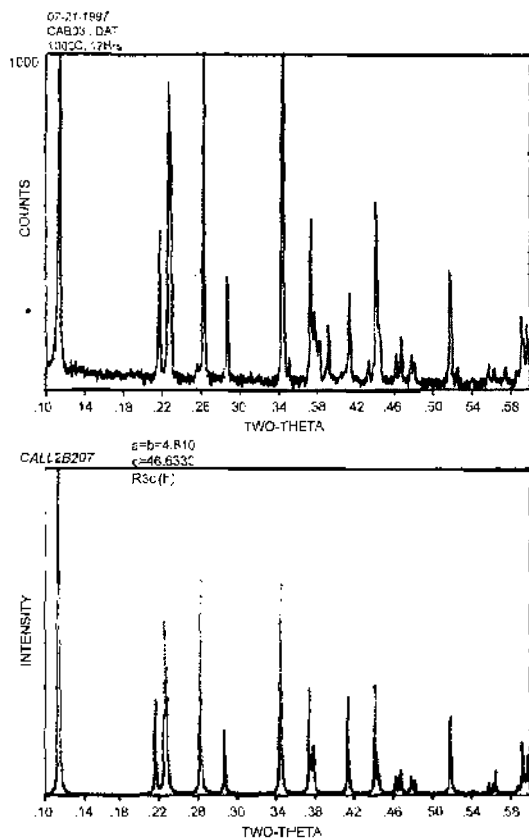
Fig. 5.  $\text{MO}_6$  structure of  $\text{MAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  (M=Ca, Sr, and Ba).

Fig. 6. XRD spectra : top) Powder X-ray diffraction trace of  $\text{Eu,Ca}_{0.99}\text{Al}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  ( $x=0.01$ ). bottom) Powder X-ray diffraction trace of  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  generated with the computer program LAZY-PUJ-VERLX.<sup>9</sup>

리는 이러한 생성물 X-선 회절모형과 계산된 X-선 회절모형과의 비교에 의해서,  $\text{Eu}^{2+}$  이온이 도핑된 분말 형광물질이 합성됨을 판단할 수 있는데, 같은 방법의 XRD 비교결과로부터  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ ,  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 와  $\text{Eu}^{2+}$ :  $\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  분말결정의 고용체 화합물을 새로이 합성하였음을 확인하였다.

### $(\text{BO}_3)^-$ 그룹의 전자구조와 발광물질형광체 사이의 에너지 전이

차세대 평면화면으로 알려진 PDP(Plasma Display

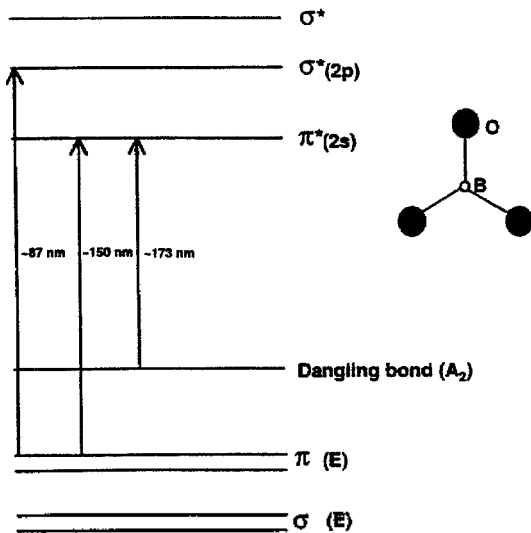
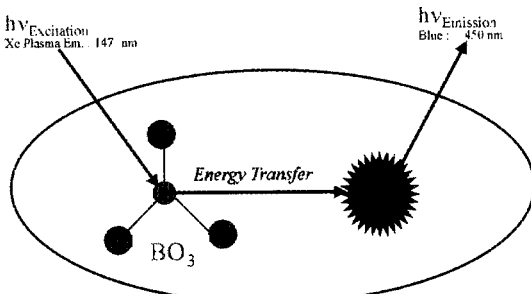


Fig. 7. Electronic structure of the  $(BO_3)^{3-}$  group.

Panel)에서 일반적으로 이용되고 있는 플라즈마인 VUV(Vacuum Ultra Violet) Xe-lamp의 파장은 147 nm 이고, 오르토 붕소산(orthoborate) 화합물에 있어서  $(BO_3)^{3-}$  그룹의 흡수파장은 약 150 nm이다(Fig. 7).  $(BO_3)^{3-}$  그룹의 전자 에너지구조는 DV-SCM-X $\alpha$  quantum-chemical method<sup>5</sup>에 의해서 계산되었으며, Fig. 7의 n 에너지 준위로부터 들뜬  $\pi^*$  에너지 준위로의 에너지 전이에 의한 흡수밴드는 173 nm이고  $\pi$  에너지 준위로부터 들뜬  $\pi^*$  에너지 준위로의 에너지 전이에 의한 흡수밴드는 150 nm이다. 따라서 오르토 붕소산 결정화합물은 VUV Xe-lamp에 있어서 에너지 효율이 매우 높게 기대되며, PDP를 위한 광학 물질로서 좋은 특성을 지니고 있음을 보여준다. Fig. 8은 Blasse의 이론을 적용한 발광물질-형광체 사이의 에너지



G. Blasse, *The Journal of Chemical Physics*, 45, 2356(1966);

Fig. 8. Energy transfer at host-luminescent center.

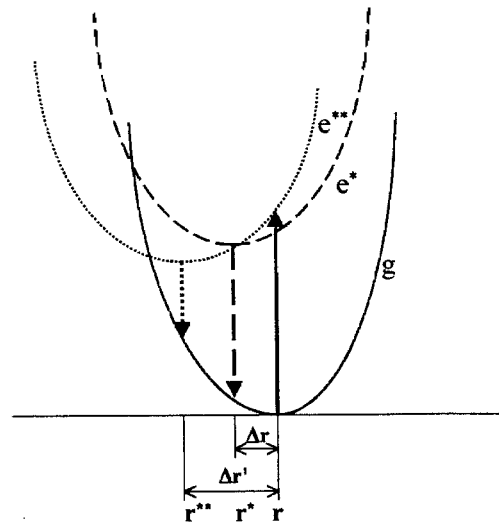


Fig. 9. Configurational coordinate diagram: The dashed curves are the excited states,  $e^*$  and the solid curve is the ground state,  $g$ .

지 전이과정을 보여주는 모식도이다.<sup>6</sup> 진공상태의 Xe 램프는 파장 147 nm의 플라즈마 빛을 방출하고, 이러한 진공자외선 에너지는 발광물질의  $(BO_3)^{3-}$  그룹에 의해서 흡수가 일어난다.  $(BO_3)^{3-}$  그룹에 전이된 에너지는 다시 형광체인  $Eu^{2+}$  이온에 전이되어  $Eu^{2+}$  이온은 들뜬 상태가 된다. 들뜬 상태의  $Eu^{2+}$  이온이 바닥상태로 안정화되면서 빛을 발광하게 되는데, 발광물질의 구조와  $Eu^{2+}$  이온격자의 크기에 따라서 여러 가지 색깔의 빛, 자외선에서부터 빨간색까지의 빛을 발광하게 된다.

**형광체의 분광학과 Stokes Shift**

Fig. 10과 Table 2는  $Eu^{2+}:CaAl_2(BO_3)_2O$ ,  $Eu^{2+}:SrAl_2(BO_3)_2O$ 와  $Eu^{2+}:BaAl_2(BO_3)_2O$ 의 발광성에 대한 실험

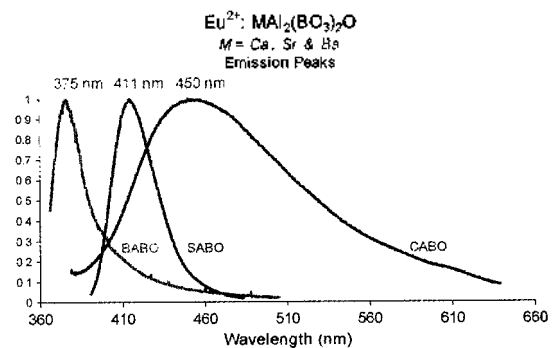


Fig. 10. Emission spectra of  $Eu^{2+}:MAl_2(BO_3)_2O(M=Ca, CABO, Sr; SABO$  and  $Ba; BABO)$ .

Table 2. Excitation and emission peaks of  $\text{MAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  (M=Ca, Sr & Ba)

Compound	Peaks (unit : nm)		Stokes Shift (unit : $\text{cm}^{-1}$ )
	Excitation	Emission	
$\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$	288	450	12500
$\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$	315	411	7420
$\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$	307	375	5910

결과이다.  $\text{Eu}^{2+}:\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물은 기대했던 450 nm의 형광파장을 갖는 결과를 얻었으며, 이는 현재 컬러 사진 브라운관의 파란색 빛에 직접적으로 사용되는  $\text{ZnS}:\text{Ag}$  화합물(emission peak=450 nm,  $x=0.146$  and  $y=0.061$ )<sup>7</sup>과 유사한 결과를 나타냈다. 따라서  $\text{Eu}^{2+}$  이온이 도핑된  $\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물은 보다 효과적인 새로운 형광체로 기대되는 신소재 물질이다.

Table 2와 Fig. 10에서 보여주는 실험결과는 Table 1의 알칼리 토금속과 산소원자와의 거리( $d_{\text{Ba},\text{O}}=2.381 \text{ \AA}$ ,  $d_{\text{Sr},\text{O}}=2.552 \text{ \AA}$ 과  $d_{\text{Ca},\text{O}}=2.748 \text{ \AA}$ )와 상관관계가 있다. 형광체인  $\text{Eu}^{2+}$  이온이 도핑되는 격자의 크기가 감소함에 따라서 Fig. 4의 d-에너지 준위가 낮아지고, 발광파장은 375 nm in  $\text{Eu}^{2+}:\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ , 411 nm in  $\text{Eu}^{2+}:\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 와 450 nm in  $\text{Eu}^{2+}:\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 로 길어진다. 격자의 대칭성과 형태 그리고 발광물질의 격자구조에 따른 발광파장과 Stokes shift의 변화에 대한 영향은 이 실험을 통해서 파악되지 않았으며, 격자의 크기에 따라서 d-에너지 준위의 변화에 의한 Stokes shift는 높은 관련성을 보였다. 이러한 실험결과의 설명을 위해서는 Fig. 4(a)을 뒷면에서 바라본 Fig. 9와 같은 configurational coordinative diagram이 필요함을 알 수 있었다. 따라서  $\Delta r=r^*-r$ 값은 음이며 절대값,  $|\Delta r|$ 이 클수록, 다시 말해서 격자의 크기가 감소할수록 ( $d_{\text{Ba},\text{O}}=2.748 \text{ \AA} > d_{\text{Sr},\text{O}}=2.552 \text{ \AA} > d_{\text{Ca},\text{O}}=2.748 \text{ \AA}$  (Table 2)), 들뜬 e\*에너지 준위는 Fig. 9에서 보다 좌측 아래로

낮아지는 현상을 보인다. 이 결과는 Stokes shift의 증가로 나타나며( $5,910 \text{ cm}^{-1}$  in  $\text{Eu}^{2+}:\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O} < 7,420 \text{ cm}^{-1}$  in  $\text{Eu}^{2+}:\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O} < 12,500 \text{ cm}^{-1}$  in  $\text{Eu}^{2+}:\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ ), 피크의 폭도 넓어진다. 이러한 Stokes shift의 변화결과를 Table 2에 나타냈으며, 흡수피크는 세 가지 화합물,  $\text{Eu}^{2+}:\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ ,  $\text{Eu}^{2+}:\text{SrAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$ 와  $\text{Eu}^{2+}:\text{BaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  모두 300 nm 파장부근이고 발광피크는 격자의 크기에 따라서 변화함이 나타났다. 결국 이 화합물의 발광피크는 고용체계(solid solution system)의 변화로 결정할 수 있음을 보여준다.

$12,500 \text{ cm}^{-1}$ 의 Stokes shift와 450 nm에서 강한 형광을 나타내는  $\text{Eu}^{2+}:\text{CaAl}_2(\text{BO}_3)_2\text{O}$  화합물은 PDP 형광체로써 기대되는 새로운 물질이다.

본 연구는 공군사관학교 항공우주연구소(the Aerospace Research Institute of the Korea Air Force Academy)의 지원에 의하여 이루어졌으며, 분광학적 자료의 측정에는 미국 오레곤주립대 화학과 Dr. Keszler 연구실의 도움으로 수행되었다. 이에 감사를 드립니다.

## 인 문 문 헌

1. Yvon K.; Jeitscho W.; Parthe E. *J. Appl. Cryst.* **1997**, *10*, 73.
2. Diaz A. *Ph.D. Thesis, Oregon State Univ.* **1997**, Chap. 1.
3. Chang K. S.; Keszler D. A. *Mater. Res. Bull.* **1998**, *33*, 299.
4. Chang K. S. *Ph.D. Thesis, Oregon State Univ.* **1998**, Chap. 3 & 4.
5. Xia Y.; Chen C.; Tang D.; Wu B. *Adv. Mater.* **1995**, *7*, 79.
6. Blasse G. *J. Chem. Phys.* **1966**, *45*, 2356.
7. Hase T.; Kano T.; Nakazawa E.; Yamamoto H. *Advances in Electronics and Electron Physics*, **1990**, *79*, 271.