

# Sm<sup>3+</sup> 도핑된 GdVO<sub>4</sub> 형광체의 제조와 발광 특성

조신희 · 조선욱\*

신라대학교 공과대학 신소재공학과, 부산 617-736

(2012년 1월 27일 받음, 2012년 2월 25일 수정, 2012년 3월 17일 확정)

고상 반응법을 사용하여 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비를 변화시키면서 Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Eu<sub>x</sub><sup>3+</sup> 형광체 분말을 합성하였다. 모든 형광체 시료의 결정 구조는 24.76°에 중심을 갖는 (200) 주 회절 피크로 구성되는 정방정계이였으며, 결정 입자의 형상은 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 0.05 mol일 때 구형에 근접하고 균일한 크기 분포를 나타내었다. 발광 특성의 경우에, Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비에 관계없이 모든 형광체 분말은 파장 565, 603, 645 nm에 피크를 갖는 각각 황색, 주황색, 적색 형광을 보였다. Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 증가함에 따라 흡수 스펙트럼의 세기는 감소하는 경향을 나타내었으며, Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 0.05 mol일 때 최대 흡수와 발광 스펙트럼이 관측되었고, 대칭비의 값은 1.19이었다

주제어 : 형광체, GdVO<sub>4</sub>:Sm, 고상 반응법

## I. 서 론

희토류 이온이 도핑된 발광 물질은 음극선관, 램프, 조명, 플라즈마 디스플레이, X선 검출기, 전계 방출 디스플레이 소자를 포함한 다양한 영역에 응용되고 있다 [1-3]. 일반적으로 형광체는 1~10 mol%의 활성제 이온을 포함하는 무기물의 모체(host) 물질과 1~10 wt.%의 용제를 사용하여 제조한다. 현재 상용화되고 있는 주요 형광체는 산화물(oxides), 알루미나산염(aluminates), 붕산염(borates), 인산염(phosphates), 규산염(silicates)과 같은 산소를 포함하는 무기 화합물이며, 이러한 형광체는 발광 센터로 동작할 수 있는 적당한 모체 흡수 밴드를 갖는 장점이 있다. 여러 형광체 중에서, 모체 결정으로 사용되는 가돌리늄 비나듐산염(gadolinium vanadate, GdVO<sub>4</sub>)은 높은 화학적 안정성, 긴 수명과 환경 친화적인 물질로서 우수한 특성을 갖고 있으며, 발광 스펙트럼에서 방출되는 파장 영역이 좁고, 희토류 원소를 활성제로 도핑한 산화물 형광체의 좋은 모체 물질이 될 수 있다 [4]. 특히, Eu<sup>3+</sup> 이온이 도핑된 GdVO<sub>4</sub>는 높은 화학적 안정성과 고효율의 발광 세기를 나타내는 적색 형광체로 널리 알려져 있다 [5]. 희토류 이온 중에서 사마륨(samarium, Sm)은 많은 에너지 준위 구조로 되어 있고, 높은 형광 효율 때문에 강한 발광 센터로 동작하여 Sm<sup>3+</sup> 이온 도핑된 GdVO<sub>4</sub> 분말은 디스플레이용 형

광체로 좋은 후보가 될 수 있다.

최근에 백색광을 개발하기 위하여 연구자들은 모체 결정 GdVO<sub>4</sub>에 여러 종류의 활성제 이온을 도핑하여 적색, 녹색, 청색을 방출하는 형광체를 개발해 왔다 [6-8]. Su 등 [6]은 습식 화학법을 사용하여 활성제 Eu<sup>3+</sup>를 도핑한 GdVO<sub>4</sub>:Eu<sup>3+</sup>와 Y<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Eu<sup>3+</sup> 형광체를 합성하여 조약돌(cobblestone) 같은 미세 결정 입자의 존재를 확인하였고, Y/Gd의 몰 비가 0.4/0.6일 때 가장 강한 발광 세기를 관측하였다. Minami 등 [7]은 라디오파 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 BaTiO<sub>3</sub> 기판 위에 Eu<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup>, Tm<sup>3+</sup> 이온이 도핑된 Y<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>VO<sub>4</sub> 형광체 박막을 증착하여 각각 적색, 녹색, 청색 발광 스펙트럼을 생성하였다. Hu 등 [8]은 초크랄스키(Czochralski) 방법을 사용하여 활성제 Yb<sup>3+</sup> 이온을 도핑한 GdVO<sub>4</sub> 결정을 제조하였으며, Yb<sup>3+</sup> 이온의 농도가 증가함에 따라 흡수 스펙트럼은 단파장 영역으로 이동하였고, 형광 스펙트럼은 에너지 준위가 분리되어 장파장 쪽으로 이동함을 발표하였다.

본 연구에서는 고상 반응법을 사용하여 GdVO<sub>4</sub> 모체 결정에 도핑하는 활성제 Sm<sup>3+</sup> 이온의 농도를 변화시키면서 Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Sm<sub>x</sub><sup>3+</sup> 형광체를 합성하였다. 특히, 활성제 Sm<sup>3+</sup> 이온의 농도 변화가 형광체 분말의 결정 구조, 표면 형상, 결정 입자의 크기, 흡수와 발광 스펙트럼의 세기에 미치는 영향을 조사하여 최적의 합성 조건을 결정하였다. 또한, 모

\* [전자우편] swcho@silla.ac.kr

체 격자 내에 주입되는  $\text{Sm}^{3+}$  이온 주위의 국소적인 환경의 대칭성과 발광 세기의 상관관계를 조사하였다.

## II. 실험방법

$\text{Gd}_{1-x}\text{VO}_4:\text{Sm}_x^{3+}$  형광체 분말은 초기 물질  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ (순도: 99.99%),  $\text{V}_2\text{O}_5$  (99.9%),  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  (99.9%)을 화학적량으로 준비하여 합성하였으며,  $\text{Sm}^{3+}$ 의 함량비를 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mol로 변화시켰다. 형광체 분말의 제조는 고정 밀 저울로 측량한 초기 물질을 에탄올,  $\text{ZrO}_2$  볼과 함께 플라스틱 병에 넣어 밀봉하고, 300 rpm의 속도로 20시간 볼 밀 작업을 수행하였다. 이후,  $\text{ZrO}_2$  볼을 걸러내고 혼합 분쇄된 용액을 비커에 담아  $30^\circ\text{C}$ 로 유지한 건조기에서 20시간 동안 건조하였다. 건조한 시료를 아게이트 막자사발에 넣고 갈아서  $80\ \mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 체(sieve)로 걸러낸 후에 알루미늄 도가니에 담아 전기로 장입하여 분당  $5^\circ\text{C}$ 의 속도로 승온시켜  $300^\circ\text{C}$ 에서 5시간 하소 공정을 실시하였고, 온도를 계속 상승시켜  $1,100^\circ\text{C}$ 에서 5시간 동안 소성 작업을 수행하였다.

형광체 시료의 결정 구조는 Cu-K $\alpha$  복사선(파장, 1.5406 Å)을 사용하는 X-선 회절 장치(X-ray diffractometer:

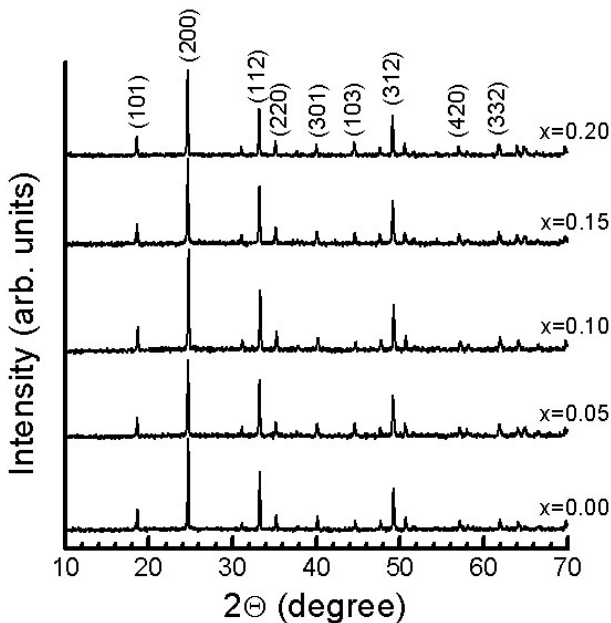


Figure 1. XRD patterns of  $\text{Gd}_{1-x}\text{VO}_4:\text{Sm}_x^{3+}$  phosphors synthesized with various  $\text{Sm}^{3+}$  concentrations.

XRD-6000, Shimadzu)를 사용하여 산란각  $10\sim 70^\circ$ 영역에서 조사하였다. 형광체 분말의 표면 미세 구조는 전계방출형 주사전자현미경(field emission-scanning electron microscopy: SEM, Hitachi S4300)을 사용하여 측정하였다. 발광 특성은 제논 램프를 광원으로 갖는 형광 광도계(fluorescence spectrometer, FS-2, Scinco)를 사용하여 상온에서 조사하였다.

## III. 결과 및 고찰

Fig. 1은  $\text{Sm}^{3+}$  이온의 함량비  $x=0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$  mol의 변화에 따라 제조한  $\text{Gd}_{1-x}\text{VO}_4:\text{Sm}_x^{3+}$  형광체 분말 시료를 XRD로 측정한 결과를 나타낸 것이다.  $\text{Sm}^{3+}$  이온의 함량비에 관계없이 모든 형광체 분말 시료는  $24.76^\circ$ 에 최대 회절 세기를 갖는 주 피크와 상대적으로 약한 세기를 갖는  $18.70^\circ, 33.30^\circ, 35.24^\circ, 40.16^\circ, 44.64^\circ, 49.24^\circ, 57.16^\circ, 61.96^\circ$ 에 중심을 둔 회절 신호들이 관측되었다. 전자는 (200)면에서 반사된 회절 신호이며, 후자는 (101), (112), (220), (301), (103), (312), (420), (332)면에서 회절된 신호들이다. 이 결과로부터 제조한 형광체 분말의 결정 구조는 JCPDS #86-0996과 일치하는 정방 정계(tetragonal system)임을 확인하였다.  $\text{Sm}^{3+}$  이온의 함량비가 0에서 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mol로 증가함에 따라 주 피크인 (200)면의 회절 신호의 반치폭(full width at half maximum)의 크기는 각각 0.15, 0.17, 0.16, 0.17,  $0.15^\circ$ 이었다. 주 피크인 (200)면에서 얻은 회절 신호의 데이터와 Scherrer의 식 [9]를 사용하여 계산한 결정자(crystallites)의 평균 크기는  $\text{Sm}^{3+}$  이온의 함량비가 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mol일 때 각각 61, 54, 58, 54, 59 nm이었다.

Fig. 2는  $\text{Sm}^{3+}$  이온의 함량비를 달리하여 합성한  $\text{Gd}_{1-x}\text{VO}_4:\text{Sm}_x^{3+}$  형광체 분말에서 형성된 결정 입자의 표면 형상을 SEM으로 촬영한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2(a)에 보이는 바와 같이,  $\text{Sm}^{3+}$  이온의 함량비가 0 mol인 경우에 결정 입자는 육각형의 형태를 갖고 서로 연결된 형상을 보이고 있으며, 결정 입자의 평균 크기는 약  $1.3\ \mu\text{m}$ 이었다.  $\text{Sm}^{3+}$  이온의 함량비가 0.05 mol인 경우에 결정 입자의 크기는 감소하여 평균 500 nm이었으며, 표면 형상은 육각형의 모서리가 깎인 구형에 근접하였으며, 크기 분포

도 비교적 일정하였다. 0.10 mol의 경우에 결정 입자의 형태는 조약돌 모양과 비슷하며, 입자의 크기는 상당히 불규칙한 분포를 나타내었다. Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 0.15와 0.20 mol로 증가함에 따라 결정 입자의 형태는 점차적으로 사각형으로 바뀌는 경향을 띠었다. 형광체 분말의 형광 세기는 결정 입자의 크기와 균일한 분포, 입자의 형상에 따라 결정되는 추세가 있는데, 본 실험에서는 결정 입자의 형태가 구형에 근접하고 크기 분포가 비교적 균일한 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 0.05 mol인 경우에 603 nm에서 발광되는 주황색 스펙트럼의 형광 세기는 0.20 mol의 형광체 분말의 시료 보다 약 5.5배 증가하였음을 관측할 수 있었다.

Fig. 3은 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비에 따라 합성한 Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Sm<sub>x</sub><sup>3+</sup> 형광체 시료를 방출 파장 564 nm로 조정했을 때 관측된 형광여기(photoluminescence excitation) 스펙트럼을 나타낸 것이다. Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 0.05 mol인 형광체 분말의 경우에 309 nm에 피크를 갖는 넓게 중첩된 밴드의 주 여기(excitation) 스펙트럼과 함께, 365와 379 nm에 피크를 갖는 매우 약한 흡수 신호가 관측되었다. 전자는 Sm<sup>3+</sup> 양이온과 O<sup>2-</sup> 음이온들 사이에 발생한 전하 전달 밴드(charge transfer band)에 의해 형성된 흡수 신호이며, 후자는 Sm<sup>3+</sup> 이온의 바닥 상태인 <sup>6</sup>H<sub>5/2</sub>에서 높은 에너지 상태인 <sup>4</sup>D<sub>3/2</sub>와 <sup>6</sup>P<sub>7/2</sub> 준위로 각각 전이하면서 발생한 신호이다 [10]. Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비에 관계없이 모든 흡수 스펙트럼은 관측되었고, Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 각각 0.10, 0.15, 0.20 mol로 증가함에 따라 전하 전달 밴드에 의해 발생한 흡수 스펙트럼의 세기와 두 f-f전이 신호의 세기는 감소하는 경향을 보였으나, 흡수 파장은 변하지 않았다. Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 0.05 mol일 때 최대 흡수 신호가 관측되었다. 이 결과는 고상반응법을 사용하여 제조한 Sm<sup>3+</sup> 이온이 도핑된 NaGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 형광체 분말에서 측정된 결과와 일치하였다 [11].

Fig. 4는 파장 309 nm로 여기 시킨 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비에 따른 Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Sm<sub>x</sub><sup>3+</sup> 형광체 분말의 형광(photoluminescence) 스펙트럼을 나타낸 것이다. Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비에 관계없이 모든 형광체 시료는 Sm<sup>3+</sup> 이온의 전형적인 세 종류의 형광 스펙트럼을 나타내었다. 각각 파장 565, 603, 645 nm에 피크를 갖는 황색, 주황색, 적색 형광이 관측되었는데, 적색 형광의 세기가 다른 두 색의 발광 세기보다 상대적으로 강한 발광 스펙트럼을 나타내었다. 이 발광

스펙트럼을 나타낸 것이다. Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비에 관계없이 모든 형광체 시료는 Sm<sup>3+</sup> 이온의 전형적인 세 종류의 형광 스펙트럼을 나타내었다. 각각 파장 565, 603, 645 nm에 피크를 갖는 황색, 주황색, 적색 형광이 관측되었는데, 적색 형광의 세기가 다른 두 색의 발광 세기보다 상대적으로 강한 발광 스펙트럼을 나타내었다. 이 발광

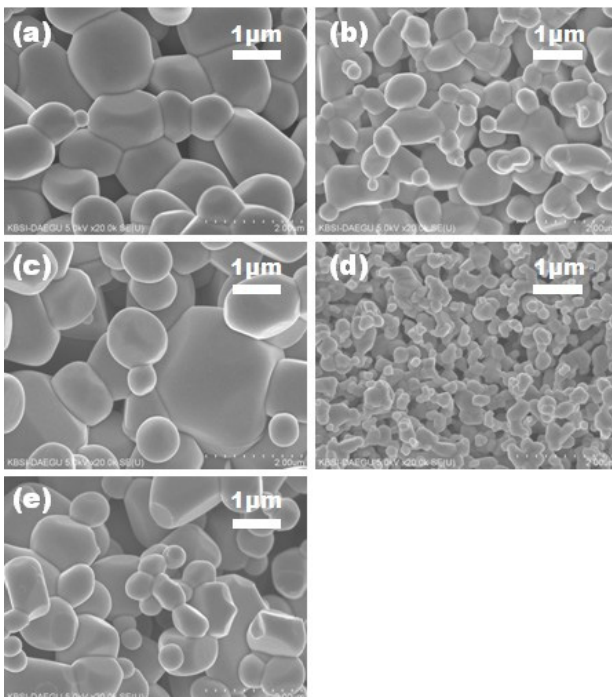


Figure 2. Surface SEM images of Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Sm<sub>x</sub><sup>3+</sup> phosphors synthesized with various Sm<sup>3+</sup> concentrations of: (a) x=0, (b) x=0.05, (c) x=0.10, (d) x=0.15, and (e) x=0.20.

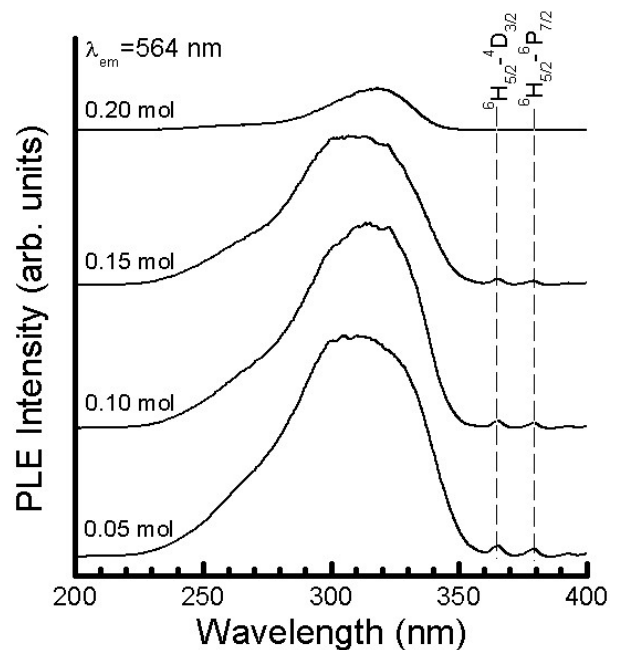


Figure 3. Room-temperature photoluminescence excitation spectra of Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Sm<sub>x</sub><sup>3+</sup> phosphors synthesized with various Sm<sup>3+</sup> concentrations.

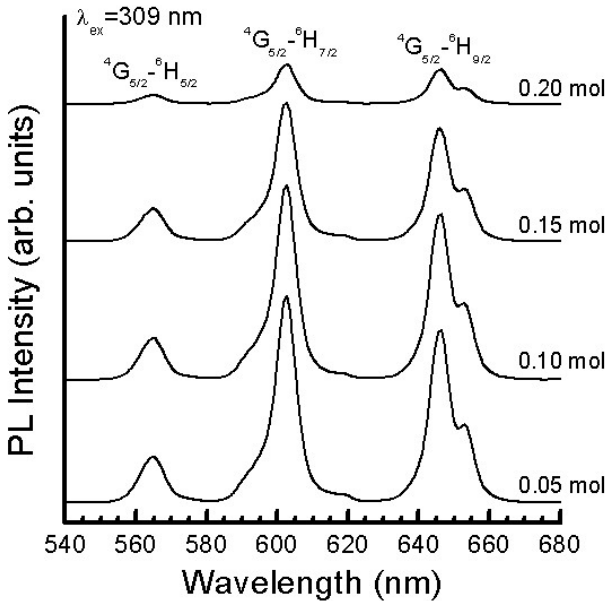


Figure 4. Room-temperature photoluminescence spectra of  $Gd_{1-x}VO_4:Sm_x^{3+}$  phosphors synthesized with various  $Sm^{3+}$  concentrations.

신호들은 활성제  $Sm^{3+}$  이온의  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_j$  ( $j=5/2, 7/2, 9/2$ ) 전이에 의해 발광된 스펙트럼들이다. 여기서 황색과 주황색 형광 스펙트럼은  $j=5/2$ 와  $7/2$ 에 의한  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}$ 와  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$  전이에 의해 발생한 자기 쌍극자 전이 (magnetic dipole transition) 신호이며, 적색 형광 스펙트럼은  $j=9/2$ 에 의한  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{9/2}$  전기 쌍극자 전이 (electric dipole transition) 신호이다 [12]. 이 결과는 용매열 (solvothermal) 반응법을 사용하여 합성한  $Ca_2Gd_8Si_6O_{26}:Sm^{3+}$  형광체에서 측정된 결과와 유사하였다 [13]. Fig. 4에서 보듯이,  $Sm^{3+}$  이온의 함량비가 0.05에서 0.20 mol로 순차적으로 증가함에 따라 세 발광 스펙트럼의 형광 세기는 점차적으로 감소하였다. 이 현상은 농도 소광 (concentration quenching) 현상으로 설명할 수 있다.  $Sm^{3+}$  이온의 함량비가 증가함에 따라 모체 격자에서  $Sm^{3+}$  이온들 사이의 거리가 근접하여 이온들이 서로 뭉치고 입자 크기의 불규칙한 분포로 인하여 형광 세기가 감소한다.  $Sm^{3+}$  이온의 함량비가 0.05 mol일 때, 565, 603, 645 nm에 피크를 갖는 세 발광 스펙트럼의 반치폭은 각각 8.3, 7.0, 7.3 nm 이었다. 본 실험의 결과는 형광체 분말의 형광 세기와 활성제  $Sm^{3+}$  이온의 함량비 사이에 밀접한 관계가 있음을 나타내며, 크기 분포의 균일성이 형광 세기를 향상시키는 중요한 변수임을 의미한다.

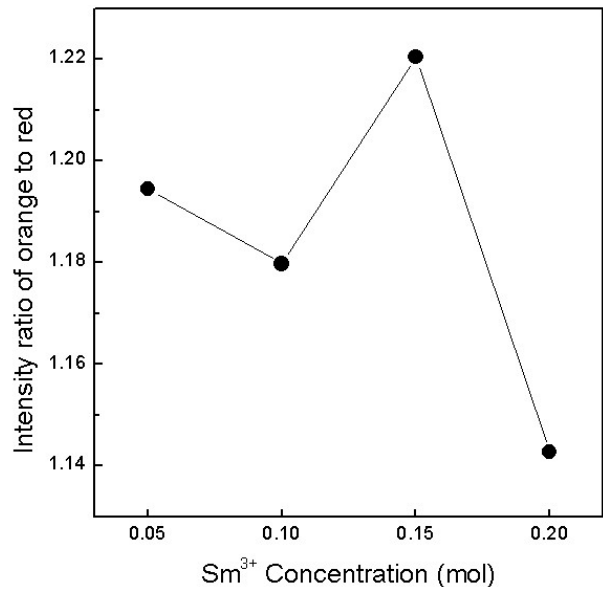


Figure 5. Emission intensity ratio of  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$  (orange) to  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{9/2}$  (red) transition as a function of  $Sm^{3+}$  concentration.

Fig. 5는  $Sm^{3+}$  이온의 함량비를 달리하여 합성한  $Gd_{1-x}VO_4:Sm_x^{3+}$  형광체에서 자기 쌍극자 전이( $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$ )와 전기 쌍극자 전이( $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{9/2}$ )에 의해 발광되는 스펙트럼의 발광 세기의 비, 즉 대칭 비(symmetry ratio)라 불리는  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$  전이와  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{9/2}$  전이에 의한 발광 세기의 비를  $Sm^{3+}$  이온의 함량비 함수로 나타낸 것이다. 일반적으로 대칭비를 계산하여 모체 격자에 위치하는  $Sm^{3+}$  이온 주위의 국소적인 환경이 반전 대칭에서 변형되는 척도를 조사할 수 있다 [14]. 따라서 본 실험의 경우에,  $Sm^{3+}$  이온의 함량비에 관계 없이 모든 형광체 시료는 주황색 발광의 세기가 적색의 세기보다 크며, 그 대칭비 값은 1.14 이상이었다.  $Sm^{3+}$  이온의 함량비가 0.15 mol에 도달했을 때 대칭비는 최대값 1.22를 나타내었다가, 0.20 mol에서는 감소하는 추세를 보였다. 이 실험 결과는 모체 격자 내에 위치하는  $Sm^{3+}$  이온은 반전 대칭 자리에 위치하며,  $Sm^{3+}$  이온의 함량비를 적당히 제어함으로써 주황색 발광의 세기를 조절할 수 있음을 제공한다.

#### IV. 결 론

고상 반응법을 사용하여 활성제  $Sm^{3+}$  이온의 함량비를 변화시키면서  $Gd_{1-x}VO_4:Sm_x^{3+}$  형광체 분말을 합성하였다.

활성제 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 형광체 분말의 결정 구조, 표면 형상과 발광 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 합성한 형광체 시료는 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비에 관계없이 주 피크는 (200)면에서 회절된 신호였으며, 결정 구조는 정방 정계를 나타내었다. 결정 입자의 표면 형상은 Sm<sup>3+</sup> 이온의 함량비가 0.05 mol인 경우에 육각형의 모서리가 깎여나간 구형에 근접하였으며, 결정 입자의 크기 분포도 비교적 균일하였다. 형광여기 특성의 경우에, Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>:Sm<sub>x</sub><sup>3+</sup> 형광체에서 Sm<sup>3+</sup> 양이온과 O<sup>2-</sup> 음이온들 사이에 발생한 전하 전달 밴드에 의해 형성된 309 nm를 중심으로 넓은 흡수 스펙트럼과 365, 379 nm에 피크를 갖는 매우 약한 신호가 관측되었다. 발광 신호는 각각 파장 565, 603, 645 nm에 피크를 갖는 황색, 주황색, 적색 형광이 검출되었고, 대칭비의 값은 1.14 이상이었다.

### 참고문헌

- [1] D. S. Jo, Y. Y. Luo, K. Senthil, T. Masaki, and D. H. Yoon, *Opt. Mater.* **33**, 1190 (2011).
- [2] S. Cho, *J. Korean Vacuum Soc.* **20**, 176 (2011).
- [3] R. S. Yadav, R. K. Dutta, M. Kumar, and A. C. Pandey, *J. Lumin.* **129**, 1078 (2009).
- [4] A. H. Krumpel, E. Kolk, E. Cavalli, P. Boutinaud, M. Bettinelli, and P. Dorenbos, *J. Phys.: Condens. Matter* **21**, 115503 (2009).
- [5] S. Bar, H. Scheife, and G. Huber, *Opt. Mater.* **28**, 681 (2006).
- [6] X. Su, B. Yan, and H. Huang, *J. Alloys Compd.* **399**, 251 (2005).
- [7] T. Minami, T. Miyata, Y. Suzuki, and Y. Mochizuki, *Thin Solid Films* **65**, 469-470 (2004).
- [8] X. Hu, J. Chen, N. Zhuang, J. Chen, J. Lan, and F. Yang, *J. Cryst. Growth* **256**, 328 (2003).
- [9] Y. Zhou, J. Lin, and S. Wang, *J. Solid State Chem.* **171**, 391 (2003).
- [10] V. R. Bandi, B. K. Grandhe, M. Jayasimhadri, K. Jang, H. S. Lee, S. S. Yi, and J. H. Jeong, *J. Cryst. Growth* **326**, 120 (2011).
- [11] Y. Chen, H. K. Yang, J. W. Chung, B. K. Moon, H. Choi, and J. H. Jeong, *J. Korean Phys. Soc.* **57**, 1760 (2010).
- [12] T. P. Tang, C. M. Lee, and F. C. Yen, *Ceram. Int.* **32**, 665 (2006).
- [13] G. S. R. Raju, J. S. Yu, J. Y. Park, H. C. Jung, and B. K. Moon, *J. Am. Ceram. Soc.* **95**, 238 (2012).
- [14] B. S. Tsai, Y. H. Chang, and Y. C. Chen, *Electrochem. Solid-State Lett.* **8**, H55 (2005).

## Synthesis and Luminescent Properties of $\text{Sm}^{3+}$ -doped $\text{GdVO}_4$ Phosphors

Shinho Cho and Seon-Woog Cho\*

*Department of Materials Science and Engineering, Silla University, Busan 617-736*

(Received January 27, 2012, Revised February 25, 2012, Accepted March 17, 2012)

$\text{Gd}_{1-x}\text{VO}_4:\text{Sm}_x^{3+}$  phosphor powders were synthesized with changing the concentration of  $\text{Sm}^{3+}$  ion by using a solid-state reaction method. The crystal structures of all the phosphors were found to be a tetragonal system, composed of (200) diffraction peak centered at  $24.76^\circ$ , and the morphology of grains approached the spherical form with homeogenous size distribution when the concentration of  $\text{Sm}^{3+}$  ion was 0.05 mol. As for the photoluminescence properties, all of the phosphor powders, irrespective of  $\text{Sm}^{3+}$  ion concentration, indicated the yellow, orange, and red emission peaked at 565, 603, and 645 nm respectively. As the concentration of  $\text{Sm}^{3+}$  ion increases, the intensity of excitation spectrum showed a decreasing tendency on the increase of  $\text{Sm}^{3+}$  ion concentration. The maximum excitation and emission spectra were observed and the symmetry ratio was 1.19 at 0.05 mol of  $\text{Sm}^{3+}$  ion.

Keywords : Phosphor,  $\text{GdVO}_4:\text{Sm}$ , Solid-state reaction

\* [E-mail] [swcho@silla.ac.kr](mailto:swcho@silla.ac.kr)