글리신-질산염 연소법으로 합성된 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 형광체의 발광 및 장잔광 특성

이영기 · 김정열 · 이유기[†]
위덕대학교 그린에너지공학부

Photoluminescence and Long-phosphorescent Characteristics of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ Phosphor by Glycine-nitrate Combustion Method

Young-Ki Lee, Jung-Yeul Kim and You-Kee Lee[†]

Division of Green Energy Engineering, Uiduk University, Kyongju 780-713, Korea

(2010년 6월 8일 접수 : 2010년 6월 23일 최종수정 : 2010년 6월 29일 채택)

Abstract A $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor powder with stuffed tridymite structure was synthesized by glycine-nitrate combustion method. The luminescence, formation process and microstructure of the phosphor powder were investigated by means of X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and photoluminescence spectroscopy (PL). The XRD patterns show that the as-synthesized $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor was an amorphous phase. However, a crystalline SrAl_2O_4 phase was formed by calcining at 1200°C for 4h. From the SEM analysis, also, it was found that the as-synthesized $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor was in irregular porous particles of about 50 μm , while the calcined phosphor was aggregated in spherical particles with radius of about 0.5 μm . The emission spectrum of as-synthesized $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor did not appear, due to the amorphous phase. However, the emission spectrum of the calcined phosphor was observed at 520 nm (2.384eV); it showed green emission peaking, in the range of 450~650 nm. The excitation spectrum of the $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor exhibits a maximum peak intensity at 360 nm (3.44eV) in the range of 250~480 nm. After the removal of the pulse Xe-lamp excitation (360 nm), also, the decay time for the emission spectrum was very slow, which shows the excellent long-phosphorescent property of the phosphor, although the decay time decreased exponentially.

Key words glycine-nitrate combustion method, $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor, emission spectrum, excitation spectrum, decay time.

1. 서 론

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 는 stuffed tridymite 구조의 SrAl_2O_4 모체결정에 부활제(activator) 및 공부활제(co-activator)인 Eu와 Dy를 각각 도핑시킨 형광체로서 초기에는 주로 램프와 음극선관(cathode-ray tube, CRT)등에 응용하고자 연구되었다.¹⁻⁴⁾ 그러나 최근에 SrAl_2O_4 이외에도 MAl_2O_4 ($M = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Mg}$)의 모체결정에 희토류이온을 부활제로 도핑한 형광체가 $\text{ZnS}:\text{Cu}$, $\text{CaS}:\text{Bi}$ 등의 형광체에 비하여 장잔광 축광재료로서 우수한 특성을 갖고 있는 것으로 보고되어 기존 축광성 재료의 주된 용도인 야광도료로서는 물론 다른 형광체의 여기원과 유리나 PVC중에 축광성 형광체를 도핑시킨 에너지 절약형 야간조명용 축광판넬에의 응용 가능성 또한 크게 기대되고 있다.⁵⁻⁷⁾

지금까지 이러한 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 계 형광체의 합성은 SrCO_3 와 Al_2O_3 화합물에 부활제(activator) 및 공부활제(co-activator)로서 Eu_2O_3 와 Dy_2O_3 화합물을 각각 첨가하는 비교적 공정이 간단하고 상용 형광체의 합성에 주로 이용되는 고상반응법으로 제조되어 왔다.¹⁻⁴⁾ 그러나 이 방법은 1000°C 이상의 고온에서 장시간 동안 고상입자들 간의 상호반응에 의한 합성법이므로 합성중에 국부적인 소결 및 입자성장에 기인하여 입자의 크기를 미세화시키는 데 한계가 있을 뿐만 아니라 순수한 SrAl_2O_4 결정을 얻는 것이 곤란하다. 또한 입자의 응집현상이 일어나므로 입도제어를 위해서는 추가적인 밀링공정을 거쳐야 하기 때문에 입자상이 불균일해지고 격자결함이 발생하여 발광특성이 감소되어 효율이 저하하게 된다.⁸⁻⁹⁾

따라서 본 연구에서는 고상반응법에 비해 저온공정으로 균일한 나노입자를 얻을 수 있어 분산성 및 도료화가 용이하고, 또한 외부의 추가적인 열원없이 글리신(glycine)과 질산염(nitrate) 간의 발열반응만으로 비교적 짧은 시간

[†]Corresponding author
E-Mail : leeyk@uu.ac.kr (Y. -K. Lee)

에 간단하게 물질합성이 가능한 글리신-질산염 연소법¹⁰⁾으로 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체를 합성한 후, 장잔광 측광재료로서 가장 중요한 발광특성과 장잔광특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 계 형광체의 모체결정인 SrAl_2O_4 를 합성하기 위하여 출발물질로서 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ (99.9%, Aldrich), $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (99.9%, Aldrich) 분말을 사용하였다. 그리고 부활제(activator) 및 공부활제(co-activator)로는 99.9% 이상의 $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99.9%, Aldrich)와 $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (99.9%, Aldrich) 분말을 각각 사용하였으며, 또한 반응제로는 glycine (Aminoacetic Acid, Yakuri Pure Chemicals)을 사용하였다. 먼저 연소반응을 위한 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ 및 $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3$ 의 질산염 용액은 Sr-Al-O계 형광체 합성시 최적조성¹⁰⁾인 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2:\text{Eu}(\text{NO}_3)_3:\text{Dy}(\text{NO}_3)_3:\text{Al}(\text{NO}_3)_3 = 0.9850:0.0025:0.0050:2$ 의 조성(mol%)비로 칭량하여 혼합한 후, 이를 증류수에 약 80°C로 유지된 hot plate와 magnetic bar를 사용하여 완전 용해시켜 제조하였다. 이렇게 제조된 질산염 용액에 글리신(glycine)과 질산염(nitrate)이 2:1의 비율로 첨가하여 약 80°C에서 글리신-질산염용액이 투명해질 때까지 교반시킨 다음, 연소반응이 시작되도록 하기 위하여 magnetic bar와 약 200°C로 유지된 hot plate로 가열하여 회색을 띤 ash 상태의 형광체를 제조하였다.¹¹⁾ 특히 실험 중 폭발적인 연소반응에 기인된 위험성 때문에 스테인레스제 반응기를 사용하였고, 또한 20 ml 정도 소량씩 글리신-질산염용액을 반응기에 장입하여 반응이 완전히 종료된 다음 추가로 글리신-질산염용액을 장입하여 형광체를 제조하였다. 그리고 이렇게 합성된 형광체는 알루미늄 도가니에 장입하여 1200°C에서 4시간 동안 하소시켜 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 계 형광체를 제조하였다.

합성된 형광체의 결정구조 및 반응성은 Rigaku사의 XRD를 사용하였고, 이 때 사용한 X-선의 target는 CuK_α 이었고, 40 kV-30 mA의 동일조건에서 X-선 회절 분석을 하였다. 그리고 분말시료의 형상 및 농도분석은 SEM과 WDS (wavelength-dispersive spectrometers)를 이용하여 분석하였다. 시료의 여기 및 발광스펙트럼은 Spectrofluorometer (Model 8100, SLM Instruments, Inc)를 사용하여 360 nm 파장의 pulse Xe 방전램프로 여기시켰으며, 이때의 발광파장은 120 nm/min의 주사속도로 400 nm에서 700 nm까지 주사하여 얻었다. 한편 여기스펙트럼의 측정은 120 nm/min의 주사속도로 200 nm에서 500 nm까지 주사하여 얻었고, 이때의 발광파장은 520 nm로 고정하였다. 그리고 장잔광특성은 태양광과 유사한 백색광을 방출하는

Xe 램프로 10분간 여기시킨 후, 암상태에서 시간변화에 따른 520 nm 발광스펙트럼의 강도변화를 측정하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 비교적 공정이 간단하여 상용 형광체의 합성에 주로 이용되는 고상반응법에 비해 저온공정으로 균일한 나노입자 제도가 용이하고, 또한 외부의 추가적인 열원없이 글리신과 질산염 간의 발열반응만으로 비교적 짧은 시간에 간단하게 물질합성이 가능한 글리신-질산염 연소법을 이용하여 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체를 합성하였다.

Fig. 1은 글리신-질산염 연소법에 의한 회색을 띤 ash 상태의 형광체(Fig. 1(a))와, 이를 1200°C에서 4시간 동안 하소시킨 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체(Fig. 1(b))의 X-선 회절 분석결과이다. Fig. 1(a)에서와 같이 하소전의 회색을 띤 ash 상태의 형광체는 뚜렷한 회절피크가 관찰되지 않았는데, 이는 하소전 형광체의 결정구조가 비정질상을 의미하며, 이에 기인하여 여기 및 발광스펙트럼 또한 관찰되지 않았다. 그러나 이러한 비정질상의 형광체를 1200°C에서 4시간 동안 산화분위기에서 하소시킨 결과, Fig. 1(b)에서 알 수 있는 바와 같이 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 계 형광체의 모체결정인 stuffed tridymite구조의 SrAl_2O_4 단일상이 뚜렷하게 관찰되었다.

Fig. 2는 글리신-질산염 연소법으로 합성된 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:$

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ phosphor synthesized by glycine-nitrate combustion method. (a) before-calcination and (b) after-calcination.

Fig. 2. SEM photographs of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ phosphor synthesized by glycine-nitrate combustion method; (a) and (b) before-calcination (c) and (d) after-calcination.

Fig. 3. SEM photographs of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ phosphor synthesized by solid-phase reaction method; (a) low magnification and (b) high magnification.

$\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체의 하소 전후 형상 비교를 위하여 배율을 각기 달리하여 관찰한 SEM사진을 나타내었다. 사진에서와 같이 하소전의 형광체(Fig. 2(a))는 대략 50 μm 정도의 매우 불규칙한 형상을 가진 분말상이었고, 또한 Fig. 2(a)에 원으로 표시한 부분을 확대한 Fig. 2(b)에서 알 수 있는 바와 같이 다양한 크기의 기공을 가진 다공성 분말이었는데, 이는 비교적 짧은 시간에 일어난 글리신과 질산염 간의 폭발적인 발열반응에 기인된 것으로 판단된다. 그러나 이러한 매우 불규칙한 형상의 다공성 분말을 1200°C에서 4시간 동안 하소 처리하였을 경우, 매우 미세하게 구형의 입자 형상(Fig. 2(c))을 나타내었다. 특히

Fig. 2(c)에 원으로 표시한 부분을 확대한 Fig. 2(d)에서와 같이 전체적으로 대략 0.5 μm 정도의 부드러운 표면을 가진 구형 입자들이 상호 엉겨 붙은 형태를 나타내었으나, 이러한 시료를 15시간 동안 불밀처리한 결과 대략 0.5~1 μm 정도의 고른 분포의 크기를 가진 분말이 되었다. 그러나 상용 형광체의 합성에 주로 이용되는 고상반응법으로 합성한 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체는 Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 고상반응중에 입자들간의 국부적인 소결 및 입자성장에 기인하여 대략 5 μm 정도에서부터 1 μm 이하에 이르기까지 매우 불규칙한 입도분포를 나타내었고, 또한 거친 표면을 가진 형상을 나타

Fig. 4. SEM photographs (a) and WDS spectrum (b) of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor synthesized glycine-nitrate combustion method, re-spectively. The WDS spectrum is obtained at position which marked with the white circle on Fig. 4(a).

내었다.

Fig. 4는 글리신-질산염 연소법으로 합성하여 1200°C 에서 4시간 동안 하소시킨 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 형광체를 SEM에 부착된 WDS를 이용하여 조성 분석한 스펙트럼과 이로부터 결정된 각 원소의 분율(mol%)을 도표로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Fig. 4(a)의 원으로 표시된 부분의 분말 입자에서 Sr, Al 및 O의 원소이외에도 부활제 및 공부활제로 첨가한 Eu와 Dy의 뚜렷한 피크와 함께 SEM 관찰을 위하여 시료의 표면에 코팅한 Au가 검출되었다. 이는 글리신-질산염 연소법으로 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 형광체 합성이 가능하고, 또한 표에서 알 수 있는바와 같이 질산염 용액의 조성비와 거의 동일한 조성비의 형광체를 합성할 수 있었는데, 이는 글리신-질산염 연소반응중에 첨가 원소의 증발 및 국부적인 편석 현상 등이 거의 일어나지 않았다는 것을 의미한다.

일반적으로 형광체의 발광특성은 어떤 파장의 빛에 의하여 주로 여기되며, 또한 어떠한 색깔의 빛으로 발광하는가를 여기스펙트럼과 발광스펙트럼을 측정함으로써 조사할 수 있다.

Fig. 5는 글리신-질산염 연소법으로 합성하여 1200°C 에서 4시간 동안 하소시킨 형광체의 발광스펙트럼과 여기스펙트럼을 각각 나타낸 것이다. 이때 발광스펙트럼은 상온에서 360 nm 파장의 pulse Xe 방전램프로 여기시켜

Fig. 5. Emission and excitation spectra of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ phosphor synthesized glycine-nitrate combustion method.

120 nm/min의 주사속도로 400~700 nm까지 주사하여 측정하였으며, 여기스펙트럼은 발광파장을 520 nm로 고정하여 200~500 nm까지 주사하여 측정하였다. 그림에서와 같이 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 계 형광체의 발광스펙트럼은 종래의 축광재료인 $\text{ZnS}:\text{Cu}$ 의 발광파장(530 nm)과 거의 같은 황록색 발광영역인 520 nm(2.384 eV)를 최대 발광파장으로 하는 발광스펙트럼을 보였는데, 이는 SrAl_2O_4 의 모체 결정에 도핑시킨 부활제인 Eu^{2+} 의 $4f^65d^1 \rightarrow 4f^7$ 천이에 의한 특징적인 발광이라 생각된다.¹⁻²⁾ 그리고 결정성이 뛰어난 단결정체에서는 일반적으로 sharp한 발광스펙트럼을 나타내는데 반하여, 520 nm발광의 반치폭은 대략 91.3 nm로 매우 넓은 발광스펙트럼을 나타내었는데, 이는 측정 시료가 결정성이 뛰어난 단결정체가 아닌 분말상의 결정 입자이기 때문이라 생각된다.¹¹⁾ 또한 발광파장을 520 nm로 고정하여 측정한 여기스펙트럼에서와 같이 최대 흡수피크는 360 nm이었고 250 nm에서 480 nm의 넓은 범위에서 흡수스펙트럼이 관찰되었는데, 이러한 여기피크들은 SrAl_2O_4 결정의 band gap energy(E_g)가 5.6 eV¹⁾인 점을 고려하면 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 계 형광체의 결정결함에 의한 깊은 준위들 사이에서 일어나는 여기피크라고 생각된다. 그런데 이러한 여기피크들 중에서 Fig. 5에 표시된 4개의 여기피크는 부활제인 Eu^{2+} 의 $4f^7 \rightarrow 4f^65d^1$ 천이에 기인된 여기피크²⁾이며, 그 이외의 피크들은 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$ 계 형광체의 격자 사이에 들어가 있는 여러 가지 원소, 즉 부활제, 공부활제 및 용제 등에 의한 침입형 결함(interstitial defect)이나 결정입계(grain boundary)

등에 의한 결정결합과 관련된 깊은 준위들 사이에서 일어나는 복합적인 여기피크들로 생각된다. 따라서 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ 형광체의 최적 여기파장은 360 nm이며, 또한 250~450 nm 범위의 여기파장은 태양광에 많이 포함되어 있는 파장영역이므로 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 계 형광체는 실외의 태양광에 의해서도 쉽게 여기되어 발광할 수 있으며, 또한 320 nm 이하의 파장에서는 여기강도가 현저히 저하되는 종래의 촉광재료인 $\text{ZnS}:\text{Cu}^{3+}$ 에 비하여 훨씬 넓은 파장영역의 빛에 의하여 쉽게 여기되어 발광할 수 있는 형광재료라고 생각된다. 그리고 고상반응법에 의한 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체의 발광스펙트럼과 여기스펙트럼 또한 발광 및 여기 강도의 차이만 나타내었을 뿐 글리신-질산염 연소법의 그것과 동일한 스펙트럼을 나타내었다.

일반적으로 야광도료 등에 이용되는 장잔광 형광체는 고휘도의 발광특성뿐만 아니라 잔광시간이 긴 장잔광 특성이 요구되며, 이러한 장잔광 특성은 시간변화에 따른 발광의 감쇠속도가 작을수록 잔광시간이 길게 된다.

Fig. 6은 글리신-질산염 연소법으로 합성하여 1200°C에서 4시간 동안 하소시킨 형광체(실선)와 고상반응법으로 합성한 형광체(점선)를 태양광과 유사한 백색광을 방출하는 Xe 램프로 10분 동안 여기시킨 후, 암상태에서 520 nm 파장의 발광에 대한 잔광특성을 나타낸 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 잔광강도는 모든 시료에서 시간변화에 따라 거의 지수 함수적으로 감소하는 일반적인 장잔광 형광체의 특성을 나타내었다. 그러나 형광체의 잔광 감쇠속도(decay time)를 비교하였을 경우, 글리신-질산염 연소법으로 합성한 형광체가 고상반응법으로 합성한 형광체의 잔광 감쇠속도보다 크고, 또한 30분 이후의 발광휘도의 변이가 크다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 장잔광 형광체의 경우 입자 크기가 미세화됨에 따

라 형광체 입자 자체의 결합, 즉 표면 및 결정입계 등의 증가로 인하여 잔광 감쇠속도가 커 잔광시간이 짧아지는 것으로 알려져 있다.⁸⁻⁹⁾ 따라서 Fig. 6의 글리신-질산염 연소법과 고상반응법으로 합성한 형광체의 장잔광 특성 차이는 Fig. 2와 Fig. 3의 사진에서도 알 수 있었던 바와 같이 장잔광 형광체의 입자 크기에 기인한 것으로 판단되며, 이에 대한 명확한 규명을 위해서는 형광체의 입자 크기별 특성 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 그리고 장잔광 특성만을 비교하였을 경우, 고상반응법으로 합성한 형광체가 글리신-질산염 연소법으로 합성한 형광체에 비해 높은 장잔광 특성을 나타내었다고 판단할 수 있으나, 입자의 조대화로 인하여 분산성 및 도료화가 곤란한 응용상의 여러 문제점을 내포하고 있다. 그러나 글리신-질산염 연소법으로 합성한 형광체 또한 200분 후에도 암상태에서 시료를 관찰하였을 때 육안으로도 측정시료를 구별할 수 있을 정도로 잔광의 감쇠가 작은 뛰어난 장잔광특성을 나타내었다.

4. 결 론

고상반응법에 비해 저온공정으로 나노입자가 균일하게 얻어지고, 외부의 추가적인 열원없이 글리신과 질산염 간의 발열반응만으로 비교적 짧은 시간에 간단하게 물질 합성이 가능한 글리신-질산염 연소법으로 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체를 합성한 후, 장잔광 촉광재료로서 가장 중요한 발광 및 장잔광 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 글리신-질산염 연소법으로 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체 합성이 가능하였고, 또한 연소반응중에 첨가 원소의 증발 현상이 없는 질산염 용액의 조성비와 거의 동일한 조성비의 형광체를 합성할 수 있었다.

2. 하소전 ash 상태의 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체는 비정질상으로 여기 및 발광스펙트럼 또한 관찰되지 않았으나, 1200°C에서 4시간 동안 하소시킨 결과 모체결정인 stuffed tridymite구조의 SrAl_2O_4 단일상이 형성되었다.

3. 50 μm 정도 크기의 불규칙한 형상의 하소 전 다공성 분말을 1200°C에서 4시간 동안 하소 처리하였을 경우, 대략 0.5 μm 정도의 구형 입자들이 상호 엉겨 붙은 입자 형상이었다.

4. $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체는 Al 공급원의 종류에 무관하게 Eu^{2+} 의 $4f^6 5d^1 \rightarrow 4f^7$ 전이에 기인된 황록색 발광의 520 nm(2.384eV)를 최대 발광파장으로 하는 450~650 nm의 폭넓은 발광스펙트럼을 보였으며, 또한 발광파장을 520 nm로 하여 측정한 여기스펙트럼의 최대 흡수 피크는 360 nm이었고 태양광에 의해서도 쉽게 여기될 수 있는 250~450 nm의 넓은 파장범위에서 흡수스펙트럼이

Fig. 6. Phosphorescence characteristics of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ phosphor synthesized glycine-nitrate combustion method and solid-phase reaction method, respectively.

관찰되었다.

5. $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 형광체의 잔광강도는 시간변화에 따라 거의 지수 함수적으로 감소하는 일반적인 장잔광 형광체의 특성을 나타내었고, 또한 200분 후에도 암상태에서 시료를 관찰하였을 때 육안으로도 측정시료를 구별할 수 있을 정도로 잔광의 감쇠가 작은 뛰어난 장잔광특성을 나타내었다.

감사의 글

연구결과물은 위덕대학교 교내연구비 및 포항나노집적센터연구비로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. T. Matsuzawa, Y. Aoki, N. Takeuchi and T. Murayama, J. Electrochem. Soc., **143**, 2670 (1996).
2. H. Takasaki, S. Tanabe and T. Hanada, J. Ceram. Soc. Jpn. Int. Ed., **104**, 322 (1996).

3. V. V. Zhurov, A. A. Bush, S. A. Ivanov, S. Yu. Stefanovich and B. N. Bomanov, Sov. Phys. Solid State, **33**, 960 (1991).
4. T. R. N. Kutty, R. Jagannathan and R. P. Rao, Mat. Res. Bull., **25**(11), 1355 (1990).
5. T. Katsumata, T. Nabae, K. Sasajima, S. Komuro and T. Morikawa, J. Electrochem. Soc., **144**, L243 (1997).
6. F. C. Palilla, A. K. Levine and M. R. Tomkus, J. Electrochem. Soc., **115**, 642 (1968).
7. V. Abbruscato, J. Electrochem. Soc., **118**, 930 (1971).
8. Y. K. Lee, J. Y. Kim, B. K. Kim and Y. T. Yu, Kor. J. Mater. Res., **8**(8), 737 (1998).
9. B. K. Kim, Y. T. Yu, G. S. Eom and Y. K. Lee, J. KACGCT, **9**(3), 315 (1999).
10. L. A. Chick, L. R. Pederson, G. D. Maupin, J. L. Bates, L. E. Thomas, and G. J. Exarhos, Mat. Lett., **10**(1,2), 6 (1990).
11. 13. T. Katsumata, T. Nabae, K. Sasajima, J. Matsuzawa, J. Cryst. Growth, **183**, 361 (1998).