

PLD 방법으로 Al₂O₃(0001) 기판 위에 증착한 Y₂O₃:Eu³⁺ 박막의 형광 특성

이 성 수[†]

Photoluminescence Characteristics of Y₂O₃:Eu³⁺ Thin Film Grown on Al₂O₃(0001) Substrate by PLD

Soung-Soo Yi[†]

Abstract

Y₂O₃:Eu³⁺ thin films have been grown on Al₂O₃(0001) substrates by a pulsed laser deposition (PLD) method. The phosphor thin films were deposited at a substrate temperature of 500, 600, and 700°C under the oxygen pressure of 100, 200, and 300 mTorr. The crystallinity, surface roughness and photoluminescence of the films are highly dependent on the substrate temperature and oxygen pressure. The films grown on Al₂O₃(0001) substrate even under the different substrate temperatures and oxygen pressures exhibited (222) preferred orientation. The luminescent spectra exhibited strong luminescence of ⁵D₀-⁷F₂ transition within Eu³⁺ peaking at 612 nm. The crystallinity and luminescence intensity of the films have been improved as the substrate temperature increasing. With increase of oxygen pressure from 50 to 300 mTorr, the crystallinity of the films has been uniformly decreased. The photoluminescence intensity and surface roughness have similar behaviors as a function of oxygen pressure. At 200 mTorr, both photoluminescence intensity and surface roughness show a maximum.

Key Words : photoluminescence, pulsed laser deposition, thin film, phosphor, Y₂O₃:Eu³⁺

1. 서 론

높은 효율을 갖는 박막 형광 물질 재료들은 평판 디스플레이 기술로 사용되어지는데 대표적 응용분야로는 전계 방출 디스플레이(field emission display, FED)와 자외선을 에너지원으로 하는 플라즈마 디스플레이(plasma display panel, PDP)를 들 수 있다.

기존의 브라운관 TV에서 사용되는 부피가 큰 CRT(cathode ray tube)의 경우는 음극선을 에너지원으로 수십 kV이상의 고전압에서 작동되어지는데 형광 물질은 Zn_{0.2}Cd_{0.8}S:Ag,Cl(적색), Zn_{0.65}Cd_{0.35}S:Ag,Cl(녹색), ZnS:Ag,Cl(푸른색)가 있는데 이들은 황화물계 형광체들이다. CRT보다 부피가 적은 FED는 수 kV이하의 낮은 전압 아래서 작동되는데 초기에 개발되어진 황화물계

형광체들이 FED용 형광체로 가장 광범위하게 연구되었다. 그러나 낮은 전압에서 작동되는 황화물계 형광체들은 많은 문제점을 가지고 있다. 전압이 낮아지면서 발광효율이 떨어지고 진공 속에서 분말의 분해로 인한 유해가스의 방출로 전계 방출의 미세 팁을 오염시키는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 (Zn, Mg)O:Zn(푸른색), ZnGa₂O₄:Mn(녹색), Y₂O₃:Eu(적색), CaTiO₃:Pr(적색), Gd₂O₃:Eu(적색)과 같은 산화물계 형광체들이 연구되고 있다. 산화물계 형광체는 낮은 전압에서도 높은 휘도의 발광 특성을 지니고 높은 온도와 진공 상태에서도 안정성과 전기 전도성이 우수하고 또한 산소와 반응하여 형광 효율을 감소시키는 문제점을 극복할 수 있다^[1].

분말 형광체에 비해 박막 형광체들은 작은 grain을 생성하여 측면 해상도를 높게 하고 열적으로도 더 좋은 안정성을 보이며 감소된 유해 가스방출(outgassing)과 고체 표면에 잘 밀착하기 때문에 여러 가지 장점들을 가지고 있다^[2]. 그러나 박막 형태로 형광체를 사용

신라대학교 광전자공학과(Department of Photonics, Silla University)

[†]Corresponding author: ssi@silla.ac.kr

(Received : January 12, 2003, Accepted : March 1, 2004)

하는데 가장 큰 어려운 점은 분말에 비해 낮은 밝기와 낮은 효율을 갖는다는 것이다. 그것은 박막을 제조하는 과정 동안 기판에 의한 박막의 구조적 결정성과 표면 형상이 결정되고 그로인하여 형광특성이 달라짐을 의미한다. 그리고 형광체 박막을 지지하는 기판이 생성된 빛을 적게 흡수하고 많이 반사할 때 높은 형광 효율을 나타낸다는 것을 의미한다.

Y₂O₃:Eu³⁺ 박막은 큰 에너지 밴드갭(5.8 eV)과 큰 유전상수(14~18)를 갖고 있어 최근에 전계발광(EL) 장치와 고밀도 DRAM^[3] 소자의 전기적 절연층으로써 뿐만 아니라 희토류(rare earth) 이온들, 특히 Eu³⁺이 첨가된 광학적 도파관(waveguide)^[4]으로 응용하기 위한 주된 물질(host material)로서의 높은 잠재적 가능성 때문에 많은 관심을 끌어 왔다. 산화물 계열의 형광체들 중에서 가장 유망한 적색 형광체 중의 하나인 Y₂O₃:Eu³⁺ 박막에 대한 연구들이 진행중이며, Eu³⁺에 의한 ⁵D₀-⁷F₂ 전이 때문에 Y₂O₃:Eu³⁺ 박막은 612 nm 파장의 적색발광 특성을 나타낸다^[5].

Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막을 합성하기 위한 여러 가지 방법, 즉, 졸-겔(sol-gel processing)^[6], e-beam evaporation^[7], 스퍼터링(radio frequency sputtering)^[8-10], 그리고 펄스레이저 증착법(PLD : pulsed laser deposition)^[11,12]들이 현재 사용되어지고 있다. 본 연구에서는 solid state reaction 법으로 제작한 타겟으로 PLD 방법을 사용하여 단결정 Al₂O₃(0001) 기판 위에 Y₂O₃:Eu³⁺ 박막을 성장하였다. PLD 방법은 쉽게 기체 가스를 첨가할 수 있고 target 물질과 화학 조성비에 일치하는 박막을 얻을 수 있는 장점 때문에 주요한 박막 증착 기술 중의 하나로 사용되고 있다. 다른 증착 기술들과 비교할 때 PLD 방법은 복잡한 구조를 갖는 산화물에 대해 특별히 유리하다^[13]. Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막을 기판 온도와 산소 분압에 따라서 성장하였으며 이러한 성장 조건에 따라 박막의 형광 특성이 어떻게 나타나는지를 조사하기 위해 박막의 결정 구조 분석, 표면의 미세 구조, 그리고 형광 스펙트럼을 측정하였다.

2. 실험 방법

Y_{2-x}Eu_xO₃(x=0.08) 분말 시료는 Y₂O₃와 Eu₂O₃의 화학량적양(stoichiometric amounts)으로 준비되었다. Y₂O₃와 Eu₂O₃를 혼합한 뒤 180 kg/cm²로 성형하여 1350°C에서 20시간 동안 소결시켜 박막증착용 세라믹 타겟을 완성하였다. PLD용 타겟의 직경은 1인치, 두께는 약 2.5 mm의 크기로 연마하였다. 박막은 193 nm의 파장을 갖는 ArF 엑시머 레이저를 사용하였고, 타겟과

기판 사이의 거리는 35 mm로 유지시켰다. 단위면적당 레이저 에너지는 대략 4.0 J/cm²이고 박막 증착을 하기 전에 10분 동안은 예비 에브리케이션을 하여 타겟의 표면에 존재하는 오염물질을 제거한 후 셔터를 열어 레이저 주파수를 1 Hz로 박막을 10분 동안 증착시킨 다음 나머지 시간은 5 Hz로 60분 동안 증착하였다.

Y₂O₃:Eu³⁺ 박막은 Al₂O₃(0001) 기판 위에 기판 온도 500, 600, 700°C와 산소 분압 50, 100, 150, 200, 250, 300 mTorr를 유지하여 성장시켰다. 박막 표면의 미세 구조는 AFM(atomic force microscope: Digital Instrument, MultimodeTM SPM)에 의해 측정하였으며 형광체 박막의 구조적 특징과 결정성을 조사하기 위하여 X-선 회절(Philips, X'Pert) 실험을 하였다. Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막의 형광 스펙트럼은 LS50B luminescence spectrophotometer (Perkin Elmer)를 사용하여 254 nm의 주된 비간섭 자외선 여기파장을 갖는 제논 램프를 광원으로 실온에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기판 온도에 따른 Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막의 특성

Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막 물질과 기판과의 상호작용 효과 및 형광 특성을 조사하기 위해 Al₂O₃(0001) 기판 위에 증착한 형광체 박막을 분석하였다. 그림 1은 200 mTorr의 일정한 산소 분압을 유지하여 500°C, 600°C 그리고 700°C의 기판 온도에서 Al₂O₃(0001) 기판 위에 성장시킨 Y₂O₃:Eu³⁺ 박막의 XRD 형태를 나타낸 것이다. 그림으로부터 500°C에서 성장된 박막은 완전하게

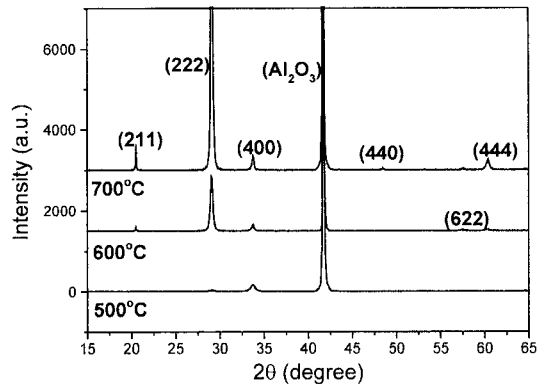


그림 1. Al₂O₃(0001) 기판 위에 증착한 Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막의 기판 온도에 따른 XRD 형태

Fig. 1. XRD patterns of Y₂O₃:Eu³⁺ thin film grown on Al₂O₃(0001) substrate as a function of substrate temperature.

결정화되지 못하였고, 600°C에서 성장된 박막은 아주 약한 (400), (622) peak과 낮은 강도의 (222) peak들이 존재하는데 비해 700°C에서 성장된 박막은 약한 (400), (211), (444) peak들과 아주 높은 (222) 피크를 갖는 다결정상을 보여주었다. $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 형광체 박막의 경우 증착 온도에 따라서 나타나는 XRD 결과가 다르게 나타나지만 증착 온도에 관계없이 (222) 피크가 $Al_2O_3(0001)$ 위에 성장된 박막에 대해 우선 배향임을 알 수 있다. (222) 피크의 반치폭(FWHM: Full Width at Half Maximum)이 700°C에서 증착된 박막의 경우에 600°C에서 증착된 박막의 경우보다 2θ 값이 0.44°에서 0.34°로 30% 정도 줄어든 것으로 보아 증착온도가 증가할수록 박막의 결정성이 좋아짐을 알 수 있다.

그림 2는 $Al_2O_3(0001)$ 기판 위에 증착한 기판 온도 변화에 따른 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막의 표면 형상을 조사하기 위한 AFM 사진이다. 그림 2(a)에서 기판 온도가 500°C인 경우 좁쌀 모양의 아주 작은 그레인들이 형성되었고, 그림 2(b)와 같이 기판 온도가 600°C로 높아지면서 그레인들의 크기가 증가하고 일정한 모양을 형성하기 시작하였다. 그림 2(c)는 700°C에서 성장된 박막의 표면 형상인데 그림 2(b)와 비교해 224 nm 정도의 크기로 그레인들이 증가하였고 사면체 모양으로 균일하게 형성되었다. 기판 온도 500, 600, 그리고 700°C에서 성장시킨 박막의 표면 거칠기는 각각 3.28, 10.08, 그리고 22.27 nm이었고 기판 온도가 증가함에 따라서 선형적으로 증가하였다.

그림 3은 $Al_2O_3(0001)$ 기판 위에 산소 분압을 200 mTorr로 유지하며 기판 온도를 변화시키며 증착한 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막의 실은 형광 스펙트럼을 나타낸 것이다. $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막의 형광 스펙트럼 관찰을 위해 여기광으로 254 nm의 자외선을 사용하였고 기판 온도에 관계없이 스펙트럼의 최대 피크 값이 Eu^{3+} 의 ${}^5D_0-{}^7F_2$

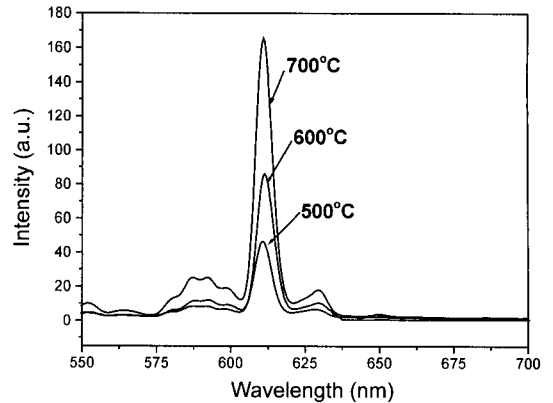


그림 3. $Al_2O_3(0001)$ 기판 위에 증착한 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 형광체 박막의 기판 온도에 따른 PL 스펙트럼

Fig. 3. PL spectra of $Y_2O_3:Eu^{3+}$ thin film grown on $Al_2O_3(0001)$ substrate as a function of substrate temperature.

전이에 의한 612 nm에서 나타났으며 700°C에서 가장 좋은 형광 특성을 나타냄을 확인하였다. 박막을 증착하는 기판의 온도가 500°C인 경우에 비해 600°C의 경우는 형광 스펙트럼의 최대 강도가 약 1.5배 증가하였고, 700°C의 경우는 약 3배 증가하였다. Y_2O_3 의 결정 구조는 공간군 $Ia3$ 를 갖는 입방체에 속하며 Eu^{3+} 이온들에 C_2 와 C_{3i} 대칭을 갖는 두개의 결정학적으로 다른 자리를 제공한다. 통계적으로 C_2 자리는 C_{3i} 의 자리에 비해 3배나 많이 존재하고 Eu^{3+} 의 ${}^5D_0-{}^7F_1$ (~590 nm) 전이에 대해 ${}^5D_0-{}^7F_2$ (~611–630 nm) 전이의 강도비는 C_{3i} 의 자리보다 C_2 자리에서 높다^[14]. $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막의 형광 스펙트럼에 의하면 박막의 경우 611–630 nm 근처의 발광세기가 590 nm 근처의 세기보다 월등히 높은 것으로 보아 C_2 대칭 자리의 점유율이 훨씬 높다고 볼 수 있다. 또한, 형광의 세기가 결정성과 표면 거칠기에

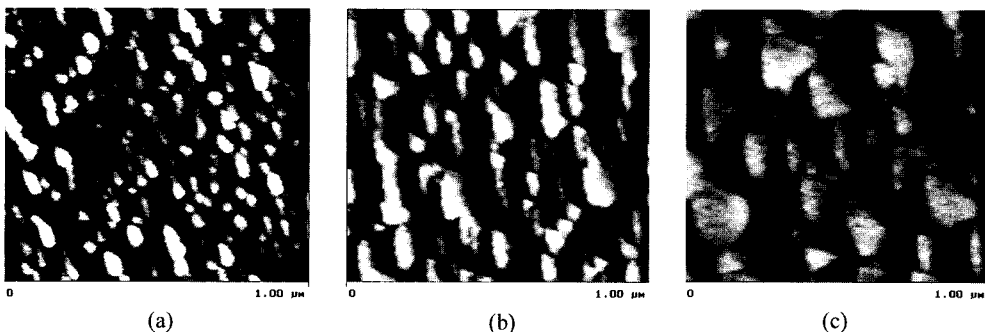


그림 2. $Al_2O_3(0001)$ 기판 위에 증착한 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 형광체 박막의 기판 온도에 따른 AFM 사진

Fig. 2. AFM images of $Y_2O_3:Eu^{3+}$ thin film grown on $Al_2O_3(0001)$ substrate as a function of substrate temperature.

크게 의존하는 것으로 알려져 있는데^[11], 그림 1, 2, 3의 결과들로부터 증착온도가 증가할수록 박막의 결정성이 좋아지고, 표면 거칠기 또한 증가하여 형광의 세기가 증가한다는 결론을 얻을 수 있다. 일정한 산소 분압 하에서 높은 증착 온도에서 성장된 박막일수록 그레인들의 크기가 크며, 이것은 주어진 면적에서 그레인들 간의 입계밀도가 작다는 것을 의미한다. 게다가 그레인들의 입계는 전자를 포획하고 형광 스펙트럼의 밝기를 감소시킴으로써 박막 내에서 생성된 빛을 손실(dissipation)하는 원인일 수 있기 때문에 적은 입계를 갖는 박막일수록 우수한 형광 특성을 나타내었다.

3.2. 산소 분압에 따른 Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막의 특성

박막을 성장하는 동안 산소 분압이 Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막의 배향성과 형광 특성에 미치는 효과를 알아보기 위해 다른 산소 분압들에서 증착한 Y₂O₃:Eu³⁺의 XRD 형태, AFM 사진 및 형광 스펙트럼을 측정하였다. 그림 4는 기판 온도를 600°C로 고정하고 산소 분압을 50, 100, 150, 200, 250, 그리고 300 mTorr로 변화시켜 Al₂O₃(0001) 기판 위에 증착한 Y₂O₃:Eu³⁺ 박막의 XRD 결과를 나타낸 것이다. 각각의 산소 분압에 대해 (222) 피크가 박막의 우선 배향이라는 것을 확인할 수 있었으며, 산소 분압이 50 mTorr에서 300 mTorr

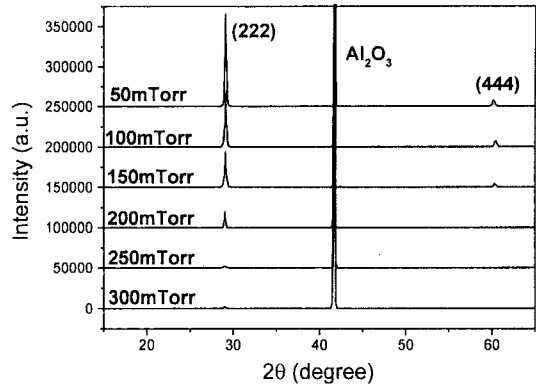


그림 4. Al₂O₃(0001) 기판 위에 증착한 Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막의 산소 분압에 따른 XRD 형태

Fig. 4. XRD patterns of Y₂O₃:Eu³⁺ thin film grown on Al₂O₃(0001) substrated as a function of oxygen pressure.

까지 증가할 수록 (222) 피크 값이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이를 통해 박막의 (222) 배향성 또한 산소 분압이 증가함으로써 감소한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 박막을 증착할 때 산소 분압이 증가함으로써 플룸(plume)을 구성하는 입자들과 산소 분자들 간의 충돌이 많이 일어나게 되고, 결과적으로 입자들의 운동에너지

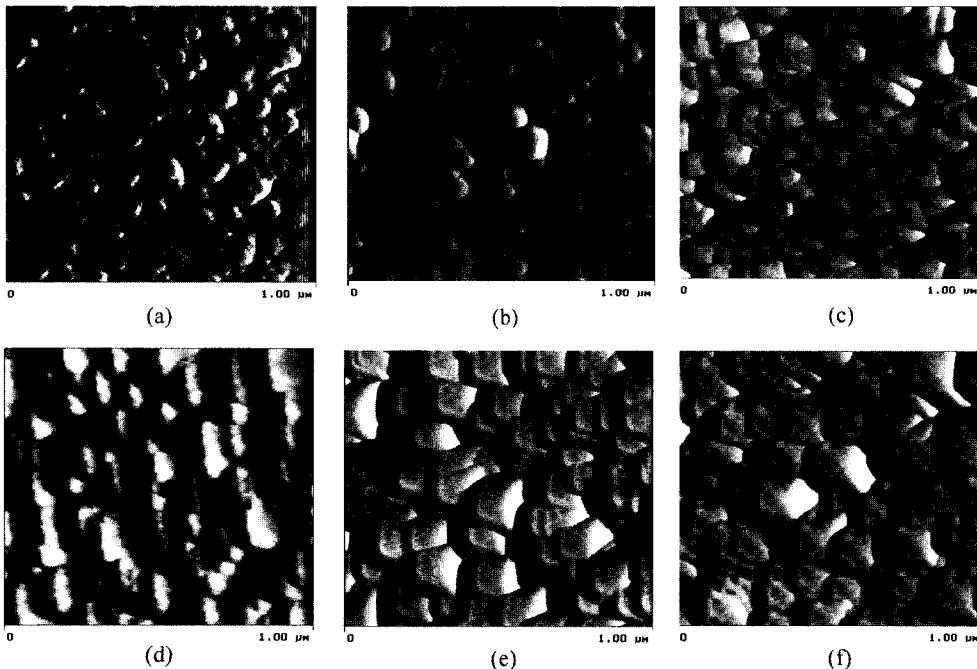


그림 5. Al₂O₃(0001) 기판 위에 증착한 Y₂O₃:Eu³⁺ 형광체 박막의 산소 분압에 따른 AFM 사진

Fig. 5. AFM images of Y₂O₃:Eu³⁺ thin film grown on Al₂O₃(0001) substrated as a function of substrate temperature.

지 감소가 박막의 성장 온도에 영향을 주기 때문이다.

그림 5는 600°C로 기판 온도를 일정하게 유지하여 산소 분압을 변화시키며 증착한 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 형광체 박막의 AFM 사진을 나타낸 것이다. 그림을 보면 각각의 산소 분압에 대해 grain의 모양이나 크기가 아주 다양하게 나타났다. 산소 분압이 50 mTorr(a)와 100 mTorr(b)일 때는 그레인들이 비교적 둥근 모양을 형성하였고 표면 거칠기는 그렇게 크지 않고 평탄한 면을 보였다. 150 mTorr(c)의 경우는 다양한 크기의 그레인들이 조밀하게 형성되었고, 200 mTorr(d)의 경우는 표면 형상이 뚜렷하지 못하고 주름 모양의 그레인들이 관찰되었다. 200 mTorr의 경우 박막 표면의 전체적인 요철 정도를 보면 비교적 크게 형성되어 거칠기가 크다. 그리고 250 mTorr(e)에서 박막은 그레인들이 육면체 모양으로 크게 잘 형성되었으며 300 mTorr(f)의 경우 다각형 모양의 그레인들이 규칙적인 모양을 하고 있어 두 경우 모두 전체적인 박막 표면의 거칠기는 작게 관찰되었다. 산소 분압에 따라서 측정된 각각의 박막에 대한 표면 거칠기는 0.67, 1.71, 8.68, 22.27, 21.08, 그리고 17.18 nm이었다. 이러한 결과는 다음의 형광 스펙트럼에 역시 강한 영향을 줄 것이다.

그림 6은 기판 온도를 600°C로 일정하게 유지하며 산소 분압을 변화시키면서 증착한 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막들로부터 최대 피크 값을 가지는 612 nm에서 측정된 형광의 세기와 표면 거칠기를 산소 분압의 함수로 도식화한 것이다. 그림 4와 6의 결과에 의하면, 산소 분압이 낮아질수록 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막의 배향성은 좋아졌지만 형광 스펙트럼의 강도는 낮게 관찰되는 경향성을 알 수

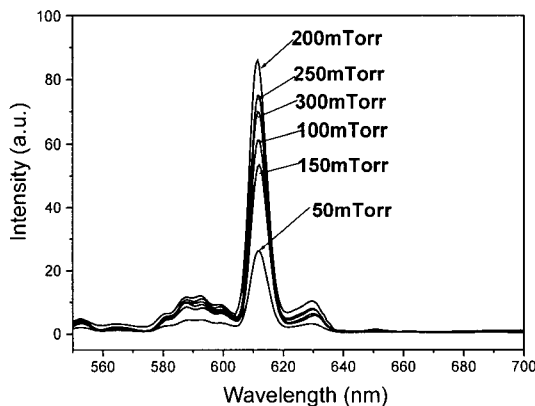


그림 6. $Al_2O_3(0001)$ 기판 위에 증착한 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 형광체 박막의 산소 분압에 따른 PL 스펙트럼

Fig. 6. PL spectra of $Y_2O_3:Eu^{3+}$ thin film grown on $Al_2O_3(0001)$ substrated as a function of substrate temperature.

있으며, 박막의 형광세기가 배향성보다 표면 거칠기에 더 크게 의존함을 볼 수 있다. 산소 분압이 200 mTorr일 때 형광의 강도와 표면 거칠기가 가장 높게 나타났으며, 산소 분압의 변화에 따른 형광의 세기와 표면 거칠기의 거동이 서로 비슷함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 고상반응법으로 제작한 세라믹 타겟을 이용하여 $Al_2O_3(0001)$ 기판 위에 PLD 방법으로 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 형광체 박막을 성장시켰다. 박막의 성장 시에 중요한 조건들인 기판 온도와 산소 분압을 변화시키며 박막들을 증착하였으며, 증착된 박막의 결정성, 표면 거칠기 및 형광특성을 조사하였다. 기판 온도가 증가함에 따라 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막의 결정성이 좋아졌고, 특히 (222) 회절 피크가 주 피크로 작용함을 확인하였다. AFM 측정결과에 의하면, 기판 온도가 증가함에 따라서 그레인들의 크기가 커지고 사면체 모양의 균일한 그레인들이 생성되어진 것을 볼 수 있었고, 적은 입계 밀도를 갖는 박막이 우수한 형광 특성을 나타낸다는 것을 확인하였다. 증착되어진 박막의 형광 스펙트럼 강도는 기판 온도에 관계없이 Eu^{3+} 에 의해서 ${}^5D_0-{}^7F_2$ 로 전이하는 612 nm에서 스펙트럼의 최대 피크 값이 나타났으며 700°C에서 가장 좋은 형광 특성을 나타냄을 확인하였다. 산소 분압에 따른 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 박막의 XRD 형태로부터 각각의 산소 분압에 대해 (222) 방향이 박막의 우선 배향이라는 것을 확인하였고, 산소 분압이 50 mTorr에서 300 mTorr까지 증가할수록 (222) 방향의 배향성이 감소하는 것을 확인하였다. 산소 분압의 변화에 따른 형광의 세기와 표면 거칠기의 거동이 서로 비슷함을 알 수 있었으며, 산소 분압이 200 mTorr일 때 형광의 강도와 표면 거칠기가 가장 크게 나타났다.

참고 문헌

- [1] I. K. Jeong, H. L. Park, and S. I. Mho, "Photoluminescence of $ZnGa_2O_4$ mixed with $InGaZnO_4$ ", *Solid State Comm.*, vol. 108, pp. 823, 1998.
- [2] G. A. Hirata, J. Mckillrick, M. Avalos-Borja, J. M. Siqueiros, and D. Devlin, "Physical properties of $Y_2O_3:Eu$ luminescent films grown by MOCVD and laser ablation", *Appl. Surf. Sci.*, vol. 113/114, pp. 509, 1997.
- [3] R. N. Shaarma and A. C. Rastogi, "Compositional and electronic properties of chemical-vapor-deposited Y_2O_3 thin film-Si(100) interfaces", *J. Appl.*

- Phys.*, vol. 74, pp. 6691, 1993.
- [4] A. Polman, "Erbium implanted thin film photonic materials", *J. Appl. Phys.*, vol. 82, pp. 1, 1997.
- [5] A. Wickersheim and R. A. Lefever, "Luminescent Behavior of the Rare Earths in Yttrium Oxide and Related Hosts", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 111, pp. 47, 1964.
- [6] Ravi P. Rao, "Growth and characterization of Y₂O₃:Eu³⁺ phosphor films by sol-gel process", *Solid State Commun.*, vol. 99, pp. 439, 1996.
- [7] R. N. Sharma, S. T. Lakshami, and A. C. Rastogi, "Electrical behavior of electron-beam-evaporated yttrium oxide thin films on silicon", *Thin Solid Films*, vol. 199, pp. 1, 1991.
- [8] A. F. Jankowski, L. R. Schrawyer, and J. P. Hayes, "Sputter deposition of yttrium-oxides", *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. A 11, pp. 1548, 1993.
- [9] K. Onisawa, M. Fuyana, K. Tamura, K. Taguchi, T. Nakayama, and Y. Ono, "Dielectric properties of rf-sputtered Y₂O₃ thin film", *J. Appl. Phys.*, vol. 66, pp. 719, 1990.
- [10] W. M. Crantom, D. M. Spink, R. Stevens, and C. B. Thomas, "Growth and dielectric characterization of yttrium oxide thin films deposited on Si by r.f.-magnetron sputtering", *Thin Solid Films*, vol. 226, pp. 156, 1993.
- [11] S. L. Jones, D. Kumar, Rajiv K. Singh, and P. H. Holloway, "Luminescence of pulsed laser deposited Eu doped yttrium oxide films", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 71, pp. 21, 1997.
- [12] S. S. Yi, J. S. Bae, B. K. Moon, J. H. Jeong, J. C. Park, and I. W. Kim, "Enhanced luminescence of pulsed-laser-deposited Y₂O₃:Eu³⁺ thin-film phosphors by Li doping", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 18, pp. 3344, 2002.
- [13] Shaoqiang Zhang and Rongfu Xial, "Yttrium oxided films prepared by pulsed laser deposition", *J. Appl. Phys.*, vol. 83, pp. 3842, 1997.
- [14] S. Shinoya and W. M. Yen, *Phosphor Handbook*, CRC Press, New York, 1999.



이 성 수

- 1963년 8월 20일생
- 1988년 2월 부산대학교 물리학과 졸 이학사
- 1992년 6월 UCLA 물리학과 졸 이학석사
- 1996년 6월 UCLA 물리학과 졸 이학박사
- 1996 ~ 1998년 UCLA 전자공학 Post-Doctor
- 1998년 9월 ~ 2000년 2월 부산대 전자공학과 객원교수
- 2000년 3월 ~ 현재 신라대 광전자공학과 조교수
- 주관심분야 : 광전소자, 산화물 형광체, 강유전체 박막