

SrTiO₃:Pr,Al 적색 형광체에서 TEM을 이용한 2차상의 관찰

이호성 · 이정용[†] · 정연철 · 전덕영

한국과학기술원, 재료공학과

(2000년 7월 22일 접수, 2001년 3월 16일 승인)

Observation of the Second Phases in a Red Phosphor SrTiO₃:Pr,Al by using Transmission Electron Microscopy

Ho Seong Lee, Jeong Yong Lee[†], Yeon-Chul Jeong and Duk Young Jeon

Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of
Science and Technology, Taejeon, 305-701 Korea

(Received July 22, 2000, Accepted March 16, 2001)

초 록

저전압용 형광체로 주목 받고 있는 SrTiO₃:Pr,Al 형광체를 고상반응법으로 제조하였다. 부활성제 Al이 23 mol% 첨가되었을 때 SrTiO₃:Pr 형광체는 최대 발광 강도를 보여주었다. 최대 발광 강도를 보인 형광체에 대해 제한시야회절상과 투과전자현미경을 이용하여 SrTiO₃:Pr,Al 적색 형광체내 2차상 형성에 대한 연구를 행하였고 또한 에너지 분산 분광 분석을 행하여 SrTiO₃:Pr,Al 형광체내 주입된 부활성제 Al의 함량을 결정하였다. 제한시야회절상의 결과에 의하면 SrTiO₃:Pr,Al 적색 형광체내에 단사정 SrAl₂O₄, 삼사정 Ti₄O₇, 육방정 SrAl₁₂O₁₉가 2차상으로 존재함을 보여 주었다. 에너지 분산 분광 분석 결과 부활성제 Al의 함량 중 일부는 SrTiO₃:Pr,Al 적색 형광체 격자에 고용되고 일부 Al은 SrAl₁₂O₁₉와 SrAl₂O₄의 2차상을 형성하는데 소모됨을 보여주었다.

ABSTRACT

SrTiO₃:Pr,Al phosphors were prepared by solid state reaction methods. Cathodoluminescence spectra of SrTiO₃:Pr synthesized with 23 mol% Al showed the maximum emission intensity. Selected area electron diffraction and transmission electron microscopy analysis for the phosphors, SrTiO₃:Pr synthesized with 23 mol% Al were carried out to investigate the formation of the second phases in a red phosphor SrTiO₃:Pr,Al, and energy dispersive spectroscopy analysis were performed to determine the quantity of Al coactivator incorporated into a red phosphor SrTiO₃:Pr,Al. The results of the SADP and the TEM analysis showed that the second phases were formed in red phosphor SrTiO₃:Pr,Al as follows: monoclinic SrAl₂O₄, triclinic Ti₄O₇, hexagonal SrAl₁₂O₁₉, and the EDS analysis showed that some of the added Al coactivators were incorporated into a SrTiO₃:Pr phosphor and that some were consumed in forming the second phases SrAl₁₂O₁₉ and SrAl₂O₄.

Key words : Phosphor, SrTiO₃:Pr, Second phase

1. 서 론

차세대 평판 디스플레이로서 각광을 받고 있는 전계방출 디스플레이(FED: field emission display)는 형광체를 여기시키기 위해서 낮은 가속 전압을 이용한다.^{1,2)} 전계방출 디스플레이의 개발을 제한하는 장애물 중 하나는 저전압의 전자선에 의해서 형광체가 여기될 때 효율이 높고 수명의 문제가 없는 형광체가 없다는 것이다.³⁻⁶⁾ 따라서 저전압 발광형 형광체 개발은 FED 실현의 핵심이 된다. FED용 형광체는 저전압에서 발광 효율이 높고, 표면에서의 전도성이 좋고, 높은 광투과성과 우수한 화학적 열적 안정성이 요구된

다. 현재 CRT(cathode ray tube)에 사용중인 황화물계 형광체의 경우 휘도와 효율은 높지만 전자 조사에 의하여 표면이 분해되어 일어나는 기체방출과 같은 문제 때문에 수율과 안정성이 낮다.^{7,8)} 반면에 산화물계 형광체는 효율은 조금 낮지만 전자 조사에 의한 기체 방출이 적어 안정성이 높다.^{7,13)}

이에 산화물계 형광체인 티탄산 스트론튬(SrTiO₃:Pr)은 색순도가 좋고 고진공과 고전압 전자선 여기에서 화학적 안정성이 우수하여 FED용 형광체로 주목 받고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾ SrTiO₃:Pr 형광체는 그 자체의 발광 효율은 매우 낮다. 그러나 Al 부활성제를 첨가하면 적색의 발광 강도가 약 100배나 증가한다. 적색 발광은 형광체 1 몰에 대해 Al 함량이 약 23 mol%일 때 최대가 된다.¹⁴⁾ Al 부활성제의 농도를 형광체 1 몰당 약 0.23 몰로 혼합해도 X선 회절상이나 격자 상수

[†]Corresponding author : jylcc@mail.kaist.ac.kr

의 변화는 관찰되지 않았다.¹⁴⁾ SrTiO₃:Pr 적색 형광체의 발광을 향상시키는 부활성제 Al의 거동에 대한 정확한 이해는 아직 미비한 상태이며 지금까지 많은 관심을 받아오고 있다. Al의 함량을 33 mol% 이상으로 첨가하면 2차상 SrAl₂O₉가 형성된다고 알려져 있다.¹⁴⁾

따라서 SrTiO₃:Pr 형광체의 발광 효율을 향상시키기 위해서는 Al 부활성제 첨가에 따른 SrTiO₃:Pr 형광체내 2차상 형성 여부와 부활성제 Al이 SrTiO₃:Pr 형광체 내 고용되는 양을 연구하는 것은 필수적이다. 이에 본 연구는 SrTiO₃:Pr 형광체가 최대 발광 강도를 보이는, 즉 Al 부활성제 23 mol%를 첨가하였을 때 SrTiO₃:Pr 형광체내 2차상 형성에 대한 조사를 위해 투과전자현미경(TEM: transmission electron microscopy)을 이용하였고 SrTiO₃:Pr 형광체내 Al의 조성함량 분석을 위해 에너지 분산 X-선 분광 분석(EDS: energy dispersive spectroscopy)을 행하였다.

2. 실험방법

Fig. 1은 고상반응법에 의한 SrTiO₃:Pr, Al 적색 형광체의 제조에 대한 개략적인 공정도를 나타낸 것이다. SrTiO₃:Pr, Al 적색 형광체의 제조는 SrCO₃(Aldrich, 99.99%), TiO₂(Aldrich, 99.99%), PrCl₃(Aldrich, 99.99%), Al(OH)₃(Aldrich, 99.99%) 원료를 출발 물질로 사용하였다. 이들 출발물질이 (Sr_{0.998}Pr_{0.002}TiO₃)_{1-x}Al_x(x=0, 0.1, 0.2, 0.23, 0.4)가 되도록 혼합한 다음 에틸알콜을 이용하여 플라스틱 병에 넣고 20 시간 이상 습식 밀링을 행하였다. 혼합된 분말을 유리접시 위에 놓고 120°C에서 2시간 건조 시킨 후 건조된 분말을

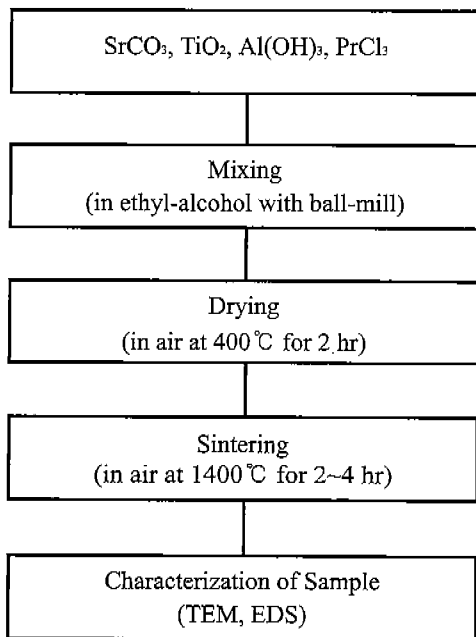


Fig. 1. Flow chart for sample preparation of SrTiO₃:Pr,Al phosphors by solid state reaction method.

알루미나 도가니에 넣고 1400°C, 대기압분위기에서 2~4시간 동안 소성하여 원하는 조성의 형광체를 합성하였다. SrTiO₃의 형성은 X-선 분말 회절법을 이용하였고 최대 발광 강도를 보인 Al 함량이 23 mol%인 시편에 대해서 투과전자현미경 관찰을 하였다.

TEM 관찰은 200 kV에서 작동되는 투과전자현미경(TEM: Model JEM 2000EX, JEOL, Japan)을 이용하였다. 형광체의 화학적 조성은 STEM(scanning transmission electron microscopy: Model CM20, Philips, Holland)을 이용하여 분석하였다. TEM 관찰용 시편은 전착법을 이용하여 형광체를 ITO(indium-tin oxide) 유리 위에 전착시켰다.^{17,18)} 전착된 시료는 시료내의 유기물을 제거하여 입자들의 부착력을 증가시키기 위하여 400°C에서 2시간 열처리하였다. 전착된 형광체 박막을 마주보게 에폭시로 붙인 다음 잘라서 사포를 이용하여 약 30 μm까지 기계적 연마를 한 후 아르곤 이온 연마로 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 SrTiO₃에 Pr의 함량을 0.2 mol%로 고정시키고 Al 부활성제의 함량을 0~40 mol%로 변화시키면서 혼합한 시료를 1400°C 대기압 분위기에서 고상반응법으로 제조한 형광체 분말의 X-선 회절 분석 결과이다. 이들 시료의 X-선 회절상을 JCPDS 카드 35-0734¹⁹⁾와 비교 분석한 결과

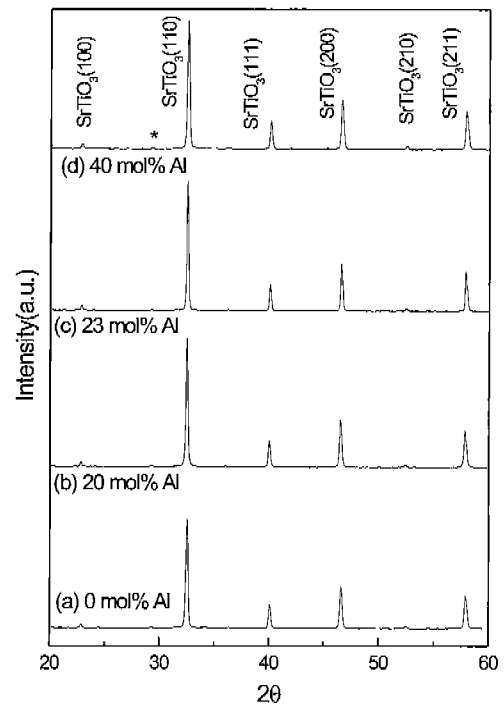


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of SrTiO₃:Pr phosphor in air at 1400°C: (a) 0 mol% Al, (b) 20 mol% Al, (c) 23 mol% Al, (d) 40 mol% Al.

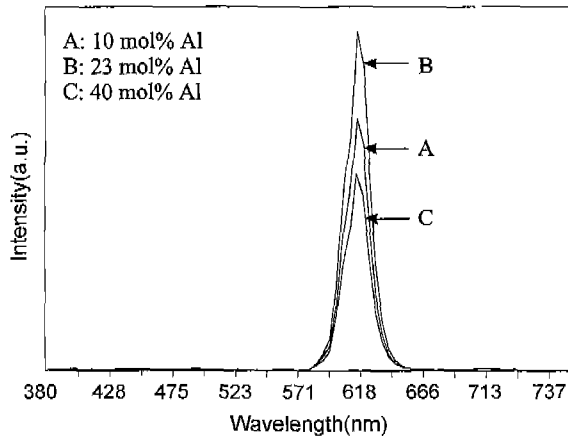


Fig. 3. Cathodoluminescence spectra of SrTiO₃:Pr (0.2 mol%), Al (10 mol%, 23 mol%, 40 mol%) phosphor.

주 회절 피이크는 입방정 페로브스카이트 구조의 SrTiO₃ ($a=0.3905$ nm)인 것으로 판명되었다. *로 표시된 부분은 투과전자현미경 분석 결과 Ti₄O₇의 (122) 면의 회절 피이크로 색인되었다. X-선 회절상에 Ti₄O₇에 해당하는 피이크의 존재는 Park¹⁶⁾이 보고한 결과와도 일치한다. Fig. 2에 의하면 Al의 함량이 40 mol%로 증가해도 X-선 선폭의 변화는 관찰되지 않으며 또한 격자 상수의 변화도 관찰되지 않는다. 이 결과는 H. Yamamoto et al¹⁴⁾가 보고한 결과와도 잘 일치한다.

Al 함량 변화에 따른 SrTiO₃:Pr 적색 형광체의 발광 특성을 알아보기 위해 음극선 발광 스펙트럼(cathodoluminescence) 측정을 행하였다. Fig. 3은 SrTiO₃:Pr(0.2 mol%)에 Al을 10 mol%, 23 mol%, 40 mol%를 혼합한 경우 1400°C 대기압 분위기에서 고상반응법으로 제조한 형광체 분말을 ITO 유리 기판에 전착한 다음 10⁻⁷Torr의 고진공, 가속 전압 600 V에서 측정된 음극선 발광 스펙트럼이다. 600~630 nm의 적색 파장에서 발광 스펙트럼이 나타나고 최대 피이크는 615 nm에서 관찰된다. 이러한 적색 파장의 스펙트럼은 활성제인 Pr³⁺ 이온의 ¹D₂→³H₄에 따른 적색 발광 때문에 나타난 것으로 사료된다.¹⁴⁾ 발광의 세기는 Al의 농도를 증가 시킬수록 증가하였으며 Al의 농도가 23 mol%에서 최대 값을 보이고 그 이상인 경우에는 오히려 감소하였다. Al의 농도가 40 mol%인 경우는 Al의 농도가 10 mol%인 경우보다 발광세기가 낮았다. 그러나 조성의 변화에 따른 피이크의 위치 변화는 관찰되지 않는다. 이것은 Al의 첨가가 Pr³⁺ 이온의 고유발광(¹D₂→³H₄)에는 영향을 주지 않음을 나타낸다.

최대 발광 강도를 보인 SrTiO₃:Pr,Al 형광체내 2차상의 형성 여부를 알아보기 위해 TEM 분석을 행하였다. Fig. 4은 Al 부활성제를 23 mol% 첨가하고 1400°C 대기압 분위기에서 고상반응법으로 제조한 SrTiO₃:Pr 적색 형광체의 단면 명시야 상과 제한시야회절상을 나타낸 그림이다. Fig. 4(a)에 의하면 형광체 입자의 크기는 약 500 nm에서 1000 nm임을 보이고 여러 개의 결정립으로 구성되어 있음을 알

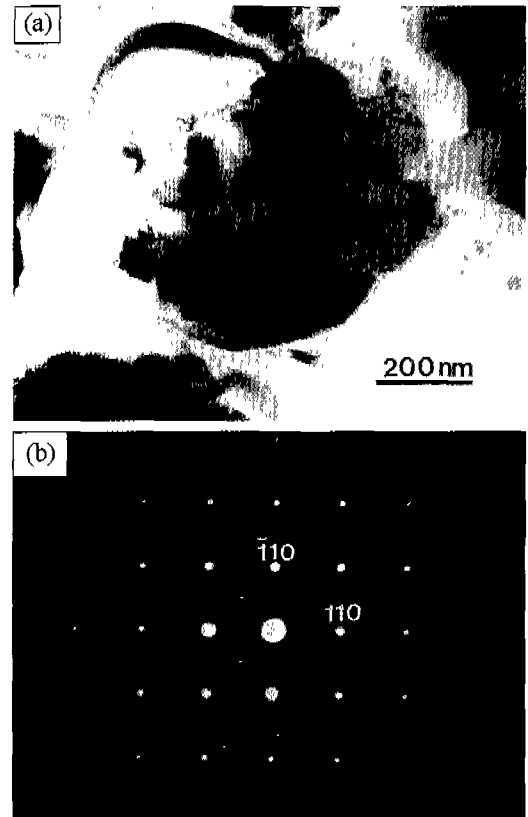


Fig. 4. TEM micrographs of SrTiO₃:Pr (0.2 mol%), Al (23 mol%) red phosphor particles: (a) Bright field image, (b) SADP.

수 있다. Fig. 4(b)는 [110] 정대축으로 투사된 SrTiO₃의 제한시야회절상으로 {100} 면의 약한 회절점은 SrTiO₃의 구조인자 때문에 상대적으로 약하게 나타난 것이다. Fig. 5는 다른 입자의 명시야 상과 제한시야회절상이다. 여러 grain이 모여 하나의 particle을 형성한 다결정으로 약 1 μm 크기를 보인다. 그러나 단면 시편을 제조하여 TEM 관찰하였기 때문에 입자 하나의 크기는 정확하지 않으나 단면 명시야 상에 의하면 대략 0.5~2 μm 사이에 분포하는 것으로 보인다. Fig. 5(a)에서 50~60 nm 정도의 두께를 가진 가로 줄무늬가 관찰되는데 이 줄무늬는 grain boundary로 여겨진다. 왜냐하면 제한시야회절상을 촬영하기 위해 사용한 제한시야조리개의 크기는 약 100 nm로 두 개 이상의 grain에서 한꺼번에 결정학적인 정보가 얻어지기 때문이다. 이 입자는 아래의 회절상 분석 결과에 의해 단사정 SrAl₂O₄($a=0.8442$ nm, $b=0.8822$ nm, $c=0.5161$ nm)로 밝혀졌다. 회절상의 분석 방법은 다음과 같다.

면간 거리는 회절 관계식으로부터 계산했다.²⁰⁾

$$d_{hkl} = \frac{\lambda L}{R} \quad (1)$$

여기서 λ 는 DeBroglie 파장, L은 시편과 사진 필름 사이

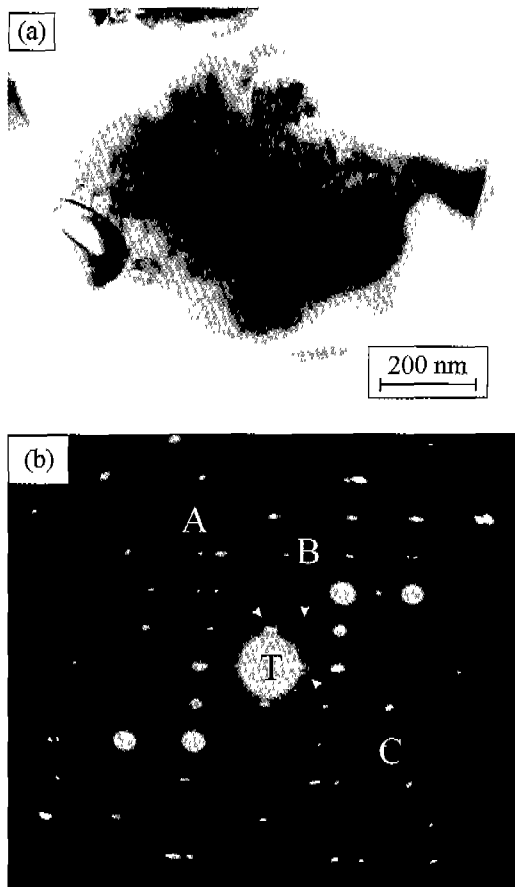


Fig. 5. TEM micrographs of SrAl₂O₄ in SrTiO₃:Pr (0.2 mol%), Al (23 mol%) red phosphor particles: (a) Bright field image, (b) SADP.

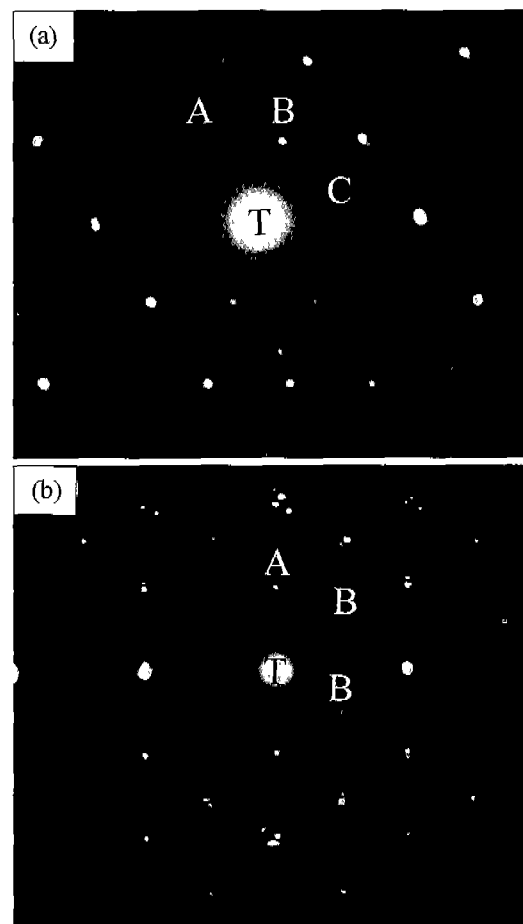


Fig. 6. Selected area diffraction patterns of triclinc Ti₄O₇ (a), hexagonal SrAl₁₂O₁₉ (b) in SrTiO₃:Pr (0.2 mol%), Al (23 mol%) red phosphor particles.

의 거리로 60 cm로 고정했다. R은 투과빔과 회절점 사이의 거리로 필름 상에서 측정했다. Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)에 해당하는 제한시야회절상이다. 이 회절상은 여러 grain에서 나온 것으로 단결정에서 나온 것으로 판단되는 회절점을 이용하여 분석하였다. 측정된 면간 거리 비는 A/C=1.062, B/C=1.447이다. 회절 관계식을 이용한 면간 거리의 측정된 면간 각은 다음과 같다. $d_A=d_{100}=0.842$ nm, $d_B=d_{110}=0.609$ nm,

$d_C=d_{010}=0.876$ nm, $\angle ATB \cong 44^\circ$, $\angle BTC \cong 46^\circ$. 계산된 d_{hkl} 값은 JCPDS (No. 34-0379) 자료와 매우 잘 일치한다.¹⁹⁾ Table 1에 계산된 면간 거리와 면간 각을 JCPDS 자료와 함께 나타냈다.

Fig. 6는 다른 입자들의 제한시야회절상들이다. 이들 제한시야회절상들은 100 nm 크기의 제한시야조리개를 이용하여

Table 1. Lattice Spacings and Angles between Planes Measured from the Electron Diffraction Pattern for Second Phases in SrTiO₃:Pr Phosphors

		d_{hkl}	$d(nm)$ (measured)	Angle between planes	$d(nm)$ JCDPS std	Material (JCDPS #)
Fig. 5(b)	A	100	0.842	$\angle ATB=44^\circ$ $\angle BTC=46^\circ$	0.8442	SrAl ₂ O ₄ (34-0379)
	B	110	0.609		0.6094	
	C	010	0.876		0.8822	
Fig. 6(a)	A	01 $\bar{3}$	0.372	$\angle ATB=51^\circ$ $\angle BTC=73^\circ$	0.3712	Ti ₄ O ₇ (18-1402)
	B	10 $\bar{2}$	0.428		0.4270	
	C	111	0.465		0.4614	
Fig. 6(b)	A	102	0.436	$\angle ATB=58^\circ$	0.4430	SrAl ₁₂ O ₁₉ (26-0976)
	B	011	0.470		0.4725	
	C	111	0.470		0.4725	

관찰하였다. 이들 회절상들은 SrTiO₃의 회절상과는 다르다. 회절점이 splitting되는 것은 shape 인자 때문일 수도 있고, 이 입자들이 단결정이 아닌 다결정이기 때문일 수도 있다. 그러나 본 회절 분석의 경우 상의 존재유무를 확인할 때 회절점의 splitting에 의한 영향은 크지 않기 때문에 주회절점을 이용하여 면간 거리와 면간 각도의 계산을 행하여 각 제한시야회절상에 해당하는 상이 어떤 상인지를 알아보았다. 계산 방법은 위와 동일하게 행하였다. Fig. 6(a)는 정대축 [231]을 갖는 삼사정 Ti₄O₇ (a=0.560 nm, b=0.713 nm, c=1.246 nm) 의 제한시야회절상에 해당한다. 측정된 면간 거리 비는 A/C=1.22, B/C=1.06이고 면간 각은 ∠ATB≅51°, ∠BTC≅73°이다. 회절 관계식 (1)을 이용해서 계산한 면간 거리는 d_A=d₀₁₃=0.372 nm, d_B=d₁₀₂=0.429 nm, d_C=d₁₁₁=0.465 nm이다. 이 값은 JCPDS (No. 18-1402) 자료의 값과 잘 일치한다.¹⁹⁾ Magneli 상 Ti₄O₇의 형성은 Masayuki Fujimoto et al²¹⁾가 보고한 결과와도 잘 일치한다. Fig. 6(b)는 정대축이 [211]인 육방정 SrAl₁₂O₁₉(a=0.5585 nm, c=2.207 nm)의 제한시야회절상에 해당한다. 측정된 면간 거리 비는 A/B=1.07이고 면간 각도는 ∠ATB≅57.8°이다. 이들 값은 이론적인 값과 잘 일치한다. 역시 회절관계식 (1)을 이용하여 계산한 면간 거리는 d_A=d₁₀₂=0.437 nm, d_B=d₀₁₁=0.471 nm로 JCPDS (No. 26-0976)의 자료와 매우 잘 일치한다.¹⁹⁾ Table 1에 지금까지 계산한 면간 거리와 면간 각도를 JCPDS 자료와 함께 나타냈다.

SrTiO₃ 형광체 기지내 Al이 고용되는 양을 측정하기 위해 STEM의 EDS 분석을 행하였다. Fig. 7은 Al 부활성제를 23 mol% 첨가하고 1400°C 대기압 분위기에서 고상반응법으로 제조한 SrTiO₃:Pr 적색 형광체 기지에 대한 EDS 스펙트럼이다. SrTiO₃ 형광체의 구성 성분인 Sr, Ti 이외에 Cu도 검출된다. 그러나 첨가한 Al 함량에 대한 피크는 EDS 스펙트럼에 보이지 않는다. Cu의 검출은 STEM의 그리드가 Cu로 만들어져 있기 때문에 그리드에서 나온 것으로 판단된다. 사용한 STEM의 EDS 장비의 분해능은 ±3 mol%이다. 이 결과에 의하면 Al이 SrTiO₃:Pr 형광체 내로

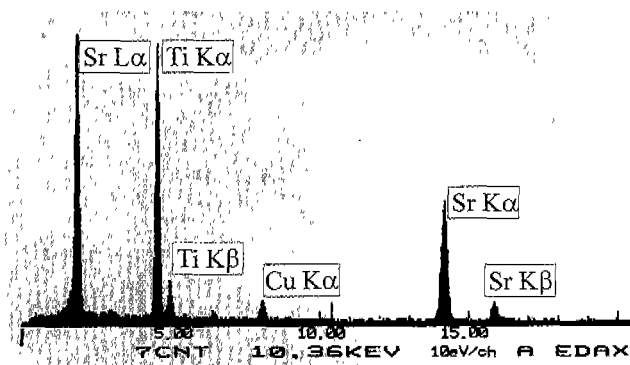


Fig. 7. STEM X-ray energy dispersive spectrum from SrTiO₃:Pr (0.2 mol%), Al (23 mol%) red phosphor.

고용되지 않는 것처럼 보인다. 그러나 SrTiO₃:Pr 형광체를 고상반응법으로 제조하면 첨가된 Al의 일부는 SrTiO₃:Pr 형광체 격자에 고용된다는 것은 H. Yamamoto et al¹⁴⁾의 thermoluminescence glow 실험으로 잘 알려져 있다. 따라서 본 실험과 H. Yamamoto et al¹⁴⁾의 실험에 의하면 Al 부활성제가 SrTiO₃:Pr 형광체에 치환 되는 양은 첨가해준 양에 비해 매우 적은 양이라는 것을 알 수 있다. SrTiO₃:Pr 형광체는 23 mol% Al 부활성제를 첨가할 때 최대의 발광 강도를 보인다. 이는 Al 부활성제가 SrTiO₃:Pr 형광체의 발광에 영향을 미치고 있음을 보여준다. 위의 실험 결과에 의하면 SrTiO₃:Pr 형광체의 발광 강도는 Al 첨가량의 증가에 따라 그 발광강도가 증가하며, 23 mol% 보다 많은 양의 Al이 첨가되면 SrAl₁₂O₁₉, SrAl₂O₄와 같은 이차상의 영향으로 그 발광 강도가 감소하는 것으로 나타난다. 그 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. Al 첨가에 따라 SrTiO₃ 형광체 모체의 결정성이 점차 좋아지며²²⁾ 어떤 임계 농도 이상으로 고용되면 SrAl₁₂O₁₉, SrAl₂O₄와 같은 2차상의 존재로 인해 SrTiO₃:Pr 형광체의 양이 줄어들고 또한 비발광 물질의 증가로 Pr³⁺ 이온의 ¹D₂→³H₄에 따른 적색 발광 효율이 줄어드는 것으로 설명될 수 있다.

TEM 관찰을 위해 전착법으로 형광체를 ITO 유리에 전착시킨 다음 단면 시편을 만들어 관찰하였기 때문에 형광체 입자와 입자 사이에 많은 결합 물질들이 존재하였다. 따라서 위의 실험으로 관찰된 2차상의 분포를 정확하게 알아 낼 순 없지만 대략적인 면적비로 볼 때 1% 미만이었다. 분명한 것은 Al 부활성제가 SrTiO₃:Pr 형광체 격자에 일부가 고용되고 또 일부는 SrAl₁₂O₁₉, SrAl₂O₄와 같은 2차상을 형성하는데 소모된다는 것이다.

4. 결 론

고상반응법을 이용하여 SrTiO₃:Pr 적색 형광체를 제조하였다. 부활성제 Al을 약 23 mol% 첨가하였을 때 SrTiO₃:Pr 형광체는 최대 발광 강도를 보였다. SrTiO₃:Pr 형광체내에 형성된 2차상들을 투과전자현미경으로 관찰하였다. 삼사정 Ti₄O₇, 육방정 SrAl₁₂O₁₉, 단사정 SrAl₂O₄과 같은 2차상들이 존재하였다. TEM과 EDS 분석 결과에 의하면 Al의 일부는 SrAl₁₂O₁₉, SrAl₂O₄와 같은 2차상을 형성하는데 소모되고 적은 양의 Al이 SrTiO₃:Pr 형광체의 격자에 고용된다. 이러한 결과는 SrTiO₃:Pr 적색 형광체의 발광 효율을 향상시키는데 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 KISTEP이 지원하는 국가지정연구실사업과 교원 기본 연구의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. J. A. Castellane, "Handbook of Display Technology," Academic Press, New York (1992).
2. P. W. Hawkes, "Advances in Electronics and Electron Physics," Vol. 33, Academic Press, New York (1992).
3. A. O. Dmitrienko, B. I. Gorfinkel, V. V. Mikhailova, I. V. Burmatova and J. H. Kim, "RGB Phosphors for FED Surface Properties and Low-energy Cathodoluminescence," *Proceedings of the 10th International Vacuum Microelectronics Conference, Kyongju, Korea*, 281-85 (1997).
4. S. M. Jacobsen, "Phosphors for Full-color Low-voltage Field-emission Display," *J. Soc. Info. Disp.*, 4/4, 331-35 (1996).
5. A. G. Chakhovski, W. D. Kesling, J. T. Trujillo and C. E. Hunt, "Phosphor Selection Constraints in Application of Gated Field-emission Microcathode to Flat Panel Displays," *J. Vac. Sci. Technol. B.*, 12(2), 785-89 (1994).
6. S. J. Jung, G. J. Moon, K. S. Kim, K. J. Woo, N. Y. Lee and S. Ahn, "High Vacuum Packaging and Vacuum Evaluation for Field Emission Display," *Proceedings of the Field Emission Workshop'98*, 관동대학교, Korea, 49-56 (1998).
7. 김봉철, 박지훈, 신호순, 이석기, 이병교, "침전법에 의한 ZnO 분체합성 및 그 형광특성," *요업학회지*, 35(2), 107-14 (1998).
8. 류호진, 박정규, 박희동, "착체중합법에 의한 저전압용 $Y_2O_3:Er^{3+}$ 형광체 제조," *요업학회지*, 35(8), 801-06 (1998).
9. H. C. Swart, T. A. Trotties, J. S. Sebastian, S. L. Jones and P. H. Hollway, "The Influence of Residual Gas Pressures on The Degradation of ZnS Powder Phosphors," *J. Appl. Phys.*, 83(9), 4578-83 (1998).
10. L. G. V. Uitert, "Luminescence of Inorganic Solids," Academic Press, New York (1966).
11. R. Raue, A. T. Vink and T. Welker, "Phosphor Screens in Cathode-ray Tubes for Projection Television," *Philips Tech. Rev.*, 44(11-12), 335-47 (1989).
12. H. Bechtel, W. Czarnojan, M. Hasse and D. Wadow. "Phosphor Degradation Under Electron Excitation with Varying Anode Voltage," *J. Soc. Info. Disp.*, 4/3, 219-22 (1996).
13. L. Ozawa, "Cathodoluminescence Theory and Application," Kodansha, Tokyo (1990).
14. H. Yamamoto, S. Okamoto, H. Toki, K. Tamura and S. Itoh, "Effects of Al Addition on Luminescence Properties of $SrTiO_3:Pr^{3+}$," *Third International Conference on the Science and Technology of Display Phosphors*, California, November 3-5 (1997).
15. 이미애, 남산, 김명호, 서경수, 변재동, " $SrTiO_3:Pr^{3+}, Ga^{3+}$ Phosphor의 발광특성에 관한 연구," *요업학회지*, 35(7), 757-63 (1998).
16. 박정규, 류호진, 박희동, 최승철, "저전압 $SrTiO_3:Pr, Al$ 적색 형광체 합성 및 발광 특성," *한국재료학회지*, 8(7), 601-06 (1998).
17. M. J. Shane, J. B. Talbot, R. D. Schreiber, C. L. Ross, E. Sluzky and K. R. Hesse, "Electrophoretic Deposition of Phosphors," *J. Colloid Interface Sci.*, 165, 325-33 (1994).
18. M. J. Shane, J. B. Talbot, B. G. Kinney, E. Sluzky and K. R. Hesse, "Electrophoretic Deposition of Phosphors," *J. Colloid Interface Sci.*, 165, 334-40 (1994).
19. Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS), 1601 Park Lane, Swarthmore, Pa. 19081.
20. D. B. Williams and C. B. Carter, "Transmission Electron Microscopy," Plenum, New York (1996).
21. M. Fujimoto and W. D. Kingery, "Microstructure of $SrTiO_3$ Internal Boundary Layer Capacitors During and After Processing and Resultant Electrical Properties," *J. Am. Ceram. Soc.*, 68(4), 169-73 (1985).
22. S. Okamoto, H. Kobayashi and H. Yamamoto, "Enhancement of characteristic red emission from $SrTiO_3:Pr^{3+}$ by Al addition," *J. Appl. Phys.*, 86, 5594-97 (1999).