

청색발광 EL소자용 SrS:Ce박막의 제작과 기초적 물성

이 상 태*

Growth and Characterization of SrS:Ce Thin Films for Blue EL Devices

S-T Lee^o

Key words : Electroluminescence(일렉트로루미네센스), SrS:Ce, Thin Film(박막), Hot Wall Method

Abstract

SrS:Ce thin films for blue EL devices were prepared by Hot Wall Method and their crystallographic and optical characteristics were investigated by various methods. Deposition rates were increased with SrS cell temperature, but the rates were independent on substrate temperature and sulfur pressure. The optical and crystallographic characteristics were strongly affected by deposition rates. The band gap energies obtained by optical transmission spectra and Full Width at Half Maximum of (200) plane in X-ray diffraction patterns were found at 4.5-4.6eV and 0.22~0.26^e, respectively. The photoluminescence from SrS:Ce thin films showed a greenish blue emission peaked at 470 and 540nm.

1. 서 론

EL(Electroluminescence)은 반도체의 고전계 발광현상을 이용한 소자로 다른 평판형 디스플레이 디바이스에 비하여 발광부의 두께가 1 μ m 정도의 완전화산면에 가깝기 때문에 시야각 의존성이 없으며, 여기발광과정이 전자상호작용에 의해 이루어지기 때문에 응답속도가 빠르다는 장점 외에도 高精細度, 自發光, 長壽命, 넓은 동작온도범위, 탁월한 내충격·내구성 등의 특징을 가짐으로써 고 신뢰성의 표시장치에 응용되고 있다.

그러나, 구동전압이 높다는 것과 多點素 大형표시를 위한 휘도 및 효율 등에 문제점이 있으며, 특히, 청색발광의 불충분으로 Full-color ELD(EL Display)의 상용화에는 이르지 못하고 있는 실정이다.

청색 발광용 EL 형광체로서는 ZnS:Tm^{III}, SrS:Ce^{II}, Mg₂S₄(M:Ca, Sr, Ba)^{II}, SrS:Ag 또는 SrS:Cu^{II} 등이 적극적으로 연구되고 있다. 특히 SrS는 청색 발광 형광체로 각광을 받고 있으며, 박막화할 시 주로 전자빔 법¹⁾, 스퍼터링 법²⁾ 등이 이용되고 있다. 그러나, 이들 제작법은 기판에 도달

* 한국해양대학교 운항시스템공학과

하는 증기가 원자, 분자 또는 이온으로 구성되어 있기 때문에 양질의 박막을 얻기 위한 증기의 제어가 상당히 힘들 뿐 아니라 박막의 형성과정에서 스트론튬(Sr)에 비해 상대적으로 증기압이 높은 황(S)이 쉽게 이탈함으로써 S 결핍의 불안정한 SrS 박막으로 되기 쉽다. 따라서 이러한 방법으로 제작한 박막의 경우 결정성을 향상시키기 위하여 S 분위기에서 후열 처리 방법 등이 이용되고 있으며 또한 이 방법에 의해 박막의 결정성이 향상될 수 있다고 보고하고 있다¹⁾.

이러한 단점을 보완할 수 있는 박막제작법으로, 분자상태의 증기에 의해 박막이 형성됨으로써 박막제작과정에서 원자 단위까지 제어가 어느 정도 가능한 MBE(Molecular Beam Epitaxy)가 있으나 장비 및 유지비가 고가라는 것과 대량생산에 부적합하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 MBE 장치와 같이 분자 또는 원자 상태의 증기에 의해 박막의 제작이 가능하고 열평형 상태에 가까운 제조법이므로 알려진 Hot Wall법을 이용하여 청색발광 EL소자용 SrS:Ce박막을 다양한 조건하에서 제작하였다. 또한 증착층의 S의 이탈을 보충하기 위하여 외부의 증발 탱크로부터 S를 공급하면서 박막을 제작한 후 Spectrophotometer, X선 회절(XRD: X-ray diffraction), Photoluminescence (PL) 등에 의한 분석을 통해 결정구조적 특성과 발광 특성등의 기초적 물성을 분석·검토하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 박막의 제작은 1.0×10^{-4} Pa의 초기 진공도를 가질 수 있는 일반적인 Hot Wall 증착장치²⁾를 사용하였으며, 외부에 S 공급용의 가열 탱크를 구비하고 있다. 박막 제조용 시료는 각각 순도 99.9%인 SrS와 CeCl₃ 분말을 이용하였고, 그리고 외부공급용 S는 6N의 분말을 이용하였다.

Fig.1은 Hot Wall 증착 장치의 진공 챔버를 나타낸 것으로 내부에는 원료를 증발시킬 수 있는 4개의 증발관을 가지고 있으며, 외부의 컴퓨터로 제어되는 pulse motor에 의해 기관은 회전이 가능하도록 되었다. 또한 증발관은 석영으로 제작된 상하 2개의 셀을 가지고 있으며, 본 실험의 경우 SrS 분

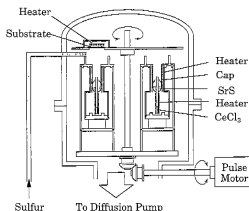


Fig. 1 Schematic view of vacuum chamber.

말은 증발관 뒷쪽에, 발정중심으로 사용한 CeCl₃은 아랫부분에 넣고 저장 가열 방식에 의해 증발시켰다. 증착시 각각의 증발셀은 SrS의 경우 550-620°C, CeCl₃은 600-700°C의 온도범위에서 박막을 제작하였다. 증착 전 SrS 분말 표면의 불순물을 제거하기 위해서 SrS는 증착온도와 관계없이 650°C까지 가열하여 30분간 말 가 후 약 10분 간에 걸쳐서 SrS 증착온도로 조정하여 증기압이 안정되고 나서 증착을 행하였다.

외부로부터 S의 공급은 저장선이 감긴 탱크로부터 가열된 S 증기를 이용하였으며, 공급량은 공급 전 진공도를 약 1.0×10^{-4} Pa로 유지하고 탱크 출구의 밸브를 조절하여 진공 챔버의 진공도로 측정하였다.

기관으로 무알칼리 유리(NA-40)를 사용했으며, 초순수 및 아세톤에 의한 세정 처리 후 기관 홀더에 장착했다. 본 실험에서의 기관온도는 350-550°C로 하였다. 기관온도를 목표값으로 상승시킬 시에는 기관에 열적 손상 또는 조직 변화를 가능한 줄일 수 있도록 약 1°C/min. 속도로 천천히 상승시켰으며, 증착이 완료된 후에는 진공 챔버내에서 80°C까지 자연 하강하였다.

제작된 SrS 박막은 반사간섭법(MBI, Multiple Beam Interferometry)으로 두께를 측정하여 증착 속도를 계산하였다. 광학적 특성을 평가하기 위해서 UV-vis spectrophotometer를 이용하여 투과 스펙트럼을 측정하고 흡수계수를 계산하여 급지

대 쪽을 구하였다. 박막의 배향성과 결정성을 평가하기 위하여 Cu-K α ($\lambda=1.5405\text{\AA}$)의 X선 회절을 이용하여 $2\theta = 20\sim 60^\circ$ 범위에서 측정했다. 또한 EDAX(Energy Dispersive Analysis by X-ray)에 의해 제작된 박막의 조성 성분을 분석하였다.

세리움(Ce)을 도핑한 SrS:Ce 박막의 발광특성을 연구하기 위하여 실온에서 PL을 측정했다. 측정은 일반적인 측정방법을 따랐으며, 여기광원으로 중수소 램프(D₂)를 사용하고 여기 파장을 275nm에 고정하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 증착속도

Fig. 2는 SrS의 증발온도가 증착속도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이때 박막은 외부로부터 S의 공급없이 기판온도는 350°C 및 450°C, 진공도는 약 $1.3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 로 하여 제작하였다. 어느 경우에 있어서나 SrS 증발관의 온도를 상승시키에 따라서 증착속도가 지수함수적으로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 증발온도의 상승으로 기판에 도달하는 Sr과 S원자가 증가하기 때문이라고 사료된다.

Fig. 3은 외부로부터 S의 공급없이 증발관의 온도를 590°C, 진공도는 약 $1.3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 로 일정하게 유지하고 증착한 SrS 박막의 기판온도의 변화에

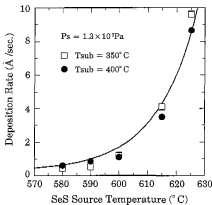


Fig. 2 Dependence of the deposition rate on SrS evaporation cell temperature.

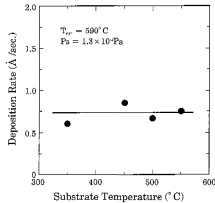


Fig. 3 Dependence of the deposition rate on substrate temperature.

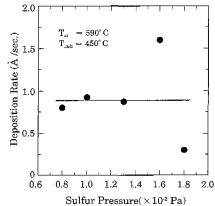


Fig. 4 Dependence of the deposition rate on sulfur pressure.

대한 증착속도를 나타내고 있다. 증착속도는 본 실험의 기판온도 범위에서는 약 0.75Å/sec로 기판온도의 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 포화 증기압이 높은 ZnS의 경우 증착속도는 기판온도의 증가에 따라 급격한 감소를 나타내는 보고^[6]와는 상당한 차이가 있는데, 이것은 Sr의 증기압이 낮기 때문에 실험온도 범위내에서는 기판온도에 의한 재증발이 거의 일어나지 않고 있기 때문이라고 사료된다.

Fig. 4는 증발관의 온도를 590°C, 기판온도를 450°C로 유지하고 외부로부터의 S 공급량을 변화시켰을 때의 증착속도를 나타낸다. S의 공급량이 적은 경우 대체로 일정한 증착속도를 나타내고 있

다. 그러나 공급압력이 1.6×10^4 과 1.8×10^4 Pa의 경우 상반된 결과가 관측되는 데, 1.6×10^4 Pa의 경우 조성성분 분석 결과 S 파임으로 S가 무리하게 퇴적된 것으로 사료되며, 이것은 결정성의 분석에서도 확인되고 있다. 또한 1.8×10^4 Pa의 경우 높은 S 압력에도 불구하고 표면확산과정에서 Sr과 유효하게 결합하지 못한 S는 충분히 배기됨으로써 증착속도가 감소되었다고 사료된다. 그러나 이 부분에 대하여는 좀 더 많은 실험과 분석이 요구된다. 또한 Fig. 2의 동일 조건에서 S 공급이 없을 때의 증착속도와 비교할시 거의 차이점을 발견할 수 없었다. 이것은 외부로부터의 S공급이 증착속도에 별다른 영향을 주지 못하고 있음을 의미한다.

이상의 증착속도에서 SrS 박막의 경우 증착속도는 기판의 온도변화 또는 S의 공급량보다도 SrS 증발관의 온도변화에 상당한 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 이것은 Sr의 증기압이 낮기 때문에 실험범위의 기판온도 범위에서는 증발관에서 증발하여 기판에 도달한 Sr 증기는 거의 기판에 박막으로 형성됨을 의미한다.

3.2 투과 스펙트럼의 평가

SrS박막의 광학적 특성을 UV-vis spectrophotometer를 이용한 투과 스펙트럼에 의해 측정했다. Fig. 5

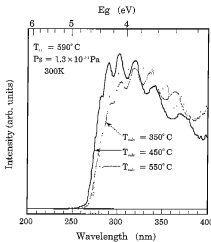


Fig. 5 The UV-visible transmission spectra of SrS thin films deposited at several substrate temperature.

는 외부로부터 S의 공급없이 SrS 증발관의 온도를 590°C로 하고 기판온도를 변화시키면서 제작한 SrS 박막의 투과 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 기판온도에 관계없이 270nm부근에서 스펙트럼의 급격한 상승이 관찰된다. 또한, 박막 두께의 균일함을 나타내는 투과광에 의한 간섭현상이 장파장에서 보여진다. 일반적으로 SrS 박막의 경우 기판온도가 높을 경우 양질의 박막제작이 가능하다고 알려져 있으나 본 실험의 제작방법에 의한 결과는 기판온도가 450°C일 때 가장 급격한 투과가 관측됨으로써 양질의 박막이 얻어지고 있음을 알 수 있다. 또한 간섭현상에서 보면 높은 기판온도인 550°C일 때 균일한 박막이 얻어지고 있음을 시사하고 있다.

투과 스펙트럼으로부터 광학적 금지대의 폭을 구하는 데는 여러 가지 방법이 논의되고 있으나 일반적으로 직접천이를 하는 재료의 경우 $(ah\nu)^2$ - $h\nu$, 간접천이를 하는 재료의 경우 $(ah\nu)^{1/2}$ - $h\nu$ 에 의해서 구하고 있다¹⁰⁾. SrS의 금지대 폭은 이론적으로 직접천이의 경우 파수 X-X에서 일어나며 2K에서 4.83eV, 간접천이의 경우 파수 X-G에서 일어나며 303K에서 4.15eV의 금지대 폭을 갖고 있는 간접천이를 하는 화합물¹¹⁾로 알려지고 있으나, Fig. 5에서 개략적으로 추정되는 흡수단의 에너지는 간접천이의 금지대 폭보다 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서 측정된 흡수단은 직접천이로 관측되는 것으로 사료되어 직접천이로 가정하여 구했다.

Fig. 6은 $(ah\nu)^2$ - $h\nu$ 에 의해 계산한 SrS 박막의 광학적 금지대 폭의 기판온도 의존성을 나타내고 있다. 기판온도에 관계없이 대체로 일정한 4.5eV를 나타냄으로써 측정온도를 고려하더라도 이론 값보다는 작다. 이것은 박막중에 불순물의 혼입 또는 결정결함이 상당히 존재하고 있음을 의미하고 있다고 사료된다.

Fig. 7은 기판온도를 450°C, SrS 증발관의 온도를 590°C로 하고 외부로부터 S의 공급량을 변화시키면서 제작한 SrS 박막의 투과 스펙트럼을 나타낸 것이다. 스펙트럼은 S의 공급량이 1.8×10^4 Pa의 경우 가장 급격한 상승을 나타내어 결정성이 양호함을 의미하고 있으나 간섭현상에서 보면 표면

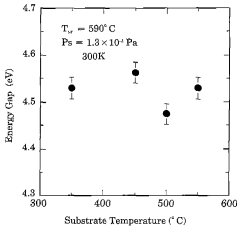


Fig. 6 Dependence of the energy gap on substrate temperature.

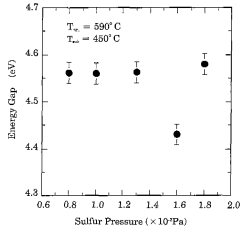


Fig. 8 Dependence of the energy gap on sulfur pressure.

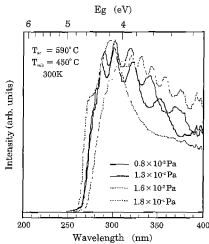


Fig. 7 Dependence of the UV-visible transmission spectra on sulfur pressure.

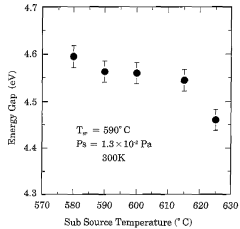


Fig. 9 Dependence of the energy gap on SrS evaporation cell temperature.

이 평탄하지 못함을 나타낸다. 반면 1.6×10^{-4} Pa의 경우 결정중에 물순물의 혼입 등이 추론되거나 표면은 가장 평탄함을 알 수 있다. 0.8×10^{-4} Pa 및 1.3×10^{-4} Pa의 경우 거의 동일한 모양을 나타내고 있다.

Fig. 8은 Fig. 7의 스펙트럼의 상승부로부터 구한 광학적 금지대 폭을 나타내고 있다. Fig. 4의 증착속도의 변화와 비교하면 금지대 폭의 변화 경향은 상당한 일치성은 보여주고 있다. 이것으로부터 S의 공급량은 증착속도에 미미하게 영향을 미치고 있을 뿐, 광학적 특성은 S의 공급량보다는 증착속도에 의해 좌우되고 있음을 의미하고 있다.

Fig. 9는 광학적 금지대 폭의 SrS 증발관의 온도의존성을 나타내고 있다. 박막은 외부로부터 S의 공급없이 기판온도를 450°C로 일정하게 유지하여 제작했다. Fig. 2에서 기술했듯이 증발관의 온도가 상승함에 따라 증착속도가 증가하나 금지대 폭은 감소하고 있다. 즉, 증착속도와 박막의 광학적 특성과는 밀접한 관계가 있음을 암시하고 있다. 따라서, 다양한 증착조건에서 제작한 SrS 박막의 증착속도에 대한 광학적 금지대의 폭을 조사했다. Fig. 10은 증착속도와 금지대 폭을 나타낸 것으로 ●는 외부로부터 S를 공급하지 않고 제작한 경우이고

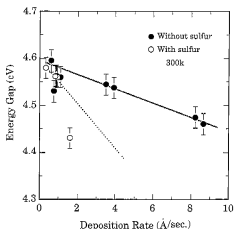


Fig. 10 Dependence of the energy gap on deposition rate.

○는 S를 공급하면서 제작한 박막을 나타낸다. 어느 경우나 증착속도가 증가할수록 금지대 폭이 감소하고 있음을 알 수 있다. 박막의 형성과정은 일반적으로 기판에 도달한 분자 또는 원자가 기판표면에서 확산과 재증발하면서 핵을 형성하고, 이틀 핵이 주위의 다른 분자나 원자가 흡착함으로써 결정이 성장해 가는 것으로 설명된다²¹⁾. 따라서 이 결과는 증착속도가 감소한다는 것은 각 원자가 기판표면에서 충분한 시간동안 마이그레이션(migration) 등이 이루어짐으로써 Sr과 S가 양호한 결합을 할과 동시에 불순물은 결정중에서 배출됨으로써 양호한 결정으로 되고 있음을 시사하고 있다.

3.3 X선 회절

박막의 결정구조와 결정성을 조사하기 위하여 X선 회절시험을 행하였다. Fig. 11은 외부로부터 S의 공급없이 기판온도를 450℃로 유지하고 SrS 증발관의 온도를 590℃ 및 615℃로 제작한 SrS 박막과 SrS 분말의 X선 회절패턴을 나타낸 것이다.

어느 경우나 SrS 박막은 NaCl구조의 (200) 주배향을 나타내고 있다. 본 실험에서 제작한 박막들은 SrS 분말과 마찬가지로 모든 면 방향의 회절 피크가 나타나고 있으나 (200)의 피크 외에는 강도가 미비함을 알 수 있다. 이 때 증발관 온도를 590℃로 하여 제작한 박막의 경우가 회절 피크 강도가

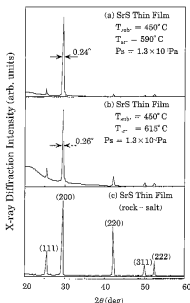


Fig. 11 X-ray diffraction patterns of the SrS thin films grown at $T_{sub}=350$ and 550, and the pattern of the SrS powder used as starting materials.

크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 박막의 두께가 1 μ m정도로 비슷하다는 것을 고려하면 증발관 온도 590℃의 경우가 반치폭(FWHM: Full Width at Half Maximum)은 작으며 회절강도는 3배정도 강하게 관찰됨으로써 양질의 박막인 것으로 사료된다.

Fig. 12는 X선 회절 패턴에서 구한 SrS 박막의 X선 회절에 대한 SrS 증발관의 온도의존성을 나타내고 있다. 반치폭은 0.20~0.25°를 나타내는데 이 값은 분말의 0.18°와 비교하면 전체적으로 박막의 결정성이 떨어지고 있음을 의미하고 있다. 또한 SrS 증발관 온도와 상관없이 반치폭은 대체로 일정하나 주배향인 (200)의 전 피크에 대한 강도비는 급감함을 알 수 있다. 이것은 결정립의 크기는 비슷하나 배향성이 나빠짐을 의미하며, 전체적으로 증발관의 온도 상승에 따라 증착 박막의 결정성은 어느 정도 나빠지고 있다는 것을 시사하고 있다.

Fig. 13은 기판온도에 따른 회절강도와 반치폭을 조사한 결과로 반치폭은 0.22~0.26°로 기판온도의 상승에 따라 약간 커지고 있으며, 회절강도도 대체로 상승함으로 결정성은 대체로 일정하다고

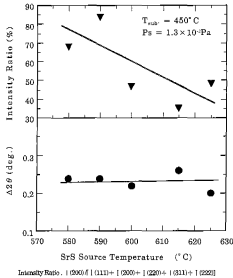


Fig. 12 Dependence of the FWHM and intensity ratio on SrS evaporation cell temperature.

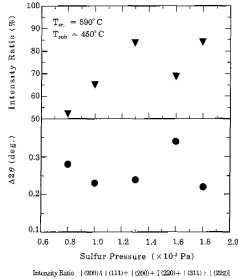


Fig. 14 Dependence of the FWHM and intensity ratio on sulfur pressure.

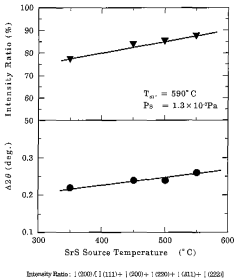


Fig. 13 Dependence of the FWHM and intensity ratio on substrate temperature.

할 수 있다.

Fig. 14는 기판온도를 450°C, SrS 증발관의 온도를 590°C로 하고 외부로부터 S의 공급량을 변화시키면서 제작한 SrS 박막의 X선 회절 패턴에서

구한 S의 공급압력 의존성을 나타내고 있다. S의 공급압력이 증가함에 따라 대체로 (200)의 배향성은 향상되고 반치폭은 감소를 나타내고 있다. 본 실험의 범위에서는 S의 압력이 1.3×10^4 및 1.8×10^4 Pa의 경우가 결정성이 가장 우수함을 알 수 있다. 특히 1.6×10^4 Pa 압력으로 S를 공급한 경우, S의 과도 공급으로 인하여 S 과잉 박막의 형성이 촉진됨으로써 Fig. 4 및 Fig. 8에 기술했듯이 증착속도의 급격한 증가 한 금지대 폭의 급격한 감소를 초래하고 또한 박막의 결정성이 약화되었다고 사료된다. 이것은 EDAX에 의한 조성성분 분석결과를 통하여 대부분의 박막의 S의 비율이 45~49%인 반면 이 박막의 경우 55%로써 S 과잉임을 확인할 수 있었다.

이상의 회절시열 결과, 증발관의 온도 변화 및 S의 공급량의 변화에 의해 제작된 박막의 결정성이 변화하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 제작 조건의 변화가 박막의 결정성에 직접 영향을 미친다기보다도 박막의 증착속도에 영향을 줌으로써 증착속도에 변화가 생기고 이 증착속도의 변화가 박막의 형성 과정에서 결정립의 크기에 직접적으로 관계함으로써 박막의 결정성에 영향을 미치고 있

다고 사료된다.

3.4 Photoluminescence 스펙트럼

SrS:Ce 박막의 발광특성을 알아보기 위하여 PL을 측정하였다. SrS:Ce 박막의 제작은 외부로부터 S의 공급없이 증발관의 온도를 590°C, 기판의 온도를 450°C로 고정하고 CeCl₃ 증발관의 온도를 600°C, 650°C 및 700°C로 하여 제작하였다. 제작 후 먼저 박막층의 Ce 농도를 EDAX에 의해 확인한 결과 CeCl₃의 증발관 온도에 따라 박막층의 Ce 농도는 0.08at%에서 0.1at% 정도로 약간 증가했으나 PL을 측정할 결과는 거의 동일한 스펙트럼과 발광 강도를 나타내었다.

Fig. 15는 CeCl₃ 증발관 온도가 650°C로 하고 제작한 SrS:Ce 박막의 PL 스펙트럼을 나타낸 것이다. 또한 475nm의 발광에서 측정된 PL 여기 스펙트럼을 삽입했다. 여기 스펙트럼은 SrS 모체로부터의 여기에 의한 200~270nm의 강한 스펙트럼과 입방결정에 있어서 Ce³⁺의 4f-5d 전이에 상당하는 430nm 부근의 약한 스펙트럼이 관측되고 있다. 이 결과는 모체결정으로부터 발광 중심으로의 에너지 전달에 의한 발광이 Ce³⁺의 직접 여기에 의한 발광보다 우세하다는 것을 의미하고 있다.

PL 스펙트럼은 475nm와 540nm 부근에 피크를 가지는 완만한 곡선의 발광을 나타내고 있다. 이를

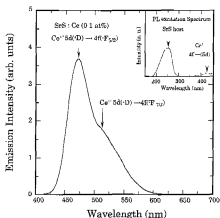


Fig. 15 PL spectrum of the SrS thin films grown at $T_{\text{sub}}=450^\circ\text{C}$ and $T_{\text{r}}=590^\circ\text{C}$. The PL excitation spectrum of the SrS thin films is also shown in the inset.

은 각각 Ce³⁺ 발광 중심의 ${}^1\text{D}(5d) \rightarrow {}^1\text{F}_5(4f)$ 전이와 ${}^1\text{D}(5d) \rightarrow {}^1\text{F}_7(4f)$ 전이에 기인한 것^[12]으로 다른 제작방법에 의한 보고^[6]와 동일하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 Hot Wall 법에 의해 다양한 조건으로 SrS 박막을 제작하고 광학적, 결정학적 평가를 통하여 이 박막의 기초적 물성을 분석함과 더불어, 발광 중심으로 Ce를 첨가한 SrS:Ce 박막의 발광 특성의 도출에 중점을 두어 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Hot Wall 법에 의해, 증착증발관의 온도, 외부로부터의 S 압력 등의 조절에 의해 기판에 도달하는 원자 또는 분자를 제어함으로써 제작 후 열처리 등이 없이 양호한 결정성을 갖는 SrS 박막 제작의 가능성을 확인하였다.
- 2) 박막의 증착속도는 SrS 증발관의 온도의 상순에 따라 급속하게 상승했으나 기판온도, 외부로부터의 S 도입여부에는 거의 영향을 받지 않았다.
- 3) SrS 박막의 광학적 특성 및 결정성은 증발관의 온도 변화 및 S의 공급량의 변화보다 증착속도와 밀접한 관계가 있으며 증착속도가 낮을수록 양질의 박막을 얻었다.
- 4) 제작된 SrS 박막의 실온에서의 금지대 폭은 4.5~4.6eV로 이론값보다 작았으며, (200) 면에서의 반치폭은 0.22~0.26°를 나타냈다.
- 5) SrS:Ce 박막의 PL은 475nm에서의 강한 피크와 540nm 부근에서 약한 피크를 갖는 청녹색의 발광 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] S.H. Sohn, Y. Hamakawa, 'Electroluminescence in oxygen co-doped ZnS:TmF₃ and ZnS:Tm, Li thin-film devices', Appl. Phys. Lett., pp. 2242-2244, Vol.62, 1993.
- [2] S. Tanaka, H. Yoshiyama, J. Nishiura, S. Ohshio, H. Kawakami, H. Kobayashi, 'Bright white-light electroluminescence based on nonradiative energy transfer in Ce- and Eu-

doped SrS thin-films", Appl. Phys. Lett., pp. 1661-1663, Vol.51, 1987.

[3] P.D. Rack, P.H. Holloway, "Brighter blue $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Ga}_2\text{Se}_4$ EL devices with an electron injection layer", SID 95 Digest, pp.480-483, 1995.

[4] W. Park, T.C. Jones, C.J. Summers, "Optical properties of SrS:Cu, Ag two-component phosphors for electroluminescent devices", Appl. Phys. Lett., Vol.74, No.13, pp.1785-1787, 1999.

[5] K. Onisawa, Y. Abe, T. Nakayama, M. Hanazono, "Effects of substrate temperature during phosphor layer deposition on luminance of SrS:Ce blue-green-emitting thin-film electroluminescent devices", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.30, No.2, pp.314-319, 1991.

[6] H. Ohnishi, T. Okuda, "Blue-green color TFEL device with sputtered SrS:Ce thin films", SID 89 Digest, pp.317-320, 1989.

[7] K. Ohmi, K. Fujimoto, S. Tanaka, H. Kobayashi, "Improvement of crystallographic and electroluminescent characteristics of SrS:Ce thin film devices by post-deposition annealing in Ar-S atmosphere", J. Appl. Phys., Vol.78, No.4, pp. 428-434, 1995.

[8] 허성곤, "Hot Wall법에 의한 ZnS 박막의 제작과 특성에 관한 연구", 석사학위논문, 2000.

[9] K. Ohmi, Y. Yamano, S.T. Lee, T. Ueda, S. Tanaka, H. Kobayashi, "Growth and characterization of SrS/ZnS multilayered electroluminescent thin films grown by hot wall technique", J. Crystal Growth, Vol.138, pp.1061-1065, 1994.

[10] J.I.Pankove, "Optical Process in Semiconductor", Dover Pub., Inc., New York, pp.34-46, 1971.

[11] Y. Kaneko, T. Koda, "New developments in IIa-VIb (Alkaline-earth chalcogenide) binary semiconductors", J. Crystal Growth, Vol.86, pp.72-78, 1988.

[12] Donald M. Smith, "Thin-Film Deposition", McGraw-Hill, Inc., pp.3-7, 1995.

[13] H. Yoshiyama, S.H. Shon, S. Tanaka, H. Kobayashi, "Excitation mechanism based on field induced delocalization of luminescent centers in CaS:Eu^{2+} and SrS:Ce" thin-film electroluminescent devices", Springer Proceedings in Physics, Vol.38, Electroluminescence, (Springer, Heidelberg) pp.48-54, 1989.

저 자 소 개



이상태(李相泰)

1981년 2월 한국해양대학교 기관학과 공학사 1983년 2월 한국해양대학교 박음기관학과 공학석사. 1994년 3월 도토리대학(일본) 전기전자공학과 공학 석사. 1997년 3월 도토리대학(일본) 생산정보공학전공 공학박사. 1981년~1986년 한국해양대학교 조교~조교수 1987년~현재 한국해양대학교 문항시스템공학과 부교수. 관심분야: 광 발도체 평판형 디스플레이, 광센서 및 액티브 표시회로.