

論文2000-37SD-1-5

고휘도 청색 발광 SrS:CuCl 박막 전계발광소자의 제작

(Fabrication of Bright Blue SrS:CuCl Thin-Film Electroluminescent(TFEL) Devices)

李淳錫*, 林聖奎**

(Soonseok Lee and Sungkyoo Lim)

요약

청색 발광 SrS:CuCl TFEL 소자의 휘도를 향상시키기 위하여 황 압력과 열처리 조건을 최적화하여 SrS:CuCl TFEL 소자를 제작하였다. 전자빔 증착 장비를 이용하여 SrS:CuCl 형광체를 6000 ~ 8000 Å 두께로 증착 시킨 후, 800 °C에서 3 분 동안 열처리하여 TFEL 소자를 제작시켰다. 형광체 결정은 열처리 온도 및 열처리 지속 시간의 증가에 따라 향상되었다. SrS:CuCl TFEL 소자는 468 nm와 500 nm에서 발광 피크 파장을 나타내었고, CIE 색 좌표는 $x = 0.21$, $y = 0.33$ 로 청색 빛이 방출되었다. SrS:CuCl TFEL 소자의 휘도(L_{40})는 형광체 증착 중의 황 압력에 크게 의존하여 황 압력을 8×10^{-6} torr에서 2×10^{-5} torr로 증가시켰을 때 262 cd/m^2 에서 728 cd/m^2 로 증가되었다.

Abstract

The sulfur pressure and RTA(rapid thermal annealing) conditions of the fabricated SrS:CuCl TFEL devices were optimized to improve blue color luminance. The thickness of the phosphor layer of SrS:CuCl TFEL devices fabricated by electron beam deposition system was 6000 ~ 8000 Å. The fabricated TFEL devices were annealed at 800 °C for 3 min. It was shown that the crystallinity of SrS:CuCl phosphor was improved by an increase in RTA temperature and RTA time. Blue color was emitted from the TFEL device with emission peak wavelength of 468 nm and 500 nm. The CIE color coordinates were $x = 0.21$, $y = 0.33$. The luminance(L_{40}) of TFEL device strongly depended on the sulfur pressure of deposition chamber and increased from 262 cd/m^2 to 728 cd/m^2 as the sulfur pressure increased from 8×10^{-6} torr to 2×10^{-5} torr.

I. 서론

박막 전계발광(thin-film electroluminescence, TFEL) 소자를 사용하여 만든 전계 발광 디스플레이(elec-

troluminescent display, ELD)는 모든 부분이 고체로 형성되어 있기 때문에 진동과 충격에 매우 강하고 넓은 온도 범위와 시야각을 가지는 등 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 천연색 재현에 필요한 적색, 녹색 및 청색의 3 원색 중에서 적색과 녹색은 ZnS:Mn, CaS:Eu 및 ZnS:Tb 등의 형광체를 이용하여 요구하는 휘도를 만족시키고 있는 반면, 청색 발광은 휘도가 미약하여 ELD 발전에 주요한 장애가 되고 있다. 따라서 현재 ELD는 청색 형광체를 개발하기 위하여 많은 연구를 수행하고 있으며, 의료, 우주산업 및 국방산업 등의 특수한 분야에서 multicolor 디스플레이로 사용되고 있다.

* 正會員, 檀國大學教 情報디스플레이 研究所
(Information Display Research Center, Dankook Univ.)

** 正會員, 檀國大學教 電子工學科
(Dept. of Electronics Eng., Dankook Univ.)

接受日字:1999年8月23日, 수정완료일:2000年1月3日

TFEL 소자의 청색 형광체는 주로 SrS:Ce과 CaGa₂S₄:Ce 등이 사용되고 있다. 그러나 SrS:Ce 형광체^[1]는 높은 휘도와 효율을 얻을 수 있지만 색순도가 청색보다는 녹색에 가깝고, CaGa₂S₄:Ce 형광체^[2]로부터는 고색순도의 청색은 얻을 수 있으나 휘도와 효율이 낮아 상용화의 요구 조건을 만족시키지 못하고 있다. 그러던 중 최근에 S. S. Sun 등에 의하여 매우 높은 휘도(28 ~ 35.9 cd/m² at 60 Hz)와 고색순도(x = 0.15 ~ 0.19, y = 0.23 ~ 0.31)의 SrS:Cu 청색 형광체가 발표^[3]되면서 ELD는 상용화를 위한 새로운 기대를 모으고 있으며, 현재에는 재현성을 위하여 발광 기구와 다양한 증착 방법 등을 연구하고 있다^[4-6].

본 논문에서는 이미 발표된 바 있는 청색 발광 SrS:CuCl TFEL 소자^[7]의 휘도를 향상시키고자 형광층 증착 중의 황 압력과 열처리 조건을 최적화하였다. SrS:CuCl 형광층은 전자빔 증착 장비를 이용하여 증착시켰으며, 제작된 형광체 박막에 대해서는 XRD를 측정하여 반치폭(full width at half maximum, FWHM), 격자 상수 및 결정 크기를 분석하였다. 또한 SrS:CuCl TFEL 소자에 1 kHz의 사다리꼴 전압을 인가하여 발광 스펙트럼, 휘도 및 효율도 함께 측정하였다.

II. SrS:CuCl TFEL 소자의 제작

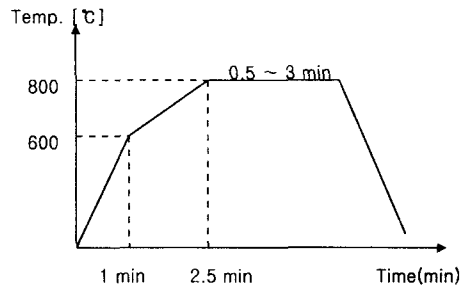
Indium tin oxide(ITO) 투명 전극과 AlTiO₃(ATO) 절연체가 증착되어 있는 Corning 7059 glass 위에 SrS:CuCl TFEL 소자를 제작하였다. SrS와 CuCl(0.2 at%) 미분말을 마노에서 혼합한 후, 2 ton/cm²의 힘으로 성형하여 SrS:CuCl 형광체로 사용하였다. SrS:CuCl 펠렛은 소결 과정 없이 전자빔 증착 장비내의 crucible에 놓고 셔터를 닫은 상태에서 진공도가 10⁻⁶ torr로 내려가면 10 ~ 15 mA의 전자빔 전류로 20 분 동안 예열하였다.

전자빔 증착 장비의 내부 압력이 5 x 10⁻⁶ torr로 내려가면 ITO glass 온도를 500 °C로 올린 후, 황(sulfur) 분말을 담은 K-cell 온도를 올려 황이 승화되고 챔버 내부가 일정한 황 압력에 도달한 상태에서 SrS:CuCl 형광체를 성장시켰다. 전자빔 전류 20 ~ 40 mA, 형광체 증착율 5 ~ 10 Å/sec에서 형광층을 6000 ~ 8000 Å 두께로 증착시켰다.

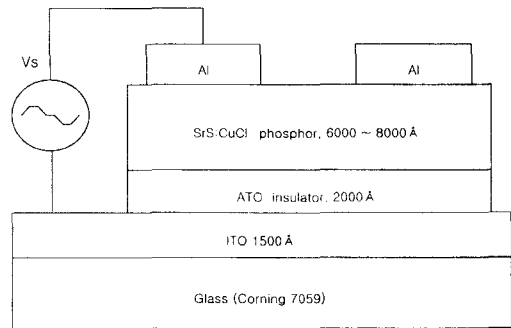
SrS 형광체를 전자빔으로 가열, 증착시킬 경우 형광체는 Sr와 S로 분해되었다가 ITO glass 기판에서 다

시 결합하는 것으로 알려져 있으며, 이 과정에서 증착된 형광체 박막은 황(sulfur)이 결합되어 TFEL 소자의 휘도를 저하시키는 원인이 된다. 본 연구에서는 이러한 황의 결핍 현상을 방지하기 위하여 전자빔 증착 장비 내부의 K-cell 내에 황 분말을 넣은 다음 온도를 올려 8 x 10⁻⁶ torr ~ 2 x 10⁻⁵ torr의 황 압력에서 형광체를 증착시켰다. K-cell 주위에는 히터와 온도 센서가 설치되어 있어 전자빔 증착 장비의 제어부로부터 K-cell 온도를 임의로 조절할 수 있도록 프로그램 되어 있다.

형광층 결정은 TFEL 소자의 휘도에 큰 영향을 미치므로 고속 열처리(rapid thermal annealing, RTA) 과정을 통하여 향상시켰다. RTA 장비는 로터리 펌프를 사용하여 10⁻² ~ 10⁻³ torr 까지 배기시킬 수 있고 필요할 경우에는 외부로부터 분위기 가스를 공급할 수 있도록 구성되어 있으며 열처리 온도와 열처리 지속 시간은 임의로 조절할 수 있도록 프로그램 되어 있다. 본 연구에서는 열처리 조건에 따른 결정 특성을 분석하기 위하여 질소 분위기에서 열처리 온도와 열처리



(a)



(b)

그림 1. (a) 열처리 지속 시간, (b) 제작된 SrS:CuCl TFEL 소자의 구조
Fig. 1. (a) RTA time, (b) Cross sectional structure of SrS:CuCl TFEL devices.

지속 시간을 변수로 하여 SrS:CuCl 형광체를 열처리 하였다. 또한 XRD(X-ray diffractometer, Scintage XRD 2000)를 측정하여 반치폭, 격자 상수 및 결정 크기를 분석하였다. 열처리 온도를 변수로 하였을 경우에는 상온에서 600 °C까지는 1 분 동안, 600 °C에서 750 °C, 800 °C 또는 850 °C의 열처리 온도까지는 1 분 30 초 동안 상승시킨 다음 1 분 동안 열처리하였다. 또한 열처리 지속 시간을 변수로 하였을 경우에도 상온에서 600 °C까지는 1 분 동안, 600 °C에서 800 °C까지는 1 분 30 초 동안 상승시킨 후, 0.5 분에서 최대 3 분 동안 열처리하였다. 그림 1-(a)는 열처리 지속 시간을 열처리 변수로 하였을 때의 온도 분포이다. 형광체를 열처리한 다음, thermal evaporator 장비를 이용하여 상부 전극으로 Al 을 증착시켜 SrS:CuCl TFEL 소자를 완성시켰으며 그림 1-(b)에 나타내었다.

제작 완료된 SrS:CuCl TFEL 소자에는 상승 시간과 하강 시간이 각각 5 μ sec, 최대 전압 지속 시간 30 μ sec의 사다리꼴 전압을 1 kHz로 인가하여 발광 특성을 측정하였다.

III. 결과 및 검토

SrS:CuCl 형광체 증착시 황의 결핍을 보충하기 위하여 황을 넣은 K-cell 온도에 따른 챔버 내부의 황 압력을 우선적으로 측정하였다. 챔버 내부의 초기 압력이 5×10^{-6} torr로 내려가면 ITO 유리 기판 온도를 500 °C로 올리고 K-cell 온도를 실온에서 90 °C까지는 10 분 동안 급격히 올린 다음, 90 °C에서부터 110 °C까지는 1 °C/min로 서서히 올려 실험하였다. K-cell 온도에 따른 황 압력을 그림 2에 나타내었으며 90 °C에서부터 승화하여 110 °C에서는 2.25×10^{-5} torr의 황 분위기가 형성되었음을 알 수 있었다. 대기 중의 황은 119 °C에서 고체에서 액체로, 444.6 °C에서는 액체에서 기체로 변화된다. 고체일 때의 황은 사방 결정계황(S_{α} , 95.5 °C 이하)과 단사 결정계황(S_{β} , 95.5 °C 이상)로, 액체일 때에는 황색의 유동성인 λ 황(S_{λ} , 159 °C 이하)과 진한 갈색의 μ 황(S_{μ} , 159 °C 이상)으로 존재하며, 기체일 경우에는 고체 골격인 S_8 과 S_8 에서 분할된 S_6 , S_4 , S_2 등으로 존재한다^[8]. 그러나 5×10^{-6} torr와 같은 진공에서는 매우 낮은 온도에서 황이 승화됨을 실험을 통하여 알 수 있었다. 황 압력에 따른 SrS:CuCl TFEL 소자의 발광 특성은 K-cell 온도를 95 °C, 98 °C 또는

108 °C로 설정하여 챔버 내부의 황 압력이 각각 8×10^{-6} torr, 1×10^{-5} torr 또는 2×10^{-5} torr일 때 SrS:CuCl 형광체를 증착시켜 TFEL 소자를 제작한 후 측정하였다.

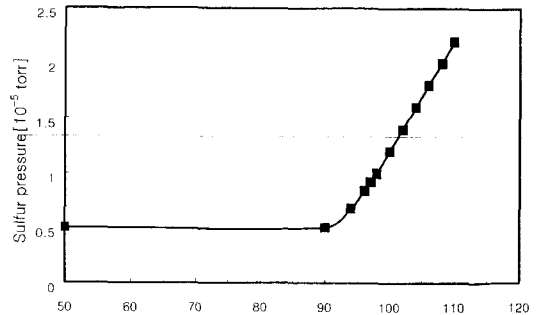


그림 2. K-cell 온도에 따른 황 압력

Fig. 2. Dependence of sulfur pressure on K-cell temperature.

그림 3-(a)는 2×10^{-5} torr의 황 압력에서 증착된 SrS:CuCl 형광체 박막을 800 °C에서 3 분 동안 열처리 한 다음 측정된 XRD 분석 결과이다. ITO glass 위에 증착된 SrS:CuCl 형광체 박막과 같은 증착 조건에서 Si-wafer(n-type, (100), 1.0~10.0 Ω cm) 위에 증착된 후 측정되었다. JCPDS(joint commission for powder diffraction standards) 카드내의 SrS 분말에 대한 XRD 패턴을 나타내는 8-489^[9]와 비교하면 회절 각도가 각각 25.6°, 29.7°, 42.4°, 50.3° 및 52.6°에서 나타나는 각각의 피크는 SrS 박막의 (111), (200), (220), (311) 및 (222) 면임을 알 수 있고, 주로 (200) 방향으로 결정이 성장되었다. 54°에서 보이는 피크는 기판으로 사용된 Si-wafer 단결정의 XRD 패턴이며 반치폭은 0.21°이었다. 그림 3-(b)와 그림 3-(c)는 각각 열처리 온도와 열처리 지속 시간을 변수로 하여 열처리된 SrS:CuCl 박막의 XRD 패턴이며, 반치폭, 격자 상수 및 결정 크기를 계산하기 위하여 우선 배향면인 (200)에 해당하는 회절 각도 28.5°에서 30.5°까지만을 확대하여 나타내었다. 그림 3-(b)에서 열처리 온도를 증가시킴에 따라 반치폭이 감소함을 알 수 있으며 열처리 안된 박막과 750 °C, 800 °C 및 850 °C에서 1 분 동안 열처리된 SrS:CuCl 박막의 반치폭은 각각 0.3875°, 0.315°, 0.304° 및 0.283°로 측정되었다. SrS는 NaCl 결정 구조로 격자 상수가 6.014 Å이다^[9]. XRD 패턴

의 우선 배향면인 (200)에 해당하는 회절 각도로부터도 다음 식 (1)을 이용하여 격자 상수를 구할 수 있다^[10].

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (1)$$

여기서 a는 격자 상수이고, h, k, l은 입방 결정 구조의 밀러 지수로 우선 배향면인 (200)을 사용하였으며 d는 (200) 결정면들간의 거리로 다음 식 (2), 즉 Bragg 법칙으로부터 구할 수 있다^[11].

$$2d = \frac{\lambda}{\sin \theta} \quad (2)$$

여기서 λ는 XRD 측정에 사용된 X-ray의 파장으로 1.54 Å이고 θ는 (200)에 해당되는 회절 각도이다.

그림 3-(b)에서 열처리 안된 박막과 750 °C, 800 °C 및 850 °C에서 열처리된 박막의 (200)면에 해당하는 2*θ는 각각 29.53°, 29.60°, 29.625° 및 29.658° 임을 알 수 있다. 식 (1), 식 (2)를 이용하여 격자 상수를 계산하면 각각 6.050 Å, 6.036 Å, 6.031 Å 및 6.024 Å 이 되어 열처리 온도를 높일 수록 JCPDS의 6.014 Å에 매우 가까워 갔다. 그림 3-(c)에서 열처리 지속 시간을 증가시키에 따라 반치폭이 감소함을 나타내고 있으며 열처리 안된 박막과 0.5 분, 1 분, 2 분 및 3 분 동안 800 °C에서 열처리된 SrS:CuCl 박막의 반치폭은 각각 0.3875°, 0.3125°, 0.304°, 0.292° 및 0.292° 로 측정 되었다. 또한 (200)면에 해당하는 2*θ는 각각 29.53°, 29.60°, 29.625°, 29.65° 및 29.675° 임을 알 수 있고 식 (1)과 식 (2)로부터 격자 상수를 계산하면 각각 6.050 Å, 6.036 Å, 6.031 Å, 6.026 Å 및 6.021 Å이 되어 열처리 지속 시간을 증가시킬 수록 JCPDS의 6.014 Å에 매우 가까워 갔다.

형광체 박막의 결정 크기는 다음의 Scherrer 공식에 의해 계산할 수 있다^[11].

$$D = \frac{0.9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (3)$$

여기서 D는 형광체 박막의 평균 결정크기, λ는 X-ray diffraction에 사용된 X-ray의 파장으로 1.54 Å 및 B와 θ는 각각 SrS 박막의 우선 배향 방향인 (200) 면에 대한 반치폭과 회절 각도를 의미한다.

형광체 박막의 평균 결정크기를 계산하기 위하여 그림 3-(b)와 그림 3-(c)로부터 얻은 각각의 반치폭에서

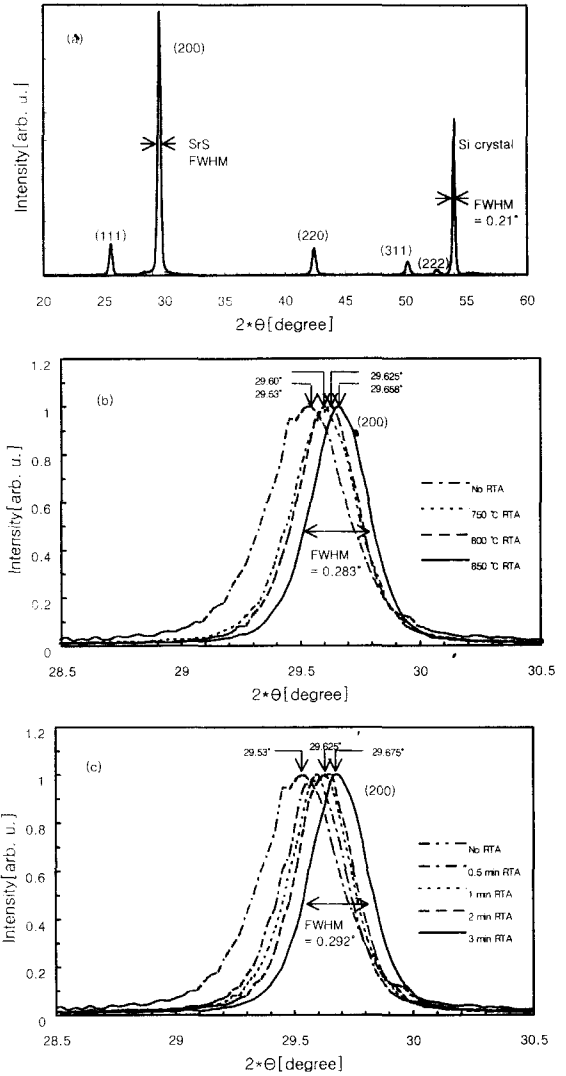


그림 3. (a) 800 °C에서 3 분 동안 열처리된 SrS:CuCl 박막의 XRD 패턴
 (b) 열처리 온도에 따른 (200) 면에서의 반치폭과 회절 각도 변화
 (c) 열처리 지속 시간 변화에 따른 (200) 면에서의 반치폭과 회절 각도 변화
 Fig. 3. (a) XRD pattern of SrS:CuCl thin-film annealed for 3 min at 800 °C,
 (b) dependence of FWHM and diffraction angle at plane on RTA(rapid thermal annealing) temperature,
 (c) dependence of FWHM and diffraction angle at (200) plane on RTA time.

실리콘 단결정의 반치폭 값인 0.21° 를 빼낸 다음 Scherrer 공식에 대입하였다. 이것은 SrS:CuCl 박막의 기판으로 사용된 Si-wafer 전체가 단결정임에도 불구하고

하고 0.21°의 반치폭 값을 나타내기 때문이다. Scherrer 공식에 B와 θ 를 대입하여 SrS:CuCl 박막의 평균 결정크기를 계산하여 그림 4에 나타내었다.

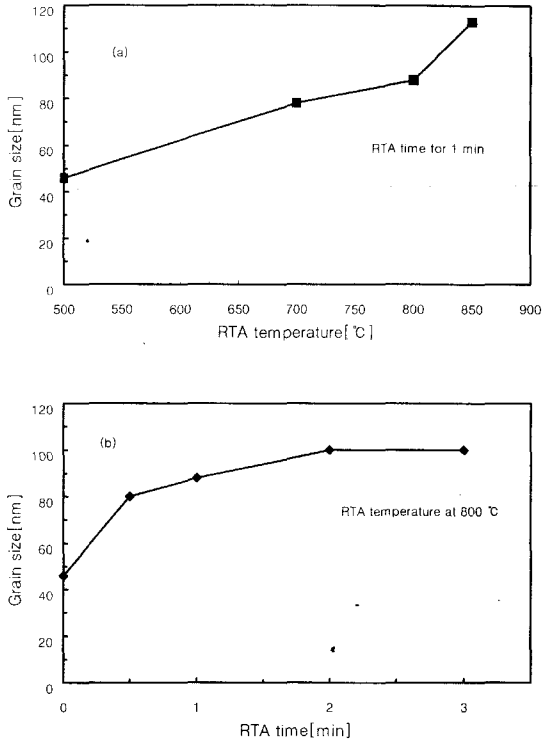


그림 4. (a) 열처리 온도에 따른 SrS:CuCl 박막의 결정 크기, (b) 열처리 지속 시간에 따른 SrS:CuCl 박막의 결정 크기

Fig. 4. (a) Dependence of grain size of SrS:CuCl thin-film on annealing temperature, (b) Dependence of grain size of SrS:CuCl thin-film on annealing time.

그림 4-(a)는 열처리 온도에 따른 평균 결정 크기로 열처리 안된 박막의 결정 크기는 46 nm이었으며 750 °C, 800 °C 및 850 °C까지 증가되면서 결정 크기는 각각 78 nm, 88 nm 및 113 nm로 증가되었다. 이것은 열처리 온도를 높일수록 SrS가 더 큰 열 운동하면서 SrS 결정이 형성되기 때문에 나타나는 현상이다. 그러나 본 연구에서는 850 °C에서 Corning 7059 glass의 변형을 고려하여 800 °C에서 열처리하여 SrS:CuCl TFEL 소자를 제작하였다. 그림 4-(b)는 열처리 지속 시간을 변수로 하였을 때의 결정 크기를 나타낸다. 초기에는 급격히 증가되었다가 2 분 이후에는 변화가 없었다.

열처리 안된 박막은 46 nm의 결정 크기를 가졌으며 0.5 분, 1 분, 2 분 및 3 분 동안 열처리된 각각의 박막은 80 nm, 88 nm, 100 nm 및 100 nm로 나타났다. 이와 같은 현상은 열처리 지속 시간을 증가시킬수록 SrS가 고온에서 더 긴 시간 동안 열 운동하면서 SrS 결정이 형성되기 때문이다. 본 연구에서는 3 분 동안 열처리하여 TFEL 소자를 제작하였다.

그림 5는 SrS:CuCl TFEL 소자에 사다리꼴 전압을 인가하여 측정된 발광 스펙트럼이며 형광체 증착 중의 황 압력에 관계없이 항상 일정하였다. 발광 중심체 Cu 이온의 발광 전이 준위는 $3d^9 4s \rightarrow 3d^{10}$ 이고 그에 따른 발광 파장은 SrS 모체 내의 Cu 이온이 고립(monomer) 되어 존재하는지 아니면 Cu 이온이 2 개의 쌍(dimer), 3 개의 쌍(trimer) 또는 4 개의 쌍(tetramer)으로 존재하는지에 따라 발광 전이 준위에 영향을 미쳐 발광 파장이 변하는 것으로 알려져 있다^[12]. 그림 5에서 SrS:CuCl(0.2 at%) TFEL 소자는 dimer에 의한 468 nm와 trimer에 의한 500 nm에서 발광 파장을 나타내고 있으며 CIE 색 좌표는 $x = 0.21, y = 0.33$ 였다. 최근까지 청색 형광체로 사용되고 있는 SrS:Ce TFEL 소자의 CIE 색 좌표 $x = 0.19, y = 0.39$ ^[11]와 비교하면 더욱 좋은 색순도의 청색이며, 최근에 발표된 SrS:Cu TFEL 소자^[4-6]의 CIE 색 좌표가 $x = 0.16 \sim 0.20, y = 0.23 \sim 0.31$ 과 비교하면 본 연구에서 제작된 TFEL 소자의 y는 약간 큰 값을 나타낸다. 이것은 dimer에 의한 발광 스펙트럼이 trimer에 의한 발광 스펙트럼보다 상대적으로 적은 양을 갖기 때문이며 좋은 색순도의 청색 발광을 얻기 위해서는 Cu 이온을 균일하게

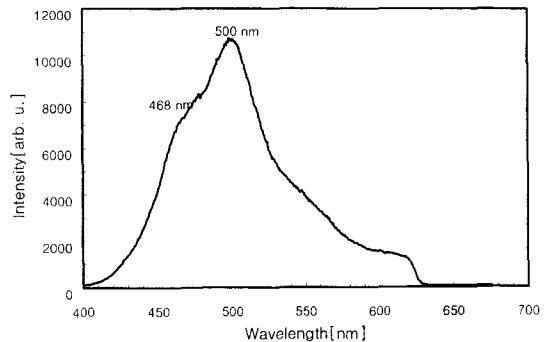


그림 5. SrS:CuCl TFEL 소자의 발광 스펙트럼
Fig. 5. Emission spectra of SrS:CuCl TFEL devices.

첨가하여 dimer 센터를 증가시켜야 한다. Cu 발광 중

심체를 SrS 모체에 균일하게 도핑 시키는 방법으로 혼합된 분말을 고온에서 소결하는 것을 고려할 수 있다. 고온 소결 과정에서 Cu 이온이 SrS 모체에 확산되어 균일하게 분포하여 dimer 발광 센터가 증가할 것으로 생각되기 때문이다. 그런 경우의 전체 발광 스펙트럼은 그림 5보다 더욱 좋은 청색 발광을 얻을 것으로 기대된다.

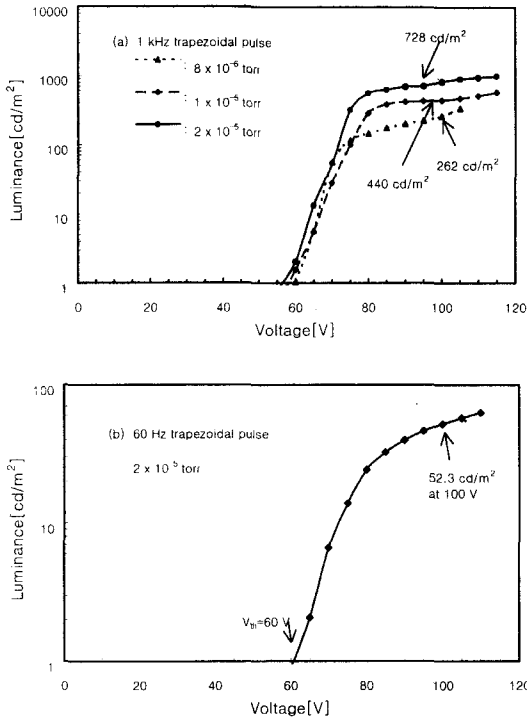


그림 6. (a) 1 kHz에서 인가 전압과 황 압력에 따른 SrS:CuCl TFEL 소자의 L-V 특성
 (b) 60 Hz에서 인가 전압에 따른 SrS:CuCl TFEL 소자의 L-V 특성
 Fig. 6. (a) Dependence of L-V characteristics of SrS:CuCl TFEL devices on applied voltage and sulfur pressure under 1 kHz,
 (b) Dependence of L-V characteristics of SrS:CuCl TFEL device on applied voltage under 60 Hz.

그림 6-(a)는 SrS:CuCl TFEL 소자에 사다리꼴 전압을 1 kHz로 공급하여 측정된 인가 전압의 크기에 따른 휘도의 변화를 나타낸다. 휘도가 문턱 전압(threshold voltage, V_{th}) 이상에서 급격히 증가되었다가 서서히 포화되어 TFEL 소자의 전형적인 휘도-전압(luminance-voltage, L-V) 특성과 일치한다. 그러나 휘

도는 황 압력이 8×10^6 torr에서 2×10^5 torr로 증가되면서 함께 증가되었고, 문턱 전압은 모두 55 V ~ 60 V 범위에 있었다. 황 압력이 8×10^6 torr일 때에 제작된 SrS:CuCl TFEL 소자는 문턱 전압보다 40 V 높은 100 V에서 측정된 휘도(L_{40})가 262 cd/m^2 를 나타내었고, 황 압력이 각각 1×10^5 torr 및 2×10^5 torr일 때에 제작된 TFEL 소자의 휘도(L_{40})는 각각 440 cd/m^2 및 728 cd/m^2 를 나타낸다. 황 압력의 증가에 따른 휘도의 증가는 황 압력이 증가할 수록 SrS 모체에서 황(sulfur)의 결핍이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 그림 6-(b)는 황 압력이 2×10^5 torr일 때 제작된 SrS:CuCl TFEL 소자에 60 Hz의 사다리꼴 전압(pulse width = 0.58 msec)을 인가하여 측정된 인가 전압의 크기에 따른 휘도의 변화를 나타내고 있다. 인가 전압의 주파수가 1 kHz일 때와 비교하면 문턱 전압은 55 V에서 60 V로 증가하였으며 문턱 전압보다 40 V 높은 100 V에서의 휘도(L_{40})는 52.3 cd/m^2 를 나타내고 있다. 현재까지 발표된 SrS:Cu TFEL 소자의 최대 휘도(L_{40})는 60 Hz의 전압을 공급하여 문턱 전압보다 40 V 높은 166 V에서 35.9 cd/m^2 이다^[3]. 본 연구에서 제작된 SrS:CuCl TFEL 소자는 100 V의 낮은 동작 전압임에도 불구하고 52.3 cd/m^2 를 나타내어 현재까지 발표된 SrS:Cu TFEL 소자보다 월등히 높은 휘도를 나타내는 것이다.

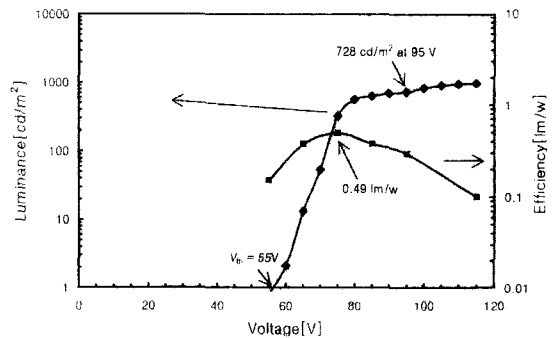


그림 7. 인가 전압에 따른 SrS:CuCl TFEL 소자의 휘도와 효율
 Fig. 7. Dependence of luminance and luminous efficiency of SrS:CuCl TFEL device on applied voltage.

그림 7은 황 압력이 2×10^5 torr에서 제작된 SrS:CuCl TFEL 소자에 사다리꼴 전압을 1 kHz로 공급하여 측정된 인가 전압 크기에 따른 휘도와 효율의

변화이다. 인가 전압의 크기에 따라 발광 효율이 서서히 증가되었다가 휘도가 포화되는 전압에서 최대값을 나타낸 다음 다시 서서히 감소하는 특성을 나타내고 있어 TFEL 소자의 전형적인 효율-전압(efficiency-voltage, η -V) 특성과 정확히 일치한다. 문턱 전압보다 20 V 높은 75 V에서의 발광 효율(η_{20})이 최대 0.49 lm/w를 나타내었다. 이것은 최근까지 SrS:Cu TFEL 소자로부터 얻은 가장 높은 효율 0.33 lm/w^[3]보다도 매우 높은 발광 효율을 나타내는 것이다. 그림 6의 휘도 특성과 그림 7의 효율 특성으로부터 챔버 내부의 황 압력을 높여 형광체를 증착하는 것이 매우 효과적인 제작 방법임을 알 수 있었다.

IV. 결 론

청색 발광 SrS:CuCl TFEL 소자의 휘도를 향상시키기 위하여 황 압력을 증가시켜 SrS:CuCl 형광체를 증착시킨 다음 열처리 조건을 최적화하여 TFEL 소자를 제작하였다. 형광체 모체 SrS와 발광 중심체 CuCl 미분말을 혼합, 성형하여 SrS:CuCl 형광체로 사용하였고 발광 중심체 CuCl은 0.2 at%로 첨가하였다. 전자빔 증착 장비를 이용하여 성장 온도 500 °C, 증착율 5~10 Å/sec 및 황 압력 $8 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-5}$ torr에서 형광체 두께를 6000 ~ 8000 Å로 증착 한 다음 800 °C에서 3 분 동안 열처리하였다.

열처리 온도와 열처리 지속 시간을 증가시킬 수록 SrS:CuCl 형광체 결정은 향상되었다. 그러나 고온에서 Corning 7059 glass의 휨을 고려하여 800 °C에서 3 분 동안 열처리하여 TFEL 소자를 제작하였고 형광체 박막의 반치폭, 격자상수 및 결정 크기는 각각 0.292° , 6.026 \AA 및 100 nm를 나타내었다.

제작된 SrS:CuCl(0.2 at%) TFEL 소자에 사다리꼴 전압을 1 kHz로 공급한 결과 발광 파장, CIE 색 좌표, 휘도(L_{40}) 및 효율(η_{20})은 각각 468 nm와 500 nm, $x = 0.21$ 과 $y = 0.33$, 728 cd/m^2 및 0.49 lm/w 였다. SrS:CuCl TFEL 소자의 휘도(L_{40})는 형광체 증착 중의 황 압력에 크게 의존하여 황 압력을 8×10^{-6} torr에서 2×10^{-5} torr로 증가시켰을 때 262 cd/m^2 에서 728 cd/m^2 로 증가되었다. 이와 같은 특성은 황 압력을 증가시킬 수록 SrS:CuCl 형광체내의 황 결핍이 감소하기 때문인 것으로 판단되며 챔버 내부의 황 압력을 높여 형광체를 증착하는 것이 매우 효과적인 제작 방법임을

알 수 있었다. 그러나 발광 스펙트럼과 문턱 전압은 황 압력과 무관하였다.

본 연구 결과는 최근까지 청색 형광체로 이용되고 있는 SrS:Ce TFEL 소자의 청색 색순도보다 좋은 특성을 나타내는 것이며, 최근에 발표된 SrS:Cu TFEL 소자^[3]의 청색 색순도에 비교하면 떨어지나 휘도와 효율 면에서는 월등히 높은 결과를 나타내는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] W. A. Barrow, R. W. Covert, and C. N. King, "Strontium sulphide : the host for a new high-efficiency thin-film EL blue phosphor," SID 84 Digest, pp. 249-250, 1984.
- [2] W. A. Barrow, R. E. Covert, E. Dickey, C. N. King, C. Laakso, S. S. Sun, R. T. Tuenge, R. C. Wentross, and J. Kane, "A new class of blue TFEL phosphors with application to a VGA full-color display," SID 93 Digest, pp. 761-764, 1993.
- [3] S. S. Sun and Eric Dickey, "A bright and efficient new blue TFEL phosphor" 17th IDRC, pp. 301 - 304, Toronto, Canada, Sep. 15-19, 1997.
- [4] U. Troppenz, B. Hiitl, U. Storz, P. Kratzert, and K. O. Velthaus, "Photoluminescence and electroluminescence studies on Cu and Ag doped SrS ACTFEL devices," The fourth international conference on the science and technology of display phosphors, pp. 187-190, Toronto, Canada, Sep. 14-17, 1998.
- [5] H. M. Menkara, W. Park, M. Chaichimansour, T. C. Jones, B. K. Wagner, and C. J. Summers, "Evaporation and characterization of SrS:Cu,Ag electroluminescent devices," The fourth international conference on the science and technology of display phosphors, pp. 191-194, Toronto, Canada, Sep. 14-17, 1998.
- [6] K. Ohmi, K. Yamabe, H. Fukada, T. Fujiwara, S. Tanaka, and H. Kobayashi, "Blue emitting SrS:Cu thin-film electroluminescent devices prepared by hot-wall deposition technique,"

- The fourth international conference on the science and technology of display phosphors, pp. 219-222, Toronto, Canada, Sep. 14-17, 1998.
- [7] 이순식, 임성규, "부활성제에 따른 SrS:Cu,X 박막 전계발광소자의 발광 특성," 대한전자공학회 논문지, 第 37卷 SD編, 第 1號, pp.29~35, 2000년, 1월
- [8] 김병희 외 18 인, "이화학 사전", 교육 서관, 1993.
- [9] Joint commission for powder diffraction standards(JCPDS) card, 8-489.
- [10] R. F. Pierret, "Advanced semiconductor fundamentals," Addison-wesley publishing company Inc., 1987.
- [11] B. D. Cullity, "Elements of X-ray diffraction," Addison-wesley publishing company Inc., 1978.
- [12] N. Yamashita, K. Ebismori, and K. Nakamura, "Luminescence from the aggregated Cu⁺ centers in SrS:Cu⁺," J. Appl. Phys., Vol. 32, Sep., pp. 3845-3850, 1993.

 저 자 소 개

李 淳 錫(正會員) 第 36卷 D 編 第 10號 參照
 현재 단국대학교 정보디스플레이 연구소 연구원

林 聖 奎(正會員) 第 36卷 D 編 第 10號 參照
 현재 단국대학교 전자공학과 교수