

論文2000-37SD-1-4

부활성제에 따른 SrS:Cu,X 박막 전계발광소자의 발광 특성 (Luminescent Characteristics of SrS:Cu,X Thin-Film Electroluminescent(TFEL) Devices depending on Coactivators)

李 淳 錫 * , 柳 昶 根 ** , 林 聖 奎 ***

(Soonseok Lee, Changkeun Ryu, and Sungkyoo Lim)

요 약

전자빔 증착 장비를 이용하여 SrS:Cu,X TFEL 소자를 제작한 후, 발광 특성을 분석하였다. 형광체 모체는 SrS 분말을 사용하였고 발광 중심체로는 Cu, CuF₂, Cu₂S 또는 CuCl 등의 미분말을 사용하였다. SrS:Cu,X TFEL 소자의 발광 특성은 부활성제에 따라 매우 많은 변화를 나타내었다. SrS:Cu₂S TFEL 소자의 휘도(L₄₀)와 효율(η₂₀)은 각각 1443 cd/m²와 2.44 lm/w를 나타내었고, 녹색 빛의 발광 효율은 ZnS:Tb TFEL 소자보다 높아 새로운 녹색 형광체로의 활용이 기대되었다. SrS:CuCl TFEL 소자의 휘도(L₄₀)와 효율(η₂₀)은 각각 262 cd/m²와 0.26 lm/w를 나타내었고 청색 빛을 방출하여 새로운 청색 형광체로의 활용 가능성을 확인하였다.

Abstract

Luminescent characteristics of SrS:Cu,X TFEL devices fabricated by electron-beam deposition system were studied. The SrS powders were used as the host materials and Cu, CuF₂, Cu₂S or CuCl powders were added as the luminescent center. The emission spectra of the SrS:Cu,X TFEL devices strongly depended on coactivators. The luminance(L₄₀) and efficiency(η₂₀) of SrS:Cu₂S TFEL device were 1443 cd/m² and 2.44 lm/w, respectively. Green color was observed from this TFEL device. The luminous efficiency of SrS:Cu₂S TFEL device was higher than that of ZnS:Tb TFEL device, and it also could be good green phosphors for TFEL devices. The luminance(L₄₀) and efficiency(η₂₀) of SrS:CuCl TFEL device were 262 cd/m² and 0.26 lm/w, respectively. Blue color was emitted from this TFEL device.

I. 서 론

전계 발광 현상이 관찰된 이후, 천연색 재현을 위한 전계 발광 디스플레이(electroluminescent display, ELD)는 꾸준한 발전을 이루어 왔다. 1969년에는 미량의 발광 중심체를 모체에 첨가하여 매우 밝은 휘도의 박막 전계발광(thin-film electroluminescence, TFEL) 소자를 개발하였으며^[1], 1974년에는 2 중 절연층 구조의 TFEL 소자를 개발하여 장시간 동안 안정되게 사용할 수 있게 되었다^[2]. 그러나 천연색 재현을 위하여 적

* 正會員, 檀國大學校 情報디스플레이 研究所

(Information Display Research Center, Dankook Univ.)

** 正會員, 南서울大學校 電子情報通信工學部

(Electronics and Information Communication Eng., Namseoul Univ.)

*** 正會員, 檀國大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Dankook Univ.)

接受日字:1999年8月10日, 수정완료일:2000年1月3日

색, 녹색 및 청색의 3 원색 중 적색과 녹색 발광은 각각 ZnS:Mn/filter 및 ZnS:Tb 형광체를 사용하여 요구하는 휘도를 만족시키고 있는 반면, 청색 발광은 휘도가 미약하여 ELD 발전에 주요한 장애 요인이 되고 있다.

SrS:Cu TFEL 소자의 발광 특성은 A. Vecht 등에 의해서 1981 년 처음으로 발표^[3]된 이후, 녹색 발광 또는 매우 낮은 휘도의 청색 발광 등 여러 가지가 발표되었고, 발표된 자료끼리 일치하지 못하는 면도 있었다. 1990 년대 초부터 AES(alkaline earth sulfide) 모체에 Cu 이온이 첨가된 형광체에 대한 빛 발광(photoluminescence, PL) 및 음극선 발광(cathodoluminescence, CL)이 체계적으로 연구, 발표되기 시작하였으며 현재에는 Cu 이온에 대한 발광 기구와 발광 센터들이 많은 부분 알려지고 있다^[4-6]. 그러던 중 1997년 S. S. Sun 등에 의해서 스퍼터링 방법으로 제작된 SrS:Cu TFEL 소자로부터 매우 높은 휘도와 고색순도의 청색 형광체가 발표^[7]되면서 ELD는 천연색 재현을 위한 새로운 전기를 맞고 있으며, 현재에는 재현성을 위하여 발광 기구, 발광 스펙트럼 및 다양한 증착 방법 등을 연구하고 있다^[8-12].

본 논문은 TFEL 소자의 가장 유망한 청색 형광체로 알려져 있는 SrS:Cu를 연구 대상 형광체로 선정하여 부활성체에 따른 SrS:Cu,X TFEL 소자의 광학, 전기적 특성을 평가하였다. SrS:Cu,X 형광체는 전자빔 증착 장비를 이용하여 증착시켰다. 전자빔 증착 장비를 이용할 경우 다른 증착 장비에 비하여 월등히 높은 증착율을 나타내는 장점을 가지고 있으며, 현재까지 SrS:Cu 형광체에 대해서는 전자빔 증착장비를 이용하여 제작, 발표된 바가 없다.

II. SrS:Cu,X TFEL 소자의 제작

Indium tin oxide(ITO) 투명 전극과 AlTiO₃(ATO) 절연체가 증착되어 있는 Corning 7059 glass를 이용하여 SrS:Cu,X TFEL 소자를 제작하였다. SrS:Cu 형광체를 증착하기 위하여 SrS(Cerac, 99.9%) 및 Cu 미분말을 사용하였으며 10⁻⁴ g까지 측정할 수 있는 전자 저울(Mettler, AJ180)로 무게를 정확히 측정한 후, 마노에서 20 분 동안 혼합하였다. 발광 중심체는 Cu 미분말 외에 Cu 원자에 S, F 또는 Cl 등이 첨가된 물질을 사용하였고, 농도는 모두 0.2 at%였다. 혼합된 분말은 상온에서 2 ton/cm²의 힘으로 가압하여 전자빔 증착 장비

의 소오스 재료로 사용하였다. 혼합, 성형된 SrS:Cu,X 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 낮아지면 ITO glass 온도를 500 °C로 올린 후, 전자빔 전류 20~40 mA, 형광체 증착율 5~10 Å/sec의 조건에서 형광층 두께를 6000 Å~8000 Å으로 증착시켰다. 일반적으로 CaS, SrS 등 황을 포함한 형광체를 전자빔으로 가열, 증착시킬 경우 형광체 모체는 Sr(또는 Ca)와 S가 분해되었다가 기판에서 다시 결합하는 것으로 알려져 있다. 이 과정에서 증착된 형광체 박막은 황의 결핍 현상이 나타나며 TFEL 소자의 휘도를 저하시키는 원인이 된다. 본 연구에서는 이러한 황의 결핍 현상을 방지하기 위하여 전자빔 증착 장비 내부의 K-cell에 황 분말을 넣은 후, K-cell 온도를 95 °C로 상승시켜 황을 기화시키고 챔버 내부를 황 분위기로 만든 후에 형광체를 증착시켰다.

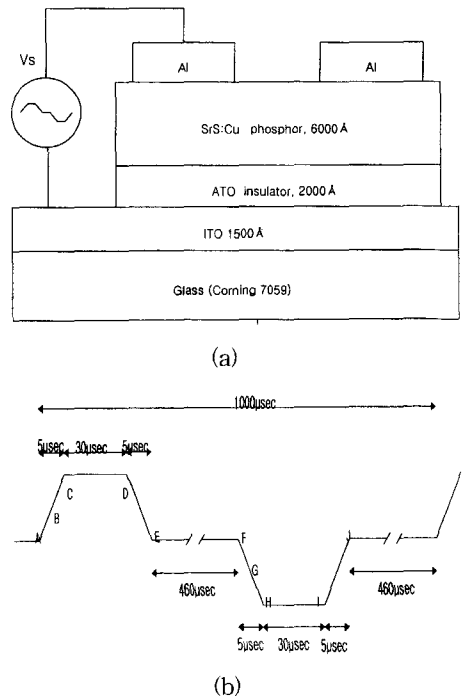


그림 1. (a) 제작된 SrS:Cu,X TFEL 소자의 구조 (b) 인가 전압의 파형
Fig. 1. (a) Cross sectional structure of SrS:Cu,X TFEL device, (b) waveform of applied voltage.

형광층 결정은 절연층/형광층 계면에 포획된 전자가

형광층으로 터널링 된 후, 운동 에너지를 얻는 양과 매우 밀접한 관계에 있고 TFEL 소자의 휘도에 매우 큰 영향을 미치므로 급속 열처리(rapid thermal annealing, RTA) 과정을 통하여 향상시켰다. 로터리 펌프로 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ torr로 배기 시킨 다음, 초고순도 질소를 공급하여 대기압 상태가 되면 800 °C에서 3 분 동안 열처리하였다.

형광체를 열처리한 다음, thermal evaporator 장비를 이용하여 상부 전극으로 Al을 증착시켜 TFEL 소자를 완성시켰으며 그 구조를 그림 1-(a)에 나타내었다. 그림 1-(b)는 제작된 SrS:Cu,X TFEL 소자에 인가한 전압 파형이다. 시간에 따른 전압의 기울기가 일정한 각각의 순간에 전하의 변화를 정확히 측정할 수 있다.

III. 실험 결과 및 검토

그림 2는 800 °C에서 3 분 동안 열처리된 SrS:Cu 박막의 X-ray diffractometer (XRD) 분석 결과이다. ITO glass 위에 증착된 SrS:Cu 형광체 박막과 같은 증착 조건에서 Si-wafer(n-type, (100), 1.0~10.0 Ωcm) 위에 증착되었다. JCPDS(joint commission for powder diffraction standards) 카드내의 SrS 분말에 대한 XRD 패턴을 나타내는 8-489^[13]와 비교하면 25.6°, 29.7°, 42.4°, 50.3° 및 52.6° 에 나타나는 각각의 피크는 SrS 박막의 (111), (200), (220), (311) 및 (222) 면임을 알 수 있고 증착된 박막은 주로 (200) 방향으로 결정이 성장되었다. SrS 박막의 (200) 결정과 54° 에서 보이는 Si (100) 단결정의 반치폭(full width at half maximum, FWHM)을 비교할 때, 2 가지 결정의 반치폭 차이가 0.081° 로 매우 적어 제작된 SrS 박막은 매우 큰 결정을 가짐을 예측할 수 있다.

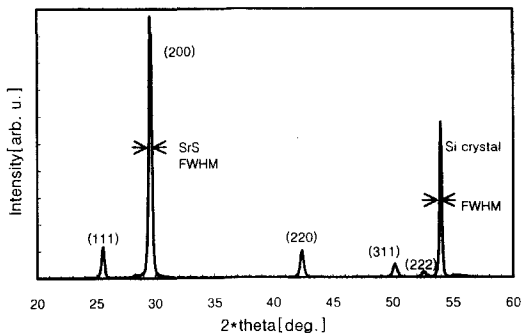


그림 2. SrS:Cu 박막의 XRD 패턴
Fig. 2. XRD pattern of SrS:Cu thin-film.

그림 3은 SrS 모체에 각각 Cu, CuF₂, Cu₂S 또는 CuCl의 발광 중심체를 첨가하였을 때의 전계 발광 스펙트럼이다. 그림 3-(a)는 Cu 미분말을 첨가했을 때의 발광 스펙트럼으로 최대 발광 파장은 505 nm였고, 475 nm와 554 nm에도 발광 파장을 나타내었다. 발광 되는 빛의 CIE(commission internationale de l'Eclairage) 색 좌표는 x=0.28, y=0.44로 녹색 빛을 나타내었다. 475 nm에서의 발광은 2 개의 Cu 이온쌍이 상호 작용할 때 발광하는 dimer에 의한 발광으로 판단되며, 505 nm와 554 nm에서의 발광은 각각 3 개의 Cu 이온쌍(trimer) 및 4 개의 Cu 이온쌍(tetramer)에 의한 것으로 판단된다^[5]. 그림 3-(b), (c)는 각각 CuF₂, Cu₂S를 발광 중심체로 첨가했을 때의 발광 스펙트럼이다. SrS:CuF₂ TFEL 소자는 532 nm에서 최대 발광 파장을 나타내었고, 414 nm, 480 nm 및 572 nm에도 또 다른 발광 파장을 나타내어 전체적으로 녹색인 x=0.29, y=0.54의 CIE 색 좌표를 나타내었다. Cu₂S를 첨가한 경우는 518 nm에서 최대 발광 파장을 479 nm와 550 nm에도 또 다른 피크를 나타내어 방출되는 빛의 CIE 색 좌표는 x=0.29, y=0.49로 역시 녹색이었다. CuF₂ 또는 Cu₂S를 발광 중심체로 첨가한 형광체의 발광 스펙트럼에서 각각 480 nm와 479 nm는 dimer에 의한 발광이고, 532 nm와 518 nm는 trimer에 의한 발광으로 판단된다. 발광 중심체가 형광체 모체에 균일하게 분포하여 dimer에 의한 발광은 증가하고 trimer에 의한 발광이 감소된다면 스퍼터링 방법으로 제작, 발표된 SrS:Cu TFEL 소자의 발광 스펙트럼과 매우 유사하다^[7]. 그림 3-(d)는 CuCl를 발광 중심체로 첨가했을 때의 전계 발광 스펙트럼이다. 최대 발광 파장은 500 nm였으며 468 nm에도 발광 파장을 가진다. 500 nm와 468 nm는 각각 trimer와 dimer에 의한 발광으로 판단되며 CIE 색 좌표는 x=0.21, y=0.33로 청색 빛이 발광되었다. 이것은 최근까지 가장 유망한 청색 형광체로 알려져 있는 SrS:Ce의 CIE 색 좌표 x=0.19, y=0.38과 비교한다면 매우 좋은 색순도의 청색을 발광하는 것으로 TFEL 소자의 청색 형광체로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

Cu 이온의 4 가지 발광 센터중에서 발광에 기여하는 주요한 센터는 dimer와 trimer이며, 이중에서 좋은 색순도의 청색을 얻기 위해서는 Cu 이온을 균일하게 첨가하여 dimer 센터를 증가시켜야 한다. Cu 발광 중심체를 SrS 모체에 균일하게 도핑시키는 방법으로 혼합

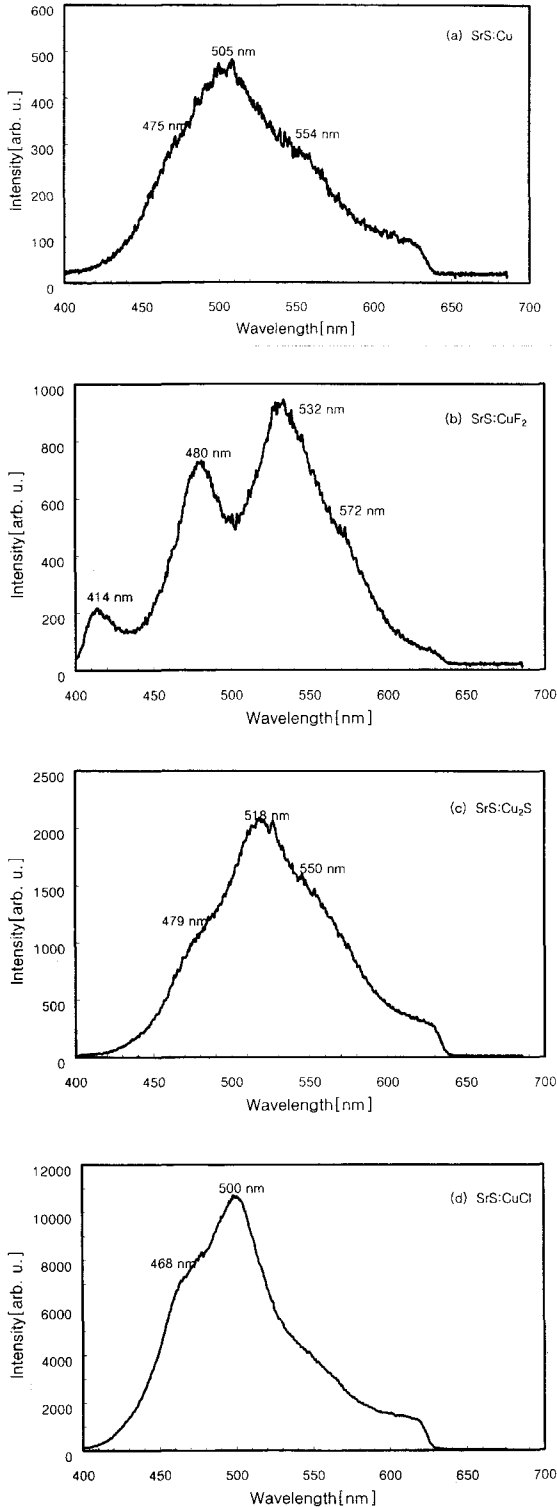


그림 3. 부활성제에 따른 SrS:Cu,X TFEL 소자의 발광 스펙트럼

Fig. 3. Emission spectra of SrS:Cu,X TFEL devices depending on coactivators.

된 분말을 고온에서 소결하는 것을 고려할 수 있다. 고온 소결 과정에서 Cu 이온이 확산되어 SrS 모체에 균일하게 분포하여 dimer 발광 센터가 증가할 것으로 생각되기 때문이다. 그런 경우의 전계 발광 스펙트럼은 그림 3-(d) 보다도 더욱 좋은 청색 발광을 얻을 것으로 기대된다. 부활성제에 따른 발광 스펙트럼의 변화는 Cu 이온의 발광 천이 준위($3d^9 4s \rightarrow 3d^{10}$)^[5]가 최외각에 위치하고 있기 때문에 부활성제에 따라 발광 천이 준위에 미치는 결정장(crystal field)이 다름을 의미한다. 발광 천이 준위가 최외각에 위치하고 있는 CaS:Eu 형광체에서도 F, Cl 및 S 등의 부활성제에 따라 최대 발광 파장이 640 nm~660 nm의 범위에서 발광하는 것으로 보고된 바 있다^[14].

그림 4는 그림 1-(b)와 같은 사다리꼴 전압을 제작된 SrS:Cu,X TFEL 소자에 공급하여 측정된 휘도-전압(luminance-voltage, L-V) 특성을 나타낸다. 4 가지 L-V 특성 곡선 모두 인가 전압이 문턱 전압보다 작을 때에는 휘도가 미약하였다가, 문턱 전압 이상에서 휘도가 급격히 증가된 후 서서히 포화되는 특성을 나타내어 TFEL 소자의 전형적인 L-V 특성과 정확히 일치한다. SrS:Cu₂S TFEL 소자의 문턱 전압은 55 V였으며, 문턱 전압보다 40 V 높은 95 V에서의 휘도(L_{40})는 1443 cd/m^2 , 문턱 전압보다 20 V 높은 75 V에서의 발광 효율(η_{20})은 2.44 lm/w 를 나타내었다. SrS:Cu TFEL 소자는 문턱 전압, 휘도(L_{40}) 및 발광 효율(η_{20})이 각각 55 V, 837 cd/m^2 및 1.66 lm/w 를 나타내었다. 현재까지 TFEL 소자의 가장 좋은 녹색 형광체로 알려져 있는 ZnS:Tb의 효율이 $0.5 \sim 1 \text{ lm/w}$ ^[15]와 비교하면 본 연구에서 제작된 SrS:Cu₂S TFEL 소자와 SrS:Cu TFEL 소자의 발광 효율이 더욱 높음을 알 수 있으며 새로운 녹색 형광체로 사용할 수 있을 것으로 기대되었다. SrS:CuCl TFEL 소자의 문턱 전압은 60 V였으며, 문턱 전압보다 40 V 높은 100 V에서의 휘도(L_{40})는 262 cd/m^2 , 문턱전압보다 20 V 높은 80 V에서의 발광 효율(η_{20})은 0.26 lm/w 를 나타내어 제작 조건을 최적화시켜 휘도와 발광 효율을 좀더 향상시킨다면 새로운 청색 형광체로의 활용 가능성을 확인하였다. SrS:CuF₂ TFEL 소자는 문턱 전압, 휘도(L_{40}) 및 효율(η_{20})이 각각 91 V, 40.7 cd/m^2 및 0.016 lm/w 를 나타내었다.

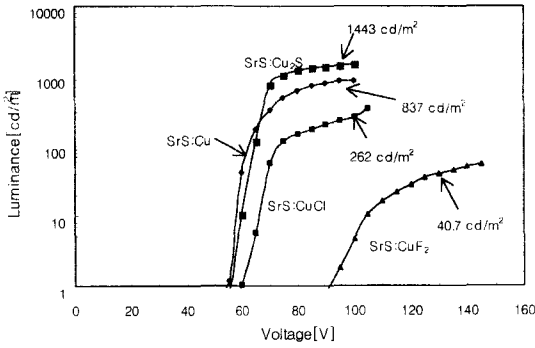


그림 4. 부활성제에 따른 SrS:Cu,X TFEL 소자의 L-V 특성
 Fig. 4. L-V characteristics of SrS:Cu,X TFEL devices depending on coactivators.

위의 4 가지 SrS:Cu,X TFEL 소자 중에서 녹색 빛을 발생시키는 SrS:Cu₂S TFEL 소자는 현재 녹색 발광 소자로 사용되고 있는 ZnS:Tb TFEL 소자에 비교하여 월등히 높은 발광 효율을 나타내어 새로운 녹색 형광체로 활용이 기대되기 때문에 전기적 특성을 측정하였다. 그림 5에는 SrS:Cu₂S TFEL 소자에 사다리꼴 전압을 인가하여 측정된 전하-전압 (charge-voltage, Q-V) 및 이동전하(변위전하)-전압(transferred charge(displacement charge)-voltage, Q_t(Q_d)-V) 특성을 나타내었으며 반복 실험하였을 경우에도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 5에서 A~J 까지의 문자는 그림 1-(b)의 입력 파형에 표시된 점의 위치를 표시한 것이고, Q⁺, Q⁻는 TFEL 소자의 Al 전극에 유기된 전하가 양이면 Q⁺, 음이면 Q⁻로 나타내었으며, 아래 첨자 e는 TFEL 소자의 상부 전극 Al과 하부 전극 ITO에서 측정된 양을 의미한다. 그림 5-(a)에서 인가 전압이 80 V 까지 증가되면서 전압의 크기에 따라 전하의 기울기가 다른 2 가지 영역이 존재한다. Q-V 특성 곡선의 기울기가 변화하는 62 V가 SrS:Cu₂S TFEL 소자의 문턱 전압임을 알 수 있다. 또한 전하의 기울기가 작은 A~B까지는 형광층이 breakdown되기 전이므로 절연층 커패시턴스 C_i와 형광층 커패시턴스 C_p의 직렬 합으로 표현되며, 곡선의 기울기로부터 12.5 nF/cm²임을 알 수 있다. B ~ C까지는 형광층이 breakdown되어 절연층만의 커패시턴스 C_i를 가지며 기울기로부터 60 nF/cm²임을 얻었다. 이것으로부터 형광층 커패시턴스 C_p는 15.8 nF/cm², 절연층 커패시턴스 C_i는 60 nF/cm²임을 알 수 있다. SrS 모체의 유전상수가 9.4이므로 두께 6000 Å, 면적 1 cm²를 가정하여 커패시턴스를 계산하

면 13.9 nF/cm²가 되고 실험에서 얻은 커패시턴스 C_p 값인 15.8 nF/cm²와 유사하여 실험치의 신빙성을 높여 준다. Conduction charge Q_{cond,e}는 양 또는 음의 전압이 인가되고 있는 동안 형광층의 이동 전하에 의해 Al 전극에 유기된 전하이며, 그 크기는 1.3 μC/cm²였다. Relaxation charge Q_{relax,e}는 양 또는 음의 최대 전압이 지속되고 있는 동안에 유기된 전하로 0.2 μC/cm²이었다. 또한 leakage charge Q_{leak,e}는 0 V를 유지하고 있는 동안에 계면에 포획된 전자가 이탈되어 나타나는 전하로 0.15 μC/cm²이었으며, polarization charge Q_{pol,e}은 인가 전압의 크기가 0 V를 유지하고 있는 동안에 Al 전극에 존재하는 전하로 0.5 μC/cm²이 남아 있었다. 그림 5-(b)에는 SrS:Cu₂S TFEL 소자의 인가 전압 크기에 따른 이동 전하와 변위 전하의 변화를 각각 실험과 점선으로 나타내었다. 이동 전하는 다음 (1) 식^[16]을 이용하여 얻었으며, 변위 전하는 그림 5-(a)의 전하에서 이동 전하를 빼내어서 얻었다.

$$Q_t = \left(\frac{C_i + C_p}{C_i} \right) C_s V_s - C_p V_{el} \quad (1)$$

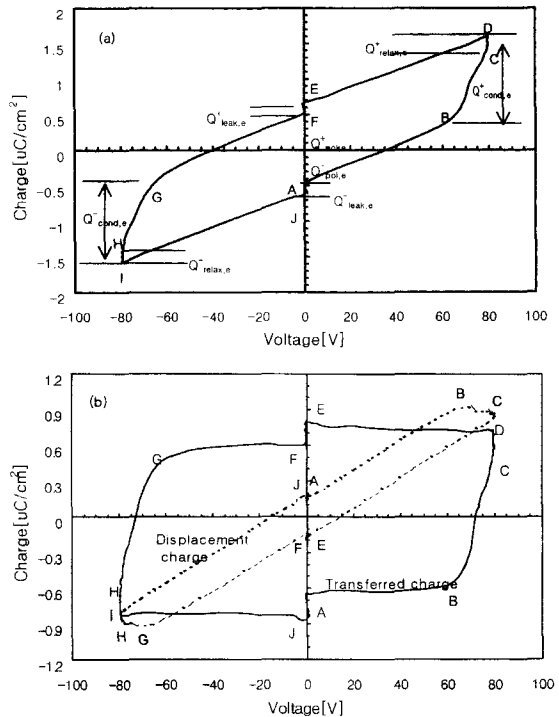


그림 5. SrS:Cu₂S TFEL 소자의 (a) Q-V, (b) Q_t(Q_d)-V 특성
 Fig. 5. (a) Q-V, (b) Q_t(Q_d)-V characteristics of SrS:Cu₂S TFEL device.

여기서 Ci, Cp, Cs, Vs 및 Vel은 각각 절연층 커패시턴스, 형광층 커패시턴스, 센서 커패시턴스, 센서 전압 및 TFEL 소자의 전압을 의미한다.

Al 전극에 양의 전압이 증가되면 유기된 전하도 양으로 증가되어야 하기 때문에 그림 5-(b)에서 양의 기울기를 나타내는 영역이 양의 전압이 인가된 것을 알 수 있다. 62 V 이하에서 점선은 증가하고 실선은 일정하며, 62 V 이상에서는 점선은 일정하고 실선은 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉 62 V 이하의 작은 전압에서는 변위 전하만 유기되고 이동 전하는 변화가 없으며, 62 V 이상에서는 변위 전하는 변화가 없고, 이동 전하만이 유기됨을 알 수 있다. 이동 전하와 변위 전하는 각각 $1.3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, $0.3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 만큼 유기되었다.

IV. 결 론

전자빔 증착 장비를 이용하여 SrS:Cu,X TFEL 소자를 제작하였다. 형광체 모체는 SrS를 사용하였고, 발광 중심체로는 Cu, Cu₂S, CuCl 또는 CuF₂ 미분말을 사용하였다. ITO가 증착된 Corning 7059 glass 온도 500 °C, 전자빔 전류 20~40 mA, 형광체 증착율 5~10 Å/sec의 조건에서 형광층 두께를 6000 Å~8000 Å로 증착시킨 다음, 800 °C에서 3 분 동안 열처리하여 TFEL 소자를 제작하였다.

SrS:Cu₂S TFEL 소자는 518 nm에서 최대 발광 파장을 나타내었다. 방출되는 빛의 CIE 색 좌표는 $x=0.29$, $y=0.49$ 로 녹색이었으며 문턱전압, 휘도(L_{40}) 및 효율(η_{20})은 각각 55 V, 1443 cd/m² 및 2.44 lm/w였다. 이와 같은 발광 특성은 현재까지 녹색 형광체로 사용되고 있는 ZnS:Tb의 발광 효율 0.5~1 lm/w와 비교하면 더욱 높은 효율을 나타내는 것으로 향후 새로운 녹색 형광체로 사용할 수 있을 것으로 기대되었다. Q-V 및 Q₀(Q₀)-V 특성으로부터 형광층 커패시턴스 Cp는 15.8 nF/cm², 절연층 커패시턴스 Ci는 60 nF/cm²임을 알 수 있었으며, 이동 전하와 변위 전하는 인가 전압의 크기에 따라 명확하게 구분되어 유기되었고 크기는 각각 $1.3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, $0.3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 이었다. SrS:CuCl TFEL 소자는 최대 발광 파장이 500 nm였으며 발광 스펙트럼의 CIE 색 좌표는 $x=0.21$, $y=0.33$ 로 청색 빛이 발광되었다. 이것은 최근까지 가장 유망한 청색 형광체로 알려져 있는 SrS:Ce의 CIE 색 좌표 $x=0.19$, $y=0.38$ 과 비

교한다면 매우 좋은 색순도의 청색을 발광하는 것이다. 문턱전압, 휘도(L_{40}) 및 효율(η_{20})은 각각 60 V, 262 cd/m² 및 0.26 lm/w를 나타내어 제작 조건을 최적화시켜 휘도와 발광 효율이 개선된다면 새로운 청색 형광체로의 활용 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] E. W. Chase, R. T. Hepplewhite, D. C. Krupka, and D. Kahng, "Electroluminescence of ZnS lumocen devices containing rare-earth and transition-metal fluorides," J. Appl. Phys., Vol. 40, No. 6, pp. 2512-2519, 1969.
- [2] T. Inoguchi, M. Takeda, Y. Kakihara, Y. Nakata, and M. Yoshida, "Stable high-brightness thin film electroluminescent panels," SID 74 Digest, pp. 84-85, 1974.
- [3] A. Vecht, M. Waite, M. H. Higton, and R. Ellis, "DC electroluminescence in alkaline earth sulphides," J. Lumin., Vol. 24/25, pp. 917-920, 1981.
- [4] Y. Nakanishi, K. Natsume, Y. Fukuda, and G. Shimaoka, "Luminescent properties of CaS phosphors activated by copper and fluorine," J. Crystal Growth, Vol. 101, pp. 462-465, 1990.
- [5] N. Yamashita, K. Ebismori, and K. Nakamura, "Luminescence from the aggregated Cu⁺ centers in SrS:Cu⁺," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, Part 1, No. 9A, pp. 3845-3850, 1993.
- [6] N. Yamashita, K. Ebisumori, and K. Nakamura, "Photoluminescence properties of the(Ca,Sr)S:Cu⁺ powder phosphors," J. Lumin., Vol. 62, pp. 25-31, 1994.
- [7] S. S. Sun and E. Dickey, "A bright and efficient new blue TFEL phosphor" 17th IDRC, pp. 301-304, Toronto, Canada, Sep. 15-19, 1997.
- [8] S. S. Sun, "Blue emitting SrS:Cu TFEL phosphor development," 18th IDRC(Asia Display '98) Workshop digest of technical papers, pp. 275-281, Seoul, Korea, Sep. 28, 1998.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] H. Fukada, K. Yamabe, T. Fujiwara, K. Ohmi, S. Tanaka, H. Kobayashi, and N. Yamashita, "Luminescent characteristics of Cu⁺ centers in SrS thin films prepared by hot-wall deposition," The fourth international conference on the science and technology of display phosphors, pp. 323-326, Toronto, Canada, Sep. 14-17, 1998.
- [13] Joint commission for powder diffraction standards(JCPDS) card, 8-489.
- [14] 조재철 박사 학위논문, "부활성제에 따른 CaS:Eu 전계발광소자의 발광특성", 전남 대학교, 1995
- [15] Y. A. Ono, "Electroluminescent displays," World Scientific, 1995.
- [16] E. Bringuier, "Charge-transfer in ZnS-type electroluminescence," J. Appl. Phys., Vol. 66, pp. 1314-1325, 1989.

 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

柳 昶 根(正會員)
 1956년 2월 19일생. 1993년 8월 : 단국대학교 전자공학과 공학박사. 1994년 3월~현재 : 남서울대학교 전자정보통신공학부 조교수. 주관심 분야 : 평판 디스플레이, 모델링