

후막 전계 발광 소자의 Carbon과 Silver 전극 특성

Carbon and Silver Electrode Properties of Power Electroluminescent Device

이종찬^{*}, 성현호^{**}, 조황신^{***}, 박용규^{*}, 박대희^{*}
(Jong-chan Lee, Hyun-ho Sung^{**}, Whang-sin Cho^{***}, Yong-kyu Park^{*}, Dae-hee Park^{*})

Abstract

In this paper, carbon and silver electrode properties of power electroluminescent device were investigated. Devices were manufactured by screen-printing and manufactured devices were measured following things with variable applied voltage; emission spectra, transferred charge density, brightness and current. A continuous test at 65°C of temperature and 95% of humidity was operated. The brightness of devices which were made of silver and carbon electrode at 100V was 67.03cd/m² and 60.02cd/m² respectively. In case of device, which was made of silver electrode, a black spot was formed after 72 hours and degraded but carbon electrode was stable.

Key Words(중요용어) : 후막 전계 발광소자, 전극, Carbon, Silver

1. 서 론

정보사회의 발전과 함께 정보 교환의 중요성이 더욱 증대되고, 그 중에서도 인간의 시각을 만족하는 영상정보 표시소자는 중요한 위치에 있다. 최근에는 초대형화 및 휴대성이 용이한 평판 표시 소자를 요구하는 추세에 따라 점차 박형화가 가능한 LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), FED(Field Emission Display) 및 ELD(Electroluminescent Device)의 상용화가 진행되고 있다. 특히, LCD는 집적회로를 사용하는 전자 기기에 적합한 저전압, 저소비전력으로 동작하고 음극선관(Cathode Ray Tube; CRT)의 큰 부피에 비해 아주 얇은 특성을 지니고 있어 휴대용 소형 전자 기기의 표시장치에 가장 적합하다. LCD는 외부에서 받은 빛을 산란하는 수광형이므로 어두운 곳에서는 보이지 않고, 후면 발광(Backlight)이 밝을수록 양호한 표시를 할 수 있다. 후면 발광 소자는 도광판을 사용하는 발광 다이오

드(Light Emission Diode; LED)와 냉음극 형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp; CCFL), 그리고 후막 전계 발광소자(Powder Electroluminescent Device; PELD)가 있다. 후막 전계 발광 소자는 박막 공정을 이용한 박막 전계 발광 소자(Thin-Film Electroluminescent Device; TFELD), 형광체를 바인더와 혼합하여 페이스트 상태로 인쇄한 후막 전계 발광 소자(Powder Electroluminescent Device; PELD)와 유기 전계 발광 소자(Organic Electroluminescent Device; OLED)로 분류되는 ELD 중 하나이다.

후막 전계 발광소자의 장점은 CCFL에 비해 소비 전력이 낮고, 도광판 없이 발광분포가 넓고 균일한 면 발광특성을 가지는 고체소자이다. 또한 생산시 제조가 용이하고 구조가 간단하여 가격 경쟁력이 우수하고, 기계적 특성이 유연한(flexible) 박형으로 설치가 좋은 장점을 소유하고 있다. 이러한 관점에서 소형의 LCD가 사용되는 이동통신단말기 및 PDA 단말기, GPS용 단말기 등에 적합하다. 그러나 단점은 공극 형성에 의한 흑점 발생, 공극의 채널형성으로 인한 전기적 단락 및 수명 단축의 내구적 문제점이며, 해결책으로 형광체의 코팅, 방습 및 흡습 필름의 사용, 선택적 전극재료 특성과 인가신호

* 원광대학교 전기·전자공학부

** 전자부품연구원

*** 중앙대학교 물리학과

의 duty ratio 조정 등이 있다.

본 연구에서는 후막 전계 발광소자의 배면 전극 재료로 사용되는 Carbon 과 Silver의 특성을 조사하였다. 소자 제작은 스크린 프린팅으로 하였고, 제작된 소자는 인가 전압에 따른 발광 스펙트럼, 이동 전하밀도, 발광 휘도 및 전류를 측정하였다. 또한 65°C, 습도 95%에서 연속 동작 실험을 하였다.

2. 실험

후막 전계 발광 소자의 구조는 바인더에 형광체나 절연체를 혼합한 페이스트를 스크린 프린팅(screen printing) 방법으로 도포하여 투명한 전극과 배면전극 사이에 형광층과 절연층을 차례대로 적층하였다. 형광층, 절연층과 배면전극이 각각 형성된 후 130°C의 오븐에서 5분간 건조시켰다.

소자의 역학적 지지대 역할과 투명전극의 특성을 가진 기판은 Toray사의 ITO film(100Ω/□)을 사용했으며, 형광체는 Dupont 7154를, 절연체는 Dupont 7153을 사용하였다. 배면전극은 Dupont 7145L Silver와 Dupont 7144 Carbon을 각각 사용하였다.

소자 제작은 배면전극의 종류에 따라 두 가지 구조로 하였다. 그림 1은 Silver를 사용한 소자와 Carbon을 사용한 소자의 측면 구조이다.

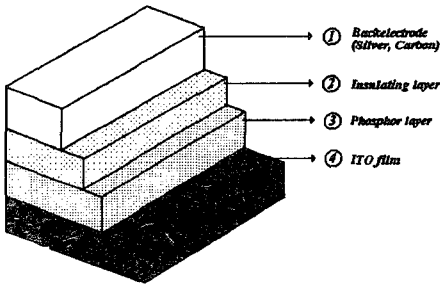


그림 1 후막 전계 발광소자의 측면구조 : ITO film/형광체/절연체/Silver or Carbon

제작된 소자는 전압 변화에 따라 휘도와 전류를 측정하였다. 또한 발광현상을 고찰하기 위하여 전압 증가에 따라 이동전하밀도를 측정하였다.

발광층 내부에서 이동되는 전하밀도를 측정하기 위해 그림 2와 같은 Sawyer-tower 회로를 이용하였다. Sawyer-tower 회로는 capacitor 용량이 큰 Sense capacitor C_s 를 후막 전계 발광소자와 직렬로 연결하여 소자의 축적 전하량을 측정한다[1]. 실제

로 사용한 C_s 의 용량은 0.05 μF 이다. 이 회로에 전압이 인가되면 소자의 전극계면에 있던 전차가 형광층으로 주입되면서 형광층이 도체로 작용한다. 그리고 절연층과 전극사이의 계면에 전하가 축적되어 양단의 전압이 변화된다. 이때 절연층의 전압 변화량과 등전위차로 C_s 캐패시터에 전압 변화를 가져오게 된다. 회로상에서 캐패시터 양단에 걸린 전압을 오실로스코프 Y축에 연결하고 인가전압을 X축에 연결하면 인가 전압(V)과 축적된 전하량(Q)의 관계 도형을 얻을 수 있다. Q-V 도형에서 V가 0인 곳에서 Q의 변화량으로 결정되는 전하밀도 $\Delta Q = \frac{\Delta V_s C_s}{A}$ 와 C_i (절연층의 캐패시턴스), C_p (형광층의 캐패시턴스), C_T (전체 소자의 캐패시턴스)를 각각 결정할 수 있다[1].

C_T 와 C_i 는 Q-V 도형에서 기울기 $\frac{\Delta Q}{\Delta V}$ 로 정해진다. 첫번째 기울기는 전체 캐패시턴스 C_T 를 나타내며, 두번째 기울기는 절연층의 캐패시턴스 C_i 이다. 따라서 형광층의 캐패시턴스는 다음 식으로 나타낸다.

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_T} - \frac{1}{C_i} \quad (1)$$

실제로 이동전하밀도 ΔQ 는 Q-V 도형에서 나타낸 두 기울기의 끝단 모서리에서 측정되는 축적 전하량의 차이지만 모서리에서의 정확한 측정이 곤란하므로 $\Delta Q'$ 를 측정하여 다음과 관계식으로 결정한다.

$$\Delta Q = \Delta Q' \times a \approx \Delta Q' \times \frac{C_i + C_p}{C_i} \quad (2)$$

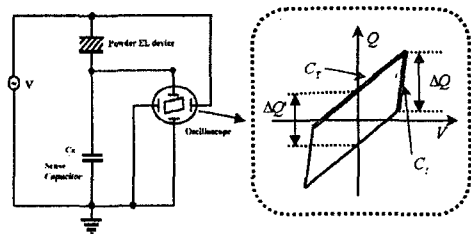


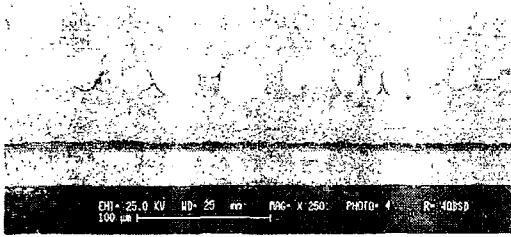
그림 2 이동전하밀도 측정을 위한 Sawyer-Tower 회로

3. 결과 및 토의

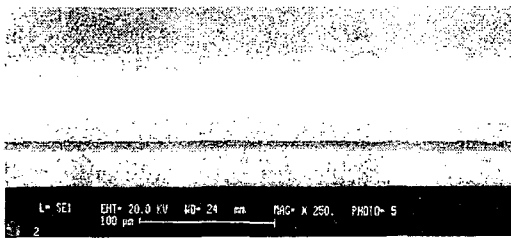
그림 3은 (a) 형광체/절연체/Silver 와 (b) 형광체/절연체/Carbon 구조로 제작한 소자의 주사 전자현미경 (Scanning Electron Microscope; SEM) 사진이다.

후막 전계 발광소자는 형광체와 절연체 입자가 바인더에 섞여 후막으로 형성되는 재료·구조적 특성에 의해서 형광층과 절연층의 계면은 그림 3과 같이 뚜렷하지 않았고, 부분적으로 절연층이 형광층에 혼합되어 있다.

소자의 불량 원인은 수분 침투에 의한 형광층의 열화, 소자내부에 남아있는 바인더 잔류기포의 발생, 형광층과 ITO필름의 접착특성 저하로 국부적인 전계 집중 형성 등으로 기인한다. 또한 형광층의 두께가 불균일하게 형성되는 경우 두께가 얇은 쪽에 전계가 집중되고, 특정부위의 형광체가 조기 열화되는 경우도 있다. 따라서 소자의 휘도 및 내구성을 위해 형광체 및 절연체를 바인더와 충분히 섞어서 소자를 제작했고, 형광층은 $30\mu\text{m}$, 절연층은 $15\mu\text{m}$, Silver 전극과 Carbon 전극은 $15\mu\text{m}$ 내외의 두께로 균일하게 형성하였다.



(a) ITO film/형광체/유전체/Silver



(b) ITO film/형광체/유전체/Carbon

그림 3 후막 전계 발광소자의 SEM 사진

그림 4는 Silver와 Carbon을 후면 전극으로 사용한 소자들의 전압변화(50~250 V, 400Hz)에 따른 발광 스펙트럼이다. 소자들은 녹색영역인 505 nm에서 peak를 갖는 발광을 하고 있다. 특히 Silver를 사용한 소자가 전압변화에서 Carbon을 사용한 소자에 비해서 발광 강도가 높았다. 이러한 결과는 Silver와 Carbon 전극사이의 면 저항의 차이 때문에 활성화된 형광층 내부에 존재하는 전하량 차이로 사료된다.

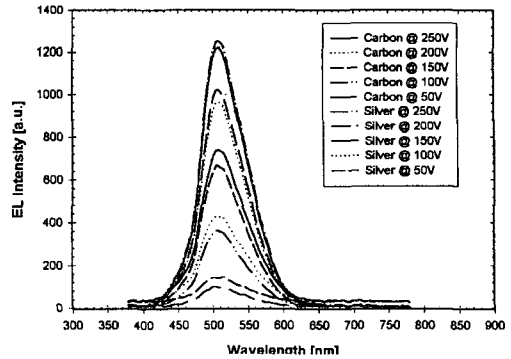


그림 4 전압 변화에 따른 발광 스펙트럼

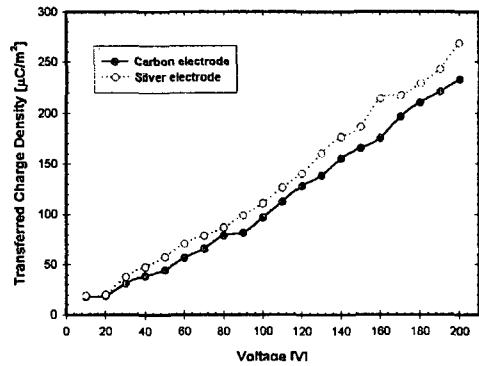


그림 5 전압 변화에 따른 이동전하밀도

그림 5는 인가전압의 증가에 따른 이동전하밀도의 변화를 나타낸 것이다. 제작된 소자들은 이동전하밀도가 전압 증가와 비례하여 증가하였다. 특히, Silver를 사용한 소자는 Carbon을 사용한 소자에 비해 증가율이 더욱 컸다. 100V와 200V에서 Silver를 사용한 소자의 이동전하밀도는 $110\mu\text{C}/\text{m}^2$ 와 $268\mu\text{C}/\text{m}^2$ 이었고, Carbon을 사용한 소자는 $96\mu\text{C}/\text{m}^2$ 와 $232\mu\text{C}/\text{m}^2$ 이었다.

소자에 전압이 인가되면 형광층과 절연층 계면에 포획되어 있던 전자가 형광층 내로 주입되어 이동전하가 된다 [2]. 인가전압이 증가하면 계면의 더욱 깊은 준위에 포획되어 있던 전자도 방출되어 형광층에 주입될 수 있는 이동전하밀도가 증가된다. Silver를 사용한 소자가 전압의 증가에 따른 이동전하밀도의 증가율이 Carbon을 사용한 소자 보다 큰 것은 일함수 차이로 형광층에 주입될 수 있는 자유전자밀도 증가로 사료된다. 그림 5에서 소자의 이동전하밀도는 Silver를 사용하여 그 증가율이 1.2배 증가되어 있다.

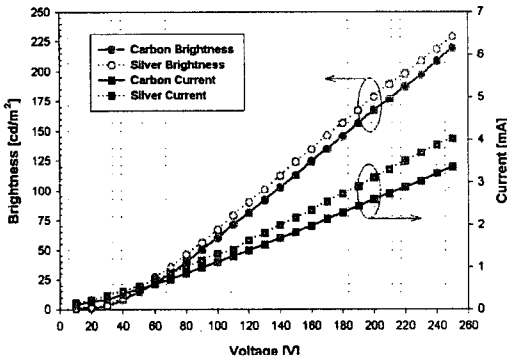


그림 6 전압변화에 따른 휘도와 전류

그림 6은 소자들에 인가된 전압을 변화시켰을 때 발광 휘도와 전류를 측정된 결과이다. 이때 인가 전압의 주파수는 400Hz이다. 소자들은 전압의 증가에 따라 휘도와 전류가 선형적으로 증가했다.

휘도가 급격히 증가하기 시작하는 문턱전압 V_{th} 는 30V였다. 이와 같은 결과는 전압과 전류의 그래프에서도 30V 이상부터 차이를 나타냈다. 특히 Silver를 사용한 소자는 휘도와 전류가 100V와 200V에서 각각 67.03cd/m^2 (1.31mA), 178.7cd/m^2 (3.10mA)이었고, Carbon을 사용한 소자는 60.02cd/m^2 (1.11mA), 167.2cd/m^2 (2.59mA)이었다.

소자에 전압이 인가되면, 절연층과 형광층의 계면에 포획되어 있던 전자들이 형광층의 전도대로 이동 및 터널링 된다. 이 주입된 자유전자는 활성층 내의 강한 전기에 의하여 양쪽 전극 방향으로 가속되어 발광중심과 충돌한다. 충돌한 에너지에 의하여 발광중심은 이온화되고, 이온화된 발광중심의 여기상태에 전도대의 자유전자가 포획되어 바닥상태로 떨어지면서 발광된다[3]. 따라서 발광 휘도는 형광층 내에 형성된 발광중심의 밀도와 주입된 자유전자의 수에 의존될 것이다. 이러한 관점에서 Silver와 Carbon 배면전극의 일함수 차이는 형광층 내로 주입되는 자유전자의 수 차이를 가질 것이다.

결과적으로 일함수가 낮은 Silver를 사용한 소자는 휘도와 전류 특성이 Carbon을 사용한 소자에 비해 우수함을 알 수 있다.

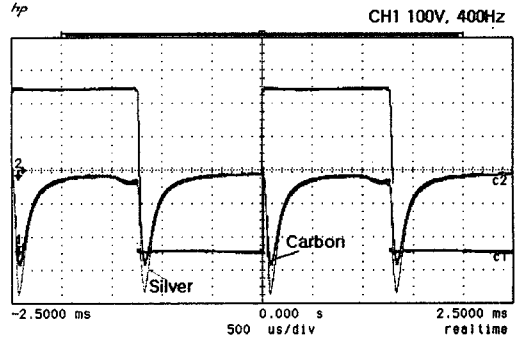


그림 7 사각파 전압에 대한 응답특성

그림 7은 100V, 400Hz의 사각파 전압을 인가했을 때 소자들의 응답특성을 나타낸 것이다. 소자의 발광은 인가전압의 반주기내에 2개의 발광을 갖는다. 전압이 상승할 때 생성되는 피크는 형광층의 발광중심이 여기 또는 이온화되어 가능한 것이다. 전압이 하강할 때 생성되는 작은 피크는 낮은 전기에서 절연층과 형광층 계면에 포획되어 있던 전자가 전기에 의해 전도대로 방출되어 자유전자가 된다. 이 자유전자는 발광중심의 여기상태에 포획되어 기저상태로 떨어질 때 발광한다 [4].

이상의 결과는 발광스펙트럼, 이동전하밀도, 발광 휘도 및 전류 특성과 동일하게 Silver를 사용한 소자가 Carbon을 사용한 소자에 비해 큰 피크를 나타냈다.

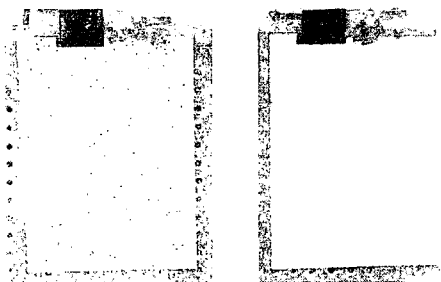


그림 8 65°C, 습도 95%에서 72시간 연속 동작 후 소자; (a) Silver 전극, (b) Carbon 전극

그림 8은 65°C, 습도 95%의 상태에서 100V, 400Hz로 72시간 연속 동작한 소자들이다. Carbon을 사용한 소자는 그림 8 (b)와 같이 소자 열화가 없는 상태이다. 그러나 Silver를 사용한 소자는 72시간 후부터 발광면에 흑점이 형성되고 열화가 되었다. 결과적으로 Silver가 Carbon에 비해 후막 전기 발광소자의 내구성에 좋지 않은 특성을 나타냈다.

4. 결 론

참고 문헌

배면 전극 재료로 Silver와 Carbon을 사용한 후막 전계 발광소자를 스크린 프린팅으로 제작하였다. 또한 인가 전압에 따른 발광 스펙트럼과 이동전하 밀도를 측정하였고, 발광 휘도 및 연속동작 특성을 조사하였다. 본 논문에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 소자들의 발광 스펙트럼은 녹색영역인 505 nm에서 peak를 갖고 있었다. 특히 Silver를 사용한 소자가 전압변화에서 Carbon을 사용한 소자에 비해서 발광 스펙트럼 강도가 컸다.

2. 100V와 200V에서 Silver를 사용한 소자의 이동전하밀도는 $110 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 와 $268 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 이었고, Carbon을 사용한 소자는 $96 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 와 $232 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 이었다.

3. Silver를 사용한 소자는 휘도와 전류가 100V와 200V에서 각각 $67.03 \text{ cd}/\text{m}^2$ (1.31mA), $178.7 \text{ cd}/\text{m}^2$ (3.10mA)이었고, Carbon을 사용한 소자는 $60.02 \text{ cd}/\text{m}^2$ (1.11mA), $167.2 \text{ cd}/\text{m}^2$ (2.59mA)이었다.

4. 사각파 전압에 대한 응답 특성은 발광스펙트럼, 이동전하밀도, 발광휘도 및 전류 특성에 동일하게 Silver를 사용한 소자가 Carbon을 사용한 소자에 비해 큰 피크를 나타냈다.

5. 소자를 65°C , 습도 95%에서 연속 동작한 결과 72시간 후부터 Silver를 사용한 소자는 표면에 흑점이 생성 형성되고 열화 되었다. Carbon을 사용한 소자는 96시간 이후에도 흑점 형성 없이 내구성이 안정했다.

이상과 같은 결과는 Silver 전극은 Carbon 전극에 비해 자유전자의 밀도가 크고, 발광휘도, 이동전하밀도, 전류 특성이 우수했다. 그러나 소자의 내구성과 관련해서 Silver는 Carbon에 비해 불안정했다. 이러한 결과는 후막 전계 발광소자의 전극재료 선택의 방안으로 소자의 구조와 전기·광학적 특성을 안정화시킬 것으로 사료된다.

- [1] Y. A. Ono, H. Kawakami, M. Fuyama, and Kenichi, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 26, No. 9, pp.1482, 1987
- [2] D. H. Smith, J. Lumin. 23, pp.209, 1981
- [3] H. Kobayashi and S. Tanaka, Proc. 5th Seoul Int. Symp.(Semicond.), pp.173, 1980
- [4] S. Tanaka, H. Yoshiyama, Y. Mikami, J. Nishiura, S. Ohshio, H. Kobayashi, Japan Display '86, pp.242, 1986