

고휘도 후막 전계발광소자를 이용한 Dot-Matrix Display에 대한 연구

이종찬*, 박대희
원광대학교 전기·전자공학부

A Study on Dot-Matrix Display using Powder Electroluminescent Device with High Brightness

Jong-chan Lee*, Dae-hee Park
School of Electrical and Electronic Engineering, Wonkwang University

Abstract - In this study, 5×5 dot-matrix display was implemented with powder electroluminescent device (PELD). Generally PELD which have a luminance from powder phosphor with electric field, inserted phosphor and dielectric layer between electrodes is basic structure. To make high brightness PELD compared to conventional device, new type of PELD was proposed as follows. New PELD had only one layer, which was mixed phosphor (ZnS:Cu) and dielectric (BaTiO₃) material appropriately between electrodes. To compare and estimate the conventional and new type of PELD, the EL spectrum, transferred charge density, brightness and decay time was measured.

As above result, we fabricated a high brightness 5×5 dot-matrix display with new type of PELD. Its brightness was 6400 cd/m² at 200 V, 400Hz.

1. 서 론

Electroluminescent Device (ELD)는 미국의 Planar, Cherry, Sigmatron Nova 등과 일본의 Sharp 및 핀란드의 Lohja 등이 생산 시판 중에 있는 박막 전계발광소자 (Thin-film ELD)와 LCD backlight로 사용되는 후막 전계발광소자 (Powder ELD)로 나뉘어진다. PELD는 충격에 강하며 대면적이 용이하고, 균일한 휘도를 얻을 수 있지만, 디스플레이에 적용하기에는 어려운 낮은 휘도를 가지고 있다.

본 연구에서는 기존의 PELD와 비교해서 고휘도를 갖는 새로운 구조의 PELD를 제시하며, 소자의 전기·광학적인 특성을 비교 분석하였고, 이것을 PELD를 이용한 5×5 dot-matrix display에 구현하였다.

2. 실 험

본 연구에서는 PELD를 이용한 5×5 dot-matrix display 구현에 앞서 기존의 PELD 모델 WK-A와 새롭게 제시한 WK-B 모델에 대하여 전기·광학적인 특성 실험을 하였다. 기존의 PELD는 그림 1 (a)에 나타난 바와 같이 서로 직교하는 두 전극사이에 삽입된 유전층/형광층 구조로 되어 있다 [1]. 새롭게 제시한 PELD는 이전의 기초연구에서 나타난 결과와 같이 형광체 입자에 높은 전계밀도를 유기시킬수 있는 유전체와 형광체가 혼합된 형태이며, 그림 1 (b)처럼 단일 발광층을 전극사이에 구성하였다.

발광층의 혼합비(유전체:형광체)와 두께는 기초실험을 통하여 얻은 결과중 가장 높은 휘도를 갖는 3:7(유전체:형광체)의 비율과 60μm 두께를 적용하였다 [2].

PELD의 역학적 지지대 및 발광의 전면 역할을 하는 기관은 도전막인 ITO(In₂O₃ + SnO₂)가 코팅된 Toray-125L (300Ω/□) ITO 필름을 사용하였다. ITO 필름 상에 붙어 있는 불순물이나 유기물질은 다음 단계에서 형성될 막에 편홀이나 결함을 일으키는 원인이 될 수 있으므로 세척에 특히 유의해야 한다. 본 실험에서는 표준세척 공정방법으로 기관을 세척하였다. ITO에 반대편 전극은 빛의 반사율이 높은 실버페이스트 (Fujikura Kasei Co., Ltd.)를 사용하였다. 형광층과 유전층은 Cyanoresin (CR-S, Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.)과 N,N-Dimethylformamide (Junsei Chemical Co., Ltd.)를 1:2.5의 비율로 혼합한 바인더에 혼합하여 스펀 코팅을 하였다. 형광체는 ZnS:Cu (Osram Sylvania 99.9 %)를, 유전체는 BaTiO₃ (99.9%)를 사용하였다.

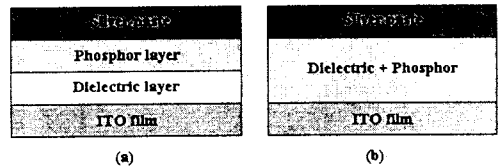


그림 1. PELD의 구조 : (a) 기존의 구조 : WK-A
(b) 새롭게 제안된 구조 : WK-B

Figure 1. Structure of PELDs : (a) Conventional structure (WK-A), (b) Newly proposed structure (WK-B)

WK-A와 WK-B의 구조로 제작된 PELD의 EL 스펙트럼은 그림 2와 같이 장치를 놓고 측정하였다. PELD에 인가되는 전원은 주파수 발생기의 신호를 증폭하여 사용하였다. EL 스펙트럼은 전압은 100V에 고정하고 주파수를 400~4000 Hz까지 변화 시키면서 측정하였다. EL 스펙트럼의 측정 및 CIE 좌표 분석은 Diode array type monochromator (PSI, DARS-2000)와 개인용 컴퓨터를 연결해서 시도했다. PELD의 휘도는 Photometer (OS-8020, PASCO Scientific)를 이용해서 측정하였다. 인가신호의 시간변화에 따라 발광특성을 알아보기 위하여, PELD에 구형파 전압을 인가하여 발광을 PM tube (Atago co., Ltd.)로 측정하였다.

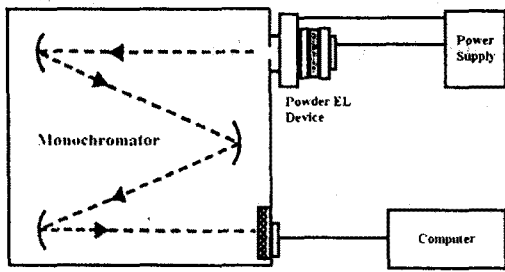


그림 2. EL 스펙트럼 측정장치도
Figure 2. Diagram of measuring equipment for EL spectrum

발광시 두 전극사이에서 PELD의 이동전하밀도를 측정하기 위하여 그림 3의 Sawyer-Tower 회로를 이용하였다 [3]. 그림 3에서 빗금친부분은 EL 소자의 등가회로이며, Cs는 소자의 캐패시터 보다 100배 정도 큰 것을 EL 소자에 직렬로 연결하여 사용한다. 실제로 사용한 Cs의 용량은 60nF이었다. 이 회로에 전압이 인가되어 계면에 있던 전자가 형광층으로 주입되면 형광층은 도체로 작용하며, 유전층에 전하가 축적되어 유전층 양단의 전압이 변화된다. 이때 유전층의 전압 변화량과 등전위차로 Cs 캐패시터에 전압의 변화를 가져오게 된다. 따라서 소자에 축적되는 전하량은 Cs 캐패시터에서의 전압 변화량을 측정하면 알 수 있다. 이 회로에서 Cs 캐패시터의 양단에 걸린 전압을 오실로스코프의 수직 축에 입력하고 인가전압을 수평축에 입력하면 인가전압 V와 소자에 축적된 전하량 Q의 관계 도형을 얻을 수 있다. 이와 같은 Q-V 다이어그램에서 이동전하밀도는 Q의 변화량으로 결정되는 전하밀도($\int V/dCs/A$)이다. 이동전하밀도 측정은 주파수를 400Hz로 고정하고 0~200 V까지 전압을 변화시키면서 측정하였다.

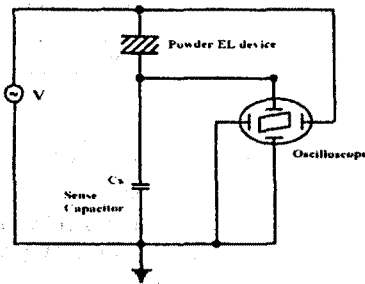


그림 3. 이동전하밀도 측정을 위한 Sawyer-Tower 회로
Figure 3. Sawyer-Tower's circuit for measuring transferred charge density

그림 4와 같이 1개의 ITO 전극과 25개의 silver paste 전극사이에서 25개의 발광 셀을 가지는 5×5 dot-matrix display는 단위 셀의 넓이가 5×5mm이며 단위 간격은 1mm이다. 구현은 기초실험에서 가장 높은 휘도를 갖은 단일 발광층의 WK-B 구조를 적용하였으며, 유전체와 형광체의 비율은 3:7. 발광층의 두께는 60μm로 하였다. 구동 방식은 그림 4와 같은 구조에서 각각 25개의 셀들을 on-off 하는 방법을 적용하였다.

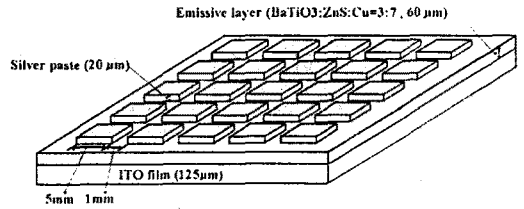


그림 4. 5×5 Dot-matrix display의 구조
Figure 4. Structure of 5×5 Dot-matrix display

3. 결과 및 토의

WK-A와 WK-B의 EL 스펙트럼은 100 V 전압을 인가하면서 주파수를 400~4000 Hz로 변화하면서 측정하였다. 그림 5의 EL 스펙트럼을 통해서 Cu는 500.4 nm와 460 nm의 peak를 갖는 발광임을 확인하였으며, 인가 주파수가 증가함에 따라 460 nm의 peak가 더욱 증가하여 blue 발광으로 전이하였다. 특히 WK-B는 스펙트럼의 강도가 WK-A에 비하여 월등히 강했으며, peak의 증가율이 큰 것을 알 수 있었다. 즉 WK-B는 저전압에서도 WK-A와 동일한 수준의 스펙트럼 강도를 얻을 수 있다. 따라서 WK-B는 저전압에서 고휘도의 동작특성을 기대할 수 있다.

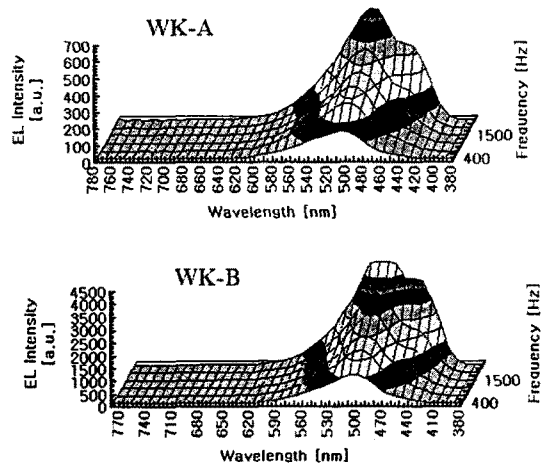


그림 5. EL 스펙트럼: WK-A, WK-B
Figure 5. EL spectrum: WK-A, WK-B

그림 6은 WK-A와 WK-B에 100 V, 400 Hz의 구형파를 인가하였을 때 발광파형을 측정된 것이다. 발광파형을 구형파 전압이 상승할 때와 하강할 때로 각각 나누어서 설명할 수 있다. PELD에 전압이 인가되면 전극과 인접한 계면에 포획되었던 전자가 형광층 내로 터널링되고,[4] 이 주입된 전자가 형광체에 걸린 강한 전계에 의하여 가속된다. 이 가속된 전자가 Cu 발광중심을 충돌여기 또는 이온화시키고, 여기 전자 또는 이온화된 Cu에 포획된 전자가 바닥상태로 전이되면서 발광하는 것이다. 전압이 하강할 경우는 전압 상승시 형광층에 주입된 자유전자가 양(+)극 계면에 축적되고, 이 축적된 전자는 인가된 전압이 떨어지면서 반대 방향의 전계를 형성한다. 이 전계에 의하여 얇은 준위에 포획되었던 전자가 여기 되고 발광을 일으키는 것이다. 그림 6에서도 WK-B의 발광 파형의

크기가 WK-A에 비해 큰 것을 알 수 있었다.

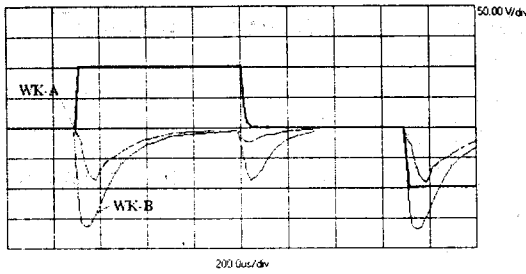


그림 6. 구형파 전압 인가시 시간에 따른 발광파형
Figure 6. EL emission under square wave voltage driving

Sawyer-Tower 회로를 이용한 이동전하밀도와 휘도를 전압변화에 따라 측정된 결과는 그림 7이다. WK-A, B 모두 전압증가에 따라 소자의 이동전하밀도와 휘도는 증가했다. 특히 WK-B는 비교적 높은 이동전하밀도를 가지고 있었다. 높은 이동전하밀도는 발광층 내부에 캐리어 밀도를 증가시켜 고휘도를 설명할 수 있다.

이와 같은 결과를 종합해보면 WK-B는 기존의 구조와 대조적으로 높은 EL 스펙트럼 Intensity를 갖았고, 200V, 400 Hz에서 6400 cd/m²의 고휘도를 나타냈으며 구형파 전압 인가시 많은 발광량을 나타냈다. 이러한 결과는 유전체와 형광체가 혼합된 형태의 WK-B는 형광체 입자가 접촉하는 전계밀도의 증가로 인하여 고휘도와 많은 발광량을 가진 것으로 사료된다.

그림 8의 CIE coordinate system에서 WK-A와 WK-B는 주파수가 증가함에 따라 EL 스펙트럼에서 나타난 결과와 같이 blue 좌표로 이동함을 볼 수 있다. WK-A는 (0.18, 0.410)부터 (0.158, 0.225)까지 넓은 채적을 갖았고 WK-B는 (0.165, 0.380)부터 (0.154, 0.210)까지 blue에 깊은 채적을 갖았다. 이 결과에서도 알 수 있듯이 WK-B의 발광층 내부의 Cu 원자에 보다 많은 전계밀도를 집중시켜 높은 에너지 준위쪽의 좌표가 나타난 것으로 사료된다.

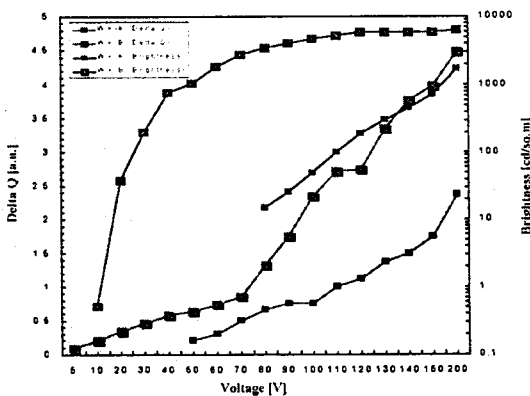


그림 7. 전압변화에 따라 이동전하밀도와 휘도
Figure 7. Transferred charge density and Brightness with Voltage variation

이상과 같은 기초실험을 통하여 고휘도를 갖는 WK-B를 기본 모델로 하였고 100 V, 400 Hz에서 4500 cd/m²를

동작하는 5×5 Dot-matrix display를 100 V를 나타내는 7-segment와 같이 그림 9에 나타내었다.

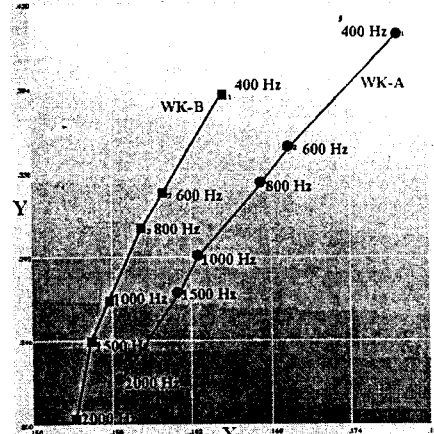


그림 8. CIE coordinate system : WK-A, WK-B
Figure 8. CIE coordinate system : WK-A, WK-B

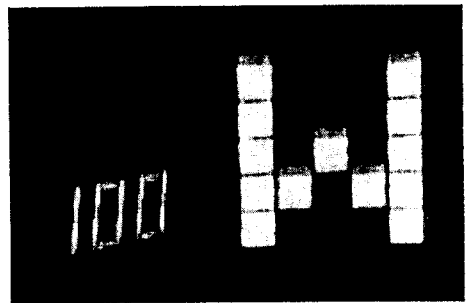


그림 9. 5×5 Dot-matrix display 구현 : 100 V, 400 Hz
Figure 9. 5×5 Dot-matrix display implementation : 100 V, 400 Hz

3. 결 론

본 연구에서는 기존의 PELD (WK-A)와 새로운 구조의 PELD (WK-B)를 제시하였으며, 이들 소자의 전기·광학적인 특성인 EL 스펙트럼, 발광파형, 이동전하밀도 및 휘도를 비교 분석하였다. 그 결과 형광체와 유전체가 혼합된 형태의 발광층을 갖는 WK-B는 형광체 입자에 전계 접촉 표면적의 증가로 인하여 발광을 일으키는 발광 중심 (Cu)에 높은 전계밀도를 집중했으며, 이와 같은 이유로 많은 발광량과 고휘도를 가진 것으로 사료된다. 최종적으로 100 V, 400 Hz에서 4500 cd/m²를 나타내는 WK-B를 5×5 Dot-matrix display로 구현하였다.

본 논문은 1998년도 원광대학교 교내 연구비에 의하여 연구되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.H. Kitai, "Solid State Luminescence", Chapman & Hall, pp.162, 1993
- [2] 이종찬, 박용규, 박대희, "ZnS:Cu를 이용한 후막 전계발광소자에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 1998 춘계학술연구논문집, 1998
- [3] D.H. Smith, J. Luminescence, 23,209, 1981
- [4] S. Asano, N. Yamashita and Y. Ogawa, Phys. Stat. Sol. {b}, 118, 89 1983