

# 구조 및 두께 변화에 따른 후막 전계 발광소자에 관한 연구 (A Study on Powder Electroluminescent Device through Structure and Thickness Variation)

오주열, 정병선, 이종찬, 박대희  
(Joo-youl Oh, Byoung-sun Jeong, Jong-chan Lee, Dae-hee Park)

원광대학교 전기 전자 공학부  
School of Electrical and Electronic Engineering Wonkwang University

## 요 약

전계 발광현상은 형광체에 전계가 인가될 때 발광하는 것으로, 본 논문에서는 고휘도의 후막 전계 발광소자 (Powder Electroluminescent Device)를 구현하기 위하여 형광층과 절연층의 구조 및 두께를 변화시켜 제작하였다. PELD의 구조로는 WK-1(투명전극/형광체/절연체/배면전극), WK-2(투명전극/형광체/절연체/형광체/절연체/배면전극), WK-3(투명전극/절연체/형광체/절연체/배면전극), WK-4(투명전극/형광체+절연체/배면전극)으로 제작하였다. 제작된 PELD들의 전기적, 광학적 특성인 EL 스펙트럼, 휘도, 이동전하밀도를 측정하여 특성을 분석하였다. 결과적으로 WK-4의 구조가 가장 좋은 발광특성을 나타냈으며, 발광층의 두께가 60 $\mu$ m일때 가장 좋은 발광특성을 나타냈다. 100V, 400Hz의 인가 전압에서 2700cd/m<sup>2</sup>의 높은 휘도를 가졌다.

## Abstract

A phenomenon of electroluminescent radiate as electric field applied in the phosphor, in this paper, we produced the Powder Electroluminescent Device (PELD) which was changing the structure and the thickness of phosphor and insulator for realization of the PELD with high brightness. We made PELD with structure that is WK-1(ITO film/Phosphor/Insulator/Electrode), WK-2( ITO film/Phosphor/Insulator/Phosphor/Insulator/Electrode),WK-3(ITO film/Insulator/Phosphor/Insulator/Electrode), WK-4(ITO film/Phosphor+Insulator/Electrode). The property of the produced PELD are analyzed by measuring the spectrum which electrical and optical property, the brightness and the transferred charge density. In this result, the structure of WK-4 have good luminescence property than others, it's effective thickness is 60 $\mu$ m. At 100V 400Hz, High brightness of 2700cd/m<sup>2</sup> was performed.

## 1. 서 론

최근 삶의 질을 추구하는 경향에 따라 쾌적한 조명 환경이 요구되고 있으며, 이에 따라 조명 분야에 대한 관심이 날로 커지고 있다. 특히, 조명 에너지 절약이라는 명제 아래 고효율 조명을 위한 전자회로 응용기술이 속속 개발되고 있으며, 이와 함께 새로운 조명 기술 및 차세대 조명을 위한 각종 광원 및 점등 시스템이 연구·개발 중에 있으며, 사회가 복잡해지고 개성화·다양화됨에 따라, 다양한 종류의 조명 광원이 필요해지게 되었다. 그 결과 새로운 광원의 개발과 함께, 광원기술의 발달에 힘입어, 특수한 광원을 조명 분야에서 활용하게 되는, 즉 새로운 용도를 개척해 나가는 경향이 생겨났다. 그 대표적인 것으로서, 전계발광(Electroluminescence)을 이용한 광원의 일종인 발광 다이오드(LED) 및 EL은, 고체 발광소자로서 저출력, 저휘도 등의 특징 때문에 그동안 표시소자 등에 국한되어 이용되어 왔으나, 최근에는 일부 조명용으로도 이용 가능성을 보이고 있다. 전류로 발광하는 주입형 EL(LED, LD)과 전계로 발광하는 진성 EL로 구분할 수 있지만, 일반적으로 EL은 진성 EL을 가리키는 경우가 많다[1].

본 논문에서는 고휘도의 후막 전계발광소자 (powder EL)를 구현하기 위하여 형광층과 절연층의 구조 및 두께를 변화시켜 제작하였다. 절연층 및 형광층은 ITO 필름 위에 스�핀 코팅법을 적용하여 층을 형성하였다. 절연체로는 높은 전계밀도를 발생시키기 위하여 유전율이 높은 BaTiO<sub>3</sub>를 사용하였고, 형광체로는 에너지 갭[2]이 비교적 커서 여러종류의 발광소자에 이용되는 ZnS에 활성제로 Cu를 첨가한 ZnS:Cu를 사용하였다. 제작된 PELD들의 전기적, 광학적 특성은 EL 스펙트럼, 휘도, 이동전하밀도를 통하여 분석하였다. 또한 고휘도를 갖는 최적의 구조와 두께를 찾았다.

## 2. 실 험

전계 발광현상은 형광체에 전계가 인가될 때 발광하는 것으로, 본 논문에서는 표1에 나타난 것과 같이 평행한 두 전극에 형광층과 절연층이 삽입된 WK-1과 2-3종 구조인 WK-2,3 그리고 형광체와 절연체를 혼합한 WK-4와 같은 4종류의 PELD 제작하였다. 이 구조들에서 투명전극은 ITO 필름을 배면전극은 Silver paste를 사용하였다. 형광층과 절연층은 Cyanoresin(CR-S, Shin-Etsu Chemical

Co.Ltd)과 N,N-Dimethylformaid(Junsei Chmerical Co. Ltd)를 1:2.5비율로 혼합한 바인더와 ZnS:Cu(Sylvania 99.9%), BaTiO<sub>3</sub>(99.9%)를 5:5의 비율로 혼합하여 형광체와 유전체를 각각 이용하였다. 전극사이의 형광층과 유전층은 각각 스펀코팅을 통해 40 $\mu$ m 두께로 구성하였다.

제작된 PELED의 EL 스펙트럼(100 V, 400~4000 Hz)은 monochromator를 이용하여 평가하였고, 그림 2와 같은 Sawyer-Tower 회로를 이용하여 소자의 이동 전하밀도를 측정하였다 [3]. 이 회로에서 캐패시터 양단에 걸린 전압을 오실로스코프 Y축에 입력하고 전압을 X축에 입력하면 인가 전압과 측정된 전하량의 관계 도형을 얻을 수 있다. 고휘도를 가졌던 WK-4는 유전체와 형광체를 혼합한 단일 발광층의 두께를 30 ~ 130 $\mu$ m 까지 변화시켜서 최적의 두께를 찾았다

표 1. 전계발광소자들의 구조

Table 1. Structure of PELEDs

종류	구 조
WK-1	ITO/BaTiO <sub>3</sub> /ZnS:Cu/Silver paste
WK-2	ITO/BaTiO <sub>3</sub> /ZnS:Cu/BaTiO <sub>3</sub> /ZnS:Cu/Silver paste
WK-3	ITO/BaTiO <sub>3</sub> /ZnS:Cu/BaTiO <sub>3</sub> /Silver paste
WK-4	ITO/BaTiO <sub>3</sub> +ZnS:Cu/Silver paste

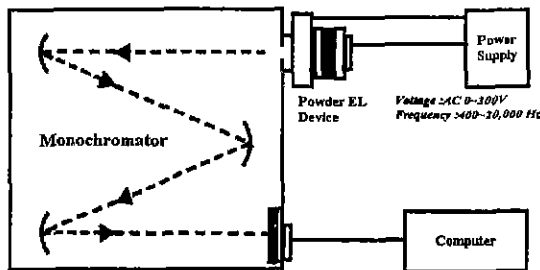


그림 1. EL 스펙트럼 측정 장치도

Figure 1. Block digram for measuring of EL spectrum

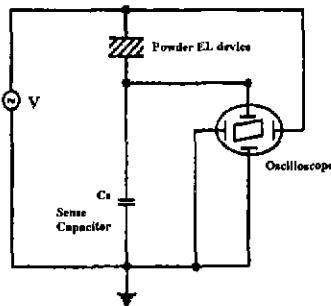


그림 2. 이동전하밀도 측정을 위한 Sawyer-tower 회로

Figure 2. Sawyer-tower's circuit for transferred charge density

### 3. 실험 결과 및 논의

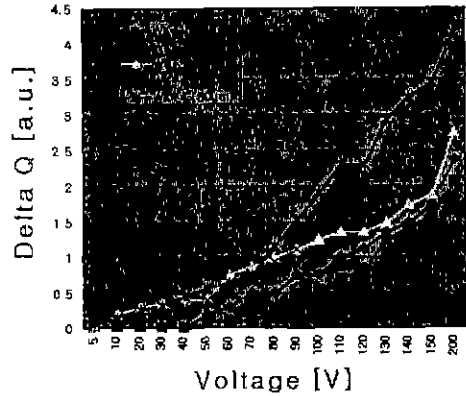


그림 3. 전압 변화에 따른 이동전하밀도

Figure 3. Transferred charge density to voltage variation

그림 3은 Sawyer-tower 회로를 이용하여 인가되는 전압 변화에 따라 이동 전하밀도를 측정된 것이다. 인가되는 전압의 증가에 따라 각각의 구조(WK-1,2,3,4)에 대한 이동전하밀도는 증가했다. 이동전하밀도를 측정된 결과 WK-4가 가장 좋은 특성을 나타냈다. 또한 최대 이동 전하밀도를 갖는 WK-4의 최적 두께를 측정된 결과 60 $\mu$ m였다. WK-3,4와 두께가 60 $\mu$ m인 WK-4의 이동전하밀도를 비교해 보면 70V 이하에서는 증가율이 거의 같았다. 그러나, 층의 두께가 60 $\mu$ m일때 PELED는 70V 이상에서 이동전하밀도가 현저하게 증가했다.

그림 4,5은 가장 높은 이동전하밀도를 가진 WK-4에 대하여 전압을 100 V로 고정하고 주파수 변화에 따른 EL스펙트럼이다. 스펙트럼에서 대체로 half band width가 gaussian curve와 유사한 형태로 나타났다. 스펙트럼의 피크 파장은 주파수를 증가 시킴에 따라 장파장에서 단파장 쪽으로 이동하고 있음을 볼 수 있다. EL 스펙트럼에서 나타난 바와 같이 Cu에는 두 개의 발광준위가 있고, 주파수가 증가함에 따라 방출되는 광자 에너지가 대체로 green에서 blue 준위로 이동하였다. 이것은 Cu원자 주위의 결정 불안정성이 주파수를 높임으로써 점차 정연하여지면서 Cu주위에 영향을 주는 전자의 필드가 약해지기 때문이라고 추측된다. 여기서 다른 세가지 모델에 비해 WK-4가 EL 스펙트럼 강도도 크고 색상 준위가 넓어 색의 구현에 용이하다는 특성을 찾았다. 그림 4에 나타난 바와 같이 가장 높은 EL Intensity를 가진 WK-4는 발광층의 두께가 60 $\mu$ m일때이다.

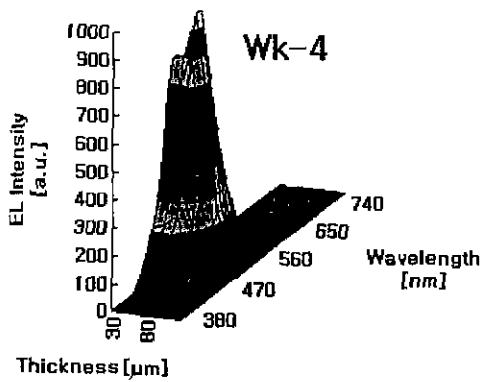


그림 4. 두께 의존에 따른 EL 스펙트럼  
Figure 4. EL spectrum dependence of thickness

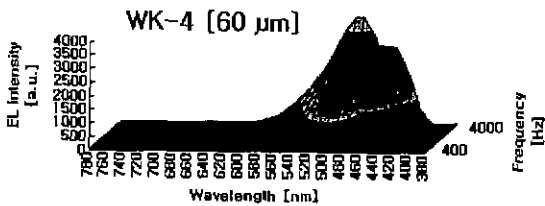


그림 5. 두께가 60 μm일 때 EL 스펙트럼  
Figure 5. EL spectrum to thickness 60 μm

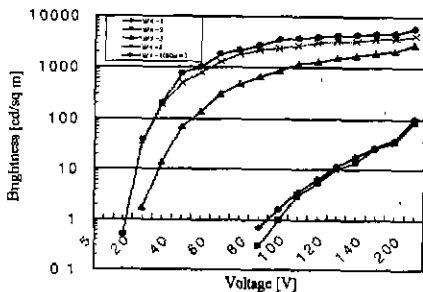


그림 6. 인가전압에 따른 휘도  
Figure 6. Brightness to applied voltage

주파수를 400 Hz로 고정하고 인가 전압의 변화(5~200 V)에 따른 PELD의 휘도를 측정하였다. 그림 6은 WK-1,2,3,4의 휘도를 측정된 결과이며, WK-3와 WK-4는 60 V의 저전압에서도 100 cd/m<sup>2</sup>이상의 높은 휘도를 나타냈다. 또한 가장 높은 이동전하밀도와 휘도를 나타낸 WK-4 모델에서는 최적의 두께인 60 μm에서 휘도를 측정하였다. 그림 3의 이동전하밀도 결과에서 유추하면 이동전하밀

도가 증가되면 발광중심을 충돌 여기시키는 캐리어의 수가 증가되므로 발광휘도는 이동 전하밀도에 비례하여 증가된 것으로 사료된다. 높은 이동전하밀도를 가진 WK-4 (60 μm)는 100 V, 400 Hz에서 2700 cd/m<sup>2</sup>의 높은 휘도를 가졌다. PELD에 전압이 인가되면 절연층과 형광층의 계면에 포획되었던 전자가 형광층 내로 터널 주입되고, 이 주입된 전자가 형광층에 걸린 강한 전기장에 의하여 가속된다. 이 가속된 전자가 국소화된 Cu<sup>+</sup> 발광중심을 충돌 여기 또는 이온화 시키고 여기 전자 또는 이온화 된 Cu<sup>+</sup>에 포획된 전자가 바닥상태로 전이되면서 발광한다.

#### 4. 결 과

본 연구에서는 구조가 다른 PELD를 제작하였고, 전기적·광학적 특성 분석을 통해 가장 좋은 특성을 가진 PELD의 구조는 WK-4(ITO/형광체+절연체/전극)모델이었다. 또한 WK-4의 최적의 두께를 찾기 위하여 30~130 μm 까지 발광층의 두께를 변화 시켰다. 절연체와 형광체를 혼합한 WK-4에서 발광층[4]의 두께가 60 μm일 때 가장 높은 EL 스펙트럼을 가졌다. 이와 같은 결과는 WK-4가 발광을 일으키는 형광체에 가장 높은 전계를 유지하기 때문이다. 특히 WK-4 구조에서 발광층의 두께가 60 μm인 PELD가 최고 특성을 가진 원인은 본 실험에서 사용한 형광체와 절연체 입자들의 접촉 표면적이 최적상태로 존재했던 것으로 사료된다. 결과적으로 WK-4 구조는 인가전압 100 V, 400 Hz에서 2700 cd/m<sup>2</sup>의 높은 휘도를 가졌다.

#### 참고 문헌

- [1] 여인선, "고효율 조명용 광원의 기술동향", 전기학회지, 47(8), pp.5-13, 1998
- [2] Humbolt w. Leverenz, "An Introduction to Luminescence of Solids". Chap.6, pp.135,1968
- [3] D.H. Smith, J. Luminescence, p23,209,1981
- [4] 이종찬, 박용규, 박대회, "ZnS:Cu를 이용한 후막 전계발광 소자에 관한 연구", 전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집, pp.121-124, 1998