

## 무기금속 다층박막을 적용한 유기발광소자의 제작 및 특성 분석에 관한 연구

### A Study on the Fabrication and Characteristic Analysis of Organic Light Emitting Device using Inorganic Metal Multi-layer

황수웅<sup>1</sup>, 강성종<sup>1</sup>, 조재영<sup>1</sup>, 김태구<sup>1</sup>, 오환술<sup>1,a</sup>

(Soo-Woong Hwang<sup>1</sup>, Seong-Jong Kang<sup>1</sup>, Jae-Young Cho<sup>1</sup>, Tae-gu Kim<sup>1</sup>, and Hwan-Sool Oh<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

IMML(Inorganic metal multi-layer) was used as cathode in the OLED devices to reduce the reflectance of ITO and increase the contrast ratio. Device structure was ITO/a-NPD/Alq<sub>3</sub>:DCJTb/Alq<sub>3</sub>/IMML/Al. Alq<sub>3</sub> and DCJTb (4 - (dicyanomethylene) - 2 - (1 - propyls) 6 - methy 4H - pyrans) as host material for red emission and red emitting guest material. IMML made three different layer: thin aluminum layer, aluminum layer doped with silicon monoxide, thick aluminum layer. The red OLED device with IMML showed the average reflectance of 4.97 %, and then normal OLED with or without polarizer showed the average reflectance of 4.55 %, 46 % at visible range from 380 nm to 780 nm. The brightness of OLED with IMML at 13 V was 5557 cd/m<sup>2</sup>, and that of normal OLED with polarizer was 4872 cd/m<sup>2</sup>. IMML could be the substitution for polarizer with same reflection, low cost, easy process in flat panel display market.

**Key Words** : OLED, Reflectance, IMML

#### 1. 서론

1987년 Kodak사의 Tang에 의해 2층 구조의 OLED(Organic Light Emitting Diode)는 지속적인 연구개발을 통해 1999년 최초로 일본 동북파이오니아에서 OLED 패널을 적용한 카오디오 제품 출시 후 상용화를 거듭하여 Area color panel 및 full color panel 이 핸드폰 외부창 및 mp3 플레이어 정보창 등에 적용되어 발전되어왔다[1]. OLED는 LCD에 비하여 시야각이 넓고 응답특성이 우수하기 때문에 동영상 구현에 유리하며 타 평판 디스플레이에서 구현할 수 없는 박형화, 고명암비, 저전압 구동 및 저소비전력 등의 특징을 가지고 있어 차세대 디스플레이로 주목을 받고 있다[2-4].

OLED를 포함한 평판 디스플레이에는 이미지 구동시 명암비를 향상시키기 위해 편광필름을 사용하게 된다. 하지만 이 편광필름은 투과율이 50 % 이하이므로 실제 패널에서는 기준 휘도 대비 두 배 이상의 휘도가 요구되며 이로 인해 전력소비 증가 및 수명 감소의 문제가 발생한다.

본 실험에서는 저반사 및 고명암비의 구현을 위하여 무기금속 다층박막을 이용하여 기존의 편광필름을 대체할 수 있는 난위소자를 제작하고 전기광학적 특성을 분석하였다.

#### 2. 실험

본 실험은 ITO glass를 투명전극으로 사용하여 그 위에 유기물 및 음극을 증착하였다. ITO의 면저항과 박막 두께는 각각 10 Ω/□과 1200 Å이었다. ITO의 패턴 형성 공정은 CLASS 100인 Clean Room에서 실온으로 처리하였다. ITO glass 초기 세정공정으로 D.I. water에 중성세제를 희석하여

1. 건국대학교 차세대 유기디스플레이센터

(서울시 광진구 화양동 1)

a. Corresponding Author : hsoh@konkuk.ac.kr

접수일자 : 2005. 8. 1

심사완료 : 2005. 8. 23

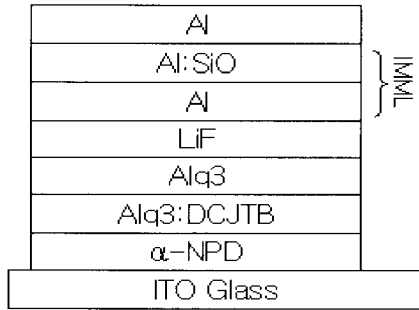


그림 1. 제작된 적색 유기발광소자의 구조.  
Fig. 1. Structure of red OLED device.

초음파 세척기로 10분간 세정 후 잔류 유기물 세정을 위해 아세톤으로 10분간 세정하였다. 잔류액 제거를 위해 D.I. water로 세정 후 에어나이프(air knife)를 이용해 질소가스(N<sub>2</sub> gas)로 건조시켰다. 감광액 도포 전에 감광액과 ITO의 접착력을 향상시키기 위해 HMDS (hexamethyldisilazane)를 코터(coater)를 사용하여 스핀코팅(spin coating)했다. 스핀코팅은 포지티브 AZ7220 감광액을 1 ml 도포하여 3800 RPM으로 45초간 회전시켰으며, 이 때 두께는 2 μm로 하였다. 코팅 후 소프트 베이크를 60 °C에서 30분간 실시하여 잔류용제를 제거하였고 수은램프(Hg lamp)를 이용하여 12초간 노광하였다. AZ300 100 %현상액으로 70초 동안 현상하였고 하드베이크를 90 °C에서 30분간 실시하였다. ITO glass의 식각(etching)은 10 : 1 : 2 의 비율로 HCl : HNO<sub>3</sub> : D.I. water를 혼합한 용액에서 5분간 실시하였으며 AZ700를 이용하여 약액 속에 30분간 담궈 감광액을 완전히 제거시켰다. Patterning 공정 후 진공증착기를 사용하여 진공도가 10-7 Torr에서 유기물을 열증착 방식으로 형성하였다[5].

유기물 증착은 α-NPD를 정공수송층으로, Alq<sub>3</sub>를 호스트로, DCJTb (4-(dicyanomethylene)-2-(1-propyl)6-methy 4H-pyran)를 도펀트로 사용하여 발광층을 형성하였다. 발광층 도핑후에 호스트로 사용한 Alq<sub>3</sub>로 전자전송층을 형성하였다[6,7]. 각각의 유기물의 두께는 Inficon사의 XTM/2를 사용하여 각각의 두께를 제어하였으며 일정 증착율로 제어하였다. 소자제작은 그림 1의 구조로 ITO/α-NPD/Alq<sub>3</sub>:DCJTb/Alq<sub>3</sub>/LiF/IMML/Al이며 α-NPD의 두께는 800 Å, 발광층은 200 Å, 전자전송층인 Alq<sub>3</sub>는 200 Å, LiF는 10 Å, Al은 1000 Å로 전극을 제작하였다. 제작된 소자의 면적은 4 mm<sup>2</sup>이었다. 전류, 전압, 휘도의 특성은 Minolta사의 CS-1000을 사용하였으며 각 유기물 및 전극층의 두께는

Tencor사의 알파스텝 200을 사용하여 두께 보정 후 사용하였다.

### 3. 이론

무기금속 다층박막은 반투명의 얇은 알루미늄층과 투명한 알루미늄과 산화규소(Silicon Oxide)가 혼합된 투명층과 실질적인 전극이 되는 알루미늄막으로 구성된다. 첫번째 알루미늄층은 100 Å 이하의 얇은 박막으로서 전체적으로 반투명의 검은색을 띄게 되고 명암비를 향상시키는 역할을 한다. 두 번째 알루미늄과 산화규소의 도핑층은 투명층으로서 음극에서 반사되는 빛의 위상차를 동일하게 만들어 주는 역할로서 발광층에서 ITO glass 방향으로 진행하는 빛과 음극에서 반사되고 ITO glass 방향으로 진행하는 빛의 위상차를 일치시키는 역할을 하게 된다. 마지막의 알루미늄층은 실질적인 전극역할을 하게 된다[8-10].

OLED(Organic Light Emitting Diode)는 전압을 인가하면 발광 영역에서 발생한 빛은 상부의 ITO glass 방향과 하부의 반사율이 높은 음극의 양방향으로 진행하며 음극 방향의 발광은 반사율이 높은 계면에서 반사되어 ITO glass 방향으로 위상차가 변하여 진행하게 된다. ITO glass 표면에서는 발광층에서 상부로 진행한 빛과 음극에서 반사된 빛과 외부광의 세가지 파형이 합쳐져서 간섭 및 상쇄가 발생한다. 무기금속 다층박막은 기본적인 OLED 구조에서 전자수송층과 음극사이에 삽입하여 반사율이 높은 전극 계면에서 반사되는 빛의 위상차를 조정하여 감쇄를 방지한다.

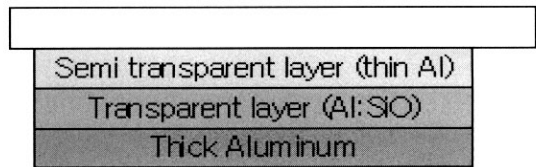


그림 2. 무기금속 다층박막의 구조.  
Fig. 2. Structure of inorganic metal multi-layer.

### 4. 결과 및 고찰

무기금속 다층박막의 효과를 확인하기 위하여 우선 ITO glass 위에 무기금속 다층박막을 형성한 샘플과 ITO위에 알루미늄 전극을 형성하여 두 소

자의 반사율을 비교하고 다시 유기발광소자를 제작하여 무기금속 다층박막이 있는 소자와 없는 소자의 반사율을 비교하였다.

먼저 그림 2에서 제작된 무기금속 다층박막의 반사율을 직사반사계로 측정하였다. 직사반사계는 법선기준 좌우 15도에서 입사광과 반사광을 측정하여 반사율을 결정한다. 측정하기전 기준시료를 측정하여 Reference로 잡고 반사율이 5 % 이상의 시료는 Mirror를 기준으로 측정하였고 5 % 이하의 시료는 BK7을 이용하여 측정하였다. 그림 3과 같이 ITO 위에 알루미늄이 증착된 샘플의 반사율은 가시영

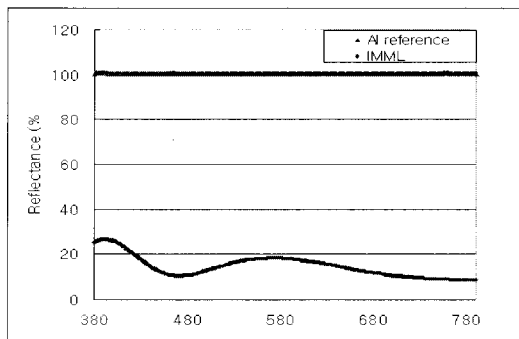


그림 3. 무기금속 다층박막의 반사율.  
Fig. 3. Reflectance of inorganic multi-layer.

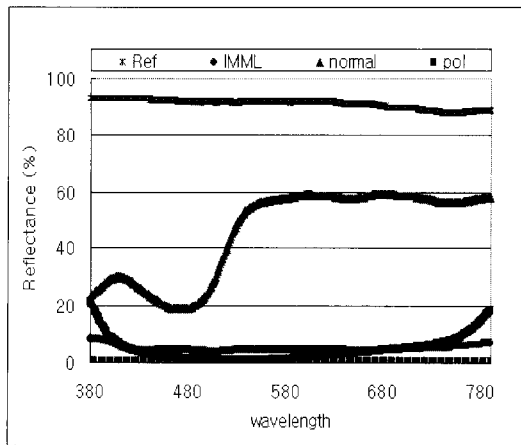


그림 4. 무기금속 다층박막을 적용한 적색 유기발광소자의 반사율.  
Fig. 4. The reflectance of red OLED using inorganic multi-layer.

역 내 평균 100 %이나 ITO 위에 무기금속 다층박막의 반사율은 평균 14.85 %로 반사율이 감소된 것을 알 수 있다.

그림 4 및 표 1은 무기금속 다층박막이 적용된 적색 유기발광소자의 반사율 측정 데이터이다. 위에서 측정된 반사율을 참고하여 일반적인 유기발광소자의 구조에서 전자주입층과 음극 사이에 무기금속 다층박막을 형성하여 소자를 제작하였고 일반적인 유기발광소자를 제작하여 편광필름을 부착한 소자와 부착하지 않은 소자의 반사율을 각각 측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 일반적인 소자는 ITO glass의 표면 반사에 의해서 전 가시광선 영역에 걸쳐 20 % 이상의 높은 반사율을 나타내며 평균 반사율은 46 %이며 편광필름을 부착한 후 다시 측정하였을 경우에는 평균 반사율이 4.55 %로 감소하였다. 무기금속 다층박막이 적용된 소자의 경우에는 전 가시광선 영역에 걸쳐 고르게 낮은 반사율을 보였으며 평균 반사율은 4.97 %로 측정되었다. 이는 무기금속 다층박막에 의해 반사되는 빛이 서로 상쇄되어 편광필름이 없는 기본적인 유기발광소자보다 낮은 반사율을 나타냄을 알 수 있으며 편광필름을 부착한 소자에 비해서도 동등한 효과를 나타냄을 알 수 있다.

그림 5는 무기금속다층박막을 적용한 적색유기발광소자의 I-V-L 특성이다. 동일전압 13V에서의 휘도를 각각 비교해보면 일반소자는 9738 cd/m<sup>2</sup>이며 무기금속다층박막을 적용한 소자는 5557 cd/m<sup>2</sup>, 편광필름을 부착한 일반소자는 4872 cd/m<sup>2</sup>이다. 이와 같이 I-V 그래프에서 알 수 있듯이 무기금속 다층박막을 적용하지 않은 소자가 동일 휘도에서 높은 휘도를 나타내나 편광필름을 부착한 소자는 필름 자체의 투과율이 약 45 % 정도이므로 실질적으로 편광필름을 거쳐 발광되는 휘도는 무기금속 다층박막을 적용한 소자보다 동일 전압에서 휘도가 낮음을 알 수 있다.

표 1. 제작된 소자의 반사율.

Table 1. The reflectance of OLED.

Device	Average (%)
reference	91.29
IMML	4.97
normal	46.00
pol	4.55

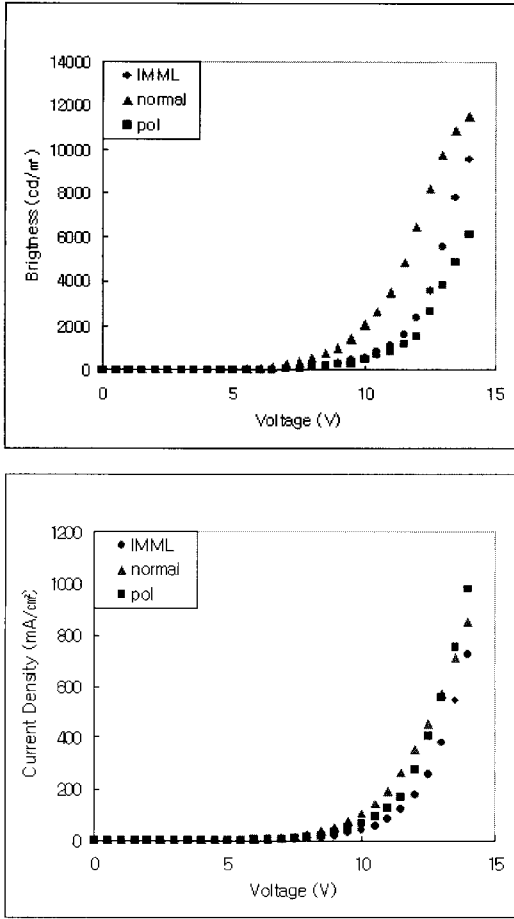


그림 5. 무기금속 다층박막을 적용한 적색 유기발광소자의 I-V-L 특성.  
 Fig. 5. I-V-L characteristics of red OLED using inorganic multi-layer.

### 5. 결론

본 논문에서는 평면디스플레이에 사용되는 편광필름을 대체할 수 있는 저반사 고명암의 무기금속 다층박막 구조의 소자를 제작하고 무기금속 다층박막이 없는 구조의 소자와 전기광학적 특성을 비교 분석하였다. 실험에 사용된 구조는 ITO/ $\alpha$ -NPD/ $\text{Alq}_3$ :DCJTb/ $\text{Alq}_3$ /LiF/Al이며 발광층은  $\text{Alq}_3$ 를 호스트로 하여 DCJTb (4-(dicyanomethylene)-2-(1-propyl)6-methyl-4H-pyran)를 적색 형광색소로 도핑하여 적색유기발광소자를 제작하였다. 반사율 감소 효과를 확인하기 위하여 LiF와 Al 사이에 얇은 알루미늄층과 알루미늄과 산화규소의 도핑층

으로 구성된 무기금속 다층박막(inorganic metal multi-layer, IMML)을 형성한 소자를 제작하였고 구조는 ITO/ $\alpha$ -NPD/ $\text{Alq}_3$ :DCJTb/ $\text{Alq}_3$ /LiF/IMML/Al이었다.

무기금속 다층박막이 적용된 소자의 반사율은 4.97 %로서 편광필름을 부착하지 않은 소자의 46 %에 비해 월등히 적고 편광필름을 부착한 소자의 4.55 % 와 유사한 반사율을 보였으며 휘도면에는 12V의 동일전압에서 측정된 결과 편광필름을 부착한 소자의 4872  $\text{cd/m}^2$ 에 비해 5557  $\text{cd/m}^2$ 로서 15 %정도의 휘도 향상효과를 보이고 있다.

본 실험을 통하여 무기금속 다층박막을 적용한 소자는 단순한 제조공정방법과 저비용으로 평면디스플레이에 사용되는 편광필름의 대체기술로서의 잠재적 능력이 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2003-000-10493-0) 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 51, No. 12, p. 913, 1987.
- [2] J. R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard, J. Miller, R. Moon, Daniel Roltman, and A. Stocking, "Organic electroluminescent devices", *Science*, Vol. 273, No. 16, p. 884, 1996.
- [3] D. Ammermann, A. Bohler, S. Dirr, H. H. Johannes, and W. Kowalsky, "Multilayer organic light emitting diodes for flat panel displays", *AEU Int. J. electron. Commu.*, Vol. 50, No. 5, p. 312, 1996.
- [4] I. D. Parker, "Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes", *J. Appl. Phys.*, Vol. 75, No. 3, p. 1656, 1994.
- [5] H. S. Oh, S. W. Hwang, and S. J. Kang, "A study on the fabrication and characteristic analysis of organic light-emitting devices using BAQ", *J. of KIEEME(in Korean)*, Vol. 17, No. 1, p. 83, 2004.

- [6] B. G. Roh, M. K. Kang, and H. S. Oh, "A study on the fabrication and characteristic analysis of multiheterostructure white organic light emitting device", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 13, No. 5, p. 429, 2002.
- [7] T. H. Liu, C. Y. Iou, S. W. Wen, and C. H. Chen, "4-(Dicyanomethylene)-2-t-butyl-6-(1,1,7,7-tetramethyljulolidyl-9-enyl)-4H-pyran doped red emitters in organic light-emitting devices", Thin Solid Films, Vol. 441, p. 223, 2003.
- [8] S. Han, D. Grozea, C. Huang, Z. H. Lu, R. Wood, and W. Y. Kim, "Al:SiO thin film for organic light-emitting diodes", J. Appl. Phys., Vol. 96, No. 1, p. 709, 2004.
- [9] Z. Y. Xie and L. S. Hung, "High-contrast organic light-emitting diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 84, No. 7, p. 1207, 2004.
- [10] F. L. Weng, M. K. Fung, X. Jiang, C. S. Lee, and S. T. Lee, "Non-reflective black cathode in organic light-emitting diodes", Thin Solid Films, Vol. 446, p. 143, 2004.