

이종 전극에 의한 OLED 전기적 특성 연구

이정호[†] · 서정하 · 정지훈* · 김영관* · 김영식** · 김영찬***

홍익대학교 전자공학과, 홍익대학교 화학공학과*,
홍익대학교 기초과학과**, 중부대학교 신소재공학과***
(2004년 7월 1일 접수 ; 2004년 9월 13일 채택)

Electrical Characteristics of OLED using the Hetero-Electrode

Jung Ho Lee[†] · Chung-Ha Suh · Ji-Hoon Jeong* · Young-Kwan Kim[†]
Young-Sik Kim** · Yeoung-Chan Kim***

Dept. of Electronics Eng., Hong-Ik Univ, Seoul 121-791, Korea

**Dept. of Chemical Eng., Hongik Univ., Seoul 121-791, Korea*

***Dept. of Science., Hong-Ik Univ, Seoul 121-791, Korea*

****Dept of Advanced Materials Eng., Joong-Bu Univ, Chung-Nam 312-702, Korea*

[†]e-mail : phile71@passmail.to

(Received July 1, 2004 ; Accepted September 13, 2004)

Abstract : In this study, hetero-electrode structures have been fabricated to increase luminescence efficiency. The presence of a thin layer of Sn or Ag at the organic-aluminum interface enhanced both electron injection efficiency and electroluminescence when compared to OLEDs using homogeneous electrode. In this paper, the effect of the cathode using Sn/Al hetero electrode structure is observed. Electric properties of the OLED using Sn/Al hetero cathode are improved in comparison of only Al cathode. The hetero-electrode existing different energy level induces the advanced structure of OLED can accumulate electron density. The luminescence efficiency of OLED with Sn/Al of Ag/Al cathode is higher because of their higher electron injection efficiency. And, the turn on voltage of the OLED device using Sn thin layer is lowest as about 10 V.

Keywords : OLED(organic light-emitting diode), hetero-electrode.

1. 서론

OLED(organic light-emitting diode)는 간단한 구조와 자체발광, 그리고 넓은 시야각, 빠른 응답특성 등 많은 장점을 가지고 있어 LCD의 단점을 보완할 수 있는 차세대 디스플레이

(display) 소자로 각광을 받고 있다. 일반적인 유기EL 발광소자의 구조는 Fig. 1 에서와 같이 유리기판에 ITO(indium thin oxide)를 에노드로 사용하고 그 위에 유기물로 된 정공 주입층(hole injection layer ; HIL)과 정공 수송층(hole transport layer ; HTL)을 진공 증착 시킨 후

발광층을 박막 시키고 그 위에 전자 수송층 (electron transport layer ; ETL)과 전자 주입층 (electron injection layer ; EIL)을 삽입시킨 후 Al 이나 Au, Ag 등과 같은 일함수가 낮은 금속을 캐소드 전극으로 사용하는 구조로 구성되어 있다[1,2].

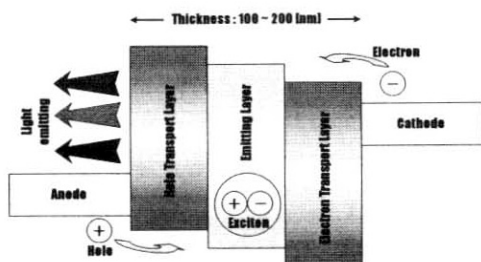


Fig. 1. Basic structure of OLED.

이러한 유기발광소자는 크게 구조적 개선 부문과 발광 물질의 합성 부문으로 연구되고 있다. 발광 물질(emitting material)의 종류에 따라 디스플레이에 필요한 색상(RGB ; red, green, blue)의 기초 소자를 만들 수 있고 각 물질마다 발광효율(luminescence efficiency) 등 특성이 틀려지기 때문에 OLED의 전체 특성의 대부분이 이러한 물질 연구에 의해 결정된다. 투명 전극 ITO를 통해 발광층에서 발광된 빛이 위쪽으로 나오게 되는 Top Emission 방식과 바닥으로 빛이 방출되는 Bottom Emission 방식이 제시되고 있다.

발광 특성이 우수한 물질 개발에 힘입어 유기발광소자에 대한 구조도 상당부분 개선되었다. 그러나 유기발광 소자가 가지는 애노드 전극으로 사용되는 ITO와 정공 주입층 그리고 금속 전극을 사용하는 캐소드와 전자 주입층에서의 수송자들의 진입장벽이 너무 높아 전자와 정공의 주입이 원활하지 않고 이를 개선하고자 하는 방법들이 꾸준히 제시되고 있다. 대표적인 개선 방법으로는 기본소자 구조에 정공 수송층과 전자 수송층을 넣어 다층 박막 구조(multi layer structure)를 만들어 주는 방법이 있다.

유기발광소자의 기본적인 동작 메카니즘은 전극으로부터 전자와 정공이 주입되고 주입된 수송자들이(carrier) 전자-정공 쌍(electron-hole pair)을 이루고 여기상태(exciton state)에서 에너지를 빛으로 방출하게 된다. 발광층(emitting

layer)을 중심으로 전자와 정공의 주입이 원활히 이루어지고 캐리어들의 이동이 쉽게 하기 위해 일함수(work function)를 완만한 계단형이 되도록 박막구조를 제작하여야 하는데 구조적으로는 유기EL 발광소자의 정공 이동속도가 전자의 이동속도보다 빠르기[2,4] 때문에 주로 정공 주입층이나 정공의 수송층의 박막 두께를 조절하여 상대적으로 정공의 이동거리로 홀과 전자의 이동도 밸런스를 맞추거나 혹은 다중 양자우물(multi-quantum well) 구조로 만들어 발광층으로 주입된 전자-정공 쌍이 많이 이루어지도록 만든다.

또한 캐소드쪽의 금속-유기물간의 계면에서 주입되는 전자의 확산(diffusion)을 방지하여야만 전자 주입효율(electron injection efficiency)을 높일 수 있어 발광효율(luminescence efficiency)도 높아지게 된다[5]. 발광효율을 높이는 방법으로 제시되는 일반적인 방법은 앞서 밝힌바와 같이 정공의 이동도를 낮추어 발광층에서 캐리어들의 이동도 밸런스를 맞추는 형태를 사용하지만 본 논문에서는 캐소드 전극으로 사용된 Al 과 발광층 사이에 다른 얇은 금속층을 넣어 줌으로써 전자의 이동도를 빠르게 하는 방법을 제시하고 실제 실험을 통해 개선된 효과를 비교해 보고자 하였다.

2. 실험

Fig. 2는 이 논문에서 제작하여 실험측정 한 유기EL 소자의 다층 박막 구조와 각 물질의 에너지 레벨을 나타낸 것으로 정공 주입층(HTL) 두께는 40 [nm]로 제작하였고 사용된 유기물은 NPB를, 홀 수송층(HIL)은 15 [nm]로 CuPc를 사용하였으며, 발광층으로는 Alq₃를 40 [nm] 증착 시켜 기본 소자를 제작하였다. 여기에 이중 전극을 사용해 양자우물 효과를 형성시키기 위해 Sn, Ag를 각각 캐소드 전극과 발광층 사이에 2 [nm]로 얇게 삽입하였다. 일반적인 구조에서 음극 전극으로 사용되는 금속은 주로 Al이다. 본 실험에서는 이러한 Al전극을 이중 전극(hetero electrode)화 시켜 두 금속간의 에너지 레벨 차이에 의해 양자우물(quantum well)에 생성되는 전자들을 활용하고자 하였다.

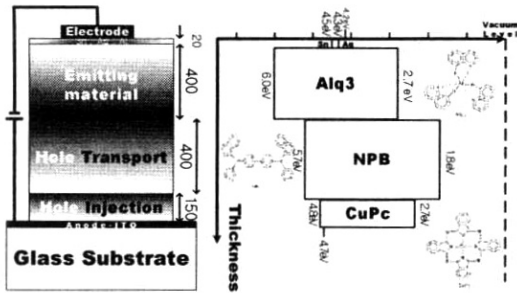


Fig. 2. OLED structure of in this paper ITO/CuPc/NPB/Alq3/Al/(Sn or Ag) & energy level.

유기발광소자는 ITO같은 투명 전극을 양극으로 사용하고 일함수가 낮은 금속을 음극으로 사용한다. 양극으로 사용된 ITO의 일함수는 4.7 [eV]이고 음극으로 사용된 Al의 일함수는 4.2 [eV], 또한 양자우물 형성을 위해 Al과 발광층 사이에 삽입된 Sn과 Ag의 일함수는 각각 4.5 [eV], 4.3 [eV]로 Al의 일함수보다 높다. 기판은 유리를 사용하였다. 챔버(chamber)의 진공은 유기물과 무기물 진공 챔버에서 각각 5×10^{-5} [torr] 맞추어 웨이퍼의 이동에 지장이 없게끔 서로간의 진공 압력을 맞추어 실험하였다. 증착 속도를 0.1 - 0.2 [nm/s]로 균일하게 박막이 증착 되도록 하였다. 측정은 전류밀도-전압, 발광 효율을 Sn 과 Ag 를 사용 한 것으로 각각 측정하였으며 이를 기본 구조와 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

실험 측정결과 캐소드 전극에 Sn 을 박막처리 한 경우와 Ag 를 박막 처리하여 이종 전극을 사용한 경우에서의 전류밀도와 인가전압 특성과 발광효율이 일반적인 Al 만을 사용한 기본전극 구조[6-8]보다 특성이 좋아지게 됨을 Fig. 3 ~4 에서 알 수 있었다.

Fig. 3의 측정된 결과를 분석해 보면 캐소드 전극 Al 층과 발광층 사이에 Sn 층을 얇게 삽입하면 전자의 전류 밀도가 높아진다는 것을 알 수 있다. 이렇게 높아진 전류 밀도는 대략 1.6배 정도 높은 전계를 얻게 되는 효과를 나타내게 된다. 이러한 원인에는 두 가지 사실을 가정 할

수 있다. 우선 Sn이나 Ag층에서의 전자들이 양자 우물에 갇히게 되고 갇힌 전자들의 증가로 전자 밀도가 증가하고 증가된 전자 밀도는 전자 주입효율을 높이는 역할을 했을 것이다. 두 번째는 얇은 Sn이나 Ag의 금속층에서의 전자들이 Al쪽으로 확산(diffusing)되는 것을 막아 주었기 때문이다. 일반적으로 유기 전기 발광소자의 발광현상은 전자와 정공이 결합하여 엑시톤을 형성하고 재결합 할 때 발광하게 된다. 측정에 사용된 소자의 경우에는 캐소드 전극으로부터 들어온 전자들이 얇은 금속층에서 양자 우물에 갇히게 되고 양자우물에 갇혀진 전자 캐리어들로 인해 높은 캐리어 밀도를 얻게 되어 국부적으로 강한 전계를 형성한다. 양자우물 효과에 의해 얻어진 강한 전계에 의한 캐리어들로 인해 캐리어 이동도가 높아지게 되어 발광층으로 빠르게 진행 할 수 있게 되고 상대적으로 낮은 이동도[9]를 가지는 기본구조보다 전자들의 이동도가 빨라져 전자 주입효율을 높이고 발광층에서 전자와 정공의 이동도 밸런스를 맞추게 된다. 이러한 원리로 인해 발광 효율이 높아지게 된다. Sn층을 삽입한 이종 전극 구조가 Al 만을 전극으로 사용한 기본구조보다 국부적으로 강한 전계가 가해지게 되고 이러한 효과로 인해 전자들의 이동도가 3~4배 빨라지게 된다. Sn 보다 상대적으로 에너지 레벨이 낮은 Ag를 삽입한 경우는 대략 1~2배 정도 이동도 차이를 나타낸다. 이는 Ag가 Sn보다 에너지 레벨이 낮아 양자우물이 깊게 형성되지 않기 때문이라고 생각되어진다.

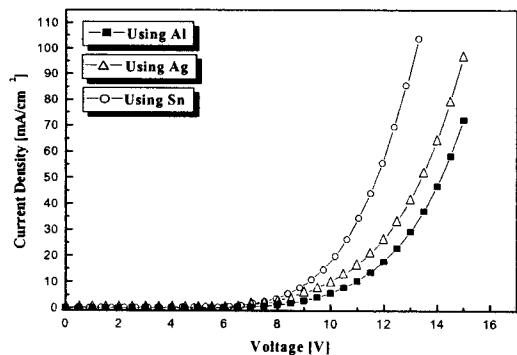


Fig. 3. Result of current density vs bias voltage in ITO/CuPc/NPB/Alq3/Al/(Sn or Ag) structure.

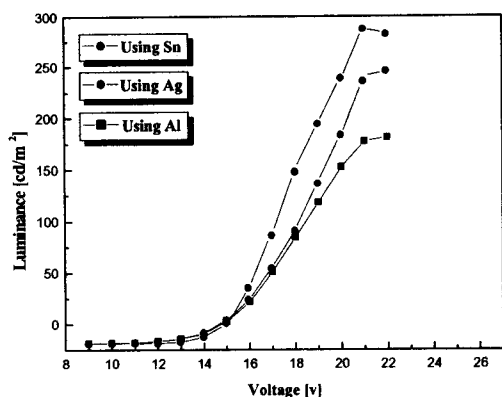


Fig. 4. Result of Luminescence efficiency in ITO/CuPc/NPB/Alq3/Al/(Sn or Ag) structure.

수송자들의 이동도는 결국 Fig. 4 에서와 같이 발광효율에도 영향을 준 것이라고 생각된다.

OLED의 높은 발광 효율을 얻고자 일반적으로 사용하던 다층 박막 구조에서 가장 문제가 되었던 부분이 바로 턴온(turn-on) 전압이다. 증착 되는 박막의 두께가 두꺼워 질수록 턴온 전압은 상대적으로 높아지게 되는 데 이렇게 높아진 턴온 전압은 OLED가 실제 응용소자에 사용될 때 좋은 전기적 특성을 나타내지 못한다. 본 실험에서 제시된 이중접합 전극의 사용은 이러한 턴온 전압도 상대적으로 줄일 수 있어 응용 소자로서의 가치도 높아짐을 실험을 통해 간접적으로 유추해 볼 수 있다.

4. 결론

실험 결과에서 알 수 있듯이 전자 주입 역할을 하는 캐소드 측에 얇게 Sn과 Ag를 삽입한 이중전극 구조가 Sn과 Ag를 삽입하지 않고 Al만을 캐소드로 사용한 기본 소자 구조보다 전류 밀도가 높은 것으로 측정되었고 발광효율도 Ag를 삽입한 경우는 대략 1.5배정도 Sn을 삽입한 경우는 대략 2.2 배 정도 높게 관측되었다.

이중전극의 사용은 양자우물의 영향으로 전자 밀도의 상승이 도출되므로 발광효율을 높이는 데 역할을 하게 된다. 따라서 OLED의 구조적 개선을 위한 방법으로 이중전극을 사용함으로써도 충분히 그 역할을 할 수 있다는 것을 알 수 있

었다. 그리고 박막의 두께를 다층 박막구조로 제작했을 때 보다 상대적으로 박막이 얇기 때문에 응용 소자로서 실용가치를 가늠 할 수 있는 턴온 전압이 낮아지게 된다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 삼성전자 연구지원금으로 이루어 졌음을 밝힙니다.

참고문헌

1. S. J. Martin, J. M. Lupton, I. D. W. Samuel, and A. B. Walker Modelling Temperature-dependent Current-voltage Characteristics of an MEH-PPV Organic Light Emitting Device, *J. Phys.*, **14**(42), 9925 (2002).
2. C. W. Tang and S. A. Vanslyke, Organic Electroluminescent Diodes, *Appl. Phys. Lett.*, **51**(12), 913 (1987).
3. C. D. J. Blades and A. B. Walker, Simulation of Organic Light Emitting Diodes, *Synthetic Metals*, **111-112**, 335 (2002).
4. G. G. Malliaras and J. G. Scott, Roles of Injection and Mobility in Organic Light Emitting Diodes, *Appl. Phys.*, **83**(10), 5399 (1998).
5. I. D. Parker, Carrier Tunneling and Device Characteristics in Polymer Light-emitting Diodes, *J. Appl. Phys.*, **75**(3), 1656 (1994).
6. I. H. Campbell, P. S. Davids, and D. L. Smith, The Schottky Energy Barrier Dependence of Charge Injection in Organic Light-Emitting Diodes, *Appl. Phys. Lett.*, **72**(15), 1863 (1998).
7. I. H. Campbell and D. L. Smith, Schottky Energy Barriers and Charge Injection in metal/Alq/metal Structures, *Appl. Phys. Lett.*, **74**(4), 561 (1999).
8. X. J. Wang, J. M. Zhao, Y. C. Zhou, X. Z. Wang, S. T. Zhang, Y. Q. Zhan, Z. Xu, H.

J. Ding, G. Y. Zhong, H. Z. Shi, Z. H. Xiong, Y. Liu, Z. J. Wang, E. G. Obbard, and X. M. Ding, Enhancement of Electron Injection in Organic Light-Emitting Devices using an Ag/LiF cathode, *J. Appl. Phys.*, **95**(7), 3828 (2004).

9. B. K. Crone, P. S. Davids, I. H. Campbell, and D. L. Smith, Device Model Investigation of Bilayer Organic Light Emitting Diodes, *J. Appl. Phys.*, **87**(4), 1974 (2000).