

이중 음극층을 이용한 고휘도 전면발광(Top emission) 유기EL소자의 특성평가

강윤호[†] · 이수환 · 신동원 · 김성준 · 김달호 · 이곤섭 · 박재근*

[†]한양대학교 나노 SOI 공정연구실, *한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

Characterization of the High Luminance Top Emission Organic Light-emitting Devices (TEOLEDs) Using Dual Cathode Layer

Yoon Ho Kang[†], Su Hwan Lee, Dong Won Shin, Sung Jun Kim, Dal Ho Kim,
Gon Sub Lee and Jea Gun Park*

[†]Nano-SOI Process Lab, Hanyang Univ.,

*Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang Univ.

ABSTRACT

Recently, Top emission organic light-emitting diode (TEOLED) has been attracted by their potential application for the development of flat panel display (FPD). We have fabricated the high luminance top emission organic-emitting diode (TEOLED) using dual cathode layer and three top emitting structure. These devices were characterized by electroluminescence (EL) and current density-voltage (J-V) measurements. After compared it with Au anode structure, luminance of the device using dual anode was better than using without Al device. Consequently, Al layers are very good candidates for a promising electron-injecting buffer layer for top emission light-emitting diode (TEOLED).

Key Words : OLED, TEOLED, Top emission, Dual electrode

1. 서 론

유기물 박막에 음극과 양극을 통하여 주입되는 전자(electron)와 정공(hole)의 재결합으로 발생하는 exciton의 에너지 변화에 의해 특정 파장의 빛을 구현하는 소자를 유기EL소자라고 한다. 이는 1960년대 W. Helfrich 등에 의해서 전하주입형 EL개념으로 확립되었다[1]. 그러나 휘도적인 측면에서는 그다지 특이할만한 성과를 내지는 못하였다. 그 이후로 1980년대 코닥의 C. W. Tang 등이 휘도 측면에서 많은 증가를 보인 획기적인 유기EL소자의 특허를 출원함으로써 유기EL 디스플레이 연구의 가속화를 이룰 수 있었다[2, 3]. Fig. 1-1은 유기EL의 구조와 발광 매커니즘을 개략적으로 표현한 것이다. 음

극에서 전자(Electron)가 주입되고, 양극에서 정공(Hole)이 주입되어 발광층에서 전자와 정공이 만나 여기자를 형성하여 빛을 내는 매커니즘으로 이루어진다.

유기EL 디스플레이는 자발광·박형·경량·저소비전력·광시야각·고속응답성·고콘트라스트 등의 장점을

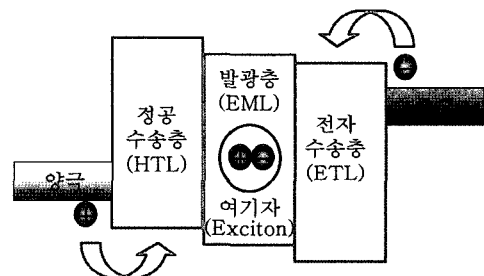


Fig. 1-1. Structure and luminescence mechanism of an organic light-emitting diode (OLED).

[†]E-mail : parkjgL@hanyang.ac.kr

가지고 있으며 이러한 장점은 가속화되어 가는 Flat Panel Display(FPD) 경쟁 시장에서 유기EL(Organic Light Emitting Diode)의 경쟁력을 더욱 강화시켜 주었다[4, 5].

FPD시장에서 LCD(liquid crystal display)와 PDP(plasma display)가 대형화의 추세로 TV시장을 잠식해 가고 있는데 반해서 유기EL은 시간과 장소의 제약에 관계없이 어디서든 사용할 수 있는 꿈의 디스플레이 시장인 유비쿼터스에 도전하고 있다.

유기EL은 발광 형태에 따라 전면발광과 후면발광으로 나누어 질 수 있다. 후면발광의 경우 유기EL의 빛이 유기물층과 양극층을 통과하여야 하므로 AM구동 방식의 소자 제작시 개구율의 한계, 색순도의 변화, 효율의 감소와 같은 단점을 갖고 있다[6].

반면에 전면발광의 경우 위의 문제점들을 개선할 수 있지만, 음극 물질의 투과율에 따라 휘도가 차이가 난다는 문제가 있다. 하지만 이러한 문제는 음극층을 ITO로 사용함으로써 해결할 수 있으나, ITO를 증착하기 위하여 RF sputtering이나 E-beam공정을 사용함으로써 유기물층에 데미지를 주게 되어 유기EL의 전체적인 성능을 저하시킨다[6].

따라서 본 연구에서는 금속 음극층을 사용하여 증착시 유기물층의 손상을 최소화하였으며, 음극층에 금(Au)과 알루미늄(Al)을 사용함으로써 전자의 주입을 획기적으로 증가 시켰다. 또한 Au의 두께를 변화시켜 전면발광의 최적 조건을 찾아 그 소자의 특성을 평가 분석하였다.

양극으로는 ITO(Indium tin oxide)를 사용하였고 음극은 vacuum thermal evaporation 방법을 이용하여 이중 음극층(Au/Al)및 유기물층을 증착하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에서 사용하는 진공 증착 장비는 Fig. 2-1과 같다. 이 장비는 radical chamber와 main chamber로 구성되어 있다. radical chamber에서 시편을 loading하고 반송하여 main chamber쪽으로 옮긴 후, 마스크와 결합한다. 장비는 일본의 ULVAC사와 본 연구실에서 설계 제작한 장비로서, 기판크기 50 mm×50 mm이하를 사용할 수 있고 증착 재료는 metal 4개, organic 6개를 넣을 수 있다. 이 장비의 최대 장점은 plasma처리, metal과 organic의 증착등이 in-situ로 처리 가능하다는 것이다(ULVAC, Japan minilab).

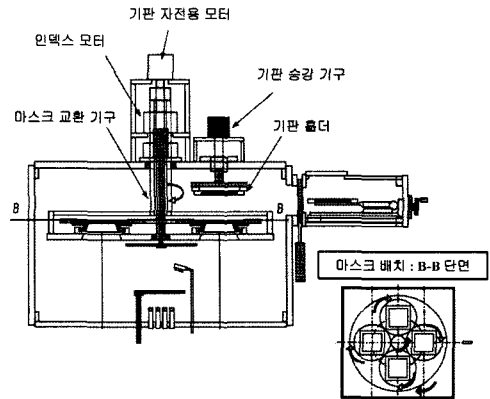


Fig. 2-1. The configuration of the vacuum thermal evaporation system.

2.2. 실험방법

본 연구에서는 진공증착방법을 이용하여 다음과 같은 세 가지 구조로 유기 EL 소자를 제작하여 그 특성을 평가 분석하였다. 세 가지 소자의 구조는 Fig 2-2에 나타내었다.

- (a): Au(15 nm)/LiF(0.5 nm)/Alq₃(60 nm)/ α -NPB(40 nm)/CuPc(15 nm)/ITO(150 nm)/Glass substrate
- (b): Au(100 nm)/LiF(0.5 nm)/Alq₃(60 nm)/ α -NPB(40 nm)/CuPc(15 nm)/ITO(150 nm)/Glass substrate
- (c): Au(15 nm)/Al(1 nm)/LiF(0.5 nm)/Alq₃(60 nm)/ α -NPB(40 nm)/CuPc(15 nm)/ITO(150 nm)/Glass substrate

여기서 Copper phthalocyanine(CuPc), N, N'-di

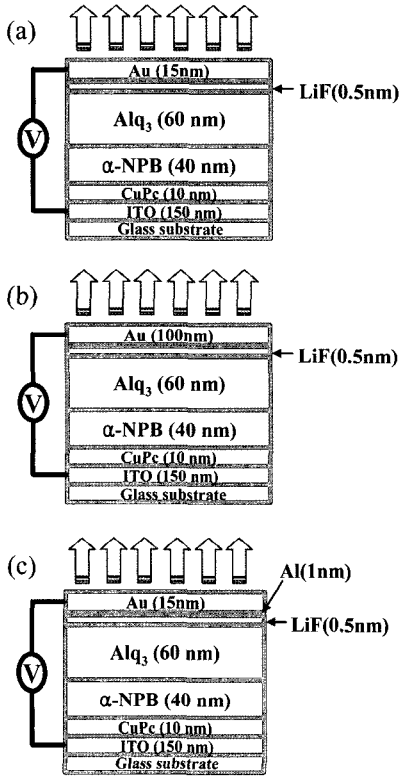


Fig. 2-2. Three types Structure of EL Devices.

(naphthalene-1-yl)-N, N'-diphenylbenzidine(α -NPB)와 8-hydroxyquinoline aluminum(Alq_3)는 각각 정공주입층(HIL), 정공수송층(HTL), 발광층 및 전자수송층(EL, ETL)으로 사용되었다.

또한 ETL층과 전극 사이에 얇은 LiF층을 추가하여 전자주입층(EIL)으로 이용하였다. 이 때 EIL은 전자 터널링 현상으로 전자들의 주입을 용이하게 하였으며, 이것은 구동 전압을 감소시키고 발광효율을 증대시키는 역할을 한다[7].

본 연구에 사용된 ITO Glass의 면저항은 $13 \Omega/\square$ 이다. ITO 기판의 전처리 과정으로서 IPA(Isopropyl alcohol)과 DI water로 세정한 다음 1시간동안 $150^\circ C$ 로 열처리를 실시하였다. 화학적으로 처리된 ITO 기판은 N_2 gas(99.999%)로 5분간 처리하였다.

유기물과 metal층은 상온에서 3.7×10^{-7} Torr의 압력으로 증착되었고, 증착율은 $0.5 \sim 5 \text{ \AA}$ 로 실험하였다.

제작된 유기EL소자의 특성 평가는 산소나 수분의 영향을 최소화하기 위해 N_2 분위기의 glove box내부에서 측정하였다. 분석장비는 IVL300 광학측정기(JBS INTERNATIONAL, KOREA)로 분석하였다.

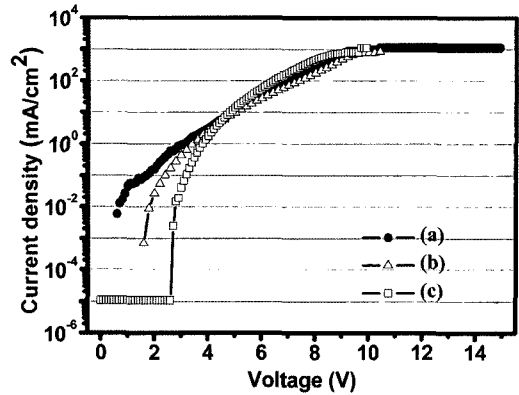


Fig. 3-1. Current density-voltage characteristics of three types OLEDs.

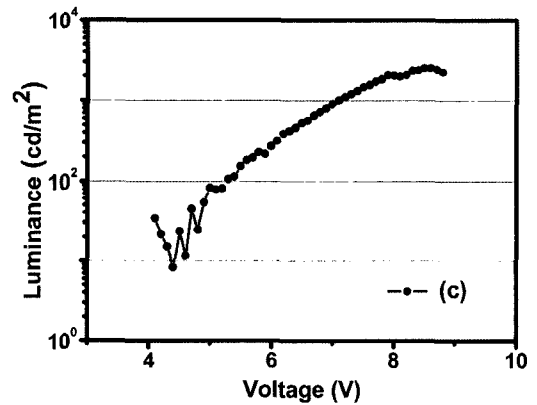


Fig. 3-2. Luminance-voltage characteristics of TEOLEDs using Au/Al cathode.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 특성평가

Au의 두께에 따른 전류밀도 그래프와 발광그래프를 Fig. 3-1, 3-2에 나타내었다. Au의 두께를 15 nm, 100 nm로 차이를 두어 실험했음에도 불구하고 전류밀도는 거의 변화가 없음을 알 수 있으며, Au 15 nm의 경우 발광현상은 전혀 나타나지 않았다. Au 100 nm의 경우는 18 V에서 30 cd/cm^2 의 미미한 수준의 발광특성을 보였고, 소자는 19 V에서 작동을 멈추었다.

Au의 두께를 변화하여 실험을 실시하였으나, 발광특성에는 별다른 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다. 이는 여기자가 생성되지 않았거나 여기자가 낮은 에너지 상태로 떨어지며 발광하지 않고 소멸된 것으로 생각된다.

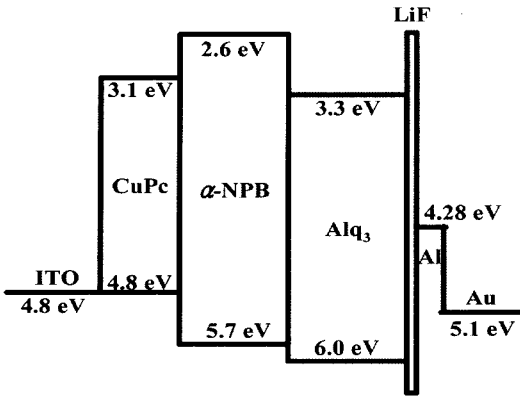


Fig. 3-3. Energy band diagram of OLEDs with Al layer.

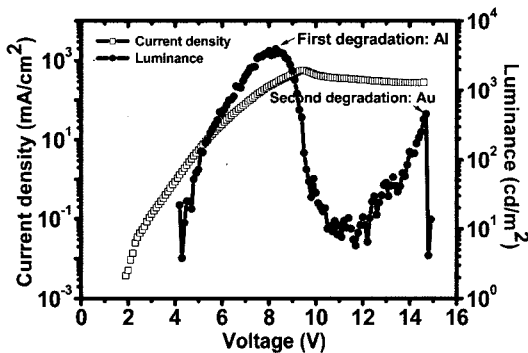


Fig. 3-4. The double degradation graph of TEOLED using Au/Al cathode.

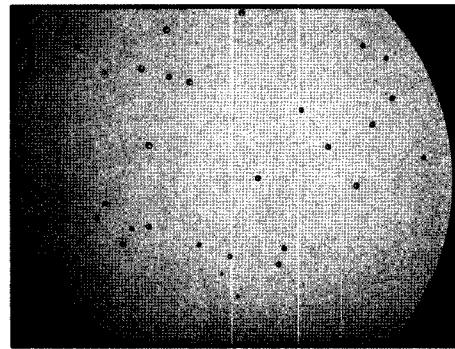
반면 Au/Al 이중 구조의 음극층을 사용한 (c)의 경우 (a), (b)와 거의 유사한 전류밀도를 보임에도 불구하고 발광특성이 매우 좋은 것을 알 수 있다.

Fig 3-2에서 보면 문턱전압은 3V, 전류밀도는 8.3 V에서 570 mA/cm²의 전류밀도와 7.5 V에서 1,620 cd/m²의 발광특성을 실험결과로 얻을 수 있었다.

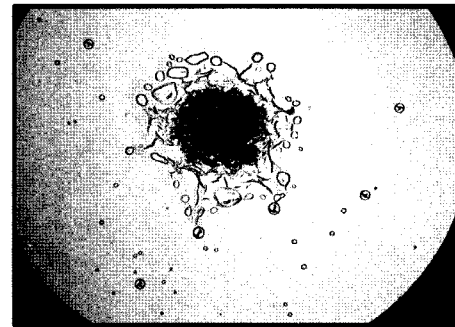
Fig. 3-3에서 볼 수 있듯이 Al의 일함수가 Au와 organic층의 포텐셜에너지를 낮추어 주는 역할을 하여 전자의 주입을 원활하게 도와 발광특성을 향상 시켜 준다고 볼 수 있다. 또한 열화현상에 관한 실험에서 Al 층의 또 다른 처리를 통하여 발광특성의 향상을 꾀 할 수도 있다는 것도 예상해 볼 수 있다.

3.2. Au와 Al 표면의 열화현상

Fig. 3-4는 (c)의 동일 구조로 제작된 소자를 16V까지 특성 분석을 한 그래프를 보여주고 있다. 그래프에서 보는 것과 같이 약 8V와 14V에서 열화현상에 의한 소자의 손상이 있음을 명확히 알 수 있었다. 이것은 광학



(a)



(b)

Fig. 3-5. The Microscope image: (a) Microscope image after first degradation, (b) Microscope image of second degradation.

이미지 사진으로도 명확히 알 수 있었다. 첫 번째 열화 현상은 Fig. 3-5의 Microscope image (a)에서 볼 수 있듯이 여기자가 충분히 빛을 낼 수 있는 낮은 에너지 준위로 천이하지 못하고, 대부분 열에너지로 변화하면서 Al 표면을 열화 시키는 것으로 보인다. 그러나 점점 감소하던 발광특성은 2차 발광 영역으로 보이는 곳으로도 달하게 된다. 이는 Al층은 비록 열화현상에 의해 손상을 입었지만, Au층이 아직까지 음극의 역할을 수행하여 다시금 발광특성을 회복하는 것으로 보인다.

Au층이 고전압에서 음극 역할을 수행하고 있다는 근거는 Au(100 nm)를 증착한 경우 고전압에서 약한 발광특성을 보이는 것으로 확인 할 수 있었다.

3. 결 론

전면발광의 특성 향상을 위하여 진공 열증착장비를 이용하여 이중 음극층을 증착하여 실험을 하였다. Au/Al의 음극층에서 Au의 두께 변화보다 Al의 존재유무가 더욱 소자특성에 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다. 이

에 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 저전압에서 고회도의 전면발광 소자를 제시 하였다.
- 2) 이중음극층을 적층하여 전자주입 에너지 장벽을 낮추어 전자주입효율을 개선하였다.
- 3) 두 번에 걸쳐 일어나는 음극 열화 현상의 실험 결과로서 Au두께에 따른 발광특성 변화는 없다는 것을 제시하였다.
- 4) 음극 소재로 금속을 사용함으로써 ITO증착시 단점을 최소화하였다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 중소기업청(산·학·연 공동기술 개발)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. W. Helfrich and W. G. Schneider, "Recombination Radiation in Anthracene Crystals" *Phys. Rev. Lett.* 14, 229 (1965).
2. C. W. Tang and S. A. Vanslyke, "Organic electroluminescent diodes". *Appl. Phys. Lett.* 51, 913 (1987).
3. C. W. Tang, S. A. Vanslyke and C. H. Chen. "Electroluminescence of doped organic thin films". *J. Appl. Phys.* 65, 3610 (1989).
4. R. H. Friend, *et. al.* "Electroluminescence in conjugated polymers", *Nature* 397, 121 (1999).
5. J. R. Sheats, *et. al.* "Organic Electroluminescent devices", *Science* 273, 884 (1996).
6. R. B. Pode. "Transparent conducting metal electrode for top emission organic light-emitting devices: Ca-Ag double layer". *Appl. Phys. Lett.* 84, 23 (2004).
7. L.S. Hung, C.W. Tang, and M. G. Mason, "Enhanced electron injection in organic electroluminescence devices using an Al/LiF electrode", *Appl. Phys. Lett.* 70, 152 (1997).