

Al:Au 음극층을 이용한 양면발광(dual emission) 유기 EL 소자의 Al 두께별 특성 평가

이수환 · 김달호 · 양희두 · 김지현 · 이곤섭 · 박재근[†]

[†]한양대학교 전자통신 컴퓨터 공학부, 한양대학교 나노SOI 공정연구실

Characterization of Organic Light-Emitting Diode (OLED) with Dual Emission using Al:Au Cathode

Su Hwan Lee, Dal Ho Kim, Hee Doo Yang, Ji Heon Kim, Gon Sub Lee and Jea Gun Park[†]

[†]Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang Univ., Nano SOI Process Lab., Hanyang Univ.

ABSTRACT

The Al:Au double-layer metal electrode for use in transparent, dual emission of organic light-emitting diode (OLED) was fabricated. The electrode of Al:Au metals with various thicknesses was deposited by the vacuum thermal evaporation technique. For Al thickness of 1 nm, a bottom luminance of 4880 cd/m² was observed at 8 V. Otherwise, top luminance of 2020 cd/m² were observed at 8 V. In addition, the threshold voltages of the electrodes were 2.2 V. It was forward that the inserting 1 nm Al between LiF and Au enhanced electron injection with tunneling effect.

Key Words : organic light-emitting diode, OLED, dual emission, double cathode, metal cathode

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 특이 할만한 성과를 내지는 못하였다. 그 이후로 1980년대 Kodac의 C. W. Tang 등이 휘도 측면에서 많은 증가를 보인 획기적인 유기EL소자의 특허를 출원함으로써 유기EL 디스플레이 연구의 가속화를 이룰 수 있었다[2, 3].

유기EL 디스플레이는 자발광 · 박형 · 경량 · 저소비 전력 · 광시야각 · 고속응답성 · 고콘트라스트 등의 장점을 가지고 있으며 이러한 장점은 가속화되어 가는 평판디스플레이(flat panel display; FPD) 경쟁 시장에서 유기EL(Organic light-emitting diode; OLED)의 경

쟁력을 더욱 강화시켜 주었다[4, 5].

유기 EL 디스플레이는 발광되는 방향에 따라 후면 발광(bottom emission)[6,7], 전면발광(top emission) [8,9], 그리고 양면발광(dual emission) [10,11]으로 구분할 수 있다. Fig. 1은 발광 방향에 따른 구조도를 보여주고 있다. 후면발광의 경우 유기EL의 빛이 유기물 층과 양극층을 통과하여야 하므로 AM구동방식의 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 있다. 하지만 ITO를 증착하기 위하여 RF sputtering이나 E-beam공정을 사용함으로써 유기물층에 데미지를 주게되어 유기EL의 전체적인 성능을 저하시킨다는 문제를 갖고 있다[6]. 마지막으로 양면발광의 경우는 위의 문제점을 모두 갖고 있다. 하지만 차세대 디스플레이인 3D 디스플레이와 같은 응용분야에 이용하기 위하여 많은 연구 그룹에서 위와 같은 문제점을 해결하고자 많은 연구들이 진행되고 있다.

[†]E-mail : parkjg@hanyang.ac.kr

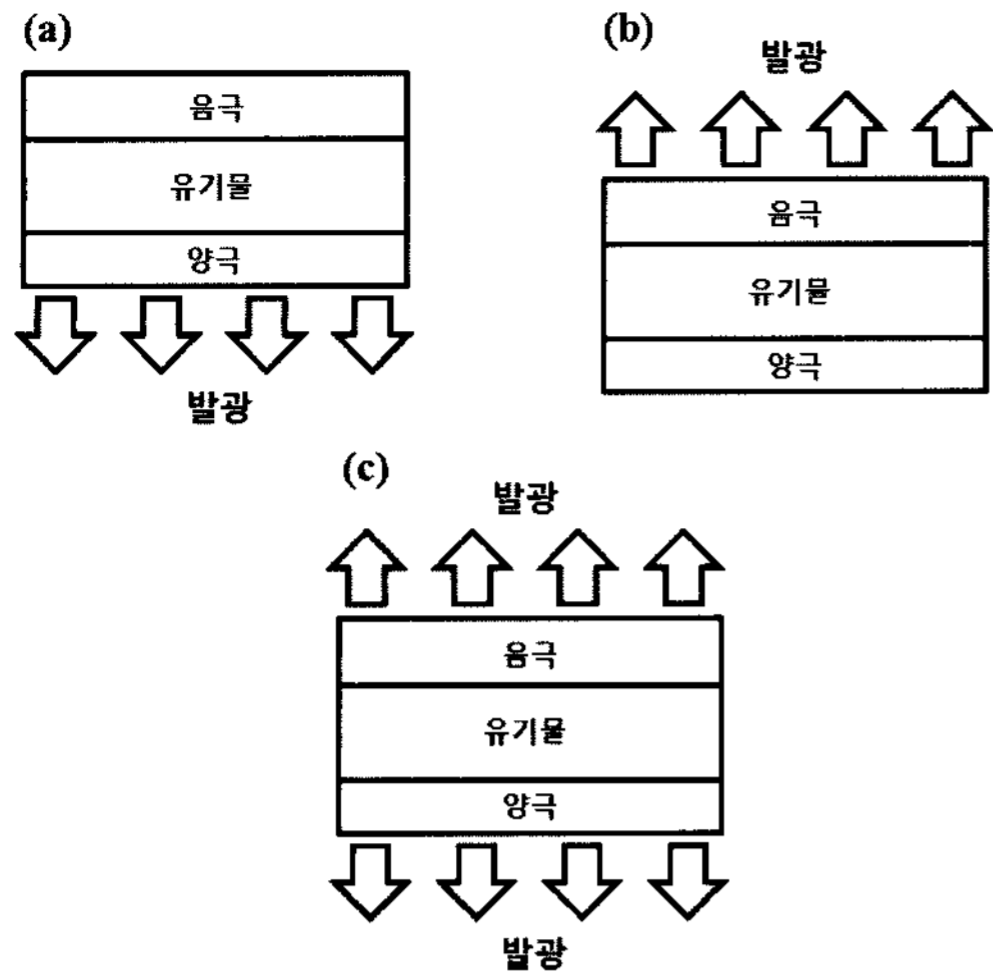


Fig. 1. Type of OLED display (a) bottom emission (b) top emission (c) dual emission.

따라서 본 연구에서는 Al:Au의 이중 음극층을 사용하여 양면발광 소자를 제작하여 유기물층의 손상을 최소화 하였으며, 또한 이중 음극층의 Al 두께를 0.5, 1, 5 nm로 변화를 주어 최적의 Al두께를 선정하였으며, Al 두께에 따른 양면발광소자의 특성변화를 평가 분석 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에서 사용하는 진공 증착 장비(vacuum thermal evaporator)는 Fig. 2와 같다. 이 장비는 radical chamber와 main chamber로 구성되어 있으며, radical chamber에서 시편을 loading하고 반송하여 main chamber쪽으로 옮긴 후, 마스크와 결합한다. 그리고 main chamber는 유기물이 증착되는 영역과 금속 물질이 증착되는 영역으로 구분되어 있어 원하는 물질을 증착할 때 마스크의 위치를 전자동으로 이동하여 증착 할 수 있다. 본 연구에 쓰여진 장비는 일본의 ULVAC사와 본 연구실에서 설계 제작한 장비로서, 기관크기 50mm×50mm이하를 사용할 수 있고 증착 재료는 금속 물질 4개, 유기물질 6개를 동시에 넣을 수 있으며, main chamber는 glove box에 연결이 되어 있다. 따라서 본 실험장비는 plasma처리, 금속물질과 유기물질의 증착, 그리고 평가분석이 in-situ로 가능하여 제작된 소자에 최소로 손상을 주어 신뢰성 있는 특성을 확보 할 수 있다. (ULVAC, Japan minilab)

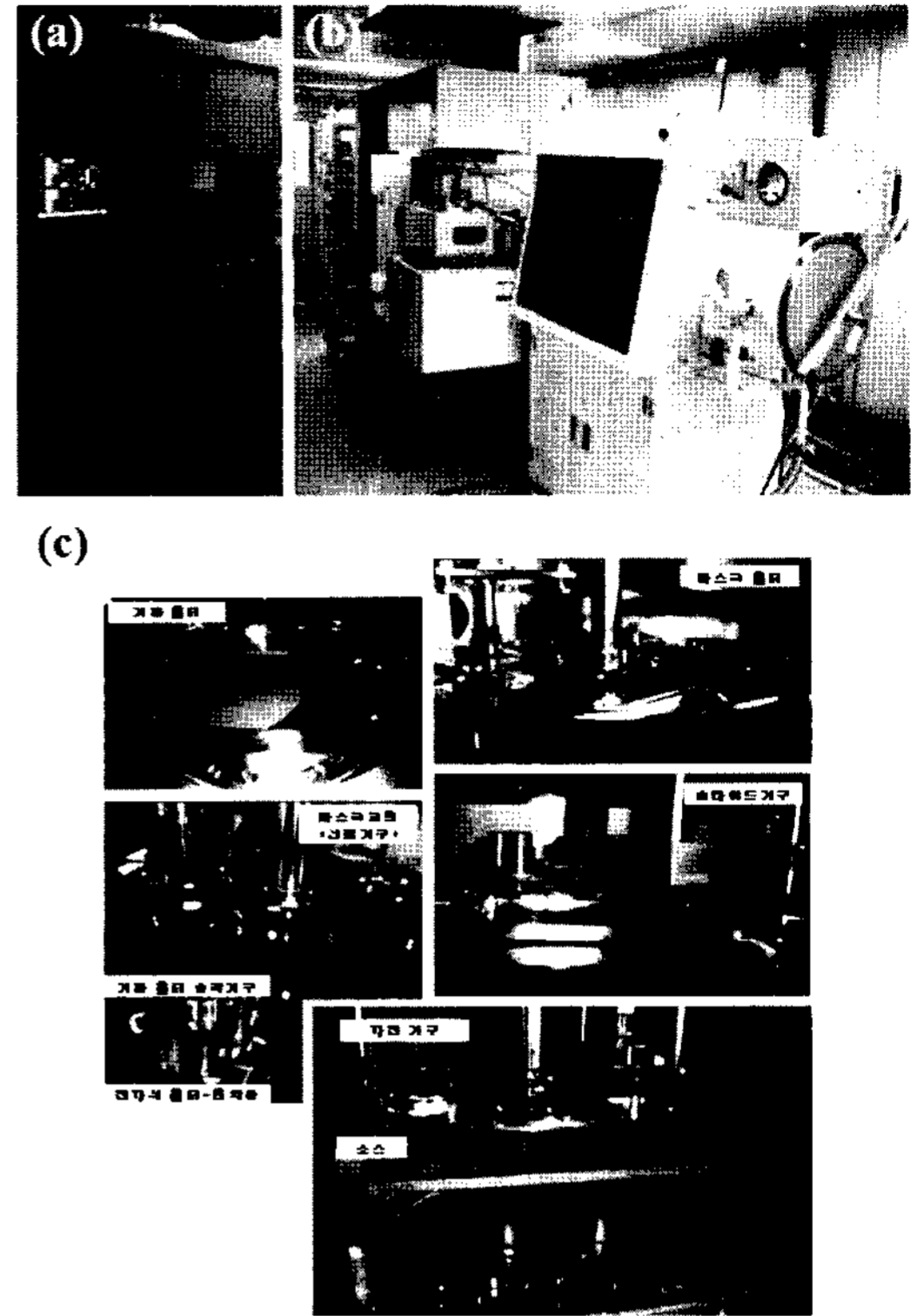


Fig. 2. The configuration of the vacuum thermal evaporator system. (a) control box (b) glove box (c) inside view images of vacuum thermal evaporator.

2.2. 실험방법

본 연구에서는 진공증착방법(vacuum thermal evaporation)을 이용하여 Fig. 3과 같은 구조로 유기 EL 소자를 제작하여 그 특성을 평가 분석하였다. Fig. 에서 보는 것과 같이 Copper phthalocyanine(CuPc), N,N'-di(naphthalene-1-yl)-N,N'-diphenylbenzidine(α -NPB)와 8-hydroxyquinoline aluminum (Alq₃)는 각각 정공주입층(hole injection layer; HIL), 정공수송층(hole transport layer; HTL), 발광층 및 전자수송층(emission layer; EML, electron transport layer; ETL)으로 사용되었다. 또한 전자수송층과 전극 사이에 얇은 LiF층을 추가하여 전자주입층(electron injection layer; EIL)으로 이용하였다. 이 때 EIL은 전자터널링(electron tunneling) 현상으로 전자들의 주입을 용이하게 하였으며, 이것은 구동 전압을 감소시키고 발광특성을 증대시키는 역할을 한다[7]. 그리고 음극층으로는 Al:Au를 사용하였으며, Al 두께에 따른 소자의 특성을 평가 분석하기 위하여 Au두께는 15 nm로 고정하고, Al의 두께를 0.5, 1, 5 nm로 변화를 주었다. 마지막으로 양전극은 ITO를 사용

하였으며, ITO Glass의 면저항은 $18 \Omega/\square$ 이다. ITO 기판의 전처리 과정으로서 60°C IPA (Isopropyl alcohol)로 20분간 처리한 후 DI water로 20분간 세정한 다음 1시간 동안 150°C 로 열처리를 실시하였다. 화학적으로 처리된 ITO 기판은 N_2 gas(99.999%)로 5분간 처리하였다.

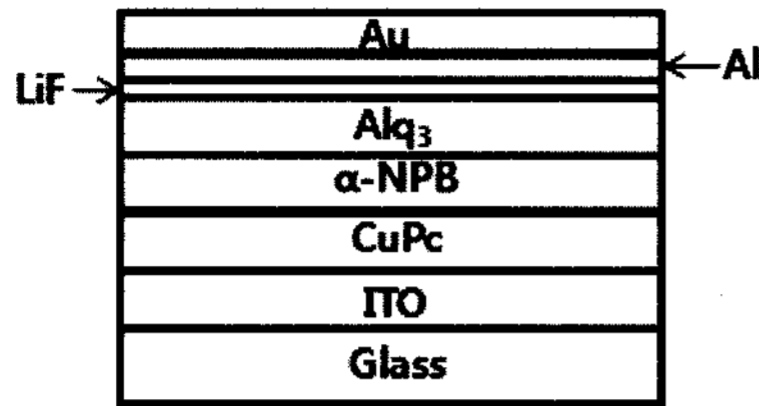


Fig. 3. Device structure of dual emission OLED.

유기물과 금속물질층은 상온에서 3.7×10^{-7} Torr의 압력으로 증착되었고, 증착율(evaporation rate)은 $0.5 \sim 5 \text{ \AA}$ 로 실험하였다. 제작된 유기EL소자의 특성 평가는 산소나 수분의 영향을 최소화하기 위해 N_2 분위기의 glove box내부에서 측정하였으며, 분석장비는 IVL300 광학측정기(JBS INTERNATIONAL, KOREA)로 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 특성평가

Fig. 4는 Al 두께별로 제작된 유기 EL소자의 전압에 따른 전류밀도에 대한 특성 그래프를 보여주고 있다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 Al 0.5 nm의 두께에서는 1, 5 nm에 비하여 전류밀도가 약 1 order정도 떨어지는 특성을 보이고 있다. 이것은 Al 0.5 nm 두께는 박막형태로 증착되지 않고 아일랜드 형태로 증착되었기 때문이라 여겨진다. 1, 5 nm와 같이 박막 형태로 증착이 되면 전자들이 터널링 현상에 의하여 쉽게 전자가 주입될 수 있지만, 아일랜드 형태로 증착이 되면 터널링이 일어나는 부분과 그렇지 않은 부분 두 가지 형태로 전자들이 주입되기 때문에 전자들의 주입효율이 현저히 떨어지게 된다. 따라서 아일랜드 형태로 증착되는 0.5 nm의 Al은 얇은 박막으로 증착되는 1, 5 nm의 Al보다 전류밀도가 떨어지게 된다.

Fig. 5는 Al 두께별로 제작된 유기 EL소자의 전압에 따른 발광상태에 대한 특성 그래프를 보여주고 있다. Fig. 5(a)는 Al 두께에 따른 후면발광특성을 보여주고 있으며, Fig. 5(b)는 전면발광특성을 보여주고 있다. Fig. 5(a)에서 보는 것과 같이 후면발광특성은 Fig. 4의 전류밀도에 비례함을 알 수 있다. 이것은 양전극을

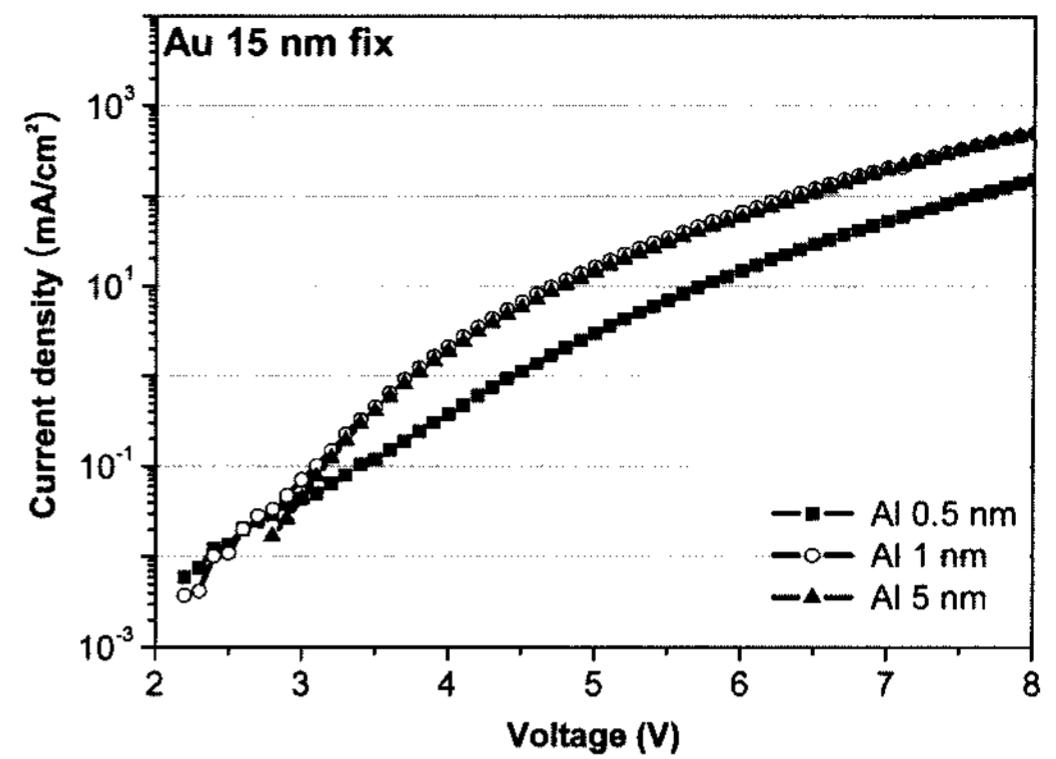


Fig. 4. current density - voltage of dual emission device.

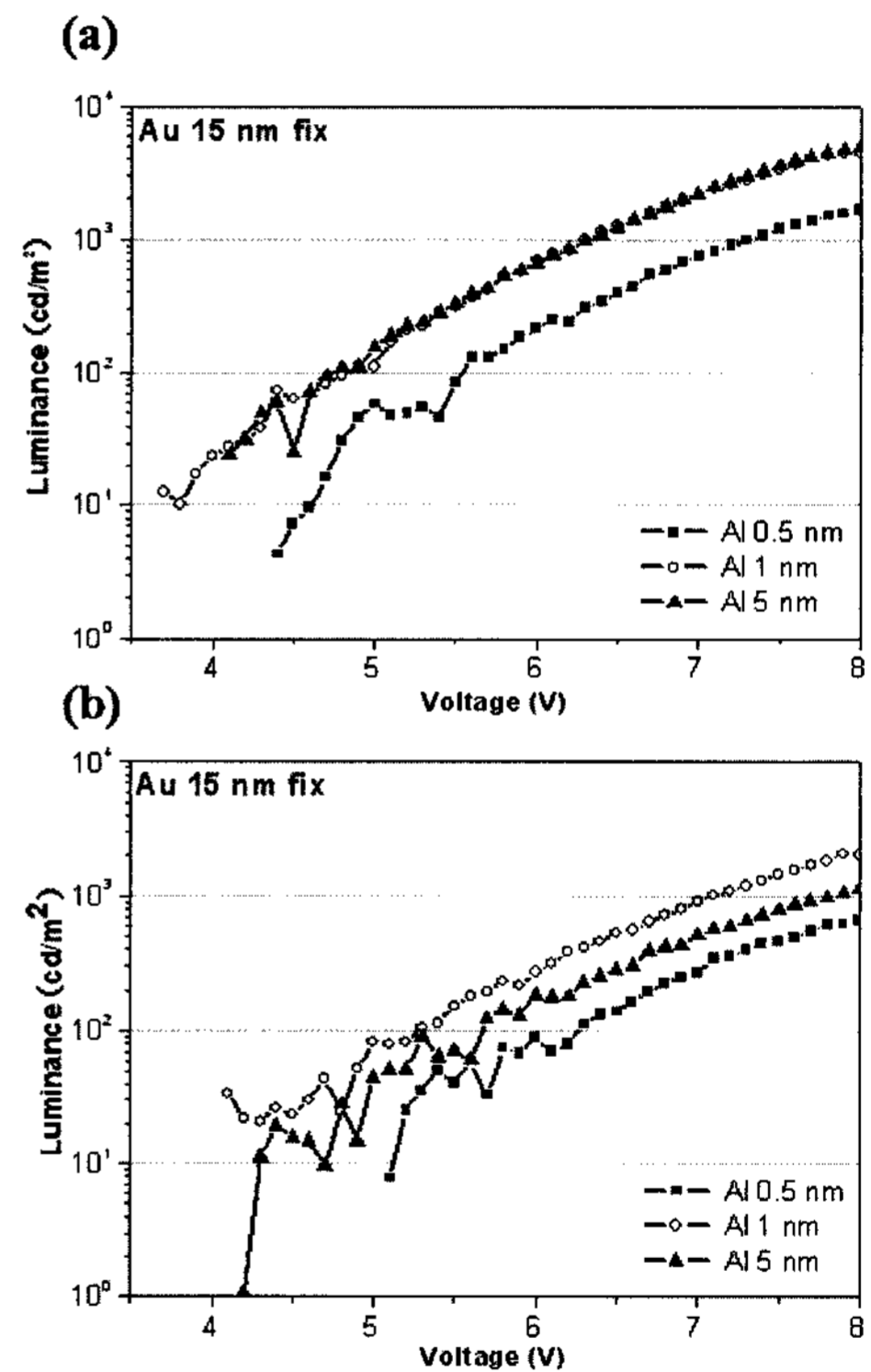


Fig. 5. Luminance - voltage of dual emission (a) bottom emission (b) top emission.

ITO를 사용함으로써 투과율에 대한 의존성이 없기 때문에 전류밀도에 절대적으로 비례를 하는 것이다. 반면에 Fig. 5(b)의 전면발광의 경우에는 Al의 두께가 두꺼워질수록 발광특성이 좋지 않음을 알 수 있다. 이러한 현상은 Al 1, 5 nm의 증착 두께에 따라 음전극의 투과율이 변하기 때문이다. Fig. 6의 Al두께에 따른 투과율 결과에서 보는 것과 같이 Al 0.5 nm인 경우의 투

과율은 5 nm에 비하여 우수하고, 1 nm의 투과율 값과 거의 같은 값을 갖고 있다. 하지만 전류밀도 값이 Fig. 4에서 보는 것과 같이 1, 5 nm에 비하여 떨어지기 때문에 발광 특성이 좋지 않음을 알 수 있다. 따라서 유기 EL소자의 발광특성은 전류밀도와 투과율에 의존한다는 것을 알 수 있다. Fig. 5(a)에서 보면 Al 1 nm일 때의 문턱전압은 2.2 V, 전류밀도는 8 V에서 508 mA/cm²의 전류밀도를 얻을 수 있었으며, Fig. 5의 8 V에서 후면발광과 전면발광 각각 4880, 2020 cd/m²의 발광특성을 실험결과로 얻을 수 있었다. 그리고 Fig 4, 5의 특성 그래프에서도 알 수 있듯이 Al:Au의 이중 음극층을 사용했을 때 최적의 Al두께는 1 nm인 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 Au를 15 nm로 고정하고, Al의 두께를 1~5 nm로 변화시켜 측정한 투과율 값을 보여주고 있다. Fig. 6에서 보는 것과 같이 Al 2 nm이하에서는 R(red: 660 nm), G(green: 525 nm), B(blue: 420 nm)에 대한 투과율이 90%이상으로 균일한 값을 갖고 있음을 알 수 있으며, 2 nm이상의 두께에서는 Al의 두께가 증가함에 따라 각각의 투과율 값이 급격히 감소함을 알 수

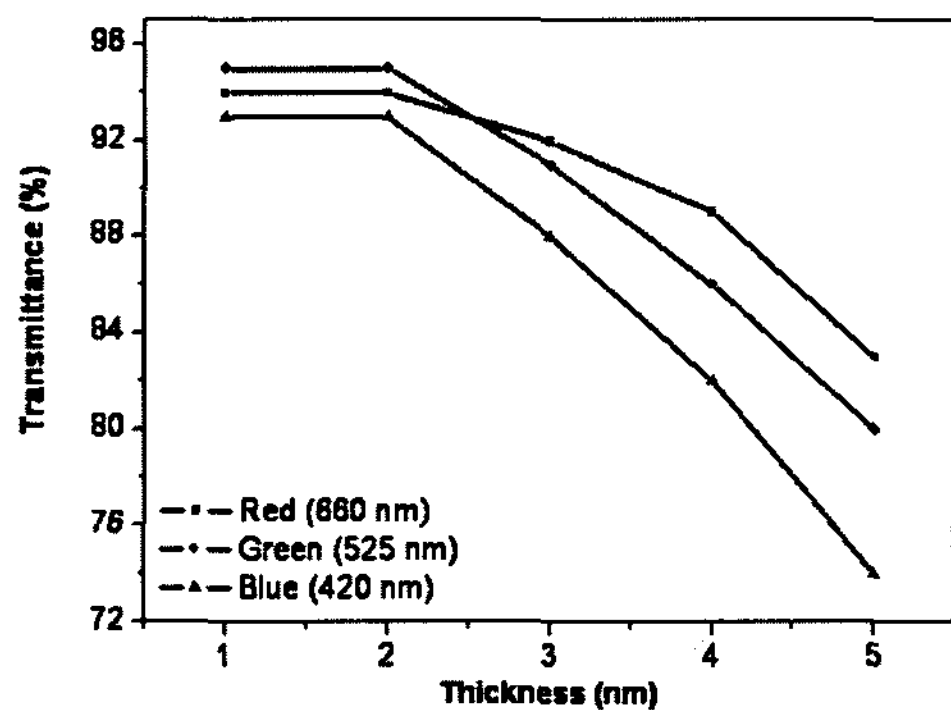


Fig. 6. Transmittance of Al(1~5 nm):Au(15 nm) thickness.

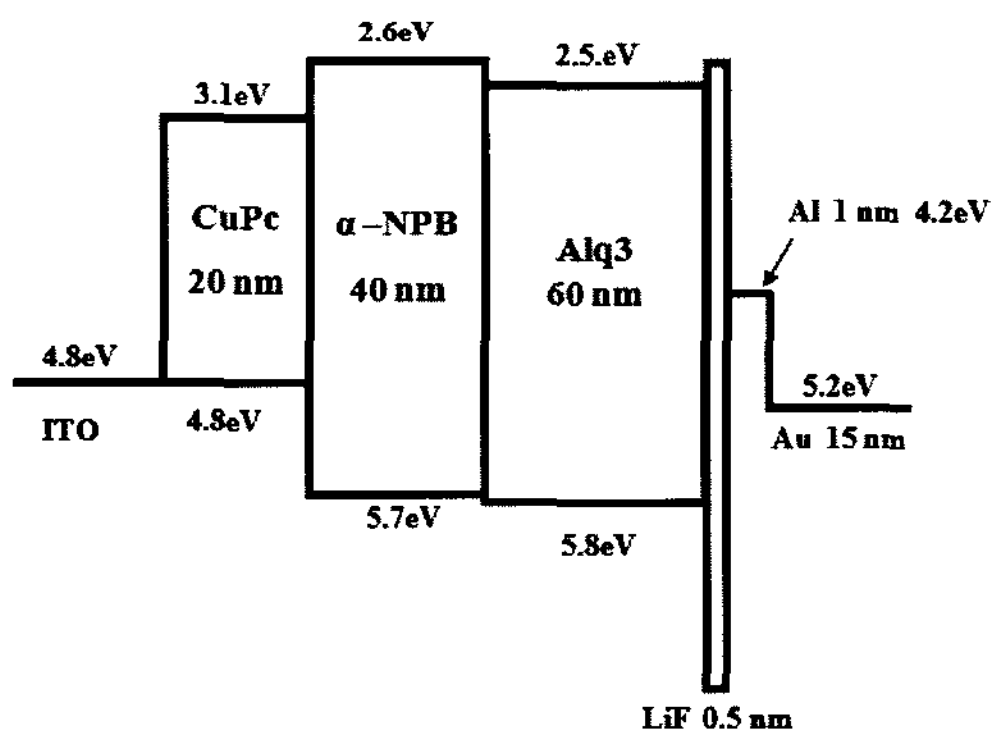


Fig. 7. Energy band diagram of dual emission device.

있다. 이러한 결과는 Fig. 5(b)의 결과와 일치함을 알 수 있다. 그리고

Fig. 7의 유기 EL소자의 energy band diagram에서 볼 수 있듯이 Al의 일함수(work function)가 Au와 유기물층의 포텐셜에너지(potential energy)를 낮추어 주는 역할을 하여 전자의 주입을 원활하게 도와 발광특성을 향상 시켜 준다고 볼 수 있다. 또한 Fig. 5의 실험결과에서 알 수 있듯이 Al막이 아일랜드 형태가 아닌 얇은 박막으로 증착되어야 그 효과를 최대한 볼 수 있음을 예상할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 Al:Au의 이중 음극층을 사용하여 양면발광 소자를 제작하여 유기물층의 손상을 최소화 하였다. 또한 Al 두께에 변화를 주어 최적의 Al두께를 선정하였으며, Al 두께에 따른 양면발광소자의 특성변화를 평가 분석하였다. 이에 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Al:Au의 이중 음극을 사용하여 양면발광 소자를 제작하였다.
- 2) Al을 Au와 LiF 사이에 적층하여 전자주입 에너지 장벽을 낮추어 전자주입효율을 개선하였다.
- 3) 음극 소재 Al:Au를 사용함으로써 ITO를 증착하여 사용한 유기 EL소자 제작시 유기물에 손상을 주는 문제점을 최소화하였다.
- 4) Al두께에 따른 특성을 평가하여 Al 1 nm의 두께가 최적의 두께임을 확인 하였고, Al 1 nm두께에서 후면발광과 전면발광 각각 4880, 2020 cd/m²의 매우 우수한 발광특성을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 중소기업청 (산학연 공동기술개발)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. Zhengliang Wang, Hongbin Liang, Liya Zhou, Hao Wu, Menglian Gong, and Qiang Su, "Luminescence of $(\text{Li}_{0.333}\text{Na}_{0.334}\text{K}_{0.333})\text{Eu}(\text{MoO}_4)_2$ and its application in near UV InGaN-based light-emitting diode" *Chem. Phys. Lett.* 412, 313 (2005).
7. Chihaya Adachi, Tetsuo Tsutsui, and Shogo Saito, "Blue light-emitting organic electroluminescent devices" *Appl. Phys. Lett.* 56, 799 (1990).
8. Yun-Hi Kim, Dong-Cheol Shin, Sung-Han Kim, Chang-Hee Ko, Han-Sung Yu, Yun-Soo Chae, and Soon-Ki Kwon, "Novel Blue Emitting Material with High Color Purity" *Adv. Mater.* 13, 1690 (2001).
9. Ying Kan, Liduo Wang, Lian Duan, Yuanchuan Hu, Guoshi Wu, and Yong Qiu, "Highly-efficient blue electroluminescence based on two emitter isomers", *Appl. Phys. Lett.* 84, 1513 (2004).
10. M.Y. Chan, S.L. Lai, F.L. Wong, O. Lengyel, C.S. Lee, and S.T. Lee, "Efficiency enhancement and retarded dark-spots growth of organic light-emitting devices by high-temperature processing", *Chem. Phys. Lett.* 371, 700 (2003).
11. M.Y. Chan, S.L. Lai, M.K. Fung, C.S. Lee, and S.T. Lee, "Highly efficient and substrate independent CsF/Yb/Ag cathodes for organic light-emitting devices", *Chem. Phys. Lett.* 374, 215 (2003).