



<연구논문>

ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지
J. Kor. Inst. Surf. Eng.
Vol. 48, No. 4, 2015.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2015.48.4.174>

Al 음극 두께 변화에 따른 양면 발광 OLED의 발광 특성

김지현, 주성후*

대전대학교 신소재공학과

Emission Characteristics of Dual-Side Emission OLED with Al Cathode Thickness Variation

Ji-Hyun Kim, Sung-Hoo Ju*

Department of Advanced Materials Science and Engineering, Daejin University, Seondan-dong, Pocheon-si, Kyonggi-do, 11159, Korea

(Received August 4, 2015 ; revised August 24, 2015 ; accepted August 27, 2015)

Abstract

We studied emission characteristics for blue fluorescent dual-side emission OLED with Al cathode thickness variation. In the bottom emission OLED of Al cathode with 10, 15, 20, 25, 30, and 150 nm thickness, maximum luminance showed 36.1, 8,130, 9,300, 12,000, 13,000, and 12,890 cd/m^2 , and maximum current efficiency showed 2, 8.8, 10, 10.5, 10.8, and 11.4 cd/A , respectively. The emission characteristics of the bottom emission seemed to be improved according to decrease of resistance as the thickness of Al cathode increase. In the top emission OLED of Al cathode with 10, 15, 20, 25, and 30 nm thickness, maximum luminance showed 4.3, 351, 131, 88.6, and 33.2 cd/m^2 , and maximum current efficiency showed 0.23, 0.38, 0.21, 0.16, and 0.09 cd/A , respectively. It yielded the highest maximum luminance and maximum current efficiency in Al cathode thickness 15 nm. It showed a tendency to decrease as the thickness of Al cathode increase. The reason for this is due to decrease of transmittance with increasing of Al cathode thickness. The electroluminescent spectra of bottom and top emission OLED were not change.

Keywords : OLED, Dual-side, Cathode, Thickness, Efficiency

1. 서 론

유기전계발광소자(Organic Light Emitting Device : OLED)는 낮은 전력 소모, 빠른 응답 속도, 얇은 두께, 높은 명암비 및 낮은 생산 비용 등의 장점을 가지고 있고, 평판 디스플레이 및 조명용 광원으로의 활성화를 위하여 지속적인 발광효율 및 수명 향상이 요구되고 있다^{1,2)}.

최근에는 기능성 재료를 투명 전극으로 사용하여 발광하지 않을 경우에는 투명한 OLED의 연구가

진행되고 있다. OLED는 기존의 LCD와는 달리 자체 발광 디스플레이로서 아주 얇은 다층 유기 기능성 박막을 사용한다는 점이 중요한 특징 중의 하나이다. Tang 등이 OLED 소자 제작에 있어 획기적인 성과를 보인 것은 핀 홀이 없는 100 nm 정도의 유기 박막을 만들 수 있었던 것과 전자 주입성이 높은 활성 금속을 안정화시켜 사용할 수 있었기 때문 이었다³⁾.

OLED는 발광하는 방향에 따라 배면 발광(bottom emission)^{4,5)}, 전면발광(top emission)^{6,7)}, 그리고 양면 발광(dual emission)^{8,9)}으로 구분할 수 있다. 양면 발광 구조를 투명 OLED라고도 하며 투명한 화소 및 구동소자를 적용함으로써 기존 디스플레이가 가지고 있는 공간적·시각적 제약을 확대하고자 노력하

*Corresponding Author : Sung-Hoo Ju

Department of Advanced Materials Science and Engineering,
Daejin University
E-mail : sunghooju@daejin.ac.kr

고 있다. 키패드(keypad), 군용 고글, 광고 창 등 다양한 형태로 응용이 가능한 양면 OLED를 실현하기 위해서는 투명한 소재기술과 공정기술, 트랜지스터 등의 단위소자 제조기술, 그리고 투명 패널 등의 설계 및 제작기술 개발이 요구되고 있다¹⁰⁾.

본 연구에서는 양면 OLED의 발광특성을 연구하기 위하여 Al 음극의 두께를 변화시켜 OLED 소자를 제작하였다. Al 두께에 따른 Al 박막의 특성을 분석하기 위하여 Al 박막의 면 저항과 광 투과도를 측정하였고, 전기적 광학적 특성을 분석하기 위하여 전류-전압-휘도(I-V-L) 특성과 발광 스펙트럼을 측정하였다.

2. 실험 방법

면저항 10 Ω/□, 두께 150 nm의 ITO (Indium Tin Oxide) 유리 기판위에 열 기상 증착 방법으로 1.0 × 10⁻⁶ torr 이하의 고진공에서 유기물은 1 Å/s, Liq는 0.5 Å/s, Al은 2 Å/s, MoO₃는 0.5 Å/s의 증착속도로 박막을 증착하여 OLED를 제작하였다.

그림 1은 제작한 청색 형광 양면발광 OLED의 구조를 나타낸 것이다. 기본 청색 OLED 소자로는 정공주입층으로 MoO₃, 2TNATA, 정공수송층으로 NPB, 발광층으로 BD-2가 첨가된 SH-1, 전자수송층으로 Bphen, 전자주입층으로 Liq, 음극으로 Al을 사용한 ITO / MoO₃ / 2-TNATA (4,4,4-tris(2-naphthyl phenyl)-aminotriphenylamine) / NPB (N,N'-bis-(1-naphyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine) / SH-1 : 3 vol.% BD-2 / Bphen (4-7-diphenyl-1,10-phenanthroline) / Liq / Al 구조로 제작하였다. Al 두께에 따른 OLED의 발광 특성을 조사하기 위하여 Al 음극 전극의 두께를 10, 15, 20, 25, 30, 150 nm로 변화시켜 제작하였다.

제작된 OLED를 발광시키기 위하여 양극인 ITO에 (+) 전압을 인가하고, 음극인 Al에 (-) 전압을

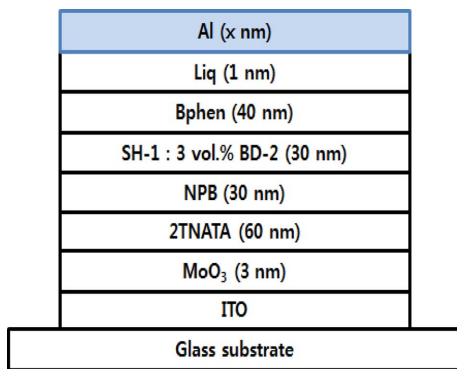


Fig. 1. Structure of blue fluorescent dual-side emission OLEDs.

인가하는 전원 인가 장치로 Keithley 2400을 사용하여 전압과 전류를 인가하였고, 소자에서 발광된 휘도와 스펙트럼은 Minolta사의 CS-100A Luminescence Meter와 Photo Research사의 PR-650 Spectrascan을 사용하여 측정하였고, 면저항 측정을 위하여 AIT사의 CMT-SR2000N-PV를 사용하였고, 투과도는 Lapshere사의 LMS-650을 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 Al 음극의 두께를 10, 15, 20, 25, 30, 150 nm로 변화시켜 제작한 청색 형광 양면 발광 OLED의 인가전압에 대한 전류밀도를 나타낸 것이다. Al 음극 10, 15, 20, 25, 30, 150 nm의 두께에서 전류밀도 10 mA/cm²를 나타내는 인가전압은 각각 21.6, 10, 9.5, 9.3, 9, 8.1 V로 음극의 두께가 증가할수록 감소하였다. 특히 Al 음극의 두께가 10 nm에서 15 nm로 증가함에 따라 인가전압이 급격하게 감소하였다.

그림 3(a)는 Al 음극의 두께를 변화시켜 제작한 청색 형광 양면 발광 OLED의 인가전압에 대한 배면 발광휘도를 나타낸 것이다. Al 음극의 두께가 10 nm 일 때는 최대발광휘도가 36.1 cd/m²로 매우 낮은 발광휘도를 나타내었으나, Al 음극 두께가 15, 20, 25, 30, 150 nm에서는 각각 8,130, 9,300, 12,000, 13,000, 12,890 cd/m²의 최대발광휘도를 나타내었다. 15, 20, 25, 30, 150 nm의 Al 음극 두께에서 발광휘도 1,000 cd/m²를 나타내는 인가전압은 각각 11.4, 10.5, 10.2, 10.1, 8.9 V를 나타내어 Al 음극의 두께가 증가할수록 1,000 cd/m²를 나타내는 인가전압은 감소하였다. 문턱전압의 경우에도 Al 음극 두께 10, 15, 20, 25, 30, 150 nm에서 각각 10, 6, 5, 5, 5,

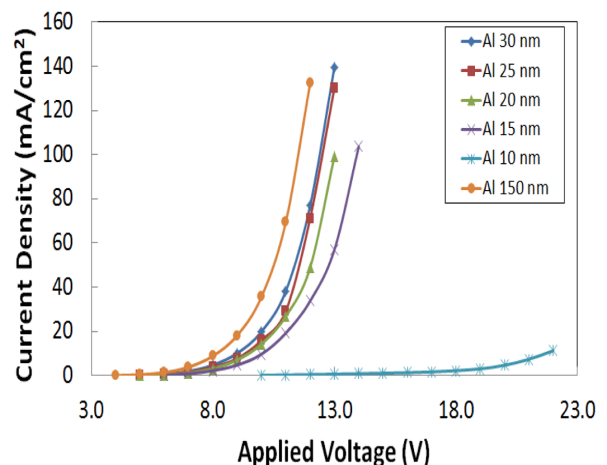


Fig. 2. Current density vs. applied voltage characteristics for blue fluorescent dual-side emission OLEDs

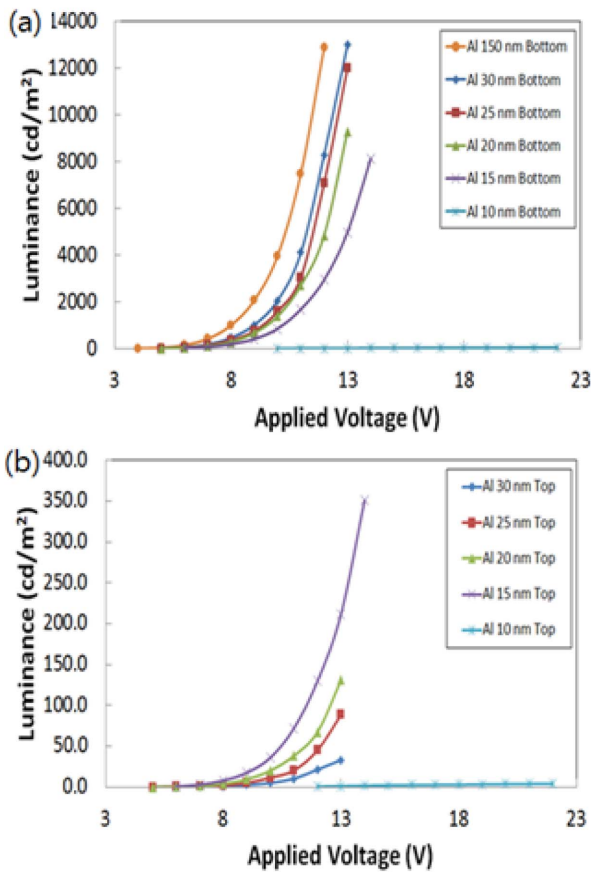


Fig. 3. Luminance vs. applied voltage characteristics for blue fluorescent dual-side emission OLEDs. (a) bottom emission. (b) top emission.

3.5 V로 Al 음극의 두께가 증가할수록 감소하였다. 이러한 최대 발광 휘도의 증가와 문턱전압의 감소는 음극의 두께가 두꺼워지면서 전류의 주입이 원활하게 되어 나타난 현상이다. 그림 3(b)는 Al 음극의 두께를 변화시켜 제작한 청색 형광 양면 발광 OLED의 인가전압에 대한 전면 발광휘도를 나타낸 것이다. 최대발광휘도의 경우 Al 음극 두께 10, 15, 20, 25, 30 nm에서 각각 4.3, 351, 131, 88.6, 33.2 cd/m²을 나타내었다. Al 음극 두께 10 nm에서는 전류의 주입이 적어 4.3 cd/m²의 낮은 최대발광휘도를 나타내었으나, Al 음극 두께가 15 nm로 증가함에 따라 최대발광휘도는 351 cd/m²로 급격하게 증가한 후, Al 음극 두께가 20, 25, 30 nm로 증가함에 따라 최대발광휘도는 점차 감소하여 Al 음극 두께 150 nm에서는 전면으로 방출되는 빛이 나타나지 않았다. Al 음극 두께 150 nm에서 전면으로 방출되는 빛이 나타나지 않는 것은 Al이 불투명하여 발광층에서 방출된 빛이 Al 음극을 통과하지 못하여 나타난 현상이다. 문턱전압의 경우 Al 음극 10, 15, 20, 25, 30 nm 두께에서 각각 13, 7, 7, 7, 8 V로 Al 음극 두께 10 nm에서는 전류 주입의 문제로 문턱전압이

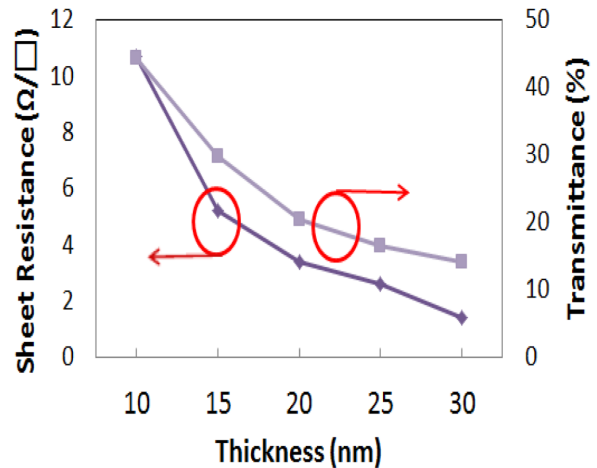


Fig. 4. Sheet resistance and transmittance characteristics with Al thickness.

매우 높았지만, 15 nm에서 급격하게 감소하고, 이후 Al 음극의 두께가 증가함에 따라 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

그림 4는 Al의 두께에 따른 면 저항과 투과도를 나타낸 것이다. 두께에 따른 면저항은 Al 두께 10, 15, 20, 25, 30 nm에서 각각 10.7, 5.2, 3.4, 2.6, 1.4 Ω/□를 나타내어 Al의 두께가 증가함에 따라 면 저항이 감소하였다. 특히 Al의 두께가 10 nm에서 15 nm로 변화함에 따른 면 저항 값은 큰 폭으로 감소하였다. 두께에 따른 투과도는 Al 두께 10, 15, 20, 25, 30 nm에서 각각 44, 30, 21, 16, 14%를 나타내어 Al의 두께가 증가할수록 투과도가 감소하였다. 따라서 그림 2에서 Al 음극의 두께가 증가할수록 전류밀도가 증가하는 현상은 Al 두께의 증가에 따라 저항이 감소하여 전류주입이 원활하게 되어 나타난 현상이다. 그림 3(a)에서 Al 음극의 두께 증가에 따라 배면 발광의 발광휘도가 증가하는 것은 Al 두께의 증가에 따라 저항 값이 감소하여 전류밀도가 증가하여 나타난 현상이다. 그림 3(b)의 전면발광에서 전류주입이 낮은 10 nm의 Al 음극 두께를 제외하고 Al 음극의 두께가 증가할수록 전면발광의 휘도가 감소하는 것은 Al의 두께 증가에 의하여 저항이 감소하나 Al의 광 투과도도 감소하여 발광층에서 발광된 빛이 전면 방향으로 투과하지 못하여 나타난 현상이다. 따라서 전면발광의 경우 전류와 투과도의 영향에 의하여 Al 음극의 두께 15 nm에서 가장 높은 최대발광휘도를 나타내게 되는 것이다.

그림 5(a)는 음극 Al 두께를 변화시켜 제작한 청색 형광 양면 발광 OLED의 인가전압에 대한 배면 발광의 전류발광효율을 나타낸 것이다. 최대전류발광효율은 Al 음극 10, 15, 20, 25, 30, 150 nm 두께에서 각각 2, 8.8, 10, 10.5, 10.8, 11.4 cd/A로 Al

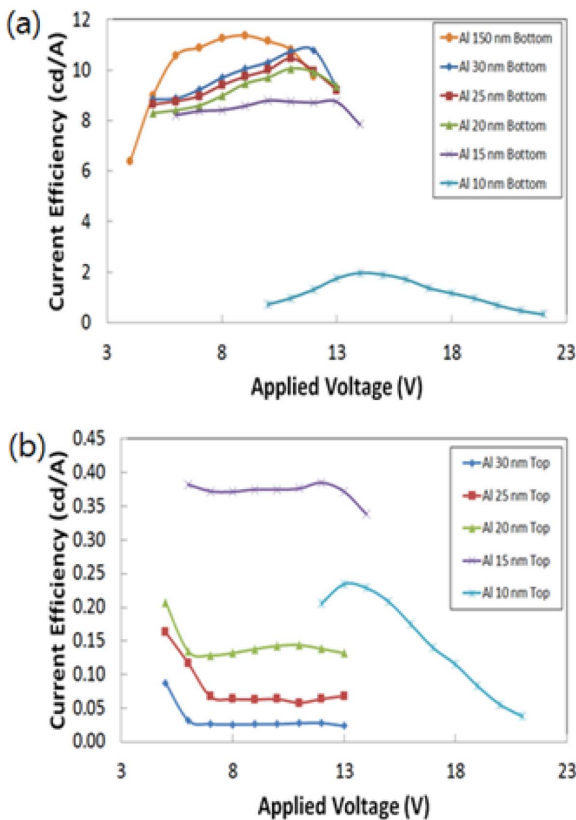


Fig. 5. Current efficiency vs. applied voltage characteristics for blue fluorescent dual-side emission OLEDs. (a) bottom emission. (b) top emission.

음극의 두께가 증가함에 따라 최대전류발광효율이 증가되었다. 이러한 현상은 Al의 두께가 증가함에 따라 음극의 저항 값이 감소하여 전류의 손실이 적고, 전류의 손실이 적어 원활하게 주입된 전류가 발광에 기여함으로써 발광이 증가하고, 전면 방향으로의 투과도 감소에 의하여 전면 쪽으로 방출되는 빛은 감소하고 배면 쪽으로 방출되는 빛은 증가하여 배면발광의 최대 전류발광효율이 증가하는 것이다. 그림 5(b)는 음극 Al 두께를 변화시켜 제작한 청색 형광 양면 발광 OLED의 인가전압에 따른 전면발광의 전류발광효율을 나타낸 것이다. 최대 전류발광효율은 Al 음극 10, 15, 20, 25, 30 nm 두께에서 각각 0.23, 0.38, 0.21, 0.16, 0.09 cd/A를 나타내었다. 전면발광에서는 저항이 매우 커 전류주입이 원활하지 않은 10 nm 두께의 Al 음극을 제외하고, Al 음극의 두께가 증가함에 따라 전류 주입은 배면발광과 동일하지만 광 투과도가 감소하여 발광된 빛이 전면 부분으로 투과되는 양은 감소하여 낮은 최대 전류발광효율을 나타낸 것이다.

그림 6은 Al 음극 두께를 15 nm로 제작한 청색 형광 양면 발광 OLED의 발광스펙트럼을 나타낸 것이다. 배면발광의 발광스펙트럼과 전면발광의 발

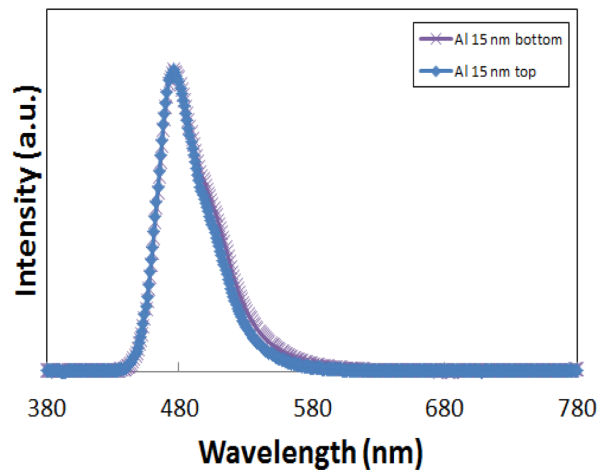


Fig. 6. The electroluminescent spectra for blue fluorescent dual-side emission OLEDs.

광스펙트럼은 동일한 결과를 나타내어 발광 방향에 따른 스펙트럼의 변화는 없는 것으로 확인되었다. 또한 양면 발광 OLED의 Al 음극의 두께 변화에 따른 배면 방향과 전면 방향으로 방출되는 빛의 발광스펙트럼도 476 nm에서 가장 강한 세기를 갖는 동일한 스펙트럼을 나타내었다.

4. 결 론

Al 음극의 두께를 변화시켜 ITO/MoO₃/2-TNATA/NPB/SH-1:BD-2/Bphen/Liq/Al 구조의 청색 형광 양면 발광 OLED를 제작하였다. 양면 발광 OLED의 배면발광에서 최대 발광휘도는 Al 음극 두께 10, 15, 20, 25, 30, 150 nm에서 각각 36.1, 8,130, 9,300, 12,000, 13,000, 12,890 cd/m²를 나타내었으며, 최대 전류발광효율은 2, 8.8, 10, 10.5, 10.8, 11.4 cd/A를 나타내었다. Al 음극의 두께가 증가할수록 배면발광에서의 최대 발광휘도와 최대 전류발광효율이 증가하는 것은 저항이 감소하여 전류 주입 특성이 향상된 결과이다. 양면 발광 OLED의 전면발광에서 최대 발광휘도는 Al 음극 두께 10, 15, 20, 25, 30 nm에서 각각 4.3, 351, 131, 88.6, 33.2 cd/m²를 나타내었으며, 최대 전류발광효율은 0.23, 0.38, 0.21, 0.16, 0.09 cd/A를 나타내었다. 전면 발광에서 나타난 현상은 10 nm 두께의 Al 음극은 너무 얇아 저항이 커서 발광특성이 낮게 나타나고 Al 음극의 두께가 15 nm 이상으로 증가하면 Al의 광 투과도가 감소하여 발광층에서 방출된 빛이 투과하지 못하여 전면부분으로 나오는 빛이 감소한 결과이다. 따라서 전면발광의 휘도와 효율을 증가시키기 위하여 광 투과율이 높고 저항 값이 낮은 음극전극 물질을 적용하는 연구가 지속될 필요가 있다.

References

1. C. W. Tang, S. A. Vanslyke, *Appl. Phys. Lett.*, 51 (1987) 913.
2. C. S. Park, D. H. Kong, J. H. Kang, S. H. Yun, S. H. Ju, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.* 48, (2015) 115.
3. C. W. Tang, S. A. Vanslyke, and C. H. Chen, *Appl. Phys. Lett.*, 65 (1989) 9.
4. Zhengliang Wang, Hongbin Liang, Liya Zhou, Hao Wu, Menglian Gong, and Qiang Su, *Chem. Phys. Lett.* 412, (2005) 313.
5. C. Adachi, T. Tsutsui, S. Saito, *Appl. Phys. Lett.* 56, (1990) 799.
6. Y. H. Kim, D. C. Shin, S. H. Kim, C. H. Ko, H. S. Yu, Y. S. Chae, S. K. Kwon, *Adv. Mater.* 13, (2001) 1690.
7. Y. Kan, L. Wang, L. Duan, Y. Hu, G. Wu, Y. Qiu, *Appl. Phys. Lett.* 84, (2004) 1513.
8. M. T. Chan, S. L. Lai, F. L. Wong, O. Lengyel, C. S. Lee, S. T. Lee, *Chem. Phys. Lett.* 371, (2003) 700.
9. M. Y. Chan, S. L. Lai, M. K. Fung, C. S. Lee, S. T. Lee, *Chem. Phys. Lett.* 374, (2003) 215.
10. B. W. D'Andrade, *Adv. Mater.* 16 (2004) 1585.