



## 양극 물질에 따른 청색 형광 OLED의 발광 특성

공도훈, 이요셉, 주성후, 양재웅\*

대전대학교 신소재공학과

### Emission Characteristics of Blue Fluorescent OLED with Anode Materials

Do-Hoon Kong, Yo-Seb Lee, Sung-Hoo Ju, Jae-Woong Yang\*

Department of Advanced Materials Science and Engineering, Daejin University, Seondan-dong, Pocheon-si, Kyonggi-do, 487-711, Korea

(Received June 17, 2015 ; revised June 26, 2015 ; accepted June 26, 2015)

#### Abstract

We studied the blue fluorescent OLED with Mg:Ag, Al, Ni as anode materials. Blue fluorescent OLEDs were fabricated using Anode / MoO<sub>3</sub> (3 nm) / 2-TNATA (60 nm) / NPB (30 nm) / SH-1 : BD-2 (5 vol.%, 30 nm) / Bphen (40 nm) / Liq (1 nm) / Al (150 nm). Current density of OLED with Mg:Ag was not measured due to too low work function, and that of OLED with Al showed 45.2 mA/cm<sup>2</sup> at 12 V. Luminance and Current efficiency of OLED with Al showed 385.1 cd/m<sup>2</sup> and 0.9 cd/A. Current density of OLED with Ni of 8, 10, 12 nm thickness showed 10, 12.9, 37.2 mA/cm<sup>2</sup>, respectively. Luminance and Current efficiency of OLED with Ni of 8, 10, 12 nm thickness showed 670.9, 991.2, 1,320 cd/m<sup>2</sup> and 6.7, 7.7, 3.6 cd/A, respectively. Transmittance of Al was 52.2% at 476 nm wavelength and that of Ni of 8, 10, 12 nm thickness was 79, 77, 74 %, respectively. In spite of best current density, OLED with Al showed the lowest luminance and current efficiency because of low work function and poor transmittance. When thickness of Ni was increased to 12nm, current efficiency was sharply lower owing to bad transmittance and unbalance of holes and electrons. Finally, OLED with Ni of 10 nm thickness showed the highest current efficiency.

*Keywords* : Emission Characteristic, Blue Fluorescent, OLED, Anode Materials

## 1. 서 론

새로운 평판 디스플레이 중의 하나인 유기전계발광소자(Organic Light Emitting Device : OLED)는 저 전압구동, 자체발광, 경량박형, 광시야각, 그리고 빠른 응답속도 등의 장점으로 최근에 그 실용화에 박차를 가하고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 아직까지 고효율, 장수명을 가지는 발광재료 및 전하수송재료, 주입재료, 유기박막 성막방법, 봉지방법, 구동회로 등 개선해야 할 과제가 많이 남아있다<sup>2)</sup>. 유기발광물질과

전극사이의 계면에서 전하주입 특성이 발광소자의 양자효율 및 구동전압에 가장 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 수명에도 중요한 역할을 한다는 것이 알려져 있다<sup>3)</sup>. 양극물질로 주로 사용하는 ITO (Indium Tin Oxide)는 박막형성의 여러 요인에 의하여 표면의 거칠기에 영향을 받는다. 표면 돌출부는 전하집적의 원인이 될 뿐만 아니라 유기층을 관통하는 누설전류의 원인이 되고 화면부의 흑점 결함으로 보일 수 있는 등 OLED 수명에 많은 영향을 준다<sup>4)</sup>. 또한, ITO의 원료 중 45%를 차지하는 In의 경우에는 양이 제한적으로 생산되어 가격이 급등하고 있고 ITO 패터닝에서 화학약품 처리 및 공정 중에 소모되는 비용이 많아 단점으로 작용하고 있어 이를 대체할 수 있는 금속물질의 양극전극의 개발은 조

\*Corresponding Author : Jae-Woong Yang  
Department of Advanced Materials Science and Engineering,  
Daejin University  
E-mail : jwyang@daejin.ac.kr

명용 OLED소자 등에 적용하여 생산성을 획기적으로 낮출 수 있을 것이다.

본 연구에서는 양극전극으로 패터닝 공정을 생략하고 진공증착법을 이용하여 양극을 형성함으로써 공정 간소화를 실현시키기 위하여 다양한 양극물질로 Mg:Ag, Al 및 Ni를 사용하여 OLED를 제작하였다. 또한 전기적, 광학적 특성이 가장 우수한 양극전극의 최적화를 위하여 두께를 변화하였으며 제작된 OLED의 특성분석을 위하여 전류-전압-휘도(I-V-L) 특성과 일함수를 측정하였다.

### 2. 실험 방법

유리기판은 아세톤, 이소프로필알콜, 중성세제, 초순수를 사용하여 세정하고, 회전 탈수기로 수분을 제거한 후 110°C 오븐에서 30분간 건조 하였다. 전처리로 UV를 조사한 후 O<sub>2</sub> Plasma를 실시하였다. 소자 제작은 유리기판위에 열 기상증착 방법으로 1.0 × 10<sup>-6</sup> torr 이하의 고진공에서 유기물은 1 Å/s, Mg:Ag, Al, Ni은 4 Å/s, MoO<sub>x</sub>는 0.5 Å/s의 증착속도로 박막을 증착하여 OLED를 제작하였다.

그림 1은 진공증착법을 이용하여 양극층, 유기물 및 음극층을 증착하는 OLED 제조 공정을 나타낸 모식도이다. 유리기판 위에 양극전극으로 각각 순도 99.99 %의 Mg (90 wt%): Ag (10 wt%), Al 및 Ni을 증착 한 후 유기물층과 음극전극을 연속적으로 증착하는 과정을 나타낸 것이다.

그림 2는 제작한 OLED의 구조를 나타낸 것으로 구조는 Anode / MoO<sub>3</sub> / 2-TNATA / NPB / SH-1 : BD2 (5 vol%) / Bphen / Liq / Al 순으로 제작하였다. 양극전극으로 Mg:Ag 및 Al은 10 nm 두께로 증

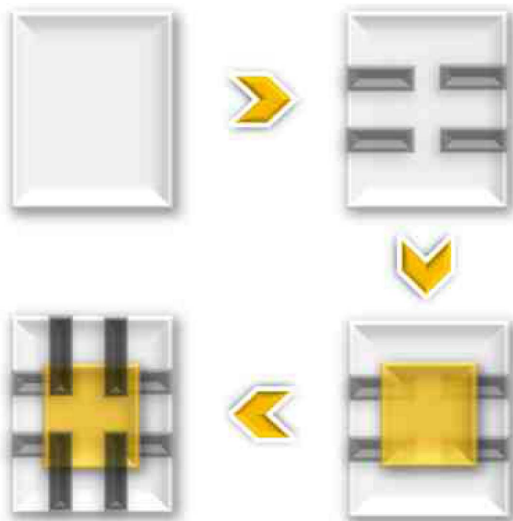


Fig. 1. Fabrication process of OLED.

착하였고, Ni은 8, 10, 12 nm의 두께로 증착하여 OLED를 제작하였다. 제작한 OLED 소자를 발광시키기 위한 전원 장치로 Keithley 2400을 사용하여 전압과 전류를 인가하였으며 소자에서 발광된 휘도 및 발광 스펙트럼은 Photo Research사의 PR-650 Spectrascan을 사용하여 측정하였다. 일함수 측정은 세정공정을 거친 유리 기판에 Mg:Ag, Al, Ni을 각각 단일층으로 150 nm 증착하여 KP Technology사의 Kelvin Probe를 사용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 Mg:Ag, Al, Ni의 양극전극을 적용하여 제작한 OLED의 인가전압에 대한 전류밀도를 나타낸 것이다. 양극전극으로 Mg:Ag를 사용한 경우에는 전류가 흐르지 않았고, Al을 사용한 경우에는 인가전압 12 V에서 45.2 mA/cm<sup>2</sup>로 측정되었다. Ni

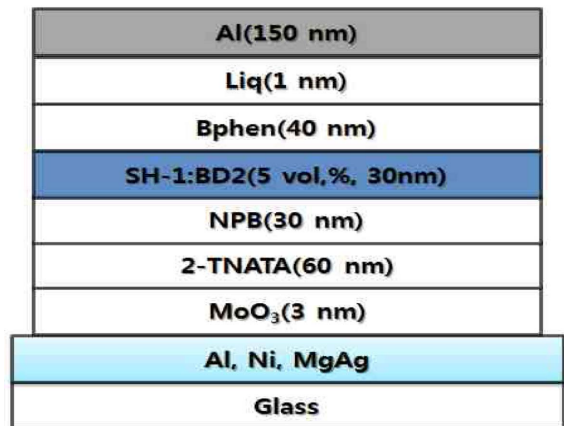


Fig. 2. Structure of blue fluorescent OLED for different anode materials.

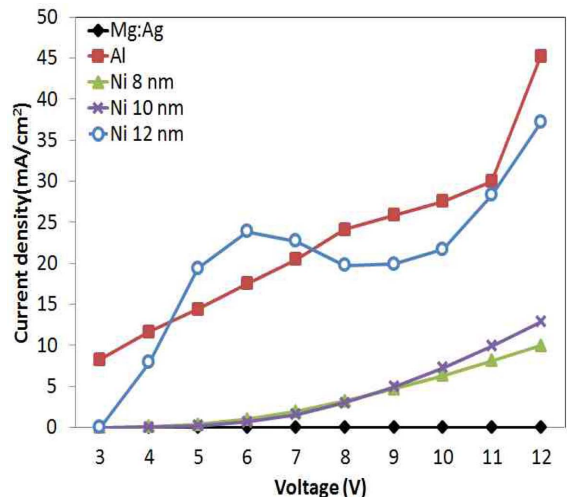


Fig. 3. Current density vs. applied voltage or different anode materials.

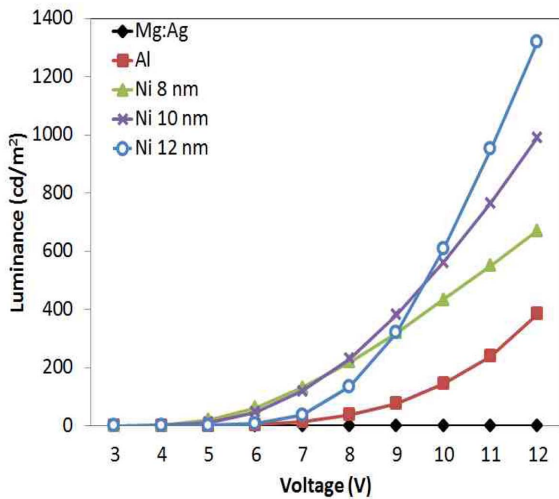


Fig. 4. Luminance vs. applied voltage for different node materials.

은 8, 10, 12 nm일 때 12 V에서 각각 10, 12.9, 37.2 mA/cm<sup>2</sup>로 Ni의 두께가 증가함에 따라 전류밀도가 점차 증가하는 경향을 나타내었다. Al과 비교하여 Ni의 전류밀도가 낮게 나타나는 것은 Al의 전기비저항은  $2.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot m^3$ 이고 Ni은  $6.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot m^6$ 로 같은 두께일 때 Al의 전기전도도가 높아 전류가 많이 흘러 나타난 현상이다.

그림 4는 인가 전압에 대한 발광휘도를 나타낸 것이다. 양극전극으로 Mg:Ag를 사용한 경우에는 그림 3의 결과와 동일하게 전류가 흐르지 않아 발광하지 않았고, Al은 12 V에서 385.1 cd/m<sup>2</sup>의 발광휘도를 나타내었다. 8, 10, 12 nm 두께의 Ni을 사용한 경우 12 V에서 발광휘도는 각각 670.9, 991.2, 1320 cd/m<sup>2</sup>를 나타내어 두께가 증가함에 따라 발광휘도도 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 이유는 Ni의 두께가 8, 10, 12 nm로 증가함에 따라 저항이 감소하여 전류밀도와 발광휘도가 증가한 것이다.

표 1은 양극물질인 Mg:Ag, Al, Ni에 대한 일함수를 나타낸 것이다. 각각의 일함수는 3.7<sup>7)</sup>, 4.3<sup>8)</sup>, 5.1<sup>9)</sup> eV로 조사되었고, 각각 150 nm 두께로 증착된 금속 막을 Kelvin Probe로 측정한 일함수는 3.8, 4.2, 5.1 eV로 문헌에서 조사한 값과 유사하게 측정되었다.

그림 5는 제작된 OLED의 에너지 준위를 도식화하여 나타낸 것이다. 에너지 준위에서 Mg:Ag는 일함수가 낮기 때문에 MoO<sub>x</sub>와의 에너지 차이가 커서 정공주입이 되지 않아 전류가 흐르지 못하고 발

Table. 1. Work function of the different anode material

Anode	Ni	Al	Mg:Ag
Reference	5.1 eV	4.3 eV	3.7 eV
Measure	5.1 eV	4.2 eV	3.8 eV

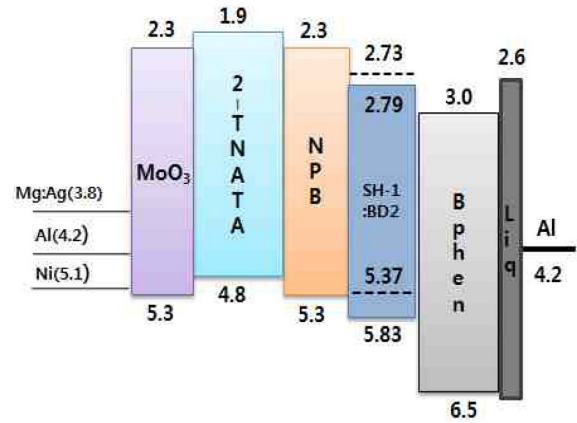


Fig. 5. Energy band for each substance.

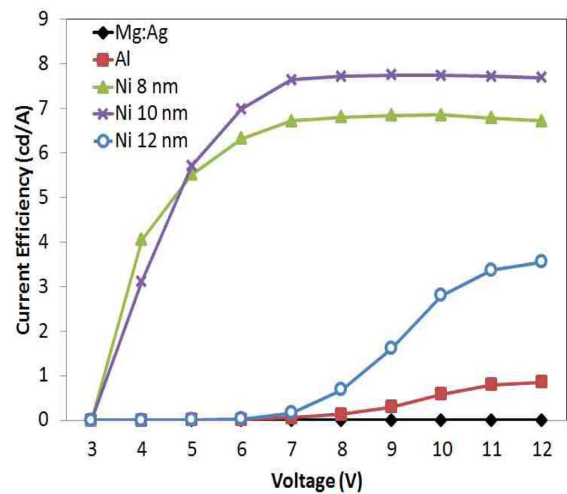


Fig. 6. Current efficiency vs. applied voltage with different anode materials.

광도 하지 않았다. Al은 Mg:Ag와 비교하여 일함수가 높아 양극전극(Al)으로부터 정공의 주입이 가능하게 되고 전기전도성이 우수하여 높은 전류밀도를 나타낸 반면에 일함수가 Ni보다 낮아 에너지 장벽에 의한 영향으로 낮은 발광휘도를 보여주고 있다. 한편, Ni의 경우는 Al보다 전기전도도가 낮아 전류밀도는 낮게 나타났지만 Al과 비교하여 일함수가 높기 때문에 정공 주입층과의 에너지 차이가 적어져 정공주입이 원활하게 되어 높은 발광휘도를 나타내고 있다.

그림 6은 인가전압에 대한 전류발광효율을 나타낸 것이다. 전류발광효율은 전압이 12 V일 때 Al을 사용한 경우 0.9 cd/A이고, 양극전극으로 Ni 8, 10, 12 nm를 사용한 경우에는 각각 6.7, 7.7, 3.6 cd/A를 나타내었다. Ni의 두께가 8 nm에서 10 nm로 증가하면서 전류밀도, 발광휘도 및 전류발광효율은 증가하는 경향을 보였지만 12 nm로 두께로 증가하는 경우에는 전류밀도와 발광휘도는 증가 하나 전류발광효율은 감소하는 현상을 나타내었다. 이와 같은

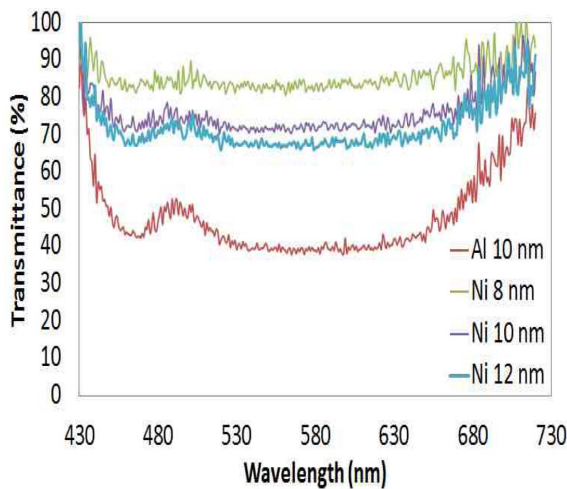


Fig. 7. The transmittance with wavelength for different anode materials.

현상은 광투과율에 기인한 것으로서 그림 7은 Al과 Ni에 대한 광투과율을 보여주고 있다. Al의 경우, 파장 476 nm에서 52.2%로 낮은 광투과율을 보였는데 이는 양극전극을 Al으로 사용하였을 경우, 전류밀도는 높지만 낮은 일함수값과 낮은 광투과율에 의해 발광휘도 및 전류발광효율이 낮아지는 결과를 보여주고 있다. 한편, Ni의 경우는 두께가 8, 10, 12 nm일 때 파장 476 nm에서 광 투과율은 각각 79, 77, 74%로 두께가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서, 그림 6과 7을 비교 분석해 본 결과, 양극전극으로 Ni을 사용하였을 경우 Ni의 두께가 증가함에 따라 저항이 감소하게 되어 전류밀도가 증가하고 전류밀도의 증가에 의하여 발광휘도 또한 증가하는 결과를 얻었지만 반면에 전류발광효율의 경우는 두께가 8 nm와 10 nm에 비해 12 nm일 때 급격히 감소하는 것은 투과율의 감소와 발광층에서 전하의 불균형 때문에 나타나는 현상으로 판단되며 최종적으로 Ni 두께 10 nm의 경우 최고의 전류발광효율을 얻을 수 있었다.

그림 8은 양극전극으로 Al과 Ni를 사용하여 제조한 OLED 소자의 휘도 100 cd/m<sup>2</sup>에서의 전계발광 스펙트럼 분석 결과를 나타낸 것으로 물질이나 두께와 관계없이 476 nm 부근의 청색발광을 하는 동일한 발광 스펙트럼을 나타내었는데 이를 통해서 양극물질에 의한 발광 스펙트럼의 변화는 없다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

양극 물질로 Mg:Ag, Al 및 Ni을 사용하여 제작

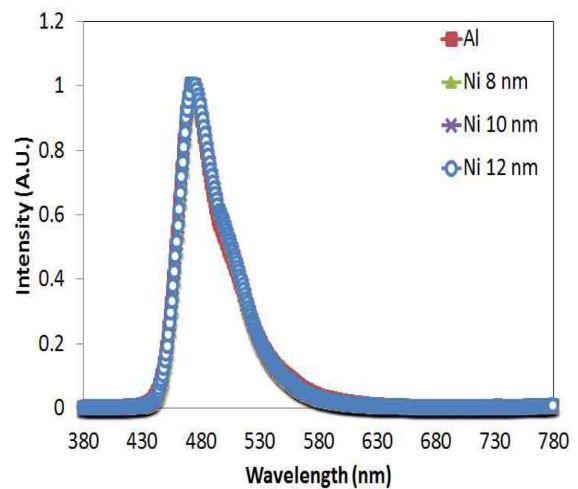


Fig. 8. Electroluminescent spectra of OLEDs for different anode materials.

한 청색 OLED의 발광특성에 대하여 연구하였다. 양극물질에 따른 전류밀도는 인가전압 12 V에서 Mg:Ag는 0 mA/cm<sup>2</sup>, Al은 45.2 mA/cm<sup>2</sup>으로 측정되었고, Ni은 두께가 각각 8, 10, 12 nm일 때 10, 12.9, 37.2 mA/cm<sup>2</sup>를 나타내었다. 발광휘도는 12 V에서 Al은 385.1 cd/m<sup>2</sup>를 나타내었고, Ni은 8, 10, 12 nm의 두께에서 각각 670.9, 991.2, 1320 cd/m<sup>2</sup>를 나타내어 Ni의 경우 두께가 증가함에 따라 휘도도 증가하였다. 일함수는 Mg:Ag; 3.8 eV, Al; 4.2 eV, Ni; 5.13 eV로 측정되었는데 Mg:Ag의 경우는 일함수가 낮기 때문에 MoO<sub>x</sub>와의 에너지준위 차이가 커서 정공주입이 원활하지 않아 발광이 되지 않았다. Al은 우수한 전기전도도로 전류밀도가 가장 높았으나, MoO<sub>x</sub>와의 에너지 준위 차이로 인하여 정공주입이 부족하고, 낮은 투과율로 인하여 발광휘도 및 발광효율이 가장 낮았다. Ni은 MoO<sub>x</sub>와 에너지 준위차이가 적어 정공이 원활하게 주입되어 가장 우수한 발광휘도를 나타내었으며 전류발광효율은 12 V일 때 Al의 경우는 0.9 cd/A이고, Ni은 8, 10, 12 nm 두께에서 각각 6.7, 7.7, 3.6 cd/A를 나타내었다. 두께 12 nm에서 전류효율이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 두께가 증가할수록 저항이 낮아져 정공주입은 잘 이루어지나 투과율이 낮아지고 전하의 불균형 때문에 나타나는 현상으로 판단되며 최종적으로 Ni두께 10 nm의 경우, 최상의 전류발광효율을 얻을 수 있었다. 또한, EL스펙트럼 분석 결과 모든 경우 476 nm peak를 갖는 청색발광으로 양극물질이나 두께에 따른 스펙트럼 변화는 없었다.

## 후 기

본 연구는 2015년도 대전대학교 학술연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## References

1. T.H. Kwak, S.H. Ju, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 47 (2014) 201
2. K.Y. Lee, S.I. Kim, J.Y. Kim, K.E. Kwon, Y.W. Kang, J.W. Son, J.W. Jeon, M.C. Kim, C.W. Lee, Journal of the Korean Vacuum Society, 21 (2012) 328
3. S.M. park, H.G. kim, D.C. Lee, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 52 (2003) 261
4. Xinjun Xu, Gui Yu, Yunqi Liu, Daoben Zhu, Organic Displays, 27 (2006) 24
5. Nam-Gyu Hwang, Young-Chan Kim, Se-Won Choi, Chang-Seok Kang, Sung-Kil Hong, Korea Institute of industrial Technology, 31 (2011) 130
6. Samuel J. Rosenberg, National Bureau of Standards Monograph, 106 (1968) 19
7. Heqing Tang, Haixing Liao, Lihua Zhu, Chemical Physics Letters, 381 (2003) 605
8. F. Garten, J. Vrijmoeth, A.R. Schlatmann, R.E. Gill, T.M. Klapwijk, G. Hadziioannou, Synthetic Metals, 76 (1996) 85
9. S. Cheylan, D.S. Ghosh, D. Krautz, T.L. Chen, V. Pruneri, Organic Electronics, 12 (2011) 818