

금속판으로 봉인된 유-무기 보호 박막을 갖는 OLED 봉지 방법

임수용¹, 서정현¹, 주성후^{1,a}

¹ 대전대학교 신소재공학과

Encapsulation Method of OLED with Organic-Inorganic Protective Thin Films Sealed with Metal Sheet

Su yong Lim¹, Jung-Hyun Seo¹, and Sung-Hoo Ju^{1,a}

¹ Department of Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University, Pocheon 487-711, Korea

(Received June 11, 2013; Revised June 24, 2013; Accepted June 24, 2013)

Abstract: To study the encapsulation method for heat dissipation of high brightness organic light emitting diode (OLED), red emitting OLED of ITO (150 nm) / 2-TNATA (50 nm) / NPB (30 nm) / Alq₃ : 1 vol.% Rubrene (30 nm) / Alq₃ (30 nm) / LiF (0.7 nm) / Al (200 nm) structure was fabricated, which on Alq₃ (150 nm) / LiF (150 nm) as buffer layer and Al as protective layer was deposited to protect the damage of OLED, and subsequently it was encapsulated using attaching film and metal sheet. The current density, luminance and power efficiency was improved according to thickness of Al protective layer. The emission spectrum and the Commission International de L'Eclairage (CIE) coordinate did not have any effects on encapsulation process using attaching film and metal sheet. The lifetime of encapsulated OLED using attaching film and metal sheet was 307 hours in 1,200 nm Al thickness, which was increased according to thickness of Al protective layer, and was improved 7% compared with 287 hours, lifetime of encapsulated OLED using attaching film and flat glass. As a result, it showed the improved current density, luminance, power efficiency and the long lifetime, because the encapsulation method using attaching film and metal sheet could radiate the heat on OLED effectively.

Keywords: OLED, Encapsulation, Metal sheet, Attaching film, Heat dissipation

1. 서론

다층막 구조를 이용한 고효율의 유기전계발광소자 (organic light emitting diode, OLED)에 관한 보고가 이루어진 이후 [1], OLED는 차세대 자체 발광 소자

로서 천연색 디스플레이 및 조명 등에 사용이 가능할 것으로 전망되어 각광을 받으며 많은 연구가 진행되고 있다 [2]. OLED는 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 대기에 노출될 경우 수분이나 산소의 영향으로 흑점을 유발하고, 음극전극으로 사용되는 금속 박막에 존재하는 핀 홀 (pin-hole)과 같은 결함을 통해 투과되는 산소와 수분에 의해 수 시간 내에 성능이 저하된다 [3,4]. 따라서 대기로부터 수분이나 산소가 OLED 소자에 침투하는 것을 방지할 수 있는 봉지기술이 필수적으로 요구된다. 봉지기술에 대한 연

a. Corresponding author; sunghooju@daejin.ac.kr

구는 주로 가공된 금속이나 유리 캡슐을 부착하는 방법과 유-무기 다층 박막을 적층하는 방법이 있다 [5-12]. 유리 캡슐이나 금속 캡슐을 사용하는 경우는 뛰어난 봉지 특성을 보여줌에도 불구하고 공정상의 어려움과 캡슐 가공에 따른 원가 상승 및 캡슐의 처짐에 의한 소자의 손상 등으로 대면적 소자에 적용하기 어렵고, 유-무기 다층 박막을 적층하는 방법은 충분한 봉지특성의 확보와 공정상의 어려움이 있다는 단점이 있다 [13-15].

고휘도 OLED 조명 분야에서는 방열 기술이 요구되나, 캡슐 방식 봉지기술의 경우 OLED 소자와 봉지 캡슐 사이 빈 공간의 단열 효과로 인하여 소자에서 발생하는 열을 효과적으로 방출하기에 어려움이 있다 [16,17].

본 연구에서는 기존 OLED 봉지의 공정문제와 방열 문제들을 개선하여 대면적 고휘도 OLED의 특성을 향상하기 위하여 접착제로 필름을 사용하여 금속판을 부착하는 봉지 방법에 대하여 연구하였다. 제작한 OLED 소자의 특성은 전류-전압-휘도(I-V-L)와 수명 측정기를 사용하여 측정하였고, 봉지구조에 따른 방열 성능은 열화상 카메라를 사용하여 측정하였다.

2. 실험 방법

OLED 제작을 위한 기판은 면저항 10 Ω/\square , 표면 평탄도 10 Å의 특성을 갖는 150 nm 두께의 ITO (indium tin oxide) 양극전극과 크롬 (chromium, Cr) 보조 전극이 증착된 150 mm \times 150 mm 크기의 유리 기판을 사용하였다. 기판은 자외선을 조사하고 진공 용기에 장착하여 진공도 1.5×10^{-1} torr의 산소 분위기에 플라즈마를 사용하여 표면 처리를 하였다. 플라즈마 표면 처리 후 진공 용기 내부의 진공도를 1.0×10^{-6} torr 이하로 유지하여 ITO 양극 전극 위에 정공 주입층으로 2-TNATA {4,4',4''-Tris (2-naphthylphenyl amino)} 50 nm, 정공 수송층으로 NPB {N,N'-bis-(1-naphyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine} 30 nm, 발광층으로 형광모체인 Alq₃ {Aluminum tris(8-hydroxyquinoline)}에 활성제인 Rubrene {(5,6,11,12)-tetraphenyl-naphthalene}을 1 vol.% 첨가하여 30 nm, 전자 수송층으로 Alq₃ 30 nm를 0.15 nm/sec의 증착율로 증착하였다. 이후 LiF를 0.05 nm/s의 증착율로 0.7 nm와 음극 전극으로 Al

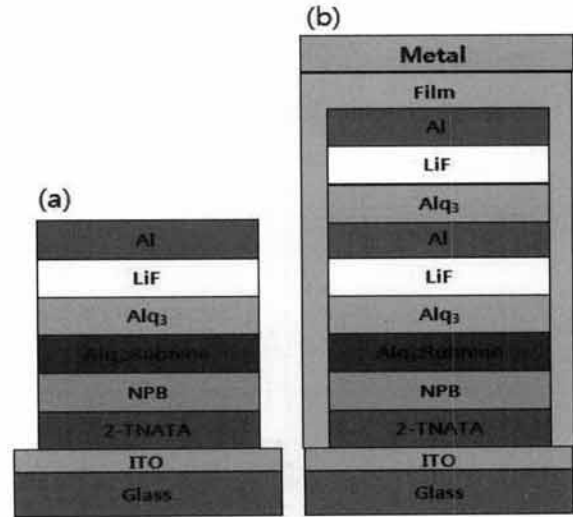


Fig. 1. Structure of (a) non-encapsulated OLED and (b) encapsulated OLED using attaching film and metal sheet.

200 nm를 0.2 nm/s의 증착율로 증착하여 기본 OLED를 제작하였다. 제작된 OLED는 금속판을 부착하는 방법에 의한 봉지를 위하여 완충층으로 유기물인 Alq₃와 무기물인 LiF를 각각 150 nm 두께로 형성한 후 보호막으로 150 nm 두께의 Al 금속 박막을 다층으로 증착하였으며, 각 Al 금속 박막은 한 층을 증착한 후 30분의 대기 시간을 두고 증착하였다. 다층 Al 금속 박막 위에 접착 필름을 이용하여 금속판을 부착하였다. 이와 같이 제작된 OLED의 구조를 그림 1에 나타내었다.

제작된 OLED의 발광휘도, 전력 효율, 색좌표, 발광 스펙트럼 등을 측정하기 위해 Photo Research사의 PR-650 Spectrascan I-V-L 측정기를 사용하여 전기적 특성을 측정하였다. 또한 소자의 수명은 OLED 수명 측정 시스템 (JYS Co., Ltd.)을 사용하여 측정하였다. OLED의 수명은 항온항습기를 사용하여 30°C의 온도와 60%의 상대습도 분위기에 초기 휘도를 1,000 cd/m²로 설정하여 초기 휘도의 50%가 되는 시간을 측정하였다. 방열성능 평가는 FLIR사의 E 60 열화상카메라를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 ITO (150 nm) / 2-TNATA (50 nm) / NPB

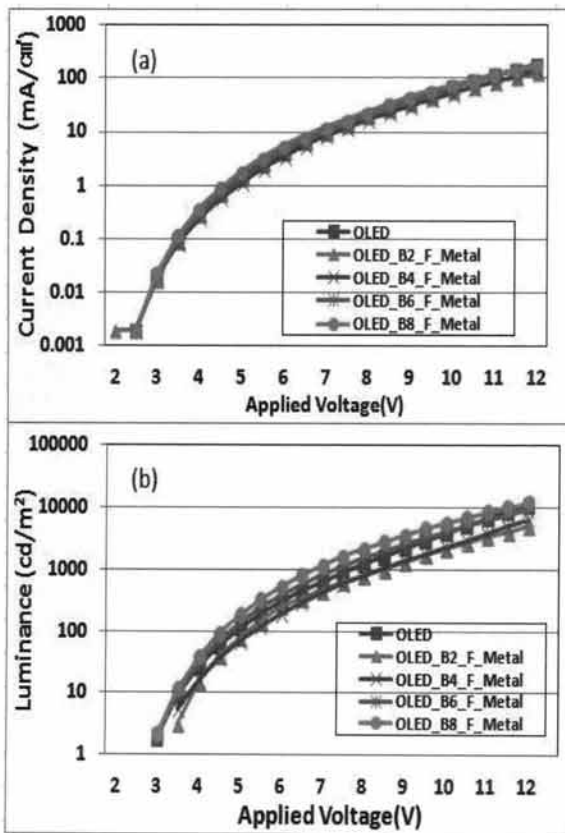


Fig. 2. Emission characteristics of OLEDs encapsulated using attaching film and metal sheet. (a) current density vs. applied voltage, (b) luminance vs. applied voltage.

(30 nm) / Alq₃:Rubrene (30 nm) / Alq₃ (30 nm) / LiF (0.7 nm) / Al (200 nm) 구조로 제작된 소자 (OLED)와 OLED 위에 유·무기 박막으로 Alq₃ 150 nm, LiF 150 nm, 그 위에 Al 150 nm를 총 2회 적층한 후 접착 필름을 이용하여 금속판을 부착한 소자 (OLED_B2_F_Metal), OLED 위에 유·무기 박막으로 Alq₃ 150 nm, LiF 150 nm, 그 위에 Al 150 nm를 총 4회 적층한 후 접착 필름을 이용하여 금속판을 부착한 소자 (OLED_B4_F_Metal), OLED 위에 유·무기 박막으로 Alq₃ 150 nm, LiF 150 nm, 그 위에 Al 150 nm를 총 6회 적층한 후 접착 필름을 이용하여 금속판을 부착한 소자 (OLED_B6_F_Metal), OLED 위에 유·무기 박막으로 Alq₃ 150 nm, LiF 150 nm, 그 위에 Al 150 nm를 총 8회 적층한 후 접착 필름을 이용하여 금속판을 부착한 소자 (OLED_B8_F_Metal)에 대한 인가전압에 따른 전류밀도와 발광휘도를 나타낸 것이다.

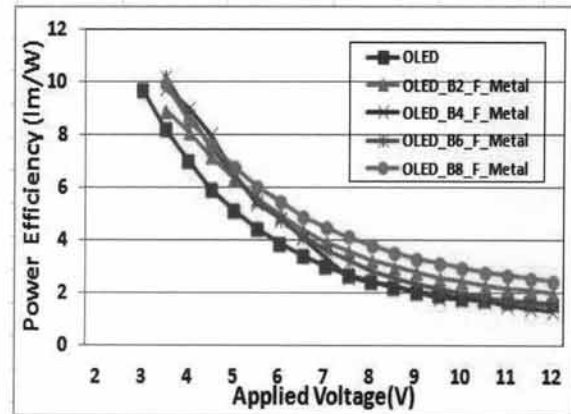


Fig. 3. Power efficiency vs. applied voltage of OLEDs encapsulated using attaching film and metal sheet.

그림 2(a)의 인가전압에 따른 전류밀도는 인가전압이 증가함에 따라 지수 함수적으로 증가하였다. 인가전압이 10 V인 경우 전류밀도는 각각 67.3 mA/cm² (OLED), 57.4 mA/cm² (OLED_B2_F_Metal), 52.4 mA/cm² (OLED_B4_F_Metal), 70.6 mA/cm² (OLED_B6_F_Metal), 75.2 mA/cm² (OLED_B8_F_Metal)의 결과를 얻었다. 봉지하지 않은 OLED와 비교하여 보호막으로 형성한 Al의 두께가 600 nm 이하로 얇은 경우에는 전류밀도가 감소된 결과를 나타내었다. 전류밀도의 감소는 금속판 부착 봉지 공정에서 OLED가 손상되어 전류밀도가 감소하게 된 결과이다. 그러나 Al의 두께가 900 nm 이상으로 증가한 경우에는 봉지 공정을 수행하지 않은 OLED 보다 높은 전류밀도를 나타내었고, 전반적으로 Al의 두께가 증가할수록 전류밀도는 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 Al 층의 두께가 증가함에 따라 OLED를 안정적으로 보호할 수 있어 전류밀도가 증가하게 되고 Al의 두께가 900 nm 이상에서는 봉지하지 않은 OLED 보다 높은 전류밀도가 흐르게 되는 현상이 나타난다.

그림 2(b)는 인가전압에 따른 발광휘도를 나타낸 것으로 각각의 OLED에 대한 인가전압 12 V에서의 발광휘도는 11,000 cd/m² (OLED), 5,125 cd/m² (OLED_B2_F_Metal), 6,555 cd/m² (OLED_B4_F_Metal), 9,333 cd/m² (OLED_B6_F_Metal), 12,150 cd/m² (OLED_B8_F_Metal)를 나타내었다. OLED의 발광휘도도 전류밀도와 마찬가지로 보호막으로 형성한 Al층의 두께가 증가할수록 증가하여 Al층의 두께가 1,200 nm일 때는 보호막을 형성하지 않은 OLED 보다 높은 휘도를 나타내었다. 전류 밀도와 유사하게 보호막으로 형성한 Al층의 두께가 충분치 않을 때는

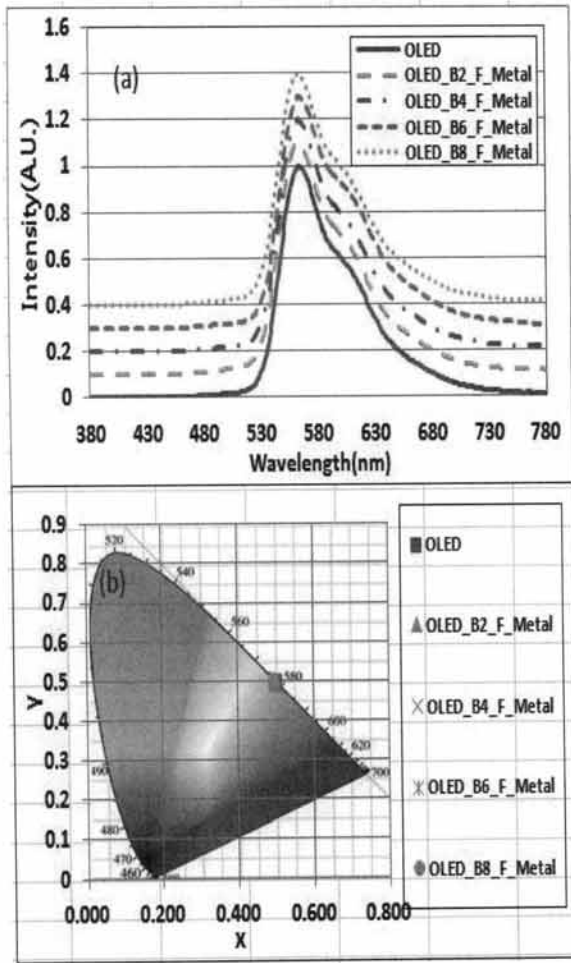


Fig. 4. Emission characteristics of OLEDs encapsulated using attaching film and metal sheet. (a) emission spectra, (b) 1931 CIE coordinate.

금속판 부착 과정에서 OLED에 손상을 주게 되지만 Al 보호막이 두꺼워질수록 외부의 영향으로부터 소자를 안정적으로 보호하게 되어 OLED의 성능이 향상되는 것으로 판단할 수 있다.

그림 3은 인가전압에 대한 전력발광 효율을 나타낸 것으로 발광휘도가 1,000 cd/m²일 때 각 OLED의 전력발광 효율은 27 lm/W (OLED), 3 lm/W (OLED_B2_F_Glass), 2.26 lm/W (OLED_B4_F_Glass), 3.23 lm/W (OLED_B6_F_Glass), 45 lm/W(OLED_B8_F_Glass)를 나타내었다. 봉지하지 않은 OLED의 전력발광 효율 2.7 lm/W와 비교하였을 때 보다 보호막으로 형성한 Al의 두께가 900 nm 이상에서 향상된 특성을 나타내었고, 보호막으로 Al을 1,200 nm 증착하고 금속판을 부착한 OLED의 발광 효율은

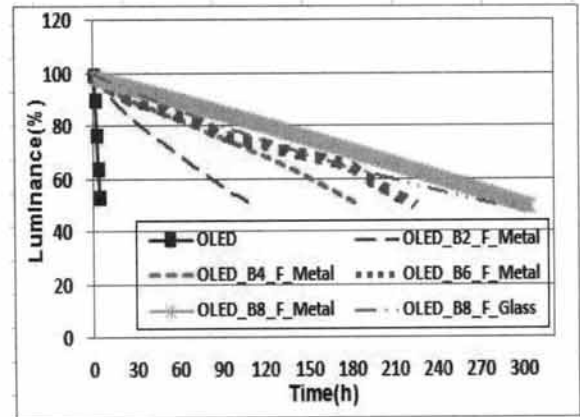


Fig. 5. Lifetime characteristics of OLEDs.

67% 향상된 결과를 얻었다. 이러한 결과는 보호막으로 형성된 Al의 두께가 증가하여 소자의 안정성이 증가되어 발광 효율이 개선된 것으로 판단된다.

그림 4(a)는 봉지하지 않은 OLED 소자와 보호막으로 형성한 Al의 두께 변화에 따른 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 제작된 각 소자의 최대 발광파장은 모두 564 nm로 동일한 파장을 나타내었다.

그림 4(b)는 봉지하지 않은 OLED와 보호막으로 형성한 Al의 두께 변화에 따른 1931 CIE (commission international de L'Eclairage) 색좌표를 나타낸 것이다. 6 V에서 OLED의 경우 (0.498, 0.496), OLED_B2_F_Metal (0.495, 0.498), OLED_B4_F_Metal (0.493, 0.5), OLED_B6_F_Metal (0.491, 0.52), OLED_B8_F_Metal (0.49, 0.503)의 값을 나타내었다. 봉지하지 않은 OLED나 보호막으로 사용한 Al의 두께를 증가시켜도 Rubrene 발광은 오차 범위 안에서 유사하게 나타났다. 이러한 현상은 봉지 공정에서 보호층 증가와 봉지제로 금속판을 사용하는 경우 발광 스펙트럼에는 영향을 미치지 않는다는 점을 확인할 수 있었다.

그림 5는 보호막을 형성하지 않은 OLED와 OLED_B2_F_Metal, OLED_B4_F_Metal, OLED_B6_F_Metal, OLED_B8_F_Metal 구조와 OLED_B8_F_Metal 구조에서 금속판 대신 유리판을 부착한 OLED (OLED_B8_F_Glass)의 수명 [18] 특성을 측정한 결과이다. 소자의 수명은 기준 초기 휘도를 1,000 cd/m²로 설정한 후 상대습도 60%, 온도 30°C 분위기에서 일정한 직류 전압을 인가하여 측정된 휘도가 초기 설정 휘도 값보다 50%가 되는, 즉 휘도가 500 cd/m²에 도달하는 시간을 측정하였다. 실험 결과 소자의 수명 특성은 보호막을 형성하지 않은 OLED 소자의 경우 4시간, OLED_B2_F_Metal 117시간, OLED_B4_F_Metal

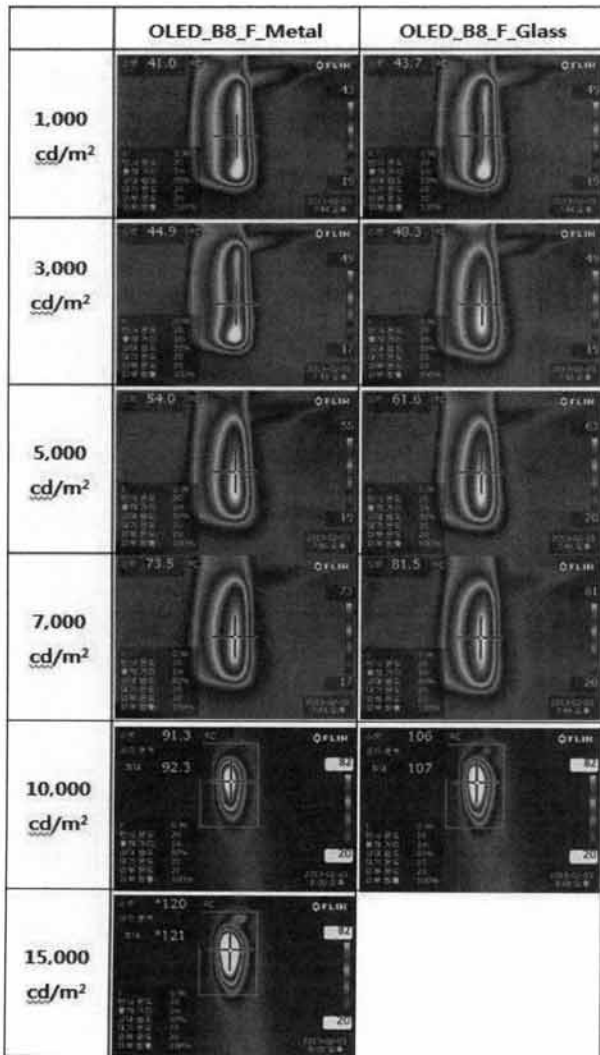


Fig. 6. Heat properties of OLEDs encapsulated using metal sheet and flat glass.

189시간, OLED_B6_F_Metal 228시간, OLED_B8_F_Metal 307시간을 나타내었다. 이 결과는 보호막으로 형성한 Al의 두께에 비례하여 소자의 안정성이 향상되어 소자의 수명이 증가한 것이다. 또한 유리판을 부착한 OLED_B8_F_Glass 287시간 보다 금속판을 부착한 OLED_B8_F_Metal의 소자가 307시간으로 7% 개선된 수명을 나타내었다.

그림 6은 유리판을 부착한 소자와 금속판을 부착한 소자의 열적 특성을 분석하기 위하여 1,000 ~ 15,000 cd/m² 범위에서 온도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 발광휘도 1,000 cd/m²에서 금속판을 부착한 소자의 표면 온도는 41°C로 유리판을 부착한 소자의 표면 온도

43.7°C와 적은 차이를 나타내었다. 발광휘도를 5,000 cd/m²로 증가시킨 경우 금속판을 부착한 소자의 표면 온도는 54°C를 나타내었으나 유리판을 부착한 소자의 표면 온도는 61.6°C를 나타내었다. 또한 발광휘도를 10,000 cd/m²로 증가시킨 경우 금속판을 부착한 소자의 표면 온도는 91.3°C로 상승하였고, 유리판을 부착한 소자의 표면 온도는 106°C로 매우 높게 상승되었다. 발광휘도를 15,000 cd/m²로 상승시킨 경우에는 유리판을 부착한 소자는 더 이상 발광하지 않았고, 금속판을 부착하는 소자의 경우에는 표면 온도가 120°C까지 상승하였으나 발광하고 있는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 접착제로 필름을 사용하고 금속판이나 유리판을 부착하는 경우 금속판의 열방출 능력이 유리판의 열방출 능력보다 우수하여 소자의 표면 온도를 낮게 유지할 수 있게 되고, 그 결과 소자의 안정성도 향상되는 것을 알 수 있다, 따라서 금속판을 부착하여 OLED를 봉지하기 위하여 안정된 보호막 형성이 필요할 뿐만 아니라 유리판 부착의 경우보다 좋은 열방출 효과로 인해 더 우수한 특성의 소자 제작이 가능함을 알 수 있었다.

4. 결론

대면적 고휘도 OLED에 적용 가능한 봉지기술을 개발하기 위하여 방열 효과가 뛰어난 금속판을 이용하여 봉지하였다. 기본소자로 Alq₃에 Rubrene를 1 vol.% 첨가한 적색 발광을 나타내는 ITO (150 nm) / 2-TNATA (50 nm) / NPB (30 nm) / Alq₃:Rubrene (30 nm) / Alq₃ (30 nm) / LiF (0.7 nm) / Al (200 nm)의 구조를 적용하였다. 금속판 부착에 의한 소자의 영향을 평가하기 위하여 완충층으로 Alq₃와 LiF를 각각 150 nm 증착한 후 Al 150 nm를 다층으로 증착하였다.

OLED 소자의 전류밀도, 휘도, 발광 효율 특성을 측정한 결과 보호막으로 사용한 Al 층의 수가 증가함에 따라 특성이 향상되어 OLED_B8_F_Metal의 경우 전류밀도 75.17 mA/cm², 휘도 12,150 cd/m², 발광 효율 4.5 lm/W의 특성을 나타내었고, 발광스펙트럼과 CIE 좌표는 변화하지 않았다.

보호막을 형성하지 않은 OLED 소자의 수명은 4시간이었으나 OLED_B2_F_Metal 117시간, OLED_B4_F_Metal 189시간, OLED_B6_F_Metal 228시간, OLED_B8_F_Metal 307시간으로 Al 두께 증가에 따라 수명이

증가하였고, 이 결과는 OLED_B8_F_Glass 287시간 보다 약 7% 증가하는 결과를 얻어 금속판을 부착한 경우가 유리판을 부착한 경우보다 우수한 수명을 얻었다. 소자의 표면 온도를 측정된 결과 발광휘도가 낮은 경우에는 봉지재로 유리판과 금속판을 사용하는 경우 온도의 차이가 크지 않았으나 발광휘도가 증가할수록 온도 차이는 증가하여 금속판을 사용하는 경우 소자의 표면 온도가 낮음을 확인할 수 있었다. 따라서 고휘도를 요구하는 대면적 OLED 봉지재로 유리판보다 금속판을 사용하는 경우 금속판을 통한 방열에 의하여 소자의 안정성이 향상되는 결과를 확인하였다.

REFERENCES

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 913 (1987).
- [2] J. Kido, M. Kimura, and K. Nagai, *Science*, **267**, 1332 (1995).
- [3] Y. Sato, S. Ichikawa, and H. Kanai, *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.*, **4**, 40 (1998).
- [4] Z. D. Popovic and H. Aziz, *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.*, **8**, 362 (2002).
- [5] P. E. Bourrows, V. Bulovic, S. R. Forrest, L. S. Sapochack, D. M. McCarty, and M. E. Thompson, *Appl. Phys. Lett.*, **65**, 2922 (1994).
- [6] J. D. Affinito, M. E. Gross, C. A. Coronado, G. L. Graff, E. N. Greenwell, and P. M. Martin, *Thin Solid Films*, **63**, 290 (1996).
- [7] A. P. Ghosh, L. J. Gerenser, C. M. Jarman, and J. E. Fornalik, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 223503 (2005).
- [8] J. Meyer, D. Schneidenbach, T. Winkler, S. Hamwi, T. Weimann, P. Hinze, S. Ammermann, H. H. Johannes, T. Riedl, and W. Kowalsky, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 233305 (2009).
- [9] M. K. Park and S. H. Ju, *J. KIEEME*, **25**, 381 (2012).
- [10] F. L. Wong, M. K. Fung, S. L. Tao, S. L. Lai, W. M. Tsang, K. H. Kong, W. M. Choy, C. S. Lee, and S. T. Lee, *J. Appl. Phys.*, **104**, 14509 (2008).
- [11] J. A. Jeong and H. K. Kim, *Thin Solid Films*, **15** (2013).
- [12] E. T. Kim, Y. C. Han, W. H. Kim, K. C. Choi, H. G. Im, and B. S. Bae, *Organic Electronics*, **12**, 1737 (2013).
- [13] H. Kubota, S. Miyaguchi, S. Ishizuka, T. Wakimoto, J. Funaki, Y. Fukuda, T. Watanabe, H. Ochi, T. Sakamoto, T. Miyake, M. Tuschida, I. Ohshita, and T. Tohma, *J. of Luminescence*, **56**, 87 (2000).
- [14] Z. Y. Xie and L. S. Hung, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 1207 (2004).
- [15] A. G. Erlat, B. M. Heny, J. J. Ingram, D. B. Moutain, A. McGuigan, R. P. Howson, C. R. M. Grovenor, G. A. D. Briggs, and Y. Tsukahara, *Thin Solid Films*, **388**, 78 (2001).
- [16] J. W. Park, H. K. Ham, and C. Y. Park, *Organic Electronics*, **12**, 227 (2011).
- [17] H. K. Ham, J. W. Park, and Y. M. Kim, *Organic Electronics*, **12**, 2174 (2011).
- [18] S. Y. Lim, J. W. Yang, and S. H. Ju, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, **46**, 111(2013)