

기판 온도에 따른 OLED 소자의 발광 특성

Luminescent Properties of OLED Devices with Various Substrate Temperatures

김정택¹, 백경갑¹, 주성후^{2a}
(Jung-Taek Kim¹, Kyeong-Kap Paek¹, and Sung-Hoo Ju^{2a})

Abstract

The characteristics of organic films can be affected by the temperature of evaporation source because the temperature of evaporation source has an effect on substrate temperature during OLED fabrication process using the thermal evaporation. To investigate the characteristics of OLED devices fabricated by using thermally damaged organic films, I-V-L and half life-time in OLED devices fabricated with various substrate temperatures were measured. During emission layer(EML) evaporation, OLED devices with a structure of ITO(100 nm)/ELM200(50 nm)/NPB(30 nm)/Alq₃(55 nm)/LiF(0.7 nm)/Al(100 nm) were fabricated at various substrate temperatures(room temperature, 30°C, 40°C, and 50°C). The characteristics of current density and luminance versus applied voltage in OLED devices fabricated shows that many electrical currents flowed and high brightness appeared at low voltage, but that the lifetime of OLED devices dropped suddenly. This phenomenon explained that the crystallization of Alq₃ thin film appeared owing to the substrate heating during evaporation.

Key Words : Evaporation, I-V-L, Lifetime, OLED, Temperature

1. 서론

언제, 어디서든 필요한 정보를 신속하고 정확하게 얻을 수 있는 휴대가 간편한 디스플레이의 필요성이 증대되고 있다. 유기발광디스플레이(Organic Light Emitting Display : OLED)는 평판디스플레이의 하나로 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display : LCD)와 달리 백라이트를 필요로 하지 않는 자체 발광이 가능하여 넓은 시야각을 나타내는 경량 박형 소자로, 응답속도가 빨라 동영상의 표현에 적합하고, 소형에서부터 대형의 디스플레이까지 적용이 가능하며, 제조 공정이 단순하여 가격을 낮출 수 있으며, 소비전력이 낮아 휴대용으로 적합한 다양한 디스플레이의 특징을 가지고 있다.

또한 미래의 디스플레이로 예상되는 플렉시블 디스플레이로도 가장 유리한 적합성을 가지고 있어 가장 이상적인 디스플레이가 가능할 것으로 전망되어 지고 있다[1,2].

OLED는 많은 장점들을 가지고 있으나 내구성이 우수한 디스플레이로 적용되기 위하여 소자의 수명을 향상시킬 수 있는 다양한 연구를 필요로 한다[3,4]. 재료를 포함하여 모든 공정이 소자의 수명에 영향을 주기 때문에 전체적인 해결 방안이 모색되어야 한다. 유기 박막을 저항 가열 증착 방법에 의하여 형성하는 경우 유기물 증발원의 온도가 기판에 전달되어 기판의 온도가 상승함으로써 OLED 소자의 발광 특성에 영향을 줄 수 있다[5-7].

Tris(8-Hydroxyquinoline) Aluminum(Alq₃)은 Tang에 의해 소개되어 발광층(Emission Layer : EML)과 전자수송층(Electron Transport Layer : ETL)으로 많이 사용되는 물질 중 하나이다[8]. Alq₃의 유리전이온도(T_g)는 약 176°C로 비교적 높은 열안정성을 가지며, 520 nm의 녹색 발광을 나타내는 물질로 활성제의 첨가에 의하여 녹색에서부터 적

1. 대전대학교 전자공학과

2. 대전대학교 신소재공학과

(경기도 포천시 선단동 산11-1)

a. Corresponding Author : sunghooju@daejin.ac.kr

접수일자 : 2009. 7. 10

1차 심사 : 2009. 9. 7

심사완료 : 2009. 10. 22

색까지의 발광을 나타내게 된다. 그러나 산소와 습기에 민감한 반응을 보이며 반응이 일어나면 비결정의 Alq_3 가 결정 상태로 변화하여 흑점의 원인이 된다[9,10]. 이러한 흑점은 비발광 영역을 생산하고 이런 영역은 화학 반응으로 인해 그 영역을 넓혀가므로 소자의 안정성을 높이는 데 문제점으로 남아있다[11].

본 연구에서는 유기물 증착 시 기판 온도에 의한 OLED의 발광 특성을 조사하기 위하여 정공 주입층과 정공 수송층을 형성한 후 기판 온도를 상온, 30°C, 40°C, 50°C 및 60°C로 제어한 상태에서 발광층 및 전자 수송층으로 사용하는 Alq_3 박막을 증착한 후 음극전극을 형성하여 OLED를 제작하였다. 이와 같이 제작된 OLED의 전류-전압-발광 휘도(I-V-L) 특성 및 소자의 발광 수명을 측정하여 발광층 증착 시 기판 온도가 소자에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험 방법

OLED 제작을 위하여 투명전극으로 ITO(Indium Tin Oxide)가 100 nm 두께로 증착된 100 mm × 100 mm 크기의 유리 기판을 사용하였다. 기판 세정은 초순수물(De Ionized Water)과 이소프로필 알코올(Isopropyl Alcohol)에 담그고 초음파 세척을 한 후 건조하였다. 또한 세정된 ITO 기판의 표면 접착성과 일함수를 향상시키기 위하여 자외선(UV)을 조사하였다. OLED는 정공 주입층으로 ELM200, 정공 수송층으로 NPB, 발광층 및 전자 수송층으로 Alq_3 를 사용하여 ITO(100 nm)/ELM200(50 nm)/NPB(30 nm)/ Alq_3 (55 nm)/LiF(0.7 nm)/Al(100 nm) 구조로 제작하였다.

증착 시 기판의 온도를 제어하기 위하여 할로겐 램프를 기판의 뒤쪽에 설치하여 가열할 수 있도록 하였고, 기판 온도는 유기물이 증착되는 증착면에 온도 측정용 열전대를 부착하여 측정하였다. 기판 온도는 증발원의 열과 할로겐 램프의 가열에 의하여 영향을 받는 것으로 열전대를 이용하여 $\pm 1^\circ C$ 의 오차범위에서 기판 온도가 자동으로 제어 가능하도록 할로겐 램프의 가열 정도를 제어하는 제어 장치를 연결하여 온도를 제어하였다. OLED 제작에 사용한 유기물 증착 챔버의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

OLED 소자 제작 조건은 정공 주입층으로 ELM 200과 정공 수송층으로 NPB를 별도의 가열없이 상온에서 증착하였고, 발광층과 전자 주입층의 역

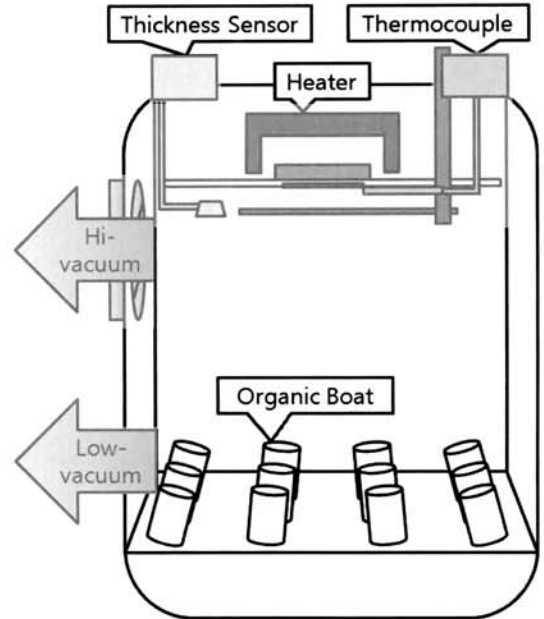


그림 1. 유기 박막 증착 챔버의 개략도.

Fig. 1. Schematic diagram of organic thin film evaporation chamber.

할을 하는 Alq_3 는 기판의 온도를 상온, 30°C, 40°C, 50°C 및 60°C로 설정한 후 증착하였다. 모든 유기물은 1×10^{-6} torr의 진공도에서 1.5 A/s의 증착 속도로 증착하였다. 유기물 증착 후 음극인 LiF와 Al도 1×10^{-6} torr의 진공도에서 증착하였으며, LiF는 0.2 A/s, Al은 2 A/s의 증착 속도로 증착하였다.

제작된 OLED의 발광 특성은 Keithley사의 전원 인가 장치와 Photo Research사의 PR-650 Spectrascan 휘도계로 구성된 전류-전압-휘도(I-V-L) 장치를 이용하여 인가전압에 대한 전류, 인가전압에 대한 발광 휘도를 측정하였고, 이 결과로부터 인가전압에 대한 발광 효율을 계산하였다. 또한 소자의 수명을 측정하기 위하여 초기 발광 휘도가 500 cd/m²가 되도록 설정하고, 일정한 전류가 흐르도록 하여 발광 휘도가 250 cd/m²가 될 때까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

OLED 소자의 발광층 증착 시 기판의 온도가 소자에 미치는 영향을 알아보기 위하여 정공 주입

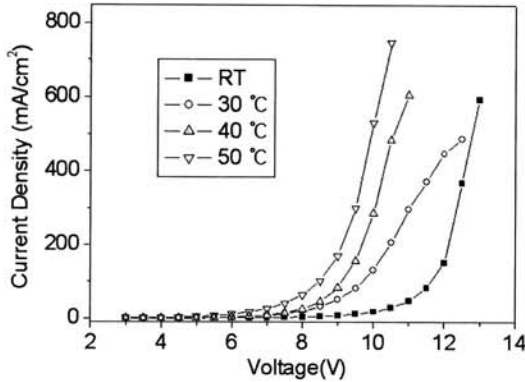


그림 2. 기판 온도에 따른 OLED 전압-전류 특성.
 Fig. 2. Current density-voltage characteristics of OLED with various substrate temperatures.

층(ELM200)과 정공 수송층(NPB)을 상온에서 증착한 후 상온, 30°C, 40°C, 50°C 및 60°C의 기판 온도에서 발광층 및 전자 수송층으로 Alq₃를 증착하고, LiF와 Al은 다시 상온에서 증착하여 ITO(100 nm)/ELM200(50 nm)/NPB(30 nm)/Alq₃(55 nm)/LiF(0.7 nm)/Al(100 nm) 구조의 OLED를 제작하였다. 제작된 OLED의 인가전압에 대한 전류 밀도를 측정하여 그림 2에 나타내었다. 60°C의 온도에서 증착한 OLED의 경우는 발광소자의 제작이 이루어지지 않았으며, 기판 온도가 상온에서부터 50°C로 상승함에 따라 인가전압에 대한 전류 밀도는 동일한 전압에서 점차 많은 전류가 흐르고 있는 것을 알 수 있었다. 인가전압이 9 V인 경우를 비교하여 보면 상온에서 제작한 소자는 7.5 mA/cm², 30°C에서 제작한 소자는 51 mA/cm², 40°C에서 제작한 소자는 84.1 mA/cm², 50°C에서 제작한 소자는 170.9 mA/cm²의 전류가 흐르고 있었다. 동일한 인가전압에서 기판 온도의 증가에 의하여 보다 많은 전류가 흐르는 것은 Alq₃ 박막의 다결정화에 의하여 Alq₃ 결정의 경계를 통하여 전류가 보다 잘 흘러갈 수 있기 때문인 것으로 예상된다[12].

발광층 및 전자 수송층으로 사용하는 Alq₃ 증착 시 기판 온도에 따라 제작한 OLED의 인가전압에 대한 발광 휘도 특성을 그림 3에 나타내었다. 전압에 대한 전류 특성은 인가전압을 0.5 V씩 증가시키며 측정하였다. 인가전압에 대한 발광 휘도는 Alq₃의 증착 시 기판 온도가 증가할 수록 낮은 전압에서 높은 발광 휘도를 나타내었다. 인가전압 9 V에서의

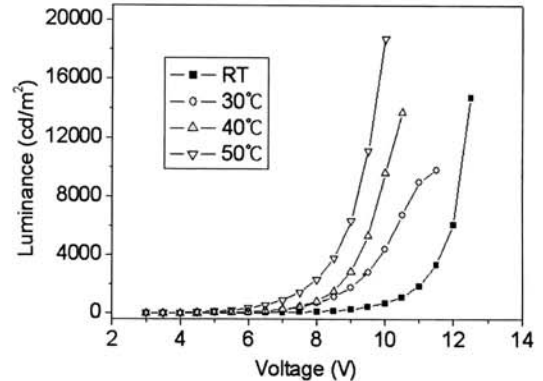


그림 3. 기판 온도에 따른 OLED의 전압-휘도 특성.
 Fig. 3. Luminance-voltage characteristics of OLED with various substrate temperatures.

발광 휘도를 보면 상온에서 제작한 소자는 278 cd/m², 30°C에서 제작한 소자는 1,765 cd/m², 40°C에서 제작한 소자는 2,859 cd/m², 50°C에서 제작한 소자는 6,351 cd/m²로 동일한 인가전압에서는 증착 시 기판 온도가 증가함에 따라 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이 현상은 그림 1의 인가전압에 대한 전류 밀도의 변화와 유사한 경향을 보이는 것으로 증착 시 기판 온도가 증가함에 따라 소자에 흐르는 전류가 증가하여 많은 수의 전자와 정공이 발광에 기여함으로써 발광 휘도도 증가한 것으로 설명할 수 있다. 이 결과는 OLED 소자 제작 과정에서 발광층 및 전자 수송층으로 사용하는 Alq₃ 증착 시 기판 온도를 증가시키면 낮은 인가전압에서 높은 발광휘도를 얻을 수 있는 소자 제작이 가능함을 의미한다.

발광층 및 전자 수송층으로 사용하는 Alq₃ 증착 시 기판 온도에 따라 제작한 OLED의 인가전압에 대한 발광 효율을 그림 2와 그림 3의 결과로부터 계산을 통하여 얻은 값을 그림 4에 나타내었다. 인가전압에 대한 발광 효율은 9 V의 전압을 인가한 경우 상온에서 제작한 소자는 3.66 cd/A, 30°C에서 제작한 소자는 3.35 cd/A, 40°C에서 제작한 소자는 3.38 cd/A, 50°C에서 제작한 소자는 3.73 cd/A로 측정되었다. 따라서 발광 효율은 상온 및 30°C, 40°C, 50°C에서 제작한 경우 유사한 정도의 값을 보이고, 기판 온도에 따른 특별한 변화는 관측되지 않았다. 이 결과는 Alq₃ 증착 시 기판 온도가 소자의 효율에는 영향을 주지 않음을 보여 준다.

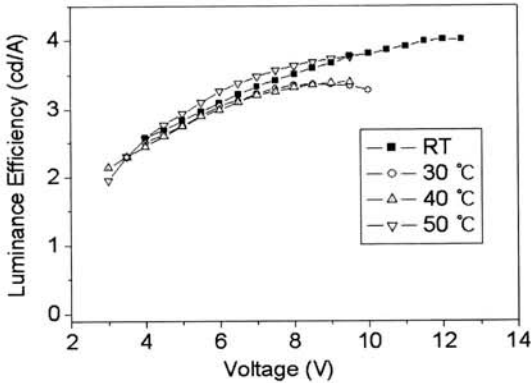


그림 4. 기판 온도에 따른 OLED의 전압-발광효율 특성.

Fig. 4. Luminance efficiency-voltage characteristics of OLED with various substrate temperatures.

발광층 및 전자 수송층으로 사용하는 Alq₃ 증착 시 기판 온도에 따라 제작한 OLED의 반감 수명을 그림 5에 나타내었다. OLED의 수명 측정은 소자의 초기 발광휘도를 500 cd/m²로 설정하고 초기 설정값의 절반인 250 cd/m²까지 도달하는 시간을 측정하였다. 이 때 소자에 인가한 전류는 초기에 설정한 값으로 일정하게 유지하였다. Alq₃ 증착 시 기판 온도에 따른 소자의 수명은 상온에서 증착한 경우 260분, 30°C에서 증착한 경우 200분, 40°C에서 증착한 경우 140분, 50°C에서 증착한 소자의 경우 120분으로 Alq₃ 증착 시 기판 온도가 상승함에 따라 소자의 수명은 급격히 감소함을 알 수 있다. 상온에서 제작된 소자와 비교하면 40°C에서 제작한 소자와 50°C에서 제작한 소자의 수명은 2배 정도의 차이를 보였다.

이상의 결과에서 발광층 및 전자 수송층으로 사용하는 Alq₃ 증착 시 기판 온도가 상승함에 따라 낮은 인가전압에서 많은 전류가 흐르게 되어 높은 발광 휘도를 나타내게 되나, 소자의 수명은 크게 감소되는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 Alq₃ 증착 시 기판 온도가 증가함에 따라 Alq₃ 박막이 다결정으로 성장하기 때문에 나타난 결과로 설명할 수 있다. 증착 시 기판 온도가 증가함에 따라 결정화가 된 결과는 소자의 문턱전압을 낮추게 되어 구동 전압을 낮출 수 있는 긍정적인 효과가 있으나, 궁극적으로는 박막의 열화를 촉진시키게 되어 소자의 수명은 감소하게 된다.

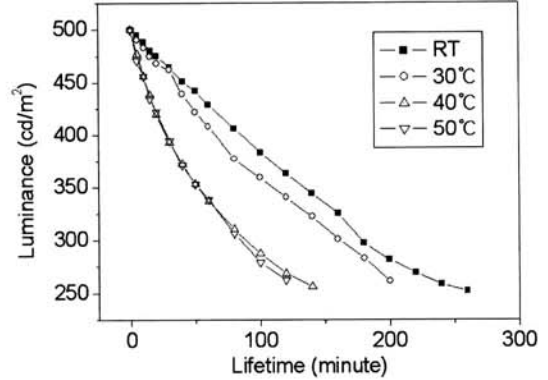


그림 5. 기판 온도에 따른 OLED의 반감 수명.

Fig. 5. Half lifetime of OLED with various substrate temperatures.

4. 결론

OLED 제작 과정에서 발광층 및 전자수송층으로 사용되는 Alq₃ 증착 시 기판 온도를 상온, 30°C, 40°C, 50°C로 변화시키며 ITO(100 nm)/ELM200(50 nm)/NPB(30 nm)/Alq₃(55 nm)/LiF(0.7 nm)/Al(100 nm) 구조로 OLED를 제작하였다. Alq₃ 증착 시 기판 온도가 상온에서부터 증가함에 따라 인가전압에 대한 전류와 발광 휘도는 낮은 전압에서 많은 전류가 흐르고 높은 휘도를 나타내게 되나 발광효율은 변화가 없는 것을 알 수 있었고, 소자의 수명은 급격히 감소하였다. 이러한 현상은 증착 시 기판 온도를 가열함으로써 증착된 Alq₃의 박막이 결정화를 이루게 되어 나타난 현상으로 다결정 구조를 통하여 많은 전류가 흐르게 되나 소자의 수명은 짧아지게 되는 것이다.

OLED 제작 과정에서 저항 가열 증착법을 사용하여 박막을 형성할 경우 증발원의 온도가 기판 온도에 영향을 주게 되어 유기 박막의 특성을 변화시킬 수 있다. 따라서 증착 시 기판 온도의 변화에 따른 OLED 소자의 특성을 분석하여 영향을 받는 요소를 확인하고자 하였다.

감사의 글

이 논문은 2009학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것이다.

참고 문헌

- [1] D. E. Mentley, "State of flat-panel display technology and future trends", Proc. IEEE, Vol. 90, No. 4, p. 453, 2002.
- [2] 이봉섭, 고신위, 박종억, 백용구, 양재웅, 백경갑, 주성후, "정공주입층에 따른 OLED 소자의 발광 특성", 전기전자재료학회논문지, 21권, 6호, p. 562, 2008.
- [3] P. E. Burrows, V. Bulovic, S. R. Forrest, L. S. Sapochak, D. M. McCarty, and M. E. Thompson, "Reliability and degradation of organic light emitting devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 65, No. 23, p. 2922, 1994.
- [4] Y.-F. Liew, H. Aziz, N.-X. Hu, H. Chan, G. Xu, and Z. Popovic, "Investigation of the sites of dark spots in organic light-emitting devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 77, No. 17, p. 2650, 2000.
- [5] A. B. Djurišić, C. Y. Kwong, W. L. Guo, T. W. Lau, E. H. Li, Z. T. Liu, H. S. Kwok, L. S. M. Lam, and W. K. Chan, "Spectroscopic ellipsometry of the optical functions of tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq₃)", Thin Solid Films, Vol. 416, No. 1-2, p. 233, 2002.
- [6] C. Y. Kwong, A. B. Djurišić, V. A. L. Roy, P. T. Lai, and W. K. Chan, "Influence of the substrate temperature to the performance of tris(8-hydroxyquinoline) aluminum based organic light emitting diodes", Thin Solid Films, Vol. 458, No. 1-2, p. 281, 2004.
- [7] F. Papadimitrakopoulos, X.-M. Zhang, and K. A. Higginson, "Chemical and morphological stability of aluminum tris(8-hydroxyquinoline) (Alq₃): Effects in light-emitting devices", IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., Vol. 4, No. 1, p. 49, 1998.
- [8] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 51, No. 12, p. 913, 1987.
- [9] H. Aziz, Z. Popovic, S. Xie, A.-M. Hor, N.-X. Hu, C. Tripp, and G. Xu, "Humidity-induced crystallization of tris(8-hydroxyquinoline) aluminum layers in organic light-emitting devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 7, p. 756, 1998.
- [10] 박현식, 최영선, 김부웅, 류봉기, "Tris(8-hydroxyquinoline) aluminum 박막의 수분과 온도에 의한 모폴로지 변화", 공업화학, 14권, 7호, p. 915, 2003.
- [11] D. Kolosov, D. S. English, V. Bulovic, P. F. Barbara, S. R. Forrest, and M. E. Thompson, "Direct observation of structural changes in organic light emitting devices during degradation", J. Appl. Phys., Vol. 90, No. 7, p. 3242, 2001.
- [12] A. B. Djurišić, T. W. Lau, C. Y. Kwong, L. S. M. Lam, and W. K. Chan., "Evolution of optical properties of tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq₃) with atmosphere exposure", Proc. SPIE, Vol. 4800, p. 200, 2003.