

Al:Li/Al cathode를 사용한 Organic LED의 전기적, 광학적 특성연구

방희석, 성현호, 박용규*, 이주현, 김선웅, 주성후, 김우영**, 이종찬, 박대희***
 전자부품연구원(KETI)*, 현대전자**, 원광대학교 전자재료 공학과***

Electrical and optical property of organic LED using Al:Li/Al cathode

Hee-Suk Pang, Hyun-Ho Sung, Yong-Kuy-Park*
 Korea Electronics Technology Institute(KETI)
 Joo-Hyeon Lee, Sun-Woong Kim, Sung-Hoo Ju, Woo-Young Kim**
 LCD division Hyundai Electronics Industries Co., Ltd. Ichon 467-701
 Chong Chan Lee, Dai Hee Park***
 Wonkwang University

Abstract- ITO/TPD(450Å)/Alq₃(500Å)/Al:Li(1200Å) 구조의 유기 LED를 제작하였다. Al과 Al:Li(0.1wt%), Al:Li(1wt%), Al:Li(5wt %) 합금을 음전극으로 증착시켜 소자의 전기적 광학적 특성을 분석하였다. 음전극 내의 Li의 분포를 알아보기 위하여 SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy) depth profiling을 하였다. Al:Li합금에서 Li의 함량이 0.1 wt %에서 5 wt %로 증가함에 따라 소자의 turn-on voltage는 약 3.5 V에서 3 V로 감소하였고, 구동전압도 감소하였다. 200 cd/m²의 휘도를 기준으로 Al:Li(0.1wt %) 합금을 사용한 소자의 경우 3.5 lm/W로 발광효율이 최대였다.

증착된 Al:Li(0.1wt%) 합금의 SIMS depth profiling 결과 초기에만 Al:Li이 증착되어 Al:Li/Al의 두 층이 형성되었고, Al:Li 합금층의 두께는 약 120Å 이었다.

1. 서 론

유기 LED는 고휘도, 저전력, 넓은 시야각, 박형화된 디스플레이로서의 장점을 지니고 있어서 현재 여러 분야에 걸쳐 연구되고 있다. 특히 음전극 재료는 소자의 구동전압, 휘도, 효율에 영향을 미친다. Al과 같이 비교적 높은 일함수의 금속 재료는 저효율, 저휘도, 높은 구동전압으로 소자의 수명이 저하되는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 낮은 일함수의 금속을 음전극으로 사용하는 것이 좋은 해결 방법으로 제시되고 있다. 그 중 LiF, Mg:Ag합금, Al:Li 합금이 음전극 재료로 활용하고 있는데^{1,2)} 이러한 합금의 사용은 소자의 휘도와 발광효율을 크게 개선시키는 것으로 알려졌다. 또한 유기 발광물질과 전극물질의 계면 사이에서의 관계도 여러 분야에서 연구되고 있으며^{3,4,5)} 이러한 연구는 소자의 열화(degradation)원인을 규명할 수 있고 소자의 수명을 향상 시켜 평판 디스플레이로서의 사용을 가능하게 할 수 있다.

본 논문에서는 Al, Al:Li 합금을 음전극으로 사용하여 각각의 유기 LED 소자를 제작하였다. 음전극에 포함된 Li의 함량에 따른 전기적, 광학적 특성을 조사하고, 발광 효율을 계산하였다. SIMS depth profiling을 이용하여 증착된 Al:Li 음전극내에 Li의 분포도를 조사하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

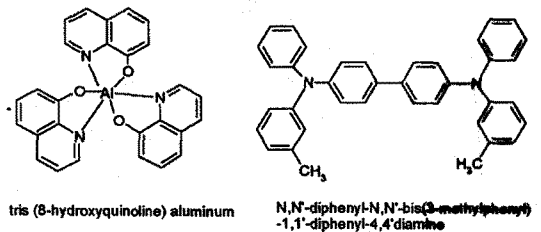
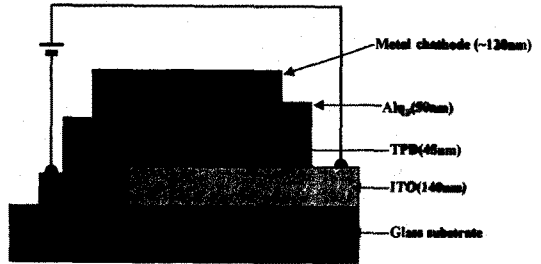


그림 1. 유기 전계발광 소자의 구조와 물질

본 연구에서는 ITO(1400Å)가 입혀진 유리기판 위에 TPD(450Å)/Alq₃(500Å)/Al:Li(1200Å)의 구조로 소자를 제작하였다. 제작된 소자의 구조와 사용된 물질의 구조를 그림 1에 나타내었다. 소자를 제작하기 전의 초기 진공도는 4×10⁻⁶Torr 였고, 각 층은 진공 증착법에 의하여 제작되었다.

제작된 소자의 인가전압에 대한 전류밀도와 휘도를 Power supply (hewlett packard E3611A), Digital Multimeter(FLUKE 8840A/AF), MINOLTA spectro radiometer (CS-1000)를 사용하여 0~12V 범위에서의 측정하였다. 소자에 증착된 Al:Li 음전극내에 Li의 분포를 조사하기 위하여 ITO 유리기판 위에 Al:Li를 따로 증착하여 SIMS depth profiling을 하였다.

2.2 실험결과 및 토의

그림 2는 제작된 소자의 인가된 전압에 따른 전류밀도의 변화를 측정한 결과이다. 소자에 증착된 음전극의 두께는 900~1200Å 이고, 발광층의 두께는 TPD 와 Alq₃ 가 각각 450Å, 500Å 이었다.

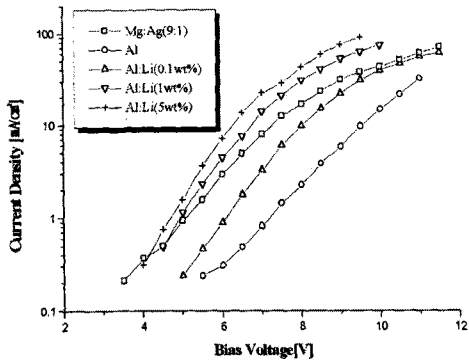


그림 2. 음극금속 종류별 전류밀도-인가전압 특성

그림 2의 측정결과로부터 인가전압이 증가함에 따라 전류밀도도 증가함을 알 수 있다. 또한 음전극으로 Al을 사용한 경우 전류밀도가 가장 낮고, Al:Li 합금을 사용한 경우 Li의 함량이 증가함에 따라 전류밀도도 증가함을 알 수 있다. Al에 비하여 Li의 일함수가 낮기 때문에 Al:Li 합금내에 Li의 함량이 증가함에 따라 Al:Li 합금의 일함수는 낮아지게 되고, 음전극으로부터 발광층인 Alq3로 전자의 주입이 용이하게 된다. 따라서 Li의 함량이 증가함에 따라 전류 밀도는 증가하게 된다.

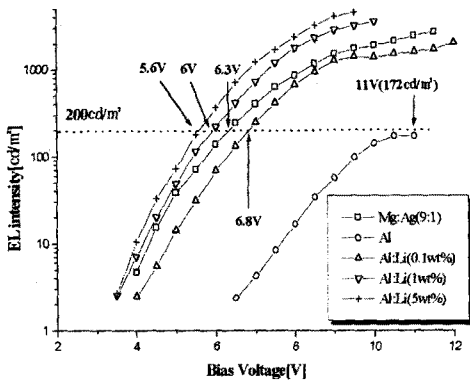


그림 3. 음극금속 종류별 휘도-인가전압 특성

그림 3은 인가전압에 대한 휘도의 변화를 측정한 것이다. 그림 2의 전류밀도의 변화와 같이 인가전압이 증가함에 따라 발광 휘도 역시 증가함을 알 수 있다. 또한 음전극을 Al로 사용한 경우 발광 휘도도 가장 낮았고, Al:Li 합금내의 Li의 함량이 증가함에 따라 발광 휘도도 증가하였다. 이러한 현상은 Li의 함량이 증가함에 따라 발광층으로 주입되는 전자의 밀도가 증가하게 되어 TPD 층을 통하여 발광층으로 주입된 정공과의 재결합 확률이 증가하기 때문이다. 제작된 소자의 turn-on voltage는 Al 전극을 사용한 경우 약 6V이었고, Al:Li 합금내의 Li의 함량이 0.1 wt%에서 5 wt%로 증가함에 따라 약 3.5 V에서 3 V로 낮아졌다. 실제 양산에 적용기준이 되는 200 cd/m²의 휘도를 기준으로 음전극의 종류에 따른 인가전압은 Al:Li 합금에서 Li의 함량이 0.1 wt%, 1 wt% 그리고 5 wt% 일 때 각각 6.8, 6.0, 5.6 V 이었다.

그림 4는 그림 2와 3으로부터 계산된 소자의 발광효율

(lm/W)를 나타낸 것이다. 음전극으로 Al을 사용한 소자의 발광효율이 가장 낮고, 그러나 음전극으로 Al:Li 합금을 사용한 소자의 경우 Li의 함량이 1 wt%와 5 wt% 일 때 거의 비슷하고, 0.1 wt%인 경우 가장 높은 발광효율을 나타내었다. 200cd/m²의 휘도를 기준으로 하는

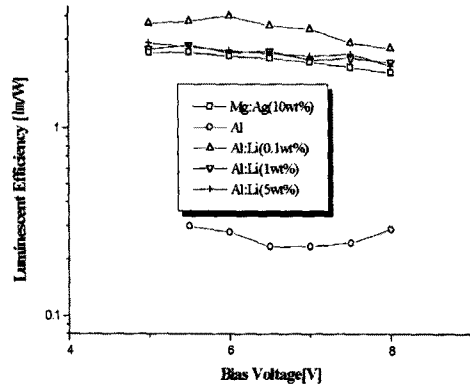


그림 4. ITO/TPD/Alq3/Al:Li 구조로 제작된 소자의 Luminescent Efficiency

발광효율은 Al:Li 합금에서 Li의 함량이 0.1 wt%, 1 wt% 그리고 5 wt% 일 때 3.5, 2.5, 2.7 lm/W 이었다.

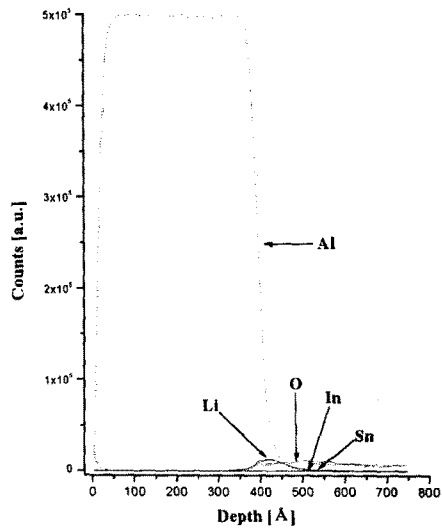


그림 5. Al:Li alloy/ITO/glass에 대한 SIMS (secondary ion mass spectroscopy) depth profile

그림 5는 ITO 유리기판 위에 Al:Li(0.1wt%)를 1000Å 증착하여 depth profile한 결과를 나타낸 것이다. 그림 5의 결과로부터 증착된 막과 ITO의 경계면에 Li이 집중적으로 분포되어 Al:Li 합금이 약 120 Å의 두께로 형성되었고 그 이후에 Al 금속이 형성되었음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제작한 소자의 경우 증발원으로 Al:Li 합금을 사용하였으나 결과적으로 음전극이 Al:Li/Al 합금의 두 층으로 형성되었음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 Al과 Al:Li(0.1wt%), Al:Li(1wt%), Al:Li(5wt %) 합금을 음전극으로 사용한 유기 LED의 전기적 광학적 특성을 분석하였다.

Al:Li 합금에서 Li함량이 증가할수록 전류밀도와 발광 휘도는 증가하였으며 turn-on voltage는 3.5 V에서 3V로 낮아졌다. Al:Li 합금에서 Li의 함량이 0.1wt%일 때 발광효율은 3.5 lm/W로 최대였고, Li의 함량이 증가하면 발광효율은 감소하였다.

음전극으로 Al을 사용한 경우에 비하여 Al:Li 합금을 사용한 경우에 전류밀도, 발광휘도 그리고 발광효율이 모두 향상되었다. SIMS depth profile결과 Al:Li 합금을 증착한 경우 Al:Li/Al 합금의 두 층이 형성되었음을 확인하였다. 이러한 현상은 Al에 비하여 Al:Li 합금의 일함수가 낮기 때문에 음전극으로부터 발광층으로 주입되는 전자의 밀도가 증가하게 되어 발광층내에서 정공과의 재결합 확률이 증가하기 때문이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Sun-Woong Kim, Sung-Hoo Ju, Joo-Hyeon Lee, "Organic Electroluminescent Devices Using Variable Metal Cathode in 4-Layer Structure", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 35, S1120~S1123, 1999
- [2] L. S. Hung, C. W. Tang, and M. G. Mason, "Enhanced electron injection in organic electroluminescence devices using an Al/LiF electrode", Appl. Phys. Lett. 70(2), 13 January 1997
- [3] T. Osada, P. Barta, N. Johansson, Th. Kugler, P. Broms "XPS and UPS study of charge transport material/electrode interface of light emitting diodes", Synthetic Metals, 102, 1103~1104, 1999
- [4] D. Yoshimura, T. Yokoyama, E. Ito, Y. Ouchi, S. Hasegawa, and K. Seki, "Electronic structure of Al₂O₃/LiF/Al Interfaces Studied by UV Photoemission", Synthetic Metals, 102, 1145~1146, 1999
- [5] R. Treusch and F. J. Himpsel, "X-ray photoemission and photoabsorption of organic electroluminescent materials", J. Appl. Phys., 86, 88~93, 1999
- [6] F. Li and H. Tang, J. Andereg, J. Shinar, "Fabrication and electroluminescence of double-layered organic light-emitting diodes with the Al₂O₃/Al cathode", Appl. Phys. Lett, 70(10), 1233~1235, 1997
- [7] Yoshitaka Kurosaka, Norio TaDa, Yutaka Ohmori and Katsumi Yoshino, "Improvement of Electrode/Organic Layer Interfaces by the Insertion of Monolayer-like Aluminum Oxide Film", Jpn. J. Appl. Phys, 37, L872~L875, 1998