

유기발광 소자의 전자 주입층 두께 변화에 따른 발광효율 연구

이정호

홍익대학교 전자공학과

Study of OLED luminescence efficiency by electron Injection layer change

Jung-Ho Lee

Dept. of Electronic Eng., Hongik Univ., Seoul 121-791, Korea

E-mail ; phile71@passmail.to

Abstract

The efficiency of electron injection from the cathode is strongly dependent on the thickness of the LiF buffer-layer. We used LiF to electron Injection layer. We compared characteristics of organic light emitting device changing LiF thin film thickness from 1.0 nm to 10.0 nm. Experiment result, we found that LiF thickness has the optimized electrical characteristics in 3.0 nm. In this paper, we did research about electrical characteristics of organic light emitting device by LiF thickness change using method numerical analysis method. We proved adequate experimental results that compare results of numerical analysis, and come out through an experiment results is validity.

Key Words : OLED(Organic Light-Emitting Diode), EIL(Electron Injection Layer)

1. 서 론

전계발광현상(electroluminescence)은 1920년대에 무기EL에서 이미 발견되었으며, 그 후 1953년 초에 유기EL의 발광이 관측되고, 1963년에 직류에서의 발광이 확인된 이후, 유기EL의 본격적인 연구가 시작되었다. 이후 1965년 유기물질의 전계발광 현상은 단결정 안트라센(anthracene)에서 최초로 발견되었지만 제한된 크기, 단결정 성장의 어려움 뿐만 아니라 매우 높은 전압(~1000V) 때문에 그동안 발전하지 못했다. 그러나 1987년 코닥사(Eastman-Kodak)의 C. W. Tang에 의해 진공증착에 의한 다층박막 및 높은 양자 효율 소자 제작에

힘입어 새로운 발전기를 맞게 되었다.[1] 박막두께가 1000Å에 불과하고 10 V 정도의 낮은 전압에서 구동될 수 있는 소자를 개발하면서 많은 분야에서 응용을 고려해 둔 연구가 활기를 띠기 시작하였다. 유기발광소자는 정공 이동속도가 전자의 이동속도보다 $10\sim 10^2$ 정도 더 빠르다. 유기물로 구성된 발광층에 전자와 정공과 같은 수송자들이 원활히 주입되어야 발광효율이 높아지게 된다. 이로 인해 주된 연구방향은 발광효율(luminescence efficiency)을 높이기 위한 구조적 개선 방안과, 빛의 색좌표와 휘도 및 명도를 직접적으로 높일 수 있는 신물질(new material) 개발에 초점을 맞추어 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 발광효율을 높

이는 방법은 앞서 밝힌바와 같이 정공의 이동도를 낮추어 주거나 혹은 전자의 이동도를 개선해주어 수송자-전자와 정공-들이 발광층에서 전자와 정공 쌍들(electron-hole pairs)을 높게 구성되도록 만들어 주고 만들어진 전자-정공 쌍이 효율적으로 재결합시켜 주어 발광 효율을 높일 수 있게 된다.

본 논문에서는 수송자들의 이동도 밸런스를 맞추어 주기 위해 전자의 이동도를 개선하여 전자-정공 쌍이 많이 이루어지기 위한 방법에 초점을 맞추었다. 수송자들이 양극과 음극의 전극으로부터 발광층으로 주입되는 과정에서 진입 장벽이 높기 때문에 원활하게 수송자 주입이 이루어지지 않는다. 이러한 문제를 해결하고자 소자를 다층박막(multi-layer) 구조로 소자를 제작하는 것이 일반적이다. 양극과 음극으로부터 수송자들이 발광층으로 진입할 때 진입 장벽이 높기 때문에 발광층으로 원활한 수송자 진입을 위해서는 전극으로부터 들어오는 수송자들의 HOMO(highest occupied molecular orbital)와 LUMO(lowest unoccupied molecular orbital) 에너지 값이 계단형 형태를 이루도록 완만하게 소자를 제작하여야 한다. 이러한 수송자들의 완만한 진입을 돕기 위해 수송자 주입층(carrier injection layer)과 수송자 수송층(carrier transport layer)을 얇게 삽입하여 에너지 레벨을 완만하게 만들어 줄 수 있다.

2. 실험

수송자의 주입을 원활하게 만들어주기 위해서는 수송자들의 수송을 돕는 박막을 삽입해야 한다. 전자와 정공의 이동도가 서로 차이를 나타내기 때문에 이동도 밸런스를 맞추는 일반적인 방법으로는 정공이 주입되는 박막층의 두께를 늘여 줌으로써 상대적으로 느리게 들어오는 전자들과의 이동도 밸런스를 맞추어 주는 방법이 사용되어 왔다.[2] 그러나 정공의 이동도를 상대적으로 느리게하여 이동도 밸런스를 맞추는 방법으로 유기전기발광 소자를 제작하게 되면 전체 소자 박막의 두께가 상대적으로 늘어나게 된다.

유기전기발광소자의 경우에는 습도와 온도에 매우 민감한 반응을 한다. 전체 소자의 박막 두께가 늘어나게 되면 턴온(turn-on) 전압이 높아지게 되어 소자의 전기적인 특성이 나빠질 수 있다. 본 논문에서는 소자의 전체 박막 두께를 줄이면서도 전

기적 특성 저하를 고려하여 전자의 수송을 돕는 전자 주입층(electron injection layer)과 전자 수송층(electron transport layer)을 삽입하는 방법을 채택하였다. 이러한 전자의 주입을 원활하게 해주는 방법은 L. S. Hung et al. 등이 제시한 바 있다.[3]

그림 1.은 LiF를 전자 주입층으로 사용한 소자 구조를 나타낸 것이다.

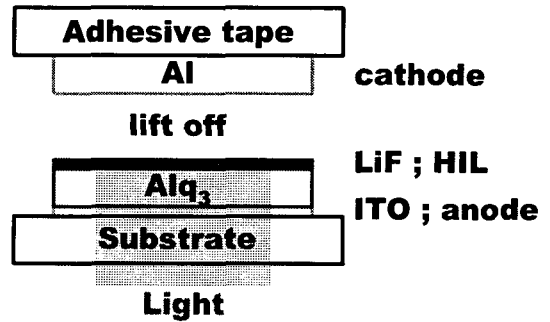


그림 1. 본 논문에 사용된 유기 EL소자 구조

본 논문을 위한 소자 제작에 있어서는 유기물을 제작하기 위한 챔버(organic chamber)와 음극 전극을 제작하기 위한 금속 챔버(metal chamber) 두 가지가 필요하다. 우선 양극 전극으로 ITO(indium thin oxide)를 사용하였다. 유기발광에서 양극 제작에 사용된 ITO의 면저항은 대략 $120\Omega/\text{sheet}$ 정도이다. 기판으로는 유리를 사용하였다. 유리 기판 위에 ITO를 소자 구조에 맞게 성장시키고 이후 유기물 챔버에서 Alq₃를 증착 시킨다. 증착 속도는 $0.1 \sim 0.2$ [nm/s]로 타켓을 분당 10회 회전시켜 균일하게 박막이 증착 되도록 실험하였다. 발광층으로 사용된 Alq₃는 350 nm로 진공증착 시키고 그 위에 LiF를 각각 1/2/3/5/10 nm로 증착 시킨 후 진공을 유지하면서 금속 챔버로 이동을 시켜 Al을 1500 nm 증착 시키고 점착성 테이프(adhesive tape)를 붙여 전류밀도-인가전압을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

실험은 녹색 발광하는 발광층인 Alq₃를 350 nm로

두고 전자 주입층인 LiF를 1, 2, 3, 5, 10 nm로 삽입하였다. 발광층인 Alq₃는 350 nm에서 최대 발광을 하는 것으로 측정이 되었다. 측정결과 전자 주입층으로 사용된 LiF는 두께에 따라 전류밀도-인가 전압의 측정 값 차이가 많이 남을 알 수 있었다. 이는 금속과 유기물 사이에 전자 주입층을 삽입 해 줌으로 인해 LiF가 버퍼층(buffer layer)으로 사용됨을 알 수 있다. 이 버퍼층에서 전자는 터널링(tunneling) 현상을 설명할 수 있게 된다. 그림 2.는 LiF가 버퍼층으로 사용되었을 경우 이러한 전기발광 특성을 터널링 모델로 설명하기 위해 도식화 한 것이다.[4]

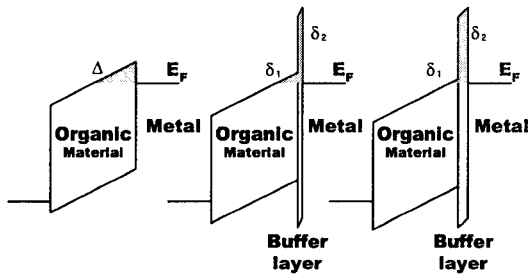


그림 2. 유기 EL소자의 터널링 모델

그림 2.에는 Al/Alq₃와 Al/LiF/Alq₃의 에너지 밴드 다이어그램(band diagram)을 도시한 것이다. 그림에서 Δ 는 버퍼층(buffer layer)이 포함되지 않았을 경우 LUMO와 음극의 페르미 레벨(fermi level) 사이의 차이를 나타낸 것이다. 이 에너지 차이는 버퍼층이 삽입되었을 경우 δ_1 과 δ_2 의 합으로 나타나게 된다. 여기서 δ_1 은 삼각우물(triangular well)에 형성되는 에너지를 나타내고 δ_2 는 음극(금속)과 버퍼층 사이에서 생성되는 에너지를 나타낸다. 만약 LiF를 매우 얇게(1.0 nm 이하) 삽입하게 되면 주입되는 전자의 양이 너무 적어 버퍼층을 통과하는 전압강하(voltage drop) 값이 너무 작아지게 되고 이로 인해 터널링(tunneling) 현상이 발생하기 어렵게 된다. 반대로 LiF를 5.0 nm 이상으로 비교적 두껍게 삽입하게 된다면 삼각우물에 형성되는 에너지 값이 매우 적

어지게 되므로 터널링 현상이 발생하기 어려워진다. 따라서 적절한 두께로 LiF를 버퍼층으로 삽입시켜야 한다. 실험 측정결과 3.0 nm에서 가장 이상적인 터널링 현상이 일어남을 관측 할 수 있었다. 측정결과 버퍼층이 없는 Al/Alq₃ 구조에서는 Al/LiF/Alq₃ 구조에서의 전기적 특성보다 나빠짐을 알 수 있었다. 이 사실로 유기전기 발광소자의 전류밀도 메카니즘은 터널링에 의한 전류 흐름으로 주되게 이루어지고 있음을 알 수 있다.[5]

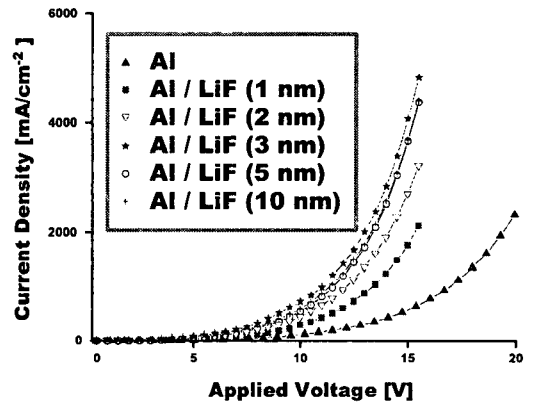


그림 3. 유기 EL소자의 전류밀도-공급전압 특성

4. 결론

버퍼층을 삽입한 경우와 버퍼층을 삽입하지 않은 경우 두가지 형태로 소자를 제작하였으며 이때 버퍼층을 삽입한 경우에는 버퍼층 두께 변화를 두어 소자를 제작하였다. 측정후 질소 환경을 만들어 주어 소자가 측정을 위해 공기 중에 노출될 경우 습기와와의 접촉을 최소화하였다. 제작된 소자들을 30여분 정도 베이킹(backing) 처리 후 인가 전압을 0.5 V씩 증가시키면서 전류 밀도를 측정하였다. 그림 3.은 그림 1.의 소자 구조로 제작된 소자의 실험 측정 결과를 도식화시킨 것이다. LiF를 전자 주입층으로 사용하여 소자 제작을 하였고 이 전자 주입층의 두께 변화로 인해 유기발광소자의 전기적 특성이 개선되어짐을 알 수 있었다. 이는 발광 효율을 높이기 위해 최적화된 전자 주입층의 삽입

이 발광 효율이 높은 소자를 제작 할 수 있게 된다는 것을 말해 준다. 이는 이제껏 우리가 유기전기발광소자의 전류 흐름을 드리프트(drift)와 확산(diffusion)으로 보아왔던 무기물 소자와 다소 차이를 나타낸다. 유기전기발광소자에서는 전류 흐름의 주된 부분을 터널링 현상으로 생성되는 것임을 증명해 준다. 또한 박막의 두께를 최적화 시키고 그에 대한 정확한 해석을 함으로 인해 소자의 최적화로 높은 발광효율의 유기발광소자의 제작을 예측 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] C. W. Tang, S. A. Vanslyke, "*Organic electroluminescent diodes*", Appl. phys. Lett. 51, pp. 913-915 (1987)
- [2] Y. D. Zhang, R. D. Hreha, G. E. Jabbour, B. Kippelen, N. Reyghambarian & S. R. Marder, "*Photo-crosslinkable polymers as hole-transport materials for organic light-emitting diodes*", Journal of Materials, 12, pp. 1703 -1708 (2002)
- [3] L. S. Hung, C. W. Tang, & M. G. Mason, "*Enhanced electron injection in organic electroluminescence devices using an Al/LiF electrode*", Appl. phys. Lett. 70, pp. 152-154 (1997)
- [4] X. J. Wang, J. M. Zhao, Y. C. Zhou, X. Z. Wang, S. T. Zhang, Y. Q. Zhan, Z. Xu, H. J. Ding, G. Y. Zhong, H. Z. Shi, Z. H. Xiong, Y. Liu, Z. J. Wang, E. G. Obbard, & X. M. Ding, "*Enhancement of electron injection in organic light-emitting devices using an Ag/LiF cathode*", Journal of Appl. phys, 95, pp. 3828-3830 (2004)
- [5] I. H. Campbell & D. L. Smith, "*Schottky energy barriers and charge injection in metal/Alq/metal structures*", Appl. phys. Lett. 74, pp. 561-563 (1999)