

전극 변화에 따른 유기 발광 소자의 내장 전압

윤희명, 이은혜, 이원재*, 정동화**, 오용철**, 김태완
홍익대학교, *경원대학교, **광운대학교

Built-in voltage depending on electrode in organic light-emitting diodes

Hee-Myoung Yoon, Eun-Hye Lee, Won Jae Lee, Dong Hoe Chung, Young Cheul Oh, Tae Wan Kim,
Hongik Univ. *Kyungwon Univ. **Kwangwoon Univ.

Abstract : Built-in voltage in organic light-emitting diodes was studied using modulated photocurrent technique ambient conditions. From the bias voltage-dependent photocurrent, built-in voltage of the device is determined. The applied bias voltage when the magnitude of modulated photocurrent is zero corresponds to a built-in voltage. Built-in voltage in the device is generated due to a difference of work function of the anode and cathode. A device was made with a structure of anode/Alq₃/cathode to study a built-in voltage. ITO was used as an anode, and Al and LiAl were used as a cathode. A layer thickness of Al and LiAl were 100nm. Obtained built-in voltage is about 1.0V in the Al layer was used as a cathode. The obtained built-in voltage is about 1.6V in the LiAl layer was used as a cathode. The result of built-in voltage is dependent of cathode. We can see that the built-in voltage increase up to 0.4V when the LiAl layer was used as the cathode. These results correspond to the work function of LiAl which is lower than that of Al. As a result, the barrier height for an electron injection from the cathode to the organic layer could be lowered when the LiAl was used as a cathode.

Key Words : Organic light-emitting diodes, Modulated photocurrent, Electro-optical method.

1. 서 론

1987년에 미국 Kodak사의 C. W. Tang^{1,2}이 유기착화합물 Alq₃로 100nm이하의 비정질 박막을 이용하여 저 전압 구동, 고 휘도의 OLED를 개발하였고, 이중층구조로 효율을 높인 연구결과를 보인 후 전 세계적으로 연구가 더욱 활발히 진행되기 시작했다. 그리고 1990년 영국 Cambridge 대학의 R. H. Friend 교수팀에 의해 고분자 박막을 이용한 유기EL이 Nature지에 발표되었다.³ 이와 같이 재료 측면에서, 유기 저분자와 고분자를 이용하는 두 분야에서 급속한 발전을 이루어 현재까지 정보표시소자에 필요한 적, 녹, 청색의 발광효율이 우수한 재료가 모두 개발되었다. 이에 유기 발광 소자는 여러 가지 디스플레이 영역의 응용 가능성 때문에 많은 흥미를 유발시키고 있으며 특히, 낮은 구동 전압과 자체 발광, 유연성과 빠른 응답속도 발광 물질의 선택에 따라 다양한 색상을 구현할 수 있다.

유기 발광 소자에서의 효율적인 발광을 관찰한 이후 전기적으로 중요한 요소인 전하 주입, 수송 및 발광을 제어하기 위한 원리해가 날로 증대 되고 있다. 그래서 유기 소자에 대한 연구로 대부분이 효율, 수명, 구동 전압에 집중되어 있다. 일반적으로, 유기층이 절연체이면 바이어스 전압이 영일 때, 유기층을 가로질러 전기장이 형성된다. 소자에서 이런 내장 전기장은 두 전극의 페르미 준위의 정렬에 의해서 발생하며, 내장 전압은 양극과 음극의 일함수 차이에 해당한다. 내장 전압의 연구는 전극의 일함수, 계면 특성, 에너지 장벽 높이에 대한 정보를 주기 때

문에, 유기 발광 소자의 효율 향상에 기여할 수 있다. 실험적으로 전기 흡수와 변조 광전류는 내장 전압을 결정하는데 일반적으로 사용된다. 1999년에 브라운 연구 그룹에서 소자에 PEDOT:PSS 층을 넣으면, 내장 전압이 0.5V까지 증가한다고 발표하였다.⁴ 그리고 2003년에는 고분자 소자에서 내장 전압 측정함으로써 가장 적당한 음극 구조를 발표하였다.⁵

본 논문에서는, 변조 광전류 방법을 사용하여 ITO/Alq₃/LiAl 구조에서 유기 발광 소자의 내장 전압의 특성을 보고하고자 한다.

2. 실험

소자의 구조는 2가지 형태로 만들었다. 첫 번째는 ITO/Alq₃/Al이고, 두 번째는 ITO/Alq₃/LiAl이다. ITO는 양극으로 사용되었고, Al과 LiAl은 음극으로 사용되었다. ITO는 180nm 두께이며 Asahi 회사의 제품을 사용하였다. ITO를 HCl:NHO₃ 3:1의 용해액을 만들어 ITO기판이 닿지 않도록 부착하여 15~20분 정도 증기에 노출시켜 식각처리한 후 2cm×2cm 크기로 잘라서, 초음파 세척기에서 chloroform(CHCl₃), ethyl alcohol(C₂H₅OH), 그리고 증류수를 사용하여 각각 50℃에서 20분간 세척하였으며, 세척된 ITO 유리는 질소 기체로 건조시켰다. Alq₃는 TCl에서 구입하였으며 150nm 두께로 10⁻⁶ Torr의 압력에서 1.5 Å/s로 열 증착하였다. Alq₃(tris (8-hydroxyquinolate) aluminum)를 증착한 후, LiAl과 Al은 100nm로 10⁻⁶ Torr의 압력에서 각각 열 증착 하였다.

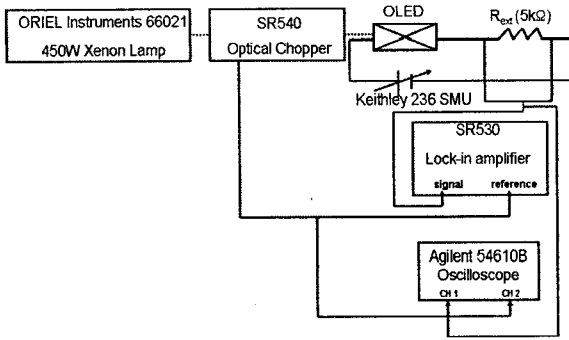


그림 1. 변조 광전류를 측정하기 위한 실험 장치도.

그림 1과 같이 유기 발광 소자와 5kΩ의 외부 저항을 직렬로 연결한 후, Keithley 236에 연결한다. 450W Xenon light(Oriel Instruments 66021)로부터 나온 빛을 chopper(Stanford Research SR540)를 통해 소자에 조사시키면 소자에서 발생하는 변조 광전류는 lock-in amplifier(Stanford Research SR530)와 오실로스코프(Agilent 54610B)를 사용함으로써 인가전압의 함수로서 측정한다. lock-in amplifier를 이용하여 광전류의 크기와 위상을 측정할 수 있다.

3. 결과 및 검토

그림 2는 인가 바이어스 전압의 함수로서 lock-in amplifier를 사용해서 얻는 변조 광전류이다. 그림 2(a)는 ITO/Alq₃/Al에 대한 결과이고, 그림 2(b)는 ITO/Alq₃/LiAl 소자에 대한 결과이다. 광전류가 인가된 바이어스 전압의 증가에 따라 서서히 감소하다가 다시 증가하는 모습을 보여주고 있다. 이 경우, 광전류가 최소가 될 때 그 때의 전압을 내장 전압이라 하고, 이 전압에서 광전류의 위상이 180도 변한다. 이러한 방법으로부터, ITO/Alq₃/Al 소자에서 내장 전압은 1.0V이고, ITO/Alq₃/LiAl 구조의 소자에서는 1.6V를 얻었다. 이러한 결과로부터, LiAl을 사용한 소자의 경우 Si를 사용한 소자에 비해 내장 전압이 0.6V 증가되었다. 이는 LiAl의 일함수가 Si보다 낮은 일함수 값을 갖는 것과 일치하는 결과이다. 이런 결과가 나온 까닭은 LiAl을 음극으로 사용한 경우에는 자유로운 Li⁺이 발생하여 유기물에 더 활발히 전자 주입이 되도록 하여 소자의 전자 장벽을 낮추었기 때문에 전자의 주입이 활발하여 광전류의 이동이 용이했음을 알 수 있다.

그림 3은 LiAl과 Si를 음극으로 사용한 전압-전류밀도 특성과 전압에 따른 휘도의 특성, 외부 양자효율에 관한 그림이다. 이를 보면 전류밀도가 LiAl을 음극으로 사용한 소자의 경우 낮은 전압에서 더 높은 전류밀도를 보임을 확인할 수 있었으며 LiAl을 사용한 소자의 발광 개시전압이 3V인데 반해 Si를 사용한 소자의 발광 개시전압은 5V로 확인한 차이를 나타낸다. 외부양자효율에서 있어서도 LiAl을 사용한 소자의 효율이 높음을 알 수 있었다. 이는

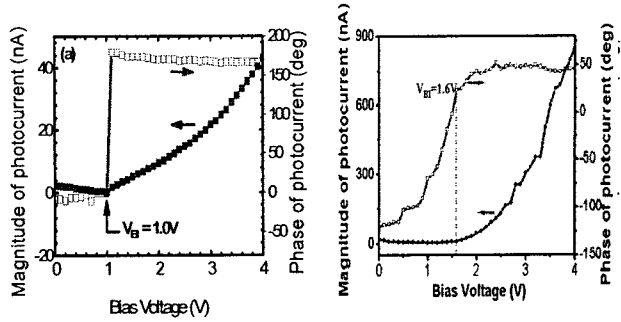


그림 2. 변조 광전류의 크기와 위상

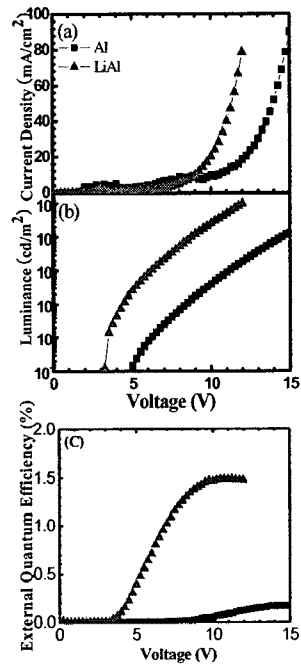


그림 3. 전압-전류 밀도/ 전압-휘도 특성 및 전압에 따른 외부양자효율

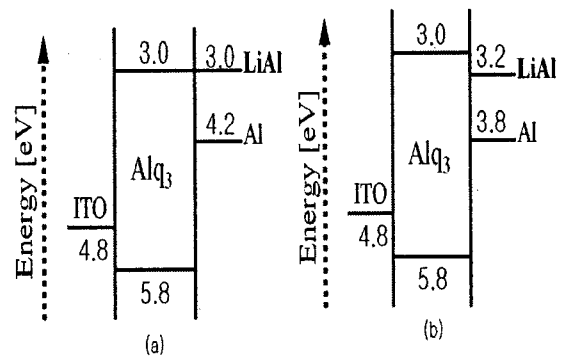


그림 4. (a) 기존에 알려진 일함수에 관한 에너지 준위 (b) 실험에 의해 측정된 에너지 준위.

LiAl이 전자 주입 에너지 장벽이 Si에 비해 낮기 때문인 것으로 예측할 수 있다.

그림 4(a)는 기존에 알려진 일함수 에너지 준위를 표시한 것이고, (b)는 실험에 의해 예측된 LiAl의 내장 전압을 표시한 것으로 기존에 알려져 있는 LiAl의 일함수에 비해 약 0.2V정도 크게 나왔음을 알 수 있었다. 실험적으로, Si에 비해 LiAl이 내장 전압이 낮은 까닭은 Li⁺이 장벽 높이를 낮게 만들어 음극의 일함수를 낮게 만든다. 양극과 음극에서 장벽 높이가 낮아지면 소자의 효율에 영향을 준다는 것을 그림 3을 통해서 알 수 있다.

4. 결 론

우리는 변조 광전류 분광학을 이용해서 Alq₃를 기본으로 하는 유기 발광 소자에서 내장 전압에 대한 실험 및 연구를 하였다. 음극으로 Si과 LiAl으로 사용하였고 내장 전압이 Si보다 LiAl을 사용하였을 때 약 0.6V 증가하는 것을 알 수가 있었다. 내장 전압의 증가는 Li⁺의 영향으로 전자 주입 장벽을 낮아진 것으로 예측되며, 변조 광전류의 측정으로부터, 내장 전압을 결정할 수 있었으며, 이는 고수명 고효율의 최적의 소자 구조제작에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. Vanslyke, Appl. Phys. Lett Vol 51, p. 913, 1987.
- [2] C. W. Tang, S. A. Vanslyke and C. H. Chen, J. Appl. Phys. Vol 65, p. 361, 1989.
- [3] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Logdlund and W. R. Salaneck, Nature Vol 397, p. 121(1999)
- [4] T. M. Brown, J. S. Kim, R. H. Friend, F. Cacialli, R. Daik, W. J. Feast, Appl. Phys. Lett. Vol. 75, No. 12, p. 1679, 1999.
- [5] Debdutta Ray, Meghan P. Patankar, N. Periasamy, K. L. Narasimhan, Synthetic Metals, Vol. 155, p. 349, 2005.