

변조 광전류 측정법을 이용하여 전극 변화에 따른 유기발광소자의 내장 전압

이은혜, 윤희영, 한원근, 김태완
안준호, 오현석, 장경욱*, 정동회**
홍익대학교, *경원대학교, **광운대학교

Built-in voltage in organic light-emitting diodes from the measurement of modulated photocurrent

Eun-Hye Lee, Hee-Myoung Yoon, Wone-Keun Han, Tae Wan Kim,
Joon-Ho Ahn, Hyun-Seok Oh, Kyung-Uk Jang*, Dong-Hoe Chung**
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 and ITO/PEDOT:PSS were used as an anode, and Al and LiF/Al were used as a cathode. It was found that an incorporation of PEDOT:PSS layer between the ITO and Alq₃ increases a built-in voltage by about 0.4V. This is consistent to a difference of a highest occupied energy states of ITO and PEDOT:PSS. This implies that a use of PEDOT:PSS layer in anode improves the efficiency of the device because of a lowering of anode barrier height. With a use bilayer cathode system LiF/Al, it was found that the built-in voltage increases as the LiF layer thickness increases in the thickness range of 0~1nm. For 1nm thick LiF layer, there is a lowering of electron barrier by about 0.2eV with respect to an Al-only device. It indicates that a very thin alkaline metal compound LiF lowers an electron barrier height.

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

1. 서 론

1987년 Tang과 Vanslyke의 발표 이후, 유기 발광 소자의 많은 연구 방향과 관심이 증대되었다.¹ 유기 소자에 대한 연구는 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 때문에, 유기 발광 소자의 효율 향상에 기여할 수 있다. 실험적으로 전기 흡수와 변조 광전류는 내장 전압을 결정하는 데 일반적으로 사용된다. 1999년에 브라운 연구 그룹에서 소자에 PEDOT:PSS 층을 넣으면, 내장 전압이 0.5V까지 증가한다고 발표하였다.² 그리고 2003년에는 고분자 소자에서 내장 전압 측정함으로써 가장 적당한 음극 구조를 발표하였다.³

본 논문에서는, 변조 광전류 방법을 사용하여 ITO/PEDOT:PSS/Alq₃/LiF/Al 구조에서 유기 발광 소자의 내장 전압의 특성을 보고 보고하고자 한다.

2. 실험

소자의 구조는 2가지 형태로 만들었다. 첫 번째는 ITO/Alq₃/LiF/Al이고, 두 번째는 ITO/PEDOT:PSS/Alq₃/LiF/Al이다. ITO와 ITO/PEDOT:PSS는 양극으로 사용되었고, Al과 LiF/Al은 음극으로 사용되었다. ITO는 Asahi 회사의 제품을 사용하였다. ITO를 식각 처리한 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. PEDOT:PSS 층을 50nm의 두께로 스프인 코팅 후, 실온에서 하루 동안 건조시켰다. Alq₃는 150nm 두께로 10⁻⁶ Torr의 압력에서 열 증착하였다. Alq₃를 증착한 후, 진공을 그대로 유지한 채 30분 뒤에 LiF를 증착률 0.5Å/s로 열 증착하였다. LiF의 두께는 0nm에서 1nm까지 변화시켰으며, Al도 100nm로 10⁻⁶ Torr의 압력에서 열 증착하였다.

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

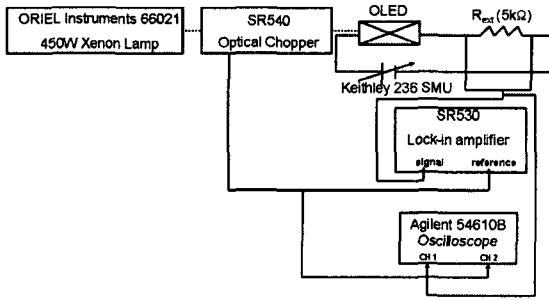


그림 1. 변조 광전류를 측정하기 위한 실험 장치도.

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/PEDOT:PSS/Alq₃/Al 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/PEDOT:PSS/Alq₃/Al 구조의 소자에서는 1.4V를 얻었다. 이러한 결과로부터, PEDOT:PSS 층을 삽입하면 내장 전압이 0.4V 증가함을 알 수 있다. 내장 전압이 0.4V 증가하는 이유는 ITO와 PEDOT:PSS에서 에너지가 가장 높게 채워져 있는 상태의 차이와 같다. 이 의미는 양극에 PEDOT:PSS 층을 사용함으로써 정공-주입 장벽 높이를 감소시킨다는 의미이고, 그러므로 소자의 효율을 향상되는 결과를 가져온다.

그림 3은 음극에서 LiF층 두께는 0nm에서 1nm까지 변화할 때의 내장 전압을 보여주고 있다. 그림 3에서 Open square(□)는 ITO/Alq₃/LiF/Al 소자에서의 내장 전압을 나타내고, solid square(■)는 ITO/PEDOT:PSS/Alq₃/LiF/Al 소자에서 내장 전압을 나타내고 있다. 일반적으로, 그림에서 보는 것처럼 LiF두께가 증가 할수록 내장 전압도 증가한다는 것을 볼 수 있다.

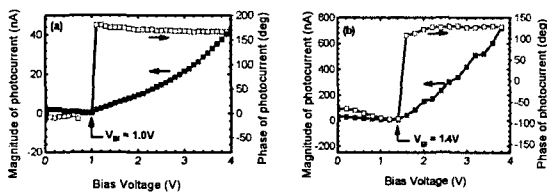


그림 2. 변조 광전류의 크기와 위상.

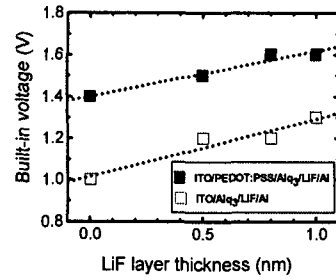


그림 3. 음극에서 LiF의 두께에 따른 내장 전압.

또한 ITO/PEDOT:PSS/Alq₃/LiF/Al 구조에서 내장 전압이 ITO/Alq₃/LiF/Al 구조에서보다 실험에 사용되어진 LiF의 두께 범위에서 약 0.4V까지 더 큰 것을 볼 수 있다. LiF 층을 1nm로 사용했을 때, Si으로만 제작된 소자보다 약 0.2V 전자 장벽 높이가 낮아진다. 실험적으로, 장벽 높이를 낮게 만들어 음극의 일함수를 낮게 만든다. 양극과 음극에서 장벽 높이가 낮아지면 소자의 효율에 영향을 미친다. 따라서, 이 논문에서 나타내지는 않았지만 LiF 층의 두께가 0.8nm일 때, 소자의 효율이 Si으로만 제작된 소자보다 약 10배 높은 효율을 보였다.

4. 결론

우리는 변조 광전류 분광학을 이용해서 Alq₃를 기본으로 하는 유기 발광 소자에서 내장 전압에 대한 연구를 하였다. ITO와 Alq₃ 사이에 PEDOT:PSS 층을 삽입함으로써 내장 전압이 약 0.4V 증가하는 것을 알 수가 있었다. 내장 전압의 증가는 ITO와 PEDOT:PSS의 에너지가 가장 높게 채워져 있는 상태의 차이와 일치한다. 변조 광전류의 측정으로부터, 내장 전압을 결정할 수 있었으며, 이는 최적의 소자 구조제작에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 홍익대학교의 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. Vanslyke, Appl. Phys. Lett Vol 51, p. 913, 1987.
- [2] 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.
- [3] Debdutta Ray, Meghan P. Patankar, N. Periasamy, K. L. Narasimhan, Synthetic Metals, Vol. 155, p. 349, 2005.