

# 변조 광전류 측정법을 이용하여 유기 발광 소자에서 Li<sub>2</sub>O 두께 변화에 따른 내장 전압

이은혜, 윤희명, 김태완

민항기, 장경욱\*, 정동회\*\*, 오용철\*\*

홍익대학교, \*경원대학교, \*\*광운대학교

## Built-in voltage depending on Li<sub>2</sub>O layer thickness in organic light-emitting diodes from the measurement of modulated photocurrent

Eun-Hye Lee, Hee-Myoung Yoon, Tae Wan Kim,

Hang-Gi Min, Kyung-Uk Jang\*, Dong-Hoe Chung\*\*, Yong-Cheul Oh\*\*

Hongik Univ. \*Kyungwon Univ. \*\*Kwangwoon Univ.

**Abstract :** Built-in voltage in organic light-emitting diodes was studied using modulated photocurrent technique ambient conditions. A device was made with a structure of anode/Alq<sub>3</sub>/cathode to study a built-in voltage. An ITO was used as an anode, and Li<sub>2</sub>O/Al was used as a cathode. 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. It was found that for 0.5nm thick Li<sub>2</sub>O layer built-in voltage is the higher than the others. It indicates that a very thin alkaline metal compound Li<sub>2</sub>O lowers an electron barrier height.

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

### 2. 실험

#### 1. 서론

유기 발광 소자는 유연한 디스플레이, 유기 박막 트랜지스터, 유기 광기전력 소자, 유기 검출기와 같은 새로운 연구 분야를 열었다. 소자의 기본적인 형태는 전극 사이에 유기물이 들어있는 샌드위치 구조이다. 유기 발광 소자의 많은 연구 방향과 관심이 증대되었다.<sup>1</sup> 유기 소자에 대한 연구는 대부분이 효율, 수명, 구동 전압에 집중되어 있다. 일반적으로, 유기물층은 절연체이며 바이어스 전압이 영일 때, 유기층을 가로질러 전기장이 형성된다.<sup>2</sup> 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.<sup>3</sup> 실험적으로 전기 흡수와 변조 광전류는 내장 전압을 결정하는 데 일반적으로 사용된다. 1999년에 브라운 연구 그룹에 의해서 내장 전압에 대한 연구 결과 발표가 있었으며 그 이후 레이 연구 그룹에서도 내장 전압을 연구하였다.<sup>4,5</sup>

본 논문에서는, 변조 광전류 방법을 사용하여 ITO/Alq<sub>3</sub>/Li<sub>2</sub>O/Al 구조에서 유기 발광 소자의 내장 전압의 특성을 보고하고자 한다.

본 연구에서 사용된 소자의 구조는 ITO/Alq<sub>3</sub>/Li<sub>2</sub>O/Al이다. ITO는 양극으로 사용되었고, Al과 Li<sub>2</sub>O/Al은 음극으로 사용하였다. Asahi 회사의 제품인 ITO를 식각 처리한 후 2cm×2cm 크기로 잘라서, 초음파 세척기에서 chloroform(CHCl<sub>3</sub>), ethyl alcohol(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), 그리고 증류수를 사용하여 각각 50℃에서 20분간 세척하였으며, 세척된 ITO 유리는 질소 기체로 건조시켰다. Alq<sub>3</sub>는 150nm 두께로 10<sup>-6</sup>torr의 압력에서 열 증착하였다. Alq<sub>3</sub>를 증착한 후, 진공을 그대로 유지한 채 30분 뒤에 Li<sub>2</sub>O를 증착률 0.5Å/s로 열 증착하였다. Li<sub>2</sub>O의 두께는 0nm에서 10nm까지 변화시켰으며, Al도 100nm로 10<sup>-6</sup> torr의 압력에서 열 증착하였다.

유기 발광 소자에 450W 크세론 광원(ORIEL Instruments 66021)으로부터 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 사용해서 광전류의 크기와 위상을 측정할 수 있다.

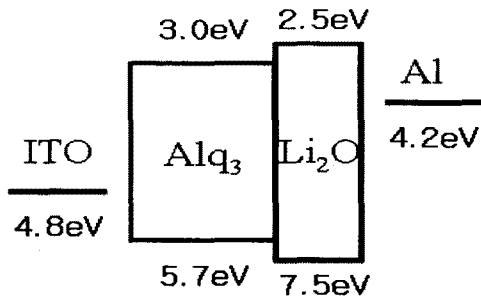


그림 1. ITO/Alq<sub>3</sub>/Li<sub>2</sub>O/Al 유기 발광 소자의 에너지 준위 도표.

### 3. 결과 및 검토

그림 1은 ITO/Alq<sub>3</sub>/Li<sub>2</sub>O/Al의 에너지 준위 도표를 나타내고 있다. Li<sub>2</sub>O은 절연체로서 전자 주입을 용이하게 해주고, 일함수를 낮추어주는 역할을 하며, 또한 Alq<sub>3</sub>로 주입된 전자와 Al 내의 자유 전자 사이의 상호작용을 줄이는 역할을 한다. 이런 역할로 인해 소자의 효율을 높일 수 있다.

그림 2는 ITO/Alq<sub>3</sub>/Li<sub>2</sub>O/Al 소자에 빛을 조사하여 인가 바이어스 전압의 함수로서 lock-in amplifier를 사용해서 얻은 변조 광전류의 크기와 위상의 변화를 나타내고 있다. 인가된 바이어스 전압의 증가에 따라 광전류가 서서히 감소하다가 다시 증가하는 모습을 보여주고 있다. 이 경우, 광전류가 최소가 될 때의 전압을 내장 전압이라 하고, 이 전압에서 광전류의 위상이 180도 변한다. 이러한 방법으로부터 얻은 내장 전압은 1.6V이다. 이때, Li<sub>2</sub>O 층의 두께는 0.5nm이다. 이 의미는 음극에 Li<sub>2</sub>O 층을 사용함으로써 전자 주입 장벽 높이를 최대로 감소시켜 일함수를 낮게 만든다. 그래서 내장 전압 차이가 가장 크게 나타난다.

그림 3은 음극에서 Li<sub>2</sub>O층 두께를 0nm에서 10nm까지 변화할 때의 내장 전압을 보여주고 있다. 일반적으로, 그림에서 보는 것처럼 Li<sub>2</sub>O 두께가 0.5nm일 때, 내장 전압이 최대로 나타내고 있고, 그 이후로는 점차적으로 낮아져서 두께가 2nm 이후로는 일정한 값을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다.

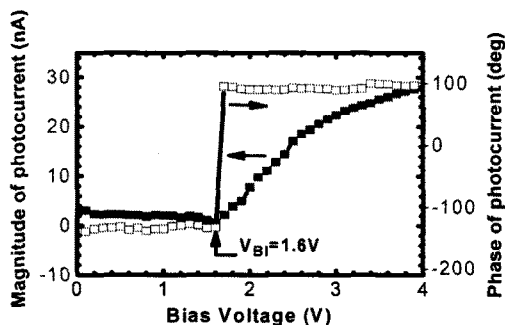


그림 2. ITO/Alq<sub>3</sub>/Li<sub>2</sub>O/Al 유기 발광 소자에서 측정된 변조 광전류의 크기와 위상.

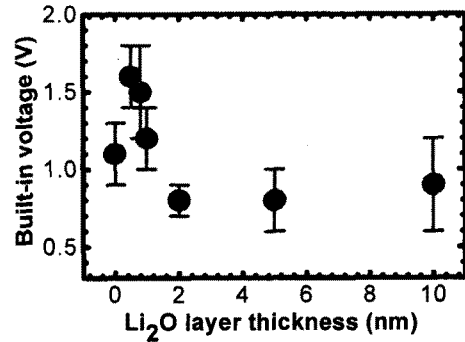


그림 3. ITO/Alq<sub>3</sub>/Li<sub>2</sub>O/Al 유기 발광 소자에서 Li<sub>2</sub>O층의 두께에 따른 내장 전압의 변화.

### 4. 결론

변조 광전류 분광학을 이용해서 음극의 Li<sub>2</sub>O 층의 두께를 변화시켜 유기 발광 소자에서 내장 전압에 대한 연구를 하였다. Li<sub>2</sub>O 층의 두께가 0.5nm일 때, 내장 전압이 1.6V이며 이때의 내장 전압이 가장 크다. 그 이후로는 점차적으로 일정한 값을 보이고 있다. 본 논문에서 나타내지는 않았지만 Li<sub>2</sub>O 층의 두께가 0.5nm일 때 효율, 휘도, 전류 밀도등이 제일 크게 나타나고 있으며, 이로부터 Li<sub>2</sub>O 층이 소자 제작에 가장 적절한 두께가 0.5nm라는 것을 알 수 있으며 전자 주입 장벽을 낮게 해서 소자의 효율을 향상 시킬 수 있다. 이로부터 최적의 소자 제작에 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] J. Campbell Scott, Phillip J. Brock, Jesse R. Salem, Sergio Ramos, George G. Malliaras, Sue A. Carter, Luisa Bozano, *Synthetic Metals*, Vol. 111, p. 289, 2000.
- [3] J. Szmytkowski, W. Stampor, J. Kalinowski, Z. H. Kafafi, *Appl. Phys. Lett.* Vol. 80, No. 8, p. 1465, 2002.
- [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] Debduitta Ray, Meghan P. Patankar, N. Periasamy, K. L. Narasimhan, *Synthetic Metals*, Vol. 155, p. 349, 2005.