

ITO/Alq₃/Al 소자 구조의 합성 임피던스 분석

정동화, 김상걸*, 이준용, 장경욱**, 이원재**, 송민중***, 정택균****, 김태완*****, 이기우*****
광운대학교, 특허청 전자소자과*, 경원전문대학**, 광주보건대학***, 삼성 SDI****, 홍익대학교*****, 서울산업대학교*****

Complex Impedance Analysis of ITO/Alq₃/Al device structure

Dong-Hoe Chung, Sang-Keol Kim*, Joon-Ung Lee, Kyung-Uk Jang**, Won-Jae Lee**, Min-Jong Song***,
Teak-Gyun Chung****, Tae Wan Kim*****, Ki-Woo Lee*****

Kwangwoon University, Electronic Parts and Components Examination Div. KIPO.*, Kyungwon College**,
Kwangju Health College***, Samsung SDI****, Hongik University*****, Seoul National University of Technology*****

We have used ITO/Alq₃/Al structure to study complex impedance in Alq₃ based organic light emitting diode. Equivalent circuit was analyzed in a device structure of ITO/Alq₃/Al by varying the thickness of Alq₃ layer from 60 to 400nm. The impedance results can be fitted using equivalent circuit model of parallel combination resistance R_p and capacitance C_p with a small series resistance R_s.

Key Words : complex impedance, equivalent circuit model, resistance, capacitance
organic light emitting diode.

1. 서론

현재 유기 EL 디스플레이 소자는 시장에 시제품이 출시되는 등 빠르게 상업화에 다가서고 있다. 유기 발광 소자의 상용화와 직접적인 관련이 있는 연구 논문으로는 1987년에 Tang과 VanSlyke가 발표한 논문으로 저분자인 tris (8-hydroxyquinol inato) aluminum (Alq₃)과 N,N'-diphenyl-N,N'-di (m-tolyl)-benzidine (TPD)를 이용하여 낮은 전압에서 녹색 발광을 처음으로 얻었다. Friend 등은 poly (phenylenevinylene) (PPV)를 이용하여 고분자 녹색 발광을 처음으로 얻었다. 가장 적합한 디스플레이 소자는 낮은 동작 전압, 천연색 구현, 안정적인 동작 파라미터, 긴 수명, 고휘도, 높은 효율, 그리고 낮은 가격 등이 요구된다[1]. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위하여 본 논문에서는 소자 내부의 임피던스를 분석함으로써 전기 전도 특성을 분석하였다[2].

2. 실험

본 실험에서는 투명 전극인 ITO (Indium-Tin-Oxide)를 양극으로 사용하였고, Al을 음극으로 사용하여 소자의 구조를 ITO/Alq₃/Al로 하였다. 양극으로 사용한 ITO 기판은 표면 저항이 15Ω/□이고 두께가 170[nm]로 삼성 코닝사에서 제조하였다. 유기물 층으로 사용한 Alq₃ (tris (8-hydroxyquinolinato) aluminum)는 TCI 사의 제품으로 분자량은 459.44이며 베이스 압력 5×10⁻⁶[torr]의 진공도에서 열 증착하였다. 음극으로 사용한 Al도 베이스 압력 5×10⁻⁶[torr]의 진공도에서 열 증착하였으며 두께는 150[nm]이다. 소자의 발광 면적은 15[mm²]로 하였다.

그림1은 본 실험에서 사용한 소자의 구조를 나타내고 있다. Alq₃의 두께는 60~400[nm]까지 변화시켰다.

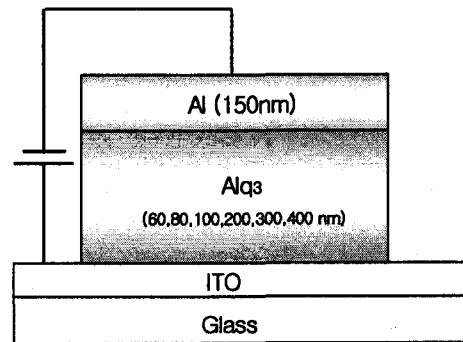


그림 1. ITO/Alq₃/Al의 소자 구조.

소자의 전압-전류 특성은 Keithley 236 source-measure unit, 617 electrometer 그리고 Si-photo diode (Centronics Co. OSD100-5T)를 이용하여 측정하였다. 그리고 소자의 두께는 PLASMOS ellipsometer을 이용하여 측정하였다. 또한 소자의 주파수와 전압 의존성 특성 분석은 Agilent 4294A precision Impedance Analyzer를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

유기물의 등가 임피던스를 연구하기 위하여 소자의 구조를 ITO/Alq₃/Al의 구자 구조로 제작하였다. 등가회로는 Alq₃(60, 100, 150, 200, 그리고 300[nm])의 소자의 두께를 변화 시켜 가면서 측정하였다. 소자의 임피던스 측정은 4개의 서로 다른 주파수 100[Hz], 1[kHz], 100[kHz], 그리고 100[kHz]에서 전압은 -5[V]에서 파피 전압까지 변화시켜 가면서 측정하였다.

합성 임피던스는 매우 작은 직렬 저항 R_s를 갖는 병렬 저항 R_p와 커패시터 C_p의 병렬 합성 임피던스로 구성되어

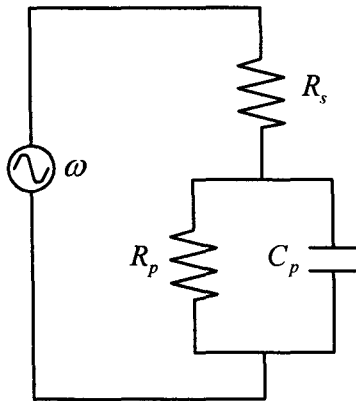


그림 2. ITO/Alq₃/Al 소자 구조의 등가회로.

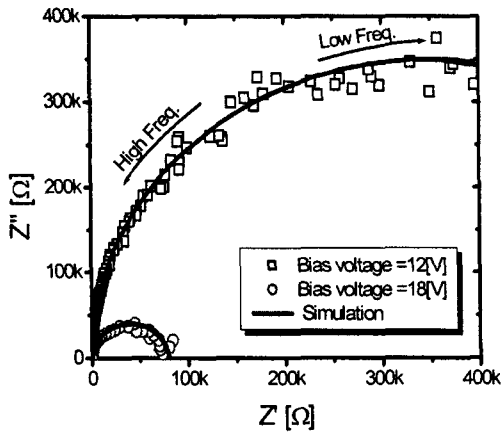


그림 3. 100[nm]에서의 Cole-Cole 원호.

있다고 가정하였다[3-6]. 이러한 가정은 그림 2와 같은 등가회로로 나타낼 수 있다.

그림 2에서 R_s 는 ITO와 유기물의 접촉 저항으로 가정하였다. 그렇지만, R_p 와 C_p 는 유기물 벌크 내부의 AC 저항과 커패시터로 각각 가정하였다.

그림 3은 Alq₃ 두께가 100[nm]에서 바이어스 전압 12[V]와 18[V]를 인가하였을 결과이다. 그림 3의 실수부-허수부 곡선은 다른 바이어스 전압에서 40[Hz] ~ 10⁶[Hz]의 주파수에 대하여 그린 곡선이다. 그림 3을 Cole-Cole 원호이라고 부른다. 그림 3에서 실선은 시뮬레이션의 결과이다. 원의 반지름은 바이어스 전압이 낮을수록 더 커진다. 이들 반원은 그림 2에서 가정한 등가회로로 기술할 수 있다. 그림 3의 Z' - Z'' 에서 주파수에 의존하는 R_p - C_p 로 설명할 수 있으며 이를 수식으로는 다음같이 나타낼 수 있다.

$$[Z' - (R_s + \frac{R_p}{2})]^2 + [Z'']^2 = [\frac{R_p}{2}]^2 \quad (1)$$

$$R_p = (Z' - R_s) + \frac{(Z'')^2}{(Z' - R_s)} \quad (2)$$

$$C_p = -[\frac{1}{\omega R_p} [\frac{(Z'')}{(Z' - R_s)}]] \quad (3)$$

그림 3과 식(1)에서 Cole-Cole 반원은 반지름이 $\frac{R_p}{2}$ 이고 중심이 $(R_s + \frac{R_p}{2}, 0)$ 을 갖는다고 할 수 있다. 식 (2)와 (3)을 사용하여 그림 3은 분석한 결과, 직렬 접촉 저항 R_s 는 약 25[Ω]이었다. 그리고 반지름으로 주어지는 병렬 저항 R_p 는 12[V]와 18[V]에서 각각 698.2[kΩ]과 72.9[kΩ]이었다. 한편 유기물 내부의 병렬 커패시턴스 C_p 는 약 4.5[nF]로써 전 주파수 영역에서 일정하였다.

4. 결론

우리는 ITO/Alq₃/Al 소자 구조에서 Alq₃의 두께 변화에 따른 합성 임피던스를 분석하여 보았다. 그 결과 두께 100[nm]에서의 Alq₃의 합성 임피던스는 작은 직렬 접촉 저항 R_s 와 유기물 내부의 병렬 저항 R_p 와 병렬 커패시턴스 C_p 로 해석할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic Electroluminescent Diodes", Appl. Phys. Lett. Vol. 51, pp. 913-915, 1987.
- [2] Dong-Hoe Chung, Joon-Ung Lee, "Electrical Conduction Mechanism in ITO/Alq₃/Al Organic Light-Emitting Diodes", Trans. of KIEEME. Vol. 5, No. 1, pp. 24-28, 2004.
- [3] Sudipto Roy, S. Kundu, S. K. Roy, Amlan J. Pal, "Impedance characteristics of lay-by-lay electrostatic self-assembled films of evans blue", Materials Chemistry and Physics Vol. 77, pp. 784-790, 2002.
- [4] A. J. Campbell, D. D. C. Bradley, J. Laubender, M. Sokolowski, "Thermally activated injection limited conduction in single layer N,N'-diphenyl-N,N'-bis(3-methylphenyl)-1-1'-biphenyl-4,4'-diamine light emitting diodes", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 86, No. 9, 1999.
- [5] Christoph Jonda, Andrea B. R. Mayer, "Investigation of the Electronic Properties of Organic Light-Emitting Devices by Impedance Spectroscopy", Chem. Mater., Vol. 11, pp. 2429-2435, 1999.
- [6] Y. Lee, "Equivalent Circuit and Physical Device Models of Organic Light Emitting Diodes", Hongik University, Ph. D. Thesis, 2003.