

ITO/Alq₃/Al의 유기 발광 소자에서 Alq₃의 두께 변화에 따른 임피던스 특성

공두원, 구자룡, 김영관
홍익대학교

Impedance characteristics with various Alq₃ thickness in ITO/Alq₃/Al organic light-emitting diodes

Doowon Gong, Ja-Ryong Koo, YoungKwan Kim
Hongik Univ.

Abstract : The devices with a structure of ITO/Alq₃/Al were fabricated and their impedance properties were analyzed. It is obtained that an effect of resistance R_p of the device was dominant at the low frequency and the high voltage region, emitting region, and it is ignored at the high frequency region. Capacitance C_p appears intensely in a range of all frequencies of non-emitting region, below turn on voltage.

Key Words : Organic light-emitting diodes, Alq₃, impedance

1. 서론

유기전기발광소자 (OLEDs)의 구조와 물질들의 특성은 Tang과 그의 연구진들에 의해 보고된 이후로 광범위하게 연구되어 왔다[1]. 유기 발광 소자는 전자와 정공의 주입에 의하여 빛이 나오게 된다. 전자와 정공 주입은 전기적으로 볼 때 소자의 임피던스에 의해 영향을 받는다. 교류 전류 또는 전압을 이용하면 저항뿐만 아니라 위상 차이를 통하여 전기 용량과 인덕턴스를 구할 수 있다. 그리고 그것들로부터 계면과 유기물의 정보를 알 수 있다[2,3].

본 연구에서는 유기발광소자의 효율을 개선하고자 유기물의 특성을 임피던스 측정을 통하여 알아보려 한다. 유기발광소자의 발광층인 Alq₃의 임피던스와 위상각, 그리고 저항 R_p 와 전기용량 C_p 에 대하여 연구하였다. 이 연구 결과로부터 유기발광소자의 전기적 등가 회로를 구성할 수 있으며 소자 개선에 대한 시뮬레이션을 할 수 있다[4].

2. 실험

본 연구에서는 양극으로는 ITO를 사용하였고, Al을 음극으로 사용하여 소자의 구조를 ITO/Alq₃/Al로 하였다. 여기서 Alq₃의 두께는 각각 100 nm, 200 nm로 하였다.

소자의 전압-전류 특성은 Keithley 236 source-measure unit, 617 electrometer 그리고 Si-photodiode (Centronics Co. OSD100-5T)를 이용하여 측정하였고, 임피던스 분석은 Agilent 4294A precision Impedance Analyzer를 이용하였다. 또한, 두께의 확인과 굴절률의 측정은 PLASMOS ellipsometer를 이용하여 측정하였다.

임피던스는 전압과 주파수에 따른 변화를 분석하였다. 인가전압의 주파수에 따른 의존성을 알아보기 위하여 주파수를 각각 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 그리고 100 kHz로 고정하고, 전압을 변화시켜 가면서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

유기 발광 소자를 병렬 등가 회로로 가정하면, 전기적으

로 저항 성분 R_p 와 전기 용량 성분 C_p 가 결합된 회로로 구성할 수 있다.

임피던스의 크기 $|Z|$ 와 위상각 θ 를 구하면,

$$|Z| = \frac{R_p}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad (1)$$

$$\theta = -\tan^{-1}(\omega\tau) \quad (2)$$

그리고 합성 임피던스 Z 는 다음과 같이 풀 수 있다.

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_p} + j\omega C_p \quad (3)$$

$$Z = |Z|e^{j\theta} = Z' + jZ'' \quad (4)$$

식 (4)를 이용해 R_p 와 C_p 를 다음과 같이 Z' 와 Z'' 로 나타낼 수 있다.

$$R_p = Z' + \frac{(Z'')^2}{Z'} \quad (5)$$

$$C_p = -\left(\frac{1}{\omega R_p}\right) \cdot \left(\frac{Z''}{Z'}\right) \quad (6)$$

Alq₃의 두께가 100 nm인 그림 1(a)에서 주파수가 낮은 100 Hz에서는 임피던스의 크기가 약 110k Ω ~200 k Ω , 1 kHz에서는 35 k Ω , 10 kHz에서는 3.5 k Ω , 그리고 100 kHz에서는 350 Ω 이다. Alq₃의 두께가 200 nm인 그림 1(b)에서는 100 Hz, 10 V 이하의 전압에서 임피던스의 크기가 약 830 k Ω 이다. 그러나 10 V 이상의 전압에서는 저항이 약 11 k Ω 으로 감소한다. 1 kHz에서는 81 k Ω , 10 kHz에서는 7.9 k Ω , 그리고 100 kHz에서는 약 790 Ω 이었다.

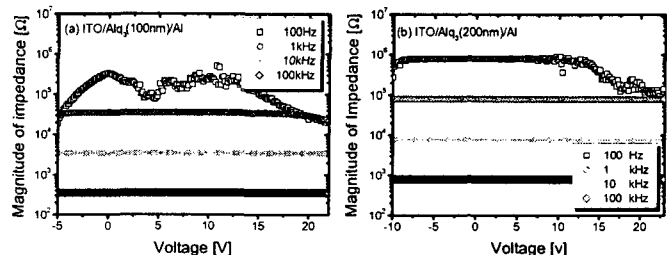


그림 1. 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz 그리고 100 kHz에서 전압에 따른 임피던스 $|Z|$.

그림 2에서는 주파수에 따른 위상각 θ 의 변화를 보여주고 있다. Alq₃의 두께가 100 nm인 그림 2(a)에서 100 Hz, 0 V에서 위상각은 약 -74°이다. 그러나 전압이 증가함에 따라서 점차적으로 위상각이 0°로 접근한다. 따라서 전압이 낮으면 C_p의 영향으로 용량성의 특성을 나타내고 전압이 증가하여 발광하게 되면 저항 R_p의 특성을 나타낸다. 주파수가 1 kHz가 되면 비발광 영역은 거의 용량성의 특성을 갖으나 발광 영역에서는 위상각이 약 -45°로써 저항의 특성과 용량성의 특성을 동일하게 나타낸다. 그러나 100 kHz에서는 전압 변화에 관계없이 위상각이 약 -90°로써 일정한 용량성의 특성을 나타낸다. Alq₃의 두께 200 nm인 그림 2(b)에서는 100 Hz일 때 -5 V ~ +6 V 사이에서는 -90°이하의 낮은 위상각으로 용량성이 크게 나타난다. 그러나 전압이 +15 V 이상에서는 0°로 접근하여 저항의 특성이 크게 나타난다. 주파수가 증가하면 모든 전압 범위에서 약 -90°이하의 위상각으로 용량성 특성을 주로 나타낸다.

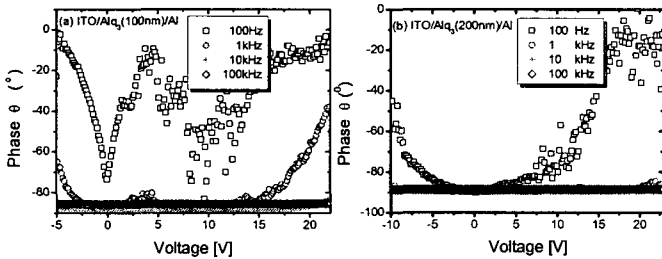


그림 2. 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz 그리고 100 kHz에서 전압에 따른 위상각 θ .

그림 3(a)는 Alq₃ 100 nm일 때 등가 회로에 대한 R_p성분을 나타내고 있다. 저주파 영역에서는 0 V에서 저항값이 1 MΩ인 피크 값을 갖으며, 전압이 증가함에 따라 저항은 작아진다. 주파수가 증가할수록 R_p의 값이 작아져서 100 kHz에서는 모든 전압 범위에서 약 4.5 kΩ의 저항 성분을 나타낸다. 그림 3(b)는 Alq₃ 200 nm에서의 R_p를 나타내고 있다. 100 Hz와 1 kHz일 때 0V에서 저항 값은 120 MΩ이다. 그리고 발광 영역에서는 700 kΩ의 저항 값을 나타낸다. 주파수가 증가하여 100 kHz에서는 모든 범위의 전압에 걸쳐서 20 kΩ의 저항 값을 나타내고 있다.

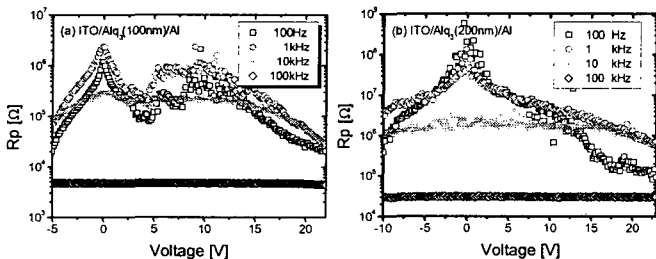


그림 3. 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz 그리고 100 kHz에서 전압에 따른 저항 R_p.

그림 4에서는 Alq₃의 두께와 관계없이 1 kHz 이상에서는 C_p의 값이 일정하다. Alq₃의 두께가 100 nm인 그림 4(a)에

서 전기 용량은 C_{p(100 nm)} ≈ 4.5 nF이다. 그리고 Alq₃가 200 nm인 그림 4(b)는 C_{p(200 nm)} ≈ 2.0 nF으로 측정되었다

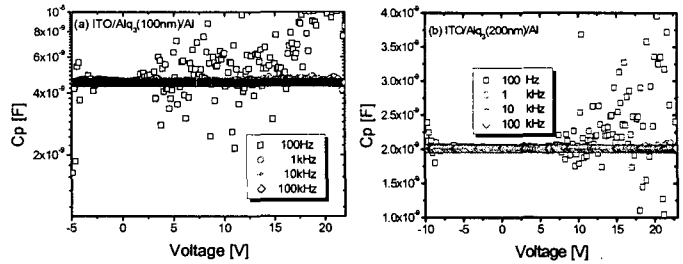


그림 4. 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz 그리고 100 kHz에서 전압에 따른 전기용량 C_p.

그림 3과 4에서 알 수 있듯이 저주파 영역에서는 고전압에서 저항 R_p의 영향이 크게 작용한다. 그러나 100 kHz에서는 R_p의 영향은 거의 무시되고 C_p의 특성만 나타난다. 그리고 비발광 영역에서는 모든 주파수에서 C_p의 특성이 크게 나타난다.

각각의 두께에 따른 Alq₃의 비유전율과 굴절률을 구하면 비유전율 $\epsilon_{r(100\text{ nm})} = 3.79$, $\epsilon_{r(200\text{ nm})} = 2.98$ 이고, 굴절률 $n_{100\text{ nm}} = 1.94$ 와 $n_{200\text{ nm}} = 1.72$ 이다[5]. 한편 광학적인 방법인 ellipsometer를 이용하여 측정된 굴절률은 약 1.8로써 비슷한 값을 얻었다[6].

4. 결론

ITO/Alq₃/Al 구조 소자의 임피던스 분석을 통하여 등가 회로를 구성하여 보았다. 병렬 등가 회로에서 주파수 의존성을 보면, 100 Hz에서는 주로 저항 성분의 특성이 회로의 I-V 특성을 결정짓는다. 그러나 주파수가 증가함에 따라서 전기 용량 성분이 주로 회로의 특성을 결정한다. 또한 ellipsometer를 이용하여 측정된 유전율과 임피던스 분석을 통한 유전율이 거의 일치하였다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음 (KRF-2001-005-D22001).

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. Van Slyke, Appl. Phys. Lett. Vol. 51, p. 913, 1987.
- [2] J. Pospisil, J. Honskus, J. Fahrnich, P. Hlidek and P. Toman, J. Lumin. Vol. 72, p. 522, 1997.
- [3] S. Roy, S. Kundu, S. K. Roy and Amlan. J. Pal, Mater. Chem. Phys. Vol. 77, p. 784, 2002.
- [4] J. H. Ahn, D. H. Chung and J. U. Lee, J. Korean Phys. Soc. Vol. 46, p. 546, 2005.
- [5] S. Havriliak and S. Negami, Polymer Vol. 8, p. 161, 1967.
- [6] E. Compain, B. Drevillon, J. Huc, J. Yves P. and J. E. Bouree, Thin Solid Films Vol. 313, p. 47, 1998.