

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

정동회*, 김상길**, 정택균***, 허성우**, 이호식****, 송민중****, 김태완*
광운대학교*, 홍익대학교**, (주)비스툼***, 동아대학교****, 광주보건대학교****

Impedance properties with thickness variation of Alq₃ in organic light-emitting diodes of ITO/Alq₃/Al

Dong-Hoe Chung*, Sang-Keol Kim**, Taek Gyun Chung***, Sung-Woo Hur**,
Ho-Sik Lee****, Min-Jong Song****, Tae Wan Kim**

Kwangwoon University*, Hongik University**, Vistorm***, Dong-A University****. Kwangju Health College****

Abstract

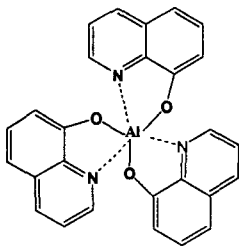
Complex impedances with frequency and voltage variation were analyzed in ITO/Alq₃/Al device structure at thickness 100 nm and 200 nm of Alq₃, respectively. At low frequency, complex impedance is mostly expressed by resistive component, and at the high frequency by capacitive component. Also, we have evaluated resistance, capacitance and permittivity.

Key Words : organic light-emitting diodes, Impedance, equivalent circuit

1. 서론

유기 발광 소자는 1987년에 Tang과 VanSlyke가 저분자를 이용하여 녹색 발광을 구현한 이후로 많은 연구가 진행되어 오고있다. 가장 적합한 디스플레이 장치를 개발하기 위하여 전기 전도 모형

[1], J. Pospisil 등은 실험을 통하여 유기물 층은 주파수와 인가 전압에 따라서 합성 임피던스의 구성 성분이 달라진다는 것을 발표하였다. 우리는 Alq₃의 두께 변화에 따른 임피던스와 위상각 그리고 병렬 저항 R_p 와 병렬 커패시턴스 C_p 를 구하여 보고 상호 비교하여 보았다.



Alq₃

그림 1. (a) Alq₃의 분자 구조.

Fig. 1. (a) Molecular structure of Alq₃.

을 해석하고 등가 회로에 대한 분석이 필요하게 되었다. Sudipto Roy 등은 유기물 층의 등가 회로를 저항 성분과 전기 용량 성분으로 해석하였고

2. 실험

본 실험에서 양극으로는 투명 전극으로 알려진 ITO(Indium-Tin-Oxide)를 사용하였고, Al을 음극으로 사용하여 소자의 구조를 ITO/Alq₃/Al로 하였다. 여기서 Alq₃의 두께를 각각 100 nm와 200 nm로 하였다. 그림 1은 본 실험에서 사용한 유기물의 분자 구조를 나타내고 있다. 소자의 발광 면적은 15mm²로 하였다.

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

ellipsometer을 이용하여 측정하였다.

임피던스 분석은 전압 의존성과 주파수 의존성을 분석하였다. 주파수 의존성을 알아보기 위하여 주파수를 각각 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 그리고 100 kHz로 고정하고, 전압의 측정 범위를 변화시켜 가면서 측정하였다. 그리고 전압 의존성을 알아보기 위하여 경우 바이어스 전압 고정시키고 주파수를 40 Hz~10 kHz로 변화시키면서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

유기 발광 소자의 유기물 층에 대하여 병렬 등가 회로로 가정하고, 전기적으로 저항 성분 R_p 와 전기 용량 성분 C_p 가 결합된 회로로 구성할 수 있다. 그림 2는 ITO/Alq₃/Al 소자 구조에서 Alq₃ 두께 변화에 따른 합성 임피던스 성분으로 측정할 결과이다.

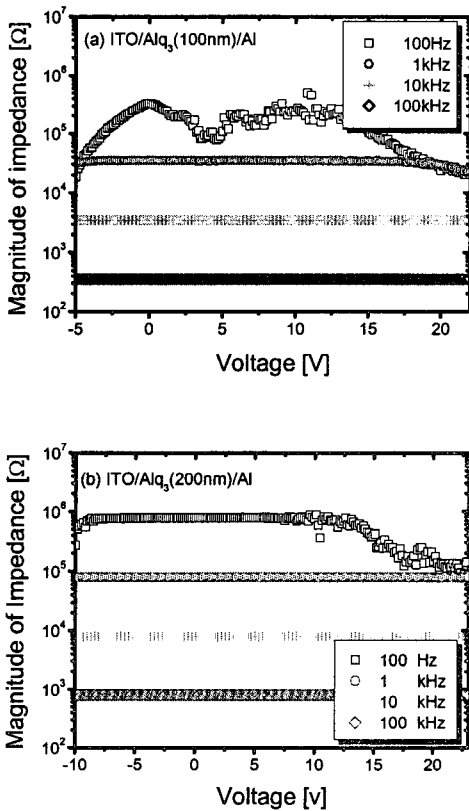


그림 2. ITO/Alq₃/Al 소자 구조에서 주파수 변화에 따른 임피던스 크기.

Fig. 2. Magnitude of impedance with frequency variation in ITO/Alq₃/Al device structure.

그림 2(a)에서 주파수 변화에 따른 임피던스 크기를 나타내고 있다. 유기물의 두께가 100nm인 경우 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. 그림 2(b)와 같은 두께 200nm인 경우에 100 Hz의 주파수에서 10V 이하의 전압에서는 임피던스의 크기가 830 k Ω 이다. 그러나 전압이 EL 전류가 흐르는 10V 이상의 전압에서는 저항이 약 11 k Ω 으로 감소한다. 1 kHz에서는 81 k Ω , 10 kHz에서는 7.9 k Ω , 그리고 100 kHz에서는 790 Ω 정도로 측정되었다. 유기물 층의 두께가 두 배 증가함에 따라서 저항의 증가는 대략 2.3배정도 증가하는 것으로 분석되었다.

그림 3에서는 각각의 유기물 층의 두께에 대하여 주파수의 변화에 따른 위상각 θ 의 변화를 보여주고 있다. 유기물 Alq₃의 두께 100nm에서 100 Hz의 0 V에서 위상각은 약 -74° 이다. 그러나 전압이 증가함에 따라서 점차적으로 위상각이 0° 로 접근한다. 따라서 전압이 낮으면 C_p 의 영향으로 용량성의 특성을 나타내고 전압이 증가하여 발광하게 되면 저항 R_p 의 특성을 나타낸다. 주파수가 1 kHz가 되면 비발광 영역은 거의 C_p 의 특성을 갖으나 발광 영역에서는 위상각이 약 -45° 로써 저항의 특성과 C_p 의 특성을 동일하게 나타낸다. 그러나 100 kHz에서는 전압 변화에 관계없이 위상각이 -89° 로써 일정한 C_p 의 특성을 나타낸다. Alq₃의 두께가 200nm에서 저주파 영역인 100 Hz에서 $-5 \sim +6$ V 사이의 전압에서는 -81° 이하의 위상각을 나타내며 C_p 의 영향이 크게 나타내며 이 영역에서는 비발광 영역이다. 그러나 전압이 +15 V 이상인 발광 영역에서는 위상각이 0° 로 접근하여 R_p 의 특성이 크게 나타난다. 주파수를 증가시켜 1 kHz, 10 kHz, 그리고 100 kHz에서는 모든 전압 범위에서 -89° 이하의 위상각을 나타내며 C_p 특성이 주된 전압 특성이다.

그림 2와 3에서 알 수 있듯이 저주파 영역에서 그리고 발광 영역에서 저항 R_p 의 영향이 크게 작용하고 주파수가 증가하여 100 kHz가 되면 R_p 의 영향은 거의 무시되고 C_p 의 특성만 나타난다. 그러나 비발광 영역에서는 모든 주파수에서 C_p 의 특성이 크게 나타난다.

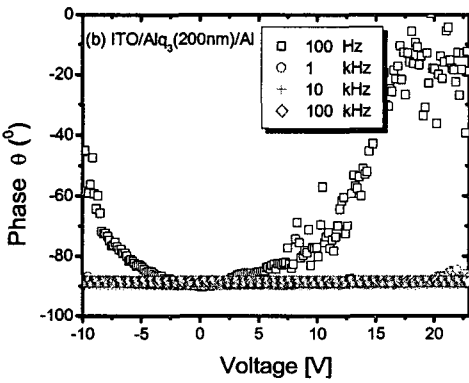
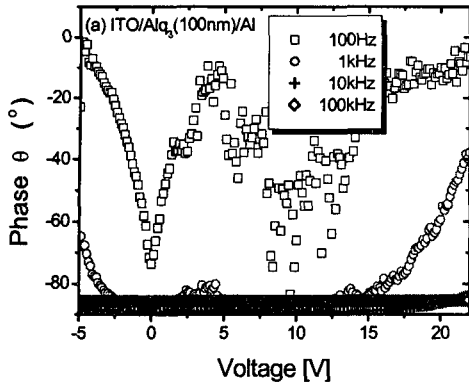


그림 3. ITO/Alq₃/Al 소자 구조에서 주파수 변화에 따른 위상각 θ .

Fig. 3. Phase θ with frequency variation in ITO/Alq₃/Al device structure.

그림 2와 3의 합성 임피던스를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

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

여기서 R_p 와 C_p 는 그림 3과 4로 측정되었다. 식 (1)에서 합성 임피던스를 구하면

$$Z = \frac{R_p}{1 + (\omega R_p C_p)^2} - j \frac{\omega R_p^2 C_p}{1 + (\omega R_p C_p)^2} \quad (2)$$

이다. 식 (2)에서 $\tau = R_p C_p$ 라고 정의하면,

$$Z = \frac{R_p}{1 + (\omega\tau)^2} - j \frac{\omega R_p \tau}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (3)$$

이다. 식 (3)에서 임피던스의 크기 $|Z|$ 와 위상각 θ 를 구하면,

$$|Z| = \frac{R_p}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad (4)$$

$$\theta = -\tan^{-1}(\omega\tau) \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 이용하여 ITO/Alq₃(100nm)/Al 구조에 대하여 측정된 임피던스의 크기와 위상각이 그림 2와 3이다.

그림 4(a)는 ITO/Alq₃(100nm)/Al 구조에서 Alq₃ 유기물의 등가 회로에 대한 R_p 성분을 나타내고 있다. 저주파 영역에서는 0 V에서 저항값이 1 M Ω 인 피크 값을 갖으며, 전압이 증가함에 따라서 저항은 작아진다. 주파수가 증가할수록 R_p 의 값이 작아져서 100 kHz에서는 모든 전압 범위에서 약 45 k Ω 의 저항 성분을 나타낸다. 반면에 그림 4(b)의 ITO/Alq₃(200nm)/Al 구조에서 100 Hz와 1 kHz에서 0 V에서 저항값은 120 M Ω 의 저항값을 갖으며 저항 값이 작아져 발광 영역에서는 700 k Ω 의 저항 값을 나타낸다. 그러나, 주파수가 증가하여 100 kHz에서는 모든 범위의 전압에 걸쳐서 20 k Ω 의 저항값을 나타내고 있다.

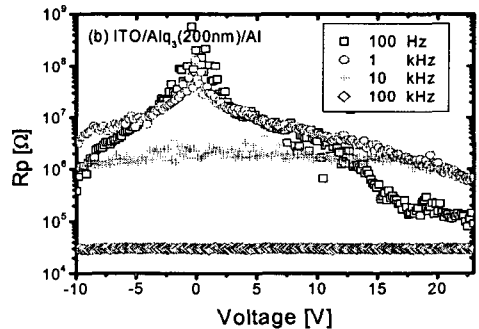
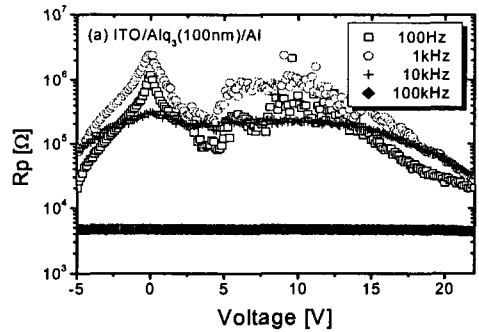


그림 4. 주파수 변화에 따른 저항 성분 R_p

Fig. 4. Resist component R_p with frequency variation.

그림 5에서 AlQ₃의 두께와 관계없이 1 kHz 이상에서는 C_p의 값이 일정하다. 그림 5(a)의 ITO/AlQ₃(100nm)/Al구조에서는 전기 용량은 C_p≈4.5 nF이다. 그리고 그림 5(b)의 ITO/AlQ₃(100nm)/Al 구조에서 전기 용량은 C_p≈2.0 nF으로 측정되었다. 전기 용량은 다음의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (6)$$

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (7)$$

여기서, A는 AlQ₃의 면적(15×10⁻⁶m²), d는 AlQ₃의 두께(112 nm, 197.6nm), ε_r은 AlQ₃의 비유전율, ε₀는 진공의 유전율이다.

식 (6)과 (7)을 이용하여 AlQ₃의 비유전율을 구하면 ε_{r(100nm)}=3.79, ε_{r(197.6nm)}=2.98 이고, 굴절율 n_{100nm}=1.94 와 n_{197.6nm}=1.72 이다. 한편 ellipsometer을 이용하여 측정된 굴절율은 각각 1.71와 2.04로써 잘 일치함을 알 수 있다.

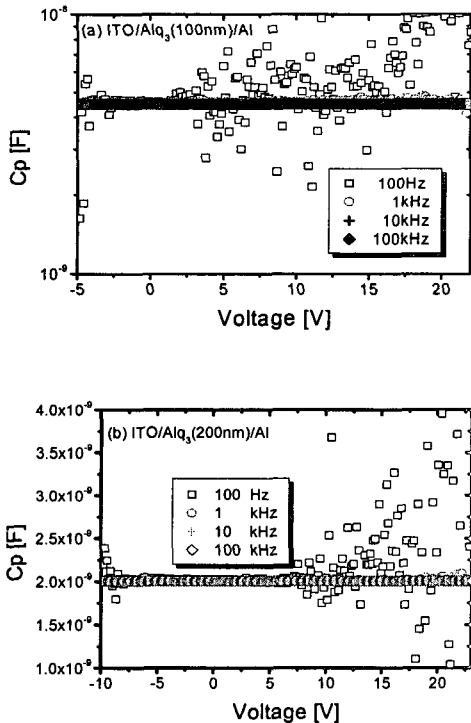


그림 5. 주파수 변화에 따른 전기 용량 C_p.
Fig. 5. Capacitance C_p with frequency variation.

4. 결론

서로 다른 두께를 갖는 ITO/AlQ₃/Al 구조 소자의 임피던스 분석을 통하여 등가 회로를 구성하여 보았다. 병렬 등가 회로에서 주파수 의존성을 보면, 100 Hz에서의 비발광 영역에서는 전기 용량 성분을 나타내고 발광 영역에서는 저항 성분의 특성이 회로의 I-V 특성을 결정짓는다. 그러나 주파수가 증가함에 따라서 전기 용량 성분이 주로 회로의 특성을 결정한다. 또한 ellipsometer을 이용하여 측정된 유전율과 임피던스 분석을 통한 유전율을 계산하여 보았다. 그리고 바이어스 전압의 증가에 따라서 병렬 등가 회로의 임피던스와 위상각을 알아보았다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 중점 연구소 지원 과제에 의하여 수행되었으며, 이에 감사 드립니다 (KRF-2001-005-D22001).

참고 문헌

- [1] Sudipto Roy, S. Kundu, S.K. Roy, Amlan J. Pal, "Impedance characteristics of layer-by-layer electrostatic self-assembled films of evans blue", Materials Chemistry and physics. Vol. 77. p. 784, 2002.