

온도에 따른 유기발광소자의 임피던스 분석

안준호, 정동희, 장경욱, 송민중, 이성일, 이준웅, 김태완
광운대, 경원전문대, 광주보건대, 충주대, 홍익대

Impedance spectroscopy depending on temperature in Organic Light-Emitting Diodes

Joon Ho Ahn, Dong-Hoe Chung, Kyung-Uk Jang, Min-Jong Song, Sung-Il Lee, Joon-Ung Lee, Tae Wan Kim
Kwangwoon Univ., Kyungwon Col., Kwangju Col., Chungju Univ., Hongik Univ.

Abstract

Bias and frequency-dependent impedance is a technique for the investigation of complex conductivity. At low frequency, complex impedance is dominated by resistive component, and at high frequency by capacitive component. We are going to present the results of the bias and frequency-dependent complex impedance in the device structure of ITO/Alq₃/Al in the temperature range between 10K and 300K. And we will show to change radius of Cole-Cole plot. It will be decrease resistance by temperature. Also equivalent electrical circuit and dielectric relaxation can be accomplished by using the complex impedance analysis.

Key Words : organic light-emitting diodes, impedance spectroscopy, temperature

1. 서 론

1963년 M. Pope 등이 안트라센 단결정에서 유기 발광 현상을 관찰한 이후, 유기발광소자 분야의 많은 연구가 진행되었다. 특히 1987년 C.W. Tang과 S.A. VanSlyke가 저분자 Alq₃를 이용한 녹색 발광을 구현하였고[1], 1990년 Friend 등이 고분자 PPV를 이용한 녹색 유기발광을 구현하여 유기발광소자의 활용 가능성을 크게 하였다.

I.D. Parker 등은 음전극 변화에 따른 ITO/MEH-PPV/Cathode 구조의 dc 전류-전압 특성을 연구하였다. 그는 에너지 장벽에 따라 주캐리어와 부캐리어로 분류하였고, 터널링 모델을 이용하여 전기전도현상을 설명하였다.[2]

또한 Sudipto Roy 등은 유기물 층의 등가회로를 저항성분과 전기용량성분으로 해석하였다.[3] 그리고 J. Pospíšil 등은 실험을 통하여 유기물 층은 주파수와 인가전압에 따라서 합성 임피던스의 구성 성분이 달라진다는 것을 발표하였다.[4]

또 J. Drechsel 등은 주파수와 전기용량에 대해 (1) 감소영역(낮은 전도성-높은 완화시간), (2) 벌크영역(높은 전도성과 낮은 완화시간), (3) 접촉저항영역의 세 부분으로 나누었다.[5]

임피던스 분석은 소자의 전기적 특성 해석에 대한 기초를 제공한다. dc 전류-전압 특성은 소자의 저항응답을 알 수 있고, ac 전류-전압 특성은 인가 전압에 대한 저항성과 용량성 응답을 알 수 있다.

이에 따라 가장 적합한 디스플레이 장치를 개발하기 위하여 전기전도모형을 해석하고 등가회로에 대한 분석이 필요하게 되었다. 유기발광소자의 발광은 주입된 전자와 홀의 재결합으로 인해 발생되며, 주입메커니즘, 이동 메커니즘, 재결합 과정 등이 유기발광소자에서는 매우 중요하다. 따라서 소자의 전도메커니즘을 이해하기 위해 dc와 ac의 전류-전압 특성을 연구하는 것이 필요하다.

2. 실험

본 실험에서는 양극으로 ITO를 사용하였고, 음극으로 Al를 사용하여 소자의 구조를 ITO/Alq₃/Al로 진공도 5×10^{-6} torr로 열증착하여 제작하였다. 소자의 전류 전압 특성은 Keithley 236 sourcemeasure unit, 617 electrometer 그리고 Si-photo diode를 이용하여 측정하였고, 임피던스 분석은 Agilent 4294A precision impedance analyzer를 이용하였다.

임피던스 분석은 전압 의존성, 주파수 의존성과 함께 온도 의존성을 중심으로 분석하였다.

먼저 전압 의존성을 알아보기 위해서 전압을 2V와 12V로 고정시키고 주파수를 40Hz~100MHz로 변화시키면서 측정하였고, 주파수 의존성을 알아보기 위하여 주파수를 각각 100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz 등으로 고정하고, 전압을 -6~12V까지 변화시키면서 측정하였다.

또한 온도 의존성을 알아보기 위하여 각각 10K, 50K, 100K, 150K, 200K, 250K, 상온에서의 전압 의존성과 주파수 의존성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 본 실험에서 사용한 ITO/Alq₃(60nm)/Al 구조인 소자의 전압-전류 특성을 온도별로 나타내고 있다.

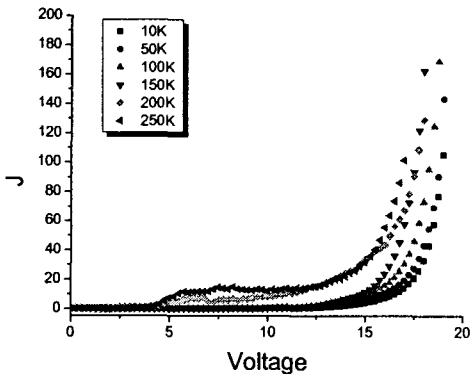


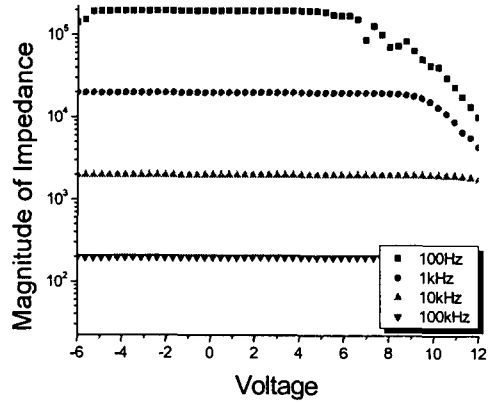
그림 1. 온도별 전압-전류 특성.

그림 1에서 보는 것과 같이 전압-전류 특성은 온도에 따라 구동 전압이 점차 낮아지는 것을 볼 수 있다.

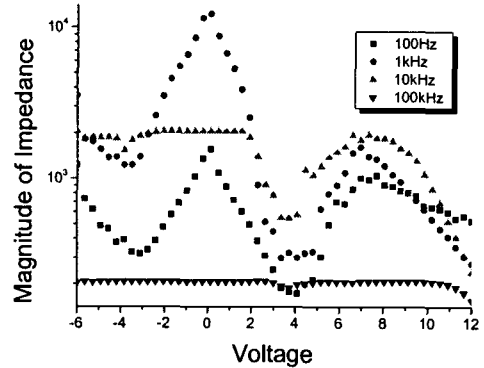
그림 2와 3은 각각 10K일 때와 250K일 때 ITO/Alq₃/Al 소자에서의 주파수에 따른 합성 임피던스를 보여주고 있다.

10K일 때 임피던스는 주파수에 따라 일정한 승수로 감소하는 모습을 보이고 있고 낮은 주파수(100Hz)에서는 약 4V에서부터 임피던스가 감소하는 모습을 보이고, 높은 주파수(100kHz)에서는 일정한 모습을 보이고 있다.

250K일 때 임피던스는 100kHz에서는 일정한 모습을 보였지만, 각각 100Hz, 1kHz, 10kHz에서는 2kΩ에서 200kΩ까지 크게 변화하였다.

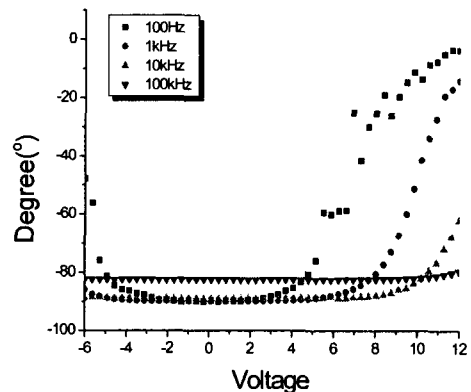


(a) 10K

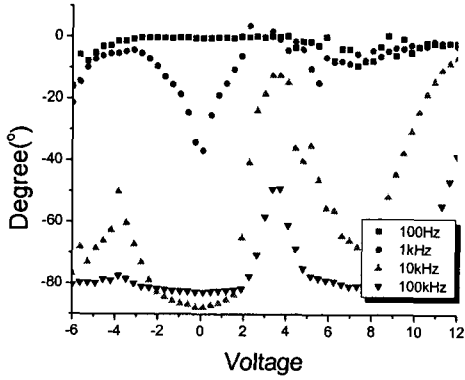


(b) 250K

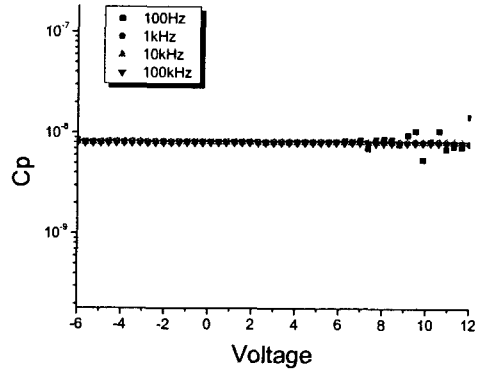
그림 2. 10K와 250K일 때의 복합 임피던스.



(a) 10K



(b) 250K



(a) 10K

그림 3. 온도에 따른 주파수별 위상각.

그림 3은 각각 10K일 때와 250K일 때 주파수에 따른 위상각을 보여주고 있다. 10K일 때, 100Hz, 0V의 전압에서 위상각이 90°에 가깝게 나타났고, 점차 전압이 증가함에 따라 0°에 가깝게 나타나고 있다. 또한 250K에서도 비슷한 결과를 볼 수 있다.

그림 2와 3의 합성 임피던스를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

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

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,

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

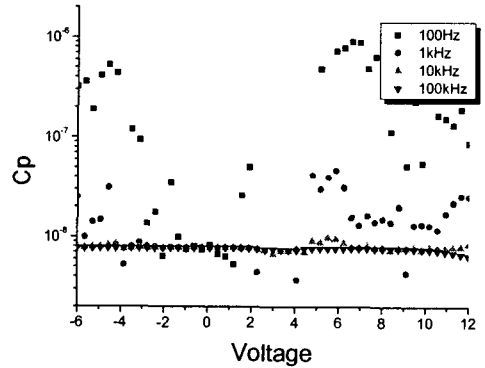
이고, 식(3)에서 임피던스의 크기 $|Z|$ 와 위상각 θ 을 구하면,

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

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

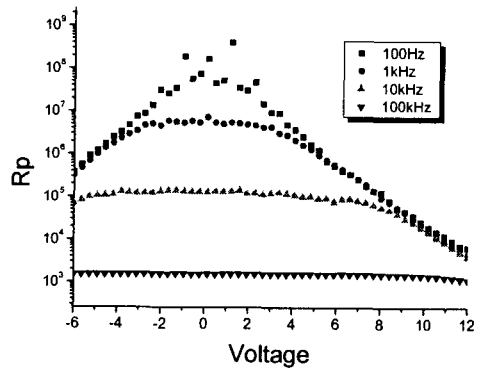
이다.

본 실험에서는 유기발광소자의 유기물 층을 전기적으로 저항성분 R_p 와 용량성분 C_p 가 결합된 병렬 등가회로로 가정하고 측정하였다. 이에 따라 소자의 용량성분과 저항성분을 온도에 따라 살펴보면, 그림 4, 5와 같이 나타나는 것을 볼 수 있다.

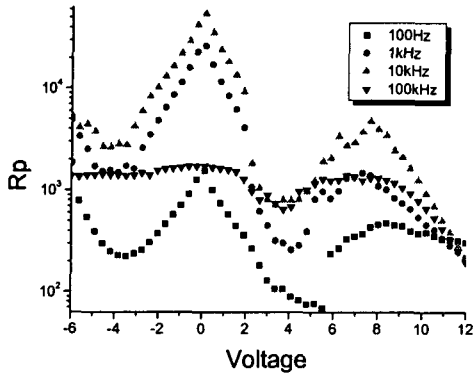


(b) 250K

그림 4. 온도에 따른 주파수별 C_p .



(a) 10K



(b) 250K

그림 5. 온도에 따른 주파수별 R_p .

그림 4에서처럼 C_p 성분 역시 10K일 때에는 일정한 모습을 보였지만, 250K일 때 낮은 주파수에서는 크게 변화하였고, 10kHz 이상에서는 큰 변화가 나타나지 않았다.

그림 5의 저항성분 또한 10K에서는 낮은 주파수에서는 전압의 증가에 따라 저항이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 높은 주파수 영역에서는 거의 일정한 값을 갖는 것을 볼 수 있었다. 또한 250K에서의 주파수 특성은 주파수에 상관없이 전압에 따라 변화하였다.

그림 6은 12V일 때, 실수부와 허수부의 임피던스에 대한 Cole-Cole Plot을 보여주고 있다. 온도의 증가에 따라 반원의 직경이 점차 줄어드는 것

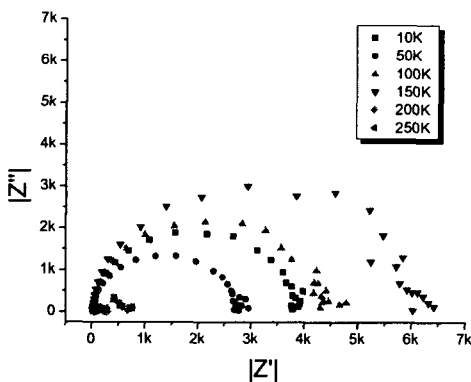


그림 6. 12V일 때, 온도에 따른 Cole-Cole Plot.

을 볼 수 있으며, 100K와 150K에서 임피던스의 크기가 증가하는 현상을 보였다.

4. 결론

ITO/Alq₃(60nm)/Al 구조 소자의 온도에 따른 임피던스를 분석하였다. 소자의 온도 특성은 전압에 의존하는 것을 알 수 있었고, 약 4V~8V 사이의 전압에서는 불규칙한 전류의 흐름을 볼 수 있었으며, 이는 곧 전류-전압의 부성특성으로 인해 나타나는 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] C.W. Tang, and S.A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 51, No. 12, p.913, 1987.
- [2] I.D. Parker, "Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes", J. Appl. Phys. Vol. 75, No. 3, p.1656, 1994.
- [3] 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.
- [4] J. Pospíšil, J. Honskus, J. Fährnich, P. Hlídek, P. Toman, "Optical and electrical properties of poly(p-phenylene vinylene) light emitting diodes", J. Luminescence, Vol.72-74, p.522, 1997.
- [5] J. Drechsel, M. Pfeiffer, X. Zhou, A. Nollau, K. Leo, "Organic Mip-diodes by p-doping of amorphous wide-gap semiconductors: CV and impedance spectroscopy", Synthetic Metals, Vol. 127, p.201, 2002.