

유기발광소자의 전압의존성에 따른 임피던스 분석

안준호, 이준웅, 이원재*, 이성일**, 송민중***, 김태원****
 광운대학교, 경원전문대*, 충주대학교**, 광주보건대***, 홍익대학교****

Impedance spectroscopy depending on voltage in organic light-emitting diodes

Joon Ho Ahn, Joon-Ung Lee, Won-Jae Lee*, Sung-Il Lee**, Min-Jong Song***, and Tae Wan Kim****
 Kwangwoon Univ., Kyungwon Col.*, Chungju Univ.**, Kwangju Health Col.***, and Hongik Univ.****

Abstract : 유기발광소자의 발광층의 전압에 따른 임피던스의 변화를 살펴보았다. 임피던스는 전압의 변화에 따른 의존성을 보이며, 그에 따른 임피던스와 Cole-Cole 반원의 변화를 전기전도기구와 비교하여 살펴보았다. 소자의 구조는 ITO/Alq₃/Al의 구조로 발광층의 두께는 60 nm로 열증착하여 실험하였다. 실험에서 전기전도기구의 Ohmic 영역, SCLC영역, 부성저항영역, TLC 영역에서 각각 임피던스를 측정하였고, 전압의 증가에 따라 임피던스의 크기가 감소하고, 위상각은 0V에서 용량성을 보이다가 발광영역에서 저항성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 전압에 따른 Cole-Cole 반원을 살펴보면 전압이 증가할수록 반원의 크기가 감소하는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 간단한 등가회로를 예측할 수 있었다.

Key Words : 임피던스 분석, Cole-Cole 반원, 전압의존성

1. 서론

1987년 Tang에 의해 상용화의 가능성을 얻 유기발광소자는 1990년대를 지나면서 소형화만을 중심으로 점차 상용화되고 있고, 2005년에는 40인치 대형화면을 구현하기에 이르렀다. 하지만 아직도 기존의 디스플레이 장치에 비해 수명과 신뢰성을 확보하는데 부족하다. 따라서 유기발광소자의 기초물성에 관한 연구가 더욱 필요하며, 임피던스 분석을 통해 소자 내부의 전기전도기구와 계면에서의 특성에 대한 연구가 필요하다.

임피던스는 절연체에 바이어스 전압을 인가하고 주파수에 따른 전기적인 특성을 살펴보는 방법으로 오래된 역사를 가지고 있으며, 유기발광소자에 관한 임피던스 연구는 고분자를 중심으로 활성화되어 몇몇 연구 결과를 가지고 있다.

1995년 Nguyen^[1]은 PPV를 이용한 주파수에 따른 용량 성분을 분석하였고, 그에 따른 컨덕턴스, $\tan D$ 등을 분석하였다. 고주파수에서는 벌크 영역에서의 완화를 보이고, 저주파수에서는 전극과 계면 사이에서 완화 현상을 보인다고 주장하였다. 또한 Cole-Cole 반원을 통해 각각 계면과 벌크 내에 RC 병렬로 연결된 회로와 이것이 직렬로 연결된 등가 회로를 제시하였다. 또 Li^[2] 등은 LED(light-emitting diodes)와 LEC(light-emitting chemical-cell)의 비교를 통해 LED의 등가 회로를 제시하면서 ITO의 저항 R₀를 직렬로 연결한 RC 병렬 회로로 제시하였다. 또한 단층이지만 두 개의 Cole-Cole 반원으로 나타난 등가 회로로 해석하고 작은 반원은 음전극 Si과 고분자가 계면에서 결합하여 Al₂O₃의 얇은 층을 만든 것으로 해석하였다.

하지만 고분자를 이용한 임피던스 연구에 비해 단분자의 임피던스 분석의 사례는 상대적으로 빈약하고, 참고할 만한 논문이 적은 상황이다. 본 논문에서는 유기발광소자에서 가장 많이 사용하는 Alq₃의 임피던스 분석을 통해 소자의 물리적 특성을 파악하고, 직류에서의 캐리어나 전하의 이동이 교류에서 전압에 의존하며, 용량 성분의 분석을 통하여 전하의 계면에서의 축적을 보여주고, ITO/Alq₃/Al 유기발광소자의 등가 회로 모형을 제안하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서는 투명전극으로 ITO (Indium - Tin-Oxide)를 사용하였고, Al을 음극으로 사용하여 소자의 구조를 ITO/Alq₃/Al로 하였다. 여기서 발광층으로 사용된 Alq₃의 전압을 0V, 2V, 4V, 20V로 변화하여 임피던스를 측정하였다.

소자의 전압-전류 특성은 Keithley 236 source-measurement unit, 617 electrometer와 Si-photo diodes를 이용하여 측정하였고, 임피던스 분석은 Agilent 4294A를 이용하였다.

임피던스 분석은 전압의 변화에 따른 임피던스의 크기와 위상각, 그리고 Cole-Cole 반원을 통해 등가회로를 예측하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 전압에 따른 주파수 변화에 대한 임피던스의 크기를 나타낸 것이다. 전압이 증가함에 따라 임피던스의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있으며, 0 V일 때 약 700 kΩ, 2 V일 때 250 kΩ, 4 V일 때 150 kΩ이고 20 V일 때

8 kΩ로 나타났다. 그리고 1 kHz 이상에서는 모든 임피던스가 급격한 감소를 보이고, 높은 주파수에서는 전극과 유기물의 계면에서 일어나는 용량성이 주로 나타나는 것으로 볼 수 있는데, 이는 1 kHz 이상에서 용량성을 보이고 있어 캐리어가 소자로 주입이 되지 않고 양단에 축적되어 용량성으로 나타난 결과로 여겨진다. 측정결과 R_s 값은 약 18 Ω로 나타났고, 그래프 상에서도 10^6 Hz 부근에서의 임피던스는 약 20 Ω로 나타났다.

그림 2는 전압에 따른 위상각의 변화를 나타낸 그림이다. 낮은 주파수(100 Hz 이하)에서는 저항성을 보이다가, 높은 주파수로 옮겨가면서 급격히 용량성을 보이는 것을 볼 수 있다. 또한 전압이 낮을수록 소자에 대한 캐리어 주입이 용이하지 않아 낮은 주파수에서도 용량성이 쉽게 나타나는 것을 볼 수 있다.

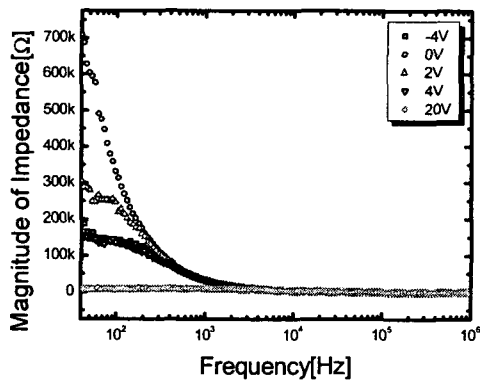


그림 1. 전압의 변화에 따른 임피던스의 크기
Fig. 1. Magnitude of impedance by voltages

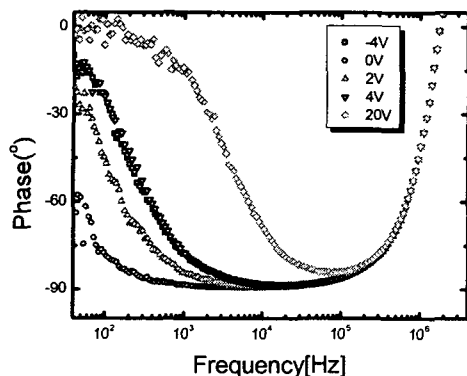


그림 2. 전압의 변화에 따른 위상각
Fig. 2. Phase by voltages

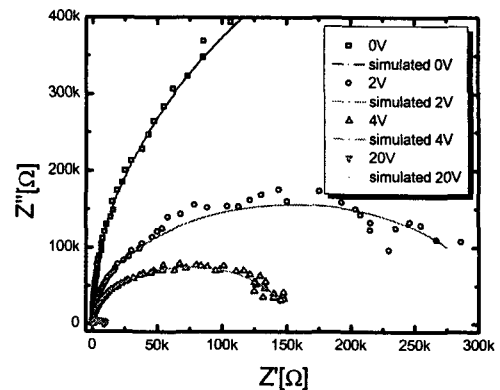


그림 3. ITO/Alq₃(60nm)/Al 소자의 전압에 따른 Cole-Cole 반원

Fig. 3. Cole-Cole Plot varied voltage in ITO/Alq₃(60nm)/Al

그림 3은 전압에 따른 Cole-Cole 반원을 그린 것이다. 전압이 증가함에 따라 반원의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 전압별 실수축과 허수축의 크기가 4 V에서 75 kΩ/150 kΩ, 20V에서 4.5 kΩ/9 kΩ으로 허수축의 크기가 실수축의 약 절반 정도로 반원과 일치하는 모습을 보였다. 하지만 저주파 영역(10^2 Hz)과 고주파 영역(10^7 Hz)에서 데이터가 일정하지 않은 모습을 보이는데, 이는 임피던스 측정에 있어 나타나는 장비가 가지고 있는 인덕턴스나 전기용량의 측정 한계로 여겨진다.

4. 결론

지금까지 ITO/Alq₃/Al 유기발광소자의 전압의존성에 대해 살펴보았다. 유기발광소자에 인가된 전압이 증가함에 따라 임피던스는 감소하고, 위상각은 주파수가 증가함에 따라 용량성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 전압에 따른 Cole-Cole 반원에서는 반원의 크기가 전압의 증가에 따라 감소하는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] T.P. Nguyen, V.H. Tran, "Dielectric properties of poly(phenylene-vinylene) thin films", Materials Sci. and Eng. B31, pp. 255-260, 1995.
- [2] Yongfang Li, Jun Gao, Gang Yu, Yong Cao, Alan J. Heeger, "ac impedance of polymer light-emitting electrochemical cells and light-emitting diodes: a comparative study", Chem. Phys. Lett. Vol. 287, pp. 83-88, 1998.