

등가 회로 모델을 이용한 다층 유기발광 소자의 특성 분석

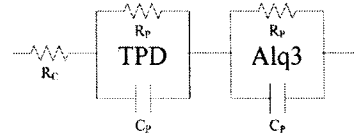
박형준, 김현민, 이준신, 남은경\*, 정동근\*  
 성균관대학교 정보통신공학부, \*성균관대학교 물리학과

Property analysis of multi layer Organic Light Emitting Diodes using equivalent circuit models

Hyungjun Park, Hyunmin Kim, Junsin Yi, Eunkyoung Nam\* and Donggeun Jung\*  
 School of information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University.  
 \*Department of physics, Sungkyunkwan University.

**Abstract** - The impedance spectroscopy is one of the effective ways to understand the electrical properties of organic light emitting diodes. The frequency-dependant properties of small molecule based OLEDs have been studied. The equivalent circuit of single-layer device is composed of contact resistance ( $R_c$ ), bulk resistance ( $R_p$ ) and bulk capacitance ( $C_p$ ). The equivalent circuit of double layer device is composed of two parallel circuits connected in series, each of which is a parallel resistor and a capacitor. We have fabricated a double layer device indium-tin-oxide (ITO, anode), N,NV-diphenyl-N,NV-bis(3-methylphenyl)-1,1V-diphenyl-4,4V-diamine (TPD, hole-transporting layer), tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq3, emitting layer), and aluminum (Al, cathode) and two single layer devices (ITO/Alq3/Al, ITO/TPD/Al).

$R_c$ 는 접촉저항으로 크게 작용하는 요소는 ITO와 유기물 사이의 저항이다.  $R_p$ ,  $C_p$ 는 각각 유기물의 저항값, 유기물의 커패시턴스값이다. 이중층 소자는 단일층 소자에 사용되었던 유기물(Alq3와 TPD)을 적층해서 하나의 소자로 제작하고 이를 측정하였다. 소자의 구조는 ITO/TPD/Alq3/Al 이다. 이중층 등가회로 모델은 그림 2로 단일층 소자에서 측정된  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $R_c$  값을 이용하여 구성 하였다. Alq3는 전자 수송층(ETL)으로 원활한 전자 수송을 돕고, 발광층(EML)으로 빛을 낸다. TPD는 정공 수송층(HTL)으로 정공의 이동을 돕는다.



〈그림 2〉 이중 등가회로 모델

1. 서 론

차세대 디스플레이 주자로서 가장 유력한 후보로 나타난 것은 바로 유기발광 디스플레이이다. 하지만 아직 소자 내부의 동작 특성을 명확히 규명하지 못하고 여러 방법으로 계속 연구 중에 있다. 본 논문에서 사용된 어드미턴스와 임피던스 분석법은 유기발광 소자의 등가회로 모델을 구현하기 위한 효과적이고 널리 사용되는 방법이다. 그리고 이를 통해 OLED의 전기적 특성을 알 수 있다.[1] 앞의 분석법을 통하여 ITO/Alq3/Al, ITO/TPD/Al과 같은 단일층 소자는 하나의 커패시터와 두 개 저항의 간단한 등가회로 모델로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 단일층 소자의 등가회로 모델을 이용해 이중층 소자(ITO/TPD/Alq3/Al)의 등가회로 모델을 구성하고 이를 통해 소자의 계면 특성을 분석하고자 한다.

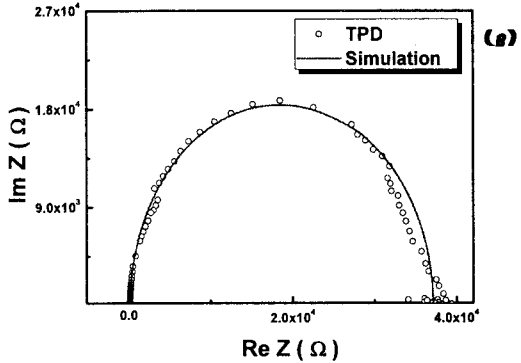
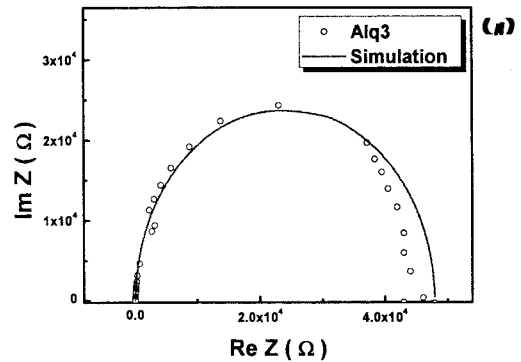
2.1.1 단일층

그림 3에서는 임피던스 측정에 따른 결과를 Cole-Cole plot으로 나타내었다. 그 결과 값을 토대로 등가회로 모델의 성분 값을 추출 하였다. 실제 측정값과 시뮬레이션값을 비교해 보면 다소 차이는 있지만 유사함을 알 수 있다. 두 소자 모두 저주파에서 다소 차이를 보이지만(오른쪽), 고주파에서는 거의 맞아 떨어짐을 알 수 있다(왼쪽).

2. 본 론

2.1 이론 및 실험

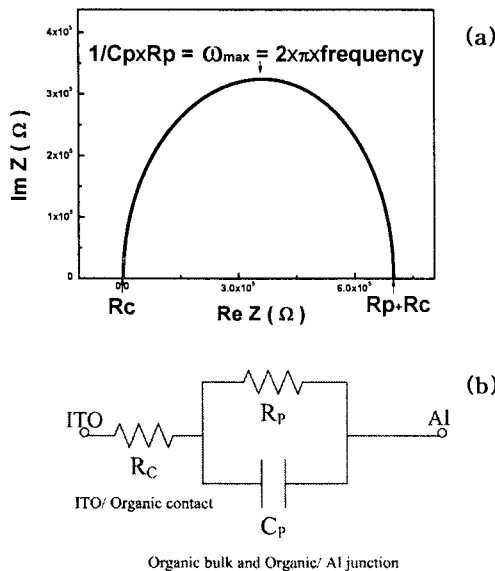
소자의 임피던스는 주파수를 가변하면서 측정을 한다. 측정신호는 전압을 인가하지 않고, 진폭 50 mV 주파수는 20 Hz에서 10 MHz까지 가변하였다. 그렇게 측정된 결과를 Cole-Cole plot으로 나타내면 소자의  $R_c$ ,  $R_p$ ,  $C_p$  값을 한눈에 알 수 있다(그림 1 (a)). 임피던스 Cole-Cole plot으로 나타낸 소자의 측정값을 이용해 그림 1 (b)와 같은 소자의 등가회로 모델을 구성하고 시뮬레이션 한다. 그리고 실제 데이터 값과 시뮬레이션 결과 값을 맞추어 봄으로써 등가회로 모델의 적합성과 신뢰성을 검토할 수 있다.



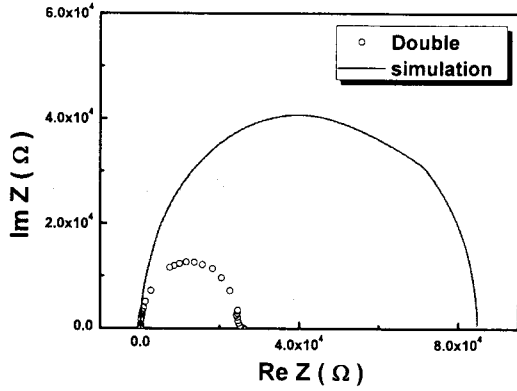
〈그림 3〉 (a) Alq3, (b) TPD Cole-Cole plot과 시뮬레이션

2.1.2 이중층과 경계면

단일층 OLED 소자의 측정값을 이용해 이중층 등가회로 모델을 구현, 시뮬레이션 하고 이를 실제 측정값과 비교하였다(그림 4).



〈그림 1〉 (a) 임피던스 Cole-Cole plot, (b) 등가회로 모델



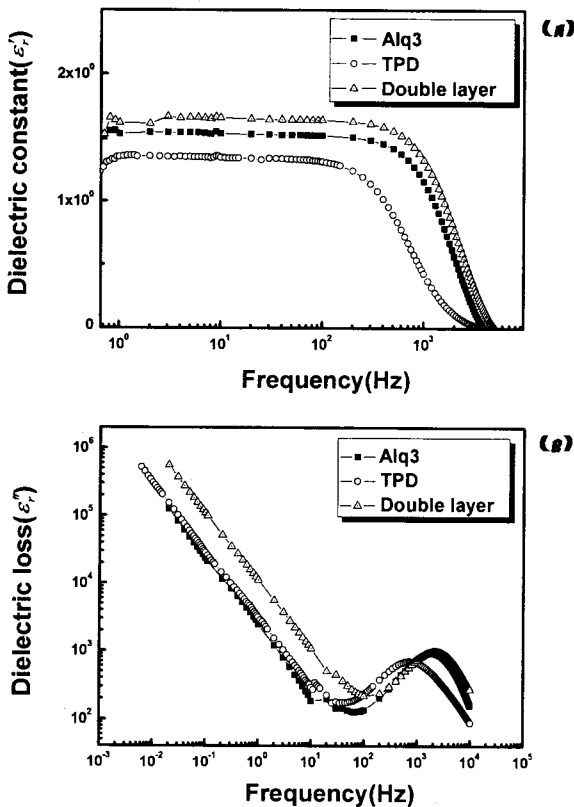
〈그림 4〉 이중층 소자의 임피던스와 시뮬레이션

시뮬레이션과 실제 측정값에 차이가 있다. TPD와 Alq3 사이의 유기물-유기물 이중계면에서 에너지 준위의 변화가 있을 거라고 생각할 수 있지만, 아주 약한 상호작용만이 있고 변화는 거의 없다[2]. 시뮬레이션이 실제 측정값과 차이를 보인 것은 유기물-유기물 이중계면의 상호작용이 아니라 단층에서 다층 소자로 바뀌면서 홀과 전자의 거동이 바뀌었기 때문이다. 이는 소자가 다층 구조로 제작되면서 발광층인 Alq3와 TPD에서  $R_p$ 와  $C_p$  값의 변화가 생겼음을 알 수 있다[3]. 앞의 측정값을 어드미턴스와 임피던스 식을 이용해 분석함으로써 이를 확인할 수 있다(식 1, 2).

$$Y = \frac{1}{Z} = G + jB = G + j\omega C \dots\dots\dots(1)$$

$$C = \frac{A\epsilon_0\epsilon_r'}{d}, \quad G = \frac{\omega A\epsilon_0\epsilon_r''}{d} \dots\dots\dots(2)$$

$Y$ 는 어드미턴스,  $Z$  임피던스,  $G$  컨덕턴스,  $C$  캐패시턴스,  $A$  면적,  $d$  거리,  $\epsilon_0$  자유공간 유전율,  $\epsilon_r'$  유전 상수, 그리고  $\epsilon_r''$  유전 손실이다. 위의 식을 이용해 임피던스로부터  $\epsilon_r'$ 과  $\epsilon_r''$ 을 구할 수 있다[4].

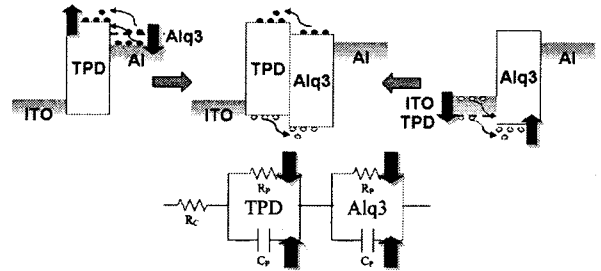


〈그림 5〉 이중층, 단일층 OLED 소자의 (a) 유전상수 와 (b) 유전손실

그림 5에서 이중층 OLED 소자의 유전상수가 더 크고, 유전손실 또한 더 큼을 알 수 있다, 유전손실은 컨덕턴스에 비례하고 컨덕턴스는 저항의 역수에 비례하므로 이중층 OLED 소자의 저항이 더 작음을 확인할 수 있다(식 3).

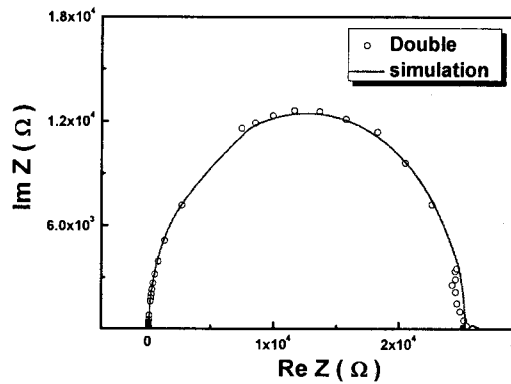
$$G \propto \epsilon_r'' \propto \frac{1}{R_p} \dots\dots\dots(3)$$

그림 6은 ITO/ TPD/ Alq3/ Al 소자의 에너지 다이어그램 모식도이다[2]. ITO/ Alq3/ Al 소자에서 TPD층의 삽입은 ITO에서 Alq3으로 정공이 장벽을 넘어갈 확률을 증가 시킨다. 그래서 Alq3에 소수 전하인 정공의 양이 증가한다. ITO/ TPD/ Al도 마찬가지 이다. 장벽 높이의 감소는 단일층 OLED 소자의  $C_p$ 의 증가와  $R_p$ 의 감소에 기여한다. 전하의 주입과 전달은 동작 전압과 발광효율을 결정하는 요소이다. 장벽의 감소로 인한 전자, 정공의 주입량 증가는 소자 효율을 향상 시킬 것이다[5].



〈그림 6〉 이중층 OLED 소자의 에너지 다이어그램 모식도

측정된 임피던스 Cole-Cole plot에서 변화된 단일층 OLED 소자의 등가 회로 성분값인  $R_p$ 와  $C_p$  값을 추출하였다. 그림 2 이중 등가회로 모델에서 유기물-유기물 계면을 고려해 변화된 등가 회로 성분 값을 대입하면 실제 측정값과 시뮬레이션이 잘 맞음을 알 수 있다(그림 7).



〈그림 7〉 이중층 소자의 임피던스와 시뮬레이션

### 3. 결 론

본 연구에서는 유기 발광 소자의 전기적 특성을 분석하기 위해 등가 회로 모델을 이용하였다. 단층 소자의 등가회로를 이용한 다층 소자의 등가회로를 예상하였다. 그리고 이를 시뮬레이션하고 실제 측정값과 맞추어봄으로써 등가 회로 모델의 적합성을 검증 하였다. 그 과정에서 단층 소자 등가회로 모델을 다층 소자 등가회로 모델 구현에 이용하였지만, 다층 소자 등가회로는 단층 소자 등가회로의 단순 적합이 아닌 계층을 고려한 등가회로가 필요하다. 이를 시뮬레이션에 적용하고 실제 측정값과 맞추어 봄으로써 이를 확인할 수 있었고, 더 정확한 등가회로 모델을 제시하였다.

### [참 고 문 헌]

[1] Y. S. Lee, J. H. Park, J. S. Choi, J. I. Han, "Admittance Spectroscopic Characteristics and Equivalent Circuit Modeling of Small Molecule-Based Organic Light Emitting Diodes", J. Appl. Phys, 42, 2715, 2003  
 [2] H. Ishii, K. Sugiyama, D. Yoshimura, E. Ito, Y. Ouchi, K. Seki, "Energy-Level Alignment at Model Interfaces of Organic Electroluminescent Devices Studied by UV Photoemission: Trend in the Deviation from the Traditional Way of Estimating the Interfacial Electronic Structures", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 4, 24, 1998  
 [3] M. N. Tsai, T. C. Chang, P. T. Liu, C. W. Ko, C. j. Chen, K. M. Lo, "Short-diode like diffusion capacitance of organic light emission devices", Thin Solid Films, 498, 244, 2006  
 [4] S.O. Kasap, "Principles of Electronic materials and Devices", McGraw-Hill, Boston, 2002, 2nd ed.  
 [5] I. D. Parker, "Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes", J. Appl. Phys. 75, 1656, 1994