

정공 수송층과 발광층의 두께 변화에 따른 주파수의 임피던스 특성

김원중, 이영환, 양재훈, 이종용, 심낙순¹, 김태완², 홍진웅
 광운대학교, ¹삼척대학교, ²홍익대학교

Impedance Properties of Frequency with the Thickness Variation of Hole Transport Layer and Emitting Layer

Weon-Jong Kim, Young-Hwan Lee, Jae-Hoon Yang, Jong-Yong Lee, Nak-Soon Shim¹, Tae-Wan Kim² and Jin-Woong Hong
 Kwangwoon University, ¹SamCheok University, ²Hongik University

Abstract

ITO/N,N'-diphenyl-N,N'-di(m-tolyl)-benzidine (TPD)/Tris(8-hydroxyquinolino Aluminum (Alq₃)/ Al 구조에서 정공 수송층 TPD와 발광층 Alq₃ 를 각각 두께 변화에 따라 Agilent 4294A, Precision Impedance Analyzer를 이용하여 주파수에 의존하는 저항성 특성과 용량성 특성을 연구하였다. 측정 결과 주파수가 증가할수록 저항성 특성은 감소함을 보였고 용량성 특성은 감소하다가 다시 증가하는 특성을 보였다. TPD와 Alq₃의 두께가 각각 70[nm], 30[nm]일 때 저주파 영역에서는 가장 낮은 저항성 특성이 보이다가 고주파 영역에서는 가장 높은 특성을 확인하였다. 또한 용량성 특성은 저주파 영역에서는 가장 높은 특성이 보이다가 고주파영역에서 두께 변화에 상관없이 거의 일치함을 확인하였다.

1. 서 론

1987년 Tang과 VanSlyke가 저분자인 N,N'-diphenyl-N,N'-di(m-tolyl)-benzidine (TPD)와 Tris(8-hydroxyquinolino Aluminum (Alq₃)를 이용한 다층구조로 낮은 전압에서 녹색 발광을 처음으로 얻었으며[1]. 1990년에 캠브리지 대학교의 Friend가 최초로 π공역 고분자인 (phenylenevinylene) PPV를 이용하여 스피ن 코팅방법으로 고분자 녹색 발광을 처음으로 얻었다[2]. 그 후 OLEDs(Organic light-emitting diodes) 디스플레이에 있어서 가능한 응용 때문에 광범위하게 연구 되어 왔다. 가장 적합한 디스플레이 소자는 천연색 구현, 낮은 동작 전압, 긴 수명, 안정적인 동작 파라미터, 고 휘도, 높은 효율인 반면에[3],[4],[5] 짧은 수명, 낮은 캐리어 이동, 높은 계면 장벽 등 아직도 해결될 수 없는 몇몇 문제점들이 여전히 있다. 소자의 발광은 양극(+)으로부터 정공(hole)이 그리고 음극으로부터 전자(electron)가 각각 주입되는데 주입된 정공과 전자들이 발광층에서 재결합하여 발광을 하게 된다. 따라서 주입 메커니즘, 이동 메커니즘, 재결합 과정 등이 유기 발광 소자에서는 매우 중요한 원인이 된다. 소자의 전도 메커니즘을 이해하기 위해서는 DC로 인가하여 전류-전압특성에 대한 저항성 응답과 AC로 인가하여 저항성과 용량성 특성을 알 수 있다. J. Pospil 등은 보고에 의하면 유기물 층은 주파수와 인가전압에 따라서 합성 임피던스의 구성 성분이 달라진다는 것을 발표하였다[6]. Stuipto Roy 등은 유기물 층의 등가회로를 저항 성분과 용량 성분으로 해석하였다[7]. 본 논문에서는 정공 수송층과 발광층 유기소자인 TPD와 Alq₃ 두께를 변화시켜 주파수에 의존하는 저항 특성과 용량성 특성을 변화를 알아보고자 한다.

2. 실험

양(+) 전극으로는 삼성 코닝사의 ~15 [Ω/□]의 표면 저항과 170 [nm] 두께의 인듐-주석-산화물(Indium-Tin-

Oxide: ITO) 기판을 다음 설명과 같이 patterning하여 사용하였다. 폭이 5 [mm]인 ITO 전극은 실온에서 염산(HCl)과 질산(HNO₃)을 3:1의 부피비로 섞은 용액의 증기에 약 10-20분 정도 노출시켜 삭각한다. 이때, ITO와 용액과의 거리는 약 2 [cm]이며, patterning된 ITO를 흐르는 물에 세척한다. 그 후 ITO 기판의 세척 과정은 다음과 같다. 먼저 아세톤이나 클로로포름으로 50 [°C]에서 약 20분 정도 초음파 세척한다. 그런 후에 과산화수소수: 암모니아수: 2차 증류수를 부피비로 1:1:5의 비율로 섞은 용액 속에 기판을 넣고 약 80 [°C]의 온도에서 1시간 정도 가열하고, 다시 아세톤이나 클로로포름에 기판을 넣고 50 [°C]에서 약 20분간 초음파 세척을 한다. 그리고 마지막으로 1차 증류수에서 약 20분 정도 초음파 세척을 한 후, 질소 가스로 건조시킨다. 유기 물질은 열 증착법을 이용하여 약 0.5⁻¹ [Å/s]의 비율로 약 5×10⁻⁶ [Torr] 정도의 진공도에서 박막을 제작하였으며, 음전극도 5×10⁻⁶ [Torr]의 진공도에서 두께 200 [nm]를 연속적으로 증착하였다. 그림 1은 실험에 사용한 정공 수송물질 TPD, 발광물질인 Alq₃의 분자구조이다. 그림 2는 본 실험에서 사용한 ITO/TPD/Alq₃/Al 소자의 구조이다.

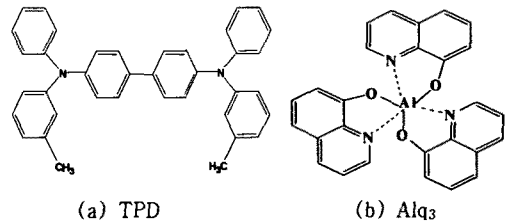


그림 1. TPD와 Alq₃의 분자구조
 Fig. 1 Molecular structures of TPD and Alq₃

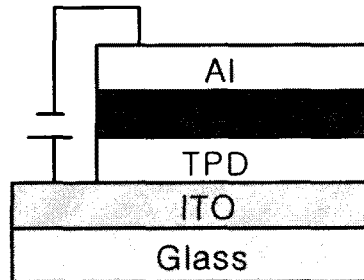


그림 2. 발광소자 기본 구조
 Fig. 2 Structure of emitting devices

정공 수송물질 TPD, 발광물질인 Alq₃의 두께변화에 따른 주파수를 40 [Hz]~1 [kHz] 변화시켜 각각 임피던스 특성을 측정하였다. 임피던스 특성 분석은 Agilent 4294A, Precision Impedance Analyzer를 이용하였다. 정공 수송물질 TPD 두께는 30, 40, 50, 60, 70[nm], 발광물질인 Alq₃ 두께는 70, 60, 50, 40, 30 [nm]를 각각 TPD와 Alq₃ 두께를 각각 30[nm]:70 [nm], 40[nm]:60 [nm], 50[nm]:50 [nm], 60[nm]:40 [nm], 70[nm]:30 [nm] 역순으로 변화시켜 임피던스 특성 변화를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 주파수 변화에 따른 저항 특성을 나타내고 있다. 주파수가 증가할수록 저항 특성은 점점 감소하였다가 10⁴ [Hz]부근에서 급격히 감소하였다. 특히 저주파 영역에서 TPD와 Alq₃의 두께가 70:30 [nm]일 때 가장 낮은 저항 값을 나타내고 있는 반면에 두께가 50:50 [nm] 일 때는 가장 높은 저항 특성을 나타내고 있다, TPD와 Alq₃의 두께의 비율이 가장 높을 때 저주파수 영역에서는 저항이 커지는 것을 확인하였다. 고주파 영역에서는 저항 특성이 거의 일치함을 알 수가 있었다. 그러므로, TPD와 Alq₃의 두께가 적절한 두께만이 저항특성 값을 줄일 수 있음을 확인하였다.

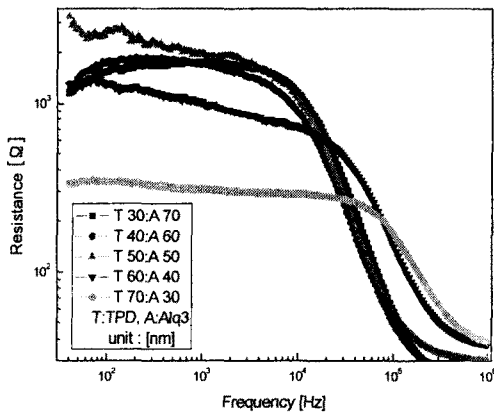


그림 3. 주파수에 따른 저항 특성
Fig. 3 Resistance characteristics due to frequency

그림 4는 주파수에 변화에 따른 리액턴스 특성을 나타내고 있다. 주파수가 증가할수록 리액턴스 특성은 저주파 영역에서는 감소하다가 약 10⁴ [Hz]부근에서 급격히 증가하여 고주파 영역에서는 저항성 특성을 나타내고 있다. TPD와 Alq₃의 두께가 70:30 [nm]일 때 저항성 특성이 나타났으며, 50:50 [nm]일 때 리액턴스가 가장 낮은 특성이 나타남을 확인하였다. TPD와 Alq₃의 두께 비율이 가장 높을 때 리액턴스 특성이 가장 낮음을 확인하였다. 그림 5는 주파수 변화에 따른 캐패시턴스의 특성을 나타내고 있으며, 주파수가 증가할수록 캐패시턴스 특성은 전반적으로 감소함을 확인하였다. TPD와 Alq₃의 두께가 70:30 [nm]일 때 저주파 영역에서는 가장 높은 값이 나타나다가 주파수가 높아질수록 캐패시턴스는 낮아졌다. 그림 6은 주파수 변화에 따른 임피던스 특성을 나타내고 있다. 주파수가 증가할수록 임피던스 특성은 감소함을 확인하였다. 저주파 영역에서는 TPD와 Alq₃의 두께가 70:30 [nm]일 때 가장 낮은 임피던스 특성을 나타냈으며 두께가 50:50 [nm]때에는 가장 높은 특성을 보이고 있다. TPD와 Alq₃의 두께 비율이 가장 높을 때 저

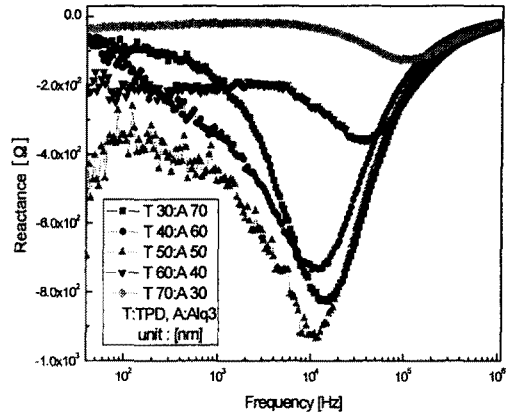


그림 4. 주파수에 따른 리액턴스 특성
Fig. 4 Reactance characteristics due to frequency

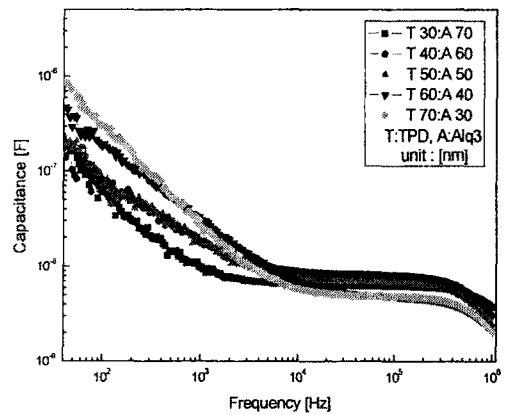


그림 5. 주파수에 따른 캐패시턴스 특성
Fig. 5 Capacitance characteristics due to frequency

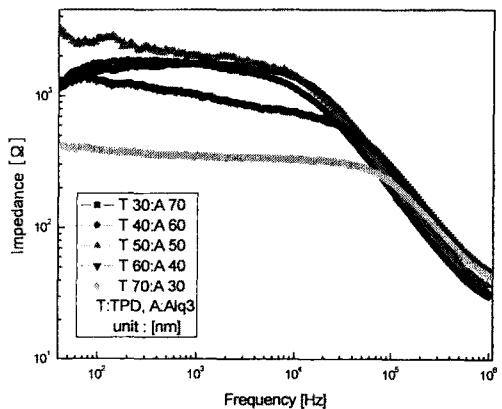


그림 6. 주파수에 따른 임피던스 특성
Fig. 6 Impedance characteristics due to frequency

항 특성이 가장 높음을 확인할 수 있었다. 그림 7은 주파수에 변화에 따른 위상각 특성을 나타내고 있다. 주파수가 증가할수록 위상각 특성은 저주파영역에서는 일정하다가 주파수가 높아지면 급하게 105 [Hz]까지 감소한 후 주파수가 높아지면 위상각은 매우 급하게 커지는 것을 확인할 수 있다. TPD와 Alq3의 두께를 30:70 [nm]에서 70:30 [nm]까지 변화시켜 제작한 시료의 위상각 특성은 TPD의 두께가 두꺼워질수록 위상각의 크기는 줄어들면서 최소값을 나타내는 주파수는 고주파수 영역으로 거의 선형적으로 이동함을 알 수 있다. 이것은 TPD가 용량성 소자의 기여로 사료된다.

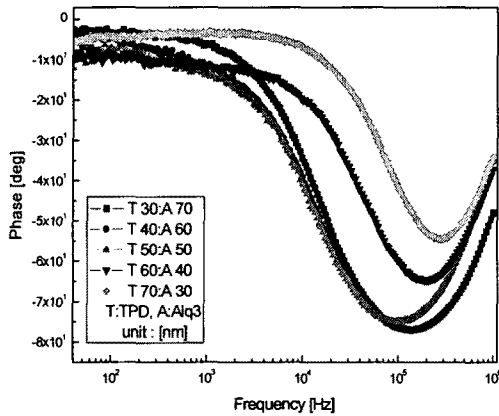


그림 7. 주파수에 따른 위상각 특성
Fig. 7 Phase characteristics due to frequency

4. 결 론

ITO/TPD/Alq3/AI 구조에서 정공 수송층 TPD와 발광층 Alq3의 두께를 30:70 [nm]에서 70:30 [nm]까지 변화시켜 주파수에 대한 임피던스 특성을 확인한 결과 주파수가 증가할수록 저항, 임피던스는 10^4 [Hz]에서 급격히 감소하였고, 리액턴스, 위상각은 저주파 영역에서는 감소하다가 약 10^4 [Hz]에서 급격히 증가함을 확인하였다. 캐패시턴스는 저주파 영역에서 서서히 감소하다가 10^4 [Hz]부터 10^5 [Hz]까지 변화가 거의 없다가 그 후 다시 감소함을 확인하였다. TPD와 Alq3의 두께가 각각 70, 30 [nm]일 때 저항성 특성과 임피던스 특성은 저주파 영역에서 가장 낮았다가 고주파 영역에서는 가장 높은 특성이 나타나고 캐패시턴스 특성은 저주파 영역에서는 가장 높았다가 고주파 영역으로 가면 가장 낮아졌음을 확인하였다. 위상각 특성은 TPD의 두께가 두꺼워질수록 위상각의 크기는 줄어들고 주파수의 최소값은 고주파수 영역으로 선형적으로 이동함을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic Electroluminescent Diode", Appl. Phys Lett. Vol. 51, p. 913, 1987.
- [2] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Logdlund, and W. R. Sanraneck, "Electroluminescence in conjugated polymer" Nature, Vol. 397, pp. 121-128, 1999.
- [3] Ananth Dodabalapur, "Organic Light Emitting Diode", Solid State Commun. 102, 259, 1997.
- [4] N. C. Greenham and R. H. Friend, "Semiconductor Device Physics of Conjugated Polymer", in Solid State Physics (Eds H. Ehrenreich and F. Spaepen) 49, pp. 1-149 1995.
- [5] C.B. Lee, A.Uddin, X.Hu, T.G. Andersson. "Study of Alq3 thermal evaporation rate effects on the OLED", Materials Science & Engineering B 112, pp.14-18, 2004.
- [6] J. Pospisil, J. Honskus, J. Fahrnich, P. Hlid, P. Toman, "Optical and electrical properties of poly(p-phenylene vinylene light emitting diodes", Journal of Luminescence, Vol. 72, p. 522, 1997.
- [7] Sudipto Roy, 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