

Para-sexiphenyl 유기 EL 소자의 전기적 특성

이윤수, 박재훈, 최종선
홍익대학교 전기제어공학과

Electrical Characterization of Para-Sexiphenyl Organic Electroluminescent Devices

Yong-Soo Lee, Jae-Hoon Park, and Jong-Sun Choi
Department of Electrical and Control Engineering, Hongik University

Abstract - DC current density-voltage and impedance spectroscopy studies have been performed on indium-tin-oxide(ITO)/para-sexiphenyl(6p)/aluminium organic electroluminescent device. The device exhibited a blue color emission. The turn-on voltage of the device is observed at 5V from the current density-voltage measurements. The impedance spectroscopy measurements show that a resonance frequency shift with applied DC bias is observed and a single semi-circle Cole-Cole plot is confirmed. The bias-dependent bulk resistance and bias-independent bulk capacitance is observed.

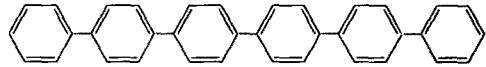


그림 1. Para-sexiphenyl(6p)의 화학 구조.

며, 증착시 기판의 온도는 상온을 유지하였다. 소자의 발광 면적은 약 0.09cm²로 하였다. 전류 밀도-전압 특성 측정은 Keithley 238 electrometer를 사용하였으며, 인가 전압의 범위는 -5V에서 10V로 하였고 전압 인가 간격은 200mV로 하였다. 정전용량 및 임피던스 특성은 HP 4192A LF impedance analyzer를 이용하여 측정하였다. 정전용량 측정시 인가 전압은 -5V에서 10V로 측정하였고, 전압 간격은 500mV로 하였다. 임피던스 측정시 주파수의 범위는 500Hz에서 1MHz로 하였으며, OSC level은 10mV로 하였다. 인가한 직류 전압은 0V, 2V, 8V로 하였다. 모든 실험은 암실에서 시행하였으며, 상온 및 대기압에서 측정하였다.

1. 서 론

최근까지 정보 표시용 디스플레이는 cathode ray tube (CRT)가 주도를 해왔지만 점차 기존의 CRT보다 얇고 가벼우며 대면적, 고휘도, 고효율, 고해상도, 고속 응답, 낮은 구동전압, 낮은 소비전력의 디스플레이 개발이 절실히 요구되고 있다. 정보 표시용 디스플레이에는 여러 가지 종류가 있지만 특히 전기발광소자는 액정 디스플레이 같은 비발광형의 디스플레이와 달리 자체 발광을 하고 응답속도가 빠르다는 장점 때문에 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 저분자 또는 고분자 등의 유기 재료를 이용한 유기 전기 발광 소자는 저전압 구동, 박막 형태 가능, 발광 빛의 균일성, 가시광 영역에서의 모든 색상 발광 가능 등의 장점으로 많은 관심이 모아지고 있다. 그러나 색상 범위, 밝기, 효율, 소자의 안정성 등에 있어서는 많은 연구가 진행되어 거의 상업화에 근접해 있지만 유기 재료의 전기 전도 메커니즘과 계면에서의 전도 특성 등에 관해서는 연구가 부족한 실정이다[1-5].

본 연구에서는 전기 전도성이 뛰어나 유기 전기 발광 소자의 정공 전달층 또는 유기 박막 트랜지스터의 활성층으로 사용되며, 청색 발광 재료로 사용되는 para-sexiphenyl(6p)을 발광층으로 하는 소자를 제작한 후, 전류 밀도-전압 특성 및 정전용량, 임피던스 측정 등을 통하여 소자의 전기적 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법 및 측정

본 연구에서는 6p를 발광층으로 하는 ITO/6p/Al 구조의 소자를 제작하여 직류 전류 밀도-전압 특성과 정전용량, 임피던스 특성을 연구하였다. 사용한 시료 구조는 그림 1과 같다.

소자의 하부 전극으로는 패턴이 형성된 ITO(ρ (20 Ω /□, 두께 : ~100nm)를 양극으로 사용했으며, 양극 위에 6p를 진공 증착하였다. 증착시 진공도는 약 1×10⁻⁶ Torr로 하였으며, 유기 박막의 두께는 약 70nm로 증착하였고 박막의 두께는 ellipsometry(Plasmos, SD-2100)를 이용하여 확인하였다. 음극으로는 알루미늄을 증착하였으

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 소자의 직류 전류밀도-전압 특성이다. 저전압에서는 낮은 전류가 흐르지만 고전압이 인가되면 음극에서 주입된 전자의 영향으로 높은 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있었다. 이 때 turn on 전압은 약 5V로 나타났다. 이는 음극인 Al을 천천히 증착하였을 때 turn-on 전압이 감소하는 Koch 연구진의 연구 결과와 유사하다[6].

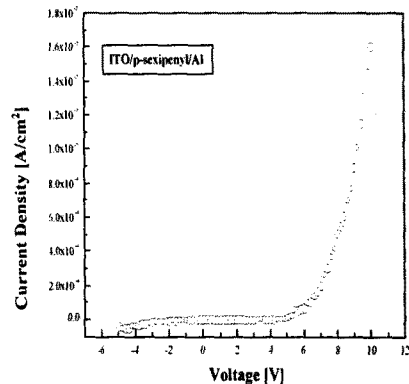


그림 2. ITO/6p(70nm)/Al 소자의 전류밀도-전압 특성

그림 3은 1kHz와 100kHz의 주파수에서 측정한 정전용량-전압 특성이다. 인가 전압에 관계없이 일정한 값의

정전 용량이 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이는 유기 박막의 두께가 얇기 때문에 박막 전체가 공핍화 되어 공핍 영역이 박막의 두께를 넘어서기 때문인 것으로 보인다[4]. 이는 두께 변화에 대한 소자의 특성 측정 및 1kHz 이하의 저주파에서의 측정 등을 통하여 더 많은 데이터 분석이 필요할 것으로 보인다.

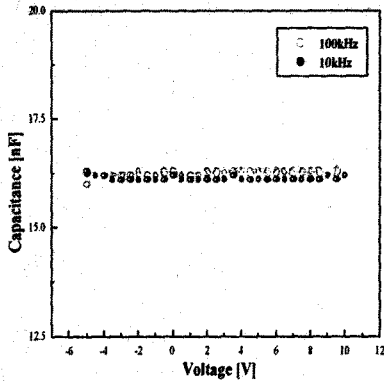


그림 3. ITO/6p(70nm)/Al의 정전용량-전압 특성.

그림 4와 그림 5는 주파수에 대한 임피던스의 측정 결과이다. 인가 전압은 직류 특성에서 turn-on 이하의 전압인 0V, 2V와 turn-on 이후인 8V로 각각 인가한 후 측정하였고, 모든 임피던스는 실수부와 허수부로 나타내었다. 0V를 인가하였을 때의 공진 주파수는 약 1.5kHz로 나타났으며, 2V 인가 시는 약 2kHz, 8V를 인가하였을 때의 공진 주파수는 약 30kHz로서 인가 전압이 증가함에 따라 공진 주파수도 고주파 쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5에서 임피던스의 실수부가 넓은 범위에 걸쳐서 나타난 것은 turn-on 전압 이후에는 속박되어 있는 전하 외에 전류 흐름에 기여하는 전하의 영향 때문인 것으로 생각된다. 이는 온도에 대한 측정 등 더 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

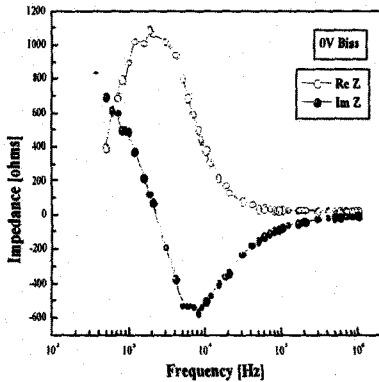


그림 4. 주파수에 따른 임피던스 특성 (0V)

그림 6은 주파수 특성 측정 결과를 이용하여 나타낸 임피던스의 실수부에 대한 허수부의 결과이다. 인가 전압이 증가함에 따라 반원의 크기가 감소하고 있으며, 각각의 인가전압에 대해서 1개의 반원 모양을 나타내고 있는 것으로 보아 하나의 캐패시터 및 저항의 병렬 회로와 직렬 저항이 연결된 회로로 모델링할 수 있는 것으로 생각된다. 이 때 병렬 회로의 저항 및 정전용량은 유기 박막의 bulk 상태에서 나타나며, 직렬 저항은 ITO에서 나타나는 접촉 저항으로 생각할 수 있다[7, 8].

그림 7은 임피던스 측정을 통하여 나타낸 소자의 bulk에서의 저항 및 정전용량을 나타낸 것이다. 저항의 경우 인가 전압이 증가함에 따라 점차 감소하는 것을 알 수 있으며, 정전용량은 인가 전압에 관계없이 거의 일정함을 알 수 있다. 0V의 전압 인가시 직렬 연결된 저항은 약 23.2Ω, 병렬 회로에서 bulk에서의 저항은 약 376.8Ω, 이 때의 정전용량은 약 38.5nF로 나타났다. Bulk 특성의 저항을 이용하여 전기전도도를 계산한 결과(식 1) 저전압에서는 약 10^{-7} S/cm이나, turn-on 이후인 8V에서는 약 10^{-5} S/cm로 약 두 order 정도 상승한 것을 알 수 있었다[4, 5].

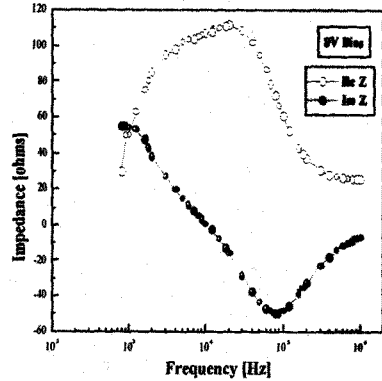


그림 5. 주파수에 따른 임피던스 특성 (8V).

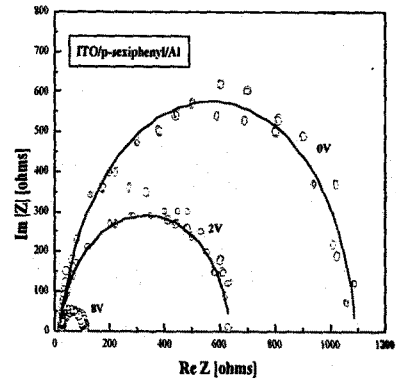


그림 6. 임피던스의 실수부에 대한 허수부 특성.

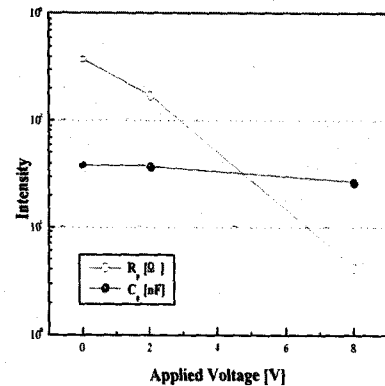


그림 7. 인가 전압에 따른 저항 및 정전용량.

$$\sigma = \frac{d}{R_p A} \quad (\text{식 1})$$

σ : 전기 전도도
 d : 유기 박막의 두께
 R_p : RC 병렬 회로에서의 저항
 A : 소자의 면적

4. 결 론

본 연구에서는 para-sexipheny(6p)을 이용하여 ITO/ 6p/Al 구조의 소자를 제작하고, 전류밀도-전압 특성 및 정전용량, 임피던스 특성을 측정하였다. 전류밀도-전압 특성 측정 결과 약 5V에서부터 전류의 흐름이 급격히 증가하는 것을 알 수 있었으며, 1kHz와 100kHz로 주파수를 고정시키고 인가 전압에 따른 정전용량 측정 결과 전압에 관계없이 일정한 정전용량을 나타내는 것으로 보아 공핍영역과 bulk 영역이 함께 나타나지 않는 것을 알 수 있고, 이는 유기 박막의 두께가 얇기 때문에 박막 전체가 공핍화 되어 있는 것으로 생각되며, 보다 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 주파수에 따른 임피던스 측정 결과 인가 전압이 증가함에 따라 공진 주파수가 고주파 쪽으로 이동함을 확인할 수 있었고, 고전압에서 더 넓은 주파수 범위에서 임피던스의 실수부가 나타나는 것은 속박되어 있는 전하 외에 전도 흐름에 기여하는 전하의 영향 때문인 것으로 보인다. 임피던스 특성 측정 결과, 소자는 병렬 RC 회로와 직렬 저항이 연결된 RC 직병렬 회로로서 모델링 할 수 있는 것으로 보이며, 이 때 병렬 회로의 저항은 인가 전압에 따라 감소하며, 정전용량은 인가 전압에 관계없이 일정함을 확인할 있었다. 차후에는 유기 박막의 두께와 온도 변화에 따른 전류 밀도-전압 특성, 임피던스 측정 등을 통하여 보다 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 2000년도 한국학술진흥재단 지원 중점 연구소 과제의 지원에 의하여 연구되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] C.W. Tang and V.A. Van Slyke, "Organic electroluminescent diodes", *Appl. Phys. Lett.*, 51(12), 913 (1987).
- [2] I.H. Campbell, D.L. Smith, and J.P. Ferraris, "Electrical impedance measurement of polymer light-emitting diodes", *Appl. Phys. Lett.*, 66(22), 3030, (1995).
- [3] A.J. Campbell, D.D.C. Bradley, and D.G. Lidzey, "Space-charge limited conduction with traps in poly(phenylene vinylene) light emitting diode", *J. Appl. Phys.*, 82(12), 6326, (1997).
- [4] A.J. Campbell, D.D.C. Bradley, J. Laubender, and M.Sokolowski, "Thermally activated injection limited conduction in single layer N,N'-dimethyl-N-N'-bis(3-methylphenyl)1-1'-biphenyl-4,4'-diamine light emitting diode", *J. Appl. Phys.*, 86(9), 5004, (1999).
- [5] S.H. Kim, K.H. Choi, H.M. Lee, D.H. Hwang, L.M. Do, H.Y. Chu, and T. Zyung, "Impedance spectroscopy of single- and double-layer polymer light-emitting diode", *J. Appl. Phys.*, 87(2), 882, (2000).
- [6] N. Koch, A. Pogantsch, E.J.W. List, G. Leising, R.I.R. Blyth, M.G. Ramsey, and F.P. Netzer, "Low-onset organic blue light emitting devices obtained by better interface control", *Appl. Phys. Lett.*, 74(20), 2909, (1999).
- [7] S. Karg, M. Meier, and W. Riess, "Light-Emitting Diodes based on Poly-p-Phenylene-vinylene. 2. Impedance Spectroscopy", *J. Appl. Phys.*, 82(4), 1961, (1997).
- [8] V.V. Daniel, *Dielectric Relaxation*, Academic press, pp.95-109, (1967).