

## 정공 주입층 두께 변화에 따른 OLEDs 의 유전 특성

차기호, 신종열\*, 홍진웅

광운대학교 전기공학과, 삼육대학교 카메카트로닉스학과\*

### 초록

ITO/ polytetrafluorethylene (PTFE)/ Tris(8-hydroxyquinolinato Aluminum ( $Alq_3$ )/ Al 구조에서 정공 주입층 PTFE 의 두께 변화에 따른 유전특성은 HP 4284A precision LCR Meter 를 이용하여 주파수에 따른 임피던스와 위상각, 유전손실, 그리고 캐패시턴스를 측정하였다. 측정 결과 PTFE 의 두께가 증가할수록 임피던스 값은 증가하고, 위상각은 저주파수 영역에서는 두께가 증가할수록 감소하다가 고주파수 영역에서는 거의 같아지는 것을 확인하였다. 또한, 유전손실( $\tan \delta$ )도 저주파수 영역에서는 정공 주입층이 증가할수록 감소하다가 고주파수 영역에서는 거의 같아졌고, 캐패시턴스는 PTFE 의 두께가 증가함에 따라 작아지고 주파수가 높아질수록 감소함을 확인하였다.

### 1. 서론

1987 년 Tang 과 VanSlyke 가 저분자인 N,N'-diphenyl-N,N'-di(m-tolyl)-benzidine (TPD)와  $Alq_3$  를 이용한 다층구조로 낮은 전압에서 녹색 발광을 처음으로 얻었다[1]. 1990 년 캠브리지 대학교의 Friend 가 최소에  $\pi$  공역 고분자인 (phenylenevinylene) PPV 를 이용하여 스피닝 코팅방법으로 고분자 녹색 발광을 처음으로 얻었다. 그 후, OLEDs(Organic light-emitting diodes) 디스플레이 소자는 천연색 구현, 낮은 동작 전압, 긴 수명, 안정적인 동작 파라미터, 고 휘도, 높은 효율인 반면에[2-4] 짧은 수명, 낮은 캐리어 이동, 높은 계면 장벽 등 여전히 문제점들이 있다. 따라서 주입 메커니즘, 이동 메커니즘, 재결합 과정 등이 유기 발광 소자에서는 매우 중요한 원인이 된다. 한편 유전특성의 조사는 소자의 전기적 특성 연구 뿐만 아니라 신뢰성 평가의 척도가 되므로 많은 연구자들이 유전특성에 대해서 연구하고 있다[5]. 본 논문에서는 정공 주입물질인 PTFE 두께(0, 1, 2, 3 [nm])를 변화시켜 주파수에 의존하는 임피던스 특성, 위상특성 그리고 유전손실( $\tan \delta$ )의 변화에 대하여 연구한 결과를 소개한다.

### 2. 실험 방법

시료는 양(+)-극으로는 S. Co 의 15 [ $\Omega/\square$ ]의 표면 저항과 170 [nm] 두께의 인듐-주석-산화물(Indium-Tin-Oxide: ITO) 기판을 다음과 같이 patterning 하여 사용하였다. 양극인 ITO

전극은 실온에서 염산(HCl)과 질산(HNO<sub>3</sub>)을 3:1 로 섞은 용액의 증기에 약 10-20 분 정도 식각하였다. 이때, ITO 와 용액과의 거리는 약 1 [cm]이며, 식각된 ITO 를 물에 세척하고, ITO 기판의 세척 과정은 클로로포름으로 50 [°C]에서 약 20 분 정도 초음파 세척한다. 그 후에 과산화수소수, 암모니아수, 증류수를 부피비 1:1:5 의 비율로 섞은 용액 속에 ITO 를 넣고 약 80 [°C]의 온도에서 1시간 정도 가열한 후, 다시 클로로포름에 기판을 넣고 50 [°C]에서 약 20분간 초음파 세척을 한다. 그리고 마지막으로 증류수에서 약 20 분 정도 초음파로 교반 세척을 한 후, 열로 건조시킨다.

정공 주입층인 PTFE 는 열 증착법을 이용하여 0.1 [A/s]의 비율로 약 5×10<sup>-6</sup> [Torr] 정도의 진공도에서 박막을 제작하였으며, 발광층 Alq<sub>3</sub> 는 1.3~1.5 [A/s]의 비율로 증착시켰고, 음극도 5×10<sup>-6</sup> [Torr] 정도의 진공도에서 증착시켰다. 정공 주입 물질인 PTFE 의 두께 변화에 따른 주파수를 20 [Hz] ~ 1 [MHz]까지 변화시켜 측정하였다. 임피던스 측정은 HP 4284A precision LCR Meter 를 이용하였다. 정공 주입층인 PTFE 두께를 각각 1 [nm], 2 [nm], 3 [nm]로 변화시켜 임피던스 특성 변화를 조사하였다[5].

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 1 은 정공 주입층인 PTFE 두께 변화에 따른 임피던스의 주파수 의존특성을 나타낸 것으로 같은 조건에서 PTFE 두께가 증가할수록 임피던스가 약 60 [%] 증가됨을 확인할 수 있었다. 특히 낮은 주파수영역에서는 두께 의존특성이 크고, 주파수가 높아 갈수록 임피던스가 적어지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 정공주입층 PTFE 의 절연성이 우수하며 두께가 두꺼워 질수록 절연성이 우수해지므로 임피던스는 커지나, 주파수의 증가에 따른 감소는 캐패시턴스의 주파수 의존특성으로 사료된다.

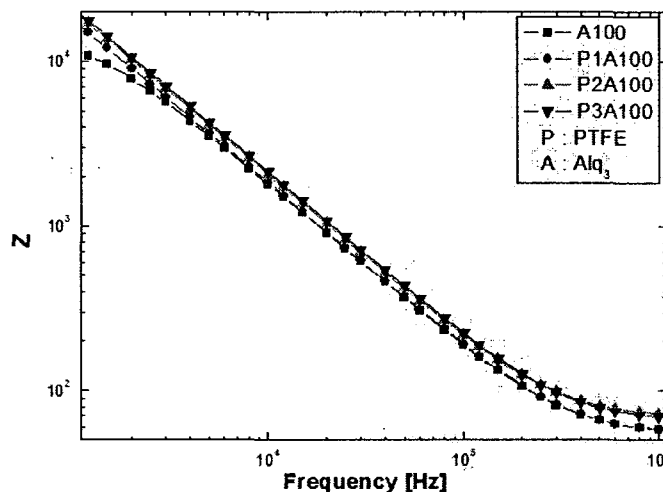


그림 1. PTFE 두께에 따른 임피던스 특성

Fig. 1 Impedance properties depending on thickness of PTFE

그림 2 는 정공 주입층인 PTFE 의 두께 변화에 따른 위상각을 나타낸 것으로 주파수가 같은 조건에서 두께가 증가할수록 위상각은 적어지고 두께 의존성이 강함을 확인할 수 있다. 위상각은

저주파수 영역( $2 \times 10^4$  [Hz]이하)에서는 분산을 보이다가, 주파수가 높아갈수록 분산이 적어지면서 점차 증가한다. 저주파 영역 저주파수 영역( $2 \times 10^4$  [Hz]이하)에서 정공 주입층 PTFE 가 없는 순수한 발광층 Alq<sub>3</sub> 는 주파수 증가에 따라 매우 급하게 감소하는데 이것은 용량성 특성의 기여로 사료되지만, 정공 주입층이 증착되면 정공 주입 재료의 절연성이 발광층의 절연성보다 절연성이 우수하기 때문에 저주파수 영역에서 주파수 의존 특성이 낮게 된다. 그러나 주파수가 고주파수 영역으로 되면 용량성 보다 절연 특성의 기여로 위상차는 점점 줄어드는 것으로 사료된다.

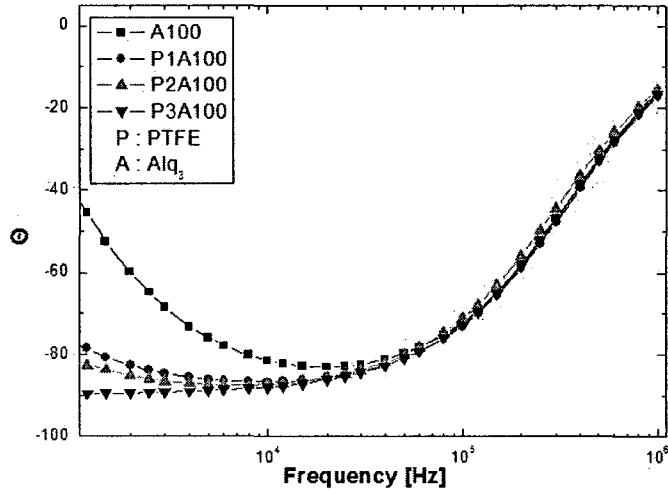


그림 2. PTFE 두께와 주파수에 따른 위상각

Fig. 2 Phases depending on thickness of PTFE and Frequency

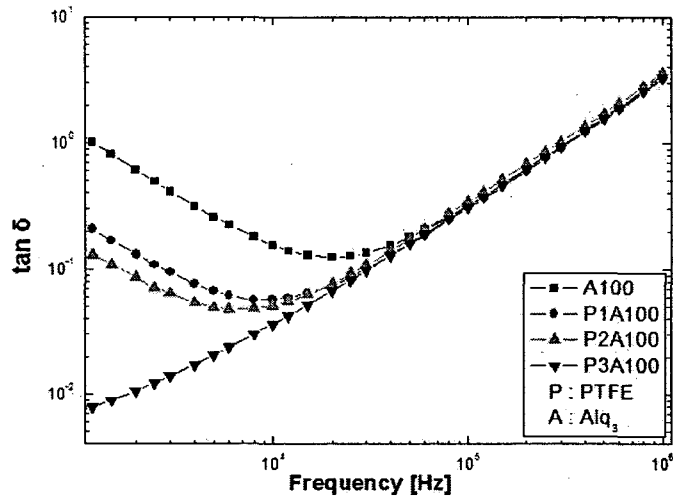


그림 3. PTFE 두께와 주파수에 따른 유전손실

Fig. 3 Dielectric loss depending on thickness of PTFE and Frequency

그림 3 은 주파수에 따른 정공 주입층 PTFE 의 유전손실을 나타낸 것으로 같은 저주파수 영역( $2 \times 10^4$  [Hz]이하)에서 유전손실은 두께가 증가할수록 감소함을 확인할 수 있다. 일반적으로  $\tan \delta$  의 역수는 전기 절연성을 의미하는데, 정공 주입층 PTFE 는 무극성 물질로 절연 특성이 매우 우수하다. 따라서 발광물질 Alq<sub>3</sub> 는 용량성 특성이 우수하기 때문에 주파수 증가에 따라

유전손실은 감소되지만, 정공주입층이 삽입되면 절연성 향상으로 유전손실은 두께의 증가에 따라 매우 급하게 줄어들음을 확인할 수 있으며 따라서 이것은 절연성의 향상을 의미한다. 그리고  $\tan\delta$  의 최소 피크가 나타는 주파수는 저주파수 영역으로 이동하면서 감소율은 일정함을 확인할 수 있는데, 이것은 PTFE 의 두께 증가에 따른 절연성의 상승의 기여로 사료된다. 그러나 고주파수 영역에서는 주파수가 증가함에 따라 유전손실은 선형적으로 증가함을 확인할 수 있는데 이것은 정전 용량이 주파수의 증가에 따라 매우 급하게 감소하고 절연성도 주파수에 따라 도전특성의 증가로 사료된다.

#### 4. 결론

ITO/PTFE/Alq<sub>3</sub>/Al 구조에서 정공주입층의 두께 변화에 따른 유전 특성을 연구한 결과는 다음과 같다.

PTFE 의 절연성이 우수하여 두께가 증가할수록 임피던스는 커지고, 주파수의 증가에 따른 감소는 캐패시턴스의 주파수 의존특성으로 사료된다. 또한, 저주파수 영역에서 정공주입 재료의 절연성이 발광층의 절연성보다 우수하기 때문에 주파수 의존 특성이 낮아 위상차는 커지고 그러나 고주파수 영역에서는 용량성보다 절연특성의 기여로 위상차는 줄어든다.

특히, 정공주입층 PTFE 는 절연특성이 매우 우수하고 발광물질 Alq<sub>3</sub> 는 용량성 특성이 우수하기 때문에 주파수 증가에 따라 유전손실은 감소한다. 그러나 정공주입층이 삽입되면 절연성의 향상으로 유전손실은 두께의 증가에 따라 급하게 줄어들음을 확인할 수 있고 유전손실이 주파수 증가에 따라 선형적으로 증가함은 정전 용량의 감소와 도전성의 증가로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic Electroluminescent Diode", Appl. Phys Lett. Vol. 51, p 913, 1987.
- [2] Ananth Dodabalapur, Dodabalapur, "Organic Light Emitting Diode" Solid State Commun. 102, 259, 1997.
- [3] N. C. Greenham and R. H. Friend, "Semiconductor Device Physics of Conjugated Polymer", in Solid State, Physics (Ed.s H. Ehrenreich and F. Spaepen) 49, pp1-149 1995.
- [4] C. B. Lee, A. Uddin, X. Hu, T. G. Andersson. " Study of Alq<sub>3</sub> thermal evaporation rate effect on OLED", Materials Science & Engineering B 112, pp 14-18, 2004.
- [5] J. Drechsel, M. Pfeiffer; X. Zhou, A. Nollau, and K. Leo, "Organic Mip-diodes by p-doping of amorphous wide-gap semiconductors: CV and impedance spectroscopy" , Synthetic Metals, 127, pp 201-205, 2002