

## ITO 표면의 자기 조립 단일막 형성에 의한 유기 발광 소자의 특성

나수환, 목량균, 김태완, \*홍진웅, \*정동희  
홍익대학교, \*광운대학교

**Abstract :** 본 연구에서는 ITO 표면 개질에 의한 유기 발광 소자의 특성 변화에 대해서 연구하였다. ITO 전극은 발광 소자의 투명 전극으로 널리 사용되고 있으며, 이러한 발광 소자의 특성은 ITO의 표면 상태에 따라 민감하게 반응한다. ITO 표면 개질은 ITO와 유기물 사이의 쇼트기 장벽을 감소시키며, 전극과 유기물의 접촉을 향상시켜 준다. 본 실험에서는 습식 처리 방식으로 self-assembled monolayer(SAM)을 사용하였다. 유기 발광 소자의 특성은 SAM 처리에 의해 향상되었다. 유기 발광 소자는 ITO/SAM/TPD(50nm) /Alq<sub>3</sub>(70nm)/LiF(0.5nm)/Al(100nm)의 구조로 제작하였으며, ITO의 표면 특성은 일반적인 특성 기술에 의해 연구되었다. SAM 처리된 소자는 SAM 처리하지 않은 소자에 비해 구동 전압, 발광 세기, 외부 양자 효율 등이 향상되었다. ITO의 SAM 처리 시간을 0/10/15/20/25분으로 하여 소자를 제작하였다. 15분간 SAM 처리한 소자는 SAM 처리하지 않은 소자에 비해 외부 양자 효율과 전류 효율이 2.6배 상승하였다. 본 실험을 통하여 ITO 표면 위에 SAM층을 삽입한 결과, 구동 전압, 발광 세기, 효율 등이 향상됨을 알 수 있었다.

**Key Words :** Organic light-emitting diodes (OLED), Self-assembled monolayer (SAM), ITO

### 1. 서론

유기 발광 소자의 발광 특성에서 양전극의 표면 개질은 소자 발광 특성을 향상시킬 수 있다. 대표적인 양전극으로는 Indium-tin-oxide(ITO)가 있으며, 발광 소자의 투명 전극으로 널리 사용되고 있다. 그러나 ITO 전극으로부터 소자의 정공 주입층에 정공이 주입될 때, ITO와 유기물층 사이의 계면에 일함수 차이로 생기는 큰 에너지 장벽으로 인해 정공 주입이 원활히 이루어지지 못한다. 이러한 에너지 장벽을 낮추기 위한 방법으로 표면 개질 방법이 사용되고 있다 [1]. ITO 표면 개질 방법으로는 산소 플라즈마를 사용하는 건식과 화학 물질을 사용하는 습식이 있다. 그 중 ITO의 습식 표면 개질 방법으로 Self-assembled monolayer(SAM)가 있으며, 이를 소자에 처리하면 양전극 ITO의 일함수를 높여 원활한 정공의 주입으로 전자와 정공의 결합을 높여준다 [2]. 또한 쇼트기 장벽을 낮춰주며, ITO 전극과 유기물층의 선택적 접촉이 가능할 수 있도록 해준다[3]. Zehner는 arenethiol 계열의 흡착제를 이용한 SAM 처리를 통해 금(Au)의 일함수를 변화시켰다[4,5].

소자의 구조는 ITO/TPD/Alq<sub>3</sub>/LiF/Al이며 [6], 이때 양전극으로 사용한 ITO에 SAM 처리 시간을 달리하여 소자를 제작하였고, 각각 소자의 발광 특성을 분석하였다. 이렇게 제작된 소자의 전기적 특성은 광학 장비를 사용하여 측정하였다. 본 연구에서는 습식 표면 개질을 통한 ITO의 표면 특성 향상이 소자 발광 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

### 2. 실험

본 실험에서는 양전극으로 사용된 ITO(170nm)에 SAM 처리 시간을 각각 10분, 15분, 20분, 25분으로 소자를 제작하였다. 이때 SAM 처리 방법은 초음파 세척한 ITO를 SAM 물질이 녹아있는 용액에 정해진 처리 시간 동안 담금을 진행하는 방식으로 하였다[7]. 소자 크기는 20x20mm<sup>2</sup>이며, 음전극으로는 LiF(0.5nm)/Al(100nm)을 사용하였다. 소자의 발광 면적은 3x5mm<sup>2</sup>이다. ITO 위에 정공 수송층은 TPD

[N,N'-diphenyl-N,N'-bis(3-methylphenyl)-1,1-biphenyl-4,4'-diamine]를, 그리고 발광층은 Alq<sub>3</sub> [tris-(8-hydroxyquinoline) aluminium]를 2x10<sup>-5</sup>Torr의 진공도에서 1 Å/s의 속도로 열 증착하였다. 소자의 구조는 ITO(170nm)/SAM/TPD(50nm)/Alq<sub>3</sub>(70nm)/LiF(0.5nm)/Al(100nm)이다. 소자의 전압-전류 특성은 Keithley 236 (source-measureunit)과 Keithley 617 (electrometer)을 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 검토

SAM 처리 시간에 따라 소자를 제작하였고, 제작한 소자의 발광 특성을 그림 1에서 그림 3를 통해 나타내었다. 그림 1은 전압에 따른 전류 밀도를 나타내며, SAM 처리 시간을 15분간 처리한 소자의 구동 전압이 4V로 가장 낮은 전압에서 구동함을 보였다. 그림 2는 전압에 따른 발광 휘도로서 SAM을 15분간 처리한 소자의 발광 휘도가 52300cd/m<sup>2</sup>로 가장 높은 발광 세기를 나타냈다. 그림 3에서 SAM 처리 시간에 따른 효율을 전류 효율과 외부 양자 효율로 나타내었다. SAM 처리 시간이 15분까지는 전류 효율과 외부 양자 효율이 상승하나, 15분 이상이 되면 떨어짐을 확인할 수 있었다.

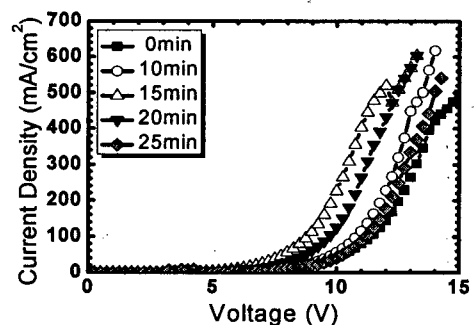


그림 1. 전압에 따른 전류 밀도.

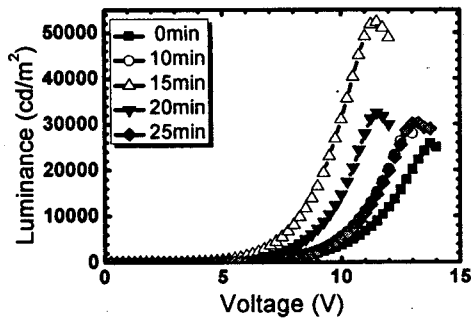


그림 2. 전압에 따른 휘도.

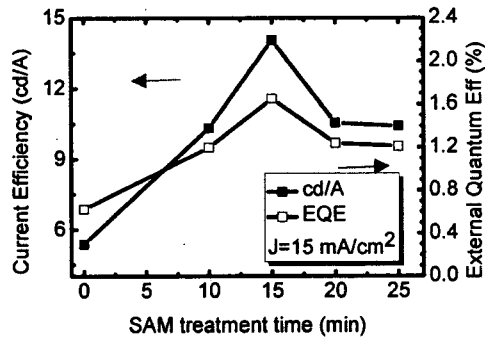


그림 3. SAM 처리에 따른 효율.

SAM층에 의한 소자의 특성 변화를 알아보기 위해 파울러-노르드하임 터널링 방정식을 이용하였다. 파울러-노르드하임 방정식은 전류 밀도와 전기장의 관계를 나타내며, 그래프를 통해 에너지 장벽의 높이를 알아낼 수 있다[8]. 그림 4는 소자의

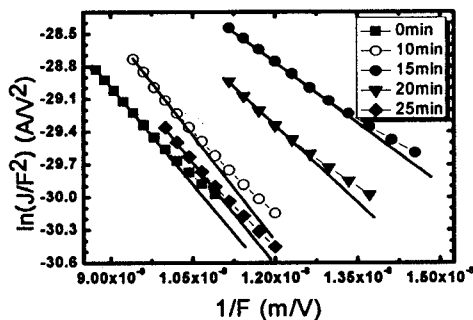


그림 4. 파울러-노르드하임 그래프.

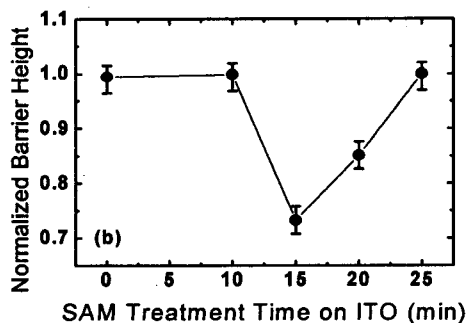


그림 5. SAM 처리 시간에 따른 파울러-노르드하임 터널링 분석과 장벽 높이.

SAM 처리 시간에 따른 전압과 전류 밀도의 관계를 파울러-노르드하임 터널링 방정식을 통해 그래프로 나타내었다. 이 그래프의 기울기로부터 SAM 처리 시간에 따른 에너지 장벽의 높이를 얻을 수 있다. 그림 5는 파울러-노르드하임 그래프를 통해 얻은 에너지 장벽의 높이를 나타내었다. SAM 처리하지 않은 소자를 기준으로 평준화하여 나타내었다. 15분간 SAM 처리한 소자의 에너지 장벽의 높이는 SAM 처리하지 않은 소자에 비해 25% 정도 감소하였다.

#### 4. 결론

ITO를 사용하는 유기 발광 소자에서 ITO의 표면 개질은 소자의 특성 향상에 직접적인 영향을 미치며, 대표적인 습식 표면 개질 방법으로 ITO와 유기물층 사이에 Self-assembled monolayer(SAM)층을 삽입하는 방법이 있다. SAM 처리 방식을 소자에 적용하여 제작하였고 제작된 소자의 전기적 특성을 측정된 결과, 구동 전압은 SAM을 15분간 처리한 소자에서 4V로 가장 낮은 전압에서 구동함을 보였다. 또한, 전압에 따른 발광 휘도에서는 SAM을 15분간 처리한 소자가 발광 휘도가 52300cd/m²로 가장 높은 휘도 값을 나타냈다. 효율 면에서 전류 효율은 SAM을 15분간 처리한 소자에서 14.4cd/A로 비교적 높았으며, 외부 양자 효율도 1.65%로 가장 높았다. 이러한 결과를 확인하기 위해서 파울러-노르드하임 터널링 방정식을 이용하였고, 그래프를 통해 SAM 처리 시간에 따른 ITO와 유기물 사이의 에너지 장벽의 높이 변화를 알 수 있었다. 이는 소자에 사용된 ITO 전극이 SAM처리로 인해 표면 개질되었음을 알 수 있다. 결과적으로, SAM 처리한 소자는 SAM 처리하지 않은 소자에 비해 발광 특성이 향상되었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2009학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

#### 참고 문헌

- [1] F. Amy, C. Chan, A. Kahn, *Organic Electronics* 6, 85, 2005.
- [2] S. G. Jang, H. Y. Chae, *J. Kor. Phys. Soc.* 51, 956, 2007.
- [3] R. Maboudian, R. T. Howe, *J. Vac. Sci. Technol.* B15, 1, 1997.
- [4] R. W. Zehner, B. F. Parsons, R. P. Hsung, and L. R. Sita, *Langmuir*, 15, 1121, 1999.
- [5] A. A. Dhirani, R. W. Zehner, R. P. Hsung, P. Guyot-Sionnest, and L. R. Sita, *J. Am. Chem. Soc.*, 118, 3319, 1996.
- [6] L. S. Hung, C. W. Tang, and M. G. Mason, *Appl. Phys. Lett.*, 70, 152, 1997.
- [7] S. H. Ji, Y. S. Yoon, *KIEEME*, 21, 2, p.5-14, 2008.
- [8] M. A. Khan, W. Xu, K. Haq, X. W. Zhang, Y. Bai, X. Y. Jiang, Z. L. Zhang, and W. Q. Zhu, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 41, 225105, 2008.