

OLED의 J-V 특성에 관한 연구 A Study for J-V Characteristics of OLED

임성운¹, 정인우¹, 황순재¹, 임광수¹, 윤태훈^{1,2}, 김재창^{1,2}
 부산대학교 전자공학과¹
 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소²
 nanpro@pusan.ac.kr

고도의 정보화 사회로의 움직임이 더욱 가속화됨에 따라 이동성이 용이한 정보표시장치의 필요성이 급격히 증대되고 있으며, 이에 따라 평판 디스플레이의 비중이 커지고 있다. 특히 소형 평판 디스플레이의 경우 OLED를 이용한 디스플레이는 TFT-LCD, PDP, FED 등 다른 디스플레이 보다 낮은 구동 전압으로 구동할 수 있고, 자체 발광하기 때문에 인식성이 뛰어나며, 얇고 가벼우며 응답속도가 빠르고 넓은 시야각을 가져 차세대 평판 디스플레이 중의 하나로 차츰 그 응용범위가 넓어지고 있다. 하지만 효율과 수명면에서 문제점들이 해결되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 우선적으로 소자의 효율이나 수명을 결정하는 J-V 특성을 정확하게 알아야 한다.^{1, 2} OLED 소자는 J-V 특성을 통해서 발광을 시작하는 동작 전압과 전류에 따른 광량을 알 수 있으며, 또한 J-L 특성에 의해 화상의 그레이 레벨에 맞는 전류 레벨들을 결정할 수 있다. 소자의 J-V 특성은 Fowler-Nordheim 터널링에 의해서 주입된 전하가 공간 전하를 형성하여 이동하고, 이동한 전하가 재결합 발광하는 과정으로 모델링하였다.³⁻⁵ J-V 특성에 영향을 미치는 요인은 유기물의 분자레벨과 전극의 일함수의 차이에 의한 포텐셜 장벽의 크기, 캐리어의 이동도, 그리고 트랩의 분포 형태나 밀도이며 소자 내부에 나타나는 캐리어의 분포와 전계의 세기를 알아본다. 그리고 단층구조 OLED의 J-V 특성을 시뮬레이션값과 실험값을 비교하였다.

OLED에 사용되는 유기 물질은 자유전자가 존재하지 않고 정공과 전자의 이동도가 낮으므로, 전압을 인가했을 때 유기물질 내부의 공간 전하 분포에 의해 전류가 결정되는 SCLC (Space charge limited current) 특성을 가지고 있다. 그리고 유기 물질의 내부 또는 표면에 트랩 레벨이 분포하면, 트랩된 전하에 의해 J-V 특성이 바뀌게 된다. 우선 벌크 트랩의 분포를 가지면서 트랩 전하의 밀도, $n_t(x)$ 를 10^{17} cm^{-3} 와 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 로 서로 다른 값에 대해서 J-V 특성을 실험값과 비교하여 그림 1에 나타내었다. 트랩이 균일하게 소자전체에 분포하는 경우에는 그 특성이 실험값과 오차가 많고 트랩 밀도가 커질수록 특성은 좋아지지만 실험값과 더 많은 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 전자 트랩의 경우 음극 부근에 축적되어 소자의 특성에 영향을 주는 계면 트랩의 형태로 트랩의 밀도, $n_t(x)$ 를 10^{17} cm^{-3} 와 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 의 값으로 계산한 J-V 특성과 실험값을 비교하여 그림 2에 나타내었다. 계면 트랩의 경우도 아직 실험값과 차이가 있지만 계면 트랩의 밀도가 커질수록 인가 전압이 커지면서 실험값과 비슷해져 감을 알 수 있다. 또 이러한 특성은 소자가 열화되면서 전극 부근에 쌓인 불순물에 의해 인가 전압이 올라가는 것으로 해석 할 수 있다.

트랩의 분포에 따른 J-V 특성을 살펴보면 음극부근에 트랩이 분포하는 경우가 실험값과 비슷하게 나타남을 알 수 있었다. 그런데 실제 소자에서 전압의 변화는 페르미 레벨을 변화시켜 트랩 밀도를 변화를 초래하기 때문에 추가적으로 계면 트랩 밀도를 전압에 따라 변하는 값으로 하여 J-V 특성을 계산하면 그림 3에서와 같이 실험값과 아주 유사함을 얻을 수 있다.^{16,71} 그리고 소자의 열화 현상에 의해 전압이 커질수록 계면의 불순물의 축적으로 저항값이 커지는 것으로 생각 되어진다. 전압에 따라 변하는 트랩 밀도, $n_t(x)$ 는 $10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 값을 가지면 전압이 증가함에 따라 값이 커진다. 계면 트랩이 전압이 커질수록 트랩 밀도가 증가하는 경우가 실험값과 가장 잘 일치함을 볼 수가 있고, 이러한 계면 트랩이 전하의 수송을 방해하고 인가 전압을 증가시키는 특성을 시간에 따라 변하는 소자의 J-V 특성과 연관지어 시간에 따라 계면의 트랩 밀도가 증가하여 저항이 증가하는 형태로 볼 수 있다.

OLED 소자가 벌크트랩을 가지고 있는 경우에는 벌크트랩이 없는 경우와 비교해 인가전압이 감소하며 벌크트랩밀도가 높을수록 인가전압은 낮아진다. 반면에 계면트랩인 경우에는 인가전압은 높아지고, 계면트

랩밀도가 높을수록 인가전압은 높아진다. 이 현상을 유기 EL 소자의 저항으로 바꾸어 말하면 저항은 벌크 트랩인 경우 감소하고, 벌크트랩밀도가 높을수록 낮아진다. 반면에 계면트랩인 경우 저항은 증가하고 계면 트랩밀도가 높을수록 커진다. 따라서 제작한 소자의 J-V 특성을 볼 때 벌크트랩으로는 해석할 수 없으며, 계면 트랩이 단일 트랩이 아니고 에너지분포함수의 계면 트랩으로 가정해야 해석이 가능했다. 일반적으로 유기 EL 소자의 열화현상은 동일한 전류를 흘려준 경우 인가전압 또는 소자 양단의 전압이 증가하여 결과적으로 소자의 저항성분의 증가로 나타나는데, 이 현상은 벌크트랩의 증가로는 설명할 수 없으며, 계면트랩에 의해 더 잘 설명될 수 있다. 또한 시간이 경과함에 따라 계면트랩이 증가하는 것으로 설명될 수 있다.

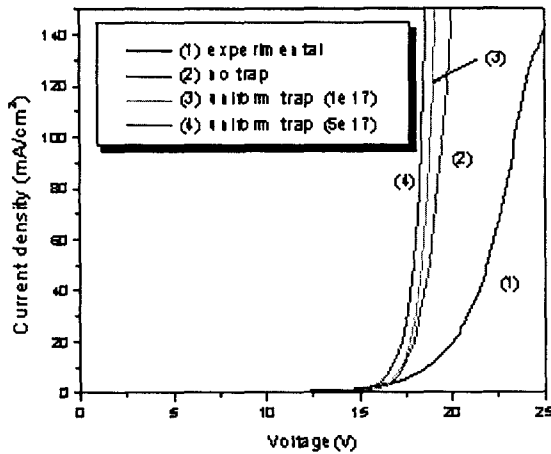


그림 1. 벌크 트랩의 영향에 의한 J-V특성

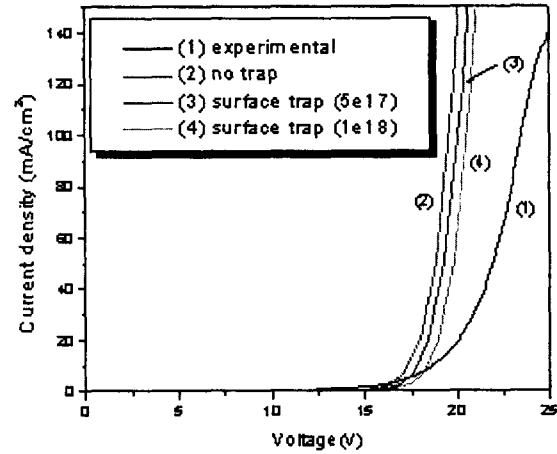


그림 2. 계면 트랩의 영향에 의한 J-V특성

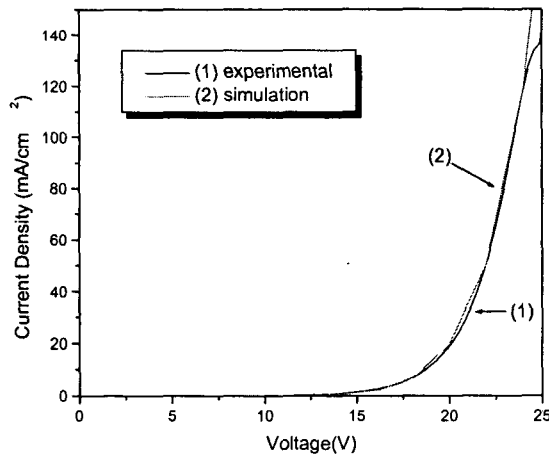


그림 3. 계면 트랩밀도가 전압변화의 함수로써 계산된 J-V 특성의 실험값과의 비교

참고문헌

- [1] I. D. Parker, J. Appl. Phys. 75, 1656 (1994)
- [2] M. A. Baldo F. O'Brien, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Phys. Rev. B 60, 14442 (1999)
- [3] Y. Kawabe, M. M. Morrell, G. E. Jabbour, S. E. Shaheen, B. Kippelen, and N. Peyghambarian, J. Appl. Phys, 84, 5306, (1998)
- [4] K. C. Kao and W. Hwang, *Electrical Transport in Solids*, (Pergamon Press, Oxford, 1981)
- [5] R. H. Fowler and L. Nordheim, Proc. Poy. Soc. London. ser. A., vol. 119, 173, (1928).
- [6] J. Yang, J. Shen, J. Appl. Phys, 85, 2699, (1999)
- [7] M. Hiramoto, K. Nakayama, T. Katsume and M. Yokoyama, Appl. Phys. Lett, 73 2627, (1998)