

유기발광소자의 전기전도메커니즘에 대한 연구

안준호, 이원재*, 장경욱*, 정동희**, 오현석**, 김태완***
한국전기산업연구원, 경원대학교*, 광운대학교**, 홍익대학교***

Study on Electrical Conductivity Mechanism of Organic Light-Emitting Diodes

Joonho Ahn, Won-Jae Lee*, Kyung-Uk Jang, Dong-Hoe Chung, Hyun-Suk Oh and Tea Wan Kim**
ERIK, Kyungwon Univ.*, Kwangwoon Univ.***, Hongik Univ.

Abstract : 유기발광소자는 자체발광 및 유연한 디스플레이 소자로의 응용 가능성이 높아 많은 사람들의 관심을 끌고 있다. 하지만 아직 소자의 효율 및 수명의 한계로 인하여 부분적인 상용화만이 진행된 상황이다. 본 논문에서는 이러한 유기발광소자의 효율 및 수명에 직접적인 영향을 끼치는 전기전도메커니즘에 대하여 온도별, 발광층의 두께별 전기전도메커니즘을 전류-전압특성을 통해 살펴보았다. 연구를 통해 저전계 영역에서의 전도는 옴영역에서 열여기된 전하의 이동이 원인임을 알 수 있었고, 고전계영역에서는 높은 전계에 의한 전하의 터널링에 의해 일어남을 알 수 있었다.

Key Words : 유기발광소자, 전기전도메커니즘, 옴영역, 터널링영역

1. 서 론

최근 정보화 사회로의 이동으로 인하여 많은 IT용 기기들이 등장하면서 정보화란 단지 정보의 나열만을 의미하는 것이 아니라 정보화를 통해 새로운 가치를 창조하는 기능을 추가하여 고부가가치의 산업으로 재창조되었다. 그에 따라 정보를 활용하기 위한 도구로서 여러 부가 기능들이 새로운 주요 산업으로 자리 잡게 되었는데, 그 중 가장 중심적인 역할을 하는 것이 바로 디스플레이 분야이다. 그중에서도 유기발광소자는 넓은 시야각, 저렴한 제조비용, 낮은 발광전압 등으로 CRT, LCD의 뒤를 이을 차세대 디스플레이로 각광을 받고 있다.

1987년 Tang[1]의 유기발광소자 개발 이래, 1989년 Friend 등[2]의 고분자를 이용한 유기발광소자를 개발하면서 유기발광소자는 유연한 디스플레이로서 그 가능성을 인정받게 되었다. 이후 낮은 효율과 짧은 수명이라는 단점을 극복하기 위해 소자의 구조가 HIL-HTL-ETL-EIL 등 다양한 층을 형성한 소자의 개발로 이어졌고, 현재는 상당한 효율과 수명을 갖게 되었다.[3,4,5]

유기발광소자는 양전극과 음전극에서 주입된 정공과 전자가 유기물 내에서 재결합하면서 빛 에너지를 방출하는 메커니즘을 가지고 있다. 이때 유기물 내에서 전자와

정공의 주입 및 이동 과정은 유기발광소자의 효율과 수명을 결정하는 중요한 변수가 된다. 또한 유기발광소자 내에서의 전하주입현상은 낮은 전계와 높은 전계에서 다른 메커니즘을 가지고 있다. 낮은 전계에서는 쇼트키 효과에 의한 밴드의 구부러짐 현상에 의해 에너지 장벽이 낮아져 전하의 주입과 이동이 이루어지고, 높은 전계에서는 밴드의 구부러짐이 더욱 심해지고, 에너지 장벽이 낮아져 터널링 효과에 의해 전하가 주입되는 것으로 알려져 있다.

유기발광소자에서의 전기전도 기구는 전계의 증가에 따라 Ohmic-SCLC(Space Charge Limited Current)-TCLC(Trap Charge Limited Current) 영역으로 나눌 수 있으며, Ohmic영역에서는 전자가 에너지 장벽을 넘지 못하여 전하의 주입이 일어나지 못하고 발광층 내의 결함이나 시료제작 과정에서 주입된 불순물에 의해 이온의 이동이 일어나게 된다. 그리고 SCLC영역에서는 전극으로부터 주입된 전하가 벌크내의 이동 전하보다 커지게 되고, 충분히 높지 않은 전계로 인하여 전하이 이동이 제한되어 주입되는 전류를 제한하는 공간전하제한전류 영역으로 해석될 수 있다. 또 높은 전계 영역에서 터널링에 의하여 주입되는 전류가 급격히 증가하는 영역을 트랩전하제한전류 영역으로 해석할 수 있다.

본 연구에서는 유기발광소자의 전기전도현상을 전류-전압 특성 곡선을 이용하여 온도별, 두께별 특성을 살펴보았다.

2. 실험

본 실험에 사용된 ITO는 면저항 $15 \Omega/\square$, 두께 170 nm 의 삼성 코닝사 제품을 사용하였다. 실험에 사용하기 위해서 1차 ITO 절단 > 패턴형성 > 2차 ITO 절단 > 세척 > 건조 등 5단계의 과정을 거쳤다.

먼저 ITO 기판을 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 으로 절단하여 5 mm 의 양전극으로 사용할 부분을 테이핑하고 나머지 부분은 $\text{HCl} : \text{HNO}_3$ 를 적당한 비율로 혼합, 증기에 노출시켜 패턴 형성을 하였다.

다시 패턴 형성된 ITO 기판을 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 크기로 절단한 후, 세척 과정을 거쳤다. 세척은 증류수(distilled deionized water) : 암모니아수(ammonia water) : 과산화수소수(hydrogen peroxide- H_2O_2)를 혼합한 용액에 넣고 약 80°C 에서 1시간 동안 교반하였다. 이후 클로로포름 > 알콜 > 증류수 순으로 각각 20분, 50°C 에서 초음파 세척기에서 세척을 진행하였다. 세척이 끝난 후에는 질소건으로 소자를 건조시켰다.

실험에서 전압은 $\pm 100 \text{ V}$ 까지 인가해줄 수 있는 Keithley 617을 사용하였고, 전압은 0.25 V 단위로 인가하여 측정하였다.

전압에 의해 발광하는 소자의 광은 Keithley 236 장비를 이용하여 측정하였다. 소자가 발광되는 발광면에서 각각 6.3 cm 의 위치에서 Si-photodiode를 이용하여 측정하였고, 발광 면적은 15 mm^2 이었다.

또한 온도에 따른 유기발광소자의 특성을 측정하기 위해서 Helix Technology 사의 저온 진공 장비를 이용하여 측정하였다. 저온 진공 장비는 소자의 측정부와 온도 조절 장치, 헬륨 공급 장치로 구성되었다. 대략 $5 \times 10^{-6} \text{ torr}$ 이상의 진공에서, 온도는 10 K 에서 300 K 까지 변화하며 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

유기발광소자에 전압을 인가하면 소자 양단의 양극과 음극에서 전자와 정공이 주입된다. 하지만 낮은 전압에서는 주입된 전하($I_{injection}$)보다 소자 내 불순물이나 결함에 의해 발생된 전하의 이동(I_{bulk})이 주류를 이룬다. 따

라서 소자에 나타난 전류 밀도는

$$J = en\mu F = en\mu \frac{V}{d} = \sigma F \quad (2-7)$$

이 되고, 전류 밀도와 전압의 관계를 살펴보면 $J \propto V$ 의 비례 관계를 갖는다. 여기서 J 는 전류밀도, e, n 은 각각 전자와 정공의 밀도, μ 는 이동도, F 는 전계, d 는 소자의 두께, V 는 전압을 말한다.

더 고전압이 인가되면 전류는 주입된 전하와 벌크 내의 전하가 평형($I_{injection} = I_{bulk}$)을 거쳐 주입된 전하($I_{injection} > I_{bulk}$)가 지배적이 되고, 벌크 내 전류(I_{bulk})보다 주입된 전류($I_{injection}$)가 주류를 이루면서 전류의 양이 지속적으로 증가하기 시작한다. 하지만 주입된 전류는 벌크 내 트랩에 포획되고 이들 포획된 전하에 의해 주입되는 전하가 제한받게 된다. 이 영역을 SCLC(space charge-limited current) 영역이라 한다.

4. 결론

ITO/Alq₃/Al 구조의 유기발광소자의 전류-전압 특성에 따른 전기전도 메커니즘을 온도 및 발광층의 두께 변화에 따라 살펴보았다. 온도 변화에 따라 용역영역에서의 전류가 증가하여 열적으로 여기된 전하의 이동 있음을 알 수 있었으며, 터널링이 일어나는 V_{TFL} 은 12 V 로 일정한 것을 알 수 있었다. 또한 발광층 두께에 따른 전류-전압특성 곡선을 살펴보면 온도변화에 따른 시료의 발광층 두께(60 nm)보다 두꺼운 발광층을 가진 시료의 전류-전압곡선과 다르게 깊은 트랩일 때의 경우와 일치하는 결과를 얻었다.

참고 문헌

- [1] I. H. Campbell, P. S. Davids, D. L. Smith, N. N. Barashkov, and J. P. Ferraris, "The Schottky energy barrier dependence of charge injection in organic light-emitting diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 15, 1998.