

유기 발광소자내 dark spot의 마이크로파 근접장 현미경(near-field scanning microwave microscope)을 이용한 연구

윤순일, 박미화, 유현준, 임은주, 김주영, 이기진
서강대학교

Investigation of dark spots in OLEDs by using a near-field scanning microwave microscope

Soonil Yun, Mihwa Park, Hyeonjun Yoo, Eunju Lim, Jooyoung Kim, Kiejin Lee
Seokang Univ.

Abstract

유기발광소자 안에 존재하는 비발광영역(dark spot)의 전압에 대한 영향을 근접장 마이크로파 현미경(near-field scanning microwave microscope)을 이용하여 관찰하였다. 유기발광소자는 glass/indiumtin oxide(ITO)/Cu-Pc/tris-(8-hydroquinoline)aluminum(Alq3)/aluminum(Al) 의 기본구조로 제작하였다. Dark spot은 ITO 기판을 부분적으로 에칭하여서 형성시켰다. Dark spot에 0~15 V 까지 전압을 인가시키면서 인가 전압에 따른 전기적 특성을 근접장 마이크로파 현미경 image의 변화와 반사계수인 S_{11} 측정을 통하여 연구하였다.

Key Words : OLEDs, near-field scanning microwave microscope, dark spot, S_{11} (coefficient reflection)

1. 서 론

유기 발광소자(organic light emitting diodes ; OLEDs)는 개발된 이래 디스플레이 응용가능성 때문에 많은 관심과 흥미를 유발시키고 있다. 1987년 Tang과 Van Slyke가 유기 발광 소자를 구현한 이래, 높은 효율과 다양한 색상을 구현하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 현재의 유기 발광 소자는 충분한 휘도와 다양한 색상을 구현하고 있으나, 디스플레이 영역의 실제적인 응용에는 오랜 시간 동안 작동할 수 있는 소자의 안정성이 문제가 되고 있다. 디스플레이 안정성의 문제는 구동시간에 비례하며 나타나는 소자 내의 비발광 영역(dark spot)의 형성이 소자 내의 불안정성을 초래하고 있다. 현재까지 dark spot 형성에 대한 여러 가지 원인이 보고되고 있다. 그 종류에는 전기적 단락에 의한 국소적 발열, 전극의 산화, 유기물 층간의 분리 유기물/전극에서의 전기 화학적 반응, 국소적인 유기물의 용해, pinhole, 수분의 흡착에 의한 소자의 분해 등이 있다. 전기적

단락에 의한 spot 부근의 높은 전류밀도에 의해 발생하는 발열은 유기물 층을 분해시키며 분해된 유기물 층 사이에 gas를 팽창시켜 dark spot을 시간이 지남에 따라 커지게 한다.[1~5]

실험에서는 전기적 단락에 의한 dark spot의 전기적 이미지 특성변화를 알아보기 위하여 비파괴, 비접촉방식의 근접장 마이크로파 현미경(near field scanning microwave microscope : NSMM)을 이용하여 관측하였다. SEM(scanning electron microscope)이나 전자의 양자적 터널링을 이용한 STM(scanning tunneling microscope)은 미세표면구조 관찰에 이용되고 있지만, sample의 전자기적 구조를 분석할 수 없는 단점을 가지고 있다. 그러나 마이크로파에서 밀리미터파 파장영역을 이용한 NSMM은 도체, 반도체, 유전체와 생물학적 시료까지 주파수 특성에 따라 시료의 표면구조 특성뿐 아니라 전자기적 구조 이미지까지 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.[6~7] 본 연구에서는 dark spot의

형성 메커니즘을 규명하기 위해 NSMM을 이용하여 dark spot의 구조적 및 전기적 특성을 연구하였다

2. 실험 방법

ITO($20\Omega/\text{cm}^2$)가 coating된 glass에 dark spot을 형성키 위해 발광영역의 ITO를 인위적으로 제거하기 위하여 염산(HCL)을 이용하였다. 에칭된 ITO/glass는 acetone, alcohol, distilled water의 순서로 5분 동안 초음파 세척기를 이용하여 세척한 후 질소가스로 기판을 건조시켜주었다. 각층의 유기물 박막은 $\sim 10^{-6}$ Torr의 진공도에서 $0.5\sim 0.7 \text{ \AA}/\text{sec}$ 의 속도로 thermal evaporation 방법으로 증착하였다. 음극의 재료는 일함수가 4.3 eV인 Al 금속을 사용하였고 크기가 $2\times 20 \text{ mm}^2$ 으로 미리 패턴화된 마스크를 이용하여 증착하였다. 증착한 층의 두께와 증착 속도는 진동 수정 결정판(oscillating crystal-quartz)이 연결된 모니터(TM 100-Maxtek)를 통해 조절하였다.

그림 1은 dark spot을 형성시킨 소자의 구조를 나타내었다. 부분적인 ITO의 식각으로 dark spot을 형성하였다. 그림 2는 마이크로파 근접장 현미경 실험 장치도이다. NSMM은 금속탐침과 연결된 공진기에 들어가는 입력과 출력 마이크로파의 신호를 이미지화 하는 방식이며 금속탐침 끝단의 곡률반경은 $7\sim 70 \mu\text{m}$ 의 탐침을 사용하였다. 입력주파수 주파수 대역은 $f=1\sim 1.5 \text{ GHz}$ 를 사용하였다. 또 금속탐침과 시료와의 거리는 $1\mu\text{m}$ 이내에서 실험을 해야하기 때문에 금속탐침의 끝단이 시료에 닿아 손상되는 것을 막기위해 일정한 거리를 유지 하면서 실험을 하였다. 금속탐침을 고정시키고 X-Y-Z stage에 부착하여 표면을 주사하였다. 데이터는 공진기에서 나오는 신호의 세기를 power meter(Anritsu ML4803A)를 통해 신호의 세기를 측정하였다. 제작된 OLED에 전압을 $0\sim 13 \text{ V}$ 까지 인가시키면서 sample의 전기적 image를 얻고 network analyzer(Aglient 8753SE)를 이용하여 시료 표면의 반사계수 및 임피던스를 측정하였다.

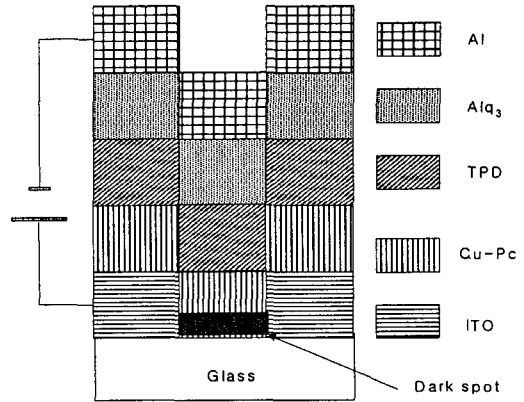


그림 1. 실험에 사용된 소자의 구조.

Fig 1. Typical device structure used in this work.

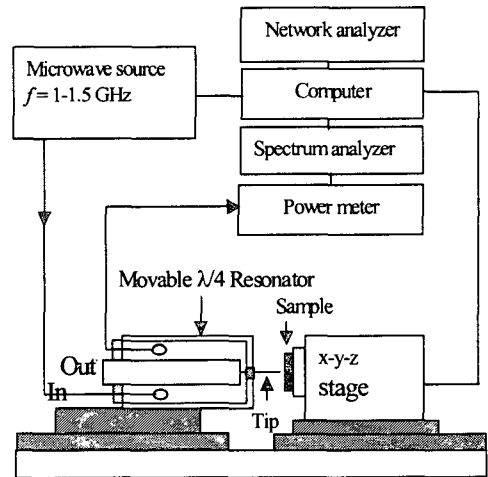


그림 2. 마이크로파 근접장 현미경 실험 장치도.

Fig. 2. Schematic of near-field microwave microscope.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 광학현미경을 이용하여 dark spot을 관측한 사진이다. ITO가 제거된 부분이 주위보다 낮은 표면의 높이를 갖는 것을 볼 수 있다.

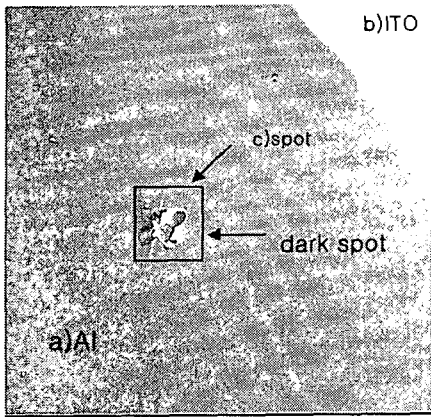


그림 3. 비발광영역(dark spot)의 광학현미경 이미지 (a) Al, (b) 유기물이 증착된 ITO (c) dark spot.

Fig. 3. Optical image of dark spot (a) Al, (b) deposited organic material on ITO, and (c) dark spot.

그림 4는 network analyzer를 이용하여 각시료 표면의 반사계수를 측정된 결과이다.

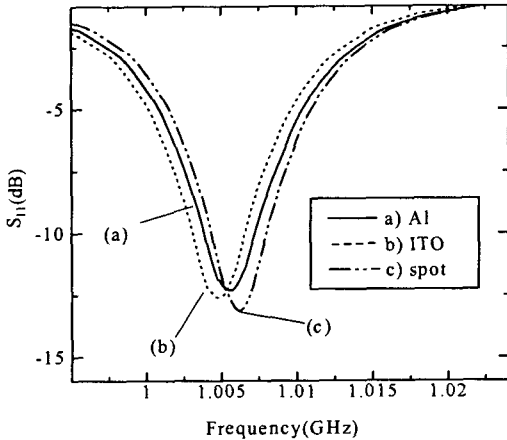
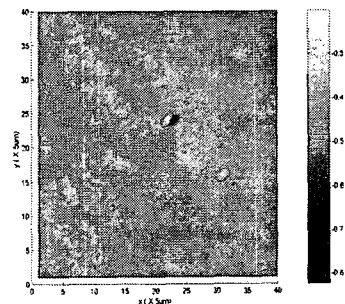


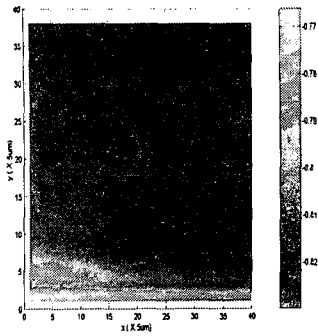
그림 4. 유기 발광 소자내의 반사계수 S_{11} (a) Al, (b) ITO, 및 (c) dark spot.

Fig. 4. Measured reflectivity S_{11} of (a) Al, (b) ITO, and (c) dark spot in OLEDs.

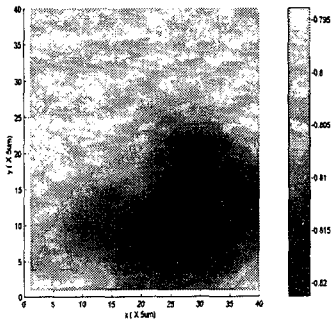
(a), (b), (c) 부분의 반사계 수를 측정하였다. 표시한 사각형의 부분은 NSMM으로 측정하였다. Al박막부분은 반사계수 값이 가장 작게 나타났으며, 유기물이 증착된 ITO와 dark spot 의 저항값을 비교해보면 ITO가 Al보다는 저항값이큰 것을 알수 있다. 서로 다른 물질의 층으로 이루어진 spot부근의 NSMM image를 그림 5에 나타내었다. OLED에 0 V, 7 V, 13 V로 전압을 증가했을때 spot부근의 NSMM image를 보여주고 있다. 팁과 샘플 사이에 약 0.5 μm 간격을 두고 사각형의 영역에 대해 이미지 특성을 NSMM 0v의 image에서 볼수 있듯이 같은 전기 전도도를 갖는 Al은 sample의 높이에 상관없이 NSMM Image에서 같은 전기적 특성을 보여주었다. 7 V의 전압을 인가한 후 얻은 NSMM image에 dark spot부근이 검게 변화되는 것을 볼 수 있다. 그림 5(c)와 같이 NSMM image에서 검게나타나는 부근은 저항 임피던스값이 큰.부분으로 부도체같이 전기 전도도의 값이 낮은 부분을 나타낸다. 전압을 인가한 후 dark spot 부분의 저항 임피던스 값이 다른부분에 비해 큰값을 나타나게 되는 것을 알수 있다. 13 V의 전압이 인가된 소자에서는 sample 전체 부분의 저항 임피던스 값이 커짐을 관측할 수 있다. 이는 시간이 지나면서 유기소자의 발광특성이 사라지고 NSMM image로부터 전체 소자의 전기 전도도가 떨어지는 것을 의미한다. 시간이 지나면서 dark spot주위의 높은 전류밀도에 의한 발열현상으로 dark spot을 중심으로 gas가 팽창되어 층간 분리에 의해 전기전도도가 떨어지며 그 범위가 점점 확대되어지는 매커니즘으로 이같은 현상을 예측할수 있었다. 그림 6은 dark spot과 발광영역에서의 EL spectrum 특성을 나타낸다. 발광영역에서의 EL Intensity가 dark spot영역에서의 값보다 높은 것을 관측을 통해 알수 있었다.



A) Stress 0 V



B) Stress 7 V



C) Stress 13 V

그림 5. 전압에 따른 NSMM의 3차원 이미지.
Fig 5. NSMM Images of various applied voltages.

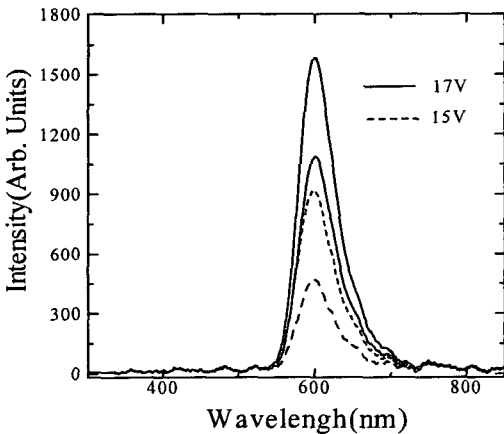


그림 6. 발광영역과 dark spot의 EL spectrum.
Fig 6. Electroluminescence spectrum of emissive area and dark spot region.

4. 결론

본 논문에서는 부분적으로 ITO를 제거해 인위적으로 dark spot을 만들어 인가 전압을 변화시키면서 근접장 마이크로파 현미경을 통하여 dark spot의 전기적 특성을 관찰하였다. 높은 전압이 인가되면서 시간이 지남에 따라 소자의 dark spot의 영역이 커짐을 관찰할 수 있었다.

5. 감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 목적 기초연구 (R01-2001-000-00042-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] L. Ke, S. Jin, K. Zhang, P. Chen, Appl. Phys. Lett. 80, 171(2002)
- [2] W. Wang, S. Fang, L. Soo, J. Chua, Appl. Phys. Lett. 91, 5712(2002)
- [3] Y. F. Liew, H. Aziz, N. X. Hu, G. Xu, Z. Popovic, Appl. Phys. Lett. 77, 2650(2000)
- [4] L. S. Liao, J. He, Zhou, M. Lu, Z. H. Xiong, Z. B. Deng, S. T. Lee, J. Appl. Phys. 88, 2386(2000)
- [5] H. Aziz, Z. Popovic, C. P. Tripp, N. X. Hu, G. Xu, Appl. Phys. Lett. 72, 2642(1998)
- [6] J. Kim, S. Hong, W. Park, K. Lee, Sae Mulli (The Korean Physical Society) Vol.42, No.6, 81(2001)
- [7] S. Hong, J. Kim, W. Park, and K. Lee, Appl. Phys. Lett. 80, 524(2002)