

# 플렉시블 디스플레이용 CNT 애노드 특성 및 이를 이용하여 제작한 플렉시블 OLED 특성 분석

김한기\*, 정진아, 문종민  
금오공과대학교, 정보나노소재공학과

## Characteristics of Carbon Nanotube Anode for flexible displays and characteristics of OLEDs fabricated on Carbon Nanotube Anode

Han-Ki Kim\*, Jin-A Jung, and Jong-Min Moon

Dept. of Information and Nano Materials Engineering, Kumoh National Institute of Technology (KIT)

**Abstract:** We prepared flexible transparent conducting electrodes by spray coating of single-walled carbon nanotube (SWNT) networks on PET substrate and have demonstrated their use as transparent anodes for flexible organic light emitting diodes (OLEDs). The flexible CNT electrode produced by spray coating method shows relatively low sheet resistance ( $150\sim 220\Omega/\text{sq.}$ ) and high transmittance of  $\sim 60\%$  even though it was prepared at room temperature. In addition, CNT electrode/PET sample exhibits little resistance change during 2000 bending cycles, demonstrated good mechanical robustness. Using transparent CNT electrode, it is readily possible to achieve performances comparable to commercial ITO-based OLEDs. This indicates that flexible CNT electrode is alternative anode materials for conventional ITO anode in flexible OLEDs.

**Key Words :** CNT, transparent conducting electrode, flexible OLED, Anode

### 1. 서론

최근 플렉시블 디스플레이의 투명 전극으로 사용되는 ITO 전극을 대체할 수 있는 카본나노튜브(CNT) 투명전극에 대한 관심이 높아지고 있다. [1-3] CNT network을 이용하여 제작하는 CNT 투명 전극은 상압에서 제작이 가능하고, 대면적으로 제작이 용이하며, 기판 변형에 따른 CNT 박막의 기계적 특성이 우수하여 기존의 ITO 투명 전극을 대체할 수 있는 새로운 플렉시블 전극 재료로 알려져 있다. 특히 CNT network 구조의 장점을 살려 기존의 ITO 전극이 가진 단점인 변형에 따른 crack 전파, In 가격의 상승에 따른 재료비 상승, 진공을 이용한 고가의 공정, 저온 공정의 어려움을 해결할 수 있어 선진국을 중심으로 한 많은 연구가 진행 중에 있다. 본 연구에서는 이러한 CNT 투명 전극을 스프레이 코팅 법으로 PET 기판 상에 제작하여 전기적, 광학적, 구조적, 표면 특성을 분석하고 플렉시블 투명 전극으로써의 가능성을 제시하였다. 특히 제작된 CNT 투명 전극 상에 플렉시블 OLED를 제작하여 CNT 투명 전극의 ITO 전극 대체 가능성과 제작된 플렉시블 OLED의 전기적, 광학적 특성을 분석하였다.

### 2. 실험

본 실험에 사용된 CNT 투명 전극을 제작하기 위하여 상업화된 Single wall CNT를 구입하여 계면활성제와 함께 용액에 섞어 스프레이 코팅할 수 있는 CNT 용액을 제작하였다. 이 용액은 porous membrane을 이용하여 필터링한

후 스프레이 법으로 PET 기판 상에 코팅하였다. 이렇게 제작된 CNT 투명 전극은 포항 가속기 X-ray scattering을 이용하여 나노 구조 분석을 진행하였다. 또한 UV-visible spectrometer를 이용하여 CNT 박막의 두께와 저항에 따른 투과도를 분석하였고 four point probe를 이용하여 sheet resistance를 측정하였다. SEM과 AFM 분석을 통해 CNT 투명전극의 표면 특성을 관찰 하였으며 Bending tester를 이용하여 CNT/PET 기판의 bending cycle 증가에 따른 저항의 변화 특성을 ITO/PET 기판과 비교 분석하였다. 이렇게 제작된 CNT/PET 기판을 이용해 플렉시블 OLED를 제작하였다. 기본 소자 구조인 Al/LiF/NPB/Alq<sub>3</sub>/CNT/PET 구조의 플렉시블 OLED를 제작하였으며 Keithely2400과 Si포토다이오드를 이용하여 소자의 전류-전압-휘도 특성을 비교 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 제작된 CNT 투명전극의 sheet 저항의 변화에 따른 투과도를 나타내고 있다. 박막의 sheet 저항은 CNT 투명 전극의 두께가 증가할수록 감소하지만 이렇게 되면 박막의 투과도와 낮아져 투명전극으로써 이용할 수 없게 된다. 따라서 플렉시블 디스플레이에 적용할 수 있는 투과도와 sheet 저항을 나타내는 두께의 최적화가 필수적이다. 낮은 sheet저항의 CNT 투명 전극을 사용할 경우 저항성분의 감소는 기대할 수 있으나 두꺼운 박막은 낮은 투과도를 나타내어 플렉시블 OLED의 발광 효율이 떨어지게

된다. 반대로 높은 투과도를 나타내는 얇은 CNT 투명 전극은 저항 성분이 커져 계면에서의 열을 발생시켜 소자를 열화시키게 된다. 따라서 투과도와 sheet 저항의 최적화 공정은 CNT 투명 전극 제작에 있어 핵심 변수로 작용한다. 그림 1에 삽입된 AFM 이미지는 PET상에 스프레이 방식으로 코팅된 CNT 박막이 network를 형성하여 전극으로써의 역할을 할 수 있음을 나타낸다.

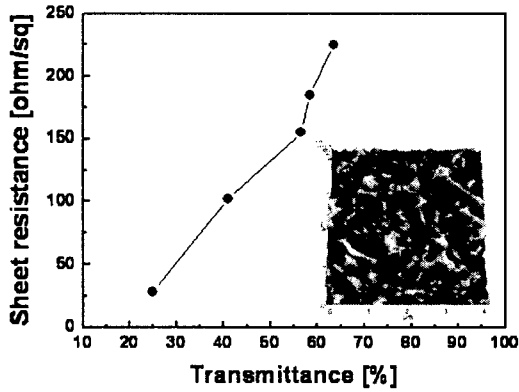


그림 1. CNT 투명 전극의 sheet 저항 변화에 따른 투과도 변화와 표면 AFM 이미지

그림 2는 ITO/PET 기판과 CNT/PET 기판의 bending 사이클 증가에 따른 저항 변화를 나타낸다. 일반적으로 상온에서 증착되는 ITO 박막은 microcrystalline을 함유한 비정질 상태나 결정질 상태로 성장하기 때문에 bending시 crack의 형성과 전파가 쉽게 일어나 sheet 저항이 증가하게 된다. 그러나 CNT 투명 전극의 경우 network 형태의 구조를 가지고 있기 때문에 bending시 저항변화가 일어나지 않으며 2000회 이상의 bending 사이클 후에도 일정한 저항을 나타내고 있다. 이러한 안정된 기계적 특성은 플렉시블 디스플레이용 투명 전극이 가져야할 매우 중요한 특성이다.

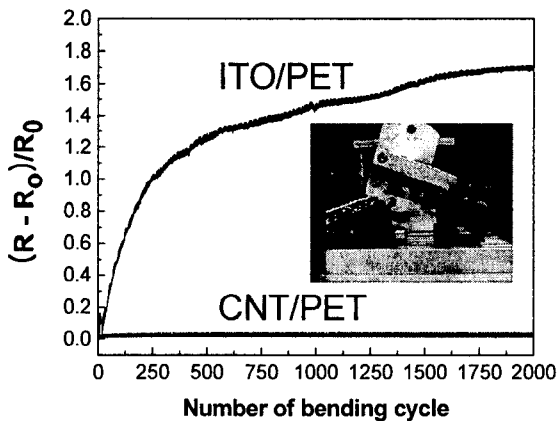


그림 2. CNT/PET기판과 ITO/PET기판의 bending cycle 증가에 따른 저항 변화

그림3은 서로 다른 sheet 저항을 가진 CNT/PET 기판 상에 제작된 플렉시블 OLED의 전류밀도-전압-휘도 특성을

나타내고 있다. 현재 CNT 투명 전극의 코팅 공정 최적화가 완벽하게 이루어지지 않아 일반적인 ITO/PET상에 제작한 OLED 보다는 낮은 휘도와 전류 밀도를 나타내고 있지만 CNT 투명 전극 공정의 최적화를 통해 더 높은 투과도와 더 낮은 sheet 저항을 가지는 투명 전극을 제작한다면 더욱 향상된 특성을 가지는 플렉시블 OLED를 제작할 수 있을 것으로 기대한다.

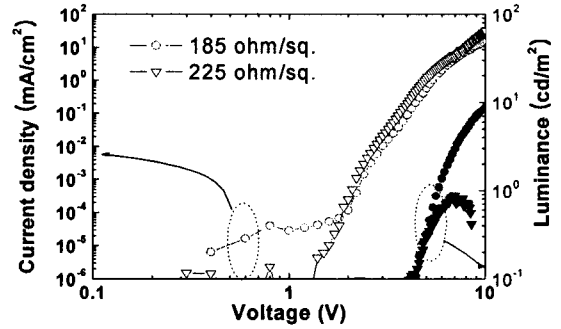


그림 3. 플렉시블 CNT 투명 전극 상에 제작된 플렉시블 OLED의 J-V-L 특성

#### 4. 결론

스프레이 코팅법으로 상압, 상온에서 PET 기판 상에 제작한 CNT 투명 전극의 전기적, 구조적, 광학적, 표면 특성을 분석하고 이를 이용하여 플렉시블 OLED를 제작하였다. PET 기판 상에 제작된 CNT 투명 전극은 sheet 저항의 감소에 따라 투과도의 감소를 나타내었다. 또한 CNT/PET 기판 상에 제작된 플렉시블 OLED는 안정된 J-V-L 특성을 나타내었으나 추가적인 CNT 투명 전극 제작 공정의 최적화를 통해 특성 향상을 필요로 하는 상황이다. 그러나 bending cycle에 증가에 따른 CNT 투명 전극의 안정적인 특성은 공정최적화만 이루어진다면 CNT 투명전극 애노드가 차세대 플렉시블 OLED에 적합한 애노드 재료임을 나타낸다.

#### 참고 문헌

- [1] Z. Wu, Z. Chen, X. Du, J. M. Logan, J. Sippel, M. Nikolou, K. Kamaras, J. R. Reynolds, D. B. Tanner, A. F. Hebard, and A. G. Rinzler, Transparent, Conductive Carbon Nanotube Films, *Science*, 305, p. 1273, 2004
- [2] C. M. Aguirre, S. Auvray, S. Pigeon, R. Izquierdo, P. Desjardins, and R. Martel, Carbon nanotube sheets as electrodes in organic light-emitting diodes, *Appl. Phys. Letts.* 88, p. 183104, 2006.
- [3] J. Lagemaat, T. M. Barnes, G. Rumbles, S. E. Shaheen, C. Weeks, I. Levitsky, J. Peltola, and P. Glatkowski, Organic solar cells with carbon nanotubes replacing  $In_2O_3:Sn$  as the transparent electrode, *Appl. Phys. Letts.* 88, p. 233503, 2006.