

## 스크린 프린팅 방법에 의해 게이트-에미터간 자체정렬된 3극 구조의 CNT FEA 제조

### Fabrication of CNT FEA Self-aligned between Gate and Emitter using Screen Printing Method

권상직<sup>1,a</sup>  
(Sang Jik Kwon<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

A carbon nanotube field emission display(CNT FED) panel with a 2 inch diagonal size was fabricated using a screen printing of a prepared photo-sensitive CNT paste and vacuum in-line sealing technology. After a surface treatment of the patterned CNT, only the carbon nanotube tips are uniformly exposed on the surface. The diameter of the exposed CNTs are usually about 20 nm. Using the photo-sensitive CNT paste, we have developed a triode type CNT FEA with a self-aligned gate-emitter structure. The turn on voltage was around 100 V which corresponds to according the turn on field of about 40 V/ $\mu\text{m}$ . By the creation of a self-aligned gate-emitter structure, it is expected that the screen printed photo-sensitive CNT paste is promising as a good candidate for the large size field emission display.

**Key Words** : Carbon nanotube, Self-aligned gate-emitter, Screen printing

#### 1. 서 론

전계방출디스플레이(FED)는 CRT와 같은 영상 화질을 가지며 저 전력소모를 발생시키는 소자로서 인식되어왔고 대형 평판디스플레이를 위한 대체기술로 기대되어 왔다. 따라서 대형 스크린 크기의 FED 패널을 생산하기 위해서는 가장 가격경쟁력이 높은 방법을 찾는 것이 중요하다.

지금까지, 보다 나은 방출특성 및 안정한 특성을 갖는 여러 형태의 에미터들이 연구되어왔는데, Spindt 형 에미터[1], surface conduction emitter (SCE)[2], metal insulator metal (MIM)[3], ballistic electron surface emitting device (BSD)[4], 및 carbon nanotube (CNT)[5,6] 등이 있다. 이러한 에

미터들 중에서 CNT는 낮은 일함수, 화학적 및 물리적 안정성 등으로 인해 전자 방출원 으로서 가장 유망한 후보가 되어왔다[7,8]. CNT는 높은 aspect ratio, 작은 반경 및 높은 전기적 전도도 등과 같은 고유한 특성을 가진다. 극히 작은 반경의 곡면, 화학적 및 물리적 안정성을 갖는 CNT는 다양한 응용을 가능하게 하여왔다. 특히, 높은 aspect ratio 및 화학적 안정성은 전자 방출원 으로서의 가능성을 높게 하였다. CNT를 포함하는 용액을 통해 그려진 세라믹 필터를 이용한 에미터[9] 라든지 감광성 유리질을 이용한 row-column matrix addressable CNT 에미터 디스플레이[10] 들이 개발되어 왔다.

CNT 에미터를 제조하는 여러 가지 기술들 중에서, 스크린 프린팅법이 대형 스크린 크기에 적용하기에 매우 용이하기 때문에 가장 효과적인 방법 일 수 있다. 즉, CNT를 페이스트화 하여 스크린 프린팅 함으로써 CNT 에미터들이 저가격으로 대형 사이즈에 쉽게 이용될 수 있다는 점이다.

1. 경원대학교 전자공학과

(경기도 성남시 수정구 복정동 산65)

a. Corresponding Author : sjkwon@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2006. 1. 25

1차 심사 : 2006. 2. 16

심사완료 : 2006. 3. 2

앞서 아노드-캐소드 구조를 갖는 다이오우드형 CNT FEA를 제조하여 특성을 평가하였고 본 연구에서는 이를 게이트-에미터 및 아노드 구조를 갖는 3극형 CNT-FED 개발에 적용하고자 하였다. 3극형 CNT FEA 구조는 게이트 홀과 에미터 원 간에 중심축이 항상 동일하게 형성되는 자체정렬(self-aligned) 방식에 의해 형성된다는 것이 본 연구의 특징이다.

## 2. 실험

먼저 전도성 접착성 용액에 바늘 형태의 카본나노튜브의 다발을 분산하여 만든 CNT 페이스트를 준비하였다. 카본 나노튜브는 수십 nm의 직경을 가지며 1 내지 수  $\mu\text{m}$  길이를 가지는 완전히 카본화된 실린더 형태이다. 이와 같은 카본나노튜브는 아크-방전 기술에 의해서 얻어진다. 전도성 CNT 페이스트는 vehicle에 낮은 소프트 온도의 프린트 glass를 바인더 성분으로 첨가시켜 실버 입자를 분산함으로써 만들어진다. 또한 vehicle은 ethyl cellulose와 같은 resin이 terpineol과 같은 용액에 분해되어 우수한 열분해성과 휘발성을 갖는 접착질의 용액이다. 이와같은 CNT 페이스트에 감광성 리지스터를 혼합함으로써, 페이스트는 전형적인 포토리소그래피 기술에 의해 패터닝 될 수 있다. 패터닝된 CNT 에미터는 유리기판 상에 형성되며 형광스크린을 갖는 아노드 유리기판이 전자 방출원과 마주하여 CNT-FED라 불리는 진공 발광 디스플레이를 구성한다. 이렇게 하여 CNT 전자방출원에 의해 방출되는 전자들은 형광체 층과 충돌하여 cathodoluminescent 가시광선을 발생시킨다.

본 연구에서는 전자방출을 위한 turn-on 전압을 낮추고 다이오우드 구조에서 발생할 수 있는 아킹(arc) 문제를 피하기 위하여, 게이트 전극을 갖는 3극 구조의 CNT-FEA를 개발하고자 그림 1에서와 같이 3극구조의 CNT FEA가 제안되었다. 이 구조에서의 특징은 게이트 홀(hole) 및 CNT 에미터가 자체정렬(self-align) 방식에 의해 정렬된다는 것이다.

게이트-에미터 전극을 갖는 3극 구조의 CNT-FEA를 위한 제조공정 순서가 그림 2에 보여져 있다. 패널은 두 장의 소다라임 유리로 구성되며 후면 유리기판은 7 cm×9 cm 크기, 1.8 mm의 두께를 가지며 ITO가 코팅되어 있다. 전면 유리기판은 7 cm×8 cm 크기로서 1.8 mm의 두께를 갖는다. 이

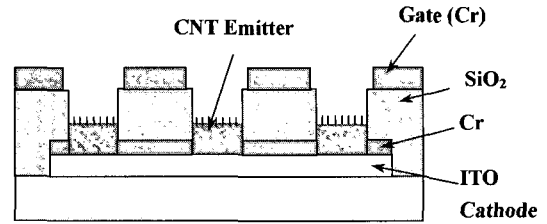


그림 1. 3극 구조의 CNT FEA 단면그림.  
Fig. 1. Cross section view of the triode structure CNT FEA.

실험에서 패널의 활성면적은 3.5 cm×3.5 cm 이다. 먼저, 후면 유리기판 상에 350  $\mu\text{m}$ 의 폭을 가지며 150  $\mu\text{m}$ 의 간격을 갖는 ITO 전극라인들이 형성된다. 캐소드 라인들은 Cr 금속층으로 덮힌 ITO 층으로 구성되어 있다. 단지 하나의 게이트 홀 마스크를 써서 게이트 홀 에칭, 게이트 산화막 에칭, 및 캐소드 Cr 에칭을 포함한 공정들이 순서적으로 진행된다. 그런 다음, 감광성 CNT 페이스트가 유리기판의 위쪽에 스크린 프린팅 되어 형성된 게이트 홀 속으로 채워진다. 후면으로부터 UV 파장을 노광하고 솔벤트 용액에 현상함으로써 노광되지 않은 CNT 페이스트가 제거되고 게이트 홀 안의 노광된 CNT 페이스트만이 남게된다. 페이스트는 네가티브 감광성을 갖기 때문에 UV가 노출된 CNT 페이스트는 현상후에 남게되며 반면에 노광되지 않은 부분은 현상액에 의해서 제거된다. 현상후에 남게된 CNT 페이스트는 450  $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 베이킹된다. 소결후 바인더 속에 묻혀있는 CNT들을 표면 상으로 노출시키기 위해서는 표면처리 작업을 해 주어야 하는데 본 연구에서는 여러 가지 표면처리 방법(예를 들어, 플라즈마 처리방법, 레이저 빔 조사 방법 및 이온 빔 조사방법 등) 중에서 효율성이 가장 높은 접착성 테이핑(adhesive taping) 방법을 적용하였다. 접착성 테이핑 방식은 한쪽 면에 접착제가 형성된 필름을 프린팅된 CNT 페이스트 후막 상에 lamination 방식으로 붙였다가 때면 CNT 페이스트의 후막 중에서 표면의 일정부분에서만 바인더 성분이 제거됨으로써 바인더에 묻혀있는 CNT들이 표면으로 노출되는 현상을 이용하는 것이다.

형성된 CNT FEA의 직경은 캐소드 Cr의 에칭홀 직경에 의해 조절되며 게이트 금속홀의 직경은 게이트 홀 에칭시간을 조절함으로써 쉽게 조절가

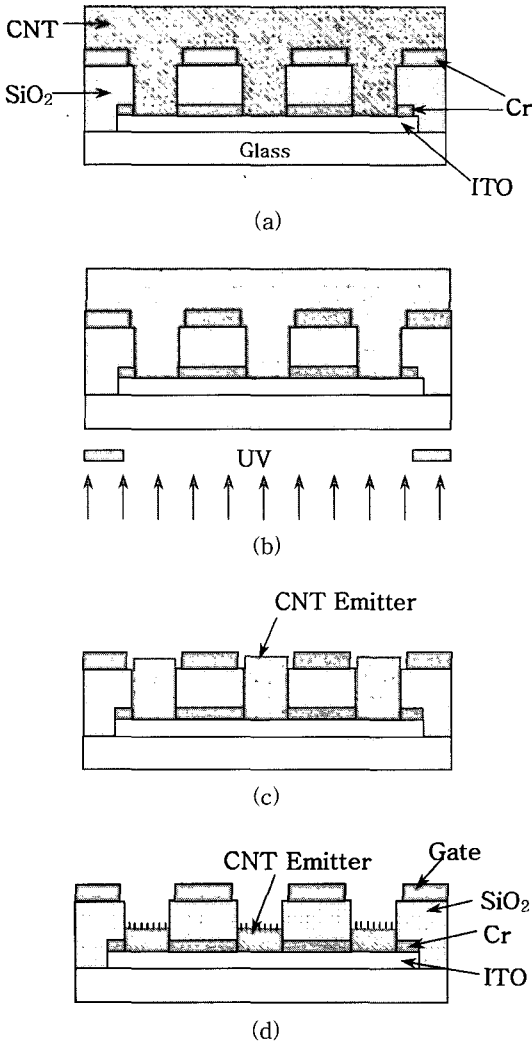


그림 2. 3극 구조의 CNT-FEA 제조공정 순서 : (a) CNT 페이스트이 스크린 프린팅, (b) UV 후면노광, (c) 현상 및 (d) 표면처리.  
 Fig. 2. Process sequence of the triode CNT-FEA : (a) Screen printing of CNT paste, (b) back-side UV exposure, (c) development and (d) surface treatment.

능하다. 본 실험에서 얻어진 게이트 홀의 직경은 약  $64 \mu\text{m}$  였다. CNT FEA의 높이는 UV 노광시간에 의해 조절 가능한데 중요한 것은 게이트 홀의 원과 CNT FEA의 원이 동심원이라는 것이다. 이것을 '자체정렬(self-aligned) 구조'라 일컫는다. 본 실험에서는 노광시간을 150초로 하였으며 접착 테

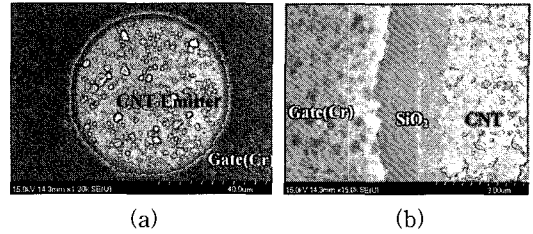


그림 3. 게이트 전극을 갖는 CNT FEA의 SEM 사진 : (a) 에미터 홀 (b) 홀의 가장자리.  
 Fig. 3. SEM views of the CNT FEA with gate electrode : (a) emitter hole, (b) hole edge.

이핑(adhesive taping) 방법에 의해 표면처리를 수행한 후, 게이트 전극을 갖는 CNT FEA를 제작하였고 그 결과가 그림 3에 보여져 있다. 결과에서 보는 바와 같이 에미터 원과 게이트 홀이 동심구조를 이루는 것을 볼 수 있다. CNT 에미터의 가장자리로부터 게이트 홀 까지의 거리는 약  $2.5 \mu\text{m}$  인 것으로 보여진다. 또한 게이트 전극과CNT와의 높이 차이는, 게이트 절연막의 두께와 감광성 CNT 페이스트의 노광시간에 의해 결정되며 본 실험에서는  $\alpha$ -step 측정으로 분석결과 게이트 전극의 높이가 CNT의 높이보다 높은 것으로 나타났으나 정확한 수치를 위해서는 노출된 CNT들의 끝부분과 게이트 전극의 높이와의 차이이므로 보다 정밀한 측정방법이 요구된다.

### 3. 결과 및 고찰

3극 구조의 CNT FEA에 대한 전계방출 특성을 측정하기 위하여, CNT FEA가 형성된 캐소드 유리기판과 형광스크린이 있는 ITO 유리기판이 진공 챔버 속으로 장착되었다. 두 유리기판 간의 간격은  $200 \mu\text{m}$  로 조정되었으며 터보펌프를 이용해  $1 \times 10^{-6}$  torr의 최종 진공도를 확보하였다. 3극 구조의 CNT FED에 대한 전계방출특성 및 발광특성 측정을 위한 챔버와 시편간의 연결 구성도 및 시편 구조가 그림 4에 보여져있다. 먼저, 적절한 아노드 바이어스 전압을 구하기 위하여 ITO 전극을 통해 2인치 면적 전체에 대해 아노드 전압을 인가하고 게이트 전극은 float된 채로 두고서 다이오우드 모드의 전계방출특성을 측정하여 보았다. 그 결과 그림 5(a)에서 보여진 바와 같이 전자방출이 아노드 전압 600 V에서 발생하기 시작하였는데 이 전압은

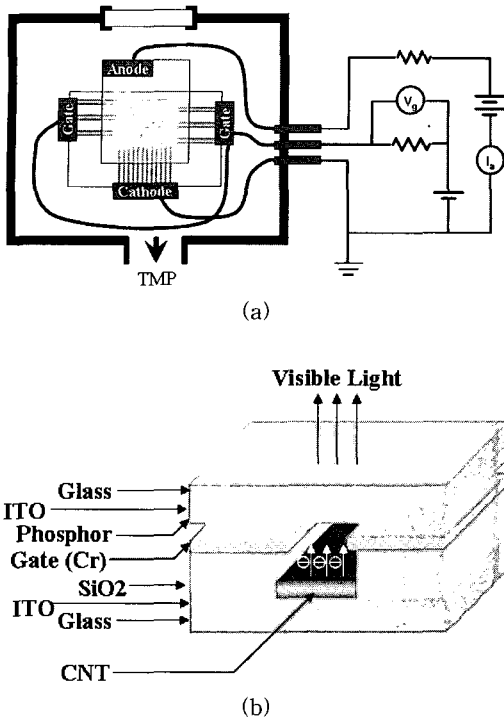


그림 4. 3극 구조의 CNT FED에 대한 전계방출 특성 및 발광특성 측정을 위한 (a) 측정 구성도 및 (b) 시편 구조.  
 Fig. 4. (a) System configuration, and (b) sample structure for measuring the emission characteristics of the triode CNT FED.

3 V/ $\mu\text{m}$ 의 turn on 전계에 해당하는 값이다. 따라서 triode 모드의 동작을 위해서는 아노드 전압에 의한 전자방출을 피해야하는데 그러기 위해서는 200  $\mu\text{m}$ 의 아노드-캐소드 간격에 대해서 인가할 수 있는 최대 아노드 전압이 600 V 이하임을 알 수 있다. 두 번째 중요한 것은 triode 모드 동작에 있어서 게이트 전압에 의해 CNT 에미터로부터 방출된 전자들을 아노드 쪽으로 모두 도달하게 하기 위한 최소 아노드 전압을 구하는 것인데 이를 위하여 아노드 전압을 450 V, 500 V, 및 550 V로 변화시켜가며 게이트 전압에 따른 전계방출특성을 측정하였다. 그림 5(b)에서 보여진 바와 같이 게이트 전극의 turn on 전압은 100 V 근처인 것으로 나타났으며 이는 게이트-에미터간 간격이 2.5  $\mu\text{m}$ 인 것을 감안하면 40 V/ $\mu\text{m}$ 의 turn on 전계에 해당하는 값이다. 결과에 의하며 아노드 전압이 증가할수록 turn on 전압은 약간씩 감소하는데 반

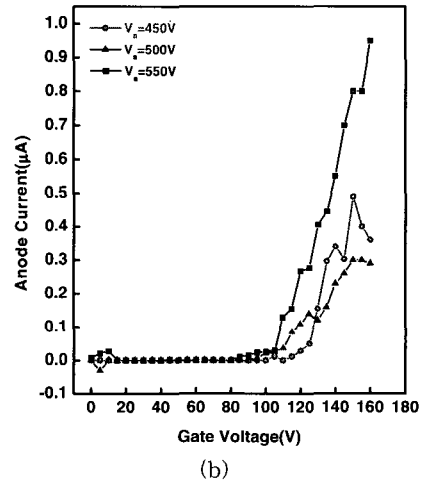
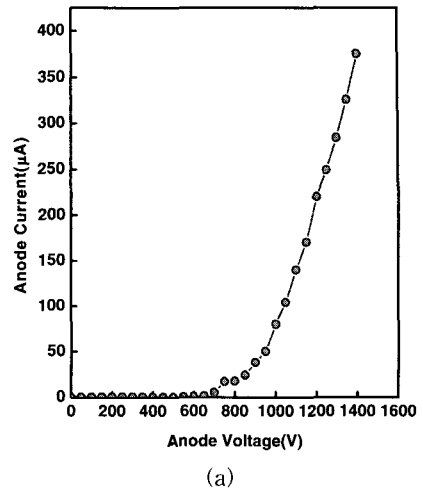


그림 5. (a) 게이트 전극을 float 시키고 다이오드 모드 동작에서의 I-V 특성, (b) 아노드 전압 변화에 따른 게이트전압-방출 전류 특성곡선.  
 Fig. 5. (a) Diode mode I-V characteristics with gate floated, and (b) triode mode I-V characteristics depending applied gate voltage.

해 방출전류 레벨은 크게 증가한다. 이러한 현상은 아노드 전압이 높아질수록 방출된 전자들이 게이트 전극으로 끌려가는 현상을 억제시키고 따라서 아노드에 도달하는 확률을 높이기 때문이다.

그림 6(a) 및 (b)는 각각 다이오드 모드 동작 및 triode 모드 동작에 대한 발광 사진을 보여주는

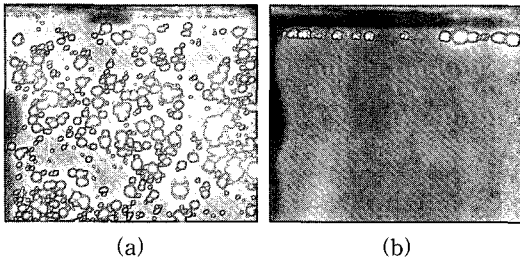


그림 6. (a)  $V_a=1$  kV 인가시 다이오우드 모드 방출특성을 보여주는 발광사진(게이트 전극은 모두 floating), (b)  $V_a=550$  V 인가시 하나의 게이트 전극라인에 게이트 전압,  $V_g=160$  V를 적용함으로써 방출되는 전자에 의한 발광패턴사진.

Fig. 6. Light emission pictures (a) in diode mode at  $V_a=1$  kV, and (b) in triode mode at  $V_g=160$  V &  $V_a=550$  V.

것이다. 그림 6(a)의 다이오우드 모드 발광시에는 캐소드 전극과 아노드 전극이 각각 하나로 연결되어 있으므로 2인치 면적 전체에 걸쳐 전자방출이 발생하며 그에 따라 전면발광이 발생하나 그림 6(b)의 triode 모드 동작에서는 69개의 게이트 라인들 중에서 첫 번째 라인에만 160 V의 게이트 전압이 인가되고 나머지 게이트 라인들은 전압이 인가되지 않았다. 그 결과 게이트 전압이 인가된 첫 번째 라인은 발광이 발생하나 나머지 영역에서는 다이오우드 모드 방출이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 즉, 아노드 전압을 550 V 정도 인가하면 전자방출은 게이트 전압에 의해서 안정적으로 조절될 수 있음을 확인할 수 있다. 게이트 전압이 인가된 라인 중에서도 부분적으로 발광이 발생하지 않는 픽셀이 존재하는 것은 해당 픽셀의 CNT와 게이트 라인간의 단락(short) 현상이 발생하기 때문인 것으로 보여지며 이를 개선하기 위해서는 CNT 페이스트의 제조시 바인더 성분들이 균일하게 분포하도록 페이스트 제조기술의 개선이 필요하다.

#### 4. 결론

감광성 CNT 페이스트의 스크린 프린팅법 및 인-라인 진공실장 기술을 이용하여 2인치 대각선 크기의 3극형 CNT FEA를 제조하였다. 감광성

CNT 페이스트를 스크린 프린팅하고 포토리소그래피 공정을 거쳐 3극 구조의 CNT FEA 제작이 가능하였다. 특히, 하나의 게이트 금속막 홀과 캐소드 금속의 opening window를 통해 UV를 후면 노광함으로써 자체정렬된 gated-CNT 에미터를 형성할 수 있었다. 본 구조에 있어서 아노드와 캐소드 간의 간격을 200  $\mu\text{m}$ 로 하였을 경우 게이트 전압에 의해 방출된 전자들이 게이트 전극으로 누설되지 않고 아노드 전극으로 안정적으로 도달하기 위해서는 아노드 전압을 500 V 이상 인가하여 주어야 하고 반면에 아노드 전압에 의해 에미터 전자가 방출되는 다이오우드 모드 동작을 피하기 위해서는 아노드 전압을 600 V 이하로 인가하여야 함을 알 수 있었다. 본 연구의 CNT FEA 구조에서 형성된 게이트-에미터간 간격 2.5  $\mu\text{m}$ 에 대해 turn-on 전계는 대략 40 V/ $\mu\text{m}$ 로 나타났으며 이는 기존의 Spindt 형 에미터나 Si 원추형 에미터에서 보여주는 80 내지 100 V/ $\mu\text{m}$ 에 비해 훨씬 낮은 값으로 비교된다.

특히, 감광성 CNT 페이스트의 스크린 프린팅 방법에 의해 자체정렬된 게이트-에미터 구조를 제작 가능케 함으로써, 향후 대형의 디스플레이나 면광원으로서의 유망한 대체기술이 될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] C. A. Spindt, C. E. Holland, and R. D. Stowell, "Field emission cathode array development for high current density application", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 16, p. 268, 1983.
- [2] M. Okuda, S. Matsutani, A. Asai, A. Yamano, K. Hatanako, T. Hara, and T. Nakariri, "Electron trajectory analysis of surface conduction electron emitter displays (SEDs)", *SID 98 Digest*, p. 185, 1998.
- [3] T. Kusunoki, M. Suzuki, S. Sasaki, T. Yaguchi, and T. Aida, "Fluctuation-free electron emission from non-formed metal-insulator-metal (MIM) cathodes fabricated by low current anodic oxidation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 32, p. L1695, 1993.
- [4] T. Komoda, T. Ichihara, Y. Honda, T. Hatai, T. Baba, Y. Takegawa, Y. Watabe, and K. Aizawa, "Demonstration of a

- possibility for a large panel BSD by fabricating 7.6 inches diagonal prototype model", SID 03 Digest, p. 910, 2003.
- [5] Y. C. Kim, K. H. Shon, Y. M. Cho, and E. H. Yoo, "Posttreatment-dependent current degradation and role of tube length on morphology of printed carbon nanotube field emitters", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 26, p. L848, 2005.
- [6] H. Mizukami, M. Ojima, S. Hiwatashi, H. Araki, A. Fujiti, M. Ozaki, and K. Yoshino, "Fabrication and field emission properties of  $C_{60}$  nanorod formed by spin-cast treatment", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 26, p. L851, 2005.
- [7] Y. H. Kim, C. J. Park, and K. J. Chang, "Subbands in carbon nanotubes under radial deformation", J. Korean Phys. Soc., Vol. 37, p. 85, 2000.
- [8] H. S. Uh, "Low turn-on voltage field emission triodes with selectively grown carbon nanotube emitters", J. Korean Phys. Soc., Vol. 45, p. 1343, 2003.
- [9] J. M. Bonard, J. P. Salvetat, T. Stockli, W. A. de Heer, L. Forro, and A. Chaelain, "Field emission from single-wall carbon nanotube films", Appl. Phys. Lett., Vol. 73, p. 918, 1998.
- [10] Q. H. Wang, M. Yan, and R. P. H. Chang, "Flat panel display prototype using gated carbon nanotube field emitters", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, p. 1294, 2001.