

## 스크린 프린팅법에 의한 탄소나노튜브 전계방출소자의 제조기술

이만 · 손지하 · 주학림\* · 정효수\* · 고남계\* · 이동구†

금오공과대학교, 신소재시스템 공학부  
\*LG.PHILIPS Displays, 디바이스 연구소

### Fabrication Techniques for Carbon Nanotube Field Emitters by Screen Printing

Mann Yi, Ji-Ha Son, Haang-Rhym Chu\*, Hyo-Soo Jeong\*, Nam-Je Koh\*, and Dong-Gu Lee†

School of Advanced Materials & Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 730-701

\*LG.PHILIPS Displays, Device Research Lab., Gumi 730-030

(2002년 3월 4일 받음, 2002년 6월 13일 최종수정본 받음)

**Abstract** The carbon nanotube emitters for field emission displays were fabricated by using screen printing techniques. The pastes for screen printing are composed of organic binders, carbon nanotubes (multiwalled or singlewalled), and some additive materials. The pastes were printed on Cr-coated/Ag-printed soda-lime glass substrates. From the I-V characteristics, the turn-on field of SWNT was lower than that of MWNT. The decrease in the mesh size of screen masks (i.e. increase in the opening size of the screen mesh) resulted in decreasing the turn-on field and increasing the electron emission current. When the carbon nanotubes were mixed with silver pastes, silver powders appeared to contribute to the vertically aligning of carbon nanotubes on a glass.

**Key words:** carbon nanotubes, screen printing, field emission displays

### 1. 서 론

1991년 일본 전기(NEC)의 이지마 박사가 처음으로 탄소 나노튜브(carbon nanotube, 이하 CNT)를 발견한 이후로, CNT에 대한 관심이 고조되고 있다.<sup>1)</sup> 특히, CNT의 화학적인 안정성 등의 성질 외에도 CNT의 날카로운 팁의 형상으로 인하여 끝단에서의 전계 방출(field emission)이 탁월하다는 것이 알려지면서<sup>4-7)</sup> 전계방출형 디스플레이 소자에 전자방출원으로서 CNT를 이용하고자 하는 시도가 여러 곳에서 생겨나고 있다. 이에 본 실험에서도 이를 이용하여 전계 방출 디스플레이(field emission display, FED)를 제작해 보고자 하였다.

전계방출형 디스플레이 소자구현을 위한 시도는 여러 가지 형태로 나오고 있다. 특히 그 핵심 소자라 할 수 있는 전자방출원(emitter)의 경우는 Mo를 tip형으로 증착하는 방법이 널리 알려져 있었지만<sup>2)</sup>, 대형화를 위한 공정상의 문제점으로 인하여 탄소나노튜브를 이용한 방법이 최근에 선보이고 있다. 전계방출형 디스플레이에서 전자방출원은 낮은 전압에서도 전계가 많이 가해져 쉽게 전자가 방출될 수 있는 예리한 형상의 물질이 유리하다. 그 밖에 일함수가 낮은 재료일수록 쉽게 전자가 방출된다. 특히, CNT의 경우 그 직경이 수 나노미터에서 수십 나노미터 정도의 크기를 가진다는 점에서 전계방출형 디스플레이 소자의 적용에 있어서 상당한 잇점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 분말 상태의 CNT 자체를 전계 방출 디스플레이에 적용하고자 공정이 간단하고 대형화에 쉽게 적용할 수 있는 스크린 프린팅 기법을 사용하여 각 공정조건이 전계 방출현상에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하였다.

### 2. 실험 방법

스크린 프린팅을 행하기 위해 사용된 CNT는 laser ablation법으로 합성된 single-wall carbon nanotube(이하 SWNT)와 thermal CVD법으로 제조된 multi-wall carbon nanotube(이하 MWNT)의 두가지 재료를 채택하였고 이들 CNT 중 일부는 길이 제어를 위해 유발 가공을 행하였다. 유발가공은 건조된 CNT를 유발기에 약 0.5 g 정도 넣고 공기를 이용하여 전단력을 가하여 분쇄한 것으로 손을 이용하여 힘을 가했기 때문에 다소 객관성은 떨어지지만 가공효과를 보았다. 향후 객관적인 데이터를 얻기 위하여 가하는 응력을 조절할 수 있는 기구로 길이조절을 시도할 예정이다. 페이스트의 제조를 위해서 ethyl cellulose와  $\alpha$ -terpineol을 혼합하여 유기체를 제조한 후, 여기에 CNT를 첨가/혼합하였다. 이 때 유기체 내에 CNT의 좋은 분산성을 얻기 위하여 3-roller mill로 수차례 충분한 교반을 실시 하였다.

기판재로서 소다 석회 유리(soda-lime glass)를 이용하였고, 그 위에 전극 층으로 Ag 페이스트를 이용하여 스크린 프린팅 된 Ag 전극과 Cr이 박막으로 입혀진 Cr 전극

† E-mail: dglee@kumoh.ac.kr

등 2가지가 이용되었다. 스크린 프린팅용 마스크의 mesh는 250, 400, 500 mesh 등 3가지 종류가 이용되었고, 각각의 opening size는 58, 38, 30  $\mu\text{m}$  이었다.

마스크에 따른 변화를 알아 보기 위해 SWNT와 MWNT를 이용해 2개의 페이스트를 제조한 후, 3가지 마스크를 통해 Cr 전극이 형성된 기판과 Ag 전극이 형성된 기판 위에 각각 스크린 프린팅을 행하고, 400 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 동안 기판을 유지하여 유기체들을 완전히 제거하여 전자방출원을 완성하였다.

유기체 제거 과정에서 전계를 인가 시켰을 때의 변화를 보기 위해 상기와 동일한 방법으로 제조된 전자방출원들을 유기체를 제거하기 위해 400 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 동안 기판을 유지하는 과정에서 황동판을 기판의 위쪽에 위치 시키고, 황동판과 기판의 Cr 전극에 약 800 V를 인가 시켰다. 이때 황동판과 Cr 전극 간의 거리는 300  $\mu\text{m}$ 의 거리를 유지시켜 약 2.7 V/ $\mu\text{m}$ 의 전계를 인가하였다.

이 밖에 페이스트에 혼합물을 첨가하여 전자방출원의 특성을 향상시키기 위한 실험으로는 별도의 전극부를 생략하여 전자방출원 부분의 구조를 단순화 시키고 CNT의 수직 배향을 향상 시킬 목적으로 Ag 전극 형성 시 이용된 Ag 페이스트와 CNT를 직접 혼합하여 이를 스크린 프린팅 하여 전자 방출원을 제조하여 보았고, glass frit을 페이스트에 혼합하여 전자 방출원의 형성에 어떤 영향을 미칠지를 알아 보았다.

실험에 이용된 모든 전자 방출원은 주사 전자 현미경을 통해 그 형상을 관찰하였고, 또한 전계 방출 특성을 알아보기 위해 각각의 CNT 전자 방출원들의 I-V 곡선을 측정하여 이들을 상호 비교하였다. I-V 곡선은 측정치가 안정화 될 때까지 수차례 반복하여 측정하여 얻었다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 본 실험에 이용된 CNT 원재료들의 형상이다. Fig. 1 (a)에서 보는 바와 같이 SWNT는 다발형태로 굵게 얽혀져 있는 형상을 하고 있고, Fig. 1 (b)의 MWNT는 약 30nm의 직경을 가지며 각각 서로 떨어져 있는 형상을 보여 준다. 구입한 SWNT와 MWNT의 길이는 각각 15  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  정도 였다. 이들을 실험에 적합한 길이로 제어 하기 위해 유발에서 공이를 이용하여 전단응력을 가하였다. MWNT의 경우 30분 정도의 유발 가공으로 그 길이가 약 2  $\mu\text{m}$  정도로 제어 됨과 동시에 어느 정도 길이의 균일성을 보였다. 그러나 SWNT의 경우 (Fig. 1 (d)), 1시간 정도의 유발 가공에도 그 길이가 거의 변화 하지 않았다. 이는 SWNT가 MWNT에 비해 그 직경이 상당히 작고 결합도 적기 때문에 기계적 강도와 탄성이 상대적으로 우수하기 때문인 것으로 보여 진다.<sup>10)</sup>

스크린 프린팅을 행하기 위한 페이스트는 ethyl cellulose 17.5 wt%와  $\alpha$ -terpineol을 혼합한 유기체에다 유발 가공된 CNT 1 wt%와 혼합하여 제조하였다.

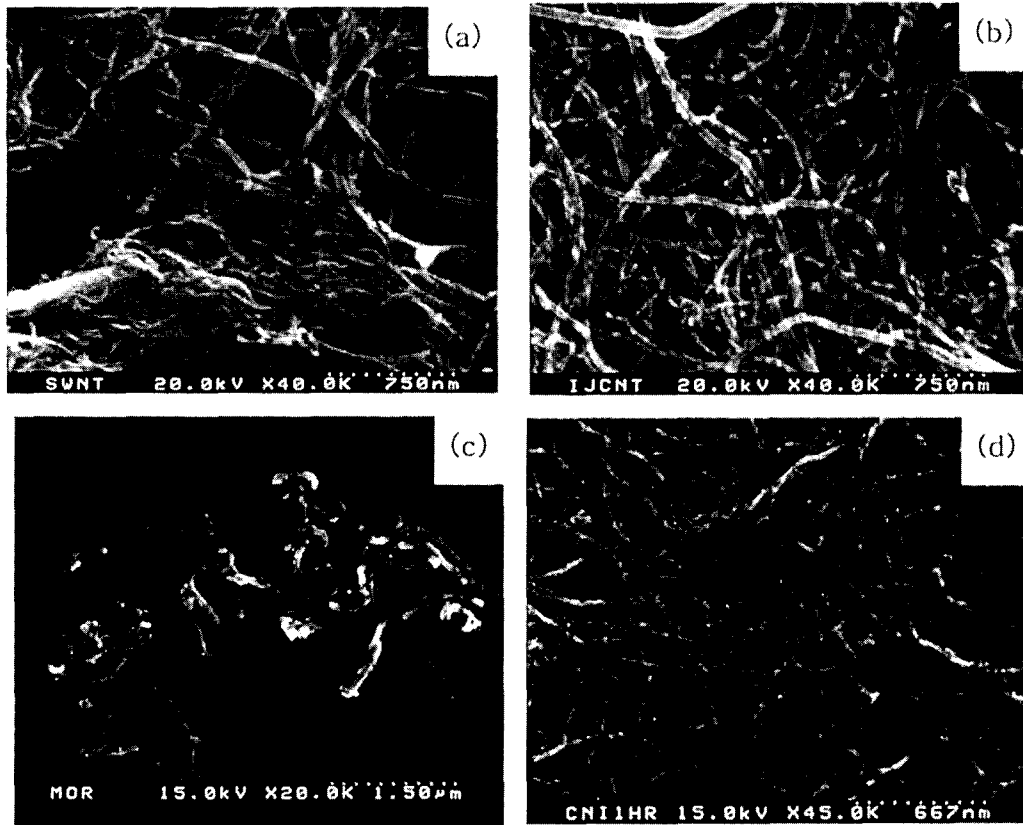


Fig. 1. (a) As-received SWNTs (laser ablation, length :  $\sim 15 \mu\text{m}$ ), (b) As-received MWNTs (thermal CVD, length :  $\sim 20 \mu\text{m}$ ), (c) MWNTs after shearing process for 30 min in mortar, (d) SWNTs after shearing process for 1 hr in mortar

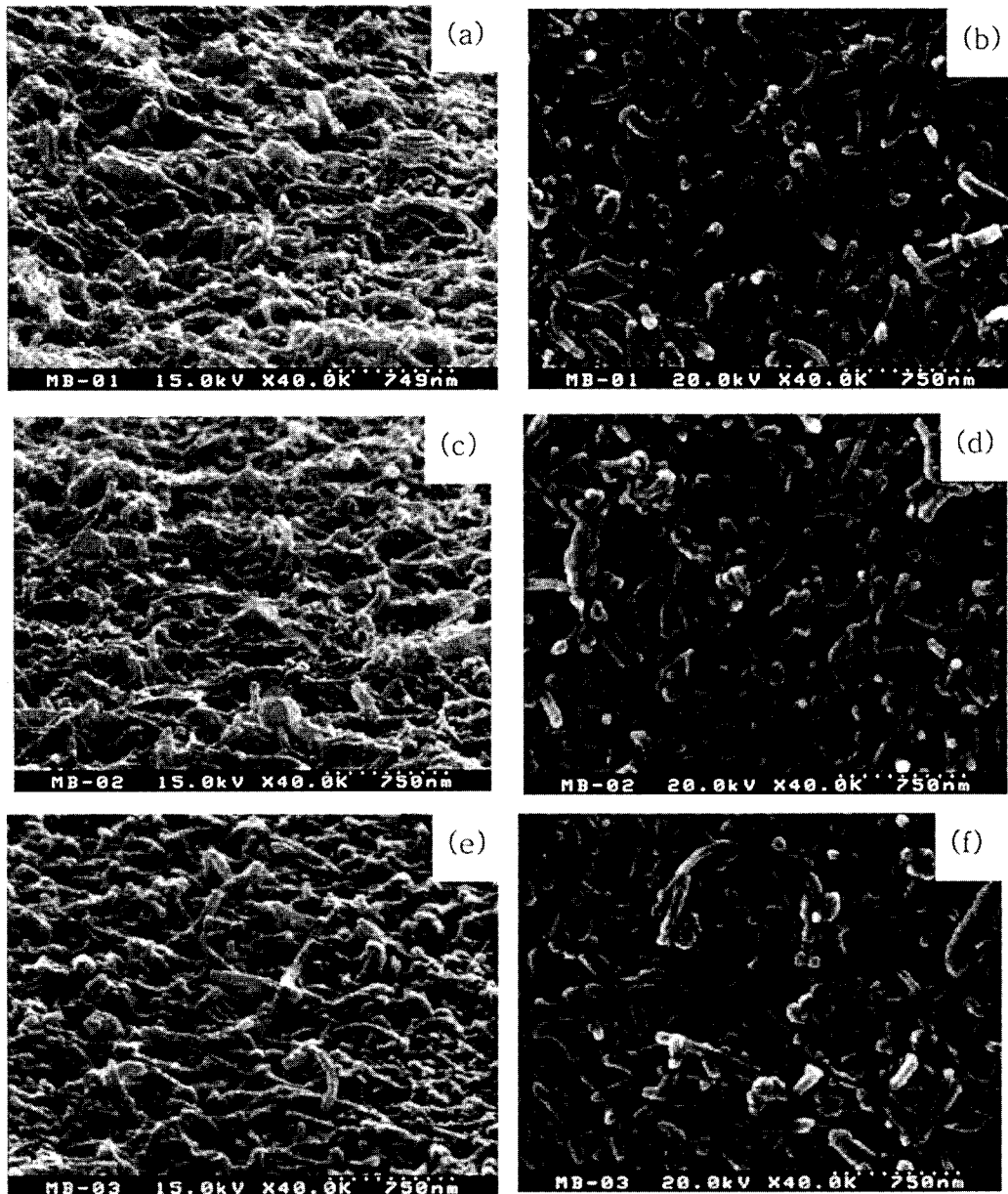


Fig. 2. MWNTs which is printed on Cr coated glass with screen mask of (a) 250 mesh, (b) top view of (a), (c) 400 mesh, (d) top view of (c), (e) 500 mesh, (f) top view of (e), (burning-out of organic binders : 400°C, 1hr)

Fig. 2는 3가지 mesh의 스크린 마스크를 이용하여 MWNT 페이스트를 Cr 전극이 형성된 기판 위에 스크린 프린팅한 후 400°C에서 1 시간 동안 유지하여 유기체를 완전히 제거 시킨 다음 관찰한 형상이다. 스크린 마스크의 종류에 따른 CNT의 형상 변화를 보면, 마스크 mesh의 opening size가 작아질수록 스크린 프린팅 공정에서 압출 효과가 커져 CNT의 수직 배향성에 기여할 것이라는 생각과는 달리 Fig. 2(b), 2(d), 2(f)에서 보는 바와 같이 마스크의 mesh가 250, 400, 500 mesh로 갈수록 (또는 각 mesh의 opening size가 58  $\mu\text{m}$ , 38  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ 로 줄어들수록) 기판에 프린팅된 CNT의 밀도가 줄어들었을 뿐 압출 효과는 관찰할 수가 없었다. Fig. 2(e)의 우측 중앙부에서는 기판의 표면이 일부 드러나 있는 것을 관찰할 수가 있었다. 이는 동일한 혼합비로 만들어진 페이스트라도 opening

size가 작아지면 screen mask를 구성하는 wire들의 shadow effect에 의해 프린팅된 CNT의 밀도가 낮아져 기판 전면에 CNT 층을 형성하지 못함을 의미하는 것으로 실제 전자 방출원 제조시 문제점을 유발할 수 있다. 그러나 스크린 마스크의 opening size가 증가하면 프린팅된 CNT의 밀도도 증가하고 그만큼 CNT들간에 서로 지지해주는 비율도 증가하게 된다. 따라서 opening size가 증가함에 따라 (즉 mesh가 감소할수록) CNT가 기판에 수직 배향되는 비율도 증가함을 관찰할 수 있었다.

Fig. 3은 SWNT 페이스트를 mesh별로 스크린 프린팅한 형상이다. 페이스트의 제조 조건과 기판은 MWNT 페이스트와 동일하였다. 마스크 mesh별로 프린팅 형상의 변화는 Fig. 2의 결과와 유사하였지만, 페이스트에 이용된 SWNT의 길이가 MWNT에 비해 상당히 길어 서로 엉켜

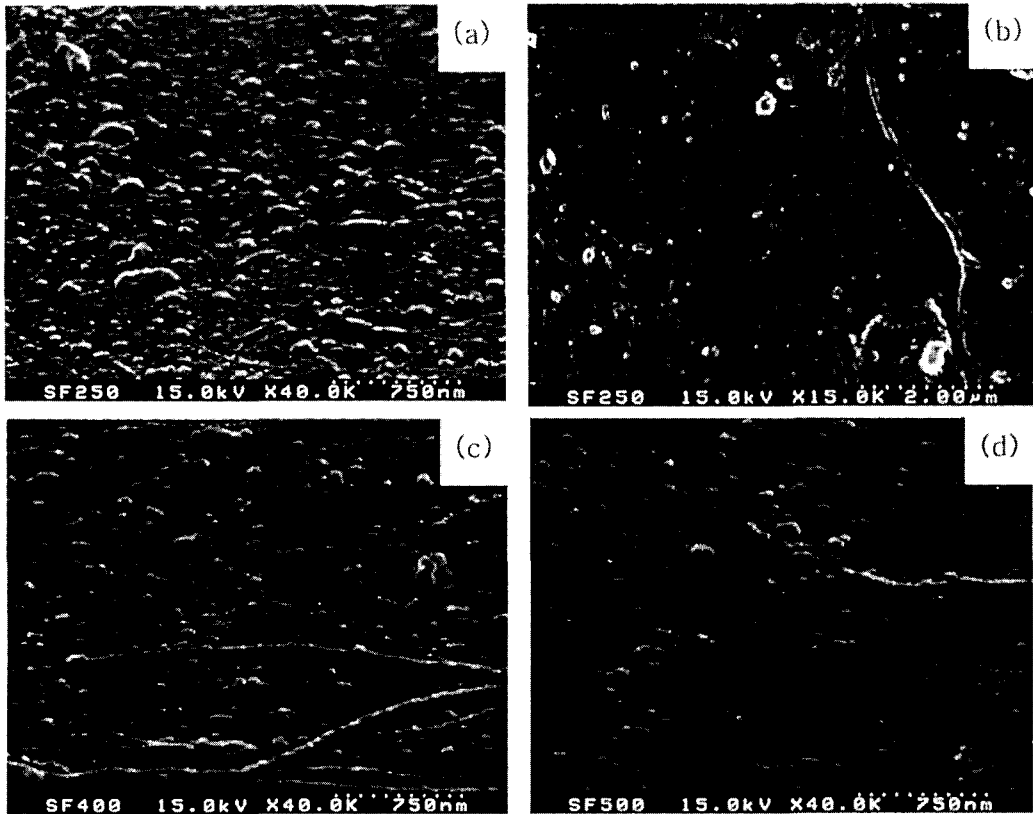


Fig. 3. SWNTs screen printed on Cr coated glass with screen mask of (a) 250 mesh, (b) top view of (a), (c) 400 mesh and (d) 500 mesh(burning-out of organic binders : 400°C, 1hr)

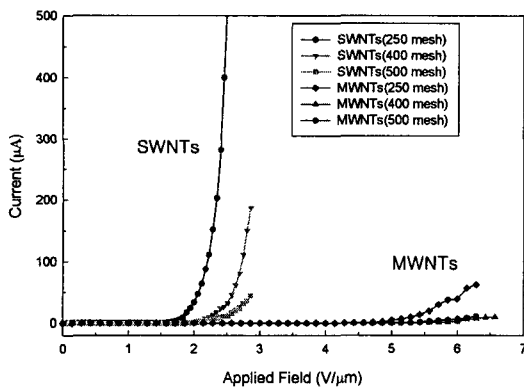


Fig. 4. Field emission characteristics of CNTs screen printed on Cr coated glass with variation of screen mask mesh

있기 때문에 프린팅 된 형상도 Fig. 2와는 달리 특별한 수직 배향성은 관찰할 수 없었다.

각각의 페이스트를 mesh size별로 프린팅한 CNT 전자 방출원의 전계 방출 특성을 측정한 것이 Fig. 4에 나타나 있다. 측정조건은 cathode와 anode의 간격이 350 µm이고 발생 전류는 직경 8 mm의 탐침자로 측정하였다. 동일 페이스트에서 볼 때, 마스크 mesh의 opening size가 커질수록 turn-on field가 감소하고, 전자 방출량은 많아지는 결과가 나타나는데, 이는 주사 전자 현미경의 사진으로 본 형상과 같이 마스크 mesh의 opening size가 커질수록 프린팅 된 CNT의 밀도가 크기 때문에 전자 방출량이 많아지

고, 수직 배향성도 좋아져서 생긴 결과로 보여진다. 수직 배향성이 향상될 경우, 그 만큼 전계 집중도가 향상 되어 결과적으로 turn-on field를 감소시키는 것으로 보인다. SWNT와 MWNT를 비교해 보면, 동일한 마스크 mesh에서 SWNT의 전계 방출 특성이 더 우수한 것으로 보인다. 이것은 SWNT의 직경이 MWNT보다 작아서 별다른 수직 배향 경향이 없어도 이런 결과가 생긴 것으로 보인다. 이 결과를 좀 더 명확히 해석하기 위해서 프린팅된 SWNT의 결정학적 분석이 더 진행 되어져야 할 것으로 보인다.<sup>8)</sup>

CNT는 전기적 이방성을 가지고 있기 때문에 전계를 가하면 전계 방향으로 배열되는 경향을 나타내는 것으로 보고 되고 있다.<sup>9)</sup> Fig. 5에서는 MWNT 전자 방출원 제조시 전계를 가해 주었을 때의 형상 변화를 나타낸 것이다. Fig. 2에 이용된 것과 같은 MWNT 페이스트를 mesh별로 Cr 전극 위에 프린팅한 뒤 유기체 제거 과정에서 300 µm 거리에서 800 V의 전압을 인가(2.7 V/µm)하면서 400°C에서 유기체를 제거하였다.. 주사 전자 현미경으로 본 형상이 Fig. 2와 비교하여 볼 때 별다른 차이가 없는 것으로 보아 2.7 V/µm의 전계로는 CNT의 일방향 배열에 큰 영향을 주지는 못한 것으로 생각된다. 본 실험을 대기중에서 실시하였기 때문에 그 이상의 전계를 인가하면 아크가 발생하는 문제점이 발생하였다. 그러므로 그 이상의 전계에 의한 배향성의 영향을 관찰하기 위해서는 진공중에서 실험을 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

전극을 Ag로 프린트하고 그 위에 MWNT를 다시 프린

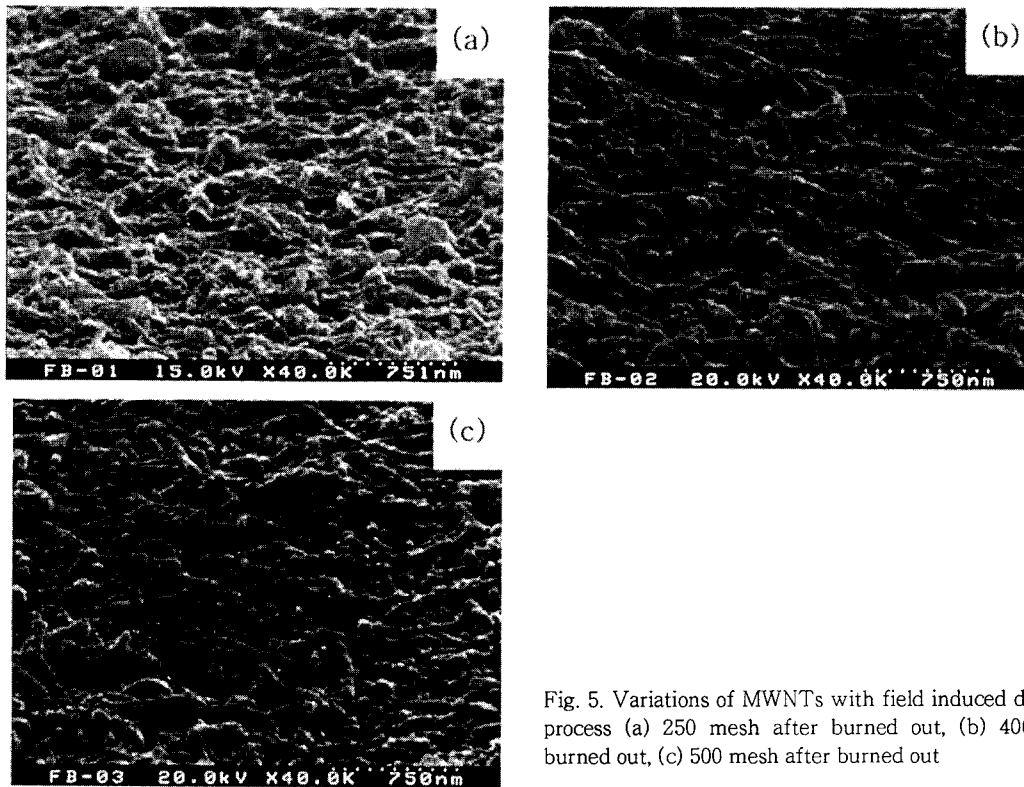


Fig. 5. Variations of MWNTs with field induced during heating process (a) 250 mesh after burned out, (b) 400 mesh after burned out, (c) 500 mesh after burned out

트하였을 때 형상의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 2에 이용한 것과 동일한 페이스트가 mesh 별로 프린팅 되었다. Fig. 6에 나타난 것과 같이 Ag 전극이 약 300~400 nm 크기의 Ag 분말로 이루어져 있기 때문에 Ag 분말로 인한 표면 굴곡이 보이며, 이는 주사 전자 현미경 사진 상에서 매끄러운 평면을 나타내던 Cr 전극과 대조를 이룬다. MWNT 형상의 경우도 Cr 전극에서 보다 훨씬 불규칙적으로 배열되어 있는 형상을 보인다. 마스크 mesh별 변화의 경우는 mesh의 opening size가 작아짐에 따라 프린팅된 MWNT의 밀도는 Fig. 2에서와 마찬가지로 감소하였다. 이에 대한 전계 방출 특성을 Fig. 7에 나타내었다. 대체적으로 I-V 곡선이 매끄럽지 못하며 250 mesh의 경우보다 500 mesh의 경우가 전계 방출 특성이 좋은 것으로 나타났다. 이는 Ag 전극의 표면 굴곡으로 인해 전계 방출 특성의 어떤 경향성을 파악하기가 힘들어 지고, I-V 곡선도 측정 부위에 따라 불규칙적으로 나타나는 것에 기인한 것으로 보인다.

Fig. 8에서는 MWNT와 Ag 페이스트를 직접 혼합하여 스크린 프린팅 했을 때의 MWNT 형상을 나타내고 있다. Ag 페이스트에 0.5 wt%의 MWNT(Fig. 8)와 1 wt%의 MWNT(Fig. 9)를 각각 혼합하여 프린팅해 보았다. 0.5 wt%의 MWNT 혼합의 경우(Fig. 8), MWNT의 혼합량이 너무 적어 MWNT가 Ag 분말에 상당량 묻혀 있는 형상을 하고 있다. 1 wt%의 MWNT를 혼합한 경우(Fig. 9), Cr 전극이나 Ag 전극 위에 MWNT를 프린팅한 경우와는 달리 MWNT가 Ag 분말 사이에 확고하게 고정되어

있고, 따라서 Ag 분말에 의하여 수직으로 배향되는 경향도 나타내고 있다. 이에 대한 전계 방출 특성을 Cr 전극 위에서 프린팅한 MWNT와 비교하여 Fig. 10에 나타내었다. Ag 페이스트와 직접 혼합한 MWNT의 I-V 곡선이 Cr 전극 위에 프린팅한 MWNT의 특성보다 우수하게 나타났다. Turn-on field의 경우, Cr 전극 위에 MWNT를 프린팅한 경우보다 약 1.5-2 V/ $\mu$ m 정도 더 낮아졌다. 전자 방출량도 많아졌고 또한 250 mesh 스크린을 썼을 때가 특성이 가장 우수하였다. Fig. 11은 MWNT의 혼합량을 0.5 wt%와 1 wt% 달리 하였을 때의 I-V 곡선이다. turn-on field의 차이는 거의 없었으나 MWNT의 혼합량이 증가할수록 전자 방출량도 증가하였다. 이 실험을 통해 Ag 분말이 CNT의 수직 배향성에 기여할 뿐만 아니라 Ag 페이스트에 CNT를 직접 혼합함으로써 전계 방출 특성도 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Fig. 12에서는 프린팅된 CNT의 수직 배향성을 향상시키기 위하여 CNT 페이스트에 glass frit을 혼합하여 프린팅한 경우의 형상을 보이고 있다. 이 실험에서 혼합된 glass frit은 CRT 제조 공정에서 sealing용으로 사용되는 수십  $\mu$ m 크기의 glass frit 분말을 분쇄하여 10  $\mu$ m 이하의 분말을 사용하였다. Fig. 12(a), 12(b)는 MWNT 1 wt%와 유기체 그리고 glass frit 0.5 wt% 혼합한 페이스트를 프린팅한 형상이고, Fig. 12(c), 12(d)는 glass frit을 1 wt% 혼합한 페이스트로 프린팅한 형상이다. 사진에서 보는 바와 같이 glass frit을 사용했을 때가 Fig. 2의 glass frit을 혼합하지 않은 경우보다 CNT의 수직 배향도가 향상

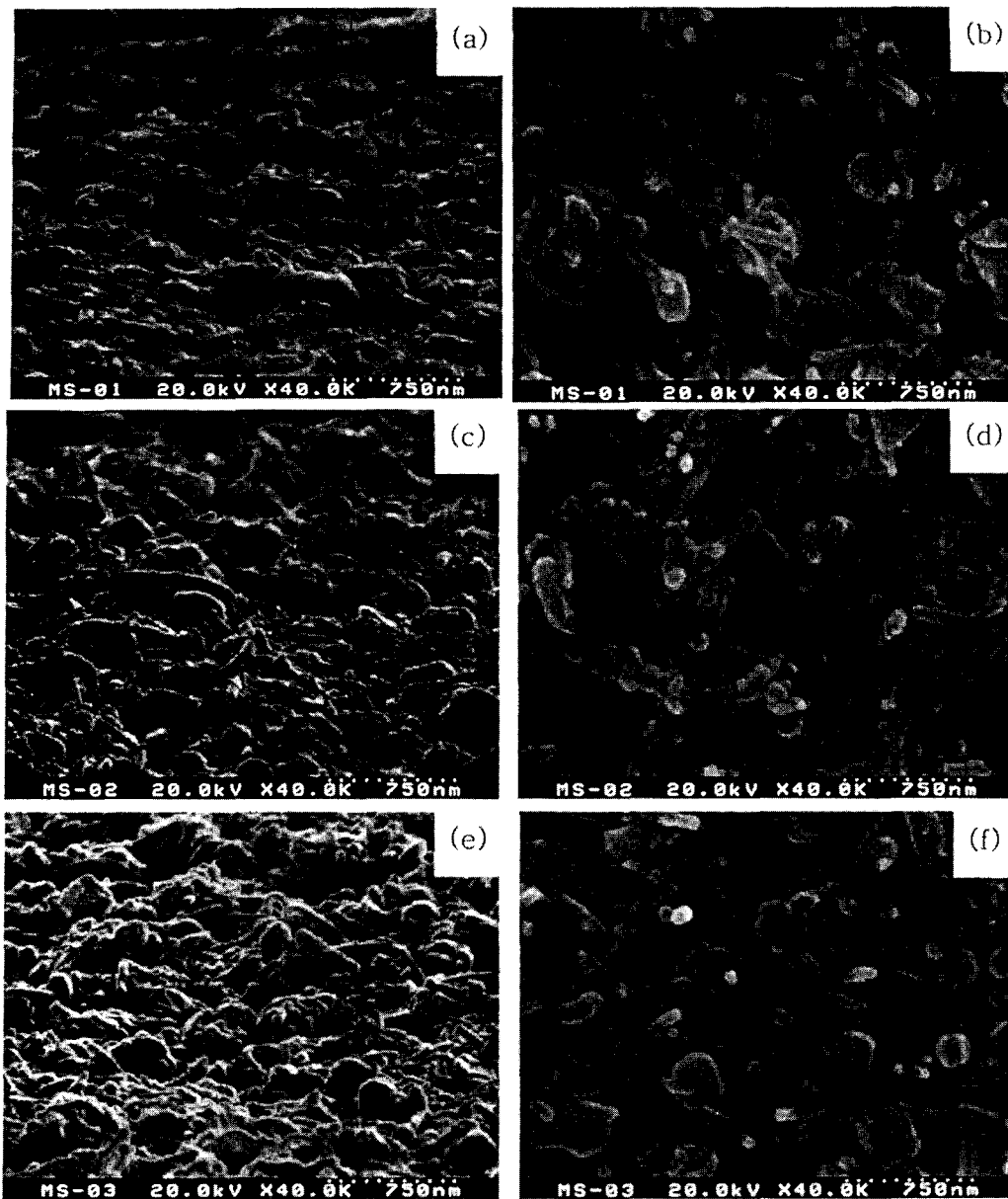


Fig. 6. MWNTs screen printed on Ag printed glass (a) 250 mesh, (b) 250 mesh (top view), (c) 400 mesh, (d) 400 mesh (top view), (e) 500 mesh and (f) 500 mesh (top view)

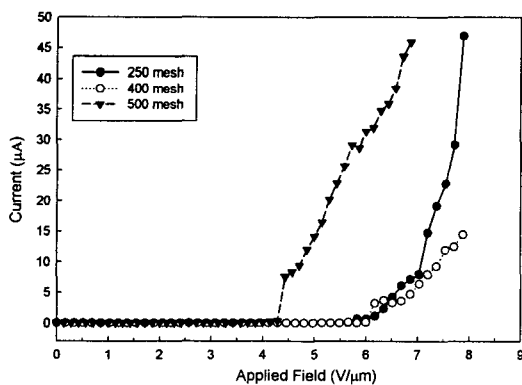


Fig. 7. Field emission characteristics of MWNTs screen printed on Ag printed glass (variations with mask mesh)

되었다. Glass frit의 첨가량에 따른 변화는 사진상에서 별

다른 차이를 보이지 않고 있다. 이에 대한 전계 방출 특성을 Fig. 13에서 보이고 있다. 이때 기판의 전극 층은 Ag 전극, Cr 전극 2가지가 쓰였다. Cr 전극 위에 프린팅한 경우는 Cr 전극이 박막형태로 되어 있기 때문에 비교적 어느 위치나 평탄하므로 프린팅 된 MWNT도 비교적 균일한 전계 방출 특성을 보이고 있다. 그러나 Ag 전극은 Ag 분말의 표면 불균일성으로 인하여 위치 별로 어느 정도의 불균일한 전계 방출 특성을 보이고 있다. 이는 Fig. 7에서 보인 특성과 부합하는 것이다. 전계 방출 특성에서, glass frit을 혼합했을 경우 turn-on field는, 1 wt% 혼합된 경우, 약 1.7 V/μm로 glass frit이 이용되지 않았을 때에 비해 확실히 감소함을 관찰할 수 있다. CNT는 그 특유의 길이 대 직경 비로 인해 수직으로 배향하기 보다는 수평으로 배향하려는 경향이 있고, 스크린 프린팅 후 기판과 CNT 간에 어떤 화학적 결합에 의한 수직 배향도 기대하기 힘든 상황에서

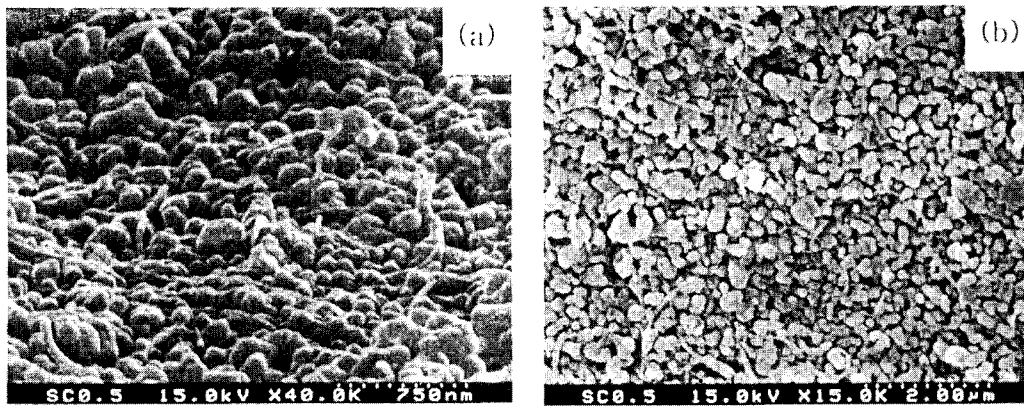


Fig. 8. Screen printed MWNTs whose paste consists of MWNTs 0.5 wt% and silver paste (a) 400 mesh, (b) 400 mesh (top view)

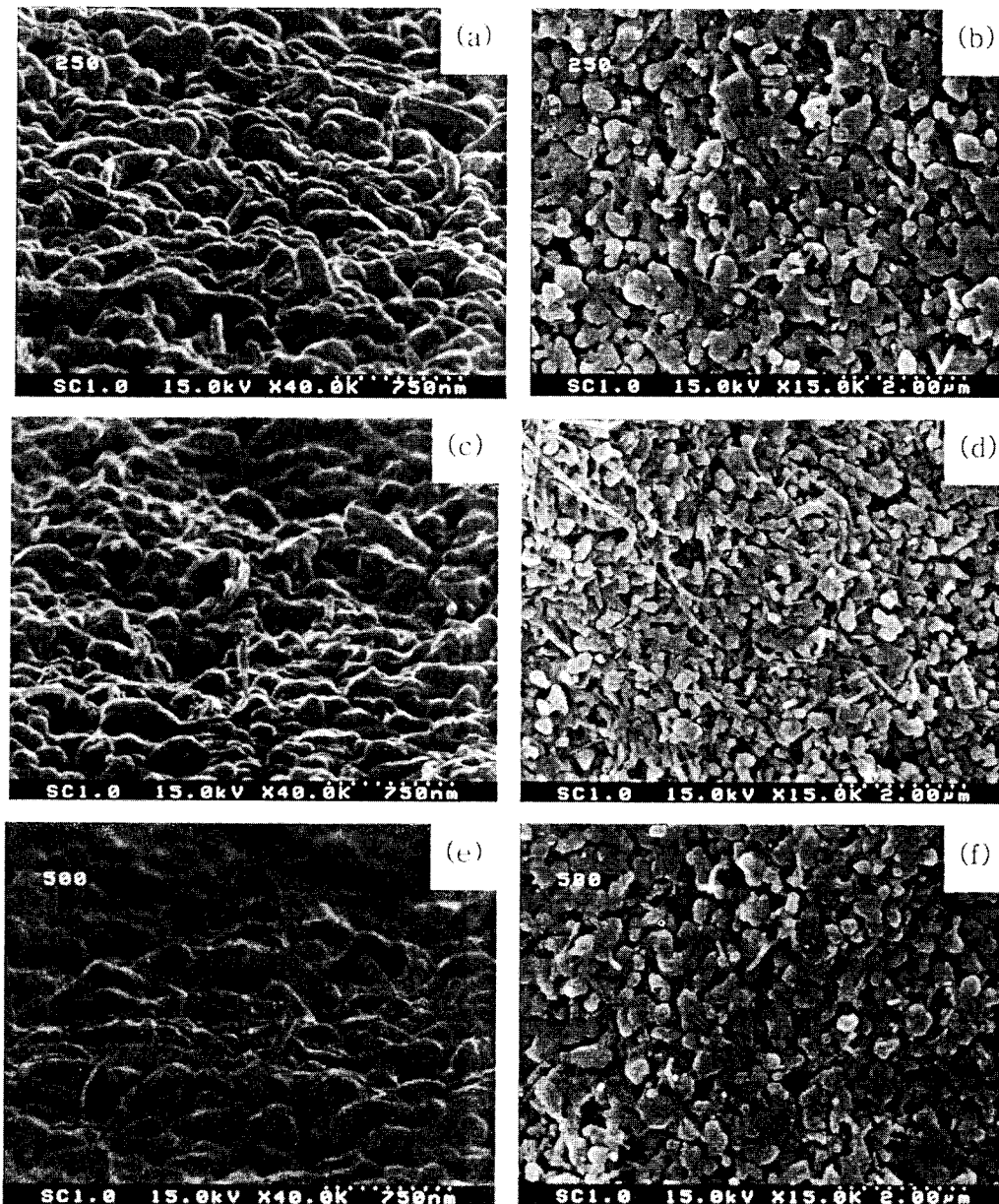


Fig. 9 Screen printed MWNTs whose paste consists of MWNTs 1 wt% and silver paste (a) 250 mesh, (b) 250 mesh (top view), (c) 400 mesh, (d) 400 mesh (top view), (e) 500 mesh, (f) 500 mesh (top view)

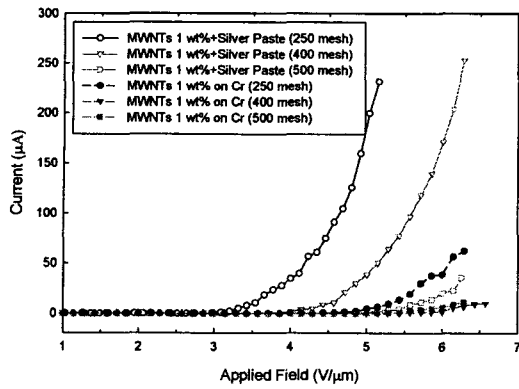


Fig. 10. Field emission characteristics of screen printed MWNTs (variations with 2 types of electrodes)

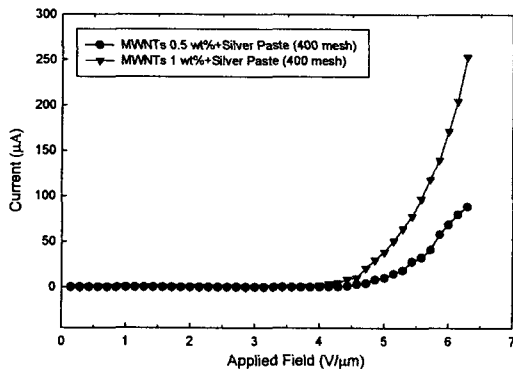


Fig. 11. Field emission characteristics of screen printed MWNTs mixed with silver paste

glass frit이 MWNT를 지지하여 Fig. 13와 같은 결과가 나온 것으로 보인다. Fig. 13에서 두 가지 경우 모두 다 glass frit이 첨가되어 glass frit의 저항 때문에 turn-on field가 높아질 것으로 예상했으나 예상보다 낮은 값을 가지고 있다. 이는 저항층에 의해 CNT의 전자 방출이 균일해지는 등의 영향으로 생각해 볼 수 있으나 앞으로 더 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

각 제조 조건에 따른 CNT 전자 방출원의 전계 방출 특성을 Table 1에 정리하여 나타내었다. 이때, turn-on field는  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도를 얻기 위해 필요한 전계 ( $\text{V}/\mu\text{m}$ )로 정의하였다.

4. 결 론

스크린 프린팅 기법을 이용해 FED용 CNT 전자방출원을 제조해 보았다. 먼저 CNT의 길이 제어에 있어 MWNT가 약 30분 정도의 유발 가공으로 그 길이가  $2 \mu\text{m}$ 까지 제어된 것에 비해, SWNT의 경우 기계적 강도와 탄성이 우수하고 작은 직경으로 인해 유발가공으로는 길이 제어가 쉽지 않았다.

스크린 마스크 mesh 종류에 따른 프린팅 형상의 경우, 스크린 마스크 mesh가 500, 400, 250 순으로 갈수록 프린팅 된 CNT 밀도가 높아져 전자 방출량이 증가되고, CNT 상호간에 지지해주는 비율도 늘어나 수직 배향성의 향상을 가져 왔다. 그 결과로 turn-on field의 감소를 얻어 낼 수 있었다. 동일 조건에서는 SWNT의 전계 방출 특성이 MWNT에 비해 우수하였으나, SWNT의 경우 그 프린팅

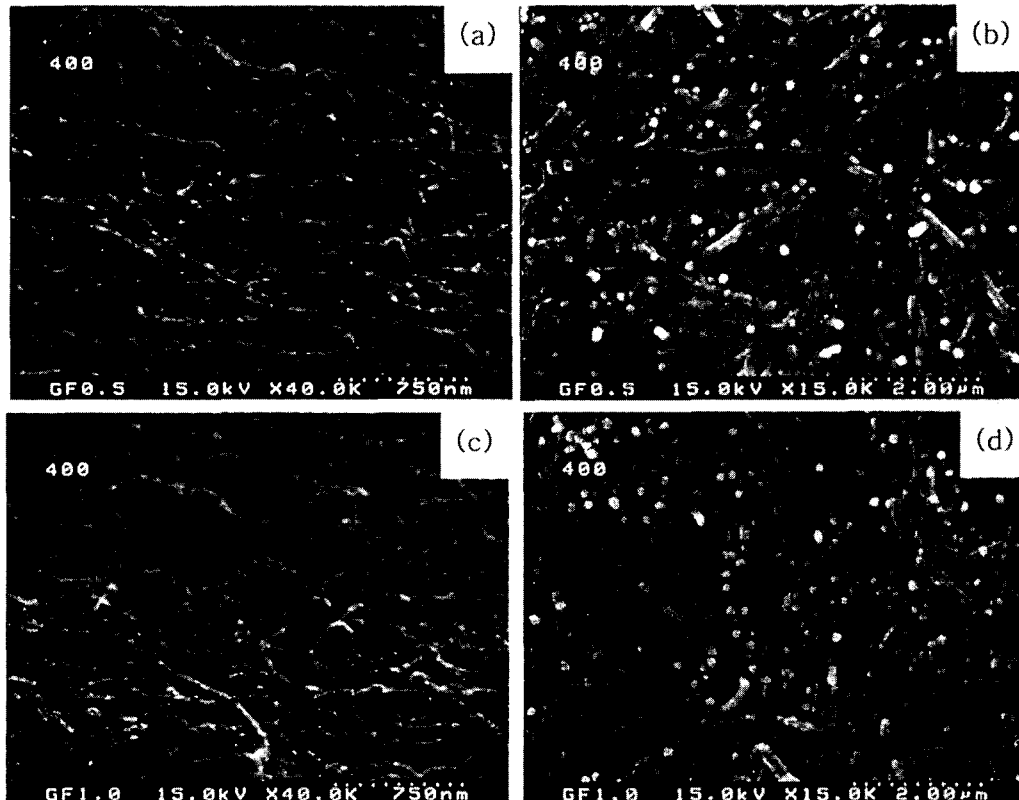


Fig. 12. Screen printed MWNTs whose paste consists of MWNTs 1 wt%, organic binders and glass frit x wt% (a) 0.5 wt%, (b) 0.5 wt% (top view), (c) 1 wt%, (d) 1 wt% (top view)



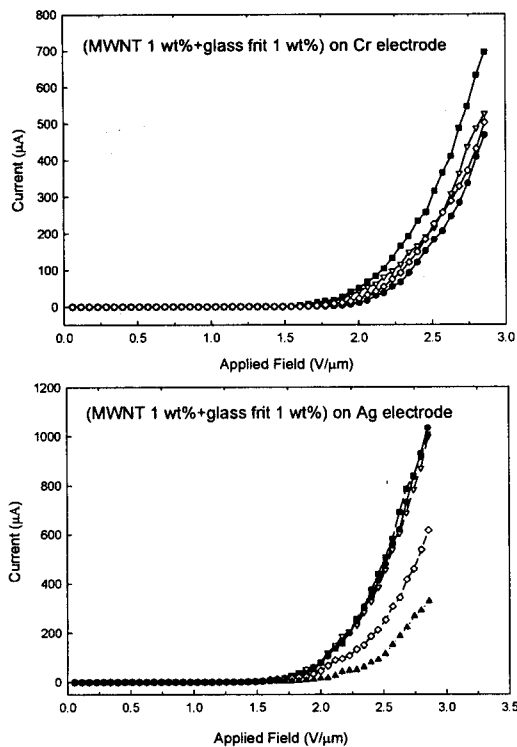


Fig. 13. Field emission characteristics of screen printed MWNTs mixed with glass frit 1 wt% (variations with 2 types of electrodes)

Table 1. Turn-on fields of printing patterns used at this study

CNTs		mask mesh	turn-on field (V/µm)
SWNTs	on Cr coated glass	250	1.7
		400	2.0
		500	2.1
MWNTs	on Cr coated glass	250	4.9
		400	6.0
		500	5.5
	1 wt% mixed with silver paste	250	3.2
		400	4.0
		500	5.1
mixed with glass frit 1 wt%		400	1.7

형상에서 어떠한 수직 배향성도 발견할 수 없었다는 점에서 SWNT의 제어에 더 많은 연구가 요구 된다. 전계에 대한 CNT의 일방향 배열에 관한 보고가 있었으나, 본 연구에서 적용한 2.7 V/µm의 전계는 CNT의 수직 배향성이나 전기적 특성에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 보인다.

Ag 전극의 경우, Cr 전극에 비해 그 표면의 불균일성으

로 인해 전계 방출 특성 또한 불규칙적이었으며, 이로 인해 I-V 곡선상에서 다른 조건의 페이스트의 프린팅 형상과는 다른 결과가 나오기도 하였다. Ag 페이스트와 CNT를 직접 혼합하여 프린팅한 경우, 그 전계 방출 특성이, Ag 분말에 의해 지지 되어 수직 배향된 CNT들에 의해, Cr 전극 또는 Ag 전극 위에 프린팅한 경우 보다 우수하였다. 또한, CNT의 혼합량이 증가할수록 혹은 프린팅된 CNT의 밀도가 높을수록 전자 방출량이 증가 하였다.

CNT 페이스트에 glass frit을 혼합한 경우, 전계 방출 특성이 향상 되었으며, 그 원인은 Ag 분말과 같이 glass frit이 CNT를 지지해 줌과 동시에 저항층으로 작용한 것에 기인하는 것으로 보인다.

여러 조건의 페이스트와 그를 이용한 스크린 프린팅을 통해 FED용 CNT 전자 방출원 제조에 성공하였다. 스크린 프린팅이 여러가지 장점으로 인해 현재 디스플레이 분야에 자주 이용되고 있다는 점을 다시 상기할 때, 이 연구를 통해 FED 제조와 적용에 큰 도움이 되리라 기대 된다.

#### 감사의 글

본 연구는 금오공과대학교의 지역 협력 연구 센터 내 Display Device Research Center의 지원하에 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Iijima S., Nature, **354**, 56 (1991).
2. C.A. Spindt, I. Brodie, L. Humphery, E.R. Westberg, J. Appl. Phys., **47**, 5248 (1976).
3. Z.F. Ren, Z.P. Huang, J.W. Xu, J.H. Wang, P. Bush, M. P. Siegal, P.N. Provencio, Science, **282**, 1105 (1998).
4. P.G. collins, A. Zettl, Phys. Rev., **B55**, 9391 (1997).
5. H. Schmid, H. W. Fink, Appl. Phys. Lett., **70**, 2679 (1997).
6. A.G. Rinzler, J.H. Hafner, P. Nikolaev, L. Lou, S.G. Kim, D. Tomanek, P. Nordlander, D. Colbert, R.E. Smalley, Science, **269**, 1550 (1995).
7. W.A. de Heer, A. Chatelain, D. Ugarte, Science, **270**, 1179 (1995).
8. Jie Liu, Andrew G. Rinzler, Hongjie Dai, Jason H. Hafner, R. Kelley Bradley, Peter J. Boul, Adrian Lu, Terry Lverson, Konstantin Shelimov, Chad B. Juffman, Fernando Rodreguez-Macias, Young-Seok Shon, T. Randall lee, Daniel T.Colbert, Richard E. Smalley, Science (Reports), **280**, 22 (1998).
9. Anchal Srivastava, A.K. Srivastava, O.N. Srivastava, Carbon, **39**, 201 (2001).
10. Ph. Lambin, V. Meunier, L. P. Biro, Carbon, **36**(5), 701 (1998).