

탄소나노튜브의 분산이 탄소나노튜브 캐소드의 전계방출 특성에 미치는 영향

안병건 · 성명석 · 신허영 · 김동희 · 김태식 · 조영래[†]

부산대학교 공과대학 재료공학부

Effect of CNT Particle Dispersion in CNT Paste on Field Emission Characteristics in Carbon Nanotube Cathode

B. G. Ahn, M. S. Seung, H. Y. Shin, D. H. Kim, T. S. Kim and Y. R. Cho[†]

Division of Material Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735

(2004년 10월 11일 받음, 2004년 11월 12일 최종수정본 받음)

Abstract The uniformity of emission image and field emission properties of carbon nanotube(CNT) cathodes dependence on CNT particle dispersion were investigated for field emission displays. We used multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) synthesized by CVD method as the field emitter materials. CNT dispersion in CNT ink was carried out by ultrasonication and shaking methods. According to CNT dispersion conditions, the uniformity of emission image and field emission properties of CNT cathodes were greatly affected. The smaller particles of filler materials and CNT powders provide the better properties of the CNT cathodes.

Key words particle distribution, filler materials, carbon nanotube, field emission, screen printing.

1. 서 론

전계방출 표시소자(FED: field emission display)는 1986년 프랑스의 LETI 사에 의해 처음 소개된 차세대 평판디스플레이의 하나이다. FED의 동작원리는 브라운관(CRT: cathode ray tube)과 비슷하며 전자방출원으로 부터 나온 전자에 에너지를 가함으로써 발광물질인 형광체에 부딪히게 하여 빛을 내도록 한다. 브라운관과 차이는 전자방출원의 갯수가 브라운관은 한 개인 반면, FED는 각 픽셀에 대응하는 구조를 갖는 다수 개를 갖기 때문에 TFT-LCD나 PDP와 비슷한 구조인 평판화가 가능하다.^{1,2)} FED는 브라운관의 장점인 좋은 화질을 유지하면서, 동시에 브라운관의 단점인 무게와 부피를 줄일 수 있기 때문에 차세대 평판디스플레이로 기대를 받고 있다. 최근에는 나노미터(nm) 크기의 작은 반경과 높은 종횡비(aspect ratio) 및 전계방출 특성이 뛰어난 물질로 알려진 탄소나노튜브(CNT: carbon nanotube)의 발견과 더불어 이를 이용한 CNT-FED의 개발에 대한 연구로 고효율 전자방출원의 실현 가능성이 한층 높아지고 있다.^{3,6)}

FED는 에미터가 장착된 전자방출 소자인 캐소드와 형광체가 장착된 애노드가 스페이서(spacer)를 매개로 수백 마이크로미터 간격으로 마주보고 배치되어 있는 구조를 가지

며, 내부는 진공으로 유지된다. CNT-FED에서 캐소드의 핵심 부분인 전자가 방출되는 에미터 재료로는 CNT가 사용되며, CNT를 사용한 캐소드의 제작방법은 두 가지가 있다. 첫 번째는 CVD 기술로 CNT를 캐소드 전극 위에 직접 합성시켜 원형 그대로를 에미터로 사용하는 방법이 있다.⁷⁾ 두 번째는 아크방전 혹은 CVD방법 등으로 합성한 CNT를 분말형태로 수거한 후 몇 가지 종류의 바인더 재료와 섞어서 paste 형태로 제조한 후 스크린 프린팅에 의해 후막화하여 에미터로 사용하는 방법이 있다.^{8,9)} 현재까지의 연구 결과를 종합해 볼때, 전자의 기술로는 균일한 발광특성은 나타낼 수 있지만 FED용 캐소드로서 대면적화와 유리를 기판재료로 사용한 캐소드의 제작에 어려운 문제점이 있다. 후자의 기술을 사용하면 FED를 대면적화와 유리를 기판재료로 사용한 CNT-FED용 캐소드의 개발이 가능하고, 공정도 간단하기 때문에 제조 가격도 내릴 수 있는 장점이 있다. 반면에, CVD 혹은 아크방전 방법에 의해 합성된 분말 상태의 CNT는 대개 몇 백 마이크로미터 크기의 덩어리로 존재하게 된다. 이런 덩어리 형태의 CNT를 에미터 재료로 사용하여 스크린 프린팅 방법으로 FED용 캐소드를 제조하게 되면 CNT가 균일하게 존재하지 않기 때문에 각 픽셀에서 균일한 발광 특성을 얻는 것이 매우 어렵다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 캐소드용 픽셀 부분에 CNT를 균일하게

[†]E-Mail : yescho@pusan.ac.kr

분포시켜야 하며, 이를 위해서는 분산이 잘된 인쇄용 페이스트의 제조 기술의 개발이 필요하다.

분말상태의 CNT 덩어리들을 용액 내에서 균일하게 분산시키는 방법으로는 화학적 방법과 기계적 방법이 있다. 화학적 방법은 CNT에 붙어 있는 촉매금속을 제거하기 위한 산처리 방법과 CNT의 표면 에너지를 바꾸기 위한 분산제를 사용하는 방법이 있다.^{10,11)} 기계적 분산방법은 덩어리 상태의 CNT에 물리적인 힘을 인가시켜 결합되어 있던 CNT를 분리시키는 초음파방법, 볼 밀링 방법, grinding 방법, 교반 방법 등이 있다.^{12,13)} 본 연구에서는 스크린 인쇄법으로 CNT 캐소드를 제작할 때 인쇄용 CNT 페이스트의 분산상태가 CNT 캐소드의 전계방출 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 특히, CNT 페이스트를 구성하는 고행질(filler)의 입도 크기가 전계방출 이미지(image)의 균일도에 미치는 영향과 CNT 잉크의 제작시 분산방법이 전계방출 특성과 발광이미지에 미치는 영향에 대하여 체계적으로 연구하였다.

2. 실험 방법

캐소드용 에미터 재료는 CVD(chemical vapor deposition) 방법으로 합성되었으며, 화학적으로 정제된 PU(after chemical purification)급 다중벽 탄소나노튜브(MWNT: multi-walled carbon nanotube) 분말을 사용하였다. 사용된 MWNT 분말의 순도는 95 wt.% 정도이며, 지름이 5 nm이고, 길이가 대략 15 μm 정도였다. 인쇄를 위한 CNT 페이스트는 CNT 잉크와 CNT 슬러리의 제작 과정을 통해서 만들어졌다. CNT 잉크는 CNT 분말(0.2 wt.%와 1.0 wt.%)을 유기 용매인 α -터피네올과 혼합시킨 후, 분산제인 span-80($\text{C}_{24}\text{H}_{44}\text{O}_6$)을 CNT 함량의 무게비와 1:1 비율로 첨가시켜 제작하였다. 제조된 CNT 잉크는 서로 다른 두 가지 방법인 초음파파쇄(ultrasonication) 방법과 교반기(shaker)를 사용해서 CNT 분말을 분산시켰다. 초음파 처리는 주파수가 20,000 Hz인 상태에서 1초간 간격을 두고 5초 동안 작동시켜 총 3시간 동안 작동시켰다. 교반(shaking) 처리는 CNT 잉크 안에 지름이 1 mm인 지르코니아 볼(ball)을 넣은 후 20시간 동안 교반시켜 CNT 입자들을 분쇄시켰다. CNT 슬러리는 상기

CNT 잉크에 유기성 바인더(binder)인 에칠셀룰로스를 첨가시켜 점도를 조절함으로써 제작하였다. CNT 페이스트는 CNT 슬러리에 고행분을 첨가함으로써 제작하였는데, CNT 슬러리와 고행분의 비율은 무게비로 대략 1:1로 조절하였다. 고행분은 2가지 종류가 사용되었는데, 지름이 대략 10 μm 인 glass frit과 지름이 대략 2 μm 인 PDP 패널용 유전체가 사용되었다.

Table 1은 본 연구에 사용된 CNT 페이스트의 제조 조건 변화에 따른 시편의 기호를 표시하고 있다. 시편의 기호는 2조의 영문자와 숫자로 이루어져 있다. 첫 번째 영문자와 숫자는 각각 분산방법과 CNT함량을 나타내며, 두 번째 영문자와 숫자는 고행분의 종류와 입자 크기를 표시한다. 즉, U10D02 시편의 경우, 분산방법은 초음파파쇄(ultrasonication) 방법이고, CNT 함량은 1.0 wt.%이며, 고행제의 종류는 유전체(dielectric materials)이며, 입자 직경은 2 μm 임을 의미한다. 또한 S02D02 시편의 경우는 분산은 교반기(shaker)를 사용하고, CNT의 함량은 0.2 wt.%이며, 고행제는 앞서 설명한 바와 같다. 제작된 CNT 페이스트는 투명전극(ITO: indium doped tin-oxide)이 코팅된 판상의 소다유리(sodalime glass)에 코팅되었으며, 인쇄는 SUS-250 메쉬에 에멀전 두께가 50 μm 인 마스크를 사용하여 수행되었다. 이후 대기(air) 분위기의 박스로에서 350°C까지 승온시켜 1시간 유지시킴으로써 캐소드용 CNT 박막을 제작할 수 있었으며, 기계적인 방법인 접착성 테이프를 사용하여 표면처리를 하였다.¹⁴⁾

특성분석은 CNT 잉크의 분산특성과 제작된 시편의 전계방출 특성, 발광 이미지 및 시편의 단면 관찰에 주력하였다. CNT 잉크에 대해서는 Accusize사의 입도분석기 (particle size analyzer)를 사용해서 CNT 잉크에 존재하는 CNT 입자의 크기 분포를 측정하였다. 또한, 제작된 시편에 대해서는 2극형(diode-type) 방식으로 고진공장치 내에서 전계방출 특성을 측정하였다. 전계방출 특성은 10^{-6} Torr 인 진공챔버에서 수행되었으며, 이때 캐소드전극과 애노드전극의 거리는 200 μm 으로 유지시켰다. 각 시편에 대한 발광 이미지는 ZnS계 형광체를 사용해서 관찰하였으며, 대개의 경우 전계방출 전류가 500 μA 인 조건에서 발광 이미지를 관찰하였다.

Table 1. Designation of samples and comparison of dispersion methods and compositions for CNT pastes.

Designation	Conditions
U10D02	Ultrasonic/Terpineol+MWNT(1.0 wt.%)+Span-80+EC+Dielectric substance (< 2 μm size)
U02D02	Ultrasonic/Terpineol+MWNT(0.2 wt.%)+Span-80+EC+Dielectric substance (< 2 μm size)
S10D02	Shaking/Terpineol+MWNT(1.0 wt.%)+Span-80+EC+Dielectric substance (< 2 μm size)
S02D02	Shaking/Terpineol+MWNT(0.2 wt.%)+Span-80+EC+Dielectric substance (< 2 μm size)

3. 결과 및 고찰

3.1 고품재의 입자 크기가 CNT 캐소드의 발광특성에 미치는 영향

Fig. 1은 입자의 크기가 서로 다른 고품재를 사용하여 제작한 CNT 캐소드의 단면을 주사전자현미경(SEM: scanning electron microscope)으로 관찰한 사진이다. Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)를 비교해보면 입자의 크기가 작은 고품재를 사용한 경우 CNT film의 두께가 훨씬 균일하다는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 1(a)의 경우 입자 크기 분포가 덜 균일하고, 또한 입자의 반경이 약 $10\ \mu\text{m}$ 로 크기 때문에 생기는 현상으로 풀이된다. 즉, 접착성 테이프를 사용한 표면처리시 테이프에 직접 접촉되는 1개층의 입자들만 제거된다 하더라도 glass frit는 입자의 반경이 크기 때문에 1회 표면처리시 제거되는 고품재와 CNT의 양은 상대적으로 많다. 이것은 Fig. 1(a)의 두께가 Fig. 1(b)의 두께보다 작게 나타나는 결과와 잘 일치한다. 하지만 Fig. 1(b)는 입자 반경이 $2\ \mu\text{m}$ 이하로 입자들이 작고 크기도 균일하기 때문에 표면처리시 1층의

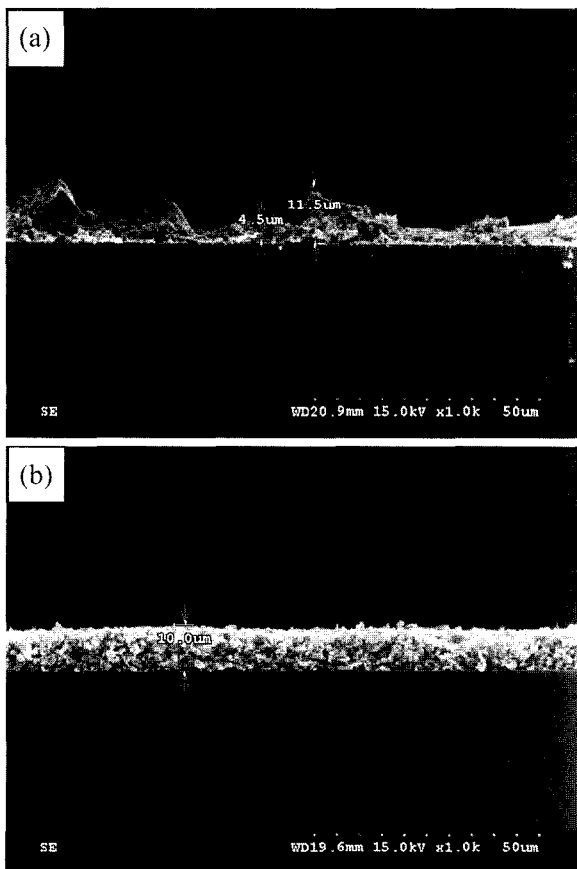


Fig. 1. SEM images of CNT cathodes for different materials after surface treatment. (a) diameter of filler materials $< 10\ \mu\text{m}$ and (b) diameter of filler materials $< 2\ \mu\text{m}$.

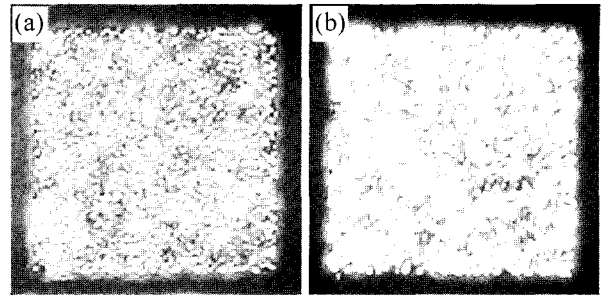


Fig. 2. Emission images of CNT cathodes for different filler materials after surface treatment. (a) diameter of filler materials $< 10\ \mu\text{m}$ and (b) diameter of filler materials $< 2\ \mu\text{m}$.

유전체와 유전체에 부착된 CNT가 제거되면서 CNT film의 두께가 덜 제거 되면서 아주 균일하게 존재하는 결과와도 잘 일치한다. 따라서 접착성 테이프를 사용해서 표면처리를 할 경우 CNT film의 두께가 균일하게 줄어들면서 CNT film의 내부에 존재하던 다수의 CNT를 표면으로 돌출시키기 위해서는 고품재의 입자반경은 작을수록 그리고 균일할수록 효과적이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 고품재의 입자 크기가 발광 이미지에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구결과를 나타낸 것이다. Fig. 2(a)의 발광 이미지에 비하여 Fig. 2(b)의 발광 이미지는 보다 균일성이 우수하고 밝게 나타난다. 이는 Fig. 1에서 설명한 바와 같이 $2\ \mu\text{m}$ 정도로 미세한 유전체를 고품재로 사용한 경우 CNT film의 표면 상태가 균일하기 때문에 생기는 현상으로 판단된다. 이상의 결과에서 CNT-FED용 전계방출원으로 사용할 CNT 캐소드의 제작을 위해서는 고품재의 선택이 중요하며, 휘도가 높고 발광 이미지가 균일한 CNT 캐소드의 제작을 위해서는 입자의 크기가 $2\ \mu\text{m}$ 정도로 작은 고품재를 사용해야 한다는 것을 알 수 있다. 따라서 이후의 연구는 입자의 반경이 $2\ \mu\text{m}$ 정도로 작은 유전체를 고품재로 사용한 CNT 캐소드의 연구에 대해서만 논의 한다.

3.2 CNT 입자의 분산이 전계방출 특성에 미치는 영향

CNT를 에미터 재료로 사용할 경우 CNT 입자의 분산 상태는 CNT 캐소드의 전계방출 특성과 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다. Fig. 3은 초음파처리와 교반처리 방법으로 CNT 분말을 분산시킨후 CNT 잉크 내에 존재하는 CNT 입자의 입도분포를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보듯이 초음파 방법으로 분산시킨 CNT 잉크의 경우 CNT의 함량이 1.0%인 시편(U10)과 0.2%인 시편(U02)에서 CNT 입자들의 평균 크기는 각각 $800\ \text{nm}$, $500\ \text{nm}$ 크고 입자들의 크기 분포도 넓게 퍼져있다. 반면, shaking 방법으로 분산 처리한 CNT 잉크내의 CNT 입자들은 평균 크기는 CNT의 함량이 1.0%인 시편(S10)과 0.2%인

시편(S02)에서 각각 200 nm, 50 nm 작으며, 크기 분포 또한 균일하다. 이 결과는 CNT 잉크의 제작시 CNT 분말의 분산성을 향상시키기 위해 적당한 기계적 분산방법으로는 shaking처리가 초음파처리 보다 더욱 효과적임을 의미한다.

Fig. 4는 CNT 함량 변화와 분산 방법에 따른 전계방출 특성을 나타내고 있다. Fig. 4의 왼편 위쪽에 표시된 작은 그림은 Fig. 4의 전계방출 특성 곡선에서 전류를 나타내는 y축을 범위를 달리하여 나타낸 것이다. Fig. 4에서 현저하게 나타나는 현상은 CNT의 함량이 전계방출 특성에 거의 지배한다는 것과 U02D02 시편에서 전계방출 전류의 도약(jump) 현상이 있다는 것이다. 즉, CNT의 함량이 1.0 wt.%로 높은 시편의 경우, 분산방법에 무관하게 S10D02 시편과 U10D02 시편의 전계방출이 비슷하게 나타난다. 이들 시편의 경우 전계방출이 시작되는 전계(electric field)는 대략 $1.7 \text{ V}/\mu\text{m}$ 정도 되며, 전계 증가에 대해서 방출 전류는 급격하게 증가하고 있다. 반

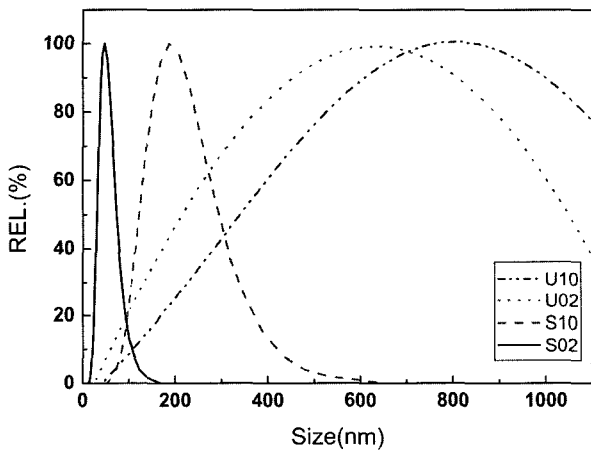


Fig. 3. Size distributions of the CNTs agglomerates in CNT ink after mechanical distribution treatment.

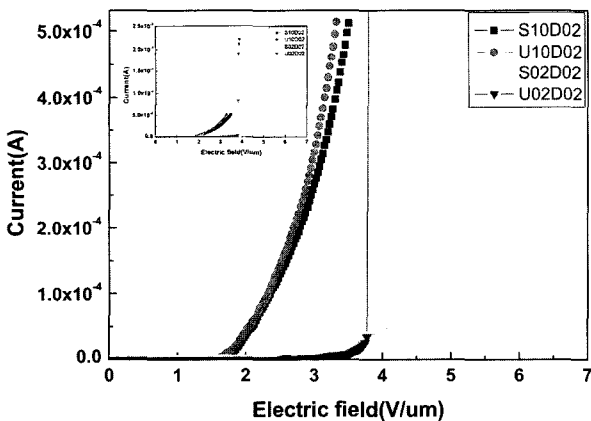


Fig. 4. The field emission characteristic of CNTs cathodes measured by diode type in vacuum chamber.

면, CNT 함량이 0.2 wt.%로 낮은 시편인 S02D02 시편과 U02D02 시편은 전계방출이 시작되는 전계가 $3 \text{ V}/\mu\text{m}$ 정도로 높으며, 또한 U02D02 시편의 경우 전계-전압 곡선에서 전계가 $3.8 \text{ V}/\mu\text{m}$ 부근에서 전류의 도약 현상이 발견된다. CNT의 함량이 높은 경우 동일한 전계에서 전계방출 전류가 높게 나타나는 현상은 1개의 에미터에서 발생하는 전류가 일정하다는 가정에서 에미터의 숫자가 많기 때문으로 설명이 되지만, 본 연구에서는 캐소드 전극상에 전기적 부도체인 고형재가 존재하기 때문에 종래의 방식으로 전계방출 현상을 설명하는 데는 문제가 있다.

Fig. 5는 전기 전도성 입자를 에미터 재료로 사용하여 전기적 부도체인 고형재와 혼합시킨 후 제작한 전계방출 캐소드의 전계방출 기구를 설명한 Tuck¹⁵⁾ 등의 연구 결과를 본 연구의 측면에서 재구성한 개략도이다. Fig. 5(a)는 중형비가 큰 CNT를 에미터 재료로 사용하고, 고형재로 전기적 부도체인 PDP용 유전체를 사용한 본 연구에서 CNT 캐소드의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다. 진공(vacuum)과 유전체에 비해서 CNT의 전기 전도성은 상대적으로 매우 크기 때문에 본 연구에서는 CNT를 금속처럼 생각한다. 따라서 Fig. 5(a)의 CNT 캐소드는 MIMV(metal-insulator-metal-vacuum)의 구조를 갖는다고

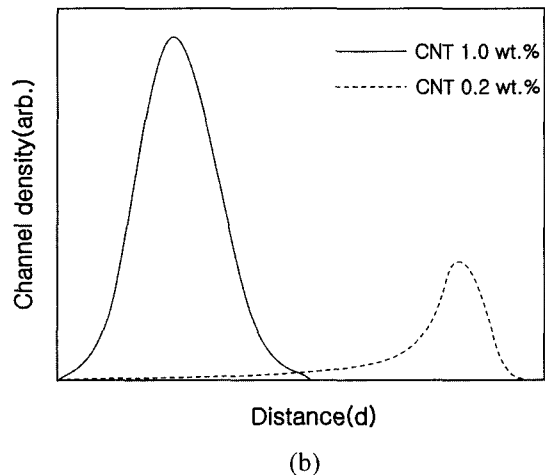
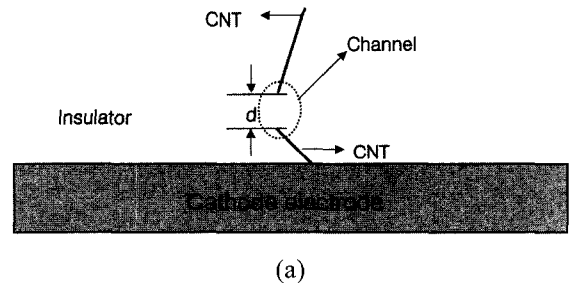


Fig. 5. Schematic description of field distribution in MIMV cathode structure. (a) Description of channel in MIMV structure, (b) Effect of CNT quantity in CNT paste on channel distance and channel density.

볼 수 있다. 전계방출에 중요한 인자는 상기 MIMV 구조에서 MIM 부분과 MV 부분으로 구분할 수 있다. MIM은 캐소드전극(혹은 CNT)과 고히형재 및 CNT로 이루어 지는데, CNT 캐소드의 전계방출을 위한 전계의 크기를 지배하는 중요한 인자이다. Fig. 5(a)에서 표시된 고히형재의 두께(d)는 전계방출에 필요한 전계의 크기를 지배하며 d가 작을 수록 낮은 전계에서도 전자방출이 가능하다. 즉, CNT 입자들 사이에 작은 간격이 생기면 그 간격 사이에는 전계가 집중하게 되며, 작은 외부의 전계에 의해서도 터널링 효과(tunneling effect)가 발생하여 채널(channel)을 형성한다. MV 부분은 CNT와 진공을 의미하며, CNT가 진공중으로 돌출되는 형상에 따라 전계강화 효과가 달라진다. Fig. 5(b)는 CNT의 함량변화에 따른 고히형재의 두께(d)와 MIMV의 개수를 도식적으로 나타낸 것이다. CNT의 함량이 높을수록 고히형재에 포함되는 CNT의 갯수가 많아지기 때문에 CNT들 사이의 간격이 작아져서 d는 작아지며, 또한 CNT 캐소드의 단위 면적당 MIMV의 숫자도 증가할 것이다.

Fig. 4의 전계방출 특성곡선과 Fig. 5의 전계방출 기구 개념도를 비교해 보면, Fig. 4의 전계-전류 특성곡선을 설명할 수 있다. Fig. 5(b)에서 보듯이 CNT의 함량이 1.0 wt.%로 높은 시편에서는 분산방법에 무관하게 MIM에서 고히형재의 두께 d가 작아질 것이기 때문에 낮은 전계에서 전자방출이 시작된다고 사료된다. 또한 CNT

의 함량이 높을수록 MIMV의 숫자가 증가할 것이기 때문에 동일한 전계에서 전계방출 전류도 높게 나타날 것으로 판단된다. Fig. 4의 U02D02 시편에서 전계방출 전류의 도약 현상은 Fig. 5(b)에서 고히형재의 두께 d의 변화로 설명된다. 즉, MIMV 구조에서 d가 작은 영역에서는 MIMV의 숫자가 완만하게 천천히 증가하다가 특정한 d값에서 갑자기 MIMV의 숫자가 증가하는 분포를 가질 때 나타나는 현상으로 생각된다.

Fig. 6은 분산되어진 소량의 CNT를 에탄올에 첨가시킨 후, 분산 방법과 CNT 함량변화에 따라서 CNT의 분산 상태를 SEM(scanning electron microscope)으로 관찰한 사진이다. 초음파파쇄기로 분산 처리한 시편인 Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)를 보면 CNT 입자들의 크기가 500 nm 내지 1 μm 정도 되는 것을 볼 수 있다. 반면, 교반기를 사용해서 분산 처리한 시편인 Fig. 6(c)와 Fig. 6(d)의 경우 CNT 입자들의 크기가 훨씬 작아진 것을 볼 수 있다. 이는 CNT 잉크의 입자크기를 분석한 Fig. 3에서의 결과와 잘 일치한다. 즉, 초음파처리보다 불밀을 사용한 교반처리가 CNT 잉크내의 CNT의 분산에 효과적임을 의미한다.

끝으로 본 연구의 주요 내용은 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, Fig. 2에서 보듯이 고히형재로 입자 크기가 2 μm 인 유전체를 사용했을 때 발광 특성이 더 우수하게 나타나는 이유는 고히형재의 입자가 작을수록 표면처리시

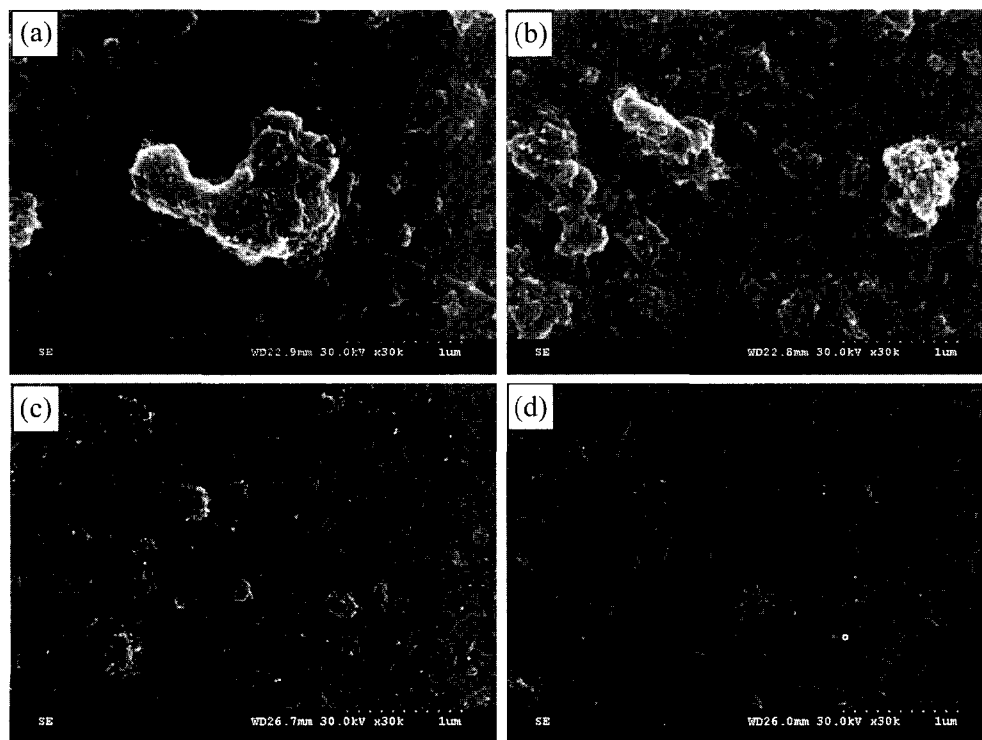


Fig. 6. SEM images of the CNT particles. (a) U10D02 sample, (b) U02D02 sample, (c) S10D02 sample, and (d) S02D02 sample.

CNT film의 높이가 균일하기 때문으로 설명할 수 있다. 둘째, Fig. 4의 CNT의 함량과 CNT 입자의 분산상태가 전계방출 특성에 미치는 영향에서 CNT의 함량이 1.0 wt.%인 경우 전계방출 특성은 CNT의 분산방법에 영향을 거의 받지 않았다. 하지만, CNT의 함량이 0.2 wt.%인 시편에서는 전계방출 특성의 차이가 나타난다. 이런 결과는 MIMIV 캐소드에 관해 연구인 Tuck¹⁵⁾의 연구결과를 적용시켜 설명이 가능하다. 즉, 분산 상태가 나쁘고 CNT의 함량이 낮은 경우 CNT 페이스트에 존재하는 CNT 입자들이 균일하게 분포되어 있지 않기 때문에 CNT 입자들 사이의 간격 d 가 특이하게 분포하는 경우 생기는 현상으로 설명할 수 있다.

4. 결 론

스크린 인쇄법으로 전계방출 표시소자용 CNT 캐소드를 제작할 때 CNT paste를 구성하는 고품질의 입자 크기와 에미터 재료로 사용되는 CNT의 함량 및 CNT 입자의 분산방법이 전계방출 특성과 발광 이미지의 균일성에 미치는 영향에 대한 연구를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CNT 페이스트를 구성하는 고품질의 입자 크기가 작을수록 CNT 캐소드는 균일한 전계발광 이미지를 나타냈다. 이유는 CNT가 표면으로 돌출되는 형상과 균일도 차이로 설명되는데, 고품질의 입자크기가 $2\mu\text{m}$ 정도로 작을 경우 표면처리시 CNT film의 두께는 더욱 균일하였으며 진공으로 돌출되는 CNT의 입자의 밀도가 높아졌기 때문이다.

2. CNT 캐소드 전계방출 특성은 CNT 잉크 상태에서 CNT의 함량이 1 wt.%로 높은 시편의 경우는 CNT의 분산방법에 거의 영향을 받지 않았다. 반면, CNT의 함량이 0.2 wt.%로 낮은 시편에서는 전계방출에 필요한 turn-on 전계도 높아졌으며 전계방출 특성 곡선도 불안정하게 나타났다.

3. CNT 캐소드의 제작에 있어서 CNT의 함량은 전계방출에 필요한 turn-on 전계와 전계방출 전류밀도를 결정하는 중요한 요소로 작용하였다. 우수한 성능을 갖는

CNT 캐소드를 제작하기 위해서는 CNT 잉크의 제작시 CNT의 함량을 높게 하고 shaking 방법을 사용하여 CNT의 입자를 200 nm 이내로 미세하게 분산시키는 것이 중요하다.

감사의 글

본 연구는 제일모직주식회사에서 지원한 연구비로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Q. H. Wang, A. A. Setlur, J. M. Lauerhaas, J. Y. Dai, E. W. Seelig and R. P. H. Chang, *Appl. Phys. Lett.*, **72**, 2912 (1998).
2. J. M. Kim, W. B. Choi, N. S. Lee and J. E. Jung, *Diamond Relat. Mater.*, **9**, 1184 (2000).
3. S. Iijima, *Nature*, **354**, 56 (1991).
4. J. L. Kwo, Meiso Yokoyama, W. C. Wang, F. Y. Chuang and I. N. Lin, *Diamond Relat. Mater.*, **9**, 1270 (2000).
5. J. M. Bonard, J. P. Salvetat, T. Stockli and Walt A. de Heer, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 918 (1998).
6. L. Nilsson, O. Groening, C. Emmenegger, O. Kuettel, E. Schaller and L. Schlapbach, *Phys. Lett.* **76**, 2071 (2000).
7. S. J. Chung, J. Jang, S. H. Lim, C. H. Lee and B. Y. Moon, *Society for Information Display*, **01**, 92 (2001).
8. J. Li, W. Lei and X. Zhang, *Appl. Surf. Sci.*, **220**, 96 (2003).
9. Y. S. Shi, C. C. Zhu, W. Qikun and L. Xin, *Diamond Relat. Mater.*, **12**, 1449 (2003).
10. L. Jiang, L. Gao and J. Sun, *Colloid Interface Sci.*, **260**, 89 (2003).
11. Y. Feng, G. Zhou, G. Wang, M. Qu and Z. Yu, *Chem. Phys. Lett.*, **375**, 645 (2003).
12. Y. Wang, J. Wu and F. Wei, *Carbon*, **41**, 2939 (2003).
13. J. Hilding, E. A. Grulke, Z. G. Zhang and F. Lockwood, *Disp. Sci. Technol.*, **24**, 1 (2003).
14. W. S. Choi, H. Y. Shin, D. H. Kim, B. G. Ahn, W. S. Chung, D. G. Lee and Y. R. Cho, *Mater. Res.* **13**, 663 (2003).
15. R. A. Tuck, W. Taylor, P. G. A. Jones and R. V. Latham, in *Proceedings of the 4th IDW, Nagoya, Japan*, 723 (1997).