

## 본딩재료의 성분 변화가 탄소나노튜브 캐소드의 전계방출 특성에 미치는 영향

신허영 · 성명석 · 김태식 · 오정섭 · 정승진 · 이지언 · 조영래<sup>†</sup>  
부산대학교 재료공학부

## Effects of Component Change of Bonding Materials on Field Emission Properties of CNT-Cathodes

Heo-Young Shin, Myeong-Seok Seong, Tae-Sik Kim, Jeong-Seob Oh, Seung-Jin Jung,  
Ji-Eon Lee and Young-Rae Cho<sup>†</sup>

School of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735

(2005년 8월 9일 받음, 2005년 10월 12일 최종수정본 받음)

**Abstract** The effects of change in the component of bonding materials in carbon nanotube cathode (CNT-cathode) on field enhancement and field emission characteristics were investigated. The field enhancement factor( $\beta$ ) was dependent on the electrical conductivity of the bonding materials. The use of frit glass as a bonding material showed a higher field enhancement factor and better field emission characteristics than an Ag paste. The reason for why the frit glass showed better field emission characteristics can be summarized as follows. First, a frit glass improves the real aspect ratio of CNTs compared to an Ag paste. Second, the number of CNTs in CNT-cathodes is considerably reduced because the CNTs were extensively oxidized during 390°C heat treatment in air atmosphere in the case of Ag paste.

**Key words** Field enhancement factor, carbon nanotube, field emission, paste materials.

### 1. 서 론

전계방출 표시소자(FED, field emission display)는 동작 특성면에서는 CRT(cathode ray tube)와 동일한 원리를 가지면서 LCD(liquid crystal display)와 같이 판형의 패널구조를 갖기 때문에 차세대 평판디스플레이(FPD, flat panel display)로 기대되고 있다.<sup>1,2)</sup> FED는 전자가 방출되는 캐소드(cathode)와 형광체가 도포된 애노드(anode)가 진공을 매개로 마주보고 있는 구조를 가진다. 캐소드에서 가장 중요한 부분은 전자총에 해당하는 에미터(emitter)로써 종래에는 금속팁(metal-tip)을 사용하였다. 금속팁을 사용한 캐소드는 기술적, 생산적인 측면에서 문제가 많아 1998년 이후 연구개발의 열기가 다소 주춤하고 있다. 최근 탄소나노튜브(CNT, carbon nanotube)의 발견과 함께 탄소나노튜브를 에미터 재료로 사용한 CNT-FED에 대한 연구가 활성화되고 있다. 현재까지 발표된 연구결과에 의하면 탄소나노튜브는 화학적으로 안정성이 높을 뿐만 아니라 전계방출 특성도 매우 우수하다고 알려져 있다.<sup>3-7)</sup> 이러한 차세대 평판디스플레이 소자인 CNT-FED

의 상용화를 위해서는 균일성과 신뢰성이 우수한 저전압 동작의 CNT 캐소드의 개발이 필수적이다.<sup>8)</sup> 저전압에서 동작되는 CNT 캐소드의 개발을 위해서는 일함수(work function)가 낮은 에미터 재료의 선택과 전계방출에 용이한 에미터의 형상 조절기술 개발이 중요하다.

이를 위하여 탄소나노튜브의 반경을 매우 작게 만드는 기술과 탄소나노튜브의 길이를 조절하여 에미터 재료의 종횡비를 증가시킴으로써 저전압에서 구동이 가능한 CNT-FED의 개발에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.<sup>9-11)</sup> 이러한 연구는 에미터의 전계강화인자(electric-field enhancement factor:  $\beta$ )를 증가시키는 방향으로 진행되고 있으며, 대부분의 연구는 동일한 외부 인가전압 조건에서 에미터의 끝부분에 국부적인 전기장의 세기를 증가시킬 수 있는 방법에 대한 것으로 요약된다. 그러나 인쇄법으로 제작된 CNT 캐소드의 경우, 본딩재료의 전기적 특성에 따라 CNT의 끝부분에 형성되는 전계강화 효과는 다르게 나타날 것으로 예측되며, 본딩재료의 전기저항 변화에 따른 CNT 캐소드의 전계방출 특성에 대한 체계적인 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 탄소나노튜브를 전자방출원인 에미터 재료로 사용한 CNT 캐소드에서 본딩재료의 조성과 함량 변

<sup>†</sup>E-Mail : yescho@pusan.ac.kr

화가 전계강화인자  $\beta$ 에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 본딩재의 구성 재료로는 은페이스트(Ag paste)와 프릿페이스트(frit glass paste)를 사용하였으며, 이를 재료는 각각 전도성 본딩재료와 비전도성 본딩재료에 해당된다. 특히, 본 연구는 본딩재료의 전기전도성 변화가 CNT 에미터의 주변에 형성하는 전계강화인자의 크기에 미치는 영향에 대하여 중점적으로 연구하였다. 이를 위하여 은페이스트와 프릿페이스트를 특정한 비율로 변화시키면서 CNT 캐소드를 제조한 후 각각의 시편에 대하여 전계방출 특성을 측정함으로써 CNT-FED의 제작시 고려해야 할 중요한 변수인 본딩재의 선택 기준을 제시하였다.

## 2. 실험 방법

아크 방전법으로 합성한 AP(as prepared)급 단일벽 탄소나노튜브(SWNT, single wall carbon nanotube)를 구입하여 에미터 재료로 사용하였다. 사용된 탄소나노튜브의 결정구조와 결합 등을 알아보기 위하여 라만분광기(FT Raman spectrometer,  $\lambda=1064$  nm)를 사용하여 분석하였다. 인쇄용 CNT paste의 제조는 2단계로 진행되었다. 첫 번째는 유기성 바인더만 사용한 유기성 CNT paste를 제조하는 단계이며, 두 번째는 상기 제작된 유기성 CNT paste에 프릿페이스트, 은페이스트 혹은 프릿분말 등의 무기성 재료를 첨가시켜 무기성 CNT paste를 제조하는 단계가 있다. 우선, 터피네올( $\alpha$ -Terpineol)과 에틸셀룰로스(EC, ethyl cellulose 50)를 무게비로 95대 5의 비율로 혼합시켜 점도가 5000cps 정도 되는 5% 유기성 슬러리를 제조하였다. 한편, CNT를 이소프로필알콜(IPA, Isopropyl Alcohol)에 넣어서 24시간 동안 초음파 방법으로 분산시킨 후 120°C로 가열된 핫플레이트(hot plate) 상에 두어 IPA를 완전히 증발시켰다. 이어서 상기 CNT를 미리 만들어 놓은 5%의 유기성 슬러리와 혼합시켜 CNT 혼합체를 제조하였다. 상기 CNT 혼합체에 계면활성제인 스판(span 80)을 무게비로 0.2% 정도 혼합시킨 후 롤(roll)의 간격이 5~20 $\mu\text{m}$ 로 조절되는 3-Roll mill에 4~5번 반복 통과시켜 유기 CNT-paste를 제조하였다.

무기 본딩재는 ELS(Electro-Science Laboratories)사의 모델명 590-G인 전도성 재료인 은페이스트(모델명: 590-G conductive composition)와 비전도성 재료인 프릿페이스트(모델명: 4010-A1, dielectric composition)를 사용하였다. Table 1은 CNT paste를 사용해서 제작한 CNT 캐소드의 시편기호와 각 시편에 대한 본딩재의 구성 성분과 비율을 간략하게 나타낸 것이다. 여기서 F와 A는 각각 frit와 Ag를 의미하며, P와 C는 각각 powder와 유기성 CNT paste를 의미한다.

CNT 캐소드는 ITO(Indium Tin Oxide)가 코팅된 유리

Table 1. Designation of samples for CNT cathodes.

Sample	Paste Components	wt. %
CNT paste	(Terpineol+EC)+(SWNT+IPA)	
F1A1C1	Frit paste : Ag paste : CNT paste	1:1:1
F3A1C2		3:1:2
F1C2		1:2
F1C1	Frit paste : CNT paste	1:1
F3C2		3:2
A1C2		1:2
A1C1	Ag paste : CNT paste	1:1
A3C2		3:2
FP3C2	Frit powder : CNT paste	3:2
AP3C2	Ag powder : CNT paste	3:2

기판 위에 은페이스트를 스크린 인쇄하여 만든 Ag전극을 캐소드로 사용하였다. 스크린 인쇄는 스텐리스 메시(STS-250)에 두께가 50  $\mu\text{m}$ 인 에멀젼이 코팅된 마스크를 사용해서 수행하였다. 도포된 CNT paste의 막을 150°C의 핫플레이트 위에서 10분 동안 건조시킨 후 대기 혹은 질소분위기의 박스형 로에서 분당 5°C로 승온시켜 390°C에서 40분 유지시킨 후 노냉시켰다. 열처리된 시편에 대해서 아크릴 계열의 접착성 테이프를 사용하여 표면처리를 수행하였다.<sup>12)</sup> 표면처리를 하는 이유는 열처리 이후 CNT를 감싸고 있는 재(ash)를 제거하는 역할과 바인더 재료에 묻혀 있던 에미터 재료인 CNT를 표면으로 돌출시키기 위함이다.

전계방출 특성의 측정은 고전공 챔버 내에서 2극형(diode-type) 모드로 수행하였다. 캐소드와 애노드의 간격을 일정하게 유지시키기 위하여 500  $\mu\text{m}$  정도의 두께를 갖는 비전도성 스파이스를 사용하였다. 전압소스(voltage source)와 전류계를 CNT 캐소드와 애노드로 이루어진 소자에 직렬로 연결하여 회로를 구성하였으며, 고전압에서의 순간적인 아크(arc) 발생시 계측장비의 보호를 위하여 200 k $\Omega$ 의 저항을 회로에 직렬로 연결하였다. 전압소스로는 Keithley 248 high-voltage supply를 사용하였으며, 전류계는 Keithley 6487 Picoammeter를 사용하였다. 실험에 사용된 CNT 캐소드의 면적은 0.5 cm<sup>2</sup>였으며, 전압의 상승은 초당 2 V의 속도로 하였으며 컴퓨터를 사용하여 관련 자료를 저장하였다. 전계방출 특성평가 전과 후의 시편에 대하여 주사전자현미경(SEM, scanning electron microscopy)을 사용해서 CNT의 형상과 분포 등을 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 본 연구에 사용된 단일벽 탄소나노튜브의 결정구조 및 결합의 정도를 알아보기 위해 라만분광기를 사

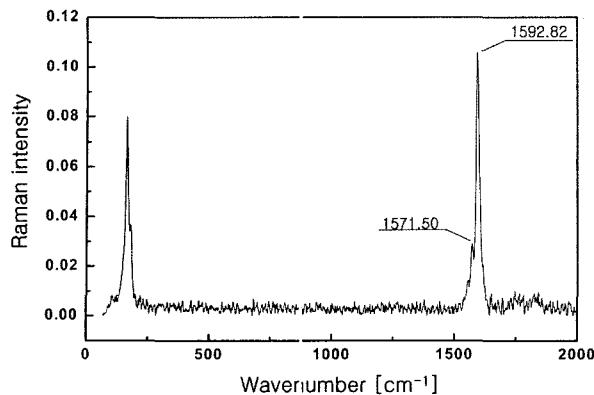


Fig. 1. Raman spectrum of SWNT powder obtained using Nd-YAG excitation ( $\lambda=1064$  nm).

용해 측정한 라만스펙트럼을 나타낸 것이다. Fig. 1에서  $1592.8\text{ cm}^{-1}$ 과  $1571.5\text{ cm}^{-1}$ 의 피크는 전형적인 G-band이며, 라만피크의 형상이 좁고(sharp) 강도가 높은 것으로 보아 사용된 CNT의 대부분이 흑연(graphite) 구조를 갖는다는 것을 의미한다.<sup>13-15)</sup> 또한,  $1200\sim1300\text{ cm}^{-1}$  범위에서 결함(defect)의 특성을 나타내는 D-band의 피크가 나타나지 않는 것으로 볼 때 본 연구에 사용된 탄소나노튜브는 결정성이 높은 흑연의 결정구조를 가지고 있음을 알 수 있다.<sup>14,15)</sup>

### 3.1 무기 본딩재의 구성 성분과 전계방출 특성

Fig. 2는 유기성 CNT paste에 은페이스트와 프릿페이스트를 첨가시켜 제조한 무기성 CNT paste를 사용한 CNT 캐소드의 전계방출 특성을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)는 캐소드와 애노드 사이에 인가한 거시적 전계강도에 따른 각 시편의 전계방출 전류밀도를 나타낸 것이며, Fig. 2(b)는 각각의 시편에 대한 F-N plot을 나타낸 것이다.

전계방출 전류밀도가  $60\text{ }\mu\text{A}/\text{cm}^2$  일때 요구되는 각 시편의 전계는 F3A1C2 시편에서 가장 낮은  $2.35\text{ V}/\mu\text{m}$ , F2C1 시편에서는  $2.6\text{ V}/\mu\text{m}$ , F1A1C1 시편에서는  $2.9\text{ V}/\mu\text{m}$ 로 약간 높게 나타났다. Fig. 2(b)의 F-N plot에서 고전압 영역의 기울기인  $S_H$ 로부터 각각의 시편에 대한 전계강화인자  $\beta$ 를 구할 수 있으며, F3A1C2 시편은 가장 높은 3671, F2C1 시편은 3185, F1A1C1 시편은 상대적으로 낮은 3076로 계산된다. 무기성 CNT paste의 전기 전도성과 전계강화인자의 크기를 비교해 보면 특정한 경향을 발견할 수 있다. 즉, 전기 전도성이 전혀 없는 프릿페이스트만 유기성 CNT paste에 첨가한 F2C1 시편과 프릿페이스트와 전기적 전도성을 우수한 은페이스트로 동일한 비율로 첨가한 F1A1C1 시편에 비해, 은페이스트에 비해 프릿페이스트의 첨가 양이 많았던 F3A1C2 시편에서 더욱 높은 전계강화인자가 나타났다. 이는 CNT paste를 구성하는 무기 본딩재의 전기 전도성이 전계강화인자의 크기에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

### 3.2 무기 본딩재의 전기 전도성과 전계방출 특성

앞 절에서 CNT 페이스트를 구성하는 무기 본딩재의 전기 전도성은 CNT 캐소드의 전계방출 특성에 영향을 미친다는 것을 관찰하였다. 여기서는 유기성 CNT paste에 전기적 부도체인 프릿페이스트 만을 무기 본딩재로 첨가시킨 경우와 전기적 전도체인 은페이스트 만을 무기 본딩재로 첨가시킨 경우 각 시편의 전계방출 특성을 측정비교하였다. Fig. 3은 유기성 CNT paste에 전기적 부도체인 프릿페이스트 만을 첨가하여 제작한 시편인 F1C2, F1C1, F3C2 시편과 유기성 CNT paste에 전기적 전도체인 은페이스트 만을 첨가시켜 제작한 A1C2, A1C1, A3C2 시편에 대한 전계방출 특성을 나타내었다. 전체적으로 전기적 부도체인 프릿페이스트를 유기성 CNT paste

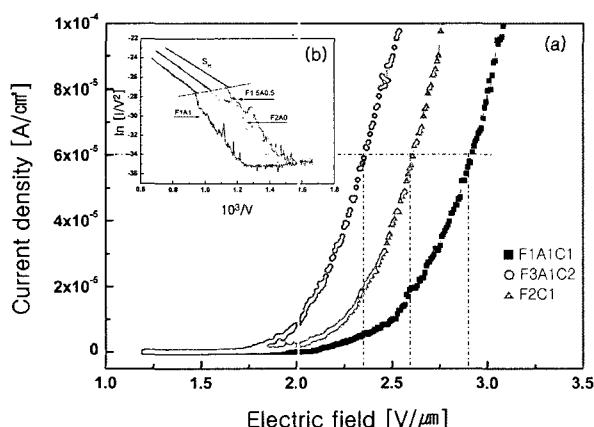


Fig. 2. Field emission characteristic of the CNT-cathodes. (a) the curves of the emission current density vs. applied electric field(J-V), (b) the corresponding F-N plot.

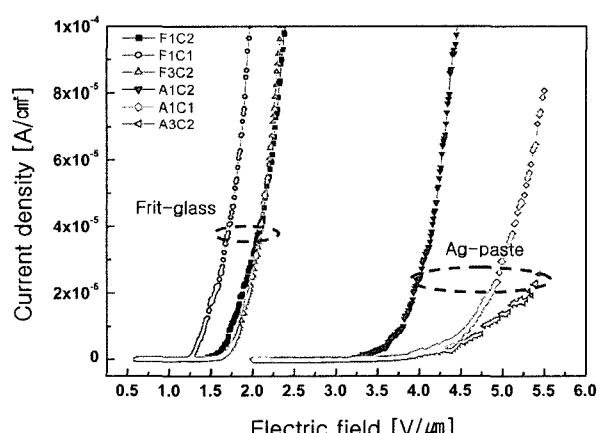


Fig. 3. The electron field emission properties of CNT-cathodes obtained from Ag paste(A1C2, A1C1, A3C2) and frit paste(F1C2, F1C1, F3C2) as inorganic bonding material.

에 첨가시켜 제조한 CNT 캐소드의 경우가 전기적 전도체인 은페이스트를 유기성 CNT paste에 첨가시켜 제조한 시편에 비해서 우수한 전계방출 특성을 보인다. 전기적 전도체인 은페이스트 만을 유기성 CNT paste에 첨가시켜 제조한 시편의 경우, 유기성 CNT paste에 첨가하는 은페이스트의 함량을 증가할수록 전계방출이 시작되는데 필요한 전계가 높아지는 것을 볼 수 있다. 이상의 실험결과로부터 스크린 인쇄법으로 CNT 캐소드를 제작할 때 유기성 CNT paste에 첨가시키는 무기 본딩재는 전기적 부도체를 사용하는 것이 전기적 전도체를 사용할 때 보다 우수한 전계방출 특성을 얻을 수 있다고 결론내릴 수 있다.

Fig. 4는 유기성 CNT paste와 프릿페이스트를 첨가시켜 제조한 무기성 CNT paste를 사용해서 제작한 CNT 캐소드의 SEM 사진을 보여준다. Fig. 4(a)는 무기 본딩재를 첨가하지 않는 유기성 CNT paste를 사용해서 제작한 CNT 캐소드의 SEM 사진이다. 스크린 인쇄법으로 형성시킨 캐소드인 Ag전극 위에 표면처리로 인해 다량의 CNT가 떨어져 나가고 소량의 CNT만 표면에 붙어 있다. (b)는 프릿페이스트를 미량 첨가한 F1C2 시편에 대한 것으로 프릿의 주위에 (a) 보다 많은 CNT가 붙어 있다. 무기 본딩재인 프릿의 양이 좀더 많은 F1C1 시편에 해당하는 (c)는 다량의 CNT들이 표면의 대부분을 덮고 있다. 그러나 프릿의 양이 더욱 많은 F3C2 시편인 (d)

의 경우는 단위면적당 CNT의 수가 오히려 (c)보다 감소하였다. 이런 결과는 본딩재의 역할이 CNT를 캐소드에 본딩시키는 것임을 상기하면 해석이 가능하다. 즉, 무기 본딩재를 첨가하지 않았던 유기성 CNT paste를 사용한 시편에서는 CNT와 캐소드와의 본딩력이 거의 없어서 표면처리시 대부분의 CNT가 접착성 테이프에 부착되어 제거되었기 때문으로 사료된다. 반대로 무기성 바인더의 함량이 증가하면 본딩력은 증가하지만 CNT의 상대적 비율이 낮아져 제작된 CNT 캐소드의 표면에 존재하는 CNT의 분율이 낮아지기 때문으로 판단된다.

### 3.3 고온에서 CNT의 화학적 안정성

앞 절에서 무기 본딩재로 은페이스트를 사용한 경우 프릿페이스트를 사용한 경우에 비해서 현격하게 CNT 캐소드의 전계방출 특성이 나빠졌다. 앞절의 Fig. 3은 대기(air) 분위기에서 열처리한 시편에 대한 실험결과인데, 은페이스트를 사용했을 때 전계방출 특성이 나빠지는 이유는 대기 분위기에서 390°C로 열처리시 CNT가 심하게 열화(oxidation) 되기 때문으로 보고되고 있다. 2원계(Ag-C system) 평형상태도에 의하면 은(Ag)에 고용될 수 있는 탄소의 양은 거의 없다.<sup>18)</sup> 따라서 390°C에서 열처리시 은과 CNT가 직접 반응하기는 어렵다고 판단되며, 열처리시 은페이스트는 CNT의 산화를 가속시키는 촉매 역할을 하는 것으로 사료된다.<sup>19)</sup>

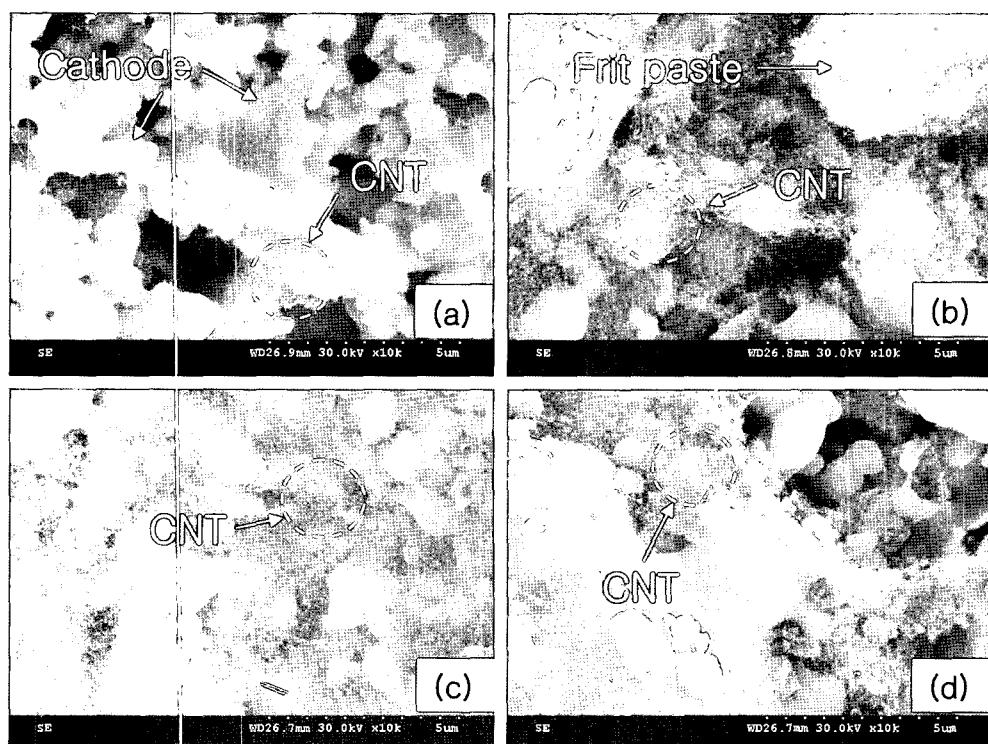


Fig. 4. Field emission SEM images of CNT cathodes after surface treatment. (a) organic CNT paste, (b) F1C2, (c) F1C1, and (d) F3C2.

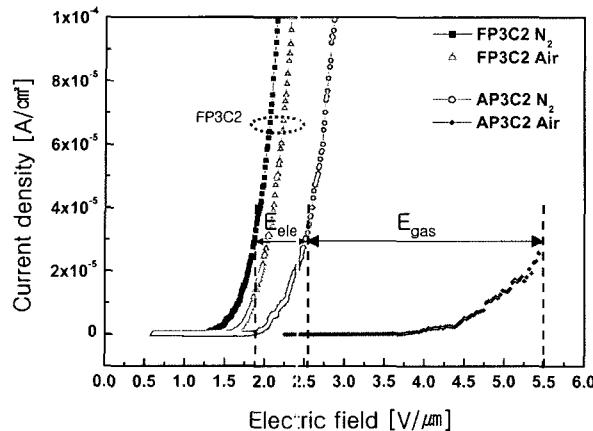


Fig. 5. The electron emission properties of CNT cathodes fabricated by different bonding materials and heat treatments. (AP: Ag powder, FP: frit powder).

Fig. 5는 대기분위기에서 프릿페이스트와 은페이스트 대신 프릿분말(frit powder)과 은분말(Ag powder)를 무기 본딩재로 첨가한 CNT 캐소드에 대해서 열처리 분위기의 변화에 따른 각 시편의 전계방출 특성을 나타낸 것이다. 은분말을 무기 본딩재로 사용한 AP3C2 시편의 경우 열처리 분위기중 개스(gas)의 변화에 따라 전계방출 특성이 현격한 차이( $E_{\text{gas}}$ )를 보인다. 이는 은페이스트를 무기 본딩재로 사용한 앞서의 결과(Fig. 3)처럼 은분말을 유

기 CNT paste에 첨가시켜 대기중에서 열처리하면 CNT가 심하게 산화되어 생긴 현상으로 해석된다. 반면, 프릿분말을 무기 본딩재로 사용한 FP3C2 시편의 경우 열처리를 대기 분위기 혹은 질소 분위기에서 중 어디에서 수행하는지에 그다지 영향을 받지 않는다. 열처리 도중 CNT의 열화가 덜 발생하는 질소 분위기에서 열처리한 시편이라 하더라도 첨가하는 무기 본딩재의 원소(element)가 다르면(즉, 유리분말과 은분말) 본 연구의 경우 CNT 캐소드의 전계방출 특성이 다르게 나타났다( $E_{\text{ele}}$ ). 여기에 대한 이유는 SEM 사진을 통한 CNT 캐소드에 존재하는 CNT의 분포 관찰과 프릿분말과 은분말의 밀도 등을 고려해서 고찰하면 어느 정도 설명이 가능할 것으로 생각된다.

Fig. 6은 유기질 CNT paste에 프릿분말과 은분말을 첨가하여 대기 분위기에서 열처리를 수행한 FP3C2시편과 AP3C2 시편의 SEM 사진이다. Fig. 6의 (a)와 (b)는 CNT 캐소드의 위쪽에서 관찰한 사진이며, (c)와 (d)는 측면에서 관찰한 사진이다. 프릿분말을 무기 본딩재로 첨가한 FP3C2 시편인 (a)와 (c)의 경우, CNT 캐소드의 표면에 수많은 CNT가 존재함을 관찰할 수 있다. 반면, AP3C2의 시편 (b)와 (d)에서는 무기 본딩재로 사용한 은 입자는 확실하게 관찰되지만, 에미터 재료인 CNT는 거의 보이지 않고 Fig. 6(d)에서 보듯이 짧은 솜털 형상의 CNT가 산화된 흔적만 관찰된다. 이상의 결과로부터 CNT

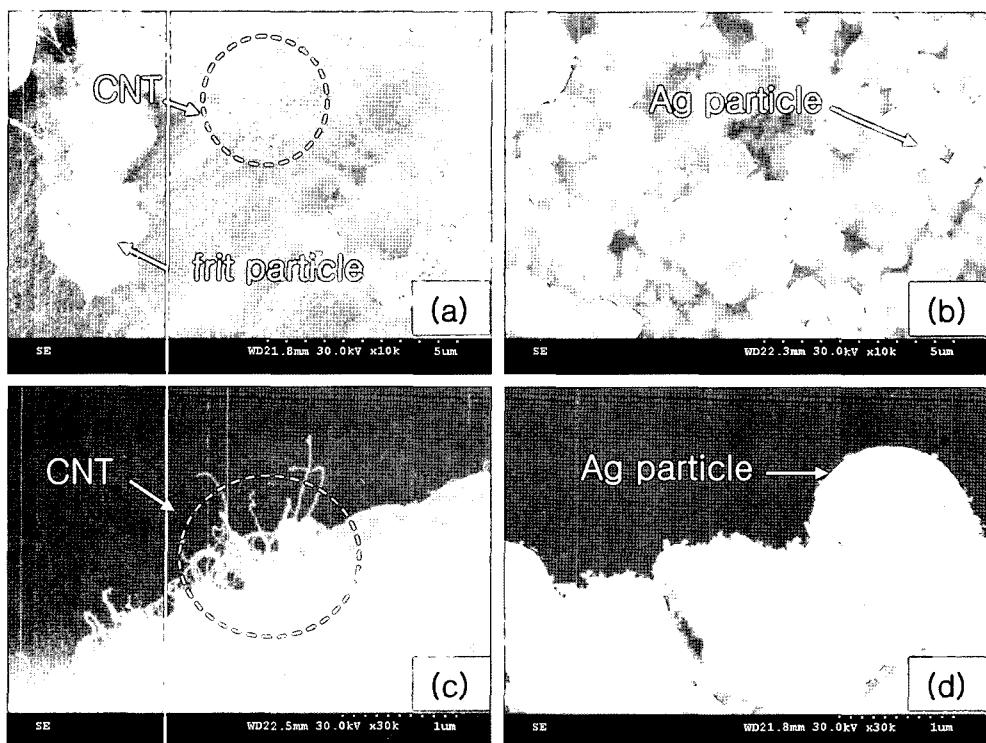


Fig. 6. Field emission SEM images for CNT cathodes. (a) plane view for FP3C2, (b) plane view for AP3C2, (c) side view for FP3C2, and (d) side view for AP3C2.

paste의 구성 성분 중 은(Ag)이 주요 성분으로 존재하게 되면 은의 첨가 방법이 페이스트 상태 혹은 분말상태에 무관하게 인쇄한 CNT막의 열처리시 CNT가 심하게 산화됨을 알 수 있다.

전체적으로 종합하면, Fig. 3에서 보듯이 유기성 CNT paste에 첨가시키는 무기 본딩재는 전기적 부도체를 사용하는 것이 전기적 전도체를 사용하는 것보다 전계방출 특성면에서 유리함을 확인하였다. 이유는 무기 본딩재의 종류와 비율 변화에 따른 전계강화 인자의 크기를 비교한 Fig. 2(b)의 결과로 설명이 가능하다. 즉, 무기 본딩재로 은을 사용한 경우 CNT 캐소드의 표면에 존재하는 CNT의 양이 작을 뿐 아니라 표면으로 돌출된 CNT의 높이도 Fig. 6(d)에서 보듯이 현격히 낮아진다. Nilson 등의 연구에 의하면 CNT 캐소드에서 전계방출에 기여하는 에미터용 CNT는 캐소드의 표면으로 돌출된 것으로 제한된다고 한다.<sup>5)</sup> 본 연구의 경우 무기 본딩재로 은을 많이 사용하면 대기중 열처리시 CNT의 산화가 심하게 생기기 때문에 CNT 캐소드의 표면에 존재하는 CNT의 양이 줄어들면서 동시에 표면으로 돌출된 CNT의 길이가 짧아져서 전계방출 특성이 나빠진다고 사료된다.

#### 4. 결 론

스크린 인쇄법으로 전계방출 표시소자용 캐소드의 핵심 부분인 CNT 캐소드의 제조시 CNT를 캐소드에 부착시키는 역할을 하는 무기 본딩재의 조성 및 함량 변화가 CNT 캐소드의 전계방출 특성에 미치는 영향에 대해 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CNT 캐소드의 무기 본딩재로 은(Ag)을 사용할 경우, 유기질 CNT paste에 첨가되는 은의 형태가 페이스트 상태 혹은 분말 상태에 무관하게 대기 분위기의 390°C에서 열처리하면 CNT가 심하게 산화되었다. 반면, 질소 분위기에서 열처리한 시편은 대기 분위기에서 열처리한 시편보다 현저하게 뛰어난 전계방출 특성을 보였다. 따라서 은을 무기 본딩재로 사용할 경우는 반드시 산소의 공급이 제한되는 분위기 조절이 가능한 로를 사용해서 열처리 해야 한다.

2. CNT 캐소드의 무기 본딩재로 전기적 부도체인 프릿페이스트 혹은 프릿분말을 사용했을 경우, 전기적 전도체인 은을 사용했을 때보다 우수한 전계방출 특성을 보였다. 프릿페이스트 혹은 프릿분말을 CNT paste용 무기 본딩재로 사용한 경우는 열처리시 개스의 종류(산소와 질소)에 전계방출 특성이 거의 영향을 받지 않았다. 프릿

페이스 혹은 프릿분말을 사용한 CNT 캐소드에서 전계방출 특성이 우수하게 나타난 이유는 CNT 캐소드의 표면에 존재하는 CNT의 양이 많았고, 동시에 CNT들이 표면으로 많이 돌출되었기 때문이다.

#### 참 고 문 헌

- 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).
- J. M. Kim, W. B. Choi, N. S. Lee and J. E. Jung, *Diamond Relat. Mater.*, **9**, 1184 (2000).
- J. M. Bonard, J. P. Salvetat, T. Stockli and W. A. de Heer, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 918 (1998).
- Y. C. Choi, Y. M. Shin, D. J. Bae, S. C. Lim, Y. H. Lee and B. S. Lee, *Diamond Relat. Mater.*, **10**, 1457 (2001).
- L. Nilsson, O. Groening, C. Emmenegger, O. Kuettel, E. Schaller and L. Schlapbach, *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 2071 (2000).
- Y. C. Choi, Y. M. Shin, S. C. Lim, D. J. Bae, Y. H. Lee and B. S. Lee, *J. Appl. Phys.*, **88**, 4898 (2000).
- D. H. Kim, H. S. Jang, C. D. Kim, D. S. Cho, H. D. Kang and H. R. Lee, *Chem. Phys. Lett.*, **378**, 232 (2003).
- D. H. Kim, T. S. Kim, B. K. Ahn, H. Y. Shin, D. G. Lee, H. K. Cho, and Y. R. Cho, *Materials Science Forums*, **475-479**, 1771 (2005).
- H. N. Lin, Y. H. Chang, J. H. Yen, J. H. Hsu, I. C. Leu, and M. H. Hon, *Chem. Phys. Lett.*, **339**, 422 (2004).
- C. W. Chen, M. H. Lee and S. J. Clark, *Appl. Surf. Sci.*, **228**, 143 (2004).
- A. Okamoto and H. Shinohara, *Carbon*, **43**, 431 (2005).
- W. S. Choi, H. Y. Shin, D. H. Kim, B. G. Ahn, W. S. Chung, D. G. Lee, and Y. R. Cho, *Kor. J. Mater. Res.*, **13**, 663 (2003).
- S. L Fang, A. M. Rao, P. C. Eklund, P. Nikolaev, A. G. Rinzler and R. E. Smalley, *J. Mater. Res.*, **13**, 2045 (1998).
- C. J. Lee, D. W. Kim, T. J. Lee, Y. C. Choi, Y. S. Park, W. S. Kim, W. B. Choi, N. S. Lee, J. M. Kim, Y. G. Choi, S. C. Yu, and Y. H. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 20 (1999).
- A. N. Obraztsov, A. P. Volkov and I. Pavlovsky, *Diamond Relat. Mater.*, **9**, 1190 (2000).
- J. W. Gadzuk, and E. W. Plummer, *Rev. Mod. Phys.*, **45**, 487 (1973).
- J. P. Barbour, W. W. Dolan, J. K. Trolan, E. E. Martin, and W. P. Dyke, *Phys. Rev.*, **92**, 45 (1953).
- T. B. Massalski, *Binary Alloys Phase Diagram*, 2nd ed. edited by W. W. Scott, Jr. Vol. 1, p. 19, ASM International, Metals Park, OH, (1990).
- H. Y. Shin, W. S. Chung, K. H. Kim, Y. R. Cho, and B. C. Shin, *To be published in J. Vac. Sci. Tech. B*, **23**(6), Nov/Dec (2005).