

3극형 탄소나노튜브 캐소드의 전계방출 특성에 미치는 표면처리에 관한 연구

이지연 · 안영제 · 이제현* · 정원섭 · 조영래[†]

부산대학교 재료공학부

*국방기술품질원

Study of Surface Treatments on Field Emission Properties for Triode-Type Carbon Nanotube Cathodes

Ji-Eon Lee, Young-Je An, Je-Hyun Lee*, Won-Sub Chung and Young-Rae Cho[†]

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

*Defense Agency for Technology and Quality, P. O. Box 24, Chang-Won, Kyoung-Nam, 641-600

(2007년 2월 21일 받음, 2007년 3월 15일 최종수정본받음)

Abstract Carbon nanotube cathodes(CNT cathodes) with a trench structure similar to gated structure of triode-type cathode were fabricated by a screen printing method using multi-walled carbon nanotubes. The effects of surface treatments on CNT cathodes were investigated for high efficiency field emission displays(FEDs). A liquid method easily removed the organic residue and protruded the CNTs. Field emission properties were measured by using a diode-type mode. The liquid method produced a turn-on field of 1.4 V/ μm . The emission current density was measured about 3.1 mA/cm² at the electric field of 3 V/ μm . The liquid method showed a high potential applicable to the surface treatment for triode-type FEDs.

Key words surface treatment, liquid method, field emission, CNT emitter, screen print.

1. 서 론

전계방출 디스플레이(FED, field emission display)는 강한 전계에 의해 금속 표면의 전위 장벽이 낮아지면서 전자가 진공 중으로 방출되는 전자 터널링(electron tunneling) 현상을 이용한 차세대 평판 디스플레이(FPD, flat panel display)의 하나이다. FED의 동작원리는 전자총에서 방출된 전자에 에너지를 가하여 발광물질인 형광체(phosphor)에 충돌시켜 빛을 내는 CRT(cathode ray tube)와 비슷하다. 반면에 FED는 각 픽셀당 다수의 전자 방출원을 가지고 대응하기 때문에 CRT와는 달리 편향코일(deflection coil)이 필요 없어 두께가 얇고, 우수한 화질과 빠른 응답속도를 갖는 차세대 평판 디스플레이 소자로 평가되고 있다.^{1,2)} FED의 기본 구조는 전자가 방출되는 캐소드(cathode)와 형광체가 도포된 아노드(anode)가 고진공을 매개로 마주보고 있는 평판형의 구조를 가진다.

최근 탄소나노튜브(CNT, carbon nanotube)의 발견과³⁾ 함께 탄소나노튜브를 전자방출원인 에미터 재료로 사용한 CNT-FED에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현

제까지 발표된 연구결과에 의하면 탄소나노튜브는 물리적, 화학적 특성이 우수할 뿐만 아니라 높은 종횡비(aspect ratio)를 갖기 때문에 전계방출 특성이 뛰어나다고 알려져 있다.^{4,7)} CNT-FED의 상용화를 위해서는 전계방출의 균일성과 신뢰성이 우수한 저전압(low voltage) 동작의 CNT 캐소드 개발이 필수적이다.⁸⁾

CNT 캐소드를 저가격으로 대면적화하기 위해서는 후막형태로 기판에 도포할 수 있는 스크린 인쇄법(screen printing method)이 널리 사용되고 있다. 스크린 인쇄법을 통한 패턴의 형성을 위해서는 인쇄를 위한 CNT 페이스트의 제조가 우선 되어야 하며, 이를 위해서 유기 바인더(organic binder)와 무기 충전제(inorganic filler)가 사용된다. 하지만 분말 상태의 CNT가 액체 형태의 페이스트에서 잘 분산되지 않는 문제점과 함께 유기 바인더를 제거하고 무기 충전제를 소성시키기 위한 열처리 공정 후 대부분의 CNT가 무기 충전제와 유기 바인더의 잔재(ash, residue) 속에 묻혀서 존재하기 때문에 전계방출 특성이 좋지 않는 문제점이 발생해 왔다. 이를 해결하기 위해서는 CNT를 감싸고 있는 잔재를 제거하고 CNT를 표면으로 수직 돌출(protrusion)시키기 위한 표면처리(surface treatment) 기술의 개발은 스크린 인쇄법으로 제

[†]Corresponding author

E-Mail : yescho@pusan.ac.kr (Y. R. Cho)

조한 CNT 캐소드에서는 반드시 필요한 공정으로 알려져 있다. 표면처리 방법으로는 레이저조사(laser irradiation)⁹⁾, 이온조사(ion irradiation)¹⁰⁾ 그리고 테이핑(taping)¹¹⁾과 롤링(rolling)¹²⁾ 등이 있으며 레이저와 이온조사의 경우 공정비용이 비싸고, 대면적 표면처리가 어려운 단점이 있어 비교적 저렴하고 공정이 간단한 테이핑과 롤링법이 보편적으로 이용되고 있다.

FED가 상용화 되기 위해서는 완전한 그레이 스케일(gray scale)의 구현이 가능하고 구동전압이 낮은 3극형 디스플레이(triode-type display) 구조가 되어야 한다.¹³⁾ 3극형 디스플레이는 캐소드 기판상에 전자의 방출을 제어할 수 있는 게이트(gate) 전극을 가지는 것으로 CNT 에미터와 애노드 전극인 형광체 사이에 위치하게 된다. 이러한 3극형 캐소드(triode cathode) 구조를 갖는 CNT-FED용 캐소드에 테이핑 혹은 롤링법으로 표면처리를 할 경우, 게이트 구조물이 표면처리 물질인 접착성 테이프(adhesive tape)나 고무롤러(soft rubber roller)가 CNT 캐소드에 균일하게 접촉되지 못하기 때문에 표면처리시 문제점이 많았다. 최근 제시되고 있는 액상(liquid)을 이용한 표면처리 방법¹⁴⁾은 유동성이 있는 액체상태의 폴리머를 CNT 캐소드에 도포하고 건조시킨 후, 폴리머의 탄성 중합체 막을 제거하는 원리를 이용하기 때문에 테이핑과 롤링법과는 달리 게이트 구조물에 영향을 받지 않고 전체적으로 균일하게 표면처리가 가능하여 액상물질의 선택과 공정에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 복잡한 공정으로 제조되는 3극형 캐소드 대신 간단한 스크린 인쇄공정만으로 제작되는 트렌치(trench) 구조물을 CNT 캐소드 사이에 형성시킴으로 게이트와 유사한 형상을 가지지만 게이트 전극이 없는 트렌치형 캐소드를 제작하였다. 제작된 캐소드의 표면처리 방법에 따른 전계방출 특성을 연구하였으며, 특히 탄성 중합체(elastomer)를 이용한 액상법에 관한 연구를 중점적으로 수행하였다.

2. 실험 방법

본 연구의 캐소드용 에미터 재료로 사용된 CNT는 CVD(chemical vapor deposition) 방법으로 합성되었고 화학적으로 정제 처리된 다중벽 탄소나노튜브(MWNT: multi-walled carbon nanotube) 분말을 사용하였다. 사용된 MWNT 분말의 순도는 95 wt%, 지름은 5 nm, 길이는 15 μm 정도였다. 인쇄용 CNT 페이스트는 유기 바인더(organic binder)와 무기 충전제(inorganic filler) 그리고 CNT 분말이 무게비로 10 : 11 : 1의 비율로 구성되었다. 유기 바인더는 터피네올(α -Terpineol)과 에셀셀룰로스(EC, ethyl cellulose 50)를 19 : 1의 무게비로 혼합하여 제조하였으며, 무기 충전제는 ESL(Electro-Science

Laboratories)사의 프리트 페이스트(4010-A1, dielectric composition)를 사용하였다. 이 혼합물에 분산제($\text{C}_{24}\text{H}_{44}\text{O}_6$, Span-80)를 CNT 대비 무게비로 1 : 1의 비율로 첨가한 후, 롤(roll)의 간격이 5~20 μm 로 조절되는 3롤 밀(3-Roll mill)에 5~6회 반복 통과시켜 CNT 페이스트를 제조하였다.

제조된 CNT 페이스트는 투명전극(ITO, indium tin oxide)이 코팅된 판상의 소다라임 유리(soda-lime glass) 기판에 간격이 150 μm , 크기가 10 mm \times 100 μm 인 라인(line)형 패턴으로 스크린 인쇄하여 120°C의 핫플레이트(hot-plate)에서 30분간 건조하였다. 이어서 인쇄된 라인형 CNT 패턴 사이에 게이트(gate) 구조와 유사한 형상을 갖도록 스크린 인쇄와 건조를 3회 반복함으로써 CNT 패턴보다 높은 트렌치(trench) 구조물을 제작하였다. 적층형 트렌치 구조물의 형성에 사용된 페이스트는 프리트 페이스트(4010-A1, dielectric composition)에 터피네올(α -Terpineol)을 첨가하여 점도가 조정된 조성을 사용하였다. 인쇄에 사용된 마스크는 스텐리스-500메시(STS-500)에 에멀전(emulsion) 두께가 10 μm 정도였다. 인쇄된 캐소드는 전기로(furnace)를 이용하여 대기분위기로 250°C에서 열처리 하여 유기 바인더를 제거(burn out)하였다. 또한 무기 충전제와 트렌치 구조물의 소성을 위하여 420°C에서 열처리 하였으며, CNT의 열화를 방지하기 위하여 질소분위기로 수행하였다.

열처리로 발생한 불순물인 유기 바인더 잔재의 제거와 에미터 재료인 CNT를 표면으로 수직 돌출(protrusion)시키기 위하여 테이핑법, 롤링법, 액상법을 사용하여 기계적인 표면처리(surface treatment)를 수행하였다. 테이핑법은 아크릴 계열의 접착성 테이프를 캐소드에 붙였다 다시 뜯어내었고, 롤링법은 고무롤러를 사용하여 캐소드 표

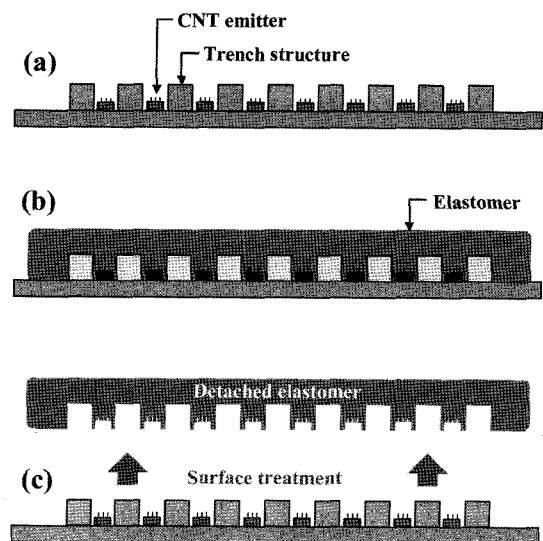


Fig. 1. Experimental procedure describing liquid surface treatment; (a) fabricated trench-type CNT cathode, (b) covered elastomer and (c) cured and removed elastomer.

면을 문지르는 방식으로 하였다. 그리고 액상법의 경우 Fig. 1에 대략적인 실험 순서를 표시하였다. 먼저, 다우코닝(Dow Corning)사의 탄성중합체(SH9555, elastomer)의 주재와 경화제를 10:1의 무게비로 혼합시킨 후, 균질기를 이용해서 10분간 교반하여 탄성중합체 용액을 제조하였다. 용액의 점도는 약 $60 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 로 줄의 형태로써 다량의 기포를 함유하고 있었기 때문에 탄성중합체 용액이 도포된 캐소드를 10분간 10^{-2} Torr 의 진공도를 유지함으로써 기포를 제거시켰다. 이후 대기분위기의 80°C 오븐에서 5분 정도 유지하여 경화 시켰다.

표면처리 방법에 따른 전계방출 특성의 측정은 고진공 챔버 내에서 2극형 모드(diode-type)로 수행하였다. 캐소드(cathode)와 아노드(anode)의 간격을 일정하게 유지하기 위하여 $300 \mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 비전도성 스페이서(spacer)를 사용하였다. 측정 시 챔버내의 진공도는 대략 10^{-6} Torr 정도였으며, 발광특성을 관찰하기 위하여 투명전극이 코팅된 소다라임 유리 기판에 ZnS계 형광체를 인쇄하여 아노드 전극으로 이용하였다. 전압소스(Keithley 248, high-voltage supply)와 전류계(Keithley 6487, picoammeter)를 CNT 캐소드와 아노드로 이루어진 소자에 직렬로 연결하여 회로를 구성하였으며, 고전압에서의 순간적인 아크(arc) 발생으로부터 계측장비를 보호하기 위하여 $200 \text{ k}\Omega$ 의 저항을 회로에 직렬로 연결하였다. 또한 표면처리 방법에 따른 CNT 에미터의 형상과 분포 등을 주사전자현미경(SEM, field emission-scanning electron microscope)과 광학현미경(OM, optical microscope)을 사용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면처리 방법에 따른 트렌치형 캐소드의 전계방출 특성

Fig. 2는 스크린 인쇄법으로 제작한 트렌치 구조물을 가지는 CNT 캐소드의 SEM 사진이다. Fig. 2(a)는 캐소드의 단면 형상을 보여주며, Fig. 2(b)는 전체적인 트렌치형 캐소드의 구조를 나타내고 있다. 에미터인 CNT 패턴이 라인 형태로 도포되어 있으며, 각각의 에미터 사이에 프릿유리로 구성된 트렌치 구조물이 위치하고 있다. CNT 패턴의 폭과 길이는 각각 $100 \mu\text{m}$, 10 mm 정도에 높이는 약 $5 \mu\text{m}$ 였으며, 트렌치 구조물의 폭과 길이는 각각 $130 \mu\text{m}$, 10 mm 에 높이는 $40 \mu\text{m}$ 정도였다. CNT 패턴과 트렌치 구조물간의 높이차이는 $35 \mu\text{m}$ 정도이며, 본 연구의 표면처리 공정에서 3극형 캐소드의 게이트 구조물과 유사한 역할을 담당하게 된다. 열처리를 420°C 에서 30분간 수행함으로써 트렌치 구조물을 구성하는 프릿유리를 소성시켜 전계방출 특성 측정 시 페이스트 내부의 잔존 가스방출(out-gassing)을 억제하여 arcing현상을 발생

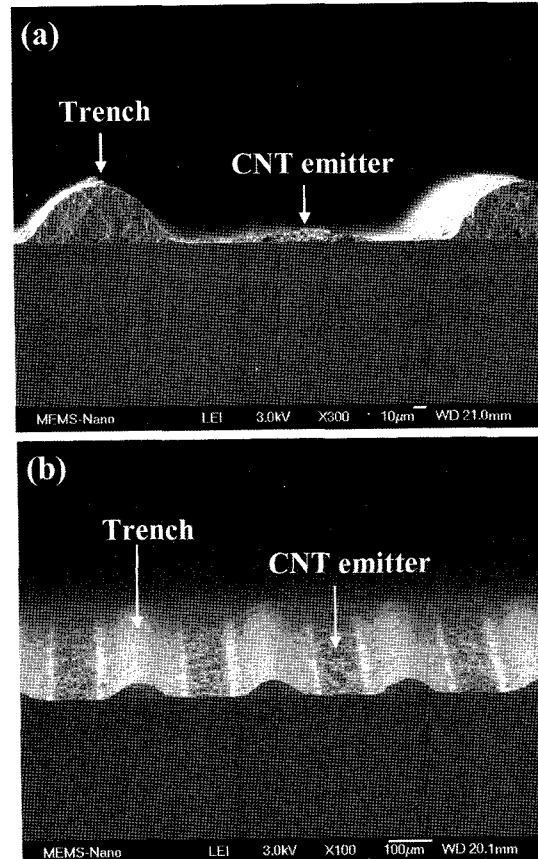


Fig. 2. (a) Cross-sectional and (b) tilted views of trench-type CNT cathode structure, observed by scanning electron microscopy.

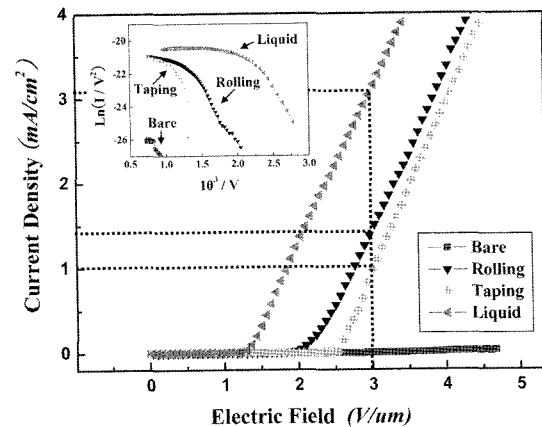


Fig. 3. Field emission characteristics of trench-type CNT cathodes with different surface treatments. An inset corresponds to Fowler-Nordheim plots.

시키지 않도록 제조하였다.

Fig. 3은 트렌치 구조물을 가지는 CNT 캐소드의 표면처리에 따른 각각의 전계-전류밀도 특성을 보여주는 그래프이며, 내부는 Fowler-Nordheim(F-N) plot 이다. 표면

처리를 하지 않은 Bare 시편은 전계가 $3 \text{ V}/\mu\text{m}$ 일 때 방출 전류밀도는 $1.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 테이핑법과 롤링법으로 표면처리한 시편은 같은 전계에서 각각 $1.0 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 와 $1.4 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 로 거의 비슷한 방출 전류밀도 값으로 나타났다. 액상법으로 표면 처리한 시편의 경우는 방출 전류밀도가 $3.1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 로 테이핑법과 롤링법에 비하여 매우 높은 전류밀도 값을 나타냈다. 전류밀도가 $0.1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 일 때의 전계를 전자가 방출되기 시작하는 동작전계(turn-on field)로 정의할 경우 테이핑법, 롤링법, 액상법으로 표면 처리한 시편의 동작전계는 각각 $2.6 \text{ V}/\mu\text{m}$, $2.1 \text{ V}/\mu\text{m}$, $1.4 \text{ V}/\mu\text{m}$ 로 액상법이 가장 낮았다. CNT 표면에 유기 바인더 등의 불순물이 묻어 있으면 일함수(work function)의 증가를 야기하기 때문에, 결국은 동작전계가 상승하고 전계방출이 안정적으로 나타나지 않는다.¹⁵⁾ 따라서 동작전계가 가장 낮으며 안정적인 전계방출을 보인 액상법만이 CNT를 둘러싸고 있는 불순물을 효과적으로 제거하였음을 나타낸다.

전계방출에 기여하는 유효 CNT의 양 혹은 개수는 F-N plot에서 추측이 가능하며, y축 절편의 값이 클수록 유효 CNT의 숫자는 많다고 볼 수 있다. 본 연구의 경우, 액상법이 가장 높으며, 그 다음이 롤링법과 테이핑법이며 Bare 시편이 가장 낮은 값을 보인다. 따라서 액상법이 CNT 에미터를 보다 균일하게 표면처리를 하여 전계방출에 기여하는 유효 CNT의 양이 가장 많다는 것을 보여준다. 한편 F-N plot의 비선형적인 특성은 CNT를 에미터 재료로 이용하는 경우 종종 보고되며, 이는 non-metallic density effect¹⁶⁾ 와 space-charge effect¹⁷⁾ 등으로 설명되고 있는바, 전자 디스플레이의 구동 시 큰 명암비(contrast)를 만드는데 도움이 되는 요소이다.

Fig. 4는 표면처리 방법에 따른 트렌치형 CNT 캐소드의 발광 이미지를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)~4(c)에서는 불균일한 전계방출에 의한 이미지가 관찰되는데 비하여, 액상법으로 표면처리를 실시한 Fig. 4(d)의 경우 CNT가 패턴된 면적 전체에서 비교적 균일하게 발광되었다. Fig. 4(b)와 4(c)의 불균일한 발광 이미지는 비교적 평면적인 표면처리 재료인 접착성 테이프로 고무롤러가 트렌치 구조물의 방해로 트렌치 사이에 존재하는 CNT 에미터까지 균일하게 접촉하지 못하여 CNT 에미터를 완전하게 표면처리 하지 못한 결과이다. 반면에 Fig. 4(d)의 경우, 액상의 탄성중합체 용액이 트렌치 구조물의 영향을 받지 않고 CNT 에미터의 국부적인 틈새까지 골고루 침투하여 CNT를 감싸고 있던 불순물을 효과적으로 제거하고 CNT를 표면으로 수직 돌출시켜 균일하게 표면처리를 수행한 결과로 판단된다. 전계방출 이미지에서 밝기가 불균일하게 나타나는 이유는 열처리 공정 후 CNT 에미터가 무기 충전제의 표면으로부터 돌출된 높이와 분포가 균일하지 않으며, 유기 바인더의 잔재

가 에미터의 전계방출을 방해하여, 전계방출에 기여하는 CNT 에미터의 밀도가 각각 다르기 때문이다.^{10,18)}

Fig. 5는 트렌치형 CNT 캐소드를 액상법으로 표면처리한 후에 뜯어낸 탄성중합체의 사진이다. Fig. 5(a)와 (b)의 SEM과 OM 사진에서 보듯이 탄성중합체에는 트렌치형 CNT 캐소드 형상과 뜯겨진 불순물이 관찰된다. CNT가 페이스트의 형태로 제조되어 도포되는 스크린 인쇄법에서 CNT가 액상의 페이스트에서 잘 분산되지 않아 기판에 인쇄되더라도 응집되며 불균일하게 분포하게

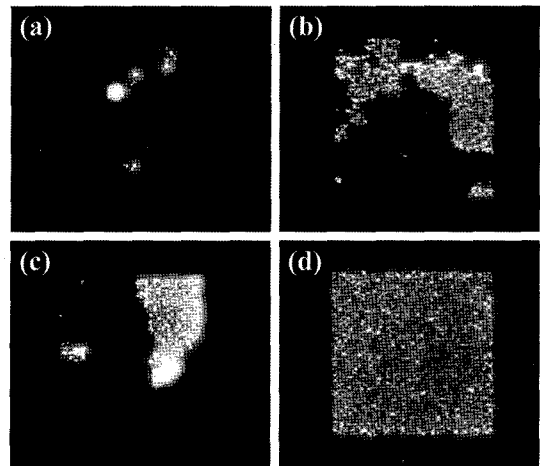


Fig. 4. Field emission images after different surface treatments; (a) none treatment, (b) rolling method, (c) taping method and (d) liquid method.

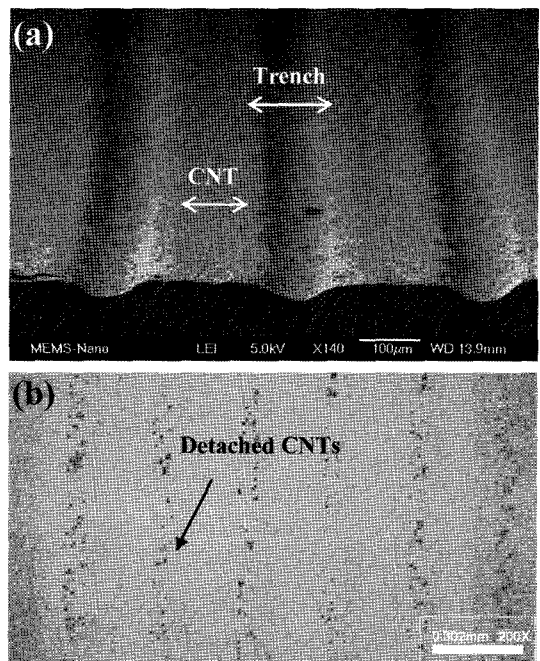


Fig. 5. (a) SEM and (b) OM images of detached elastomer from trench-type CNT cathode.

된다. 국부적으로 돌출된 CNT 덩어리와 불순물이 액상의 탄성중합체 용액에 의해 둘러싸여 경화된 후 뜯겨 제거되면 CNT를 표면으로 노출시키고 그 높이가 비슷해져 전체적으로 균일한 전계방출 특성을 나타내게 된다. 또한 트렌치 구조에서도 불순물이 관측되는데, 테이핑법과 롤링법이 표면처리를 수행하지 않은 Bare시편과 전계방출 특성에서 차이를 보이는 이유는 비교적 거대한 트렌치 구조물 표면의 미세 불순물을 제거하여 전계방출을 저해하는 유기 바인더의 잔재를 제거한 효과로 보여진다.

표면처리시 사용된 탄성중합체 용액의 점도는 약 60 Pa·S로 졸의 형태를 가지며, 혼합과 도포과정에서 다량의 기포를 함유하고 있다. 기포를 갖는 탄성중합체 용액은 CNT 캐소드에 완전하게 침투하기 어려워 균일한 표면처리를 수행하는데 어려움이 많았다. 따라서 탄성중합체 용액을 CNT 캐소드에 도포한 후 10^{-2} Torr의 진공도를 갖는 챔버 내에서 10분 동안 유지시킴으로써 기포들을 효과적으로 제거할 수 있었으며, CNT 캐소드에 균일하게 접촉시키면서 치밀한 형태의 탄성중합체 후막을 형성할 수 있었다. 반면, PVA(polyvinyl alcohol) 용액을 액상법의 표면처리 물질로 사용할 경우 50°C에서 3시간 정도 경화시켜도 PVA층을 제거할 때 찢어지는 경우가 발생하는 것과 비교된다.¹⁴⁾

3.2 액상 표면처리법의 특성 평가

본 연구에 사용된 액상법의 접착력 평가를 위하여 표면처리 공정 중 트렌치 구조의 영향을 배제한 조건에서 롤링법 및 테이핑법과 비교를 하였다. 각 표면처리의 접착력 특성을 알아보기 위하여 트렌치 구조가 없는 CNT 패턴으로만 캐소드가 구성되며 400°C에서 열처리한 시편이 사용되었다. Fig. 6은 상기 시편을 이용하여 표면처리한 OM 사진이다. 테이핑법과 액상법은 상부의 돌출되고 응집된 CNT와 무기 충전제 층을 뜯어내어 CNT를 노출시키고 불순물을 제거하는 원리인 반면에 롤링법의 경우 고무롤러의 정전기적 인력을 이용하여 표면의 불순물을 제거하는 방식이다. Fig. 6(a)와 (b)는 각각 테이핑법과 액상법을 이용하여 표면처리를 수행한 사진이며, Fig. 6(c)의 롤링법 사진에 비하여 상부 층이 뜯겨 제거된 정도가 더 많음을 나타낸다. 이것은 표면처리 공정에 사용된 3가지 방법 중에서 CNT막과의 접착강도는 롤링법이 가장 약하며, 테이핑법이 가장 강하였으며, 액상법은 테이핑에 근접한 접착력을 보인다는 것을 의미한다.

Fig. 7은 Fig. 6의 시편들에 대한 전계방출 특성을 측정된 전계-전류밀도 특성을 나타낸다. Fig. 3의 트렌치 구조를 갖는 시편에 비해서 전류밀도가 전체적으로 높게 나타났는데, 이유는 Fig. 3의 경우 트렌치용 프린트유리가 CNT의 일부를 피복하였기 때문으로 사료된다. 테이핑법과 액상법으로 표면처리한 시편은 전계가 3 V/ μ m 일

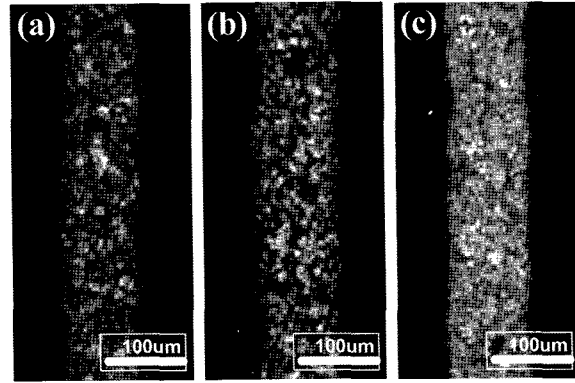


Fig. 6. OM images of CNT cathodes with different surface treatments; (a) taping method, (b) liquid method and (c) rolling method.

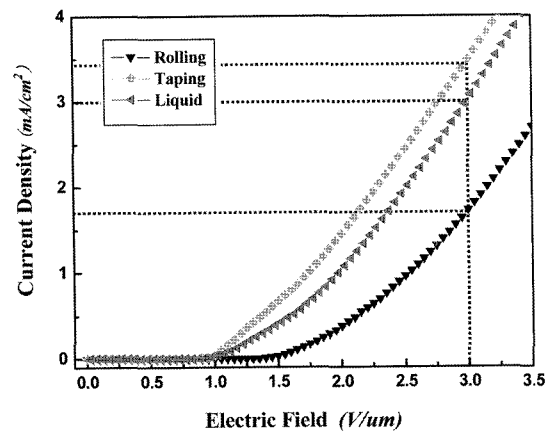


Fig. 7. Field emission characteristics of CNT cathode with different surface treatments.

때 방출 전류밀도는 각각 3.4 mA/cm² 와 3.0 mA/cm² 로 측정되었으며, 롤링법의 경우 1.7 mA/cm² 로 가장 낮은 방출 전류밀도를 나타냈다. 전자가 방출되기 시작하는 동작전계(turn-on field)의 경우는 테이핑법과 액상법으로 표면처리를 하였을 때 각각 1.0 V/ μ m, 1.1 V/ μ m 로 낮았으며 롤링법의 경우 1.6 V/ μ m로 가장 높게 나타났다. CNT 표면의 불순물은 일함수를 증가시켜 동작전계가 상승함으로 본 시편에서는 테이핑법과 액상법에 비하여 롤링의 동작전계가 50% 정도 더 상승하였기 때문에 원활한 표면처리가 되지 못하였다고 볼 수 있다.

표면처리 방법에 따른 전계방출 특성은 CNT 캐소드의 제조시 열처리 조건과 인쇄된 CNT 에미터의 표면 형상에 의해 달라질 수 있으며, 400°C에서 열처리한 본 시편의 경우 롤링법이 CNT막 손실이 가장 적었으나 무기 충전제의 부분적 소성으로 CNT들을 표면으로 원활히 돌출시키지 못하였다.¹⁹⁾ 반면에 액상법은 묻쳐있는 CNT와 불순물을 제거하여 각각의 CNT 에미터들을 표면으로 수직 돌출시켰기 때문에 전계방출 특성이 더 좋은 것으로 사료된다.

4. 결 론

3극형 CNT-FED에 적용하기 위한 최적의 표면처리 방법에 대한 연구를 하였다. 3극형 캐소드와 유사한 구조물을 갖도록 하기 위하여 CNT 에미터의 주변에 스크린 인쇄법으로 3차원 트렌치를 형성시킨 후, 표면처리 방법이 전계방출 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 트렌치 구조를 갖는 3극형 CNT 캐소드에서 가장 효과적인 표면처리 방법은 액상법임을 확인하였다. 테이핑법과 롤링법의 경우, 돌출된 트렌치 구조물로 인해서 트렌치 사이에 존재하는 CNT층까지 테이프나 롤러의 접촉이 효과적으로 일어나지 못하여 표면처리 효과가 거의 나타나지 않았다. 반면, 액상법의 경우는 액상의 탄성중합체가 3극형 CNT 캐소드의 표면을 균일하게 피복시킬 수 있었기 때문에 효과적인 표면처리가 가능하였다.

2. 액상법의 표면처리에 사용된 탄성중합체의 용액(SH9555 elastomer, 주제+경화제)은 기포를 많이 함유하지만, CNT 캐소드에 탄성중합체 용액의 도포 후 10^{-2} Torr의 진공도에서 10분 동안 유지시킴으로써 기포를 제거할 수 있었다. 또한, 80°C 온도에서 5분 동안 유지시킴으로써 표면처리시 탄성중합체 후막을 제거할 때 찢어지지 않을 정도로 충분히 경화시킬 수 있었다.

3. 400°C 의 질소분위기에서 열처리한 CNT 캐소드의 경우, 액상법의 접착력은 테이핑법과 유사하였으며 롤링법보다 CNT를 표면으로 돌출시키는 표면처리 능력이 뛰어났다. 본 연구를 통해 얻어진 탄성중합체를 이용한 액상법 표면처리 결과는 향후 3극형 FED의 저비용 표면처리 방법으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10436-0)지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. J. M. Kim, W. B. Choi, N. S. Lee and J. E. Jung, *Diamond Relat. Mater.*, **9**, 1184 (2000).
2. 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).
3. S. Iijima, *Nature*, **354**, 56 (1991).
4. W. I. Milne, K. B. K. Teo, M. Chhowalla, P. Legagneux, G. Prio and D. Pribat, *SID 2002, Dig. Tech. Pap.*, 1120 (2002).
5. W. B. Choi, D. S. Chung, J. H. Kang, H. Y. Kim, Y. W. Jin, I. T. Han, Y. H. Lee, J. E. Jung, N. S. Lee, G. S. Park and J. M. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 3129 (1999).
6. S. Kang, C. Bae, W. Son, M. H. Kim, J. Yi, S. T. Lee, A. Chang, J. J. Kim, C. R. Lee, J. H. Moon, S. H. Lim, H. S. Kim and J. Jang, *SID 2003, Dig. Tech. Pap.*, 802 (2003).
7. J. C. Ho, Y. Y. Chang, J. H. Liao, H. C. Cheng, J. R. Sheu, M. C. Hsiao, C. D. Lee, S. M. Huang, C. S. Cho, W. K. Huang, W. Y. Lin and C. C. Lee, *SID 2002, Dig. Tech. Pap.*, 372 (2002).
8. R. Meyer, *Tech. Dig. Euro Disp.*, **90**, 26 (1990).
9. W. J. Zhao, A. Sawada and M. Takai, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 4314 (2002).
10. D. H. Kim, C. D. Kim and H. R. Lee, *Carbon*, **42**, 1807 (2004).
11. T. J. Vink, M. Gillies, J. C. Kriege and H. W. J. J. van de Laar, *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 3552 (2003).
12. Y. C. Kim, K. H. Sohn, Y. M. Cho and E. H. Yoo, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 5350 (2004).
13. H. J. Kim, J. H. Han, W. S. Yang, J. B. Yoo, C. Y. Park, I. T. Han, Y. J. Park, Y. W. Jin, J. E. Jung, N. S. Lee and J. M. Kim, *Mater. Sci. Eng.*, **16**, 27 (2001).
14. Y. J. An, J. E. Lee, K. E. Cheon, M. A. Karim, K. S. Kim, S. J. Jung and Y. R. Cho, *FEW'06*, 170 (2006).
15. S. Lee, W. B. Im, J. H. Kang and D. Y. Jeon, *J. Vac. Sci. Technol.*, **23**, 745 (2005).
16. J. M. Bonard, J. P. Salvetat, T. Stockli, W. A. Heer, L. Forro, and A. Chatelain, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 918 (1998).
17. N. S. Xu, Y. Chen, S. Z. Deng, J. Chen, X. C. Ma and E. G. Wang, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **34**, 1597 (2001).
18. Y. R. Cho, J. H. Lee, C. S. Hwang, Y. H. Song, H. S. Uhm, D. H. Kim, S. D. Ahn, C. H. Chung, B. C. Kim and K. I. Cho, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 1532 (2002).
19. M. S. Seong, J. S. Oh, J. E. Lee, S. J. Jung, T. S. Kim and Y. R. Cho, *Kor. J. Mater. Res.*, **16**, 37 (2006).