

Application of Carbon Nanotube to the Electron Gun of the Cathode Ray Tube

朱炳權* · 張潤澤** · 李允熙***

(Byeong-Kwon Ju · Yoon-Taek Jang · Yun-Hi Lee)

Abstract CNTs(Carbon Nano Tube) were employed as an electron source in electron-gun of CRT(Cathode-Ray Tube). The CNTs were grown on the Si substrates and the electron gun by LP-CVD(Low Pressure-Chemical Vapor Deposition). Their physical and field emission property satisfied the requirements of the electron gun of CRT. The fabricated electron gun was inserted into 19 inch-sized CRT and its operating property was evaluated for practical usage.

Key Words : Carbon nanotube, Field emission, Cathode ray tube

1. 서 론

2000년도에 이르러 탄소 재료 고유의 특성과 이에 특수한 형상을 부여한 CNT가 수면 위에서 매우 활발한 거동을 보이고 있다[1-2]. 즉, 미세한 크기(주로 수 ~ 수십 나노의 직경)와 특수한 형상, 우수한 기계적 특성(강도, 유연성, 탄성), 전기적인 선택성(도체 혹은 반도체), 특히 뛰어난 전계 방출 특성을 기반으로 하여, 기체 저장 매체(2차 전지, 연료 전지용 수소 저장체), 나노 메카트로닉스(NEMS : Nano Electro Mechanical Systems), 나노 전자 소자(단전자 소자), 그리고 FED(Field Emission Display)의 고성능 냉음극에서 가능성을 제시하고 있다.

특히, 전자 방출원의 경우, 팁에 인가되는 전계가 최대가 되고 방출원의 일함수가 최소가 되도록 설계하는 것이 작은 인가 전압에서 큰 방출 전류를 얻는데 매우 중요하며, '전자'와 '후자'는 각각 전자 방출원의 '구조'와 '재료'적인 특성에 관계한다[3]. 전계를 증가시키는 방법으로는 외부 인가 전압을 증가시키는 방법이 있으나 이는 주변 회로와의 매칭 및 불연 파괴 전압에 의해 제한되며, 방출부와 전극 간의 거리를 줄이는 방법은 리소그래피의 한계에 제한을 받는다. 따라서 방출부의 형상을 변화시키는 방법이 가장 효과적인데, 이에 관계되는 것이 전계 증배 계수 β 로 식 (1)에 나타낸 바와 같이 전극에 인가되는 전압(V)와 이로 인해 방출부에 인가되는 전계(E)의 비례 상수이다.

$$E = \beta V \quad (1)$$

$$\beta = kh/r \quad (2)$$

이 때, β 는 식 (2)에 나타낸 바와 같이 비례 상수(k)에 의해 방출부의 높이 h에 비례하고, 반경 r에 반비례하며 50~500 범위의 값을 가진다. 즉 끝이 높고 뾰족한 팁일수록 β 가 크고, 따라서 인가 전압(V)이 동일하더라도 방출부에는 큰 전계가 걸리게 된다. CNT는 높은 증배비와 낮은 일함수를 가지고 있어 전자 방출원으로서의 흥미를 끌고 있으며, 특히 FED, LCD(Liquid Crystal Display)용 평판 램프, 그리고 CRT(Cathode-Ray Tube)등의 냉음극 전자총으로서 응용이 기대되고 있다.

본 연구에서는 CRT-전자총의 전자 방출원으로서 CNT를 적용하였으며, 이와 관련하여 CNT의 성장, 전계 방출 성능, 전자총 탑재 및 CRT 응용 가능성 등을 수행하였다.

2. 실험 내용 및 결과

2.1 CNT의 성장

CNT는 그림 1에 보인 바와 같은 LP-CVD(Low Pressure-Chemical Vapor Deposition) 장치를 이용하여 성장되었으며, 급속한 온도 상승을 위하여 RTP(Rapid Thermal Processing)형 할로젠 램프 가열원을 사용하였다.

성장용 기관으로는 강하게 도핑된 Si 웨이퍼($\rho = 0.001 \sim 0.002 \Omega \text{cm}$)와 CRT용 음극 캡을 사용하였으며, CVD 반응실 내에 넣기 이전에 10 nm 두께의 Ni를 증착하였다. 촉매 금속이 증착된 기관을 석영 반응관 내에 넣고 진공도가 10^{-3} Torr에 이른 후에 $\text{N}_2(180 \text{ sccm})/\text{H}_2(20 \text{ sccm})$ 기체를 흘려주면서 650°C 로 가열하면 촉매 금속이 나노 크기의 입자 모양

* 正會員 : KIST 情報材料素子센터 先任研究員

** 準會員 : KIST 情報材料素子센터 學生研究員

*** 正會員 : KIST 情報材料素子센터 責任研究員

接受口字 : 2001年 6月 7日

最終完了 : 2002年 2月 5日

(nano-droplet)을 띄게 된다. 촉매 금속의 모양은 CNT 성장 시 매우 중요한 인자로 작용하게 되는데, 촉매 금속 droplet의 입경이 작을수록 CNT의 직경도 작아지게 된다. 촉매 금속의 모양과 구조 등은 열처리 조건에 따라 조절할 수 있다. 그림 2는 Ni에 대해 650℃에서 30분 동안 열처리한 SEM 사진으로써 약 200nm 범위의 원형 droplet 들이 일정하게 분포되어 있음을 알 수 있다.

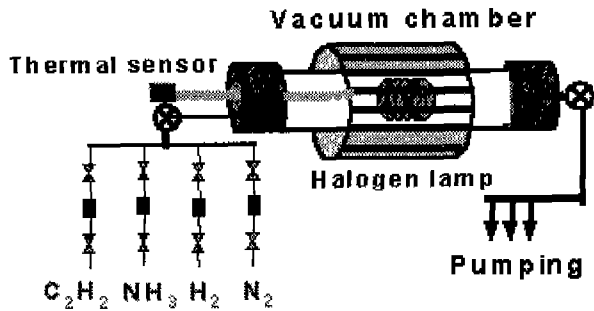


그림 1. CNT 성장을 위한 RTP 형 LP-CVD 장치
Fig. 1. RTP-type LP-CVD system for growing CNT

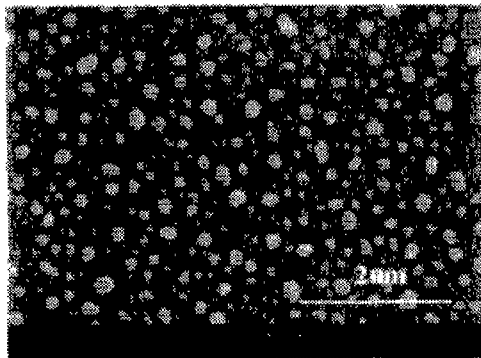
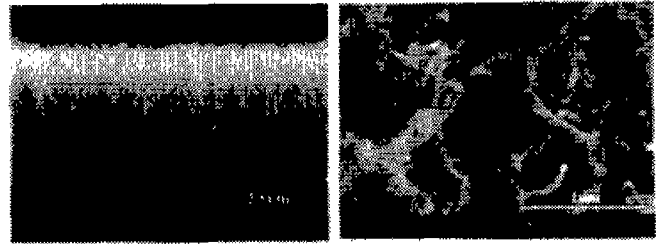


그림 2. Ni 촉매 금속 입자의 SEM 사진(650℃, 30분 열처리)
Fig. 2. SEM images of droplets of the Ni catalytic metal (650 °C, 30min. annealing)

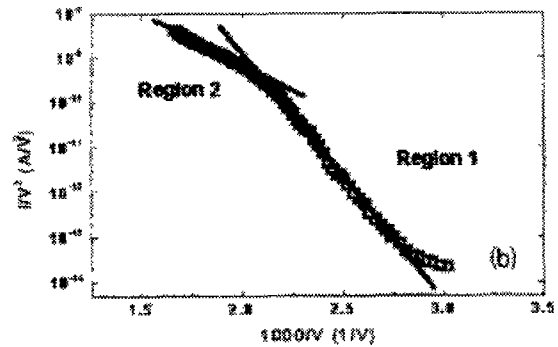
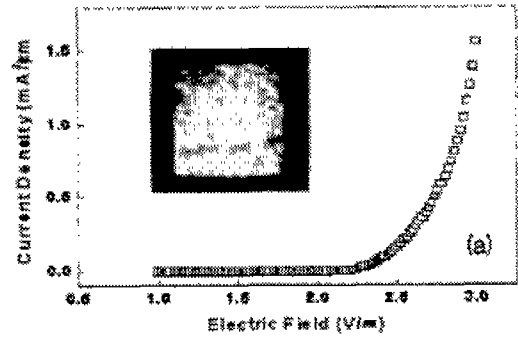
다음으로, 10 Torr의 진공도를 유지하면서 H₂ 대신에 C₂H₂를 20 sccm의 유량으로 흘리게 되면 C₂H₂가 열 분해되면서 CNT가 촉매 금속 입자 위에 성장하게 된다. 그림 3(a)의 경우 C₂H₂/NH₃ 분위기에서 30분 동안 성장시킨 정렬된 CNT를 보인 것이며, 그림 3(b)는 그림 2의 촉매 금속 위에 C₂H₂/N₂ 분위기에서 10분 동안 성장 시킨 비정렬된 CNT의 HRSEM(High Resolution Scanning Electron Microscope) 사진에 해당한다. 이는 직경이 20 ~ 30 nm에 이르는 다중벽 CNT(Multi Wall-CNT : MW-CNT)로서, 후속 공정인 CRT 전자총 조립 공정(span-set 공정)에서의 강한 공기 분사 등에 견디기 위해서는 기관과의 접착력이 우수하며 짧은 길이를 갖는 비정렬된 CNT가 더욱 적합하다.



(a) 정렬 및 비 (b) 정렬된 MW-CNT의 SEM 사진
Fig. 3. Structures of (a) well-aligned (Cross-sectional view) and (b) non-aligned MW-CNT(Top view)

2.2 전계 방출 성능

Computerized UHV test station 내에서 CNT의 전계 방출 성능을 평가하였으며, CNT 음극에 대응하는 양극으로는 형광체가 아니라 방출의 발어나 Nord 전하



(a) 전류-전압 특성 및 (b)F-N plot
Fig. 4. (a) I-V curve and (b) F-N plot of CNT cathode

2.3 전자총 탑재 및 CRT 응용

전자총에 CNT 전자 방출원을 적용하기 위하여 CRT의 열음극용 전자총에 사용되는 음극캡 위에 산화물 음극 대신에 CNT 전자 방출원을 형성하였다[4]. 음극캡 구조체와 전술한 조건에 의해 이의 음극캡 위에 성장된 CNT의 모양을 그림 5(a)에 나타내었다. CNT의 외부 직경은 30 ~ 40nm 범위로 Si 기판에 동일한 조건으로 성장한 경우에 비해 10nm 정도 증가하였는데, 이는 표면 거칠기와 접착력 등의 차이에 기인하는 것으로 볼 수 있다. CNT가 성장된 음극캡과 함께 관련 부품들을 그림 5(b)에 보였으며, 이들의 조립 과정 및 구성도 등은 앞서 보고한 바 있다[5-6].

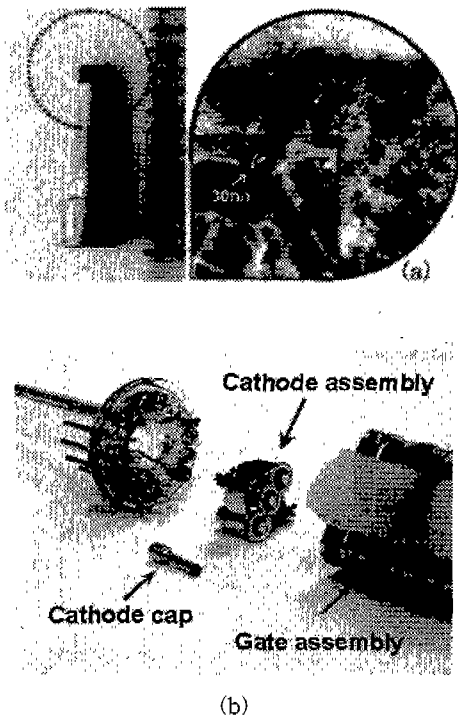
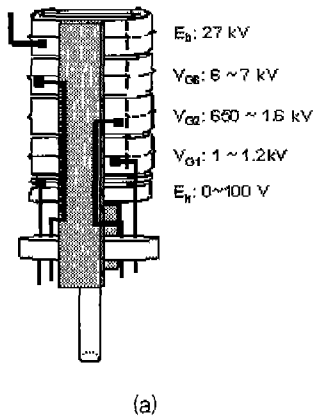


그림 5. (a) CNT 음극캡 및 (b) 전자총 조립
Fig. 5. (a) CNT cathode and (b) electron gun assembly



(a)

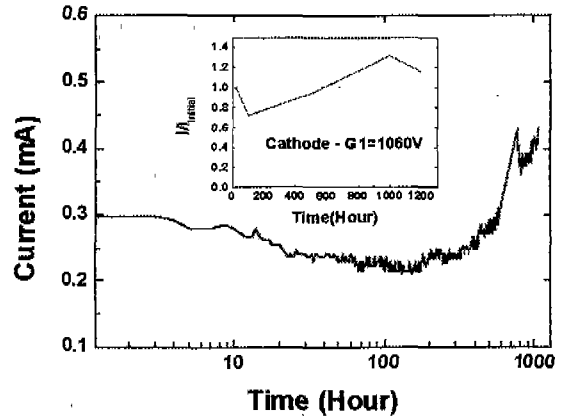


그림 6. (a) 인가 전압의 규격과 (b) 측정된 전류 변동
Fig. 6. (a) Specification of applied voltage and (b) measured current fluctuation

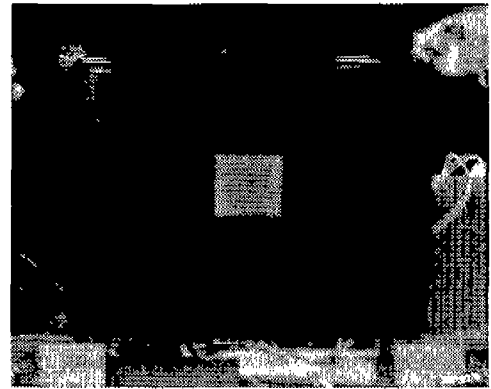


그림 7. CNT-전자총을 이용한 19 인치 CRT의 동작 패턴
Fig. 7. Operating pattern of 19-inch CRT using CNT-electron gun

CNT 음극캡이 탑재된 전자총을 CRT bulb에 삽입 후 봉입하였으며, 이때 CRT 내의 진공도는 5×10^{-6} Torr로 나타났다. 전계 방출을 비롯한 성능 평가를 위해 MECC사의 Universal CRT Test System을 사용하였다[5-6]. 전자총의 전극별 인가 전압을 그림 6(a)에 표시하였으며(E_b : 27kV, V_{c0} : 7kV, V_{c1} : 1.6kV, V_{c2} : 1.1kV, E_k : 80V), 일정 인가 전압에 대해 시간 경과에 따른 방출 전류의 변화를 그림 6(b)에 나타내었다. 약간의 전류 변동은 관찰되나, arcing 등과 같은 치명적인 오동작은 발견되지 않았다. 그러나, 기존의 열음극형 전자총 구조를 그대로 사용하였기 때문에 음극의 중심부와 가장자리부간의 전계 균일성, 게이트 전극으로의 전류 누설 등으로 인한 불안정성이 존재하였다. 아울러 그림 7에 한 개의 음극(녹색)에 의한 19 인치 CRT의 raster pattern을 보였다.

3. 결 론

CNT 전자 방출원을 이용하여 CRT 용 전자총을 제작하고, 이의 전기적인 특성 및 실용성을 평가한 결과 다음과 같은 점들을 알 수 있었다.

- 1) 본 연구의 목적에 적합한 CNT는 10nm 두께의 Ni 촉매 금속을 650℃, 30분 동안 열처리 한 다음 C₂H₂/N₂ 분위기에서 10분 동안 성장시킴으로써 얻어졌다.
- 2) CNT 전자 방출원의 전계 방출 특성을 평가한 결과, 2.9 V/μm의 전계에 대해 약 1 mA/cm²의 전계 방출 전류가 얻어졌으며 균일한 방출 특성을 확인할 수 있었다.
- 3) CNT-전자총을 제작 및 평가하고 이를 CRT에 삽입하여 동작 특성을 확인한 결과 CRT의 조립 과정에서의 내구성, 방출 전류의 안정성 등에서 적용 가능성을 확인할 수는 있었으나, 전자총 전극 구성에 따른 전계 불균일성 및 큰 누설 전류 등이 나타났으며, 이의 해결을 위해 전자총 차원에서의 새로운 구조 설계가 필요한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 LG 전자 디스플레이 Device 연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 진심으로 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 이윤희, 탄소 나노튜브 기술, 전기전자재료학회지, 제13권, 5호, pp.1-12 (2000.5.)
- [2] 주병권, 김희중, 2000년대의 기술 Nano Technology, 전기전자재료학회지, 제13권, 5호, pp.49-53 (2000.5.)
- [3] 주병권, Field emission display 기술의 동향과 전망, 정보디스플레이학회지, 제2권, 3호 (2001.6.)
- [4] 주병권, 박종원, 김훈, 이윤희, CRT(Cathode-ray tube) 기술의 현황 및 전망, 마이크로 전자 및 패키징학회지 (게재 예정)
- [5] 주병권, 김훈, 서상원, 박종원, 이윤희, 몰리브덴 팁 전계 방출 소자를 이용한 CRT 냉음극 전자총의 제조 및 특성 평가, 전기학회논문지 50C권, 8호, pp.409-413 (2001. 8.)
- [6] 주병권, 김훈, 박종원, 이윤희, CRT의 spot knocking 공정에 있어서 몰리브덴 팁 전계 방출 소자 냉음극의 고장 형태 분석, 전기학회논문지, 50C권, 8호, pp.414-418 (2001. 8.)

저 자 소 개



주 병 권 (朱炳權)

1962년 12월 2일 생. 1986년 서울시립대 전자공학과 졸업. 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 고려대 전자공학과 졸업(공학박). 1995년 3월 현재 KIST 정보재료소자 연구부 선임연구원. 관심분야 : FPD, MEMS, Packaging
Tel : 02-958-5775
E-mail : jbk@kist.re.kr



장 윤 택 (張潤澤)

KIST 情報材料素子센터 學生研究員
E-mail : ytjang@kist.re.kr



이 윤희 (李允熙)

1963년 2월5일 생. 1985년 고려대 물리학과 졸업. 1987년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 물리학과 졸업(이박). 1987년 포항공대 연구원. 1988~1994년 KIST 정보전자연구부 연구원. 1994년~현재 KIST 정보재료소자연구센터 선임연구원. 관심분야 : CNT, ELD
Tel : 02-958-5772
E-mail : lyh@kist.re.kr