

이중벽 탄소나노튜브의 염산처리 시간에 따른 전계방출 특성 평가

정다미 · 석중현*

서울시립대학교 나노과학기술학과, 서울 130-743

(2010년 11월 5일 받음, 2010년 12월 13일 수정, 2011년 1월 12일 확정)

전자 방출원 및 디스플레이 응용분야에서 우수한 가능성을 보이고 있는 이중벽 탄소나노튜브를 Tetrahydrofuran (THF) 열분해 방법으로 대량 합성하였다. 합성된 이중벽 탄소나노튜브는 불순물로 비정질 탄소와 금속촉매를 포함하고 있어, 이를 제거하기 위해 열처리와 과산화수소, 질산, 염산을 이용한 산 처리를 하였다. 정제된 이중벽 탄소나노튜브를 계면 활성제인 Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS)를 사용하여 잉크를 제작하였고, 잉크를 스프레이 방법으로 Indium Tin Oxide (ITO)기판에 분무하여 전계방출을 위한 에미터를 제작하였다. 본 연구에서는 염산 처리 시간에 따른 이중벽 탄소나노튜브의 특성을 X-ray diffraction, Thermal Gravity Analysis (TGA) 측정을 통해 평가하였고, 염산 처리 시간이 증가할수록 전계방출 특성이 향상되는 것을 FE-current 측정으로 확인하였다.

주제어 : 탄소나노튜브, Tetrahydrofuran, 정제, 전계방출

I. 서 론

탄소나노튜브는 1991년 Sumio Iijima 박사에 의해 처음 발견된 이후 [1] 다양한 구조와 물성에 따라 전기적, 열적, 기계적 특성이 크게 달라지기 때문에 다양한 분야에서 큰 관심을 받고 있다 [2,3]. 또한 최근에는 고해상도, 저 동작 전압, 낮은 소비전력, 얇고 가벼운 액정디스플레이의 시장이 커지면서 그에 따른 Backlight unit (BLU)의 기술 개발도 활발히 진행이 되고 있다. 특히 액정디스플레이는 자체적으로 빛을 내지 못하기 때문에 광원의 우수한 특성이 요구된다. 기존의 BLU는 고휘도를 얻기 위해 여러 개의 냉음극 형광램프(Cold cathode fluorescent lamp, CCFL)를 사용하고 있는데 이는 내부에 인체에 유해한 수은을 함유하고 있어 대체 기술이 요구된다. 또한 최근에는 액정디스플레이 기술개발이 활발히 진행됨에 따라 고휘도 특성 및 국부적인 발광 기술이 요구된다.

그 중에서도 탄소나노튜브를 이용한 광원은 수은을 사용하지 않아 친환경적이면서 순간적인 고휘도 구현이 가능한 장점을 가지고 있다 [4]. 더불어 높은 응답속도를 가지는 전계방출 원리를 지니고 있어 잔상 제거 기술까지 적용하여 차세대 BLU로 기대를 받고 있다 [5]. 우수한 전계 방출

원을 제작하기 위해서는 전자 방출원을 설계할 때 팁에 인가되는 전계가 최소가 되고 방출원의 일함수가 최소가 되도록 설계해야 한다. 이는 낮은 인가전압에서 충분한 양의 방출 전류를 얻는 것과 관계가 있기 때문이다 [6].

탄소나노튜브의 합성 방법으로는 전기방전법, 레이저 증착법, 화학기상증착법, 기상합성법 등 다양한 방법들이 제시되고 있다 [7-10]. 최근에는 저비용으로 대량합성이 가능한 촉매 화학 기상 증착법에 관한 연구가 활발히 진행 중이다 [9]. 이러한 탄소나노튜브를 광원을 비롯한 다양한 응용에 적용하기 위해서는 탄소나노튜브의 선택적 구조 제어 및 저비용 대량합성 및 정제, 분산 등의 연구가 필요한 실정이다. 또한 합성된 탄소나노튜브 외에 존재하는 비정질 탄소물질과 촉매금속은 전극 사이에서 아킹이나 break-down을 일으키는 원인이 될 수 있으므로 전계 방출 특성을 평가하기 위해서는 정제 공정이 필요하다. 정제 공정은 보통 물리적인 방법과 화학적인 방법 그리고 이 두 가지를 혼합한 방법이 있다 [11-14].

본 연구에서는 저비용으로 대량 합성이 가능하고 촉매금속 크기를 선택적으로 제어할 수 있는 촉매 화학 기상 증착법으로 이중벽 탄소나노튜브를 합성하였고, 합성된 이중벽 탄소나노튜브 외에 불순물인 비정질 탄소입자를 수직형 산

* [전자우편] sokjh@uos.ac.kr

화로를 이용한 기상 산화법으로 [11] 제거하였고, 촉매 제작시 사용되었던 담지체 산화마그네슘과 촉매금속을 액상 산화법을 [12] 통해 효과적으로 제거하여 고순도의 이중벽 탄소나노튜브를 얻었다. 정제 수율에 따른 전계방출 특성을 평가하기 위하여 각각 염산 처리 시간에 따라 탄소나노튜브 잉크를 제작하고, Indium Tin Oxide (ITO) 기판위에 분무법으로 에미터를 형성하여 전계방출 특성을 살펴보았다.

II. 실험방법

1. 촉매제작

이중벽 탄소나노튜브 합성을 위한 촉매 제작은 담지법에 의해 촉매 금속을 형성하였다. 전구체로 사용된 다공성 산화마그네슘은 열적, 기계적 안정성이 우수하여 촉매 금속의 크기를 균일하게 형성하여 주고, 또한 약한산에 쉽게 제거되기 때문에 탄소나노튜브 합성 후 정제 공정에 장점을 갖고 있다 [15,16]. 다공성 산화마그네슘 분말에 적당량의 증류수를 넣고 교반기에서 10분 동안 교반하여 젤 상태로 만들어 준 후, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Aldrich, 99.99%), Mo solution (Aldrich, 9.8 mg/ml of Mo in H_2O)을 다공성 산화마그네슘 분말에 각각 1 : 0.1 : 12의 무게 비율로 30분 동안 교반하여 섞어준다. 젤 상태의 혼합물을 증발 건조기에 넣고 건조시킨다. 그리고 촉매 금속분말에 포함되어 있는 질산염을 제거하기 위하여 진공 오븐에 넣고 150°C에서 15시간 동안 건조 과정을 거친다. 건조 과정을 모두 마친 촉매 분말을 미세한 분말 형태로 분쇄하여 산소 분위기에서 700°C로 가열하여 5시간 동안 소성을 시켜준다.

2. 탄소나노튜브의 합성

수평형 발열부를 갖는 열기상 합성장치에 제작된 촉매 분말을 알루미늄 보트에 담아서 반응로 중간부분에 위치시키고, 아르곤 가스를 1,000 sccm 흘려주면서 800°C까지 온도를 올려준다. 반응 온도에 도달하면 아르곤 가스 1,000 sccm, 수소 가스 100 sccm, Tetrahydrofuran (THF, $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) (KANTO, 99.5%)을 1,000 sccm으로 20분간 공급하여 이중벽 탄소나노튜브를 합성한다. 탄소공급원으로 사

용된 액체 THF는 기화장치에 넣고 아르곤 가스를 통과시켜 반응로 내부에 공급하여 탄소나노튜브를 합성하였다. 반응이 끝난 후 상온까지 온도를 내려준 후 시료를 채취한다.

3. 탄소나노튜브의 정제 및 분산

합성된 탄소나노튜브는 이중벽 탄소나노튜브 이외에 촉매 금속 합성시 사용되었던 산화마그네슘 담지체와 촉매금속이 포함되어 전자방출원 제작 및 각종 응용 연구를 위해서는 이를 제거하는 정제 공정이 필요하다. 1차 정제 공정에서는 수직형 산화로를 이용하여 380°C에서 산소와 아르곤 혼합 가스를 5시간 동안 500 sccm 흘려주어 담지체 표면을 둘러싸고 있는 비정질 탄소막 및 입자를 연소시켜 제거하였다. 2차 정제 공정에서는 기상 산화 후 잔류하는 비정질 탄소입자를 제거하기 위하여 질산(PFP, 60%)을 30분간 100°C에서 추가적으로 환류 처리 하여준 후 담지체와 촉매로 사용된 촉매금속과 산화마그네슘을 제거하기 위해 염산(PFP, 35%)에 각각 1시간, 3시간, 5시간, 7시간 동안 처리한 후 초순수 정류수로 세척 후 24시간 동안 건조 과정을 거쳐 고순도로 정제된 이중벽 탄소나노튜브 시료를 얻었다.

정제된 이중벽 탄소나노튜브는 분자 간 인력이 크므로 다발 형태의 뭉친 상태로 존재한다. 이는 전계 방출 특성 변화를 살펴볼 때 제한적 영향을 미치므로 탄소나노튜브를 튜브 각각으로 분산시키는 것은 매우 중요하다. 정제된 이중벽 탄소나노튜브에 계면활성제인 Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS)를 넣고 Horn-type sonicator를 이용하여 탄소나노튜브 잉크를 제작하였다.

4. 전계방출원 제작 및 측정

ITO 기판에 탄소나노튜브 전계방출원을 형성시키기 위하여 분산된 이중벽 탄소나노튜브 잉크를 활성 영역 면적 ($1.0 \times 1.0 \text{ cm}^2$)에 스프레이건을 이용하여 분무하여 탄소나노튜브 필름을 제작하였다. 분무공정 후 초순수 정류수를 이용하여 탄소나노튜브 필름에 존재하는 분산제를 제거하였다. 이중벽 탄소나노튜브와 ITO 기판 사이에 전기적으로 저항성 접촉(Ohmic contact)을 형성하기 위해 450°C로 유지되는 전기로에서 아르곤 분위기 하에서 열처리 공정을

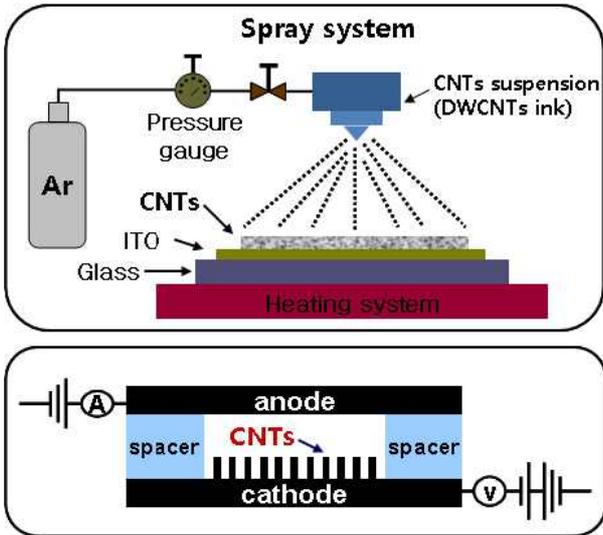


Figure 1. Schematic diagram of the preparation for the DWCNTs film by using the spray system and field emission measurement system for the DWCNTs film.

하였다.

전자방출원 측정은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 ITO 기판위에 형성된 탄소나노튜브 전자방출원을 10^{-7} Torr의 압력으로 유지되는 진공 챔버 안에 음극과 양극 사이 거리를 $400 \mu\text{m}$ 로 유지하여 정렬시켜 준 뒤 이중벽 탄소나노튜브의 염산 처리 시간에 따른 전자방출원의 I-V 특성을 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 산화마그네슘 담지체에 Fe-Mo 분말을 1 : 0.1 : 12 무게 비율로 담지된 촉매를 이용하여 촉매 화학 기상 증착방법으로 800°C 에서 THF 열분해를 통해 합성된 이중벽 탄소나노튜브 SEM 사진이다. 저배율 전자현미경 분석 결과 합성된 탄소나노튜브는 Fig. 2(a)에서 보이는 바와 같이 네트워크 형상으로 고밀도로 성장된 모습을 보이고 있고, 비교적 비정질 탄소 물질이 거의 보이지 않는 고순도로 성장된 모습을 보여주고 있다. 합성된 탄소나노튜브의 길이는 수십 μm 였으며, 고배율로 관찰한 결과 Fig. 2(b)에서 보이는 바와 같이 합성된 탄소나노튜브 다발 직경은 $12 \sim 20 \text{ nm}$ 의 분포를 보이고 있다.

Fig. 3은 정제 과정을 거치지 않은 탄소나노튜브의 TEM

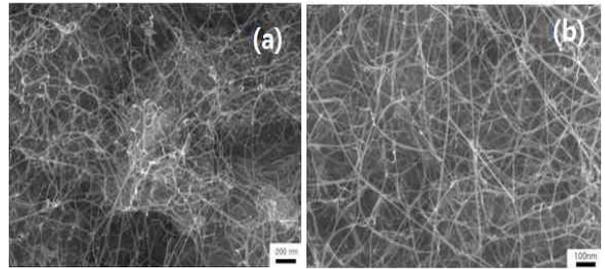


Figure 2. SEM images of as-synthesized DWCNTs.

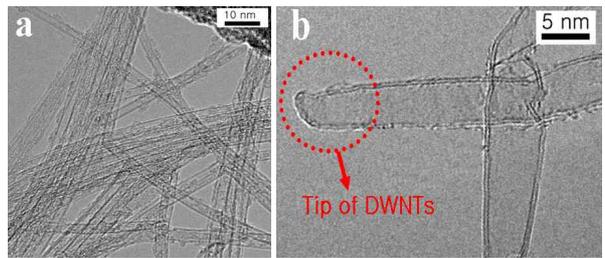


Figure 3. TEM images of DWCNTs before purification.

사진을 보여주고 있다. 저배율로 관찰된 탄소나노튜브는 Fig. 3(a)에서 보이는 바와 같이 탄소나노튜브 5~10 가닥이 뭉쳐있는 다발 형상을 보이고 있으며 주변에 개개의 독립된 이중벽 탄소나노튜브도 관찰되었다. 다발로 구성된 이중벽 탄소나노튜브의 외부 직경은 $1.6 \sim 2.3 \text{ nm}$, 내부 직경은 $0.8 \sim 1.6 \text{ nm}$ 의 분포를 보이고 있다. 고배율 TEM 관찰 결과 Fig. 3(b)에서 보이는 바와 같이 독립된 이중벽 탄소나노튜브의 경우 외부 직경은 $2 \sim 4 \text{ nm}$, 내부 직경은 $1 \sim 2 \text{ nm}$ 로 독립된 이중벽 탄소나노튜브의 직경이 다발 형상의 이중벽 탄소나노튜브 직경보다 더 굵은 분포를 보이고 있다.

Fig. 4는 수직형 산화로를 이용하여 기상 산화 공정과 질산 공정을 거쳐 이중벽 탄소나노튜브 주위를 둘러싸고 있는 비정질 탄소막을 제거 후 염산 공정을 각각 1시간, 3시간, 5시간, 7시간 동안 처리한 이중벽 탄소나노튜브의 SEM 사진이다. Fig. 4(a)는 염산 처리 시간을 1시간 시행했을 때의 저배율과 고배율 SEM 사진이다. 탄소나노튜브 이외에도 존재하는 산화마그네슘과 촉매금속 덩어리들이 녹지 않고 표면에 붙어있는 모습을 보이고 있다. Fig. 4(b)는 3시간동안 염산 처리를 해준 SEM 저배율과 고배율 사진이다. 1시간 보다는 정제가 더 진행이 되었지만 여전히 산화마그네슘과 촉매금속이 남아있는 모습을 볼 수 있었다. Fig. 4(c)는 염산 처리 시간을 5시간 시행했을 때의 저

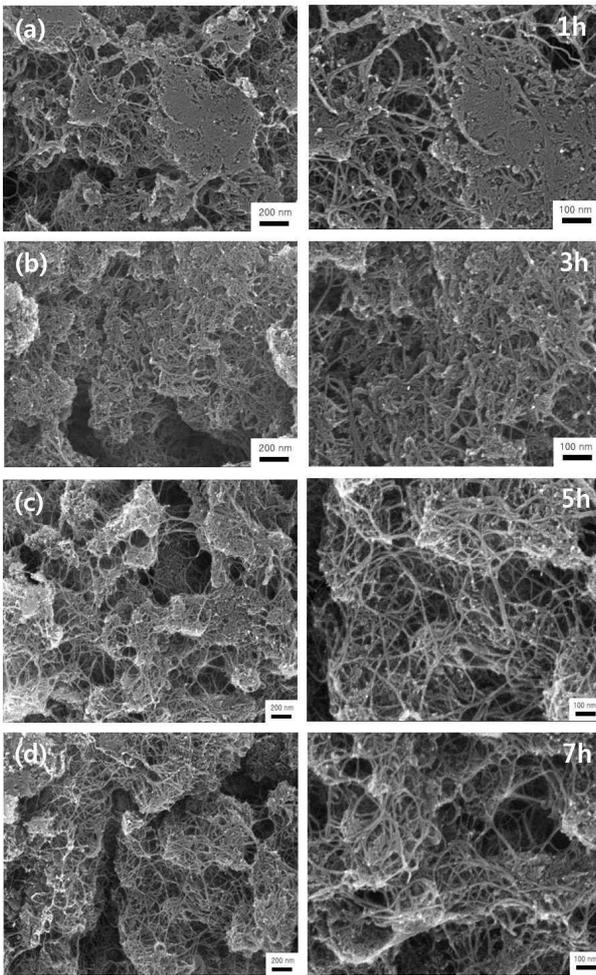


Figure 4. SEM images of DWCNTs after the purification process of 1h, 3h, 5h, 7h HCl treatment, respectively.

배율과 고배율 SEM 사진이다. 기존의 1시간과 3시간 처리했을 때보다는 나아진 모습이지만 여전히 불순물이 존재하고 있다. Fig. 4(d)는 염산 공정을 7시간 처리해준 SEM 저배율과 고배율 모습이다. 이전의 염산 처리한 모습과 달리 튜브 사이사이의 산화마그네슘과 촉매금속 덩어리들이 대부분 제거되어 고순도의 네트워크 타입의 이중벽 탄소나노튜브 형태를 관찰할 수 있었다.

Fig. 5는 염산 처리 시간에 따른 이중벽 탄소나노튜브의 X-ray 회절 패턴분석 그래프이다. 염산 처리 시간이 1시간에서 7시간까지 증가함에 따라 $2\theta=26^\circ$ 부근에서 결정질 탄소의 피크가 증가함을 확인할 수 있었고, $2\theta=43^\circ$ 를 비롯한 $37^\circ, 62^\circ, 74^\circ, 78^\circ$ 부근에서 산화마그네슘 및 산화철에 대한 피크는 점차 감소하는 것을 볼 수 있었다. 염산 처리를 7시간 해주었을 때 산화마그네슘 및 산화철의 피크가

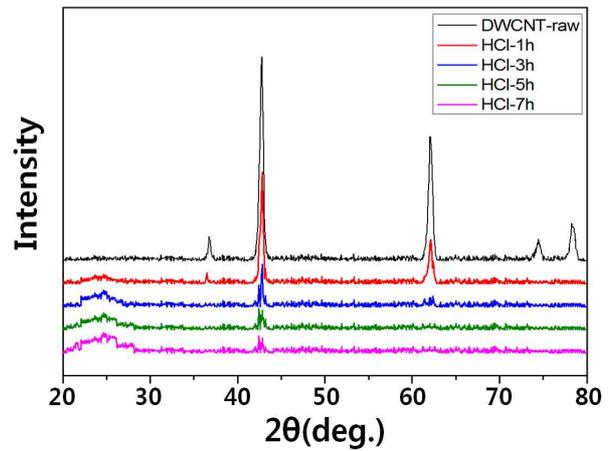


Figure 5. X-ray diffraction patterns of purified DWCNTs with the different process of HCl treatment.

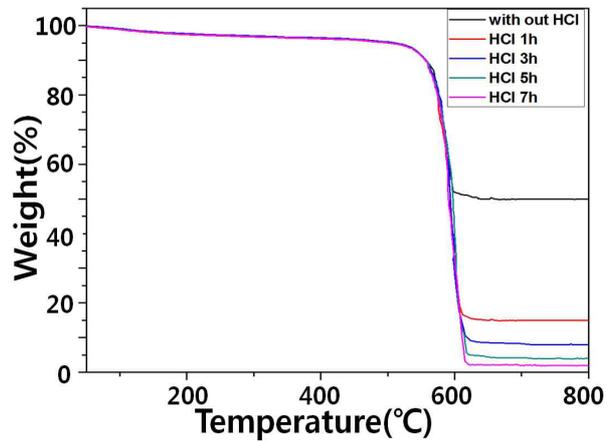


Figure 6. TGA analysis of purified DWCNTs with the different process of HCl treatment.

거의 관찰되지 않는 것을 통해 담지체 물질인 산화마그네슘과 촉매 금속인 철을 제거하는데 염산이 효과적임을 확인할 수 있었다.

염산 처리 시간에 따른 이중벽 탄소나노튜브의 정제 수율을 평가하기 위하여 TGA 분석을 실시하였다. Fig. 6는 TGA 분석 결과 염산 처리를 하지 않은 시료의 경우 이중벽 탄소나노튜브의 수율이 50%임을 보이고 있으나, 염산 처리 시간이 각각 1시간에서 7시간까지 증가함에 따라 이중벽 탄소나노튜브의 정제 수율이 85%, 92%, 96%, 98%로 수율이 증가함을 보이고 있다. 또한 $100\sim 420^\circ\text{C}$ 온도 구간에서 비정질 탄소입자에 의해 4% 이내의 무게 감소 비율을 보이는데, 이는, 염산 처리 시간이 증가함에도 불구하고

4% 정도의 비슷한 수치를 보이고 있어 염산 처리 시간이 비정질 탄소입자 제거에는 영향을 미치지 않는 것을 보이고 있다. 이러한 결과를 통해 염산 처리 시간이 증가함에 따라 담지체인 산화마그네슘과 촉매금속이 제거되어 수율이 증가했음을 알 수 있었다.

염산 처리 시간에 따른 이중벽 탄소나노튜브의 전계방출 특성을 평가하기 위해 동일한 조건으로 분산된 이중벽 탄소나노튜브 잉크를 ITO 기판에 분무하여 에미터를 형성하였다. Fig. 7(a)는 염산 처리 시간에 따른 이중벽 탄소나노튜브의 전계-전류 밀도 특성을 보여주는 그래프이며, Fig. 7(b)는 Fowler-Nordheim (F-N) 커브이다. 염산 처리를 하지 않은 시료의 경우 전류밀도가 가장 작은 값을 나타냈으며 이는 같은 전계에서 다른 염산 처리 시간들과 비교할 수 없을 정도로 낮았다. 이는 거의 정제가 이루어 지지 않았기 때문에 에미터의 특성을 나타내지 않음을 나타내고 있다. 염산 공정을 1시간 처리한 경우 전계가 3 V/μm일 때 전류밀도는 0.002 mA/cm²이고, 염산 처리 시간을 각각 3시간, 5시간, 7시간으로 증가시켜 제작한 에미터의 경우 같은 전계 3 V/μm에서 전류밀도는 각각 0.014 mA/cm², 0.064 mA/cm², 0.122 mA/cm²로 증가한 모습을 보이고 있다. 또한 전류 밀도 0.1 mA/cm²에서 동작 전계는 각각 염산 처리 시간이 증가함에 따라 6.65 V/μm, 5.04 V/μm, 3.79 V/μm, 3.30 V/μm, 2.94 V/μm로 점차 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 아킹이나 breakdown의 원인이 될 수 있는 촉매금속과 산화마그네슘이 염산 처리 시간이 증가함에 따라 효과적으로 제거가 되어 동작 전계는 낮아지고, 정제 수율이 높을수록 전류밀도는 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 측정된 전계방출 커브를 Fig. 7(b)에서 보이는 바와 같이 F-N plot을 통해 평가한 결과 염산 처리시 시간이 증가할수록 F-N 커브가 완만한 직선적인 형태를 따르고 있다. 이러한 결과는 염산 처리 시간이 증가함에 따라 촉매금속이나 산화마그네슘 등이 효과적으로 제거되어 전계방출에 참여하는 유효 에미터의 개수가 증가했음을 확인할 수 있었다. Fig. 7(c), (d)는 염산 공정을 각각 3시간 처리한 시료와 7시간 처리한 시료의 전계방출 발광 사진을 보여주고 있다. 염산 공정을 3시간 처리한 이중벽 탄소나노튜브와 7시간 처리한 시료 모두 기판 전 면에서 균일한 발광 모습을 보여주고 있지만 염산 공정을 7시간 처리한 이중벽 탄소나노튜브에서 보다 밝게 발광하는 모습을 관찰할 수 있었다.

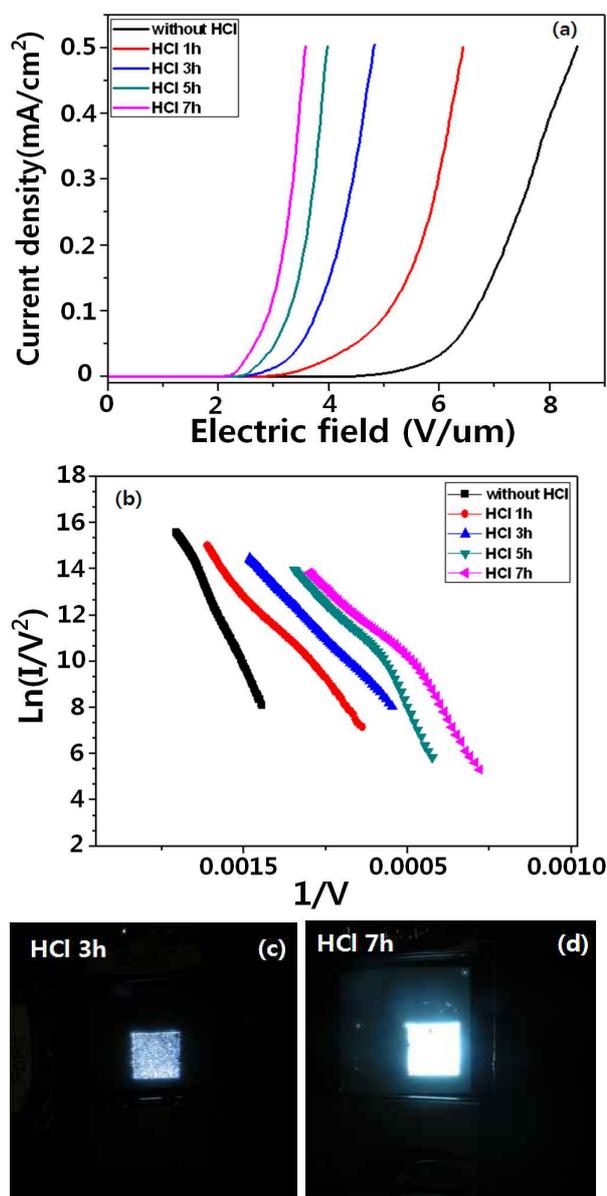


Figure 7. The field emission characteristics of DWCNTs with the different process of HCl treatment (a) I-V characteristics (b) Fowler-Nordheim (F-N) plot, (c) Field emission light images of DWCNT emitter with the process of 3h HCl treatment, (d) Field emission light images of DWCNT emitter with the process of 7h HCl treatment.

IV. 결 론

본 연구에서는 담지체인 산화마그네슘을 이용하여 Fe-Mo 촉매금속입자에 담지시켜 탄소 공급원인 THF를 공급

하여 촉매 화학 기상 증착법으로 선택적 이중벽 탄소나노튜브를 합성하였다. 합성된 이중벽 탄소나노튜브의 산화마그네슘 주위를 둘러싸고 있는 비정질 탄소물질을 제거하기 위하여 1차적으로 수직형 산화로의 기상 산화를 시행하였고 2차적으로 30분 동안 질산을 이용한 액상 산화를 시행하였다. 마지막으로 비정질 탄소 물질이 제거된 이중벽 탄소나노튜브를 염산에 침전시켜 촉매금속과 산화마그네슘을 제거하여 주었다. TGA와 XRD 분석 결과를 통해 염산처리 시간이 증가함에 따라 산화마그네슘과 촉매금속이 효과적으로 제거되었음을 정량적으로 확인할 수 있었다. 분산된 이중벽 탄소나노튜브 잉크를 ITO 기판 위에 분무시킨 후 전자 방출 특성을 평가하였다. 탄소나노튜브의 전계방출 특성을 분석한 결과 염산 처리 시간이 길어짐에 따라 정제 수율은 향상이 되었으며, 낮은 전압에서 전계방출이 일어났으며, 전류밀도는 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 정제 효과가 좋아짐에 따라 실질적으로 기여하는 전자 방출원의 개수가 증가하기 때문에 전류밀도가 향상함을 보여주고 있다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] Sumio Iijima, NATURE. **354**, 56-58 (1991).
- [2] Y. Saito, K. Hamaguchi, K. Hata, K. Uchida, Y. Tasaka, F. Ikazaki, M. Yumura, A. Kasuya, and Y. Nishina, NATURE. **389**, 554 (1997).
- [3] S. K. Lee, J. H. Moon, S. H. Hwang, G. C. Kim, D. Y. Lee, D. H. Kim, and M. H. Jeon, Korean Vac. Soc. **17**, 67-72 (2008).
- [4] Ray H. Baughman, Anvar A. Zakhidov, and Walt A. de Heer, Science. **297**, 787-792 (2002).
- [5] Sora Lee, Won Bin Im, Jong Hyuk Kang, and Duk Young Jeon, J. Vac. Sci. Technol. B. **23**, 745-748 (2005).
- [6] 신허영, 김동희, 안병건, 최우석, 정원섭, 정우창, 조영래, 대한금속재료학회지 **42**, 508-513 (2006).
- [7] Yahachi Saito, Takanori Nakahira, and Sashiro Uemura, J. Phys. Chem. B. **107**, 931-934 (2003).
- [8] T. Guo, P. Nikolaev, A. Thess, D. T. Colbert, and R. E. Smalley, Chemical Physics Letters. **243**, 49-54 (1995).
- [9] S. C. Lyu, B. C. Liu, S. H. Lee, C. Y. Park, H. K. Kang, C. W. Yang, and C. J. Lee, J. Phys. Chem. B. **108**, 1613-1616 (2004).
- [10] Yue-Ying Fan, Hui-Ming Cheng, Yong-Liang Wei, Ge Su, and Zu-Hong Shen, Carbon. **38**, 789-795 (2000).
- [11] Bonard JM, Stora T, Salvetat JP, Maier F, Stockli T, and Duschl C, Adv Mater. **9**, 827-831 (1997).
- [12] Ebbesen TW, Ajayan PM, Hiura H, and Tanigaki K, Nature. **367**, 519 (1994).
- [13] J. M. Xa, X. B. Zhanga, Y. Lia, X. Y. Tao, F. Chen, T. Lia, Y. Bao, and H. J. Geise, Diamond & Related Materials. **13**, 1807-1811 (2004).
- [14] Seung Woo Jeong, Seong Yong Son, and Dong Hyun Lee, Theories and Applications of Chem. Eng. **13**, 2 (2007).
- [15] Wang YH, Shan HW, Hauge RH, Pasquali M, and Smalley RE, J. Phys. Chem. B. **111**, 249-252 (2007).
- [16] Zhang H, Sun CH, Li F, Li HX, and Cheng HM, J. Phys. Chem. B. **110**, 9477-9481 (2006).

Field Emission Characteristics of Double-walled Carbon Nanotubes Related with Hydrochloric Acid Treatment

Dami Jung and Junghyun Sok*

Department of Nano science & technology, University of Seoul, Seoul 130-743

(Received November 5, 2010, Revised December 13, 2010, Accepted January 12, 2011)

High-quality double-walled carbon nanotubes (DWCNTs) were synthesized by catalytic decomposition method at 800°C using Tetrahydrofuran. The as-synthesized DWCNTs typically have catalytic impurities and amorphous carbon, which were removed by two-step purification process, consisting of thermal oxidation and H₂O₂, HNO₃, HCl treatment. The DWCNT suspension was prepared by dispersing the purified DWCNTs in an aqueous sodium dodecylbenzenesulfonate solution with horn-type sonication. This was then sprayed on ITO glass to fabricate CNT field emitters. The quality of purified DWCNTs was estimated with X-ray diffraction and Thermal Gravity Analysis. The field emission properties were improved by increasing the process time of HCl treatment.

Keywords : Carbon nanotube, Tetrahydrofuran, Purification, Field emission

* [E-mail] sokjh@uos.ac.kr