

탄소나노튜브 프로브의 길이 제어에 관한 연구

이준석[†]·곽윤근*·김수현**

A Study on the Control of the Length of Carbon-Nano-Tube Probe

Lee Junsok, Kwak Yoonkeun and Kim Soohyun

Key Words: Carbon Nano Tube (탄소나노튜브), Electrochemical Etching (전해에칭), Tungsten Tip (텅스텐 팁), Chemical Vapor Deposition (화학기상증착법)

Abstract

In this paper, we proposed a new method to control the length of carbon nano tube in the single CNT probe. A single CNT probe was composed of a tungsten tip made by the electrochemical etching and carbon nano tube which was grown by CVD and prepared through the sonication. The two components were attached with the carbon tape. Since the length of CNT can not be controlled during the manufacturing, the post process is needed to shorten the CNT. In this paper, we proposed the method of electrochemical process. The process was done under the optical microscope and the results were checked by SEM. The diameter of the carbon nano tube used in this paper was about 130nm because the above process had to be done with the optical microscope. Using the method proposed in this paper, we can control the length of the nano tube tip.

1. 서 론

Iijima에 의해 처음 탄소나노튜브가 발견된 이래[1], 탄소나노튜브의 전기화학적 안정성 및 뛰어난 기계적 성질을 이용한 여러 분야의 연구가 진행되어 왔다. 특히, 탄소나노튜브의 높은 직경에 대한 길이 비율로 SPM에서 사용될 프로브 제작에 많은 연구가 되고 있다.

1996년 Hongjie Dai에 의해 처음 SPM에 적용 가능한 나노 프로브가 제안된 후[2], 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 나노 프로브를 만드는 방법은 탄소 접착제를 이용하여 탄소나노튜브를 직접 붙이는 방법과, 촉매를 이용하여 원하는 위치

에서 성장시키는 방법[3]이 있다.

또한, 나노 매니플레이션 분야에도 탄소나노튜브가 사용될 수 있는데, 1999년 Philip Kim에 의해 처음 나노 트위저가 제안된 이래[4], 주사전자현미경을 이용해 제작된 나노 트위저도 발표되었다.[5]

이외에도 탄소나노튜브의 물성치 및 전자 소자에 적용할 수 있는 연구도 활발히 진행되고 있다.

하지만, 탄소나노튜브의 높은 직경비 길이 비로 인하여 나노 프로브를 제작할 때, 탄소나노튜브를 적절한 길이로 제어하지 않으면, 효과적인 프로브의 역할을 하지 못한다. 즉, 탄소나노튜브를 적절한 길이로 끊는 방법에 대한 연구가 반드시 필요하다. 1998년 Stanislaus S.Wong은 제작된 프로브에 전류를 인가하면, 결함이 있는 부분에서 탄소나노튜브가 끊어지는 방법으로 탄소나노튜브의 길이를 조절하였다.[6] 그러나, 이 방법은 탄소나노튜브의 길이를 원하는 데로 제어하지 못

[†] 한국과학기술원 기계공학과

E-mail : jameslee@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3268 FAX : (042)869-5201

* 한국과학기술원 기계공학과

** 한국과학기술원 기계공학과

하는 단점이 있다.

본 연구에서는 탄소나노튜브를 이용하여 제작된 나노 프로브에서 탄소나노튜브의 길이를 전해 프로세스를 이용하여 제어하는 방법을 제시한다. 이 방법은 기존의 방법과 달리 원하는 길이로 탄소나노튜브를 조절할 수 있으며, 현미경을 이용하여 제작과정의 모니터링이 가능한 장점이 있다.

2. 나노 프로브 제작

2.1 텅스텐 팁 제작

본 연구에서 사용된 텅스텐 팁은 전해에칭에 의해 제작되었다. 텅스텐 팁의 초기 직경은 500 μm 이며, 전해에칭 과정을 통해 제작된 팁에서 끝단부분의 반경은 수백nm 수준이다. Fig.1은 제작된 텅스텐 팁과 텅스텐 팁을 제작하기 위한 전해에칭 시스템을 나타내고 있다.

2.2 탄소나노튜브 전처리

본 연구에서는 화학기상증착법에 의해 성장시킨 다중벽 탄소나노튜브를 이용하였으며, 사용된 탄소나노튜브의 지름은 약 130nm이다. 나노 프로브가 광학현미경을 이용하여 제작되기 때문에 광학현미경에서 측정 가능한 크기의 탄소나노튜브를 선정하였다.

사용된 탄소나노튜브는 여러 가지 탄소 불순물이 포함되어 있기 때문에 나노 프로브를 제작하기 전 IPA(Isopropyl Alcohol)를 이용하여 초음파 분해를 통해 불순물을 제거하였다. 불순물을 제거한 후 슬라이드 글라스에서 IPA를 증발시키면 탄소나노튜브만 남게 되고, 이것을 나노 프로브

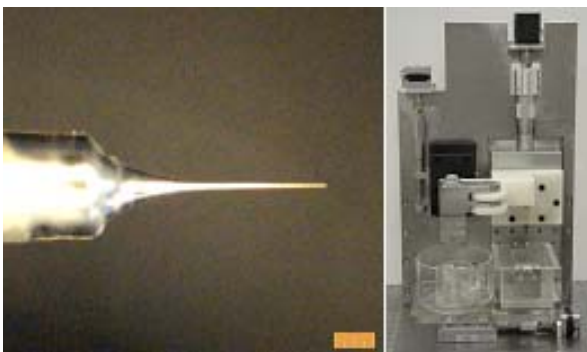


Fig. 1 Tungsten tip made by electrochemical etching (scale bar : 200 μm) and Electrochemical etching system

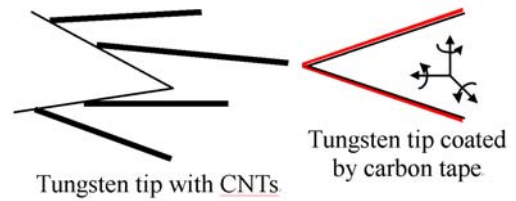


Fig. 2 Schematic diagram of the attachment process with two tungsten tips

제작에 사용한다.

2.3 나노 프로브 제작

앞장에서 언급한 것과 같이 텅스텐 팁과 탄소나노튜브가 준비되면, 기계적인 접촉방법을 사용하여 나노 프로브를 제작한다. 여기서는 두개의 탄소나노튜브를 이용하여 부착과정을 수행한다.

첫 번째 텅스텐 팁에는 슬라이드 글라스 위의 탄소나노튜브를 van der Waals 인력을 이용하여 임의로 부착시킨다. 부착시키는 방법은 텅스텐 팁을 슬라이드 글라스 위를 긁음으로써 가능하다. 두 번째 텅스텐 팁에는 탄소 접착제를 코팅하여, 이후 나노 프로브 제작시 접착력을 향상시키도록 하였다.

이렇게 두개의 텅스텐 팁이 준비되면, 광학현미경을 이용하여 텅스텐 팁에 탄소나노튜브 하나를 부착시킨다. Fig.2는 나노 프로브 제작의 개념도를 보여주고 있으며, Fig.3은 실제 광학현미경을 통해 제작되는 과정을 보여주고 있다.

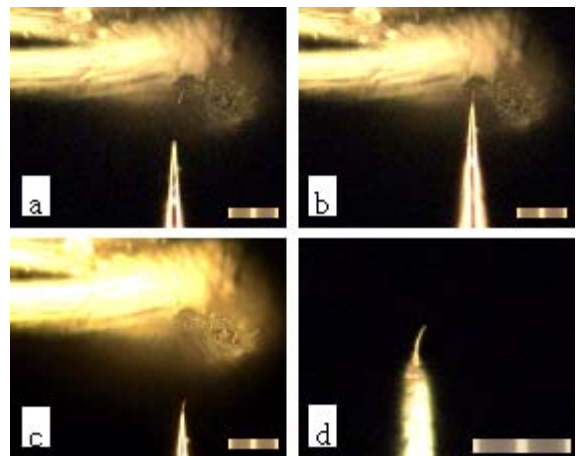


Fig. 3 Manufacturing process of nano probe (scale bar : 20 μm)

Fig.3에서와 같이 첫 번째 텅스텐 팁에서 두 번째 텅스텐 팁에 부착 가능한 탄소나노튜브를 찾

고(a), 두 번째 텅스텐 팁을 그 탄소나노튜브에 접근하여 접촉시킨다(b). 접촉된 상태에서 일정시간 유지한 뒤 두 번째 텅스텐 팁을 분리하면(c) 나노 프로브를 얻을 수 있다(d).

3. 탄소나노튜브 길이 제어

3.1 시스템 구성

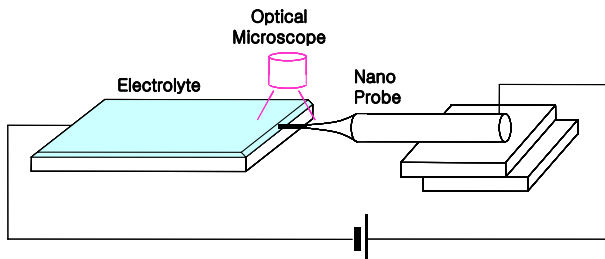


Fig. 4 System configuration of the length control system

탄소나노튜브의 길이를 제어하는 시스템의 구성은 Fig. 4와 같다. 제작된 탄소나노튜브가 마이크로 스테이지 위에 위치하여 전해질에 대해 상대운동을 할 수 있게 하였으며, 전해질 용액은 수산화칼륨(KOH)을 이용하였고, 사용된 전원은 직류전원으로 20V를 균일하게 인가하였다.

광학현미경을 통해 탄소나노튜브가 전해질에 접촉하는 순간을 관찰할 수 있으며, 접촉순간부터 마이크로 스테이지의 움직임을 조절하면 나노 프로브의 탄소나노튜브 길이를 조절할 수 있다.

전해질 용액에서 탄소나노튜브는 고전압으로 인하여 전해연마작용이 발생하며, 그로 인해 전해질 용액에 담겨진 탄소나노튜브는 잘려나가게 되고, 전해질 용액밖에 있는 탄소나노튜브만 남게 되어 길이를 제어할 수 있게 된다.

3.2 실험결과

본 논문에서 제안한 방법은 광학현미경을 이용하여 실험하였으며, 그 결과는 주사전자현미경을 통해서 확인하였다.

Fig.5는 광학현미경을 통해 관찰한 결과이다. 그림에서도 알 수 있듯이, 탄소나노튜브가 전해질 용액과 접촉하는 순간, van der Waals 인력에 의해 탄소나노튜브가 약간 퍼지면서 전해질 용액 쪽으로 끌려간다. 이후 전해질 용액에 담겨진 부분은 전해연마에 의해 녹아버린다. Fig.5의 (d)는

본 연구에서 제안한 방법에 의해 제작된 나노 프로브를 보여주는데, Fig.5의 (a)에 비해서 그 길이가 짧아졌음을 알 수 있다. 더 정확한 그림은 Fig.6에서 보여주고 있다.

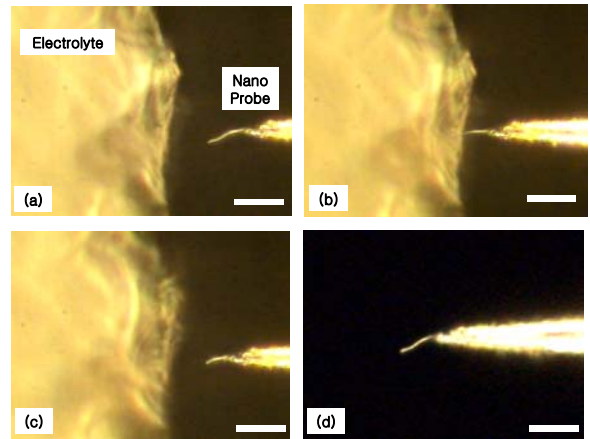


Fig. 5 The process to control the length of carbon nano tube in nano probe((a) before contact with electrolyte, (b) during the contact, (c) after the contact and (d) the nano probe after all processing, scale bar : 10 μ m)

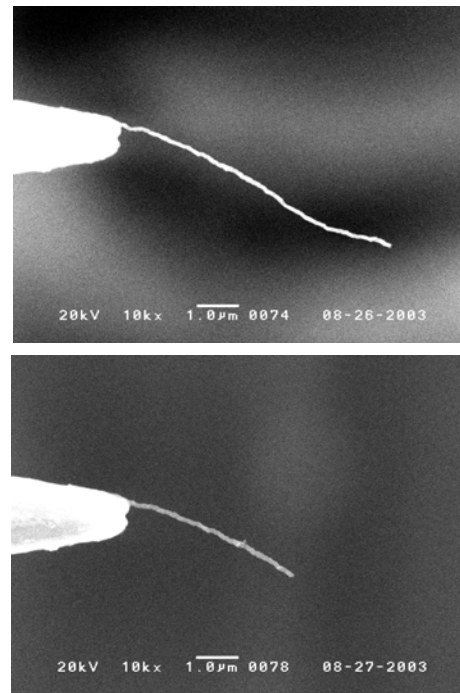


Fig. 6 The Images of the nano probe (top : before the proposed process, bottom : after the proposed process)

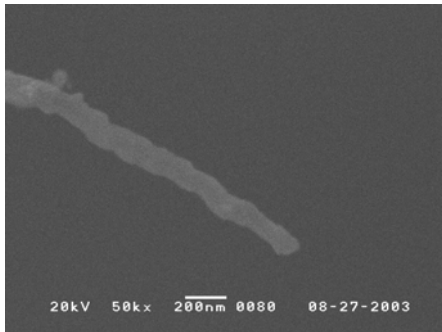


Fig. 7 The Images of the end of nano probe after electrochemical processing

Fig.6은 본 연구에서 제안한 방법으로 나노 프로브의 길이를 제어한 결과를 보여준다. Fig.6에서 위 그림은 전해연마를 하기 전의 나노 프로브이고, 아래 그림은 전해연마 후의 나노 프로브를 보여주고 있다.

Fig.7은 전해연마 후 탄소나노튜브 끝의 모양을 보여준다. 전해연마로 인한 탄소나노튜브의 끝단의 변화한 모습을 보여주는데, 본 영상을 통해서 는 그 변화를 찾기가 어렵다.

제안한 방법을 이용한 탄소나노튜브의 길이 제어로 인한 탄소나노튜브 끝단의 기계적/화학적 성질의 변화에 대해서는 향후 고배율의 SEM 및 TEM을 통해 분석을 할 예정이다.

4. 결 론

본 연구에서는 전해프로세스를 이용하여 나노 프로브의 탄소나노튜브 길이를 제어하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 전해질 용액과 탄소 나노튜브 사이의 반응을 이용하여 원하는 길이의 탄소나노튜브를 얻을 수 있으며, 현미경을 통하여 제작과정의 모니터링이 가능하다. 이러한 방법을 이용할 경우 원하는 길이의 나노 프로브의 제작이 가능해서, 효과적인 나노 프로브의 적용이 가능해진다.

향후 연구과제로는 나노 스테이지를 이용한 나노 프로브의 이동을 통해 정밀한 탄소나노튜브의 길이를 제어하고, 전류계를 이용해서 탄소나노튜브의 담금 깊이를 정확히 제어하는 것이다. 또한, 고배율의 현미경을 통하여 탄소나노튜브 끝단의 물리적 성질의 변화에 대해서도 검토한다.

후 기

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 나노 메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비 지원(M102KN010001-03K1401-01120)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Sumio Iijima, 1991, "Helical Microtubules of Graphitic Carbon", *Nature*, Vol.354, No.7, pp.56~58.
- (2) Hongjie Dai, Jason H.Hafner, Andrew G.Rinzler, Daniel T.Colbert, Richard E.Smalley, 1996, "Nanotubes as nanoprobes in scanning probe microscopy", *Nature*, Vol.384, No.14, pp.147~150.
- (3) Jason H.Hafner, Chin Li Cheung, Charles M.Lieber, 1999, "Direct Growth of Single-Walled Carbon Nanotube Scanning Probe Microscopy Tips", *Journal of American Chemical Society*, Vol.121, pp.9750~9751.
- (4) Philip Kim, Charles M.Lieber, 1999, "Nanotube Nanotweezers", *Science*, Vol.286, pp.2148~2150.
- (5) Seiji Akita, Yoshikazu Nakayama, Syotaro Mizooka, Yuichi Takano, Takashi Okawa, Yu Miyatake, Sijenori Yamanaka, Masashi Tsuji, Toshikazu Nosaka, 2001, "Nanotweezers consisting of carbon nanotubes operating in an atomic force microscope", *Applied Physics Letters*, Vol.79, No.11, pp.1691~1693.
- (6) Stanislaus S.Wong, James D.Harper, Peter T.Lansbury,Jr., Charles M.Leiber, 1998, "Carbon Nanotube Tips : High-Resolution Probes for Imaging Biological Systems", *Journal of American Chemical Society*, Vol.120, pp.603-604.