

단일 CNT 팁에서 탄소나노튜브의 에칭부피에 관한 연구

이준석[†]·최재성*·강경수*·곽윤근*·김수현*

A Study on the Etched Volume of Carbon Nanotube in the Single CNT Tip

Lee Junsok, Choi Jaiseong, Kang Gyungsoo, Kwak Yoonkeun, Kim Soohyun

Key Words: Carbon Nanotube(CNT, 탄소나노튜브), Electrochemical Etching(전해에칭), Single CNT Tip(단일 CNT 팁), Nanotweezer(나노 트위저)

Abstract

Because of the various length condition of carbon nanotube, it is very confined the application area of the single CNT tip. In this paper, it was proposed the cutting technique of single CNT tip and the relationship between the etched volume and the amount of the applied charge. It is possible to control the length of single CNT tip arbitrary using this technique. The etched volume and length in the single CNT tip can be predicted with the amount of the applied charge. It is very easy to make a single CNT tip with proper length using this technique and to make nanotweezer that was composed two single CNT tips.

기호설명

V : 전해에칭된 부피

Q : 인가된 총 전하량

1. 서론

1991년 탄소나노튜브가 처음 발견된 이후로[1], 탄소나노튜브의 다양한 적용에 대해 많은 연구가 이뤄지고 있다. 특히, 탄소나노튜브의 뛰어난 기계적/전기적 성질을 이용한 많은 연구가 이뤄지고 있으며, 그중에서도 기존의 실리콘 팁에 탄소나노튜브를 부착하여 AFM의 분해능을 향상시키기 위한 연구가 많이 수행되고 있다.

1996년 Dai에 의해 처음으로 기존의 실리콘 팁

에 탄소나노튜브를 부착한 연구 결과가 보고되었다[2]. 이후, 이러한 나노 프로브를 이용한 나노 트위저에 대한 연구도 1999년 처음 보고 되었다[3]. 그리고, 2001년에는 주사형전자현미경을 이용하여 제작한 나노 트위저에 대한 연구 결과도 보고 되었다[4].

하지만, 이러한 연구에서 알 수 있듯이, 다양한 길이를 가지는 탄소나노튜브의 성질로 인하여, 적절한 길이를 갖는 탄소나노튜브를 부착하는 것은 매우 힘든 일이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 제작된 단일 CNT 팁에서 탄소나노튜브의 길이를 전해에칭에 의해 조절하였으며, 이 과정에서 에칭되는 부피가 인가된 전하량과의 관계에 대한 연구를 수행하였다.

2. 단일 CNT tip 제작

2.1 텅스텐 팁 제작

전해에칭과정을 통하여 초기 직경이 500 μ m인

[†] 한국과학기술원

E-mail : jameslee@kaist.ac.kr

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

* 한국과학기술원

텅스텐 봉을 가공하여 최종단의 텅스텐 팁 직경이 약 $1\sim 2\mu\text{m}$ 정도가 되도록 하였다. 전해액에 사용한 전해질용액은 5몰의 KOH 용액을 사용하였으며, 인가된 전류량 및 텅스텐 팁의 담금 깊이를 조절하여 팁의 모양과 끝단 직경을 조절하였다. Fig.1에서 제작된 텅스텐 팁을 보여주고 있다.

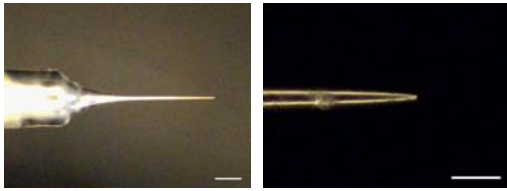


Fig. 1 Manufactured Tungsten Tip (scale bar : $200\mu\text{m}$ (left), $10\mu\text{m}$ (right))

2.2 단일 CNT 팁 제작

앞 절에서 언급한 텅스텐 팁과 전처리 과정을 거친 탄소나노튜브를 이용하여 단일 CNT 팁을 제작한다. 본 연구에서 사용된 탄소나노튜브는 화학기상증착법에 의해 알루미늄 기판 위에서 성장시킨 것으로 평균직경이 130nm 로, 광학현미경 환경에서 취급이 가능하다.

탄소나노튜브는 먼저 Isopropyl Alcohol(IPA)과 함께 초음파 분해과정을 거친 후, IPA를 증발시킨 후 남은 탄소나노튜브를 단일 CNT 팁 제작에 이용한다. 두개의 텅스텐 팁과 카본 테이프를 이용하여 단일 CNT 팁을 제작하였으며, 제작과정에 대한 개념도는 Fig.2에 나타나 있다. 또한, 이러한 방법으로 제작된 단일 CNT 팁의 모습도 Fig.2에 나타나 있다. 광학현미경으로 촬영한 영상과 주사전자현미경으로 촬영한 영상을 함께 보여주고 있다. 즉, 본 연구에서 사용한 탄소나노튜브는 광학현미경 환경에서 취급 가능함을 알 수 있다.

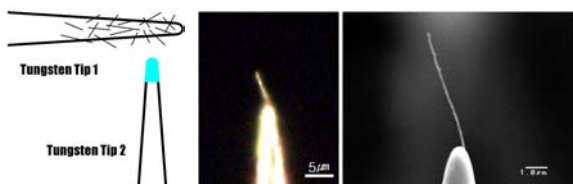


Fig. 2 Schematic view to make single CNT tip and the images of single CNT tip captured by optical microscope(left) and SEM(right)

3. 단일 CNT 팁 길이 제어

3.1 시스템 구성

단일 CNT 팁의 길이를 제어하기 위한 시스템은 Fig.3과 같다.

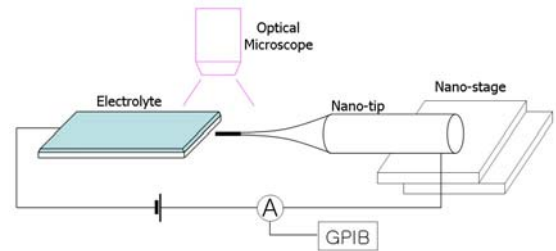


Fig. 3 Schematic view of cutting system

제작된 단일 CNT 팁은 나노 스테이지 위에 위치하며, 나노 스테이지에 의해 전해질 용액에 담금 깊이가 조절된다. 본 연구에서 사용한 나노 스테이지는 PI사의 P-282.30을 사용하였다. 전해질 용액은 텅스텐 팁의 가공에 사용되었던 5몰의 KOH를 사용하였으며, 길이조절 과정에서의 전류량을 측정하기 위해서 GPIB 통신을 통해서 Agilent사의 3458A DMM을 사용하였다. 또한, 프로세싱 과정을 모니터링하기 위해서 광학현미경을 사용하였는데, 본 연구에서는 Nikon사의 현미경을 사용하였으며, 최대 배율 2000배에서 모니터링을 수행하였다.

3.2 길이 제어

앞 절에서 언급한 시스템을 사용하여 제작된 단일 CNT 팁에 대한 길이제어 과정을 수행하였다. 길이제어 과정에서 인가된 전압의 크기는 20V 인데, 이러한 전압을 인가함으로써 탄소나노튜브가 전해질 용액에 잠기는 순간 높은 전류의 흐름으로 탄소나노튜브가 빠른 시간 내에 잘려나간다. 전해질 속에 잠긴 탄소나노튜브가 잘려나가는 시간이 길어지면, 전해질 용액이 탄소나노튜브를 따라 수면이 상승하는 효과가 발생한다. 이러한 경우, 잘려지는 탄소나노튜브의 위치도 일정하지 않으며, 잘려진 후에도 탄소나노튜브에 전해질용액이 묻어나는 경우가 발생한다. 결국, 탄소나노튜브의 고유한 성질을 잃어버리게 되므로, 프로세싱시간을 빠르게 해야 한다. 또한 프로세싱시간을 빠르게 하기 위하여 너무 높은 전압

을 인가할 경우, 큰 전류의 흐름으로 탄소나노튜브가 타 버리는 경우도 발생하므로, 적절한 전류의 인가가 필요하다.

Fig.4에서는 이러한 과정을 통해 처리된 단일 CNT 팁의 모습과 각각의 프로세싱 과정에서 측정된 전류를 보여주고 있다.

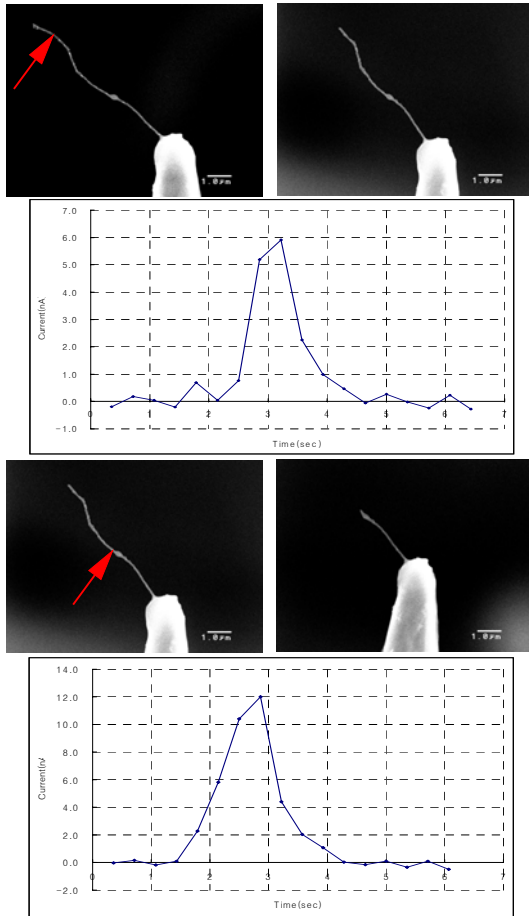


Fig. 4 Cutting results of single CNT tip and the current flow depend on the processing time

제작된 single CNT 팁에 대해서 첫 번째 전해에칭을 수행한 결과는 Fig.4의 위에 위치하고, 두 번째 전해에칭의 결과는 아래에 위치한다. 각각의 경우 화살표 지점에서 탄소나노튜브가 잘라졌으며, 전해에칭이 일어나는 동안 측정된 전류량을 보여주고 있다. 그림에서도 알 수 있듯이, 전해에칭된 부피가 클수록 인가된 전하량이 크다. 첫 번째 프로세싱의 경우 반응시간은 1.3초이고, 인가된 전하량은 5.38nAsec이고, 두 번째 반응의 경우 반응시간은 2.9초이며, 인가된 전하량은 약 13.58nAsec이다.

또한, 두 번째 반응에서 알 수 있듯이, 탄소나노튜브의 끝단은 전해에칭이 일어날 때 전해질 용액에 담겨진 방향에 따라 에칭면이 달라진다. 즉, 용액속에 담긴 부분만 전해에칭됨을 확인할 수 있다.

위에서 언급한 과정을 통하여 단일 CNT 팁이 그 용도에 맞도록 적절한 길이로 조절가능하며, 추후 나노 트위저의 제작에 효과적으로 이용될 수 있다.

4. 인가된 전하량과 에칭부피와의 관계

본 절에서는 제작된 단일 CNT 팁에 대해서 인가된 전하량과 에칭된 부피와의 관계를 규명하고자 한다. 먼저, 제작된 단일 CNT 팁을 여러번 연속적으로 전해에칭을 수행하며, 이때 인가된 전하량을 측정한다. 그리고, 각각의 경우에 대해서 주사형전자현미경으로 전해에칭된 양을 측정한다.

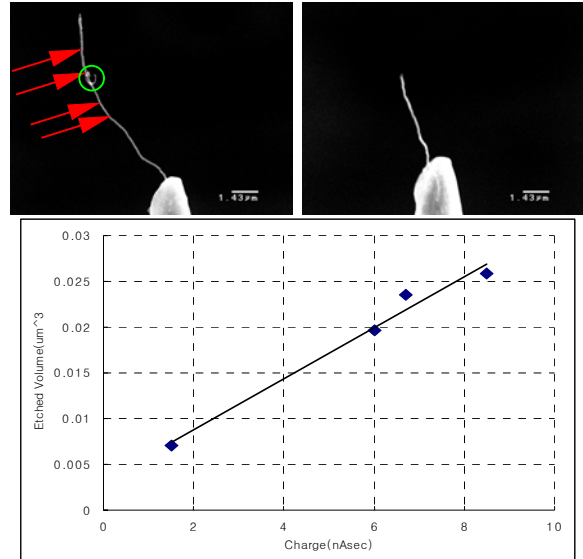


Fig. 5 Consecutive cutting of single CNT tip and the relationship between etched volume and the amount of applied charge

Fig.5에 보인 단일 CNT 팁은 4번 전해에칭을 수행하였으며, 각각의 경우에 대해서 탄소나노튜브가 잘라진 지점은 화살표에 표시된 지점이다. 또한, 원안의 탄소불순물은 단순히 단일 CNT 팁에 부착되어 있는 것으로 탄소나노튜브의 전해에칭에는 큰 영향을 주지 못한다. 아래의 그림은

각각의 전해에칭 과정에서 인가된 전하량과 그에 따른 전해에칭된 부피를 나타내고 있다. 즉, 두 값은 선형적인 관계가 있음을 알 수 있다.

$$V \propto Q$$

위 식에서 인가된 전하량과 전해에칭된 부피와의 관계는 앞의 실험결과에서 알 수 있듯이 그 비례상수가 약 0.0028이다. 결국, 이러한 관계식을 이용할 경우, 인가된 전하량이 구해지면 이에 비례하는 전해에칭 부피를 구할 수가 있다.

또한, 인가하는 전하량과 전류의 인가시간 그리고, 담금깊이를 적절히 조절할 경우 다중벽 탄소나노튜브의 외벽만 에칭되는 효과를 얻을 수 있다.

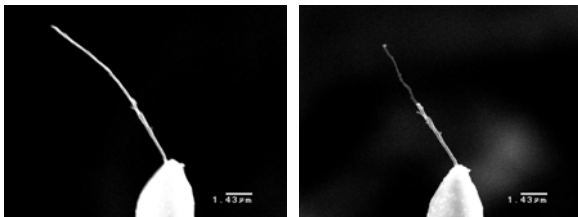


Fig. 6 The results of wall etching

Fig.6에서 보이는 것과 같이 제작된 단일 CNT 팁을 적절한 조건에서 전해에칭한 결과 외벽만 전해에칭되어 단일 CNT 팁의 굵기가 가늘어지는 효과를 얻었다. 이러한 결과를 이용할 경우 끝단의 지름이 작은 단일 CNT 팁을 얻을 수 있는 장점이 있다.

5. 결론

본 연구에서는 전해에칭 과정을 통하여 단일 CNT 팁에서 탄소나노튜브의 길이를 제어하였으며, 인가된 전하량과 에칭된 부피와의 관계가 선형적인 관계가 있음을 확인하였다. 또한, 인가된 전하량의 조절을 통하여 탄소나노튜브의 길이뿐만 아니라 굵기도 조절할 수 있음을 확인하였다. 향후, 이러한 연구를 바탕으로 적절한 길이의 단일 CNT 팁을 제작하고, 이를 이용하여 나노 트 위저를 제작하고자 한다.

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) Philip Kim, Charles M.Lieber, 1999, "Nanotube Nanotweezers", Science, Vol.286, pp.2148~2150.
- (4) 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.