

전기화학적 에칭방법을 이용한 초미세 바늘 전극 제작

오현주*, 장동영+, 강승언**

Fabrication of ultra-sharp tungsten tip using electro-chemical etching system

H. J. Oh*, D. Y. Chang+, S. O. Kang**

Abstract

To obtain the ultra-sharp tungsten tip, an analog to digital converter circuit aided by a personal computer has been setup. At the moment the lower part of the needle drops off during the etching process, a maximum current change across the reference resistor is detected by the PC interface card and the applied voltage is then cut off within a few milliseconds. Our experiment has been able to fabricate an ultra-sharp tungsten tip ~200 Å radius with a higher reproduction rate and reliability than the conventional method.

Key Words : electro-chemical etching, drop-off, ultra-sharp tungsten tip

1. 서론

20세기 말부터 발전하기 시작한 나노 과학 기술은 21세기에 이르러 그 발전의 속도가 한층 더 가속화 되었다. 현대 과학 기술은 소형화의 경쟁이며 이로 인한 나노 과학 기술의 역할은 매우 중요하다 할 수 있다. 이러한 나노 세계에 대한 연구의 가능성을 제시할 수 있었던 것은 SEM(secondary electron microscope) 이후로 STM(scanning tunneling microscope), AFM(atomic force microscope) 등의 발명으로 원자크기까지의 관찰이 가능해 졌으며 이후로 발명된 SPM(scanning probe microscope)의 등장으로 단순한 관찰을 떠나 나노 크기의 실험이 가능해졌기 때문이다. SPM의 원리와 이용분야는 조금씩 다르지만 공통된 특징은 프로브 끝의 구조가 매우 날카롭다는 것이다. 본 연구에서는 전기화학적 에칭방법

(electro-chemical etching)을 이용하여 곡률반경이 매우 작은 초미세 바늘 전극(ultra sharp tip)을 제작하였다. 초미세 바늘 전극을 제작하는데에는 오래전부터 수많은 연구가 진행되어 왔으며 다양한 제작 방법들이 개발되었다. 전해 연마 및 부식(electrochemical polishing, etching)⁽¹⁾, 화학적 연마 및 부식(chemical polishing, etching)⁽²⁾, 이온 밀링(ion milling)⁽³⁾, 음극 때러내기(cathode sputtering)⁽⁴⁾ 등 이 외에도 여러 방법이 있다. 이런 다양한 방법들 중에서 시료의 재질에 따라 선택적으로 사용하며 주로 쓰이는 방법은 전해 연마 및 부식 방법이지만 대부분의 방법들이 초미세 구조의 바늘을 얻기 위해 여러 단계를 거쳐야 한다. 본 연구에서는 전기drop-off 현상을 이용하여 여러 절차를 거치지 않고 한 번의 실험절차로 초미세 바늘 전극을 제작하였다. 초미세 바늘 전극을 제작하기 위한 전기화학적 에칭을 위하여 에칭 장비를 개발하였으며 이는 컴퓨터 인터

* 서울산업대학교 나노생산기술연구소 (wlrqgrns@hanmail.net)

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

+ 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

++ 광운대학교 전자물리학과

페이스를 통해 조절되도록 고안하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 직경 150 μm 텅스텐 선을 전기화학적 에칭방법을 이용하여 초미세 바늘을 제작하였다. 전해용액은 NaOH와 KOH 두 가지를 사용하였으며 직류전원을 사용하였다. NaOH와 KOH 용액은 1 N ~ 3 N 까지 변화시켰으며 직류전원은 2 V ~ 9 V 까지 변화시켜가면서 실험하였다. 또한 본 연구에서는 원형으로 제작된 음극과 부식과정에서 양극에서 음극으로 흐르는 전류를 측정하여 용액에 잠긴 텅스텐이 떨어져 나감(drop-off)과 동시에 직류 전원을 차단하는 컴퓨터 인터페이스를 이용한 직류 전원 공급 장치를 사용하였다.

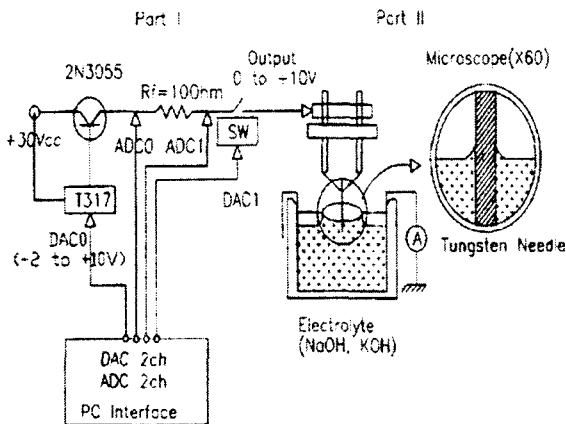


Fig. 1. Schematic of the etching circuit

그림 1은 에칭장치를 이용한 텅스텐 에칭 과정의 개략도이다. 그림에서 part 1은 직류 전원 공급 장치 및 컴퓨터를 이용한 전원 차단 방법을 나타내고 있다. ADC0과 ADC1 두 채널은 에칭과정에서 발생하는 기준 저항 100 Ω 에 흐르는 전류를 측정하여 컴퓨터에 입력하며 컴퓨터에 내장된 프로그램을 통하여 입력된 전류값을 기준으로 DAC0번 채널을 통하여 T317에 전압을 계속적으로 수정하여 주므로써 전원 공급 장치의 출력은 에칭과정 초기에 입력한 전압을 변동 없이 일정하게 유지하도록 하여준다. 텅스텐이 에칭되는 과정에서 전류값은 계속하여 변하게 되는데 용액에 잠긴 텅스텐 부분이 떨어져 나가(drop-off) 때 가장 많은

전류 변화가 생기게 되며 이 때 프로그램이 DAC1 채널을 통하여 전원 출력 스위치를 꺼버림으로 출력 전압은 0 V가 된다. 이 때 컴퓨터에서 출력이 나와 전원 차단 스위치가 동작하기까지는 약 1 ms 이하의 시간이 소요된다. Part 2는 전기화학적 에칭과정에 사용되는 에칭 용기와 음극 및 전해 용액에 텅스텐 선이 담겨 있는 모습을 나타낸 것이다. 음극은 구리를 사용하였으며 직경 1 mm 이고 직경 10 mm의 원형의 형태를 띠고 있다. 텅스텐 선을 전해 용액에 3 mm 길이로 수직하게 잠기도록 하고 에칭 시키려는 텅스텐에 양극을 가하고 구리선에 음극을 가하게 되면 에칭이 시작된다.

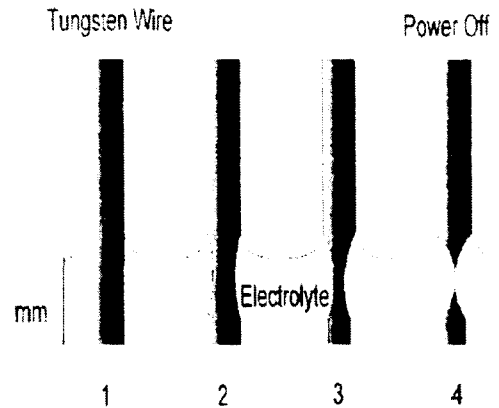


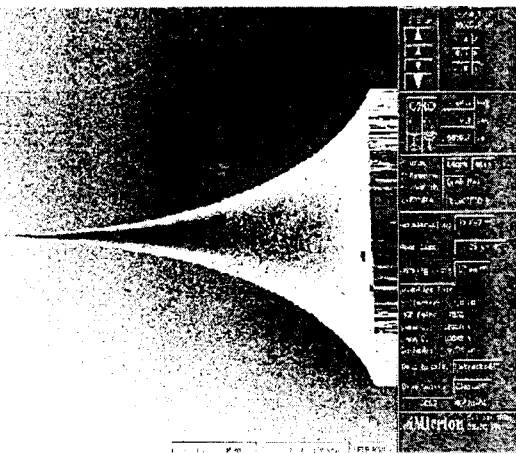
Fig. 2. Etching process of drop-off

그림 2는 텅스텐 선이 전기화학적 에칭과정을 거쳐 초미세 바늘 전극이 되는 과정을 나타낸 그림이다. 에칭 과정은 1번부터 4번의 순서로 진행되며 1번은 직류전원을 가하지 않은 상태에서 텅스텐 선을 전해용액에 수직하게 3 mm 담근 상태이다. 전해용액과 텅스텐 선이 만나는 부분은 표면장력의 영향에 의하여 용액이 텅스텐 선위로 살짝 올라오는 형상을 유지하게 된다. 2번과 3번은 에칭이 진행되는 과정을 나타낸 것이다. 그림과 같은 모양으로 에칭이 진행되는 것은 전해용액과 공기가 맞닿는 표면 부분이 전기장에 의하여 가장 빨리 에칭이 진행되기 때문이다. 4번은 에칭이 계속하여 진행되다가 텅스텐 선의 일정한 부분이 계속 가늘어지다 아래쪽 부분이 떨어져 나가(drop-off)는 순간을 나타낸 것이다. 바로 이 시점에서 전류의 변화가 가장 크게 나타나며 아래쪽 부분이 떨어져 나감과 동시에 에칭장치에 연결

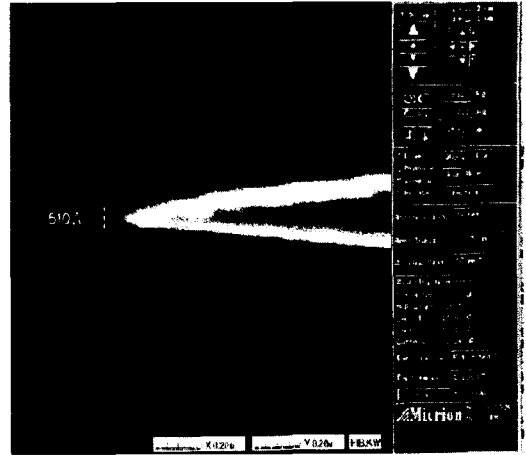
된 프로그램에 의하여 직류 전압의 공급을 중단시킨다. 이때 일정시간 내에 전압 공급을 중단시키지 못하면 오히려 날카롭던 바늘의 끝 부분이 과도한 에칭으로 인하여 뭉뚱해지므로 적절한 시간내에 전압을 중단시키는 것이 매우 중요하다.

3. 실험결과

전기화학적 에칭방법을 이용하여 직경 150 μm 의 텅스텐 선을 2단계 에칭과정이나 국부 미세 가공(microzone polishing) 및 가열 산화 과정 등 별도의 제작 과정 없이 한번의 작업으로 에칭하여 초미세 바늘 전극을 제작하였다. 에칭에 걸리는 시간은 가해지는 직류전원이 커지고 전해용액의 농도가 진할수록 줄어드는 결과를 나타내었다. NaOH 2N 전해용액을 사용하였을 경우 가속전압이 2 V, 5 V, 8 V로 변함에 따라 에칭에 걸린 시간은 364.1 s, 340.9 s, 308.2 s의 결과를 보였다. 에칭되기 시작한 부분부터 바늘 끝 부분까지의 거리(taper length)는 NaOH 2N 전해용액을 사용하였을 경우 가속전압이 2 V, 5 V, 8 V로 변함에 따라 250 μm 에서 170 μm 로 점점 줄어드는 결과를 나타내었다. 또한 같은 전압에서라면 전해용액의 농도가 진해짐에 따라 길이가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 에칭에 걸린 시간과 에칭된 길이의 결과로부터 1초당 반경 약 0.2 μm 정도의 에칭율을 보임을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 3. FIB image of etched tungsten tip

그림 3은 전기화학적 에칭방법을 이용하여 제작한 텅스텐 바늘 전극의 집속이온빔 화상 결과이다. (b)는 더욱 확대한 화상 결과인데 그림에서 앞쪽에 보이는 척도(scale bar)는 510 Å이며 이 척도를 기준으로 본다면 바늘 전극 끝에서의 곡률 반경(tip radius)은 약 200 Å 이하임을 알 수 있다.

4. 결론

전기화학적 에칭 방법을 이용하여 곡률 반경 200 Å 이하의 텅스텐 초미세 바늘 전극을 제작하였다. 에칭 과정은 별도의 준비나 사전 과정 없이 한 번의 에칭으로(one step procedure) 결과를 얻을 수 있는 방법을 사용하였다. 에칭 장치는 컴퓨터 프로그램에 의하여 에칭 시 변화되는 전류의 양을 측정하여 전해용액 속의 텅스텐이 떨어져 나가는(drop-off) 순간에 전압 공급을 중단하여 과도한 에칭이 일어나지 않고 바늘 끝이 날카로운 모양을 유지하도록 고안되었다. 에칭 용액은 NaOH와 KOH를 사용하였으며 가해진 직류 전압은 2 V ~ 9 V였다. 에칭 용액의 농도가 진해질수록 또한 가해주는 전압이 높아질수록 에칭속도는 빨라졌으며 에칭되기 시작한 부분부터 바늘 끝 부분까지의 거리(taper length)는 더 짧아지는 경향을 보였다. 실험의 결과 에칭율은 반경을 기준으로 약 0.2 $\mu\text{m}/\text{s}$ 임을 알 수 있었다. 또한 실험의 결과 이와 같은 에칭 방

법이 재현성이 매우 높은 실험 결과를 나타내었다는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업 “이온빔 이용 나노가공용 장비 개발” 과제의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) A. J. Melmed, 1991, Journal of Vacuum Science of Technology. B. 9, 601
- (2) J. L. Vosson and V. Kern, 1978, Thin Film Process, Academic New York
- (3) M. G. Burke, D. D. Sieloff, S. S. Brenner, 1986, Journal of Physics(France) 47, 459
- (4) E. W. Muller, 1937, Z. Physics 106, 132