전기 화학적 에칭을 이용한 탐침의 형상 제어

hape control for pro e tip ith electrochemical etching

*여강우, 정재원, #민병권, 이상조

*K. W. Yeo, J. W. Jung, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee

연세대학교 기계공학과

Key words : probe tip, electrochemical etching, shape control

1. 서론

탐침을 제작하는 하는 방법으로는 전해 연마 및 부식, 화학적 연마 및 부식 그리고 이온 밀링법 등 다양한 방법이 있다. 이들 중 미세 탐침의 제작에 있어 가장 대표적이며 간단한 방법으로 전기 화학적 원리를 이용한 에칭을 들 수 있다. 텅스텐 와이어의 끝단을 NaOH 전해질 용액에 담그고 이에 5 ~ 10V[1]의 전압을 텅스텐 와이어 인가하고 구리 전극에 음극을 인가하여 전기 화학적 반응을 유도함으로써 텅스텐 와이어에 미세 탐침을 형성할 수 있다.[1,2] 하지만 종례의 제조 방법에 따르면 원하는 형상의 탐침을 제작하기 위해서는 많은 실험이 수반되어야 하고 단일 탐침의 가공에만 제한이 되는 등 형상의 재현성 또한 보장을 할 수 없다.[3]

탐침의 형상 재현성을 확보하기 위해서 패러데이의 전기 분해 법칙을 텅스텐 와이어의 에칭 메카니즘에 적용하여, 제거되는 텅스텐의 질량과 통과하는 전류값 사이의 모델을 만든다. 이렇게 만들어진 모델을 이용하여 NaOH용액에 입수되어 있는 텅스텐 와이어의 에칭량을 예측할 수 있고, 이렇게 예측된 에칭량을 단면 형상 함수에 대입하여 전해 용액 표면으로부터 텅스텐 와이어의 추출 높이를 결정할 수 있다. 이렇게 결정된 추출 높이에 따라 탐침의 형상을 제어 할 수 있다.

2. 전기 화학적 에칭 프로세스

2.1 가공 장비

Fig. 1은 이 실험에 사용한 장비를 보여주고 있다. 그림에서 보여 지는 것과 같이 Z축에 텅스텐 와이어가 장착되어 있고, 수조 안쪽에 구리 전극이 설치되어 있다. 구리 전극은 화학 반응시 발생하는 H_2가 텅스텐 와이어에 부착되면 가공 품질에 나쁜 영향을 줄 수 있기 때문에 H_2배출을 원활이 하기 위해 수면 가까이에 설치한다. Z축은 모션 보드가 설치된 PC에 의해 제어가 되어 진다. 텅스텐 와이어와 구리 전극 사이에 흐르는 전압을 측정하기 위해서 전극의 부피 변화에 따른 전압의 변화를 측정한다. 전극의 부피 변화에 따른 전압은 그림과 같이 Reference Resister를 설치하고 이 양단에 가해지는 전압의 값을 DAQ Board(PXI-6259, NI)를이용하여 PC로 입력이 된다. 이때 전원에서 가해지는 전압은 10V, 전압 측정을 위한 Reference Resister는 50Ω으로 한다.

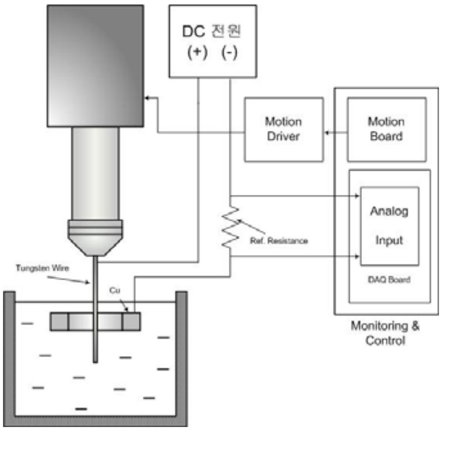

Fig. 1 Schematic Diagram of Experiment Setup

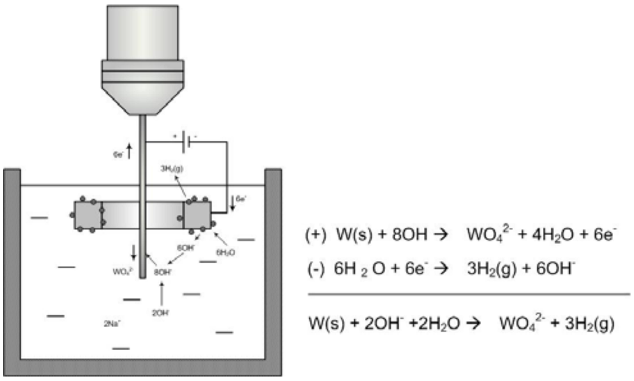

Fig. 2 Principle of Electrochemical etching

2.2 전기 화학적 모델링

텅스텐 와이어를 에칭하기 위해서 (+) 극에는 텅스텐 와이어를 (-) 극에는 구리 전극을 이용하였고, 전해액으로는 NaOH 수용액을 이용하였다. 이 때 전극의 지름은 300μm이고, 텅스텐 와이어의 입수 깊이는 3mm이다. DC 전압을 인가해주면 아래 Fig. 2와 같은 화학 반응이 일어나며, 텅스텐 와이어에 에칭 가공이 일어난다. 페러데이의 전기 분해 법칙에 따르면, 전류에 의해 생성되는 화학변화의 양은 전기의 양에 비례한다. 전기량 Q는 다음식과 같다.

$$Q = I \times T$$

또한 반응한 부피는 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{d_W} \times \frac{I \times T}{F} \times \frac{M_W}{|n|}$$

이때, V는 제거된 텅스텐의 부피, T는 제어 시간 간격, I는 전해액에 흐르는 전류, M_W(=183.84 g/mol)는 텅스텐의 원자량, d_W(=19400 kg/m^3)는 텅스텐의 밀도, |n|(=6)은 이온의 전하수, F(=96485 C/mol)은 패러데이의 정수이다

2.3 제어 알고리즘

페러데이의 전기 분해 법칙에 의해 에칭된 부피는 제어 시간 간격(=50ms) 동안 통과한 전류치에 비례한다는 것을 알 수 있다. 제어 시간 간격 동안 에칭된 텅스텐 와이어의 부피와 페러데이의 전기 화학 법칙(식(1))을 통해 계산한 에칭된 부피(식(2))와 같게 된다. 이때 에칭되는 부피는 Fig. 3과 같이 제어 간격 시간 동안 전체 입수된 텅스텐 와이어의 전면에서 동일한 양으로 일어난다고 가정한다. 도식적으로 계산된 에칭 부피와 페러데이의 법칙을 이용하여 계산한 부피는 서로 같기 때문에 이 관계에서 제어 시간 간격 동안 변하는 반지름 X를 계산해 낼 수가 있다. 이렇게 계산된 반지름을 우리가 원하는 형상함수에 입력을 하게 되면, 전극의 추출 높이를 구할 수 있다.

Fig. 4은 전극의 제조 과정을 보여 주고 있다. 먼저 텅스텐 와이어를 결정된 담금 깊이만큼 입수시키고 텅스텐 와이어에 (+)극, 구리 전극에 (-)극을 연결하고 DC전원을 공급해 준다. 이 때 전해질 용액에 흐르는 전류를 측정한다. 이 전류치는 텅스텐

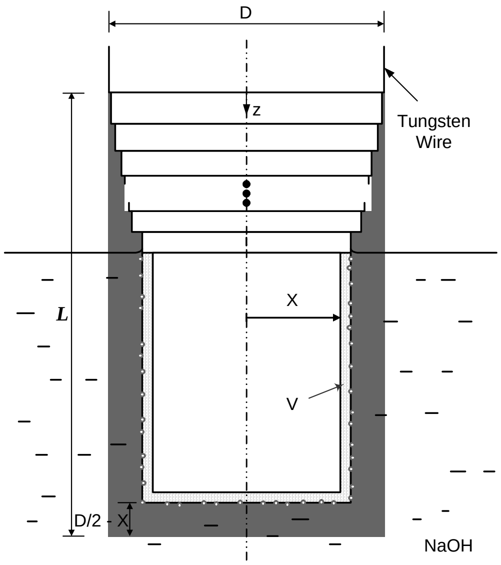

Fig. 3 Removal Volume of Tungsten Wire

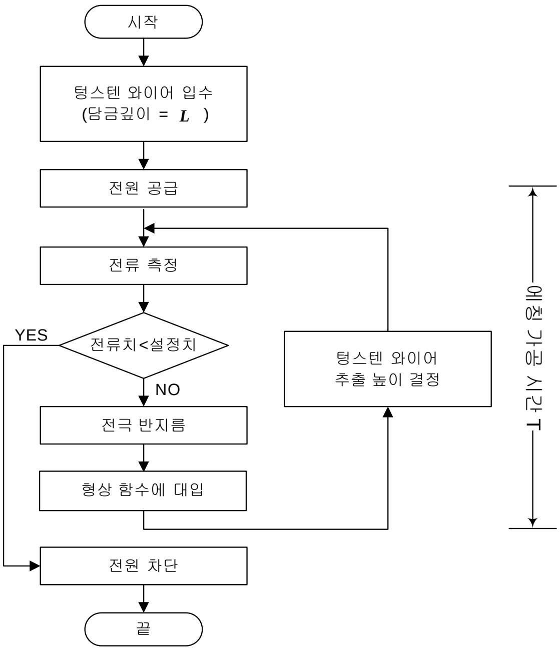

Fig. 4 Diagram of Etching Process

와이어 반경이 감소함에 따라 전압이 감소하게 되고 이에 따라 가공이 진행 될수록 전류는 감소하게 된다. 이 전류치가 가공의 종료를 위해 설정된 설정치보다 작아지게 되면 가공이 종료가 된다. 그렇지 않다면 계산된 텅스텐 와이어의 반지름을 입력된 형상함수에 대입하여 반복적으로 텅스텐 와이어의 추출 높이를 결정하게 된다. 이렇게 계산된 높이만큼 텅스텐 와이어를 추출시킨다. 이 때 가공 시간 T는 전원이 공급되기 시작해서부터 전원이 차단 될 때까지이다.

3. 실험 결과

이 실험에서는 전극 형상을 선형적으로 만들기 위해 텅스텐 와이어의 추출 높이를 결정하는 함수를 다음과 같이 설정하였다.

$$Z = L - 2 \times \frac{L}{D} \times X$$

여기서, Z는 추출 높이, L(=3000μm)은 전극을 전해액(NaOH)에 넣은 길이, D(=300μm)는 전극의 지름, 그리고 X는 제어 시간 간격 동안 구해지는 전극의 반지름이다. 동일한 조건에서 4회 실시된 가공 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 6에서와 같이 가공된 전극이 재현성을 가지고 원하는 형상으로 가공됨을 알 수 있다.

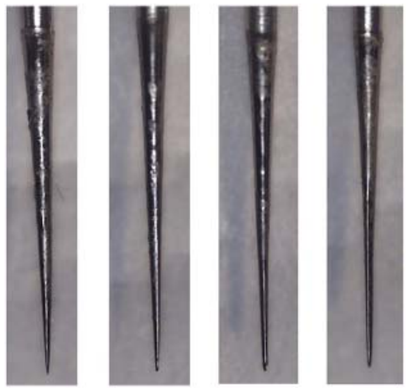

Fig. 5 Etching Results of Four Experiments

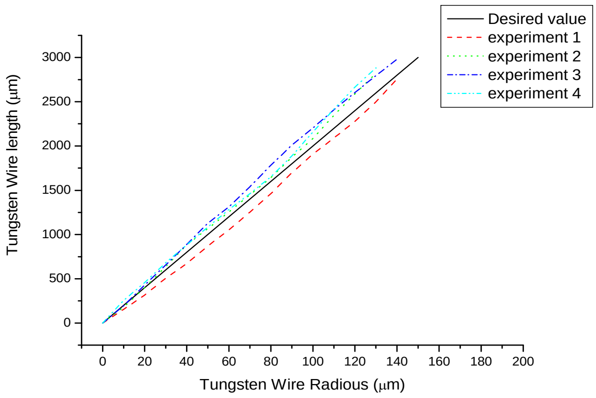

Fig. 6 Relation between Shape Function and Etching Results

4. 결론

이 연구는 탐침의 형상을 실시간 제어하기 위한 것으로 텅스텐 와이어에 인가되는 전류를 실시간으로 측정하여 그 전류치를 전기 화학적 모델에 대입함으로써 현재 텅스텐 와이어의 에칭량을 예측하고 에칭량을 기준으로 텅스텐 와이어의 담금 깊이를 조절하여 원하는 형상의 탐침을 제조하는 것이다. 원하는 형상을 형상 함수로 나타내고 이에 따라 에칭량을 조절하여 원하는 형상의 탐침을 제조할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부의 마이크로 전기 화학 복합 형상 제거 시스템 개발 사업의 지원으로 이루어졌다.

참고문헌

1. 안치현, 김규만, 주종남, “전기 화학적 에칭을 이용한 텅스텐 미세탐침 가공”, 한국정밀공학회지,111-118, 2001
2. 오현주, 장동영, 강승언, “전기 화학적 에칭 방법을 이용한 초미세 바늘전극 제작”, 한국공작기계학회, 449-452, 2004
3. 우선기, “전기 화학적 에칭법에 의한 텅스텐 와이어의 Sharp Tip 제조에 관한 연구”, 한국 표면공학회지, Vol 31, 45-52, 1998