

펄스 부가 AFM을 이용한 나노 전해가공 Nano Electrochemical Machining Using a Pulse Applied AFM

*김길준¹, 유종선¹, #류시형¹

*K. J. Kim¹, J. S. Yu¹, #S. H. Ryu(ryu5449@jbnu.ac.kr)¹

¹전북대학교 기계공학과

Key words : Nano Electrochemical Machining, Atomic Force Microscope, Ultra Short Pulses, Electrolyte Droplet

1. 서론

AFM은 재료 표면의 원자나 분자 구조를 관찰하기 위한 용도로 개발되었으나, 근래에 나노 구조를 제작하는 도구로써도 주목을 받고 있다.¹ AFM은 재료의 경도나 전도성에 상관없이 대기에서나 액중, 진공에서도 사용이 가능하여, 금속이나 반도체, 폴리머, 또는 생물 세포를 가공하거나 조작하는 연구들이 진행되고 있다. AFM을 이용한 나노 제조 분야에서는 양극산화에 의한 나노 닷 및 와이어 생성과, 폴리머나 연결금속에 대한 기계적 압입, 굽기에 관한 연구들이 많이 수행되었다. 또한, 탐침에 유기 잉크를 묻혀서 표면에 기능성 나노 구조를 형성시키는 딥펜 기술도 활발히 연구되었다. AFM을 이용한 양극산화 기술은 반도체 또는 금속산화물 구조 형성을 통하여 단전자 트랜지스터 등 나노 전자소자 제작에 응용될 수 있다. 기계적인 가공법은 재료를 제거하는 방식으로 나노 구조를 형성할 수 있지만 제거된 재료가 옆에 쌓이거나 금속 등 고경도 재료에 적용할 경우 탐침의 마모가 발생하는 단점이 있다. 그 밖에 열기계적 압입², 전해증착³ 등에 관한 연구 결과들이 발표되었다.

최근들어 초단펄스를 이용한 마이크로 전해가공 기술을 AFM에 적용하고자 하는 연구가 수행되었다.⁴ 그러나 프로브 전체를 전해셀에 침지시킬 경우 전기장이 분산되어 전해가공의 재현성이 떨어지게 된다. 실제로 프로브 전체를 전해셀에 침지시킬 경우 팁 끝에서 전해가공이 이루어지지 않았으며, 과도한 전압을 인가할 경우 버블이 캔틸레버를 움직여 안정적인 가공이 어려웠다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 미세 액적 형태의 전해액을 사용하는 방법을 제안하였다.

2. 실험장치 및 방법

액중에서 사용이 가능한 AFM(NT-MDT P47H-PRO, Russia)에 펄스발생기(HP 8116A, US)를 연결하여 구리 기판에 펄스를 인가하고 프로브(NT-MDT DCP11, Russia)는 접지시킨다. 레이저의 상태 및 전해 과정은 Fig. 1과 같이 CCD 시스템을 이용하여 관찰하였다. 전기장을 팁 근처에 집중시키기 위하여 프로브 전체를 전해액에 침지시키지 않고, Fig. 2와 같이 황산수용액 약 5 μ l를 주사기 바늘로 팁과 캔틸레버 주위에 주입하여 미세 액적 형태의 전해셀을 형성하였다.



Fig. 1 AFM and CCD system for nano electrochemical machining in a electrolyte droplet

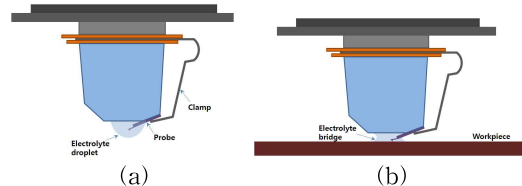


Fig. 2 (a) Micro droplet electrolyte injected by a needle and (b) formed electrolyte bridge after approaching tip to workpiece

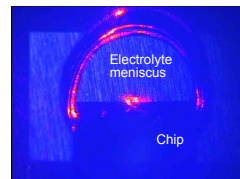


Fig. 3 Top view of electrolyte meniscus formed between the substrate and the crystal bottom

팁을 기관에 접근시키면 Fig. 3과 같이 프로브 폭의 1~2 배 직경에 해당하는 전해액 브릿지가 팁을 중심으로 형성되며, 이는 전해질로 작용하여 펄스를 인가할 때 금속이 용출되게 된다.

3. 실험결과 및 분석

황산수용액의 농도가 0.01 M 이상일 경우 구리 표면에 점 부식이 발생하고, 시간에 따라 부식이 점차 진행되었다. 본 연구에서는 전해액 농도를 0.001 M 로 고정시킨 후 펄스 조건에 따른 전해특성을 살펴보았다. Fig. 4(a) 는 펄스 주파수 100 kHz, 펄스 전압 3.2 V, 오프타임 전압 -0.8 V, 펄스 폭 200 nsec 조건에서 이송속도 0.6 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 로 폭 60 nm, 깊이 15 nm의 나노 홈을 가공한 것이며, (b)는 동일한 조건에서 펄스 폭만 300 nsec로 변화시켜 폭 100 nm, 깊이 40 nm의 홈을 가공한 것이다.

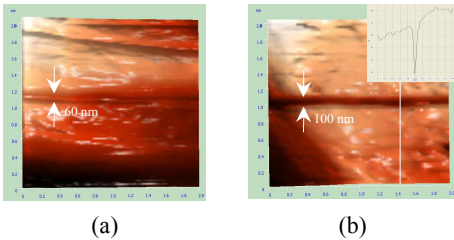


Fig. 4 Electrochemically machined nano grooves on Cu plate of (a) 60 nm wide, 15 nm deep and (b) 100 nm wide, 40 nm deep

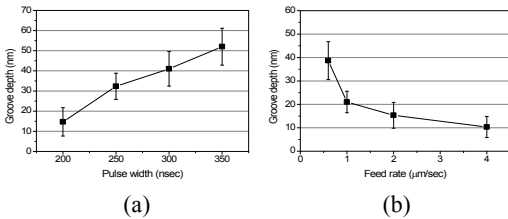


Fig. 5 Groove depth variation according to (a) pulse width and (b) feed rate

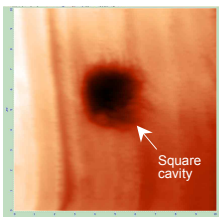


Fig. 6 A cavity on Cu plate of $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m} \times 380 \text{ nm}$ at 100 kHz pulse frequency, 300 nsec duration, 3.2 V pulse amplitude and -0.8 V off-time voltage

홈 주위에 마운드가 형성되지 않아 순수 전해 작용에 의해서 가공되었음을 확인할 수 있다. Fig. 5는 펄스 폭과 프로브 이송 속도를 변화시키면서 가공되는 홈의 깊이를 나타낸 것이며, Fig. 6은 전해 밀링으로 한 번이 2 μm 인 정사각형 캐비티를 제작한 것으로, 캐비티의 깊이는 380 nm 이다.

4. 결론

AFM 프로브와 구리 기관의 양단에 초단펄스를 부가하여 전해방법으로 나노 구조를 가공하였다. 팁 근처에 전기장을 집중시키기 위하여 미세 액적 형태의 전해액을 사용하였으며, 전해액의 농도와 펄스 조건 등을 변화시키면서 전해가공 특성을 살펴보았다. 전해액 브릿지의 직경이 칩 폭의 1~2 배 정도일 때, 광범위한 전해로 인한 버블의 발생과 이에 의한 레이저의 불안정성이 해소되어 팁 주위에서 안정적인 전해 작용이 이루어짐을 확인하였다. 펄스 조건 조절을 통해서 폭 60 nm, 깊이 15 nm 와 폭 100 nm, 깊이 40 nm 의 나노 홈을 가공하였으며, 전해 밀링을 통해 한 번의 길이가 2 μm 이고 깊이가 380 nm 인 사각형 캐비티를 제작하였다.

후기

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0071106).

참고문헌

- Xie, X., Chung, H., Sow, C. and Wee, A., "Nanoscale Materials Patterning and Engineering by Atomic Force Microscopy Nanolithography," *Materials Science and Engineering*, **54**, 1-48, 2006.
- Despont, M., et al., "VLSI-NEMS chip for parallel AFM data storage," *Sensors and Actuators A*, **80**, 100-107, 2000.
- Li, Y., Maynor, B. and Liu, J., "Electrochemical AFM "Dip-Pen" Nanolithography," *Journal of the American Chemical Society*, **123**, 2105-2106, 2001.
- Abril, O., Gundel, A., Maroun, F., Allongue, P. and Schuster, R., "Single Step Electrochemical Nanolithography of Metal Thin Films by Localized Etching with an AFM Tip," *Nanotechnology*, **19**, 325301, 2008.