

스캔 방식에 따른 Au 집속이온빔 가공 The Effects of FIB Scan Method On Au Etching Profile

*박진주¹, #김성동²

*J. J. Park¹, #S. D. Kim(sdskim@snut.ac.kr)²

¹ 서울테크노파크, ² 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

Key words : Focused Ion Beam, Etching, Au, Raster scan, Vector scan

1. 서론

최근 집속 이온빔(Focused Ion Beam, FIB)을 이용한 MEMS(Micro Electro Mechanical System), SPM(Scanning Probe Microscope) 팁, 광전자 소자, 탄소 자기적 나노크기 제반, 기능성 센서, 정보저장기기 등 미세 가공연구가 활발히 진행되고 있다.^{1,2}

집속이온빔을 이용한 나노 소자 제작의 경우 Si 등 다양한 재료가 사용되고 있는데, 이 가운데 Au의 경우 최근 Au 금속판에 기어, 바퀴 등 다양한 형태의 나노크기 모형 제작에 성공하였고,³ 도파관의 조리개로서 Au 금속판을 사용한 나노 크기의 C 모양 조리개 제작에 성공하는 등 마이크로-나노 소자 제작에 유용하게 쓰이고 있는 물질이다.

본 연구에서는 이온빔 스퍼터링(sputtering) 공정의 하나인 FIB 에칭 공정을 이용하여 레스터스캔 방식과 벡터스캔 방식에 따른 Au 가공 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 SII Nano Technology사의 FIB(SMI3050)를 사용하였으며, 이온소스는 Ga 이었다.

가공에 사용한 시편으로는 약 500 μm 두께의 Pyrex 기판에 sputter방식으로 Au를 280 nm 증착하여 사용하였으며, Pyrex와 Au의 접착성을 높이기 위해 5nm Cr 사잇층을 두었다.

가공 형상은 300 X 300 nm^2 의 정사각형이었으며, 전체 800 X 800 pixel 이미지에서 1 pixel 간격이 15 nm인 12 μm F. O. V(Field of View), 30 kV 가속전압, 직경이 약 10 nm인 5 pA 전류의 빔으로 가공하였다. 일반적으로 레스터스캔 방식(raster scan)은 F. O. V에 의해서 1 pixel 간격이 정해지기 때문에 분해능을 따로 지정하지 않으나 벡터스캔(vector scan) 방식은 임의로 빔의 간격과 분해능을 정하는 방식이기 때문에 본 실험에서는 모든 동일한 조건하에 실험을 진행시키기 위해 분해능은 15 nm 빔 사이 간격 15로 하여 실험하였다.

본 실험에서는 레스터스캔의 이온주입량을 9×10^{16} ions/cm², 12×10^{16} ions/cm², 15×10^{16} ions/cm², 18×10^{16} ions/cm²로 변화시켰으며, 벡터스캔의 프레임 수는 50, 60, 70, 80, 90, 100으로 변화시켜 Au의 가공 깊이와 가공 영역의 정확도, 가공된 영역의 벽면 기울기, 가공영역의 거칠기 등을 비교하였다.

가공된 패턴은 AFM(Atomic Force Microscope, DI3100)으로 측정하였으며, 스캔사이즈는 1 X 1 μm^2 로 하였다.

3. 결과 및 토의

FIB 에칭 공정은 빔을 일정한 속도로 이동시키면서 이온빔의 스퍼터링 작용을 이용하여 재료를 일정한 두께로 제거하는 방법이다. 이온빔을 이동시키는 방식에 따라서 레스터스캔 방식과(raster scan)과 벡터스캔 방식(vector scan)이 있다. Fig. 1에 보인 바와 같이 레스터스캔 방식은 일정한 간격으로 한 방향으로 점을 찍듯이 빔을 이동시키는 방법이며, 벡터스캔 방식은 이동 경로를 시작과 끝점으로 정의해서 아날로그 방법에 따라 연속적으로 빔을 이동시키는 방법이다.⁴ 레스터스캔 방식은 이온주입량에 따라서 재료의 가공 깊이가 결정되고, 벡터스캔 방식은 프레임 수에 의해서 가공깊이가 결정된다. 여기서 프레임이란 이온빔이 전체 가공영역을 모두 스캔하고 원점으로 돌아오는 것을 말한다.

Fig. 2 (a)에 레스터스캔 방식 Au 에칭 가공의 도즈량에 따른

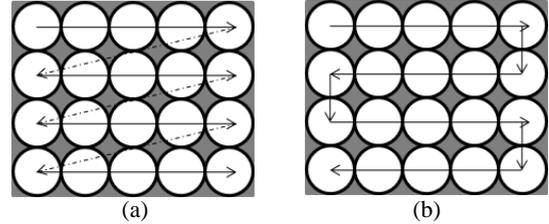
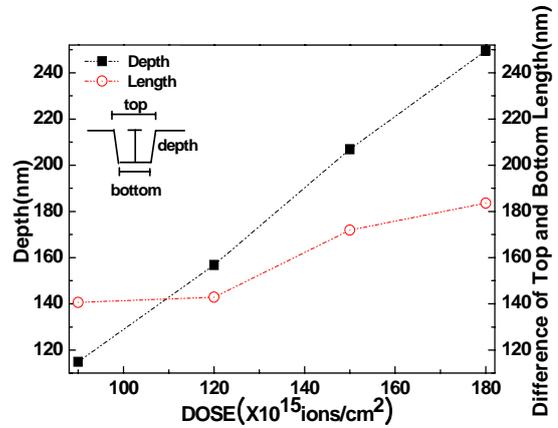
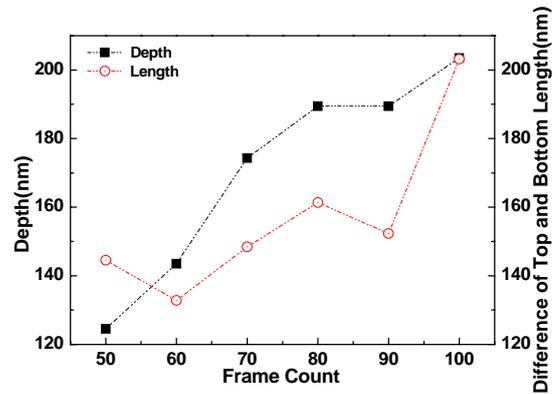


Fig. 1 FIB path of (a) Raster scan type and (b) Vector scan type

Au의 가공 깊이와 가공영역의 윗면과 아랫면의 길이의 차이를 나타내었다. 레스터스캔 방식의 경우 가공하는 동안 프레임 수는 일정하고 도즈량이 증가하면 주입되는 이온량이 증가하는 방식이다. 도즈량이 증가함에 따라서 가공되는 영역 및 깊이가 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 가공하려는 형상의 크기는 일정하나 주입되는 이온량이 증가하면서 가공 깊이가 깊어진 것으로 보이며, 가공 깊이가 증가하고 스퍼터링 된 물질이 다시 가공 면에 증착되는 현상(redeposition)⁵이 나타나 가공 바닥면의 면적은 좁

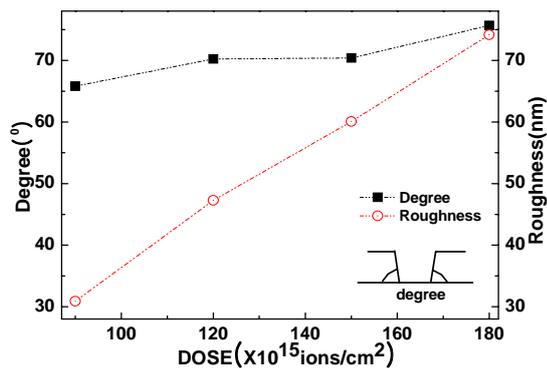


(a)

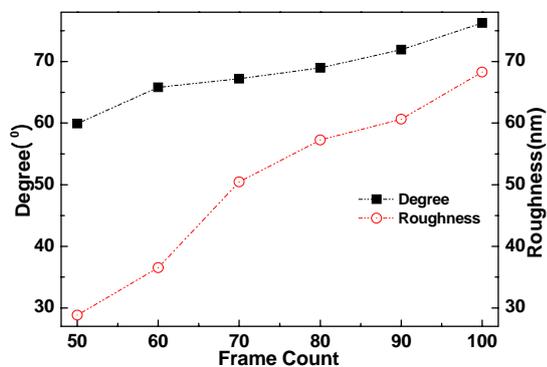


(b)

Fig. 2 (a) Au etching length & depth as a function of dose and (b) frame count



(a)



(b)

Fig. 3 (a) Sidewall degree and roughness as a function of dose and (b) frame count

아지나 도즈량이 증가하면서 가공 윗면의 면적은 넓어져서 가공 영역의 윗면과 아랫면의 길이의 차가 커지는 것으로 보인다.

Fig. 2 (b)에 벡터스캔 방식 Au 에칭가공의 프레임 수의 변화에 따른 Au의 가공 깊이와 가공영역의 윗면과 아랫면의 길이의 차이를 나타내었다. 프레임 수가 증가함에 따라서 가공 깊이가 깊어지는 결과를 얻었으며, 또한 일반적으로 프레임 수가 증가함에 따라서 가공영역이 증가할 것으로 예상하였으나 특별한 경향성이 나타나지 않았다. 이는 가공이 진행되는 동안에 프레임 수가 변화하면서 빔이 지나가는 경로에 약간의 오차가 발생되어 패턴이 가공되면서 프레임 수에 따라서 가공면적의 차이가 나타난 것으로 보인다.

Fig. 3 (a)는 레스터스캔 방식 Au 에칭 가공의 도즈량 변화에 따른 벽면(sidewall)의 각도와 가공면의 거칠기를 나타내었고, Fig. 3 (b)는 벡터스캔 방식 Au 에칭 가공의 프레임 수 변화에 따른 벽면의 각도와 가공면의 거칠기를 나타내었다. 벽면의 각도와 가공면의 거칠기 모두 도즈량과 프레임수가 증가함에 따라서 증가하는 경향을 나타냈다. 이 현상 역시 도즈량과 프레임수가 증가함에 따라서 Au 가공 깊이가 증가하여 가공되는 동안에 스퍼터링 된 물질이 다시 가공영역에 재증착 되는 현상에 의해서 가공된 영역의 밑면과 아랫면의 가공 길이의 차이가 발생하여 벽면의 각도가 생기며 가공깊이가 증가함에 따라서 그 각도의 크기가 증가하는 것으로 보이며 이에 따라서 표면의 거칠기 역시 증가하는 하는 것으로 보인다.

4. 결론

집속 이온빔 장치의 스캔 방식에 따른 Au 가공 특성을 조사하였다. 집속이온빔장치를 이용하여 주입한 이온량과 프레임 수에 따라서 가공 깊이, 가공 영역의 길이, 벽면의 각도, 가공 표면의

거칠기 등을 AFM으로 측정하여 스캔 방식에 따른 Au 가공특성을 살펴보았다. 레스터스캔 방식의 경우 도즈량이 증가함에 따라서 가공 깊이와 영역이 증가하며, 벽면의 각도와 표면 거칠기 역시 증가하는 등 도즈량 증가에 따른 선형적 특성을 나타내었다. 벡터스캔 방식의 경우 프레임 수가 증가함에 따라서 가공 깊이와 벽면 각도, 가공표면의 거칠기 등은 증가하나 가공 영역의 크기가 불규칙적으로 가공되는 양상을 보였다. 가공된 패턴의 사이즈만을 비교하여 보았을 때는 레스터스캔방식이 벡터스캔방식 보다 우위에 있다고 볼 수 있겠지만, 두 방식 모두 원하는 가공사이즈에 도달하지는 못하였다. 때문에 본 실험에서 사용한 공정 조건을 기반으로 하여 정확한 가공을 위한 좀 더 세밀한 연구가 필요할 것으로 보인다. 가공하려는 패턴의 사이즈가 작아짐에 따라서 벽면의 각도, 가공 밑면의 모양, 가공의 중횡비(aspect ratio) 등의 정밀도가 요구되고 있는 가운데 이를 위해서 레스터스캔 방식의 경우는 빔의 오버랩(overlap), 드웰타임(dwell time) 등의 공정 조건, 벡터스캔 방식의 경우는 빔의 분해능과 빔 간격 조절 및 드웰타임 등의 공정 조건을 달리하여 미세 패턴가공을 위한 시도가 필요할 것으로 보인다.

후기

본 논문은 서울특별시가 지원하는 전략산업 혁신클러스터 육성 지원사업(3D Microsystem Packaging을 위한 접합 공정 및 장비개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

본 논문은 서울테크노파크의 차세대 패키징 공정·장비 실용화 사업의 일환(과제번호:10029791)으로 지식경제부 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Nellen P. M., Callegari V., and Bronnimann R., "FIB-milling Phonic Structure and Sputting Simulation", *Microelectronics Engineering*, 83, 1805-1808, 2006.
2. Daniel J. H. and Moore D. F., "A Microaccelerometer Structure Fabricated in Silicon-on-insulator Using a Focused Ion Beam Process", *Sensors and Actuators*, 73, 201-209, 1999.
3. Yun Y. J., Park G. S., Ah C. S., Park H. J., Yun W. S., and Ha D. H., "Fabrication of Versatile Nanocomponents Using Single-crystalline Au Nanoplates", *Applied Physics Letters*, 87, 233110, 2005.
4. 한진, 민병권, 이상조, 박철우, 이종향, "집속이온빔을 이용한 나노 패턴 형성", *한국 정밀공학 춘계학술대회*, 2005.
5. Huey B. D., and Langford R. M., "Low-dose Focused Ion Beam Nanofabrication and Characterization by Atomic Force Microscopy", *Nanotechnology*, 14, pp.409-412, 2003.