

선택적 빔 차단을 통한 집속이온빔 가공 정밀도 향상

Improvement of Ion Beam Resolution in FIB Process by Selective Beam Blocking

*한민희, 한진, #민병권, 이상조

*M. H. Han, J. Han, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee
연세대학교 기계공학부

Key words : Stencil mask, Nano fabrication

1. 서론

나노 가공은 정밀 마이크로 부품 및 첨단 디바이스 개발 등에 필요한 기능성 재료의 제작을 위해 필수적으로 요구되는 기술이다. 집속이온빔 장비(Focused Ion Beam, FIB)는 수 나노 급의 빔 직경과 높은 전류 밀도를 통한 가공으로 마스크 없이 직접 가공이 가능하기 때문에 최근 나노 가공 기술로의 활용도가 증대되고 있다.¹ 현재 FIB가공 장비는 정밀 부품에서 반도체 패턴 제작 및 수정 등에 많이 이용되고 있지만, 미세 영역에서의 가공이 용이하기 때문에 여러 응용기술에 많이 이용되고 있다.²

FIB는 이온 빔을 통하여 가공하기 때문에 이온 빔의 사이즈와 강도에 따라 가공 형상이 달라진다. 가우시안 분포 강도를 가지는 이온 빔의 특성으로 인하여, 한 지점에 빔 조사를 하였을 때 가공 현상은 Fig. 1(a)처럼 이온빔 강도에 비례하여 가공 깊이가 결정이 된다. 또한 이온빔 끝 단에서의 빔 퍼짐 현상 (broad beam effect)으로 인해 가공 영역의 끝단이 일정 경사를 지니면서 가공이 되어 FWHM (Full Width at Half Maximum)으로 표시되는 빔 직경보다 넓게 가공이 되는 특성으로 인해 가공 정밀도를 저하시킨다.³

가공 정밀도를 향상 시키는 방법으로는 이온 빔 시뮬레이션을 통하여 가공 형상을 보완하는 연구가 진행되고 있다.⁴ 본 연구는 가우시안 형상의 빔 분포 차단을 통해 가공 정밀도를 향상 하고자 한다. 가우시안 빔 강도에 의한 이온빔 가공 형상의 한계를 극복하기 위해 빔 분포의 일정 영역을 스텐실 마스크를 통해 차단하였다. 차단된 이온 빔은 Fig. 1(b)처럼 빔 강도가 작은 영역의 제거를 통해 빔 정밀도의 향상을 기대할 수 있다. FIB 장비에서는 일반적으로 빔 전류의 세기에 의해 빔 직경이 결정 된다. 초미세 가공 시에는 작은 사이즈의 빔 직경을 선택해야 하는데, 이는 작은 빔 전류를 통해 가공을 진행하므로 총 가공 시간이 증가하게 된다. 하지만 본 논문에서 제안하는 스텐실 마스크를 이용한 가공방법은 빔 직경이 큰 경우에도 빔 강도의 일부를 슬릿을 통해 차단하여 이온빔 직경보다 작은 정밀도를 가질 수 있기 때문에 보다 빠른 시간에 가공을 수행할 수 있는 장점이 있다.

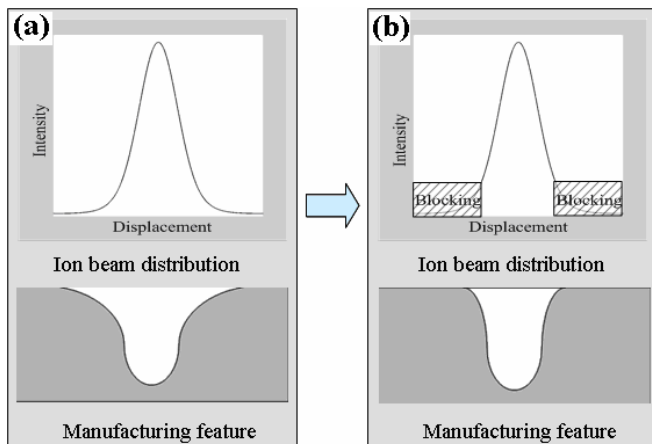


Fig. 1 Ion beam blocking concept using stencil mask

2. 실험 방법

FIB 장비에서 스텐실 마스크를 이용하여 이온빔의 강도 분포 중 끝 단의 일부를 차단함으로써 정밀도를 높이는 연구를 실행하기 위한 선행 실험으로, 실리콘 블럭을 이용하여 실리콘 모서리 영역에 절반의 빔을 걸치게 같은 이온을 조사하였다. 그 후 주사전자현미경 (Scanning Probe Microscopy, SPM)을 이용하여 이온빔의 일부가 차단된 영역의 가공 특성을 분석하였다. 300 nm 빔 직경을 사용하여 Fig. 1 (a)처럼 한 지점에 빔을 조사 하였을 때 3 μm 의 가공 폭이 1.6 μm 으로 줄어들었다. 이러한 기초 실험을 통해 스텐실 마스크의 이온 빔 차단 효과 여부를 확인하였다. 예비 실험을 통해 확인된 결과를 바탕으로 스텐실 마스크에 일정 폭을 가지는 슬릿 가공을 한 후 슬릿 폭보다 큰 빔 직경을 지닌 이온 빔을 조사 한 후 가공면을 측정하였다.

2.1 슬릿형 스텐실 마스크 실험

실리콘을 스텐실 마스크의 재료로 사용하였다. 마스크로 사용되는 재료를 선정 시 가공 대상물질인 시편보다 스퍼터링 수율(yield)이 낮은 것을 선택하여 재료의 선택비(selectivity)를 높이는 것이 일반적이지만 마스크와 시편을 같은 재료를 사용하여 실험하였다. 가공 형상의 몰드 적용 및 반도체 공정의 적용 가능성을 확인을 위해 시편은 실리콘으로 사용하였고 스텐실 마스크도 제작 용이성을 고려하여 같은 재료인 실리콘으로 선택하였다.

Fig. 2는 실험 방법에 대한 개략적인 모식도로 충전 효과로 인한 가공 성능 저하를 막기 위해 실리콘 시편 위에 스텐실 마스크를 구리 테이프를 통해 부착하였다. 스텐실 마스크는 시편과 일정 간격을 갖게 되는데 마스크에 이온빔이 충돌 할 때의 에너지 손실을 최소화 시키기 위해 50 μm 이하의 간격으로 실험을 수행하였다. 스텐실 마스크와 시편의 평행도 또한 중요하다. 평행 유지가 잘 이루어 지

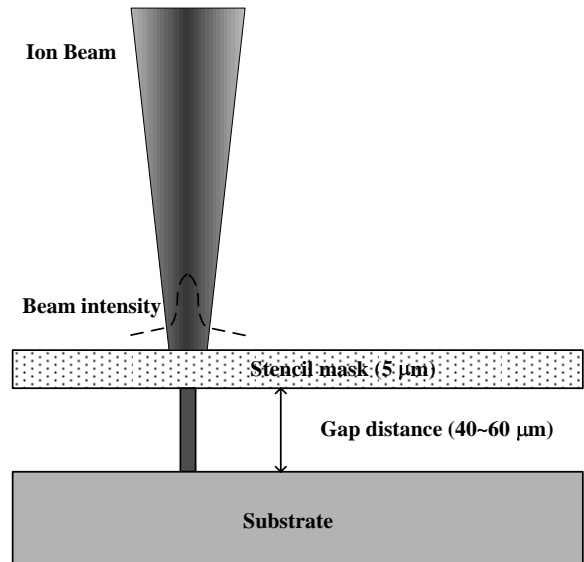


Fig. 2 Schematic diagram for the stencil mask beam blocking

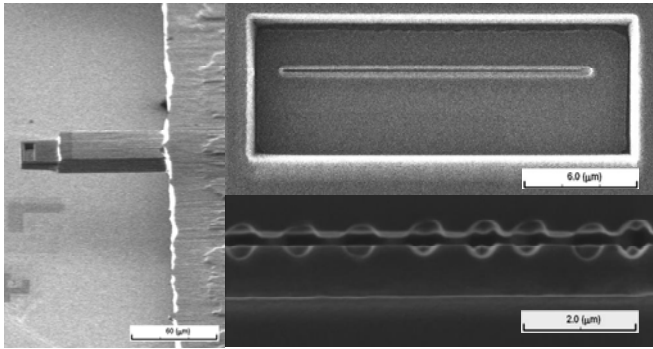


Fig. 3 FIB image of stencil mask and slit

지 않게 되면 이온빔이 슬릿을 통과할게 될 때 시편의 수직방향으로 빔 입사가 되지 않아 이온 빔의 강도 분포를 정확하게 제거하기 어렵고, 또한 가공 하고자 하는 면에 똑바로 이온빔이 닿지 않게 되어 이온 빔의 일부가 굴절이 되어 가공 정밀도를 저해시키는 요인으로 작용하기 때문이다. 스텐실 마스크의 두께는 5 μm 이며 60 nm 빔 직경을 사용하여 Fig. 3 의 FIB 이미지에서 확인 할 수 있는 것처럼 200 nm 폭의 슬릿을 가공하였다. Fig. 3 의 좌측 이미지는 Fig. 2 개략도의 실제 가공 결과를 나타내고 있다. Fig. 3 의 우측 이미지는 슬릿 가공 후 FIB 빔 조사 전과 후의 가공 결과로 5 μm 두께의 실리콘 마스크의 두께를 1 μm 이하로 줄이기 위해 일정 영역을 FIB 밀링을 통해 제거 한 후 슬릿을 제작하였다. 이온빔 조사 시 투과하지 않는 슬릿 폭의 두께를 설정해야 정확한 빔 차단 효과를 기대할 수 있다. 또한 이온 빔을 통한 가공 특성으로 인해 윗면과 아랫면의 슬릿 폭이 차이 나게 되는데, 이는 슬릿 폭 제작 시 하단 면으로 갈수록 재증착 등의 현상으로 인해 적게 가공되어지기 때문이다. 너무 얇은 두께의 슬릿은 윗면과 아랫면이 일정한 간격으로 파여지게 되는 반면 마스크로써의 역할을 충분히 해내기에 적당하지 않는 두께가 된다. 이온빔 조사 시 스텐실 마스크가 관통되게 되면, 일부 이온이 다시 시편에 조사 되기 때문에 정확한 실험 결과를 도출하기 어렵다. Fig. 3 의 우측 하단 이미지에서 확인 할 수 있듯이 슬릿 이외의 영역에서 이온 빔의 투과가 발생하지 않았음을 가공 음영을 통해 확인 할 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4 과 Fig. 5 는 스텐실 마스크를 사용한 것과 사용하지 않았을 때 가공된 시편의 형상을 SPM 을 통해 각각 측정한 결과이다. Fig. 5 는 스텐실 마스크를 사용하여 이온빔의 강도 분포 중 약한 강도를 갖는 부분을 예비 실험을 통해 확인한 결과와 유사하게 제거준 후에 가공된 단면의 모습이다. 위의 결과를 통해 확인 할 수 있듯이 기울기의 및 가공 폭의 변화가 확연하게 나타났다. 가공 깊이는 스텐실 마스크 사용 전과 후 모두 약 180 nm 로 비슷하지만 가공 폭은 600 nm 에서 300 nm 로 줄어 50 %의 빔 차단 효과로 가공 폭의 기울기 변화 또한 향상된 결과를 나타내고 있다.

직각 형태의 포켓 가공을 하고자 할 때 원하는 형상이 직각형태로 잘 파여지기 보다는 엣지 부분에서 둥근 곡선을 가지며 가공된다. 시편의 입자가 제거 되면서 다시 가공면에 부착 되는 재증착 현상의 이유도 있지만, 이온빔이 가우시안 분포를 따르고 있기 때문에 나타나는 원인도 있다. 따라서 이온 빔으로 가공 할 때 스텐실 마스크를 이용하여 이온 빔의 강도 분포 중 강도가 약한 부분을 제거 한다면 가공 할 때 생겨나게 되는 엣지 부분에서의 형상을 개선할 수 있다.

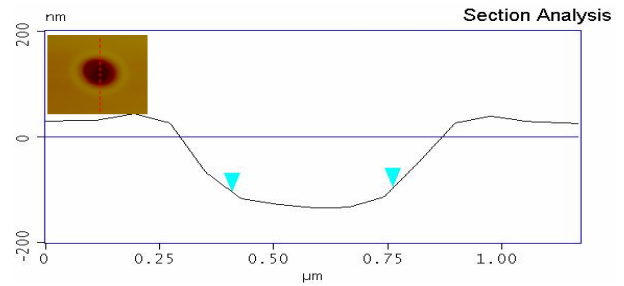


Fig. 4 SPM image without stencil mask

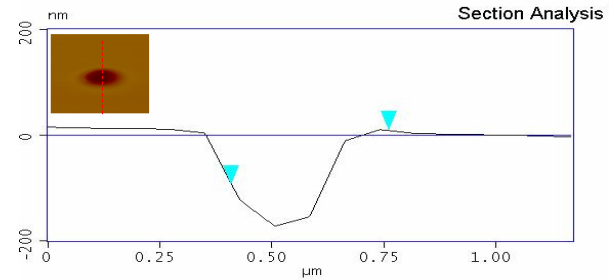


Fig. 5 SPM image with stencil mask

4. 결론

본 연구에서는 스텐실 마스크를 이용하여 FIB 장비의 이온 빔 강도의 분포의 일부를 차단하여, 가공 정밀도를 향상 시키는 방안에 대해서 연구하였다. 스텐실 마스크를 이용하여 가공한 것과 스텐실 마스크를 사용하지 않고 가공한 결과, 스텐실 마스크를 이용하여 이온 빔의 강도 분포를 바꾸어 주는 것이 가공 정밀도 향상에 크게 효과가 있는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 빔의 직경이 줄어들게 되면서 가공 되는 단면의 모습이 좀 더 가파른 곡선으로 변형 되는 것을 보면 알 수 있으며, 가파른 곡선의 가공 형상은 가공 정밀도가 향상 된다는 것을 의미한다. 또한 큰 빔 직경 선택 시 전류의 세기가 커서 가공 속도가 빠르다는 장점이 있지만, 가공 정밀도에는 한계가 있다. 이때 스텐실 마스크를 이용하여 빔 강도는 유지되면서 직경의 일부를 차단 하면 정밀도 향상을 기대할 수 있다. 따라서 스텐실 마스크를 이용하여 FIB 장비에서 미세 영역을 가공하게 된다면 가공 정밀도 및 효율성에 있어서 큰 도움이 되리라 판단된다.

후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 일환인 표면 플라즈몬 효과를 이용한 테라급 자기기록용신개념 미디어 설계 및 제작사업(NT070126)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kitslaara, P., Strassner, M., Sagnes, I., Bourhis, E., Lafosse, X., Ulysse, C., David, C., Jede, R., Bruchhaus, L. and Gierak, J. "Towards the creation of quantum dots using FIB technology," *Microelectronic Engineering*, **83**, 811-814, 2006.
2. Arshak, K., Mihov, M., Nakahara, S., Arshak, A. and McDonagh, D., " The mechanism of the ion beam inhibited etching formation in Gallium-FIB implanted resist films," *Microelectronic Engineering*, **78-79**, 39-46, 2005.
3. Tseng, A. A. "Recent developments in micromilling using focused ion beam technology," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, **14**, R15-R34, 2004.
4. 이희원, 한진, 민병권, 이상조 "마이크로-나노 가공을 위한 집속이온빔 공정 시뮬레이션," *한국정밀공학회지*, **25**, 44-49, 2008.