

비전도성 재료의 집속이온빔 가공시 빔 드리프트 감소를 위한 전도성 박막의 효과에 관한 실험적 연구

An experimental study of the effect of conductive film on the beam drift reduction in focused ion beam machining of non-conductive material

*조항은¹, 박재형¹, 이해우¹, 이경수¹, #민병권¹, 이상조¹

*H.-E. Joe¹, J. H. Park¹, H. W. Lee¹, K. S. Lee¹, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr)¹, S. J. Lee¹

¹연세대학교 기계공학과

Key words : Charge-buildup, Coating conductive, Free electron density

1. 서론

최근 photonic crystal fiber, silicon optical waveguides 등의 미세 광학 부품에 대한 연구가 활발히 진행되면서 유리와 같은 비전도성 재료의 정밀 가공 기술이 요구되고 있다. 집속 이온빔 기술은 마이크로-나노 영역의 가공 성능이 우수하여 미세 광학 부품의 제작에 응용되고 있다.¹ 하지만 비전도성 재료인 유리를 집속이온빔으로 가공하는 경우 charge-buildup 현상이 일어나 형상 정밀도가 저하된다.² 가공표면에 축적된 양전하의 갈륨 이온에 의해 연속적으로 조사되는 빔의 굴절이 야기되어 빔 드리프트가 발생하기 때문이다. 일반적으로 비전도성 재료 가공시 charge-buildup 현상을 감소시키기 위하여 전도성 박막을 비전도성 재료 표면에 입혀 그 박막을 접지한 후 가공한다.³

이 연구는 전도성 박막의 종류와 이온 도즈에 따른 집속이온빔 가공 실험을 수행하여 비전도성 재료의 미세 패턴 가공시 빔 드리프트를 감소시키는 데 영향을 미치는 전도성 박막의 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

빔 드리프트 감소를 위한 전도성 박막의 효과를 확인하기 위해 집속이온빔을 이용하여 전도성 박막을 입힌 비전도성 재료에 미세패턴을 가공하였다. 비전도체 재료는 유리이며, 전도성 박막으로 20nm의 일정한 두께를 가진 Pt, Ag, Co, Ni이 유리 표면에 제작되었다. Fig. 1 (a)에 도시된 바와 같이 전도성 박막을 입힌 유리에 집속이온빔(SMI 3050, SIINT)을 사용하여 미세패턴을 가공하였다. 제작하려는 미세패턴의 모양은 Fig. 1 (b)와 같고, 채널 너비(w)는

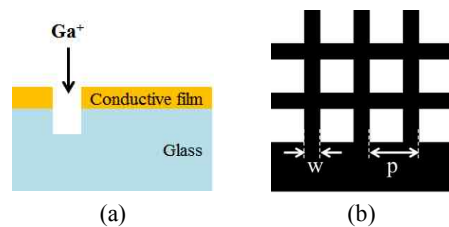


Fig. 1 Schematic of (a) experiment and (b) nano-pattern 230nm, 피치(p)는 700nm이다. 패턴의 옆면을 측정하여 빔 드리프트를 평가할 수 있다. 이 때, 시편을 기울여 측정해야하므로 패턴의 아랫부분을 넓게 가공하였다. 집속이온빔 가공시 빔 전류는 11.3pA, 빔 조사시간은 20 μ s, 이온 도즈는 400, 600, 800 $\times 10^{15}$ ions \cdot cm²으로 가공 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

빔 드리프트 현상을 확인하기 위하여 시편을 60도로 기울여 FIB 이미지를 측정하였다. Fig. 2는 가공 실험 결과의 FIB 이미지이다. Fig. 2 (a-c)는 Pt박막을, (d-f)는 Ni박막을 입혀 유리를 가공한 결과이다. 집속이온빔 가공시 이온 도즈를 조절하여 실험을 진행하였다.

Fig. 2에서 Pt박막을 사용한 결과인 (a-c)와 Ni 박막을 사용한 결과인 (d-f)를 비교하면, Pt을 사용하여 가공하는 경우 Ni의 가공한 결과에 비해 패턴의 모서리가 밝게 측정되었다. 빔 드리프트가 발생하여 패턴의 모서리가 기울게 가공되었기 때문이다. 반면에, Ni를 사용하여 가공한 경우 모서리 부분이 밝게 측정되지 않았다. Ni를 사용하여 유리를 가공한 경우, 빔 드리프트 현상이 적게 일어나 모서리가 수직에 가깝게 가공되었기 때문이다.

빔 드리프트 정도는 채널의 위쪽 너비(channel top width)로 비교할 수 있다. 빔 드리프트가 클수록 채널의 위쪽 너비가 크게 가공되기 때문이다. 이온 도즈 400×10^{15} ions·cm²으로 가공한 채널의 결과를 Fig. 3에 그래프로 나타냈다. Fig. 3 (a), (b)은 각각 자유전자밀도, 전기 전도도에 따라 채널의 위쪽 너비의 측정결과를 정렬한 그래프이다. 전기적 특

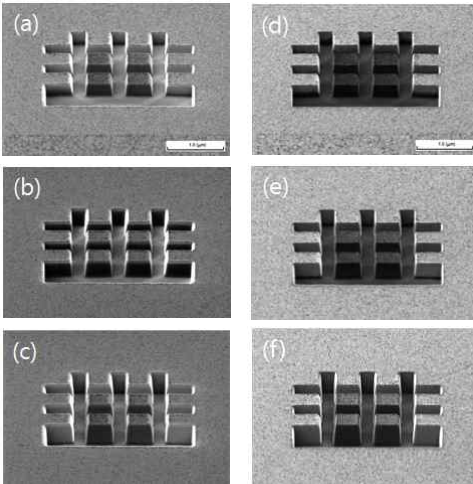


Fig. 2 FIB images of nano-patterns on glass deposited (a-c) Pt (d-f) Ni film, the patterns were machined by FIB with the ion dose (a,d) 400 (b,e) 600 (c,f) 800×10^{15} ions·cm⁻²

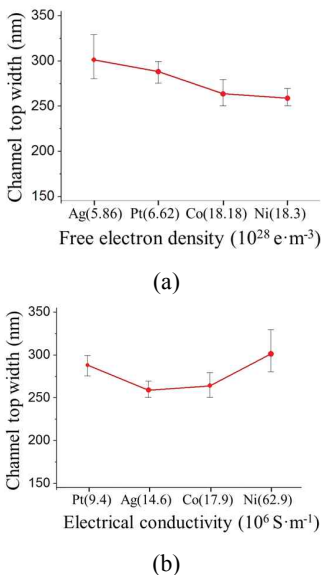


Fig. 3 Channel top width of patterns with respect to (a) free electron density (b) electrical conductivity

성에 따른 빔 드리프트의 경향을 파악하기 위해 도시하였다. 자유전자밀도가 클수록 빔 드리프트가 감소하는 경향을 Fig. 3 (a)에서 확인할 수 있다. 하지만, Fig. 3 (b)에서는 전기 전도도와 빔 드리프트의 상관도가 나타나지 않는다. 따라서, 비전도체의 집속이온빔 가공시 사용하는 전도성 박막의 자유전자밀도 값이 클수록 빔 드리프트 현상을 저하된다는 것을 실험적으로 확인하였다.

4. 결론

이 논문에서는 집속이온빔을 이용한 비전도체 가공시 전도성 박막의 전기적 특성에 따른 빔 드리프트 감소 효과를 연구하였다. 전도성 박막의 자유전자밀도가 클수록 빔 드리프트가 감소되는 반면, 전도성 박막의 전기전도도는 빔 드리프트와 상관도가 없다는 것을 파악하였다. 이 연구에서는 11.32pA의 이온빔으로 230nm 너비의 채널 가공 실험을 하였다. Ag 박막을 사용했을 때 빔 드리프트가 약 71nm로 일어났지만, Ni 박막을 사용하여 그 값을 약 29nm로 줄였다.

후기

본 연구는 지식경제부 주관의 청정제조기반산업 원천기술개발사업인 ‘고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발’ 과제의 지원하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Vanga, R., Huang, X. and Zhou, Z., "Focused ion beam fabricated bragg grating filters in relaxor ferroelectrics," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, **272**, 173-177, 2012.
2. Stokes, D. J., Vystavel, T. and Morrissey, F., "Focused ion beam (FIB) milling of electrically insulating specimens using simultaneous primary electron and ion beam irradiation," Journal of Physics D: Applied physics, **40**, 874-877, 2007.
3. Ghomid, L., Benkelfat, B.-E., Ferriere, R., Ulliac, G. and Gharbi, T., "Wavelength-Selective Ti:LiNbO₃ multiple Y-branch coupler based on focused ion beam milled bragg reflectors," Journal of lightwave technology, **29**, 3536-3541, 2011.
4. Ashcroft, N. W. and Mermin, N. D., "Solid State Physics," Saunders College Pub, 1976.