갈륨 이온주입과 습식식각 복합공정을 이용한 미세 금속가공
Fabrication of metal nano structure using Ga ion implantation and wet etching

*한진, 김태곤, #민병권, 이상조
*J. Han, T.-G. Kim, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee
연세대학교 기계공학부

Key words : Metal nano dot, Ga ion implantation, threshold ion dose, wet etching

1. 서론

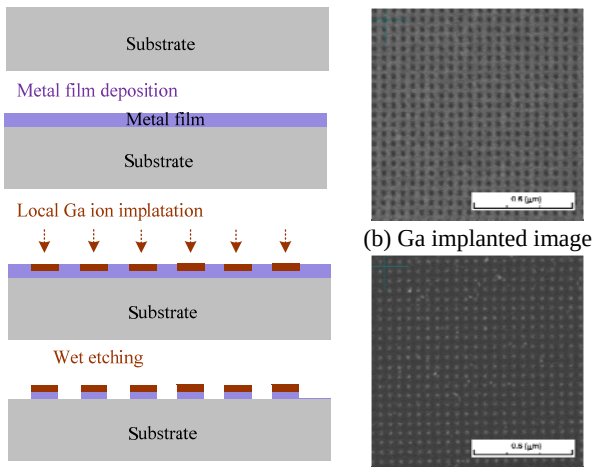
금속 나노 점(metal nanodot)은 패턴드미디어, 광학 스위치, 바이오 센서 등의 다양한 응용 분야를 지니고 있어 전자빔 리소그라피, 양극산화 알루미늄 공정(Anodic Aluminum Oxide) 등의 방법으로 제작되고 있다 [1]. 패턴 균일성, 점 형상 및 크기의 제어는 금속 나노 점 응용의 중요한 인자로, 높은 가공 정밀도, 재현성 등의 유연한 공정으로 집속이온빔(Focused ion beam) 장치를 응용한 나노 점 제작도 연구되고 있다. 하지만 재료의 스퍼터링을 이용한 밀링 공정은 빔 drift, 이온 조사량 증가에 따른 lateral 확장으로 인해 50 nm 이하의 가공 정밀도를 기대하기 어렵다 [2,3]. 본 연구에서는 가공 정밀도 및 패턴 형상 정밀도 제어를 위해 선택적 갈륨 이온 주입과 습식 식각을 이용한 복합 공정으로 25 nm 피치의 금속 나노 점 및 다양한 형상의 나노 구조물을 제작하였다.

2. 복합 공정

디지털 스캐닝 방식을 이용한 집속이온빔 공정은 빔 조사 위치와 순서를 제어 할 수 있는 장점이 있다. 조사되는 빔에 의해 재료가 제거되는 스퍼터링(sputtering)이 발생하지만 일정 이온 조사량 이하에서는 스퍼터링이 일어나지 않고 조사 이온이 시편 안으로 침투하는 이온 주입이 발생한다. 침투되는 이온은 시편 원자 구조의 결함(defect) 및 결정 구조를 변화 시켜 재료의 물성 치를 변화시킨다. 습식, 건식 식각 및 MR 연마(magnetorheological finishing) 등의 가공공정과 수반하면 이온 조사/비 조사 영역의 선택비가 발생하여 미세 형상을 가공할 수 있다 [4]. Fig. 1 (a)은 금속 미세 형상 제작을 위한 공정 개략도이다. 기판 위에 금속 박막을 이온 침투 깊이를 고려하여 전자 빔 증발기(e-beam evaporator)로 증착을 하였다. 증착된 금속 박막에 집속이온빔 장치를 이용하여 선택적으로 이온 주입을 한 후 금속을 용해시킬 수 있는 용매에 담근 후 시편을 세척한다. Fig. 1 (b)는 전자 증발기를 통해 증착한 알루미늄 박막에 선택적으로 갈륨을 조사한 이미지이며 어두운 점 형상이 갈륨이 조사된 영역을 나타낸다. Fig. 1 (c)는 습식 식각 후의 결과 이미지로 갈륨이 조사되는 영역이 식각 용액을 통해 제거되지 않고 남아 있다. 시편으로 사용된 실리콘과의 이차전자 이미지 차이로 인해 밝은 부분이 알루미늄을 나타낸다.

이온이 주입되는 모든 영역이 용매에 의해 식각 저항력(etching resistivity)이 존재하지는 않는다. 이온 주입에 의해 재료의 물성치가 변화되어 식각 저항력이 발생하는 이온 도즈량을 문턱 이온 도즈(threshold ion dose)라고 한다. 가우시안 형태의 이온 빔 강도 분포로 인해 주입되는 이온 강도 또한 Fig. 2 (a)처럼 빔 조사 간격에 따라 빔 조사 면적에 물결 형상의 분포를 갖는다. 가공 면적 전체에 갈륨 이온이 조사가 되지만, 문턱 이온 도즈를 넘지 못하는 영역은 Fig. 2 (a)처럼 습식 식각시 금속 박막이 제거가 되고 문턱 이온 도즈를 넘는 영역은 제거가 되지 않기 때문에 이온 조사 형상에 따라 나노 점 및 다양한 형태의 나노 구조물을 제작 할 수 있고 침투 강도를 변화시켜 크기 또한 제어 할 수 있다. 집속이온빔 밀링은 이온 빔 강도 분포에 의해 재료 제거가 되어 이온 빔 정밀도에 의해 가공 정밀도가 결정이 되지만 최적화된 이온 주입과 연속되는 습식 식각 공정은 빔 사이즈에 의해 결정되는 이온 강도보다 작은 크기를 가공 할 수 있다.

문턱 이온 조사량과 이온 빔 강도의 예측을 위해 빔 조사 간격(피치)와 이온 조사량을 변화시키면서 가공되는 점의 크기를 실험 값과 빔 강도에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 비교하였다. Fig. 2 (b)에서 확인 할 수 있듯이 이온 조사량이 증가될수록 점 크기는 증가되고 피치가 작은 경우에는 이온 강도에 크기에 의해 이온 주입 영역이 중첩되어

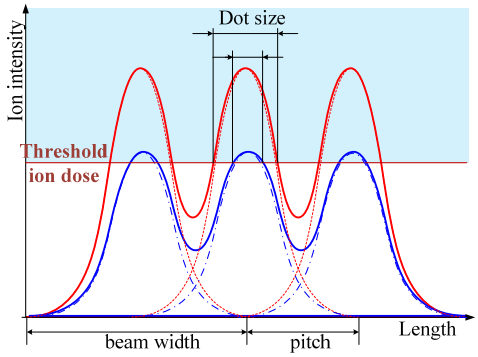


(a) Fabrication method

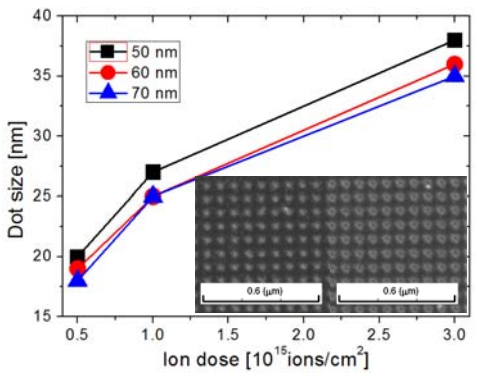
(b) Ga implanted image

(c) After wet etching

Fig.1. Schematics of fabrication method and each results

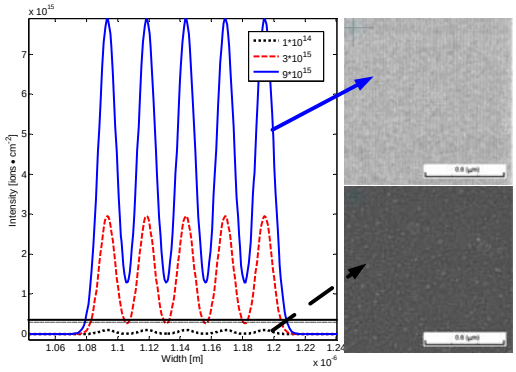


(a) Ion implanted profile and threshold ion dose

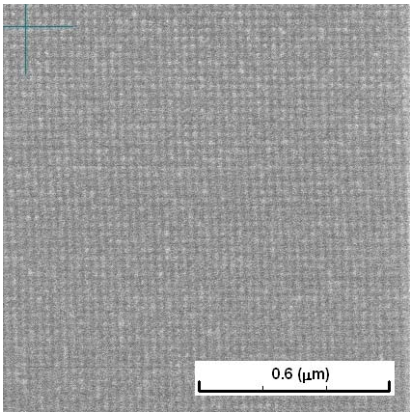


(b) Dot size with respect to ion dose

Fig. 2 Threshold ion dose for fabrication of metal nanodot



(a) Simulation results and fabrication results



(b) The result for Fe metal nanodot with a pitch of 25 nm

Fig. 3 Threshold ion dose for fabrication of metal nanodot

나노 점의 크기가 커진다. Fig. 2 (b)의 그래프 내부 이미지는 70 nm 피치의 철 금속에 대한 가공 결과로 나노 점의 크기가 이온 도즈 증가에 따라 20 nm 에서 35 nm 로 커졌다. 3 가지의 피치 및 이온 도즈에 따라 변화하는 나노 점 크기를 통해 이온 빔의 강도에 대한 바이(bi) 가우시안 모델을 수립하고 철 금속에 대한 문턱 이온 조사량은 3 × 10^{14} ions/cm^2 로 예측하였다.

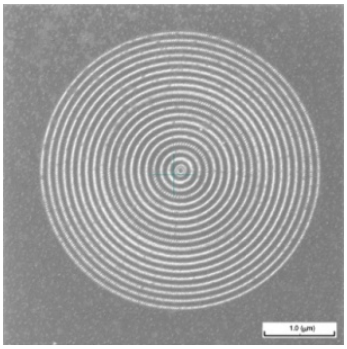
3. 결과 및 토의

문턱 이온 조사량 예측의 검증을 위해 1 × 10^{14} ions/cm^2 에서 9 × 10^{15} ions/cm^2 의 다양한 도즈량에 의한 25 nm 피치 가공을 하였다. Fig. 3 (a)의 시뮬레이션 결과에서 확인 할 수 있듯이 1 × 10^{14} ions/cm^2 이온 도즈에서는 전체 이온 강도가 문턱 이온 조사량을 넘지 못 하기 때문에 습식 식각을 통해 갈륨 이온이 조사된 철 박막이 제거가 되었고, 9 × 10^{15} ions/cm^2 는 전체 이온 강도가 문턱 이온 조사량을 넘어 갈륨 이온이 조사된 영역 전체가 Fig. 3 (a)에서처럼 사각 박스 형태의 철이 남아 있게 된다. 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있듯이 3 × 10^{15} ions/cm^2 이온 도즈에서 전체 조사 영역에 갈륨 이온이 주입되었지만 일부는 문턱 이온 도즈량을 넘지 못 하였기 때문에 습식 식각을 통해 제거가 되어 Fig. 3 (b)의 결과 이미지처럼 25 nm 피치의 나노 점이 제작되었다.

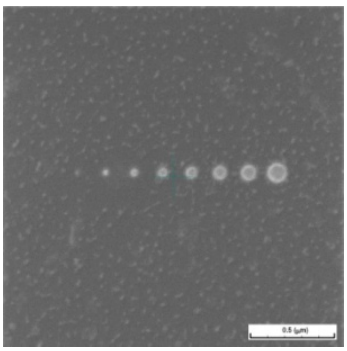
Fig. 4 는 제시된 방법을 이용하여 제작된 원형 격자(circular grating)와 직경 15 nm 에서 100 nm 크기의 원 형상 가공 결과이다. 광학 소자에 응용 가능한 원형 격자의 피치는 100 nm 이며 폭은 30 nm 이다. 제작된 금속 형상은 고세장비 가공을 위한 건식 식각 공정의 마스크 역할로 이용될 수 있다.

4. 결론

이온 조사량 조절을 통한 선택적 갈륨 이온 주입과 습식 식각 복합 공정을 이용하여 25 nm 피치의 금속 나노 점 및 다양한 크기를 가지는 금속 미세 구조물을 가공하였다. 갈륨 이온 주입에 의한 금속 박막의 습식 식각에 대한 재료 제거 저항력 증가를 이용하여 기존의 선택적 금속 공정인 리프트-오프(lift-off) 방법에 비해 공정 수가 단축되었다. 이온 주입 강도와 이온 도즈량 변화에 대한 실험적 점 크기의 비교를 통해 문턱 이온 도즈량을 예측하였다. 제시된 방법은 복잡한 제작 공정으로 구성된 리소그라피의 대체 기술로 기대되며 제작된 선택적 나노 구조물은 나노 와이어의 성장을 위한 기초 구조(seed), 차세대 정보저장기기인 패턴드 미디어, 광학 소자 등에 적용 가능 할 것으로 기대된다.



(a) Circular grating



(b) Circle shape

Fig. 4 Various shape results

후기

본 연구는 지식경제부 청정제조기반산업원천기술개발사업인 “고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발” 연구비 지원으로 이루어 졌습니다.

참고문헌

1. Wang, S., Yu, G. J., Gong, J. L., Zhu D. Z. and Xia, H. H., "Large-area uniform nanodot arrays embedded in porous anodic alumina," Nanotechnology, **18**, 015303, 2007.
2. Chen, Y. J., Leong, S. H., Ng, K. W., Guo, Z. B., Shi, J. Z., Zhao, J. M., Liu, B., "A study of FIB-patterned discrete track recording media by spinstand read/write testing and scanning probe microscopy," Journal of magnetism and magnetic materials, **303**, e141-e144, 2006.
3. Kawasegi, N., Morita, N., Yamada, S. T., Takano, N., Ashida, K., Taniguchi, J., Miyamoto, I. and Momota, S. "Etching characteristics of a silicon surface induced by focused ion beam irradiation," International Journal of Manufacturing Technology and Management, **9**, 34-50, 2006.
4. Han, J., Kim, J.-W., Lee, H., Min, B.-K., and Lee, S. J., "Microfabrication method using a combination of local ion implantation and magnetorheological finishing," Applied physics express, **2**, 026503, 2009.