

FIB 가공 공정 특성 분석

최병열*, 최우천(고려대학교), 강은구, 홍원표, 이석우, 최헌중(한국생산기술연구원)

The analysis of sputtering characteristics using Focused Ion Beam according to Focal Length

B. Y. Choi, W. C. Choi(Korea University), E. G. Kang, W. P. Hong, S. W. Lee, H. Z. Choi(KITECH)

ABSTRACT

The application of focused ion beam (FIB) technology in micro/nano machining has become increasingly popular. Its usage in micro/nano machining has advantages over contemporary photolithography or other micro/nano machining technologies such as small feature resolution, the ability to process without masks and being accommodating for a variety of materials and geometries

This paper focus to apply the sputtering technology accumulated by experiments to 3d structure fabrication with high resolution. Therefore some verifications and discussions of the characteristics of FIB sputtering results according to focal length were described in this paper. And we suggested the definition of rectangular pattern profile and made the verifications of sputtering results based on definition of it.

Key Words : FIB(집속이온빔), Sputtering(스퍼터링), Focal length(집속거리), sputtering depth(스퍼터링 깊이)

1. 서론

현재 FIB장비의 주 용도는 TEM 시편 제작, 반도체 패턴 유지 및 보수 등에 국한되어 있으며, 기타 응용기술은 초소형 정밀 마이크로 부품 및 첨단 디바이스 개발 등에 필요한 기능성 재료의 가공을 실현하기 위해서 필수적으로 요구되는 미세부품 공정 기술이며, 그 응용은 더욱 확대될 것이다. FIB는 매우 짧은 파장과 매우 높은 에너지를 이용하므로 100 nm 이하 크기를 갖는 구조물의 직접 제작이 가능하기 때문에 높은 성능을 갖는 마이크로 장치로 구조물의 제작 및 반도체 산업에서 매우 강력한 도구로 이용되고 있다. FIB의 기본적인 기능으로는 모재를 제거함으로써 원하는 형상을 만드는 Sputtering, 특정 재료를 쌓아가며 구성된 재료에 기능 또는 형상을 유도하는 CVD, 특정 재료를 침투시켜 그에 상응하는 기능을 유도하는 Implantation과 재료를 분석할 수 있는 기능이 모두 가능하다.

FIB를 이용한 Sputtering에 있어 중요한 파라미터는 이온빔 직경, 분포, 전류와 에너지이며, 최종적으로는 복잡한 3차원 형상을 높은 정밀도로 가공하기

위해 원하는 위치와 요구되는 재료 제거량을 고려하여 적절한 파라미터 제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹ 그러나 강력한 이온에너지가 시편에 충돌될 때, 이온과 시편과의 상호 작용에 의한 부품어 오름, 재증착, 침투, 뒤튀김 현상 등이 발생할 수 있다.²

본 논문에서는 FIB Sputtering에 관한 현재까지의 연구결과를 바탕으로 FIB Sputtering 파라미터가 될 수 있는 빔의 초점거리 변화에 따른 가공 실험 및 AFM 측정 분석 결과를 토대로 3차원 FIB Sputtering 연구의 기반기술 확보에 목적이 있다.

2. FIB 실험 장비

2.1 FIB 장비

Fig. 1은 본 논문의 가공실험에 사용된 FIB 장비이다. 일본 SEIKO SM18800 장비이며, FIB는 크게 Ion chamber, Optic column system, Sample chamber, Gas system, Vacuum System, Display system 등으로 구성되어 있다. 초고진공 상태를 효과적으로 유지하면서 시편을 진공 챔버내로 삽입하거나 제거하기 위

한 load-lock 장치가 설치되어 있다. 이온 소스는 Ga^+ 를 이용하고 있으며, 렌즈는 상하 두 개를 가지고 있다. 또한 하부에 있는 Aperture는 5개의 직경으로 자동조절이 가능하며, 배율은 80,000배까지 가능하다. 최소 분해능은 $0.03\mu m$ 정도이며, 이때의 적정가속도는 30kV 이다.



Fig. 1 Photograph of Focused Ion Beam System

2.2 Raster Scan

Fig. 2는 Raster 주사방식이며, 화살표는 빔의 진행 방향을 뜻하고 있다. 또한 점선의 경우는 빔이 되돌아가는 경로를 뜻한다. Raster 주사 방식은 전 주사 동안에 걸쳐 같은 방향으로만 움직이는 특징을 가진다.³

Sputtering 패턴의 측정결과 분석시 Horizontal profile line와 Vertical profile line으로 구분하여 분석을 시도하였으며, 빔의 수직 방향과 수평 방향 주사에 따른 sputtering 결과의 차이를 예측해 볼 수 있을 것이다.

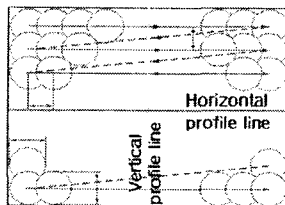


Fig. 2 scanning procedures with arrows indication scanning direction

2.3 측정 장비 및 형상 정의

측정 장비로는 AFM을 이용하였다. 장비 제작 업체는 PSIA이며, 모델은 XE-100 이다. 측정범위는 수평방향으로 최대 $100\mu m$ 이며, 수직 방향으로는 $12\mu m$ 이다. 측정 분해능은 수평방향으로 $0.15nm$ 이며, 수직방향으로 $0.05nm$ 정도이다.

본 실험의 목적은 패턴의 최소화가 아닌 Sputtering 시 패턴의 특성을 분석하고자 하는 것이며, 이를 위해 Fig. 2와 같은 패턴의 단면형상 정의와 이를 기준으로 한 분석을 실시하고자 하였다.

여기서 LM은 좌우측 버 최대높이 간에 최대거

리, LB는 빔 주사 영역, H_M 은 최대단면 깊이, BH_L 및 BH_R 은 재증착 높이를 나타내고 있다.

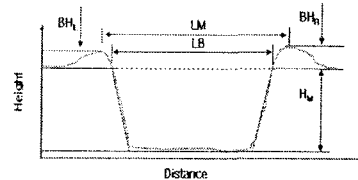


Fig. 2 Sectional profile definitions of FIB Sputtering

3. 빔 집속거리에 따른 FIB Sputtering 실험

3.1 실험개요

FIB sputtering 시 초점거리 변화는 빔의 관점에서 빔의 집속각의 변화를 근간으로 한 빔 집속 영역 및 분포의 변화와 입사빔과 제거되는 재료와의 상호 관계 및 시편 위치에 따른 빔의 전계력의 변화를 물리적인 특성으로 간주해 볼 수 있으며, 이에 따른 sputtering 결과를 분석하고자 하였다.

Fig. 3은 이온빔이 주사되는 초점 거리 변화를 나타내었으며, 최대 시편의 이송위치 즉, 최소 초점거리를 기준으로 하여, 17mm까지 초점거리가 증가될 때의 실험을 실시하였다.

Table 2 은 진공 및 이온 관련 설정 값과 시편종류, Tilt angle 등 기타 실험조건에 따른 설정 값을 나타내었다. Table 3은 실제 파라미터가 되는 초점거리 및 가공패턴에 따른 값을 나타내었으며, sputtering 패턴은 각각 $20\mu m^2$, $60\mu m^2$ 에 대하여 실험을 실시하였다.



Fig. 3 Schematic diagram of focal length changes

Table 1 General conditions of vacuum and ion source etc

Ion beam source	Ga^+
Accelerated Voltage	30kV
Vacuum	Ion chamber :
	$1\text{? } 0^{-7}$ Torr
Vacuum	Main chamber :
	$1\text{? } 0^{-6}$ Torr
Magnification	$\text{? } 000$
Aperture size	$\Phi 62\mu m$ (#2)
Tilt angle	0(deg)
Specimen	Si

Table 2 Sputtering conditions

	Scam Mode	S. time (second)	F.L (mm)	Pattern size
Test I-1	TV	600	Ref.	20? 0 μ m ²
Test I-2			F.L.	
Test I-3			Ref.+6	
Test I-4			Ref.+12	
Test II-1	TV	600	Ref.	60? 0 μ m ²
Test II-2			F.L.	
Test II-3			Ref.+6	
Test II-4			Ref.+12	

3.2 20x20 μ m² 패턴의 sputtering 실험

Table 3은 20? 0 μ m² 사각패턴을 FIB Sputtering 한 가공패턴 결과를 AFM 3차원측정을 통해 나타낸 것이다. 이미지 상의 가공 패턴의 경우, Test I-4는 패턴 형상 정밀도 측면에서 Test I-1은 sputtering 깊이 측면에서 유리한 결과를 확인 할 수 있었다. 이미지 상의 패턴 내부의 심한 굴곡은 먼지 등의 이물질로 판단이 된다.

Fig. 4는 Fig. 2의 패턴 정의를 토대로 한 정량적인 분석결과이다. Fig.4(a)는 최대가공 깊이를 나타내고 있으며, 집속거리가 길어질수록 가공깊이가 선형적으로 줄어들고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 빔 주위에 걸려있는 전기장에 의한 힘의 변화에 의한 것으로 초점 거리가 멀어질 경우, 이 힘의 크기가 작아지기 때문으로 예측해 볼 수 있다. Fig. 4(b)의 경우는 가공폭에 관한 측정 결과 값으로 초점 거리에 따라 큰 변화는 없는 것으로 관찰되었으나, 미세하게 수직방향의 폭이 수평방향 폭보다 크게 관찰됨을 알 수 있었다.

Table 3 Photograph of AFM Measurement of Test I

	AFM image
Test I-1	
Test I-2	

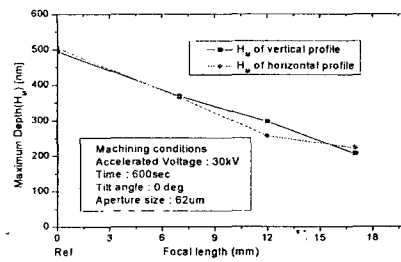
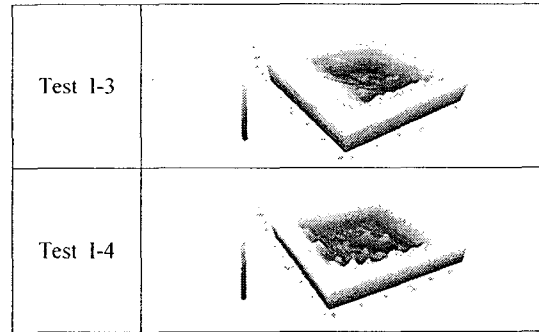


Fig. 4(a) Sputtering depth(H_M) of 20? 0 μ m²

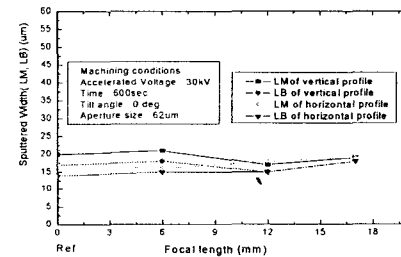


Fig. 4(b) Sputtering width(LM, LB) of 20x20 μ m²

3.3 60x60 μ m² 패턴시 Sputtering 실험

Table 4는 전결과 비교하여 패턴의 면적이 20? 0 μ m²에서 60? 0 μ m²으로 변화된 조건에서의 sputtering 한 실험 결과이다. 가공 깊이의 차이는 전결과 유사하게 Test II-1이 Test II-4보다 깊이 sputtering 되었음을 알 수 있었으나, 면적이 넓어지면서 전체적인 패턴형상이 좋아졌음을 알 수 있었다. 이는 전결과 비해 집속되는 빔의 각도가 작아지면서 좀 더 세밀한 sputtering이 이루어지고 있음으로 판단된다. 또한 Test II-1의 경우는 단면 형상이 종형의 패턴을 나타내고 있는 전결과 유사한 특성을 보인다. 이는 타 조건에 비해 강한 전기적 힘을 제공하는 동시에 재증착이 보다 활발히 일어나기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 Table 4에 대한 정량적인 값을 Fig. 2에서 정의된 형상을 토대로 나타내었다. 전결의 결과와 유사하게 초점거리가 증가될수록 가공 깊이는 감소되는 경향을 보이나, 가공 폭에 관련된 값은 전결에서의 큰 변화가 나타나지 않았던 것과 달리 증가

되는 양상이 측정되었다. 이는 전절의 결과에서 나타난 것처럼 재증착이 초점거리가 짧을 경우 보다 활발하게 작용되기 때문이나 전절과는 다르게 빔의 주사 영역에 의한 재증착 효과가 다르게 나타나는 것으로 판단되어 진다.

Table 4 Photograph of AFM Measurement of Test II

	AFM image
(a)Test II-1	
(b)Test II-2	
(c)Test II-3	
(d)Test II-4	

4. 결론

본 논문은 FIB Sputtering 파라미터가 될 수 있는 빔의 초점거리 변화에 따른 가공 실험 및 AFM 측정 분석 결과를 토대로 3차원 FIB Sputtering 연구의 기반기술 확보에 목적이 있으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 가공 패턴의 경우 초점거리가 짧을 경우가 sputtering 깊이 측면에서 유리하며, 초점거리가 깊어질 경우는 패턴 형상 정밀도 측면에서 유리한 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 전기장에 의한 전기적 힘의 차이와 재증착의 효과에 의한 영향으로 판단되어 진다.

둘째, 최대 가공 깊이의 변화는 초점거리가 짧아짐에 따라 선형적으로 증가됨을 알 수 있었다.

셋째, 가공 패턴의 정밀도는 sputtering 면적이 넓어지며, 초점거리가 증가됨에 따라 매우 향상된 결과를 얻음을 확인 할 수 있었으며, 이는 빔 집속 크기에 대한 상대적인 영향과 빔 집속각에 따른 영향으로 판단되어 진다.

넷째, 가공폭의 변화는 재증착의 효과에 직접적인 영향을 받으며, 초점거리가 짧을 경우 재증착 효과가 활발하게 진행되며 이로 인해 가공폭의 감소가 관찰되어 진다.

후기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업 “이온빔 이용 나노가공용 장비 개발” 과제의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Yamaguchi, H., Shimase, A., Haraichi, S., and Miyauchi, T., "Characteristics of Silicon Removal by Fine Focused Gallium Ion Beam," Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 3, No. 1, pp. 71-74, 1985.
2. Brodie I and Muray J J, "Particle beams: sources, optics, and interactions The Physics of Micro/Nano-Fabrication," New York: Plenum, chapter 2. 1992.
3. 최현중, 강은구, 이석우, 홍원표. 밀IB를 이용한 나노가공공정 기술 개발? 한국공작기계학회 2004 춘계학술대회논문집, pp.482-486. 2004.4

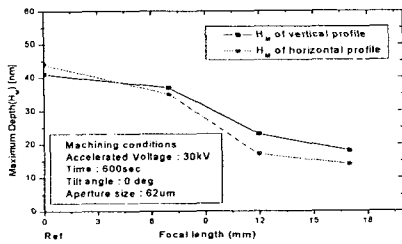


Fig. 5(a) Sputtering depth(H_M) of $60 \times 0 \mu m^2$

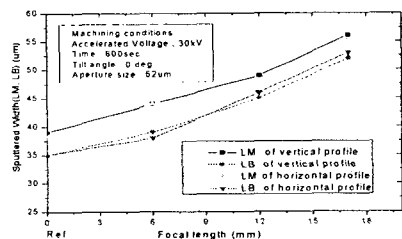


Fig. 5(b) Sputtering width(LM, LB) of $60 \times 0 \mu m^2$