

다구찌 기법을 이용한 FIB-Sputtering 가공 특성 분석

이석우*, 최병열⁺, 강은구⁺, 홍원표⁺, 최헌종⁺

(논문접수일 2006. 7. 14, 심사완료일 2006. 9. 18)

Analysis on FIB-Sputtering Process using Taguchi Method

Seok-Woo Lee*, Byoung-Yeol Choi⁺, Eun-Goo Kang⁺, Won-Pyo Hong⁺, Hon-Zong Choi⁺

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. The target of this paper is the analysis of FIB sputtering process according to tilt angle, dwell time and overlap for application of 3D micro and pattern fabrication and to find the effective beam scanning conditions using Taguchi method. Therefore we make the conclusions that tilt angle is dominant parameter for sputtering yield. Burr size is reduced as tilt angle is higher.

Key Words : Focused Ion Beam(집속이온빔), FIB Sputtering (집속이온빔 스퍼터링), Micro Pattern(미세 패턴), Taguchi Method (다구찌 기법), Redeposition(재증착)

1. 서론

현재 FIB는 매우 짧은 파장과 매우 높은 에너지를 이용하여 100nm 이하 크기를 갖는 구조물의 직접 제작이 가능하기 때문에 높은 성능을 갖는 마이크로 구조물의 제작을 통해 반도체 산업 등에서 매우 유용한 도구로 이용되고 있다. 그러

나 TEM 시편 제작, 반도체 패턴 검사 등에 국한되어 있어 보다 많은 응용 분야를 찾기 위한 연구가 진행되고 있다.

FIB 장비의 특징으로는 한 장비 내에서 모재를 제거하는 Sputtering공정과 재료를 선택적으로 증착하는 CVD 공정이 가능하다는 것이며, 이에 따라 마이크로 및 나노 3차원구조물 제작에 유용한 장비로 판단되고 있다.

* 한국생산기술연구원 (swlee@kitech.re.kr)
주소: 406-130 인천광역시 연수구 동춘동 994-32
⁺ 한국생산기술연구원 e가공공정팀

최근 일본, 미국 및 유럽 선진국의 연구 사례로 마이크로 3차원 금형 제작, Nanomanipulator 및 미세 액추에이터 제작 등이 보고되고 있으나 실제 산업에 적용되고 있는 수준은 아닌 것으로 판단되어진다⁽¹⁻⁴⁾.

FIB공정 중 Sputtering은 CVD 공정보다 정밀도 측면에서 유리한 특징이 있으며, Sputtering시 중요한 파라미터는 이온빔 직경, 분포, 전류와 에너지이다. 3차원 형상을 높은 정밀도로 가공하기 위해 원하는 형상과 요구되는 재료 제거량을 고려하여 적절한 파라미터 제어에 대한 연구가 일부 진행되고 있다⁽⁵⁾.

FIB-Sputtering시 발생하는 메카니즘으로는 강력한 이온 에너지가 시편에 충돌될 때, 이온과 시편과의 상호 작용에 의한 부풀어 오름, 재증착, 침투, 되튀김 현상 등이 발생할 수 있다^(6,7).

본 논문에서는 FIB-Sputtering의 가공공정 파라미터인 Tilt angle, Dwell Time, Overlap에 대하여 다구찌 기법을 이용하여 가공실험 및 AFM 측정 분석을 수행하였다. 이를 토대로 가장 영향력이 큰 파라미터를 도출하고, 도출된 파라미터를 활용하여 향후 마이크로 및 나노 3차원 구조물 가공의 기반 기술을 확보하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 측정 장비

Fig. 1은 본 연구에 사용된 FIB 장비로 SII Nano-technology사의 SMI 2050이다. FIB 장치의 주요 사양으로 두 개의 빔 렌즈(CL Lens, OL Lens)가 사용되고, 이온 소스로는 Ga⁺ 액체 금속 이온원이 이용되고 있으며, 가속전압은

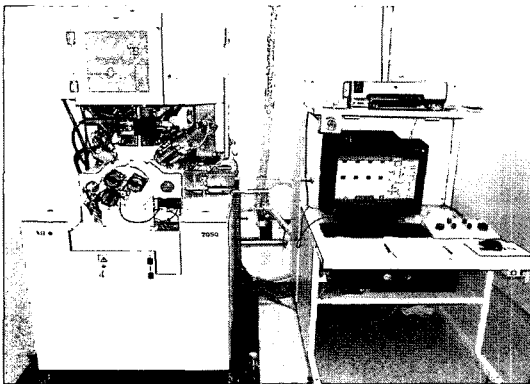


Fig. 1 FIB Photograph made by SII Nanotechnology Inc.(Model : SIM2050)

30keV이다. 최대 배율은 ×250,000이 가능하며, 최소 빔 분해능은 5nm정도이라고 있다. 진공도는 이온 챔버와 메인 챔버 각각 1×10⁻⁵pa or, 8×10⁻⁵pa 정도로 유지되고 있다.

측정 장비로는 PSIA사의 XE-100 모델 AFM을 이용하였다. 측정범위는 수평방향으로 최대 100×100μm, 수직 방향으로는 12μm이다. 측정 분해능은 수평방향으로 0.15nm이며, 수직방향으로 0.05nm이다.

3. 다구찌 분석 실험

3.1 실험 조건

본 연구에서 다구찌 기법을 이용하여 다양한 파라미터에 따른 Sputtering 가공 정밀도, Sputtering yield, Burr 영향성이 얼마나 많이 미치는지 통계적인 방법으로 특성을 분석하고자 하였다.

Table 1은 다구찌 기법을 활용하여 FIB-Sputtering 실험을 수행하기 위한 조건으로 진공 및 이온관련 설정 값, 시편 종류 등을 나타내었다. 사용된 이온빔 전류량(Ion Beam Current)은 48pA이며, 빔 사이즈는 23nm이다.

특히, 제어인자로서 dwell time, tilt angle, overlap이 고려되었으며, 인자들의 수준은 dwell time은 0.375, 2, 4, 6

Table 1 General status and Experimental Conditions

General status	
Accelerating Voltage	30 kV
Ion Column Vacuum Pressure	1 × 10 ⁻⁵ pa or lower
Main Chamber Vacuum Pressure	8 × 10 ⁻⁵ pa or lower
Ion Beam Source Type	Ga ⁺
Substrate Materials	Si Wafer
Experimental Conditions	
Ion Dose(No./cm ²)	777.778 × 10 ¹⁵
Dwell Time(μsec)	0.375, 2, 4, 6
Tilt Angle(degree)	0, 15, 30, 45
OverLap(%)	-30, -10, 0, 10
Ion Beam Current (pico Ampere/nm ²)	48
Beam Size(nm)	23
Pattern Shape	

μsec이고, tilt angle은 0, 15, 30, 45 degree, overlap은 30, -10, 0, 10으로 최종적으로 Table 2와 같이 3인자 4수준 직교 배열표를 이용하였다.

3.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 2, 3은 다구찌 분석결과로서 sputtering yield에 가장 큰 영향을 미치는 파라미터가 Tilt angle임을 확인할 수 있었으며, Tilt angle이 커질수록 Sputtering yield가 증가됨을 확인하였다.

또한 Dwell time과 Overlap이 작을수록 Sputtering yield가 증가되며, 최대 Sputtering yield는 tilt angle이 45 degree, dwell time은 0.375μsec, overlap은 -30%임을 다구찌 기법을 통해 확인할 수 있었다. 다구찌 분석은 상용 S/W인 MiniTab을 이용하였다. 식 (1)은 Taguchi의 망대특성 분석에 사용된 SN ratio의 수식이며, 각 파라미터에 따른 특성분석에 이용하고자 하였다.

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

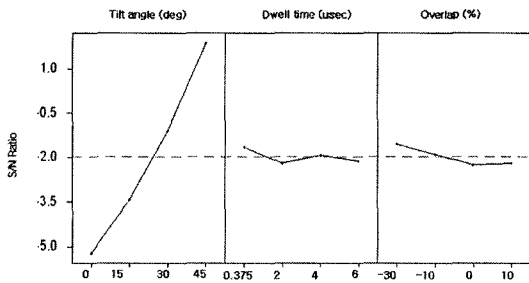


Fig. 2 Main Effects Plot for S/N Ratios(sputtering yield analysis)

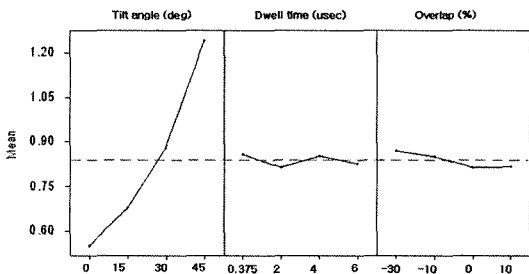


Fig. 3 Main Effects Plot for Means(sputtering yield analysis)

Fig. 4는 직교 배열표에 따른 실험 결과로 AFM 측정을 통한 3차원 형상과 2차원 Profile 이미지를 나타내고 있다. 분석은 Sputtering된 패턴 폭, 높이 및 Burr현상을 AFM 측정결과를 통해 분석을 수행하였다. Fig. 4의 이미지를 통해 1-4번 이미지보다 13-16번 이미지가 가공부의 바닥면이 아치 모양이 아닌 평면으로 가공되었음을 확인하였으며, 가공부 가장자리 부분 버의 크기도 작은 경향이 관찰되었다. 또

Table 2 Orthogonal arrays for Taguchi method

	Tilt angle(degree)	Dwell time(μsec)	Overlap(%)
1	0	0.375	-30
2	0	2	-10
3	0	4	0
4	0	6	10
5	15	0.375	-10
6	15	2	-30
7	15	4	10
8	15	6	0
9	30	0.375	0
10	30	2	10
11	30	4	-30
12	30	6	-10
13	45	0.375	10
14	45	2	0
15	45	4	-10
16	45	6	-30

Table 3 Height of the pattern sputtered

	Height1 (nm)	Height2 (nm)	Height3 (nm)
1	160	160	165
2	135	133	135
3	137	122	136
4	136	128	136
5	165	174	187
6	153	174	158
7	155	166	155
8	154	169	155
9	183	180	184
10	179	176	178
11	186	204	184
12	189	183	175
13	237	224	240
14	225	223	223
15	223	230	238
16	226	213	228

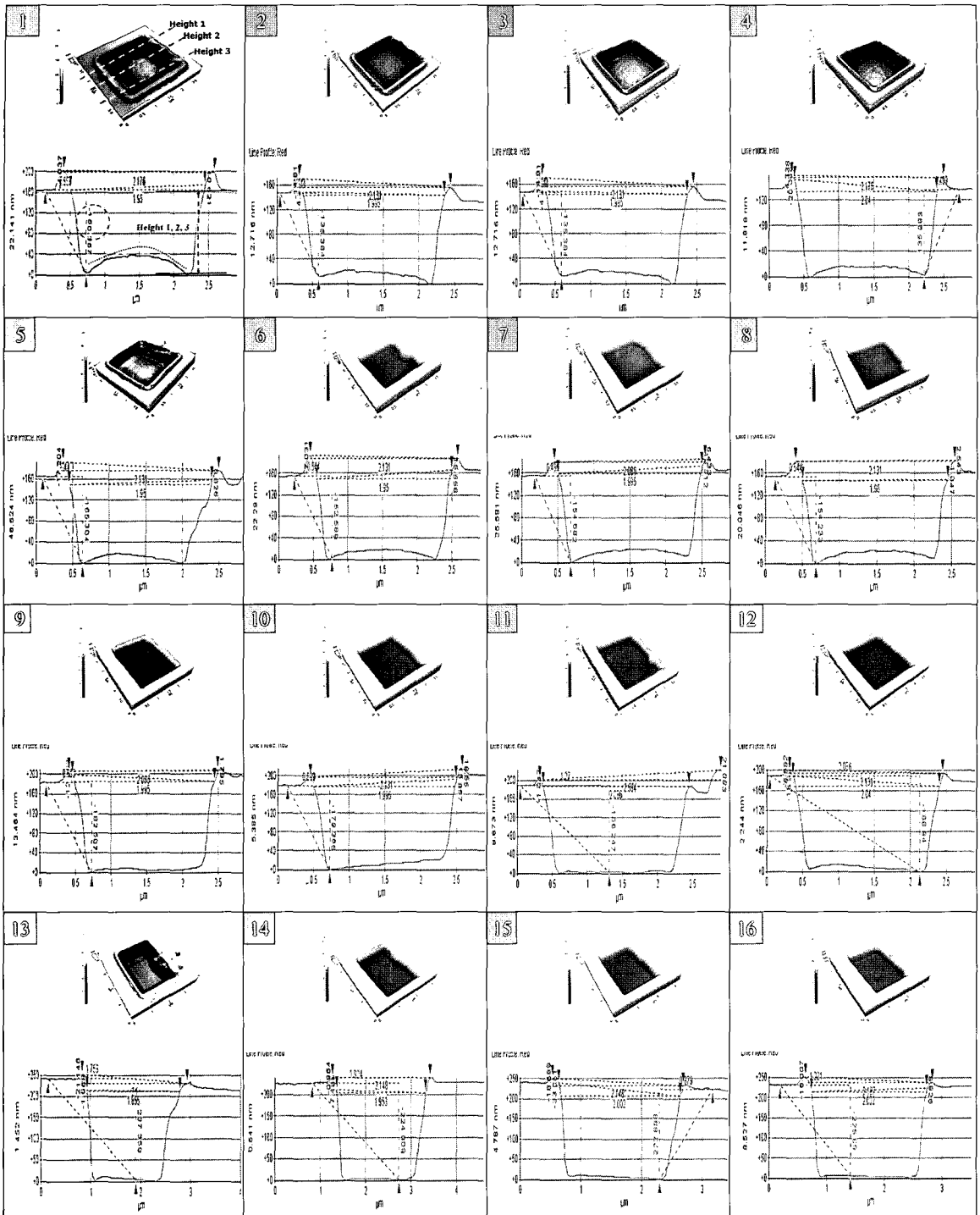


Fig. 4 AFM 3D Topography of the Results of the Sputtering Experiments

한 가공깊이도 증가됨을 확인하였다. 이는 가공시 tilt angle 이 클수록 재증착량이 작아지기 때문에 가공깊이가 깊어지고 버의 발생이 최소화 되며, 바닥면이 평평하게 Sputtering 되는 것으로 판단된다. 또한 Table 3은 Table 2의 직교 배열 표에 따른 Sputtering된 패턴의 가공 깊이를 나타내고 있다. 결과에서 보듯이 tilt angle이 클 경우 보다 가공깊이가 증가됨을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 FIB-Sputtering 공정에서 주로 다루어지는 tilt angle, dwell time, overlap 파라미터의 가공 특성을 분석하기 위하여 다구찌 기법을 활용하였으며, 가장 영향력이 큰 파라미터를 도출하고, 파라미터의 변화에 따른 가공 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) FIB-Sputtering yield에 가장 큰 영향을 미치는 파라미터는 tilt angle 임을 알 수 있었다. 이는 tilt angle이 커질수록 재증착 확률이 작아지기 때문인 것으로 판단된다
- (2) Tilt angle이 커질수록 가공 가장자리 부위의 버의 크기가 감소되는 경향이 있음을 알 수 있었다.
- (3) 또한 Tilt angle이 커질수록 가공부의 바닥면 형상도 평면형상을 보여 형상 정밀도 측면에서도 유리함을 알 수 있었다.
- (4) 다구찌 분석결과 최대 sputtering yield를 얻을 수 있는 조건으로는 tilt angle은 45deg., dwell time은 0.375μsec, overlap은 -30%임을 알 수 있었다.
- (5) 향후 다구찌 기법을 토대로 가장 영향력이 큰 파라미터에 대한 보다 심도 있는 연구를 통하여 마이크로 및 나노 3차원 구조물 가공의 기반기술로서 활용 가능할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업 “디지털 인쇄 기법을 이용한 광전소자의 직접제작 기술 개발” 과제의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Watanabe, K., Hoshino, T., Kodo, K., Kanda, K., Haruyama, Y., Kaito, T., Fujita, J., Ishida, M., Ochiai, Y., Tajima, T. and Matsui, S., 2004, “Nanoimprint using three-dimensional microlens mold made by focused -ion-beam chemical vapor deposition,” *J. Vac. Sci. Technol.*, B22(1), Jan/Feb, pp. 22~26.
- (2) Kometani, R., Morita, T., Watanabe, K., Hoshino, T., Kondo, K., Kanda, K., Haruyama, Y., Kaito, T., Fujita, J., Ishida, M., Ochiai, Y. and Matsui, S., 2004, “Manomanipulator and actuator fabrication on glass capillary by focused-ion-beam-chemical vapor deposition,” *J. Vac. Sci. Technol.*, B22(1), Jan/Feb, pp. 257~263.
- (3) Fujita, J., Ishida, M., Ichihashi, T., Ochiai, Y., Kaito, T. and Matsui, S., 2003, “Growth of three-dimensional nano-structures using FIB-CVD and its mechanical properties,” *Nucl. Inst. and Methods in Physics Res.*, B206, pp. 472~477.
- (4) Watanabe, K, Morita, T. and Kometani, R., 2004, “Nanoimprint using three-dimensional microlens mold made by focused-ion-beam chemical vapor deposition,” *J. Vac. Sci. Technol.*, B22(1), pp. 22~26.
- (5) Yamaguchi, H. Shimase, A., Haraichi, S. and Miyauchi, T., 1985, “Characteristics of Silicon Removal by Fine Focused Gallium Ion Beam,” *Journal of Vacuum Science and Technology B*, Vol. 3, No. 1, pp. 71~74.
- (6) Tseng, A. A, 2004, “Recent developments in micro-milling using focused ion beam technology,” *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 14, R15-R34.
- (7) Choi, B. Y., Kang, E. G., Hong, W. P., Lee, S. W. and Choi, H. Z., 2005, “Analysis on FIB Machining Process using the Taguchi Approach,” *Proceedings of the KSMTE Autumn Conference*, pp. 26~30.