

## 집속이온빔의 가공 공정 메카니즘 연구

강은구, 최병열, 이석우, 홍원표, 최현종 (한국생산기술연구원)

### Manufacturing Mechanism of FIB-CVD using Focused Ion Beam

E.G. Kang, B.Y. Choi, W.P. Hong, H.Z. Choi (KITECH)

#### ABSTRACT

The application of focused ion beam (FIB) technology in micro/nano machining has become increasingly popular. Its use 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 was carried out some experiments and verifications of mechanism on FIB-CVD using SMI8800 made by Seiko. FIB-CVD has in fact proved to be commercially useful for repair processes because the beam can be focused down to 0.05 $\mu\text{m}$  dimensions and below and because the same tool can be used to sputter off material with sub-micrometer precision simply by turning off the gas ambient. Recently the chemical vapour deposition induced ion beam has been required more deposition rate and accurate pattern because of trying to manufacture many micro and nano parts. Therefore this paper suggested the optimization parameters and discussed some mechanism of chemical vapour deposition induced ion beam on FIB-CVD for simple pattern.

**Key Words** : FIB-CVD, Mechanism, Sputtering, Focused Ion Beam

#### 1. 서론

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. 일반적으로 CVD 증착과 Sputtering에 대한 많은 연구를 진행하고 있다. FIB 장비는 이러한 CVD 증착과 Sputtering이 한 개의 장치 내에서 동시에 가능하기 때문에 국부적으로 마스크나 집적화된 회로를 교정하는데 매우 유리하게 이용되어지고 있다. IBID(Ion beam induced deposition)은 실제 0.05 $\mu\text{m}$  크기 이하로 집속될 수 있기 때문에 교정용으로 상용화되어졌으며, 마이크로 이하 크기의 제작이 특정한 가스 분위기 상태의 이온 주입을 통해서 가능하다. 따라서 이러한 재료의 추가 및 제거를 이용하여 포토마스크 수정, 집적회로의 수정 및 x-ray 리소그라피

마스크의 수정 등에 이용되어지고 있다.

CVD 증착에 대한 결과로서 0.1 $\mu\text{m}$ 의 금 라인이나 매우 높은 세장비 구조물과 매우 작은 저항률의 증착 등에 관하여 보고된 바 있다. 이러한 많은 수의 자료들에 비해 CVD에 대한 메카니즘은 1990년대 초반쯤에 발표되었으며, 현재까지 명확한 결론이 내려지지 못한 상황이다.

텅스텐, 금, 백금, 탄탈, 카본 등 많은 재료들이 유기금속이나 금속 할로겐화합물 가스형태의 소스로서 이온빔과 반응하여 증착에 이용되어졌다. 이러한 가스들은 독성을 지니기 때문에 텅스텐 헥사카르보닐과 같은 교체화 소스가 이용되어진다. 이 물질은 50 $^{\circ}\text{C}$  정도 열을 가할 때 매우 미량의 가스가 발생되기 때문에 리크발생 등과 같은 상황시 위험요소를 최소로 줄일 수 있다. Koh, et al.은 입사 이온 에너지와 에너지 종류에 대해 텅스텐 증착량 연구가 진행되었으며, 이온 입사량이 일정하게 유지될 경우 입사 이온 질량이 증가될 때 텅스텐 증착량이 많아지는 것을 확인할 수 있었다. Dubner

는 CVD 증착을 관계식을 제안 하였으며, CVD는 증착량과 Sputtering 량과의 차이에 의해 발생됨을 확인하였다.

현재 FIB-CVD에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 메카니즘의 규명이 명확히 진행되지 못하고 있으며, 이온종류 및 가공 공정의 최적화 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 Ga<sup>+</sup>과 텅스텐 가스를 이용한 최적의 증착조건을 선정할 수 있는 다양한 연구를 진행하고자 한다. CVD 증착의 경우 증착량과 더불어 증착시의 정밀도를 목표로 한 최적의 증착 조건을 선정하도록 하고자 한다. 따라서 증착량을 늘리기 위한 방법인 이온량, Aperture 크기에 따른 증착량의 변화 실험과 이온 주입량에 대한 증착량 변화 실험을 실시하였다. 증착량에 대한 실험 외에도 증착된 형상의 정밀도측면의 분석도 실시하였다.

## 2. FIB-CVD 실험

### 2-1 실험 장치

Fig. 1은 본 논문의 가공실험에 사용된 FIB 장비이다. 일본 SEIKO사의 SMI8800이다. 초고진공 상태를 효과적으로 유지하면서 시편을 진공 챔버내로 삽입하거나 제거하기 위한 load-lock 장치가 설치되어 있다. 이온 소스는 Ga<sup>+</sup>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 μm 정도이며, 이때의 적정가속도는 30keV 이다.

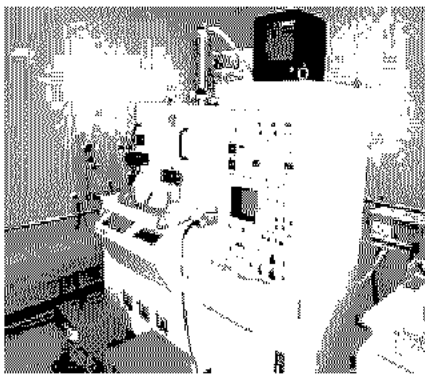


Fig. 1 Focused Ion Beam (SMI8800, SEIKO, Japan)

### 2-2 FIB-CVD 메카니즘

Dubner는 CVD 증착을 관계식(1)을 제안 하였으며, CVD는 증착량과 Sputtering 량과의 차이에 의해 발생됨을 확인하였다.

$$Y_{net} = Y_d - Y_s \quad (1)$$

여기서  $Y_d$  : 가스 분해율

$Y_s$  : 재료 스퍼터율 이다.

또한, CVD 증착량은 식 (2)와 같은 관계가 있음을 밝혀냈다.

$$Y_d = \theta \Omega_d \quad (2)$$

여기서  $\theta$  : 표면에 흡수되는 면적의 가스 분자수

$\Omega_d$  : 가스 분자 분해 단면

따라서 텅스텐 원자의 정밀량을 늘리기 위해서는 가스 분해율을 늘리거나 스퍼터율을 감소시키는 방법이 있을 수 있다. Dubner는 면적당 가스분자수 ( $\theta$ )는 챔버의 가스 압력이 증가함에 따라 증가하며, 재료 표면 온도가 감소함에 따라 증가함을 발견하였으며, 이때 증착률 또한 증가함을 발견하였다. 가스 분자 분해 단면( $\Omega_d$ )은 재료 표면위의 전구체 분자에 입사 이온 에너지의 전달량에 따라 좌우되며, 이는 입사 이온 에너지와 질량 그리고 이온과 전구체와의 상호 작용 등에 따라 달라 질 수 있다.

### 2-3 Aperture에 따른 실험

Aperture 크기에 따른 증착실험을 실시하였다. Table 1은 진공 및 이온 관련 설정값과 시편 및 사용된 가스를 나타내고 있다. 사용된 증착 가스는 W(CO)<sub>6</sub>로서 가장 많이 사용되는 물질이다.

Table 1 General setting parameters of vacuum and ion source etc

Ion beam source	Ga <sup>+</sup>
Accelerated	30keV
Vacuum	Ion chamber : 1×10 <sup>-7</sup> torr
	Main chamber : 1×10 <sup>-6</sup> torr
Magnification	>900
Deposition Gas	W(CO) <sub>6</sub>
Specimen	Si

Table 2 Manufacturing parameters

	S.C.Time (sec/frame)	S. time (second)	Ap. (Size)	Pattern (shape)
(a)Test I-4	40	300	#4	2x5 μm <sup>2</sup> (Rect)
(b)Test I-3			#3	
(c)Test I-2			#2	
(d)Test I-1			#1	
(e)Test I-0			#0	

Fig. 2는 실험조건에 대한 값으로서 Scan Cycle Time과 이온 주입시간인 Scanning Time은 일정하게 유지하며, Aperture 크기의 변화에 따른 CVD 실험을 실시하였다. Aperture 크기의 변화는 Dubner의 CVD 메카니즘을 기초로 하여 설명한다면 텅스텐 가스의 분해량을 증가하여, 증착량을 증가시키는 결과를 예측해 볼 수 있다. 즉, 일반적으로 이온빔의 입사량이 많을 경우 텅스텐 가스의 분해량이 많아지며, 따라서 증착량 또한 증가를 예상할 수 있다. 그러나 Fig. 2(a)와 Fig. 2(d)의 경우를 비교하여 보면 Fig. 2(a)는 어느 정도 증착이 관찰되었으나, Fig. 2(d)는 증착보다는 중앙부의 sputtering이 발생됨을 알 수 있었다. 따라서 증착량을 늘리기 위해 이온주입량을 증가시켜야 하는 경우 입사면적 등을 고려한 적절한 조건이 선정되어야 할 필요성이 있을 것이다. 이는 FIB-CVD의 메카니즘상 FIB-CVD의 증착속도와 sputtering 속도의 차이로 인한 현상으로 예상될 수 있다. 따라서 향후 추가적인 실험을 통한 분석이 필요할 것이다. Fig. 2의 이미지상 Aperture 직경이 작은 Fig. 2(a)의 경우가 보다 정밀한 패턴 형성을 하는 것으로 판단된다.

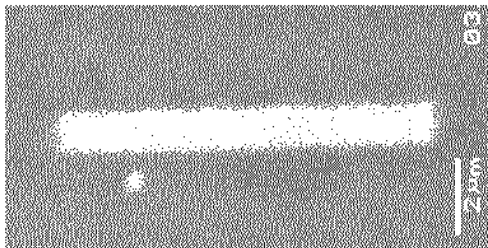


Fig. 2(a) SEM image of Test I-4

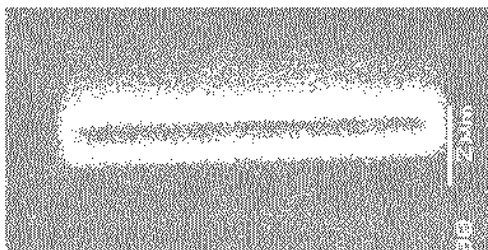


Fig. 2(b) SEM image of Test I-3

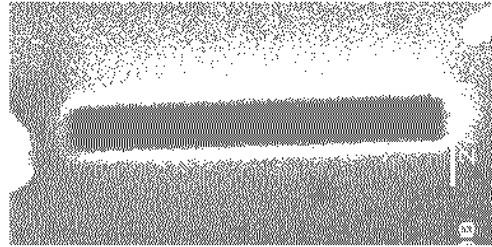


Fig. 2(c) SEM image of Test I-2

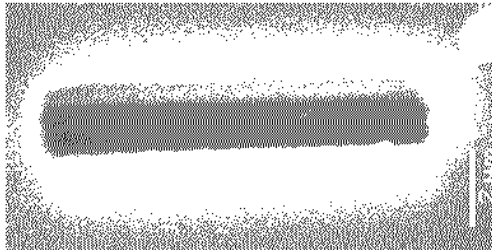


Fig. 2(d) SEM image of Test I-1

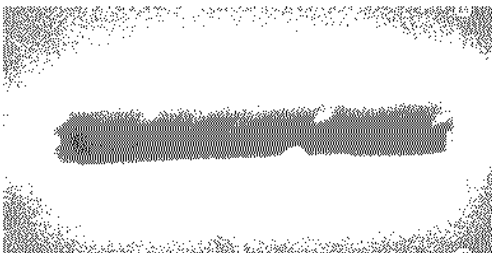


Fig. 2(e) SEM image of Test I-0

### 2-3 가공 시간에 따른 실험

가공 시간은 이온빔의 주사량 또는 주사 시간을 의미하는 것으로 이온빔이 증착과정에서 필요한 텅스텐 가스를 더욱 많이 생성되게 하는 기회를 제공하는 것과 같다. 따라서 증착되는 증가량을 확인하기 위한 실험이나 현재로서는 정량적인 분석이 어려웠으며, 이미지상 상대적인 비교는 가능하였다. 따라서 본 절에서 수행된 결과를 토대로 그림 Fig. 3의 경우 높이가 대략  $0.5\mu\text{m}$ 이며, 대략  $2\mu\text{m}^3$  정도의 증착을 이루는데 1시간 정도가 소요됨을 예측할 수 있었다.

Table 3 Manufacturing parameters

	S.C. Time (sec/frame)	S. time (second)	Ap. (Size)	Pattern (shape)
Test I	40	3600	#1	2×2 $\mu\text{m}^2$ (Rect)
Test II		1800		
Test III		600		

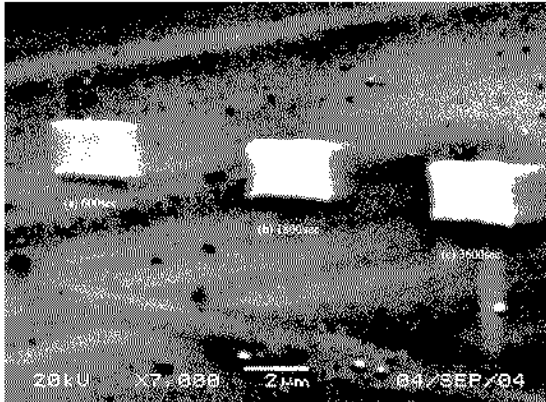


Fig. 3 SEM image of Test I-0(Test III)

#### 4. 결론

FIB 기술은 아직 다른 반도체 제작 공정에 비해 상대적으로 여전히 연구가 미흡한 상황이다. 이에 기존의 FIB-CVD시 관찰되는 현상에 대한 분석과 이를 통한 최적 가공조건을 밝혀내는데 있어, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, Aperture 직경에 따른 FIB-CVD 실험결과 Aperture 직경이 큰 경우 가공량은 많으나 정밀도는 떨어짐. 따라서 정밀도는 Aperture 직경이 작은 경우가 유리함

둘째, FIB-CVD 실험시 Scan cycle time에 따른 증착효과 실험시 증가되는 경향이 뚜렷이 보임

이러한 결론으로부터 향후 마이크로 및 나노 부품 최적가공에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업 “이

온범 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. Melngailis, J., and Musil, C., "The Focused Ion Beam as An Integrated Circuit Restructuring Tool," Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 4, No. 1 pp. 176-180, 1987.
3. Harriott, L., Scotti, R., Cummings, K., and Ambrose, A., "Micromachining of Optical Structures with Focused Ion Beams," Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 5, No. 1, pp. 207-210, 1987.
4. Sudraud, P., and Ben Assayag, G., "Focused Ion Beam Milling, Scanning Electron Microscopy, and Focused Droplet Deposition in a Single Microcircuit Surgery Tool," Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 6, No. 1, pp. 234-238, 1988.
5. Vasile, M., Niu, Z., Nassar, R., Zhang, W., and Liu, S., "Focused Ion Beam Milling: Depth Control for Three-Dimensional Microfabrication," Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 15, No. 6, pp. 2350-2354, 1997.
6. Santamore, D., Edinger, K., Orloff, J., and Melngailis, J., "Focused Ion Beam Sputter Yield Change as a Function of Scan Speed," Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 15, No. 6, pp. 2346-2349, 1997.
7. Brodie I and Muray J J, "Particle beams: sources, optics, and interactions", The Physics of Micro/Nano Fabrication, New York: Plenum, chapter 2, 1992.