

# 미세구조물 제작을 위한 집속이온빔 증착공정의 3차원 시뮬레이션 3D Process Simulation of FIB Deposition in fabrication of nano structure

\*한진, 이희원, #민병권, 이상조

\*J. Han, H. W. Lee, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee  
연세대학교 기계공학부

Key words : deposition, focused ion beam, simulation

## 1. 서론

미세 전자부품의 제작기술의 발전에 따라서 다양한 용도로 박막의 증착이 사용되면서 그 제작 공정에 관한 연구도 여러 방면으로 진행되고 있다. 대표적인 방법들로 레이저나 전자빔을 사용하는 여러 가지 증착법들이 개발되어 사용되고 있다. 이러한 방법들 중에 하나로 Gamo<sup>1</sup>는 이온빔을 조사하여 금속 박막을 증착하는 기술 (ion beam induced deposition: IBID)을 소개하였다. 이 증착기술은 유기금속 분자를 이온빔으로 분해하고 그 분해된 금속 원자가 표면에 증착되는 방법을 응용한 것으로 이온빔이 닿는 곳에서 가공이 일어나게 되는 공정이다. 그 응용의 용도가 넓고 증착 할 수 있는 소재에도 알루미늄, 텅스텐, 금과 같은 금속류와 탄소 종류의 절연체도 증착이 가능하여 회로를 잇고 끊고 절연하는 공정을 수행하는 것이 가능하다.

집속이온빔을 이용한 증착공정은 단순히 박막을 증착하는 것 이외에도 빔을 집속시켜서 국부적인 증착공정으로 3차원 미세구조물을 가공하는 것이 가능하고 이를 이용하여 여러 연구가 진행되고 있다. 증착된 구조물을 이용하여 나노 임프린트 공정의 패턴 마스터로 사용하기도 하며,<sup>2</sup> 국부적인 증착 공정을 통하여 마이크로 그리퍼나 로터등의 기계부품을 제작하기도 한다.<sup>3</sup>

증착공정이 3차원 미세구조물의 제조에 응용되면서 그 형상정밀도에 대한 필요성이 증가하고 있고 가공현상에 대한 이해와 정확한 가공 결과의 예측이 필요하다. 본 연구에서는 집속이온빔에 의한 증착공정을 모델링하고 해석하여 그 결과를 시뮬레이션하는 것을 목표로 한다. 이를 통하여 기본적으로는 마이크로-나노 영역의 가공에서의 형상정밀도를 확보하고 특정한 조건에서의 가공결과를 예측하며 가공의 신뢰성을 높일 수 있는 내용을 이루고자 한다.

집속이온빔을 이용한 증착공정은 Fig. 1에서 보이는 것과 같이 증착되는 분자들이 모재 표면에 흡착되어 존재하는 상태에서 조사되는 이온의 에너지에 분해되어 금속 원자들이 표면에 남아 증착되는 현상으로 이를 해석하기 위해서는 먼저 증착반응가스의 흡착을 예측하는 것이 필요하다. 증착공정에서의 가장 큰 변수는 증착반응가스의 재료표면의 흡착된 정도와 빔 스캔방식으로부터 정해지는 드웰타임으로 볼 수 있으므로 증착반응가스의 압력을 고려하여 모재의 표면에 흡착되는 속도와 양을 시뮬레이션 하고 조사된 이온에 의하여 흡착된 가스의 에너지가 증가하는 영역을 구하는 것이 필요하다. 이를 통하여 집속이온빔 증착공정을 모델링하고 가공 현상을 시뮬레이션하여 결과를 예측한다.

## 2. 집속이온빔증착가공 메커니즘

이온빔을 이용한 증착공정의 메커니즘을 해석하기 위한 연구는 Dubner<sup>4</sup> 등에 의하여 시작되었으며 이온빔을 이용한 증착공정의 메커니즘과 반응가스의 흡착이 증착결과에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 위의 연구에 따르면 반응가스의 압력과 온도에 따라서 표면에 흡착되는 반응가스가 증가하고 결과적으로 표면에 증착되는 양도 증가한다고 설명하였다.

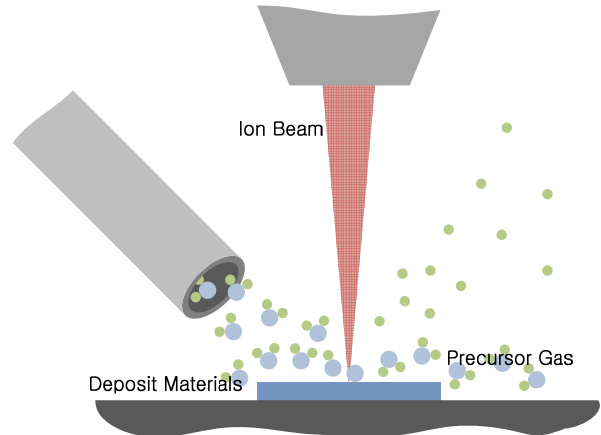


Fig. 1 focused ion beam induced deposition process

그러나 연구는 집속된 이온빔을 이용한 것이 아니고 넓은 이온빔을 이용하여 박막을 만드는 공정을 검증하기 위하여 실험한 것으로 집속된 이온빔을 이용하여 국부적인 증착으로 3차원 구조물을 만드는 응용분야에 내용을 그대로 적용하기는 어렵다. Levin<sup>5</sup> 등은 집속이온빔에서의 증착공정의 특성을 제시하고 일반적인 이온빔과의 차이점을 통해서 집속이온빔 공정에서 고려되는 사항을 설명하고 있다.

전체의 증착공정( $Y_{net}$ )은 이온빔에 의한 증착층의 형성되는 양( $Y_D$ )과 이온빔의 조사에 의하여 증착층이 스퍼터링되는 양( $Y_S$ )의 차로 나타낼 수 있다. 스퍼터링 현상에 의하여 날라가는 금속 원자의 수보다 표면에 증착되는 금속 원자의 수가 더 많을 때 증착공정이 이루어 졌다고 볼 수 있다. 따라서

$$Y_{net} = Y_D - Y_S \quad (1)$$

여기에서 증착이 일어나는 원자의 수는 단위면적의 모재 표면에 흡착되어 있는 반응기체의 분자 수와 이온빔에 의하여 반응기체를 분해되는 영역의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$Y_D = \Theta \Omega_D = \int f(E) \Omega(E) dE \quad (2)$$

집속이온빔을 이용한 증착공정의 경우 일반적인 이온빔 증착에 비하여 빔전류밀도가 높기 때문에 빔 스캔방식에 영향을 받는다. 빔이 조사되는 시간을 드웰타임, 조사되지 않는 시간을 fresh time 이라고 한 경우에, 드웰타임이 길어지면 조사되는 모재 표면에 흡착되어 있는 반응성 분자가 모두 분해되고 남은 시간에도 계속 이온빔의 조사가 진행되므로 스퍼터링 현상으로 이어지고 그 결과 증착공정의 효율이 매우 낮아지게 되거나 스퍼터링 되는 양이 증착되는 양을 넘어설 경우에 오히려 표면이 가공되는 역효과를 낳게 된다. 또 fresh time 이 너무 짧은 경우에는 충분히 증착을 위한 반응가스가 모재 표면에 흡착되지 못하고 따라서 증착공정의 효율이 낮아지는 경우가 발생하게 된다.

따라서 증착공정을 해석하기 위해서는 반응가스가 시편 표면에 얼마만큼 흡착되어 있는지, 이온빔에 의해서 얼마만큼의 반응가스가 분리되는지, 분리된 반응가스가 가공물

표면에 어떤 분포로 얼마만큼 증착되는지, 또 새로 생성된 표면에 다시 이온빔이 조사되는 시간 내에 얼마만큼의 반응가스가 다시 흡착되는지를 해석하는 것이 필요하다.

시간에 따라서 반응가스가 모재의 표면에 흡착되어 있는 비율은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Theta = \int (gF(1-\theta) - k_d N_0 \theta) dt \quad (3)$$

식에서  $g$  는 흡착계수이고  $F$  는 반응가스의 유입량이며  $k_d$  는 열분해상수이며  $N_0$  는 흡착된 반응가스의 밀도이며  $\theta$  는 현재 표면에 단층으로 흡착된 가스의 범위를 나타낸다. 위와 같은 식들을 통하여 증착공정의 시간에 따른 변화가 모델링될 수 있다. 이를 이온빔이 조사되는 위치를 제어할 수 있는 프로그램의 설정을 통하여 집속이온빔을 이용한 증착가공의 시뮬레이션을 수행한다.

### 3. 집속이온빔증착가공 시뮬레이션

반응가스에 의한 증착공정을 시뮬레이션 하기 위해서 크게 4 개의 단계로 나누어서 프로그래밍해야 한다. 처음은 이온의 충돌에 의해서 표면의 증착가스의 휘발성 성분의 연결을 끊을 만큼의 에너지를 전달받게 되는 영역을 계산하는 일이다. 이는 스퍼터링 시뮬레이션과 연결하여 동일한 방법을 통해서 계산되며 그 때의 표면형상을 고려하여 처리해야 한다. 다음은 스퍼터링에 의하여 제거되는 형상을 고려해야 하며 증착되는 량과 분포를 고려하고 그 다음에 새로 형성된 표면을 다시 구성해야 한다.

다음은 증착가스가 정해진 시간만큼 얼마나 표면에 다시 흡착되는지 정도를 해석하는 단계를 거친다. 그 후에 가공표면을 다시 업데이트 하는 단계로 특정 지점에서 이온빔의 조사에 의한 증착공정의 결과를 계산한다. Fig. 2 는 증착공정의 시뮬레이션 단계를 도식적으로 나타내고 있다.

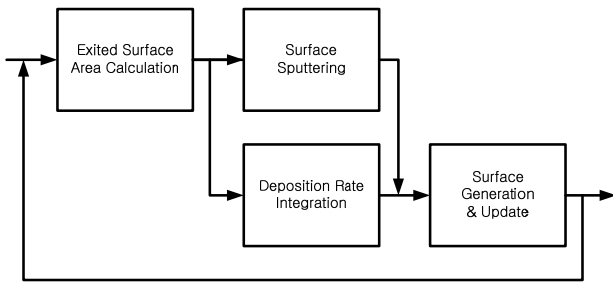


Fig. 2 Flowchart of the FIB deposition simulation

이렇게 만들어진 증착공정의 시뮬레이션을 이용하여 기본적인 증착공정의 형태를 검증해보았다. 주어진 가공조건에 따른 증착 결과와 높이를 확인하여 시뮬레이션의 유효성을 확인할 수 있다.

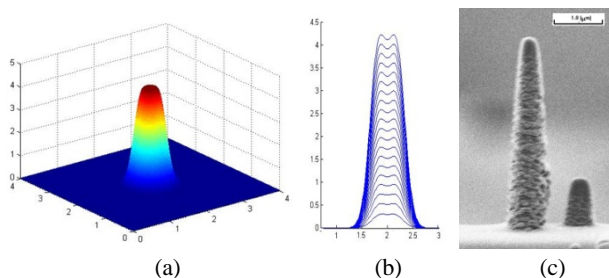


Fig. 3 Result of deposition process: (a) simulation data of deposition feature (b) simulation data of accumulate the deposit layer (c) FIB image of deposited pillar

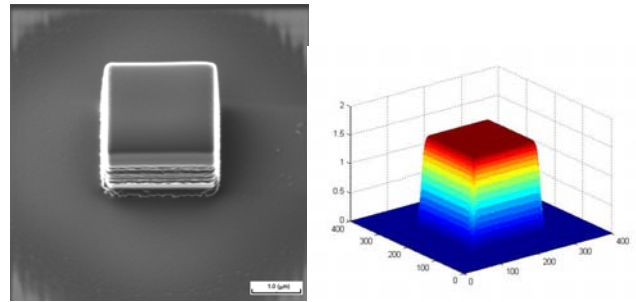


Fig. 4 Result of pocket shape deposition/simulation process

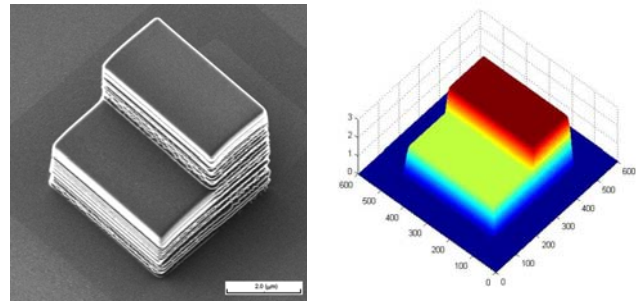


Fig. 5 Result of step shape deposition/simulation process

### 4. 결론

집속이온빔을 이용한 증착공정 결과를 시뮬레이션하기 위하여 공정의 현상을 모델링하고 이온빔의 스캔방법을 실제와 동일하게 시뮬레이션 상에서 재현하여 그 결과를 실제 가공의 결과와 비교하였다. 증착공정은 반응가스와 이온빔의 조사와의 관계를 해석하여 이루어지며 드웰타임이 길어지면 모재 표면에 반응가스의 양이 모자라게 되어서 스퍼터링 현상이 더 우월하게 발생하여 증착현상이 잘 일어나지 않는 것을 알 수 있다. 증착공정의 시뮬레이션을 통하여 가공변수와 가공결과에 대한 이해를 높이고 공정의 정밀도를 높이는 방법으로 응용할 수 있다.

### 후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 일환인 표면 플라즈몬 효과를 이용한 테라급 자기기록용 신개념 미디어 설계 및 제작사업(NT070126)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- Gamo, K. and Namba, S., "Ion beam microfabrication," *Microelectronic Engineering*, **2**, 74-81, 1984.
- Watanabe, K., T. Morita, et al. "Nanoimprint using three-dimensional microlens mold made by focused-ion-beam chemical vapor deposition," *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures* **22**, 22-26, 2004.
- Kometani, R., T. Hoshino, et al. "Performance of nano-manipulator fabricated on glass capillary by focused-ion-beam chemical vapor deposition," *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*, **23**, 298-301, 2005.
- Dubner, A. D. and A. Wagner, "The role of gas adsorption in ion-beam-induced deposition of gold," *Journal of Applied Physics* **66**, 870-874, 1989.
- Levin, J. P., P. G. Blauner, et al. "Model for focused ion beam deposition," *Electron-Beam, X-Ray, and Ion-Beam Technology: Submicrometer Lithographies IX*, 1990.