

# 집속이온빔 밀링 가공의 3차원 토폴로그래피 시뮬레이션

## 3D topography simulation of focused ion beam milling processes

\*맹상진, #민병권

\*S. Maeng, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr)

연세대학교 기계공학과

Key words : Sputtering simulation, Ion beam machining, 3D nanostructure

### 1. 서론

집속 이온빔(Focused Ion Beam, FIB) 공정은 미세 노즐이나 채널, 미세 다이 및 몰드 등 미세 구조물 제작에 이용된다. 하지만 집속 이온빔 공정은 적절한 공정을 계획해야 정확한 구조물을 제작할 수 있는 한계가 있다. 집속이온빔 시뮬레이션은 미세 구조물을 가공 형상을 예측할 수 있어 미세 구조물을 정밀하게 제작할 수 있게 도와준다. 이러한 이유로 이온빔을 이용해 제작한 미세 구조물의 형상을 예상하는 시뮬레이션들이 연구되어왔다. 기존의 이온빔 시뮬레이션들은 집속 이온빔을 이용해 가공한 미세 구조물 형상을 정확하게 예측하기 위해 이온빔이 가우시안 분포를 갖고 가공 형상이 빔 분포 형상과 같은 현상, 제거된 재료가 구조물에 다시 달라붙는 재증착, 이온 입사각에 따른 스퍼터링률이 달라지는 효과를 고려하였다.<sup>1</sup>

본 논문에서는 빔 형상이 가우시안 분포를 따르는 현상, 재증착, 이온 각도에 따른 스퍼터링률이 달라지는 효과와 재증착으로 생긴 비정질 재료에서 스퍼터링이 달라지는 효과를 기반으로 한 3D 시뮬레이션을 제작하여 시뮬레이션 형상 오차를 줄였다.

### 2. 이론

본 연구의 시뮬레이션은 빔의 분포를 가우시안 분포로 묘사한 모델, 빔 입사각에 따라 스퍼터링률이 달라지는 모델, 스퍼터링된 재료가 다시 재료에 달라 붙는 재증착 모델, 재증착으로 만들어진 비정질부분의 스퍼터링률이 달라지는 모델을 사용하였다. 이러한 모델은 식 (1)로 정리할 수 있다.

$$P(x, y) = Y_1(\theta)Y_2(x, y)D(x, y) + R(x, y), \quad (1)$$

여기서 D 는 빔 형상이 가우시안 분포를 따르는 빔 프로파일 모델, Y<sub>1</sub> 은 빔 입사각에 따라 스퍼터링률이 달라지는 모델, R 은 재증착 모델, Y<sub>2</sub> 는 재증착으로 생긴 비정질 재료의 스퍼터링률이 달라지는 모델이다. Fig.1 은 이러한 모델의 계산 순서를 나타낸 순서도이다.

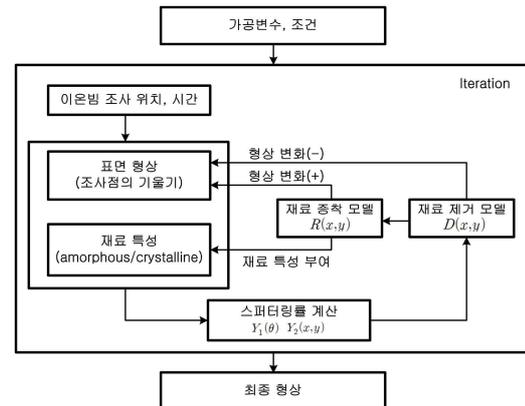


Fig. 1. Flow chart of the simulation procedure.

빔 프로파일 모델은 Assayag 이 제안한 bi-가우시안 모델을 사용하였고, 빔 입사각에 따라 스퍼터링률이 달라지는 모델을 제안한 Yamamura 의 모델을 이용하였다.<sup>1</sup> 그리고 재증착 모델은 임의의 표면형상에서도 재증착량을 계산할 수 있는 Orloff 의 모델<sup>2</sup>을 사용하였으며, 재증착으로 생긴 비정질 재료의 스퍼터링률 차이는 물질의 특성에 따라 스퍼터링률이 달라짐을 계산할 수 있는 Sigmund 의 모델<sup>3</sup>을 이용하였다.

### 3. 시뮬레이션과 실험 결과

시뮬레이션의 신뢰성을 증명하기 위하여 FIB 시스템을 이용해 제작한 구조물의 형상을 시뮬레이션으로 예측해 보았다. 시뮬레이션에 사용한 변수는 FIB 시스템(SMI3050, SII Nanotechnology)의 가공변수와 동일하도록 선정하였고 시뮬레이션 변수는 Table.1 과 같다.

Table.1 Simulation parameters

가공조건	값
이온빔 직경 (nm, FWHM)	60
이온빔 전류 (pA)	712
Dwell time (us)	10
주사 회수	300
이온빔 소스	Ga+
가공 시편	Si
Overlap	-2.75

Fig.2 는 mesh 크기가 50×300 인 Z-map 에 Table.1 조건으로 3D 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 패턴 깊이는 1.2um 정도이며 패턴 간격은 225nm 로 계산되었다. Fig.3 은 시뮬레이션의 신뢰도를 검증하기 위해 Table.1 조건으로 FIB 시스템을 이용하여 제작한 나노패턴에 시뮬레이션한 결과를 중첩한 사진이다. 제작한 나노패턴은 시편을 30° 기울여 측정된 단면 사진이므로 시뮬레이션 데이터를 그에 비례하도록 변환하였다. 가공형상, 패턴 깊이, 패턴 간격을 비교하면 가공물의 측정 결과와 시뮬레이션 결과의 최대 유폭오차는 8%이내였다. 이 결과를 통해 FIB 시스템으로 제작한 나노패턴과 시뮬레이션의 가공결과 유사한 것을 알 수 있다.

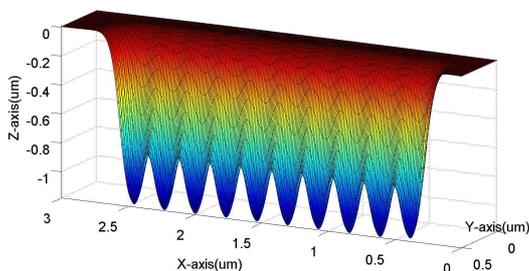


Fig. 2 Result of the simulated 3D nanopattern.

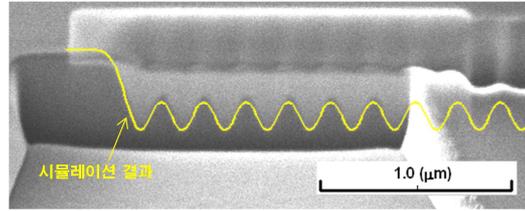


Fig. 3 Results of the experimental and simulated nanopattern fabrication.

### 4. 결론

본 연구에서는 FIB 시스템의 가공형상을 예측하는 포토그래피 시뮬레이션을 제안하였다. 이 시뮬레이션은 가우시안 분포를 따르는 빔 프로파일 모델, 입사각에 따른 스퍼터링률이 달라지는 모델, 재증착 모델, 비정질 구조의 스퍼터링률 모델로 이루어져있다. 시뮬레이션 결과는 실제 FIB 시스템으로 제작한 나노패턴과 비슷한 결과를 나타내어 시뮬레이션의 신뢰도를 증명하였다. 개발된 시뮬레이션은 FIB 시스템으로 제작할 구조물을 예측함으로써 가공 정밀도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### 후기

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

### 참고문헌

1. J. Han, H.W. Lee, B.-K. Min, S.J. Lee, "Prediction of nanopattern topography using two-dimensional focused ion beam milling with beam irradiation intervals," *Microelectron. Eng.* **87**, 1-9, 2010
2. J. Orloff, "Handbook of Charged Particle Optics CRC Press," Boca Raton, FL, 1997.
3. P. Sigmund, "Theory of Sputtering. I. Sputtering Yield of Amorphous and Polycrystalline Targets," *Phys. Rev.* **184**, 383-416, 1969.