

미세 패턴 가공을 위한 다중이온빔 장비의 설계 및 제작 Design and prototyping of multi ion beam system for machining micropattern

*김태곤¹, 김승태¹, #민병권¹, 이상조¹
*T.-G. Kim¹, S. Kim¹, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr)¹, S. J. Lee¹
¹ 연세대학교 기계공학부

Key words : multi ion beam, energy beam, ion beam optics, micropatterning

1. 서론

전자빔 및 이온빔 등 에너지빔을 응용한 가공방법은 전자기 렌즈를 이용하여 빔 사이즈를 작게 할 수 있는 특징으로 마이크로미터 이하의 초미세 가공 방법으로 제안되고 있다. 그 중 이온빔을 이용한 집속이온빔(Focused ion beam, FIB) 공정은 액체금속이온소스(Liquid metal ion source, LMIS)를 이용하여 방출된 이온빔을 정전렌즈를 이용하여 수 nm에서 수백 nm로 집속시켜 재료를 가공하는 공정으로 마이크로미터 이하의 영역을 마스크없이 직접 가공할 수 있고 가공과 동시에 측정을 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 집속이온빔 공정의 장점에도 불구하고 작은 가공영역 때문에 가공속도가 늦어 생산성이 낮은 단점을 가지고 있고 이로 인하여 대량생산공정에 적용되지 못하는 문제를 가지고 있다.

이러한 집속이온빔 공정의 낮은 생산성을 극복하기 위해 다수의 이온빔을 재료 표면에 동시에 조사하는 다중이온빔 장비가 개발되고 있다¹. 다중이온빔 장비는 이온소스에서 방출된 빔을 다중개구를 이용하여 여러 개의 다중빔을 인출시켜 가공하는 장비로 하나의 빔을 사용하는 기존의 집속이온빔 장비와 비교하여 이온빔의 수와 조사 면적을 증가시켜 생산성을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 다중이온빔 장비는 기존의 집속이온빔 장비와는 달리 새로운 광학계의 설계가 필요하다. 기존의 집속이온빔 광학계는 시편 표면에서 이차전자감지기(Secondary electron detector, SED)를 이용하여 초점을 맞추어 가공하지만, 다중이온빔 장비의 경우 복수의 이온빔이 동시에 조사되기 때문에 재료 표면에서의 이차전자신호를 이용할 수 없다. 또한 빔의 조사면적이 단일이온빔 장비에 비해 상대적으로 크고 여러 개의 빔이 동시에 조사되기 때문에 각각의 빔을 균일하게 인출해야 한다.

본 연구에서는 본 연구단에서 설계했던 초점을 조절할 수 있고, 균일한 빔을 인출할 수 있는 다중이온빔 광학계를 이용하여 다중이온빔 장비를 제작하였으며, 제작된 장비를 이용하여 다중이온빔을 인출하여 미세패턴을 가공하였다.

2. 다중이온빔 장비 설계 및 제작

본 연구에서는 다중빔의 초점을 조정하면서 균일하게 인출할 수 있는 광학계를 다구찌 방법을 이용하여 설계하였다.² 그림 1은 설계된 광학계의 개략도이다. 이온소스에서 방출된 이온빔은 다중개구를 통해 다중빔으로 분할되고 다중빔 광학계를 통과하여 가공물 표면에 조사된다. 다중이온빔 광학계는 가공물 표면에서 초점을 맞추기 어렵기 때문에 평행빔을 조사할 수 있는 무한초점방식의 렌즈(afocal-type lens)로 광학계를 설계하였다.³ 광학계를 구성하는 각각의 요소들은 다구찌 방법을 이용하여 공정 잡음에 강건하면서도 고배율의 균일한 빔을 얻을 수 있도록 설계되었다. 광학계의 집속 배율은 첫 번째 렌즈, 빔 중첩부, 두 번째 렌즈의 거리에 따라 결정되며 집 중첩부에 위치한 개구를 이용하여 광학계의 초점을 조정하고 균일한 빔 인출을 위해 광학계를 정렬할 수 있도록 하였다. 광학계의 초점을 조절하는 방법은 집속이온빔과 같이 이차전자신호

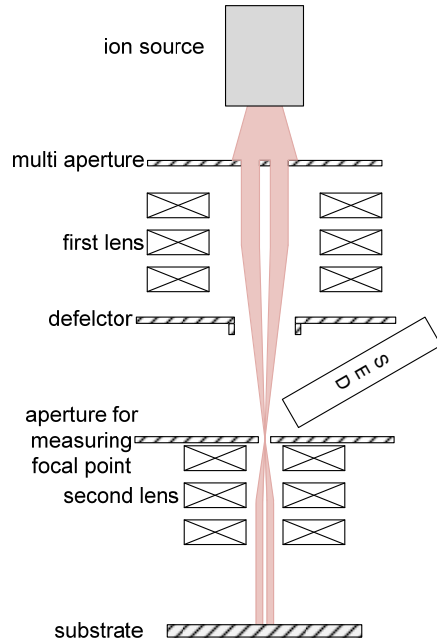


Fig. 1. Schematics of multi ion beam irradiation system

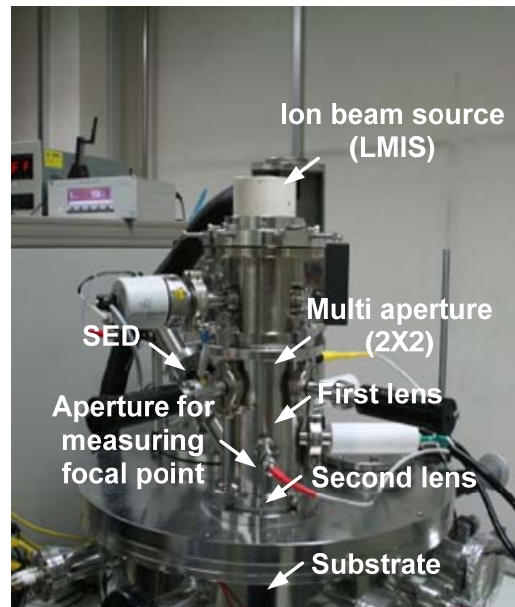


Fig. 2. Fabricated multi ion beam irradiation system and SEM image of multi aperture

를 이용하였으며 이를 위해 첫 번째 렌즈와 두 번째 렌즈 사이에 위치한 개구의 이차전자신호를 받기 위해 디플렉터(deflector)와 이차전자감지기를 설치하였다.

그림 2는 그림 1과 같이 설계된 다중이온빔 장비를 제작한 사진이다. 이온빔 소스는 집속이온빔 장비와 동일한 LMIS를 사용하였으며 2X2의 형상을 가지는 다중개구를 장착하여 4개의 다중빔을 인출할 수 있는 장치를 제작하였다. 그림 2의 내부에 있는 영상은 2X2 다중개구의 전자현미경 사진으로 30μm 두께의 몰리브덴 박판에 직경 50μm

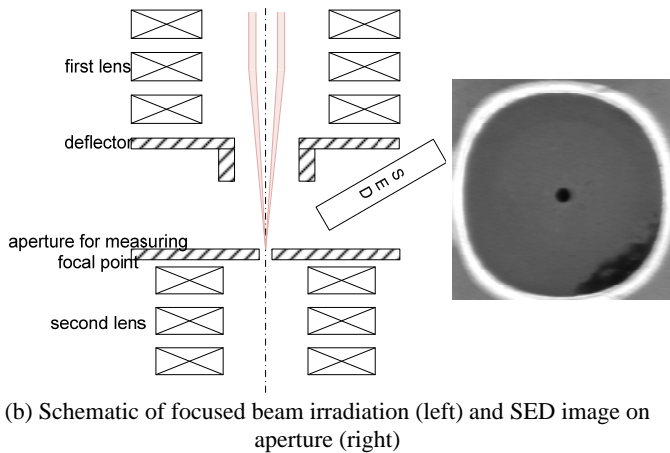
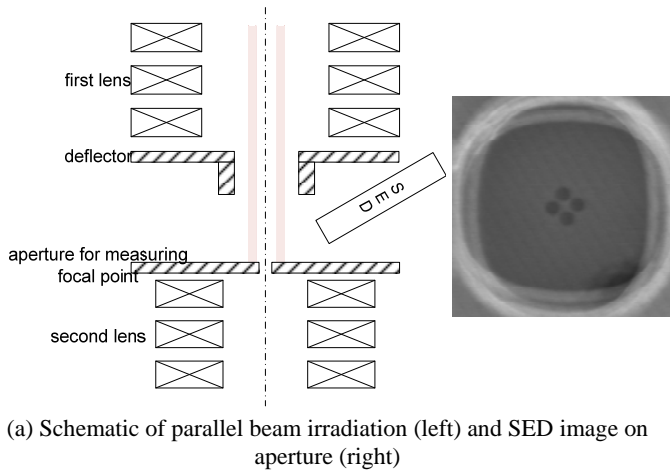


Fig. 3. Focusing method using aperture and SED for designed multi ion beam system

의 홀을 마이크로드릴링공정을 이용하여 제작하였다. 그림 3은 설계된 광학계에서 다중이온빔의 초점을 조정하는 방법을 보여주는 모식도이다. 그림 3의 (a)는 첫 번째 렌즈에 전압이 인가되지 않았을 경우 다중개구를 통과하여 분할된 빔이 평행하게 초점 조정을 위한 개구에 조사되는 모습으로 이때 개구의 이차전자영상은 삽입된 사진과 같다. 실제 개구의 형상은 직경 500 μm 의 단일 홀이지만 4개의 빔이 동시에 조사되면서 4개의 홀 영상이 나타난다. 다중빔의 중심이 홀의 중심과 일치하지 않았을 경우 4개의 홀 영상은 비대칭 형상이 나타나며, 이차전자영상이 대칭 형상이 되도록 이온소스와 다중개구를 조절하면 다중빔의 중심과 광학계의 중심을 맞추어 균일한 빔을 얻을 수 있다. 그림 3의 (b)는 광학계의 중심을 맞춘 후 첫 번째 렌즈에 전압을 인가하여 다중빔을 하나의 빔처럼 집속시킨 모습으로 이때 이차전자영상은 단일이온빔에서의 이차전자영상처럼 하나의 개구를 관찰할 수 있다. 이때 첫 번째 렌즈에 인가한 전압과 같은 전압을 두 번째 렌즈에 인가하면 평행 다중빔을 인출할 수 있다.

3. 다중이온빔을 이용한 패턴 가공

그림 4는 4개의 다중이온빔을 이용하여 가공된 시편의 3차원 측정 영상이다. 재료는 실리콘 웨이퍼이며, 이온소스는 Ga 이온을 사용하였고, 가속 전압은 10kV를 인가하였다. 가공 재료로는 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며 시편에 조사된 전류는 약 120pA였다. 그림 4(a)는 4개의 다중이온빔을 약 25분 동안 실리콘 웨이퍼에 조사하여 가공된 결과이다. 가공된 패턴의 직경은 약 10 μm 이며 깊이는 약 155nm였다. 그림 4(b)는 4개의 스테이지를 이송하면서 다중이온빔을 조사하여 가공된 결과로 63nm/sec의 속도로

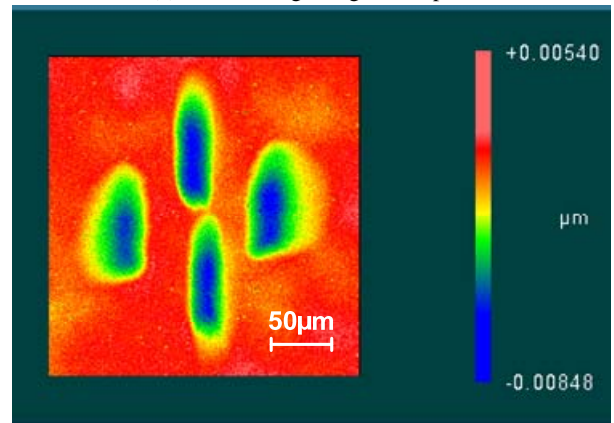
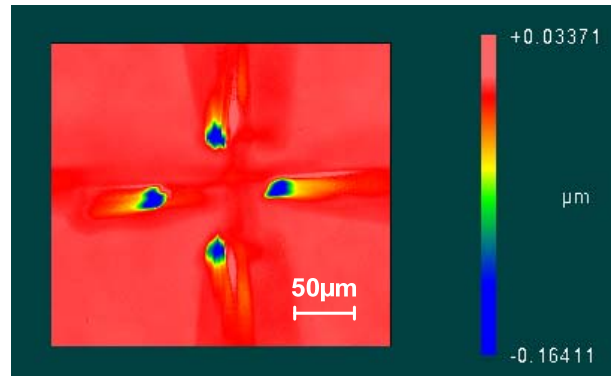


Fig. 4. Machining result using multi ion beam

약 52 μm 를 이송하여 가공하였다. 가공된 패턴의 폭은 약 38 μm 이며, 깊이는 약 7nm였다.

4. 결론

본 연구에서는 설계된 광학계를 이용하여 다중이온빔 장비를 제작하였고, 제작한 장비를 이용하여 미세패턴을 가공하였다. 설계된 광학계는 광학계 중간에 위치한 개구와 이차전자감지기를 이용하여 다중이온빔의 중심을 정렬하고 렌즈의 초점을 조정할 수 있다. 두 번째 렌즈에 첫 번째 렌즈와 같은 전압을 인가하여 평행빔을 인출할 수 있으며 인출된 다중빔을 이용하여 패턴을 가공하였다. 가공 크기는 약 10 μm 로 제작된 광학계의 배율이 설계치와 같게 제작되었음을 알 수 있었다.

후기

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

참고문헌

1. Pease, R. F., "Maskless lithography," *Microelectronic Engineering*, **78-79**, 381-392, 2005.
2. 김연태, 김태곤, 민병권, 이상조, “다구찌방법을 이용한 다중이온빔 광학계의 최적설계”, 한국정밀공학회, 2008년도 춘계 학술대회 논문집, 609-610, 2008.
3. Ulu, M., Sise, O., Dogan, M., "Optimizing the performance of an electron gun design followed by lenses and apertures," *Radiation Physics and Chemistry*, **76**, 636-641, 2007.