

미세가공의 고효율화를 위한 다중 에너지빔 기술 Multi-Energy Beam Technologies for Highly Efficient Nano-machining

#김옥배¹, 박철우¹, 이종항¹, 이석우², 민병권³

[#]W. B. Kim(wkim@kpu.ac.kr)¹, C. W. Park¹, J. H. Lee¹, S. W. Lee², B. K. Min³

¹ 한국산업기술대학교, ² 한국생산기술연구원, ³ 연세대학교 기계공학부

Key words : E-beam, Ion-beam, Multi-beam, Nano-machining, Microscopy

1. 서론

최근에 나노기술 상용화의 급진전 추세에 따라 고부가가치 초미세 부품 제조기술은 수 마이크로에서 수 나노미터의 치수정밀도와 그 이하의 측정정밀도가 필요하게 되었다. IT, 디스플레이용 부품, 나노 광학 및 바이오 부품의 제조기술은 향후 세계적으로 거대한 시장을 형성할 것으로 예측되고 있다. 이에 나노 단위의 가공정밀도를 갖는 나노가공기술에 있어서 기존의 마이크로 머시닝 기술의 한계를 뛰어넘는 신개념의 나노공정장비의 개발 필요성이 절실히 대두되고 있으며, 시장의 규모도 점차 확대되고 있다. 이러한 요구에 대해 고효율 에너지빔을 이용한 기술, 즉 전자빔이나 이온빔을 이용한 SEM(전자현미경), TEM(투과전자현미경), SIMS(이온빔분석기), RBS(러더포드후방산란분석기), FIB(집속이온빔), 전자빔리소장비, 이온빔리소장비는 필수적인 장비이다. 그 중, 전자빔과 이온빔 응용 나노 공정은 나노-마이크로 영역에서의 패터닝, 시스템 제조 및 측정검사에 적절한 특성을 가지고 있으며, 전 세계 시장의 규모도 2007년 22억불에서 2013년 41억불로 예상되어 확장일로에 있다[1]. 그런데 상기장비는 나노 머시닝에 적용하고자할 때, 높은 정밀도를 제공할 수 있는 장점을 가지고 있음에도 불구하고 단일 빔에 의한 공정영역이 충분히 넓지 못하고 공정속도가 빠르지 못하여 머시닝 분야에는 적용이 한정적이다[2]. 그래서 나노임프린트용 금형을 비롯한 각종 초미세 금형제조, 센서 등을 위한 초미세 부품제조 등 대면적, 실용부품제조기술에로의 적용에는 이르지 못하고 있다. 에너지빔을 다중화한다면 가공의 속도증가와 대면적가공을 달성 할 수 있어 나노밀링공정의 throughput을 크게 향상시킬 뿐 아니라 이온빔의 경우에는 3차원형상을 리소그래피 공정없이 가공이 가능하다. 따라서 나노 에너지빔을 이용한 3차원 가공기라는 기술적 성과를 얻을 수 있다. 이에 본 논문에서는 다중 빔의 구현을 위해 전자빔 공정장비와 이온빔 공정장비 기술을 제시하고자 한다.

2. 다중컬럼 전자빔 기술

전자빔 가공기술은 1960년대에 개발된 SEM이 바탕이 되었는데, 전자의 운동에너지를 이용하여 전자를 집속하고 정밀하게 편향시켜 스캔하는 원리에 의해 대상물을 가공한다. 보통 반도체 공정과 같이 전자빔에 의해 노광된 레지스트를 현상, 에칭하여 제품의 마스터를 완성하게 된다. 이 전자빔 가공은 나노크기의 빔 크기를 원하는 패턴에 하나씩 조사하게 되므로 넓은 면적을 빠른시간에 패터닝하는데 한계가 있다[3]. 따라서 공정시간에 무관한 분야에만 활용되고 있으며 공정시간의 단축은 전자빔의 응용범위를 크게 높일 수 있다. 그러므로 전자빔의 조사가공에서 빔 조사량을 늘이는 방법으로 기존의 단일 전자빔 컬럼을 소형화하고 이를 다채널화하는 기술을 개발하고자 하였다(Fig.1). 마이크로 컬럼은 기존 전자빔 컬럼 직경을 수십 mm이하로 최소화하

여 광학수차를 억제하고 저전압으로 구동하여도 고밀도의 전류 밀도를 얻을수 있는 장점이 있다. 무엇보다 소형이며 경량화된 구조는 다채널화가 가능하고 샘플전류값이 일반적인 SEM보다 약10~100배 정도 높기 때문에 생산성을 높일수 있다.

다중 소형컬럼 전자빔에 의한 고효율 가공 및 측정시스템을 구축하기 위해서는 Fig. 2와 같은 기술이 요구된다. 우선 소형컬럼 제작기술로서 수십 mm직경 정도의 컬럼을 제작하기 위해서 그에 적절한 전자빔 방출부와 제어부의 소형화가 필요하다. 이 때, field emission tip, source lens, deflector, Einzel lens 시스템의 전자빔 방출특성의 최적화를 유지해야하며, 이를 위해 전자빔 거동해석을 병행하여 진행한다. 특히 렌즈설계시에는 빔경의 소형화 이외에도 고전압화, 장시간안정성, 수차최소화, 고속제어를 위한 고속 블랭커 성능 개선이 주요 변수가 되며, 실제 컬럼 조립시에 얼라인먼트 오차의 최소화 기술이 필요하다. 또한 소형컬럼 전자빔의 방출특성을 최적화에 아울러 다중빔용 빔 특성 측정알고리즘이 개발되어야하며 이를 바탕으로 실제의 다중컬럼 전자빔 시스템을 개발한다. 다중전자빔 시스템에서의 가공특성을 분석하기 위해 가공공정에 관한 조건 및 특성개발 역시 필요하다. Fig. 3은 마이크로 ECM으로 제작된 FE tip과 silicon Einzel lens의 사진이며 컬럼내 시스템의 구성(해석모델)과 소형컬럼의 외형을 Fig. 4에 나타내었다. 다중이온빔 가공 및 측정장비로서의 최종 목표사양은 최소빔크기 20nm 이하, 다중빔수는 10개 이상, 전자빔에 의한 패턴최소선폭은 30nm이하를 목표로 하고 있다.

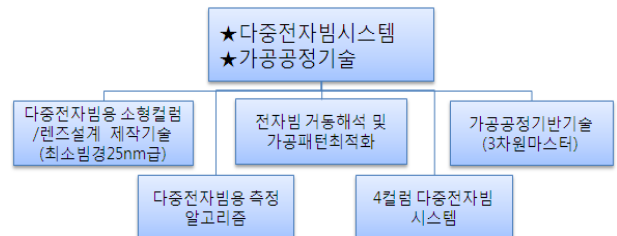


Fig. 2 Technologies for multi-electron beam machining system

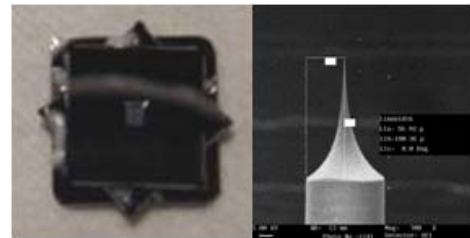


Fig. 3 Silicon einzel lens and FE tip

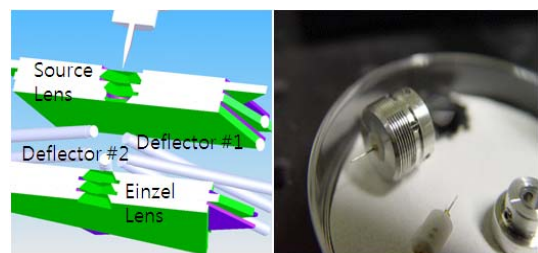


Fig. 4 Structure of small e-beam column and photograph

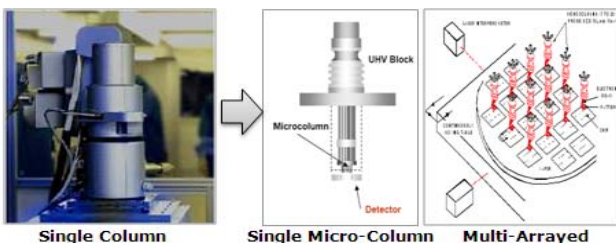


Fig. 1 Arrayed micro-column of electron beam

3. 다중개구 이온빔 기술

집속이온빔장치는 금속 이온을 가속하여 방출한 후에 집속시켜서 시료에 충돌하는 방법을 통하여 시료의 미세형상이나 절단면을 확인하는 장치로 사용되었으며 최근에는 미세가공영역에 응용이 확대되고 있다. 그 방법으로서 크게 에칭과 증착의 2가지 방법이 있다. 에칭은 가속된 이온에 의한 스퍼터링으로 재료를 제거하며, 증착은 가속된 이온에너지를 전달받은 증착가스에 의해 화학적 기상증착법을 통해 이루어진다.

기존의 이온빔 에칭 가공법은 단일 에너지빔을 정밀하게 제어하여 스캔하는 방식으로서 부품 양산에 적용하기에는 공정의 속도가 더디기 때문에 실제 생산장비로서는 적용되지 못하고 있다. 즉 가공시 속도의 영향이 적은 측정을 위한 재료단면절단, TEM 시편의 제작 등 측정분야와 마스크의 부분 수정등에 제한적으로 이용되어 왔다. 따라서 전자빔과 더불어 Fig. 5와 같이 이온빔을 다중화 할 수 있다면 초정밀 및 고속 생산성을 확보할 수 있다. 이를 위해 필요한 기술을 Fig. 6과 같이 정리할 수 있다.

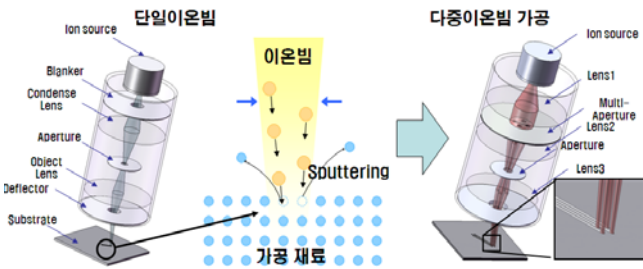


Fig. 5 Schematic of multi-ion beam column

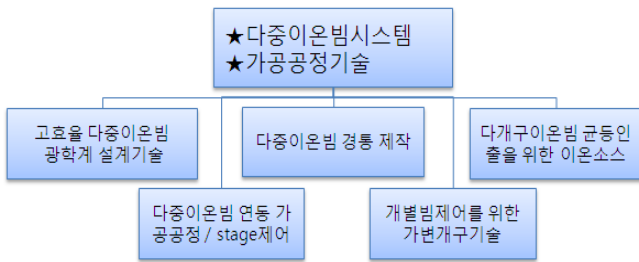


Fig. 6 Technologies for multi-ion beam machining system

다중이온빔 활용을 위한 핵심은 적절한 이온소스의 활용과 광학계 설계/제작기술, 그리고 공정제어기술이라 할 수 있다. 다중빔용 광학계는 Einzel 정전렌즈를 사용하는데, 2개의 정전렌즈, 개구, 블랭커, 스티그메터, 디플렉터 등으로 구성한다. 이들 구성요소는 기존의 것과 대동소이하나 다중빔 각각에 대해 각자의 역할을 수행하여야하므로 다중빔을 원활히 제어할 수 있도록 설계되어야한다. 특히 다중빔을 대면적에 조사할 때 초점을 조정하는 기술은 기존의 이온빔 장비에 전무하였고 현재 새로운 개념을 도입하고자 연구가 진행 중이다. 광학계 설계에 따라서 다중빔용 경통제작에 있어서도 설계를 뒷받침하는 조정, 조립방법의 뒷받침이 필요하다[4].

기존 이온빔 발생장치와 비교하여 차이가 있는 또 하나의 부분이 이온소스이다. 다중 이온빔을 얻기 위해서는 낮은 에너지 퍼짐과 넓은 방출영역을 얻을 수 있는 가스이온원이 에너지원으로서 바람직하다고 판단되며, 그것에 의해 다중개구에 의한 빔 발생시 빔간 편차를 줄일 수 있다. 다중 개구 역시 기존 이온빔 발생장치에서와 차별화되는 핵심으로서 LMIS기반에서는 단일 tip방출-다중개구통과, 다중tip-다중개구개별 통과 방식을 이용할 수 있고, 가스이온소스에서는 개구크기가 축소될수록 빔의 방출이 어려워지므로 플라즈마 생성지역을 넓히는 등 적절한 보완이 이루어져야한다. 가스이온원으로서의 에너지방출량과 수명 등에서 각기 차이가 있는 penning type과 RF type을 사용할 수 있다 (Fig.7).

아울러 가공프로세스에 있어서도 다중빔의 제어는 어려운

부분이 많다. 이온빔 장비의 영상획득은 빔 조사후에 발생하는 2차전자를 각 픽셀마다 수집해서 전하의 양을 명암으로 변환하여 나타내게 되는데 대면적에 조사된 다중이온빔에 의한 전하수집-영상변환의 과정은 단일 빔에서의 과정에 비해 어려우므로 개선된 영상획득 장치를 필요로 한다. Fig.8은 시험 중인 액체-금속이온소스에 대해서 직경 100um인 2X1개구를 위해 몰리브덴을 가공하여 개구로서 사용하였을 때, 관측된 2개 빔의 전류프로파일을 스캔한 결과이다. 다중이온빔 시스템의 최종목표사양으로 개구수는 10x10이상, 개별동조가 가능한 개구의 크기는 25um미만, 다중빔의 해상도는 0.5um, 다중빔의 동시조사면적은 15x15um이다.

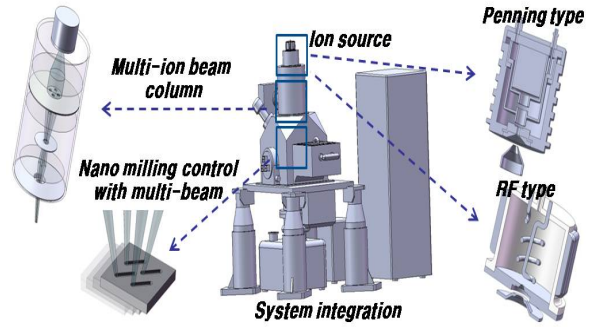


Fig. 7 Gas-on source-based multi-ion beam column

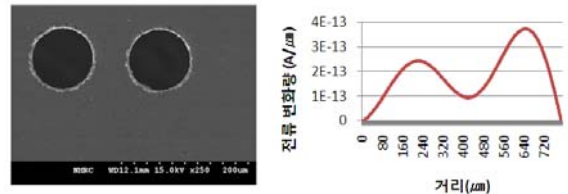


Fig. 8 2X1 aperture and profile of dual beam

4. 결론

에너지빔 발생장비 기술 및 공정기술은 초미세 부품제조에 반드시 필요한 분야이며 동 분야의 수요와 요건을 감안할 때 그 필요성이 증대할 것으로 예측되고 있다. 특히 에너지빔 발생장치가 대형, 대면적 부품의 나노가공 및 패터닝에 적용가능하다면 고속, 고생산성의 매우 효율적인 생산기술이 될 수 있다. 다중 빔을 위한 광학계 설계 및 제작기술개발, 에너지 소스의 개발, 가공공정개발은 동 분야의 핵심 연구분야이다. 각종 조사결과, 동분야는 기존 해외개발기업들도 최근에 특허를 출원하고 있고 연구소에서도 기초연구에 착수하고 있는 만큼 연구개발의 경쟁력 강화가 요구되고 있으며 관련 연구의 활성화가 기대되는 시점이다.

후기

본 연구는 지식경제부 차세대신기술개발사업 “고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발”의 지원으로 수행되었습.

참고문헌

1. Microscopy markets, TriMark Publicaton, July 2008.
2. 강은구, 최병열, 홍원표, 이석우, 최현중, “FIB-sputtering 가공공정기술 및 응용분야연구”, 한국정밀공학회지, Vol.25, No.3, 23-31
3. 김재구, 이재중, 조성학, 최두선, 이응숙, “전자빔 응용 나노가공기술”, 한국정밀공학회지, Vol.25, No.3, 7-12
4. 이희원, 한진, 민병권, 이상조, “마이크로-나노 가공을 위한 집속이온빔 공정시뮬레이션”, 한국정밀공학회지, Vol.25, No.3, 44-49
5. 고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발에 관한 산업분석, 2007.6 산업자원부.