

진공용 나노스테이지 개발

홍원표*, 강은구+, 이석우+, 최헌종+

Development of Nano Stage for Ultra High Vacuum

Won-Pyo Hong*, Eun-Goo Kang+, Seok-Woo Lee+, Hon-Zong Choi+

Abstract

Miniaturization is the central theme in modern fabrication technology. Many of the components used in modern products are becoming smaller and smaller. The direct write FIB technology has several advantages over contemporary micromachining technology, including better feature resolution with low lateral scattering and capability of maskless fabrication. Therefore, the application of focused ion beam(FIB) technology in micro fabricaton has beome increasingly popular. In recent model of FIB, however the feeding system has been a very coarse resolution of about a few μm . It is not unsuitable to the sputtering and the deposition to make the high-precision structure in micro or macro scale.

Our research is the development of nano stage of 200mm strokes and 10nm resolutions. Also, this stage should be effectively operating in ultra high vacuum of about 1×10^{-5} pa. This paper presents the concept of nano stages and the discussion of the material treatment for ultra high vacuum.

Key Words : Nano Stage, FIB(Focused Ion Beam), Ultra High Vacuum, material treatment

1. 서론

최근 대두하고 있는 NT, IT, BT 등 소위 신기술의 경향은 크게 극미세화, 극초정밀화로 요약할 수 있으며, 이의 신산업 시장이 형성됨에 따라 이들 제품을

생산 및 가공할 수 있는 극미세/극초정밀 가공 장비의 사용 여부가 향후 국가 경쟁력 확보의 핵심요소가 될 것으로 예상하고 있다. 또한, 전자 산업이 기계 산업과 불가분의 관계를 가지게 되면서 컴퓨터를 이용한 고속 생산성, 고속도가 요구되는 극미세/극초정

* 발표자, 한국생산기술연구원(wonpyodr@kitech.re.kr)

주소: 충남 천안시 입장면 홍천리 35-3

+ 한국생산기술연구원 나노가공팀

밀 기계-전자부품을 생산하기 위해서 기계설비 및 산업 장비의 자동제어가 이루어지고 있다.

특히 정밀 가공, 정밀 제어, 정밀 계측 등의 분야에서는 고정도, 고발생력, 고변위의 요구사항이 적절히 조합되어 필요로 하는 기능을 원활히 수행할 수 있는 정밀 위치 이송 구동부 및 부품 조작용이 필수적으로 요구되며 그 수요가 급증하고 있는 추세이다. 특히 초정밀 기계와 리소그래퍼, 스테퍼 등의 반도체 제조 장비에 적용하기 위한 나노이송계의 개발이 요구되고 있다.

수백mm 정도의 긴 변위의 이송계에 나노수준의 분해능을 갖기 위한 방법 중의 하나로 coarse 스테이지와 fine 스테이지를 동시에 구동하는 방식이 많은 연구자에 의해 연구되어 졌다.[1-3] coarse 스테이지는 수 마이크로 정도의 정밀도를 가지며, 수백mm 정도의 스트로크가 구동가능 하게 제작된다. 반면 fine 스테이지는 수백nm 정도의 정밀도를 가지며 수십 μ m 정도의 스트로크로 제작되어 진다. 이 처럼 두 개의 스테이지를 동시에 구동하기 위해서는 하드웨어적인 문제해결 뿐만 아니라 적절한 제어알고리즘 개발이 필요하다. Sakuta et al.[1]는 마찰구동기와 PZT 액츄에이터로 구동되는 듀얼 서보 메카니즘을 연구하였다. PZT액츄에이터는 마찰 구동부의 슬라이드면에 부착되었으며, 인치웸 구동방식을 이용한 정밀 위치제어가 수행되었다. Okazaki et al.[2]는 fine/coarse 서보 시스템을 이용하여 정밀위치결정 시스템을 구성하였으며, 레이저 인터페로미터와 갭센서를 이용한 피드백을 수행하였다. 서보시스템의 제어방식은 스트로크와 주파수 대역에 따라 분할하여 제어가 수행되어 진다. Lee and Kim[3]은 듀얼 서보 스테이지를 제작하였으며, 구성은 3축의 리니어 모터에 의한 대변위 이송과 3축의 PZT에 의한 미세 이송부로 되어 있다. 또한 이 시스템의 제어알고리즘은 PID를 이용하였다.

또한 본 과제에서 제작되는 나노스테이지는 10^{-7} torr 정도의 초고진공 내에서 작동되어 진다. 따라서 스테이지의 재료선정 및 가공 표면에 대한 표면 처리 기술 그리고 가공시 남아있는 잔유물 등의 세정이 특히 중요하다. 이에 진공 재료 및 표면 처리 기술 그리고 세정기술에 대한 개략적인 기술을 조사하여 정리하였다.

2. FIB 장비 소개

본 연구에서 개발되는 초진공용 나노이송계 및 미니플레이터를 최종적으로 적용 시험하기 위한 장비를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1은 챔버내에 있는 X, Y, Z, Tilting과 회전축에 대한 모터 및 스테이지 사진을 나타내고 있다. 본 장비는 회전 모터만 제외하고 모두 대기중에 노출이 되어 있으며, 그 동력 전달력은 많은 기어를 이용하여 전달되고 있다. 따라서 백래쉬 등의 다양한 오차가 수반되어 원하는 나노정밀도를 가지기 어렵다. Fig. 2는 시편(대부분 웨이퍼)이 진공 챔버내로 들어가기 위해 보다 효과적인 진공유지를 위한 load-lock장치 및 웨이퍼가 장착될 수 있는 시편전달 장치에 대한 사진이다. load-lock 장치는 시편이 자주 바뀌어 배출이 종종 필요할 경우 진공유지를 위해 필요로 하게 된다. Table 1은 이온의 집속 또는 수차제거 등에 관한 사양을 나타내었다. 이온 소스들 Ga+를 이용하고 있으며, 렌즈는 상하 두 개를 가지고 있다. 또한 하부에 있는 aperture는 5개의 직경으로 자동조절이 가능하며, 배율은 80,000배 까지 가능하다. 최소 분해능은 0.03 μ m정도이며, 그 때의 적정가속도는 30keV 이다.

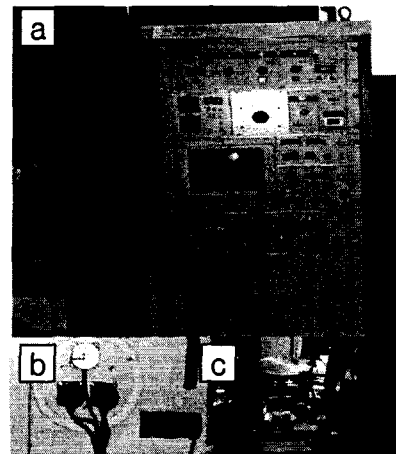


Fig. 1 Photograph of controller and motor (a : Controller and Jog, b : X, Y, Z, Tilting Motor, c : Rotating Motor)

3. 초진공용 나노 스테이지 제작

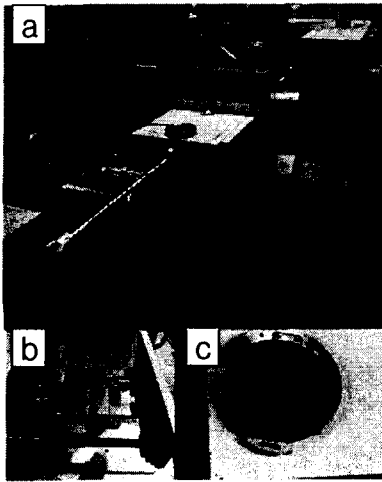


Fig. 2 Load-lock and sample stage
(a : Sub-chamber, b : feeding unit of sample table, c : Sample table with 8" wafer)

Table 1은 이송스테이지 관련 사항을 나타내고 있으며, 분해능은 수백 μm 정도이다. Table 2는 진공 챔버 내의 진공펌프 관련 사항으로 $10^{-7} - 10^{-8}$ torr 정도의 진공도의 유지가 가능하다.

Table 1 Specifications of sample drive system

	Stroke	Resolution	Max. Feedrate
X	200mm	0.125 $\mu\text{m}/\text{step}$	5mm/sec
Y	200mm	0.125 $\mu\text{m}/\text{step}$	5mm/sec
Z	20mm	0.5 $\mu\text{m}/\text{step}$	2.5mm/sec
θ	360 $^{\circ}$	0.0013 $^{\circ}/\text{step}$	
T	60 $^{\circ}$	0.0001 $^{\circ}/\text{step}$	

Table 2 Specifications of evacuation ventilation system

Ultimate Vacuum	Main Chamber	5 $\times 10^{-7}$ torr or less (3 $\times 10^{-7}$ torr or less using liquid N ₂ trap)
	Ion Chamber	5 $\times 10^{-7}$ torr or less
	Electron Gun Chamber	1 $\times 10^{-8}$ torr or less(SE)
	Sub Chamber	5 $\times 10^{-6}$ torr or less

본 연구의 최종 목표는 집속도 10nm이하 이온빔 이용 장비의 5축 나노스테이지 및 부품 조작 기구부를 개발함으로써 향후 NT, IT, BT, ET, ST 분야의 극미세/극초정밀 제품의 제조가능하며, 또한 이온 빔 이용 나노 가공 및 측정 장비의 구축에 적용하고자 한다.

1단계의 연구 목표는 집속도 100nm이하 이온빔 이용 나노가공용 장비의 3축 나노스테이지 개발을 위한 이송 및 구동부를 설계 및 제작하고자 한다. 특히, 진공, 진동 및 열적인 특성을 고려한 설계가 이루어지며, 이송계의 특징으로는 대변위의 나노정밀도를 가지는 특징이 있다. 이를 위해서는 마이크로정도의 대변위를 갖는 이송계와 나노정도의 미세변위 이송부를 결합하여 동작하는 듀얼 서보 액츄에이터 방식을 취하고자 한다. 따라서 제반적인 구조 관련 요소의 설계 기술 및 제작기술 그리고 제어기술을 습득하며, 특히, 초고진공용 요소부품 제작기술과, 진공용 초정밀 매니플레이터를 위한 메카니즘을 개발하고자 한다. 또한 나노 스테이지 미세구동에 적합한 기본형상(적층형)의 액츄에이터에 대한 설계 및 제작기술을 개발하고자 한다.

현재 1단계는 향후 2단계에서 구성될 Prototype을 위한 선행 연구 단계이며 다음과 같은 세부연구 분야로 구성된다.

- 30nm 정밀도급 3축 나노 스테이지 설계/제작
- 진공용 초정밀 매니플레이터의 메카니즘 개발
- 나노 스테이지 미세이동 조정용 적층 액츄에이터 및 구동부 개발
- 3축 나노 스테이지 모션 제어 기술 개발
- 나노 스테이지 및 매니플레이터의 인터페이스 및 운용 S/W 설계

Fig. 3은 개발될 대략적인 3축이송계에 대한 개념도이며, Z축의 안정성을 유지하기위해 양측구동 방식을 채택하였으며, 향후 추가될 회전 및 틸트 구동부를 고려하여 설계하였다. Table 3은 개발될 대변위 이송부 및 나노이송부에 대한 대략적인 사양을 나타내었으며, 대변위의 경우 분해능이 대략 0.1 μm 정도이며, 나노 이송부는 대략 1nm정도를 가지도록 제작하고자 한다.

밀 기계-전자부품을 생산하기 위해서 기계설비 및 산업 장비의 자동제어가 이루어지고 있다.

특히 정밀 가공, 정밀 제어, 정밀 계측 등의 분야에서는 고정도, 고발생력, 고변위의 요구사항이 적절히 조합되어 필요로 하는 기능을 원활히 수행할 수 있는 정밀 위치 이송 구동부 및 부품 조작용이 필수적으로 요구되며 그 수요가 급증하고 있는 추세이다. 특히 초정밀 기계와 리소그래퍼, 스테퍼 등의 반도체 제조 장비에 적용하기 위한 나노이송계의 개발이 요구되고 있다.

수백mm 정도의 긴 변위의 이송계에 나노수준의 분해능을 갖기 위한 방법 중의 하나로 coarse 스테이지와 fine 스테이지를 동시에 구동하는 방식이 많은 연구자에 의해 연구되어 졌다.[1-3] coarse 스테이지는 수 마이크로 정도의 정밀도를 가지며, 수백mm 정도의 스트로크가 구동가능 하게 제작된다. 반면 fine 스테이지는 수백nm 정도의 정밀도를 가지며 수십 μ m 정도의 스트로크로 제작되어 진다. 이 처럼 두 개의 스테이지를 동시에 구동하기 위해서는 하드웨어적인 문제해결 뿐만 아니라 적절한 제어알고리즘 개발이 필요하다. Sakuta et al.[1]는 마찰구동기와 PZT 액츄에이터로 구동되는 듀얼 서보 메카니즘을 연구하였다. PZT액츄에이터는 마찰 구동부의 슬라이드면에 부착되었으며, 인치웸 구동방식을 이용한 정밀 위치제어가 수행되었다. Okazaki et al.[2]는 fine/coarse 서보 시스템을 이용하여 정밀위치결정 시스템을 구성하였으며, 레이저 인터페로미터와 갭센서를 이용한 피드백을 수행하였다. 서보시스템의 제어방식은 스트로크와 주파수 대역에 따라 분할하여 제어가 수행되어 진다. Lee and Kim[3]은 듀얼 서보 스테이지를 제작하였으며, 구성은 3축의 리니어 모터에 의한 대변위 이송과 3축의 PZT에 의한 미세 이송부로 되어 있다. 또한 이 시스템의 제어알고리즘은 PID를 이용하였다.

또한 본 과제에서 제작되는 나노스테이지는 10^{-7} torr 정도의 초고진공 내에서 작동되어진다. 따라서 스테이지의 재료선정 및 가공 표면에 대한 표면 처리 기술 그리고 가공시 남아있는 잔유물 등의 세정이 특히 중요하다. 이에 진공 재료 및 표면 처리 기술 그리고 세정기술에 대한 개략적인 기술을 조사하여 정리하였다.

2. FIB 장비 소개

본 연구에서 개발되는 초진공용 나노이송계 및 미니플레이터를 최종적으로 적용 시험하기 위한 장비를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1은 챔버내에 있는 X, Y, Z, Tilting과 회전축에 대한 모터 및 스테이지 사진을 나타내고 있다. 본 장비는 회전 모터만 제외하고 모두 대기중에 노출이 되어 있으며, 그 동력 전달력은 많은 기어를 이용하여 전달되고 있다. 따라서 백래쉬 등의 다양한 오차가 수반되어 원하는 나노정밀도를 가지기 어렵다. Fig. 2는 시편(대부분 웨이퍼)이 진공 챔버내로 들어가기 위해 보다 효과적인 진공유지를 위한 load-lock장치 및 웨이퍼가 장착될 수 있는 시편전달 장치에 대한 사진이다. load-lock 장치는 시편이 자주 바뀌어 배출이 종종 필요할 경우 진공유지를 위해 필요로 하게 된다. Table 1은 이온의 집속 또는 수차제거 등에 관한 사양을 나타내었다. 이온 소스들 Ga⁺를 이용하고 있으며, 렌즈는 상하 두 개를 가지고 있다. 또한 하부에 있는 aperture는 5개의 직경으로 자동조절이 가능하며, 배율은 80,000배 까지 가능하다. 최소 분해능은 0.03 μ m정도이며, 그 때의 적정가속도는 30keV 이다.

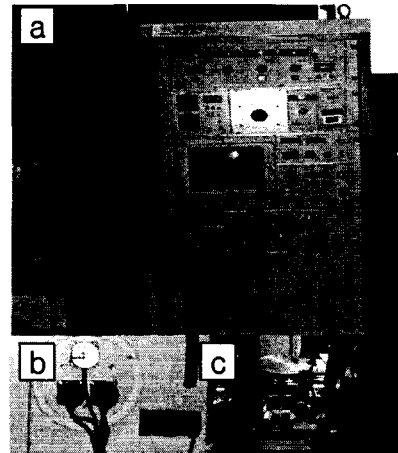


Fig. 1 Photograph of controller and motor (a : Controller and Jog, b : X, Y, Z, Tilting Motor, c : Rotating Motor)

따라서 알루미늄 합금재료는 매우활성이 높은 금속이어서 대기 중의 산소, 특히 수분과는 순식간에 반응하기 때문에 두꺼운 산화층이 형성되고 많은 기체흡착이 일어난다. 그리고 티타늄(TiN)재료는 진공부품으로 유용성이 높다는 것을 알지만 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다.

결국 향후 제작될 나노스테이지의 재료로는 진공만을 고려할 경우 스테인리스강이 좀더 유리한 것처럼 보인다. 그러나 이송계의 경우 이송부하가 작을수록 유리한 특성을 보이므로 이를 충분히 검토하여 알루미늄이나 스테인레스 강을 제작에 이용하고자한다.

스테인리스강의 표면처리방법으로는 세정과 표면평탄화를 겸한 화학연마(chemical polishing)가 널리 활용되고 또한 초고진공 용기에서는 전해연마(electro-polishing:EP)가 거의 필수적으로 시행되며, 전해연마 처리결과 2×10^{-9} Pa의 진공을 얻을 수 있다.

그리고 재료내부에 용해되어 있는 수소량을 감소시키기 위한 진공고온가열(vacuum firing)도 널리 이용되며, 가장광범위하게 사용하는 것은 가열 탈기체 처리(baking)하는 것이다. 이밖에 스테인리스 강 자체의 청정도가 기체방출률에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 재료의 용존기체나 비금속 개재물의 양을 매우 낮은 초청정 강을 만들거나, 표면에 크롬 산화막을 생성시켜 기체방출을 감소시키는 연구가 진행되고 있다.

진공재료의 세정은 표면에서의 기체방출을 최소화하기 위함으로, 세정은 그리스 및 절삭유와 같은 표면의 오염을 비롯해 흡착된 탄화수소와 불순물 원소, 또는 산소나 황과 같은 반응성 원소와의 화합물 등을 제거하는 것이다.

세정공정은 습식세정(wet cleaning)과 건식세정(dry cleaning)로 구분되며 화학세정은 습식세정의 대표적인 방법이며, 화학약품 조에 부품을 담가 초음파나 공기 폭기(air bubbling)를 사용해 오염물질을 제거하는 방법이다.

건식세정은 용기 내에 산화질소(NO), 산소(O₂), 오존(O₃)과 같은 반응성 기체를 채워 200℃ 정도로 가열하거나, 재료를 고진공에서 800℃ 이상의 고온으로 가열(vacuum firing)하거나, 플라즈마를 발생하고 플라즈마 입자에 의한 출격탈리(stimulated desorption)를 이용해 오염물질을 제거하는 방법이다.

세정은 그 효과도 중요하지만 환경친화적이며 효율

적인 하수처리가 가능한 세정제를 사용하는 것이 점차 중요해지고 있다.

4. 결론

본 연구의 최종 목표는 집속도 10nm이하 이온빔 이용 장비의 5축 나노스테이지 및 부품 조작 기구부를 개발함으로써 향후 NT, IT, BT, ET, ST 분야의 극미세/극초정밀 제품의 제조가능하며, 또한 이온 빔 이용 나노 가공 및 측정 장비의 구축에 적용하고자 한다. 세부적인 목표로는 200mm의 스트로크를 가지며 10nm이하의 분해능을 가지는 초진공용 나노스테이지의 제작이다. 이를 위해 시제품의 개념도를 완성하였으며, 제품제작에 필요한 주변 부품선정을 수행 중이다. 또한 제품제작을 위한 재료선정 및 표면 처리방법을 향후 적절히 고려하여 설계 및 제작의 완성도를 높이고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업 “이온빔 이용 나노가공용 장비 개발” 과제의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) S. Sakuta, K. Okawa, K. Ueda, 1993, "Experimental studies on ultra-precision positioning positioning—an inchworm movement method using and coarse positionings", *Int. J. Japan Soc. Prec. Eng.*, 27 (3), pp. 235~240
- (2) Y. Okazaki, S. Asano, T. Goto, 1993, "Dual-servo mechanical stage or continuous positioning", *Int. J. Japan Soc. Prec. Eng.*, 27. (2), pp. 172~173
- (3) C.W. Lee, S.W. Kim, 1997, "An ultraprecision stage for alignment of wafers in advanced microlithography", *precision Engineering*, 21, pp. 113~122
- (4) H. J. Pakk, D. Sung Lee, J. H. Park, 2001, "Ultra precision positioning system for servo motor—piezo actuator using the dual servo loop and digital

- filter implementation", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41, pp. 51~63
- (5) A. Woronko, J Huang, Huang, Y. Altintas, 2003, "piezoelectric tool actuator for precision machining on conventional CNC turning centers", *Precision Engineering*, 27, pp. 335~345
- (6) M. Sasaki, T. Suzuki, E Ida, F. Fujisawa, M. Kobayashi, H. Hirai, 1998, "Track-following control of a dual-stage hard disk drive using a neuro-control system", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* , 11, pp. 707~716
- (7) Y. Li, R. Horowitz, 2002, "Design and testing of track-following controllers for dual-stage servo systems with PZT actuated suspensions", *Microsystem Technologies* ,8 , pp.194~205
- (8) H. liu, B. Lu, Y Ding, Y. Tang, D. Li, 2003, "A motor-piezo actuator for nano-scale positioning based on dual servo loop and nonlinearity compensation", *J. Micromech. Microeng.* 13, pp. 295~299