

진공용 나노스테이지의 열변형 및 진공챔버 해석기술 연구 FEM Analysis of Thermal Deformation of High Vacuum Stage and Structural Deformation of Vacuum Chamber

*#강은구, 홍원표, 이상무, 남경태, 이석우

**E.G.Kang(egkang@kitech.re.kr), W. P. Hong, S. M Lee, G.T. Nam and S. W. Lee
한국생산기술연구원

Key words : Nano Stage, High Vacuum, Thermal Deformation, Vacuum Chamber FEM Analysis

1. 서론

현재 국내의 반도체 산업의 경우 후 공정 기술 분야에 있어서는 세계의 대표적인 선진국들과 어깨를 나란히 하고 있지만, 전 공정에 필요한 기술 및 장비는 대부분 수입에 의존하고 있다. 이러한 반도체 장비의 경우는 현재 수nm의 고정밀도를 요구하고 있으며, 특히 향후 EUV 등의 시장을 대비한 고진공 스테이지에 대한 연구가 진행 중에 있다. 이러한 고진공 환경은 현재 가공공정의 도구로 광자빔, 전자빔 또는 이온빔 등이 사용되고 있으며, 이때 발생할 수 있는 공기와의 산란과 동시에 가공물의 오염 방지 등의 원인을 제거하기 위해 사용되어 진다.

본 연구는 전자빔 및 이온빔에 적용하기 위한 진공용 나노스테이지를 개발하기 위한 기본 연구로서, 현재 주로 많이 사용되고 있으며, 쉽게 생각될 수 있는 구조로 단축 스테이지 2조를 개발하여 X/Y축으로 구성하여 사용하는 방식에 대한 자중 해석과 열변형 해석시의 특성을 분석하고자 하였다. 해석 시 진공환경 조건을 고려하였으며, 진공 시 발생하는 열전달 특성 중 최종 열변형량 특성에 관심을 두고자 하였다. 진공 챔버의 경우 10^{-6} Torr 부가시 압력에 따른 구조 변형 해석을 실시하였다. 이는 스테이지와 전자빔 및 이온빔 칼럼부의 정밀도와 안정도에 관련된 사항이다. 따라서 본 연구를 통해 향후 고진공 나노 스테이지와 고진공 챔버의 설계 및 제작에 활용하고자 하였다.

2. 스테이지 구조의 열변형 해석

본 연구의 최종 목표는 전자빔 또는 이온빔 가공 및 측정 장비에 사용하기 위한 수nm의 분해능과 10^{-6} Torr의 고진공도 조건을 만족하는 나노스테이지의 개발 및 주변장치 제작에 관련되어 있다. 따라서 전자빔 및 이온빔에 영향을 끼치지 않는 전자기장 영향을 최소화 시킬 수 있는 스테이지의 구조를 택하고자 하였다. 또한 전자기장적 영향과 열적 영향을 최소화 하기 위해 볼스크류 방식을 채용하였으며, 진공환경에서의 제약조건 때문에 기계적 가이드 방식을 채용하고자 하였다. 그리고 재료는 알루미늄과 스테인레스 계통의 재료를 주로 사용하였다.

우선 스테이지의 구조적 개념 설계를 진행하기 위해 현재 많이 알려진 단축 스테이지를 수직으로 쌓아 X/Y축으로 구성하는 방식에 대한 자중 및 열변형 특성을 살펴보고자 하였다. 본 연구의 목표인 수nm의 달성을 위해 최종적으로 듀얼 스테이지의 구성이 예상되나 자중 및 열특성에 대한 구조적 개념 분석의 경우, 듀얼 서보의 정확한 구성이 배제된다 할지라도 큰 차이는 없을 것으로 판단되어 이에 대한 부분은 배제되었다. 해석 프로그램은 ANSYS 8.0이 사용되었으며, 알루미늄과 스테인레스 재료에 대한 물성치가 사용되었다. 또한 열해석의 경우, 진공내에서 발생하는 표면 열 방사와 열전도도가 고려되어 해석이 수행되었다.

Fig. 1은 자중에 의한 스테이지의 변형 해석 결과이다. 변형 해석 결과 최대 $0.7\mu\text{m}$ 로 예측되었으며, 위쪽 스테이지가 특히 변형이 큼을 알 수 있다. Fig. 2는 진공내의 열변형 해석 결과를 나타내고 있다. 열변형 해석 결과 최대 $230\mu\text{m}$ 의 변형이 예상된다.

해석시 온도조건은 사용된 모터를 1시간 지속 구동시 모터온도가 60도가 측정되었으며, 이때의 온도를 사용하여 해석에 반영되었다. Fig.2에서 보면 1번 부분은 스테이지 상면의 법선 방향으로 최대 변형 부분이며, 5번 부분은 모터부분으로 두 부분의 변형량을 비교해 볼 때 양쪽이 위로 올라간 모양을 이루고 있다. 또한 2번 부위가 3번 부위와 4번 부위보다 높은 것을 감안해 볼 때 아래 축 스테이지는 볼록하게 약간 들어 올려진 형태의 구조해석결과를 얻을 수 있었다. 따라서 상기 구조를 진공용 나노 스테이지의 적용 측면에서 판단해 볼 때 자중 해석 결과만으로는 가능성을 타진하여 설계변수에 대한 추가 고려가 가능할 수 있으나, 열변형 해석 결과를 볼 경우 60도의 온도에 따른 변형량이 $230\mu\text{m}$ 로 매우 크며, 또한 스테이지의 열변형 패턴이 매우 복잡하게 얽혀 있어서 추가 설계 변수를 고려하여 수정하기에는 어렵다고 판단되어진다.

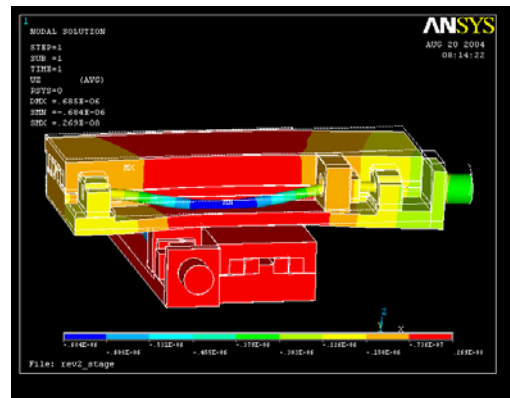


Fig. 1 Structural deformation due to gravity

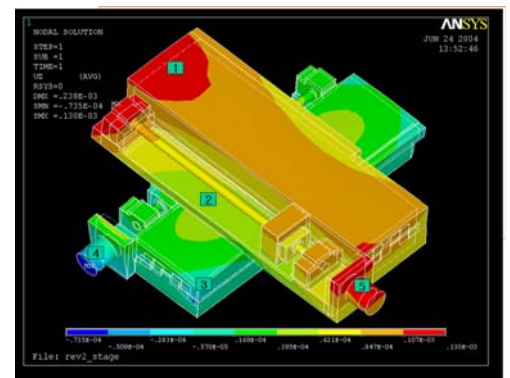


Fig. 2 Structural deformation due to temperature change

3. 고진공 챔버의 구조 해석

나노스테이지의 최종 활용이 전자빔 및 이온빔에 적용하는 것이기 때문에 이에 맞는 초진공용 재료 선정 및 가공 기술과 조립기술 등이 복합적으로 작용하여 나노스테이지의 최종 성능 구현이 되어야 한다. 진공 챔버의 경우 초진공 스테이지의 베이스

를 담당하고 있으며, 향후 사용하게 될 전자빔 및 이온빔 소스부도 챔버에 직접 설치가 되기 때문에 진공 시 챔버의 구조적 변형 예측과 동적 특성에 대한 예측이 필요하다.

일반적으로 전자빔 및 이온빔 챔버내의 진공도는 10^{-6} Torr이며, 이와 같은 진공도에 맞는 압력하에서 정적인 변형이 작도록 설계하고자 하였다. Fig. 3은 10^{-6} Torr의 압력 조건에서의 1차 디자인에 대한 구조 변형 해석결과이다. 해석 결과는 챔버 상면의 변형오차가 $20\mu\text{m}$ 정도로 해석되었으며, 상면의 경우에는 전자빔 및 이온빔의 칼럼이 조립되는 부위로 향후 빔집속 방향에 영향을 줄 것으로 판단되어 보완 설계를 진행하였다.

Fig. 4는 보강 후 2차 디자인에 대한 진공 챔버 압력에 따른 FEM 변형 해석 결과이다. 해석결과 챔버 상면의 변형오차가 $10\mu\text{m}$ 정도로 축소된 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 실제 Viewport 등을 부착할 경우, 강도가 보다 높아질 것이며, 또한 가공 공차가 1/100 - 5/1000 정도임을 감안할 때 기능적으로 무리가 없을 것으로 판단된다. 그러나 향후 칼럼 부의 변형 유발 및 빔 경로 문제를 야기 시킬 경우를 대비하여 추가 보강을 할 수 있는 구조가 마련되었다.

Fig. 5는 진공 챔버의 모달 해석 결과이며, 1차 고유진동수는 262Hz로 이송 스테이지의 해석 기준 주파수인 120Hz이상으로 설계되었다.

Fig. 6은 해석결과를 토대로 제작된 챔버의 시작품 사진이다. 재료는 SUS 304이며, 도어와 Feedthrough 부분에는 알루미늄을 사용하였다. 이때 사용된 펌프사양으로 TMP의 경우 펌핑 속도는 1000 l /second 이며, Dry Pump의 펌핑 속도는 1300 l /second 가 사용되었다.

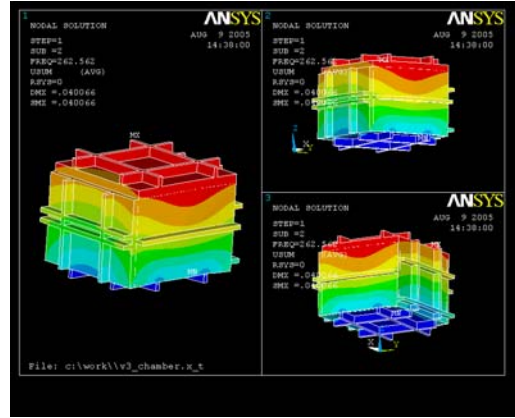


Fig. 5 Modal analysis of vacuum chamber



Fig. 6 Photograph of prototype vacuum chamber

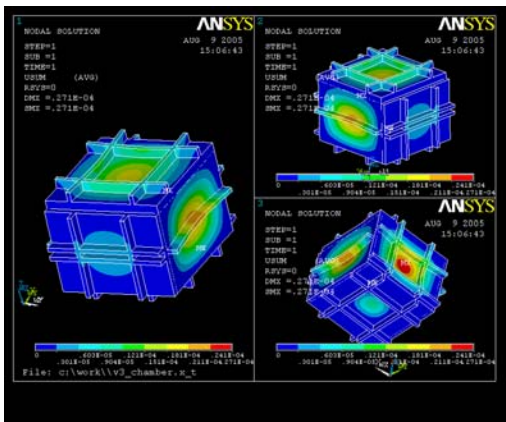


Fig. 3 Structural deformation due to vacuum pressure for 1st design chamber

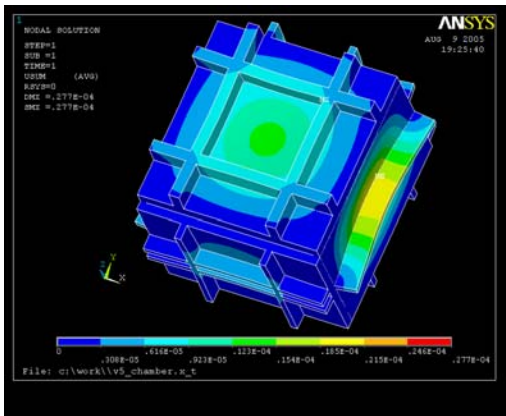


Fig. 4 Structural deformation due to vacuum pressure for 2nd design chamber

후기

본 연구는 한국생산기술연구원의 “차세대 IT제품 생산을 위한 초정밀 로봇 구동기술 개발” 과제 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Sakuta, S., Okawa, K. and Ueda, K., 1993, "Experimental Studies on Ultra-Precision Positioning - An Inchworm Movement Method using and Coarse Positionings", Int. J. Japan Soc. Prec. Eng, Vol.27, No.3, pp.235-240.
2. Lee, C. W. and Kim, S. W., 1997, "An Ultraprecision Stage for Alignment of Wafers in Advanced Microlithography", Precision Engineering, Vol.21, pp.113-122.
3. Okazaki, Y., Asano, S. and Goto, T., 1993, "Dual-Servo Mechanical Stage or Continuous Positioning", Int. J. Japan Soc. Prec. Eng, Vol.27, No.2, pp.172-173.
4. Pahk, H. J., Lee, D. S. and Park, J. H., 2001, "Ultra Precision Positioning System for Servo Motor -Piezo Actuator using the Dual Servo Loop and Digital Filter Implementation", Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol.41, pp.51-63.
5. Liu, H., Lu, B., Ding, Y., Tang, Y. and Li, D., 2003, "A Motor-Piezo Actuator for Nano-scale Positioning based on Dual Servo Loop and Nonlinearity Compensation", J. of Micromech. Microeng, Vol.13, pp.295-299.
6. "Ultra-precision Positioning System", 2001, Korea Patent, No. 10-0396020.