테이블의 변형을 최소화하는 스테이지 구조 설계

정규원*, 박백한**

*충북대학교 기계공학부, **한국기술교육대학교 기계정보공학부

초록

As the line width of the pattern become thin more and more, the accuracy of ultra-precision stage should be increased. Various type stages have been developed and used in fabrication phase and inspection lab. Furthermore the line with become several tens of nanometer recently. We need ultra high precision stage. In this paper a new type stage is proposed in order to reduce the deformation of working table. The table is supported by several flexure hinges and actuated by a PZT. The local deformation is analyzed and the vibratory motion is also examined by FEM package.

1. 서론

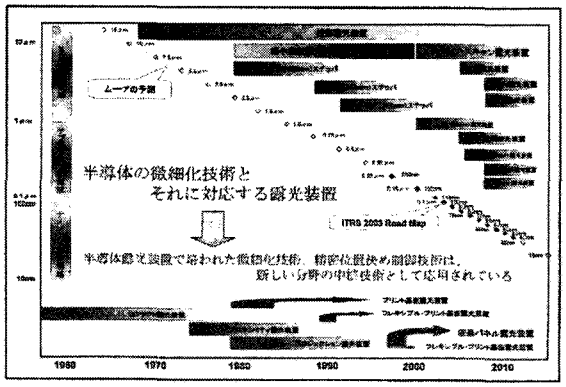

그림 1. 노광장치의 해상도 변화 [1]

최근의 반도체 제조공정은 집적도가 급격히 증가하면서 선폭이 매우 미세화 되고 있다. 따라서 이에 사용되는 스텝퍼의 위치 정밀도가 매우 높아지고 있으며, 검사장비등에서도 검사품을 장착하는 스테이지의 정밀도가 매우 높아지고 있다.[1]

기존에 사용되는 스테이지는 베어링에 의하여 지지되고, 리니어 모터, 서보 모터 및 볼 스크류 등을 이용하여 구동되고 있으나 기계적인 백래시 (backlash) 및 스틱슬립 (stick slip) 등의 요인에 의하여 구현할 수 있는 분해능의 한계를 가지고 있다. 따라서 공기압 베어링 또는 마그네틱 베어링을 이용하여 마찰력을 감소시키고, 고성능의 리니어 모타를 이용하여 구동하는 방식이 선호되고 있으나, 차세대의 미세한 선폭에 대응하기는 어렵다. 그림 1에 보인 것과 같이 2010년경에는 10 nm 수준의 선폭이 될 것으로 예상하고 있다. 따라서 이에 대응하기 위하여는 수 나노미터급의 정밀도를 갖는 스테이지가 필요하다. 이와 같은 스테이지에는 긴 행정길이를 갖는 기존의 구동방법과 높은 분해능을 구현하나 수 마이크로미터의 짧은 행정거리를 갖는 구동방법을 사용한 이중 서보시스템을 구성하는 것이 바람직하다.[2-6]

초정밀 마이크로 스테이지는 높은 정밀도 및 반복성을 유지하기 위해 오차가 최소화되도록 구성되어야 하며, 높은 이송 분해능을 가져야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위하여 초정밀 스테이지는 여러 가지 조합을 사용하는데, 이동 가이드로써 재료 변형을 이용하여 나노미터(㎚)의 분해능을 가지 탄성힌지(Flexure hinge)와 빠른 응답성과 높은 분해능을 가지고 있는 압전소자 구동기(Piezoelectric actuator)의 조합이 탁월한 장점으로 인해 적용 범위가 넓어지고 있다.

본 연구에서는 굴절힌지와 PZT 구동기를 사용하여 초정밀 마이크로 스테이지를 설계, 제작하였다. 그러나 굴절힌지의 배치 방법과 PZT 구동기의 설치 방법에 따라서 스테이지의 테이블 부분의 변형이 발생할 수 있으며, 진동의 영향을 받을 수 있다. 이와 같은 영향을 파악하기 위하여 유한요소해석 (Finite element method)을 통하여 테비블의 변위와 변형, 고유주파수 파악하였다.

2. 스테이지 테이블 지지부 설계

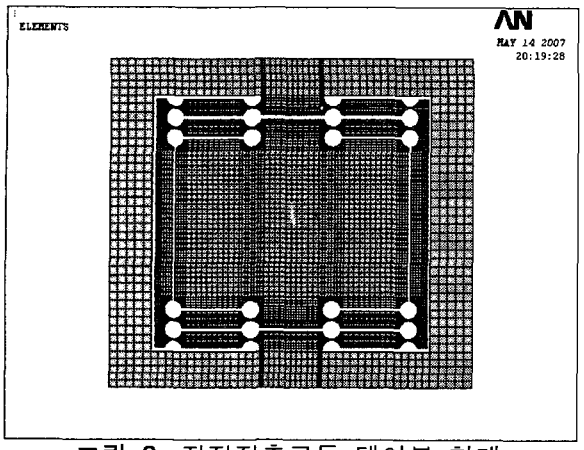

그림 2. 직접접촉구동 테이블 형태

Table 1. Material properties

Category	Item	
Stage	Material	AL 6061-T651
	Density	2700 kg/m^3
	Young's Modulus	68.9 GPa

서론에서 주지한 바와 같이 초정밀 마이크로 스테이지에 가장 효율적인 방법 중 하나는 굴절 힌지(Flexure hinge)를 이용하는 것이다. 굴절 힌지는 외부 프레임과 스테이지의 이동부분의 조합에서 발생하는 오차를 제거하기 위하여 단일 구조체로 구성된다. 굴절 힌지를 이용한 메커니즘은 탄성 변위에 의하여 구동하므로 마찰이 없으며 높은 분해능, 반복능 및 정확도를 가질 수 있다. 반면에 베어링을 사용한 지지방식에서는 테이블이 이동하는 중에 프레임으로부터 전달되는 반력이 없으나, 굴절힌지는 재료의 탄성변형에 의하여 테이블이 이동하므로 탄성변형에 의한 반력이 테이블에 작용된다.

그림 2에 본 연구에 사용된 스테이지를 보여준다. 좌우 상하 대칭 형태로서 시편을 적재하는 테이블은 이중 평행 사변형 지지부에 의하여 지지되어 있으며, 이들 지지부는 굴절힌지로 연결되어 있다. 하단의 프레임과 테이블 사이에 PZT구동기가 설치되어 있으며, PZT구동기의 팽창에 의한 힘에 의하여 테이블이 이동된다. 이 스테이지는 표 1과 같이 알루미늄합금으로 제작되어 있으며, 기계적인 물성은 표와 같다.

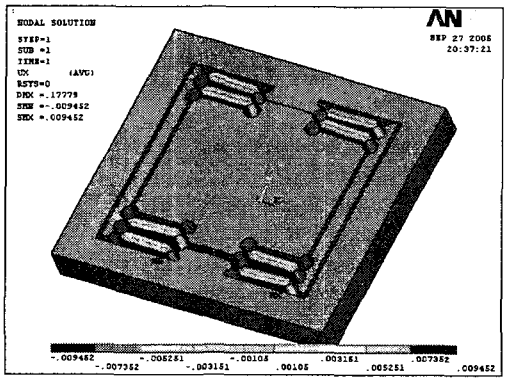

그림 3. x 방향 변위(직접구동)

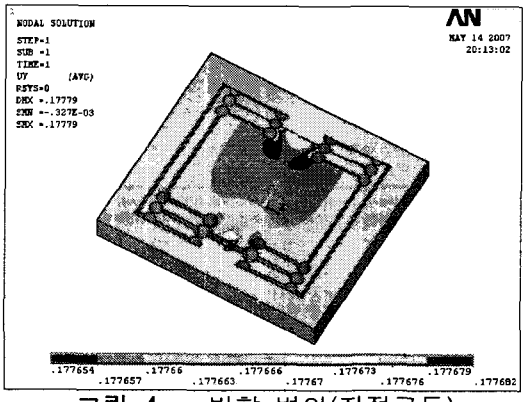

그림 4. y 방향 변위(직접구동)

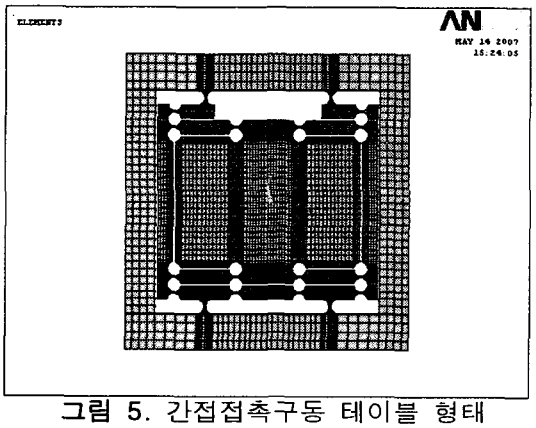

그림 5. 간접접촉구동 테이블 형태

그림 3 과 4는 PZT에서 10 N의 힘을 가했을 경우의 테이블의 변형을 보여주고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 x 방향의 변위는 나노미터 레벨에서 무시할 수 있을 정도로 매우 적으며,

좌우 대칭인 형태가 된다. 그러나 그림 4에서 보는 y 방향의 변형은 y좌표에 따라서 변형의 크기가 다름을 볼 수 있으며, 0.177654 ~ 0.177673 mm 로서 20nm 오차를 보인다. 이와 같은 형태일 경우에는 테이블위에 올려져 있는 웨이퍼 또는 시편들에 변형에 따른 힘이 작용되어 제조 또는 측정오차를 발생시킨다.

따라서 이를 완화하기 위하여 PZT 구동기가 테이블에 직접 접촉하지 않고 테이블을 이송하기 위한 그

림 5와 같은 구조를 고안하였다.

이 구조의 특징은 PZT가 하단 중앙부의 링크에 접촉되며, 테이블은 링크의 이동에 의하여 간접적으로 이송된다. 이 형태에 대하여 앞에서와 같이 FEM해석을 통하여 변위를 검토하였으며, 그림 6 과 7 에 보였다.

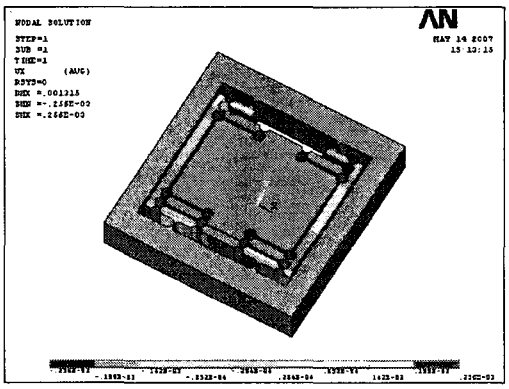

그림 6. x 방향 변위(간접구동)

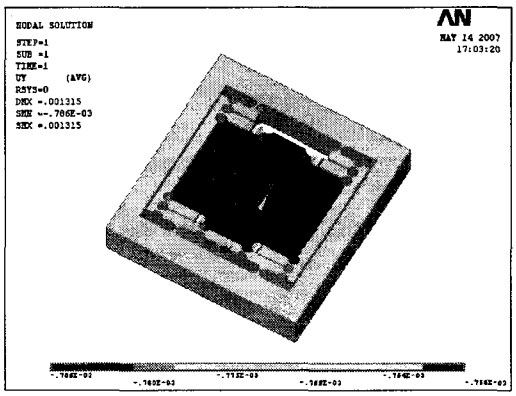

그림 7. y 방향 변위(간접구동)

그림 6에서 보는 바와 같이 x 방향의 변위는 무시할 수 있는 정도이며, 그림 7 에서 보는 바와 같이 -0.786e-3 ~ -0.780e-3 mm 의 변위가 발생되며, 6nm 이내의 오차를 보인다. 이는 그림 2와 같은 형태보다 매우 개선되었다.

3. 스테이지 테이블의 진동 모드 해석

그림 5의 간접구동방식의 스테이지는 테이블의 변형은 감소된 반면에 강성이 저하될 우려가 있다. 이를 검증하기 위하여 진동모드를 구하였다. FEM 패키지를 이용하여 공진 주파수를 구한 결과 5개 모드의 주파수가 111.297 Hz, 571.303 Hz, 1099 Hz, 1338 Hz, 1551 Hz가 구해졌다. 1, 2차 모드를 그림 8 과 9에 보였다. 1차 공진 주파수가 작업환경에 비하여 상당히 높으므로 충분히 방진이 가능하며 공진을 억제할 수 있다. 그림 10 은 앞의 결과를 이용하여 시험 제작된 스테이지를 보여준다.

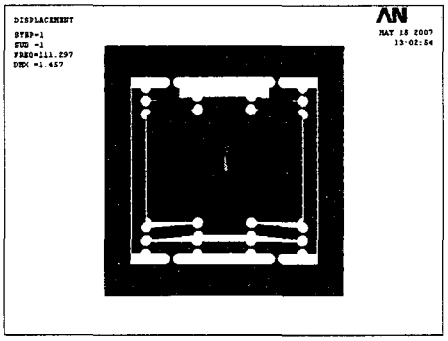

그림 8. 1차 모드 (간접구동)

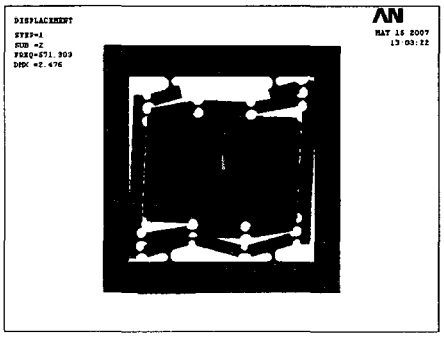

그림 9. 2차 모드 (간접구동)

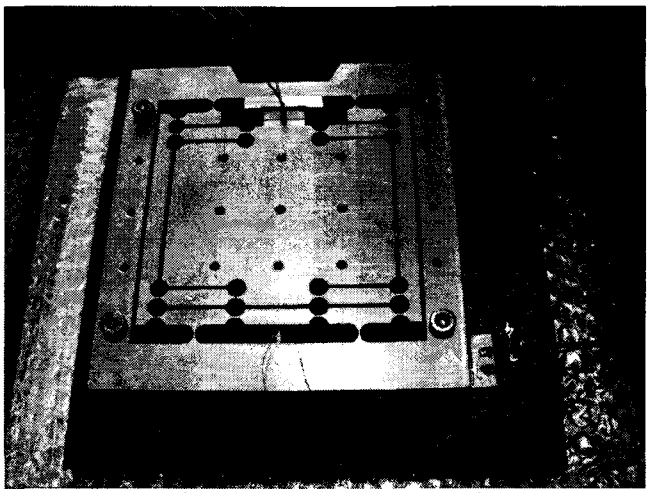

그림 10. 간접접촉구동 테이블

4. 결론

본 논문에서 테이블을 굴절힌지를 사용하여 지지할 때 발생되는 변형을 검토하여 이를 감소시킬 수 있는 구조를 제안하였으며, 이를 FEM 방법을 사용하여 변형과 진동 모드를 검토하였다. 이로써 제안된 방식이 효과적으로 사용될 수 있음을 보였으며, 이에 기초한 스테이지를 제작하였다.

또한 추가적으로 댐핑을 증가시키는 수단을 부가하는 방법을 연구 중에 있으며, 수 나노미터 정밀도를 갖고 테이블을 이송시키는 방법을 연구하고 있다.

참고문헌

[1] 高橋一雄, "ステパの 歷史," 精密共學會 超精密位置決め 定專門委員會, 2007.4

[2] Kang, J. O., Seo, M. H., Han, C. S. and Hong, S. W., "Development of 3-axis Fine Positioning Stage : Analysis and Design", *Journal of the Korea Society of Precision Engineering*, Vol. 21, pp.147~154, 2004.

[3] Kang, J. O., Back, S., Han, C. S. and Hong, S. W., "Development of 3-axis Fine Positioning Stage: Fabrication and Performance Evaluation", *Journal of the Korea Society of Precision Engineering*, Vol.21, pp.155~162, 2004.

[4] Kang, E. G., Hong, W. P., Lee, S. W. and Choi, H. Z., "Development of high precision positioning system using 3 DOF parallel mechanism", Proce. of the 2nd Int. Conf. on Positioning Technology, pp.201~204, JSPE, KSPE, KIMM, Oct. 12-13, Jeju KAL Hotel, Korea, 2006.

[5] Liu, H., Lu, B., Ding, Y., Tang, Y. and Li, D., "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, 2003.

[6] Park, J. S., and Jeong, K. W., "A study of the Design and Control of the Ultra-precision Stage", *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 3, pp. 111~119, 2006.