

## 평면 XY 공기정압 스테이지의 운동특성 분석

황주호\*, 박천홍, 이찬홍(한국기계연구원), 김승우(한국과학기술원)

### Analysis on the motion characteristics of surface XY aerostatic stage

J. H. Hwang, C.H. Park, C.H. Lee(KIMM), S.W. Kim(KAIST)

#### ABSTRACT

The aerostatic stage, which is used in semiconductor process, is demanded higher velocity and more precise accuracy for higher productivity and integrated performance. So, in the case of XY stage, H type structure, which is designed two co-linear axis of guide-way, driving force in one surface, has advantage of velocity and accuracy compared to conventional tacked type XY stage.

To analyze characteristics of H type aerostatic stage, H type aerostatic surface XY stage is made, which is driven by linear motor and detected position with precise optical linear scale. And, analyze characteristics of motion error, effect of angular motion on positioning accuracy error and effect of simultaneous control on variation of velocity.

Keywords: Aerostatic surface XY stage(평면 XY 공기정압 스테이지), motion error(운동오차), linear motor(선형모터), Positioning accuracy(위치결정정도), Simultaneous control(동기제어)

#### 1. 서론

반도체 공정장비에 널리 사용되는 정밀 스테이지는 반도체의 집적도와 생산성을 높이기 위하여 정밀화와 고속화되고 있는 추세이다. 이에 따라 기존의 적층형 XY 공기정압 스테이지를 개량한 구조로 구동력, 안내면, 이동부의 무게 중심이 한 평면에 존재하도록 하여 모멘트 하중이 최소화 되도록 H 형의 구조를 갖는 평면 스테이지를 step and scan 방식의 노광장치 LCD 공정 장비 등에 사용되고 있다.

본 연구에서는 반도체용 초정밀 스테이지의 기초연구를 목적으로 H 형으로 구동되는 공기정압 스테이지를 다공질 공기 베어링을 이용하여 제작하였으며, Y 축의 테이블이 X 축의 가이드로 사용되며 X 축 이동 table 이 5 $\mu$ m 의 평면도를 갖는 평면위를 움직이도록 하였다. Y 축은 두개의 리니어모터와 두개의 10nm 분해능을 가지는 저 열팽창 리니어스케일로 위치검출을 하여 움직이도록 구성하였으며 X 축의 리니어모터와 위치검출 스케일은 X 축의 수평 안내면인 Y 축 테이블에 장착하였다. 제작된 평면 XY 공기정압 스테이지를 대상으로 운동오차, 운동

오차에 의한 위치결정정도 영향, 동기제어에 의한 속도변동특성을 중심으로 실험적 분석을 하였다.

#### 2. 실험장치의 구성

실험에 사용된 스테이지는 Fig.1 와 같은 구조를 가지고 있으며 저중심 고속화 구조를 위해 H 형 구조로 되어 있다. 2 개의 리니어모터에 의해 구동되는 Y 축의 테이블은 X 축의 안내면으로 사용되며, 모든 축의 수직방향 공기패드들은 정반면을 안내면으로 사용한다.

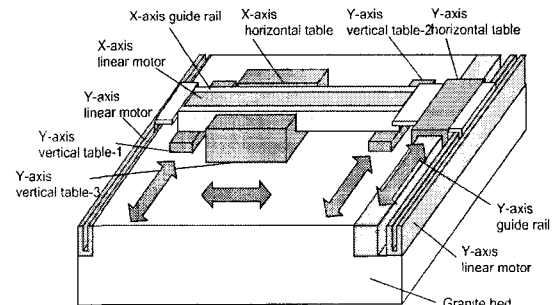


Fig. 1 Schematic diagram of aerostatic surface XY stage

X 축 레일의 지지를 위해 X 축 레일 양단에 별도의 2 개의 공기패드를 설치하였으며 X 축 레일의 수평방향 움직임은 Y1 축 테이블의 수평방향 공기패드에 의해 구속된다. 따라서 구동축과 안내면이 한평면을 이루는 구조를 이루도록 하였다. 공기정압베어링은 다공질 카본그래파이트를 사용하고 있으며 리니어모터는 Trilogy 사의 LM310-4, 위치검출장치는 HiedenHain 사의 LIP401 모델을 사용하였다. 제어기는 Delta tau 사의 Turbo-Pmac2 를 사용하여 상위제어기에서 commutation 등 Servo amp 의 모든지령을 수행하도록 하였다.

### 3. 운동정밀도

실험에 사용한 스테이지는 석정반의 상면으로 수직방향 구속을 한다. 따라서, 정반의 평면도가 두 축의 수직방향 운동정밀도를 결정하는 주요 요소가 되며, Fig. 2 는 레이저 간섭계를 이용하여 평면도를 측정된 결과이다. 500x500mm 평면에 대하여 4.71 $\mu$ m 의 평면도로 양호한 결과를 보이고 있다. X 축의 좌표 0mm 에서 Y 축 방향을 따라 약 2.5 $\mu$ m 의 진폭도를 보이는데 이는 Y 축의 공기베어링 패드가 이 부분을 기준으로 운동을 하므로 Y 축 수직방향 운동정밀도에 영향을 준다.

레이저간섭계를 이용하여 직선운동정밀도를 측정한 결과 Fig. 3 에 보이는 바와 같이 수직방향 직선운동정밀도가 1.3  $\mu$ m 로서 석정반의 평면오차가 평균화효과에 의하여 1/2 수준으로 감소되었음을 알 수 있다. 한편, 수평방향의 직선운동정밀도는 2.1  $\mu$ m 의 양호한 결과를 보인다. 실험에 사용된 스테이지는 두개의 리니어모터로 동기제어 하기 때문에 Y 축의 위치제어 뿐만 아니라 각각의 모터가 리니어 스케일을 따라서 이동을 하기 때문에 미소한 각도 ( $\theta$ )에 대한 자세 제어가 가능하게 된다<sup>(1)</sup>.

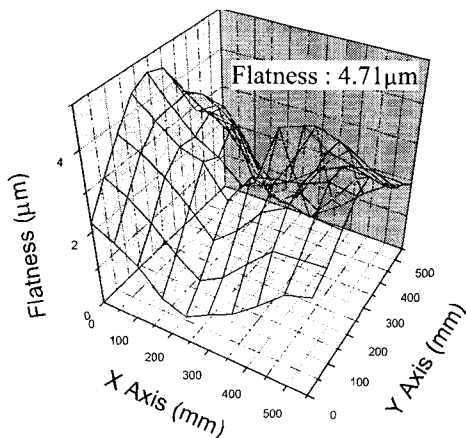


Fig. 2 Flatness of granite bed

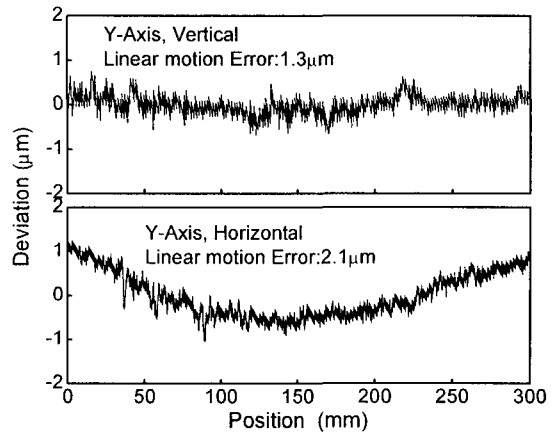


Fig. 3 Linear motion errors of Y-axis stage

이러한 실험을 위하여 두가지 이송속도에 대하여 Yaw 운동 오차를 측정된 결과를 Fig. 4 에 나타내었다. 보이는 바와 같이 각운동 오차가 매우 적음을 알 수 있으며, 또한 일반적인 스테이지에서 나타나는 각운동 오차와 달리 한방향으로 계속적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 두 스케일이 평행하게 장착되지 않아서 생기는 오차로 보여진다.

수평방향 안내면에 장착된 리니어모터를 이용하여 이송을 수행하며 Yaw 운동오차를 측정된 결과를 Fig. 5 에 도시하였다. Fig. 4 에서와 달리 각운동이 커짐을 알 수 있다.

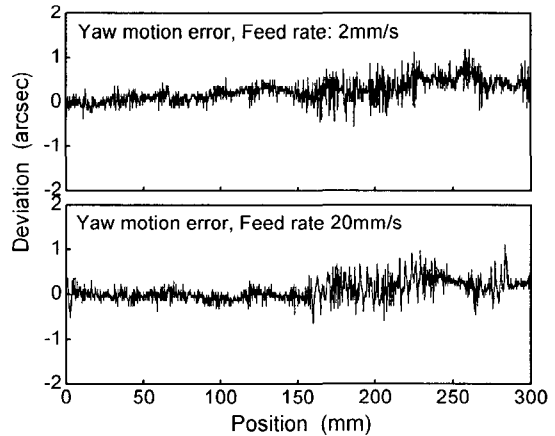


Fig. 4 Yaw motorion errors of Y-axis stage

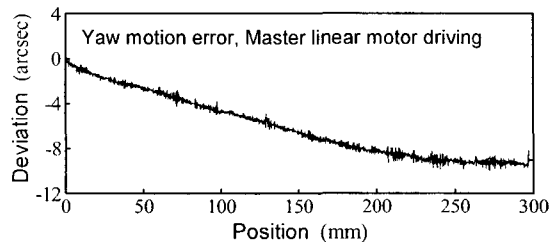


Fig. 5 Yaw motorion errors of Y-axis stage driven with master motor only

#### 4. 위치결정특성

동기제어되는 Y 축의 속도변동특성을 보기 위하여 Fig.6 에 보이는 바와 같이 50mm/s 및 5mm/s 의 속도로 운동하는 경우 정속구간의 속도를 레이저 간섭계를 이용하여 측정한 결과를 도시하였다. 50mm/s 는 1kHz, 5mm/s 에 대하여는 100Hz 로 측정하였다. 이송속도 50mm/s 에 대하여 0.4%수준인  $\pm 0.02\text{mm/s}$  로 양호한 결과를 보임을 알 수 있으며, 저속인 5mm/s 에 대하여도  $\pm 0.02\text{mm/s}$  이하의 안정적인 정속특성을 보임을 확인 할 수 있다.

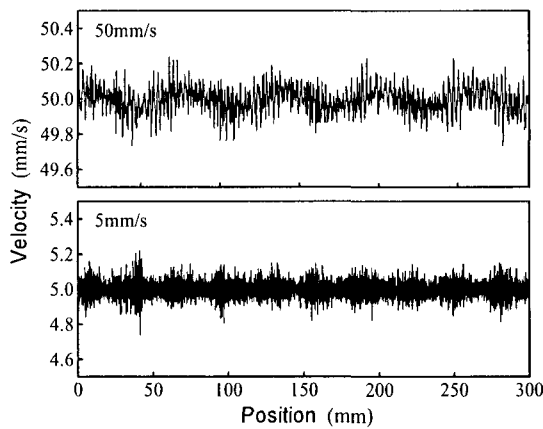


Fig. 5 Velocity variation of Y-axis stage

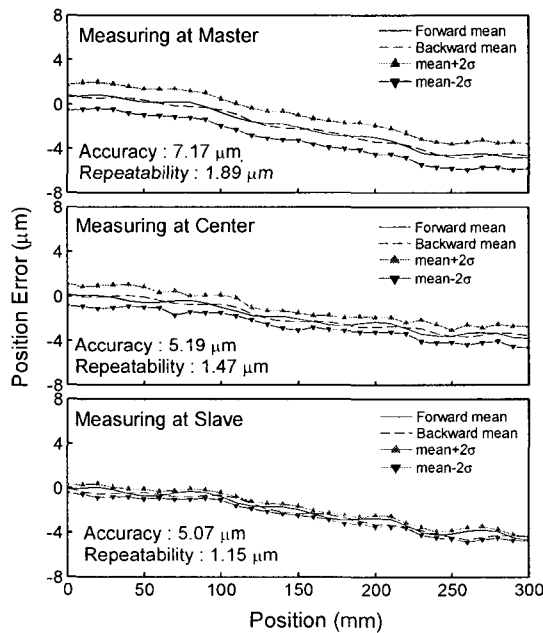


Fig. 6 Positioning accuracy of Y-axis stage according to X axis position

위치결정 특성을 살펴보기 위하여 이송테이블의 중심에 레이저간섭계의 반사경을 설치하여 테이블의 X 위치의 변화에 따라 발생하는 Y 축의 위치오차를 측정하였다. 세 군데에서 측정 실험을 수행하였으며, X 축의 테이블을 Y 축 master linear motor 에 가장 근접한 300mm 부분, 150mm 인 가운데, 그리고 0mm 인 slave linear motor 부분에 설치하여 위치 결정 특성을 살펴보았다. 오차의 평균은 Fig. 6 에 보이는 바와 같이 유사한 형태를 보임을 알 수 있으며 오차의 변동폭에 해당하는 반복정밀도가 Master 축에 가까울수록 저하됨을 관찰 할 수 있다. 오차의 원인을 살펴보기 위하여 pitching motion 을 측정하여 정반면부터 반사경의 위치까지의 거리를 기준으로 abbe 오차를 구한 결과와 Fig. 6 의 왕복운동의 오차 평균값을 구하여 Fig. 7 에 도시하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 3 개의 오차 값이 유사한 경향과 크기를 가지고 있으며 pitching motion 에 의한 각운동 오차에 의한 값이 주된 성분임을 알 수 있다. 반도체 공정에서 이러한 오차는 별도의 자세제어 모듈을 사용하여 오차보정을 수행하게 되며 이러한 모듈이 없는 경우에도 높이방향으로 변하는 경우가 없어 yaw 운동오차와 달리 보정이 간편하게 된다.

또한, 양방향 평균 오차를 살펴보면 주기적으로 증가 및 감소하는 성분을 관찰 할 수 있으며, 이는 반전오차로 작용하게 된다. 각 위치에서의 반전오차를 Fig. 8 에 도시하였다. 3 점에 측정한 크기 및 주기가 비슷한 것을 알 수 있는데, 60mm 의 주기로 관찰되는 오차는 리니어모터의 phase 주기(N 극 혹은 S 극으로 돌아오는 주기)와 일치함을 알 수 있다. 이를 감소시키기 위한 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 보여진다.

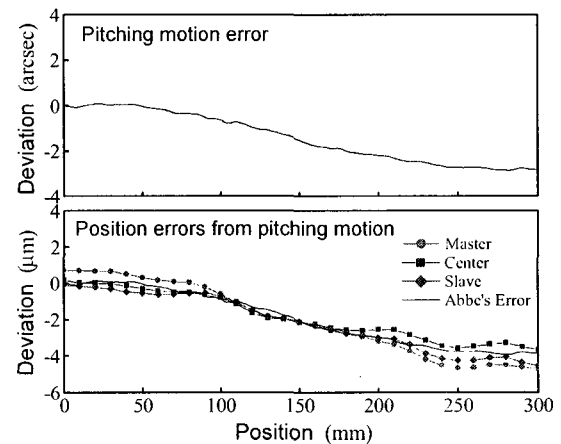


Fig. 7 Velocity variation of Y-axis stage

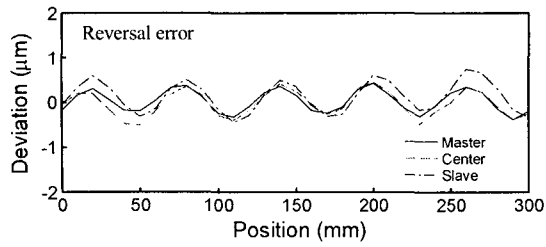


Fig. 8 Reversal errors of Y-axis stage

## 5. 결론

본 연구에서 H 형의 평면 XY 공기정압 스테이지를 제작하여 운동특성에 대한 실험적 분석을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Master 와 slave 방식으로 제어되는 Y 축은 Yaw 운동 오차를 줄이는  $\theta$  자세제어가 가능하게 되어 X 축의 위치변화에 의한 위치오차의 영향이 감소하게 된다.
2. 동기제어에 의한 속도변동은 50mm/s 이송시 0.4%로 양호한 정속운전이 가능하다.
3. Y 축의 반전오차가 자석주기와 일치함을 확인하였다.

## 참고문헌

1. Tomita Yoshiyuki, Makino Kenichi, Sugimine Masanobu, Taniguchi N., "High-response X-Y stage system driven by in-parallel linear motors," Annals of the CIRP, Volume 45, Issue 1, pp. 359 -362, 1996.