

# 전자빔 가공기용 진공 5 축 스테이지의 제어 및 운동특성

이찬홍\*, 박천홍, 이후삼 (KIMM)

## The Control and Motion Characteristics of 5 axis Vacuum Stage for Electron Beam Lithography

Chan-Hong Lee, Chun-Hong Park, Husang Lee (KIMM)

### ABSTRACT

The ultra precision machining in industrial field are increased day by day. The diamond turning has been used generally, but now is faced with limitation of use, because of higher requirement of production field. The electron beam lithography is alternative in machining area as semiconductor production. For EB lithography, 5 axis vacuum stage is required to duplicate small and large patterns on wafer. The stage is composed of 2 rotational axis and 3 translational axis with 5 DC servo motors. The positioning repeatability and resolution of Z axis feed unit are  $3.21\mu\text{m}$  and  $0.5\mu\text{m/step}$  enough to apply to lithography.

**Key Words :** Eletron Beam Lithography (전자빔 가공기), Vacuum Stage (진공 스테이지), 5-axis Stage (5 축 스테이지), Positioning accuracy (위치결정정도)

### 1. 서론

미세가공에 대한 요구정도는 시간이 갈수록 초 미세 방향으로 점점 더 접근하고 있어, 과거에 초 정밀 가공기에서 다이아몬드 공구로 미세하게 가공 할 수 있는 정도를 넘어 반도체 제조공정을 이용하는 정밀도 수준까지 와 있다. 그래서 반도체용 리 소그라피에서 보듯이 감광이 잘 되는 박막을 웨이 퍼상에 도포하여 전자빔으로 타격을 함으로써 목표로 하는 형상을 감광시켜 에칭공정을 통해 원하는 형태의 표면을 만들게 된다. 대부분의 리소그라피 의 경우 전자빔의 경통에서 전자렌즈를 제어함으로써 마이크로 크기의 형태는 직접 가공을 완료할 수 있지만 가공형태의 크기가 매우 크거나, 많은 개수 를 복제해야 할 경우는 스테이지도 함께 이용해서 가공을 수행하게 된다. 그래서 다양한 가공형태의 스펙트럼을 갖는 전자빔 가공기에서는 스테이지의 이송정밀도가 가공정밀도에 직접 영향을 미치게 된다. 또한 스테이지는 전자빔 가공기의 구조에 따라 3D 관찰용으로 사용할 수도 있기 때문에 5 축이 필 요하고, 전자빔 가공상에서도 전자빔의 가공물에 대한 각도를 원하는 대로 제어하기 위해서 5 축 스테이지가 필수적이다.

본 연구에서 개발한 진공 5 축 스테이지에는 소

형 직류 서보모터를 5 개 사용하였고, 진공에서 발 생하는 신호선 피복의 가스 및 윤활제의 오염을 억 제하기 위해서 특수 신호선과 무윤활을 채택하였다. 그리고 스테이지의 강성과 외부진동에 대한 안정성 을 위해 구조물을 파질량 구조설계를 하였고, 고감 쇄성을 부여하기 위해 리드 스크류를 사용하였다. 이렇게 하여 5 축 스테이지의 W 축 회전 분해능은  $0.0007^\circ$ 까지 얻을 수 있었다.

### 2. 진공용 5 축 스테이지의 구조 및 제어장치

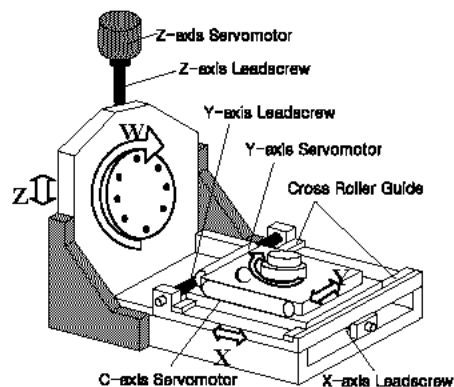


Fig. 1 Solid model of five axis vacuum stage

Fig.1 에 나타난 5 축 스테이지는 미세가공에 사용되는 이송계로서, 여타 이송계와는 달리 급속이송이나 고속이송을 할 필요가 없고 다만 위치결정 정도가 잘 나올 수 있도록 구성을 하면 된다.

그리고 이송 대상물체는 대부분 박판형태로서 질량이 매우 가벼우므로 스테이지의 질량에 비하면 무시할 정도가 된다. 그래서 이송 대상물을 올려 놓은 X, Y 그리고 C 축은 경량재료로서 구성하고, Z 과 W 축은 정적 강성과 진동적 안정성을 위하여 Steel 계층으로 제작을 하였다. 스테이지의 Z 축과 W 축 모터는 외부에 설치하여 진공챔버의 공간을 최대한으로 이용하는 구조로 설계하였다.

이때 외부에 있는 모터에서 이송대까지 동력을 전달하기 위해서 구동장치를 사용할 때  $1 \times 10^{-6}$  Torr 진공분위기가 손상되지 않도록 진공용 O-ring 을 잘 설치해야 한다. 구동장치는 일반 정밀 계측장비에서 마찰이 적은 볼 스크류를 사용하나 여기서는 윤활유 증발문제, 전하의 이동성 문제, 이송축 상의 저 감쇠성으로 인한 진동전달 문제 그리고 소구경 볼의 비진원 성분이 축방향으로 나타나는 문제로 인해 여러 가지로 유리한 리드 스크류를 사용하였다. 그러나 리드 스크류를 정밀하게 가공하는 것은 한도가 있으므로 제어상에서 피치오차를 반드시 보정해야 한다.

여기서 사용된 모터는 DC 서보모터를 사용하였고 스테이지의 이송속도를 고려하여 기어박스를 추가 하였다. 서보모터의 후미에는 로타리 엔코더를 설치하여 위치결정 정도를 향상시켰다. 모터는 전자빔 가공을 위한 것이므로 모터로부터 자력선이 외부로 흘러 다니지 않도록 하고, 진공중에 모터의 배선과 부품에서 가스가 발생하지 않도록 비휘발성 재질을 사용했다.

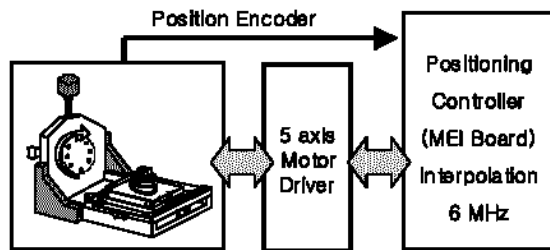


Fig. 2 Position control of 5 axis stage with feedback sensors

5 축 스테이지의 위치제어는 Fig.2 에 나타난 바와 같이 5 축 동시제어가 가능한 MEI 보드를 사용하였다. 이 보드는 위치센서로부터 5 MHz 의 속도로 위치펄스를 받아들일 수 있고 PID 제어를 하여 모터 드라이버에 적정 전압을 공급한다. 여기서 PID

파라미터는 실험적 튜닝 방법인 Ziegler-Nichols 방식을 이용하였다. 스테이지의 축방향 이송속도는 1mm/s 이하라서 각 축의 튜닝 불평형으로 인한 3-D 레벨의 오차발생은 극히 적었다.

### 3. 진공 Chamber 내에서의 스테이지 운동

Fig.3 에 나타난 진공챔버 내에서 5 축 스테이지의 Stroke 는 X 축방향 30mm, Y 축방향 95mm, Z 축방향 40mm, W 축방향  $\pm 25^\circ$ , C 축방향  $360^\circ$ 가 되게 설계하였다(Fig.3). 전자빔 가공대상의 크기에 따라 스테이지를 적절히 위치시키고 미세 초점은 전자빔 가공기의 경통내 전자렌즈로 조정을 하게 된다. 경우에 따라서는 여러 개의 가공시편을 장착시키고 회전 C 축을 이용하여 일괄적으로 가공을 하게 된다. 이때 진공조성은 1 단계 저진공 형성용으로 Rotary Pump 를 사용하여  $1 \times 10^{-3}$  Torr 를 얻고, 2 단계 고진공 형성용으로 Diffusion Pump 를 이용하여  $1 \times 10^{-6}$  Torr 을 얻는다.

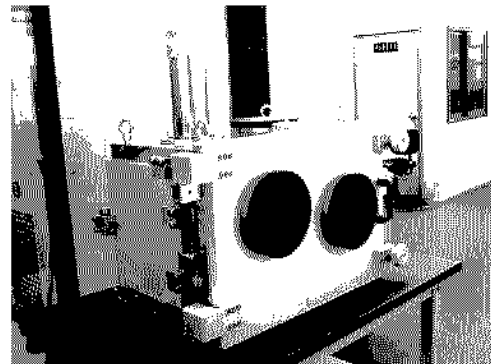


Fig. 3 High vacuum chamber with a electron column

Fig.4 에 보이듯이, 5 축 스테이지는 가로방향으로 전자빔 경통 밑에 설치해서 전자빔 가공과 전자현미경의 역할을 다할 수 있도록 구성하였다. 이러한 기능에 추가로 관련실험을 할 수 있도록 주위에 공간을 마련하였고, 외부에서 관찰이 가능하도록

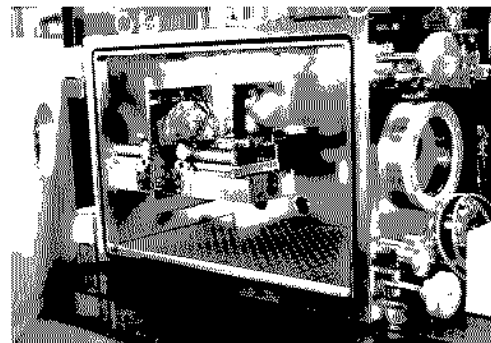


Fig. 4 The 5 axis stage in High vacuum chamber

여러 방향의 개폐창을 설치하였다.

#### 4. 진공 5 축 스테이지의 위치정밀도

Fig.5 에는 5 축 스테이지의 Z 축 직선이송 분해능을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이  $0.25\mu\text{m}/\text{step}$  의 분해능으로 미소 이송되는 것이 확인되었으나 스텝간의 이동거리가 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 로터리 엔코더의 슬릿 라인수가 15 개인 반면 모터의 감속기는 1:65 로서, 엔코더의 펄스를 40 배 증가시켜 엔코더 분해능을 증가시킬 경우 1 회전당 펄스가 정수배가 아니어서 오차가 누적되는 원인과 리드 스크류의 정마찰계수가 일정치 않아서 발생되고 있다. 그러나  $0.5\mu\text{m}/\text{step}$  이상에서는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 전자빔 가공기에서는 가공물의 크기가 수  $\mu\text{m}$  까지 전자빔 경통에서 제어가 가능하기 때문에 여러 개의 패턴을 다량으로 복제하더라도 스테이지의 직선 분해능은  $1\mu\text{m}$  이상이면 된다.

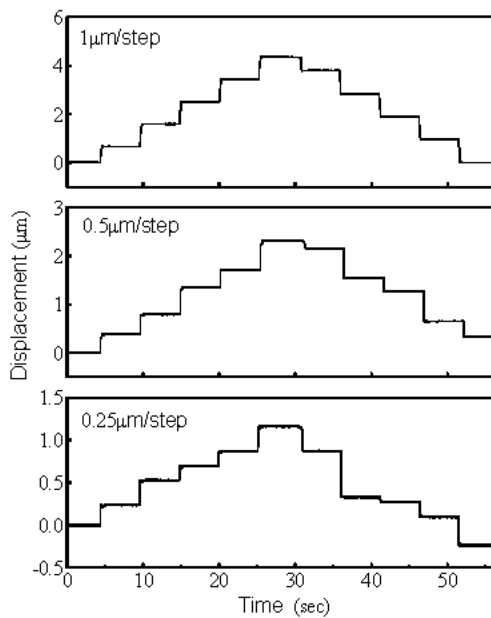


Fig. 5 Z-direction position resolution of the stage

Fig.6 에는 Z 축의 위치결정정도를 측정하기 위해서 레이저간섭계를 이용하여 ISO 230-1 규격에 맞추어 측정한 결과를 나타내었다. 위치결정정도는 오차 보정전에 반복정밀도가  $5.2\mu\text{m}$  로서 양호한 정밀도를 보이고 있다. 정방향과 역방향의 일정한 편차 값은 백래쉬로서 구조적인 수정이 요구되었다. 백래쉬와 평균 위치오차를 보정한 결과 위치결정정도는  $3.34\mu\text{m}$  와 반복정밀도  $3.21\mu\text{m}$  의 정도를 달

성하였다. X 축과 Y 축도 유사한 결과를 얻었다.

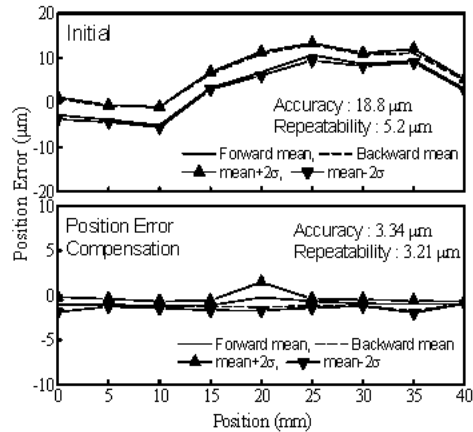


Fig. 6 Z-direction positioning accuracy and Repeatability of the stage

Fig.7 에는 W 축의 회전분해능을 나타내었다. 분해능  $1.4\text{arcsec}/\text{step}$  의 경우는 Fig.5 와 비슷한 형태를 보이고 있고, 원인도 유사한 것으로 파악되었다. 결국 W 축의 분해능은  $2.8\text{arcsec}/\text{step}$  ( $0.0007^\circ$ )로서 양호한 분해능으로 회전함을 알 수 있다. 이 정도의 분해능은 대형 패턴을 전자빔으로 가공할 때 전자렌즈의 제어영역을 넘어선 경우에도 접합선의 연계가 부드럽게 되는 수준이라 할 수 있어 전자빔의 회전축으로는 충분하다고 할 수 있다.

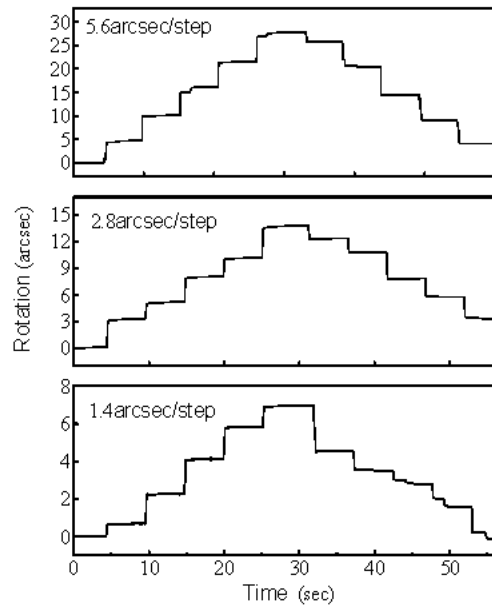


Fig. 7 W-axis rotational positioning accuracy of the stage

## 5. 결론

본 연구를 통하여 전자빔 가공기용 5축 스테이지를 개발하였다. 5개의 DC 서보모터를 이용하여 2개의 회전축과 3개의 직선 이송계를 구축하였고, 진동과 전하 이동성을 고려하여 구동장치로서 리드스크류를 채택하였다. 고진공 챔버속에서 사용할 수 있도록 모든 재료는 비 휘발성 재료를 선택하였다.

1. 전자빔 가공기용으로 2개의 회전축(W, C)과 3개의 직선축(X, Y, Z)으로 이루어진 진공용 5축 스테이지를 설계하였다.
2. 5축 스테이지의 동시제어를 위해서 위치센서의 5 MHz 펄스를 입력시킬 수 있는 PID 제어기반 DSP 보드를 사용하였다.
3. 고진공 챔버(두께 30mm, 84\*584\*420 mm<sup>3</sup>)를 만들기 위해 로터리 펌프와 디퓨전 펌프를 사용해서  $1 \times 10^{-6}$  Torr의 진공을 조성하고, 전자빔 경통밀에 5축 스테이지를 가로방향으로 설치하였다.
4. Z축 이송계의 최소 분해능은 0.5  $\mu\text{m}/\text{step}$ 을 얻었고, 반복 위치결정정도는 3.21  $\mu\text{m}$ 를 달성하였다. X와 Y축도 유사한 결과를 얻었다. 그리고 회전축인 W축의 분해능은 0.0007°를 얻었다. 이 정도의 분해능과 위치정밀도는 전자빔용 5축 스테이지로서 충분한 수준이라 할 수 있다.

## 참고문헌

1. 清水茂夫, “直線案内の新しい傾向,” 機械の研究, 第50卷, 第1号, pp.100-105, 1998.
2. 竹内芳美, “高速運動制御技術の現状,” 機械の研究, 第50卷, 第1号, pp.114-119, 1998.
3. 황주호, 박천홍, 이찬홍, 김승우, “레이저간섭계의 위치결정정밀도 측정오차 개선,” 한국정밀공학회, 제21권, 제9호, pp.167-173, 2004.
4. 박천홍, 이찬홍, 이후상, “유정압테이블의 정밀도 향상을 위한 수정가공,” 한국정밀공학회, 제19권, 제6호, pp.62-69, 2002.