나노 패턴 장비용 컴플라이언스 스테이지

최기봉† ·이재종*

Compliant Stage for Nano Patterning Machine

Kee-Bong Choi and Jae Jong Lee

Key Words : Nano pattern(나노 패턴), Nano imprint(나노 임프린트), Lithography(리소그라피), Compliant stage (컴플라이언스 스테이지)

Abstract

The nano imprint process is one of the next generation lithography has been mentioned as one of major nanoreplication techniques because it is simple process, low cost, high replication fidelity and relatively high throughput. This process requires a surface contact between a template with patterns and a wafer on a stage. After contact, the vertical moving the template to the wafer causes some directional motions of the stage. Thus the stage must move according to the motions of the template to avoid the damage of the transferred patterns on the wafer. This study is to develop the wafer stage with a passive compliance to overcome the damage. This stage is designed with the concept like that it has a monolithic, symmetry and planar 6-DOF mechanism.

1. 서 론

IT 및 NT 기술의 발전과 더불어 반도체 디바이스의 최소 선폭도 나노 오더가 요구되어지고 있다. ArF 레이저 리소그라피의 의해 최소 선폭이 100 nm 인 것에 비해, 2007 년에는 45 nm 정도의 최소 선폭이 요구되어질 것으로 기대하고 있다[1]. 이정도의 선폭은 광 리소그라피 기술로서는 이미 한계에 와 있을 뿐만 아니라 장비 또한 고가이기 때문에 이를 극복하기 위한 새로운 대안이 요구되고 있다.

고 생산량으로 나노 선폭을 갖는 디바이스를 제조할 수 있는 대안 기술로서 임프린트 리소그라피(Imprint lithography) 기술이 각광받고 있다. 이 것은 광 리소그라피의 핵심기술인 광투사가 필요없는 기술로서, 디바이스의 패턴이 새겨진 템플릿을 실리콘 기판 위에 접촉시켜 가압함으로써 패턴을 전사시키는 기술이다. 나노 임프린트 리소그리피 기술은 1995 년 프린스턴 대학의 Chou 교수에 의해 제안된 기술로서 저가로 고 생산량의 디바이스를 제조할 수 있는 차세대 기술로 인식되고 있으며, 10 nm 선폭의 해상도를 실현할 수 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 나노 임프린트 리소그라피를 실현시킬 수 있는 장비의 스테이지를 개발하는 것이다. 스테이지는 웨이퍼 기판을 올려놓는 강체 평판과 컴플라이언스를 갖는 유연 스프링을 연결하여 6 자유도의 수동 운동을 구현하도록 설계된다.

† 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부
E-mail : kbchoi@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7135 FAX : (042)868-7135
* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

2. 나노 임프린트 리소그라피

2.1 나노 임프린트 리소그라피 공정

Fig.1 은 나노 임프린트 리소그라피 공정의 개략도이다[2]. 웨이퍼 상에 전달층(Transfer layer)를 도포하고, 디바이스의 나노 패턴이 새겨진 수정 템플릿을 웨이퍼 상에 접근시킨다. 이 때 템플

릿은 자외선을 통과할 수 있는 수정(Quartz)으로 제조 되고, 패턴 상에는 릴리즈 층이 도포되어야 한다. 템플릿과 실리콘 기판 사이에 자외선 경화제를 투여하고, 템플릿을 가압한 후 자외선을 투과시켜 경화제를 경화시킨다. 그 후 템플릿을 실리콘 기판으로부터 제거하며, 전달층을 에칭한 후 자외선 경화층을 제거하여 복제된 나노 패턴 디바이스를 얻는다.

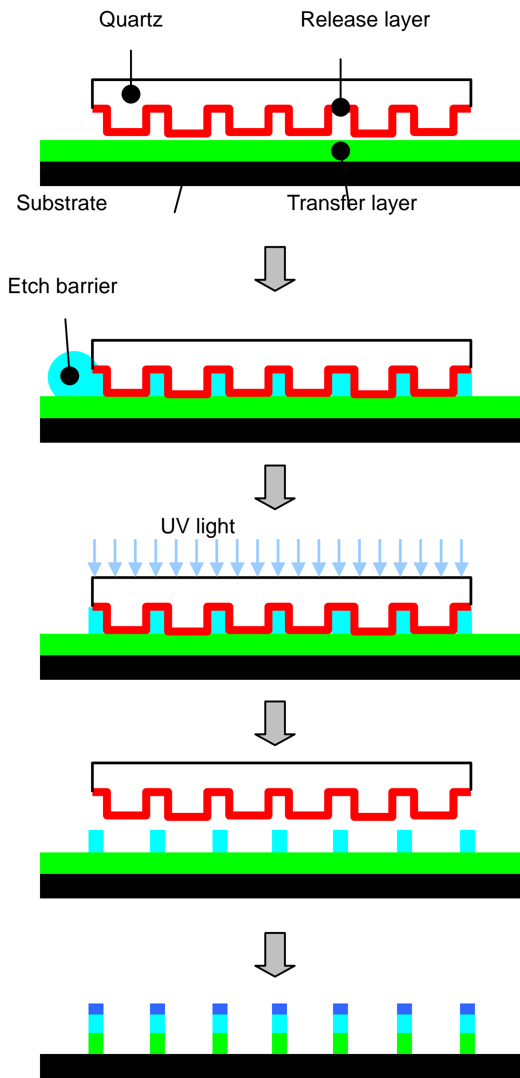


Fig. 1 Conceptual diagram for the process of a nano imprint lithography

2.2 나노 패턴 장비

Fig. 2 는 .나노 임프린트 공정을 구현하기 위한 나노 임프린트 장비의 개략도이다. 웨이퍼는 스테이지 상에 부착되어 있는 웨이퍼 척을 통하여 고정할 수 있다. 템플릿은 템플릿 헤드에 부착하며 자외선을 템플릿에 투과시키기 위한 장치가 템플릿 헤드에 설치되어 있다. 또한 템플릿 헤드는 모터에 의해 선형구동되어 웨이퍼 상에 접근시킬 수 있다.

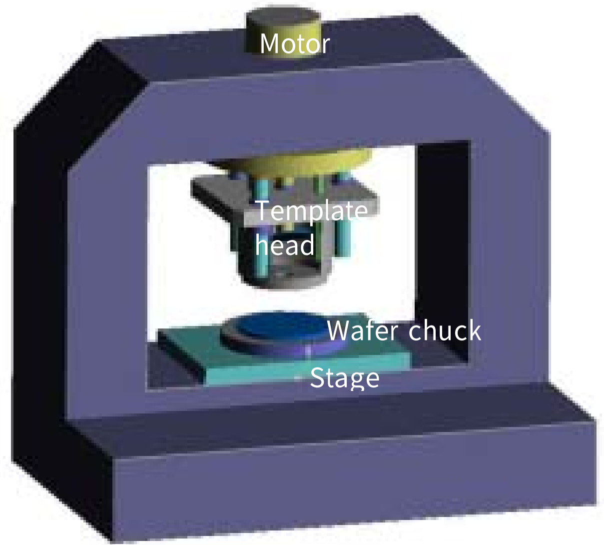
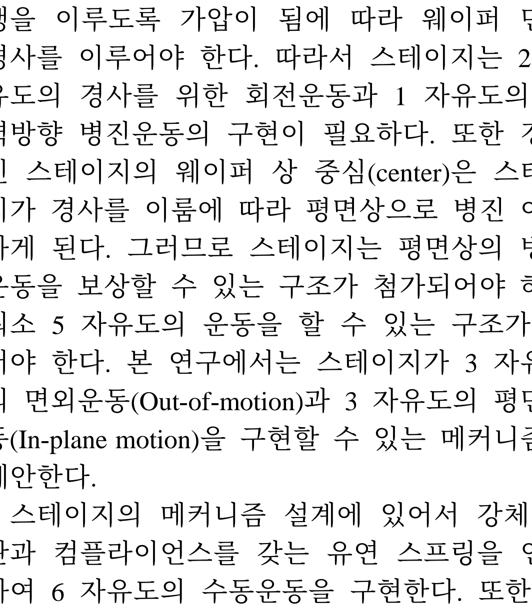


Fig. 2 Structure of a nano imprint machine

3. 나노 패터닝 장비용 스테이지

나노 패턴 장비에서 템플릿 헤드에 장착된 템플릿은 스테이지 상에 웨이퍼 척에 의해 고정되어 있는 웨이퍼를 향해 접근하다 접촉하게 되며, 접촉 후에는 패턴이 웨이퍼 상에 전사될 수 있도록 임의의 압력에 의해 가압하게 된다. 이 때 기계 구조적으로 템플릿과 웨이퍼 면을 서로 평행하게 유지해 주는 것이 매우 중요하다. 하지만 기구의 가공 및 조립 오차로 인하여 완벽하게 평행을 유지하는 것은 매우 어려우며, 따라서 미소한 비평형 면을 기구적 운동에 의해 평형 면을 이루도록 보상해 주어야 한다. 통상 능동 구동에 의해 기구적 평형을 보상해 주는 방법과 수동적인 컴플라이언스 메커니즘에 의해 보상해주는 방법을 고려할 수 있다. 전자는 기구가 복잡해지고 장비의 단가가 상승하는 단점을 가지기 때문에 본 연구에서는 후자인 수동적 컴플라이언스 메커니즘을 이용한다.

선형 구동되어 웨이퍼 사이로 접근하는 템플릿은 웨이퍼 면과 비평행면을 이루기 때문에 웨이퍼 면에 접촉할 때에는 어느 한 점부터 접촉된 후 계속 가압에 의해 전 면에 걸쳐 접촉이 이루어진다. 이 때 스테이지는 템플릿 면과 평



행을 이루도록 가압이 됨에 따라 웨이퍼 면이 경사를 이루어야 한다. 따라서 스테이지는 2 자유도의 경사를 위한 회전운동과 1 자유도의 중력방향 병진운동의 구현이 필요하다. 또한 경사진 스테이지의 웨이퍼 상 중심(center)은 스테이지가 경사를 이룸에 따라 평면상으로 병진 이동하게 된다. 그러므로 스테이지는 평면상의 병진운동을 보상할 수 있는 구조가 첨가되어야 하며 최소 5 자유도의 운동을 할 수 있는 구조가 되어야 한다. 본 연구에서는 스테이지가 3 자유도의 면외운동(Out-of-motion)과 3 자유도의 평면운동(In-plane motion)을 구현할 수 있는 메커니즘을 제안한다.

스테이지의 메커니즘 설계에 있어서 강체 평판과 컴플라이언스를 갖는 유연 스프링을 연결하여 6 자유도의 수동운동을 구현한다. 또한 메커니즘이 단일 평판 상에서 제작되도록 평면 메커니즘으로 구현하며, 열변형에 대처할 수 있도록 대칭을 이루도록 한다. 이러한 개념으로 설계한 스테이지의 구조는 Fig. 3 과 같다.

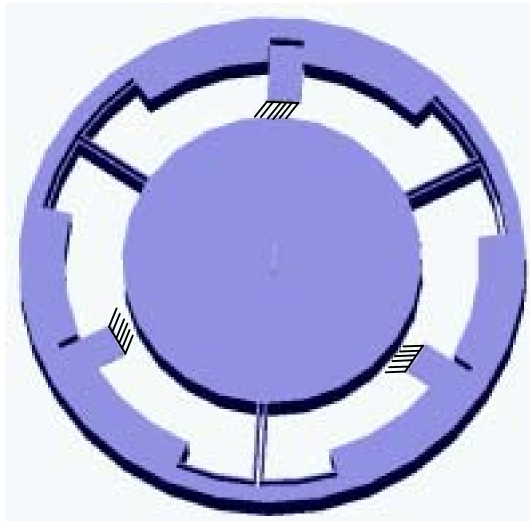


Fig. 3 Structure of a stage with flexure

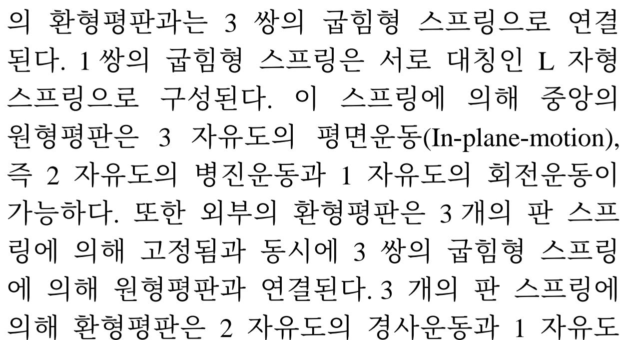
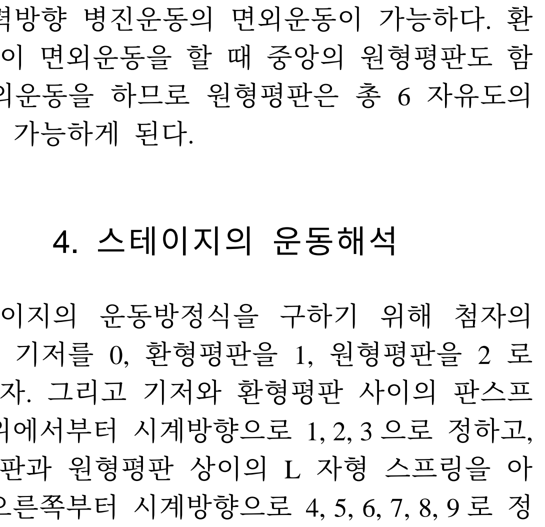


Fig. 3 에서 중앙에 위치한 원형평판은 웨이퍼 척을 고정하기 위한 것 이며, 이 원형평판과 외부의 환형평판과는 3 쌍의 굽힘형 스프링으로 연결된다. 1 쌍의 굽힘형 스프링은 서로 대칭인 L 자형 스프링으로 구성된다. 이 스프링에 의해 중앙의 원형평판은 3 자유도의 평면운동(In-plane-motion), 즉 2 자유도의 병진운동과 1 자유도의 회전운동이 가능하다. 또한 외부의 환형평판은 3 개의 판 스프링에 의해 고정됨과 동시에 3 쌍의 굽힘형 스프링에 의해 원형평판과 연결된다. 3 개의 판 스프링에 의해 환형평판은 2 자유도의 경사운동과 1 자유도의 중력방향 병진운동의 면외운동이 가능하다. 환형평판이 면외운동을 할 때 중앙의 원형평판도 함께 면외운동을 하므로 원형평판은 총 6 자유도의 운동이 가능하게 된다.

4. 스테이지의 운동해석



스테이지의 운동방정식을 구하기 위해 첨자의 번호는 기저를 0, 환형평판을 1, 원형평판을 2 로 나타내자. 그리고 기저와 환형평판 사이의 판스프링을 위에서부터 시계방향으로 1, 2, 3 으로 정하고, 환형평판과 원형평판 상이의 L 자형 스프링을 아래의 오른쪽부터 시계방향으로 4, 5, 6, 7, 8, 9 로 정하자. 이 때 운동방정식은 다음 식으로 나타낸다.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \mathbf{0} \tag{1}$$

여기서

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_2 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$\mathbf{M}_i = dia\lfloor m_i \quad m_i \quad m_i \quad I_{xi} \quad I_{yi} \quad I_{zi} \rfloor \tag{3}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & -\mathbf{K}_{12} \\ -\mathbf{K}_{21} & \mathbf{K}_{22} \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\mathbf{K}_{11} = \sum_{j=1}^{9} \tilde{\mathbf{D}}_{1j} \tilde{\mathbf{K}}_j \tilde{\mathbf{D}}_{1j}^T \tag{5}$$

$$\mathbf{K}_{22} = \sum_{j=1}^{9} \tilde{\mathbf{D}}_{2j} \tilde{\mathbf{K}}_j \tilde{\mathbf{D}}_{2j}^T \tag{6}$$

$$\mathbf{K}_{12} = \mathbf{K}_{21} = \sum_{j=4}^{9} \tilde{\mathbf{D}}_{1j} \tilde{\mathbf{K}}_j \tilde{\mathbf{D}}_{2j}^T \tag{7}$$

$$\mathbf{D}_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & -d_z & d_y \\ d_z & 0 & -d_x \\ -d_y & d_x & 0 \end{bmatrix}_i \tag{8}$$

$$\tilde{\mathbf{K}}_i = \begin{bmatrix} {}^{O}\mathbf{R}_{O_{si}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & {}^{O}\mathbf{R}_{O_{si}} \end{bmatrix} \tilde{\mathbf{K}}_{si} \begin{bmatrix} {}^{O}\mathbf{R}_{O_{si}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & {}^{O}\mathbf{R}_{O_{si}} \end{bmatrix}^T \tag{9}$$

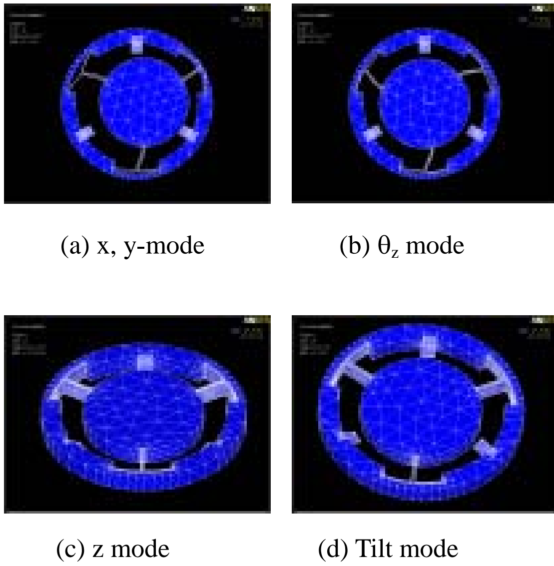
D 는 평판 좌표의 원점에서부터 스프링까지의 좌표를 나타내는 것으로 첫번째 첨자는 평판을, 그리고 두번째 첨자는 스프링의 번호를 나타낸다. **D** 행렬의 요소들은 각 방향의 거리를 나타낸다. $\tilde{\mathbf{K}}_{si}$ 는 i 번째 스프링의 강성(stiffness)를 나타내며, ${}^{O}\mathbf{R}_{O_{si}}$ 는 i 번째 스프링의 기준좌표에 대한 회전행렬이다.

설계한 스프링과 평판을 식 (1)~(9)에 의해 동해석을 수행하여 12 개의 진동모드를 얻었고, 이 중

중요한 모드에 대한 각 방향의 진동수는 다음과 같다.

$$f = [66.7 \quad 66.7 \quad 64.5 \quad 129.8 \quad 129.8 \quad 114.5] \quad (10)$$

또한 FEM 해석을 통해서 스테이지의 진동모드 및 고유진동수를 구했다. 해석을 통해서 구한 각 방향의 중요한 진동모드와 진동수는 Fig. 4 와 같다.



(a) x, y-mode (b) θ_z mode

(c) z mode (d) Tilt mode

Fig. 4 Simulation results of modal analysis

5. 결 론

본 논문은 나노 패턴 공정 및 패턴 공정을 수행하기 위한 장비에 대해서 기술하고, 나노 패턴 장비에 필수적인 스테이지에 관한 개념과 설계에 필요한 운동방정식 및 해석에 관해 기술하였다.

스테이지의 메커니즘은 강체 평판과 컴플라이언스를 갖는 유연 스프링을 연결하여 6 자유도의 수동운동을 구현하였고, 또한 메커니즘이 단일 평판 상에서 제작되도록 평면 메커니즘으로 구현하며, 열변형에 대처할 수 있도록 대칭을 이루도록 설계하였다. 설계된 시스템에 대해서 운동방정식을 유도하고, 동해석을 수행한 결과 유도한 운동방정식이 FEM 동해석 수행 결과와 오차범위 내에서 잘 맞는 것을 알 수 있었다.

금후의 연구과제는 유도된 운동방정식 및 강성계수를 이용하여 강체를 연결하는 각 스프링의 최적설계가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어연구개발사업인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비지원(02-K14-01-010-1-0)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

(1) J. Taniguchi, I. Miyamoto, M. Komuro, and S. Matsui, 2002, “Recent Trend of Nanoimprint Technique”, 지립가공학회지, Vol.46, No.6, pp.282-285

(2) B. J. Choi, S. Johnson, M. Colburn, S. V. Sreenivasan and C. G. Willson, 1999, “Design of Template Alignment Stages for Step & Flash Imprint Lithography,” Prof of ASPE 1999 Annual Meeting.