

접촉식 리소그라피의 정렬공정을 위한 압전구동 초정밀 스테이지

최기봉*, 이재종⁺, 김기홍⁺, 임형준⁺

(논문접수일 2010. 06. 16, 수정일 2011. 08. 18, 심사완료일 2011. 08. 19)

A Piezo-driven Ultra-precision Stage for Alignment Process of a Contact-type Lithography

Kee-Bong Choi*, Jae Jong Lee⁺, Gee Hong Kim⁺, Hyung Jun Lim⁺

Abstract

This paper proposed an alignment stage driven by piezo actuators for alignment process of a contact-type lithography. Among contact-type lithography processes, an UV-curable nanoimprint process is a unique process to be able to align patterns on upper and lower layers. An alignment stage of the UV-curable nanoimprint process requires nano-level resolution as well as high stiffness to overcome friction force due to contact moving. In this paper, the alignment stage consists of a compliant mechanism using flexure hinges, piezo actuators for high force generation, and capacitive sensors for high-resolution measurement. The compliant mechanism is implemented by four prismatic-prismatic compliant chains for two degree-of-freedom translations. The compliant mechanism is composed of flexure hinges with high stiffness, and it is directly actuated by the piezo actuators which increases the stiffness of the mechanism, also. The performance of the ultra-precision stage is demonstrated by experiments.

Key Words : Alignment stage(정렬 스테이지), Contact-type lithography(접촉식 리소그라피), Compliant mechanism(탄성 기구), Piezo actuator(압전 구동기), Flexure hinge(탄성힌지)

1. 서론

접촉식 리소그라피 기술은 광학식 리소그라피의 한계를 극복하기 위하여 개발된 기술로서 나노임프린트 리소그라피 기술이 대표적이다. 나노 임프린트 리소그라피 기술은 나노 패턴을 갖는 마스크를 레지스트가 도포된 웨이퍼에 일정한 힘으로 가압하여 웨이퍼 상에 나노패턴을 전사시키는 기술로서 경화방식에 의해 열경화 방식과 자외선(UV)경화방식으로 나뉜다. 이중 UV 경화방식은 투명한 마스크를 사용하기 때문에 다층의

나노패턴을 제작할 수 있는 장점이 있다^(1,2).

다층의 나노패턴을 제작하기 위해서는 윗 층의 패턴을 아랫 층의 패턴에 정렬시켜야 하며, 이 때 나노 수준의 고정도의 위치결정이 필수적이다. 고정도 위치결정을 위해서는 스테이지의 관절 부위가 접촉 마찰에 의해 운동하는 베어링 보다는 탄성력에 의해 운동하는 탄성힌지에 의해 구성되는 것이 바람직하다. 탄성힌지에 의해 구성된 탄성 메커니즘은 미소 영역 내에서 이동 플랫폼을 지지하고, 운동을 안내하는 역할을 한다.

미소영역에서 나노의 분해능을 달성할 수 있는 구동기로는

* 한국기계연구원 나노융합시스템연구본부 (kbchoi@kimm.re.kr)

주소: 305-343 대전시 유성구 장동 171

+ 한국기계연구원 나노융합시스템연구본부

정전기력, 전자기력, 형상기억합금 및 압전소자 등이 있다. 이 중 압전소자를 이용한 구동기는 타 구동기에 비해 빠른 응답성과 고분해능의 장점을 가지고 있다. 그러나 압전소자는 히스테리시스 및 크립의 비선형성 특징이 존재하기 때문에 고분해능의 변위센서를 장착하여 피드백에 의한 제어를 통해 위치결정을 해주어야 한다^(3,4).

압전소자를 구동기로 사용하여 큰 힘을 발생시키기 위해서는 압전필름을 적층시킨 적층형 압전소자를 이용한다. 적층형 압전소자는 고강성의 기동형태로 적층되며 나노급 분해능의 위치결정을 위한 액추에이터로 적합하다. 보통 적층형 압전소자는 소자 길이의 약 0.1%의 변위가 가능하다고 알려져 있다⁽⁵⁾. 적층형 압전소자의 변위는 매우 작기 때문에 큰 구동변위를 요구하는 시스템에는 기구적 변위확대기구에 의해 구동변위를 확대하나, 변위확대에 의한 구동력의 감소 및 변위확대기구의 강성저하가 발생하므로 설계시 주의가 요구된다.

기존의 압전소자 구동형 스테이지는 빠른 응답성과 고분해능의 장점이 있으나, 탄성힌지기구의 특성으로 인하여 강성이 매우 작은 단점이 있다⁽⁶⁻⁹⁾. 나노 임프린트의 정렬 공정에서는 마스크와 웨이퍼 사이의 미소간극을 수 μm 로 유지하며 정렬시켜야 하며, 정렬 후 가압에 의해 마스크와 웨이퍼를 압착한 후 UV를 투사하여 웨이퍼 상의 레지스트를 경화시킨다. 그런데, 정렬 후 가압과정에서 위의 마스크와 아래의 웨이퍼의 정렬이 어긋날 가능성이 매우 크고, 또한 수 μm 의 미소 간극을 기구적으로 유지시켜주는 것이 매우 어렵다. 따라서 마스크와 웨이퍼의 미소간극을 유지하며 정렬시키는 것 보다, 처음부터 마스크와 웨이퍼를 미소 힘으로 가압하여 접촉시킨 상태에서 스테이지를 미소 이동시켜가며 정렬시킨 후 가압과정을 수행하여 가압과정에서 발생할 수 있는 비정렬 문제를 해결할 수 있다.

본 논문의 목적은 마스크와 웨이퍼를 접촉시켜 정렬할 수 있는 정렬용 스테이지를 개발하는 것이다. 마스크와 웨이퍼를 접촉시켜 정렬할 때는 미소 힘에 의한 가압 때문에 구동 스테이지의 이동부에 수직력이 작용하며, 이동할 때 웨이퍼에 수직력에 의한 마찰력이 존재하게 된다. 따라서 구동 스테이지는 마찰력을 극복하며 위치결정을 할 수 있는 강성을 가져야 한다. 본 연구에서는 강성이 큰 압전구동식 병렬형 2축 탄성힌지 스테이지를 제안하고 개발한다. 그 후 실험을 통해 제안된 스테이지가 정렬공정에 적용될 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

2. 정렬용 압전구동 스테이지의 구조

압전구동 스테이지는 이동부(Target platform)를 지지하며 2축 병진운동을 안내하는 탄성 메커니즘(Compliant mechanism)과 이동부에 직접 힘을 인가하는 적층형 압전소자 및 이동부의 위치를 측정하는 용량형 변위센서로 Fig. 1처럼 구성된다. 적층형 압전소자는 길이방향으로 변위가 발생된다. 그러나 횡방

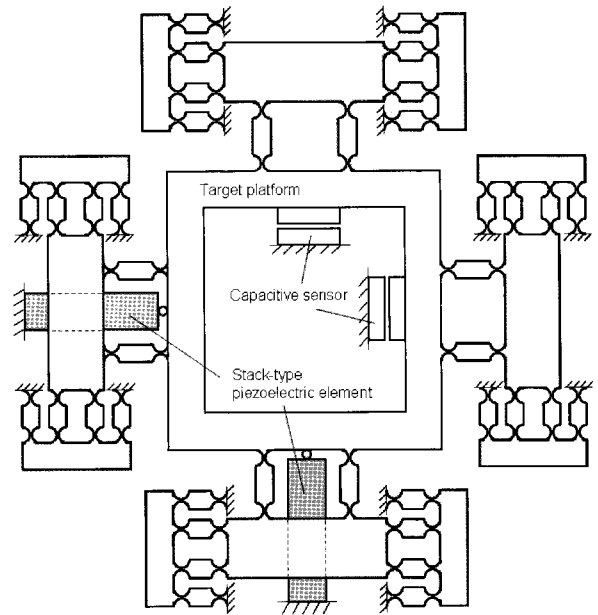
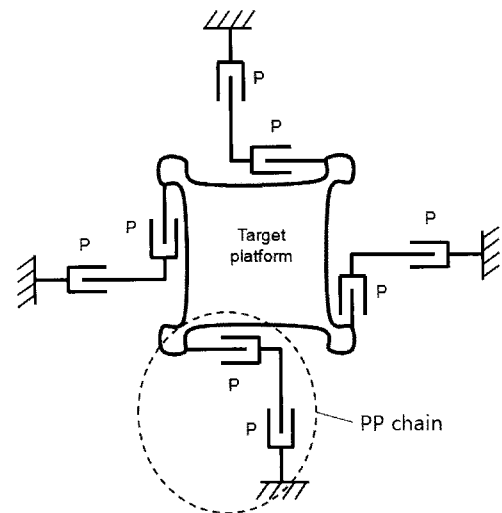
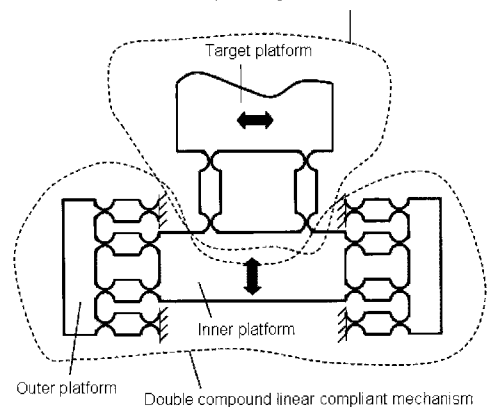


Fig. 1 Structure of piezo-driven compliant stage



(a) 4-PP mechanism

Four-link parallelgram compliant mechanism



(b) PP compliant joint chain

Fig. 2 Structure of PP joint chain

향에 대해서는 취성이 크기 때문에 횡방향의 힘이 인가되지 않도록 해야 한다. 따라서 적층형 압전소자와 이동부 사이에 미소 볼을 삽입하여 압전소자의 횡방향 운동에 대한 영향을 줄이도록 설계된다. 압전소자는 인장방향으로만 힘을 발생시키기 때문에 인장방향으로 이동부가 운동할 때는 압전소자의 강성과 탄성 메커니즘의 강성이 함께 작용하여 매우 큰 강성을 가지게 된다. 그러나 복귀 운동 즉 압축방향으로의 운동을 할 때는 탄성 메커니즘만의 강성이 작용한다.

탄성 메커니즘은 2축 병진운동을 구현하기 위해 4쌍의 병진-병진 관절(4-PP) 체인이 병렬로 연결된 구조를 갖는다. PP 관절 체인은 Fig. 2(a)와 같이 병진운동을 하는 관절이 서로 수직으로 배치된 형태를 갖는다. Fig. 2(b)는 (a)의 PP 관절 체인을 탄성힌지를 이용하여 구현한 것이다. 이것은 4-링크 평행병렬 탄성 메커니즘(4-link parallelogram compliant mechanism)과 이중 복합 선형 탄성 메커니즘(Double compound linear compliant mechanism)으로 구성되어 있다. 각 탄성 메커니즘은 원형 노치형 탄성힌지를 가지고 있다. 4-링크 평행 병렬 탄성 메커니즘은 운동방향의 수직방향에 대해 기생운동을 가지고 있다. 이 기생운동은 이중 복합 선형 탄성 메커니즘에 의해 보상된다. 각 PP 탄성 체인은 이동부의 네 변에 설치되어 병렬형 기구를 구성한다.

3. 압전구동 스테이지의 설계 및 해석

압전구동 스테이지의 설계를 위해 크기가 280mm×280mm×20mm인 알루미늄 7075-T6 판재가 주어졌다. 이 알루미늄 판재에 메커니즘이 설계된다. 탄성 메커니즘의 이동부의 첫수는 172mm×172mm×20mm로 정의되었다. 적층형 압전소자는 Piezomechanik사의 제품으로 크기는 10mm×10mm×36mm이다. 이 압전소자는 무부하 상태에서 150V의 전압을 인가할 때 최대 40 μ m가 인장된다. 탄성힌지의 두께가 20mm로 고정된 상태에서 탄성 메커니즘의 설계를 위해 2자유도 병진운동을 하는 메커니즘으로 각 축의 최대변위는 20 μ m보다 커야하고, 메커니즘의 1차 공진주파수는 250Hz 보다 커야하는 요구조건이 주어졌다. 설계는 이 요구조건을 만족하는 탄성힌지의 원형노치 반경과 노치 폭 및 원형노치와 원형 노치사이 링크의 길이를

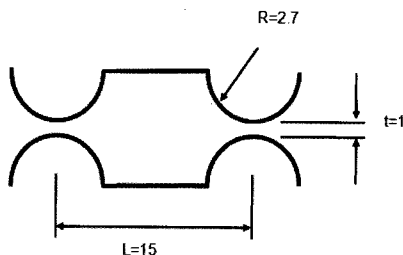


Fig. 3 Dimensions of flexure hinge

결정하는 것으로 간단화 시켰으며, 시뮬레이션에 의해 Fig. 3과 같은 결과를 얻었다.

설계된 탄성 메커니즘은 ANSYS를 이용하여 모델링한 후 FEM 해석을 수행하였다. 모델링된 메커니즘은 Fig. 4와 같으며, FEM 해석용 메쉬는 2D quad 4 node를 갖는 PLANE42 요소에 의해 생성되었다.

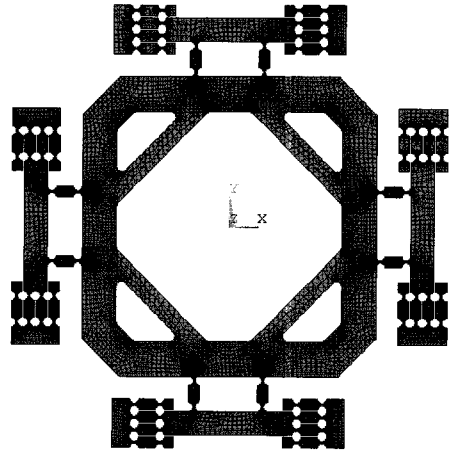
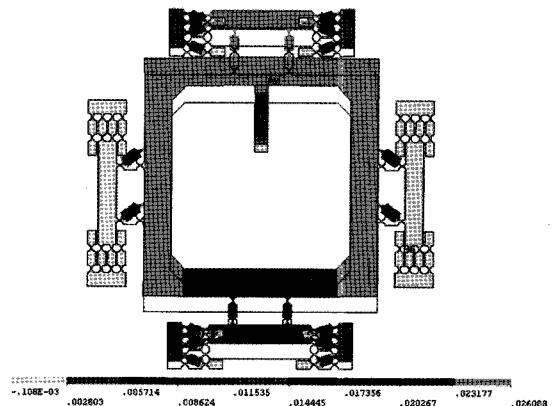
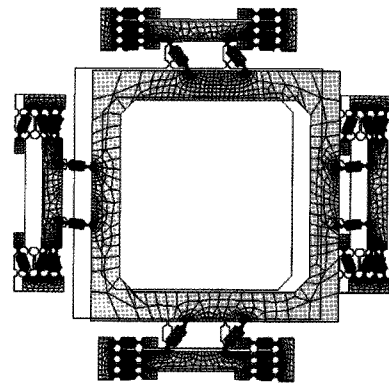


Fig. 4 FEM model of compliant mechanism



(a) Static analysis



(b) Modal analysis

Fig. 5 FEM analyses

Fig. 5는 Fig. 4의 FEM용 모델을 이용하여 해석한 결과이다. Fig. 5(a)는 정해석 결과로서 탄성 메커니즘에 압전소자를 배치한 후 압전소자에 전압을 인가할 때 이동부의 변위를 관찰한 것이다. 100V의 전압을 인가할 경우 최대 26 μ m의 변위가 발생함을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 탄성 메커니즘의 동해석을 수행한 결과로서 첫 번째 공진은 병진방향으로 발생하며 이 때의 주파수는 294Hz로 나타났다. 이 메커니즘은 병렬형이기 때문에 x 및 y축에서 동일한 주파수에서 동일한 모드가 발생한다.

위의 해석결과를 통하여 설계된 탄성 메커니즘은 제시한 요구조건을 만족하였다.

4. 실험

설계된 탄성 메커니즘은 와이어 방전가공을 이용하여 가공되었다. 그 후 적층형 압전소자와 용량형 변위센서를 삽입하여 압전구동 스테이지를 Fig. 6과 같이 완성하였다.

각 축의 변위는 용량형 센서를 이용하여 측정하였다. 1 개의 용량형 센서는 프로브(Probe)와 타겟(Target)이 있으며 타겟은 이동부의 한 면에 설치되고, 프로브는 고정 프레임에 설치되었다. Fig. 7은 한 축의 압전소자에 0~100V사이의 전압을 스

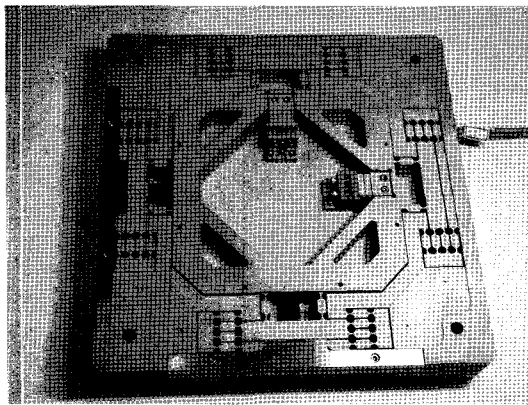


Fig. 6 Piezo-driven compliant stage

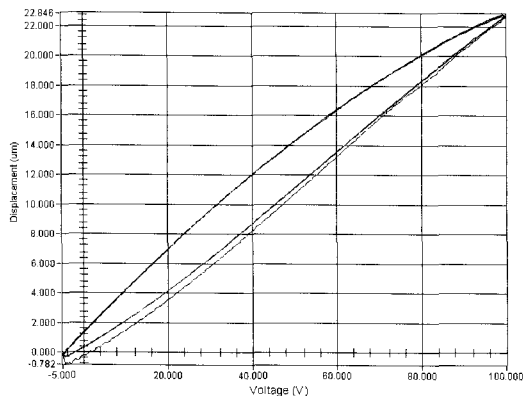


Fig. 7 Moving range

위핑하여 이동부의 변위를 측정된 결과이다. 개회로 상태에서 측정하였기 때문에 측정 결과에 압전소자의 고유의 특성인 히스테리시스가 발생되었음이 관찰되었다. 발생한 히스테리시스는 폐회로에 의한 제어시스템에 의해서 제어될 수 있다. 측정된 결과로부터 최대변위는 100V일 때 22 μ m가 관찰되었다.

히스테리시스 및 초정밀 제어를 위해 비례-적분제어를 설계하여 시스템을 제어하였다. 제어기의 비례-적분 게인을 조절 한 후에 스텝응답을 시간영역에서 Fig. 8과 같이 얻었다. 스텝 응답의 결과로부터 응답에 매우 작은 천이구역을 거쳐 미소한 오버슈트가 발생하였고, 곧바로 안정화된 응답이 관찰되었다. 이 응답의 상승시간은 11.04ms이고, 정착시간은 20.8ms이다.

압전구동 스테이지의 분해능을 구하기 위한 다단스텝의 응답을 실험에 의해 관찰했으며 결과는 Fig. 9와 같다. 각 스텝의 높이는 1nm이고, 응답은 스텝 안에서 잘 정착하고 있음을 보여 준다.

압전구동 스테이지가 비례-적분 제어되고 있는 동안 시스템의 동적 주파수 응답이 실험에 의해 관찰되었다. Fig. 10은 관

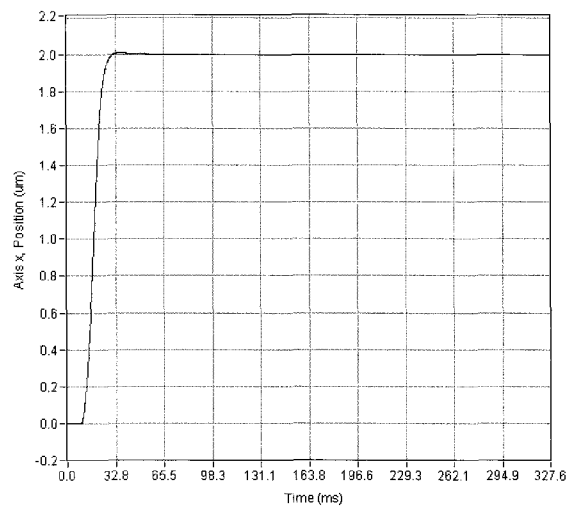


Fig. 8 Step response

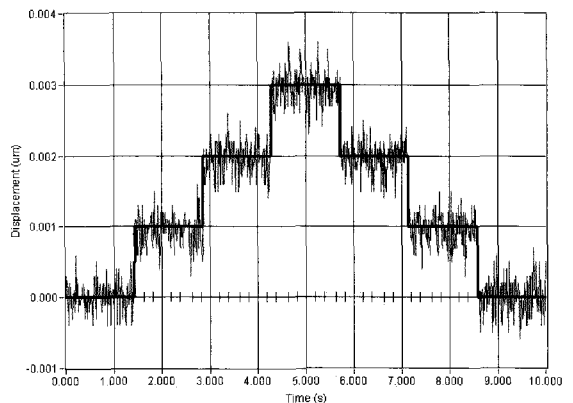


Fig. 9 Stepwise response

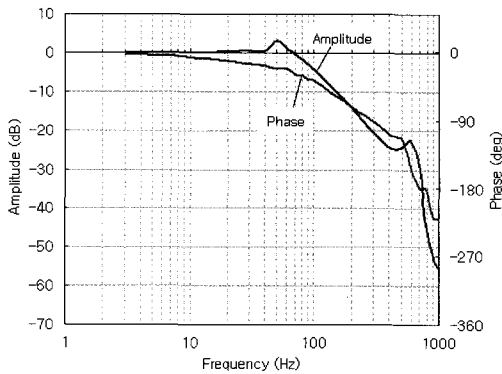


Fig. 10 Frequency response

찰된 주파수 응답 결과이다. 시스템의 공진주파수는 50Hz에서 발생하였다. 가진 주파수를 공진주파수 보다 크게 증가시키에 따라 응답의 크기는 갑자기 감소하기 시작한다. 시스템 응답의 대역폭은 87Hz로 측정되었다.

5. 결론

본 논문에서는 마스크와 웨이퍼를 접촉시켜 정렬할 수 있는 정렬용 스테이지를 개발하였다. 마스크와 웨이퍼를 접촉시켜 정렬할 때에는 미소 힘에 의한 가압 때문에 구동 스테이지의 이동부에 수직력이 작용하며, 이동할 때 웨이퍼에 수직력에 의한 마찰력이 존재하기 때문에 마찰력을 극복하며 위치결정을 하기 위해서 정렬용 스테이지가 큰 강성을 갖는 것이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 강성을 크게 하기 위한 압전구동식 병렬형 탄성 메커니즘을 제안하고, 설계 및 해석을 통해 압전구동 스테이지를 개발하였다. 개발된 스테이지는 실험을 통해 그 성능을 다음과 같이 증명하였다.

- (1) 스테이지의 각 축은 20 μ m의 구동범위에서 1nm의 분해능을 갖는다.
- (2) 폐회로 제어를 통해 11.04ms의 상승시간과 20.8ms의 정착시간 및 87Hz의 주파수 대역폭을 갖는 빠른 응답특성을 실현하였다.

개발된 압전구동 스테이지는 나노임프린트의 정렬공정에 적용될 예정이며, 향후 추가 연구를 통해 그 효용성을 제시하고자 한다.

후 기

본 논문은 21C 프론티어 연구개발사업으로 추진중인 “나노 메카트로닉스 기술개발사업”의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Dauksher, W. J., Le, N. V., Ainley, E. S., Nordquist, J. J., Gehoski, K. A., Young, S. R., Baker, J. H., Convey, D., and Mangat, P. S., 2006, “Nano-imprint Lithography: Templates, Imprinting and Wafer Pattern Transfer,” *Microelectronic Engineering*, Vol. 83, No. 4-9, pp. 929~932.
- (2) Sreenivasan, S. V., Choi, J., Schumaker, P., and Xu, F., 2011, “Status of UV Imprint Lighthouse for Nanoscale Manufacturing,” *Comprehensive Nanoscience and Technology*, Chap. 4.04, pp. 83~116.
- (3) Ha, J., and Jeong, K., 2009, “Fuzzy Controller Design for a Nano Precision Stage Driven by a PZT,” *Trans. of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 18, No. 4, pp. 228~233.
- (4) Cho, B., and Seong, H., 2010, “The Design of Sliding Mode Controller for Precision Stage Using Genetic Algorithm,” *J. of the Korea Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 19, No. 1, pp. 101~107.
- (5) Physik Instrumente GmbH, 2007, *The World of Micro and Nanopositioning*, Physik Instrumente Catalogue.
- (6) Choi, K. -B., and Han, C. S., 2007, “Optimal Design of a Compliant Mechanism with Circular Notch Flexure Hinges,” *J. of Mechanical Engineering Science*, Vol. 221, No. C3, pp. 385~392.
- (7) Kim, D., Lee, D. Y., and Gweon, D. G., 2007, “A New Nano-accuracy AFM System for Minimizing Abbe Errors and the Evaluation of its Measuring Uncertainty,” *Ultramicroscopy*, Vol. 107, No. 4-5, pp. 322~328.
- (8) Chang, S. H., Tseng, C. K., and Chien, H. C., 1999, “An Ultraprecision XY θ_z Piezo-micropositioner. Part I: Design and Analysis,” *IEEE Transactionson Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 46, No. 4, pp. 897~905.
- (9) Scire, F. E., and Teague, E. C., 1978, “Piezodriven 50-mm Range Stage with Subnanometer Resolution,” *Review of Scientific Instruments*, Vo. 49, No. 12, pp. 1735~1740.