

# Probe-based Storage Device(PSD)용 정전형 2 축 MEMS 스테이지의 설계 및 제작

백경록\*, 전종업#

## Electrostatic 2-axis MEMS Stage for an Application to Probe-based Storage Devices

Kyoung-Lock Baeck\*, Jong Up Jeon#

### ABSTRACT

We report on the design and fabrication of an electrostatic 2-axis MEMS stage possessing a platform with a size of  $5 \times 5 \text{mm}^2$ . The stage, as a key component, would be used in developing probe-based storage devices in the future. It was fabricated by forming numerous  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  etching holes in the central platform, as a result, reducing the total number of masks to 1, thereby simplifying the whole fabrication process. Experimental results show that the driving range of the stage was  $32 \mu\text{m}$  at the supplied voltage of 20V and the natural frequency was approximately 300Hz. The mechanical coupling between  $x$ - and  $y$ -motion was also measured and verified to be 25%.

**Key Words** : Micro stage (마이크로 스테이지), Electrostatic forces (정전기력), Scanning Probe Microscope (주사탐침현미경), Probe (프로브), Data storage device (정보저장기기)

### 1. 서론

나노미터 사이즈의 주사 탐침이 기록 매체 표면에 근접하여 정보를 기록/재생하는 PSD(Probe-based Storage Device)는 정보 저장기기의 대용량화, 소형화, 그리고 저가격화를 충족시킬 수 있는 신개념의 저장기기로, 90년대 이후 활발히 연구되고 있다.<sup>1</sup> Fig. 1은 PSD의 개념도를 나타낸 것으로 정보의 기록/재생 기능을 수행하는 다중 탐침, 기록 매체를 구동하는 MEMS 다축 스테이지, 기록/재생 신호를 처리하기 위한 신호처리 모듈로 구성된다.

PSD의 요소 기술 중 MEMS 스테이지는 기록/재생 메커니즘, 다중 탐침과 더불어 PSD 연구의 성패를 좌우하는 매우 중요한 요소이다. MEMS 스테이지를 구동하기 위한 구동력으로는 일반적으로 전자기력과 정전기력이 이용되고 있다. Rothuizen 등은 최근 구동 범위  $100 \mu\text{m}$ , 고유 진동수 100Hz인 5축 전자력형 MEMS 스테이지를 개발하였다.<sup>2</sup> 이와 같은 전자력형은, 정전형에 비해 큰 구동력을 얻을 수 있는 장점이 있는 반면, 코일의 형성 공정 등 제작 공정이 복잡해지고, 공정 전체를 일괄적으로 수행하는데 어려움이 있으며 정보 비트

\* 접수일: 2005년 2월 11일; 게재승인일: 2005년 10월 7일

# 교신저자: 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail jujeon@ulsan.ac.kr Tel. (052) 259-2139

\* LG 실트론 기술연구소, 울산대학교 대학원 기계자동차공학과

로부터 직접 플랫폼의 위치를 읽어내지 않는 한 변위 센서를 별도로 설치해야 하는 단점이 있다. 또한, 코일에 흐르는 전류로 인해 소비 전력이 커지게 되며, 열이 발생하는 문제점이 있다. 반면에, 정전형은 일반적으로 구동력이 작은 것으로 인식되고 있으나, 그 구조가 간단하고 소비 전력이 작으며 발열 문제가 없고 제작이 비교적 용이하며 구동용 전극을 그대로 플랫폼 변위 감지용 센서로 활용할 수 있는 장점 등을 갖고 있다. 정전형 스테이지에 관한 연구로는 현재 높은 면적효율(swept area, 스테이지 전체 크기에 대한 플랫폼 크기의 비)을 얻기 위해 표면 액추에이터(surface actuator) 방식을 채택한 MEMS 스테이지에 대한 연구<sup>3</sup>와 콤 전극을 이용한 2축 스테이지에 대한 연구<sup>4</sup> 등이 진행 중에 있으나 아직 완성도 면에서 미흡한 상태이다. 한편, Kim 등은 최근 콤 드라이브 방식의 2축 정전형 스테이지를 개발하였다.<sup>5</sup> 본 스테이지에서는 크기  $5 \times 5 \text{mm}^2$  인 대면적 플랫폼을 부양시키기 위해 글래스 웨이퍼(glass wafer)에 마이크로 채널을 형성하는 공정을 이용하고 있는데, 이로 인해 공정이 다소 복잡해지고 수율이 저하되는 문제점을 안고 있다.

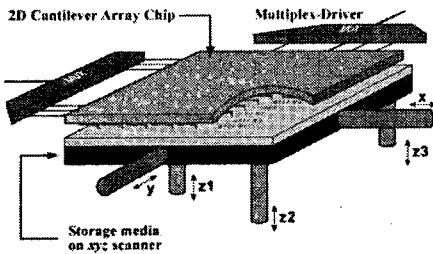


Fig. 1 Conceptual drawing of PSD(Probe-based Storage Device)<sup>1</sup>

본 논문에서는 플랫폼 외곽의 사각틀부에 에칭홀을 형성함으로써 마스크 한 장만으로 스테이지 제작이 가능하여 기존의 공정 방법들에 비해 보다 적은 비용으로 간단하게 제작할 수 있고, 동시에 높은 면적 효율과 대변위를 얻을 수 있는 정전형 2축 MEMS 스테이지에 대하여 기술하고자 한다. 본 스테이지의 경우, 플랫폼 중앙부에 넓은 사각홀을 형성함으로써 스테이지의 고유 진동수가 향상되는 부수적인 효과도 얻게 된다.

## 2. 스테이지의 구조 및 설계

### 2.1 구조

Fig. 2는 스테이지의 전체 구조를 나타낸 것이다. 스테이지의 중앙부에는 정보 기록/재생용 매체가 탑재될 플랫폼이 위치하고 있으며, 이 플랫폼의 사방에 플랫폼을 2축(x, y)으로 구동하기 위한 콤 형태의 고정자 전극(stator electrodes)과 이동자 전극(mover electrodes)이 플랫폼과 동일 평면상에 배치되어 있다. 스테이지의 이동부는 중앙의 플랫폼을 기준으로 이 플랫폼에 연결된 플랫폼 지지 스프링(platform support spring), 이동자용 리브(rib for mover), 이동자 콤 전극, 대변위 구동에 적합한 구조인 내부 및 외부 접힘 스프링(inner and outer folded spring) 등으로 구성되어 있다. 이동자 전극에는 외부 접힘 스프링부의 앵커(anchor)를 통하여 전압이 인가된다. 고정부는 글래스 웨이퍼에 부착되어 있는 고정자 콤 전극과 고정자용 리브(rib for stator), 고정자 전극에 전압을 인가하기 위한 전극 패드 등으로 구성되어 있다.

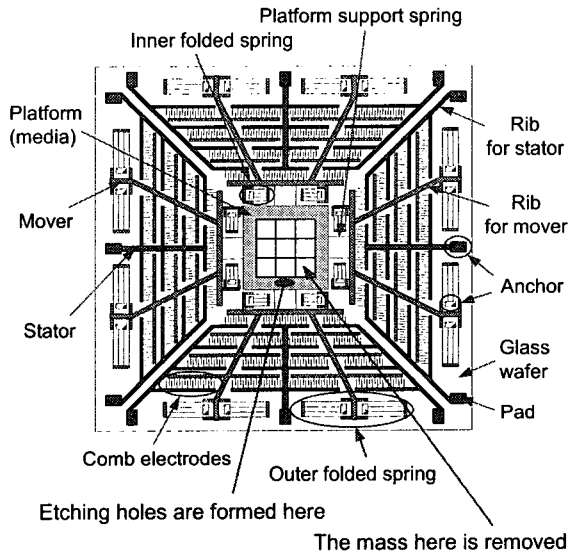


Fig. 2 Structure of electrostatic MEMS stage

본 구조에서는, 플랫폼 제작 공정의 간단화를 위해, 플랫폼 외곽의 사각틀부에  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ 의 에칭홀(etching hole)을 두어 플랫폼 부양(release) 공정시 에칭액의 유입을 수월하게 함으로써, 기존 공정에

서 사용하던 글래스 웨이퍼에의 마이크로 채널 형성공정을<sup>5</sup> 생략하고도 스테이지의 제작이 가능하도록 하였다.

한편, 본 스테이지를 PSD 에 응용하기 위해서는 플랫폼에 기록 매체를 장착하여야 한다. 이 때 일반적인 장착 방법인 접착에 의한 장착 방법을 사용할 경우, 기록 매체에 플랫폼 전체가 연결될 필요는 없고 플랫폼 외곽 부분에만 연결되면 충분하므로, 본 스테이지에서는 플랫폼 중앙부를 제거(중앙부에 넓은 사각 홀을 형성)하여, 고유 진동수의 향상을 도모하였다. 가능한 한 고유 진동수를 높이기 위해서는 사각 홀의 크기를 크게 형성하는 것이 바람직하나 그 만큼 기록 매체와 연결될 플랫폼 외곽 부분의 면적이 작아지므로, 사각 홀의 크기는 조립에 필요한 최소 면적만을 플랫폼 외곽 부분에 남기고 가능한 한 크게 형성하는 것이 바람직하다. 동일한 스프링 상수 값을 갖는 플랫폼 지지 스프링을 사용할 경우, 플랫폼 중앙부에 사각 홀을 형성함으로써

$$\sqrt{\frac{m}{m - \Delta m}}$$

배 만큼 고유 진동수는 향상된다. 여기서,  $m$  은 플랫폼을 포함한 이동부의 전체 질량,  $\Delta m$  은 제거된 부분의 질량이다.

## 2.2 구동 원리 및 구동력

Fig. 3 은 스테이지의 구동 원리를 도시한 것이다. 미디어를  $+x$  축으로 이동하려면 고정자 전극  $E_{+x}$  에 전압을 인가하여  $+x$  축 방향 구동력을 발생시키고,  $-x$  축으로 이동하려면 전극  $E_{-x}$  에 전압을 인가한다. 마찬가지로,  $+y(-y)$  축 방향으로 이동하려면  $E_{+y}(E_{-y})$  에 전압을 인가하면 된다. 실제 스테이지를 구동함에 있어서는 구동 전압과 구동력 간의 선형적인 관계를 유지하기 위해 차동 구동 방식(differential driving method)이 많이 사용된다. 이 방식에 있어서는 플랫폼의 좌우( $y$  축 구동의 경우는 상하)에 배치된 콤 전극에 동일 크기의 바이어스 전압을 각각 인가하고, 여기에 구동 전압을 반대방향으로 차분적으로 더하여 인가하는 방식이다.

차동 구동 방식에 있어서 구동력은 다음과 같다.  $x$  축 구동력을 예로 들면, 플랫폼의 우측에 형성되어 있는 전극들에 의한 전기장 에너지  $U_{+x}$  와 좌측의 에너지  $U_{-x}$  는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_{+x} = \frac{1}{2} \epsilon \frac{2Nh(x+x_0)}{g} (V+v)^2 \quad (1)$$

$$U_{-x} = \frac{1}{2} \epsilon \frac{2Nh(x+x_0)}{g} (V-v)^2 \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon, V, v, x, x_0$  는 각각 유전율, 바이어스 전압, 구동 전압, 구동 변위, 콤 전극이 초기에 겹쳐져 있는 길이이고,  $h, N, g$  는 각각 콤 전극의 높이, 콤 전극의 갯수, 콤 전극 간의 간격이다. 식(1), (2)의 전기장 에너지로부터 구동력  $F_{+x}$  와  $F_{-x}$  를 구하면 각각,

$$F_{+x} = \frac{\partial U_{+x}}{\partial x} = \frac{\epsilon Nh}{g} (V+v)^2 \quad (3)$$

$$F_{-x} = \frac{\partial U_{-x}}{\partial x} = -\frac{\epsilon Nh}{g} (V-v)^2 \quad (4)$$

와 같고, 이로부터  $x$  축 방향 총구동력  $F_x$  를 구하면

$$F_x = F_{+x} + F_{-x} = 4 \frac{\epsilon Nh}{g} Vv \quad (5)$$

와 같다. 상기 식으로부터, 구동력이 구동 전압에 선형적임을 알 수 있고, 동일 전압에서 구동력을 증가시키려면 콤 구조물의 중횡비를 가능한 한 크게 하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 그러나, 일반적으로 달성할 수 있는 최대 중횡비의 크기는 공정 기술 및 장비에 의해 결정된다.

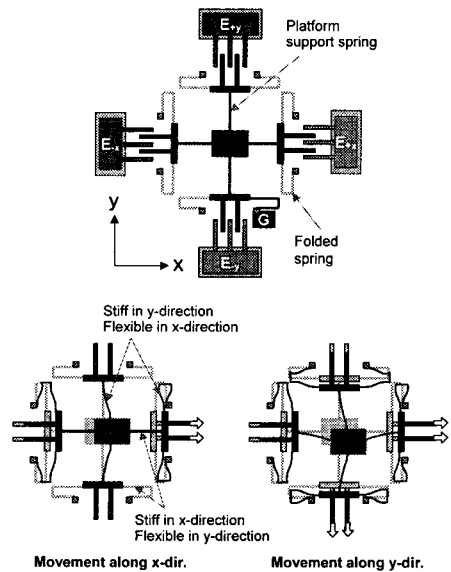


Fig. 3 Driving principle

Fig. 3에서 짐작할 수 있듯이 본 스테이지의 구조에서는 플랫폼이  $x(y)$ 축으로 움직인 상태에서  $y(x)$ 축으로 구동력이 가해지면 이 구동력에 의해  $x(y)$ 축 방향의 운동이 영향을 받게 되는, 즉 기계적 커플링이 발생함을 알 수 있다. 이러한 커플링은 스프링의 최적 설계를 통하여 최소화할 수 있으며, 피드백 제어를 수행하여 완전히 제거할 수 있다.

Table 1 Designed specification of stage

Parameter	Specifications
Moving axis	2 axis ( $x, y$ )
Driving range	$\pm 50 \mu\text{m}$ @ 40 V
Natural freq.	432 Hz
Platform size	$5 \times 5 \text{ mm}^2$
Total size	$21.1 \times 21.1 \text{ mm}^2$
Swept area	7.7 %

Table 2 Dimension of stage components

Parameter	Dimension
Comb size ( $w \times l$ )	$3 \times 130 \times 50 \mu\text{m}^3$
Gap btw. Combs	$3 \mu\text{m}$
Platform support spring size	$5 \times 1,200 \times 50 \mu\text{m}^3$
Inner(outer) folded spring size	$5 \times 735(990) \times 50 \mu\text{m}^3$

### 2.3 설계

Table 1에 나타난 스테이지의 성능 사양 중, 구동 범위, 고유 진동수, 플랫폼 크기는 PSD의 시스템 성능을 고려하여 결정하였다. PSD의 저장 용량 및 기록 밀도, 기록/재생 속도 등을 고려할 때 스테이지는 약  $100 \mu\text{m}$  정도의 구동 범위를 가져야 하며, 공진 주파수는 수백 Hz 수준이 되어야 한다.<sup>1,5</sup> 또한 미디어의 크기는  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  정도가 되어야 한다. 스테이지의 구동 범위에 미치는 설계 변수는 구동력과 플랫폼 지지 스프링의 스프링 상수이고, 고유 진동수에 미치는 변수는 스프링 상수와 플랫폼의 질량이며, 플랫폼의 면적율은 스테이지의 전체 크기와 플랫폼의 크기에 의해 영향을 받는다. 이와 같이 설계 변수들이 서로 맞물려서 작용하므로 스테이지의 성능 목표 사양을 만족하기 위해서는 가능한 모든 설계 변수를 고려하고 이를 최적화하여 설계하여야 한다. Table 1의 스테이지 전체 크기 및

면적 효율과 Table 2는 최적 설계 작업을 수행한 후 얻어진 스테이지의 성능 사양 및 각 구성 요소의 최종 설계 치수이다.

### 2.4 모드해석

설계된 스테이지의 진동 모드 및 고유 진동수를 알아보기 위해 ANSYS를 이용하여 모드 해석을 수행하였다. 모드 해석을 수행함에 있어서 스테이지의 구조를 가능한 한 단순화하여 모델링을 실시하였다. 플랫폼에 형성된 에칭 홀은 모델링에서 생략하였고, 그 질량 감소분만큼 이동부의 질량에 반영하였다. 또한 콤 전극도 형상의 단순화를 위해 모델링에서 생략하였으며, 콤 전극의 질량을 계산하여 그 만큼 이동부의 질량에 첨가하였다. 이동부 중에서 이동자용 리브는 빔 요소(*beam element*)를 사용하여 해석하였으며, 리브 간의 폭의 차이는 빔 요소의 실계수(*real constant*)에서 그 폭을 다르게 입력함으로써 해결하였다. 중앙의 플랫폼은 셸(*shell*)요소를 사용하여 해석하였다.

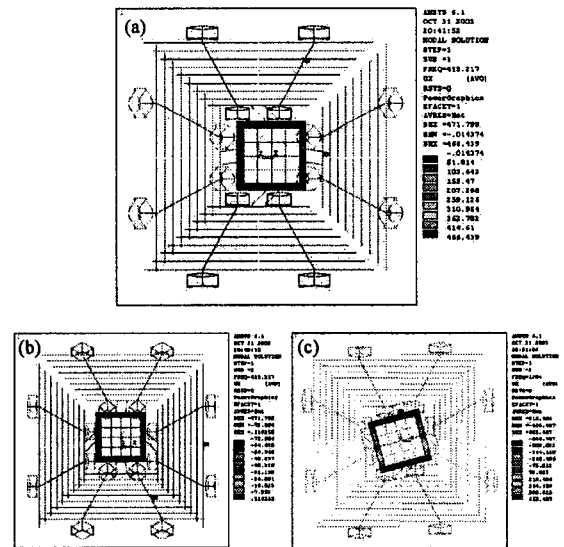


Fig. 4 Mode shape: (a)  $x$ -axis translational motion (1st mode), (b)  $y$ -axis translational motion (2nd mode), (c)  $z$ -axis rotational motion (3rd mode)

Fig. 4는 모드 해석을 수행한 결과이다. 1, 2차 진동 모드는  $x$  축 및  $y$  축 병진 운동으로 그 진동수의 크기는 415Hz 이었고, 3차 진동 모드는  $z$  축

에 대한 회전 운동으로 그 크기는 1204Hz 이었다. 2 축 스테이지의 운동에 있어서 요구되는 조건은 x 축과 y 축으로는, 동일한 정도로 유연하게 움직일 수 있어야 하고 그 외의 진동 모드는 일어나기 어려운 구조이어야 한다. 즉, 1 차 및 2 차 진동수는 동일하여야 하고, 3 차 이상의 진동수의 크기는 가급적 1, 2 차 진동수와 멀리 떨어져 있어야 한다. 본 스테이지의 경우 해석 결과에서 알 수 있듯이 1, 2 차 고유 진동수는 동일한 값을 나타내고 있으며 3 차 고유 진동수는 1, 2 차 진동수의 약 3 배로 상당히 큰 값을 나타내고 있어 만족할 만한 구조임을 알 수 있다. 한편, 1, 2 차 고유 진동수의 경우, 전술한 최적 설계에 의한 고유 진동수의 설계 결과인 432Hz 와 거의 일치함을 알 수 있다.

### 3. 스테이지의 제작

Fig. 5 는 제작 공정도이다. 본 공정은 마스크한 장만으로 스테이지 제작이 가능하여 기존의 공정 방법들에 비해 적은 비용으로 제작이 가능한 장점을 갖는다. 이하, 공정 순서에 대하여 기술한다.

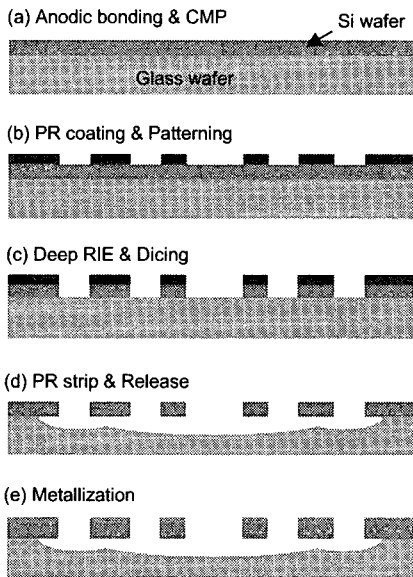


Fig. 5 Fabrication process

(1) 양극접합 및 CMP

먼저 실리콘 웨이퍼와 글래스 웨이퍼의 양극 접합(anodic bonding)을 실시한다. 실리콘 웨이퍼는 직경 4in, 두께 525±25µm, 글래스 웨이퍼는 직경 4in, 두께 800±25µm 인 것을 사용하였다. 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 것보다 두꺼운 글래스 웨이퍼를 사용하였는데, 이는 후속 공정에서 글래스 웨이퍼가 구조물을 지지하는 기판으로 사용되기 때문에 그 강도를 높이기 위한 것이다. 실리콘 웨이퍼와 글래스 웨이퍼를 양극 접합한 후 실리콘 웨이퍼를 두께 50µm 가 되도록 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정을 실시하였다.

#### (2) PR 코팅 및 패터닝(patterning)

PR(Photo-Resist)을 도포한 후 제작하고자 하는 패턴으로 광리소그래피(photolithography)를 실시하였다. 실리콘 웨이퍼를 4000rpm 으로 회전시켜 PR(AZ7220)을 2µm 의 두께로 도포하였으며, 이 PR 을 핫플레이트(hot plate)를 이용하여 95℃에서 90 초 동안 소프트베이크(soft bake)하였다. 이후 EV-620 얼라이너(aligner)를 사용하여 13mW/cm<sup>2</sup> 로 3 초 동안 노광을 실시하고 하드베이크(hard bake)를 120℃에서 약 15 초 동안 핫플레이트를 사용하여 실시하였다. 계속해서 현상액 AZ300MIF 를 사용하여 하드베이크된 패턴을 30 초 동안 현상하였다.

#### (3) Deep RIE

구조물을 ICP(Inductively Coupled Plasma)를 이용한 실리콘의 Deep RIE(Reactive Ion Etching) 공정을 이용하여 형성하였다. 이 때 마스크로는 상기 (2)번의 광리소그래피 공정에서 패터닝한 PR 을 사용하였다. Deep RIE 시의 공정 조건은 보쉬 프로세스, 폴리머 증착(4 초)-폴리머 비등방 식각(2 초)-메인 에치(3 초)이며, 이 때 식각율은 패턴의 형태와 식각 부위의 면적에 의존된다.

#### (4) PR 제거 및 부양(release)

Deep RIE 공정이 완료된 후 마스크로 사용된 PR 을 제거하는데, 이 때 플라즈마 애셔(asher)로 PR 을 제거하여야만 추후의 부양 공정에서 잔류 폴리머에 의한 점착(stiction)현상을 방지할 수 있다. PR 을 제거한 후 다수의 스테이지를 각각 분리해 내기 위해 다이싱(dicing) 작업을 실시하는데, 이 때 다이싱 중에 발생하는 진동과 파편, 윤활액 등으로 인해 제작된 스테이지의 구조물이 부서지거나 콤과 콤 전극 사이에 이물질이 끼어 구조물이 동작하지 않는 현상 등이 발생한다. 따라서 다

이싱을 실시하기 전에 반드시 PR 을 구조물 전체에 도포하여 구조물을 보호하여야 한다. 도포된 PR 은 다이싱이 완료된 후 아세톤을 이용하여 제거하였다. 다이싱 작업 후 불산(HF)을 이용하여 이동자와 플랫폼의 밑면에 붙어 있는 글래스 웨이퍼 부분을 식각해 냄으로써 이동자와 플랫폼을 부양시킨다. 이 때 앵커와 고정자는 이동자와 플랫폼 부분에 비해 글래스 웨이퍼에 붙어 있는 부분의 면적이 크기 때문에, 식각이 진행되어 이동자와 플랫폼 부분이 완전히 부양된 시점에도 앵커와 고정자는 일부분이 글래스 웨이퍼에 부착되어 있게 된다. 한편, 본 습식 식각 공정 중에는 콤 전극의 점착 현상이 발생하기 쉽기 때문에, 이를 방지하기 위해 공정의 마지막 단계에서 스테이지를 IPA(Iso-Propyl Alcohol)에 담근 후 대류 오븐(convection oven)에서 10 분 정도 가열하여 구조물에 남아 있는 용액을 승화 건조시킨다.

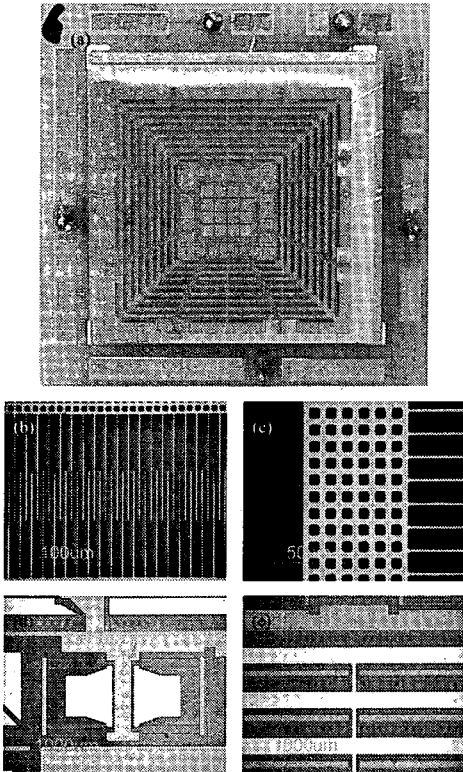


Fig. 6 Photograph showing an fabricated MEMS stage: (a) stage, (b) comb electrodes, (c) etching holes, (d) inner folded springs, (e) mover and stator

(5) 메탈 증착

제작된 스테이지의 전극과 PCB 기판의 전극을 연결하기 위해 와이어 본딩(wire bonding)을 실시하였다. 와이어 본딩에서 사용하는 금선(gold wire)이 스테이지의 전극에 잘 부착되게 하기 위해서 와이어의 재질과 같은 금박막층(Au layer)을 스테이지의 전극에 증착하는 것이 바람직하다. 그러나 실리콘 웨이퍼와 금박막층은 접착성이 좋지 않기 때문에 접착제층(glue layer)으로 크롬을 먼저 증착한 후 그 위에 금박막층을 증착한다. 본 논문에서는 열증착기(thermal evaporator)를 이용하여 스테이지의 전면에 Cr/Au 층을 각각 500Å/2000Å의 두께로 증착하였다. Cr/Au 층을 형성한 후 스테이지를 PCB 기판에 장착하고 와이어 본딩 작업을 실시하였다.

Fig. 6 은 제작한 스테이지의 전체 광학 사진 및 콤 전극, 에칭 홀, 내부 접힘 스프링, 이동자 및 고정자 전극 등 각 부위의 전자 현미경 사진을 나타낸 것이다. 매우 깨끗이 제작되었음을 알 수 있다.

4. 특성 실험 결과 및 고찰

4.1 구동특성 측정용 실험장치

Fig. 7 은 제작된 스테이지를 y 축 방향으로 구동하였을 때, y 축 운동의 주파수 응답 특성 및 y 축 운동과 x 축 운동 간의 간섭에 의해 x 축에 발생하는 커플링량을 측정하기 위한 실험 장치의 구성도이다. x 축의 주파수 특성 및 y 축으로의 커플링량을 측정할 때에는 구성도에 있어서 x 축과 y 축에 해당하는 전극 배선을 서로 바꾸면 된다. 구동 실험을 실시하기 위해, y 축 고정자 전극 +Y, -Y 에는 직류 전원을 이용하여 바이어스 전압(+10V, -10V)을 각각 인가하고, 이동자 전극에는 DSA(Dynamic Signal Analyzer, HP35670A)의 소스 전압을 이용하여 구동 신호(크기 0.1V 의 periodic chirp 신호)를 인가하였다. 이 때, x 축 고정자 전극 +X, -X 에는 이들과 이동자 전극 간에 정전기력이 발생하지 않도록 하기 위해 이동자 전극에 인가되는 전압과 동일 전압을 인가하였다. 변위 측정용 센서로는 LDV(Laser Doppler Vibrometer, Polytec OFV-3001)를 사용하였고, 이 때 LDV 의 레이저 반사면으로는 스테이지 외부 접힘 스프링의 수직 한 면을 이용하였다. LDV 의 출력값과 고정자 전

극에 인가한 구동 신호를 각각 DSA의 채널에 연결함으로써 스테이지의 구동 특성을 측정하였다.

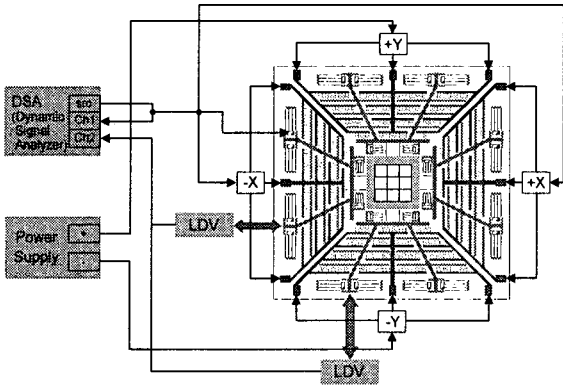


Fig. 7 Configuration of an experimental system for measuring the driving characteristics

4.2 실험결과 및 고찰

Fig. 8은  $x$  축과  $y$  축 방향 운동의 주파수 응답 특성을 측정한 결과이며, Fig. 9는  $x$  축과  $y$  축 운동 간의 커플링량을 측정한 결과이다.  $x$  축의 고유 진동수는 309Hz,  $y$  축의 고유 진동수는 313Hz로 각각 측정되었으며,  $x$  축의 커플링은 27.5dB로 23.8%이고  $y$  축의 커플링은 28.7dB로 27.2%로 측정되었다.

본 실험에서는 스테이지의  $z$  축에 대한 회전 운동, 즉 요 운동(yaw motion)의 영향을 제거하기 위한 별도의 주파수 필터는 사용하지 않았다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 요 운동의 고유 진동수는 1.2kHz로 상당히 크기 때문에 요 운동이 Fig. 8과 Fig. 9의 저주파 영역 데이터에 미친 영향은 상당히 작을 것으로 판단된다. 그러나, 요 운동의 영향이 고주파 영역 데이터에는 어느 정도 포함되었을 가능성이 있음에 유의하여야 한다.

시간 응답 특성을 측정하기 위해 고정자 전극에 바이어스 전압  $\pm 10V$ 를, 이동자 전극에 사각파 구동 전압  $\pm 10V$ 를 각각 인가하고, 스테이지의 움직임을 LDV를 이용하여 측정하였다. Fig. 10은 측정 결과이다. 약  $32\mu m$ 의 변위가 발생함을 알 수 있다.

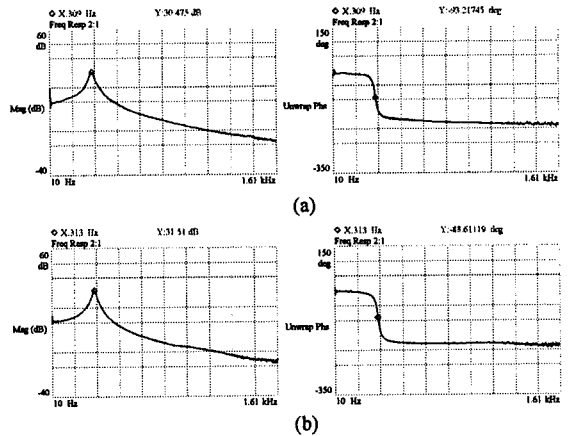


Fig. 8 Frequency responses in (a)  $x$ -axis and (b)  $y$ -axis

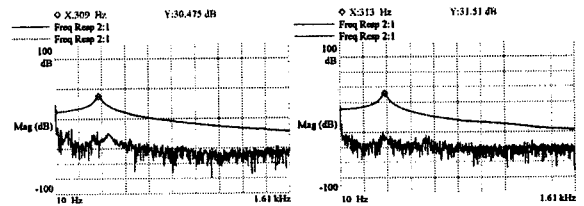


Fig. 9 Coupling between  $x$ - and  $y$ -axis movements

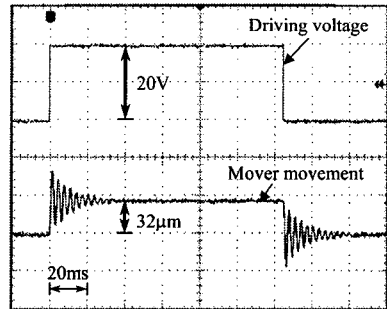


Fig. 10 Transient response

전술한 바와 같이, 주파수 특성의 측정 결과,  $x$  축과  $y$  축의 고유 진동수는 각각 309Hz, 313Hz로 나타났는데, 이는 설계값 432Hz와 상당한 차이를 보여주고 있다. 그 이유는 로딩 효과(loading effect)에 의한 푸팅(footing) 현상으로 인해 스프링 형상이 설계값과 다르게 제작되었기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 11, 12, 13은 각각 푸팅 현상에 의해 구조물이 상당히 오버 에치(over etch)된 모습을 보여주는 사진이다. Fig. 11은 스테이지의 윗 면에서 본

콤 전극 부분의 형상과 아랫 면에서 본 형상을 비교하여 나타낸 것이다. 콤 전극의 아랫 면을 보면, 푸팅 효과에 의한 오버 에치로 콤 전극의 두께가 상당히 얇아져 있음을 알 수 있다. Fig. 12 는 스테이지의 윗 면에서 본 에칭 홀의 형상과 아랫 면에서 본 에칭 홀의 형상을 나타낸 것으로 스테이지의 아랫 면에서 본 에칭 홀은 마스크로 정의된 형상(사각형상)에 비해 외곽으로 많은 오버 에치가 일어나 원 형상을 이루고 있음을 알 수 있다. Fig. 13 에는 푸팅 효과에 의해 형상이 변형된 플랫폼 지지 스프링의 모습을 나타내었다. 플랫폼에서 먼 부분의 스프링 부위가 더 많이 에칭되어 스프링의 두께가 얇아졌음을 알 수 있다.

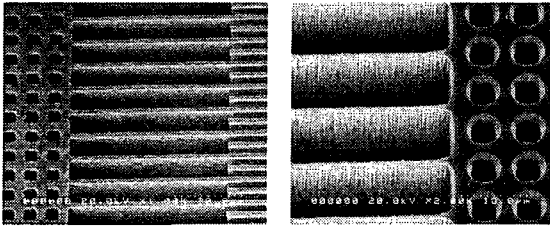


Fig. 11 Shapes of comb electrodes over-etched by footing effect: (left) upper side, (right) bottom side

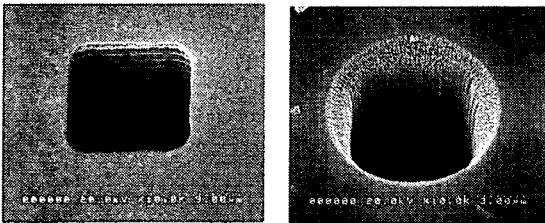


Fig. 12 Shapes of an etching hole over-etched by footing effect: (left) upper side, (right) bottom side

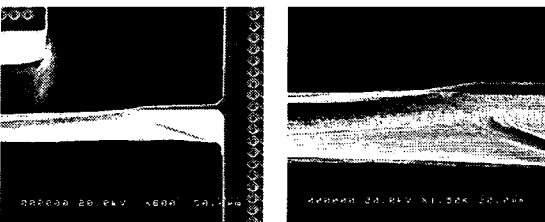


Fig. 13 Shape of a support spring over-etched by footing effect: (left) bottom side, (right) amplified view

스테이지 설계시, 설계 사양과 실제 제작된 스테이지 간의 성능 차이를 가능한 한 줄이려면 이러한 푸팅 현상에 대한 충분한 배려가 이루어져야 한다. 로딩 효과에 의한 푸팅 현상을 줄이려면 에칭이 일어나는 부분의 윈도우(window) 크기가 전 스테이지에 걸쳐 큰 차이가 없도록(윈도우가 넓은 부분은 식각 공정에서 푸팅 효과가 심하게 발생하고, 윈도우가 좁은 부분은 식각 공정에서 구조물이 느리게 형성됨) 하여야 한다.

## 5. 결론

PSD(Probe-based Storage Device)용 2 축 마이크로 스테이지를 설계, 제작하고, 구동 특성을 측정하였다. 구동력으로는 정전기력을 이용하였으며, 구동방식으로는 콤 드라이브 방식을 이용하였다. 본 스테이지에서는, 플랫폼 외곽의 사각틀부에 에칭 홀을 두어 플랫폼 부양 공정시 에칭액의 유입을 수월하게 함으로써, 제작 공정의 단순화 및 저가격화(마스크 한 장으로 제작 가능)를 꾀하였으며, 부수적으로 기록 매체가 장착될 플랫폼의 중앙부에 격자 모양의 넓은 사각 홀을 형성함으로써 고유 진동수의 향상을 도모하였다. 제작된 마이크로 스테이지의 구동 범위는 인가 전압 20V 에서 32 $\mu$ m 이었으며, 2 축 간 커플링량은 약 25%, 고유 진동수는 약 300Hz 이었다.

## 후 기

이 논문은 한국학술진흥재단 선도연구자지원 사업의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-041-D00065).

## 참고문헌

1. Vettiger, P., Cross, G., Despont, M., Drechsler, U., Durig, U., Gotsmann, B., Haberle, W., Lantz, M. A., Rothuizen, H. E., Stutz, R. and Binnig, G. K., "The "Millipede"-Nanotechnology Entering Data Storage," IEEE Trans. on Nanotechnology, Vol. 1, No. 1, pp. 39-55, 2002.
2. Rothuizen, H., Despont, M., Drechsler, U., Genolet, G., Haberle, W., Lutwyche, M., Stutz, R. and Vettiger, P., "Compact Copper/epoxy-Based Electromagnetic



- Scanner for Scanning Probe Applications," Proc. 15th IEEE Int. Conf. MEMS, Las Vegas, pp. 582 - 585, Jan. 20-24, 2002.
3. United States Patent US6411589B1, Hewlett-Packard Co., Jun. 25, 2002.
  4. Carley, L. R., Bain, J. A., Fedder, G. K., Greve, D. W., Guillou, D. F., Lu, M., Mukherjee, T. and Santhanam, S., "Single-chip Computers with Microelectromechanical Systems-based Magnetic Memory," J. Applied Physics, Vol. 87, No. 9, pp. 6680-6685, 2000.
  5. Kim, C.-H., Jeong, H.-M., Jeon, J. U. and Kim, Y.-K., "Silicon Micro XY-Stage with a Large Area Shuttle and No-Etching Holes for SPM-Based Data Storage," J. Microelectromechanical systems, Vol. 12, No. 4, pp. 470-478, 2003.