

논문 2002-11-1-05

## 광 저장장치 응용을 위한 마이크로 미러의 제작과 그 특성

김종완\*, 서화일\*, 이우영\*\*, 임경화\*\*\*, 장영조\*

### Fabrication and characteristics of electrostatic micro mirror for optical disk drives

Jong-wan Kim\*, Hwa-il Seo\*, Woo-young Lee\*\*, Kyung-hwa Rim\*\*\*, Young-jo Jang\*

#### 요 약

광 저장장치는 디스크 트랙에 레이저 빔을 위치시켜 정보를 저장한다. 정보의 용량이 증대 되면서 좀더 높은 저장 밀도를 요구하게 되었고, 그만큼 정밀한 레이저 빔의 위치제어가 필요하게 되었다. 본 논문에서는 광 저장장치용 정전형 마이크로 미러를 MEMS기술을 이용해 제조하고 그 특성을 조사하였다. 마이크로 미러는 벌크 마이크로머시닝 기술에 의하여 제조되었으며, 특히 집합공정이 이루어지고 난 후에 연마공정에 의해서 실리콘 웨이퍼의 두께 및 미러면의 형태를 형성하는 공정을 적용함으로써 제현성을 높였다. 제작된 미러의 크기는 3.0mm×2.5mm 이고, 35V에서 변위는 3.2 $\mu$ m 였다.

#### Abstract

Optical disk drives read information by replacing a laser beam on the disk track. As information has become larger, the more accurate position control of a laser beam is necessary. In this paper, we report the analysis and fabrication of the micro mirror for optical disk drivers. The mirror was fabricated by using MEMS technology. Especially, the process using the lapping and polishing step after the bonding of the mirror and electrode plates was employed for the process reliability. The mirror size was 2.5mm×3mm and it needed about 35V for displacement of 3.2 $\mu$ m.

## 1. 서 론

CD나 DVD같은 광 저장장치는 탈취성이 뛰어나고, 많은 정보의 저장이 가능하여 널리 쓰이고 있다. 이러한 광 정보저장장치는 디스크 트랙에 레이저 빔을 위치시켜 정보를 저장한다. 정보의 용량이 증대 되면서 좀더 높은 저장 밀도를

요구하게 되었고, 그만큼 정밀한 레이저 빔의 위치제어가 필요하게 되었다.

광 정보저장장치 기술중 근거리 기록방법(Near Field Recording Method)은 기존 광디스크 시스템의 원거리 기록방법에 비해 광 디스크 표면에 매우 인접되게 위치시켜, 초고밀도 기록 또는 재생시키는 차세대 기록방법이다. 트랙 폭이 매우 좁아지게 되어 1단 구동기로는 트랙 방향의 제어가 불가능하므로 2단 구동기 구조(Double Actuator Type)가 필요하다. 이에 따라 조동 구동기(Coarse Actuator)로 기존 VCM(Voice Coil Motor)을 사용하면서 그 위에 탑재할 미세 구동기(Micro Actuator)가 필요하게 된다.

그럼 1은 미세구동기의 구조로 최근에 고밀도의 광 저장장치용 미세 구동기에 대해서 많은 연구 개발이 이루어지고 있으며, 그 중에서

\* 한국기술교육대학교 정보기술공학부 (School of Information Tech. Korea University of Tech. & Edu.)

\*\* 한국기술교육대학교 기계공학부 (School of Mechanical Eng. Korea University of Tech. & Edu.)

\*\*\* 한국기술교육대학교 제어시스템공학과 (Dep. of Control System Eng. Korea University of Tech. & Edu.)

<접수일자 : 2001년 10월 15일>

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용한 마이크로 미러는<sup>(1,3,4)</sup> 정밀한 제어 가능하고 픽업 헤드에 탑재될 수 있을 정도로 충분히 작을 뿐만 아니라, 작은 소비 전력을 갖는 장점이 있다.

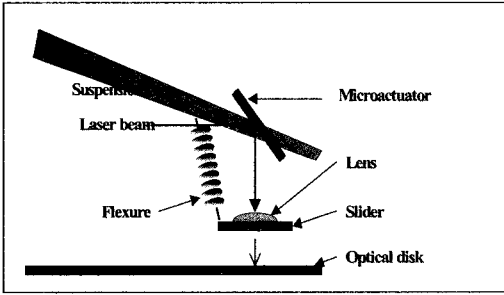


그림 1. 미세 구동기의 구조.  
Fig. 1. Structure of the micro actuator.

수mm 정도의 미러를 내부 응력에 의한 휨 없이 평평하게 제작하기 위해서는 기존의 박막증착 방법으로 형성된 막은 사용할 수 없다. 따라서, 미러판으로 복원력이 우수한 단결정 실리콘 웨이퍼를 주로 사용하고 있으며, 미러판과 구동 전극이 각각의 웨이퍼에 제작되어야 하므로 접합공정을 필요로 하게 된다. 기존의 제조 공정은<sup>(1,3)</sup> 미러판과 구동 전극을 각각 제작함으로써 미러판의 파손위험이 크고, 재현성이 떨어진다. 또한 접합시 재현성 문제와 접합간격 및 정렬이 어렵다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 신뢰성과 재현성을 높이기 위하여 미러판과 전극부를 양극접합공정에 의하여 접합하고, 접합후 연마에 의해 미러판의 두께를 정의하고, 마지막으로 미러면을 릴리츠하는 새로운 공정을 연구하였다. 연구된 공정에 따라 미러를 제작하고 그 동작 특성을 조사하였다.

## II. 마이크로 미러의 설계 및 해석

### 1. 구조설계

그림 2는 본 연구의 마이크로 미러의 구조로 가동부와 정지부 사이의 정전력과 비틀림 빔 스프링의 복원력 사이의 관계에 의해 미러는 회전하게 된다. 비틀림 빔 스프링은 응력의 분산을 위해 "ㄷ"자형 구조를 갖도록 하였다.

표 1은 설계된 마이크로 미러의 주요사항을

나타내고 있다.

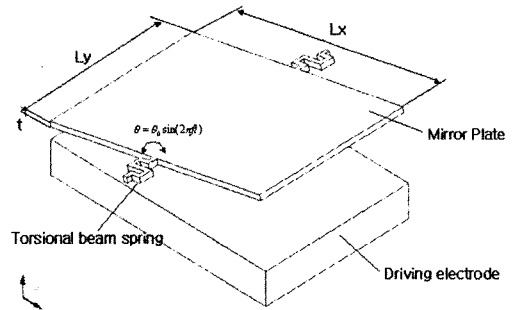


그림 2. 정전형 마이크로 미러의 구조.  
Fig. 2. Structure of the electrostatic micro mirror.

표 1. 마이크로 미러의 주요사항.  
Table 1. The specification of micro mirror.

Mirror plate	$L_x$	3.0mm
	$L_y$	2.5mm
	t (thickness)	60 $\mu$ m
	$\theta$ (angle range)	$\pm 0.25^\circ$
	B(width of torsional beam spring)	20 $\mu$ m
	L (length of torsional spring)	170 $\mu$ m

### 2. 구동원리

정전형 마이크로 미러는 미러판과 구동전극사이의 정전력과 비틀림 빔 스프링의 복원력 사이의 관계에 의해 회전하게 된다. 직류 바이러스 전압인  $V_{dc}$ 는 마이크로 미러의 구동시에 항상 양쪽 전극에 동일하게 가해지고,  $V_{ac}$ 는 구동전압이다.

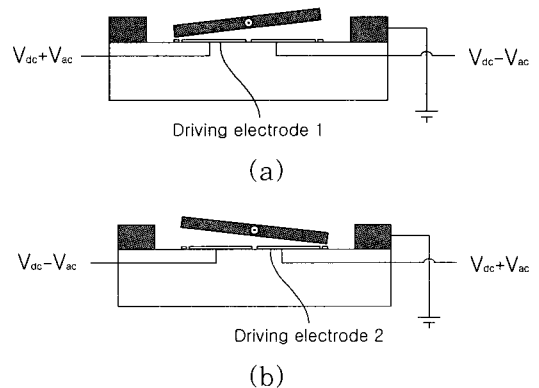


그림 3. 정전형 마이크로 미러의 구동.  
Fig. 3. Operation of the electrostatic micro mirror.

그림 3(a)에서  $V_{dc}+V_{ac}$ 가 구동전극1에 가해지고  $V_{dc}-V_{ac}$ 가 구동전극2에 가해지면 미러판은 구동전극1 방향으로 회전하고, 그림 3(b)에서  $V_{dc}-V_{ac}$ 가 구동전극1에 가해지고  $V_{dc}+V_{ac}$ 가 구동전극2에 가해지면, 미러판은 구동전극2 방향으로 회전한다.

미러면과 구동전극 사이의 정전력에 위한 힘은 식 (1)과 같다.

$$F_d = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \frac{L_x L_y V^2}{d^2} \quad (1)$$

여기서  $\epsilon_0 \epsilon_r$ 은 실리콘의 유전율,  $L_x L_y$ 는 전극의 면적,  $V$ 는 구동전극에 인가한 전압,  $d$ 는 미러면과 구동전극사이의 간격이다. 미러가 받는 정전력에 위한 토크는 회전축으로부터 거리와 전극의 면적에 대해 적분해서 식 (2)와 같이 구한다.

$$T_e = \int^{area} x \cdot \left[ \frac{dx}{dF_d} \right] dA \quad (2)$$

그리고, 기계적인 복원 토크는 스프링의 탄성 계수에 의한 스프링 상수가  $K_\phi$ 일 때 식 (3)과 같이 된다.

$$T_m = -K_\phi \phi \quad (3)$$

미러는 구동전극에 가해진 전압으로부터 얻어지는 정전력에 위한 토크에 의하여 회전하게 되며, 전압을 가하지 않을 경우 기계적인 스프링의 복원 토크에 의하여 원래의 방향으로 회전하게 된다.

식 (2)로부터 구한 정전력에 위한 토크와 식 (3)으로부터 구한 스프링의 복원 토크가 평형을 이룰 때, 즉,  $|T_m| = |T_e|$  일 때 미러의 정상 상태의 회전각을 구할 수 있다.

### 3. 유한요소 해석

미러판의 구조해석을 위해 유한요소 해석을 하였다. 그림 4는 미러판의 첫 번째 모드형상, 그림 5는 힌지부에 발생하는 응력분포를 나타낸 것이다.

해석결과 비감쇠 고유진동주파수는 2862Hz로 계산되었으며, 힌지에 발생하는 최대동가응력은 약  $9.2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  였다. 이 값은 미러판 소재인 실리콘의 항복응력의 약 1/76에 해당

하는 수준이므로 피로하중이하의 범위에 해당되어 충분히 안전한 설계가 이루어졌다고 판단된다.<sup>[2]</sup>

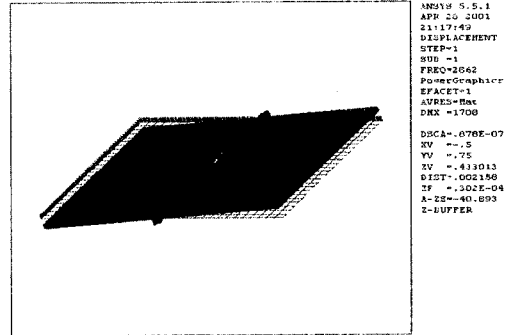


그림 4. 모드 형상.  
Fig. 4. Mode feature.

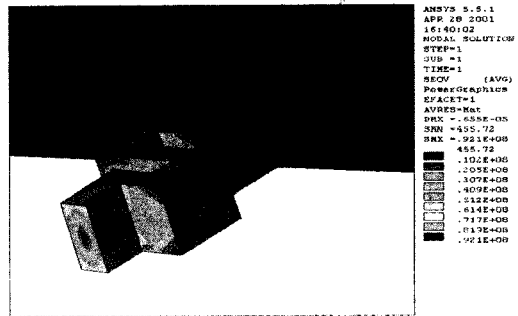


그림 5. 비틀림 빔 스프링에 발생하는 응력분포.  
Fig. 5. The stress distribution at torsional beam spring.

## III. 제조 공정

### 1. 마이크로 미러의 공정 설계

미러판의 제작에 있어서, 입사된 직경 수mm 가량의 레이저 빔을 회절 없이 반사시키기 위해서 미러판의 크기가 수mm 이상이 되어야 한다. 이런 큰 미러판을 내부 응력에 의한 휨없이 평평하게 제작하고, 특히 힌지의 우수한 복원력을 위해서는 기존의 박막 증착 방법으로는 이러한 조건을 만족할 수 없으므로 단결정 실리콘 웨이퍼를 미러판의 재료로 사용한다. 지금까지의 미러 제조 공정들은 100 $\mu$ m이하의 Si 웨이퍼를 사용하여 미러판을 제작하거나, 일반 Si 웨이퍼를 습식 식각으로 식각해 미러판을 제작하였다. 따라서, 미러판과 구동 전극이 각각의 웨이퍼에 제작되어

야 하므로, 각각의 웨이퍼에 제작된 미러면과 구동 전극의 웨이퍼간 접합 공정은 반드시 필요하다.

접합 기술에는 실리콘 직접 접합과 실리콘-유리 양극 접합 기술이 있으며, 실리콘 직접 접합 공정에서는 1000°C 가량의 높은 열처리가 필수이므로 금속 공정 이후에는 적용할 수 없다. 기존의 미러 제조공정에서는 Water Glass Bonding이나<sup>(1)</sup> 에폭시 접착제를 이용하는 방법이 사용되었으나,<sup>(3)</sup> 재현성이 떨어지며 정밀한 웨이퍼 정렬과 미러면과 구동 전극간의 간격 제어가 어려운 문제점이 있었다. 본 연구에서는 실리콘-유리 양극 접합 기술을 이용하여 웨이퍼간 접합을 행하기로 한다. 따라서 Glass 웨이퍼에는 구동전극이 제작되고, 실리콘 웨이퍼에 미러판을 제작한다. 그러나, 미러판의 두께가 수십  $\mu\text{m}$ 에 불과하고, 구동전극의 높이와 간격을 합하여도 미러판이 제작될 실리콘 웨이퍼의 두께는 100 $\mu\text{m}$  이하를 요구한다. 이러한 100 $\mu\text{m}$  이하의 웨이퍼를 식각, 세정 등의 공정을 거칠 경우 파손될 위험이 매우 크고, 접합공정도 재현성이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 웨이퍼간 접합을 행한 후 웨이퍼 손실 공정(Lost Wafer Process)에 의하여 미러판의 두께를 정의 하는 공정을 도입하고자 한다. 이러한 공정은 본 연구에서 새롭게 제안한 공정으로 모든 공정의 마지막 단계에 미러판을 형성하게 되므로 기존의 공정에서 발생 하던 미러판에 대한 위험요소, 예를 들어 미러판으로 사용하는 DSP(Double Side Polished) 웨이퍼의 파손, 공정 중 미러판과 흰지의 파손, 접합의 어려움, 접합시의 부정확한 정렬의 문제를 해결할 수 있는 공정이다.

이상의 과정을 요약하면, 본 연구의 마이크로 미러의 제작공정은 단결정 실리콘 웨이퍼와 구동 전극이 제작된 유리 웨이퍼를 양극 접합 공정에 의하여 접합한다. 접합 후 미러판의 두께를 형성하기 위한 연마에 의한 웨이퍼 손실 공정과 미러판을 형성하는 건식식각 공정을 실행하여 마이크로 구조물을 완성한다.

## 2. 구동 전극과 미러판 형성공정

그림 6은 구동전극의 제작공정을 나타내고 있다. 구동전극은 Pyrex유리 웨이퍼 위에 Lift-off 공정을 이용해 제작하였다.

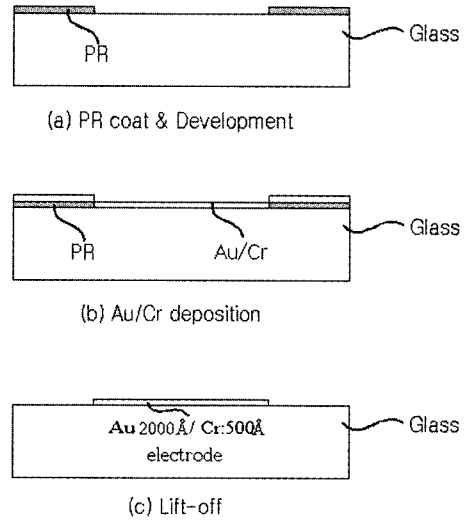


그림 6. 구동전극의 제조공정.

Fig. 6. Fabrication process of the electrodes plates.

구동전극을 Pyrex유리 웨이퍼에 제작하기 위해서 전극 물질인 Au/Cr을 전자총 증착(E-gun Evaporation) 방법에 의하여 증착하고, Lift-off 법으로 패턴을 형성하였다.

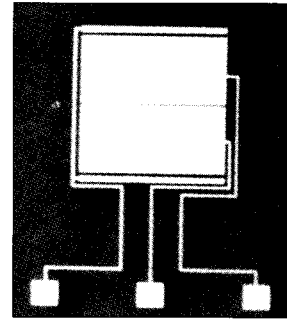


그림 7. 구동전극의 사진.

Fig. 7. Photograph of the electrodes plates.

그림 7은 제작된 구동전극의 광학현미경 사진이다. 양쪽에 한 개씩 두개의 전극이 있고, 단락 방지 전극이 전극부의 끝 단에 있다. 각각의 전극과 단락방지 전극에 본딩 패드가 있다.

그림 8은 미러판 제조공정중에서 미러판과 구동전극과의 간격 형성공정이다. 실리콘 웨이퍼와 유리 웨이퍼간의 양극접합을 행하기 위하여 유리 웨이퍼에 제작된 구동전극에 해당하는 부분과 배선을 위한 패드(Pad)부분을 미리 건식 식각하여야 한다. 이때 식각된 깊이는 미러와 구

동전극과의 간격이 된다.

식각은 ICP Deep Si Etcher(제작회사 : Plasma-Therm) 장비를 사용하였으며, 식각 마스크로 Al을 이용한다. 식각된면은 미러판의 뒷쪽면으로 구동전극과 접하는 면이 되므로, 정확한 식각 깊이의 조절과 식각된 면의 균일도의 유지가 중요하다. 식각된 깊이는 약  $9\mu\text{m}$ 이었고, 최대편차는  $\pm 0.5\mu\text{m}$  이내이다.

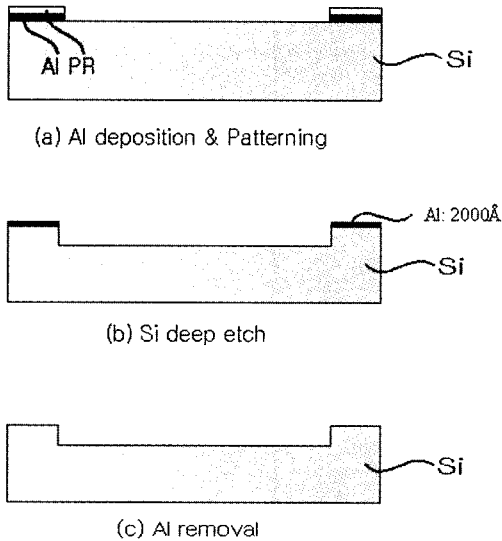


그림 8. 미러판의 제조과정.  
Fig. 8. Fabrication process of the mirror plates.

### 3. 양극 접합 및 미러면 형성공정

마이크로 미러의 제작 공정 중에서 양극 접합 공정이 가지는 장점 중 하나는 패턴의 정렬이다. 기존의 접합공정은 주로 수동으로 패턴 정렬을 하여서 오차가 많았다. 반면, 양극접합에서는 양면 정렬이 가능한 웨이퍼 전용 정렬기에서 웨이퍼의 패턴 정렬을 할 수 있다.

그림 9는 미러면 형성공정이다. 접합할 두 웨이퍼의 패턴을 정렬하고,  $400^{\circ}\text{C}$  가량의 열과  $1000\text{V}$ 의 전압을 동시에 가하여 실리콘-유리 양극 접합 공정(Si-Glass Anodic Bonding)을 수행하였다. 실리콘-유리 양극 접합이 이루어진 웨이퍼를 실리콘 웨이퍼 부분을 Lapping & Polishing 공정을 이용하여 미러면의 두께를 정의하였다. Lapping & Polishing 공정 후 미러판 부분에서 다소의 변형은 관찰되었으나 본 연구의 미러 구조 제조에는 영향이 없었

다. 제작된 미러판의 두께는  $60\mu\text{m}$ 이었다.

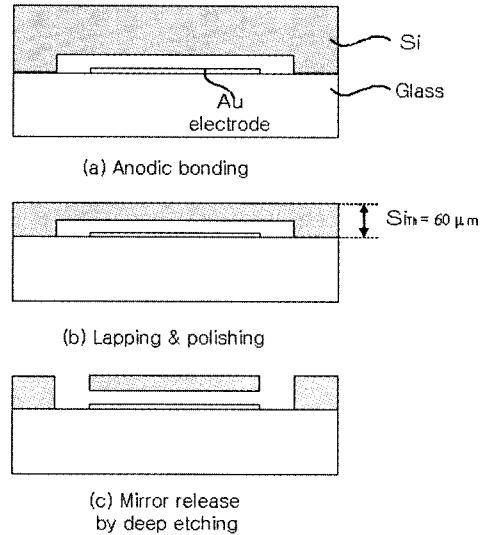
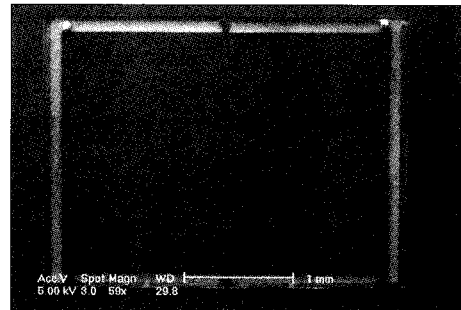
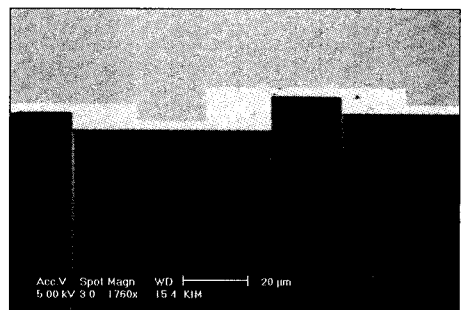


그림 9. 미러 형성공정.  
Fig. 9. Fabrication process of the mirror formation.



(a) Mirror part



(b) Hinge part

그림 10. 마이크로 미러의 전자현미경 사진.  
Fig. 10. SEM photograph of the micro mirror.

Deep Etching에 의해서 미러 및 회전 형태

를 완성하였으며, 미러의 크기는  $3.0\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ 였다. "e" 자형 흰지 부분의 폭은  $20\mu\text{m}$ 이었다. 그림 10은 완성된 마이크로 미러의 전자현미경 사진이다. (a)는 전체 사진이고, (b)는 "e"자형 흰지 부분을 나타내었다.

#### IV. 측정 및 검토

##### 1. 정전압 특성

본 연구에서 제작한 마이크로 미러는 미러면과 미러면 아래의 두개의 구동 전극 사이에 전위차를 주어 그로 인해 발생한 정전력으로 미러면을 움직이게 하는 정전력 구동 방식이다.

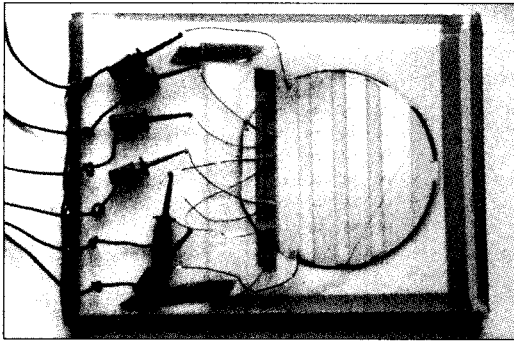


그림 11. 특성측정을 위한 마이크로 미러.  
Fig. 11. The micro mirror for measurement.

그림 11은 특성측정을 위해 준비된 마이크로 미러 웨이퍼의 사진을 나타내었다. 정전압 특성을 알기 위하여 레이저 변위 센서를 이용하여 전압 대 변위를 측정 하였다.

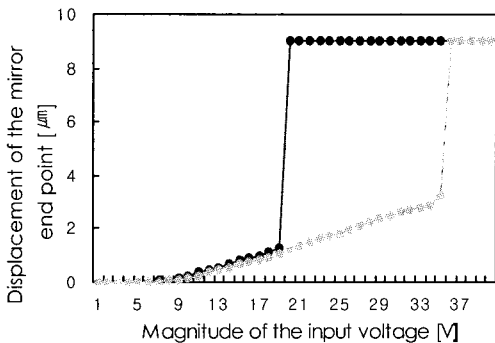


그림 12. 인가 전압 대 미러판의 변위.  
Fig. 12. Displacement of the mirror end point.

미러판과 한쪽 전극에만 정전압을 인가하였고, 그 결과 변위는 그림 12와 같이 인가전압 35V 까지 증가 하였으며, 이때의 변위는 약  $3.2\mu\text{m}$ 이고 그 이상의 전압에서는 최고 변위 값인  $9\mu\text{m}$ 를 보였다. 하강문턱 전압은 20V이고, 상승문턱 전압은 35V이다.

##### 2. 주파수 응답

마이크로 미러의 동적응답 특성을 측정하기 위하여 그림 13과 같이 실험 장치를 구성하였다. 정현파 이동(Sine-sweeping) 가진하면서 레이저 변위 센서에서 나오는 신호를 동적 신호 분석기(Dynamic Signal Analyzer)에 입력하여 주파수 응답 함수를 구하였다.

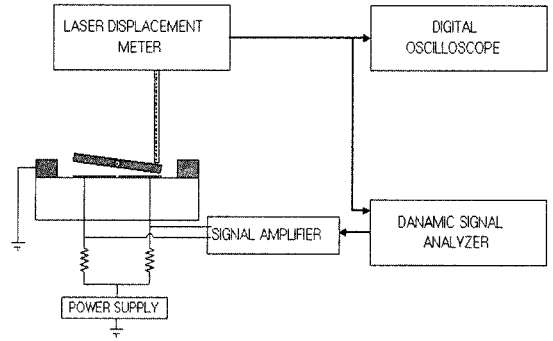


그림 13. 마이크로 미러의 구동 실험 장치.  
Fig. 13. Experimental setup for operation of the micro mirror.

마이크로 미러의 양쪽 전극에 항상 동일한 직류 바이어스 전압과 위상이 정확히 반전되고 동기가 일치하는 신호를 입력하기 위하여, 동적 신호 분석기의 정현파 이동 신호를 하나의 신호 증폭기로 증폭하여 전압 분배기 회로를 거쳐 양쪽의 전극에 구동전압으로 인가하였다.

그림 14는 구동 실험 장치 구성도와 같이 구성하고, 한쪽 전극에  $V_{dc}$ 를 20V인가하고, 주파수 1Hz의 삼각파를 신호 증폭기를 통하여 인가 하였을 때의 출력 파형이다.

그림 15는 양쪽 전극에 직류바이어스전압을 20V와 5V정현파를 반전된 형태로 인가했을 때 미러속도의 변화를 나타낸 것이다. 입력전압 주파수는 2KHz였으며, 입력전압과 일치해 미러가 움직이고 있다는 것을 보여준다.

여러 주파수를 바꾸어 반복 실험을 해보았고, 주파수 응답을 측정하기 위하여 정현파 이동 신

호를 인가하여 동적 신호 분석기를 통하여 주파수 응답 함수를 구하였다.

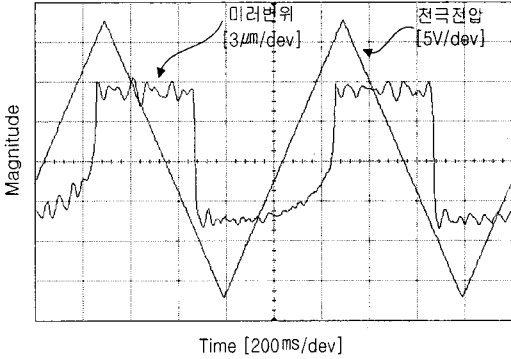


그림 14. 삼각파 인가시 미러의 응답 파형.  
Fig. 14. Waveform response of the mirror by the triangle wave.

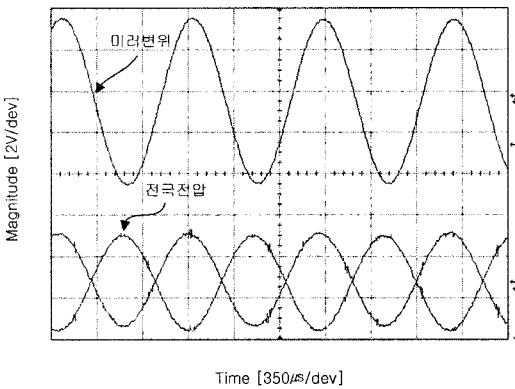


그림 15. 정현파 인가시 미러의 응답 파형.  
Fig. 15. Waveform response of the mirror by the sine wave.

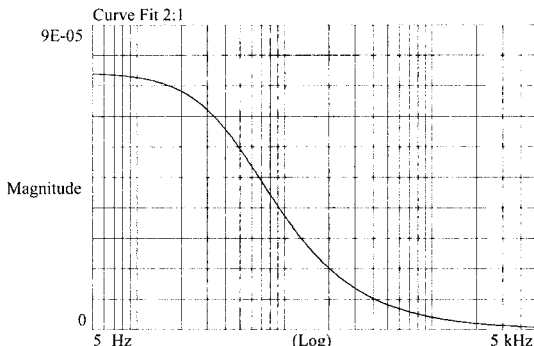


그림 16. 마이크로 미러의 주파수 응답 파형.  
Fig. 16. Waveform frequency response of micro mirror.

그림 16은 동적 신호 분석기를 통하여 구한 주파수 응답 함수의 그래프이다. 주파수가 증가함에 따라 응답이 급격히 감소하고 있으며, 고유진동 주파수도 예상치보다 매우 낮게 나타나고 있다. 이는 미러면과 구동전극간의 공기저항에 의한 스퀴즈 효과(Squeeze Effect) 때문이라 생각된다.<sup>(2,5)</sup> 이의 해결을 위해서는 전극형태를 요철형태로 하는 것 등을 통해 스퀴즈효과를 감소시켜야 할 것으로 생각된다.

### V. 결 론

광 기록장치의 2차 위치 제어용 초정밀 구동기 적용을 위해 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용한 마이크로 미러를 설계 제조하고 그 특성을 조사하였다. 마이크로 미러는 미러판 부분과 구동전극 부분으로 이루어졌다. 미러판은 건식 실리콘 식각(Dry Deep Si Etching)에 의해서 제조되었고, 그 크기는 3.0mm×2.5mm 였다. 구동전극은 글라스 웨이퍼(Pyrex Glass Wafer)에 제조되었다. 글라스 웨이퍼와 실리콘 웨이퍼는 양극 접합(Anodic Bonding)에 의하여 접합되었으며, 두 부분의 간격은 약 9µm이었다. 실리콘 웨이퍼 부분의 연마공정(Lapping & Polishing)에 의해서 미러판의 두께를 정의하고, Deep Etching에 의해서 미러판을 릴리즈하였다.

본 연구에서의 미러 제조공정은 접합공정이 이루어지고 난후에 미러면의 두께 및 형태를 형성함으로써, 매우 얇은 실리콘 웨이퍼를 사용하거나, 완성된 미러판을 가지고 다른 공정을 진행할 때 실리콘 웨이퍼 혹은 미러판의 휘지 부분이 파손될 가능성을 줄일 수 있었으며, 접합공정에서 미러판과 구동전극의 정밀한 정렬 및 간격으로 조립이 가능하였다.

마이크로 미러의 기본적인 동작특성인 인가 전압대 동작 변위를 알기 위해서 레이저 변위 측정기를 이용하여 측정하였다. 최저 구동전압인 8V에서 변위를 갖기 시작하고, 35V에서 변위는 3.2µm이고 그 이상의 전압에서는 미러면이 구동전극에 닿아 최고 변위인 9µm를 보였다. 또한 전극에 정현파 전압을 인가했을 때 시간지연 없이 전극전압과 일치하는 움직임을 나타내었다. 동적 특성을 조사한 결과 주파수가 증가함에 따라 응답이 급격히 감소하였는데 이는 공기저항

에 의한 스퀴즈 효과 때문일 것이라 판단되며, 이의 해결을 위한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 1999-1-304-007-3) 지원으로 이루어졌으며, 재단의 지원에 감사 드립니다.

## 참고 문헌

- [1] M. Sekimura, M. Yonezawa and K. Uchamaru, "Electrostatic torsion mirror", Technical Digest of the 18th Sensor Symposium, pp.167-170, 1988.
- [2] D.S.Son, J.W.Shim, H.I.Seo, K.H.Rim and W.Y.Lee, "Study on the design of the micro-mirror considering the squeeze effects of gas film", Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol.7, No.1, pp.29-34, 2000
- [3] J.H.Chon, H.K.Chang and Y.K.Kim, "Design and fabrication of mirror for optical storage", Proceedings of 99 Conference of the Korean Sensors Society, pp.173-176, 1999.
- [4] D.L.Dickensheets and G.S.Kino, "Silicon micromachined scanning conformal optical microscope", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol.7, No.1, pp.38-47, 1998.
- [5] N. Uchide, etc, "Damping of Micro Electrostatic Torsion Mirror caused by Air film Viscosity", 일본정밀공학회지, vol. 65, No. 9, pp.1301~1305, 1999.

## 著 者 紹 介



### 김 종 완

1972년 1월 15일생.

1997년 2월 천안공업대학 전자과 졸업(전문학사).

1999년 2월 호서대학교 전자공학과 졸업(공학사).

2001년 8월 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사).

주관심 분야 : MEMS, 반도체 센서, 센서 제조 및 공정.

### 서 화 일

1961년 3월 26일생.

1984년 경북대 전자공학과 졸업(공학사).

1986년 경북대 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).

1991년 경북대 대학원 전자공학과 졸업(공학박사).

1995년 Univ. of South Australia 방문교수

현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수.

주관심 분야 : 반도체 센서 및 액츄에이터.

### 임 경 화

1960년 7월 28일생.

1983년 한양대학교 기계공학과 졸업(공학사).

1985년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학석사).

1988년 대림산업(주) 기술연구소(연구원).

1992년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학박사).

1995년 삼성종합기술원 광전자연구실(수석연구원)

현재 한국기술교육대학교 제어시스템공학과 부교수

주관심 분야 : 광디스크시스템의 광메카트로닉스 부품 해석



**장 영 조**

1957년 3월 19일생.  
 1979 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사).  
 1982 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사).  
 1992 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학박사).  
 1980 2월 (주) 금성반도체(현, LG반도체) 설계응용과 사원.  
 1993 2월 한국전자통신연구원(ETRI) 자동설계 기술개발부 선임연구원.  
 1987 9월 - 1988 8월 University of Illinois at Urbana Champaign  
 Coodinated Science Lab, Visiting Scholar.  
 1999 3월 - 2000 2월 MDT(Micro Devices Technology) Inc. in San Jose, U.S.A.  
 Visiting Professor as Technical Staff.  
 1993 3월 - 현재 한국기술교육대학교 정보기술 공학부 부교수.  
 주관심 분야 : 영상처리 칩, CPU, Embedded controller 설계 USB 소자설계, FPGA를 이용한 설계.

**이 우 영**

1960년 7월 5일 생  
 1984년 한양대 기계공학과 졸업  
 1987년 서울대 대학원 기계설계학과 졸업(공학석사)  
 1990년 서울대 대학원 기계설계학과 졸업(공학박사)  
 현재 한국기술교육대학교 기계공학부 부교수  
 주관심 분야 : 반도체 장비 초정밀가공