

Driving Characteristics of the Scanning Mirrors to the Different width and Number of the Grooves on the Electrodes

朴根佑* · 金勇權**
(Keun-Woo Park · Yong-Kweon Kim)

Abstract - In this paper, using 500 μm -thickness (100) silicon wafer, flat 65 μm -thickness silicon mirror plates were fabricated through dry etching and wet etching, and 45 μm -depth grooved driving electrodes were fabricated through UV-LIGA process. Four shapes of the driving electrode were fabricated: twenty four grooves of the 50 μm -width, twelve grooves of the 100 μm -width, six grooves of the 200 μm -width, and no grooves on the driving electrode. Fabricated mirror plate size and spring size are 2400 \times 2400 \times 65 μm and 500 \times 10 \times 65 μm , respectively. Mirror plate parts and driving electrodes were assembled into the scanning mirrors. Measured natural resonance frequencies were about 600Hz which have error within $\pm 2\%$ to calculated value. Due to the squeeze effect in the narrow gap between the mirror plate and the driving electrode, measured resonance frequencies were reduced as raising the amplitude of the mirror plate. In a case of driving electrode without grooves, the resonance frequency was reduced largely, compared with a case of driving electrode with grooves. According to the experimental results, squeeze effect was smaller in the driving electrode with smaller-width and many grooves. Therefore, the driving electrode with smaller-width and many grooves was effective in low voltage and high speed operation.

Key Words : scanning mirrors, grooved driving electrodes, squeeze effect

1. 서 론

레이저 스캐너는 미러를 회전시켜 레이저 광선을 주사하는 장치로서, 레이저 기계가공, 바코드 인식, 광정보 저장, 레이저 수술, 프린터, 디스플레이 등 다양한 분야에 응용된다. 기존의 레이저 스캐너는 일반적으로 코일을 이용한 전자기 구동 방식으로서 무겁고, 비싼 단점이 있다. 그런데, 마이크로머시닝 기술을 이용하여 레이저 스캐너를 제작하면 크기와 무게를 줄일 수 있고, 반도체 기술의 최대 이점인 대량 생산을 통해 가격도 줄일 수 있다. 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작된 소형의 스캐너는 관성이 작으므로 전력 소비가 적고, 흔들림과 지터(jitter, 파형의 순간적인 흐트러짐) 현상이 적다[1]. 또한 빠른 스캐닝 속도, 정확한 포인팅과 스캐닝이 가능하다. 게다가 액추에이터, 전자회로, 광원, 렌즈, 그리고 다른 광 소자들과 집적화될 수 있다. 따라서 복잡한 패키징이 간편화되고 제작 비용을 줄일 수 있다. 이러한 여러 가지 이점 때문에 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작하는 소형의 스캐너에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2,3,4,5].

DVD(digital video disc) 나 CD(compact disc) 같은 광기록 장치는 레이저 빔을 광 디스크의 트랙에 위치시켜 정보를 읽는데, 정보의 대용량화에 따라 저장 밀도가 높은 광기록 장치가 사용되면서 더욱 정밀한 레이저 빔의 위치 제어가 필요하게 되었다. 이러한 요구들에 부응하여 스캐닝 미러를 탑재한 픽업 헤드가 연구되고 있다. 즉, 광기록 장치의 픽업 헤드용 스캐닝 미러는 광 디스크의 트랙 추적 장치에 사용되는 것으로서 레이저 광선을 트랙 중앙에 위치시키기 위해 미세 각도로 고속 회전하면서 광선의 위치를 보정한다. 일반적으로 미러에 입사되는 레이저 빔은 직경이 수 mm이므로 이를 반사시키기 위해서 미러의 크기(반사시키는 미러면)도 수 mm² 정도로 커야한다. 또한 미러는 작은 구동 전압으로 1° 미만의 매우 작은 각도를 정밀하게 회전해야 하고, 외부 진동에 대해 강인해야 하며, 빠른 동작 속도를 가져야 한다[6].

본 논문에서는 스캐닝 미러의 구동 방식으로서, 부피 측면에서도 소형화에 유리하고, 온도 변화에도 거의 영향을 받지 않고, 설계한 대로 구동 특성을 얻기가 용이하고, 공정도 비교적 쉬워 대량 생산에 유리한 평행판 전극의 정전압 구동 방식을 택하였다. 평행판 전극 구조에서는 미러판과 구동 전극의 좁은 간격 때문에 미러의 고속 회전이 방해받는 squeeze effect가 문제가 된다. 이러한 squeeze effect를 줄이기 위해서, 구동 전극에 홈(groove)을 판 구조가 M. Sekimura 등에 의해서 제안되었다[7,8]. 그런데, 이 구조에서는 (110) 실리콘 웨이퍼를 사용하여 결정방향에 따라 이방성 습식 식각하여 미러판과 구동 전극을 제작하고, 또한 미

* 準 會 員 : 서울대 工大 전기컴퓨터공학부 碩士
 ** 正 會 員 : 서울대 工大 전기컴퓨터공학부 副教授 · 工博
 接受日字 : 2001年 5月 29日
 最終完了 : 2001年 7月 26日

러판을 제작하기 위해 60 μm 두께의 웨이퍼를 사용하므로 마이크로머시닝 기술의 최대 장점인 저비용 측면에서 볼 때 불리하다. 본 논문에서는 500 μm 두께의 (100) 실리콘 웨이퍼를 사용하여 미러판과 전극을 제작하므로 저비용 측면에서 유리하다. 또한 UV-LIGA 공정을 이용하여 구동 전극을 제작하고 건식 식각 방법으로 미러판과 스프링을 정의하므로, 전극과 미러판 및 스프링의 형상에 제약을 받지 않는다.

본 논문에서는 궁극적으로 광기록 장치의 픽업 헤드에 장착될 수 있는 소형, 저가, 저전압 구동의 스캐닝 미러를 제작하는 것을 목표로 한다. 그 첫 번째 단계로서 본 논문에서는 다음과 같은 세 가지 사항에 중점을 두어서 대량생산에 유리한 픽업 헤드용 스캐닝 미러의 모델을 제시하는 것을 목적으로 한다. 첫째, 값싸고 풍부한 500 μm 두께의 (100) 실리콘 웨이퍼를 사용하여 고속 회전의 스캐닝 미러를 제작하고 구동실험을 함으로써 대량 생산에 유리한 방법임을 입증한다. 둘째, 구동 전극에 홈(groove)이 파인 구조가 실질적으로 미러의 고속 회전에 유리하다는 것을 입증한다. 셋째, 구동 전극에 어떤 모양의 홈을 파는 것이 squeeze effect를 더욱 줄일 수 있는가를 제시한다.

2. 스캐닝 미러의 구조

최근 스캐닝 미러의 미러판 부분(그림 1의 위쪽)은 입사되는 레이저 빔을 반사시키는 역할을 하는 정사각형 모양의 미러판과 미러판을 일정한 높이를 갖고 떠 있도록 유지해 주는 두 개의 비틀림 스프링, 그리고 미러판 바깥의 프레임으로 이루어져 있다. 두 개의 비틀림 스프링은 미러판에 기계적 복원력도 제공해준다. 미러판은 입사되는 레이저 빔의 직경을 2mm로 가정하고, 반사면의 넓이가 2.4 \times 2.4mm²인 정사각형 미러로 설계되었다. 미러판과 두 개의 스프링, 그리고 바깥의 프레임은 단결정 실리콘으로서 한 몸체이다. 비틀림 스프링의 폭은 10 μm , 길이는 500 μm 로 설계되었다.

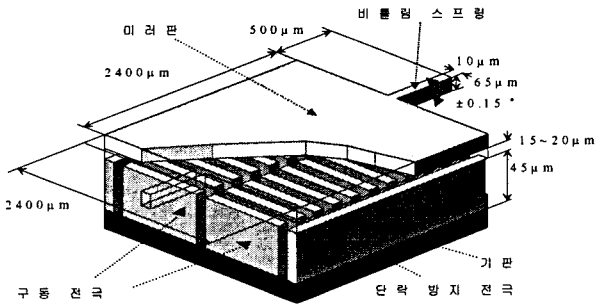


그림 1 설계된 미러의 구조
Fig. 1 designed scanning mirror

스캐닝 미러의 구동 전극 부분(그림 1의 아래쪽)은 약 45 μm 높이의 직사각형의 기둥 구조로서 좌·우 전극으로 분리되어 있고, 각각은 여러 개의 홈(groove)이 파여 있다. 미러판 부분의 아래쪽에 구동 전극 부분을 조립하여 스캐닝 미러를 만든다. 미러의 회전축과 수직인 방향으로 홈을 파고, 홈의 너비가 50 μm , 100 μm , 200 μm 인 세가지 종류의 구동 전극을 만들어 같은 크기의 미러와

조립한다. 홈의 총 넓이를 구동 전극의 절반으로 하여 유효 전극 면적이 세 가지 종류 모두 절반으로 줄어 들게 한다. 따라서 홈의 너비가 50 μm (100 μm , 200 μm)인 경우는 좌·우 전극 각각 24개(12개, 6개)의 홈을 갖는다. 또한 홈이 없는 구동 전극도 제작하여 같은 크기의 미러와 조립한다. 결론적으로 전극 모양이 다른 네 가지 종류의 스캐닝 미러를 제작하여 비교 실험을 할 수 있게 하였다.

3. 제 작

3.1 미러판의 제작

미러판의 제작과정은 그림2와 같다. 미러판을 제작하기 위해 500 μm 두께의 양면 연마된 실리콘 웨이퍼(DSP <100> Si wafer)를 사용하였다. 웨이퍼의 앞면을 ICP(Inductively Coupled Plasma) deep Si etcher 장비로 65 μm 수직 식각하여 미러와 스프링을 패터닝하였다. 미러와 스프링의 앞면과 옆면을 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 질화막(증착온도 785 $^{\circ}\text{C}$)을 증착하여 보호하고 웨이퍼의 뒷면을 KOH용액(40wt.%, 80 $^{\circ}\text{C}$)에서 관통시켜 미러판을 제작하였다. 이 때, 전극과 미러판의 간격을 만들기 위해 웨이퍼의 뒷면을 2단계로 식각하였다((d)간격 형성, (e)웨이퍼 관통). 그림 3은 제작된 미러판과 스프링 부분의 전자현미경 사진이다.

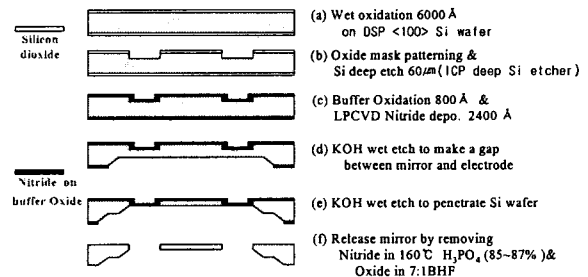


그림 2 미러판의 제작 공정
Fig. 2 Fabrication flow of the mirror plate

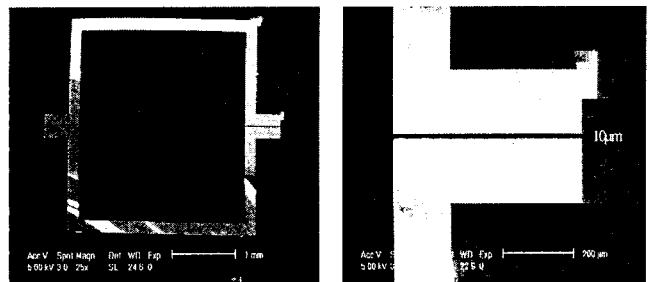


그림 3 미러판(좌)과 스프링(우) 부분의 전자현미경사진
Fig. 3 SEM photograph of the mirror plate(left) and the spring(right)

3.2 구동전극의 제작

구동 전극의 제작과정은 그림 4와 같다. 니켈 도금을 위

한 도금층을 형성하기 위해 음성감광막인 PMER로 사진 식각 공정을 하여 55 μm 높이의 도금 몰드를 형성하였다. 그리고 니켈 전해 도금(60 $^{\circ}\text{C}$, 전류밀도 15mA/cm 2)을 160분 동안 하여 45 μm 높이의 전극을 제조하였다. 전극 표면의 거칠기(average roughness)는 202nm로 측정되었다.

그림 5는 제작된 네 가지 형태의 구동 전극의 전자 현미경 사진이다. 날개의 홈의 너비가 다르고(50 μm , 100 μm , 200 μm) 홈의 전체 면적이 같은(1200 \times 1000 μm^2) 세가지 형태의 홈(groove)이 있는 전극과 홈이 없는 구동 전극을 제작하였다. 홈이 없는 구동 전극의 유효 전극 면적은 좌·우 각각 2500 \times 1000 μm^2 이고, 홈이 있는 구동 전극의 유효 전극 면적은 좌·우 각각 1300 \times 1000 μm^2 이다.

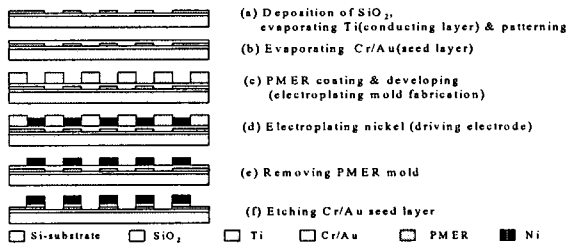


그림 4 구동 전극의 제작 공정
Fig. 4 Fabrication flow of the driving electrode

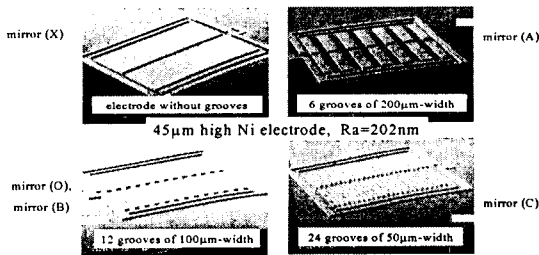


그림 5 제작된 구동 전극의 전자현미경 사진
Fig. 5 SEM photograph of the fabricated driving electrode

3.3 스캐닝 미러의 조립

미러(X)와 미러(O)는 같은 크기(미러판 2400 \times 2400 \times 64 μm^3 , 스프링 500 \times 10 \times 64 μm^3)의 미러판 2개가 각각 홈이 없는 구동 전극과 조립되고(미러(X)), 홈이 있는(너비 100 μm 인 홈이 12개) 구동 전극(미러(O))과 조립되었다. 미러(X)에서는, 구동 전극과 미러판의 조립 간격이 35~37 μm 이고, 미러(O)에서는 26~27 μm 로 조립되었다.

미러(A), 미러(B), 그리고 미러(C)는 같은 크기(미러판 2400 \times 2400 \times 65 μm^3 , 스프링 500 \times 10 \times 65 μm^3)의 미러판 3개가 각각 세가지 형태의 홈이 있는 전극과 조립되었다. 미러(A)는 너비 200 μm 인 홈이 좌·우 각각 6개 있는 구동 전극과 조립되었고, 미러(B)는 너비 100 μm 인 홈이 좌·우 각각 12개

있는 구동 전극과 조립 되었으며, 미러(C)는 너비 50 μm 인 홈이 좌·우 각각 24개 있는 구동 전극과 조립 되었다. 구동 전극과 미러판의 조립 간격은 미러(A)에서는 19 μm 이고, 미러(B)와 미러(C)에서는 20 μm 이다.

4. 구동 실험

4.1 측정 장치의 구성

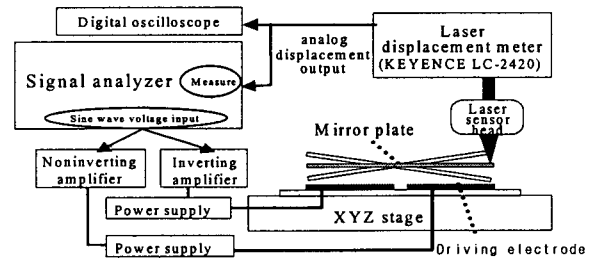


그림 6 공진 주파수와 동전압특성 측정시스템
Fig. 6 Measurement systems of the resonance frequency and the dynamic voltage characteristics

동전압 특성과 공진 주파수 변화를 측정하기 위해서 그림 6과 같이 측정 시스템을 구성하였다. 신호 분석기(signal analyzer)에서 정현파를 발생시켜서 같은 이득을 갖는 반전 및 비반전 증폭기에 보낸다. 반전 및 비반전 증폭기의 출력 신호에 각각 전원 공급기의 직류전압을 더해 주면, $V_d + V_s \cos \omega t$ 와 $V_d - V_s \cos \omega t$ 를 얻을 수 있다. 이러한 출력 신호를 좌·우 전극에 각각 인가하고, 미러판은 접지를 시키면, 스캐닝 미러의 동전압 특성을 측정할 수 있다. 미러판 끝단의 변위는 비접촉 레이저 변위 측정기(KEYENCE LC-2420)에서 측정되고, 측정된 변위값은 전압으로 변환(변위 2.5 μm \rightarrow 전압 1V)되어 디지털 오실로스코프에 출력되고, 또 신호 분석기에 보내져서 분석된다. 구동 전극에 인가하는 신호 분석기의 정현파 주파수를 10Hz에서 1.6kHz까지 변화시키면서 신호 분석기를 통해 공진주파수를 구하였다. 이렇게 구한 공진 주파수의 정현파를 다시 인가하였고, 이 때의 변위를 디지털 오실로스코프로 측정하였다.

4.2 전극 홈의 유무에 따른 비교

그림 7은 미러(X)와 미러(O)의 공진시 진폭에 대한 공진 주파수의 변화를 나타내었다. 그리고 그림 8은 미러(X)와 미러(O)에 직류 바이어스 전압이 더해진 구형파(바닥 전압 0V)를 180도 위상차를 두고 좌·우 전극에 교대로(공진 주파수로) 인가하였을 때, 공진시 진폭의 (인가 전압에 따른)변화를 나타내었다. 미러(X)와 미러(O)는 (공진 시)진폭이 1 μm 이하일 때는 공진 주파수가 각각 608Hz, 606Hz로 측정되었다. 미러(X)와 미러(O)의 공진 시 진폭이 10 μm 가 되게 하려면, 각각 75V $_{p-p}$, 72V $_{p-p}$ 의 구형파 인가 전압이 필요하였다. 이 때의 공진 주파수는 542Hz(미러(X)), 568Hz(미러(O))이었다. 즉 squeeze effect에 의한 고속 회전 방해 효과가 미

러(X)에서 더 크다는 것을 알 수 있다. 그런데, Squeeze effect는 미러판과 전극 사이의 간격이 좁을수록 더 크다. 미러(X)의 조립 간격은 $35\sim 37\mu\text{m}$ 이고, 미러(O)의 조립 간격은 $26\sim 27\mu\text{m}$ 이다. 따라서 미러(O)의 squeeze effect가 더 커야 한다. 그러나, 조립간격은 더 작지만 구동 전극에 홈이 있는 미러(O)의 squeeze effect가 더 작게 나왔다.

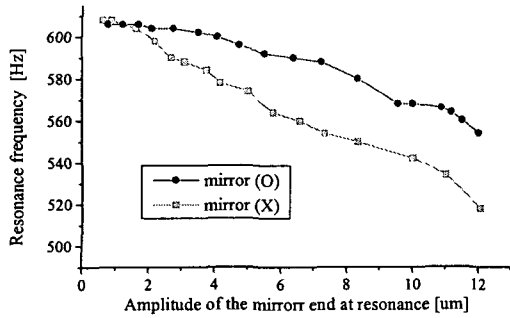


그림 7 미러(X)와 미러(O)의 공진시 진폭에 대한 공진 주파수의 변화
 Fig. 7 Resonance frequency versus amplitude at resonance of the mirror(X) and the mirror(O)

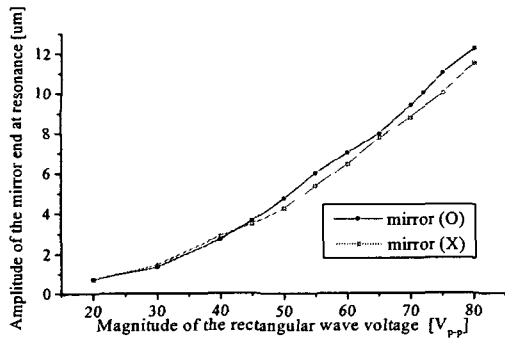


그림 8 미러(X)와 미러(O)의 인가전압에 따른 공진시 진폭의 변화
 Fig. 8 Amplitude at resonance versus applied voltage of the mirror(X) and the mirror(O)

4.3 전극 홈의 너비와 개수에 따른 비교

그림 9는 미러(A)와 미러(B) 및 미러(C)의 정전압 대 변위 곡선을 비교하였다. 미러(B)와 미러(C)의 경우는 정전압 특성이 거의 차이가 없었다. 같은 정전압을 인가하였을 때, 미러판의 변위가 $0.5\mu\text{m}$ 이내의 차이를 보였다. 또한 같은 변위를 얻기 위해 필요한 인가 정전압도 3V 이내의 차이를 보였다. 반면, 미러(A)의 경우는 같은 정전압 인가 시 미러판의 변위가 약간씩 크게 측정되었다.

정전압 특성 실험에서 거의 비슷한 결과를 보였던, 미러(A)와 미러(B) 및 미러(C)의 동전압 특성을 그림 10에 비교하였다. 25V 직류 바이어스 전압을 인가한 상태에서 정현파

인가 전압의 진폭을 x축에 나타내었다. 각각의 (전압에 따라 달라지는) 공진 주파수를 정현파 입력 전압의 주파수로 하였다. y축은 미러판의 수평 위치에서 미러판 끝단의 변위를 나타내었다. 정전압 특성은 비슷하였지만(미러(C)의 변위가 약간 작았다), 공진시 변위는 미러(C)가 더 큰 것으로 측정되었다. 이것으로부터, 미러판의 고속 회전을 방해하는 squeeze effect가 미러(C)에서 상대적으로 가장 적다는 것을 알 수 있다. 미러(A)의 구동 전극에는 $200\mu\text{m}$ 너비의 홈(groove)이 6개 파여 있고, 미러(B)는 $100\mu\text{m}$ 홈이 12개, 미러(C)는 $50\mu\text{m}$ 홈이 24개 파여져 있다. 홈의 총 면적이 같더라도, 홈의 너비에 따라서 공기 저항이 달라지는 것을 알 수 있다.

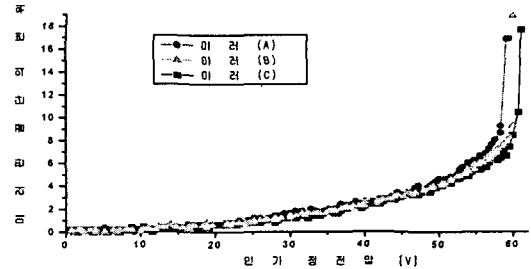


그림 9 세 개의 미러에 대한 정전압 특성 비교그래프
 Fig. 9 Static voltage characteristics of the three mirrors

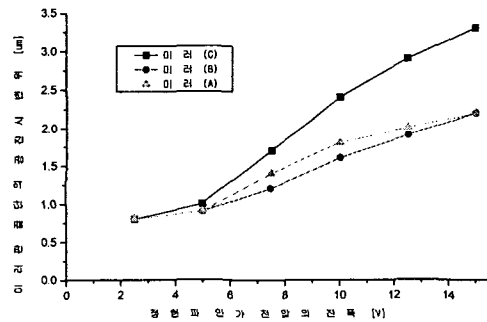


그림 10 직류 바이어스 전압 25V를 인가한 상태에서, 정현파 인가 전압 대 미러판의 변위
 Fig. 10 Amplitude of the mirror plate versus applied sinewave voltage with 25V dc bias

그림 11은 직류 바이어스 전압 25V를 인가한 상태에서, 정현파 인가 전압 대 공진 주파수 변화를 비교하였다. 미러(A)의 경우에서 공진 주파수 감쇠 정도가 가장 심한 것을 볼 수 있다. 공기 저항이 클수록 공진 주파수의 감쇠 정도는 심하다. 결론적으로 미러(A)의 squeeze effect가 가장 큰 것으로 볼 수 있다.

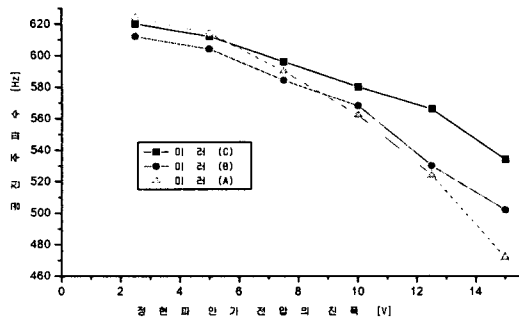


그림 11 직류 바이어스 전압 25V를 인가한 상태에서, 정현파 인가 전압 대 공진 주파수
 Fig. 11 Resonance frequency versus applied sinewave voltage with 25V dc bias

세 개의 미러에 직류 바이어스 전압 25V를 인가한 상태에서, 정현파 인가 전압을 변화시켰을 때 각각의 주파수 응답 특성을 분석해 보면 다음과 같다. 10Hz에서 16kHz까지의 주파수를 인가하여 주파수 응답 특성을 측정하였다. 미러(A), 미러(B), 미러(C)에 2.5V의 정현파를 인가하였을 때, 공진 시 변위는 10Hz일 때 보다 각각 5dB, 6dB, 10dB 정도의 이득을 갖는 것으로 측정되었다. 5V의 정현파를 인가하였을 때, 공진시 변위는 10Hz일 때 보다 각각 1.5dB, 3dB, 4dB 정도의 이득을 갖는 것으로 측정되었다. 17.5V의 정현파를 인가하였을 때는 세 개의 미러 모두에서 공진이 일어나지 않았으며, 500Hz 근처에서 squeeze effect에 의한 진폭의 감쇠 정도는 미러(C)가 가장 작았고, 미러(A)가 가장 컸다.

4.4 비교 구동 실험 결과

구동 전극에 홈을 만들면, 유효 전극 면적이 줄어 든다. 또한 squeeze effect는 미러판과 조립 간격이 좁을수록 커진다. 따라서 구동 전극에 홈을 만들지 않고 조립 간격을 넓힘으로써 squeeze effect의 감소를 의도할 수도 있을 것이다. 하지만, 본 논문에서, 미러판과 구동 전극이 35~37μm의 간격으로 조립된 홈이 없는 구동 전극과 26~27μm 간격으로 조립된 날개 홈의 너비가 100μm인 전극을 비교한 결과, 저전압 구동과 고속 회전 측면 모두에서 홈이 있는 구조가 더 나은 결과를 보였다.

미러판과 구동 전극의 간격이 대략 20μm로 조립된 3개의 스캐닝 미러의 정전압 특성은 뚜렷한 차이를 보이지 않고 비슷하게 측정되었다. 그러나 동전압 구동 시에는 유의한 차이를 보였다. 날개 홈의 너비가 50μm인 구동 전극과 조립된 미러가 고속 회전과 저전압 구동 측면에서 모두 더 나은 결과를 보였다. 이것은 squeeze effect가 홈의 너비가 50μm인 구동 전극에서 가장 작기 때문이라고 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 광기록 장치의 픽업 헤드용으로 사용되는 스캐닝 미러를 마이크로머시닝 기술로 제작하였다. 일반적

으로 사용되는 500μm 두께의 (100) 실리콘 웨이퍼를 사용함으로써 저가 생산을 의도하였다. 또한 다양한 형상 제작이 가능한 UV-LIGA 공정을 이용하여 구동 전극을 제작하였다.

구동 전극의 홈의 유무가 스캐닝 미러의 고속회전 및 저전압 구동에 미치는 효과를 구동 실험을 통해 비교하였으며, 유의한 데이터를 얻을 수 있었다. 즉 본 논문에서는 미러판과 구동 전극의 조립 간격을 넓히는 것 보다 구동 전극에 홈을 제작하는 것이 더 효과적인 것으로 측정되었다.

비슷한 간격으로 조립되어 정전압 특성도 비슷한 세 개의 스캐닝 미러에 대하여 동전압 특성 비교 실험을 하였다. 결과적으로 너비 50μm의 홈을 24개 갖는 전극 구조가 100μm×12개 또는 200μm×6개의 홈을 갖는 전극 구조 보다 squeeze effect가 작아서 고속회전 및 저전압 구동에 효과적이었다. 100μm×12개인 전극도 200μm×6개인 전극 보다 다소 유리하였다.

그리고, 제작된 다섯 개의 스캐닝 미러의 고유 공진 주파수는 대략 600Hz 정도로 측정되었으며 이만큼에 대해 ±2% 이내의 오차를 보였다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 BK21 지원본부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Meng-Hsiung Kiang, Olav Solgarrd, and Kam Y. Lau, "Electrostatic Comdrive-Actuated Micromirrors for Laser-Beam Scanning and Positioning", Journal of Microelectromechanical systems, Vol. 7, No. 1, pp. 27~37, 1998.
- [2] R.R.A. Syms, "Operation of surface-tension self-assembled 3D micro-optomechanical torsion mirror scanner", Electronics Letters, Vol. 35, No. 14, pp. 1157~1158, 1999.
- [3] G.D.J. Su, S. S. Lee, M. C. Wu, "Optical scanners realized by surface-micromachined vertical torsion mirror", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11, No. 5, pp. 587~589, 1999.
- [4] N. Konno, M. Tsugai, E. Yoshikawa, T. Usami, T. Fujita, "Design optimization & improved performance on the link beam driven, miniaturized scanning mirror device, IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, pp. 11~12, 2000.
- [5] K.T. Cornett, J.P. Heritage, O. Solgaard, "Compact optical delay line based on scanning surface micromachined polysilicon mirrors", IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, pp. 15~16, 2000.
- [6] T. Maeda, M. Uno and M. Takasago, "Tracking Method for Digital Optical-Disk Systems", Japanese Journal of Applied Physics. Vol. 38, pp. 101~109, 1999.
- [7] M. Sekimura, M. Yonezawa and K. Uchimar, "Electrostatic Torsion Mirror", Technical Digest of

The 18th Sensor Symposium, pp. 167~170, 1998.
[8] N. Uchida, K. Uchimaru, M. Yonezawa and M. Sekimura, "Damping of Micro Electrostatic Torsion

Mirror caused by Air-Film Viscosity", Proceedings of IEEE Micro Electro Mechanical Systems (MEMS '2000), pp. 449~454, 2000.

저 자 소 개



박근우 (朴根佑)
1969년 2월 22일 생. 1998년 서울대 전기
컴퓨터공학부 졸업. 2001년 동 대학원 컴
퓨터공학부 졸업(석사)
Tel : 02-425-2322, Fax :
E-mail : polove@orgio.net



김용권 (金勇權)
1960년 10월 23일 생. 1983년 서울대 전기
공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학
과 졸업(석사). 1990년 동경대 대학원 전
기공학과 졸업(공학박). 1992년-현재 서울대
전기공학부 부교수
Tel : 02-880-7440, Fax : 02-873-9953
E-mail : yongkkim@chollian.net