

홀로그래픽 메모리 응용을 위한 45도 구동 마이크로 미러 어레이

장윤호, 김용권, 김지덕
서울대학교 전기공학부, 삼성종합기술원

45 degree Actuation Micromirror Array for Holographic Memory Application

Yun-Ho Jang, Yong-Kweon Kim, Ji-Deog Kim

School of Electrical Engineering, Seoul National University, Samsung Advanced Institute of

Abstract - In this paper, micromirror which can rotate 45 degree is designed, analyzed and fabricated. The micromirror is parallel to the substrate initially. When external magnetic field is applied, a micromirror can rotate to align its easy axis to the field. The size of micromirror array is 10×10. The mirror plate and spring is made of aluminium, and nickel is used as soft magnetic material. To obtain 45 degree angular deflection, dimension ratio between stopper length and thickness of sacrificial layer is properly selected. By using electrostatic force, individual actuation is possible.

1. 서 론

현재 사용하고 있는 전기기록 방식의 기록 밀도를 극복하기 위하여 기록 면을 여러 개로 하는 다층 기록 방식등의 3D 저장 기술 개발이 필요하다. 3D 데이터 저장 기술로는 volume holography를 이용한 방식을 들 수 있다. 이와 같은 기술은 같은 체적에 여러 개의 데이터를 기록할 수 있으므로 매우 높은 기록 밀도를 가지며 매우 빠른 데이터 전송 속도를 가진다. 또한 외부의 요인에 의해 손실되는 데이터도 매우 적다는 장점을 가진다. 이를 이용한 메모리는 기준빔의 각도를 여러 가지로 변화시키면 같은 체적에 여러 개의 데이터를 저장할 수 있다. 여러 각도의 기준빔 생성을 위해 표면 발광 레이저 다이오드 어레이를 이용하였으나, 이와 같은 경우 광원을 수십개 이상 제작하여야 하므로 가격이 비싸지고, 광원의 열, 방사되는 광원의 광량, 방사각에 있어서의 균일성 확보등이 매우 어렵게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 MEMS기술을 적용할 수 있다. MEMS기술을 이용하여 하나의 미러의 각도를 다중화시켜 기준빔 다중화 장치를 CalTech에서 제작하였다[1]. 또한 마이크로 미러 어레이를 이용하면 하나의 광원으로 기준빔 다중화 장치를 구현할 수 있다.

2. 본 론

2.1 구조 및 동작 설계

그림 1은 설계된 마이크로 미러 어레이를 이루는 하나

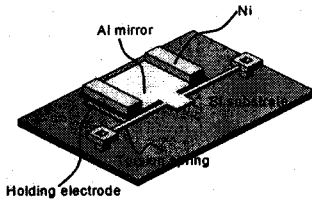


그림 1. 설계된 전자력 구동 마이크로 미러의 마이크로 미러의 개략도이다. 설계된 미러는 기판과

수평하게 입사한 레이저 빔을 기판과 수직하게 반사시키도록 45도로 구동된다. 이와 같은 큰 구동각은 정전력을 이용하여 얻기 어려우므로 니켈을 전자력 구동을 위한 자성체로 이용하였다. 미러판과 스프링, 그리고 스프링의 끝단을 기판에 연결하기 위한 기둥부분은 모두 알루미늄으로 제작되었다. 또한 미러의 개별 구동을 위해 미러판 바로 아래에 알루미늄

표 1. 설계된 미러의 각 부분 치수

각 부분 명칭	설계된 크기	
미러면	50×38×1.5 μm^2	100×88×1.5 μm^2
스프링	135×3×0.5 μm^2	
자성체	34×10×10 μm^2	84×10×10 μm^2
미러면과 바닥 전극간 간격	4.9 μm	
stopper의 길이	7 μm	

미를 전극을 형성하였다. 두 가지 크기를 가지는 미러를 제작하였으며 각각의 치수는 표1과 같다.

45도의 회전각을 얻기 위하여 디자인상의 비율을 이용하였다. 즉 미러면과 바닥 전극간의 간격을 4.9 μm 로 유지하고 미러의 회전축과 stopper의 끝단까지의 길이를 7 μm 로 설계하면 이 두 값의 비율이 $\sqrt{2}$ 이므로 45도를 얻을 수 있다.

그림 2는 마이크로 미러의 개별 구동 원리를 보여주고 있다. (a)상태에서 모든 미러는 바닥 전극과 평행하게 위치하고 있다. (b)상태에서 구동을 원하지 않는 미러에는 바닥전극과 미러판과 사이에 전압을 인가해 정전력으로 미러를 고정시킨다. (c)에서 모든 미러에 자장을 인가하면 정전력으로 고정되지 않은 미러들은 전자력으로 모두 45도를 회전하게 되며 입사된 레이저 빔을 반사시킨다.



(a)초기 상태 (b) 전압 인가시 (c) 자장 인가시
그림 2. 마이크로 미러의 동작 순서

2.2 특성 해석

미러의 동작을 예측하기 위해서 미러에 사용되는 회전 스프링에 대한 기계적 특성과 자장 구동에서의 자계적 해석, 그리고 정전력 고정에서의 전기적 해석을 수행하였다.

2.2.1 기계적 특성 해석

미러는 전자력으로 구동되며, 복원력은 스프링에 의한 기계적인 힘이다. 단면이 직사각형인 스프링의 스프링 상수는 식(1)과 같이 주어지며, 이는 두께가 스프링 상수

에 매우 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

$$k_\phi = 2 \frac{x G w_s t_s^3}{l_s} \quad (1)$$

또한 45도 구동을 하면서 스프링이 탄성 영역에서 동작하기 위해서는 식(2)로 주어지는 스프링에 전달되는 최대 전단 응력이 박막의 경우 124MPa 보다 작아야 한다 [2].

$$\tau_{max} = \frac{c_1 c_2 G t_s \phi}{l_s} < \tau_{max, Al} \quad (2)$$

이를 위한 스프링의 최소 길이는 82 μ m이다. 본 설계에서는 스프링의 길이를 135 μ m로 설계하였으므로 탄성 영역에서 동작한다.

2.2.2 자계적 특성 해석

미러의 45도 구동은 도금으로 형성되는 Ni의 형태 이방성에 기초한다. 즉 외부 자장에 Ni의 자화축이 일치하려는 성질에 의해 미러는 회전하게 된다. 자기장내에서 미러에 작용하는 힘은 그림 3 과 같다[3].

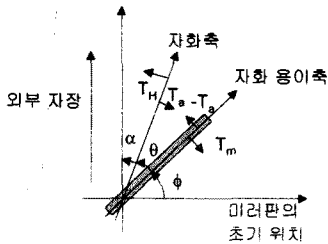


그림 3. 자장 내에서의 미러의 평형 상태

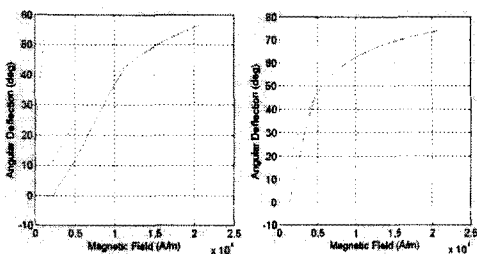
이때 작용하는 토크는 식(3), (4), (5)와 같다.

$$T_m = -k_\phi \cdot \phi \quad (3)$$

$$T_H = V_{mag} M H \sin \alpha \quad (4)$$

$$T_a = -K_a \sin 2\theta \quad (5)$$

스프링에 의한 기계적인 토크와 자장에 의한 토크와 자기 이방성에 의한 토크가 서로 같을 때에 미러는 자장내에서 평형을 이루게 된다. 이와 같은 관계식을 이용하여 설계된 미러에 자장을 가할 경우에 자장과 편향각과의 관계를 Matlab을 이용하여 그려보면 그림 4과 같다.



(a) 50×38 μ m² 미러 (b) 100×88 μ m² 미러

그림 4. 외부 자장과 편향각과의 관계

그림 4의 (a)의 경우, 13000A/m의 자장에서 45도의 편향각을 얻을 수 있고 (b)의 경우에는 5000A/m의 자장에서 45도 구동각을 얻을 수 있다.

2.2.3 전기적 특성 해석

자장내에서 구동하지 않는 미러에는 초기에 전압을 인가해서 미러를 고정시켜야 한다. 자장을 인가하지 않은 상태에서 미러를 고정시키기 위한 전압은 미러에 가해지는 정전력 토크와 중력에 의한 토크, 그리고 스프링에 의한 토크에 관한 식을 연립해서 계산할 수 있다.

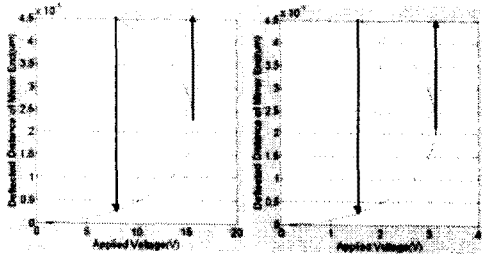
아랫방향으로 기울어지는 각도를 δ 라고 할 때, 각각의 토크는 식(6), (7), (8)로 주어진다.

$$\tau_e = \int^{area} x \left(\frac{dF}{dA} \right) dA \quad (6)$$

$$\tau_g = mg \left(\frac{l}{2} \right) \cos \delta \quad (7)$$

$$\tau_m = -k_\phi \cdot \phi \quad (8)$$

위의 식이 평형을 이룰 경우에 그림 5와 같은 그래프를 얻을 수 있다.



(a) 50×38 μ m² 미러 (b) 100×88 μ m² 미러

그림 5. 전압에 따른 미러의 편향각

(a)와 같은 경우 대략 16V에서 아랫방향으로 완전히 움직이고, 8V 근처에서 다시 복원되는 것을 볼 수 있다. (b)와 같은 경우 대략 3.1V에서 미러판이 아래 기판에 붙는 것을 알 수 있다.

2.3 마이크로 미러의 제작공정

마이크로 미러는 모두 5장의 마스크를 사용하여 제작되었다. 그림 6에서 미러의 제작 공정도를 보이고 있다.

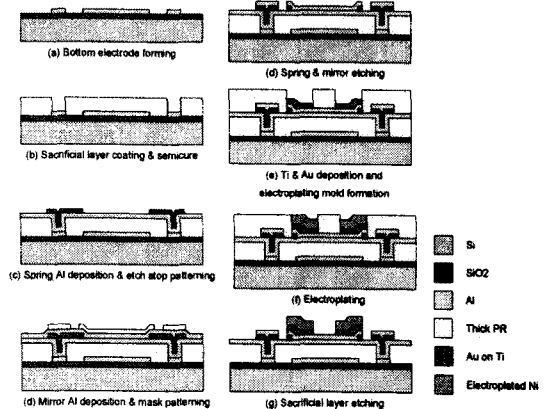


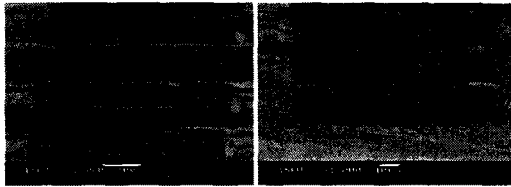
그림 6. 마이크로 미러의 제작 공정도

열산화막이 형성되어 있는 웨이퍼 위에 알루미늄으로 바닥 전극을 형성한다. 희생층으로 사용되는 AZ4330을 4.9 μ m의 두께로 회전 도포하고 대류형 오븐에서 210 $^{\circ}$ C까지 열처리를 한다. 경화된 희생층에 산화막을 식각 마스크로 사용하고 산소 플라즈마를 이용하여 바닥 전극과 연결할 수 있는 구멍을 형성한다. 이후 스프링 알루미늄을 증착한 후에 식각 정지막으로 쓰일 산화막을 증착하고 미러 알루미늄을 증착한다. 이 때, 기판을 170 $^{\circ}$ C로 가열하면서 알루미늄을 증착함으로써 희생층 제거후에 잔류 응력에 의한 스프링과 미러판의 변형을 줄일 수 있다[4]. 미러판과 스프링을 알루미늄 건식 식각으로 형성한 후, 식각 정지막으로 사용된 산화막을 건식 식각으로 제거한다. 도금 Seed layer로 사용될 Cr/Au 층을 형성하고 negative PMER로 도금들을 만들어 니켈을 전해 도금한다. 마지막으로 도금들과 seed layer를 제거

하고 희생층을 산소 플라즈마를 이용하여 제거하면 구조물을 얻을 수 있다.

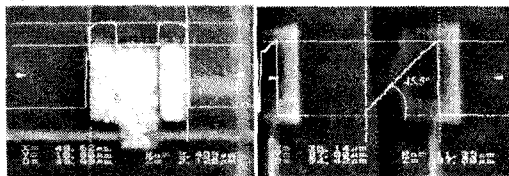
2.4 제작 결과

그림 7에서는 제작된 미러의 전자 현미경 사진이 보여진다. 170°C로 열 진공 증착한 알루미늄은 큰 변형없이 제작되었음을 알 수 있다.



(a) $50 \times 38 \mu\text{m}^2$ 미러 (b) $100 \times 88 \mu\text{m}^2$ 미러
그림 7. 제작된 마이크로 미러의 전자현미경 사진

그림 8에서는 제작된 미러의 윗면 모습을 광학 현미경으로 촬영한 사진이다. 높은 온도에서 열증착한 알루미늄 표면의



(a) 윗면 모습 (b) 구동된 모습

그림 8. 제작된 마이크로 미러의 광학 현미경 사진

거칠기가 상온에서 증착한 알루미늄보다 다소 큰 것으로 관찰된다. 도금으로 형성된 니켈의 표면은 깨끗한 것으로 보인다. 그림8의 (b)에서는 자장내에서 대략 45.5도로 구동된 모습을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 표면 미세 가공 기술을 이용하여 입사된 빛의 방향을 지면과 수직하게 반사시킬 수 있는 10×10 이차원 마이크로 미러 어레이를 설계하고 제작하였다. 45도의 각도를 얻기 위하여 희생층의 두께와 회전 방지턱의 길이의 비율을 이용하였다. 큰 구동각을 얻기 위하여 니켈의 형상 이방성을 이용한 전자력 구동을 하였다.

감사의 글

본 연구는 전자 부품 연구원(KETI)에서 주관하는 차세대 대용량 정보저장장치 개발사업과 2000년도 두뇌한국21사업의 지원하에 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. A. Miller, G. W. Burr, Y. C. Tai, D. Psaltis, C. M. Ho and R. R. Katti, "Electromagnetic MEMS Scanning Mirrors For Holographic Data Storage," Technical Digest, Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head Island, SC, pp. 183-186, June 3-6, 1996
- [2] S. H. Crandall, N. C. Dahl, T. J. Lardner, "An Introduction to the Mechanics of Solids", pp. 393-395, 1978
- [3] J. W. Judy, R. S. Muller, "Magnetically Actuated, Addressable Microstructures", Journal of MEMS, Vol. 6, No. 3, pp. 249-256, 1997
- [4] 김윤진, "미세구조물을 위한 알루미늄 박막의 잔류응력과 용력기울기에 대한 연구", 서울대학교 공학석사학위논문, 1999