

Ni 도금 구조물을 이용한 전자력 구동 AI 미러의 제작

원 대선, 김 용권*, 최 형**
 서울대학교 전기 컴퓨터 공학부*, 삼성 전자**

Fabrication of Al mirror with Ni electroplated structure for magnetic actuation

Tae-Sun Lim, Yong-Kweon Kim*, Hyung Choi**

School of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University*, Samsung Electronics**.

Abstract - In this study, we fabricated surface micromachined mirror that is actuated by magnetic force. The mirror was fabricated with Al, and Ni was electroplated on the surface of Al mirror as a magnetic material. The fabricated mirror is actuated by magnetic force of simple solenoid. The maximum deflection angle is about 70° when the applied magnetic field is about 1.5×10^4 A/m

그림 2는 제작된 미러의 개략도를 보이고 있다. 알루미늄으로 제작된 미러면 위에 전자력 구동을 위한 Ni 도금 구조물이 올라가 있으며 구동시 복원력을 얻기 위한 hinge 스프링이 미러를 지지하고 있는 구조이다. 미러면의 크기는 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 이고 자성체를 포함한 미러의 두께는 약 $6\mu\text{m}$ 이다. 스프링의 길이는 $100\mu\text{m}$ 로 설계하였으며 폭은 $4\mu\text{m}$, 두께는 약 $0.4\mu\text{m}$ 이다.

1. 서 론

마이크로 미러는 마이크로 머시닝 기술을 광학 시스템에 응용한 대표적인 예로서 지금까지 여러 기관에서 다양한 연구 성과를 발표하였다. 마이크로 미러가 사용될 수 있는 영역은 점차 다양해 지고 있으며 특히 광 경로를 변경하는 광 스위치로서 SLM, 광통신망, 초대형 디스플레이 등의 시스템에 응용되고 있다[1-3]. 마이크로 액추에이터를 구동하기 위한 방법으로는 정전력을 이용한 방법[1-4], 전자력을 이용하는 방법[5,6] 등이 있으며 특히 전자력의 경우 다른 방법에 비해 비교적 큰 힘을 얻을 수 있기 때문에 큰 변위가 필요한 미러의 응용에 사용하기 적합한 방법이다. 본 연구에서는 광통신 네트워크에 응용 가능하도록 큰 변위각을 갖는 전자력 구동 마이크로 미러를 제작하였다. 전자력 구동을 위하여 알루미늄 미러 위에 Ni를 도금하였으며 외부 코일에 의한 자장을 인가하여 구동 실험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 마이크로 미러의 구조

그림 1은 WDM 광 네트워크에 사용되는 4×4 광 분배 스위치를 보이고 있다. 그림 1의 광스위치는 개별 구동이 가능한 마이크로 미러로 이루어져 있으며 광섬유와 구형렌즈를 통과한 광신호가 미러에 반사되어 또다른 구형렌즈를 통해 원하는 광섬유에 도달하는 구조이다. 미러의 변위각은 90° 에 가까워야 하므로 큰 변위각을 얻기 위하여 전자력으로 구동되는 미러를 설계하였다.

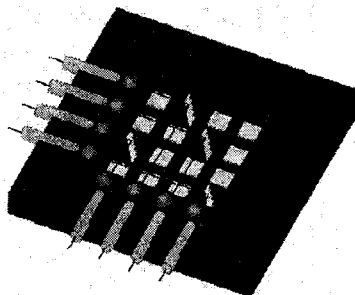


그림 1. 4×4 광 분배 스위치

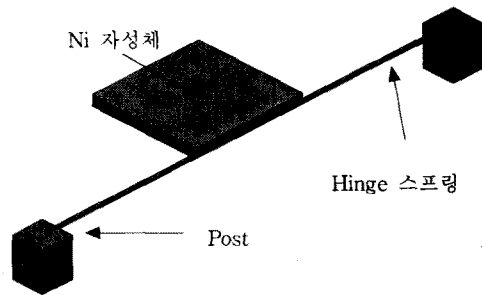


그림 2. 마이크로 미러의 개략도

2.2 구동 특성 해석

그림 3은 일정한 자계내에 있는 미러의 움직임을 나타내고 있다. 외부에서 자계(H_{ext})를 가하면 연자성체의 자화 벡터 M 과의 상호작용으로 토크가 발생하며 그 크기는 아래 식과 같이 표현된다(6).

$$T_H = V_{mag} M H_{ext} \sin(\gamma - \theta - \phi) \quad (1)$$

V_{mag} : 자성체의 부피

연자성체의 경우 자화 벡터 M 이 T_H 에 의해 평형 상태의 방향(easy axis)로부터 θ 만큼 회전하게 되고 이로 인해 식 (2)와 같이 표현되는 토크가 발생한다(6).

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

K_a : 자화 비대칭 상수

또한 자계에 의한 토크에 의하여 미러가 회전하게 되면 hinge 스프링이 뒤틀리게 되며 스프링에 기계적인 토크가 발생하게 된다.

$$T_{mech} = k_\phi \phi \quad (3)$$

자계에 의한 토크와 스프링의 기계적인 토크가 평형을 이루는 점에서 미러의 구동 변위각이 결정되게 되므로 인가된 자계의 크기에 대한 변위각을 알 수 있게 된다.

$$|T_H| = |T_a| = |T_{mech}| \quad (4)$$

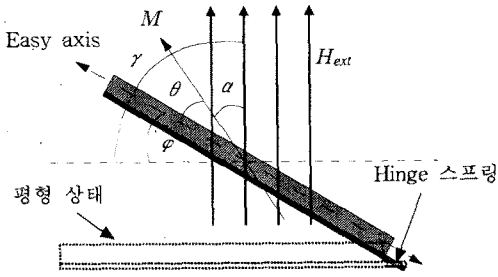


그림 3. 자계 인가시 자성체의 움직임

2.3 마이크로 미러의 제작

설계된 미러는 알루미늄을 구조물로 사용하고 후막 감광제를 희생층으로 사용하여 제작하였다. 그림 4는 마이크로 미러의 제작 공정을 보이고 있다. 먼저 실리콘 기판 위에 SiO₂ 절연층을 증착한다(a). 다음 알루미늄으로 전극을 형성하고 희생층 후막 감광제를 spin coating한 후 열처리를 한다(b). 희생층으로 사용된 후막 감광제는 AZ4620이며 희생층의 두께는 약 6 μm이다. 열처리된 후막 감광제위에 SiO₂ 식각 마스크를 증착하여 post 제작을 위한 hole을 뚫고(c) 식각 마스크를 제거한 후 스프링과 같은 두께의 알루미늄을 증착한다(d). 이 위에 스프링 형성을 위한 식각 정지막으로 사용할 SiO₂막을 증착한 후 post hole을 후막 감광제로 채운다(e). 다음 SiO₂ 막을 스프링 형상으로 패터닝하는데(f), post hole을 후막 감광제로 채움으로써 스프링 패터닝을 위한 사진 공정시 단차에 의한 패턴 손실을 줄일 수 있다. 이 위에 다시 알루미늄과 도금 기반층을 증착한 후 negative PMER 도금층을 형성하여 Ni를 도금한다(g). 마지막으로 도금층과 희생층을 제거하면 미러가 완성된다(h).

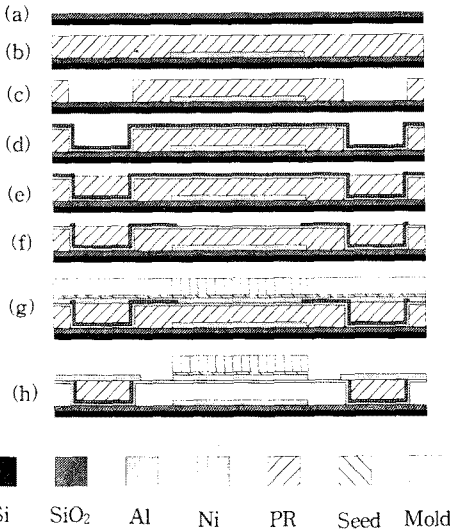


그림 4. 마이크로 미러의 제작 공정

2.4 제작 결과 및 전자력 구동

미러 제작후 간단한 솔레노이드를 제작하여 미러의 전자력 구동 실험을 하였다. 그림 5는 구동 실험을 위한

실험 장치를 보이고 있다. 코일은 외경 4 cm, 내경 0.7 cm 크기로 감은 전선의 수는 700 turn이다. 1 A의 전류가 흐를 때 약 190 Gauss의 자속 밀도를 얻을 수 있다.

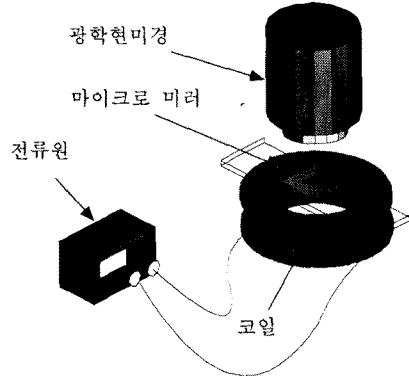
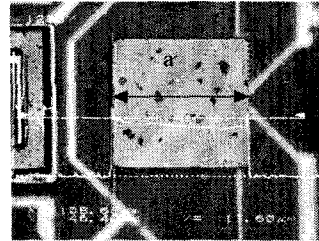


그림 5. 마이크로 미러의 구동 실험

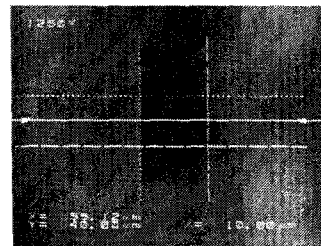
그림 6은 구동중인 미러를 위에서 촬영한 모습을 보이고 있다. 미러의 관찰은 laser profiler를 사용하였으며 자계를 인가한 상태로 관찰하여 구동각을 측정하였다. 그림 6에서 구동각은

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (5)$$

와 같이 계산할 수 있다. 인가된 자속의 변화에 따른 구동 변위각의 변화를 그림 7에 보이고 있다. 최대 변위는 약 70°이며 이때의 자계는 약 1.5×10^4 A/m이다. 90°에는 미치지 못하나 비교적 큰 변위각을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 90°에 근접한 변위각을 얻으려면 더욱 강한 자계를 인가하거나 스프링의 두께나 길이를 조절하여 스프링 상수를 줄일 필요가 있으며 광스위치로 사용하기 위해서는 구동후 미러를 구동된 상태로 유지시킬 수 있는 방법이 필요하다.



(a) 평형 상태



(b) 자계를 인가했을 때

그림 6. 완성된 미러의 구동

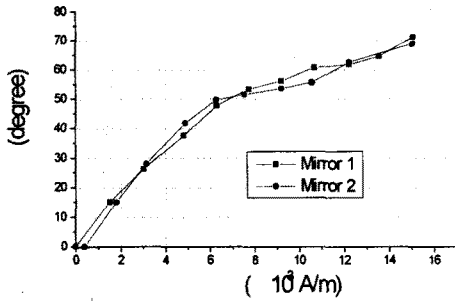


그림 7. 자계 변화에 따른 변위각의 변화

3. 결 론

본 연구에서는 전자력을 이용하여 구동되는 미러를 설계하고 제작하였다. 미러의 제작은 Al을 구조물로 하는 표면 미세 가공 기술을 이용하였으며 전자력 구동을 위해 미러면 위에 연자성체인 Ni을 도금하였다. 전자력을 구동력으로 이용함으로써 70° 정도의 비교적 큰 변위각을 얻을 수 있었다. 미러의 구동 변위각은 스프링의 치수 조절이나 인가 자계등을 조절하여 증가시킬 수 있으며 광 네트워크에서 광 분배 스위치로 사용하기 위해서는 구동 변위각의 증가뿐만 아니라 자계 인가 후 미러의 움직임 조절할 수 있는 방법에 대한 연구도 필요하다.

4. 감사의 글

이 연구는 과학기술부와 산업자원부가 주관하는 초소형 정밀기계 선도기술개발사업과 2000년도 두뇌 한국 21 사업에 의하여 지원된 것입니다.

(참 고 문 헌)

- [1] Jack M. Younse, "Mirrors on a chip", IEEE spectrum, pp. 27~31, November, 1993
- [2] Larry J. Hornbeck, "Deformable-mirror spatial light modulators", Spatial Light Modulators and Applications III, SPIE Critical Review, Vol.1150, pp. 86~102
- [3] J. Hornbeck, "Current status of digital micromirror device (DMD) for projection television applications", Technical Digest of IEEE International Electron Device Meeting, pp. 381~384, 1993
- [4] L. Y. Lin, E. L. Goldstein, and R. W. Tkach, "Free-Space Micromachined Optical Switches for Optical Networking" JSTQE, pp. 4-9, Vol. 5, No. 1, January, 1999
- [5] Behrang Behin, Kam Y. Lau, and Richard S. Muller, "Magnetically Actuated Micromirrors for Fiber-Optic Switching", Tech. digest of Solid-State Sensor and Actuator, pp.273-276, June, 1998
- [6] Jack W. Judy, Richard S. Muller, "Magnetic microactuation of torsional polysilicon structures", Transducers '95, vol. 1, pp. 332-335