

광학스캐너용 자기구동 마이크로 액츄에이터 (Magnetically driven microactuator for optical scanner)

경성대학교 신성용, 김성대, 신광호*
부경대학교 김영학

1. 서론

최근 광학 스캐너의 소형화와 저전압화를 위하여 마이크로미러와 광학스위치와 같은 자기구동형 액츄에이터(Magnetically driven actuators)에 대한 많은 관심이 집중되고 있다[1,3]. 일반적으로는 MEMS(Micro ElectroMechanical Sytem)용 액츄에이터로는 정전력(Electrostatic force)을 이용하는 마이크로 액츄에이터가 주로 사용되고 있으나, 큰 구동변위를 발생시키기 위해서는 구동전압을 크게 해야 한다는 문제점이 있고, 현실적으로 전극간격을 일정이상 크게 할 수 없기 때문에 대변위용 마이크로 액츄에이터로는 적합하지 않다[4]. 또한, 자기 구동형 액츄에이터는 정전 구동형에 비하여 보다 간단한 패키징이 가능하고, 전류구동형이며 입력임피던스가 낮기 때문에 패키지에 의한 누설 임피던스(특히 캐패시턴스)의 문제가 발생하지 않는다[5]. 자기 구동형 액츄에이터는 적당한 전기적인 설계를 통하여, 저전압 구동이 가능하기 때문에 구동회로의 크기와 가격을 낮출 수 있고, 먼지나 수분에 대하여 비교적 영향을 적게 받기 때문에 열악한 환경에서의 사용에도 정전력 액츄에이터에 비하여 유리하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 자기력으로 구동할 수 있는 마이크로 액츄에이터를 실리콘의 이방성 에칭을 통하여 제작하여 NbFeB 영구자석과 일체화시키고, 페라이트코어와 Cu와이어를 이용하여 제작한 소형 전자석과 조립하여 제작한 광학 스캐너의 구동특성을 측정하고 결과를 보고한다.

2. 설계 및 실험방법

그림 1은 본 연구에서 제작한 자기구동형 광학 스캐너를 개념적으로 나타낸 것이다. 광학 스캐너는 크게 액츄에이터부분과 소형 전자석부분으로 구성되어 있다. 전자석은 200 턴의 구리선(0.5 mm ϕ)에 전류를 인가함으로써 자계를 발생시키는 구조로 되어 있으며, 발생하는 자계를 크게 하기 위해서 페라이트코어를 권선내부에 설치하였다. 페라이트코어는 전자석의 상층면보다 약 1 mm정도 밑으로 내려져 있다. 그 이유는 전류가 인가되고 있지 않을 때, 액츄에이터에 장착된 영구자석과 페라이트코어사이에 자기적인 흡인력(Magnetical sucking force)이 발생하고, 이 때문에 액츄에이터가 파손되는 것을 방지하기 위해서이다. 액츄에이터는 포토리소그래피와 이방성에칭법으로 제작된 실리콘 몸체와 실리콘 상층면에 Al박막을 스파터링으로 성막하여 제작한 거울면과, 자기력을 발생시키기 위한 영구자석으로 구성된다. 영구자석이 부착된 실리콘판은 실리콘몸체와 얇고 좁은 연결보에 의해서 연결되고 있으며, 전자석에서 발생한 자계(혹은 자속)의 의해 한쌍의 영구자석은 각각 흡인력과 척력을 교번적으로 받게 된다. 이 힘들의 합으로 인해서 실리콘 미소거울은 인가전류에 비례하는 변위를 일으키게 된다.

그림 1에서 나타낸 것과 같은 구조의 마이크로 액츄에이터의 공진주파수는, 댐핑을 무시한다면, 식(1)에 의해서 해석할 수 있다[6].

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2w(u^2 + t^2)E}{\rho ab l (a^2 + b^2)(1 + \nu)}} \quad (1)$$

여기서, E 와 ν 는 각각 탄성율과 포아송비를 나타내고, 그 외의 파라미터들은 그림 2에서 나타낸 것과 동일하다. 식(1)에서 알 수 있듯이, 액츄에이터의 크기와 구동주파수(공진주파수에 의해서 제한되는)는 Trade-off의 관계에 있다. 따라서, 광학 스캐너를 사용하고자 하는 주파수를 미리 결정한 후에 액츄에이터 각 부분의 크기를 결정하여야 한다. 구동주파수에 따르는 각부분의 크기를 결정하기 위해서 식(1)은 유용하게 사용될 수 있다. 다만, 식(1)은 댐핑이나 비선형성을 무시하고 있는 근사식이라는 것은 명심하여야 한다. 양면에 SiO₂

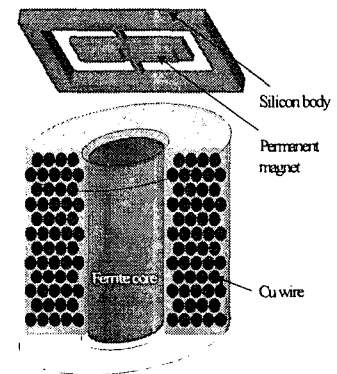


Fig. 1. Schematic view of a magnetically-driven optical microscanner composed of a silicon mirror, torsion bars, a pair of permanent magnets and an electromagnet.

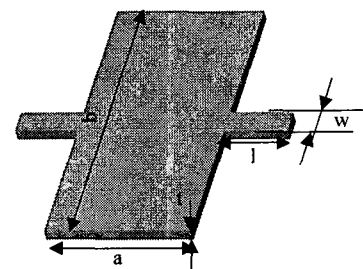


Fig. 2. Structure of a typical torsion bar-type actuator.

를 형성한 두께 500 μm 의 실리콘 기판을 KOH를 이용한 이방성 에칭을 통하여 구조물을 형성하였다. KOH에칭시의 마스크는 SiO_2 를 이용하였다. 레이저의 반사를 원활하게 하기 위해서 광반사면에 Al을 스퍼터링을 통하여 성막시켰다. 마지막으로 에칭된 실리콘판상에 크기 $1 \times 2 \times 3 \text{ mm}$ 의 NdFeB 영구자석을 부착하여 액츄에이터를 완성하였다. 이것을 페라이트코어와 구리선을 이용하여 제작한 전자석과 조립하여 광학 스캐너의 프로토타입을 완성하였다. 제작된 광학 스캐너의 특성을 평가하기 위해서, 레이저다이오드모듈과 반도체 PSD (Position Sensing Detector)를 이용한 광학 측정장치를 구성하였다. 이때, 측정장치가 가지는 변위 분해능은 PSD상에서 약 1 μm 이었다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3는 위에서 설명한 방법으로 제작한 광학 스캐너의 사진을 나타낸 것이다. 실리콘 판의 모서리 부분이 직각으로 되지 않고, 둥글게 에칭이 되어 있는 것을 알 수 있다. 이것은 설계와는 다른 결과로서, 실리콘의 모서리부분이 (111)방향이 아니기 때문이다. 그러나 이것이 액츄에이터의 동작에는 지장을 초래하지는 않는다. 레이저를 반사하는 마이크로미러는 $2 \times 6 \text{ mm}$ 의 크기로서 레이저를 반사하기에 충분한 크기를 가짐과 동시에, 액츄에이터를 상하로 진동시킴으로써 레이저의 집중조사에 의한 열발생을 방지할 수 있다. 자계를 발생시키기 위한 권선의 전기저항은 1.5 Ω 이었고, 1 V의 인가전압에 대하여 0.67 A의 전류를 흐릴 수 있다. 그림 5는 제작한 자기구동형 마이크로 액츄에이터의 변위특성을 나타낸 것으로, 인가전류에 의한 기울면의 변위각도를 도시한 것이다. 인가전압은 0 ~ 1 V까지 변화시켰으며, 이 때의 전력은 0.67 W이었다. 본 실험에서는 액츄에이터의 정적인 특성을 측정하기 위해서 충분히 낮은 주파수의 전압(200 mHz)을 인가하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 제작한 액츄에이터는 1 V의 전압인가에 의해서 약 8도의 각도변위를 나타내고 있다. 이를 액츄에이터의 변위로 환산하면 약 420 μm 에 상당한다. 이 결과를 후막공정(Thick film technique)을 통하여 복합형 영구자석을 미소거울판에 부착시킨 Cho등의 결과[7]와 비교해 보면 약 5배정도의 큰 변위성능을 본 연구에서 제작한 액츄에이터가 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서의 액츄에이터가 우수한 변위특성을 보유하고 있는 이유는, 크고 성능이 우수한 자석을 사용했기 때문이다. 그러나, 본 연구에서의 벌크 자석을 부착하는 방법은 양산을 위해서는 적합하다고 볼 수 없으므로, NdFeB영구자석을 양산에 적합한 일괄공정(Batch process)으로 제작할 수 있는 공법을 개발할 필요가 있다고 할 수 있다.

4. 참고문헌

- [1] H. Miyajima, N. Asaoka, M. Arima, Y. Minamoto, K. Murakami, K. Tokuda and K. Matsumoto, "An electromagnetic optical scanner with polyimide-based hinges", *Transducers99, Digest of Technical Papers (Sendai, Japan)* pp. 372-375, (1999).
- [2] L. O. S. Ferreira and S. Moehlecke, "A silicon micromechanical galvanometric scanner", *Sensors Actuators A*, Vol. 73 pp. 252-260, (1999).
- [3] H. Cho, J. Yan, S. T. Kowel F.R. Jr. Beyette and C. Ahn, "A scanning silicon micromirror using a bi-directionally movable magnetic microactuator", *Proc. SPIE (Santa Clara, CA, 2000)* Vol. 4178, pp. 106-115, (2000), and J. Cho and C. H. Ahn, "Magnetically-driven bi-directional optical microscanner", *J. Micromech. Microeng.* Vol. 13, pp. 383 - 389, (2003).
- [4] J. W. Judy, "Microelectromechanical systems (MEMS): fabrication, design and applications", *Smart Mater. Struct.*, Vol. 10, pp. 1115-1134, (2001).
- [5] H. Guckel, "Progress in magnetic microactuators", *Microsyst. Technol.* Vol. 5, pp. 59-61, (1998).
- [6] Higdon A and Stiles W B 1962 *Engineering Mechanics Vector Edition: Statics and Dynamics* (Prentice-Hall)

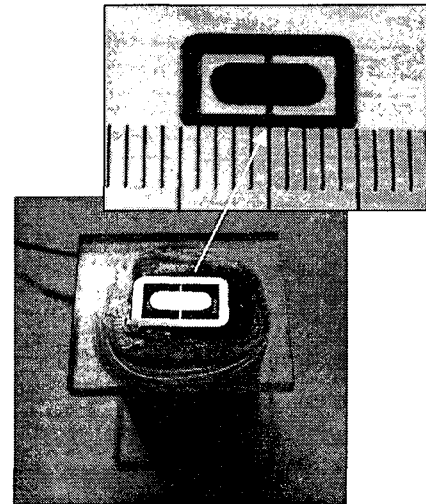


Fig. 3. Prototype magnetically-driven optical microscanner.

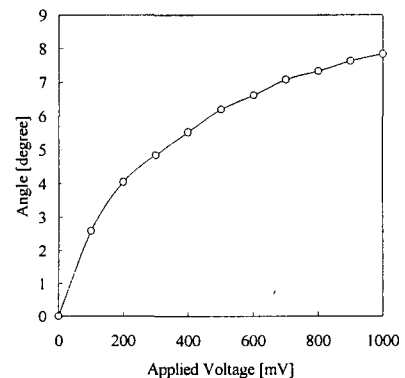


Fig. 4. Deflection of a microactuator as a function of current through into electromagnet.