

MEMS 구동기를 이용한 마이크로 주사거울의 고유주파수 튜닝

Resonant Frequency Tuning of Torsional Microscanner using MEMS actuator

이재익*, 박선우*, 김종백†

Jae-Ik Lee, Sunwoo Park and Jongbaeg Kim

(2014 년 3 월 25 일 접수; 2014 년 3 월 26 일 심사완료; 2014 년 3 월 27 일 게재 확정)

Abstract

In this paper, we present a novel approach for tuning the resonant frequency of torsionally driven vertical comb actuators. The tuning unit composed of thermal actuator, scissor mechanism and V-shape shaft enables continuous and reversible resonant frequency tuning. The proposed method is based on the stiffness alteration of the V-shape shaft. It is experimentally verified that the resonant frequency of the torsional microscanner is shifted up to 1.59 kHz from 1.51 kHz showing the maximum tuning ratio of 5.29%.

Key Words : Frequency tuning, Torsional microscanner, Vertical comb actuator, Shaft-widening.

1. 서 론

공진 현상을 이용한 마이크로 주사거울은 원거리 통신, 의약, 생물학, 영상 출력 및 처리 등 다양한 분야에 활용되고 있다 [1~3]. 특히 마이크로 주사거울을 활용한 이미지 프로세스 시스템은 빠른 반응과 적은 전력소모 등의 장점으로 인해 많은 연구자들의 큰 관심 속에 지속적으로 연구가 진행되고 있다 [4, 5]. 하지만 MEMS (Micro-ElectroMechanical System) 제작공정에서 불가피하게 발생하는 치수 오차 및 온도나 기압 등의 작동 환경 변화에 의한 공진 주파수의 일탈 현상 등은 제작된 마이크로 주사거울이 균일한 공진주파수를 가지는 것을 어렵게 하며, 마이크로 주사거울의 상용화, 규격화를 방해하는 요소로 작용한다. 이와 같은 단점을 보완하기 위한 공진주파수 튜닝 방법으로, 레이저 가공, 집속 이온빔, 다결정 실리콘의 국소 증착 등에 기반한 추가적인 공정을 통해 기

제작된 공진기의 질량 및 강성을 영구적으로 변화시키는 방법들이 제안된 바 있다 [6~9]. 이와는 달리 비 영구적이며 반복적인 튜닝을 위한 방법으로는 정전기력에 의한 강성 변화 효과나 국소 열 응력을 사용하는 방법 등이 시연된 적이 있다 [10~11]. 하지만 앞서 소개된 방법들은 평면형 공진기를 위해 고안된 방법으로 마이크로 거울에 활용하기에는 어려움이 있었다. 특히 적층 구조의 수직형 콤 드라이브(vertical comb-drive) 세트에 기반한 마이크로 주사거울은 물리적인 접촉이나 장애물의 방해를 받지 않고 큰 주사각을 낼 수 있다는 장점으로 인해 다양한 광학 분야에 응용되고 있으나, 아직까지 실용적인 고유 주파수 튜닝방법이 제시되지 못하였다.

본 연구에서는 마이크로 구동기를 활용하여 마이크로 주사거울의 공진주파수를 튜닝하는 새로운 접근 방법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 마이크로 주사거울의 공진주파수 튜닝 방법은 V 자 형태로 디자인된 회전축의 각도를 변화시켜 회전강성을 조절하는 것으로, 회전축의 각도를 바꾸기 위한 별도의 마이크로 구동기가 통합되어 있다. 제안하는 방법을 통해 반복적이고 연속적인 고유 주파수 튜닝이 되는 것을 실험적으로 확인하였다.

† School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.
E-mail: kimjb@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-2812

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

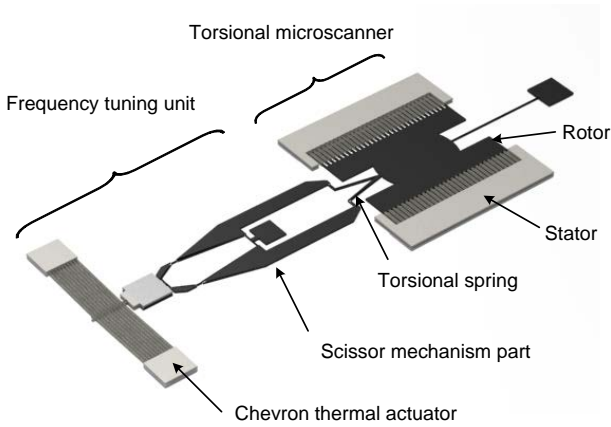


Fig. 1 Schematic view of microscanner and resonant frequency tuning unit.

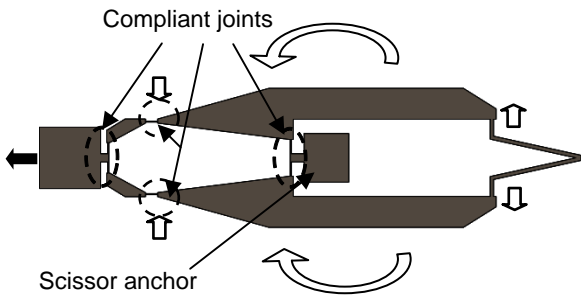


Fig. 2 Transformation and amplification of linear motion from the chevron thermal actuator through a scissor mechanism.

2. 설계 및 동작원리

적층 구조 수직 콤드라이브 (Staggered vertical comb-drive, SVC)를 기반으로 한 마이크로 주사 거울과 고유 주파수 튜닝 유닛의 개요도는 그림 1 과 같다. 수직 콤드라이브의 움직임은 부분과 고정된 부분은 단결정 실리콘의 두 층에 각각 제작되었으며, 두 콤드라이브 사이에 전압이 인가 될 때 회전 축을 기준으로 주사 거울이 회전하는 구조로 되어 있다. 주사거울의 구동 범위와 주파수는 가해지는 직류 및 교류전압 값과 교류전압의 주파수에 의해 달라지게 되며, 특히 가진 주파수를 공진 주파수에 일치시킬 때 가장 큰 회전각을 가진다.

고유 주파수 튜닝 유닛은 구동기, 시저 (scissor) 메커니즘, 회전축의 세 부분으로 구성되어 있다. 구동기에는 큰 힘으로 시저 메커니즘을 작동시킬 수 있도록 쉘브론 열 구동 방식이 사용 되었다

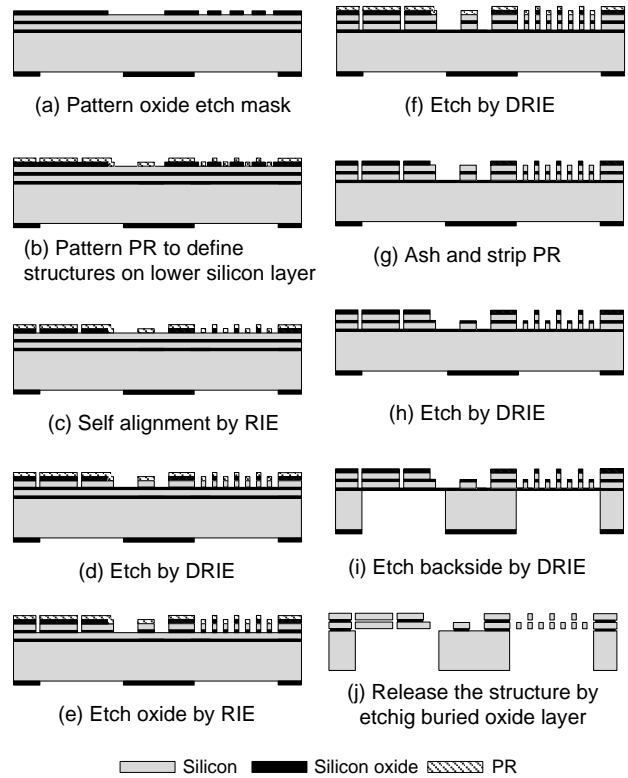


Fig. 3 Fabrication process

[12]. 시저 메커니즘은 세 쌍의 힌지 (hinge) 구조로 이루어져 있으며 쉘브론 열 구동기의 직선 방향 운동을 대칭 회전 운동으로 바꿔주는 동시에, 변위를 증폭시키는 역할을 한다. 그림 2. 에서 보는 것과 같이 쉘브론 전열 구동기에 의해 시저 메커니즘의 왼쪽 끝이 힘을 받게 되면 오른쪽 끝이 열리게 된다. 이 때 시저 메커니즘에 연결된 V자 형태 회전축의 각도가 바뀌고, 이에 따라 회전강성을 증가시키는 방식으로 고유 주파수 튜닝이 이루어진다. 이러한 디자인에서 고려해야 할 사항으로, 쉘브론 전열 구동기부터 회전 축까지 전류가 흐르게 되면 마이크로 주사거울이 오작동을 할 가능성을 들 수 있다. 본 디자인에서는 이 전하 유출 현상을 막기 위하여, DSOI (Double Silicon on Insulator) 웨이퍼를 사용하여 마이크로 주사거울과 고유 주파수 튜닝유닛을 제작하였다. DSOI 웨이퍼는 실리콘 기판 위에 두 층의 실리콘 소자층이 추가로 있는 구조로 되어있으며, 각각의 실리콘 소자층은 산화실리콘 층에 의해 서로 절연되어 있다. 본 디자인의 쉘브론 열 구동기는 두 소자층을 모두 사용하여 디자인 하였으며, 시저 메커니즘부터 미러까지 연결된 구조는 모두 아래층만 사용하여 디자인 하였다. 쉘브론 열 구동기가

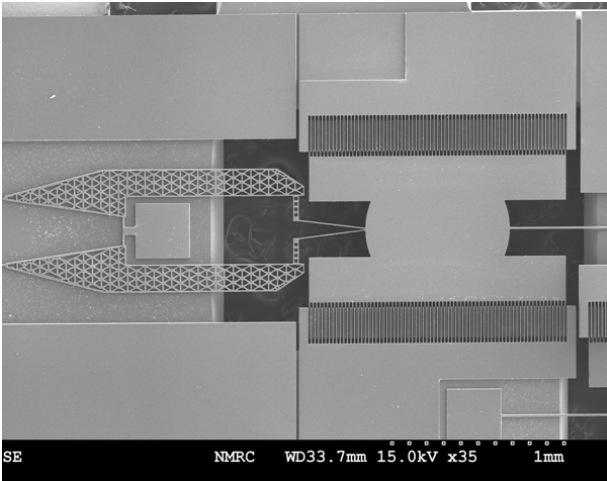


Fig.4 SEM image of the fabricated microscanner and frequency tuning unit.

가동 될 때 시저 메커니즘 파트 또한 기계적인 힘을 전달받게 되나, 산화실리콘 층이 절연체 역할을 하기 때문에 전기는 흐르지 않는다. 따라서 웨브론 열 구동기와 마이크로 주사거울을 동시에 구동시켜도 전기적인 간섭에 의해 서로 영향을 받을 수 있는 가능성을 근원적으로 제거할 수 있다.

3. 제작공정

그림 3 은 고유 주파수 튜닝 유닛이 통합된 마이크로 주사 거울의 제작공정을 보여주고 있다. 총 세 장의 사진마스크를 이용하였으며, 425 um 실리콘 기판 위에 20 um 디바이스 실리콘 층과 1um의 산화층이 두 겹으로 있는 DSOI wafer 를 사용하여 벌크 (bulk) 마이크로 가공 공정을 통해 제작하였다. DSOI wafer 의 사용은 앞서 언급한 것과 같이 웨브론 열 구동기와 마이크로 주사거울 사이에 전기적 절연을 가능하게 하며, 자가정렬을 통해 주사거울의 두 수직 콤드라이브 간의 정밀한 간극조절을 손쉽게 달성할 수 있는 장점을 가져다 준다 [13].

먼저 wafer 의 전면과 후면에 마스크로 사용할 산화실리콘 층을 증착하고 리소그래피를 통해 패터닝 한다. 그 뒤, 전면에만 감광제 (Photoresist, PR)를 다시 코팅 한 뒤 패터닝 한다. 이 후, 반응성 이온 식각 (Reactive ion etching, RIE) 공정을 통해 PR 아래의 실리콘산화막을 PR 과 자가정렬 시켜, 실리콘 기판과 두 층의 소자층을 식각할 마스크를 완성한다. 다음으로, 제작된 산화실리콘 및

Table 1 Resonant frequency change for different tuning voltages on thermal actuator.

Tuning voltage (V)	Resonant frequency (kHz)	Tuning ratio (%)
0V	1.51	-
10V	1.56	3.31
12V	1.59	5.29

PR 마스크를 사용하여 DRIE (Deep Reactive ion etching) 및 RIE 공정을 통해 소자층과 산화실리콘 층을 제거한다. 마지막으로 불필요한 산화실리콘 층을 불산 습식 식각을 통해 제거하여, 제작된 마이크로 주사거울이 부유된 상태로 움직일 수 있게 하여 공정을 마무리 한다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 4 는 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM) 으로 촬영한 마이크로 주사 거울 및 튜닝 유닛의 사진이다. 주사거울의 경우 움직이는 부분은 DSOI wafer 의 아래층으로만 구현하였으며, 움직이지 않는 콤은 두 층을 모두 사용하여 디자인 하였다.

마이크로 주사 거울이 5V 의 교류 전압과 10V 의 직류 전압 하에서 작동될 때, 웨브론 전열 구동기에 인가된 전압에 따른 고유 주파수의 튜닝율이 표 1. 에 나타나 있다. 튜닝하지 않은 상태의 고유 주파수는 1.51 kHz 였으며, 튜닝 전압이 10 V, 12 V 로 증가 함에 따라, 고유 주파수는 1.56 kHz, 1.59 kHz 로 각각 증가 하였다. 그림 5 에는 튜닝 상태에 따른 주파수 응답이 나타나있다. 고유 주파수를 튜닝하는 과정에서 V 자 형태 회전축 강성의 증가 때문에, 튜닝 하지 않은 상태의 거울 회전각은 4.1° 인 반면, 최대 5.29% 가 튜닝 되었을 때의 회전각은 3.1° 로 감소 되었다. 주파수 튜닝 유닛의 디자인을 최적화 하게 되면 더 높은 튜닝율을 확인 할 수 있을 것이라 예상 된다.

5. 결론

본 연구에서는 SVC 세트에 의해 구동되는 정전구동 방식 주사거울의 고유 주파수 튜닝을 구현

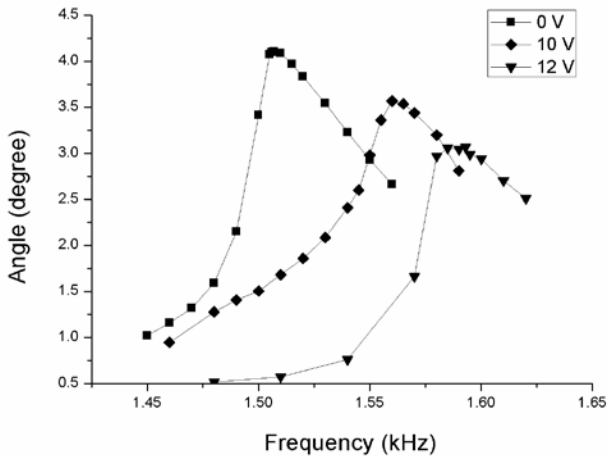


Fig.5 Frequency response change for different tuning voltages on electrothermal tuning actuator.

하였다. 고유 주파수 튜닝을 위해 쉘브론 열 구동기와 시저 메커니즘, V 자 형태의 회전축으로 구성된 고유 주파수 튜닝 유닛을 디자인 하였으며, V 자 형태 회전축의 각도와 강도를 바꾸는 방식을 통해 반복적이고 연속적인 고유 주파수 튜닝이 되는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 이 방식은 기존의 방식과 비교해 볼 때, 고유 주파수 튜닝을 위해 복잡한 후속 공정을 추가로 필요로 하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 쉘브론 전열 구동기에 전압을 12 V 까지 인가 하였을 때 고유 주파수는 1.51 kHz 부터 1.59 kHz 까지 변화하였으며, 이 때 최대 튜닝율은 5.29 % 였다.

후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 미래창조과학부의 미래유망 융합기술 파이오니어 사업으로부터 지원받아 수행되었습니다 (과제번호: 2010-0019313).

REFERENCES

[1] H. Toshiyoshi and H. Fujita, 1996, "Electrostatic micro torsion mirrors for an optical switch matrix," *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 5, pp. 231-237.

[3] W. Jung, D. McCormick, J. Zhang, L. Wang, N. Tien, et al., 2006, "Three-dimensional endoscopic optical coherence tomography by use of a two-axis microelectromechanical scanning mirror," *Applied Physics Letters*, vol. 88, pp. 163901.

[4] T. Oguchi, M. Hayase, and T. Hatsuzawa, 2005, "Micromachined display device using sheet

waveguide and multicantilevers driven by electrostatic force," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, pp. 984-991.

- [5] L. Li, V. Stankovic, L. Stankovic, L. Li, S. Cheng, and D. Uttamchandani, 2011, "Single pixel optical imaging using a scanning MEMS mirror," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 21, pp. 025022.
- [6] S. He and R. BenMrad, 2005, "Large-stroke microelectrostatic actuators for vertical translation of micromirrors used in adaptive optics," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, pp. 974-983.
- [7] M. Chiao and L. Lin, 2004, "Post-packaging frequency tuning of microresonators by pulsed laser deposition," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 14, pp. 1742-1747.
- [8] S. Enderling, C. Brown III, M. Balakrishnan, J. Hedley, J. Stevenson, et al, 2005, "Integration of a novel electrochemical tuning scheme with MEMS surface micromachined resonators," *Proc. IEEE 18th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2005)*, pp.159-162.
- [9] S. Enderling, J. Hedley, L. Jiang, R. Cheung, C. Zorman, et al, 2007, "Characterization of frequency tuning using focused ion beam platinum deposition," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 17, pp. 213-219.
- [10] D. Joachim and L. Lin, 2003, "Characterization of selective polysilicon deposition for MEMS resonator tuning," *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 12, pp. 193-200.
- [17] D. Elata, V. Leus, A. Hirshberg, O. Salomon, and M. Naftali, 2007, "A novel tilting micromirror with a triangular waveform resonant response and an adjustable resonance frequency for raster scanning application," in *Digest Tech. Papers Transducers'07 Conference*, Lyon, pp. 1509-1512.
- [18] T. Shmilovich and S. Krylov, 2008, "Linear tuning of the resonant frequency in tilting oscillators by an axially loaded suspension flexure," *Proc. IEEE 21st International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2008)*, pp. 657-660.
- [20] C. D. Lott, T. W. McLain, J. N. Harb and L. L. Howell, 2002, "Modeling the thermal behavior of a surface-micromachined linear-displacement thermomechanical microactuator," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 101, pp. 239-250.
- [21] Y. Mizoguchi and M. Esashi, 2005, "Design and fabrication of a pure-rotation microscanner with self-aligned electrostatic vertical combdrives in double SOI wafer," in *Digest Tech. Papers Transducers'05 Conference*, pp. 65-68.