

MEMS 구동기와 바이스테이블 메커니즘을 이용한 기계적 구속에 의한 정전기적 회전 구동기의 광범위 주파수 튜닝 Wide Range Frequency Tuning by Mechanical Restriction using MEMS Actuator and Bi-stable Mechanism in Micro Mirror

*박선우¹, #김종백²

*S. W. Park¹, #J. B. Kim(kimjb@yonsei.ac.kr)²
연세대학교 기계공학과 나노기전시스템 연구실

Key words : Frequency Tuning, Electrostatic Torsional Actuator, Staggered Vertical Comb drive, Bi-stable, Mechanical Restriction

1. 서론

콤 드라이브 사이의 정전기력으로 구동하는 정전기적 회전 구동기는 공진현상을 이용한 구동으로 소형화, 우수한 반복성, 그리고 낮은 에너지 소비량 등의 장점을 가지며 마이크로 미러로 통신 및 광학분야등에 많이 활용되고 있다. 하지만 MEMS 제작공정에서 발생하는 증착 박막 두께의 불균일성, 노광 공정시 선폭 오차 그리고 잔류응력등에서 오는 불가피한 변형 등은 콤 드라이브 공진기가 균일한 공진주파수를 가지는 것을 어렵게 하며 콤 드라이브 공진기의 상용화, 규격화를 저해하는 요소로 작용한다 [1]. 이와 같은 단점을 보완하고자 기존의 연구들은 정전기적 스프링 효과[2], 국소 열응력[3] 의한 강성변화를 통해 주파수 튜닝을 수행하였다. 하지만 기존 콤 드라이브 공진기 주파수 튜닝의 대상이 평면형 콤 드라이브 공진기에 국한되고 주파수 변화의 범위가 10%이내로 한정되어 있거나 광범위 튜닝의 경우 높은 전압을 사용한다는 단점을 가지고 있다 [2-4]. 본 연구는 기존 연구들과 달리 평면을 벗어나 회전운동을 하는 수직형 콤 드라이브 공진기인 정전기적 회전구동기의 기계적 구속에 의한 광범위 주파수 튜닝을 제안하고자 한다.

2. 광범위 주파수 튜닝을 위한 정전기적 회전 구동기의 설계 및 동작원리

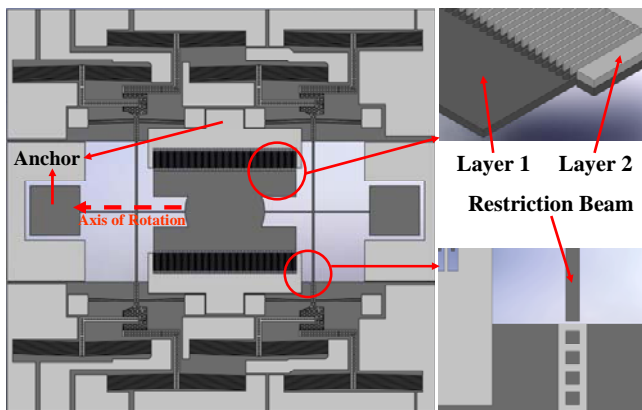


Fig.1 Schematic view of the electrostatic torsional actuator driven by staggered vertical comb-drive

본 연구의 정전기적 회전 구동기는 DSOI(Double Silicon on Insulator) 웨이퍼를 기반으로 설계되었다. 본 정전기적 회전 구동기는 Fig.1 과 같이 미러, 미러 주위의 콤 드라이브, 그리고 비틀림 축과 직교하는 구속보로 이루어졌다. 두 개의 디바이스 층으로 이루어진 DSOI 웨이퍼에서 어두운 색으로 표시된 디바이스 1 층(아랫층)은 정전기적 회전 구동기에서 회전자로, 밝은 색으로 표시된 디바이스 2 층(윗층)은 고정자로 설계되었으며 디바이스 1, 2 층간의 전압차에 의해 발생하는 정전기력을 통해 마이크로 미러는 회전축을 중심으로 구동한다. 그 구동성능은 직류 및 교류전압 값과 교류전압의 주파수값들에 의해 달라진다. 일정한 직

류, 교류 전압값 하에서의 교류전압 주파수값에 따라 회전각이 달라지게 되며 가진 주파수가 회전 구동기의 공진주파수와 일치할 때에 가장 큰 회전각을 가진다. 공진주파수는 공진기의 강성과 질량변화에 의해 결정되며 본 연구에서는 정전기적 회전구동기의 비틀림 축과 직교하는 구속보의 기계적 구속에 의한 회전강성 변화를 통해 광범위 주파수 튜닝을 제안한다.

구속보의 구속방법은 바이스테이블 메커니즘을 이용하였다. 일반적으로 보는 종적인 압축응력 아래 두 가지 안정점을 갖는다. 그러나 압축응력을 직접적으로 주는 방법 외에도 기계적 스프링이 종적인 압축응력을 받고 있는 보의 형상을 띄고 있을 때 바이스테이블 효과를 얻을 수 있다 [5]. Fig.2 에서 종적인 압축응력을 받고 있는 보의 모습을 900um 에 걸쳐 12um 의 진폭을 가지는 코사인함수로 모사하여 바이스테이블 효과를 얻고자 하였다. 더불어 바이스테이블 보를 구동하기 위해 큰 힘과 이동거리를 갖는 웨브론 열구동기를 이용하였다. 해당 웨브론 열구동기의 설계에 바이스테이블이 되기 위한 최소이동거리(24um)와 초기 웨브론 열구동기와의 간격 (4um)등을 고려하여 약 30um 정도의 이동거리를 가질 수 있게 하였다 [6]. 이와 같은 바이스테이블 서들을 Fig.2 와 같이 아래, 위로 구동할 수 있도록 웨브론 열구동기를 배치하여 구속보에 기계적 구속을 가할 수 있는 바이스테이블 서들을 디자인하였다. (Fig.2 (a), (b))

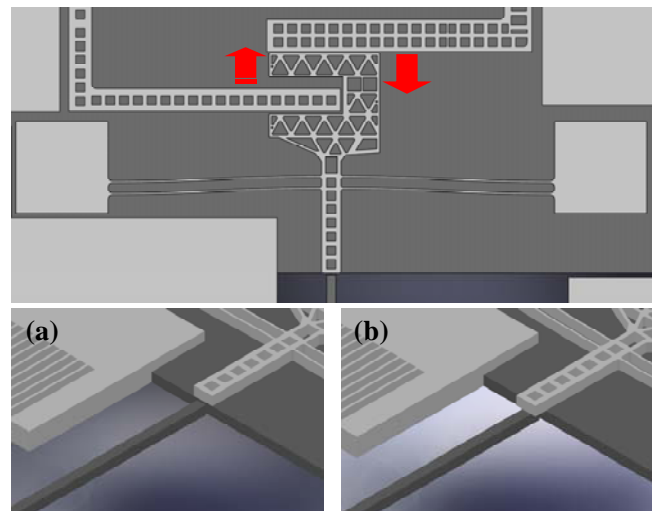


Fig. 2 Bi-stable mechanical spring that has the pre-stressed geometry (a) Before restriction (4um distance), (b) after restriction (20um overlap)

더불어 이와 같은 바이스테이블 서들과 구동기들을 Fig.1 에서와 같이 마이크로 미러의 좌, 우측 구속빔의 끝단 위, 아래에 각각 하나씩 구성함으로써 좌측과 우측의 구속빔을 위, 아래 두 쌍의 바이스테이블 메커니즘을 통해 두 단계 주파수 튜닝이 가능하도록 하여 전체 공진기는 총 3 단계의 서로 다른 공진주파수를 갖도록 하였다.

마이크로 미러의 좌, 우측 구속빔을 바이스테이블 셔틀이 위, 아래에서 같이 구속시켜줌에 따라 마이크로 미러의 비틀림 축의 유효길이는 짧아지고 공진주파수는 높아지게 된다. 정전기적 회전 구동기의 비틀림 축 길이는 좌우 각각 1050um 이고 세로방향으로의 구속빔은 폭 20um 으로 미러에서 샤프트가 시작되는 지점에서부터 485um 에 위치한다. 더불어 바이스테이블 셔틀과의 거리를 최소한으로 줄여 구속효과를 높이고자 바이스테이블 셔틀과 구속빔 끝단과의 거리를 4um 으로 설계하였다.

3. 시뮬레이션을 통한 튜닝성능예측

본 연구의 디자인을 검증하기 위해서 ANSYS 를 이용하여 모드해석을 수행하였다. 모드해석은 마이크로 미러가 구속되지 않은 상태인 자유상태, 한쪽 구속보만 구속된 상태, 그리고 양쪽 구속보 모두 구속된 상태 등의 세가지 경우에 대하여 수행하였다. 본 연구의 시뮬레이션은 겹쳐진 디바이스 1, 2 층(Fig. 2 (b))이 단단히 결합되어있다는 가정하에서 진행되었으며 실리콘의 영률과 밀도로 각각 169GPa, 2.33 g/cm³의 값들이 사용되었다. 이에 따른 시뮬레이션 결과는 자유상태의 2179.8Hz 로부터 한쪽 구속보가 구속이 되었을 때 2720.1 Hz, 양쪽 구속보가 모두 구속되었을 때 3181.1Hz 로 나타났으며 이때의 튜닝비율은 Table 1 에 정리된 바와 같이 초기값 (2179.8Hz) 대비 각각 24.8%, 45.9%로 나타났다. Fig.3 은 튜닝비율이 가장 큰, 양쪽의 구속보가 모두 구속되었을 때의 정전기적 회전 구동기의 모습을 보여준다.

Table 1 Simulation results for the wide range frequency tuning

State	Resonant Frequency (Hz)	Tuning Ratio (%)
Free	2179.8	-
One side restriction	2720.1	24.8
Both side restriction	3181.1	45.9

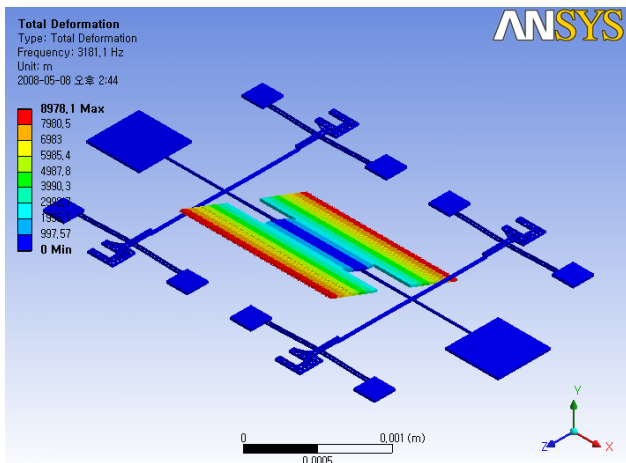


Fig.3 The resonant frequency when Both restriction beams are restricted by bi-stable shuttles

4. 제작공정

Fig.4 는 본 연구 디바이스의 제작공정을 보여주고 있다. 3 장의 사진마스크를 이용하여 425um 실리콘 기판 위에 20um 디바이스 실리콘 층과 1um 의 산화층이 두 겹으로 있는 DSOI 의 벌크공정을 통해 제작된다. 전면과 후면의 실리콘산화막 식각 마스크를 패턴한 뒤, 전면에 PR 코팅, 패턴을 한다. 이후 RIE 공정을 통해 PR 아래의 실리콘산화막을 PR 과 자가일치 시키고 PR 을 마스크로 사용하여 DRIE, RIE 공정을 통해 디바이스 2 층과 실리콘산화층을 제

거한다. 그 다음, PR 을 PR 에싱과 스트리핑을 통해 제거한 후 DRIE 공정을 통해 실리콘산화막 패턴밖으로 드러난 실리콘 디바이스 1, 2 층을 제거시킨다. 이 같은 공정을 통하여 본 연구가 제안하는 1,2 층 구조를 가지는 디바이스를 얻을 수 있다.

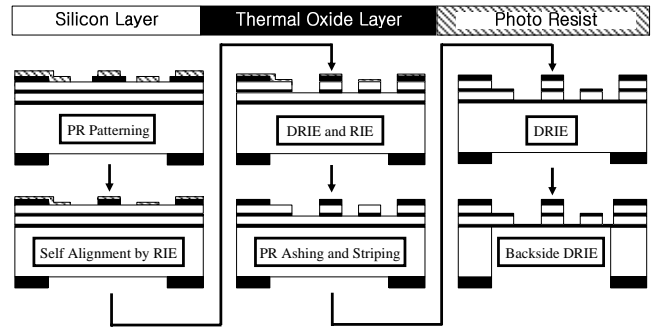


Fig. 4 The fabrication process of the device

5. 결론

기존의 주파수 튜닝 연구가 평면형 콤 드라이브 공진기를 주로 다루며 좁은 튜닝범위나 광범위 튜닝에서의 높은 전압 등의 한계가 있었던 것에 비해 본 연구가 제안하는 주파수 튜닝 방법은 회전형 콤 드라이브 공진기가 간단한 기계적 구속으로 인한 강성 변화를 통해 약 46% 정도까지의 광범위한 공진주파수 튜닝이 가능하다는 것을 보여준다. 본 연구에서는 쉘브론 열구동기를 이용하여 바이스테이블 셔틀이 움직여 정전기력으로 구동되는 회전 구동기에 기계적 구속을 유발하여 회전 강성을 증가시키고 이를 통해 두 단계 주파수 튜닝이 일어남을 확인할 수 있었다. 이를 통해 2179.8 Hz 의 공진 주파수를 가지는 정전기적 회전구동기가 1 단계 구속을 통해 2720.1 Hz 로 약 24.8% 증가되었고 2 단계 구속에서는 3181.1 Hz 로 약 45.9%의 광범위 주파수 튜닝이 가능함을 보여주었다.

후기

이 연구는 서울시 신기술 연구개발 지원사업(11032)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Stefan Enderling, John Hedley. et al, 'Characterization of frequency tuning using focused ion beam platinum deposition', J. Micromech. Microeng. 17 213-219, 2007
2. Ki Bang Lee, Young-Ho Cho, 'A triangular electrostatic comb array for micromechanical resonant frequency tuning', Sensors and Actuators A70 112-117, 1998
3. Todd Remtema, Liwei Lin, 'Active frequency tuning for micro resonators by localized thermal stressing effects', Sensors and Actuators A91 326-332, 2001
4. Ki Bang Lee, Liwei Lin and Young-Ho Cho, 'A frequency-tunable microactuator with a varied comb-width profile', Micro Electro Mechanical Systems, 2004. 17th IEEE International Conference on, 2004
5. Jun Qiu, Jeffrey H. et al, 'A Curved-Beam Bistable Mechanism', Journal of Microelectromechanical systems, VOL. 13, No. 2, April 2004.
6. Yong Zhu, and Horacio D. Espinosa, 'An electromechanical material testing system for in situ electron microscopy and application', PNAS vol.102 no.41, October 11, 2005