

반도체 마이크로 머시닝 기술을 이용한 전자기형 진동 트랜스듀서의 실리콘 탄성체 구현

이기찬, 이세규, 박세광, 권기진*, 조진호, 이상훈**
 경북대학교 전자전기공학부, *영진전문대학 전기계열, **경북대학교병원

Fabrication of Silicon Elastic Body of Electromagnetic Type
 Vibration Transducer by Using Micromachining Technique

K.C. Lee, S.K. Lee, S.K. Park, K.J. Kwon, J.H. Cho, S.H. Lee
 School of Electronic and Electrical Engineering, KNU
 *Division of Electricity, Yeungjin Junior College
 **Kyungpook National University Hospital

Abstract - A 4-beam cross type silicon elastic body was fabricated for the electromagnetic type vibration micro transducer. To improve energy transfer efficiency, the structure and size of vibration transducer were optimized by the FEA simulation package. Experimental results of the fabricated transducer shows 0.5~8 dyne of vibration force at the condition of 1~4 mA of current source, 100~7000 Hz of frequency band width. These results presented the useful applications for micro actuators and sensors.

1. 서 론

최근 MEMS 분야 등에서 널리 이용되고 있는 초소형의 전자기 방식 진동 트랜스듀서는 응용분야나 적용 대상에 따라 다양한 특징과 조건을 요구하게 된다. 이러한 요구 조건을 충족시키기 위해서 특히 주파수 범위와 이득은 제조공정을 통해 선택적으로 가변 될 수 있어야 한다. 진동트랜스듀서의 구동기에 인가되는 전기신호나 진동체의 무게 혹은 탄성 계수를 적절히 선택적으로 변화 시킴으로서 이러한 문제는 해결 될 수 있다. 그러나 코일과 자석을 이용한 초소형의 전자기 방식 진동 트랜스듀서는 제한된 부피에서 최대 전력 및 진동력 전달효율을 도출해 내기 위해, 코일의 권수와 도체의 직경 그리고 자석의 크기와 무게 및 구조에 있어서 최적의 조건과 치수로서 고정될 필요성이 대두되고 있다. 따라서 다양한 주파수 특성과 이득을 도출해 내기 위한 방법으로서, 진동트랜스듀서의 탄성체가 갖는 강성 계수를 조절하는 것이 가장 유리한 해결책이라 하겠다.

기존에 널리 사용되고 있는 탄성체 소재로서 고무와 프라스틱 등의 고분자 소재나 금속 피막 등은 저가로 쉽게 구입할 수 있지만, 비교적 부피가 크고 정밀형상 가공이 어려운 뿐만 아니라 고온 다습하며 내화학적 특성이 요구되는 환경에서는 적합하지 않은 경우가 많다. 또한 제한된 부피 내에서 다양한 탄성계수를 갖는 탄성체를 반복적으로 제작하는데는 매우 정밀한 기계적 가공기술과 까다로운 공정이 요구된다고 하겠다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 반도체 마이크로머시닝 기술을 이용하여, 기계적 강성과 정밀성형 및 양산성이 우수한 실리콘 탄성체를 구현하였다. 또한 이를 이용한 전자기형 진동 트랜스듀서의 최적설계와 제작 그리고 실제의 진동특성을 실험을 통해 분석하였다. (1)(2)(3)

2.1 전자기형 진동 트랜스듀서의 설계

전자기형 진동 트랜스듀서는 다른 종류의 구동방식에 비해 보다 큰 에너지 밀도를 갖는다. 따라서 저소비전력으로 큰 구동력을 발생시키기 위한 액추에이터나 적은 입력에 대해 큰 감도가 요구되는 센서로서의 응용에 유리하다. 본 논문에서 제안된 전자기형 진동트랜스듀서는 그림 1에서와 같이 진동력을 발생시키는 코일과 자석 그리고 이를 지지하는 탄성체로 구성된다.

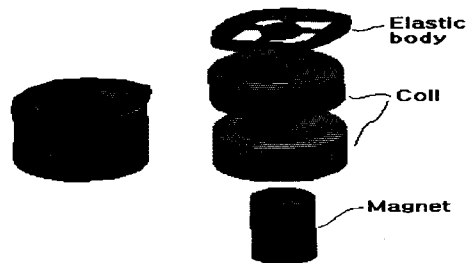


그림 1. 제안된 전자기형 진동트랜스듀서의 개념도

2.2 전자기형 진동 트랜스듀서의 최적화

다양한 주파수 응답 특성과 최대 전력전달 효율을 만족시키는 전자기방식 진동트랜스듀서의 제작을 위해 ANSYS와 MATLAB과 같은 상용 모의실험 패키지를 사용하여 이론적 해석을 도모하였다. 이를 통해 2차원 공간에서의 코일과 자석간의 자속 분포 그리고 진동력을 계산하여 최적구조의 전자기 방식 진동 트랜스듀서를 설계할 수 있었다. 그림 2는 권수 300의 코일에 3mA의 전류가 흐를 때 발생된 자속과 영구자석의 고정 자속에 의해 상호 작용하는 자속 밀도의 분포를 도식적으로 보여주고 있다. 그림 3은 그림 2의 결과를 토대로 하여 코일과 자석간에 작용하는 Lorentz 힘을 자석의 코일내부에서의 위치에 따라 계산한 결과이다. 또한 이 결과는 자석의 N극과 S극의 경계면이 되는 center line과 코일의 중심부간의 거리에 대한 힘의 분포를 보여줌으로서, 자석의 상단 및 하단부에 권선방향이 반대인 2개의 코일을 집중 배치함으로써 최대 진동력을 발생시킬 수 있음을 제시하였다. 그림 4는 자석의 무게가 70mg 범의 두께와 폭이 각각 20 μ m, 200 μ m 일때 진동부에 1g의 가속도가 인가될 경우의 탄성체에 작용하는 응력과 변위 특성을 보여주고 있다. 진동 트랜스듀서의 주파수 특성은 자석의 무게와 이를 지지하는 실리콘 빔의 강성계수에 따라 결정된다고 볼 수 있다. 그림 5는 이를 근거로 하여 실리콘 탄성체의 고유 공진주파수를 빔의 폭과 두께에 따라 MATLAB으로 수치화 하여 계산한 것과 ANSYS 패키지를 이용한 3차원형상 모델을 유한요소기법으로 해석한 결과를 동시에 나타내고 있다.

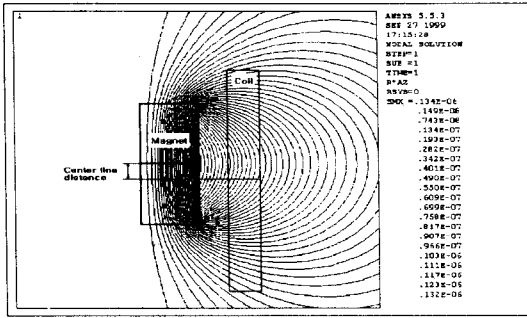


그림 2. 코일에 대한 자석의 자속 분포 유한요소 해석

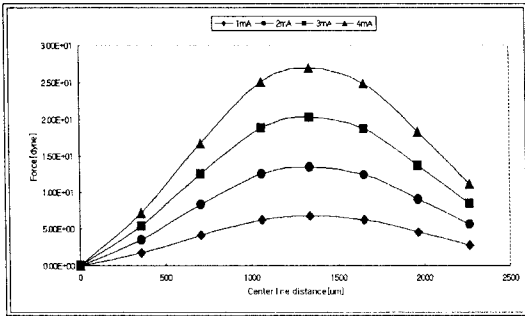


그림 3. 자석의 위치와 코일에 인가된 전류의 크기에 따라 영구자석에 작용하는 전자기력의 계산결과

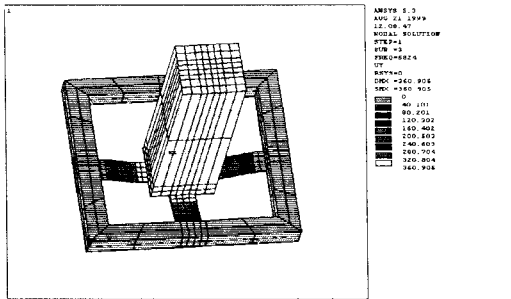


그림 4 자석이 부착된 실리콘 탄성체의 진동력에 대한 변위 특성 유한요소 해석

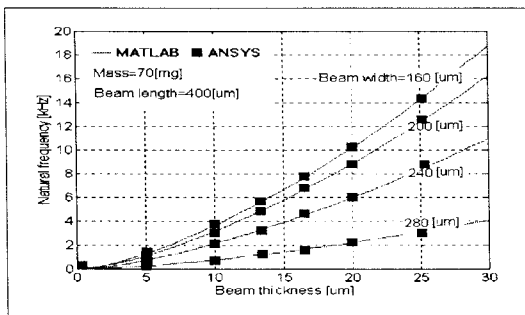


그림 5. 실리콘 탄성체의 공진 주파수 특성 모의 실험 결과

3. 실리콘 탄성체 및 진동 트랜스듀서의 제작

코일과 자석 사이에 작용하는 진동력과 자석의 질량 및 실리콘 빔의 강성에 의해 결정되는 공진주파수 특성에 대한 모의실험 결과를 토대로, 트랜스듀서의 구조와 치수를 도출해 낼 수 있었다. 이러한 결과를 통해 설정된 구조와 크기에 따라 실리콘 탄성체를 제작하기 위해 반도체 마이크로머시닝 공정에 적합하게 AUTOCAD로서 포토 마스크를 설계하였다. 실리콘 탄성체는 주파수 대역을 다양하게 하기 위해 빔의 폭을 각각 160, 200, 240, 280 μm 로 하여 제작하였다. 실리콘 탄성체의 제작 공정은 300 μm 두께의 실리콘 웨이퍼를 소재로 하여 초기세정과, 열산화막 형성, 양면 사진현상 및 실리콘의 건식 및 습식 식각 공정으로 이루어진다. 그림 6은 반도체 단위공정을 단계적으로 도식화 하여 보여주고 있으며, 그림 7은 제작된 실리콘 탄성체의 사진이다.

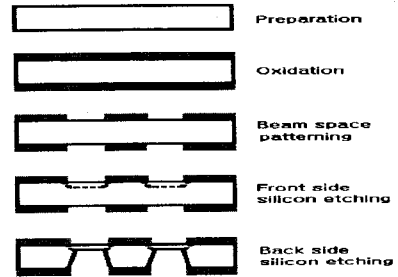


그림 6. 실리콘 탄성체의 제작 공정도

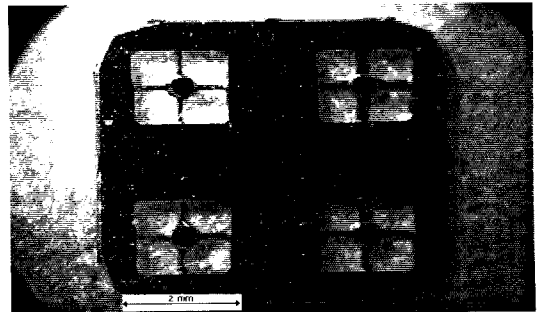


그림 7. 제작된 실리콘 탄성체의 사진

이렇게 제작된 실리콘 탄성체에 무게가 70mg이며 자속 밀도가 1500G 인 NdFeB 소재의 영구자석을 부착하고 직경 0.05mm의 구리전선을 150회씩 서로 다른 방향으로 감은 코일과 결합함으로써 그림 8과 같은 진동트랜스듀서를 제작할 수 있었다.

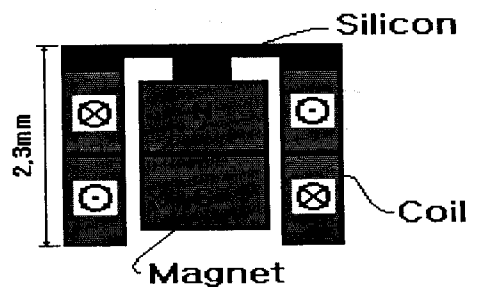


그림 8. 제작된 전자기형 진동트랜스듀서의 단면

제작된 트랜스듀서에서 코일과 자석은 같은 규격으로 하고 실리콘 탄성체의 빔폭이 각각 160, 200, 240, 280 μm 인 것을 Model 1,2,3,4 로 칭하였다.

4. 제작된 트랜스듀서의 진동 특성 실험

제작된 진동트랜스듀서의 진동특성은 그림 9의 레이저 변위 측정 시스템을 사용하여 주파수 응답과 전류의 크기 변화에 대한 응답 특성을 실험하였다.

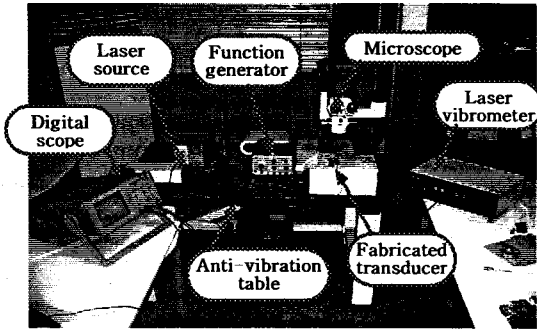


그림 9. 레이저 변위계를 사용한 제작된 트랜스듀서의 진동특성 실험장치.

그림 10은 탄성체의 빔 두께가 16 μm 이고 폭이 160, 200, 240, 280 μm 인 탄성체에 동일한 자석과 코일이 부착된 트랜스듀서 Model 1,2,3,4에 대한 주파수 응답 특성이다. 여기서 코일에 인가된 전류는 3mA_{p-p}이며 자석의 질량은 70mg이다.

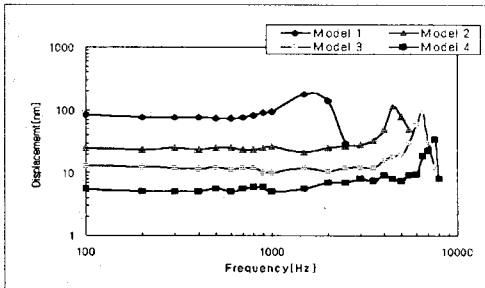


그림 10. 제작된 트랜스듀서의 진동체 주파수 응답 특성 실험결과 (코일전류: 3mA_{p-p})

그 결과를 살펴보면 Model 1,2,3,4에 대해 그림 5에서 보여준 모의실험 결과와 유사한 1.5, 4, 6.5, 7.5kHz에 해당하는 공진 주파수 특성을 발견할 수 있었다.

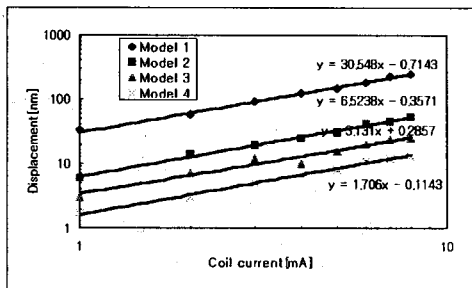


그림 11. 제작된 트랜스듀서의 코일 전류의 변화에 대한 진동체 변위 특성 실험결과 및 근사화식 (전류: 3mA_{p-p} 1kHz)

그림 11은 코일에 인가되는 전류의 주파수를 1kHz로 고정

시키고 전류의 침두치만을 변화시킴에 따라 진동 트랜스듀서의 기계적 변위를 측정 한 실험 결과이다. 여기서 그래프의 기울기를 수식화 하여 살펴보면 30.6, 6.5, 3.1, 1.7 [nm/mA]로 나타나는데 이는 트랜스듀서 Model 1,2,3,4의 에너지 변환 효율을 결정짓는 전달상수라 할 수 있다. 그리고 표 1은 실험결과를 요약한 결과이다.

표 1. 제작된 진동 트랜스듀서의 실험결과 요약

Model No.	Natural frequency [kHz]	Mass of magnet [mg]	Spring constant [N/m]	Transfer constant at 1kHz [nm/mA] [(dyne/mA)]
Model1	1.5	70	6217	30.54 (8.3)
Model2	4.5	70	55961	6.52 (1.8)
Model3	6.5	70	116757	3.13 (0.87)
Model4	7.5	70	155446	1.7 (0.47)

5. 결론

마이크로머시닝 기술을 적용하여 실리콘 탄성체 빔의 길이와 폭 그리고 두께를 달리함으로써 다양한 주파수 대역의 진동트랜스듀서를 제작할 수 있었다. 탄성체의 빔 폭을 달리하여 제작한 4가지 유형의 모델을 통해 그 특성을 레이저 변위측정 시스템을 사용하여 실험하였다. 그 결과 빔 폭을 달리한 모델의 종류에 따라 1.5kHz에서 약 7.5kHz에 해당되는 공진주파수 특성을 관찰할 수 있었으며 진동체의 변위도 약 8nm에서 100nm에 이르는 결과를 실험을 통해 확인 하였다. 또한 트랜스듀서의 성능을 결정짓는 중요한 변수로서 전달상수는 진동 주파수 1kHz에서 최고 8.3(dyne/mA)에 해당되는 에너지 변환 효율을 보여주었다.

제안된 초소형의 전자기방식 진동 트랜스듀서는 원통형으로서 직경 2mm 높이 2.5mm인 크기를 가지며, 1~4mA의 전류원으로 0.5~8dyne의 진동력을 100~7000Hz 대역에 제공할 수 있는 진동 구동기로서의 응용에 적합하다고 보여진다.

제안된 전자기형 진동트랜스듀서는 액츄에이터나 센서의 형태로써 응용 될 수 있으며, MEMS 분야에서는 마이크로스코프의 구동기와 초소형 진동식 발전기 그리고 특히 의공학 분야에서는 골전음 방식의 이식형 보청기에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 1999년도 G7 의료공학기술개발사업의 연구과제명 "전자트랜스듀서 방식의 이식형 인공중이 개발"의 일환으로 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] K. Srairi and M. Feliachi, "Electromagnetic Actuator Behavior Analysis Using Finite Element and Parameterization Methods", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 31, No6, pp. 3497~3499, 1995
- [2] W. H. Ko, W. L. Zhu, and A. J. Maniglia, "Engineering principles of mechanical stimulation of middle ear", Otolaryngologic Clinics of North America, Vol 28, no. 1, pp. 29-41, 1995
- [3] M. A. Harradine, T. S. Birch, J. C. Stevens and C. Shearwood, "A Micro-machined Loudspeaker for The Hearing Impaired", International Conference on Solid State Sensors and Actuators, Vol 1, pp. 429~432, 1997