

강건 구조설계에 기반한 미소 공진형 가속도계의 개발

박우성¹ · 부상필² · 박수영³ · 김도형³ · 송진우³ · 전종업² · 김준원^{1,+}

Development of a MEMS Resonant Accelerometer Based on Robust Structural Design

Usung Park¹, Sang Pil Boo², Soo Young Park³, Dohyung Kim³, Jin Woo Song³, Jong Up Jeon², and Joonwon Kim^{1,+}

Abstract

This paper describes the design, fabrication and testing of a micromachined resonant accelerometer consisting of a symmetrical pair of proof masses and double-ended tuning fork(DETF) oscillators. Under the external acceleration along the input axis, the proof mass applies forces to the oscillators, which causes a change in their resonant frequency. This frequency change is measured to indicate the applied acceleration. Pivot anchor and leverage mechanisms are adopted in the accelerometer to generate larger force from a proof mass under certain acceleration, which enables increasing its scale factor. Finite element method analyses have been conducted to design the accelerometer and a silicon on insulator(SOI) wafer with a substrate glass wafer was used for fabricating it. The fabricated accelerometer has a scale factor of 188 Hz/g, which is shown to be in agreement with analysis results.

Keywords : Resonant Accelerometer, Scale Factor, Micromachining, Micro-Electro-Mechanical Systems(MEMS)

1. 서론

공진형 가속도계(resonant accelerometer)는 유효 강성(stiffness) 변화에 따른 진동자(oscillator)의 공진 주파수(resonant frequency) 변화를 통해 입력 가속도의 크기를 검출하는 소자이다. 공진형 가속도계는 일반적인 진자형 가속도계(pendulous accelerometer)에 비해 상대적으로 복잡한 구조와 회로부가 요구되지만, 저전력 구동이 가능하고 다이내믹 레인지(dynamic range)가 크기 때문에 활용범위가 넓다. 또한 출력 신호가 디지털화 되어 있기 때문에 잡음(noise)에 강하며, 온도나 전자기 등 외부 요인에 의한 내성이 비교적 강하다[1, 2].

최근 가정용 게임기, 핸드폰을 비롯한 휴대용 전자기기, 소형 항법 장치 등 다양한 분야에서 소형 관성 센서 수요가 증가함과 함께, 미세 가공(micromachining) 기술의 발전으로 작은 크기의 다양한 공진형 가속도계가 개발되어왔다. 특히 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) 기술의 발전으로 개발된 실리콘 기반의 공

진형 가속도계들은 소형화와 함께 추가적인 다양한 방식의 개선을 통해 저가격화, 다기능화, 고성능화의 방향으로 발전되고 있다[3-7].

기술적 추세의 고도화에 따라 MEMS 공진형 가속도계에 있어서도 다양한 부분에서 요구 성능이 높아지고 있으며, 이 중 입력가속도에 대한 민감도(sensitivity)를 높이는 것은 정밀 가속도계로서 발전해야 하는 가장 기본적인 방향으로 볼 수 있다. 즉, 입력가속도에 따른 출력 신호변화의 비, 환산 계수(scale factor)를 증가시키기 위해 다양한 연구가 진행되어왔고, 대표적으로 지렛대 원리(leverage mechanism)를 사용하여 진동자에 전달되는 관성력(inertial force)을 증폭시키는 방식이 있다[3-5]. 지렛대를 사용하는 경우 동일한 크기와 구조의 표준질량과 진동자를 이용하면서도 쉽게 높은 증폭비를 얻을 수 있다는 장점이 있으나, 지렛대 구성을 위해 길고 얇은 빔(beam)들이 필요하기 때문에 제작 난이도가 상승하게 된다. 또한 높은 증폭비를 위해 2중 이상의 지렛대를 사용하는 경우, 그만큼 오차의 요인들이 많아지고 구조적 안정성이 떨어지게 되는 단점을 가질 수 있다.

이에 본 논문에는 회전축(pivot)의 역할을 하는 앵커(anchor)를 사용하고, 추가적인 지렛대 없이 표준질량(proof mass)을 유도되는 관성력의 증폭에 활용하여 간단한 구조로도 안정적으로 높은 환산 계수를 획득할 수 있는 가속도계를 소개한다. Push-pull 구조의 설계와 고종횡비(high aspect ratio) 제작을 통해 비입력축 인가 가속도에 대한 민감도(cross-axis sensitivity) 문제를 보완했으며,

¹포항공과대학교 기계공학과(Department of Mechanical Engineering, POSTECH)

²울산대학교 기계공학과(Department of Mechanical Engineering, University of Ulsan)

³㈜마이크로인피니티(Microinfinity Co., Ltd.)

⁺Corresponding author: joonwon@postech.ac.kr

(Received : Oct. 17, 2011, Revised : Nov. 29, 2011, Accepted : Dec. 20, 2011)

동시에 구조적 강인성(robustness)을 증가시켰다. 또한 고종횡비 구조는 진동자로 사용되는 DETF(Double Ended Tuning Fork) 콤드라이브(comb-drive)의 콤 사이에 작용하는 정전기력(electrostatic force)을 높여, 낮은 전압에서 구동이 가능하도록 하였다.

본 가속도계의 제작을 위해 먼저 구조 해석을 통해 설계식을 유도하였고, 유한요소해석(finite element method analysis)을 통해 각 세부 수치를 설계하였다. 설계된 가속도계는 고종횡비의 구조와 함께 균일한 재료적, 기계적 특성을 갖고, 잔류응력(residual stress)으로 인한 문제를 줄이기 위해 SOI(Silicon on Insulator) 웨이퍼를 사용하여 제작되었다. 신호검출회로(signal sensing circuit), 동적 신호 해석기(dynamic signal analyzer)로 구성된 실험 시스템을 통해 제작된 가속도계의 성능 시험을 수행하였으며, 공진 주파수와 환산 계수를 측정하고 해석값과 비교하고 오차를 분석해보았다.

2. 이론 및 설계

2.1 작동 원리

본 논문에서 다루는 공진형 가속도계의 구조는 Fig. 1과 같다. 유리 웨이퍼 위에 실리콘으로 이루어진 표준질량이 왼쪽과 오른쪽 각각 진동자와 회전축, 그리고 앵커로 지지되어 떠있는 형태이다. 본 가속도계의 작동원리는 기존의 공진형 가속도계의 작동원리와 유사하다[3-6]. 입력축 방향으로 가속도가 인가될 시, 좌우 표준질량은 회전축을 중심으로 관성모멘트(moment of inertia)를 받게 된다. 이 모멘트는 각각 표준질량에 연결된 연결빔(ligament beam)과 베이스빔(base beam)을 통해 진동빔(oscillating beam)에 힘으로 전달되는데, 이 때 연결빔이 회전축에 가까울수록 큰 힘을 유도할 수 있다. Push-pull 구조로 인해 좌우 진동빔은 각각 다른 방향으로 힘을 받게 되는데, 압축력(compression)을 받는 진동빔은 유효강성이 감소하여 공진주파수가 감소하게 되고, 인장력(tension)을 받는 진동빔은 유효강성이 증가하여 공진주파수가 증가하게 된다. 이와 같이 공진주파수가 증가, 또는 감소하는 두 진동자의 공진주파수 차이를 검출함으로써 외부로부터 인가된 가속도의 크기를 측정하게 되는데, 이러한 차등형(differential) 구성을 통해, 온도나 물성 변화와 같이 동시에 영향을 주는 요인을 상쇄할 수 있고(common mode rejection) 선형성(linearity)도 개선하는 효과를 얻을 수 있다. 또한 일반적인 차등형 구조와 달리 좌우 표준질량을 완전히 분리시킴으로 두 진동자 사이에 발생할 수 있는 feed-through 잡음을 줄이고, lock-in 현상을 방지하는 효과를 유도하였다.

2.2 모델링

공진형 가속도계에서 유도되는 관성력을 주파수 변화로 변환하는 핵심적인 기능을 하는 것이 진동자이며, 본 가속도계에서는 DETF 진동자가 사용되었다. 따라서 전체 가속도계를 설계하기에 앞서 먼저 DETF진동자를 해석하고 공진주파수와 환산 계수에 어떤 변수들이 관여하는지 알아보아야 하며, 유도과정은 아래와 같다.

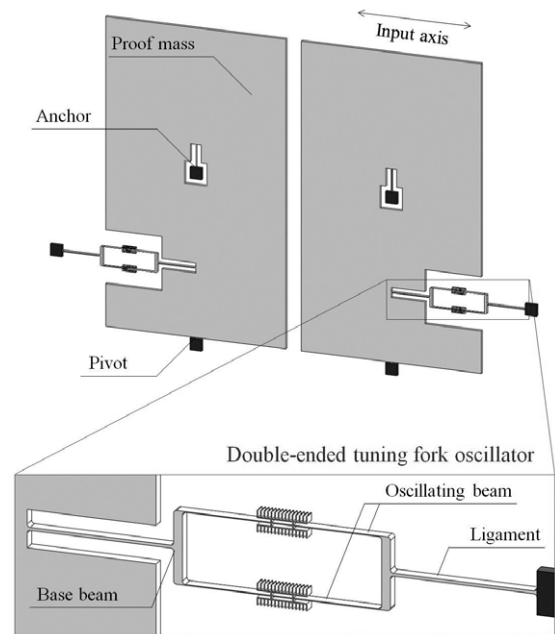


Fig. 1. Schematic of a proposed resonant accelerometer.

DETF에서 진동빔을 한쪽 끝이 고정되어 있고 다른 한쪽 끝이 가이드 된 빔(clamped-guided)으로 가정했을 시, P 라는 힘이 걸릴 때, 전체 진동빔의 강성 K 는 아래 식 (1)과 같이 나타난다[8].

$$K \approx \frac{24EI}{l^3} - \frac{24P}{\pi^2 l} \quad (1)$$

여기서 E 는 영계수(Young's modulus of elasticity), I 는 회전 관성(area moment of inertia), l 은 진동자까지 진동빔의 길이, P 는 진동빔에 가해지는 힘을 나타낸다. 식 (1)을 정리하면 빔의 공진주파수 ω 는 아래 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{24EI}{ml^3} \left(1 + \frac{l^2 P}{\pi^2 EI}\right)} = \omega_0 \sqrt{1 + \frac{l^2 P}{\pi^2 EI}} \quad (2)$$

여기서 ω_0 는 입력 가속도가 없을 때 진동빔의 공진주파수, m 은 진동자의 질량을 나타낸다. 식(2)를 전개하면 아래의 식 (3)과 같이 된다.

$$\omega = \omega_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{l^2 P}{\pi^2 EI} - \frac{1}{8} \left(\frac{l^2 P}{\pi^2 EI}\right)^2 + \dots\right) \quad (3)$$

M 을 표준질량의 크기, c 를 유도되는 힘의 증폭비라고 할 때 식

(3)에 의해 선형 환산 계수 SF_{linear} 는 아래 식 (4)와 같이 표현된다.

$$SF_{linear} = \omega_0 \frac{1}{4} \frac{l^2 M}{\pi^2 EI} c \quad (4)$$

위 식에 $\omega_0, I=tw^3/12, m=\rho A_o t, M=\rho A_p t$ 을 대입하고 정리하면 아래 식 (5)와 같이 된다. 여기서 l 는 전체 구조물의 두께, w 는 진동빔의 선포, A_o 는 진동자의 유효면적, A_p 는 표준질량의 면적, ρ 는 재료의 밀도를 나타낸다.

$$SF_{linear} = \frac{\sqrt{6}}{2\pi^2} \sqrt{\frac{l}{mEI}} Mc = \frac{3\sqrt{2}}{\pi^2} \sqrt{\frac{\rho l}{Ew^3 A_o}} A_p c \quad (5)$$

식 (5)에 따라, DETF에서의 환산 계수는 표준질량의 면적, 진동자 면적, 진동빔의 길이와 폭 등의 설계변수에 큰 영향을 받으며, 이중 진동빔의 폭에 가장 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 위 식을 통해 각 설계 수치에 따른 공진주파수와 환산 계수 경향을 확인하였으며, 목표하는 공진주파수와 제작 가능한 진동빔의 폭, 표준질량 면적에 맞추어 나머지 변수들을 대략적으로 결정한 뒤 유한요소해석을 통해 전체 구조 설계를 진행하였다.

2.3 유한요소해석

모델링에 이어, 베이스빔, 연결빔, 앵커, DETF 등 각 세부 구조들은 유한요소해석을 통해 설계하였다. 해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS classic ver. 11.0을 사용하여 수행되었다(Fig. 2).

전체적인 구조에서 DETF진동자의 위치를 회전축에 가까이 할수록 큰 증폭비를 획득할 수 있으나, 이 경우 구조적인 안정성이 떨어지고 비선형성(nonlinearity)이 증가하게 된다. 이외에도 소자 활용에 영향을 미치는 여러 부분들을 고려하여 다양한 제약을 두고 설계를 진행하였으며, 제약 조건들과 해석 결과 수치는 Table 1과 같다.

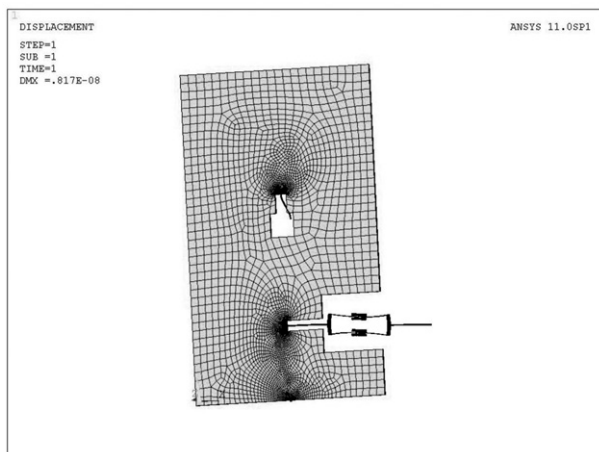


Fig. 2. Mode shape of resonator under tensile load.

Table 1. Design parameters of an accelerometer

Parameters	Target	Result	
Resonant frequency (kHz)	26	26.1	
Scale factor (Hz/g)	> 100	176	
Oscillator displacement (100 g/X-axis)	X-axis (μm)	< 1	0.0255
	Y-axis (μm)	< 1	0.0397
Proof mass displacement (100 g/Z-axis, μm)	< 5	2.29	
Frequency difference between close modes (%)	> 10	> 17.8	

3. 제작

본 가속도계는 크게 표준질량, DETF 진동자 등 구조물을 가지는 구조층과 전극이 형성(patterning)되는 기판층 두 층으로 이루어졌다. 설계된 것과 같은 구조를 구현하기 위해서는 고종횡비의 구조물 제작이 가능해야 하는데, 고종횡비 구조물 제작에 대표적인 공정으로는 크게 에피택셜 다결정 실리콘(epitaxial poly-silicon) 공정과 SOI 공정을 들 수 있다[9-11]. 에피택셜 다결정 실리콘 공정의 경우 열처리 정도에 따라 구조층으로 사용될 다결정 실리콘 층의 잔류 응력과 응력 구배가 달라지기 때문에 증착(deposition) 공정 이후 기계적인 특성의 재현성을 보장할 수 없으며, 비저항을 낮추기 위한 불순물 주입(doping) 과정에서 구조층이 두꺼울수록 두께 방향으로 균질한 불순물 농도를 유지하는 것이 어려워진다. 반면 SOI 공정은 잔류응력이나 물성치, 두께의 불균일도로 인한 문제가 적고 공정 과정도 비교적 간단하나, 일반적으로 구조물 하부 전극 형성이 불가능하기 때문에 설계 자유도 면에서 큰 제약이 따른다.

본 논문에서는 두 공정 방식의 장점을 취하여 SOI 웨이퍼를 사용하며 하부 전극 형성의 자유도를 높인 공정을 적용하였으며[9], 전체적인 공정 과정은 Fig. 3과 같다. 구조층은 50 μm 두께의 단결정 실리콘 층을 갖는 SOI 웨이퍼를 사용하였으며(Fig. 3d), 기판층은 유전성(dielectric)과 기판층과의 접합(bonding)시 열팽창계수(coefficient of thermal expansion)를 고려하여 pyrex 7740 유리 웨이퍼를 사용하였다(Fig. 3a).

먼저 기판층에 전극이 형성될 부분을 습식 식각(wet etching)을 통해 식각한 뒤(Fig. 3b), Ti/Au 전극을 형성한다(Fig. 3c). 구조층은 하부 기판층과 접합될 부분을 제외한 나머지 부분을 DRIE(deep reactive ion etching)를 이용해 식각해낸다(Fig. 3e). 이 때 식각하는 깊이가 구조물과 기판층 사이의 간격이 된다.

제작된 기판층과 구조층을 양극접합(anodic bonding) 공정을 통

해 접합하고(Fig. 3f), SOI 웨이퍼의 핸들링 층(handling layer) 부분과 산화실리콘 층(silicon oxide layer) 부분을 습식 식각으로 제거 하면 Fig. 3g와 같이 된다. 이후 감광막(photo resist) 패터닝 후 DRIE를 이용해 세부 구조를 식각해내는데(Fig. 3h), 이 때 구조층 식각에 필요한 정렬은 하부 유리 기판을 통해서 진행하며 식각 도중 언더컷(undercut)이 발생하지 않도록 전극 형성 과정에서 구조물 하부에 금속층을 형성해줄 필요가 있다. 최종 구조물 형성이 끝나면 남은 감광막을 제거한 후, 개별 소자로 분리하여 전체 공정을 완료한다. 제작된 가속도계의 사진은 Fig. 4와 같으며, 이를 다이(die)에 와이어 본딩(wirebonding) 하여 실험을 진행한다.

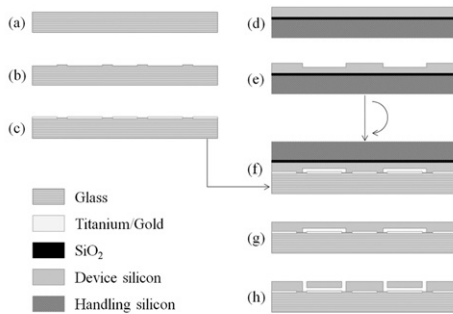


Fig. 3. Fabrication process of the accelerometer.

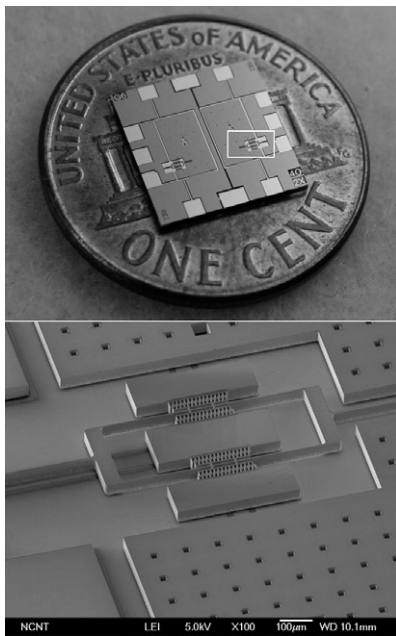


Fig. 4. An optical image (up) and SEM image (down) of the fabricated device.

4. 실험 및 분석

4.1 실험 구성

제작된 가속도계의 주파수 출력을 측정하기 위해 Fig. 5와 같은 실험장치를 구성하고, 공진주파수와 가속도 인가로 인한 출력주파수 변화를 측정하였다. 동적신호분석기의 출력단자와 직류전원공급기(DC power supply)를 통해 가속도계에 구동 전압을 가하고, 진동자의 구동으로 인해 발생하는 정전용량(capacitance)변화는 신호감지회로를 통해 전압으로 변환되어 다시 동적신호분석기로 입력되는 구조이며, 이 때 동적신호분석기의 출력대비 입력 비를 통해 가속도계의 공진주파수를 측정할 수 있다. 또한 가속도 인가 시 공진주파수의 변화량으로 입력 가속도에 대한 민감도, 환산 계수를 측정할 수 있다.

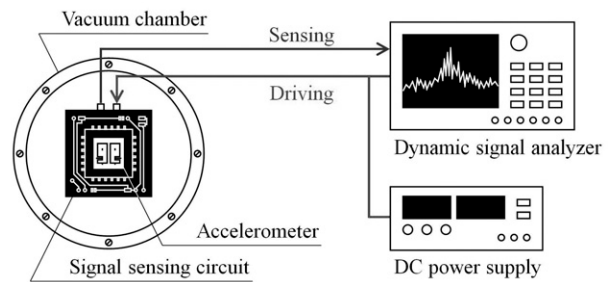


Fig. 5. Instruments setup for tests.

실험은 약 1 mTorr 진공도의 챔버(chamber)안 환경에서 수행되었으며, 사용된 입력 전압은 DC 바이어스(bias) 5 V, AC 1 mV 이다. 입력 가속도는 지구의 중력가속도를 이용하여 $\pm 1g$ 의 가속도를 입력 축 방향으로 인가하였다. 좌, 우 진동자에 대해 각각 공진주파수, Q-factor, 환산 계수를 측정하였으며, 동적신호분석기에 측정된 실험 결과는 Fig. 6과 같다. Q-factor의 경우 좌, 우 모두 약 20만 정도로 측정되었다.

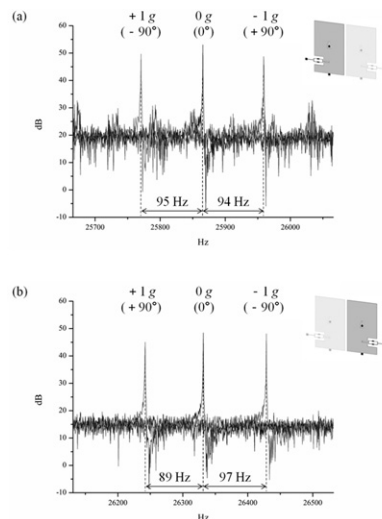


Fig. 6. Measured output signals under different acceleration levels for (a) left and (b) right mass of the accelerometer.

4.2 결과 분석

해석을 통해 구한 공진주파수와 환산 계수 값들과 실험을 통해 측정된 공진주파수, 환산 계수 값들의 차이는 Table 2와 같다. 공진 주파수의 경우 좌측은 설계값과 0.78 %, 우측은 1.01 %의 차이를 보였으며, 좌우 값의 차이는 1.79 %로 나타났다. 전체 환산 계수의 경우 설계값과 6.31 %의 차이를 보였다.

측정값과 설계값이 차이를 보이는 가장 큰 요인으로는 공정상의 오차를 들 수 있다. 특히 최종적으로 구조물을 형성하는 DRIE 과정에서 발생하는 공진빔의 폭 차이는 공진 특성에 큰 영향을 미치며, 유한요소해석을 통해 알아본 빔 폭에 따른 공진주파수와 환산 계수 변화(Fig. 7)를 보았을 때, 본 실험에서 측정된 측정값의 오차는 실제 발생할 수 있는 범위 안에 있다고 볼 수 있다. 공진빔의 폭 변화와 함께, DRIE 공정에서 발생하는 구조물 단면에 발생하는 경사, 식각면의 거칠기, 언더컷으로 인한 구조 하부 손상 등도 공정상에 발생할 수 있는 오차 요인들로 작용한다. 또한 높은 농도로 불순물이 주입된 실리콘을 사용하였기 때문에 해석에 사용한 물질치 값들과 실제 값들이 차이를 가질 수 있으며, 이 또한 주요 오차의 요인으로 작용할 수 있다[12]. 인장 시와 압축 시 주파수 변화량이 차이를 보이는 원인으로는 위에서 나열한 원인들과 함께 실험 시 중력방향과의 정렬(align)문제를 들 수 있다. 이는 더욱 정교한 실험 장치의 구성을 통해 해결할 수 있을 것이다.

Table 2. Experimental data and error

Proof mass position		LEFT	Right
Resonant frequency (Hz)	-90 °	25770	26428
	0 °	25865	26331
	+90 °	25959	26242
Average scale factor (Hz/g)		188	
Resonant frequency error (%)		0.78	1.01
Scale factor error (%)		6.31	

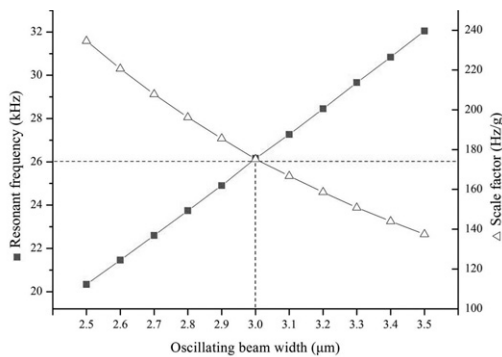


Fig. 7. Resonant frequency (■) and scale factor(△) versus oscillating beam width.

5. 결론

본 논문에서는 간단한 구조로 높은 환산 계수를 갖는 공진형 가속도계를 설계하고, 제작, 실험을 행하였다. 측정된 공진주파수는 좌, 우 각각 25.9 kHz, 26.3 kHz로 설계값과 0.78 %, 1.01 %의 차이를 보였고, 전체 환산 계수는 188 Hz/g로 설계값과 6.31 %의 차이를 보였다. 다양하게 작용하는 오차의 요인들을 고려했을 때 측정값과 해석값이 잘 일치함을 확인할 수 있었으며, 이는 구조의 단순함으로 인한 높은 안정도에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. SOI 웨이퍼를 사용하여 균일한 물성을 갖는 고종횡비의 구조층을 갖도록 제작하였으며 그 결과 20만의 Q-factor를 얻을 수 있었다.

본 논문의 가속도계 구조는 공진자를 회전축에 가깝게 배치할 수록 증폭비가 커지기 때문에 더욱 민감한 가속도 감지가 가능하나 선형성, 구조적 안정성 등에 있어서 특성이 떨어지기 때문에 사용 분야에서 중요하게 여겨지는 성능에 따라 수정, 선택적으로 활용이 가능할 것이다.

본 논문에서는 가속도계의 공진특성과 환산 계수를 확인하기 위해 개방제어회로(open-loop) 상태로 실험을 진행하였으나, 이후 감지회로에 발진회로와 구동회로를 추가하여 폐쇄제어회로(closed-loop)를 구성하여 다양한 성능 및 환경시험이 진행되면 본 가속도계에 대한 더욱 자세한 특성 평가(characterization)가 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청 지정 국방MEMS특화연구센터의 지원으로 수행되었음

REFERENCES

[1] N. Yazdi, F. Ayazi, and K. Najafi, "Micromachined inertial sensors", *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 8, pp. 1640-1659, 1998.

[2] N. Barbour and G. Schmidt, "Inertial sensor technology trends", *IEEE Sensors Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 332-339, 2001.

[3] A. A. Seshia, M. Palaniapan, T. A. Roessig, and R. T. Howe, "A vacuum packaged surface micromachined resonant accelerometer", *J. Microelectromech. Syst.*, vol. 11, no. 6, pp. 784-793, 2002.

[4] S. X. P. Su, H. S. Yang, and A. M. Agogino, "A resonant accelerometer with two-stage microleverage

- mechanisms fabricated by SOI-MEMS technology”, *IEEE Sensors Journal*, vol. 5, no. 6, pp. 1214-1223, 2005.
- [5] L. He, Y. P. Xu, and M. Palaniapan, “A CMOS readout circuit for SOI resonant accelerometer with 4- μ g bias stability and 20- μ g/ $\sqrt{\text{Hz}}$ resolution”, *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 43, pp. 1480-1490, 2008.
- [6] O. Le Traon, D. Janaiud, B. Lecorre, M. Pernice, S. Muller, and J.-Y. Tridera, “Monolithic differential vibrating beam accelerometer within an isolating system between the two resonators”, *Proc. IEEE Sensors Conf.*, pp. 648-651, Irvine, CA, USA, 2005.
- [7] S. Seok and K. Chun, “Inertial-grade in-plane resonant silicon accelerometer”, *Electronics Letters*, vol. 42, no. 19, pp. 1092-1093, 2006.
- [8] W. C. Young and R. G. Budynas, *Roark's Formulas for Stress and Strain (7th Edition)*, McGraw-Hill, New York, p. 229, 2002.
- [9] W. D. Sawyer, M. S. Prince, and G. J. Brown, “SOI bonded wafer process for high precision MEMS inertial sensors”, *J. Micromech. Microeng.*, vol. 15, pp. 1588-1593, 2005.
- [10] C. A. Choi, C. S. Lee, W. I. Jang, Y. S. Hong, J. H. Lee, and B. K. Sohn, “Stress characteristics of multilayer polysilicon for the fabrication of micro resonators”, *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 8, no. 1, pp. 53-62, 1999.
- [11] B.-K. Choi, T.-H. Chang, C.-K. Lee, K.-D. Jung, and J.-P. Kim, “A study on the fabrication of the lateral accelerometer using SOG(Silicon on Glass) process”, *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 13, no. 6, pp. 430-435, 2004.
- [12] X. Ding, W. H. Ko, and J. M. Mansour, “Residual stress and mechanical properties of boron-doped p+- silicon films”, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 23, pp. 866-871, 1990.



박우성 (Usung Park)

- 2006년 POSTECH 기계공학과(공학사)
- 2006년~현재 POSTECH 기계공학과 석/박사 통합과정
- 주관심분야 : MEMS, 관성센서



부상필 (Sang Pil Boo)

- 2009년 울산대학교 기계공학과(공학사)
- 2010년~현재 울산대학교 기계공학과 석사과정
- 주관심분야 : MEMS, 관성센서



박수영 (Soo Young Park)

- 2005년 동양공업전문대학 자동화시스템 공학과(전문 학사)
- 2005년~현재 (주)마이크로인피니티 선임 연구원
- 주관심분야 : MEMS 가속도 센서



김도형 (Dohyung Kim)

- 2006년 서울과학기술대학교 전자정보공학(공학사)
- 2006년~현재 (주)마이크로인피니티 선임 연구원
- 주관심분야 : MEMS



송진우 (Jin Woo Song)

- 2002년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2003년~현재 (주)마이크로인피니티 연구 소장
- 주관심분야 : MEMS 관성센서 및 강인제어



전종업 (Jong Up Jeon)

- 1997년 동경대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2001년~현재 울산대학교 기계공학과 교수
- 주관심분야 : MEMS 센서 및 액추에이터, 메카트로닉스



김 준 원 (Joonwon Kim)

- 2003년 UCLA 기계공학과(공학박사)
- 2004년~현재 POSTECH 기계공학과 교수
- 주관심분야 : MEMS, 나노기술