

고감지전압 및 가지전극을 이용한 고정도 정전용량형 미소가속도계의 전기적 잡음 감소 및 자율 균형력 발생에 의한 강성 증가

Electrical Noise Reduction and Stiffness Increase with Self Force-Balancing Effect in a High-Resolution Capacitive Microaccelerometer using Branched Finger Electrodes with High-Amplitude Sense Voltage

韓基鎬* · 曹永昊**

(Ki-Ho Han · Young-Ho Cho)

Abstract - This paper presents a high-resolution capacitive microaccelerometer using branched finger electrodes with high-amplitude sense voltage. From the fabricated microaccelerometer, the total noise is obtained as $9 \mu g/\sqrt{Hz}$ at the sense voltage of 16.5V, while the conventional microaccelerometers have shown the noise level of 25~800 $\mu g/\sqrt{Hz}$. We reduce the mechanical noise level of the microaccelerometer by increasing the proof-mass based on deep RIE process of an SOI wafer. We reduce the electrical noise level by increasing the amplitude of AC sense voltage. The nonlinearity problem caused by the high-amplitude sense voltage has been solved by a new electrode design of branched finger type, resulting in self force-balancing effects for the enhanced linearity and bandwidth. The fabricated microaccelerometer shows the electrical noise of $2.4 \mu g/\sqrt{Hz}$ at the sense voltage of 16.5V, which is an order of magnitude reduction of the electrical noise of $24.3 \mu g/\sqrt{Hz}$ measured at 0.9V. For the sense voltage higher than 2V, the electrical noise of the microaccelerometer is lower than the voltage-independent mechanical noise of $11 \mu g/\sqrt{Hz}$. Total noise, composed of the electrical noise and the mechanical noise, has been measured as $9 \mu g/\sqrt{Hz}$ at the sense voltage of 16.5V, which is 31% of the total noise of $28.6 \mu g/\sqrt{Hz}$ at the sense voltage of 0.9V. The self force-balancing effect in the branched finger electrodes increases the stiffness of the microaccelerometer from 1.1N/m to 1.61N/m as the sense voltage increases from 0V to 17.8V, thereby generating additional stiffness at the rate of $0.0016 \pm 0.0008 \text{ N/m/V}^2$.

Key Words : High-resolution Microaccelerometer, Mechanical Noise, Electrical Noise, High-amplitude Sense Voltage, Branched Finger Electrode, Self Force-balancing

1. 서 론

MEMS 기술을 이용한 실리콘 가속도계[1-3]는 극소형, 저전력, 저가 그리고 고수율 대량생산이 가능하다는 장점으로 인해 이미 상용화가 이루어진 제품이다. 상용화된 미소가속도계의 대부분은 주로 자동차 에어백시스템 응용을 목적으로 한 것으로 감지 범위가 $\pm 50 \text{ g}$ 이고 분해능이 수 mg/\sqrt{Hz} 정도이다. 한편 능동 현가시스템, 조향시스템, 항법시스템 등 차세대 자동차 응용분야에서는 이보다 수십 배 이상 우수한 분해능이 요구되며, 최근 휴대용 정보기기, 컴퓨터 입력장치, 게임기 등 정보분야[4-5]에서도 고정도 가속도계의 필요성이 증대되고 있다.

정전용량형 미소가속도계의 분해능은 일반적으로 기계적 잡음과 전기적 잡음에 의해 결정된다. 기계적 잡음은 가속도계 구조물 주위 공기의 브라운 운동(Brownian motion)[6]에 의해 발생되며, 이러한 기계적 잡음은 가속도계의 질량 또

는 quality factor를 증가시킴으로 줄어들 수 있다. 전기적 잡음은 감지회로 소자의 잡음[7-8]에 의해 발생되며, 이러한 전기적 잡음은 전극간격을 줄이거나 감지전압을 증가시킴으로 줄어들 수 있다. 최근 등장한 deep RIE 식각 공정기술에 의해 가속도계 질량체의 질량 증가가 용이하게 되었고, 이로 인해 기계적 잡음이 전기적 잡음 보다 작게[5] 되었다. 따라서, 현재 MEMS 기술에 의한 정전용량형 미소가속도계의 분해능 향상을 위해서는 전기적 잡음을 감소시키는 것이 기술적 관건이 되고있다.

본 논문은 고감지전압을 이용하여 정전용량형 미소가속도계의 전기적 잡음을 줄임으로써 정전용량형 미소가속도계의 분해능을 향상시키는 방법을 제안한다. 고감지전압에 의해 발생하는 비선형성 문제를 해결하기 위하여 새로운 형태의 가지전극을 제안하였으며, 제작된 미소가속도계로부터 측정된 잡음 및 성능을 분석·토의한다.

2. 설계 및 해석

2.1 구조 및 거동 해석

가속도계는 그림 1과 같이 감지구조부(sense element)와 신호처리부(detection circuitry)로 구성되어 있다. 감지구조

* 正 會 員 : 韓國科學技術院 機械工學科 工博

** 正 會 員 : 韓國科學技術院 機械工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2001年 6月 14日

最終完了 : 2002年 2月 6日

부는 외부 가속도를 질량체의 변위로 변환시키며, 이 변위는 신호처리부에 의해 전기신호로 변환된다. 이러한 외부 가속도에 의해 발생하는 정전용량 차는 고정전극에 인가되는 감지전압에 의하여 이동전극에 전압을 유도하며, 이 전압은 전치증폭기를 통하여 신호처리부에 인가된다.

외부 가속도, a_{ext} 에 의한 질량체의 변위, x ,는 다음과 같이 2차 도함수로 표현된다.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + k_m \cdot x = F_{ext} = m \cdot a_{ext} \quad (1)$$

여기서 m , b 그리고 k_m 는 각각 질량체의 질량, 미소가속도계의 감쇠 계수 그리고 기계적 강성이다. a_{ext} 와 F_{ext} 는 각각 외부 가속도와 이로 인한 관성력을 나타낸다. 식(1)의 도함수를 Laplace 변환하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{A(s)} = \frac{1}{s^2 + 2\zeta_n \omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

여기서 고유주파수 ω_n 과 감쇠비 ζ_n 는 각각 $\omega_n = \sqrt{k_m/m}$ 와 $\zeta_n = b/(2\sqrt{mk_m})$ 로 표기된다.

2.2 잡음 분석

서론에서 설명된 바와 같이 미소가속도계의 잡음은 기계적 잡음과 전기적 잡음으로 분류된다. 먼저, 기계적 잡음, \bar{a}_m ,은 다음 식[6]과 같다.

$$\bar{a}_m = \sqrt{\frac{4k_B T \omega_n}{m \cdot Q}} \quad (3)$$

여기서 k_B , T 그리고 Q 는 각각 Boltzmann's 상수, 절대온도 그리고 가속도계의 quality 계수이다. 식(3)은 기계적 잡음이 줄어들기 위해서는 질량체의 질량과 quality 계수가 증가해야 함을 보이고 있다. 최근 SOI 웨이퍼를 이용한 deep RIE 공정에 의해 질량의 증가를 꾀하고 있으며, quality 계수는 진공 패키지에 의해 증가될 수 있다.

한편, 전기적 잡음, \bar{a}_e ,은 그림 1에서 보이는 것처럼 전치증폭기 앞단[8]에서 주로 결정된다. 본 논문에서는 전기적 잡음, \bar{v}_e ,의 등가가속도를 \bar{a}_e 로 정의하며, 이는 다음과 같이 표현된다.

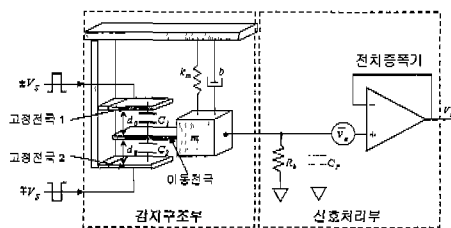


그림 1 정전용량형 가속도계의 개념도

Fig. 1 Conceptual model of a capacitive accelerometer

$$\bar{a}_e \propto \omega_r^2 \frac{d_0}{V_s} \bar{v}_e \quad (4)$$

여기서 ω_r , d_0 , V_s 그리고 \bar{v}_e 는 각각 공진주파수, 고정전극과 이동전극의 간격, 감지전압 그리고 신호처리부의 회로소자들에서 발생하는 전기 잡음이다. 식(4)로부터 전기 잡음의 등가가속도는 가속도계의 전극 간격 감소 또는 감지전압의 증가에 의해 감소함을 알 수 있다. 일반적으로, 전극 간격, d_0 ,은 제조공정 기술에 의해 약 1~2 μ m 정도로 제한된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 전기적 잡음을 줄이기 위해 감지전압을 증가시키는 방법을 제안한다.

고감지전압이 전기적 잡음을 줄이는 장점이 있는 반면, 그림 2(a)와 같은 기존의 직선전극 정전용량형 미소가속도계의 선형성을 저하시키는 문제를 발생한다. 이러한 고감지전압 및 직선전극에 의한 비선형성은 주로 고정전극과 이동전극 사이에 형성되는 비선형 정전기력에 의해 발생한다. 직선전극 정전용량형 미소가속도계의 고정전극과 이동전극 사이에 발생하는 정전기력, F ,과 이때의 비선형성은 식(6)과 같이 표현되며, 이로부터 직선전극 미소가속도계의 비선형성은 감지전압 크기의 제곱에 비례함을 알 수 있다.

$$F \propto \frac{x}{(d_0^2 - x^2)} V_s^2 \quad (5)$$

$$Nonlinearity = \frac{9C_0}{m\omega_r^6} \left(\frac{a_{ext}}{d_0^2} \right)^2 V_s^2 \times 100\% \quad (6)$$

본 논문에서는 이러한 비선형성을 줄이기 위해, 기존의 직선전극 구조 대신 그림 2(b)와 같은 가지전극 구조를 제안한다. 가지전극 구조의 경우 정전기력은 변위에 독립적이며, 선형성이 감지전압에 관계없이 유지될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 고감지전압 및 가지전극을 이용한 정전용량형 미소가속도계를 제안한다. 다음 장에서는 이러한 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 성능을 분석한다.

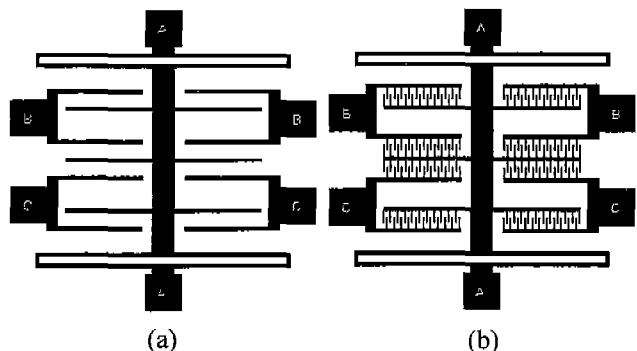


그림 2 정전용량형 미소가속도계의 감지전극 비교: (a) 직선전극; (b) 가지전극

Fig. 2 Comparison of the sensing electrodes of capacitive microaccelerometer: (a) straight finger electrodes; (b) branched finger electrodes

2.3 감지 성능 분석

그림 3(a)는 가지전극 정전용량형 미소가속도계 감지구조부의 등가회로이며, 질량체의 변위, x ,에 의한 감지 출력전압, V_x ,은 다음과 같이 구해진다.

$$V_x = \frac{2\Delta C}{C_1 + C_2 + C_P} V_s = \gamma \frac{x}{l_0} V_s \quad [V] \quad (7)$$

여기서 ΔC 그리고 C_P 는 각각 감지 정전용량의 변화량과 전치증폭기의 입력단자와 신호접지 사이의 기생 정전용량이다. 식(7)에서 γ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\gamma = \frac{2\varepsilon_0 t N_t l_0}{d_0} \frac{1}{C_1 + C_2 + C_P} \quad (8)$$

여기서 ε_0 , t , N_t 와 l_0 는 각각 공기의 유전율, 질량체의 두께, 빔살전극이 마주하는 개수 그리고 빔살전극이 마주하는 길이이다. 이때 고정전극과 이동전극 사이에 발생하는 정전기력은 다음과 같다.

$$F = -\frac{2\varepsilon_0 t N_t V_s^2}{l_0 d_0} (2-\gamma)\gamma x + \frac{2C_{0P} V_s^2}{l_0^2} \gamma^2 x \quad (9)$$

여기서 C_{0P} 는 고정전극과 이동전극 사이의 기생 정전용량이다. 이로부터 감지전압, V_s ,에 의해 발생하는 전기적 강성을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$k_e = -\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{2\varepsilon_0 t N_t V_s^2}{l_0 d_0} (2-\gamma)\gamma - \frac{2C_{0P} V_s^2}{l_0^2} \gamma^2 \quad (10)$$

식(10)은 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 전기적 강성이 양이 될 수 있음을 보이고 있다. 기존의 가속도계의 경우 양의 전기적 강성을 얻기 위해 균형력을 이용하였으며, 이러한 균형력 발생을 위해 피드백 루프 회로가 필요하였다. 그러나, 가지전극 정전용량형 미소가속도계에서는 이러한 양의 전기적 강성이 식(10)에서처럼 가지전극의 구조에 의해 발생되며, 본 논문에서는 이러한 효과를 자율 균형력 발생 효과라고 명명한다.

그림 4는 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 기능적 블록 다이어그램을 보이고 있다. 이로부터 외부 가속도에 대한 미소가속도계의 감지출력전압, V_{sx} , 및 전기적 잡음과 기계적 잡음에 대한 미소가속도계의 감지 출력전압, V_{nx} ,을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{sx} = \frac{1}{\omega_r^2} \gamma V_s a_{ext} \quad (11a)$$

$$V_{nx} = \left[\left(\frac{1}{\omega_r^2} \gamma V_s \right)^2 a_m^2 + \left(\frac{\omega_n^2}{\omega_r^2} \right)^2 \frac{1}{v_e^2} \right]^{1/2} \quad (11b)$$

여기서 ω_n 과 ω_r 은 각각 미소가속도계의 고유주파수와 공진주파수이다. 공진주파수, ω_r ,는 고유진동수, ω_n , 전기적 감성, k_e , 그리고 질량, m ,에 의해 다음과 같이 표현된다.

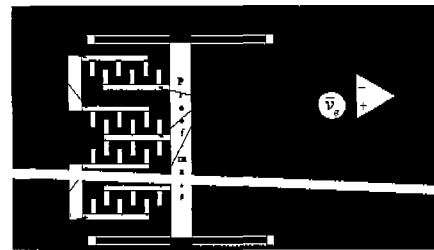
$$\omega_r^2 = \omega_n^2 + \frac{k_e}{m} \quad (12)$$

식(11a)와 (11b)로부터 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 신호 대 잡음 비, SNR,를 다음과 같이 구할 수 있다.

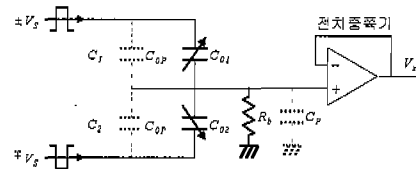
$$SNR = \frac{a_{ext}}{\left[a_m^2 + \left(\frac{l_0}{\gamma} \frac{\omega_n^2}{V_s} \frac{1}{v_e^2} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (13)$$

식(13)으로부터 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 분해능을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Resolution = \sqrt{a_m^2 + \left(\frac{l_0}{\gamma} \frac{\omega_n^2}{V_s} \frac{1}{v_e^2} \right)^2} \quad (14)$$



(a)



(b)

그림 3 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 모형: (a) 간단화된 모형; (b) 등가 회로

Fig. 3 Models for the branched finger capacitive microaccelerometer: (a) simplified geometric model; (b) equivalent electrical model

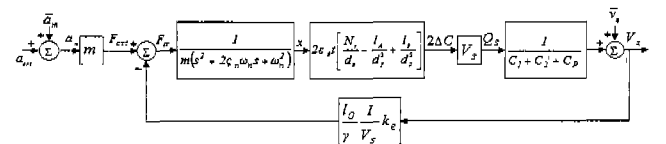


그림 4 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 기능적 블록 다이어그램

Fig. 4 Functional block diagram of the branched finger capacitive microaccelerometer

식(14)로부터 감지전압이 증가함에 따라 전기적 잡음이 감소하고, 따라서 분해능이 향상됨을 알 수 있다. 또한, 식(12)와 식(14)로부터 가지전극 정전용량형 미소가속도계는 자율 균형력에 의해 주파수응답 범위가 증가하고, 동시에 고감지전압에 의해 분해능이 향상되는 장점을 가지고 있음을 보이고 있다.

3. 제조공정

가지전극 정전용량형 미소가속도계는 그림 5에서처럼 한 장의 마스크와 deep RIE 식각공정을 이용하여 제작된다. 그림 5(a)에서 미소가속도계는 SOI 웨이퍼의 상부 실리콘을 deep RIE 식각을 이용해 형성된다. SOI 웨이퍼의 상부 실리콘은 두께가 40 μm 이고, 인(phosphorus)으로 고농도 확산되어 0.1 $\Omega \cdot \text{cm}$ 의 비저항을 가진다. 그림 5(b)에서처럼 PR(PhotoResist: AZ5214)은 deep RIE 식각 공정의 보호층으로 사용된다. 그림 5(c)와 같이 BOE(Buffered Oxide Etchant)를 이용하여 미소가속도계의 희생층인 2 μm 두께의 실리콘 산화막을 제거하고, 와이어 본딩을 위해 그림 5(d)와 같이 200Å/2000Å 두께의 Cr/Au 박막을 증착하여 미소가속도계의 제작을 완성한다. 그림 6과 표 1은 각각 제작된 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 전자현미경 사진 및 구조적 특성을 보이고 있다.

4. 시험측정 및 분석

그림 7은 제작된 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 주파수응답 곡선을 보이고 있다. 이로부터 제작된 미소가속도계의 고유주파수가 1.58 kHz이고 quality 계수가 4임을 알 수 있다.

제작된 미소가속도계의 전기적 잡음과 전체 잡음은 그림 8과 같이 저잡음 증폭기와 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 감지전압의 변화에 따른 전기적 잡음과 전체 잡음의 측정치가 이론적 예상치와 함께 그림 9(a)에 도시되었다. 그림 9(b)는 기계적 잡음의 측정치와 이론치를 비교한다. 기계적 잡음의 측정치는 측정된 전체 잡음에서 측정된 전기적 잡음을 제거하여 얻었다. 그림 9(a)로부터 감지전압이 16.5V에서 측정된 전기적 잡음은 2.4 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 이며, 이는 0.9 V에서의 24.3 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 에 비해 약 10분에 1 수준으로 작아졌음을

표 1 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 구조적 특성
Table 1 Geometric characteristics of the branched finger capacitive microaccelerometer

특성	측정치
구조체 두께, t	33 \pm 3 [μm]
지지보 폭, w_b	2.4 \pm 0.1 [μm]
지지보 길이, l_b	500 [μm]
빗살 사이의 중첩 길이, l_o	9.4 \pm 0.1 [μm]
전극 간격, d_o	2.6 \pm 0.1 [μm]
기계적 강성, k_m	1.1 \pm 0.14 [μm]
질량, m	11.1 \pm 1 [μm]
감지 정전용량, C_o	0.62 \pm 0.03 [μm]
전체 크기	1 \pm 1.7 [mm \times mm]

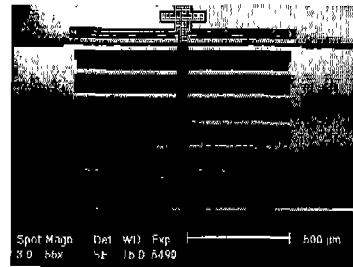


그림 6 제작된 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 전자현미경 사진

Fig. 6 Scanning electron microscopy of the fabricated branched finger capacitive microaccelerometer

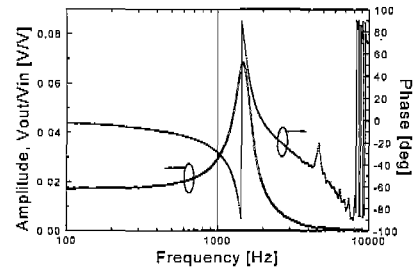


그림 7 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 주파수응답 곡선
Fig. 7 Frequency response curve of the branched finger capacitive microaccelerometer

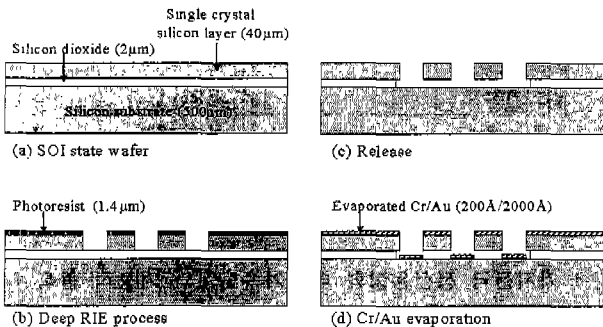


그림 5 제작공정
Fig. 5 Fabrication process

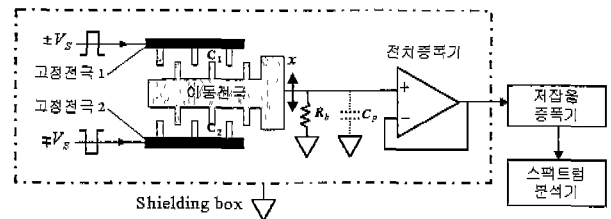


그림 8 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 잡음 측정을 위한 장치
Fig. 8 Instrument set-up for the noise measurement of the branched finger capacitive microaccelerometer

보이고 있다. 낮은 감지전압에서 전기적 잡음의 측정치와 예상치는 잘 일치하고 있다. 감지 전압이 16.5V에서 $2.4 \pm 0.3 \mu g/\sqrt{Hz}$ 로 측정된 전기적 잡음이 $1.65 \mu g/\sqrt{Hz}$ 의 예상치에 비해 47% 크게 나타났다.

전기적 잡음과 기계적 잡음을 포함하고 있는 전체 잡음의 측정치는 감지전압이 16.5V에서 $9 \mu g/\sqrt{Hz}$ 이며, 이는 감지전압이 0.9V에서의 $28.6 \mu g/\sqrt{Hz}$ 에 비해 약 31% 줄어든 것이다. 그림 9(b)에서 기계적 잡음의 측정치와 예상치가 동일하게 감지전압에 대해 일정함을 알 수 있다. 그림 9(b)는 기계적 잡음의 측정치인 $8.2 \pm 1 \mu g/\sqrt{Hz}$ 가 예상치인 $6.2 \pm 0.3 \mu g/\sqrt{Hz}$ 에 비해 약 31% 크게 나타남을 보이고 있다. 이는 측정된 전체 잡음에서 측정된 전기적 잡음을 뺀으로써 계산된 기계적 잡음의 측정치가 실제 기계적 잡음보다 크게 나타나고 있음을 의미한다. 감지전압이 2V일 때 전기적 잡음은 기계적 잡음인 $8.2 \mu g/\sqrt{Hz}$ 가 되며, 감지전압이 2 V 이상 될 때 전기적 잡음은 기계적 잡음 이하로 줄어든다. 표 2는 측정된 잡음과 최소 감지 가능한 가속도계의 변위 및 가속도를 보이고 있다. 이로부터 제작된 가지전극 정전용량형 미소가속도계가 감지 할 수 있는 최소 변위와 최소 가속도는 각각 0.23Å과 358μg임을 알 수 있다.

가지전극 정전용량형 미소가속도계의 감지전압에 따른 유효 강성 변화를 측정하기 위하여 그림 10(a)와 같이 감지전압에 따른 주파수응답 곡선을 측정하였다. 이로부터 감지전압이 증가함에 따라 미소가속도계의 공진주파수가 증가하고 있음을 알 수 있으며, 이는 미소가속도계의 유효 강성이 감지

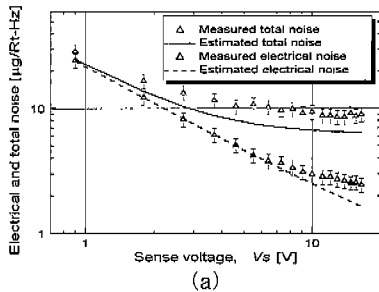
표 2 감지전압 변화에 따른 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 잡음과 성능

Table 2 Measured noise levels and performance of the branched finger capacitive microaccelerometer for varying sense voltage

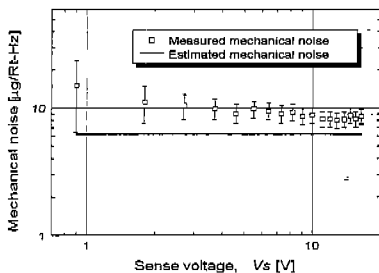
감지전압, V_s [V]	1	2	5	10	16.5
전체 잡음 [$\mu g/\sqrt{Hz}$]	28.6 ± 3.7	16.6 ± 2.14	10.7 ± 1.38	9.3 ± 1.2	9 ± 1.16
전기적 잡음 [$\mu g/\sqrt{Hz}$]	24.3 ± 3.14	12.3 ± 1.59	4.2 ± 0.54	3 ± 0.39	2.4 ± 0.31
기계적 잡음 [$\mu g/\sqrt{Hz}$]	15.1 ± 8.64	11.2 ± 3.62	9.8 ± 1.52	8.8 ± 1.28	8.6 ± 1.22
최소 감지 가능한 가속도* [μg]	1139 ± 147	660 ± 85.3	426 ± 55	370 ± 47.8	358 ± 42.3
최소 감지 가능한 변위* [Å]	0.7 ± 0.1	0.44 ± 0.056	0.28 ± 0.036	0.24 ± 0.032	0.23 ± 0.031

*Based on the bandwidth = 1585 Hz

전압과 함께 증가하고 있음을 의미한다. 그림 10(b)는 측정된 공진주파수로부터 감지전압이 0V와 17.8V 일 때 제작된 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 강성은 각각 1.1N/m와 1.61N/m 임을 보이고 있다. 이로부터 감지전압에 대한 제작된 미소가속도계의 강성 증가 비는 $0.0016 \pm 0.0008 N/m/V^2$ 임을 알 수 있다.



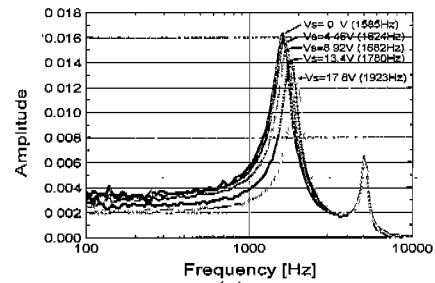
(a)



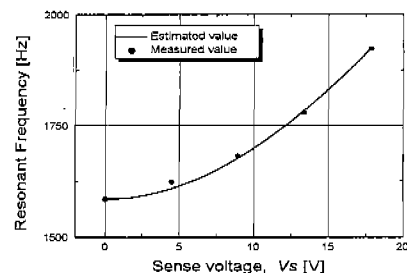
(b)

그림 9 감지전압, V_s , 변화에 따른 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 잡음 측정치와 예상치: (a) 전기적 잡음과 전체 잡음; (b) 기계적 잡음

Fig. 9 Measured and estimated noise levels of the branched finger capacitive microaccelerometer for varying sense voltage, V_s : (a) electrical and total noise levels; (b) mechanical noise level



(a)



(b)

그림 10 감지전압, V_s , 변화에 따른 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 동적 특성: (a) 주파수응답; (b) 공진주파수 응답

Fig. 10 Dynamic response of the branched finger capacitive microaccelerometer for varying sense, V_s : (a) amplitude response; (b) resonant frequency response

5. 결 론

본 논문에서는 고감지전압을 이용하여 정전용량형 미소가속도계의 전기적 잡음을 줄였으며, 이를 이용하여 고정도 정전용량형 미소가속도계를 개발하였다. 고감지전압에 의해 발생할 수 있는 비선형성 문제를 해결하기 위해 기존의 직선전극 구조를 가지전극 구조로 변환하였다. Deep RIE 식각공정과 SOI 웨이퍼를 이용하여 제작된 가지전극 정전용량형 미소가속도계의 전체 잡음이 16.5V 감지전압에서 $9 \mu g/\sqrt{Hz}$ 로 측정되었다. 또한 가지전극 정전용량형 미소가속도계에서는 가지전극 구조에 의해 자율 균형력이 발생하였고, 이로 인해 $0.0016 \pm 0.0008 N/m/V^2$ 의 강성 증가 비를 얻었다. 결론적으로, 본 논문에서 제안한 고감지전압 및 가지전극을 이용한 정전용량형 미소가속도계는 전기적 잡음이 감소함에 따라 분해능이 향상되었고, 동시에 구조적으로 자율 균형력이 발생하여 주파수응답 범위가 증가하고 선형성이 향상되는 장점을 보였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 창의적연구진흥사업단인 디지털 나노구동연구단의 "생체모사기법을 응용한 디지털나노구동기관의 구현에 관한 연구" 과제에 일환으로 수행되었음

참 고 문 헌

[1] Analog Devices, ADXL150 - $\pm 5g$ to $\pm 50g$, Low Noise, Low Power, Single/Dual Axis iMEMS Accelerometers, Datasheet, 1998.

[2] Motorola, MMA2201D-Surface Mount Micromachined Accelerometer, Datasheet, 2000.
 [3] M. Offenberg, H. Münzel, D. Schubert, O. Schatz, F. Lärmer, E. Müller, B. Maihöfer and J. Marek, "Accelerometer Sensor in Surface Micromachining for Airbag Applications with High Signal/Noise Ratio," Society of Automotive Engineers SP-1133 (1996) pp.35-41.
 [4] B.E. Boser and R.T. Howe, "Surface Micromachined Accelerometers," IEEE J. Solid-State Circuit, vol.31, no.3 (1996) pp.366-375.
 [5] M.A. Lemkin, T.N. Juneau, W.A. Clark, T.A. Roessig and T.J. Broshihan, "A Low-Noise Digital Accelerometer using Integrated SOI-MEMS Technology," Tech. Digest, 10th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'99), 1999, pp.1294-1297.
 [6] T.B. Gabrielson, "Mechanical-Thermal Noise in Micromachined Acoustic and Vibration Sensors," IEEE Trans. on Ele. Dev., vol.40. no.5 (1993) pp.903-909.
 [7] P.R. Gray and R.G. Meyer, Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, Wiley, 3rd edition, Chap.11, 1977.
 [8] F. Bordoni, "Noise in Sensors," Sensors and Actuators, A21-23 (1990) pp.17-24.

저 자 소 개



한 기 호 (韓 基 鎬)

1970년 2월 27일생. 1993년 한국과학기술원 과학기술대학 전기및전자공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기및전자공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 기계공학과 졸업(박사). 관심분야: 마이크로 관성센서, 미소신호감지를 위한 ASIC 설계 및 미소소자와의 on-chip 제작.
 Tel : (042) 869-3078
 Fax : (042) 869-8690
 E-mail : hkh@kaist.ac.kr



조 영 호 (曹 永 昊)

1957년 8월 10일생. 1980년 영남대 기계공학과 졸업(학사). 1982년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 졸업(석사). 1991년 미국 버클리대 기계공학과 졸업(박사). 1982년~1986년 한국과학기술연구원(KIST) CAD/CAM연구실 연구원. 1987년~1990년 Berkeley Sensor & Actuator Center (BSAC) 연구 조교, 1990년~1991년 BSAC Post-doc., 1991년~1994년 KAIST 기계기술연구소 선임연구원. 1994년~현재 KAIST 기계공학과 부교수. 창의적연구진흥사업 디지털나노구동연구단장. 관심분야: 마이크로 액추에이터, 마이크로 관성센서, 미소 광기전복합 소자, 디지털나노구동기관 및 응용
 Tel : (042) 869-8691
 Fax : (042) 869-8690
 E-mail : mems@kaist.ac.kr