

## 전도성 볼을 이용한 진동센서의 제작 및 특성

장성욱 · 조용수\* · 공성호\* · 최시영\*†

### Fabrication and characteristics of vibration sensor using conductive ball

Sung-Wook Jang, Yong-Soo Cho\*, Seong-Ho Kong\*, and Sie-Young Choi\*†

#### Abstract

Vibration sensors have a wide scope of applications in the field of monitoring systems that needs to perceive an undesirable physical vibration before a critical failure occurs in a system, and then costly unplanned repairs can be avoided. The conventional vibration sensors developed so far have many disadvantages, such as complex manufacturing process, bulkiness, high cost, less reliability and so on. This paper reports a simple-structured vibration sensor, which has been developed using a commercialized conductive ball and silicon bulk-micromachining technology. The sensor consists of a conductive ball placed in 600  $\mu\text{m}$ -deep micromachined silicon groove, in which Au thin film has been patterned using a shadow mask technique. Prior to the formation of the Au thin film, the sharp convex corner was rounded for smooth metal deposition on the non-planar surface at the edge of the groove. The measurement results of the fabricated vibration sensor demonstrate a stable response characteristic to low-frequency vibration range (1~30 Hz).

**Key Words** : vibration sensor, side-wall patterning, KOH, micromachining

### 1. 서 론

센서 공정 기술은 반도체 집적회로 기술에 미세가공 기술이 첨가되어 실리콘의 이방성이나 불순물 농도차이 등을 이용하여 웨이퍼 상에 구멍, 홈(groove), 피라미형과 같은 여러 가지 형상의 기계소자를 조립할 수 있게 되었다<sup>[1-2]</sup>.

진동센서의 제작에 있어서 가장 핵심이 되는 기술은 실리콘 미세 기계구조 부를 만드는 미세 가공기술이다. 미세가공기술로는 KOH 수용액(potassium hydroxide plus water),  $\text{N}_2\text{H}_2$  수용액(hydrazine)과 TMAH(ammonium hydroxide,  $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ ) 등의 이방성 식각용액을 이용한 실리콘 기판을 3차원적으로 식각하여 단결정 실리콘 미세구조를 제조하는 몸체미세가공(bulk micromachining)법과 실리콘 기판 위에 희생층(sacrificial layer)과 박막(thin film)을 차례로 쌓은 다음, 박막

의 모양을 패터닝(patterning)하고 희생층을 선택적으로 식각하여 구조물을 제작하는 표면미세가공(surface micromachining)법이 있다<sup>[3-6]</sup>. 그러나 표면미세가공법은 단결정 실리콘의 미세 기계구조를 만들기가 어렵고, 공정이 복잡하다는 단점이 있다. 이와 반대로 이방성 식각용액을 이용한 몸체미세가공법은 단결정 실리콘의 미세 기계구조를 만들 수 있고, 표면미세가공법에 비해 그 제조 공정이 간단하다.

진동센서 가운데 가장 많이 쓰이는 형태는 작은 mass-spring계를 진동체에 부착하고 mass의 상태운동을 측정하는 기계식 진동센서이다. 그러나 이러한 기계식 진동센서에 비해 MEMS 기술과 반도체 공정기술을 이용한 진동센서는 기존의 기계식 진동센서에 비해 가격이 저렴하고, 신뢰성이 높으며, 소형화, 경량화 및 양산성이 우수한 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 반도체 가공 및 공정기술을 이용하여 진동센서의 제작에 관한 것으로 기존의 기계식 진동센서의 단점들을 보완하고 반도체식 진동센서보다 간단하게 설계 및 제작할 수 있는 전도성 볼을 이용한 진동센서를 제작하였다.

본 연구에서는 이러한 반도체 가공기술을 이용하여

경북대학교 센서 및 디스플레이공학과(Department of Sensor and Display Engineering, Kyungpook National University)

\*경북대학교 전자공학과 (Department of Electronics, Kyungpook National University)

†Corresponding author: sychoi@ee.knu.ac.kr

(Received : July 4, 2005, Accepted : July 29, 2005)

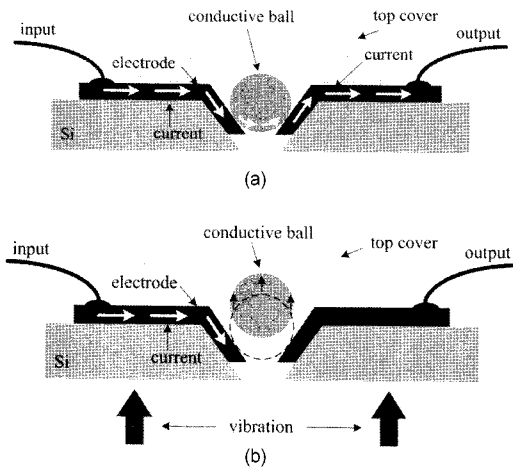


그림 1. 전도성 볼을 이용한 진동센서의 모식도; (a) 진동을 가하기 전, (b) 진동을 가한 후  
 Fig. 1. Schematic diagram of vibration sensor using conductive ball; (a) before the giving vibration, and (b) after the giving vibration.

진동센서를 제작에 관한 것으로 MEMS 기술을 이용하여 진동센서를 제조하였고, 홈의 볼록한 코너(convex corners)에서 전극의 균일성(uniformity)을 개선하기 위해서 볼록한 코너 식각(convex corner etching) 공정을 도입하였다. 전극으로는 금(gold, Au)을 사용하였고, 전도성 볼(conductive ball)도 금을 사용하였다. 진동센서는 진동기(vibration exciter)를 사용하여 진동 주파수에 따른 진동센서의 출력값을 측정하므로 진동센서로써 활용될 수 있는지 검증하였다.

## 2. 진동 센서

### 2.1. 동작원리

그림 1은 전도성 볼을 이용한 실리콘 진동센서의 동작 원리를 나타낸 것이다. 전도성 볼을 이용한 진동센서의 동작 원리는 단락된 두 전극에는 전류가 통할 수 없다. 그러나 단락된 전극 사이에 전도성 물질이 있고 한쪽 전극에서 전압을 인가하면 전도성 물질을 통해서 전류는 반대편 전극으로 흐르게 된다. 서로 다른 두 전극 사이에 전도성 물질이 있으면 그 물질을 통해서 전류가 이동하다가 전도성 물질이 이탈하면 순간적으로 전류가 흐르지 않게 된다. 이때 몸체에 진동을 가하면 전도성 물질을 전극에 이탈되어 두 전극 사이에 떨어지게 되어 전류가 변한다.

그 동작 방정식은 식 (1)의 옴의 법칙(Ohm law)으로 나타낼 수 있다. 여기서,  $V$ 는 진동센서에 인가해 주는

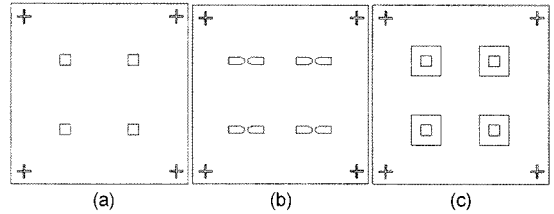


그림 2. 전도성 볼을 이용한 진동센서의 마스크 설계도; (a) 홈 형성을 위한 첫 번째 마스크, (b) 전극 형성을 위한 두 번째 마스크, (c) 덮개 형성을 위한 세 번째 마스크  
 Fig. 2. Mask layout of vibration sensor using conductive ball; (a) 1st mask to form a groove, (b) 2nd mask to form the electrode, and (c) 3rd mask to form a top cover.

입력전압이고  $R_t$ 는 진동센서의 전극저항( $R_m$ )과 전도성 볼의 저항( $R_b$ )을 나타내고 그때 흐르는 전류를  $I$ 로 나타내었다.

$$V = I \cdot R_t = I \cdot (R_m + R_b) \quad (1)$$

### 2.2. 진동센서의 설계

본 실험에서는 전도성 볼을 이용한 진동센서를 MEMS 기술을 이용하여 제작하였다. 그림 2는 4개의 소자 단위로 마스크 설계도를 나타낸 것이다. (a)는 전도성 볼이 들어갈 부분을 형성하기 위한 마스크 설계도를 나타낸 것이다. 전도성 볼은 각각  $400 \mu\text{m}$ ,  $500 \mu\text{m}$ ,  $700 \mu\text{m}$ 의 볼을 사용하였으므로 전도성 볼이 들어갈 홈의 크기는 가로와 세로를 각각  $1.0 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ 로 구성하고 각각의 홈을  $6.4 \text{ mm}$  간격으로 설계하였다. (b)는 전극형성을 위해서 새도우 마스크(shadow mask) 제작용 마스크 설계도를 나타낸 것이다. 이때 전극사이의 간격은 볼이 들어갈 홈에서 볼이 식각된 홈의 측벽에 닿는 부분 밑으로 들어가야 하므로  $300 \mu\text{m}$ 해서 설계하였다. 전극이 크기는 가로와 세로를 각각  $1.8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 로 설계 하였다. (c)는 전도성 볼의 이탈 방지용인 덮개(cover)를  $1.0 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$  설계하였다.

## 3. 센서의 제작

### 3.1. 소자 제작

진동 센서는 상부가 개방되고 상광하협(上廣下狹)의 경사면을 포함하는 홈과 이 홈의 경사면에 상호 절연되게 형성되어 있는 전도성 박막을 포함하는 웨이퍼와 상기 전도성 박막에 연결되어 전원을 공급하는 리드선과 상기 홈의 경사면에 안착되어 상기 전도성 박막

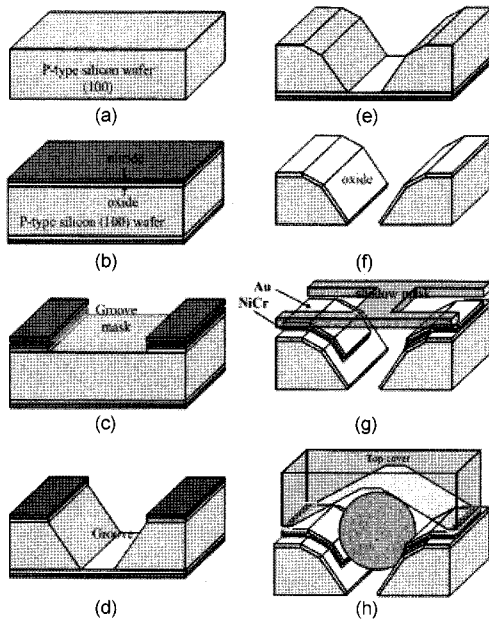


그림 3. 전도성 볼을 이용한 진동센서의 제조 공정 순서; (a) p형 4 inch 실리콘 웨이퍼이며 두께는  $600 \pm 25 \mu\text{m}$ , (b) 웨이퍼에 식각 보호 층을 증착 시킴, (c) 사진식각 및 식각 보호 층 식각, (d) KOH를 이용한 이방성식각, (e) 볼록한 코너 식각, (f) 실리콘 웨이퍼 위에 산화막 증착, (g) 새도 마스크를 사용하여 NiCr과 Au 증착, (h) 흡에 전도성 볼 주입과 커버를 합착

Fig. 3. Fabrication flow of the vibration sensor using conductive ball. (a) 4-inch p-type,  $600 \pm 25 \mu\text{m}$  tick wafer, (b) wafer with deposited protection layers, (c) photolithography, and protection layers etching, (d) anisotropic etching using KOH, (e) convex corners etching, (f) silicon dioxide deposited on the silicon wafer, (g) NiCr and Au deposition using shadow mask, and (h) conductive ball injected into the groove and the top-cover was bonded to silicon.

간의 전류를 도통시키며 외부 충격에 따른 진동 발생 시 경사면에 떨어져 전도성 박막 간의 전기 흐름을 차단시키는 전도성 볼을 포함한다. 진동센서소자는 실리콘 웨이퍼를 식각하여 흡을 형성한 후 전도성 볼을 넣은 형태를 갖는다. 이와 같은 전도성 볼을 넣은 진동센서의 제조공정순서는 그림 3과 같다.

본 실험에 사용된 웨이퍼는 결정면이 (100)인 p-type, 5 inch 실리콘 웨이퍼이며 두께는  $600 \pm 25 \mu\text{m}$ , 비저항  $1 \sim 20 \Omega \cdot \text{cm}$ 이다. 이 웨이퍼를 표준 세척공정에 따라 세척한 후 센서의 흡을 형성하기 위해서 KOH 수용액을 사용하여 이방성 식각(anisotropic etching)을 하

여 형성시켰는데, 식각시 식각 용액에 대한 보호막으로는 KOH 수용액에 대한 식각율이 아주 미소한 실리콘 질화막을 이용하였다. 실리콘 식각공정의 마스크 역할로 사용하기 위해서 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)법으로 실리콘 산화( $\text{SiO}_2$ )막을 형성하고 LPCVD(low pressure chemical vapor deposition)법으로 실리콘 질화( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )막을 형성하여 사용하였다.

실리콘 산화막을 1500 Å 성장 시키고 실리콘 질화막을 1500 Å 성장 시켰다. 흡을 제조하기 위해 순수한 물(D.I. water) 1000 ml에 KOH 250 g을 용해시킨 수용액으로  $85^\circ\text{C}$ 에서 이방성 식각을 하였다. 그 결과 식각율은  $1.6 \mu\text{m}/\text{min}$ 이다. 그런 다음 볼록한 코너 식각은 다음 공정에서 전극을 형성할 때 볼록한 코너에서 전극이 끊어지는 현상으로 인하여 볼록한 코너 부분을 한 번 더 식각하는 공정이다. 볼록한 코너 식각을 위해서 먼저 앞면에 성장시킨 식각 보호막을 제거한다. 식각 보호막은 질화막을 RIE<sup>[7,8]</sup>를 이용하여 제거한 후 산화막은 BHF로 제거한다. 그런 다음 이방성 식각 수용액을 사용하여 한 번 더 식각한다. 본 실험에서는 KOH를 이용하여 식각을 하였다. 식각 공정은  $70^\circ\text{C}$ , 25 wt%의 KOH에서 식각시간을 변화시켜 식각율을 조사하였다. 실리콘 웨이퍼의 전기적 절연을 위해서 습식 열 산화 방식을 사용하여 2000 Å 두께의 산화막을 형성하고 열증착(thermal evaporation)방법으로 증착시켰다. Au는 결선재료로 전기적 저항률이  $2.2 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 낮고, 부식에 강한 특성을 가지고 있지만  $\text{SiO}_2$ 와의 흡착(adhesion)특성이 좋지 못하여 일반적으로 NiCr과 같은 흡착층을 형성한 후 증착하여 전극으로 사용한다<sup>[9]</sup>. 열 증착법에서는 박막의 두께를 조절하기 위해서 각각의 금속 소스의 양을 조절하였는데 300 nm/20 nm(Au/NiCr)의 두께로 증착하기 위해서 5 cm( $0.3\Phi$ , Au wire) 3개와 5 mm( $0.2\Phi$ , NiCr wire) 4개로 각각 증착하였다. 전극을 증착시킨 후 전도성 볼을 형성된 흡 부분에 주입시킨다. 이때 사용되는 전도성 볼은 Au로 된 400  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 700  $\mu\text{m}$ 의 크기를 사용하였다. 그런 다음 이탈 방지용 덮개는 실리콘을 식각하여 각각에 볼 사이즈에 맞게 제작하여 덮개로 사용하였다. 실리콘 덮개는 각각 전도성 볼 사이즈에 맞게 전도성 볼과의 간격을 300  $\mu\text{m}$ 로 하여 150  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 550  $\mu\text{m}$ 를 식각하여 제작하였다. 그림 4는 제작된 센서의 사진을 나타낸 것이다.

### 3.2. 측정

측정은 제작된 진동센서가 센서로써 사용될 수 있는지를 확인하게 위해서 센서에 진동을 가하여 진동에 따른 전압값 변화를 조사하였다. 측정방법은 함수발생

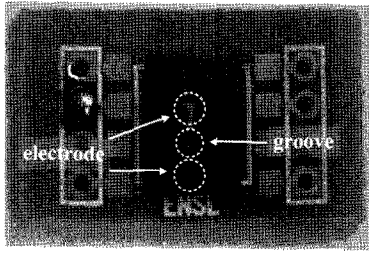


그림 4. 제작된 센서의 사진  
Fig. 4. photograph of fabricated sensor.

기(signal generator)에서 일정한 주파수를 발생시키고 그 주파수는 증폭기(amplifier)를 지나면서 증폭되고 증폭기는 진동기와 연결되어 진동기를 진동시키게 된다. 이때 사용되는 저항의 크기는 1 kΩ의 저항을 사용하였다. 제작된 진동센서는 진동기 위에 고정시키고 진동하는 동안 진동센서의 출력값을 측정하기 위해서 전력공급(power supply) 장치에서 일정한 전압을 진동센서로 인가하게 한다. 진동이 없는 경우 진동센서에 전도성 볼을 움직이지 않게 되어 전력공급기에서 들어오는 전압이 진동센서를 지나고 회로 부분을 지나 일정한 출력값을 읽을 수 있다. 그러나 진동기를 진동시키면 진동센서의 전도성 볼을 진동하게 되어 그 출력값은 변화하게 된다. 그림 5는 진동센서의 진동 측정을 위한 장치의 모식도를 나타낸 것이다.

### 4. 결과 및 고찰

#### 4.1. 이방성 식각의 구조 관찰

본 실험에서는 SEM을 이용하여 이방성 식각 후 단면과 표면 분석하였고, 가장자리 식각하기 전과 가장자리 식각 후 전극을 형성 했을 때 단면과 표면을 분석하였다. 그림 6(a)는 전도성 볼이 들어갈 홈 가장자리의

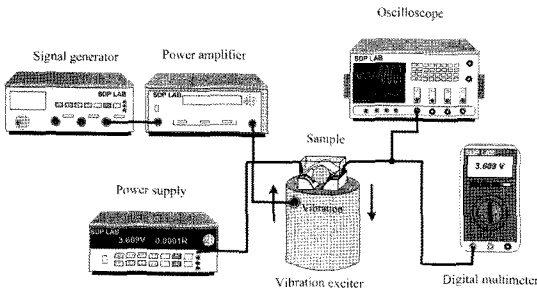


그림 5. 진동 측정을 위한 장치의 모식도  
Fig. 5. Schematic diagram of the vibration measurement system.

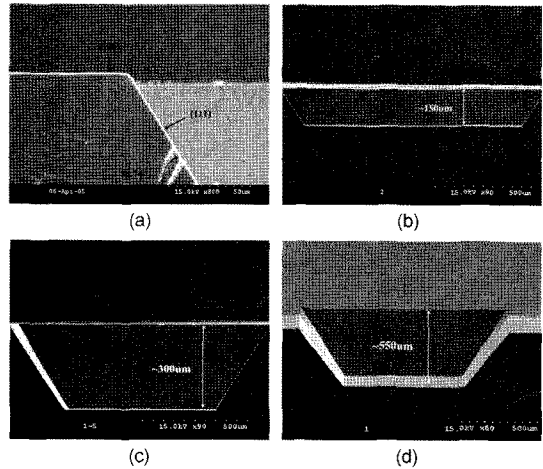


그림 6. 제조된 홈의 SEM 사진; (a) 홈의 단면, (b) 덮개(400 μm용), (c) 덮개(500 μm용), (d) 덮개(700 μm용)  
Fig. 6. SEM photographs of fabricated groove; (a) the cross section of groove, (b) the silicon cover(the used of 400 μm), (c) the silicon cover(the used of 500 μm), and (d) the silicon cover(the used of 700 μm).

식각한 후 단면의 SEM 사진을 나타낸 것이다.

웨이퍼의 두께가 600 μm인 웨이퍼를 85 °C, 25 wt%의 KOH 수용액에 6시간에 걸쳐 식각을 행하였다. KOH 이방성 식각시 54.74 °의 각도로 정확히 식각되었음을 알 수 있다. (b), (c)와 (d)는 전도성 볼과의 간격을 300 μm로 하여 400 μm의 전도성 볼은 150 μm로, 500 μm의 전도성 볼은 300 μm로, 700 μm의 전도성 볼은 550 μm의 길이로 식각한 덮개를 나타낸 SEM 사진이다. 덮개는 실리콘을 전도성 볼의 크기에 따라 덮개를 달리 제작하여 사용하였다.

그림 7은 70 °C, 25 wt%의 KOH를 이용하여 불룩한 코너를 식각한 후 SEM 사진을 나타낸 것이다. 이때 식각율은 0.8 μm/min 정도였다. 식각 시간을 5분, 10분, 15분, 20분, 25분으로 하여 조사하였다. (a)는 25분을 불룩한 코너를 식각한 후 SEM 사진을 나타낸 것이다. 이때 식각된 면을 보면 표면상태가 상당히 거친 것을 볼 수 있다. (b)는 5분을 불룩한 코너를 식각한 후 SEM 사진을 나타낸 것이다. 이때 식각된 면을 보면 25분 식각한 표면상태 보다 거친 정도가 덜한 것을 알 수 있었다. 식각 시간이 길수록 식각된 면의 거칠기(roughness)는 심해지고 식각되는 면도 불균일하게 나타났다. 그래서 최적화된 식각시간을 5분으로 하였다.

그림 8은 식각 후 산화막을 증착시키고 전극 증착한

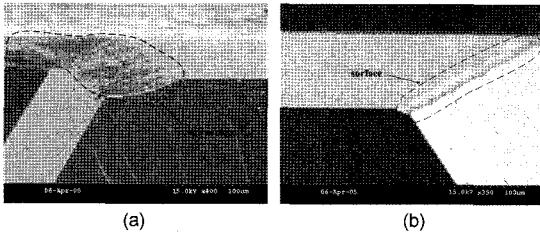


그림 7. KOH를 사용하여 볼록한 코너 식각한 후 SEM 사진; (a) 25분 식각, (b) 5분 식각  
 Fig. 7. SEM photographs After convex corners rounding using KOH; (a) 25 min etching, and (b) surface of 5 min etching.

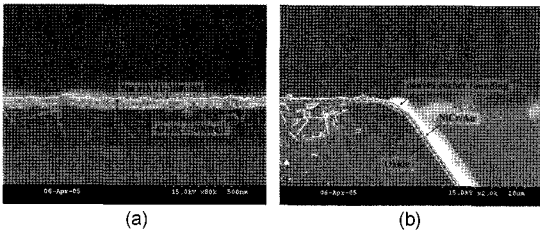


그림 8. 전극 증착 후; (a) 단면, (b) 볼록한 코너 식각된 면  
 Fig. 8. After electrode deposition; (a) cross section, and (b) convex corners rounded section.

후 (a) 단면과 (b) 볼록한 코너 식각된 면을 나타낸 SEM 사진이다. 볼록한 코너 식각 시간을 25분으로 하면 식각된 면의 거친 정도가 심하고 그 위에 산화막을 증착시키고 전극을 형성하면 전극의 막 균일성과 막질의 문제점을 발생하였다.

그래서 볼록한 코너 식각은 KOH 수용액에서 5분 동안 식각한 후 산화막을 증착시키고 전극 형성을 위한 금속을 증착시켰다.

4.2. 제작된 센서의 전기적 특성

제작된 전도성 볼을 이용한 진동센서가 실제 진동센서에 적용되기 위해서는 진동에 따른 센서의 출력값이 변화되어야한다. 따라서 본 실험에서는 진동센서의 두 전극 사이가 단락되어있는지 확인한 후 동작 유무를 확인하기 위해서 전극으로 사용되는 측벽에 형성된 전극과 전도성 볼 사이에서 전기적인 특성을 조사하기 위해서 I-V특성을 조사하였고 진동주파수에 따른 특성 변화에 대해서 알아보았다.

그림 9(a)는 전압을 1~5 V까지 1 V씩 증가시키에 따른 전도성 볼을 넣지 않은 상태에서의 I-V특성을 나타낸 것이다. (b)는 전압을 1~5 V까지 1 V씩 증가시키에 따른 전도성 볼의 크기에 따라 I-V특성을 나타낸 것이

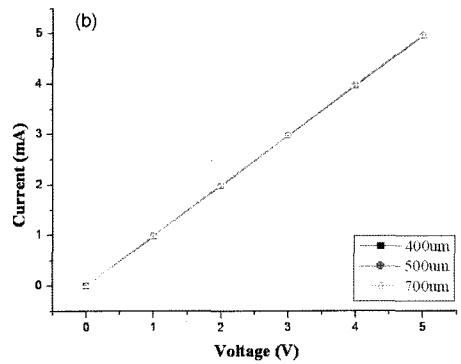
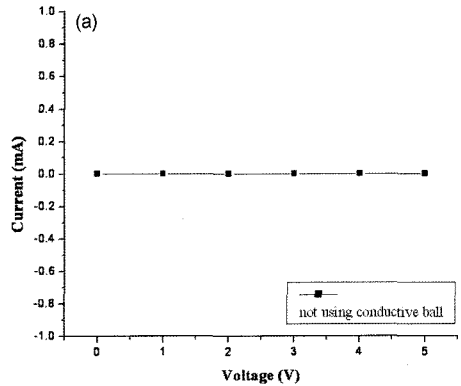


그림 9. I-V특성; (a) 전도성 볼을 넣지 않은 경우, (b) 전도성 볼을 넣은 경우  
 Fig. 9. I-V characteristic; (a) not insert the conductive ball, and (b) insert the conductive ball.

다. 측정결과는 전도성 볼을 넣지 않은 상태에서는 전류가 흐르지 않는 것과 두 전극사이에서도 단락되지 않은 것을 확인 할 수 있었다. 전도성 볼을 넣은 경우에는 전압을 증가할수록 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 10은 전도성 볼을 이용한 진동센서로서 진동기를 이용하여 1~30 Hz까지 1 Hz씩 증가시키에 따른 전압값의 변화를 나타낸 것이다. 진동기의 진동에 따라서 진동센서의 특성을 파악하기 위해서 진동센서에 입력값을 1 V로 고정된 상태에서 진동기에 일정한 주파수가 들어가면 주파수의 피크 값에서 진동센서의 전도성 볼이 진동하는 것을 나타낸 것이다. (a)는 입력 전압값을 1 V로 고정된 상태에서 진동기를 진동시키는 않는 경우에는 센서는 항상 on 상태로 1 V의 출력 전압값을 나타낸 것이다. (b)는 500 μm의 전도성 볼을 사용한 경우 입력주파수를 10 Hz로 입력시키면 진동기의 진동에 따라 센서는 진동을 하게 된다. (c)는 500 μm의 전도성 볼을 사용한 경우도 입력주파수를 30 Hz로 입력

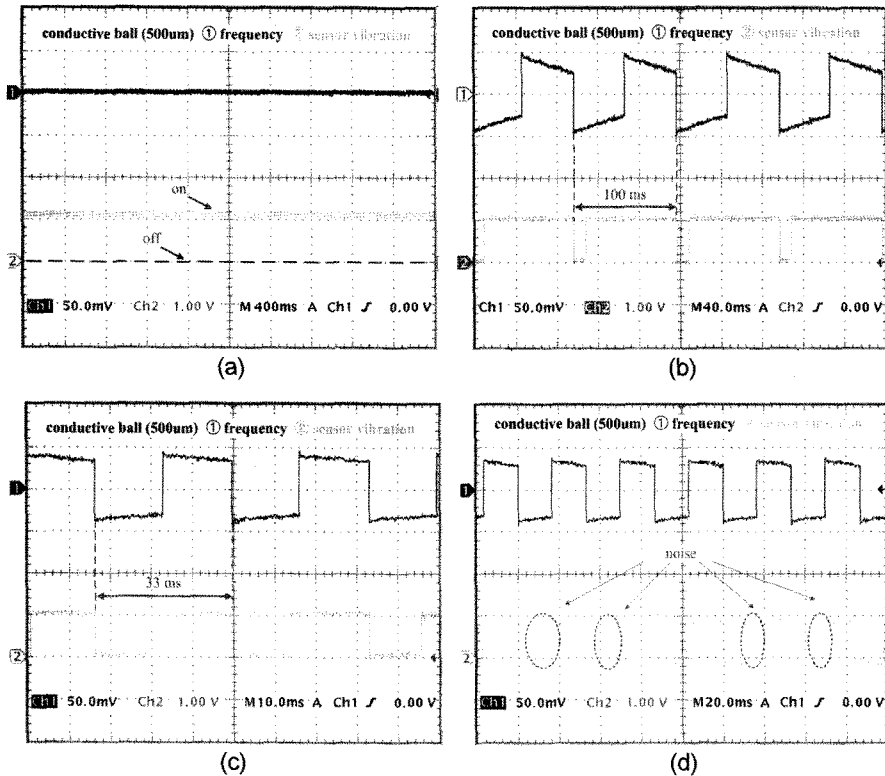


그림 10. 500  $\mu\text{m}$ 의 전도성 볼의 주파수 변화에 따른 스위칭 특성; (a) 0 Hz, (b) 10 Hz, (c) 30 Hz, (d) 35 Hz  
 Fig. 10. Switching characteristic due to frequency variation of the conductive ball of the 500  $\mu\text{m}$ ; (a) 0 Hz, (b) 10 Hz, (c) 30 Hz, and (d) 35 Hz.

시키면 진동기의 진동에 따라 센서는 진동을 하게 된다. (d)는 500  $\mu\text{m}$ 의 전도성 볼을 사용한 경우도 입력 주파수를 35 Hz로 입력시키면 진동기의 진동에 따라 센서는 진동을 하게 된다. 그러나 이 경우 30 Hz 이상이 되면 전도성 볼의 진동수가 진동기의 진동수보다 감소하는 특성을 보였다. 제작된 진동센서는 1 Hz부터 30 Hz까지 저주파수 영역에서 안정된 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었고 전도성 볼의 크기에 따라서 전압값이 일정한 것을 확인할 수 있었다.

### 5. 결 론

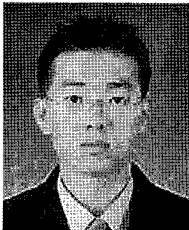
본 연구에서는 MEMS 기술을 이용하여 전도성 볼을 이용한 진동센서를 제조하고 그 특성을 조사하였다. 전도성 볼을 이용한 진동센서의 제조 과정은 전도성 볼을 삽입하기 위해서 KOH 수용액을 이용하여 이방성 식각을 한다. 이때 홈의 크기는 가로와 세로를 각각 1.0 mm  $\times$  1.0 mm로 구성하였다. 전기적 절연을 위해서

산화막을 200 nm 증착시킨 후에 전극을 형성하기 위해서 박막을 형성한 후 표면분석을 해보면 식각된 측벽과 윗면 사이의 불룩한 코너에서 박막이 끊어지는 현상이 나타난다. 그런 점을 보완하기 위해서 불룩한 코너에 한 번 더 식각하였다. 식각된 면을 완만하게 하여 박막을 형성하여 SEM을 이용하여 표면분석을 한 결과 막이 잘 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 새도우 마스크를 이용함으로써 측벽에 원하는 형태의 전극 형성을 하였고 전극 형성을 분석하기 위해 SEM을 이용하였다. 제작된 진동센서의 전기적 특성은 진동을 통한 전도성 볼의 저항변화로 검출되는 출력값을 조사함으로써 진동에 대한 응답특성, 주파수 특성 등을 조사하였다.

제작된 진동센서는 1 Hz부터 30 Hz까지 저주파수 영역에서 안정된 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었고 전도성 볼의 크기에 따라서 전압값이 일정한 것을 확인할 수 있었다. 진동기의 입력 주파수가 30 Hz 이상이 되면 전도성 볼의 진동수가 진동기의 진동수보다 감소하는 특성을 보였다.

## 참고 문헌

- [1] O. N. Tufte, P. W. Chapman, and D. Long, "Silicon diffused element piezoresistive diaphragms", *J. Appl. Phys.*, vol. 33, no. 11, pp. 3322-3327, 1962.
- [2] E. Bassous, "Fabrication of novel three-dimensional microstructures by the anisotropic etching of (100) and (110) silicon", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-25, no. 10.
- [3] E. D. Palik, V. M. Bermudez, and O. J. Glebocki, "Ellipsometry study of orientation-dependent etching of silicon in aqueous KOH", *J. Electrochem. Soc.: Solid-State Science and Technology*, vol. 132, no. 4, pp. 871-884, 1985.
- [4] X. P. Wu, Q. H. Wu, and W. H. Ko, "A study on deep etching of silicon using ethylene-diamine-pyrocatechol-water", *Sensors and Actuators*, vol. 9, pp. 333-343, 1986.
- [5] M. Mehregany *et al.*, "Anisotropic etching of silicon in hydrazine", *Sensors and Actuators*, vol. 13, pp. 375-390, 1986.
- [6] E. Bassous, "Fabrication of novel three-dimensional microstructures by the anisotropic etching of (100) and (110) silicon", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-25, no. 10, pp. 1178-1184, 1978.
- [7] 김동진, 김우정, 최시영, "실리콘 마이크로머시닝과 RIE를 이용한 가속도센서의 제조", *센서학회지*, 제 6권, 제1호, pp. 430-436, 1997.
- [8] 심준환, 김동기, 조찬섭, 태홍식, 함성호, 이종현, "선택적인 다공질 실리콘 에칭법을 이용한 압저항형 실리콘 가속도센서의 제조", *센서학회지*, 제5권, 제5호, pp. 21-29, 1996.
- [9] G. J. Burger, E. J. T. Smulders, J. W. Berenschot, T. S. J. Lammerink, J. H. J. Fluitman, and S. Imai, "High-resolution shadow mask patterning in deep holes and its application to an electrical water feed-through", *Sensors and Actuators*, vol. A54, pp. 669-673, 1996.



장성욱 (Sung-Wook Jang)

- 2003년 가야대학교 전자재료공학과(공학사)
- 현 경북대학교 대학원 센서 및 디스플레이공학과 석사과정

조용수 (Yong-Soo Cho)

- 1998년 인제대학교 전자공학과(공학사)
- 2000년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2000년 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정



공성호 (Seong-Ho Kong)

- 1993년 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1996년 日本 東北大學(공학석사)
- 2002년 (Netherlands) Delft University of Technology(공학박사)
- 현 경북대학교 전자 전기 공학부 전임강사

최시영 (Sie-Young Choi)

- 1972년 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1974년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 1986년 日本 東北大學(공학박사)
- 현 경북대학교 전자 전기 공학부 교수