

논문 96-5-5-03

선택적인 다공질 실리콘 에칭법을 이용한 압저항형 실리콘 가속도센서의 제조

심준환*, 김동기*, 조찬섭**, 태홍식*, 함성호*, 이종현*

Fabrication of Piezoresistive Silicon Acceleration Sensor Using Selectively Porous Silicon Etching Method

Jun-Hwan Sim*, Dong-Ki Kim*, Chan-Seob Cho**, Heung-Sik Tae*,
Sung-Ho Hahm*, and Jong-Hyun Lee*

요 약

(111), $n/n^+/n$ 3층 구조의 실리콘 기판을 HF 용액 내에서 양극반응시켜 선택확산된 n^+ 층에 다공질 실리콘 층(Porous Silicon Layer : PSL)을 형성한 후, 이를 5% NaOH 수용액에서 식각하여 미세구조를 제조하는 다공질 실리콘 식각법을 이용한 실리콘 미세구조의 제조법으로 8개의 빔을 갖는 압저항형 실리콘 가속도센서를 제조하였다. 제조된 가속도센서의 매스 패드(mass pad)의 반경, 빔 길이, 빔 폭, 그리고 빔 두께는 각각 700 μm , 500 μm , 100 μm , 7 μm 였다. 자동차의 응용을 위하여 50g 범위의 가속도를 측정할 수 있도록 진동질량은 2 mg으로 제조하였다. 이때, 진동질량을 부가하는 방법은 Pb/Sn/Ag 솔더 페이스트를 매스 패드에 디스펜싱한 후, 3-zone reflow 장치를 사용하여 열처리 하였다. 제조된 가속도센서의 충격응답에 대한 감쇠시간은 약 30 ms로 나타났으며, 가산회로로 합한 출력의 감도는 2.9 mV/g이며, 비선형특성은 full scale 출력에서 2% 이하로 측정되었다. 그리고 각 브릿지의 편차는 $\pm 5\%$ 미만으로 나타났다. 또한 측정된 타축감도는 약 4% 이하로 나타났으며, 시뮬레이션 결과로부터 얻은 센서의 공진주파수는 2.15 kHz이었다.

Abstract

A piezoresistive silicon acceleration sensor with 8 beams, utilized by an unique silicon micromachining technique using porous silicon etching method which was fabricated on the selectively diffused (111)-oriented $n/n^+/n$ silicon substrates. The width, length, and thickness of the beam was 100 μm , 500 μm , and 7 μm , respectively, and the diameter of the mass paddle (the region suspended by the eight beams) was 1.4 mm. The seismic mass on the mass paddle was formed about 2 mg so as to measure accelerations of the range of 50g for automotive applications. For the formation of the mass, the solder mass was loaded on the mass paddle by dispensing Pb/Sn/Ag solder paste. After the solder paste is deposited, Heat treatment was carried out on the 3-zone reflow equipment. The decay time of the output signal to impulse excitation of the fabricated sensor was observed for approximately 30 ms. The sensitivity measured through summing circuit was 2.9 mV/g and the nonlinearity of the sensor was less than 2% of the full scale output. The output deviation of each bridge was $\pm 4\%$. The cross-axis sensitivity was within 4% and the resonant frequency was found to be 2.15 kHz from the FEM simulation results.

* 경북대학교 전자·전기공학부
(School of Electronic & Electrical Eng.,
Kyungpook Nat'l Univ.)

** 국립상주산업대 전자·전기공학과
(Dept. of Electronic & Electrical Eng., Sangju
Nat'l Polytech. Univ.)
<접수일자:1996년 8월10일>

1. 서론

가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 감지하는 가속도 센서는 물체의 운동상태를 순시적으로 감지할 수

있으므로 자동차의 air bag, ABS(anti-lock braking system), smart suspension system, auto-door lock system 등에 필수적인 소자이며, 그 활용분야는 대단히 넓다. 그 중 실리콘 가속도 센서는 실리콘의 기계적 성질이 우수하고^[1,2] 기존에 확립된 반도체 집적회로 공정기술을 이용함으로써 신뢰성과 양산성이 우수하며, 소자의 소형화, 경량화 및 저가격화가 가능하다는 장점이 있기 때문에^[3,4], 1979년 Roylance^[5]가 발표한 이후 여러가지 방법으로 제조되어 왔다^[6-9].

기존에 보고된 압저항형 가속도센서는 주로 (100)면 웨이퍼상에서 전기화학적 etch stop 방법을 사용하여 2개 또는 4개의 빔과 진동질량(seismic mass)을 가지는 구조를 이루며, 8개의 빔을 갖는 구조는 보고된 바 없다. 그 이유는 실리콘 기판을 종래의 방법인 이방성 용액으로 식각하면 8각 구조를 정확히 구현하기 어렵기 때문이다. 특히, (111)면 웨이퍼에서는 종래의 미세구조(microstructure) 제조법으로는 실리콘 미세구조를 만들 수 없다. 그러나 (111)면 웨이퍼를 사용하면 (100)면에 비하여 기계적 강도가 크게 개선되며, 또한 8개의 빔을 가지는 구조는 측면방향의 원하지 않는 타축감도(cross-axis sensitivity)의 감소와 외부충격에 대한 빔의 저항력이 한층 더 증가함으로써 센서의 특성을 크게 향상시킨다. 최근 연구가 되고 있는 다공질 실리콘을 이용한 미세구조 제조법^[10]을 사용하면 기판의 결정면에 관계없이 임의의 형상을 정확하고 쉽게 제작할 수 있기 때문에 (111)면 웨이퍼상에서 8각 구조의 구현이 가능하다.

다공질 실리콘은 고농도 HF 용액내에서 실리콘을 양극반응하여 형성한다. 다공질 실리콘의 형성은 도펀트(dopant)의 종류와 도핑(doping)농도에 강하게 의존한다^[11]. 이와 같은 다공질 실리콘의 특성을 이용하여 p형 실리콘 기판에 n형 불순물을 확산시킨 n/p 구조를 사용한 미세구조를 제조하는 방법이 보고되어 있다^[12]. 그러나 n/p 구조는 양극반응의 등방성 특성으로 인하여 측면으로 원하지 않는 부분이 식각되어 정확한 미세구조 영역이 정의되기 어렵다. 따라서 신뢰성 있는 센서를 제조하기 위해서는 정확히 정의된 미세구조가 요구된다.

본 논문에서는 다공질 실리콘의 선택 형성이 뛰어나고 양극반응시 자체정지(self-stop)^[13] 특성을 가지는 (111)면 n 실리콘 웨이퍼에 n⁺ 영역이 선택적으로 확산된 n/n⁺/n 3층 구조를 사용하여 충격에 강한 형

태인 8개의 빔 구조를 갖는 압저항형 실리콘 가속도 센서를 제조하고, 그 특성을 조사하였다. 먼저 n/n⁺/n 3층 구조의 실리콘 기판을 사용하여 HF 용액내에서 양극반응시켜 n⁺ 영역에만 선택적으로 다공질 실리콘이 형성되어 미세구조가 제조되는 실리콘 마이크로머시닝 기술에 대하여 연구하였다. 다음으로 이 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제조된 센서에서 8개의 빔 구조로 인한 센서 감도(sensitivity)의 감소를 극복하기 위하여, 센서의 마주보는 브릿지로 구성된 4개의 half-bridge 출력을 가산회로(summing circuit)로 합함으로써 감도가 보상이 됨을 확인하였다.

II. 다공질 실리콘을 이용한 실리콘 마이크로머시닝

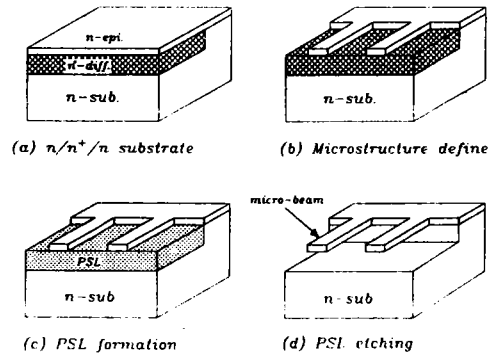


그림 1. 다공질 실리콘 식각법을 이용한 미세구조의 제조공정도

Fig. 1. Process of microstructure fabrication using porous silicon etching method.

그림 1은 미세구조가 제조될 부분만을 선택적으로 n⁺ 층을 확산한 n/n⁺/n 3층 구조를 이용하여 미세구조를 제조하는 공정도를 나타낸 것이다. 본 실험에서 사용된 실리콘 기판은 n형 (111), 저항률은 5 ~ 10 Ω·cm이다. 먼저 n형 실리콘 기판에 미세구조가 제조될 부분에만 인을 확산시켜 10 μm 깊이의 n⁺ 층을 형성한 후, 저항율이 5 Ω·cm인 n형 에피층을 10 μm 성장시켜 n/n⁺ 구조를 형성하였다(그림 1(a)). 이 시편을 1050 °C, 40분간 습식산화시켜 약 4000Å 정도의 산화막을 성장시킨 후, 사진식각법으로 미세구조가 될 부분의 산화막을 남겨놓고 산화막을 6:1

BHF(buffered HF) 용액에서 제거하였다. 다음으로 노출된 n 에피층을 등방성 실리콘 식각용액(HNO₃ : HF = 98 : 2)에서 n⁺ 층을 노출시켰다(그림 1(b)). HF 용액에서 양극반응시 전류분포를 균일하게 하고 좋은 저항성 접촉을 만들어주기 위하여 시편 뒷면에 Al을 증착한 후, 본 연구실에서 제작한 양극반응 장치를 사용하여 n⁺ 층을 PSL로 형성하였다. 양극반응 장치는 그림 2에 나타나 있다. 이 장치는 1.5 cm × 1.5 cm 크기의 조각시편을 반응시키기 위한 것으로 반응기의 몸체는 화학적으로 안정한 테프론으로 제작되었으며, 두 개의 백금 전극을 통하여 정전압을 공급하였다. 반응에 사용된 HF 용액의 농도는 25 wt%이고, 반응전압은 2.2 V이며 반응시간은 20분이었다(그림 1(c)). 마지막으로 PSL을 5% NaOH 수용액에서 1분간 식각하여 미세구조를 형성하였다(그림 1(d)).

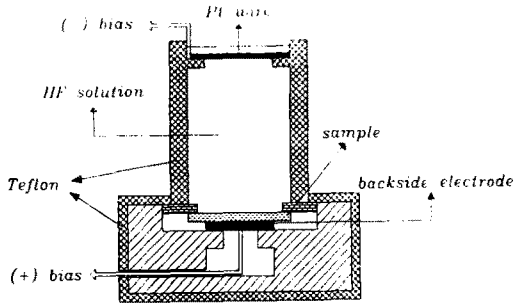


그림 2. 양극 반응 장치도

Fig. 2. Schematic diagram of the apparatus for anodic reaction.

그림 3은 n⁺ 층을 선택적으로 확산한 (111)면 n/n⁺/n 3층 구조를 이용하여 제조된 길이 700 μm인 캔틸레버의 SEM 사진이다. 폭 30, 50, 70 및 100 μm인 캔틸레버들이 정확히 형성되었음을 보이고 있다. 사진의 STEP 1은 미세구조의 측면식각을 확인하기 위한 것으로서, 미세구조의 영역을 정의하기 위하여 n 에피층을 식각할 때 n⁺ 영역의 경계를 약 100 μm 정도 지나서 패턴(pattern)을 형성한 것이며, STEP 2는 n 기판과 선택확산된 n⁺ 영역의 경계면이다. 그림에서와 같이 n형 실리콘 영역은 반응되지 않고 n⁺ 영역에만 양극반응되었으며, 미세구조는 측면식각없이 완전히 형성되었음을 보이고 있다. 이는 n⁺ 영역에만 PSL이 형성되고, N형 영역은 양극반응이 일어나지

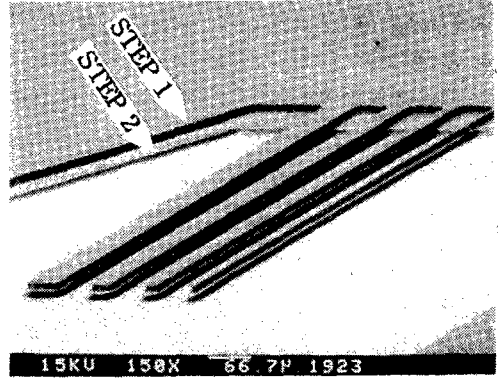


그림 3. 선택확산된 n/n⁺/n 3층 구조를 사용하여 마이크로머신된 캔틸레버의 SEM 사진

Fig. 3. SEM photographs of cantilever arrays micromachined by using selective diffused n/n⁺/n triple layer structures.

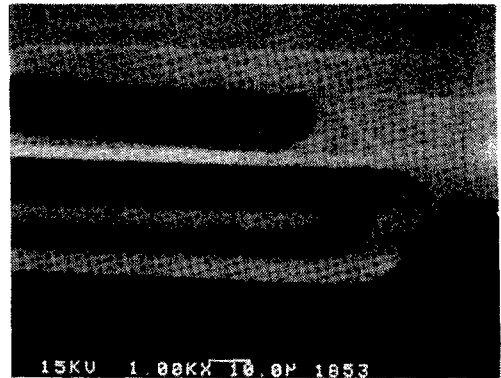


그림 4. 미세구조의 단면 SEM 사진

Fig. 4. Cross-sectional SEM photographs of microstructures.

않는 자체정지가 일어나기 때문이다. 이때 양극반응층의 100 ~ 150 mA/cm² 인 전류밀도가 반응이 진행됨에 따라 감소하여 5 mA/cm² 이하로 떨어짐을 확인하였다. 이 현상은 양극반응이 자체정지 됨을 알려주고 있다. 따라서 양극반응시 반응전류밀도를 관측함으로써 정확한 식각정지 지점을 확인할 수 있다. 그림 4는 제조된 미세구조의 단면 SEM 사진이다. 선택확산된 n⁺ 영역에만 PSL이 형성된 후 식각되어 미세구조의 측면이 정확히 정의 되었으며, 미세구조의 두께와

공극(air-gap)은 $9\ \mu\text{m}$, $11\ \mu\text{m}$ 로서 각각 n 에피층 및 n^+ 확산영역의 두께와 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 미세구조의 두께 및 식각면은 균일함을 알 수 있다.

III. 실리콘 가속도센서의 제조 및 측정

1. 구조

그림 5는 8개의 빔을 갖는 가속도 센서의 표면 및 단면구조를 나타낸다. 설계된 센서는 구조의 중심에 하나의 진동질량, 이것을 지지하는 8개의 빔, 그리고 각 빔 위에 하나의 압저항과 빔 바깥에 하나의 고정저항으로 구성되어 있다. 따라서 마주보는 브릿지에서 각 빔 위의 두 개의 압저항과 바깥의 두 개의 고정저항을 하나의 half-bridge로 구성하여 총 4개의 브릿지 출력신호가 나오도록 설계하였다. 설계된 가속도센서의 매스 패드(mass pad)의 반경 및 빔 길이, 빔 폭, 빔 두께의 각 파라미터 값은 $700\ \mu\text{m}$, $500\ \mu\text{m}$, $100\ \mu\text{m}$, $7\ \mu\text{m}$ 이다. 미세구조와 기판 사이의 공극은 $15\ \mu\text{m}$ 이며, 칩의 면적은 $3.7\ \text{mm} \times 3.7\ \text{mm}$ 이다. 그리고 자동차의 응용을 위하여 50g 범위의 가속도를 측정할 수 있도록 진동질량은 $2\ \text{mg}$ 으로 제조하였다. 이를 위하여 센서의 구조는 유한요소법(finite element method)을 이용하여 최적화 하였다.

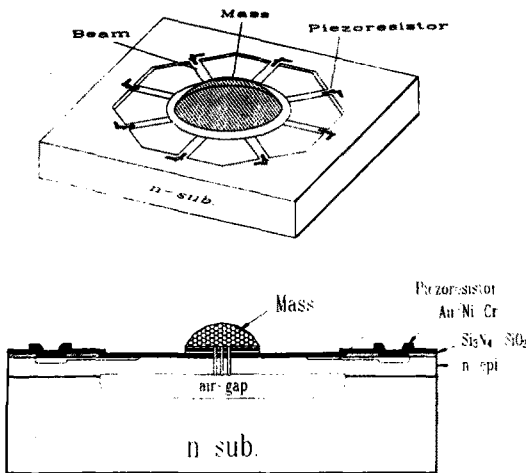


그림 5. 가속도센서의 표면 및 단면구조

Fig. 5. Top and cross-sectional views of the acceleration sensor.

2. 제조공정

압저항형 가속도센서의 제조 공정은 크게 $n/n^+/n$ 3층 구조의 시편 형성, 압저항 형성, 미세구조 형성, 금속화 및 관성질량 제조 공정으로 되어있다. 이때 사용한 웨이퍼는 4", 결정면이 (111)이고 저항율이 $5\sim 10\ \Omega \cdot \text{cm}$ 인 n형 실리콘 기판을 사용하였다. 미세구조 제조를 위한 마이크로머시닝은 위에서 설명한 정확한 미세구조의 형성이 용이한 다공질 실리콘 에칭법을 이용하였으며, 센서의 진동질량을 부가하는 방법은 현재 IC(Integrated Circuit)의 패키징(packaging) 분야에 넓게 이용되고 있는 Pb/Sn/Ag 솔더 페이스트를 매스 패드에 디스펜싱(dispensing)한 후, 3-zone reflow 장치를 사용하여 열처리하는 것이다. 가속도센서의 전체 공정도를 그림 6에 나타내었다.

먼저 n형 실리콘 웨이퍼에 $1000\ ^\circ\text{C}$, 210분간 열산화하여 $8000\ \text{\AA}$ 두께의 산화막을 성장시킨 후, 미세구조의 공극이 될 부분에 인을 $60\ \text{keV}$, $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 로 이온 주입한 후 열처리하여 깊이가 약 $15\ \mu\text{m}$ 인 n^+ 영역($N_d > 1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$)을 형성하였다. 다음으로 $7\ \mu\text{m}$ 정도의 저농도 도핑된 n 실리콘 에피층($N_d < 2 \times 10^{15}/\text{cm}^3$)을 성장시켜 $n/n^+/n$ 3층 구조를 형성하였다(그림 6(a)). $950\ ^\circ\text{C}$, 10분간 건식산화와 15분간 습식산화한 후, 사진식각법으로 압저항영역을 정의하였다. 붕소를 40keV , $2.7 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 로 이온 주입한 후, $1070\ ^\circ\text{C}$, 70분간 질소분위기에서 열처리하여 압저항을 형성하였다(그림 6(b)). 형성된 압저항의 접합깊이는 $1\ \mu\text{m}$ 이었으며, 면저항은 약 $240\ \Omega/\square$ 로 나타났다.

미세구조의 스트레스 완충역할을 하는 산화막을 $1000\ \text{\AA}$ 성장시키고, 사진식각법으로 완충산화막(buffer oxide)을 정의한 후, LPCVD 질화막을 $1500\ \text{\AA}$ 증착하였다. 양극반응시 균일한 전류분포를 얻기 위하여 시편 뒷면에 인을 $40\ \text{keV}$, $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 로 이온 주입하여 n^+ 층을 형성하였다(그림 6(c)). HF 양극반응시 마스킹 역할을 하는 Au/Ni-Cr을 e-beam evaporator를 사용하여 $7000\ \text{\AA}$ 증착하여 사진식각법으로 미세구조부를 정의한 후, n 에피층을 RI dry-etching으로 약 $8\ \mu\text{m}$ 식각하여 n^+ 층을 노출시켰다. 다음으로 양극반응시 웨이퍼 뒷면의 전극을 형성하기 위하여 $1\ \mu\text{m}$ 두께의 Al을 진공 증착하였다(그림 6(d)).

양극반응은 10 wt% HF 용액에서 $15\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전

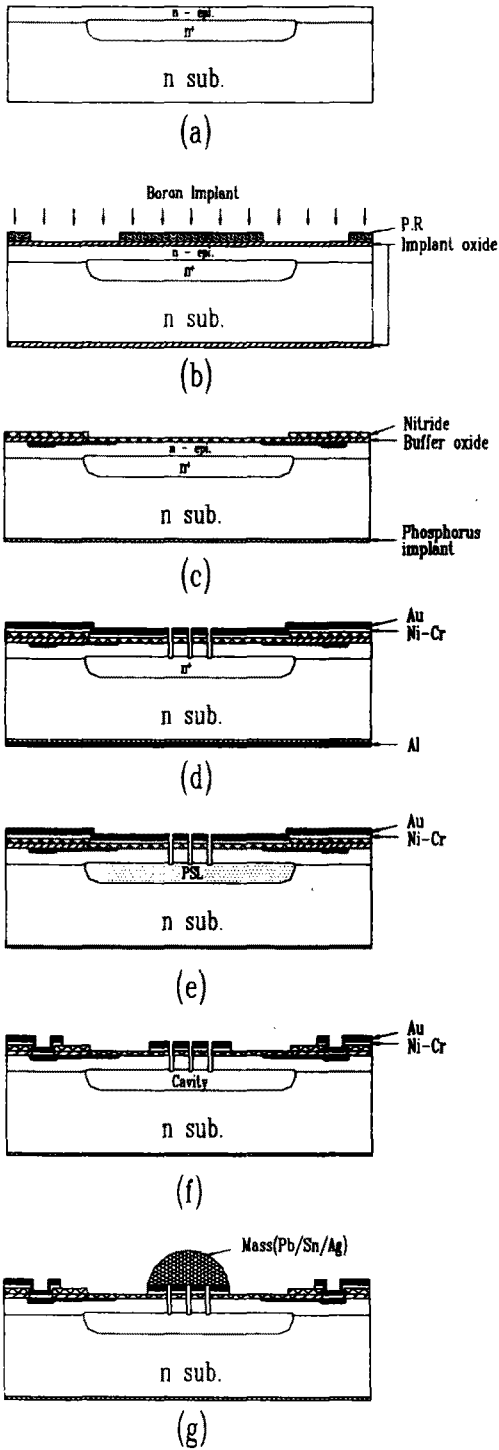


그림 6. 가속도센서의 제조 공정도
Fig. 6. Fabrication process of the acceleration sensor.

류밀도로 25분간 반응하여 n' 층에 다공질 실리콘을 형성하였다. 양극반응동안 발생하는 수소 기포를 PSL의 표면에서 쉽게 제거되도록 웨이퍼 표면에서 2 cm 정도 떨어진 거리에서 테플론 팬(teflon fan)을 사용하여 용액을 회전시켰다.(그림 6(e)). 5% NaOH 수용액에서 2분간 PSL을 식각하여 미세구조를 형성하였다. 그리고 사진식각법으로 압저항 접촉부를 정의하고, 질화막과 산화막을 차례로 제거하였다. 전극과 매스 패드 동시에 형성을 위하여 Au/Ni-Cr을 e-beam evaporator를 사용하여 약 6500Å 진공 증착하였다(그림 6(f)). 마지막으로 매스 패드 영역에 Pb/Sn/Ag(35 : 63 : 2) 솔더크림을 디스펜싱 한 후, 3-zone reflow 장치로 열처리하여 진동질량을 형성하였다(그림 6(g)).

3. 측정

제조된 실리콘 가속도센서의 응답은 4개의 half-bridge에서 나오는 출력 신호가 가산회로의 입력으로 들어가서 가산회로를 거치면, 4개의 신호가 합하여져서 최종 출력으로 얻어진다. 이때 각 브릿지에 가해지는 전압은 5 V이며, 브릿지회로의 출력전압은 약 200배 증폭하였다. 또한 측정시 각 브릿지의 응답 특성을 검출할 수 있도록 가산회로의 앞단에 4단 스위치 소자(ADG 211A)를 연결하였다. 이의 개략도를 그림 7에 나타내었다.

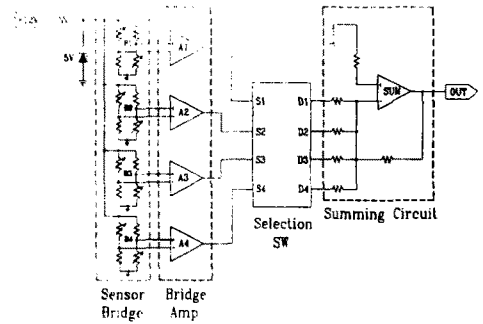


그림 7. 측정회로의 구성도
Fig. 7. Schematic diagram of the measuring circuit.

그림 8은 진동기를 이용한 사인파형 가속도 측정장치이다. 현가용 G-Sensor Tester인 가속도 시험기를 사용하였으며, 귀환센서(ENDEVCO 9210-50)에서

측정된 신호를 귀환시켜 진동기의 진폭 및 주파수를 제어하였으며, 표준압전센서(B & K 4366)와 시편의 출력 파형을 동시에 리코더(AR1100)로 측정하였다.

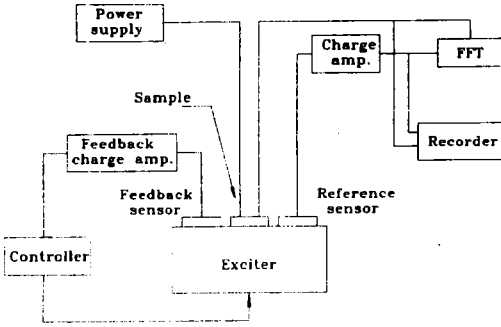


그림 8. 사인파형 가속도 측정장치도
Fig. 8. Schematic diagram of the sine wave acceleration measurement system.

매스가 직경 1300 μm 의 Au/Ni-Cr 매스 패드에 반구 형으로 정확히 형성되었음을 알 수 있다.

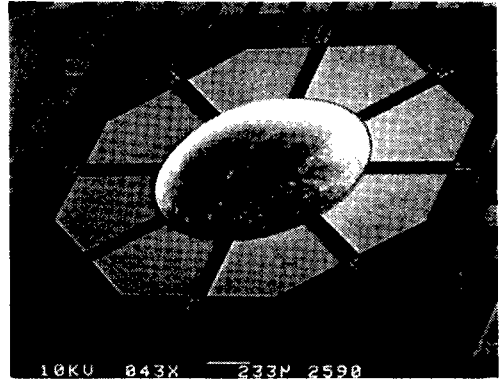


그림 10. 관성질량이 올라간 소자의 SEM 사진
Fig. 10. SEM photograph of the loaded seismic mas.

IV. 결과 및 고찰

그림 9는 다공질 실리콘 에칭법을 이용하여 제조한 8각 빔 형태의 미세구조 사진이다. 8각빔 형태의 미세구조가 측면식각없이 완전히 형성되었음을 보이고 있다. 또한 미세구조의 두께와 공극(air-gap)은 약 7 μm , 15 μm 로서 각각 n 에피층 및 n' 확산영역의 두께와 거의 일치함을 알 수 있었다. 그림 10은 진동질량이 올라간 소자의 SEM 사진이다. Pb/Sn/Ag 솔더

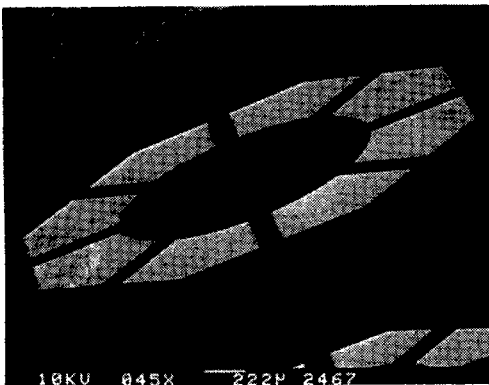


그림 9. 8 각 빔 미세구조의 SEM 사진
Fig. 9. Surface SEM views of the 8-beam microstructure.

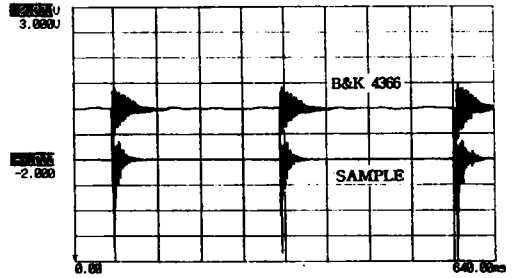


그림 11. 가속도센서의 충격 응답
Fig. 11. Impulse response of the acceleration sensor.

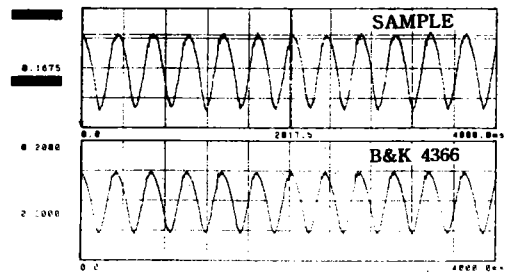


그림 12. 3 Hz, 1.1g의 사인파형 가속도에 대한 소자의 응답특성
Fig. 12. Output signal to a sine excitation with an amplitude of 1.1g at 3 Hz

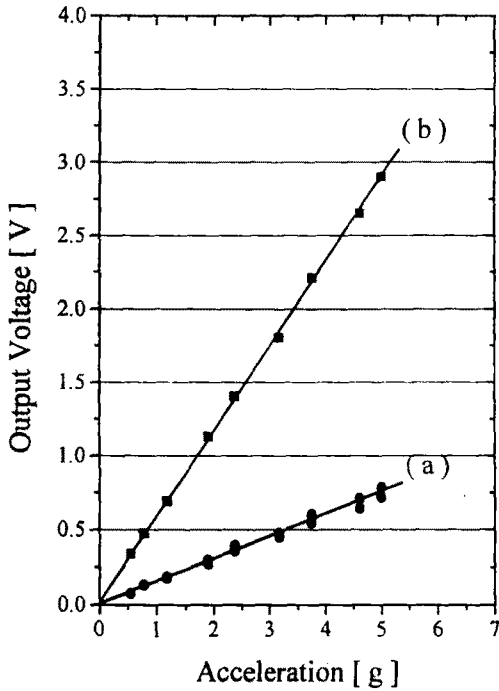


그림 13. 가속도에 따른 출력전압의 변화
Fig. 13. Output voltage variation with acceleration.

그림 11은 제조한 가속도센서와 표준 압전센서를 256 ms 간격으로 임의의 충격을 동시에 가하였을 때의 충격 응답을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 소자의 감쇠시간은 약 30 ms로서 압전센서보다 짧게 나타났다. 이로부터 임의의 충격에 대하여 소자 응답의 정상상태로의 회복이 빨리 이루어 짐을 알 수 있다. 그림 12는 3 Hz, 1.1g의 사인파형 가속도에 대하여 소자의 브릿지 하나에 대한 응답특성을 나타낸 것이다. (a)는 제조된 가속도센서의 응답특성이고, (b)는 표준 압전센서의 응답을 나타낸다. 출력파형은 비교적 깨끗한 사인파형을 나타내었으며, 응답 시간의 지연은 거의 없음을 볼 수 있다. 그림 13은 가속도에 따른 선형특성을 보기 위하여 0 ~ 5g의 가속도에 대한 응답특성을 나타낸 것이다. (a)는 4개의 각 브릿지에서 나오는 출력특성을 비교한 것이며, (b)는 4개의 브릿지 출력을 가산회로로 합한 출력특성이다. 각 브릿지의 출력 응답은 비교적 선형성이 좋았으며, 각 브릿지의 편차는 ±5% 미만으로 나타났다. 이는 각 브릿지의 저항값의 차이로 기인한 것이라 생각된다. 또한 가산회로를 거친 응답의 측정된 감도는 2.9 mV/g이며, 비

선형특성은 full scale 출력에서 2% 이하로 나타났다. 타축감도를 측정하기 위하여 소자표면의 측면방향 (transverse direction)으로의 가속도에 대한 응답을 측정하였다. 가산회로를 통하여 측정된 타축감도는 약 4% 이하로 나타났다. 이때 나타나는 타축감도는 4개의 브릿지의 타축응답이 합하여져서 나타나는 것이 아니라 한개의 브릿지의 타축감도의 값으로 나타나며, 다른 3개의 브릿지의 타축감도는 가산회로를 통하여 서로 상쇄되어 없어진다. 따라서 단순히 회로적으로 4개의 브릿지 출력을 가산회로를 거쳐 최종출력을 얻음으로써, 감도보상 및 타축감도의 상쇄를 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있다. 시뮬레이션 결과로부터 얻은 센서의 공진주파수는 2.15 kHz이었으며, 현재 제조된 소자를 가지고 측정 중에 있다.

V. 결론

(111), n/n⁺/n 3층 구조의 실리콘 기판을 HF 용액 내에서 양극반응시켜 선택확산된 n⁺ 층에 다공질 실리콘을 형성한 후, 이를 5% NaOH 수용액에서 식각하여 미세구조를 제조하는 다공질 실리콘 식각법을 이용한 실리콘 미세구조의 제조법으로 8개의 빔을 갖는 압저항형 실리콘 가속도센서를 제조하였다.

다공질 실리콘을 이용한 미세구조 제조법은 (111)면 웨이퍼상에서 기존의 KOH 등을 이용한 기판 마이크로머시닝으로는 제조할 수 없는 미세구조를 수십분 정도의 짧은 시간동안 쉽게 제작할 수 있는 장점이 있다. 이는 (111)면 웨이퍼가 (100)면 웨이퍼에 비하여 기계적 강도가 훨씬 크기 때문에, (111)면 웨이퍼를 사용함으로써 외부의 충격에 대하여 더 큰 저항력을 가지는 미세구조물을 제조할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 가속도센서 제조시 8개의 빔을 가지는 구조로 설계함으로써 측면방향의 원하지 않는 타축감도(cross-axis sensitivity)의 감소와 외부충격에 대한 빔의 저항력이 한층 더 증가시켜 센서의 특성 향상을 도모하였다. 비록 2개의 빔 구조에 비해 그 감도가 1/4로 감소되지만, 마주보는 브릿지에서 나오는 4개의 half-bridge 출력을 가산회로로 합함으로써 감도를 보상해 줄 수 있었다. 또한 측정된 타축감도는 4개의 브릿지의 타축응답이 합하여져서 나타나는 것이 아니라 한개의 브릿지의 타축감도의 값으로 나타나며, 다른 3개의 브릿지의 타축감도는 가산회로를 통

하여 서로 상쇄되어 없어진다. 따라서 단순히 회로적으로 4개의 브릿지 출력을 가산회로를 거쳐 최종출력을 얻음으로써, 감도보상 및 타축감도의 상쇄를 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있다.

자동차의 응용을 위하여 50g 범위의 가속도를 측정할 수 있도록 진동질량은 2 mg으로 제조하였다. 이때, 진동질량을 부가하는 방법은 Pb/Sn/Ag 솔더 페이스트를 매스 패드에 디스펜싱한 후, 3-zone reflow 장치를 사용하여 열처리 하였다. 제조된 가속도센서의 충격응답에 대한 감쇠시간은 약 30 ms로 나타났다으며, 가산회로로 합한 출력의 감도는 2.9 mV/g이며, 비선형특성은 full scale 출력에서 2% 이하로 측정되었다. 그리고 각 브릿지의 편차는 $\pm 5\%$ 미만으로 나타났다. 또한 타축감도를 측정하기 위하여 소자 표면의 측면방향으로의 가속도에 대한 응답을 측정하였다. 가산회로를 통하여 측정된 타축감도는 약 4% 이하로 나타났다. 시뮬레이션 결과로부터 얻은 센서의 공진주파수는 2.15 kHz이었으며, 현재 제조된 소자를 가지고 측정 중에 있다. 이상의 실험적 결과로부터 향후 계속적인 연구를 통하여 가속도센서의 타축감도의 최소화와 온도 보상을 통하여 자동차에 적용이 가능하도록 센서의 성능향상을 도모할 예정이다.

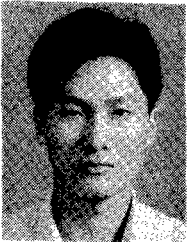
참고문헌

- [1] J.C. Greenwood, "Silicon in mechanical sensors.", J. Phys. E; Sci. Instrum., vol. 21, pp. 1114-1128, 1988.
- [2] K.E. Petersen, "Silicon as a mechanical material," Proc. IEEE, vol. 70, no. 5, pp. 420-457, 1982.
- [3] S. Middelhoek and A.C. Hoogerwerf, "Smart sensors : When and where?," Sensors and Actuators, vol. 8, pp. 39-48, 1985.
- [4] J.M. Giachino, "Smart sensors," Sensors and Actuators, vol. 10, pp. 239-248, 1986.
- [5] L.M. Roylance and J.B. Angell, "A batch-fabricated silicon accelerometer," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-26, no. 12, pp. 1911-1917, 1979.
- [6] J. T. Suminto, "A simple, high performance piezoresistive accelerometer," Transducers '91, pp. 104-107, 1991.
- [7] T. Tschan and N. de Rooij, "Oil-damped piezoresistive silicon accelerometers," Transducers'91, pp. 112-114, 1991.
- [8] H. Seidel, H. Riedel, et al., "Capacitive silicon accelerometer with highly symmetrical design," Sensors and Actuators, vol. A21-A23, pp. 312-315, 1990.
- [9] M.E. Motamedi, "Acoustic accelerometers," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr., vol. UFFC-34, no. 2, pp. 237-242, 1987.
- [10] 조찬섭, 심준환, 이종현, "다공질 실리콘 식각법을 이용한 실리콘 미세가공기술", 대한전자공학회 논문지, 제 31권, A편, 11호, pp. 116-123, 1994.
- [11] M. J. J. Theunissen, "Etch channel formation during anodic dissolution of n-type silicon in aqueous hydrofluoric acid," J. Electrochem. Soc., vol. 119, pp. 351-360, 1972.
- [12] C. J. M. Eijkel, et al., "A new technology for micromachining of silicon: Dopant selective HF anodic etching for realization of low-doped monocrystalline silicon structures," Electron Dev. Lett., vol. 11, no. 12, pp. 588-589, 1990.
- [13] R. P. Holmstrom and J. Y. Chi, "Complete dielectric isolation by highly selective and self-stopping formation of oxidized porous silicon," Appl. Phys. Lett., vol. 42, no. 2, pp. 386-388, 1983. Figure Captions

著 者 紹 介

심 준 환

「센서학회지 제4권 1호」, 논문 95-4-1-09, p.71 참조. 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정



김 동 기

1973년 1월 10일생. 1995년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 현재 경북대학교 전자공학과 석사과정. 주관심 분야 : 반도체 센서, 회로설계.



함 성 호

1962년 8월 22일생. 1985년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(공학석사). 1991년 동대학원 졸업(공학박사). 1991년

3월 - 1992년 2월 한국과학기술원 정보전자연구소 위촉연구원. 1992년 3월 - 1996년 2월 통상산업부 사무관. 1996년 - 현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수. 주관심 분야 : 화합물 반도체 집적회로, 반도체 센서, 가시광 레이저다이오드.

조 찬 섭

「센서학회지 제1권 1호」, 논문 92-21, p.194 참조. 현재 국립 상주산업대학교 전자공학과 전임강사

이 중 현

「센서학회지 제1권 1호」, 논문 92-21, p.194 참조. 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수.



태 홍 식

1962년 11월 14일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1988년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1994년 동대학원 졸업(공학박사). 1995년

- 현재 경북대학교 전자전기공학부 전임강사. 주관심 분야 : 플라즈마 응용, 반도체 장치, 에피택시 응용.