

병렬구조의 압력측정 시스템 개발

Development of a Pressure Measurement System with the Parallel Structure

윤의중¹, 김좌연², 이강원³, 이석태^{3,a}
(Eui-Jung Yun¹, Jwayeon Kim², Kang-Won Lee³, and Seok-Tae Lee^{3,a})

Abstract

In this paper, we developed a pressure measurement apparatus with the parallel structure to improve the measurement efficiency of pressure sensors by reducing the measurement time of pressure. The developed system has two parallel positions for loading Silicon pressure sensor and has a dual valve structure. The semiconductor pressure sensors prepared by Copal Electronics were used to confirm the performance of the developed measurement system. Two stage differential amplifier circuit was employed to amplify the weak output signal and the amplified output signal was improved utilizing a low-pass filter. New apparatus shows the measurement time of pressure two times shorter than that of conventional one with the serial structure, while both structures show the similar linear output versus pressure characteristics.

Key Words : Silicon pressure sensor, Pressure measurements, Serial structure, Parallel structure

1. 서론

압력센서는 외부에서 가해지는 압력의 변화를 감지하여 이를 전기적인 신호로 변환시키는 소자로 압저항형 반도체 압력센서는 다이아프램의 가장자리에 4개의 압저항체를 브리지 구조로 형성한다. 외부 압력이 셀에 응력으로 작용하여 당기거나 밀면 변형이 일어나는데 이때 줄거나 늘어나는 양을 스트레인이라 하며, 이 미세한 변형량이 휘스톤 브리지로 구성된 센서에 저항변화를 일으킨다. 실리콘 표면에 인가되는 응력으로 인하여 실리콘의 저항이 변하는 현상을 압저항 효과라고 한다[1]. 압저항형 압력센서는 자동차 MAP(Manifold Absolute Pressure) 센서를 비롯하여 산업용, 의료용으로 널리 사용되고 있어 실리콘 센서의 가장

큰 시장을 형성하고 있다. 압력센서 외에 가속도 센서, 유량센서 등이 상용화되었고 신뢰성이 우수하다[2,3]. 반도체 MEMS(Microelectro mechanical system) 공정기술로 제작되는 실리콘 압력센서 측정 시스템에서는 미세한 압력 공급 차이가 센서 특성 측정에 영향을 준다. 또한 측정 회로 시스템 자체의 노이즈 영향도 충분히 고려해야 할 필요가 있다.

연구단계에서 압력센서의 주요 특성을 측정하기 위하여 일반적으로 복수개의 센서를 센서 설치용 기구부에 직렬로 배열하는 시스템을 채용하고 있다. 양산 단계에서 측정 장치의 신뢰성과 시간은 제품의 경쟁력을 결정하는 중요한 요인이 될 수 있다. 정확한 가스의 흐름은 많은 응용 분야에서 매우 민감한 변수로 작용한다[4]. 측정 장치에서 복수개의 센서를 한번에 측정할 때, 센서 설치부에 장착되어 대기 중인 센서들 사이에 미세한 압력공급 차이에 의한 센서 특성의 측정시간이 필요 이상으로 길어지기 마련이다. 이는 레귤레이터에서 조절되어 공급되는 미세 압력이 압력센서 특성 측정에 적합한 압력상태로 되는데 걸리는 시간이 길어지기 때문이다. 본 연구에서는 기존의 직렬구조

1. 호서대학교 정보제어공학과
(충남 아산시 배방면 세출리 165)
2. 호서대학교 신소재공학과
3. 한국생산기술연구원 메카트로닉스팀
a. Corresponding Author : mems@kitech.re.kr
접수일자 : 2006. 1. 10
1차 심사 : 2006. 2. 7
심사완료 : 2006. 3. 3

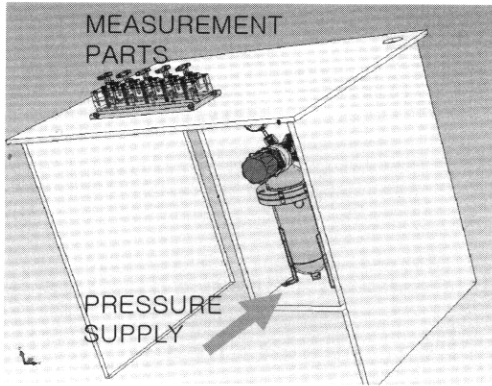


그림 1. 본 연구에서 제작된 압력측정 장치.
Fig. 1. The pressure measurement apparatus fabricated in this study.

형태의 압력측정 시스템이 가지는 측정 시간의 문제점을 해결하기 위한 새로운 병렬구조의 미세압력 측정 시스템을 개발하여, 다양화되는 압력센서 개발의 최종단계 및 양산단계에서의 압력센서 특성측정에 있어서 생산성 향상에 기여하고자 한다.

2. 압력측정 시스템 개발

2.1 실험장치

또한 측정 장치의 압력 공급부에서는 외부로부터 주 공급 장치로 공급되는 가스를 측정 시스템에 필요한 안정적 압력으로 만들어주기 위하여 별도의 서비스 탱크를 둔다. 외부에서 서비스 탱크를 경유하여 인가된 압력이 압력 공급 부에 도달하게 되면 레귤레이터(또는 자동밸브)로 미세 압력으로 변환된 다음 센서 장착부에 공급된다. 실험을 위해 장착부에 설치되어 있는 반도체 센서에서 이 미세 압력을 감지하여 전압 값으로 출력한다. 그림 2는 미세 압력을 필요로 하는 의료기기에 적용하기 위한 압력공급 시스템의 하나를 보여주는 예시도이다[6]. 1개의 MEMS 반도체형 압력센서가 채용되었고, 센서부(1)에 압력을 공급하기 위하여 전원부의 제어신호(3)로 공압 실린더(2)가 작동되는 것을 나타내고 있다.

한편, 실리콘 센서의 대표적 장점은 양산성과 신뢰성이다.

센서의 양산성을 뒷받침하기 위하여 반도체 MEMS 기술에 의한 전 공정뿐만 아니라 패키징과 실험 및 측정이 이루어지는 후 공정 진행에 있어서의 신뢰성과 공정 속도도 중요한 요소이다. 압력

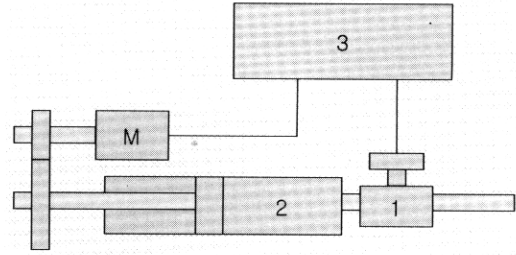


그림 2. 압력공급 시스템 예시도[6].
Fig. 2. Example diagram for supplying a pressure in the pressure measurement system[6].

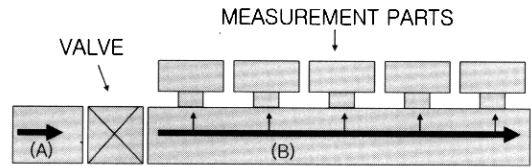


그림 3. 기존의 직렬 단일밸브구조 압력측정 시스템.
Fig. 3. Conventional pressure measurement system with the serial and single valve structure.

센서 특성 측정의 신뢰성과 양산성을 위하여서는 안정적인 압력공급이 요구된다.

그림 3은 양산화 단계에서 압력센서를 측정하기 위하여 제작된 기존의 직렬구조 시스템으로서, 공급되는 압력이 영역(A)에서는 대기상태로 유지되다가 시스템 제어신호에 의하여 밸브(또는 레귤레이터)를 개방하면, 압력센서 측정에 요구되는 미세 압력으로 변환된 후, 영역(B)로 이동하여 압력센서 장착부에 직렬로 설치된 복수의 압력센서에 공급되기 시작한다. 이때 각각의 압력센서 부에 공급되는 가스 압력이 압력센서가 요구하는 압력으로 안정화되기 위하여 지연 시간이 발생하며, 이 지연 시간은 영역(B)의 체적 V와 압력센서 설치 부 개수에 비례하고 공급되는 압력 P에 반비례한다. 그림 3과 같이 센서를 단일 밸브에 의한 직렬 구조를 가진 장착부에 설치하는 경우, 측정하고자 하는 센서의 개수에 따라 지연시간이 비례적으로 증가하므로, 첫 번째 센서와 마지막 센서 사이에 측정 편차가 발생하거나 장착된 센서에 가해지는 압력이 안정화되는데 소요되는 시간이 길어진다.

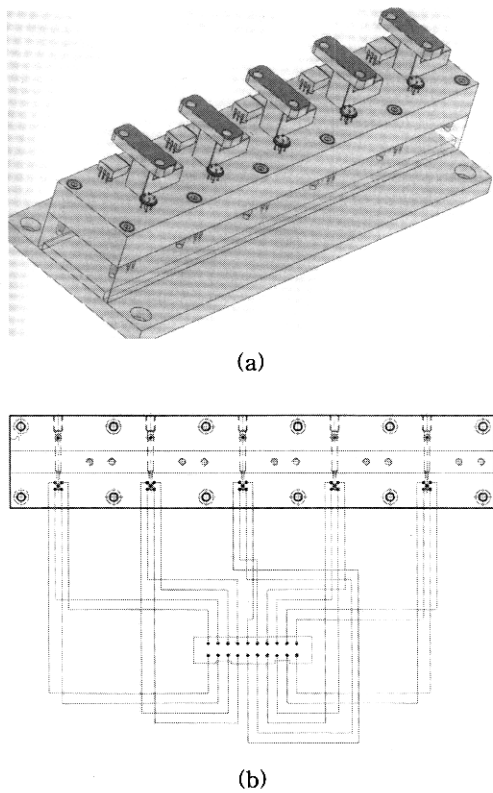


그림 4. 개발된 병렬구조 및 이중밸브 구조의 압력측정 시스템 ; (a) 측면도 (b) 배선이 표현된 평면도.

Fig. 4. Developed pressure measurement system with the parallel and dual valve structures ; (a) side view (b) top view with connection lines.

2.2 시스템 제작

생산성을 고려해 볼 때, 그림 3과 같은 단일 밸브에 의한 직렬구조는 한번에 측정할 수 있는 센서의 개수는 제한적이다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 기존의 일반적인 구조를 개선하여 양산성을 높일 수 있는 병렬 구조를 고안하였다.

그림 4(a)는 양산화 단계에서 압력센서를 측정할 목적으로 고안한 장치의 설치부를 설명하는 것으로서 CAN 형이나 DIP 형을 갖는 10개의 센서를 2열로 배열할 수 있도록 한 것이고, 그림 4(b)는 그림 4(a)의 설치부에 설치되는 센서 제어를 위한 배선도를 나타낸 것으로, 기존의 직렬 배치 시스템에 의한 미세 공급압력의 안정화에 소요되는

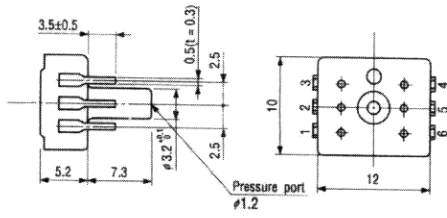
지연시간을 단축하기 위하여 센서장착 부를 병렬로 배치하였다. 이 구조에서는 그림 3의 영역 (B)와 센서장착 부 사이에 2차 밸브를 추가하여 영역 (B)에서 소요되는 지연시간을 제거함으로써 보다 많은 압력센서를 동시에 측정할 수 있다. 또한 한번에 2 종류 이상의 압력센서의 특성 측정 및 실시간 비교 테스트가 가능하다.

본 연구에서 실험을 위하여 제작한 시스템에서는 2중 밸브에 의한 병렬 구조를 갖는 2단의 센서장착부에, MEMS 공정을 이용하여 제작된 10개의 실리콘 센서를 동시에 측정할 수 있도록 하였다. 측정할 10개의 압력센서는 2차 밸브 후단에 그림 4(a)와 같이 2단 병렬구조로 배치하였다. 즉, 각각의 단에는 5개의 센서가 있어서 10개의 센서가 5 x 2 형태로 장착된다.

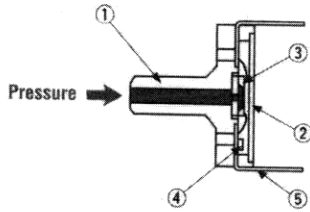
3. 압력측정 시스템 성능평가

실험 절차는 다음과 같다. 주 압력공급 장치로부터 공급되는 가스는 N₂ 압력으로서 서비스 탱크를 경유하여 레귤레이터부에서 압력센서 실험용 미세 압력으로 변환된다(대기 모드). 이때 압력 공급부에는 압력 감시용 디지털 압력계가 설치되어 있어서 압력계에 나타나는 표시 값이 목표치에서 안정화되는 값을 확인함으로써 대기 모드에서 소요된 시간을 알 수 있다. 그림 4에 나타난 장치의 제어신호에 의하여, 레귤레이터에서 미세 압력으로 변환된 가스는 2차 밸브 앞의 영역(이는 그림 3에서의 영역 B와 센서 장착 부 사이를 분리한 후, 2차 밸브를 설치하여 개선한 구조임)에서 센서 테스트를 위하여 대기한 후, 2차 밸브를 열어 압력센서 측정모드로 들어간다. 실험에 적용된 센서는 COPAL ELECTRONICS 사의 미세 압력용 반도체형 압력센서(P-2000 시리즈)를 사용하였다. 그림 5는 실험에 적용된 센서의 구조를 나타낸 것으로 센서의 그림 5(a)에서 센서의 크기는 12 mm x 10 mm x 5.2 mm, 압력포트의 내경은 1.2 mm(외경은 3.2 mm)로 제작되었음을 보여준다.

그림 5(b)는 압력센서의 구조도를 설명해 주고 있다. 그림 5(b)의 ①은 liquid crystal polymer를 재료로하는 housing 부이며 ②는 센서 chip을 보호하는 알루미늄 커버, ③은 실리콘 압력센서 chip(3 mm x 5 mm)이다. ④에는 온도보상을 목적으로 하는 10-18 kΩ의 ceramic chip resistor(기준값은 10 kΩ)가 연결되고 ⑤는 터미널 핀(Phosphor bronze + Au-plated)이다.



(a) Sensor dimensions



(b) Sensor structure

그림 5. 본 실험에 사용된 압력센서[7].

Fig. 5. Pressure sensors used in this study[7].

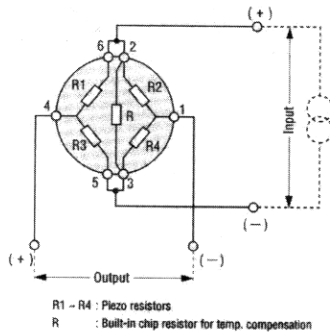


그림 6. 압력 측정용 브리지 회로.

Fig. 6. Bridge circuit for measuring a pressure.

그림 6은 센서 chip 위에 압저항과 온도보상 저항으로 구성되어있는 full bridge 압저항 압력센서의 구성도이다. 이때의 압저항 값은 $3.3 \text{ k}\Omega$ ($\pm 30\%$) 이 된다. 센서는 1.5 mA 전류에 의하여 구동이 되며 미세한 작용 압력에 민감하게 반응한다.

레귤레이터에서 공급되는 N_2 압력을 5 kPa로 하였을 때 2차 밸브 앞단의 대기 모드에서 가스 압력이 안정화되는 시간은 10초 정도가 소요되었다.

그림 7은 공급된 가스압력이 안정화 된 후의 브리지 출력파형을 보여주고 있다. 출력전압의 크기는 보통 수십 μV 에서 수백 μV 사이이므로 증폭회로를 사용하는 것이 유리하다.

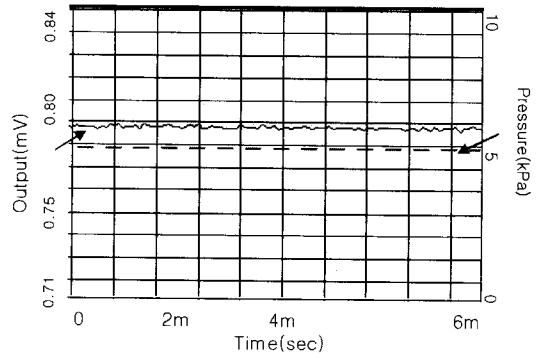


그림 7. P=5 kPa의 공급 압력에 대한 브리지회로의 출력파형.

Fig. 7. The output waveform of a bridge circuit for an applied pressure at P=5 kPa.

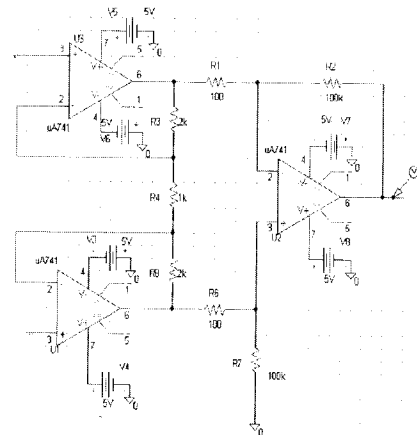


그림 8. 본 연구에서 사용한 증폭회로.

Fig. 8. Amplifier circuit used in this study.

단일 증폭소자를 사용하는 경우의 회로는 일반적인 차동 앰프이지만, 그 구성상 입력 임피던스를 그다지 크게 설정하지 못하므로 그 응용은 저항값이 낮은 센서 소자에 한정된다. 2개의 증폭소자를 사용하여 차동 앰프를 구성하는 경우, 단일 증폭소자에 의한 것에 비하여 입력 임피던스를 크게 할 수 있기 때문에 회로설계의 자유도가 있으며, 전압이득의 설정도 용이하다. 그림 8은 3개의 증폭소자를 이용한 2단 증폭회로의 예이며, 이 회로의 전압이득은 $R_2/R_1(1 + 2R_3/R_4)$ 로 주어진다. 이 회로의 이득을 조정하기 위하여서는 R_4 를 가변저항으로 하면 된다.

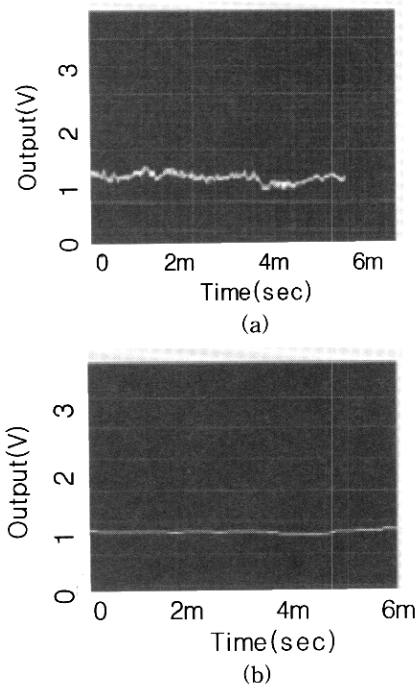


그림 9. 증폭된 출력신호; (a) 저역필터를 사용하지 않았을 때 (b) 저역필터를 사용하였을 때.
 Fig. 9. The amplified output signal; (a) without a low-pass filter (b) with a low-pass filter.

이 경우에 전압 이득을 얻을 수 있는 저항의 사용범위가 넓고 R_4 와 R_3 는 CMRR(common mode rejection ratio)에 전혀 관계하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 그림 8의 회로 입력단에 브리지 출력전압을 연결하여 차동 증폭회로를 구성하여 사용하였다. 압력센서의 출력파형을 증폭하여 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)는 OP 앰프에 의한 증폭 회로를 경유한 후의 출력 파형으로서 1.4 V의 파형이 약간 왜곡되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 9(b)는 증폭기 입력신호에 저역통과 필터를 적용하여 그림 9(a)의 파형을 개선한 결과의 것으로서 이때의 차단주파수는 159 kHz 였다.

이상과 같은 병렬측정구조를 가지는 압력측정 시스템을 이용하여 실제 측정 진행에 앞서서 시스템이 안정화되기를 기다리는 대기시간을 기존의 직렬시스템에 비하여 최소한 50 % 이상 줄일 수 있었으며, 이를 그림 10에 나타내었다.

본 연구를 통하여 개발된 병렬측정구조를 가지는 압력측정 시스템에 실리곤 압저항 센서를 장착하고 N_2 압력을 인가하여 압력센서의 출력전압

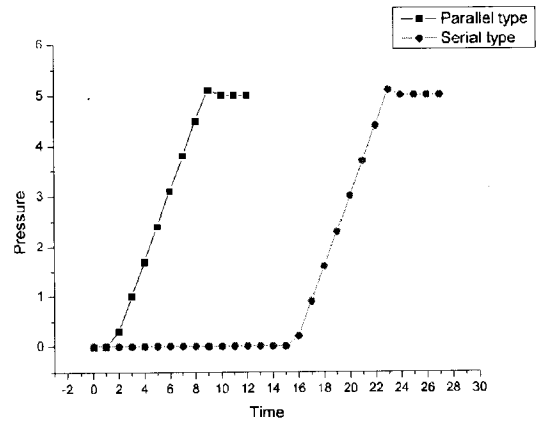


그림 10. 압력측정장치 종류에 따른 압력-시간 특성.
 Fig. 10. Characteristic of pressure-time for two different types of pressure measurement systems.

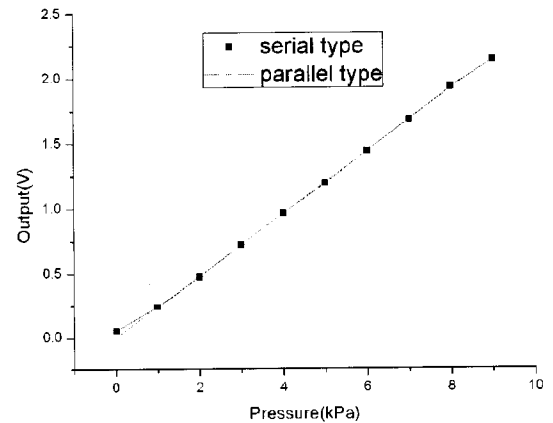


그림 11. 압력 측정장치 종류에 따른 출력-압력특성.
 Fig. 11. Characteristic of the output-pressure for two different types of pressure measurement system.

을 측정하여 직렬구조와 비교하여 그림 11에 나타내었다. 그림 11에서 보는 바와 같이 병렬구조와 직렬구조 모두 출력 값이 인가하는 압력에 비례하여 선형성이 우수한 것을 알 수 있으나, 앞의 그림 10의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 병렬구조의 시스템은 측정시간이 직렬구조에 비하여 현저하게 절약되는 특장점을 가지고 있다.

4. 결 론

응용범위가 점차 넓어지고 있는 반도체 MEMS 기술에 의한 압력센서의 개발 완료단계, 또는 양산화 단계에서 생산성을 높일 수 있는 방법을 연구하였다. 본 연구에서는 기존의 일반적인 압력센서 측정 장치인 직렬 구조를 개선하여 2중 밸브에 의한 병렬 구조를 제작하였으며, 이를 통하여 최소한 50% 이상의 대기시간에서의 효율을 높이는 결과를 얻었다.

공급압력이 안정화된 후에 압력센서의 출력전압을 2단 증폭을 하였으며, 증폭된 신호는 진동 등, 외부의 물리적 환경이나 회로 시스템 자체에서 발생하는 노이즈성 신호에 영향을 받게 되는데 이를 해결하기 위하여 압력센서의 출력신호에 차단주파수가 159 kHz 인 저역통과 필터를 적용하여 최종 출력파형을 개선하였으며 이렇게 구성한 시스템에 N₂ 가스 0에서 9 kPa(약 0.1 kgf/cm²)까지의 압력 변화에 대하여 선형성이 매우 우수한 출력 값을 보여주었다. 본 연구에서 제안된 병렬구조를 가지는 압력측정 시스템은 반도체 미세압력센서 개발 및 가연성 가스센서 개발 등에 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산학협력 중심대학 육성사업 기술개발 과제 2차년도 사업비의 지원으로 이루어짐.

참고 문헌

- [1] 김우정, 조용수, 강현재, 최시영, "압저항형 압력센서를 이용한 초소형 하중센서의 개발", 센서학회지, 14권, 4호, p. 237, 2005.
- [2] J. M. Borkey and K. D. Wise, "Integrated signal conditioning for pressure sensor", IEEE T-ED, Vol. ED-26, p. 1906, 1979.
- [3] H. Tanigawa, T. Ishihara, M. Hirata, and K. Suzuki, "MOS integrated silicon pressure sensor", IEEE T-ED, Vol. ED-32, No. 7, p. 1191, 1985.
- [4] G. Kaltsas, D. Goustouridis, A. G. Nassiopoulou, and D. Tsoukalas, "Combination of integrated thermal flow and capacitive pressure sensors for high sensitivity flow measurements in both laminar and turbulent regions", J. of Physics, Conference Series, Vol. 10, p. 277, 2005.
- [5] V. Voronin, I. Maryamova, and Y. Zaganyachi, "Silicon whiskers of mechanical sensors", Sensors and Actuators, Vol. A30, p. 27, 1992.
- [6] A. Druzhinin, E. Lavitska, and I. Maryamova, "Medical pressure sensors on the basis of silicon microcrystals and SOI layers", Sensors and Actuators B, Vol. 58, p. 415, 1999.
- [7] Copal Electronics Catalog, "Pressure Transducer", Copal Electronics, p. 1, 2005.