반도체디스플레이기술학회지 제17권 제4호(2018년 12월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 17, No. 4. December 2018.

실리콘 압력센서를 이용한 압력 모니터링 시스템 개발

이영태[*†]·권익현[*]
[*†]안동대학교 바이오 ICT융합공학과

Development of Pressure Monitoring System Using Silicon Pressure Sensor

Young Tae Lee[*†] and Ik Hyun Kwon[*]
[*†]Dept. of Bio-ICT Engineering, Andong National University

ABSTRACT

In this paper, we developed a pressure monitoring system using silicon pressure sensor. The pressure monitoring system was developed on the basis of a microcontroller, and a self-developed silicon pressure sensor was applied. The pressure monitoring system outputs the current pressure value via UART communication. In addition, it includes a function of displaying by LED when the preset three-step pressure (low, medium, high pressure) is reached. The silicon pressure sensor used in the pressure monitoring system was set to 0 kPa, 10 kPa, 26 kPa, and the pressure monitoring system was evaluated because the measured maximum pressure was in the range of 100 kPa.

Key Words : Pressure Monitoring, Silicon Pressure Sensor, UART, LED, Three-step Pressure

1. 서 론

압력 모니터링 시스템은 다양한 분야에서 응용되고 있다. 압력 모니터링 시스템은 의료분야, 대기압 측정 등 환경 분야, 수위, 팽창, 부피, 유체 또는 공기의 흐름 및 속도 측정 등 그 응용 분야는 매우 다양하다. 압력 모니터링 시스템에 사용되는 압력센서에는 주로 미압 측정용으로 사용되고 있는 실리콘 압력 센서(silicon pressure sensor)[1]와 고압 측정 용으로는 금속 다이아프레임 압력 센서[2] 등이 있다. 실리콘 압력센서는 실리콘 다아프레임(diaphragm) 위에 압저항(piezoresistor)을 형성하고, 인가 압력에 의한 다이아프레임의 변화를 압저항의 저항 변화로 읽어 인가 압력을 측정한다. 실리콘 압력 센서에는 용량 형(capacitive type)[3,4] 등 다른 형태의 센서도 있으나 그 응용 빈도가 매우 낮은 편이다. 금속 다이아프레임 압력 센서는 절연된 금속 다이아프레임(metal diaphragm) 위에 니크롬, 니켈 등을 이용한 스트레인게이지(strain gauge)를 형성하는 방법으로 제작된다. 압력센서의 출력 신호를 적절하게 가공하여 압력의 모니터링 또는 제어에 활용하기 위한 시스템은 주로 마이크컨트롤러 기반으로 개발된다. 다양한 분야의 산업 현장에서 압력 센서를 적용하기 위해서는 적용 분야에 적합한 시스템 설계를 비롯한 개발에 시간적, 경제적인 투자가 필요하다. 다양한 분야에 응용이 가능한 범용 압력 모니터링 시스템이 개발된다면 관련 분야에서 더욱 활발한 적용이 이루어질 것으로 판단된다. 최적화된 센서 시스템 개발을 위해서는 시스템에 적합한 주요 부품 개발이 필수적이기 때문에 부품 개발이 동반되는 센서 시스템 개발 기반 구축이 필요하다.

본 논문에서는 직접 개발한 실리콘 압저항형 압력센서(piezoresistive pressure sensor)[5] 칩을 이용하여 마이크로프로세스 기반 압력 모니터링 시스템을 개발했다. 개발된 압력 모니터링 시스템은 설정된 저, 중, 고압을 모니터링 하여 3색 LED로 표시하고, UART 통신을 이용하여 압력 값을 출력하도록 설계 되었다. 저, 중, 고압의 3단계 설정 값

†E-mail: ytlee@anu.ac.kr

은 용도에 따라서 간단하게 수정할 수 있도록 설계했다. 본 압력 모니터링 시스템은 특정 범위의 압력을 모니터링 하면서 설정된 3단계(저, 중, 고압)의 압력 상태를 나타내는 기능을 포함시켰다. 본 압력 모니터링 시스템은 압력을 모니터링하고 제어하기 위한 다양한 용도로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 압력 모니터링 시스템

2.1 실리콘 압저항형 압력센서

실리콘 압저항형 압력센서는 실리콘 에칭(silicon etching) 기술로 제작된 다이아프레임[6] 위에 이온 주입(ion implantation) 공정을 이용하여 최대의 감도가 확보되는 p-형 압저항을 형성하는 방법으로 제작된다[7]. 압저항형 압력센서는 인가 압력에 의해 발생하는 다이아프레임의 변형이 압저항을 변형시켜 전기저항 값을 변화시킨다. 인가 압력에 비례하는 전기저항 값을 읽어서 압력을 측정할 수 있다. 압저항 형 압력센서는 다양하게 개발되어 있어서 현장에서 다양한 압력센서 중에 가장 많이 응용되고 있다. 본 논문에서는 한 개의 압저항을 사용하는 single-element four-terminal 형 압력센서[8]를 응용하여 압력 모니터링 시스템을 개발했다. Fig. 1에 제작된 압력 센서 칩의 사진을 나타냈다.

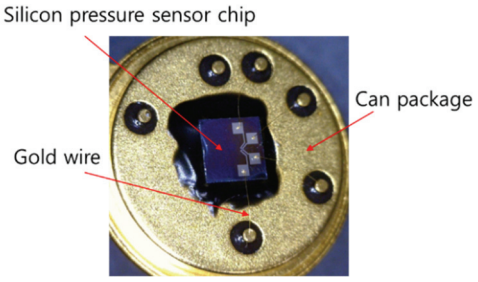


Fig. 1. Single-element four-terminal type silicon pressure sensor chip.

Fig. 1에서 실리콘 압력 센서 칩이 접착제로 금속 페키지에 고정되어 있고, 실리콘 압력 센서 칩 본딩 페드(bonding pad)와 금속 페키지 전극이 금 와이어(gold wire)로 연결되어 있다. 금속 페키지(package) 사이즈는 12.7Φ이고, 실리콘 압력 센서 칩 사이즈는 $3 \times 3\ mm^2$이고, 다이아프레임 사이즈는 $1 \times 1mm^2$이다.

2.2 압력 모니터링 시스템 설계 및 제작

Fig. 2에 압력 모니터링 시스템의 블록 도를 나타냈다. 압력 모니터링 시스템의 마이크로컨트롤러(MCU)는 마이크로칩테크놀로지 사의 PIC16F688 (8bit, 14pin)을 사용했다. 개발된 실리콘 압력센서를 MCU 입력 단에 연결하고, 측정된 압력 값은 신호처리 되어 UART 통신을 통하여 실시간으로 출력된다. 또한 미리 설정된 3단계 압력 값(저, 중, 고압)에 도달하였을 때 LED를 켜서 현재 상태를 나타내고, 고압에 도달하였을 때에는 LED와 부저(buzzer)를 동시에 켜서 현재 상태를 정확하게 알린다.

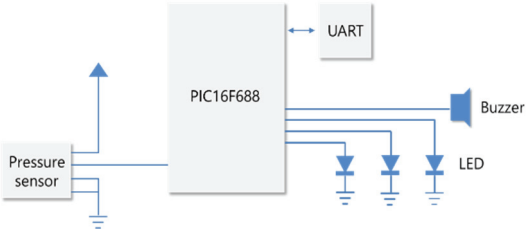


Fig. 2. Block diagram of pressure monitoring system.

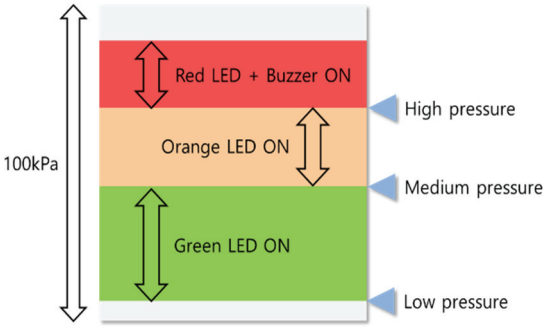
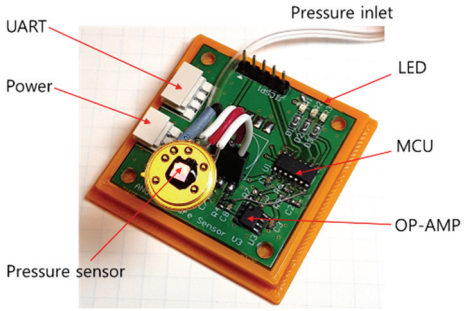


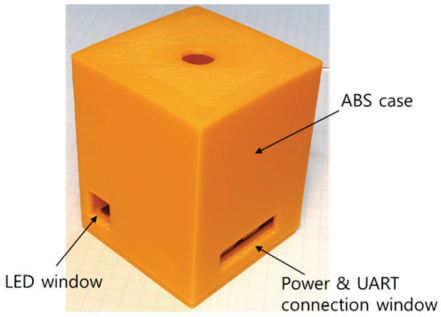
Fig. 3. Pressure setting and LED output.

Fig. 3에 나타낸 것과 같이, 미리 설정된 3단계의 압력 상태는 켜지는 LED의 색상 (저압-초록, 중압-오랜지, 고압-빨강)으로 나타낸다. 개발된 실리콘 압력센서의 압력 측정 범위가 0~100kPa이기 때문에 이 범위 내에서 설정 압력을 자유롭게 조절할 수 있다.

개발된 압력 모니터링 시스템을 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 4(a)에서 페키지(package)된 실리콘 압력센서, MCU(PIC16F688), OP-AMP(rail-to-rail) 및 3개의 LED를 확인할 수 있으며, 전원 및 UART 통신용 커넥터 그리고 압력 센서에 연결되어 있는 압력 도입용 호스를 확인할 수 있다. Fig. 4(b)에 3D 프린터로 제작된 케이스를 나타냈다. 케이스의 재료는 ABS이며, 시스템 보드를 장착하는 하부 구조물과 상부 구조물로 이루어져 있다. 케이스 사이즈는 $49 \times 49 \times 50\ mm^2$이다.



(a)



(b)

Fig. 4. Pressure monitoring system, (a) System board, (b) ABS case made of 3D printer.

3. 결과 및 고찰

3.1 결과

개발된 압력 모니터링 시스템의 측정 및 평가를 위하여 압력 측정 시스템을 구축했다(Fig. 5). 측정 시스템은 압력 챔버 내의 압력을 모니터링 하기 위하여 디지털 압력계, 압력 챔버 내의 압력을 조절하기 위하여 질소 가스 도입 구 및 배출 구를 설치하고, 가스 도입 구와 배출 구에 니들 밸브를 설치했다. 압력 모니터링 시스템에 3단계(저, 중, 고압) 압력을 설정하고, 측정 시스템에 연결하여 압력을 변화시키면서 압력 모니터링 시스템의 출력 특성을 평가했다. 3단계 압력을 각각 0kPa, 10kPa 및 26kPa로 설정하였을 때의 출력 특성을 Fig. 6에 나타냈다.

Fig. 6(a)에 압력 모니터링 시스템의 인가 압력에 대한 출력 특성을 나타냈다. Fig. 6(a)는 UART 통신을 통하여 획득된 정보로, 압력에 대한 출력 특성의 직선 성이 매우 우수함을 알 수 있다. Fig. 6(b)에 설정 압력에 대한 LED의 출력 특성을 나타냈다. 0~10kPa 범위에서는 초록 LED가 ON 되고, 10~26kPa 범위에서는 오랜지 LED가, 26kPa 이상에서는 빨강 LED가 ON 되는 것을 알 수 있다. 압력 모니터링 시스템의 3단계 설정 압력은 개발된 실리콘 압력 센서의 측정 가능 압력인 0~100kPa 범위에서 마이크로컨트롤러의 코드 수정을 통하여 간단하게 설정할 수 있다.

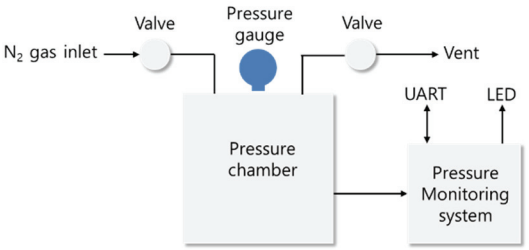
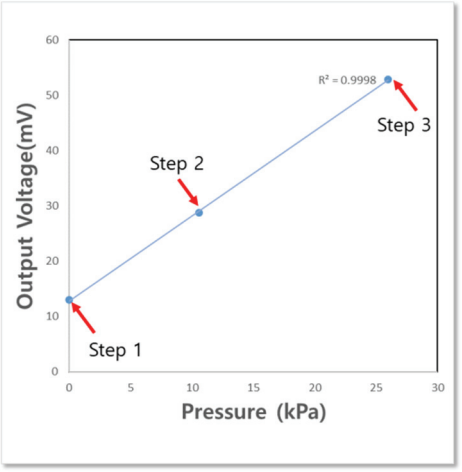
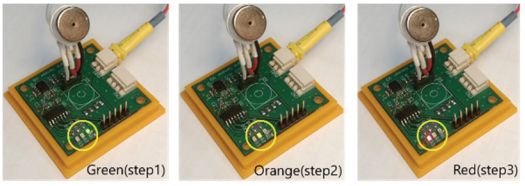


Fig. 5. Measurement setup.



(a)



(b)

Fig. 6. Measurement of pressure monitoring system, (a) Pressure characteristics, (b) Output characteristics of LED.

3.2 고찰

실리콘 압저항형 압력센서를 이용하여 범용 압력 모니터링 시스템을 개발했다. 압력 모니터링 시스템은 특정 공간의 압력을 모니터링하는 용도 이외에 압력을 측정하는 방법으로 수위, 부피, 화학적•생물학적 반응, 풍량, 풍압 등 다양한 물리 량을 측정하는 용도로 응용할 수 있다. 본 논문에서 개발한 압력 모니터링 시스템은 8비트 마이

크로컨트롤러를 사용하여 측정 가능 범위 압력 값인 100kPa을 255등분하여 출력하기 때문에 압력의 정밀 측정을 위한 충분한 분해능을 나타내고 있으며, 미리 설정된 3단계의 압력에서 LED와 부저의 표시를 통해서 현재의 압력 수준을 알려주는 기능을 포함하고 있다. 압력 모니터링 시스템을 사용할 때 가장 일반적으로 사용되는 알림 방식이 저, 중, 고압 등 3단계 알림 방식이기 때문에, 3단계 압력 알림 방식 압력 모니터링 시스템을 설계 했다. 압력 모니터링 시스템에 적용한 실리콘 압력센서 칩은 본 연구실에서 개발한 것으로, 4개의 압저항을 휘트스톤 브릿지(wheatstone bridge) 회로[9]로 구성하는 것이 일반적이나, 본 논문에서는, 한 개의 압저항을 사용하는 single-element four-terminal 형 압력센서를 제작하였다. Single-element four-terminal 형 압력센서는 오프셋(offset)이 상대적으로 낮게 나타나 오프셋의 온도의존성도 낮은 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 실리콘 압력 센서와 마이크로컨트롤러(PIC16F688)를 사용하여 압력 모니터링 시스템을 개발하고, 이 시스템 보드를 3D 프린터로 제작한 ABS 케이스에 고정하였다. 압력 모니터링 시스템의 사이즈는 $49 \times 49 \times 50\ mm^2$ (ABS 케이스 포함)로 비교적 작기 때문에 휴대가 가능하고, 응용 시스템에 장착하여 사용이 가능하여, 그 응용 분야가 매우 넓을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 마이크로컨트롤러 기반의 압력 모니터링 시스템을 개발했다. 압력 모니터링 시스템은 자체 개발된 single-element four-terminal 압저항 형 실리콘 압력 센서를 적용하여 100kPa 범위 내에서 압력 모니터링이 가능하도록 개발되었다. 또한 측정 가능 압력 범위 내에서 3단계의 압력 설정이 가능하여, 설정 압력에 도달하면 단계별로 LED를 켜서 현재의 압력 상태를 나타낼 수 있도록 했다.

개발된 압력 모니터링 시스템은 특정 공간의 압력 모니터링 이외에도 수위, 부피, 풍량, 풍속 모니터링 등 다양한 용도로 응용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Pramanik, C., Saha, H., and Gangopadhyay, U. “Design optimization of a high performance silicon MEMS piezoresistive pressure sensor for biomedical application,” *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.16, No.10, pp. 2060-2066, 2006.
2. Chang, S.P., and Allen, Mark G. “Capacitive pressure sensors with stainless steel diaphragm and substrate,” *J. of Micromecjanics and Microengineering*, Vol. 14, No. 4, pp. 612-618, 2004.
3. Lei, K. Foung, Lee, K.F., and Lee, M.Y. “Development of a flexible PDMS capacitive pressure sensor for plantar pressure measurement,” *Microelectronic Engineering*, Vol.99, pp. 1-5, 2012.
4. Park, C.Y., Kweon, H.K., and Jun, Z.Z. “Research for design and characteristic interpretation of capacitive pressure sensor structure,” *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol.14, No.2, pp.1-7, 2015.
5. Tufte, O.N., Chapman, P.W., and Long, D. “Silicon diffused element piezorsistor diaphragm,” *J. Appl Phys*., Vol. 22, pp. 3321-3327, 1962.
6. Tabata, O., Asahi, R., Funabshi, H., and Sugiyama, S. “Anisotropic silicon etching using (CH3)4NOH,” Transducers’91, SanFrancisco, CA, USA, Jun 24-28, pp.811-814, 1991.
7. Kanda, Y. “A graphical representation of the piezoresistance coefficients in silicon,” IEEE Trans. Electron Devies, ED-29, pp. 64-70, 1982.
8. Bao, M., and Wang, Y. “Analysis and design of a four-terminal silicon pressure sensor at the center of diaphragm,” *Sensors and Actuators*, Vol.12, pp. 49-56, 1987.
9. Lee, Y.T., Seo, H.D., Kawamura, A., Matsumoto, Y., Ishida, M., and Nakamura, T. “The influence of offset on silicon piezoresistive pressure sensor and its compensation using double wheatstone-bridge configuration,” Proc. of the 5th Conf. on Sensors Tech., Taejen, Korea, pp. 62-69, 1994.

접수일: 2018년 12월 12일, 심사일: 2018년 12월 19일, 게재확정일: 2018년 12월 19일