

수위, 온도, 전도도 측정을 위한 다기능 One-Chip 센서의 제조

송낙천 · 조용수 · 최시영[†]

Fabrication of a multi-functional one-chip sensor for detecting water depth, temperature, and conductivity

Nak-Chun Song, Yong-Soo Cho, and Sie-Young Choi[†]

Abstract

The multi-functional one-chip sensor has been fabricated to reduce output variation under various water environment. There were a temperature sensor, a piezoresistive type pressure sensor, and a electrode type conductivity sensor in the fabricated one-chip sensor. This sensor was measured water depth in the range of 0~180 cm, temperature in the range of 0~50 °C, and salinity in the range of 0 wt%~5 wt%, respectively. Since the change of water depth in solution environment depends on various factors such as salinity, latitude, temperature, and atmospheric pressure, the water depth sensor is needed to be compensated. We tried to compensate the salinity and temperature dependence for the pressure in water by using lookup-table method.

Key Words : water depth sensor, temperature sensor, conductivity, MEMS, pressure sensor

1. 서 론

수질 환경 감시의 중요성은 날로 증대되고 있다. 수자원내의 오늘날 당면하고 있는 환경오염 문제를 해결하고자 할 때, 우선 어떤 오염물질이 어느 정도 존재하고 있으며 어떠한 형태로 되어 있는지 파악해야 한다. 따라서 오염물질의 검출, 분석 및 계측 등은 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 이를 위한 측정 장치들도 계속 연구 개발되고 있다^[1].

수질환경 속에서의 수질 오염 물질이란 부패성물질, 유독물질, 가정의 각종 생활하수, 산업 활동에 의한 산업 폐수 등이 있다. 이러한 물질들이 강물에 유입되면 각종 용수로 사용할 수 없거나 생물 서식에 심각한 피해를 줄 정도로 수질을 오염시킨다. 수질측정을 위한 요소로는 탁도, 염도, 온도, 수위, DO(dissolved oxygen), pH(potential of hydrogen)등이 있다. 이러한 요소를 측정하기 위한 기존의 방법으로는 도구를 사용하여 사람의 감각에 의존하거나 기계식 장치로 읽는 방법 등이 있다. 하지만 이런 방법은 순간의 수치만 알 수

있고 시간에 따른 수치의 감지와 그에 대한 대처가 어렵다. 그리고 전자식으로 된 장비가 있다고 하더라도 고가이며 반도체형보다는 부피가 크기 때문에 사용의 많은 제한이 있다^[2].

본 논문에서는 수질 환경속의 수위, 온도 및 전기전도도를 실시간으로 측정할 수 있는 다기능 one-chip 센서를 제조하였다. 제작된 one-chip 센서는 반도체 공정 기술을 이용해 제조된 실리콘 기반소자로서 초소형, 저전력, 경량, 빠른 응답속도와 우수한 감도 특성을 가질 수 있다. 특히 소형화로 인해 사용 환경에 영향을 최소화 할 수 있어 여러 환경에서 사용가능하다. 제작된 센서는 마이크로머시닝방법을 이용한 압저항형 수위센서^[3-11]와 p-n접합을 이용한 온도센서^[12], 두 전극 사이의 전기전도도 변화에 따라 이온과 염도 등을 측정할 수 있는 금속전극으로 구성 되어 있다. 또한, 물의 깊이는 압력과 관계가 있고 온도와 염도에 상호관계가 있음을 확인하였다. 온도와 염도 등을 보정한다면 다양한 수질 환경 하에서 고정도 다기능 원칩 센서로 사용가능 할 것으로 기대된다^[13-15].

경북대학교 전자공학과(Department of Electronics, Kyungpook National University)

[†]Corresponding author: sychoi@ee.knu.ac.kr
(Received : July 18, 2005, Accepted : November 28, 2005)

2. 실 험

본 실험에서는 결정방향이 (100)이고 비저항이 10~

20 Ω-cm인 n-type의 SDB기술을 접합시킨 웨이퍼를 사용하였다. 양면 마스크 정렬기(aligner)을 이용하여 앞면의 저항체와 뒷면의 다이아프램 패턴을 사진식각법(lithography)으로 형성하였다. 액체 붕소소스를 도포하고 주입하여 저항체를 형성한다. 웨이퍼 뒷면을 KOH 용액을 사용하여 이방성 식각하여 다이아프램을 형성시켰다. 그림 1은 수위, 온도, 염도에 따른 전기전도도를 측정하기 위해 제조한 one-chip 센서 현미경 사진이다. 센서의 크기는 3 mm × 3 mm이다. 원칩 센서는 수위를 측정하기 위한 압저항형 압력센서, 다이오드형 온도센서 및 염도에 따른 전기전도도를 측정하기 위한 금속전극으로 구성하였다.

그림 2는 수위와 온도를 측정하기 위해 설계된 증폭 회로를 나타내었다. 수위, 온도를 측정하기 위해 LM334 소자를 사용하여 정전류를 센서에 공급하였다.

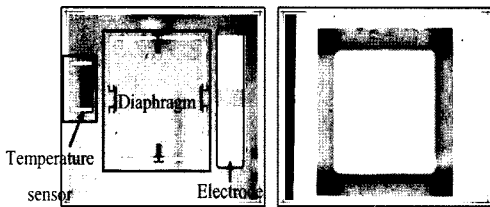


그림 1. 수질환경 검지를 위한 다기능센서 현미경 사진; (a) 앞면, (b) 뒷면

Fig. 1. Microscopic photographs of a fabricated multi-functional sensor for detecting water quality environment; (a) front side and (b) back side.

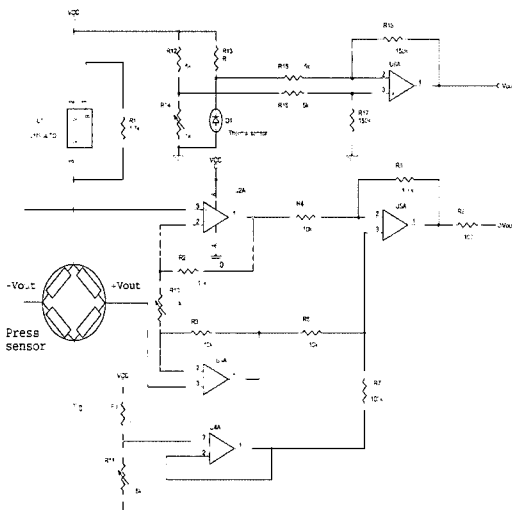


그림 2. 수질환경 검지를 위한 다기능센서의 증폭회로
Fig. 2. Amplification circuit of a multifunctional sensor for detecting water quality environment.

또한 OP-AMP MC 33204로 증폭회로를 구성하여 센서의 출력전압을 증폭할 수 있게 하였다. 구성회로의 증폭률은 R2, R3, R10의 조합으로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$Gain = \frac{R2+R3}{R10} \quad (1)$$

그림 3은 수위, 온도, 염도에 따른 전기전도도의 변화를 측정하기 위해 패키징한 one-chip 센서를 장착하였다. One -chip 센서를 용액에 담그면 전기적인 흐름이 생기므로, 용액에 담갔을 때 소자 간 전기적인 분리를 하기 위해서 실리콘러버를 이용하여 분리하였다. 또한 테프론 구조물안에 넣어 외부의 영향을 감소시켜 더 정확한 수위를 측정할 수 있게 고안하였다.

그림 4는 수위, 온도, 염도에 따른 전기전도도를 측정하기 위한 측정 장치의 개략도이다. 아크릴로 된 투

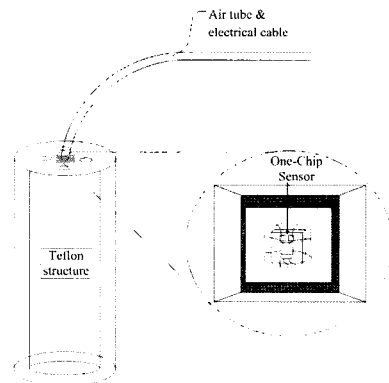


그림 3. 수질 환경 검지를 위한 다기능센서 모듈
Fig. 3. The multi-functional sensor module for detecting water quality environment.

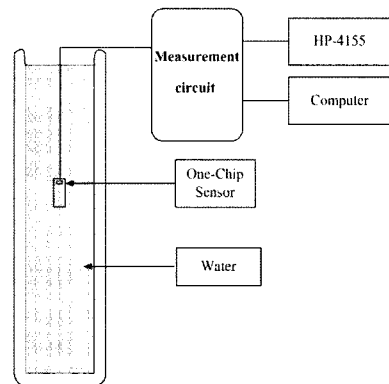


그림 4. 센서 특성을 측정하기 위한 장치도
Fig. 4. Schematic diagram of experimental set-up.

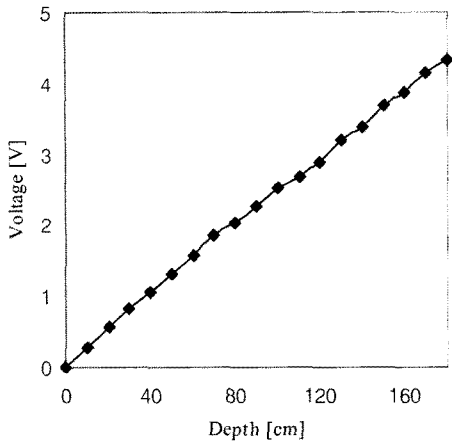


그림 5. 물의 깊이 변화에 따른 수위센서의 출력전압 특성
Fig. 5. Output voltage characteristics of a water depth sensor for water depth variation.

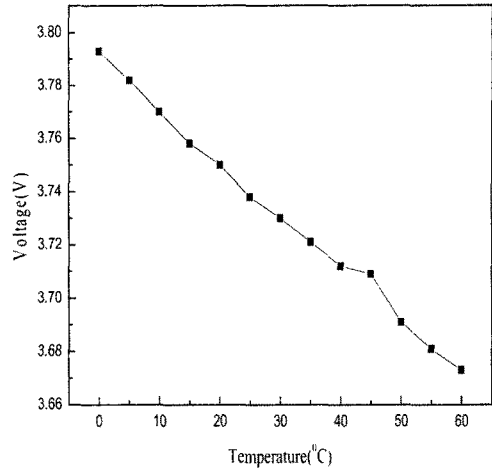


그림 6. 40 mA 다이오드 전류에서 온도에 대한 전압 변화
Fig. 6. Voltage variation versus temperature at diode current of 40 mA.

명 물기둥에 물을 채워서 물의 깊이와 온도에 따른 출력치의 변화를 측정하였고 염화나트륨을 용액에 넣어 염도의 농도에 따른 전기화학적 전위차를 출력으로 나타나게 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 5는 수질환경 검지를 위한 다기능 one-chip 센서의 수위에 따른 출력특성을 나타내었다. 물의 깊이 0 cm~180 cm까지 수심의 변화에 따른 수위센서의 출력전압 변화를 측정하여 결과를 나타낸 그래프이다. 증폭회로로 출력된 수위센서는 물의 깊이에 따라 약 24 mV/cm의 감도로 선형적인 출력 특성을 나타내었다.

수온 측정을 위해서 일반적인 pn 다이오드로 설계 하였다. p형 웨이퍼를 이용하기 때문에 n형 불순물을 주입하여 쉽게 제작할 수 있는 장점이 있다. 그리고 0~50 °C 온도 특성이 우수하기 때문에 수온 측정용으로 제작하였다. 그림 6은 제작한 pn 다이오드를 이용하여 온도를 측정한 결과이다. 온도에 따라서 선형적으로 다이오드 전압이 감소함을 알 수 있다. 이런 pn 다이오드 특성을 이용하여 수온을 정확하게 측정할 수 있다. 또한 수온의 측정으로 수위의 오차를 더 정확하게 보정할 수 있다.

전기 전도도를 측정하기 위해서 휘스톤브릿지 회로를 이용하였고 교류전원을 공급하여 0 wt%~5 wt% 염도의 용액에 따른 출력 전압치를 측정하였다. 그림 7은 전기 전도도를 측정하기 위한 휘스톤브릿지 회로이다. 이를 이용하여 염도에 따른 교류전원의 전기전도도 변화를 오실로스코프로 측정하였다. 표 1에는 0 wt%~

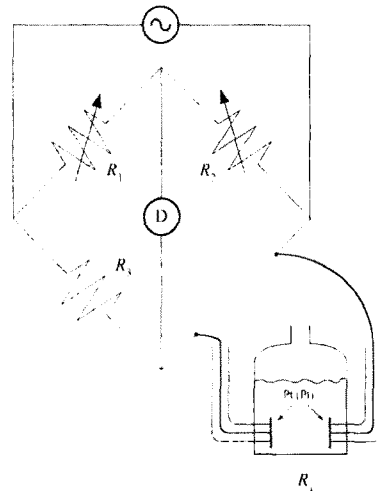


그림 7. 전기 전도도 측정을 위한 wheatstone bridge 회로
Fig. 7. Wheatstone bridge circuit for detecting conductivity.

표 1. 염도에 따른 출력전압 특성
Table 1. Output voltage variation as a function of salinity solution

Salinity	Output voltage	Voltage variation
pure water	38.26 mV	0 mV
1 wt% salinity	238.5 mV	200.24 mV
2 wt% salinity	328.9 mV	290.64 mV
3 wt% salinity	430.7 mV	392.44 mV
4 wt% salinity	460.0 mV	421.74 mV
5 wt% salinity	509.1 mV	470.84 mV

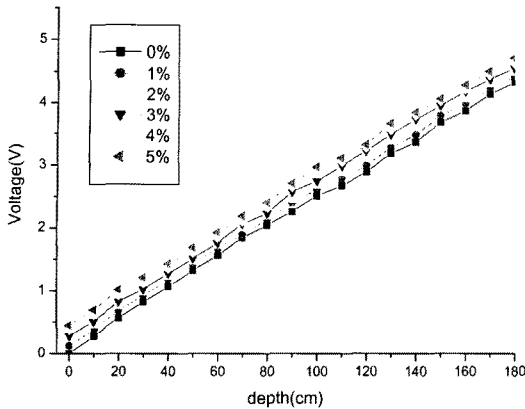


그림 8. 염도에 따른 수위 센서의 전압 변화.
Fig. 8. Voltage variation of the water depth sensor as a function of salinity solution.

5 wt% 염도의 용액에서 염도에 따른 전기 전도도변화를 측정된 결과이다. 이 결과 염도가 증가함에 따라서 출력전압이 증가하였다. 따라서 전기 전도도의 변화를 측정한다면 염도의 양을 알 수 있다. 전기 전도도 변화에는 여러 가지 인자의 복합 함수이지만 염도가 미치는 영향이 제일 크게 알려져 있다^[3].

그림 8은 염도에 따른 수위 센서의 출력 전압의 변화분이다. 염도의 양이 증가 할수록 수위센서의 출력 전압이 상승하는 것을 볼 수 있다. 즉 수질 내에 염도의 양에 따라서 수위 센서의 출력 값이 변하게 된다. 제작된 센서는 5 wt% 염도에 따라서 수위변화가 9.5%의 오차가 발생하였다. 이런 염도의 영향을 수위 센서의 보정에 이용하면 다양한 수질 환경 하에서도 수위의 정확한 측정이 가능할 것이다.

그림 9는 수위센서의 온도 변화에 따른 수위 센서의 출력전압 변화를 나타내었다. 수위 센서에 5V 인가전압과 45배 증폭을 하여 출력 특성을 조사하였다. 이러한 결과로 증폭회로와 연결된 수위센서는 온도 0°C-50°C까지 최대 270 mV의 드리프트가 발생하였다. 이것은 수위센서 전체 출력전압 5.8% 오차를 발생시켰다. 수질에서 온도 또한 수위 센서의 오차를 발생시키는 주된 요인이 된다. 수온은 급격한 온도 변화가 발생하지 않지만 고정도의 수질 수위 센서로 사용하기 위해서는 반드시 보정해야 한다.

실험 결과를 바탕으로 온도변화에 대한 순방향 전압감소에 대한 출력전압 변화를 감지함으로써 온도에 대한 영향을 보상할 수 있으며, 전기전도도를 측정하여 염도에 따른 수위센서의 오차를 신호처리 시스템을 이용해 보상 하였다. 마이크로 컨트롤러(MSP430F149)를 이

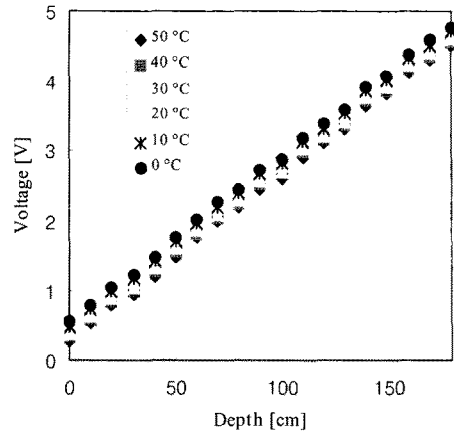


그림 9. 온도 변화에 따른 수위센서의 전압변화
Fig. 9. Voltage variation of a water depth sensor as a function of temperature.

용하여 수위, 온도, 전기전도도의 측정 결과를 신호로 처리하고 입력된 수위와 온도, 염도에 따른 수위센서의 보정치를 MSP430에 내장되어 있는 메모리에 저장한다. 저장된 보정치는 측정치에 대해 보정된 센서 응답 신호로 나타난다. 그래서 one-chip 센서의 출력전압을 보상회로로 신호 처리하였다. 그림 10은 염도와 온도를 보상한 수위센서의 출력특성을 그래프로 나타낸 것이다. 실험결과 1 wt%의 염도 증가는 0.002 kgf/cm²의 압력 증가 오차로 측정되었다. 염도와 온도에 의해 최대 1%의 오차율을 보였다.

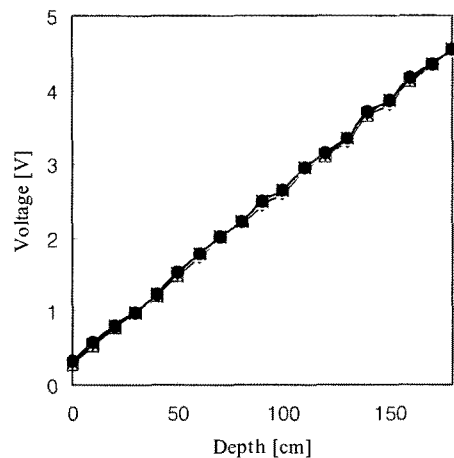


그림 10. 보상된 수위 센서 전압의 출력 특성
Fig. 10. Output voltage of a water depth sensor compensated with salinity and temperature.

4. 결 론

본 연구에서는 수질 환경 감지를 위해 수위, 온도 및 전기전도도 측정하기 위한 다기능 one-chip 센서를 제작하였다. 센서는 표준 반도체 공정기술을 이용해 제조되었으며 칩의 크기는 3 mm × 3 mm, SDB 웨이퍼를 이용해 제조하였다. 인가전압은 5 V, 증폭은 45배로 하여 측정하였다. 20 °C 물에서 수위센서의 감도는 24 mV/cm로 나타났다. 또한 온도 1 °C 증가에 따라 수위센서의 출력전압이 5.4 mV/°C로 감소하였다. 따라서 수위센서는 온도 0 °C~50 °C 에서 270 mV까지의 드리프트가 발생하였다. 이것은 전체 수위센서의 출력 전압의 약 5.8%의 감소를 의미한다. 그리고 염도 1 wt% 증가함에 따라 센서의 출력전압은 약 1.9% 증가하였다. 수위 180 cm의 출력전압에서 0 wt% 염도와 5 wt% 염도 사이에는 약 16 cm의 깊이 차이가 있음을 확인하였다. 제작된 수질환경 감지를 위한 다기능 one-chip 센서는 수질환경에서 수위, 수온, 전기전도도를 동시에 측정할 수 있다. 온도와 염도를 보정한 수위센서의 출력전압은 오차를 보정하여 최대 1% 내 고정도 센서 출력을 확인 하였다.

감사의 글

이 연구는 2004년도 과기부지원 시스템 IC 2010사업의 일환으로 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 임공예, “수질환경 오염 분석방법”, 화학과 공업의 진보, 제21권, 제5호, pp. 306-319, 1981.
- [2] 정용태, 심순섭, 이용환, “다변량분석법을 이용한 하천수질의 평가”, 한국환경관리학회논문집, 제5권, 제3호, pp. 531-537, 1999.
- [3] T. M. Dauphinee, J. Anesin, H. P. Klein, and M. J. Phillips, “The electrical conductivity of weight diluted and concentrated standard seawater as a function of salinity and temperature”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 28-40, 1980.
- [4] A. Poisson, “Conductivity/salinity/temperature relationship of diluted and concentrated standard seawater”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 41-49, 1980.
- [5] D. R. Topham and R. G. Perkin, “CTD sensor characteristics and their matching for salinity calculations”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 107-117, 1998.
- [6] 박종식, “환경오염 측정시스템의 개발”, 경북대학교 센서기술연구소 과제 보고서, pp. 114-122, 1994.
- [7] Shanup and Reza Zoughi, “Comparison of water and saltwater movement in mortar based”, *Instrumentation and Measurement*, vol. 53 no. 4. pp. 1218-1222, 2004.
- [8] 손승현, 김우정, 최시영, “가스누출 감지용 실리콘 압저항형 절대압센서의 제조 및 온도 보상”, *센서학회지*, 제7권, 제3호 pp. 171-178, 1998.
- [9] 배혜진, 손승현, 최시영, “생체 in-vivo 측정을 위한 실리콘 압력센서의 제조”, *센서학회지*, 제10권, 제3호, pp. 148-155, 2001.
- [10] K. E. Peterson, “Silicon as a mechanical material”, *IEEE Trans. on Electron Device*, vol. 70, no. 5, pp. 420-456, 1982.
- [11] 이보나, 이영준, 정승민, 이문기, “집적화된 실리콘 압력센서의 제작”, *대한전자공학회지*, 제30권, pp. 22-29, 1993.
- [12] Y. Kanda, “Graphical representation of the piezoresistance coefficients in silicon shear coefficient in plane”, *Japenese J. Appl. Phys.*, vol. 26, no. 7, pp. 1031-1033, 1987.
- [13] C. Herring, “Transport properties of a many-valley semiconductor”, *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 34, pp. 237-296, 1955.
- [14] 장재만, 이재우, 전기화학측정법, 자유아카데미, pp. 30-34, 1998.
- [15] Jacob fraden, *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*, pp 483-464, 1996.



송 낙 천

- 1974년 8월 26일생
- 2001년 대구가톨릭대학교 메카트로닉스 전공 졸업(공학사)
- 현 경북대학교 대학원 센서공학과 졸업(공학석사)

조 용 수

- 1973년 10월 8일생
- 1998년 인제대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 2000년 경북대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
- 2000년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정



최 시 영

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