

논문 2005-42SD-11-1

MEMS 기술을 이용한 온도, 압력, 습도 복합 센서

(Multi-functional (Temperature, Pressure, Humidity) Sensor by MEMS technology)

권 상 욱*, 원 종 화*

(Sang-wook Kwon and Jong-Hwa Won)

요 약

본 논문은 MEMS (Micro-Mechanical-Electronic System) 기술을 이용한 온도, 압력, 습도 복합 센서의 설계와 제작, 그리고 평가에 관한 것이다. 이러한 MEMS 복합 센서는 휴대 전화나 PDA와 같이 가정용 제품에 사용되어 환경을 모니터링하는 건강 측정용 센서로서 사용될 것이다. 이 연구의 범위는 이러한 개별 센서의 연구 및 모든 센서를 하나의 실리콘 웨이퍼 상에서 집적할 수 있는 구조에 관한 연구, 그리고 복합 센서를 MEMS 공정에서 제작할 수 있는 공정 호환성에 대한 연구와 얻어진 센서 prototype의 측정, 평가로 이루어져 있다. 이 연구에서 우리는 온도와 압력 센서의 경우에는 선형성과 이력특성이 1%FS안에 들어오는 특성을 얻었으며 단지 습도 센서의 경우에는 5%FS에 해당하는 선형성과 이력 특성을 얻었다. 다만 원리적으로 습도 센서의 동작 특성은 비선형적이며 우리가 3차로 근사화할 경우에 보다 나은 결과를 얻을 것을 기대할 수 있다 이러한 특성을 더욱 개선하기 위한 것은 추후의 연구 영역이 될 것이다.

Abstract

In this paper, we present design and prototyping of a low-cost, integrated multi-functional micro health sensor chip that can be used or embedded in widely consumer devices, such as cell phone and PDA, for monitoring environmental condition including air pressure, temperature and humidity. This research's scope includes basic individual sensor study, architecture for integrating sensors on a chip, fabrication process compatibility and test/evaluation of prototype sensors. The results show that the integrated TPH sensor has good characteristics of $\pm 1\%$ FS of linearity and hysteresis for pressure sensor and temperature sensor and of $\pm 5\%$ FS of linearity and hysteresis. But if we use 3rd order approximation for humidity sensor, full scale error becomes much smaller and this will be one of our future study.

Keywords : 온도, 압력, 습도, piezo-resistive, capacitive sensing, polyimide, health sensor

I. 서 론

21세기에 들어서서 과학 기술의 진보로 인한 우리 사회의 변화를 나타내는 용어로서 유비쿼터스(Ubiquitous) 라는 단어를 자주 접하게 된다. 유비쿼터스라는 것은 언제 어디서나 어떤 장치를 사용해서라도 누구에게나 필요한 서비스를 공급할 수 있다는 의미로

산업계에서는 받아들여지고 있다, 이를 위하여는 무결성의 네트워크(seamless network)와 정황 인식 능력이 필요하다. 이러한 정황 인식에는 사용자 인식과 사물인식으로 나누어 질 수 있으며 사용자 인식은 스마트카드나 지문인식 혹은 홍채 인식과 같은 생체 정보를 이용한 사용자 인증의 방향으로 기술이 발전하고 있으며 사물 인식은 호흡, 맥박, 체온등과 같은 생체 신호 센서, 동작, 움직임 추출하기 위한 동작 센서, 그리고 주변의 환경을 추출하기 위한 온도, 습도, 압력과 같은 환경 센서들에 의하여 이루어진다. 따라서 이러한 센서의 개발은 향후 미래에 다가올 유비쿼터스 사회에 중요한 핵

* 정희원, 삼성종합기술원, MEMS Lab
(MEMS Lab. Samsung Advanced Institute of Tech.)
접수일자: 2005년5월16일, 수정완료일: 2005년10월25일

심 기술 중의 하나이다.

그런데 이러한 센서 기술은, 전통적으로 각종 특성 부품의 조립에 의하여 제작되었으며 그 결과 센서의 가격은 매우 비싸고 가정용이나 개인용 제품에 사용되기에는 크기도 매우 큰 것이 일반적 경향이였다. 그러나 지난 세기말에 등장한 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 기술에 의한 센서의 개발은 센서의 초소형화, 저가격화를 가능하게 하는 신기술로 등장하였다. 따라서 저자들은 이러한 미래의 사회 발전 방향과 새로이 등장하고 있는 MEMS 기술을 결합하여 언제 어디서나 어떤 디바이스에서도 사용할 수 있는 사용자의 환경을 인식할 수 있는 MEMS 복합 센서의 개발에 착수하게 되었다.

이러한 MEMS 복합 센서는 여러 가지 사용자의 사용 사례를 분석하여 온도 센서, 습도 센서, 압력 센서를 포함하는 것으로 하였으며 이러한 센서의 사용 분야는 휴대 전화와 PDA 같은 이동 단말 및 스마트 홈(smart home)에 설치될 홈 네트워크(home network), 그리고 전자화된 미래 자동차의 telematics에 사용될 것을 전제로 하여 개발 목표를 설정하였다.

이러한 MEMS 복합 센서는 각 센서가 개별로 설계되고 제작되어 조립된다면 MEMS와 같은 일괄 공정(batch process)에 의한 양산성, 저가격, 균일성을 기대할 수 없으므로 기술의 목표를 단일의 실리콘 웨이퍼 위에 세 가지의 센서를 집적할 수 있는 구조 및 재료 그리고 공정의 개발을 할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 각 센서의 동작 원리, 각 센서의 설계, 각 센서가 동시에 집적될 수 있는 공정의 설계, 제작 과정과 얻어진 표본 제품의 측정 결과의 순서로 설명하기로 한다. 마지막으로 얻어진 결과의 평가와 향후 수행되어야 할 연구 방향에 대하여 언급하도록 하겠다.

II. 복합 센서의 원리 및 구조 설계

본 논문에서 제시하는 MEMS 복합 센서의 개별 동작원리를 설명하면 우선 압력 센서는 실리콘 구조물에 진공으로 된 공극을 만들고 그 위에 실리콘 막을 형성하여 이때 실리콘 막이 압력에 의하여 변형된 양을 압저항(piezo-resistive) 물질을 이용하여 측정하는 방법을 채택하였다. 또한 온도 센서는 실리콘 구조물에 도포된 압저항 물질의 실리콘의 결정 방향에 따라서는 온도의 변화에만 반응하는 것을 이용하여 압력 센서와 재료 및

공정의 호환성을 유지하였으므로 습도 센서는 폴리이미드를 이용하여 습도의 변화에 따른 용량의 변화를 감지하는 원리를 적용하여 센서를 개발하였으며 습도 검출을 위한 용량의 전극은 각 센서의 도선 재료를 사용함으로써 마스크를 공용화 하고 흡습 물질로서 폴리이미드를 wafer 상에 도포하는 것으로 하였다.

1. 압력 센서의 동작 원리 및 구조 설계

압력 센서를 만들기 위하여 정사각형의 박막을 사용하였다. 압력 P가 인가되면 박막은 변형을 받게 되고 변형의 결과 나타난 압축이나 신장에 따라서 박막에 설치된 압저항(Piezoresistor)의 값이 변하게 된다.^[1,2] 그 관계식은 다음과 같다.

$$\sigma_1 = \frac{6(1-u^2)}{p^2} \left(\frac{L}{H}\right)^2 p \quad (1a)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{\Delta R}{R} = p_1 \sigma_1 = \frac{6(1-u)^2}{p^2} \left(\frac{L}{H}\right)^2 P \quad (1b)$$

여기서

σ : stress

L : 박막의 길이

H : 박막의 두께

P : 인가된 압력

u : Poisson's Ratio

Vs : 전원 전압

Vo : 출력 전압

ΔR : 압저항의 변화량

R : 압저항

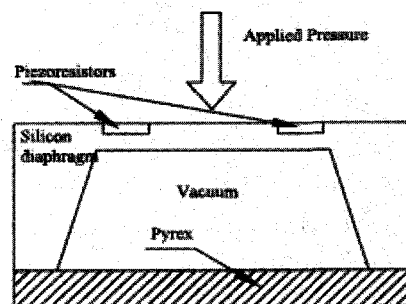


그림 1. 압력 센서의 구조
Fig. 1. Structure of Pressure Sensor.

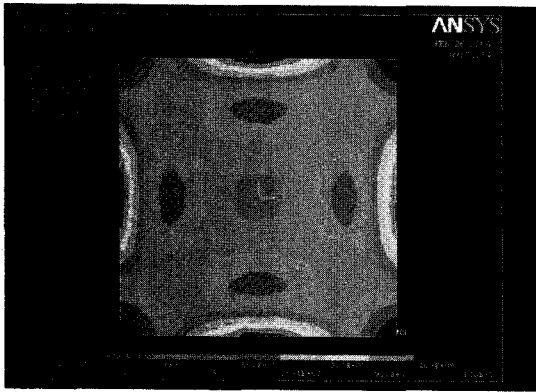


그림 2. ANSYS 해석 결과
Fig. 2. Analysis Result by ANSYS.

우선 압 저항의 구조가 먼저 설계되고 원하는 출력의 값을 얻기 위한 압 저항 막의 크기가 설계되어야 한다. 그러기 위하여 가급적 압 저항 막의 크기는 크게 하고 압 저항에 걸리는 응력은 작게 하고 또한 충분한 응력이 걸리도록 박막의 두께는 최적화하여야 한다^[3]. 한편 사용 압력은 응용에 따라 결정되어 있으므로 이러한 최적치를 구하기 위하여 ANSYS를 이용하여 압력 센서의 응력해석을 실시하였다.

우리는 압력 센서의 박막을 해석함에 있어서 제품의 사양에서 주어진 센서 크기를 만족시키기 위하여 길이 (L) 2. mm, 폭(W) 2 mm, 두께(H) 25 μm로 하여 그림 2에서 보이는 바와 같이 응력의 변화가 가장 큰 부분은 박막의 각 변의 중앙부임을 알 수 있었으며 이곳에 압 저항을 설치하여야 가장 감도가 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

한편 압 저항의 형성을 위하여 고농도의 양이온 주입 (p-type doping)을 하게 되는데 이때의 저항은 다음의 식으로 표현된다.

$$R = \frac{l}{qN_p m_p w h}$$

여기서

- l : 저항의 길이
- h : 저항의 높이
- w : 저항의 폭
- N_p : 주입 농도(doping concentration)
- m_p : 정공의 이동도

이때 정공(hole)의 이동도는 미지이나 이를 위하여 Klassen 모델을 사용하였다. 일반적으로 정공의 이동도는 온도와 이온 주입 농도의 함수이다. 이에 따라 결정

된 압 저항의 길이와 폭, 그리고 두께는 각각 600, 10, 2.5μm 이고 도핑 농도는 2*10¹⁹ cm⁻³ 으로 하였다. 이 경우의 압 저항의 크기는 약 300 °K로 가정한 온도에서 약 2 KΩ 으로 설정되게 된다. 이러한 길이와 폭은 기생 저항이나 압 저항 제작 시에 각도의 변화를 충분히 감안한 것이며 실제 제작에서는 압 저항의 길이와 폭은 일정하게 사용하고 저항 값을 최적화하기 위하여 저항의 두께를 조정하는 것으로 하였다.

2. 온도 센서의 동작 원리 및 구조 설계

실리콘의 비저항은 다음의 식으로 표현할 수 있다^[2].

$$\rho(T) = \frac{1}{nqm_n + pqm_p} \frac{1}{T} e^A \tag{2a}$$

$$A = \frac{E_g(0) - \frac{(4.73 \cdot 10^{-4}) T^2}{T + 636}}{2kT} \tag{2b}$$

여기서

- ρ : 비저항
- m_n : 전자의 이동도
- m_p : 정공의 이동도
- n : 전자의 농도
- p : 정공의 농도
- q : 자유전자의 전하량(1.6*10⁻¹⁹ C)
- k : boltzmann 상수(1.38*10⁻²³ J/K)
- E_g(0) : 절대온도 0도에서의 band edge(1.17eV)
- T : 절대 온도

그리고 p-type 실리콘에서는 n*m_n □□ p*m_p 로 가정하고 온도 센서로 쓰이는 저항의 값을 구하면 비저항과 저항과의 관계는 다음 식으로 표현된다.

$$R = \rho(T) \frac{L}{S} \tag{3}$$

여기서

- R : 저항
- ρ(T) : 비저항
- S : 저항 단면적
- L : 저항의 길이

이에 따라서 온도 센서용 저항의 길이는 계산에 의하여 폭 8 μm, 길이 2400 μm으로 하였다^[4].

3. 습도 센서의 동작 원리 및 구조 설계

습도 센서는 알루미늄 전극 사이에 설치한 폴리이미드(Polyimide)의 흡습성을 이용하여 제작하였다. Looyenga의 실험식에 의하면 흡습의 정도에 따라 폴리이미드의 유전율 ϵ 이 변하게 되고 이는 알루미늄 전극 사이의 정전 용량의 변화로 나타난다. 이는 다음과 같은 식으로 주어진다^[2].

$$\epsilon = [v(\epsilon_2^{\frac{1}{3}} - \epsilon_1^{\frac{1}{3}}) + \epsilon_1^{\frac{1}{3}}]^3 \tag{4a}$$

$$v = v_m^0 e^{[-(\frac{RT \ln RH}{E})^n - a(T - T_0)]} \tag{4b}$$

여기서

ϵ_1 : 폴리이미드의 유전율

ϵ_2 : 물의 유전율

v : 박막에 의하여 흡수된 물의 체적%

v_m^0 : $T = T_0$ 일 때의 v

R : 일반 기체 상수(0.0821 liter*atm/K*mol)

a : 온도 계수

T : 절대 온도

n : 실험 상수

E : 흡수 자유 에너지

RH : 상대 습도

따라서 상대 습도는 다음의 식으로 변하게 된다.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \tag{5}$$

여기서

d : 전극간 간격

S : 전극간 면적

ϵ_0 : 진공의 유전율

ϵ_r : 비유전율

폴리이미드와 물의 유전율은 보통 2.93, 80 이어서 폴리이미드 박막이 더 많은 습기를 흡수할수록 ϵ 값은 더욱 커지게 된다.

습도 센서는 빗살과 같이 49개의 중복된 구조를 가지게 하고 그 사이를 폴리이미드로 충전 시켜서 감도를 높게 하였다. 그리고 하나의 빗살은 각각 500 μm 과 8 μm 의 길이와 폭을 가지도록 설계하였다. 그리고 전극간격은 2 μm 로 제작하였다. 그림 3은 습도 센서의 구조를 보여 준다.

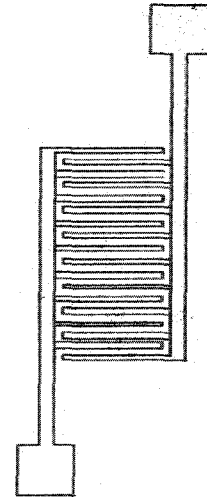


그림 3. 습도 센서의 개념도
Fig. 3. Conceptual diagram of humidity sensor.

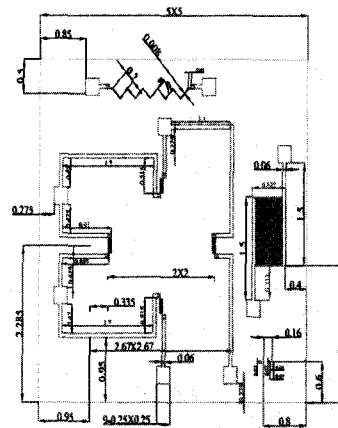


그림 4. 복합 센서의 배치와 구조
Fig. 4. Structure of TPH sensor.

4. 전체 복합 센서의 구조

그림 4에는 전체 복합 센서들의 배치와 구조를 보여 주고 있다. 특히 모든 센서에 쓰이는 저항의 배치는 다음의 사항을 고려하여 설계되었다. (100) 실리콘에 있어서 이방성 특성은 저항을 만들기 위하여 사용되었다. p-type (100) 실리콘은 [110] 방향에서 압 저항 계수가 최대가 된다. 센서의 감도를 최대화하기 위하여 저항은 [110]방향으로 설치된다. 반면에 [100] 방향으로는 최소의 압 저항 계수를 가진다. 압력에 의한 온도 센서의 영향을 최소화하기 위하여 온도 센서의 저항은 [100]방향으로 설치된다. 즉, [110] 방향은 압력 센서를 위한 저항의 설치에 쓰이고 [100]방향은 온도센서를 위한 저항의 설치를 위하여 쓰인다.

III. 복합 센서의 제작

1. 공정에 사용한 Mask

앞 장에서 기술된 복합 센서는 4장의 마스크를 이용하여 제작되었다. 각각의 마스크의 용도는 다음과 같다.

- Mask 1 : 압력 센서와 온도 센서의 저항
- Mask 2 : 압력 센서와 온도 센서의 저항의 연결점
- Mask 3 : 배선 및 습도 센서를 위한 알루미늄 전극
- Mask 4 : 압력 센서를 위한 이면 식각용

2. 복합 센서의 제작

복합 센서는 p-type 실리콘을 사용하였다, 우선 800±5 nm 의 두께로 산화막을 증착하고 그 후에 보론(Boron)을 2.0×10¹⁵ cm⁻² 의 농도와 80KeV로 주입하였다. 이 때 주입 두께는 2-2.5 μm 로 하여 면 저항을 25 Ω 으로 하고자 하였다. 그 후에 보호 층으로 120 nm Si3N4를 증착하여 양면을 보호 하였으며 기판의 후면을 연마한 후에 이면 식각을 하여 압력 센서를 위한 공간을 형성하였다. 그리고 배선과 습도 센서를 위한 알루미늄의 스퍼터링을 하고 최후로 폴리이미드를 습도 센서위에 도포하였다^[2]. 이러한 과정을 거쳐 만들어진 복합 센서의 실제 사진을 그림 5에 보여 준다.

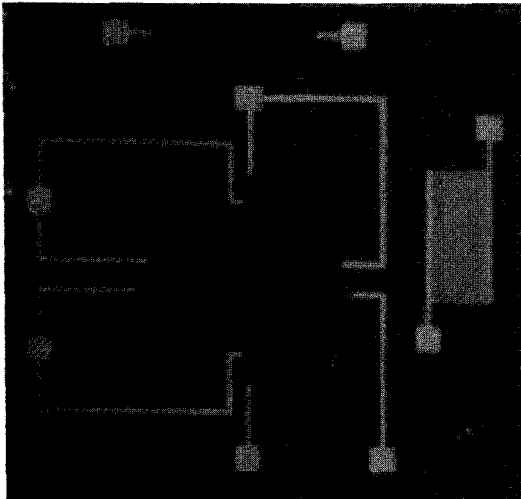


그림 5. 제작된 복합 센서
Fig. 5. Photo of the TPH sensor chip.

IV. 실험 결과

복합 센서의 성능의 주요한 지표로는 선형성과 이력 특성을 조사하는 것으로 하였으며 각각의 경우의 정의

는 다음의 식으로 정하였다.

$$e_l = \frac{\pm \Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (6a)$$

$$e_h = \frac{\pm \Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (6b)$$

1. 압력 센서의 측정 결과

압력 센서의 특성을 측정하기 위하여 피스톤 압력 장치를 이용하여 표준 압력을 발생시켰으며 이 장치는 0.1 - 250KPa의 범위에서 20Pa의 정도를 갖는 장치이다. 압력 센서의 저항에는 5V 전압을 인가하여 출력 전압을 디지털 전압계로 측정하였다. 그림 6에 피스톤 압력 장치를 보여 준다. 압력을 변화 시켜가면서 얻은 결과는 1 차식으로 표현 할 수 있다.

$$P = 0.47346 X V_{out} - 0.05314 \quad (7)$$

여기서

P : 압력

Vout : 출력 전압

그리하여 얻어진 압력 센서의 특성을 정리하면 표 1 과 같다.

표 1. 압력 센서의 특성 표
Table 1. Characteristics of Pressure Sensor.

특성 항목	값
Linearity	± 0.6%FS
Hysteresis	± 0.05%FS
Sensitivity	2.11mV/kPa

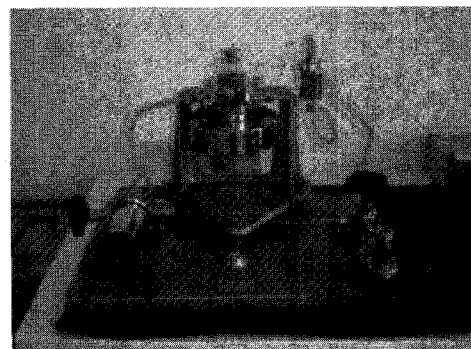


그림 6. 피스톤 압력 장치
Fig. 6. Piston Pressure meter.

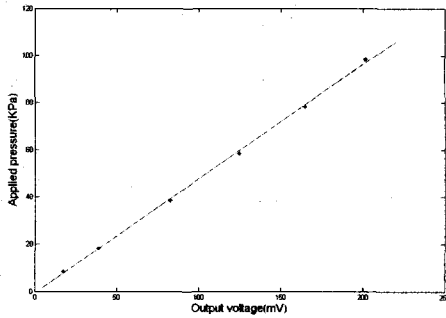


그림 7. 압력 센서 측정 결과
Fig. 7. Graph of pressure sensor.

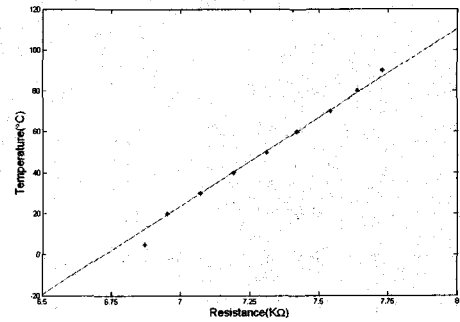


그림 9. 온도 센서 측정 결과
Fig. 9. Graph of temperature sensor.

2. 온도 센서의 측정 결과

온도 조절이 가능한 챔버(chamber)를 이용하여 온도 센서의 특성을 측정하였으며 온도 변화에 따르는 저항의 변화를 디지털 저항계를 이용하여 읽었다. 이러한 실험 장치를 그림 8에 도시하였다. 이리하여 얻어진 온도 센서의 특성은 다음의 1차식으로 표현할 수 있다. 그리고 측정 결과는 표 2에 보인다.

$$T = -633.04968 + 93.44107 X R_{out} \quad (8)$$

여기서

T : 온도 (° C)

R_{out} : 온도 센서 저항

표 2. 온도 센서의 특성 표
Table 2. Characteristics of temperature sensor.

특성 항목	값
Linearity	± 0.6%FS
Hysteresis	± 0.8%FS
Sensitivity	11.3Ω/° C

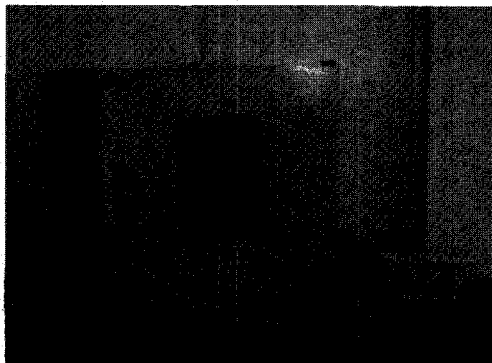


그림 8. 온도 센서 측정 장치
Fig. 8. Set-up for temperature sensor.

3. 습도 센서의 측정 결과

습도 측정은 포화 염류 용액을 사용하여 실시하였다. 그리고 습도 센서의 습도 변화에 의한 정전 용량은 이 지털 정전 용량계 (VC6013)을 사용하여 측정하였다. 표 3은 포화 염류 용액의 상대 습도를 나타낸다^[8,9].

이러한 습도 측정에는 습도를 설정하는 절차는 다음과 같다.

우선 비어 있는 용기에 포화 염류 용액을 반 정도 넣는다. 그리고 습도 센서를 용기 안에 용액에 닿지 않도록 설치한 후 용기를 밀봉하고 습도 균형 상태가 될 때까지 최대 6시간 정도 기다린다. 이 때의 값을 제1 측정 값으로 하고 다른 용액을 이용하여 위 실험을 반복한 후에 제2 측정 값으로 한다. 이와 같이 하여 얻어진 결과가 표 4에 나와 있다.

표 3. 포화 염류 습도 표
Table 3. %RH of saturated salt solution.

Salt(%)/T(°C)	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
Magnesium chloride	33.6	33.5	33.3	33.1	32.8	32.4
Magnesium nitrate	58.6	57.3	55.9	54.4	52.9	51.4
Sodium chloride	75.7	75.7	75.6	75.5	75.3	75.1
Potassium chloride	87.7	86.8	85.9	85.1	84.3	83.6
Potassium Nitrate	96.6	95.5	95.4	94.6	93.6	92.3

표 4. 습도 센서 특성 값
Table 4. Characteristics of humidity sensor.

특성 항목	값
Linearity	± 4.0%FS
Sensitivity	11.3Ω/° C
Range	32-100 %RH

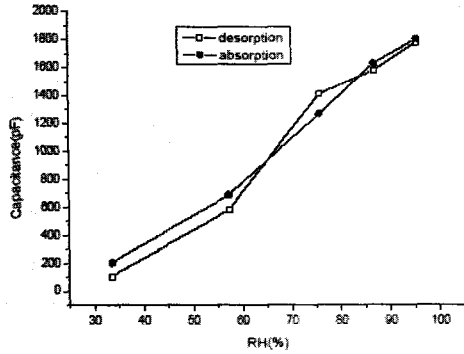


그림 10. 습도 센서 특성
Fig. 10. Graph of humidity sensor.

일반적으로 습도 센서는 비선형적이며 흡습 특성과 배습 특성에 있어서 이력 특성을 보이는 것이 일반적이며 그러한 현상을 본 실험 결과에서도 볼 수 있다 따라서 단순한 1차식으로 특성을 표현하기에는 부족하고 3차식으로 표현된 식이 필요하며 아래의 식으로 주어진다.

$$C = 1184 + 81RH + 1.7RH^2 + 0.008RH^3 \quad (10)$$

3. 온도, 압력 센서를 이용한 평가 시스템의 구축
위와 같이 만들어진 복합 센서를 이용하여 온도와 압

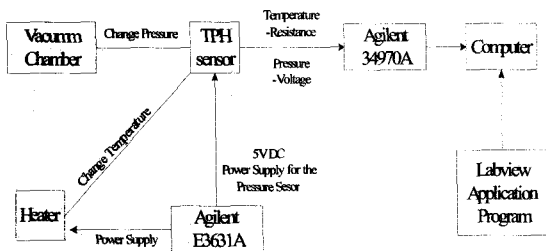


그림 11. 실험 장치
Fig. 11. Set-up for TPH sensor.

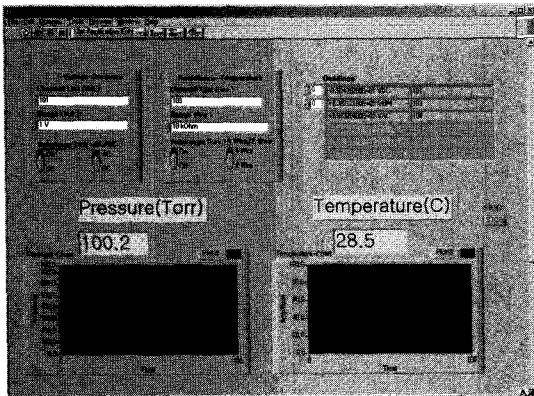


그림 12. 표시 화면
Fig. 12. Display of set-up.

력을 측정하는 평가 장치를 구축하였으며 습도 측정의 경우에는 향후 습도를 변화시킬 수 있는 장치를 만들어 실험할 예정이며 그림 11에 실험 장치의 구성, 그림 12에는 디스플레이를 보여 준다.

V. 결 론

휴대 기기에 탑재 가능한 초소형 복합 센서를 개발하기 위하여 온도, 습도, 압력 센서가 구조와 공정이 통합될 수 있도록 MEMS 기술을 이용하여 설계되었고 이를 일괄 공정으로 제작하여 성능을 측정, 평가하였다. 온도와 압력 센서의 경우에는 1%FS 이내의 선형성을 가지는 우수한 센서가 만들어 졌으며 검출 범위도 기온과 대기압을 측정하기에는 충분하여 환경 센서로서 성능을 만족하였다. 뿐만 아니고 본 연구의 과정에서 온도, 압력, 습도의 측정 평가 방법을 수립하여 센서의 성능을 평가 할 수 있었다.

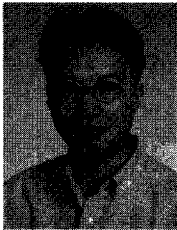
그러나 습도 센서는 선형성과 이력 특성이 5%FS 정도이어서 향후 개선하여야할 여지는 크다고 하겠으며 특히 신호 검출 방식이 다른 두 방식은 저항 변화를 읽는 방식인데 비하여 습도 센서의 경우에는 정전 용량의 변화를 읽는 방식이어서 미래의 연구에서는 저항 변화로 읽는 방식의 센서를 추가 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Ohmura, "Piezoresistance effect in p-type Si", Phys. Rev. B., vol. 42, pp9178-9181, 1990.
- [2] Gregory T. A. Kovacs, "Micromachined transducers source book", Boston Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [3] Kanda, Y., Yasukawa, A., "Optimum design considerations for silicon piezoresistive pressure sensors", Sensors and Actuator A:Physical., vol. 62 (1-3), pp.539-542, July, 1997.
- [4] P. T. Lai, et al., "Spreading-resistance temperature sensor on Silicon-On-Insulator", Electron Device Letters, IEEE, vol. 20(11), pp.23-30, 1995.
- [5] Lei Gu, et al., "novel capacitive-type humidity sensor using CMOS fabrication technology", Sensors and Actuators B: Chemical., vol. 99 (2-3), pp. 491-498, May 1, 2004.
- [6] Matsuguchi, M, Umeda, S., Sadaoka, Y, Sakai, Y., "Characterization of polymers for a capacitive-type humidity sensor based on water sorption behavior", Sensors and Actuators b:

- Chemical, vol. 49 (3), pp. 179-185, July 1, 1998.
- [7] Harrey, P.M., "Capacitive-type humidity sensors fabricated using the offset lithographic printing process", Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 87 (2), pp. 226-232, December 10, 2002
- [8] "RH calibration with saturated salts"
<http://www.natmus.dk/>
- [9] "Relative humidity sensor", Center for microcomputer applications, 2003.
 (<http://www.cma.science.uva.nl/english/download/pdf/manuals/d025i.pdf>)

 저 자 소 개



권 상 욱(정회원)
 1992년 한양대학교
 토목공학과 학사 졸업.
 1994년 Boston Univ. 기계공학과
 석사 졸업.
 2001년 Univ. of Southern
 California 기계공학과
 박사 졸업.

<주관심분야 : Micro Actuator, MEMS Sensor,
 RF MEMS>



원 종 화(정회원)
 1982년 서울대학교 제어계측
 공학과 학사 졸업.
 1984년 한국과학기술원 전자 및
 전자공학과 석사 졸업.
 1993년 한국과학기술원 전자 및
 전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 제어, 계측, 컴퓨터, 신호처리,>