

압저항형 온·습도 복합 센서 제작 및 특성 분석*

(Characteristics analysis and Fabrication of Integrated Piezoresistive Temperature & Humidity Sensors)

류 정 탁¹⁾

(Jeong-Tak Ryu)

요 약 본 논문에서는 나노기술을 적용한 압저항형 온·습도복합센서를 개발하여 특성을 평가 분석 하였다. 온도 변화에 대한 출력 감도는 20~80℃에 이르는 측정구간에서 약 0.75mV/1℃의 출력 값을 보였다. 습도 변화에 대한 감도는 약 1.35mV/10%(RH)의 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과에 의하여 본 논문에서 개발한 센서는 일반적인 생활 주거 환경에 적용이 가능함을 시사 해 준다.

핵심주제어 : 나노기술, 온도센서, 습도센서, 압저항형센서, 주거환경

Abstract In this paper, we developed an intergrated piezoresistive temperature and humidity sensor using nano-technology, and evaluated the properties. In the measuring range from 20℃ to 80℃, output sensitivity of temperature was about 0.75mV/1℃. Output sensitivity of humidity was about 1.35mV/10%(RH). Therefore, developed sensor suggests that it is possible applicable to the general residential environment.

Key Words : Nano-technology, Temperature sensor, Humidity sensor, Piezoresistive sensor, Residential environment

1. 서 론

나노기술의 발달로 말미암아 기존에 개발되었던 센서기술들이 새롭게 뜨거워지고 있다. 이것은 지금까지 센서를 이용한 기술의 한계를 나노기술을 이용하여 극복할 수 있다는 기대감 때문이다. 이러한 센서의 응용 분야는 제품 생산 공정의 자동화, 환경 감시, 자동

차 등과 같은 분야는 물론이고 건강관리, 범죄예방, 유통과 교통, 가전제품 및 스마트 홈(smart home)등과 같이 우리 주변의 일상생활에 이르기까지 그 영역이 폭넓게 확대 되고 있다. 이와 같은 사회적, 기술적 요구에 따라 나노기술을 이용한 센서 관련 기술은 급격히 발전되고 있으며 제조 기술, 집적화, 지능화에 대한 연구도 꾸준히 이루어지고 있다[1-4]. 센서기술은 자동화와 계측 기술의 가장 중추적인 역할을 담당하는 기술 분야로서 센서가 갖는 고부가 가치성과 다른 첨단 기술 분야에 대한 파급 효과가 매우 높은 분야이다. 이러한 센서 관련 기술들은 반도체 공정기술 및

* 본 논문은 2013학년도 대구대학교 학술 연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

1) 대구대학교 전자전기공학부, 교신저자 (jryu@daegu.ac.kr)

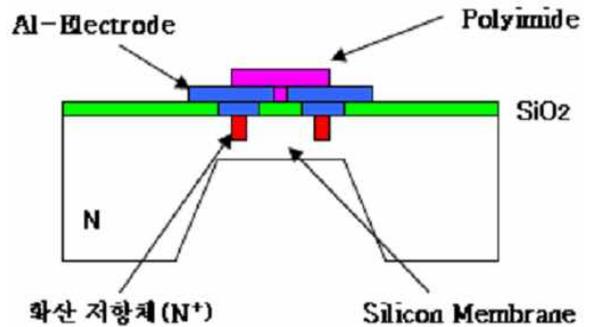
재료 기술의 발전에 따라 더욱 첨단화되고 있는데, 대표적인 첨단 신기술로서 나노(nano) 스케일을 이용한 탄소 나노 튜브(carbon nano tube) 가스 센서[5], MEMS(Microelectromechanical Systems) 기술을 접목한 초소형의 유량센서[6], 압력센서[7], 바이오센서[8] 등이 있다. 또한 하나 이상의 물리, 화학적 변화 요소에 대한 검출과 제어가 가능한 복합 센서, 인공지능 센서 등이 향후 주목받을 센서 기술 분야의 핵심들이라 할 수 있다. 특히 기존의 수(手) 가공법에 의존하던 센서 제조방법에서 반도체 공정 기술의 접목으로 센서의 소형화, 대량화, 집적화, 저 전력화가 실현 되고 있으며 소자의 여러 가지 기능을 하나의 소자에 집적한 다기능 센서 소자들이 개발되고 있다. 이처럼 여러 가지 센서 소자, 전자 회로, 통신 기능 및 마이크로프로세서(microprocessor) 기능까지 탑재된 일체화된 반도체 칩이 출현하면서 센서의 다기능화는 물론이고 지능화가 이루어지고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 센서의 응용분야는 산업현장에서 뿐만 아니라 우리 생활 주변에까지 적용되기 시작했으며 환경 문제에 관한 관심이 크게 증가 되고 있다. 최근 관심 받는 분야들로 홈 오토메이션(home automation), 스마트 빌딩(smart building) 등을 그 대표적인 예로 들 수 있다. 쾌적한 실내 주거환경 유지를 위해서는 가장 먼저 온도 및 습도 제어가 필수적이며 에너지의 효율적인 소비 및 관리를 위해서도 실시간적인 온도 및 습도 조절능력이 필요하다. 특히 온도와 습도는 상호간에 영향이 큰 복합적인 요소들로서 서로 미치는 영향을 고려 할 때 상호 보완적인 측정 및 제어가 필요한 대표적인 환경 요소이다. 또한 환경오염 및 안전문제에 대한 관심이 증폭됨으로써 실내 공간 내에서의 유해물질 검출이나 가스 누출 방지, 침입자에 대한 보안 기능을 강화한 센싱(sensing) 기술에 대한 연구도 주목 받고 있으며, 실제 적용 사례가 증가하고 있다[9~11]. 따라서 본 연구에서는 실내 환경에 적합한 주거환경 측정 시스템에 관한 기초 연구로서 MEMS 기술 및 반도체 공정 기술을 이용하여 압 저항형 주거환경 복합 센서를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 분석 결과 온도 변화에 대한 출력 감도는 20~80℃에 이르는 측정구간에서 약 0.75mV/1℃의 출력 값을 나타내었고, 습도 변화에 대한 감도는 약 1.35mV/10% (RH)의 결과를 나타내었다.

2. 온/습도 센서 제작

2.1 주거환경 복합 센서의 설계 및 제작

본 연구에서 제작된 주거환경 복합 센서의 기본 구조는 마이크로머시닝(micromachining)기술과 반도체 공정 기술을 이용하여 실리콘 웨이퍼(silicon wafer)를 얇은 멤브레인(membrane) 구조 형태로 제작하고 내부에는 온도 및 습도 변화에 따라 저항 값이 변화하는 4개의 확산 저항체가 휘스톤 브리지(wheatstone bridge)형태로 구성되어 있다. 습기를 감지하는 감습막으로는 습도 변화에 따라 부피가 변화하는 폴리이미드(polyimide)를 도포시켜 제작하였다[12,13]. <그림 1>에 제작된 소자의 구조 및 개념도를 나타내었다.



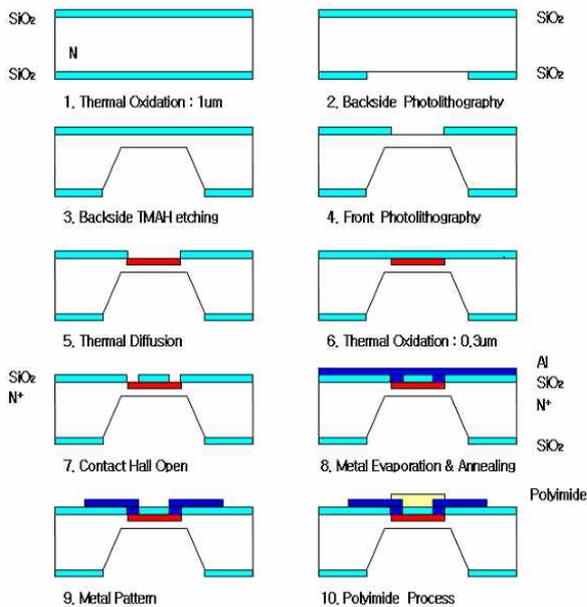
<그림 1> 제작된 온/습도 센서의 개념도
<Fig. 1> Block diagram of making temperature and humidity sensor

본 실험에서 제작한 주거환경 복합 센서의 측정 원리는 기본적으로 압저항형 실리콘 압력센서와 유사하다. 온도 및 습도 측정을 위한 검출영역으로 열확산 압저항체가 사용되며, 온·습도에 따른 저항성분의 변화량이 전기적인 출력으로 나타나게 된다[14~16]. 일반적으로 센서의 변환 소자 부는 감지 원리에 따라 정전용량형과 압저항형으로 나누어 질 수 있는데 정전용량형 타입의 감지 방식은 미세 구조부의 변위에 의한 용량변화를 측정한다[17~19]. 이 감지 방식은 일반적으로 감도는 높은 반면에 공정이 상대적으로 복잡하며 히스테리시스(hysteresis)가 크고, 추가적인 기생 용량 성분들이 혼합되어 출력되므로 외부 잡음에 약한 문제를 가지고 있다. 또한 정전용량 값을 출력

신호로 사용하기 때문에 복잡한 신호처리부를 필요로 하는 단점을 가지고 있다. 이에 비해 압저항형 감지 방식은 확산에 의한 저항만 형성하면 되므로 다른 방식과 비교하여 공정 과정이 간단하고, 선형성이 우수하며, 잡음에 비교적 강하다. 또한 저항 값의 변화로 인해 출력 신호가 전압으로 나타나기 때문에 신호처리부가 간단해진다는 장점을 가지고 있다.

2.2 센서 제작 공정

센서 제작에는 510~530 μm 두께와 [100] 결정방향을 가지는 N-type, 4 inch 실리콘 웨이퍼가 사용되었다. 감습막으로는 Polyimide ‘PI-2545’ 용액을 사용하였고, Mask 제작을 위해 2.5 inch Emulsion Mask plate 가 사용되었다.



<그림 2> 온/습도 센서 제작 공정 순서도
 <Fig. 2> Temperature and humidity sensor fabrication process flow chart

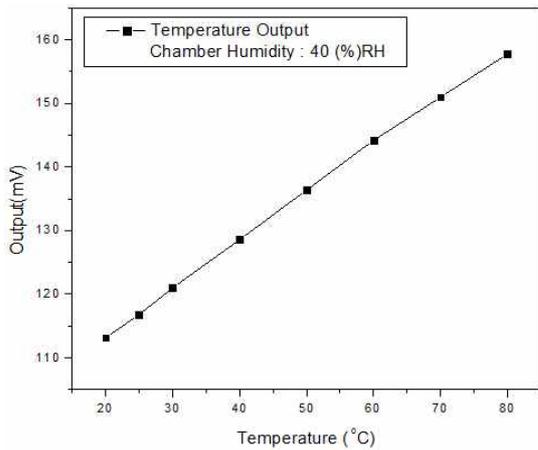
먼저 설계된 패턴 수에 따라 사진 식각 공정에서 사용하게 될 Mask를 제작하는 공정이 필요하다. Mask는 Backside Etching, Piezoresistor, Contact Open, Metal Electrode, Polyimide 모두 5장을 제작하였다. 우선 실리콘 웨이퍼를 습식 열 산화법으로 105

0°C 에서 270분 동안 Oxidation 과정을 통해 1μm 두께의 산화막(SiO₂)을 성장시켰다. 다음으로 응력에 따른 실리콘 변형이 이루어지도록 얇은 두께의 실리콘 Membrane 형태의 구조물을 제작해야 한다. 이 공정은 TMAH(Tetra Methyl Ammonium Hydroxide) 20 wt% 용액을 사용하여 Wet etching 방법으로 수행하였는데 90°C에서 약 0.66 ~0.82 μm/min Etching rate 정도의 식각율을 가지고 있다. 이와 같은 방법으로 원하는 실리콘 Membrane 두께(30 μm) 만큼 54.7° 경사각을 이루는 실리콘 Membrane 구조물을 제작하였다. 다음 공정으로 실리콘 웨이퍼 내부에 확산 저항체를 형성하기 위해 열 확산 방법을 사용하여 Phosphorus를 1000°C 에서 20 min 간 선 확산 시켰다. 이 과정을 통해 약 10⁻¹⁹~10⁻²⁰원자/cm³의 표면농도 값과 3000 ÅDepth, 6.6 Ω의 표면 저항 값을 얻을 수 있었다. 이 과정에서 Boron이나 Phosphorus 와 같은 도핑 물질들은 선 확산 과정 중 산소와 반응하여 산화물로 (P₂O₅, B₂O₃) 변화하고 웨이퍼 표면에서 실리콘과 반응 후 BSG 나 PSG (Phosphorus Silicate Glass) 와 같은 유리질 상태가 되어 해당 불순물이 실리콘 내부로 확산되어진다. 이러한 불순물을 제거하기 위해 BHF(7:1) 용액을 사용하여 산화막과 함께 PSG를 제거하였다. 선 확산 과정이 끝난 후 1050°C 에서 60 min 간 열 처리를 통해 후확산(Drive In) 공정과 함께 0.3 μm 두께의 산화막을 다시 성장 시켰으며 전극 층과의 접촉을 위해 확산 저항체가 노출될 때까지 Contact Open 과정을 수행하였다. 전극으로 사용된 Metal은 Sputtering 방법으로 5000 Å 알루미늄을 증착하였으며 실리콘과의 좋은 음성 접촉을 위하여 400°C 에서 60min 간 Anneling 처리를 하였다. 알루미늄 Etching (식각) 용액으로는 H₃PO₄(80%): HNO₃(5%): CH₃COOH (5%): H₂O(10%)의 부피 비율로 혼합한 Etchant 가 사용되었다. 마지막 단계인 감습층을 형성하기 위한 과정에서는 Polyimide(PI-2545)용액을 Spin Coating 시켜 1~3μm 두께로 도포시킨 후 확산 저항체 면적비율에 맞춰 Polyimide 감습막을 형성시켰다. 형성된 Polyimide 층은 온도와 시간에 따른 Process에 따라 경화시킴으로써 센서 제작 공정의 최종 과정을 완료하였다.

3. 측정 및 결과

3.1 온도 변화에 따른 출력 특성

온도에 대한 특성을 알아보기 위해 40%(RH)의 일정한 습도 환경에서 20~80°C 구간을 가지고 10°C 변화할 때 마다 출력 전압 값을 측정하였다. 항온 항습 챔버 내부의 습도 환경을 일정하게 유지함으로써 습도 변화에 독립적인 온도 특성을 분석하였다.

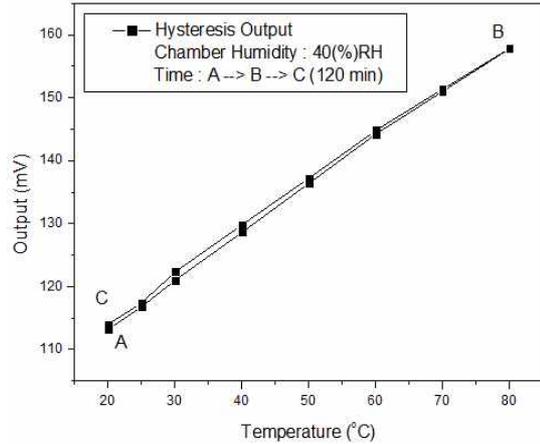


<그림 3> 온도 변화에 따른 출력 특성
<Fig. 3> Electrical characteristics according to the change of temperature

<그림 3>에 온도에 대한 출력 특성을 나타내었는데 출력 전압의 기울기가 측정 전 구간에 걸쳐 선형적인 모습을 보여주고 있다. 실험에 사용된 챔버(chamber) 내부의 습도에 대한 최대 허용오차는 약 ±1% 정도이며 0.75mV/1°C의 출력 변화율을 나타내었다. <그림 4>은 온도 변화에 대한 히스테리시스 특성을 나타낸 결과이다. 온도를 약 1°C/1min 정도의 기울기로 증가 및 하강시키고 A점에서 시작하여 최종 C점에 도착되는 시간은 약 120분 정도 소요되도록 설정하였다. 이 실험 역시 일정한 상대 습도 환경 40%(RH)에서 측정되었으며 실험 결과 온도의 상승 및 하강 시 출력 전압 값의 편차가 크지 않음을 알 수 있었다. 이 결과는 일상 주거환경조건에서 사용 할 수 있는 충분한 결과 값을 나타내고 있음을 시사한다.

이와 같이 나타난 온도 변화에 따른 출력 특성은 감습막에 의한 온도 변화량이 고려되지 않은 결과 값

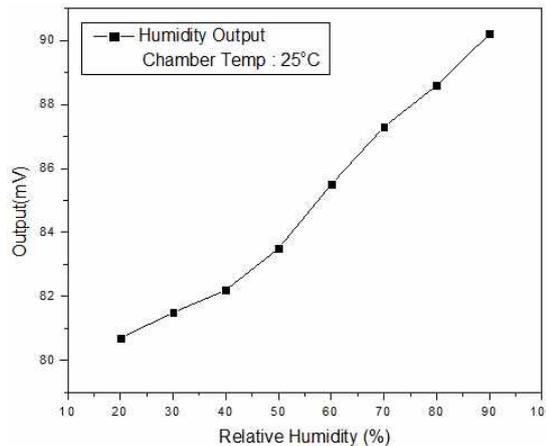
으로 차후 감습막에 의한 온도 특성 변화량을 적용하고 측정과정에서의 오차 문제를 보완 한다면 온도 센서로서의 신뢰성을 증가 시킬 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 4> 온도 변화에 따른 히스테리시스 특성
<Fig. 4> Hysteresis characteristics according to the change of temperature

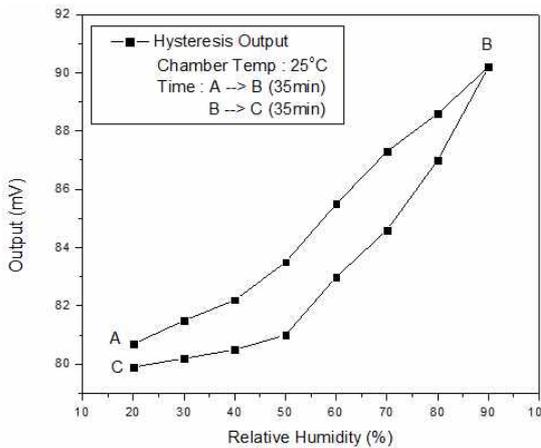
3.2 습도 변화에 따른 출력 특성

습도 변화에 대한 특성을 알아보기 위해 온도 특성 실험에서와 같이 항온 항습 챔버를 사용하여 그 특성을 실험하였다. 임의의 측정 구간은 실온(25°C)을 기준으로 20~90%(RH) 변화 범위를 두고 실험하였으며 그에 따른 결과를 <그림 5>과 <그림 6>에 나타내었다.



<그림 5> 상대습도 변화에 따른 출력 특성
<Fig. 5> Electrical characteristics according to the change of relative humidity

우선 <그림 5>에 상대 습도 변화에 따른 결과 값을 나타내었는데 출력 값의 변화량은 평균적으로 상대습도가 10%(RH) 변할 때 마다 약 1.35mV 정도의 변화량을 얻을 수 있었다. 비록 온도 특성에서와 같이 전 구간에 걸쳐 나타난 선형성은 떨어지지만 실내 환경 측정용에 그 기준을 둔다면 양호한 결과라고 판단된다.



<그림 6> 상대습도 변화에 따른 히스테리시스 특성
 <Fig. 6> Hysteresis characteristics according to the change of relative humidity

<그림 6>는 히스테리시스 특성을 나타낸 결과이다. 출력 특성에서와 같이 시작점(A)과 회귀점(C)의 출력 값이 일치하지 않으며 평균적인 편차 역시 전체적으로 매우 크게 나타난 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 결과는 인위적으로 항습 챔버의 습도 변화를 급격하게 변화시킨 결과로서 우리가 실제 생활하는 주거 환경을 기준으로 적용하기 어려운 결과라 할 수 있다. 다시 말해 상대 습도 변화량의 시간 간격이 너무 짧음을 의미한다. 따라서 실제 주거 환경에서와 같은 습도 변화 환경을 적용한다면 <그림 6>에서 나타난 출력 특성은 보다 개선되어 질 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 집적회로 공정기술과 MEMS 기술을 이용하여 온·습도 복합 센서를 제작하고 그 성능을 분석하였다.

실험 결과 제작된 온·습도 복합 센서를 사용하여 일

반적인 생활 주거환경의 습도범위인 20~90%(RH) 및 온도 범위 20~50℃내에서 비교적 안정적인 출력 특성을 나타냄을 알 수 있었다. 이와 더불어 제작된 온·습도 복합 센서의 장기적인 안정성, 온도 및 습도환경에 따른 출력 값의 Offset 변화, 감습막의 온도에 대한 특성 등 해결해야 할 많은 부분들이 있음을 확인할 수 있었다. 또한 실리콘 Membrane과 감습막의 두께에 따른 센서의 감도와 출력범위에 있어 사용 환경에 따라 최적화 과정이 필요할 것이다. 이와 같은 연구를 바탕으로 보다 정확한 이론적인 분석과 함께 실험을 통한 연구가 병행되는 경우 홈 네트워크 시스템 및 지능형 주거 관리 시스템과 같은 유비쿼터스 환경에서도 적용 가능할 것이다.

References

[1] Y.Yao, X.Chen, W.Ma, W.Ling, "Quartz Crystal Microbalance Humidity Sensors Based on Nanodiamond Sensing Films", IEEE Transactions on Nanotechnology, Vol. 13, No. 2, pp. 386-393, 2014.

[2] D.W. Guo, F.A. Cardoso, R.Ferreira, E. Paz, S. Cardoso, P.P. Cardoso, "MgO-based magnetic tunnel junction sensors array for non-destructive testing applications", Journal of Applied Physics, Vol. 115, No. 17, pp. 513-516, 2014.

[3] A. Abdellah, A. Abdelhalim, M. Horn, G. Scarpa, P. Lugli, "Scalable Spray Deposition Process for High-Performance Carbon Nanotube Gas Sensors", IEEE Transactions on Nanotechnology, Vol. 12, No. 2, pp. 174-181, 2013.

[4] B.A. Schnitz, D.X.u Guan, R.A. Malkin, "Design of an integrated sensor for in vivo simultaneous electrocontractile cardiac mapping" IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 51, No. 2, pp. 355-361, 2004.

[5] Zheng-Dong Lin, Chih-Hung Hsiao, Sheng-Joue Young, Chien-Sheng Huang, Shou-Jinn Chang, Sheng-Bo Wang, "Carbon Nanotubes With Adsorbed Au for Sensing Gas" IEEE Sensors Journal, Vol. 13, No. 6, pp. 2423-2427, 2013.

[6] S Wu, Q. Lin, Y. Yuen, Y.C. Tai, "MEMS flow

- sensors for nano-fluidic applications”, The 13th Annual International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, 2000. pp. 745 - 750
- [7] H. San, Y. Li, Z. Song, Y. Yu, X. Chen, “Self-Packaging Fabrication of Silicon - Glass-Based Piezoresistive Pressure Sensor” IEEE Electron Device Letters, Vol. 34, No. 6, pp. 789-791, 2013.
- [8] S. Carrara, L. Bolomey, C. Boero, A. Cavallini, E. Meurville, G.D. Micheli, T. Rezzonico, M. Proietti, F. Proietti, “Single-metabolite Bio-Nano-Sensors and system for remote monitoring in animal models” IEEE Sensors 2011 Conference, october 2011, pp. 716-719
- [9] J. T. Ryu, B. S. Cha, Y.B. Kim, B.H. Moon, “Development of industrial wireless temperature system”, J. Korea Industrial Information System, Vol.14 No. 1, pp. 90-94, 2009.
- [10] J.T. Ryu, “The development of fall detection system using 3-axis acceleration sensor and tilt sensor”, J. Korea Industrial Information System, Vol. 18, No. 4, pp. 19~24, 2013.
- [11] C. Y. Park, B.H. Lim, J.T. Ryu, “Development of Gas Sensor Modules and Sensor Calibration Systems”, J. Korea Industrial Information System, Vol. 15, No. 2 pp. 83~90, 2010.
- [12] W. C. Jeong, B. S. Cha, J. T. Ryu, “Design studies of the Temperature & Humidity measurement system on wireless environment”, The Korean Sensor Society conference Vol. 15, No. 1, pp.195-196, 2004.
- [13] W. C. Jeong, B. S. Cha, J. T. Ryu, “Fabrication and Characteristics of the Piezoresistive Humidity Sensor Using Polyimide”, The Korean Sensor Society conference Vol. 15, No. 1, pp.193-194, 2004.
- [14] G. Gelach and K. Sager, “A piezoresistive humidity sensor” Sensors and Actuators A : Physical Vol. 43, No.1-3, pp. 181-184, 1994.
- [15] R. Buchhold, A. Nakladal, G. Gerlach, P. Neumann, “Design studies on piezosistive humidity sensors” Sensors and Actuators B : Chemical, Vol. 53, No. 1 pp. 1-7 1998.
- [16] Hu-Min Jung, Yun-Kwon Shin, Sang-Bock Cho and Jong-Hwa Lee, “Design of Piezoresistive Smart Silicon Pressure Sensor”, Journal of Engineering Research Vol. 32, No. 2, pp. 189-200, 2001.
- [17] Yong-Ho Kim, Yong-Jun Kim, Kyung-I Kim and Joong-Hyun Kim, “A Capacitive Type Humidity Sensor Using a Polyimide Film For Hermeticity Measurement of Micro Packages”, J. of Korean Sensors Society, Vol. 13, No. 4, pp. 132-136, 2004.
- [18] Seong-Jeen Kim, “Study on the development of mesa-type humidity sensors using porous silicon layer” J. of Korean Sensors Society, Vol. 8, No. 1, pp. 32-37, 1999.
- [19] K.Suzuki, Y. Ishizaka, K. Inoue, Y. Nabeta and T. Inuzuka, “Capacitive Humidity Sensor Using Polyphenol Resin”, Technical Digest of the 11th Sensor Symposium, pp. 233-236, 1992.

Acknowledgments

본 연구의 실험에 도움을 준 포항산업기술연구원의 정우철박사와 차부상연구원에게 감사드립니다.

류 정 탁 (Jeong-Tak Ryu)



- 종신회원
- 1992년 2월 : 영남대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 : 오사카대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 : 오사카대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 ~ 현재 : 대구대학교 전자공학부 교수

논문접수일 : 2013년 11월 20일
 1차수정완료일 : 2014년 02월 06일
 2차수정완료일 : 2014년 04월 08일
 게재확정일 : 2014년 04월 10일