

폴리이미드를 이용한 홀 어레이 구조의 높은 민감도를 가진 습도센서

유민수*, 채지성**, 장성필#
 인하대학교 전자공학과*

A highly sensitive humidity sensor with a novel hole array structure using a polyimide sensing layer

Min-Soo Ryu*, Ji-Sung Chae**, Sung Pil Jang#
 Department of Electronic Engineering Inha University*

Abstract - 최근 전반적인 산업 분야에서 고도의 기술을 요구하는 작업들이 늘어나고 있다. 이러한 작업들을 진행하기 위해서는 해당 작업에 알맞은 환경을 유지시켜주는 것이 중요한데 특히 작업 환경의 온도를 지속적으로 모니터링하고 조절하는 것은 매우 중요한 사안중 하나이다. 식품, 섬유 등의 제품 생산을 위한 작업 환경을 감시하고 반도체, 기타 전자 부품 등 작은 소자부터 자동차, 로봇릭스, 바이오 분야 등의 어플리케이션까지 전 분야에 걸쳐 고 성능의 온도 센서를 필요로 하고 있다.

1. 서 론

온도 센서에 있어서 그 성능을 결정하는 가장 중요한 지표는 바로 높은 감도, 출력 신호의 선형성, 안정성, 그리고 빠른 응답 시간이다. 이러한 요건들을 충족시키기 위해 다양한 온도 측정 방식들이 개발되어 왔다. 일반적으로 열전대, 써미스터, 측온저항체(Resistive Temperature Detector)로 구분할 수 있다. 열전대 방식은 재질이 다른 두 금속선을 접촉한 것으로 온도 변화에 의한 두 금속선의 기전력 차를 이용한 방식이다. 별도로 전원이 필요 없으며 구조가 간단하고 가격이 저렴하나 출력이 비선형적이고 미약하며 불안정한 단점이 있다. 써미스터는 반도체 물질의 온도 변화에 의한 저항 변화를 측정하는 방식으로 고민감도에 응답이 빠르나 비선형적인 출력에 측정 가능한 온도 범위가 한정적이다. 측온저항체는 금속도체의 온도 변화에 의한 저항 변화를 이용한 방식으로 다른 방식들에 비해 감도가 우수하고 안정적이며 재현성이 우수하다. 그리고 출력 신호가 매우 선형적이며 물질에 따라 측정 가능한 온도 범위가 넓은 성질을 가지고 있다. 그러나 응답 속도가 느리며 가격이 고가인 단점이 있다.

이러한 단점을 가지고 있음에도 그 우수한 감도와 선형성으로 인해 측온저항체를 많이 사용하고 있으며 최근에는 MEMS 기술을 이용하여 센서의 초소형화를 이룩하여 그 단점을 상쇄하려고 노력하고 있다. 그러나 여전히 응답속도 문제는 측온저항체의 개선점으로 남아있다.

본 논문에서는 Silicon oxide 기판 위에 니켈 측온저항체를 형성하고 그 형태, 크기 등을 변화시켜 민감도와 응답속도를 최적화 시도하였다.

2. 본 론

일반적으로 저항은 전기의 흐름을 방해하는 것, 전기가 잘 흐르지 못하게 하는 것으로 정의된다. 물질은 자유전자의 이동에 따라 전기적인 성질을 가지게 된다. 자유전자가 그 물질을 통과할 때 물질을 구성하고 있는 원자에 의해 흐름을 방해받게 되는데 이를 저항이라고 할 수 있다. 전자의 이동이 전류이라고 할 때 전류의 흐름을 억제하는 기능을 가지고 있는 것이다.류의 흐름을 어느 정도 억제하는가에 따라 크기는 부도체, 반도체, 도체로 나눌 수도 있겠고 저항값이 크다 또는 작다라고도 말할 수 있다.

보통 물질의 저항은 온도에 의해 변화하는 성질을 가지고 있다. 대부분의 물질은 온도의 변화에 따른 일정한 특성 변화를 가지고 있으며, 도체의 경우 특히, 금속은 온도의 변화에 따라 도체의 온도계수특성으로 인해 그 전기 저항이 비례적으로 변하는 특성을 지니고 있다. 이러한 관계를 토대로 현재의 온도와 그 저항값을 알고 있을 경우, 변화된 저항값으로부터 온도의 변화 정도를 측정할 수 있게 되며, 이러한 특성을 이용하여 제작한 온도 센서를 측온 저항체(RTD: Resistive Temperature Detector)라고 한다. 여기서 온도계수(TCR: Temperature Coefficient of Resistance)는 온도 변화에 따른 전기 저항의 변화를 수치화한 것이다. 보통 온도 변화에 따른 저항의 변화를 다음과 같이 표현

할 수 있다.

$$R_t = R_0 \{1 + \alpha_1(T - T_0) + \alpha_2(T - T_0)^2 + \dots + \alpha_6(T - T_0)^6\} \quad (1)$$

R_0 는 기준온도 T_0 (보통 0℃)에서 금속의 저항을 나타내고 R_t 는 온도 T 에서의 저항 값을 나타낸다.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ 은 각 온도에서 저항을 측정함으로써 결정되는 계수이다. 제한된 온도범위(0~100℃) 내에서는 다음과 같은 직선 근사식으로 표현할 수 있다.

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)[\Omega] \quad (2)$$

여기서 α 를 물질의 저항온도계수(TCR: Temperature Coefficient of Resistance)라고 정의한다. 금속의 온도가 T_1 [℃]일 때, 저항이 R_1 [Ω], 변화된 온도가 T_2 [℃], 저항이 R_2 [Ω]이라면, 온도계수 α 의 식(1)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times \frac{1}{T_2 - T_1} [1/^\circ\text{C}] \quad (3)$$

본 실험은 Resistive Temperature Detector의 성능 개선을 위해 다양한 형태의 센서를 제작하여 실험하였다. 그래서 저항의 크기(case 1), 저항 라인 사이의 거리(case 2), 저항 라인 폭(case 3)의 변화에 따른 민감도와 응답속도의 변화를 측정하였다.

a. case 1

저항 크기에 따라 민감도와 응답속도가 어떻게 달라지는지 실험하였다. 이때, 저항 라인 사이의 거리와 저항 라인 폭은 50μm로 통일하였다.

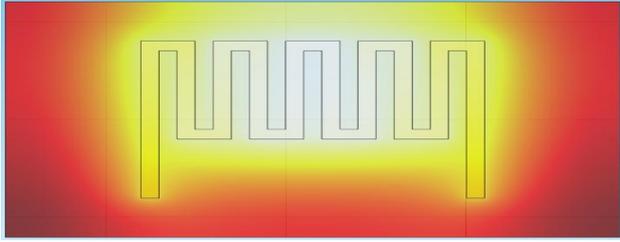
case 1-1(350Ω)	case 1-2(380Ω)
case 1-3(410Ω)	case 1-4(440Ω)

b. case 2

저항 라인 사이의 거리에 따라 응답속도가 어떻게 달라지는지 실험하였다. 이때, 저항 크기(550Ω)와 저항 라인 폭(50μm)은 모두 통일하였다.

case 2-1(50μm)	case 2-2(100μm)
case 2-3(150μm)	case 2-4(200μm)

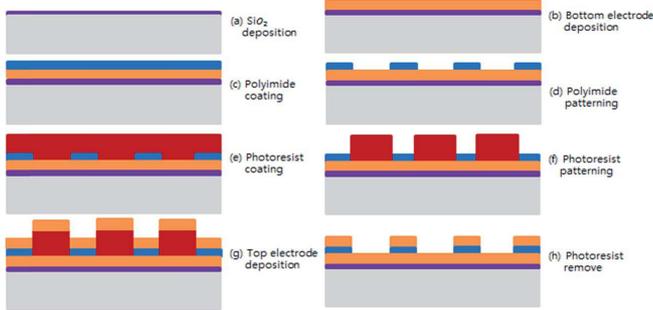
COMSOL Multiphysics를 이용하여 각 케이스 별 측온저항센서의 열전달 시뮬레이션을 수행하였다. 100℃의 측온저항센서가 Room Temperature(20℃)로 도달하는데 걸린 시간을 비교하였다. 열평형에 도달하는 시간이 짧다는 것은 그만큼 센서의 응답 속도가 빨라질 수 있음을 의미하는 것이다.



〈그림 1〉 COMSOL Multiphysics를 이용한 측온저항센서의 열전달 시뮬레이션

3. 실험과정

시뮬레이션 결과를 바탕으로 실험하기 위하여 아래그림과 같은 공정을 수행하였다. 먼저 LPCVD 공정을 이용하여 4인치 Si wafer에 SiO₂ 층을 3000Å 증착한다. 두번째로 Electron-beam Evaporation을 이용하여 Ni/Cr 층을 2000/300Å 증착한다. 세번째로 positive photoresist(PR) (AZ 4620)이 Ni/Cr layer 위에 스핀 코팅된다. 그리고 나서 lithography공정과 developing이 순서로 진행된다. 마지막으로 니켈 크롬 층을 에칭하고 남은 포토레지스트를 아세트산으로 세척한다. 니켈은 HNO₃ : H₂O = 3 : 7 비율로 섞은 에칭액에서 약 45s 에칭을 하고 Cr은 50%의 HCl에 넣고 Al stick을 이용한 매직터치로 에칭한다.



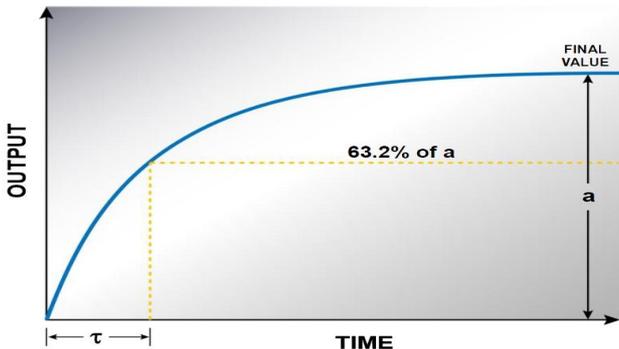
〈그림 2〉 센서 제작과정 모식도



〈그림 3〉 공정이 완료된 후의 실제 습도센서의 사진

4. 결 론

제작된 측온저항센서를 온도 챔버(Model PR-2KPH, ESPEC Corporation)에 넣고 LCR미터(Model 4263B, Agilent)를 이용하여 온도에 따른 저항 변화를 측정하였다.



〈그림 4〉 response time of RTD

sensitivity

각 케이스별 측온저항센서의 sensitivity를 측정하였다. 측정 결과 저항 크기(case 1), 저항 라인 사이의 거리(case 2)의 변화에 의한 sensitivity의 변화는 미미한 수준이었다.

그러나 저항 라인의 폭(case 3)이 커지면 커질수록 sensitivity가 조금씩 향상됨을 볼 수 있다.

각 케이스 별로 측정된 결과를 표에 정리하였다.

		sensitivity[Ω / $^{\circ}$ C]	response time[s]
case 1	case 1-1	0.002578	4.9945
	case 1-2	0.002666	4.5559
	case 1-3	0.002619	4.2536
	case 1-4	0.002411	3.8471
case 2	case 2-1	0.002429	4.2441
	case 2-2	0.002731	4.1611
	case 2-3	0.002475	4.2141
	case 2-4	0.002261	4.3104
case 3	case 3-1	0.002259	4.7965
	case 3-2	0.002326	4.4768
	case 3-3	0.002501	4.1625
	case 3-4	0.002682	3.0856

본 연구에서는 Ni 측온저항센서를 제작하여 그 구조와 크기에 따른 sensitivity, response time을 측정하였고 그 결과를 표에 정리하였다.

실험 결과 민감도가 향상된 케이스는 case 3로 저항 라인의 폭이 넓으면 넓을수록 sensitivity가 향상됨을 알 수 있다. 그리고 response time의 경우에는 case 1에서 저항의 크기가 작으면 작을수록, 저항 라인의 폭이 넓을수록 response time이 빨라짐을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] U. Kang and K. D. Wise, A high-speed capacitive humidity sensor with on-chip thermal reset, IEEE Trans. Electron Devices, 2000, 47, 702 - 710.
- [2] M. Matsuguchi, T. Kuroiwa, T. Miyagishi, S. Suzuki, T. Ogura and Y. Sakai, Stability and reliability of capacitive-type relative humidity sensor using crosslinked polyimide films, Sens. Actuators, B, 1998, 52, 53 - 557.
- [3] L. T. Chen, C. Y. Lee and W. H. Cheng, MEMS-based humidity sensor with integrated temperature compensation mechanism, Sens. Actuators, A, 2008, 147, 522 - 2528.
- [4] R. Buchhold, A. Nakladal, G. Gerlach and P. Neumann, Design studies on piezoresistive humidity sensors, Sens. Actuators, B, 1998, 53, 1 - 17.
- [5] C. Dai, A capacitive humidity sensor integrated with micro heater and ring oscillator circuit fabricated by CMOSMEMS technique, Sens. Actuators, B, 2007, 122, 375 - 3380.
- [6] Z. M. Rittersma, A. Splinter, A. Bodecker and W. Benecke, A novel surface-micromachined capacitive porous silicon humidity sensor, Sens. Actuators, B, 2000, 68, 210 - 2217.
- [7] H. Lee, S. Lee, S. Jung and J. Lee, Nano-grass polyimidebased humidity sensors, Sens. Actuators, B, 2011, 154, 2 - 28.
- [8] P. J. Schubert and J. H. Nevin, A polyimide-based capacitive humidity sensor, IEEE Trans. Electron Devices, 1985, 1220 - 1223.
- [9] H. Shibata, M. Ito, M. Asakura and K. Waltanabe, A digital hygrometer using a polyimide film relative humidity sensor, IEEE Trans. Instrum. Meas., 1996, 45(2), 564 - 569.
- [10] G. Banerjee and K. Sengupta, Pore size optimisation of humidity sensor-a probabilistic approach, Sens. Actuators, B, 2002, 86, 34 - 341.