

박막구조를 가진 폴리실리콘 압저항형 습도센서의 연구

박성일* / 박세광*
경북대학교 전기공학과*

Study on Piezoresistive Humidity Sensor using Polycrystalline Silicon with Membrane

Sungil Park* / Sekwang Park

Kyungpook National University, Department of Electrical Engineering*

Abstract

This paper deals with piezoresistive humidity sensor using polycrystalline silicon (Poly-Si) with membrane in sensors of semiconductor. Poly-Si piezoresistors which have no temperature dependancy are deposited on silicon wafer, membrane is formed with micromachining technology, then polyimide is formed as a hygroscopic layer. Whereas the principle of conventional humidity sensors are based on the change in electrical properties of the material, the humidity induced volume change of a polyimide layer leads to a deformation of a silicon membrane in this case. This deformation is transformed into an output voltage by Poly-Si piezoresistive Wheatstone bridge. Fabricated piezoresistive humidity sensors showed good linearity, response time, and long term stability.

1. 서론

습도가 온도와 함께 영구적인 환경요소로 인식되어짐에 따라 습도의 측정과 제어는 인간의 일상 생활을 위해서 뿐만 아니라 많은 산업이나 기술분야에서 중요하게 인식되어 지고 있다. 최근 습도센서의 사용은 전자공학의 발전에 따라 마이크로 컴퓨터와 센서를 조합한 자동제어 방식이 많이 이용되고 있고, 에어컨의 자동습도제어, 마이크로 오븐에 의한 자동요리등 가정용 기기에서 뿐만 아니라 LSI나 IC의 제조, 식물의 발아와 성장을 제어하는등의 산업 기술 분야에서도 크게 증가하고 있다.

습도센서는 1939년 F.W. Dunmore에 의해 전해질인 염화리튬을 이용한 습도계가 만들어진 후 많은 연구가 행해지고 있다.^[1] 1980년대에 접어들면서, 세라믹을 이용해 미세기공 속의 물의 물리 흡착 또는 모세관 응결로 인한 이온 도전성의 증가를 이용한 습도센서와 물의 화학 흡착으로 인한 전자 전도성의 변화를 이용하는 습도센서가 연구 발표 되었다.^[2-4] 1990년에 들어서면서 Polymer를 이용한 정전 용량형 습도센서의 연구, 개발이 많이 이루어지고 있다.^[5-6] 현재 공기나 가스속의 상대 습도 측정에 사용되는 일반적인 습도센서는 주위 습기에 따른 압은 검습층의 비저항 또는 유전체 특성의 변화를 이용해서 습도를 측정하였다. 그러나 습기가 감지층의 전기 접촉에 영향을 끼침으로 인해 센서의 정확성, 온도의 존성, 특히 장기 안정성이 떨어지는 결점이 있었다. 본 연구에서는 이러한 결점을 극복하기 위해서 온도의존성이 거의없는 폴리실리콘을 이용한 압저항 소자를 만들어 새로운 형태의 습도센서를 설계하고 제작하고 실험하였다. 마이크로머시닝기술에 의해 만들어진 실리콘 박막위에 검습층으로써 폴리이미드(polyimide)층을 도포하여 습도센서를 제작하였다. 이 폴리이미드층이 습기를 흡수하고 탈수함에 따라 체적이 변하게 되며, 이 체적변화는 실리콘 박막의 변형을 일으켜서 도핑된 폴리실리콘 압저항 휘스톤 브릿지에 출력전압을 이끌어 내게 된다.

2. 제작 및 실험

2. 1. 센서 및 인터페이스 회로 제작

그림 1은 폴리실리콘 압저항형 습도센서의 제조 공정을 나타낸 것이다.

먼저 n-type Si wafer 표면에 압저항체와 웨이퍼

사이에 좋은 전기적 결연을 가지게 하기 위해 SiO₂ 산화막을 성장 시키고 폴리실리콘을 LPCVD(Low pressure chemical vapour deposition)로 기상증착시킨 다음, 폴리실리콘 위에 건습식 산화법으로 SiO₂ 산화막을 다시 성장시킨다. 압저항체를 형성시키기 위해 Boron을 열확산시킨다. 전극을 형성시키기 위해 알루미늄을 진공증착 후 열처리 하고 패터닝한다. 웨이퍼 뒷면에 패터닝되어 있는 박막을 형성하기 위해 이방성 식각용액을 사용해 식각한다. 마지막으로 압저항체가 있는 박막위에 액체 상태의 PAA(polyamic acid)를 스핀 코팅하고 패터닝한 다음 열처리시켜서 폴리이미드층을 형성하였다. 그림 2는 완성된 습도 센서의 개략도이다.

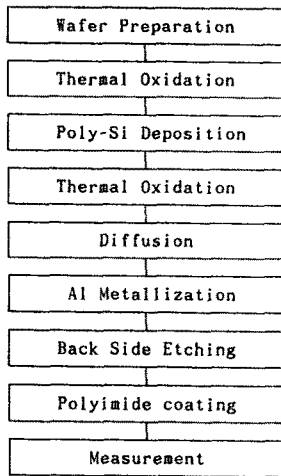


그림 1. 습도센서 제조 공정도

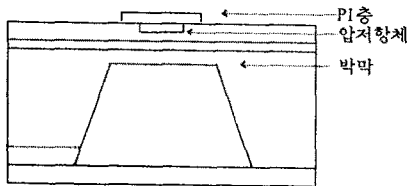


그림 2. 완성된 습도센서의 개략도

그림 3은 인터페이스 회로의 블록다이어그램이다. 먼저 센서를 구동하기 위한 정전류 공급부가 있고 센서가 감지한 전기신호를 증폭부로 증폭한 다음, 이 최종 출력신호를 디지털로 표시하고 제어부에서 습도를 제어한다. 습도센서에서 출력되는 신호는 오프셋(offset)전압을 지니고 수[mV]정도 변하므로 증폭부에서 오프셋과 이득(gain)을 조정하여 증

폭된 0~5[V]전압을 출력한다. 제어부에서는 비교기를 사용하여 원하는 습도 범위에서 릴레이를 on,off 되게 하였고, 디지털 표시부에서는 적분기와 LED를 사용해 0.0~100.0 [%RH]를 표시하였다.

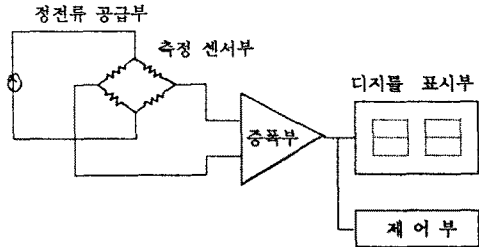


그림 3. 압저항형 습도센서 인터페이스 회로의 블록 다이어그램

3. 결과 및 고찰

3.1. 압저항형 습도센서의 감습기구

폴리실리콘을 이용한 압저항형 습도센서는 그림 2와 같이 실리콘 웨이퍼 위에 폴리실리콘을 증착시키고 Boron을 확산시켜 압저항체를 형성한 후 마이크로 머시닝 기술을 이용하여 박막을 만든다음, 폴리이미드를 스핀 코팅하여 검습층을 제작한다. 이 때 박막 위에 도포된 폴리이미드층이 습기를 흡수,탈수함에 따라 부피 변화가 생겨 박막에 변형이 생기게 된다. 이 박막의 변형에 따른 출력 전압을 신호 처리 회로로 인터페이스하여 습도의 디지털 표시와 습도의 제어까지 가능하게 하였다.

제작된 습도센서의 감도는 다음식(1)에 기초를 둘 수 있다.^[7]

$$\frac{U_a(\phi)}{i_0 R_0} = \frac{3}{2} (\pi_L - \pi_Q) \frac{E_{Si}}{1 - \nu_{Si}} \frac{h_2}{h_1} \frac{b_2}{b_1 + b_2} a_{t, \phi} \quad (1)$$

여기에서 $U_a(\phi)$ 는 센서의 출력전압이고, i_0 는 입력 전류, π_L 은 경도방향 압저항상수, π_Q 는 횡단방향 압저항 상수, E_{Si} 는 실리콘의 Young's modulus, ν_{Si} 는 실리콘의 Poisson's ratio, h_1 은 실리콘 박막의 두께, h_2 는 폴리이미드층의 두께, b_1 은 도포된 박막의 폭, b_2 는 도포되지 않은 박막의 폭, $a_{t, \phi}$ 는 습도에 의해 유도된 길이 팽창계수, ϕ 는 비습도이다.

위 식(1)에서 $\frac{h_2}{h_1}$ 두께비는 압저항형 습도센서의 감도를 결정하는 요소이다. 즉 폴리이미드층의

두께가 두꺼우면 감도는 증가하지만 긴 응답시간을 가진다. 그러므로 두께비의 최적 조건을 찾고 아울러 b_1 과 b_2 의 값도 결정해야 한다.

3.2. 압저항형 습도센서의 감습 특성

그림2와 같이 제작된 습도센서에 정전류 1.5[mA]를 공급하고 상온인 25[°C]에서 상대습도를 40[%RH] ~ 95[%RH]까지 변화 시킬때 브릿지 출력전압을 그림4에 나타내었다.

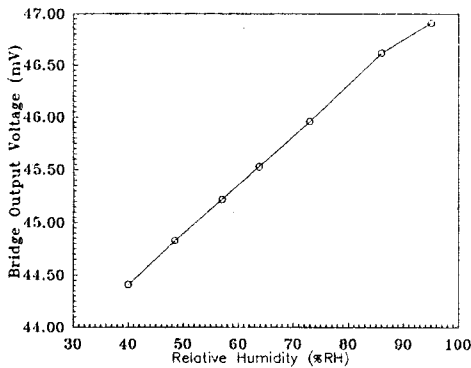


그림4. 상대습도에 따른 브릿지 출력 전압

그림4에서 알 수 있듯이 제작된 습도센서는 우수한 직선성을 나타내고 있으며, 이때 습도센서의 비직선성(Nonlinearity)은 $\pm 2[\%RH/FS]$ 이었다.

그림5는 실험챔버내의 상대습도를 40 ~ 95 [%RH], 95 ~ 40 [%RH]로 변화시켰을때의 응답특성을 나타낸 것이다. 응답시간은 수분 흡착시 60초정도, 탈착시 100초정도였다.

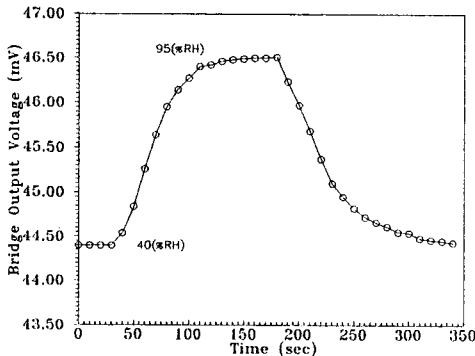


그림5. 제작된 습도센서의 응답특성

그림6은 장기 안정성 시험을 한 결과로서, 제작된 습도센서를 일반공기중에 40일간 놓아 두었을때 기준 습도센서와 비교한 그래프이다.

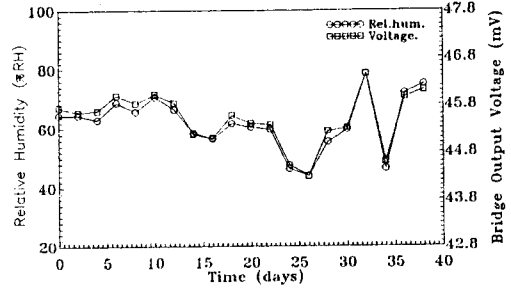


그림6. 제작된 습도센서의 장기안정성 특성

4. 결론

마이크로머시닝 기술을 이용하여 박막을 만들고, 이 박막위에 감습물질로 폴리이미드를 도포함으로써 압저항형 습도센서를 제작하였다. 수분의 흡탈착에 의한 폴리이미드의 부피변화를 이용한 압저항형 습도센서는 비직선성이 $\pm 2[\%RH/FS]$, 응답특성이 60~100초이고, 감도가 $48[\mu V/\%RH]$ 였으며, 40일간의 장기안정성 실험에서는 기준센서와 비교해서 약 $\pm 2[\%RH/FS]$ 이내의 안정성을 유지하는 등 좋은 특성을 나타내었다.

참고문헌

- [1] F. W. Dunmore, "An improved electric hygrometer", *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 23 (1939) 701-714.
- [2] T. Nitta, "Ceramic humidity sensor", *Ind. Eng. Chem. Pro. Res. Dev.*, 20 (1981) 669-679.
- [3] Y. Sudo, "Humidity sensitive ceramic element", *Denshi-Zairyo*, 19 (1980) 74-78.
- [4] T. Yuki and Y. Yokomozo, "Highly efficient humidity sensor", *Sensa-Gijutsu*, 1 (1981) 23-27.
- [5] M. Matsuguchi, Y. Sakai, T. Kuroiwa and A. Ito, "A capacitive-type humidity sensor using cross-linked poly(methyl methacrylate) thin films", *J. Electrochem. Soc.*, 138 (1991) 2474-2478.
- [6] T. Boltshauser, C. Azeredo Leme and H. Balte, "High sensitive CMOS humidity sensors with on-chip absolute capacitance measurement system", *Sensors and Actuators B*, 15-16 (1993) 75-80.
- [7] G. Gerlach and K. Sager, "A piezoresistive humidity sensor", *The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators*, (1993) 22-23.