

폴리이미드를 이용한 투 칩 집적화 습도 센서

민 남 기* · 김 수 원** · 홍 석 인***

*고려대 제어계측공학과 교수 **고려대 전자공학과 교수 ***고려대 화학공학과 교수

Two-Chip Integrated Humidity Sensor using Ployimide

Nam Ki Min · Soo Won Kim · Suk In Hong
Korea University

Abstract - We describe the working principle, the design, and the characteristics of two-chip integrated humidity sensor. The sensing element was manufactured using polyimide. The interface circuits were developed based on a charge redistribution between capacitors. The sensor and signal conditioning chips were packaged together in the same package. The sensor showed excellent linearity over a wide range of relative humidity.

1. 서 론

폴리이미드 수지는 1~3%전후의 적절한 흡수율을 가지며, 체적 저항율(10^{16} - $10^{17}\Omega\cdot\text{cm}$)이 높고, 동시에 내열성, 기계적 강도, 내약품성등 이 매우 우수하여 신뢰성이 높은 습도센서 재료로서 주목받고 있는 고분자이다. 더구나 폴리이미드는 오래동안 실리콘 집적회로 제작에 사용되어 왔던 재료이기 때문에 IC 기술을 이용한 센서 제작이 가능하고, 제조 공정을 간략화시킬 수 있어 양산성이 우수하고 균일성이 높은 박막 형성이 가능하다. 현재 폴리이미드를 이용한 습도 센서에는, 흡습후 폴리이미드의 유전상수 변화를 이용한 정전용량형 [1-5], 체적변화에 기인하는 실리콘 멤브레인의 변형을 이용한 피에조저항형 [6], 질량변화에 의한 공진 주파수 변화를 이용한 실리콘 공진 멤브레인형 [7] 등이 있으며, 모두 반도체 기술을 이용하고 있다. 이와 같은 배경하에서, 본 저자들은 폴리이미드를 감습막으로한 정전 용량형 습도 센서를 개발하여 발표한바 있다.[8] 그 이후 특성을 더욱 향상시키고, 센서 칩과 신호처리 IC칩을 하나의 패키지에 패키징한 투 칩 정전 용량형 집적화 습도센서를 개발하였으며, 본 논문에서는 그 결과를 간단히 보고한다.

2. 습도 센서 칩

집적화 용량형 습도센서는 실리콘 기판위에 금속-폴리이미드-금속 구조로 설계하였다. 그림 1은 습도 센서의 감습부 구조를 나타낸 것이다. 상부 전극은 다수의 stripe로 구성되어 있으며, 전극사이의 노출된 폴리이미드막에 수증기가 흡착된 후 stripe 양측으로부터 내부로 확산해 들어간다.

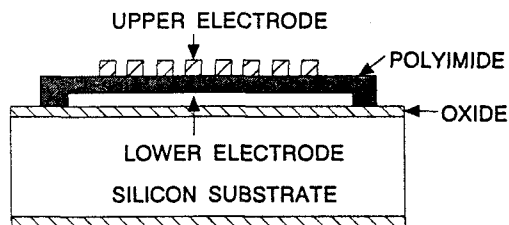


그림 1 습도 센서 소자의 구조

폴리이미드를 통한 물의 확산은 표면에 흡착된 물이 내부로 확산해가는 indiffusion과, 처음부터 내부가 균일한 수분으로 채워져 있고 이 상태로부터 물이 밖으로 확산해가는 outdiffusion을 생각할 수 있다. 상부전극을 구성하는 stripe의 길이/폭 비(L/W ratio)가 매우 크고 폴리이미드 막두께가 stripe폭보다 훨씬 작다고 가정하면 폴리이미드 박막 내부에서 물의 확산은 1차원적으로 모델화할 수 있으며, 다음 식이 얻어진다.[5].

$$\text{Outdiffusion: } N = \frac{4N_0}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \cdot \frac{\sin(2n+1)\pi x}{W} \cdot \exp\left[-\left(\frac{(2n+1)\pi}{W}\right)^2 Dt\right] \quad (1)$$

$$\text{Indiffusion: } N = N_0 \left(1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \cdot \frac{\sin(2n+1)\pi x}{W} \cdot \exp\left[-\left(\frac{(2n+1)\pi}{W}\right)^2 Dt\right]\right) \quad (2)$$

여기서, N_0 는 표면에서 물농도, D 는 물의 확산계수이다.

식(1)와 (2)를 이용해 폴리이미드 내부에서 확

산시간에 따른 물농도의 변화를 x/W 의 함수로 나타내면 그림 2와 같다. 그림에서 물농도의 분포는 좌우 대칭이며 농도가 균일하게 될때까지 확산이 계속해서 일어남을 알 수 있다. 또 물의 농도가 전극 중앙에서 최소로 되므로 센서의 응답시간은 전극 중앙에서 물의 농도와 표면농도가 같아지는 시간에 의해서 결정된다고 생각할 수 있다. 따라서, 센서의 응답 시간은 전극폭에 비례하여 증가한다.

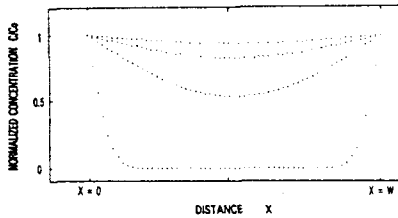


그림 2 폴리이미드 내부에서 시간에 따른 물농도의 변화

습도센서 칩은 n-형 (100) 4" wafer위에 제작되었다. 먼저 열산화법에 의해 두께 $1 \mu\text{m}$ 산화막을 성장시켰다. 하부전극은 Al를 sputtering에 의해 5,000Å 두께로 증착하였다. 폴리이미드를 스펀 코팅한 다음, 90°C 에서 30분간 prebake한후, 350°C 에서 1시간 동안 cure하였다. 마지막으로 Al를 5000 Å 두께로 증착한 후 패터닝하여 상부전극을 형성하였다. 제작된 웨이퍼는 $1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ 크기의 칩으로 자른 다음, 각 센서

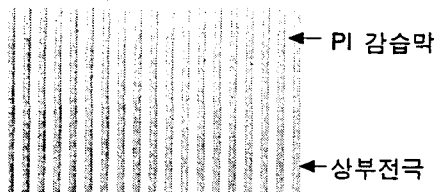


그림 3 제작된 습도센서의 상부전극과 PI 감습막 사진

칩을 세라믹 패키지에 마운팅한후 와이어 본딩하였다. 그림 4는 제작된 센서소자의 상부 전극과 감습부를 보여주는 사진이다. 사진에서 stripe폭과 간격은 각각 $10 \mu\text{m}$ 이다.

3. 신호 처리 회로 칩

습도 센서의 정전 용량 변화를 상대 습도에 비례하는 디지털 또는 아날로그 신호로 출력할 수 있는 용량-전압 변환회로의 설계는 매우 중요하다. 본 논문에서는 구성이 간단하여 집적화가 용이하고, 용량 변화를 전압 변화로 직접 출력하는 전하계분

배원리를 이용하여 검출 회로를 설계하였다.

그림 5는 검출 회로의 전체 구성도를 나타낸 것으로, 크게 세 블록으로 나뉘어진다. 블록 A는 습도센서의 정전용량 C_x 을 기준 용량 C_s 와 비교하여 $(V_r C_x)/C_s$ 를 전압으로 출력한다. 블록 B는 블록 A의 출력 전압중에서 offset 용량에 대응되는 전압만큼을 블록 C에 인가하여 offset 용량의 영향을 제거한다. 블록 C는 블록 A와 블록 B에서 전달된 전압을 비교하여 그 차를 출력하는 회로로서, offset 전압이 제거된 순수한 상대 습도에 대응하는 전압만을 출력한다. 동작전 $C_1/C_2 = C_{x0}/C_s$ 가 되도록 C_1 과 C_2 의 크기를 조정하고, $C_3=C_4$ 상태에서 블록 A와 블록 B에 동일한 기준전압 V_r 를 인가한다.

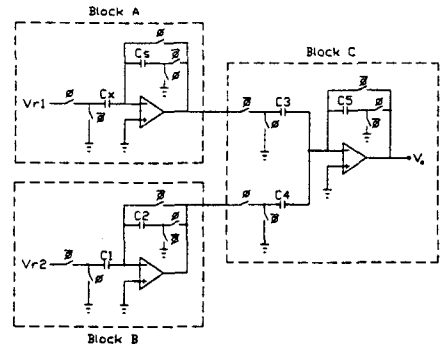


그림 4 신호 처리 회로도

습도 변화에 의해 C_{x0} 가 C_x 로 변하면 C_5 에 전달되는 전하량 Q_5 는 결국

$$Q_5 = \frac{(C_x - C_{x0})}{C_s} V_r = C_5 V_o \quad (3)$$

가 되므로, 최종 출력 전압 V_o 은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$V_o = \frac{(C_x - C_{x0})C_3}{C_s C_5} V_r \quad (4)$$

위식에서 센서 용량 C_x 를 제외한 다른 모든 값들은 상수이므로 센서의 출력 전압은 습도센서의 정전용량 변화에 의해서만 결정되며, 따라서 출력 전압은 상대습도에 비례하는 값을 가지게 된다. 또한 offset 용량에 의한 출력이 제거되므로 출력 전압의 범위는 0에서 V_{max} 까지가 된다. 여기서 V_{max} 는 회로가 출력할 수 있는 최대 출력 전압으로서, V_{max} 의 조정이 필요할 경우 커패시터간의 비율이나 기준전압 V_r 을 변화시킴으로써 가능하다.

위 회로에서 스위치들은 PMOS와 NMOS가 한 쌍으로 되어있는 트랜스미션 게이트를 사용하였다. 회로에 사용된 연산 증폭기는 외부회로를 구동시킬 수 있는 충분한 출력 전류와 phase margin 확보에 중점을 두고 설계하였다. 그림 5는 제작된 신호 처리회로 칩을 나타내는 사진이다.

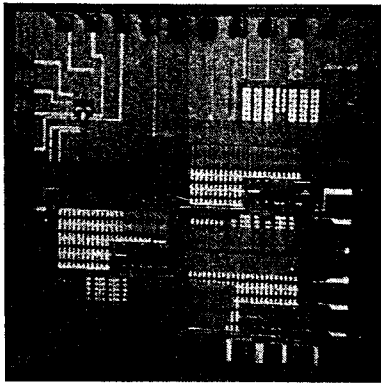


그림 5 신호처리회로 칩

4. 습도 센서 특성

그림 6은 HP LCR 미터를 사용하여 1 MHz에서 측정된 감습특성을 나타낸 것이다. 정전 용량은 저습에서 고습에 이르기까지 상대습도에 대해 거의 직선적으로 변화하여 매우 우수한 직선성을 나타내었고, 용량 변화율은 약 $C(x)/C_0 = 1.3 \sim 1.6$ 범위에 분포하였다.

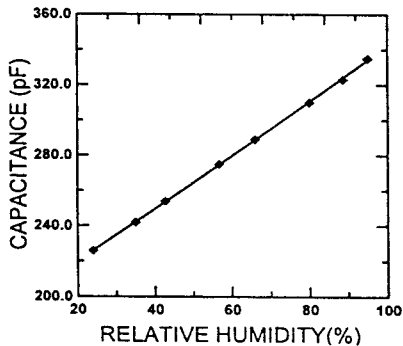


그림 6 정전용량 - 상대습도 특성

그림 7은 측정된 습도센서의 출력 전압과 상대습도의 관계를 나타낸 것이므로, 측정범위내에서 출력 전압이 직선적으로 증가함을 알 수 있으며, 이 결과는 이론적으로 계산한 결과와 잘 일치한다. 또한 출력전압은 습도 센서의 offset 커패시턴스 영향이 제거된 순수한 습도변화에 의한 전압을 의미하므로 별도의 재처리없이 다른 회로에 직접 인가하여 사용할 수 있는 특징을 갖는다.

5. 결론

본 논문에서는 집적회로 기술을 이용해 실리콘

기판상에 폴리이미드를 감습막으로 하는 습도 센서

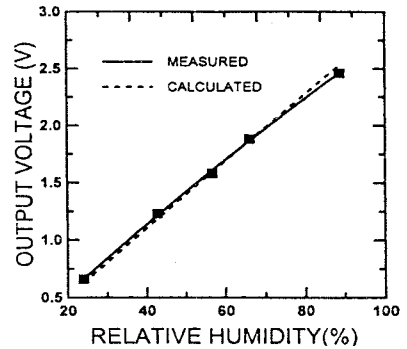


그림 7 상대습도와 출력전압과의 관계

칩과 신호처리회로 칩을 설계 제작하여 two chip 집적화 습도센서를 개발하였고, 그 특성을 측정하였다. 제작된 습도센서는 상대습도에 대한 용량변화의 직선성이 매우 양호하였고, 극히 작은 히스테리시스 특성을 나타내었다. 제작된 신호처리회로는 센서의 정전용량의 변화를 상대습도의 변화에 비례하는 전압출력으로 정확히 변환하였으며, 이 결과는 이론적 예측치와 잘 일치하였다. 또한 센서는 순수한 습도 변화에 기인하는 전압만을 출력하므로 출력 전압을 별도의 재처리없이 다른 회로에 직접 인가할 수 있는 특징을 갖는다.

참고 문헌

- [1] H. Shimizu et al, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.37, No.2, p. 300, 1988
- [2] P.J.Schubert and J.H.Nevin, EEE Trans. Electron Dev., Vol. ED-32, No.7, p1220, 1985.
- [3] 朝倉 正博, 坂本 哲野, 兼堀 正史, センサ技術, Vol.12, NO.5, p82,1992.
- [4] H.Shiebata et al, "A digital hydrometer using a polyimide filom relative humidity sensor," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 45, No. 2, 1996.
- [5] 홍석인, 민남기, 김수원, 상공부 연구 보고서, 1991.
- [6] G.Gerlach and K.Sager, 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, p.487, 1994.
- [7] T.Boltshauer et al, 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, p.487, 1994.
- [8] 안광호, 민남기, "폴리이미드 박막을 이용한 집적화 스펙 센서," '94'대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1388, 1994.