

폴리이미드 박막과 스퍼터링 방법으로 증착한 상부금속 그레인 용량형 습도센서의 전기적 특성에 미치는 영향

이진민^{1,a}

¹ (주)엘엔티연구소

Effects of the Electrical Characteristics of Capacitive Relative Humidity Sensor by Polyimide Film and Upper Electrode Grain by Sputtering Method

Jin-min Lee^{1,a}

¹ Institute of Research and Development, ElnT.Co.,Ltd, Suwon 441-360, Korea

(Received January 13, 2011; Revised February 6, 2011; Accepted February 11, 2011)

Abstract: This research, integratable capacitive relative humidity sensor was produced using polyimide on glass substrate. Also, at the time of upper electrode formation, upper electrode grain size was affected by giving changes to sputtering condition. Through this analyzing electrical characteristics affect from capacitive relative humidity sensor was possible. Capacitance of capacitive relative humidity sensor was 330 pF, linearity of 0.6%FS and it showed less than 3% of low hysteresis. Specially, hysteresis was affected more from interface than interstitial. Also was affected by the grain size which is one of the formation condition of upper electrode.

Keywords: Capacitance, Hysteresis, Resistance, Relative Humidity Sensor, Polyimide, Grain

1. 서 론

산업의 발전은 환경의 변화에 대한 대처와 이를 분석하기 위한 센서의 다변화를 요구해 왔다. 특히 대기 중의 습도는 쾌적함을 판정하고 인체의 점막에 영향을 주므로 이를 분석하기 위한 습도센서는 가전기구나 자동차 건물공조 등 인간이 상주하는 곳이면 모든 분야에서 더욱 정밀한 측정값을 요구하고 있는 바 이에 대한 연구가 더욱 요구되어 왔다. 용량형 습도센서는 그 크기를 혁신적으로 감소시킬 수 있는 가능성과 구동회로와 집적화 [1]를 위해 고성능, 집적화 습도센서에 대한 연구가 진행되어 왔다. 특히 습도센서의 감습층으로

활용되는 폴리이미드는 그 재료가 가지는 흡수율, 저항률, 내열, 기계적 강도, 내 환경성이 우수할 뿐 아니라 집적화가 가능한 반도체 공정의 가능성으로 인해 습도센서로의 적용에 많은 주목이 되어 왔다 [2]. 이러한 습도센서의 전기적 특성 중 안정성을 평가하는 핵심요소로 히스테리시스를 지목할 수 있다.

본 논문에서는 폴리이미드와 실리콘산화막을 감습층으로 이용하고 크롬을 금속전극으로 이용해 정전용량형 습도센서를 제조하였다 [3,4]. 또한 더 작은 면적의 용량형 습도센서의 가능성을 위해 1 μm 정도의 폴리이미드를 선택하였다. 또한 히스테리시스의 감소를 위해 상부전극 형성 시 홀 패턴을 패터닝 시켰으며, 센서의 집적화를 향상시키기

a. Corresponding Author; bonafidej@naver.com

위해 반도체 사진공정을 통해 센서를 제조하였다. 막 증착은 스퍼터링 방식을 이용해 증착하였으며 그레인의 크기를 조절을 위해 인가되는 전력과 온도를 변화시켰다. 제조된 습도센서의 전기적 특성변화에 미치는 영향을 연구 분석하였다. 그 결과 용량값 330 pF, 히스테리시스 3%, 0.67 pFS의 직진성과 0.6 pF/%RH의 안정적인 특성을 갖는 습도센서를 제조하였다. 또한 센서의 감습층 두께변화는 용량값과 저항값의 변화에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그러나 감습층을 폴리이미드와 실리콘 산화막으로 직렬형성시켰을 때 히스테리시스는 크게 증가하는 것으로 분석되어 히스테리시스는 감습층 내부보다는 계면에 의해 영향을 받는 것으로 분석되었다. 또한 상부금속의 그레인 크기 변화에 의해서는 그레인의 크기가 작을수록 히스테리시스가 작아지는 것으로 분석되었다.

2. 실험 방법

정전용량형 습도센서의 용량값은 상대습도 $x(\%)$ 에서 $C(x) = C(i) + k(dC(x)/dx)$ 로 나타낼 수 있다.

C_i : 상대습도 0%에서의 초기 정전용량

k : 습도센서 구조상수

여기에서 상부금속의 길이가 폭보다 매우 크고, 상부금속의 폭보다 폴리이미드 막 두께가 매우 크면 즉, $L/W \gg 10$, $W/t_{Polyimide} \ll 10$ 이면 [5]

감습의 경우

$$N_{(y,t)} = (4N_o/\pi) \sum_{n=0}^{\infty} (1/(2n+1)) \cdot \sin((2n+1)\pi y/W) \cdot \exp[-((2n+1)\pi/W)^2 Dt]$$

가습의 경우

$$N_{(y,t)} = N_o(1 - (4/\pi) \sum_{n=0}^{\infty} 1/(2n+1) \cdot \sin(2n+1)\pi y/W \cdot \exp[-((2n+1)\pi/W)^2 Dt]$$

$N_{(y,t)}$: 폴리이미드 막 내부의 물 농도

D : 물의 확산계수

t : 확산시간

이 되며, 가습 시 폴리이미드 막의 위치에 따른 물 농도의 변화 y/W 의 함수로 보면 물 농도는 상부금속의 정 중앙 아래가 최소가 되며, 물의 이동은 상부금속의 좌우에서 대칭으로 이동하여 물 입자의 확산이

포화될 때 까지 지속적으로 이루어진다. 또한 $y/W = 0.5$ 인 상부금속의 정 중앙 아래에서 물 농도의 변화로 평가하면 상부금속의 폭의 자승에 비례해서 응답속도가 빨라지는 것으로 알려져 있다 [6].

본 연구에서는 셀의 크기가 3.7×3.5 mm이며, 상부금속의 상단에 $50 \times 50 \mu\text{m}$ 의 홀을 $500 \mu\text{m}$ 간격으로 형성시킨 용량형 습도센서를 설계하였다.

소자의 제조를 위해 0.7 t의 산화규소를 기판으로 사용하였다. 우선 반도체 사진공정을 통해 하부전극의 프리패턴을 형성한 후 크롬을 직류 마그네트론 스퍼터링 방식을 이용해 증착하고 리프트 오프 방식을 이용해 하부전극의 패턴을 형성하였다. 이 때 직류 마그네트론 스퍼터링의 조건은 500 W 3 mtorr이었으며, 크롬을 이용해 100 nm 두께의 하부금속을 증착하였다. 이 후 감습층으로 폴리이미드를 스펀코팅 한 후 패터닝을 위해 포지티브 PR을 마스크 층으로 활용하여 감습층의 패턴을 형성하였다. 사용된 폴리이미드는 Hitachi Dupon사의 PIX1400이었으며, 유전율은 $\epsilon = 3.4@50\text{Hz}$ 로 실리콘 산화막을 대체할 수 있도록 특성이 비슷한 제품을 선택하였다. 폴리이미드의 코팅은 3000 rpm에서 1분 30초 간 스펀코팅을 진행하였다. 패터닝된 폴리아믹산의 imidization을 위하여 300°C 에서 1시간 큐어링을 실시하였다. 마지막 공정으로 상부 전극을 리프트 오프 방법으로 형성하였는데 증착방법은 직류 마그네트론 스퍼터링을 하였다. 이 때 스퍼터링 조건을 전력과 온도로 다변화시켜 상부금속의 그레인 크기 변화를 유도하였다. 제조 시 상부금속은 크롬을 사용하였으며 제조 시 공정은 전력을 80-500 W로 변화 시켰으며, 증착 시 온도는 $80-120^\circ\text{C}$ 로 변화시켜 습도센서의 전기적 특성 변화를 연계 분석하였다. 금속입자의 변화에 사용된 스퍼터 장비는 (주)소로나의 SRN-120 모델을 이용하였다.

제조된 용량형 습도센서의 감습층의 두께는 $0.8-1.03 \mu\text{m}$ 이었으며 전체 용량값 330 pF에 맞춰 면적을 설계하였다. 측정 시 금속패드를 이용해 소자의 외부로 리드를 형성하였다. 소자의 측정은 HP 4980 LCR meter를 이용하였으며, 측정 시 주파수는 1 MHz, 1 V를 이용하였다. 측정 시 항온항습 챔버가 가진 센서가 설정된 상대습도까지 안정화되는데 소요된 시간은 대략 30분 정도가 되었다. 측정 시 상대습도는 30-80%에서 측정하였으며, 측정 시 온도는 25°C 에서 실시하였다. 그림 1에는 용량형 습도센서의 설계 단면도를 나타내었으며, 그림 2에는 제조된 용량형 습도센서의 사진을 나타내었다.

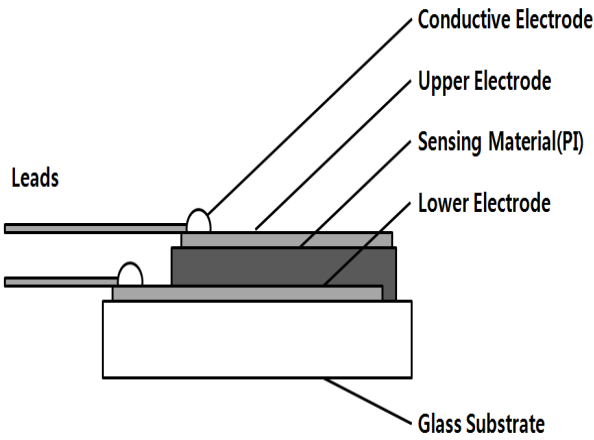


Fig. 1. The schematic of capacitive relative humidity sensor.

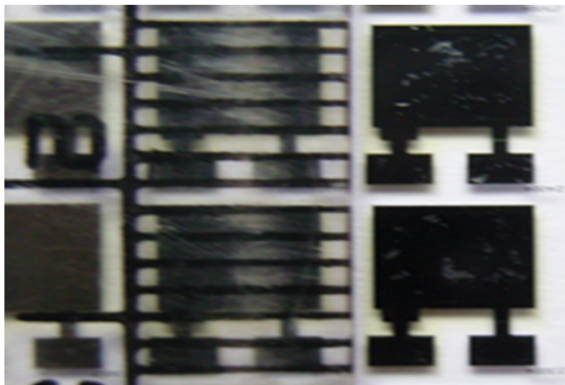


Fig. 2. The photo of fabricated humidity sensor.

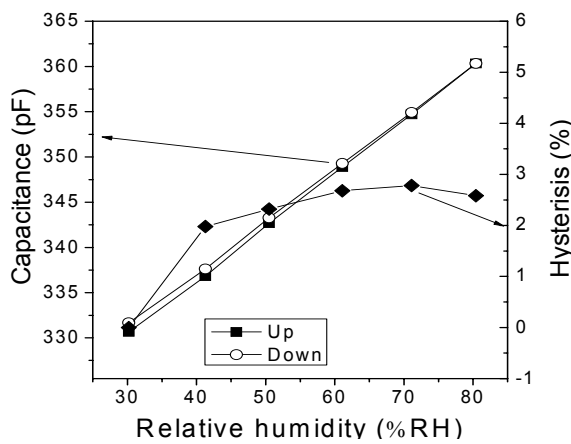


Fig. 3. Capacitance and hysteresis change vs relative humidity.

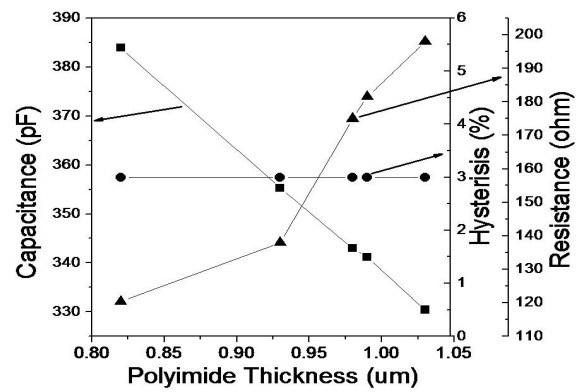


Fig. 4. Capacitance, hysteresis and resistance vs polyimide thickness at 25°C, 30%RH.

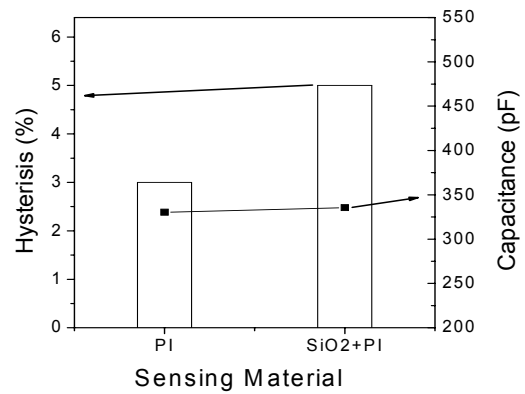


Fig. 5. Hysteresis, capacitance change vs sensing materials.

3. 결과 및 고찰

제조된 용량형 습도센서의 상대습도 변화에 따른 용량값과 히스테리시스 변화를 그림 3에 나타내었다. 측정 시 온도는 25°C, 상대습도는 30%RH-80%RH 구간이었으며 0.67 pFS의 직진성과 0.6 pF/%RH 정도로 매우 안정적인 특성을 나타내었다. 히스테리시스 특성은 가습 및 감습의 순서로 각 상대습도에서 60분 경과 후 정전용량 값을 측정하여 결정하였으며 측정 결과 3% 미만으로 안정적인 특성을 나타내었다.

그림 4에는 제조된 습도센서의 전기적 특성을 감습 층으로 사용된 폴리이미드의 두께에 따른 전기적 특성을 분석하였다. 일반적으로 후막의 폴리이미드 막은 히스테리시스에 영향을 미치는 것으로 알려져 있

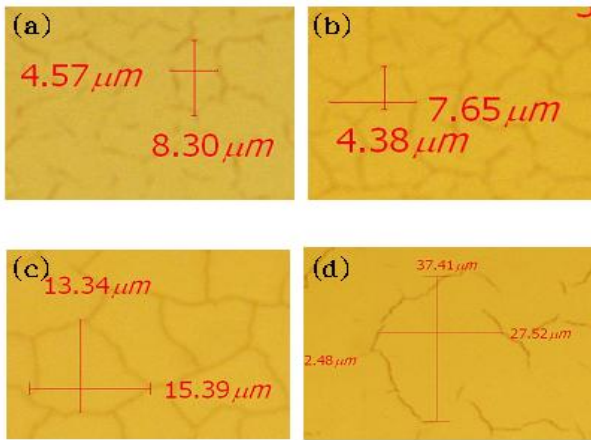


Fig. 6. Grain size change by the upper electrode formation conditions.

- (a) 80 W 3 mtorr @ 80°C on PI ≈ 4 μm
- (b) 100 W 3 mtorr @ 80°C on PI ≈ 4 μm
- (c) 100 W 3 mtorr @ 120°C on PI ≈ 13 μm
- (d) 500 W 3 mtorr @ 80°C on PI ≈ 27 μm

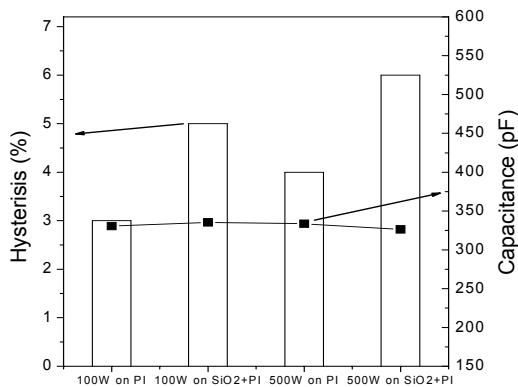


Fig. 7. Hysteresis and capacitance change vs upper electrode formation conditions and sensing materials at 80°C to deposition.

- 100 W 3 mtorr on polyimide
- 100 W 3 mtorr on SiO₂+polyimide
- 500 W 3 mtorr on polyimide
- 500 W 3 mtorr on SiO₂+polyimide

다. 분석결과 폴리이미드의 두께증가는 용량값의 감소와 상하부 전극 간의 저항증가에 영향을 미치는 것으로 분석되어 전형적인 용량형 습도센서의 특성을

나타내었다. 그러나 1.0 μm 정도의 박막 폴리이미드에서 감습층의 두께증가는 히스테리시스에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 이는 감습막 내부의 요인에 의해 히스테리시스가 변화하지 않음을 의미한다.

그림 5에는 감습층을 폴리이미드 하나로만 형성시켰을 경우와 실리콘 산화막과 폴리이미드 2개의 막을 적층로 형성시켜 제조한 습도센서의 전기적 특성을 나타내었다. 이 때 실리콘 산화막을 형성시킨 방법은 RF스퍼터링 방법으로 두께는 200 nm로 증착시키고 총 용량값은 330 pF이 되도록 폴리이미드의 막 두께를 제조하였다. 분석결과 감습층으로 폴리이미드에 실리콘 산화막을 추가해 제조한 습도센서의 히스테리시스가 더 높게 나타났다. 이러한 히스테리시스의 변화는 가습과 감습 시 폴리이미드와 금속전극 계면에서의 물 분자 포획 이 외에도 실리콘 산화막과 폴리이미드의 계면에서 물 분자 포획이 추가되어 발생하는 것으로 예측되며, 히스테리시스를 발생시키는 핵심요소로 물 분자의 계면포획 효과를 지적할 수 있다 [3].

그림 6에는 상부금속으로 사용된 크롬의 스퍼터링 증착조건을 변화시킨 그레인의 변화를 나타내었다. 그림 6에서 조건 (a)를 기준으로 (b)로는 인가한 전력을 증가 변화시켰으며 (b)를 기준으로 각각 (c)로는 스퍼터링 시 인가된 온도를 변화시키고 d)로는 전력을 증가시켰다. 그 결과 그레인의 크기는 스퍼터링 조건의 변화 중 전력, 온도에 의존해 그 크기가 변화되는 것으로 분석되었다. 특히 스퍼터링 시 조건이 100 W 3 mtorr 80°C에서 그레인의 크기가 제일 작아지고 그레인 경계는 희미해지기 시작하는 것으로 나타났으며, 크롬 입자의 크기는 대략 4 μm 수준이었다. 또한 스퍼터링 조건변화 시 온도와 전력이 증가되면 상부금속의 크롬입자 크기도 동반하여 커지며 그레인 경계 또한 선명해지는 것으로 분석되었다. 그러나 증착 시 인가되는 온도가 2°C만 변화되어도 크롬의 그레인 크기는 급격히 변화되어 온도에 매우 민감하게 변화되는 것으로 나타났다.

그림 7에는 상부금속의 형성 조건변화에 따라 히스테리시스의 변화를 나타내었다. 분석결과 제조된 습도센서의 용량값은 매우 일정한 반면 상부금속 입자의 변화에 따른 히스테리시스는 상부금속 그레인의 크기가 작을수록 히스테리시스가 감소하는 것으로 분석되었다. 그러나 히스테리시스의 변화는 상부금속 그레인의 크기변화에 의해 발생하는 히스테리시스보다는 감습막이 다층으로 형성되어 발생하는 계면에 의해 더 크게 변화된 것으로 분석되었다. 따라서 폴

리이미드를 이용한 용량형 습도센서에서 히스테리시스를 제어하는 핵심요소로 감습층의 계면효과와 상부 금속의 그레인 제어를 지목할 수 있다. 그러나 상부 금속의 그레인 크기를 조절하기 위해 전력과 온도의 변화에 따른 제어는 공정의 특성상 미려하게 제어되지 않아 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 감습층으로 사용된 폴리이미드의 두께와 상부금속의 그레인 크기를 변화시켜 용량형 습도센서의 소자를 제조하였으며 이에 따른 전기적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 습도센서는 25℃, 30%RH에서 용량값 330 pF, 저항값 183 ohm 정도이었으며 감습층의 두께감소에 의해 용량값의 증가와 저항값의 감소로 변화되며 전형적인 용량형 소자의 특성을 나타내었다. 또한 산화막과 폴리이미드를 감습층으로 사용하였을 때 증가하였으며, 폴리이미드의 두께에 의해 히스테리시스가 변화하지 않았다. 따라서 용량형 습도센서의 히스테리시스는 감습층 막의 내부보다는 감습층 간의 계면 또는 감습층과 금속전극의 계면에서의 물 분자 포획에 의존하는 것으로 분석되었다. 또한 히스테리시스는 스퍼터링 방식으로 증착할 경우 상부금속으로 사용된 크롬의 그레인이 약 4-5 μm 로 작아질 때 히스테리시스가 감소하는 것으로 나타내었다. 스퍼터링 방법을 이용한 상부금속의 그레인을 제어하는 요소로는 전력과 온도를 지목할 수 있으며, 특히 온도의 변화에 민감하게 그레인

의 변화가 변화되었다. 히스테리시스는 폴리이미드가 단층일 때와 100 W 3 mtorr 80℃에서 가장 낮은 3%의 히스테리시스를 갖는 것으로 조사되었다. 따라서 집적화를 위해 스퍼터링 방식을 이용해 제조되는 용량형 습도센서의 히스테리시스를 제어하는 핵심요소로 감습층의 계면과 상부금속의 그레인 크기를 지목할 수 있었으며, 이에 대한 활발한 연구가 진행될 것으로 사료된다.

감사의 글

소자의 측정에 도움을 주신 경기나노특화랩의 성호근 실장님께 감사의 뜻을 전합니다.

REFERENCES

- [1] M.A.S. Jaafar, A.R.K. Ralsten and D.D. Denton, *Sensor and material*, **3**, 111 (1991).
- [2] J. Melcher, Y. Daben and G. Arlt, *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, **24**, 31 (1989).
- [3] H. Shimizu, H. Matsumoto, M. Asakura and K. Watanabe, *A Digital Hygrometer*, *IEEE Trans. Instrum. and Meas.*, **37**, 300 (1988).
- [4] H. Shibata, M. Ito, M. Asakura and K. Watanabe, *IEEE Trans Instrum. and Meas.*, **45**, 555 (1996).
- [5] J. Crank, *The Mathematica of Diffusion*, Oxford, Clarendon Press (1956).
- [6] N. K. Min, S. W. KIM, S. I. Hong, *IEEK*, **35D-9-11**, 77 (1998).