

폴리이미드 용량형 습도센서의 전극 패턴에 따른 감습 특성

박성백¹, 신훈규², 임준우³, 장상목¹, 권영수^{1,a}

¹ 동아대학교 대학원 나노공학과

² 포항공과대학교 나노융합기술원

³ 경남정보대학교 전자정보계열

Humidity Sensitive Characterization by Electrode Pattern on the Capacitive Humidity Sensor Using Polyimide

Sung-Back Park¹, Hoon-Kyu Shin², Jun-Woo Lim³, Sang-Mok Chang¹,
 and Young-Soo Kwon^{1,a}

¹ Department of Nano Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

² National Institute for Nanomaterials Technology, Pohang University of Science and Technology,
 Pohang 790-784, Korea

³ Subdivision of Electronic Information Engineering, KyungNam College of Information & Technology,
 Busan 617-701, Korea

(Received August 11, 2014; Revised August 20, 2014; Accepted August 21, 2014)

Abstract: Electrode pattern effects on the capacitive humidity sensor were investigated. The fabrication of the capacitive humidity sensor was formed with three steps. The bottom electrode was formed on the silicon substrate with Pt/Ti thin layer by using shadow mask and e-beam evaporator. The photo sensitive polyimide was formed on the bottom electrode by using photolithography process as a humidity sensitive thin film. The upper electrode was formed on the polyimide thin film with Pt/Ti thin layer by using e-beam evaporator and lift-off method. Three electrode patterns, such as circle, square, and triangle pattern, were used and changed the sizes to investigate the effects. The capacitances of the sensors were decreased 622 to 584 pF with the area decreament of patterns 250,000 to 196,250 μm^2 . From these results, a capacitive humidity sensor with photo sensitive polyimide is expected to be applied to a high sensitive humidity sensor.

Keywords: Capacitive humidity sensor, e-beam evaporation, Electrode pattern, Photo sensitive polyimide

1. 서 론

a. Corresponding author; ykwon@dau.ac.kr

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

산업이 발전하면서 각종 산업용 장비나 주변 환경에 대한 모니터링을 위한 다양한 센서의 용도가 증가하고 있다. 센서는 인간의 오감을 대신하여 측정 대상물로부터 정보를 검지하여 전기적인 신호로 변환시키는 역할을 담당하는 소자이다. 자동화, 정밀화, 원격 조정 및 고기능화 등 각종 산업기술의 고도화를

위한 필수 핵심적인 부품이다. 또한, 측정 대상물로부터 정보를 감지 및 측정하는 소자 혹은 측정량을 전기적인 신호로 변환하는 장치이다. 이들은 온도, 압력, 유량 등과 같은 물리량을 측정하는 물리센서 [1-3]와 가스, 습도, pH와 같은 화학량을 측정하는 화학센서 [4,5]로 크게 구분할 수 있다.

최근 들어 화학센서의 일종인 습도센서가 단순한 습도계측만의 활용범위를 벗어나 그 용도나 산업범위가 넓어지고 있다. 예를 들면, 온실에서 재배되고 있는 식물의 최적의 생육 조건을 위한 습도 제어, 지능형 빌딩에서의 인간에게 쾌적함으로 줄 수 있는 습도 제어, 식품의 냉장보관의 최적 조건을 구현하기 위한 계측에 이르기까지 활용범위가 확장되었다. 습도센서의 사용 범위가 확대되고 고기능이 요구되면서 실온에서 뿐만 아니라 영하 40℃에서 100℃ 온도 범위에서 수십 ppm에서 100%RH (상대습도)까지 넓은 범위의 습도 측정을 필요로 하게 되었다. 또한, 아주 저가의 센서의 기능불량으로 고가의 계측기에 대한 신뢰를 잃어버리는 경우도 발생하기 때문에, 좋은 특성을 가지는 센서는 정밀계측기를 만드는데 반드시 필요하다. 습도 센서는 감습재료에 따라서 세라믹, 고분자, 전해질, 반도체센서로 나누어지고 습도를 측정하는 방법 가운데 전기적으로 측정하는 방식에는 크게 전기저항형 [6-11]과 정전용량형 [12-18]으로 나눌 수 있다.

전기저항형 습도센서는 측정공기의 수증기량에 따라 감습성 고분자막 내부의 수분함유량이 변화하게 된다. 함유된 수분에 따라 고분자막 내부에서 이온이 분리되고, 그 결과 전기저항이 변화하게 된다. 따라서 습도가 높을수록 이온의 양이 많아져서 저항값은 낮아지게 된다. 전기저항형 습도센서는 제작 과정이 간단하여 비교적 저렴하게 대량생산이 가능하여 가정용으로 많이 이용되고 있다. 하지만, 대부분의 전기저항형 습도센서는 온도의존성이 강하여 온도 보정이 필요하다. 그리고 저온저습도 영역 (10℃ 20%RH 이하)에서는 전류가 거의 흐르지 않게 되어 전기저항값을 측정할 수가 없어져서, 습도센서로서 기능을 못하게 된다. 또한, 온도 변화에 의해 이슬이 맺히게 되면 감습성 고분자막 내부의 성분이 녹아 나와서 특성이 바뀌게 된다.

정전용량형 습도센서는 측정공기의 수증기량에 따라 투습성 상부전극을 통과하여 감습성 고분자막에 수분이 흡착하게 된다. 이러한 흡착수분량에 따라 감습성 고분자의 유전율이 변화하게 되고, 그 결과로

상하부전극 간의 정전용량이 변화하게 된다. 따라서 습도가 높을수록 유전율이 증가하여 정전용량, 즉 커패시턴스는 증가하게 된다.

고분자 정전용량형 습도센서는 정전용량값을 정확히 제어해야 하기 때문에 전기저항형에 비해서 제작하는 과정이 다소 복잡하고, 약간의 정전용량 변화로 그 결과값에 대한 오차가 커지기도 하는 단점을 가지고 있지만, 기본적으로는 0%RH에 해당하는 극저습에도 습도 측정이 가능하며, 습도에 대한 정전용량의 변화값이 비교적 입력값에 대해서 선형적인 출력 특성을 나타내고, 온도에 따른 센서의 출력 변화가 적어서, 아주 민감한 용도가 아니라면 온도 보정은 필요 없으며, 박막구조를 사용하기 때문에 저항식보다 응답 특성이 빠르다는 장점이 있어 산업용으로 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 감습재료로 감광성 폴리이미드를 사용하여 정전용량형 습도센서를 제작하였고, 반도체 공정인 스핀 코팅 공정을 도입하여 감습막의 두께를 정밀하게 제어하고 원하는 두께의 얇은 박막으로 형성할 수 있도록 함으로써 초기 정전용량값을 크게 하여 정전용량값의 변화분을 늘릴 수 있도록 하여 출력값이 적은 단점을 보완하려 하였다. 그리고 상부전극에 형성되는 구멍의 크기와 모양에 따라서 감습 특성이 어떻게 변화하는지를 분석하고자 하였다.

2. 실험 방법

그림 1과 같이 반도체 단위공정을 이용하여 정전용량형 습도 센서를 제조하였다. 실리콘 웨이퍼를 RCA (radio corporation of America) 세정하고 실리콘 기판과 센서의 하부 전극 사이의 절연을 위해서 1,100℃의 고온 전기로에서 습윤 산소분위기에서 습식 산화하여 5,000 Å 두께의 SiO₂ 산화막을 형성하였다. SiO₂ 산화막 위에 웨도우 마스크를 이용하여 Pt/Ti 구조의 하부전극을 형성하였다. 하부전극은 e-beam evaporator를 사용하여 진공도는 10⁻⁷ torr에서 집착 개선휘 (adhesion promotor)으로 Ti를 300 Å 증착한 다음 2,000 Å 두께의 백금을 증착하여 형성하였다.

형성된 하부전극 위에 800 rpm에서 30초 동안 스핀 코팅하여 폴리이미드를 균일하게 도포하고, 120℃에서 2분 동안 건조한 후, UV 램프 (i-line: λ = 365 nm)로 6초 동안 노광하고 AZ 300 MIF 유기현상액을 이용하여 현상함으로써 감습 패턴을 형성하였다.

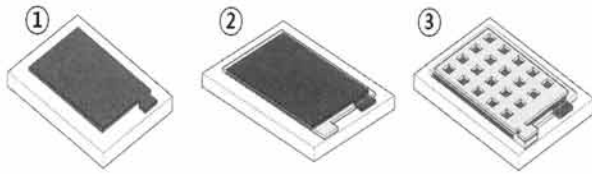


Fig. 1. Process of capacitive humidity sensor. ① lower electrode formation, ② PI pattern formation, and ③ upper electrode formation.

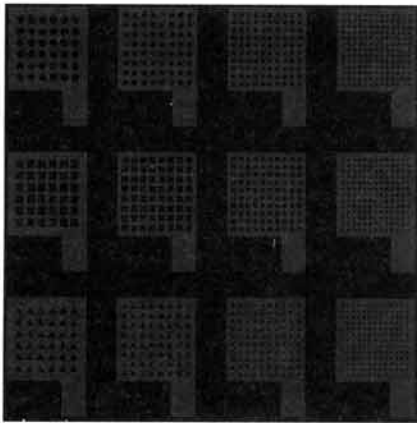


Fig. 2. Patterns of upper electrode.

그리고 250°C의 열판에서 1시간 동안 큐어링을 하여 감습재료를 완성하였다. 폴리이미드 박막 위에 다양한 패턴의 마스크를 사용하여 Pt/Ti 구조의 상부전극을 형성하였다. 상부전극은 e-beam evaporator를 사용하여 진공도는 10^{-7} torr에서 집착 개선층(adhesion promotor)으로 Ti을 300 Å 증착한 후 2,000 Å 두께의 백금을 증착하여 lift-off 기법으로 형성하였다.

상부전극 내의 전극 패턴이 감습 효과에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 다양한 종류의 패턴과 크기의 마스크를 제작하였다. 그림 2에 상부전극용 설계패턴을 나타내었다. 패턴의 모양은 원, 사각형과 삼각형이고, 원의 경우는 직경이 100, 200, 300과 500 μm 이었고, 사각형과 삼각형의 경우는 한 변의 길이가 100, 200, 300과 500 μm 로 하였으며, 패턴 간의 간격은 모든 패턴에서 200 μm 로 고정하였다.

자체 제작한 정전용량 습도센서의 특성을 파악하기 위해서는 온도 영향을 최소화하기 위하여 특정 온도에서 습도를 임의로 설정 변경 가능한 항온항습 시스

템을 구성하여 습도센서의 온도 및 습도에 따른 정전용량의 변화를 측정하였다. 측정회로는 NE555 타이머 IC를 이용하여 습도센서의 정전용량 변화를 주파수 변화로 변환하여 측정하였다. 실험은 정전용량형 습도센서를 항온항습기 내부에 설치한 후, 온도를 25°C로 고정하고 항온항습기의 습도를 30, 50, 70, 및 90%RH로 가변하면서 출력되어지는 주파수를 측정하여 분석하였다. 에스와이하이테크 반도체용 정전용량형 습도센서(SY-HC)와 응답 특성을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전극 패턴에 따른 감습 특성

그림 3은 직경 100, 200, 300, 그리고 500 μm 의 원형 패턴 상부전극의 감습 특성을 나타낸 것이다. 그림 3에서 단위 패턴의 면적이 커질수록 정전용량값이 작아지는 것을 알 수 있다. 평행판 구조를 가지는 커패시터는 전극 면적과 정전용량은 서로 비례하는데, 패턴의 면적이 커질수록 커패시터의 전극 면적은 줄어들기 때문에 정전용량값이 작아지는 것으로 해석된다. 모든 직경에서 감도는 2.5 pF/%RH였으며, 정전용량의 출력값이 전극 면적과 관계없이 선형적으로 측정되었다.

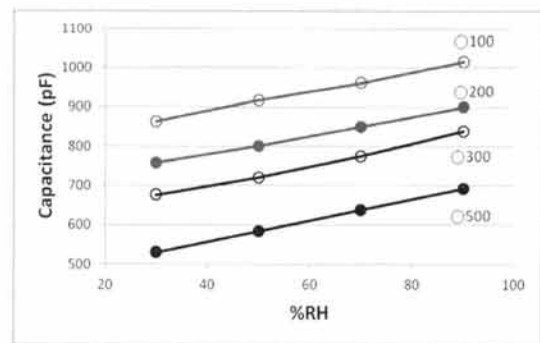


Fig. 3. Capacitance changes with relative humidity of the circular pattern upper electrode capacitive humidity sensor.

그림 4는 변의 길이가 100, 200, 300, 그리고 500 μm 의 삼각형 패턴 상부전극의 감습 특성을 나타낸 것이다. 원형 패턴에서와 마찬가지로 패턴의 면적이 커

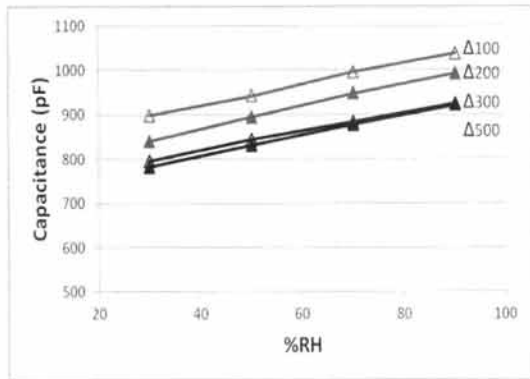


Fig. 4. Capacitance changes with relative humidity of the triangular pattern upper electrode capacitive humidity sensor.

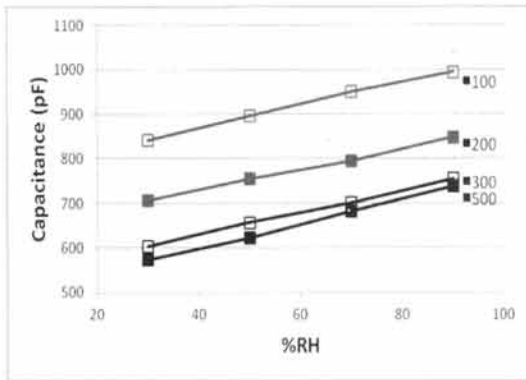


Fig. 5. Capacitance changes with relative humidity of the rectangular pattern upper electrode capacitive humidity sensor.

질수록 정전용량값은 작아지는 것을 확인할 수 있다. 패턴의 면적이 커질수록 커패시터의 전극 면적은 줄어들기 때문에 정전용량값이 작아짐을 알 수 있었고, 감도는 2.5 pF/%RH였으며, 정전용량의 출력값이 전극 면적과 관계없이 선형적으로 측정되었다. 삼각형 패턴에서는 원형 패턴에서와는 달리 변의 길이가 300 μm 일 때와 500 μm 일 때의 정전용량값이 비슷하게 나타났다.

그림 5는 변의 길이가 100, 200, 300, 그리고 500 μm 의 사각형 패턴 상부전극의 감습 특성을 나타낸 것이다. 원형 패턴이나 삼각형 패턴과 마찬가지로, 패턴의 면적이 커질수록 정전용량값은 작아지는 것을 확인할 수 있다. 패턴의 면적이 커질수록 커패시터의 전극

면적은 줄어들기 때문에 정전용량값이 작아짐을 알 수 있다. 감도는 2.5 pF/%RH였으며, 정전용량의 출력값이 전극 면적과 관계없이 선형적으로 측정되었다. 사각형 패턴에서도 삼각형 패턴과 같이 변의 길이가 300 μm 일 때와 500 μm 일 때의 정전용량값이 비슷하게 나타났다.

3.2 전극 면적에 따른 감습 특성

표 1에 패턴의 형태와는 상관없이 50%RH에서 상부전극에 형성된 단일 전극 창의 면적에 따른 정전용량값의 변화를 상호 비교하여 보았다. 각각의 상부전극 패턴 형태에서는 상부전극에 형성되어 있는 단일 전극 창의 면적에 반비례하여 정전용량값이 측정되었으나 전극 패턴의 형태와 단일 창 면적을 동시에 비교하여보면 표 1에 굵은 선으로 나타낸 부분에서 면적이 더 작음에도 불구하고 정전용량값이 더 작게 측정되었다.

Table 1. Capacitance variation as a function of pattern area at 50%RH.

Type and Size of Pattern(μm)	Sensing Area (μm^2)	Capacitance (pF)
□500	250,000	622
○500	196,250	584
△500	125,000	831
□300	90,000	657
○300	70,650	720
△300	45,000	844
□200	40,000	755
○200	31,400	801
△200	20,000	894
□100	10,000	896
○100	7,850	917
△100	5,000	942

예를 들어, 사각형 창의 면적이 250,000 μm^2 이고, 원형 창의 면적이 196,250 μm^2 으로 원형 창의 면적이 더 작음에도 불구하고 정전용량값은 각각 622 pF과 584 pF으로 원형 창의 정전용량값이 더 작았다. 본 연구에서 실시한 다른 습도 조건에서도 같은 결과를 확인할 수 있었다. 이 결과로부터 정전용량형 습도센서에 있어서 상부전극의 단일 창의 면적뿐만 아니라

창의 패턴도 감습 특성에 영향을 끼침을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 정전용량형 습도센서에서 상부전극의 전극 패턴의 영향을 고찰하기 위하여 반도체 단위 공정을 이용하여 실리콘 기판 위에 5,000 Å 두께의 SiO₂ 산화막을 형성하고, 웨도우 마스크를 이용하여 Ti 300 Å, 2,000 Å 백금의 하부전극을 형성하고, 하부전극위에 감습재료 폴리이미드를 균일하게 도포한 다음, 다양한 패턴의 마스크를 사용하여 Pt/Ti 구조의 상부전극을 형성하여 정전용량형 습도 센서를 제조하였다. 전극 패턴은 원, 사각형과 삼각형이고, 원의 경우는 직경이 100 μm, 200 μm, 300 μm과 500 μm이었고, 사각형과 삼각형의 경우는 한 변의 길이가 100 μm, 200 μm, 300 μm과 500 μm로 하였으며, 패턴 간의 간격은 모든 패턴에서 200 μm로 고정하였다. 면적이 더 넓은 사각형 패턴일 때 보다 원형 패턴일 때 정전용량값이 더 작아지는 경우도 있어서 정전용량형 습도 센서를 제작할 때에는 패턴의 면적뿐만 아니라 패턴의 형태도 반드시 함께 고려해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구 결과, 앞으로 정밀하고 정확한 정전용량형 습도센서 제작에 있어서 온도 센서를 같이 내장해서 습도센서를 제작하거나, 여러 개의 특성이 다른 센서를 이용하여 센서 어레이를 구현할 때 기반기술로 기대되어진다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원 (KOSEF, 2013-0190)을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] J. C. Greenwood, *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 21, 1114 (1988).
- [2] K. E. Peteren, *Proc. IEEE*, 70, 420 (1982).
- [3] J. M. Giachino, *Sensors and Actuators*, 10, 239 (1986).
- [4] S. Moller, J. Lin, and E. Obermeier, *Sensors and Actuators B*, 24, 343 (1995).
- [5] R. E. Cavicchi, S. Semancik, and C. J. Taylor, *J. Electroceramics*, 9, 155 (2002).
- [6] Y. Y. Qiu, C. Azeredo-Leme, L. R. Alcacer, and J. E. Franca, *Sensors and Actuators A*, 92, 80 (2001).
- [7] U. Dellwo, P. Keller, and J. U. Meyer, *Sensors and Actuators A*, 61, 298 (1997).
- [8] D. G. Yarkin, *Sensors and Actuators A*, 107, 1 (2003).
- [9] N. Zhang, K. Yu, Z. Zhu, and D. Jiang, *Sensors and Actuators A*, 143, 245 (2008).
- [10] T. M. Berlicki, E. Murawski, M. Muszynski, S. J. Osadnik, and E. L. Prociow, *Sensors and Actuators A*, 64, 213 (1998).
- [11] S. P. Yawale, S. S. Yawale, and G. T. Landhade, *Sensors and Actuators A*, 135, 388 (2007).
- [12] T. J. Harpster, B. Stark, and K. Najafi, *Sensors and Actuators A*, 95, 100 (2002).
- [13] Y. Ma, S. Ma, T. Wang, and W. Fang, *Sensors and Actuators A*, 49, 47 (1995).
- [14] M. Bjorkqvist, J. Salonen, J. Paski, and E. Laine, *Sensors and Actuators A*, 112, 244 (2004).
- [15] E. J. Connolly, G. M. O'Halloran, H. T. M. Pham, P. M. Sarro, and P. J. French, *Sensors and Actuators A*, 99, 25 (2002).
- [16] F. Reverter and O. Casas, *Sensors and Actuators A*, 143, 315 (2008).
- [17] A. Foucaran, B. Sorli, M. Garcia, F. Pascal-Delannoy, A. Giani, and A. Boyer, *Sensors and Actuators A*, 79, 189 (2000).
- [18] J. Das, S. M. Hossain, S. Chakraborty, and H. Saha, *Sensors and Actuators A*, 94, 44 (2001).