

고감도 폴리이미드 정전용량형 습도센서의 개발

조민희, 민남기
고려대학교

Development of highly sensitive polyimide capacitive humidity sensors

Min Hee Cho, Nam Ki Min
Korea University

Abstract - 본 논문에서는 폴리이미드를 감습제로 한 정전용량형 습도 센서의 상용화 연구 결과를 보고한다. 유리 기판상에 제작된 용량형 습도센서는 감도 0.338pF%RH, 히스테리시스 1.7%인 특성을 나타내었다.

2.1 상부전극 형상 의존성

그림 2는 하부전극과 폴리이미드 두께는 동일한 반면 상부전극의 형상을 달리한 습도 센서의 구조를 나타낸 것이다. 그림2 (c)의 센서의 감도가 약간 더 컸으나, 서로 큰 차이는 보이지 않았다 따라서 주로 그림2 (a) 빗살형 상부전극을 갖는 습도센서로 실험을 진행하였다.

1. 서 론

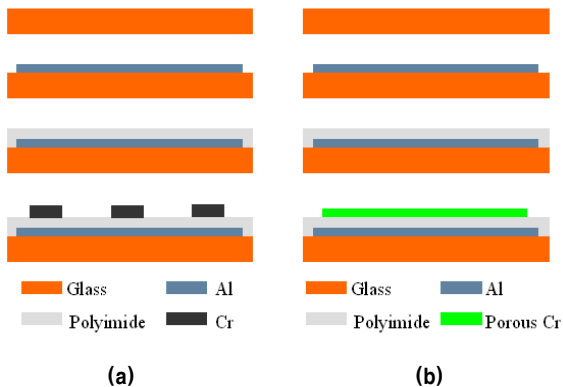
현재 의료, 농업, 임업 및 산업분야 뿐만 아니라, 일상생활에서 쾌적한 공간을 원함에 따라 민생 분야에서도 습도 측정 및 제어의 필요성이 점차 요구되고 있다. 이러한 요구에 따라 다양한 습도센서가 개발되어 널리 이용되고 있다.

종래에는 습도센서의 재료로 세라믹이 많이 사용되었으나, 현재에는 사용이 간편하고 집적화가 용이한 고분자를 감습제로 한 습도센서가 주류를 이루고 있다. 국내에서는 저항형 고분자 습도센서가 상용화 되어 시판되고 있으나, 그 특성이 매우 나쁘다. 이러한 국내 실정을 고려하여 본 논문에서는 감습막으로 폴리이미드를 사용한 정전용량형 습도센서의 상용화 연구를 수행하였으며, 그 결과를 간단히 보고하고자 한다.

2. 본 론

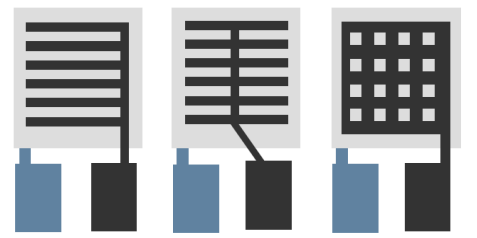
2.1 센서제작 및 특성 측정

그림1은 정전용량형 습도센서의 제작과정을 나타낸다. 습도센서는 파이렉스 글라스(Pyrex Glass) 위에 제작되었다. 먼저 스퍼터(Sputter)를 이용하여 하부전극으로 사용할 Al를 2000Å 증착하였다. 감습막으로 사용된 폴리이미드의 부착력을 향상시키기 위해 스핀 코터(Spin Coater)를 사용하여 HMDS를 선처리 한 후, 폴리이미드를 5000rpm으로 코팅하였다. 코팅 후, Vacuum을 사용하여 폴리이미드 전기적 특성을 저해하는 기포를 제거하였다. 140℃에서 프리베이크(Pre-bake) 후, N₂ 분위기에서 200℃ 및 350℃로 각각 1h씩 큐어링(Curing)을 진행하여 PI 두께를 1.3µm으로 제어하였다. 마지막으로 그림 1(a)는 상부전극을 하부전극과 동일한 방식으로 스퍼터를 사용하여 Cr을 2000Å 증착하였고, 그림 1(b)는 Cr을 다공성으로 증착하였다.



〈그림 1〉 습도센서 제작과정

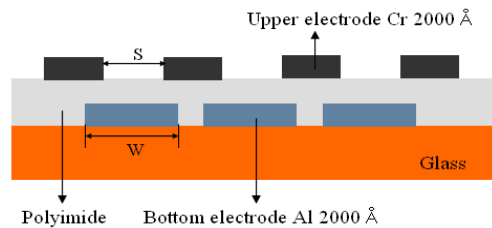
제작된 습도 센서의 정전용량 변화는 센서를 항온항습조에 넣은 후 각 습도 점에서 20분간 방치한 후, LCR meter(Agilent, 4263B)를 사용하여 측정하였다.



〈그림 2〉 다른 상부전극을 갖는 습도센서

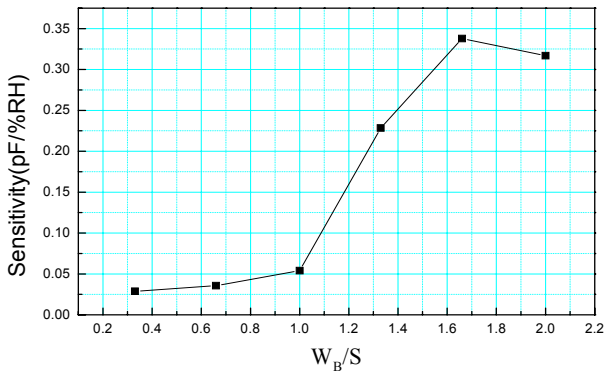
2.2 하부전극 형상 의존성

하부전극의 형상이 센서특성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 그림 3과 같은 구조에서 상부전극 폭과 간격을 30µm로 고정시키고, 하부전극의 폭을 10µm, 20µm, 30µm, 40µm, 50µm, 60µm으로 변화시켰다.



〈그림 3〉 하부전극영향을 고찰하기 위한 습도센서 구조

그림 4는 하부전극 선폭에 따른 감도의 변화를 나타낸다. 선폭이 좁은 순서대로 0.033pF%RH, 0.028pF%RH, 0.036pF%RH, 0.054pF%RH, 0.228pF%RH, 0.338pF%RH, 0.317pF%RH로 측정되었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, W_B/S=1이 될 때까지는 감도의 변화가 매우 적으나, 그러나 W_B/S=1이 되는 점에서 감도가 급격히 증가하기 시작하여 W_B/S=1.6부터 포화되었다. 이와 같은 경향은 Yang[3] 등이 발표한 결과와 매우 다르다. 그들은 그림과 같이 상하부 전극이 지그 제그로 배치되어 있고 상호 겹침이 없는 경우 불평등 전계가 형성되어 정전용량이 증가한다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 오히려 상하부 전극이 겹치기 시작하는 지점(W_B/S=1)부터 감도가 급격히 증가하여 하부전극이 연속적으로 되는 점에서 포화되고 있다. 이것은 전계효과보다는 상하부 전극이 겹쳐지는 면적이 증가함에 따라 평등전계가 형성이 되기 때문에 높은 감도를 나타내는 것으로 생각된다.



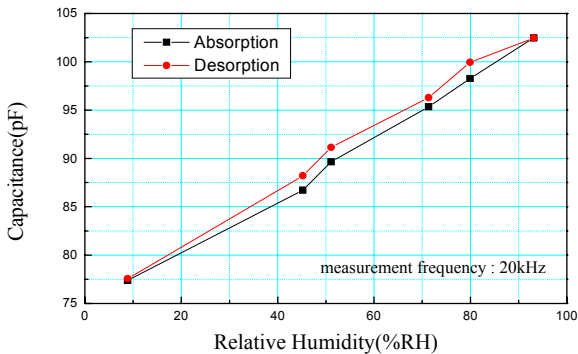
〈그림 4〉 하부전극의 선폭에 따른 평균 Sensitivity

2.4 공정변수 의존성

센서의 특성, 특히 히스테리시스와 장기안정성은 감습제인 폴리이미드 박막 특성에 의해서 결정된다. 스핀 코팅된 폴리이미드 박막의 구조는 큐어링 온도, 표면처리 등에 의해서 결정된다. 폴리이미드를 각각 250°C, 300°C, 350°C, 400°C에서 큐어링 한 후 감도를 측정된 결과 350°C에서 큐어링한 폴리이미드가 최고의 감도를 나타내었다.

일반적으로 시간이 경과함에 따라 습도센서는 특성 변화를 일으킨다. 이러한 경년변화는 폴리이미드의 구조변화와 관련된다고 생각된다. Suzuki[4] 등은 고분자 표면을 플라즈마 처리하면, 감도가 증가한다고 보고하였다. 본 논문에서는 폴리이미드를 큐어링 한 후 산소 플라즈마로 표면을 처리하여 감도, 히스테리시스, 장기 안정성을 고찰하였다. 표면 처리된 폴리이미드는 플라즈마 조건에 따라 1.5-2배의 감도 증가를 나타내었다.

그림 5은 하부전극의 선폭이 50 μ m 이하의 히스테리시스 특성을 습도 범위 10%RH - 90%RH 사이에서 측정된 결과이다.(측정 조건 : 온도 25°C, 주파수 20kHz). 그 결과 54%RH에서 최대 1.4%의 히스테리시스 특성이 나타났다.

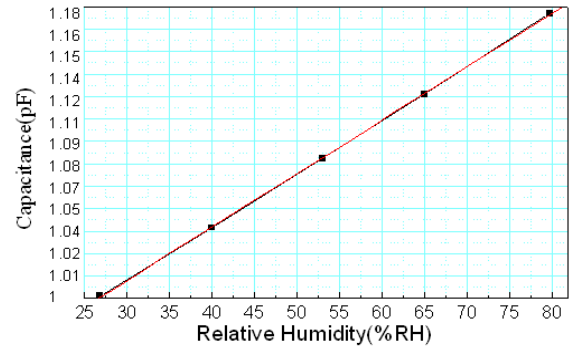


〈그림 5〉 하부전극 50 μ m에서의 히스테리시스

특히 산소 플라즈마 처리 후 특히 장기 안정성은 상당히 개선되었다. Ralston[5] 등에 의하면, 폴리이미드를 고온(80°C), 고습(85%RH)에 장시간 노출시킬 경우, 공기와 접하는 폴리이미드 표면에서 C-N결합이 파괴되고 이어서 가수분해가 발생하고, 이와 같은 열화현상은 습도센서의 장기 안정성이나 신뢰성에 큰 영향을 미친다고 보고하고 있다. 폴리이미드 표면을 산소 플라즈마로 처리하면, 표면에서 카보닐 탄소 결합(C=O)의 증가가 관측되는데, 이것이 표면을 안정시키고 C-N 결합의 파괴를 감소시킴으로서 열화현상을 지연시켜 장기 안정성이 향상된다고 생각된다.

2.5 다공성 상부전극을 갖는 센서 특성

그림6 은 상부전극을 다공성 Cr로 제작한 습도센서의 감도특성을 나타낸 것이다. 감도도 증가하였고, 응답시간도 상당히 개선되었다. 특히 상부전극의 저항이 증가하는데, 이것은 마이크로 크랙이나 보이드의 모양에 크게 의존한다.



〈그림 6〉 다공성 상부전극 습도센서의 감도 특성

다공성 전극의 경우 센서의 특성은 다공성의 정도에 의해서 결정된다. 현재 다공성 전극 습도센서의 히스테리시스, 장기 안정성, 상부전극 감소대책 등을 연구 중이다.

3. 결 론

본 논문에서는 다양한 형태의 상부전극과 다공성 상부전극을 갖는 두 종류의 정전용량형 습도센서를 제작하여 상용화의 가능성을 검토하였다. 감습 물질로 1.3 μ m 두께의 폴리이미드를 사용하여 하부 전극 선폭 별 감습 특성을 측정하였다. 그 결과 최대 3% 이내의 히스테리시스 특성을 나타내었고, 하부 전극의 선폭이 50 μ m일 때 감도가 가장 높았으며, 그 이상에서는 감도가 포화되었다. 또한 폴리이미드 표면을 산소 플라즈마로 처리하여 감도, 히스테리시스, 장기 안정성의 크게 향상됨을 확인하였다. 이러한 것은 플라즈마에 의해서 발생된 C=O결합이 폴리이미드의 열화를 지연시키기 때문인 것으로 생각된다.

다공성 상부전극을 갖는 습도센서는 감도와 응답시간에서 우수한 특성을 나타내었으나, 히스테리시스와 장기 안정성 등은 현재 연구 중이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 민남기, 김수원, 홍석인, "폴리이미드 박막을 이용한 투 칩 집적화 습도센서", 대한전자공학회, 제 35권, pp. 77~86, 1998
- [2] Hideo Shibata Masahiro Ito, Masahiro Asakursa, and Kenzo Watanabe, "A Digital Hygrometer Using a Polyimide Film Relative Humidity Sensor", IEEE Trans. Instrum. and Meas., vol. 45, pp. 564~569, 1996
- [3] Ya Ling Yang, Lieh Hsi Lo, I Yu Huang, Henry J.H. Chen, Wen Shen Huang, and Star R.S Huang, "Improvement of Polyimide Capacitive Humidity Sensor by Reactive Ion Etching and Novel Electrode Design", IEEE, pp.511~513, 2002
- [4] Takeharu Suzuki, "O₂ plasma treated polyimide-based humidity sensors", Analyst, 2002
- [5] Andrew R.K. Ralston, "A model for dielectric behavior"