

불소를 함유한 폴리이미드를 사용하여 정확도가 향상된 IDT 정전용량형 습도센서

김상훈*, 김영민*, 홍성욱**
 *(주)멤스칩 연구개발부, **아이소닉스
 e-mail:goindol92@naver.com

Interdigitated-Type Capacitive Humidity Sensor with Improved Accuracy Using the Fluoride-Containing Polyimide

Sang-Hun Kim **, Young-Min Kim *, Soung-Wook Hong **
 *Dept. of R&D Center. MEMSChip , ISONICS

요약

본 논문에서는 정확도 향상을 위한 폴리이미드를 사용해 빗살전극형의 정전용량형 습도센서를 제작하고 센서특성을 측정하고 분석하였다. 6인치 실리콘 웨이퍼에 반도체 공정을 통해 빗살전극형의 정전용량형 습도센서를 제작하였고 불소가 함유된 폴리이미드를 사용하여 정확도를 높이고자 실험을 진행하였다. 제작된 센서를 압력식습도발생기(Thunder)와 LCR미터기 통해 기본특성과 히스테리시스를 측정하였다. 측정분위기는 1V의 전압, 20KHz의 주파수, 25℃의 온도로 설정한 뒤 습도값 20%RH부터 90%RH까지 10%RH간격으로 가습하였으며 다시 90%RH부터 20%RH까지 10%RH간격으로 제습을 하였다. 테스트 결과 감도는 가습에서 31.8fF/%RH, 제습에서는 31.9% fF/%RH로 확인되었으며, 선형특성은 $\pm 1.5\%$ RH로 확인되었다. 가습특성과 제습특성을 통해 확인한 히스테리시스 특성은 $\pm 3\%$ RH로 알 수 있었다.

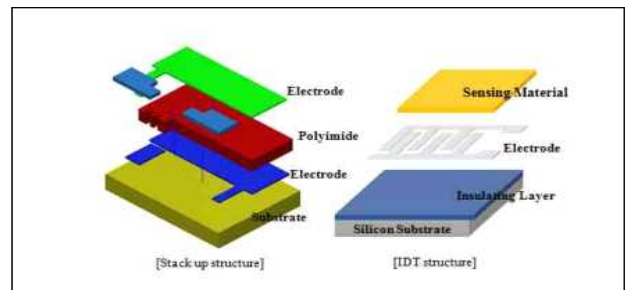
1. 서론

인간은 온도, 습도, 압력 바람 등의 영향 속에서 살고 있으며 이러한 환경인자 중에서 가장 중요한 것은 온도와 습도라고 말할 수 있다. 일상생활 속에서 장마 기간이 되면 곰팡이가 생긴다거나 신체가 습도의 영향을 느낄 수 있다. 공업 분야에서는 습도가 높으면 각종 기계에서 고장이 발생할 확률이 증가해 신뢰성이 떨어지고 연료나 제품의 열화현상이 일어나는 악영향이 있다. 따라서 습도는 인간의 생활이나 공업 생산 분야 모두에서 중요한 요소가 된다 [1].

현재 상용화되어 널리 사용되고 있는 습도센서로는 저항형 습도센서와 정전용량형 습도센서로 구분할 수 있다. 저항형 습도센서는 구조가 간단하고 제조 공정이 간단하여 가격이 저렴하다는 장점이 있지만, 온도 보정이 필요하거나 낮은 습도의 측정이 어려운 단점을 가지고 있다. 정전용량형 습도센서는 낮은 습도의 감지가 가능하고 선형성 및 응답특성이 우수한 장점을 가지고 있지만, 저항형 습도센서에 비해 가격이 비싸다는 단점이 있다 [2-4].

정전용량형 습도센서는 폴리이미드의 감습특성과 유전율을 이용하며, 그림1과 같이 기판에 하부 전극층과 폴리이미드층,

상부 전극층이 적층형태를 가지는 적층형 구조와 빗살 모양의 전극을 가지는 IDT구조의 정전용량형 습도센서가 개발 및 상용화 되고 있다. 그림1은 상용화 되고 있는 대표적인 정전용량형 습도센서(적층형, IDT) 개념도를 보여주고 있다 [5].



[그림 1] 적층형구조와 IDT구조를 가지는 습도센서 개념도

본 논문에서는 습도센서의 정확도를 향상시키기 위해 홍성욱 등이 발표한 논문[7]의 결과를 바탕으로 불소 함유량을 조절한 폴리이미드를 감습물질로 사용하여 IDT구조의 정전용량형 습도센서를 제작하였다. 제작된 웨이퍼는 PCB 상에 후단공정을 통해 센서칩(Sensor Chip)을 만들고 측정장비를 이용하여 센서 특성을 측정 및 분석을 수행하였다.

2. 본론

2.1 정전용량형 습도센서 감습막

일반적으로 폴리이미드는 강직한 방향족 주쇄를 기본으로 하는 열적 안정성을 가진 고분자 물질로 이미드 고리의 화학적 안정과 우수한 기계적 강도, 내화학성 및 내열성 그리고 절연특성 및 낮은 유전율과 같은 뛰어난 전기적 특성 등으로 상용화되어 있는 대부분의 정전용량형 습도센서의 감습막으로 사용되어 오고 있다. 폴리이미드는 두가지의 단량체와 극성용매로 이루어진 폴리아믹산을 화학적 또는 열적인 고분자화를 통해 얻어지는 고분자 물질로 유전상수를 낮게 유지하고 수분에 대한 안정성을 증대하고자 화학적인 반응성이 낮고 소수성을 띄는 불소 또는 염소 등의 7족 원소를 첨가하는 것으로 알려지고 있다[6].

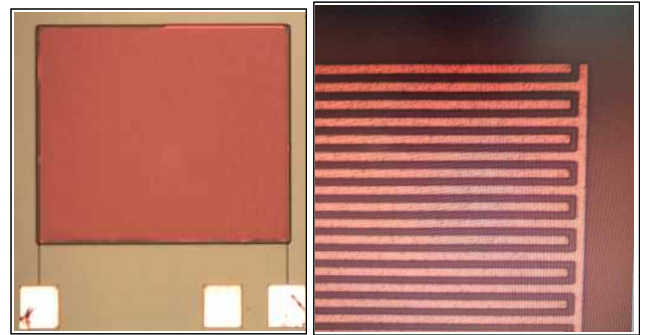
홍성욱 등이 발표한 논문[7]에서 사용한 폴리이미드의 조성분석 결과(EDS 분석)는 탄소(C) 62.48Wt%, 산소(O) 9.38Wt% 그리고 불소성분이 8.44Wt%로 구성되어 있으며, 본 논문에서는 불소성분을 약 20Wt%로 포함한 폴리이미드를 감습막으로 사용하였다.

2.2 센서 설계 및 제작

본 논문에서는 6인치 실리콘 웨이퍼를 기관으로 사용하여 IDT 구조의 정전용량형 습도센서를 제작하였다. IDT 구조의 정전용량형 습도센서 제조 공정방법으로 그림2와 같이 나타낼 수 있다.

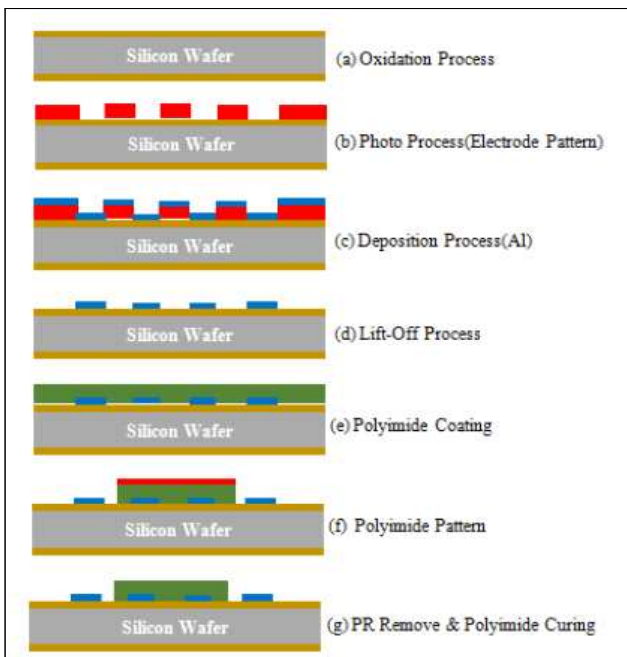
먼저 실리콘 기관 절연을 위해 열 산화(Oxidation) 공정으로 5000Å 두께의 산화막을 성장한다 (그림2-(a)). 산화막 위에 포토공정으로 전극패턴을 형성하고, 패턴내부의 잔류 PR등을 제거하기 위해 플라즈마 장비(Plasma Asher)를 이용해 에싱(Ashing)을 수행한다 (그림2-(b)). 다음 공정으로 열 증착 방법(E-beam evaporation)을 이용해 알루미늄을 1μm의 두께로 증착을 진행하고 (그림2-(c)) 아세톤 과 메탄올을 이용해 Lift Off 공정을 수행해서 전극 및 패드를 제조한다 (그림2-(d)). 이후에는 N2에서 350℃/30분 동안 열처리를 수행한다. 그리고 습도 감지를 위한 폴리이미드를 코팅, 패턴을 형성하고 (그림2-(e))~(그림2-(f)) N2에서 3시간동안 열처리를 수행한다 (그림2-(g)).

공정이 완료된 습도센서의 선폭은 3μm 로 설계되었으며 그림3은 제작된 습도패턴 형태와 그 센서를 확대한 광학현미경 사진을 보여준다. 습도센서의 선폭은 3μm이며 면적은 1.6mm×1.6mm로 설계되었다.

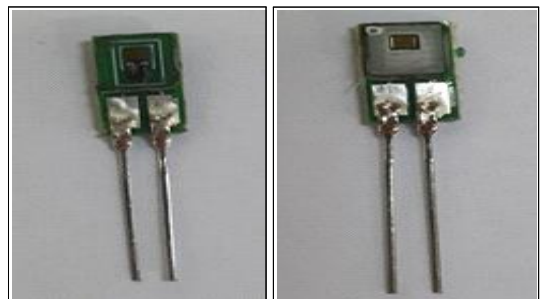


[그림 3] IDT 구조의 정전용량형 습도센서 패턴과 확대사진

6인치 웨이퍼에 제작된 센서 셀은 Wafer Sawing을 수행한 후 후단공정으로 PCB와의 Die Bonding 및 Wire Bonding을 진행하고 Cap Bonding까지 순차적으로 진행하여 PCB셀을 제작하였다. 패키징된 칩의 사이즈는 3.1mm×5.6mm이며 그림4는 제작이 완료된 정전용량형 습도센서의 사진을 보여준다. 센서 하단에는 리드핀(Lead-Pin)을 부착하여 측정 장비와의 전기적인 연결이 가능하도록 제작하였다.



[그림 2] IDT 구조를 가지는 정전용량형 습도센서 제조공정

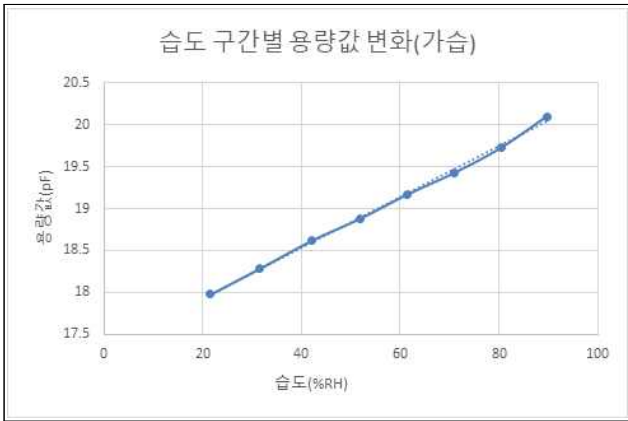


[그림 4] 공정 후 패키징이 완료된 센서

2.3 측정 및 결과

본 논문에서의 습도센서 특성을 측정하기 위해 압력식습도발생기(Thunder), 항온항습챔버(SH-242), LCR 미터기(IM 3533)를 사용하였고 센서를 PC와 통신하여 데이터를 수집하였다.

센서의 선형 특성을 측정하기 위한 실험조건은 1V의 전압, 20Khz의 주파수, 25℃의 온도를 고정조건으로 하고 습도를 10%RH 간격으로 습도를 상승시키며 측정하였다. 그림5는 20%RH부터 10%RH 간격으로 90%RH까지 측정한 그래프를 보여준다.



[그림 5] 습도 구간별 용량값 변화(가습)

측정값과 이론값으로부터 센서의 정전용량값 편차를 구하고 센서의 선형특성은 아래의 식에 의해 구할 수 있다[8].

$$Accuracy(\%RH) = \frac{\text{측정값}(pF) - \text{이론값}(pF)}{\text{센서감도}(pF/\%RH)}$$

이론값은 센서의 추세선 수식에 의해 계산되며, 센서 감도는 추세선의 기울기 값이다.

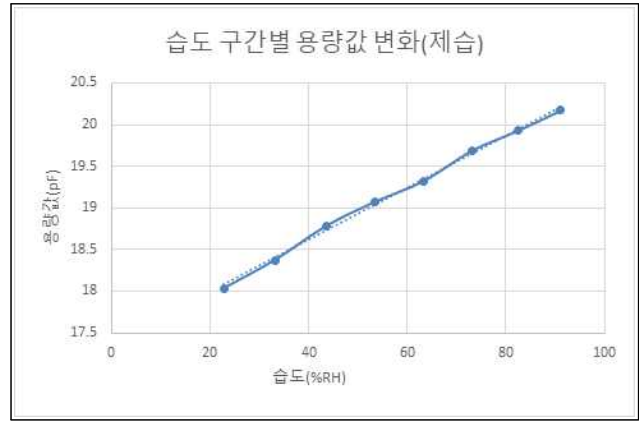
센서의 감도 S는 아래의 식과 같이 단순화하여 구할 수 있다[7].

$$S = \frac{C_h - C_l}{RH_h - RH_l}$$

여기서 RH_h 와 RH_l 은 습도변화 범위 내에서 고습에서의 습도와 저습에서의 습도를 각각 나타내며, C_h 와 C_l 은 R_h 와 R_l 에서의 용량값을 각각 나타낸다.

정확도와 센서의 감도를 구하는 식을 이용하여 측정 데이터 통해 20%RH부터 90%RH까지의 구간에서 추세선의 기울기와 용량값으로 선형성은 $<\pm 1.5\%RH$ 로 알 수 있으며, 센서의 감도는 $31.9fF/\%RH$ 로 확인되었다.

그림6은 90%RH부터 10%RH간격으로 20%RH까지 측정을 진행하여 습도구간별 용량값 변화를 나타낸 그래프이다.

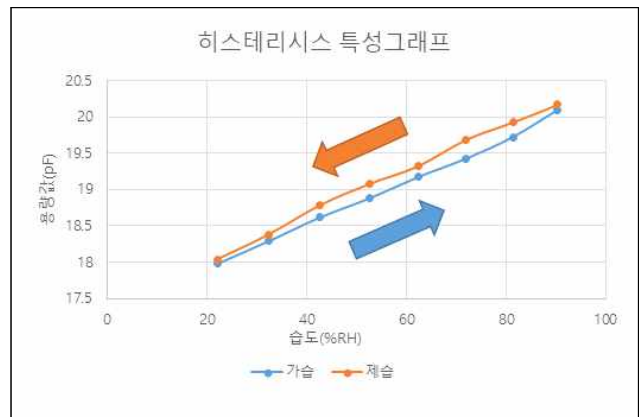


[그림 6] 습도 구간별 용량값 변화(제습)

정확도와 센서의 감도를 구하는 식을 이용해 추세선의 기울기와 용량값으로 선형성은 $<\pm 1.5\%RH$ 로 알 수 있으며, 센서의 감도는 $31.8fF/\%RH$ 로 확인되었다.

측정데이터를 확인해보면 신뢰성테스트를 진행 후 습도 구간별 용량값을 측정하였을 때 마찬가지로 선형성은 $<\pm 1.5\%RH$ 로 알 수 있었고 감도는 $32fF/\%RH$ 로 확인하였다.

그림7은 20%RH부터 90%RH까지 가습특성의 그래프와 제습특성의 그래프를 통해 히스테리시스 특성을 나타낸 그래프이다.



[그림 7] 히스테리시스 특성

측정데이터 확인결과 히스테리시스 특성 $<\pm 3\%RH$ 편차 이내로 다소 높게 측정이 되었는데, 이는 가습 및 제습구간에서 Saturation time이 일정하게 충분치 않아서 용량값의 차이가 나타났다고 보여진다.

3. 결론

본 논문에서는 불소가 함유된 폴리이미드를 이용해 IDT구조의 정전용량형 습도센서를 6인치 실리콘 웨이퍼에 공정을 진행하고 자체적으로 제작한 PCB로 패키징을 진행, 센서특성을 측정하였다. 20%RH부터 90%RH까지 10%간격으로 가습하면서 $<\pm 1.5\%$ RH의 정확도와 31.8fF/%RH의 센서 감도를 확인할 수 있었고 90%RH부터 20%RH까지 10%간격으로 제습하면서 $<\pm 1.5\%$ RH의 정확도와 31.8fF/%RH의 센서 감도를 확인할 수 있었다. 가습특성과 제습특성을 통해 히스테리시스 특성은 $<\pm 3\%$ RH로 알 수 있었다.

제작된 IDT구조의 정전용량형 습도센서는 홍성욱등이 발표한 논문(폴리이미드를 감지층으로 이용한 정전용량형 습도센서의 개발)에서 불소의 함유량을 조절하여 보다 높은 정확도를 가지는 센서특성을 확인할 수 있었다.

앞으로는 히스테리시스 특성에서 $<\pm 2\%$ RH 편차를 가지도록 실험을 진행할 것이다. 또한 주파수 및 전압을 변화시키며 센서가 가지는 응답특성의 변화를 확인해보고 그에 따라 정확도와 센서감도를 알아보는 실험도 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 서화일, “습도센서”, 기술해설-27
- [2] Taechang An, “Evaluation of DC Resistive Humidity Sensors Based on Conductive Carbon Ink,” J, Sensor Sci&Tech, vol 26, no 6, pp.397-401 . 2017
- [3] Z. M. Rittersma, “Recent achievements in miniaturized humidity sensors—a review of transduction techniques,” Sens, Actuator A-Phys vol.96 no.2 pp.196-210, 2002
- [4] Lei Gu, Qing-An Huang, and Ming Qin, “A novel capacitive-type humidity sensors using CMOS fabrication technology,” sensors and Actuator B, vo.99 , iss2-3, pp.491-498. 2004
- [5] 홍성욱, 김영민, 윤영철 “열경화성 폴리이미드를 이용한 빗살전극형 정전용량형 습도센서”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.20 No.6 pp.604-609, 2019
- [6] Seung-Woo Lee, Joo Young Kim, Se Jin Kwon, Hye Mi Seo, “Polyimide and Polyimide Composite Films”, Polymer Science and Technology, Vol.24, No.1 , pp17-24 , 2013
- [7] 홍성욱, 김영민, 윤영철 “폴리이미드를 감지층으로 이용한

정전용량형 습도센서 개발”, 한국정보전자통신기술학회논문지 19-8 Vol.12 No.4

- [8] 홍성욱, “열경화성 폴리이미드를 이용한 빗살전극형 정전용량형 습도센서 연구”, 가톨릭관동대학교 일반대학원 박사학위논문, 2020