

폴리이미드를 감지막으로 한 마이크로 정전용량형 습도센서

신백균¹, 조기선², 박구범², 육재호², 박종권³, 임현찬⁴, 지승환⁵, 김진식⁶

¹인하대학교 전자전기공학부, ²유한대학 전기과, ³유한대학 정보통신과, ⁴대구공업대학, ⁵경원대학교, ⁶국방품질관리소

Micro humidity sensor with poly imide sensitive layer

¹P.K. Shin, ²K.S. Cho, ²G.B. Park, ²J.H. Yuk, ³J.K. Park, ⁴H.C. Im, ⁵S.H. Ji, ⁶J.S. Kim

¹Dept. Elec.Eng. INHA Univ. ²Yuhan College, ³Yuhan College, ⁴Daegu Tech. College, ⁵Kyungwon Univ., ⁶DQAA Korea

Abstract - 반도체 집적회로 공정에서 사용되는 폴리이미드 포토레지스트(PI2723, Dupont)를 감습막으로 사용하는 마이크로 습도센서 소자를 제작하였다. 마이크로 습도센서는 실리콘 웨이퍼 기판 위에 SiO₂ 박막을 건식 열산화 공정으로 제작하고, Al 박막을 포토리스그라피 공정으로 패터닝 한 IDT (Interdigital Transducer)를 전극 위에 폴리이미드 포토레지스트를 공정변수를 다양하게 조절하면서 감습막으로 제작하였다. 폴리이미드 감습막은 스핀코팅법으로 제작하였으며, 회전수를 조절하여 두께를 변화시켰다. 완성된 마이크로 습도센서 소자의 상대습도 변화(10~90% RH)에 따른 정전용량값 변화를 항온항습조 내에서 다양한 온도에서 HP4192A Impedance Analyzer를 사용하여 조사함으로써, 폴리이미드 포토레지스트를 사용하는 마이크로 정전용량형 습도센서의 제작 가능성을 검토하였다. 폴리이미드 정전용량형 마이크로 습도센서는 다양한 인가 전원 주파수에서 기준 센서로 사용된 상용 Vaisala Hygrometer와 유사한 감습특성 및 응답특성을 보였다.

1. 서 론

센서 소자 크기의 초소형화, 멀티 센서화, 집적센서화 및 지능형 센서화는 휴대용 저전력소모 계측기 및 텔레메틱스 응용을 위해 지속적으로 수행되어왔으며, 향후에는 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템의 핵심 기능에 적합한 센서소자 구조로 더욱 활발히 연구개발될 전망이다. MEMS 기술 등을 응용한 초소형 센서소자의 개발은 눈부시게 발전된 실리콘 반도체 집적회로 기술의 적용을 최우선시 하고 있으며, 이는 개발시간의 단축, 제작단가의 절감 및 신호처리 소자와의 호환성의 관점에 기인한다.¹⁻³⁾

폴리이미드는 친수성 계열의 고분자가 아님에도 불구하고, 그 표면에 수증기가 흡착되는 성질을 보이고 있으며, 이는 폴리이미드를 절연막 내지는 보호막으로 사용하는 응용분야에 있어 난제가 되어왔다. 본 연구에서는 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템에 적용될 수 있는 초소형 습도센서 소자를 제작하기 위한 기초연구로 집적회로 공정의 포토레지스트로 사용되는 대표적인 물질인 폴리이미드(PI2723, Dupont)를 감습막으로 하는 마이크로 정전용량형 습도센서 소자를 제작하였다. 이러한 PI2723 폴리이미드를 감습막으로 하는 습도센서 소자는 기존의 실리콘 반도체 집적회로 공정에 100% 호환되며, 본 연구에서 제작된 센서소자의 제반공정은 표준 집적회로 공정을 그대로 활용하였다.

마이크로 습도센서용 감지막으로서의 응용 가능성을 조사하고, PI2723 폴리이미드 포토레지스트의 두께를 조절하기 위해 스핀코팅 시 회전수를 조절하여 제작한 센서소자의 기초적인 상대습도 감지특성을 다양한 인가전원 주파수에서 동일 조건으로 조사한 상용 Vaisala Hygrometer의 감습특성과 비교 검토하였다.

2. 본 론

2.1 PI 감습막의 제작 및 마이크로습도센서 소자 제작

마이크로 센서소자의 제작에 앞서, PI2723 폴리이미드 포토레지스트를 실리콘 웨이퍼 기판 위에 스핀-코팅법으로 회전수(rpm)를 조절하고 표준 열처리를 수행하여, 표준 포토리스그라피 공정기술을 사용하여 소정의 구조로 패터닝 하였다. PI2723 폴리이미드 박막의 증착과정 및 패터닝 과정을 표1에 요약하였으며, 패터닝 된 폴리이미드 박막의 두께를 측정하여, 스핀코터 회전수 변화에 따른 두께변화 추이를 확인하였다.

표1 PI2723 폴리이미드 박막의 증착 및 패터닝공정

공정단계	공정 파라미터
1. 열처리	N2 분위기 120℃ 24h
2. 스핀코팅	PI2723 5ml을 스포일러로 투입 1: 10sec 350 rpm 2: 30sec 2400, 2800, 3200, 3600, 4000 rpm
3. 열처리	1: 75℃ Hot Plate 5min 2: 55℃ Oven, 7 l/min N ₂ 60min
4. 사진식각	exposing time: 24 sec developer: Butyrolacton(1):Xylol(1) rinse: Dupont Rinse rotation developing 적용
5. 열처리	1: 105℃ oven 20min 2: 300℃ oven 20 min 3. cooling at 25℃ 5 min 4. 400℃ 20 min 5. cooling at 25℃
6. 두께측정	시편1: 30sec 2400rpm - 4.06µm 시편2: 30sec 2800rpm - 3.28µm 시편3: 30sec 3200rpm - 2.72µm 시편4: 30sec 3600rpm - 2.14µm 시편5: 30sec 4000rpm - 1.56µm

위와 같은 증착 및 패터닝 공정을 사용한 PI2723 폴리이미드 포토레지스트를 감습막으로 하는 마이크로 습도센서의 제작은 표준 상용 실리콘 웨이퍼(Wacker (100) p-type)를 기판으로 사용하여 제작하였다. 실리콘 기판 위의 절연막으로는 SiO₂ 박막을 습식열산화 공정으로 300nm 두께로 성장시킨 후, 진공증착법으로 300nm 두께의 Al을 하부전극으로 제작하고, 그 위에 PI2723 폴리이미드 감습막이 증착되었으며, 마지막으로 상부전극을 다시 300nm 두께 Al을 진공증착법으로 제작하여 완성하였다. 센서소자의 트랜스듀서 구조는 IDT

(Inter-Digital Transducer)형이었으며, 표2에 소자제작 공정의 개요를 요약하였다.

표2 폴리이미드 IDT 마이크로습도센서의 제작공정

공정단계	공정변수
1. SiO ₂ 습식열산화	1000℃, 38min, 300 nm
2. Al 하부전극 진공증착	1×10 ⁻⁶ Torr, 500nm
3. SiO ₂ LPCVD	450℃, 1000nm
4. SiO ₂ 패터닝	포토리지스터 AZ5206
5. PI2723 증착 및 패터닝	표1 참조
6. Al 상부전극 진공증착	1×10 ⁻⁶ Torr, 300nm
7. Al 패터닝	포토리토그래피 및 Lift-off 공정

2.2 PI 마이크로습도센서 소자의 특성

완성된 폴리이미드 IDT 정전용량형 마이크로센서 소자와 상용 Vaisala Hygrometer를 항온항습조에 설치하고 상대습도를 10%-90%RH 범위로 변화시키고, 온도는 20℃ 및 45℃로 고정하였다. 센서소자의 드리프트 특성, 히스테리시스 특성 등을 조사하기 위하여, 먼저 10%RH에서 90%RH로 상대습도를 10%RH씩 상승시키고 30분간 응답특성을 조사하였으며, 다시 90%RH에서 10%RH로 상대습도를 10%RH씩 하강시키면서 30분간 응답특성을 조사하는 측정과정을 수행하였다. 이러한 과정을 2번 반복하여 센서소자의 단기간 응답특성의 재현성을 조사하였다. 이 때, 폴리이미드 IDT 마이크로센서를 구동하기 위한 최적 인가전원 주파수를 조사하고, 주파수 변화에 따른 응답특성 변화를 조사하기 위해, 주파수를 100Hz, 120Hz, 1 kHz 및 10 kHz를 조사하고, 가장 우수한 응답특성을 보이는 주파수를 선정하여, 위에 언급한 기초 응답특성을 조사하였다.

본 연구에서 제작된 폴리이미드 IDT 정전용량형 마이크로 센서소자는 PI2723 폴리이미드 박막의 두께가 2μm 이상인 시편에서는 미약한 감습특성을 보였으며, 스펀코팅 증착시 2단계 회전수를 4000 rpm으로 하여 두께를 1.56μm로 한 센서시편은 비교대상인 상용 Vaisala Hygrometer와 유사한 감습특성을 보였다. 감습특성을 보인 센서시편의 경우 그 정전용량값은 상대습도가 10%RH 일 때, 약 350pF, 상대습도가 90%RH일 때, 약 420 pF 이었으며, 상대습도의 증가에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한, 상대습도의 증가에 따른 정전용량값 증가의 크기는 Vaisala Hygrometer와 유사하였다.

그림1, 2, 3에는 각각 인가전원 주파수 변화에 따른 센서응답특성의 변화, 120Hz 및 1kHz 인가전원주파수에서의 센서반복응답특성 및 응답특성의 선형성/히스테리시스 특성을 나타내었다. 인가전원 주파수가 10kHz인 경우에 센서 상대습도 응답특성이 저주파일 경우보다, 열악한 것은, 고분자 유전체의 분극현상이 빠른 전원주파수를 따라가지 못하는 유전분산의 영향이다. 이는, 상용 Vaisala Hygrometer에서 유사한 경향을 보이는 바, 센서응답 반복특성, 선형성 및 히스테리시스 특성은 120 Hz 및 1kHz의 인가전원 주파수에서 조사하였다.

그림1-3의 응답특성을 보면, 폴리이미드 마이크로 습도센서를 실제 응용회로에 적용할 때, 인가전원 주파수를 120Hz~1kHz 사이로 하여야 함을 확인할 수 있다. 또한, 폴리이미드 마이크로 습도센서는 응답특성, 선형성, 반복특성 및 히스테리시스 특성에서 상용 Vaisala Hygrometer와 Hygrometer와 유사한 우수한 제반특성

을 보임을 알 수 있다.

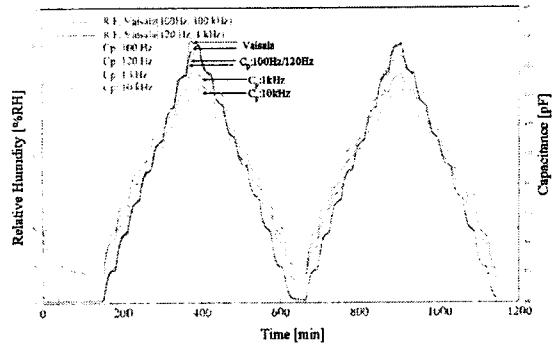


그림1 인가전원 주파수 변화에 따른 상대습도 응답특성 변화

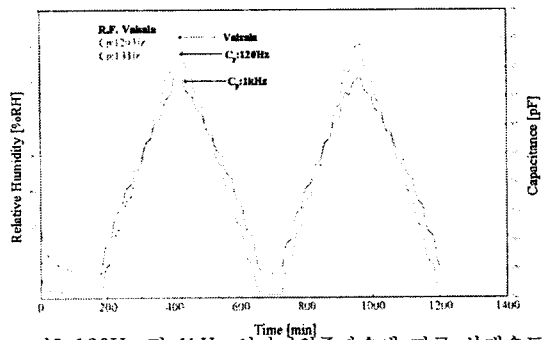


그림2 120Hz 및 1kHz 인가전원주파수에 따른 상대습도 반복응답특성

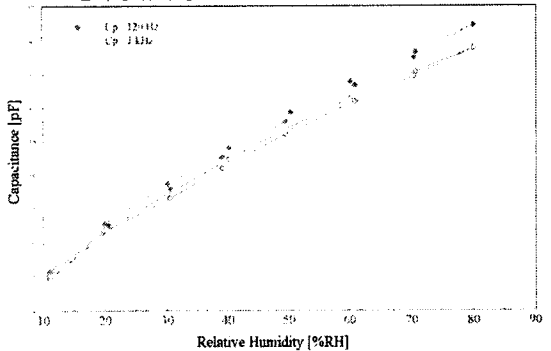


그림3 120Hz 및 1kHz 인가전원주파수에 따른 상대습도 응답특성의 선형성 및 히스테리시스 특성

3. 결론

실리콘 반도체 집적회로 표준공정과 100% 호환되는 제작공정을 갖는 포토리지스트인 PI2723 Dupont 폴리이미드를 감습막으로 하는 마이크로 IDT 정전용량형 습도센서를 제작할 수 있었다. 본 연구에서 제작한 폴리이미드 마이크로 IDT 정전용량형 습도센서는 상용 Vaisala Hygrometer에 비견되는 우수한 제반 상대습도 응답특성을 보이는 바, 후속 연구를 진행하면, 유비쿼터스 센서네트워크 시스템에서 요구되는 마이크로 습도센서에 적용될 수 있을 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성지원사업에 의해 작성되었습니다.

참고문헌

- [1] S.A. Kurtovtsev, Sens. Act. A, 62, p.582, 1997
- [2] Karsten Sager, Sens. Act. A, 53, p.301, 1996
- [3] Karsten Sager, Sens. Act. B, 18, p.85, 1994