

마이크로 패키지의 밀폐도 측정을 위한 정전용량형 폴리이미드 습도센서

김용호[†] · 김용준 · 김경일* · 김종현*

A Capacitive Type Humidity Sensor Using a Polyimide Film for Hermeticity Measurement of Micro Packages

Yong-Ho Kim[†], Yong-Jun Kim, Kyung-Il Kim*, and Joong-Hyun Kim*

Abstract

A capacitive type humidity sensor has been fabricated using a polyimide film without hydrophobic elements and its characteristics has been evaluated for hermeticity measurement of micro packages. For a highly sensitive humidity sensor, a polyimide film without hydrophobic elements has been synthesized and used instead of using a commercial one in which 7 group elements such as fluorine or chlorine are included. Sensitivity, stability and hysteresis has been performed to characterize the fabricated sensors. The sensitivity defined as normalized percent capacitance change was 0.375%/RH and hysteresis was 0.77% in the range of 10%RH to 90%RH. Maximum deviation from the average capacitance measured for 120 minutes at 50%RH was 0.25%. The proposed humidity sensor can be used for hermeticity measurement of micro packages.

Key Words : Humidity sensor, polyimide, hermeticity, micro package

1. 서 론

마이크로전자 산업에서 성공적인 패키징의 중요성이 부각됨에 따라 마이크로 패키지의 밀폐도검사를 위한 도구에 대한 필요성이 증대되고 있다. 대부분의 마이크로 패키지의 불량은 다양한 오염원에 의한 것이다. 이 중 수분의 경우, 상대적으로 높은 침투도를 가진다^[1]. 따라서 수분 유입량을 측정하는 것은 마이크로 패키지의 밀폐도를 판정하는 효율적인 방법이다. 이에 높은 감도와 안정성을 겸비한 습도센서에 대한 필요성이 증대되고 있다. 정전용량형 습도센서의 특성에 영향을 미치는 인자는 유효전극면적, 감습층의 유전율과 두께이다. 높은 감도의 센서를 위해서는 큰 유효전극 면적과 얇은 감습층의 구현이 필요하지만 소자의 크기 및 박막의 균일도가 제약조건으로 보고되고 있다^[2].

$$NPCC = \frac{C_f - C_i}{C_i} \times \frac{1}{\Delta RH} \times 100 \quad (1)$$

C_i : 초기상대습도에서의 정전용량 값
 C_f : 최종상대습도에서의 정전용량 값
 ΔRH : 상대습도변화

따라서 습도의 변화에 민감한 새로운 형태의 감습층을 이용하는 것은 센서의 성능-특히, 감도-을 향상시킬 수 있는 대안일 것이다. (식 1)에서 정의된 정규화된 백분율 정전용량의 변화감도-를 극대화하기 위해서는 습도의 변화에 따라 큰 유전상수의 변화를 보이는 물질을 감습층으로 사용하는 것이 필수적이다. 이를 위하여 폴리이미드를 이용하려는 노력이 지속되어 왔다^[2-5]. 하지만 일반적인 전기·전자 산업에서 사용되는 폴리이미드의 경우, 습도 변화에 의한 유전상수의 변화를 최소화함으로써 안정적 특성의 유전체를 위하여 소수성 원소인 불소, 염소 등의 7족 원소가 포함되어 있으므로^[6,7] 습도센서를 위한 감습층으로써 부적합하다.

이에 본 연구에서는 높은 감도의 습도센서 제작을 위하여 상업용 폴리이미드를 사용하는 대신 이러한 원소가 포함되지 않은 폴리이미드를 감습층으로 하여 미

연세대학교 기계공학과(Department of Mechanical Engineering, Yonsei University)

*연세대학교 화학공학과(Department of Chemical Engineering, Yonsei University)

[†]Corresponding author: yonghokim@yonsei.ac.kr

(Received : June 13, 2003, Accepted : April 16, 2004)

세가공기술에 기반한 ‘폴리머/금속 다층 공정^[8,9)]’을 통해 정전용량형 습도센서를 제작하였고 구현된 습도센서의 성능평가를 위하여 감도, 안정성, 히스테리시스에 대한 실험을 수행하였다.

2. 감습층의 선정 및 제조

폴리이미드는 두 가지의 단량체(monomer)와 극성용매로 이루어진 폴리아미산(polyamic acid)을 화학적 또는 열적인 고분자화를 통하여 얻어지는 고분자 물질이다. 폴리이미드는 전기·전자산업에서 중간유전물질(interlayer dielectrics)등으로 널리 사용되고 있다^[6]. 이러한 응용 분야에서는 신호의 지연 및 신호간의 커플링을 최소화하는 것이 중요하다. 폴리이미드의 유전상수를 낮게 유지하고 수분에 대한 안정성을 증대하고자 화학적인 반응성이 낮고 소수성을 띠는 불소 또는 염

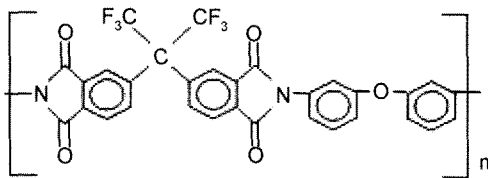


그림 1. 대표적 폴리이미드(Kapton®, Dupont) 전구체의 화학구조

Fig. 1. The chemical structure of a typical polyimide precursor.

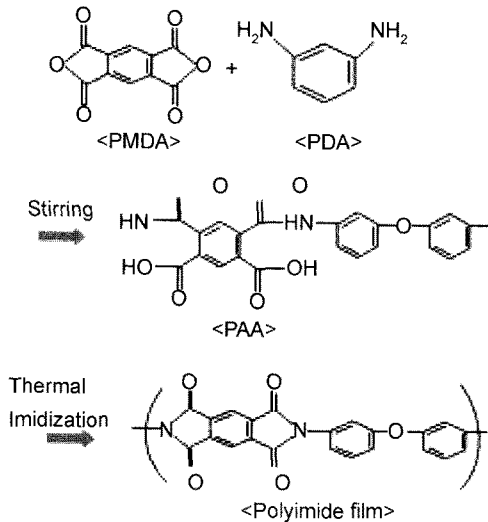


그림 2. 폴리이미드의 합성과정 및 화학구조

Fig. 2. The synthesis procedure and the chemical structure of the polyimide film.

소등의 7족 원소를 첨가하는 것이 일반적이다^[7]. 그림 1은 중간유전물질로 사용되는 대표적인 폴리이미드 필름의 전구체의 화학구조를 나타낸다. 이러한 폴리이미드는 높은 수분에 대한 감도를 요구하는 습도센서를 위한 감습층으로는 부적절하다. 이에 PDMA(pyromellitic dianhydride), PDA(phenylenediamine) 그리고 DMAc(dimethylacetamide)를 이용하여 폴리아미산을 합성하였다. 상기의 두개의 단량체로 합성된 폴리이미드는 큰 흡습성을 가질 뿐만 아니라 높은 유리전이온도(450°C 이상)로 인해 열적 안정성과 내화학성도 우수하다^[10]. 그림 2는 고감도 습도센서를 위한 폴리이미드의 합성과정과 화학구조를 나타낸다. 폴리이미드의 합성은 극성용매에 디아민(diamine, PDA)을 용해시키는 것으로 시작된다. 이렇게 얻어지는 용액에 다이안하이드라이드(dianhydride, PMDA)를 천천히 첨가하여 디아민과 다이안하이드라이드가 1:1로 반응하도록 교반(stirring)함으로써 이루어진다. 이때 다이안하이드라이드의 첨가속도는 반응결과물인 폴리아미산의 점도를 결정하는 요인이다. 합성과정은 일정한 온도(20°C) 하에서 수행되었으며 부반응의 억제를 위하여 질소 분위기에서 이루어졌다. 이러한 과정을 거쳐 12%wt의 폴리이미드 전구체(precursor)인 폴리아미산을 얻을 수 있었고 합성과정 중 유입된 먼지등의 불순물 제거를 위하여 필터링을 실시하였다. 폴리이미드 필름을 얻기 위해서는 폴리아미산을 원하는 표면에 회전코팅하고 열적 또는 화학적 고분자화 과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서는 상대적으로 간단한 방법인 열처리를 통한 고분자화를 채택하였다.

3. 습도센서의 제작

정전용량형 습도센서는 미세가공기술에 기반한 ‘폴리머/금속 다층공정’을 통하여 1×1 mm²에서 10×10 mm²의 서로 다른 크기와 50%, 60% 및 70%의 유효전극면적을 가지는 다양한 크기와 형태로 제작되었다. 그림 3은 습도센서의 개념적 구조와 각 층에 대한 물질정보를 보여준다.

그림 4(a)는 폴리머를 사용한 정전용량형 습도센서의 제작과정을 나타낸 것이다. 제작은 4인치 p형 <100> 실리콘 웨이퍼에 전기적 절연을 위한 5000 Å의 실리콘 산화막을 증착하는 것으로 시작되었다. 이후 하부전극으로 사용되는 금(Au)은 접착력 증대를 위해 크롬(Cr)위에 증착하였고 AZ7220 감광제를 이용한 사진묘화(photolithography) 과정을 통하여 형상을 정의하였다. 감습층으로 사용되는 폴리이미드 필름의 형성을

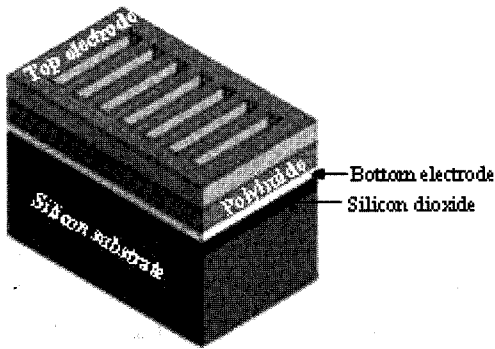
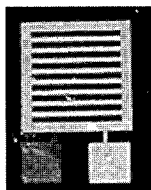
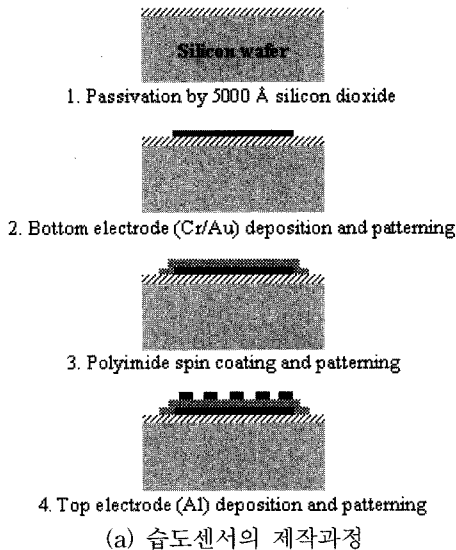


그림 3. 정전용량형 습도센서의 개념도
Fig. 3. The schematic of the capacitive type humidity sensor.



(b) 제작된 센서의 광학사진

그림 4. 습도센서의 제작과정 및 제작된 센서
Fig. 4. The fabrication procedure and the optical photograph of the humidity sensor (a) fabrication process of the humidity sensor and (b) optical photograph of the fabricated sensor.

위해 폴리믹산을 회전코팅한 후 고분자화를 위하여 3단계에 걸친 열처리를 실시하였다. 1단계는 빠른 극성 용매의 제거를 위해 4시간 동안 50°C의 진공오븐(vac-

uum oven)에서, 2단계는 점진적 고분자화를 위해 1시간 30분 동안 250°C에서 그리고 3단계는 완전한 고분자화를 위해 1시간 동안 350°C에서 상압의 오븐에서 이루어졌다. 이러한 과정을 거쳐 1.0~1.1 μm 두께의 10% 정도의 두께 편차를 가지는 폴리이미드 필름을 얻었으며 산소 플라즈마를 이용한 건식식각을 통하여 폴리이미드의 형상을 정의하였다. 상부전극인 알루미늄(Al)을 1 μm 두께로 열증착기(thermal evaporator)를 통하여 증착한 후 사진묘화과정을 거쳐 형상을 정의함으로써 소자를 완성하였다. 그림 4(b)는 상기의 과정을 거쳐 얻어진 습도센서의 광학사진이다.

4. 결과 및 고찰

측정에 앞서, 모든 단위 소자는 제작과정 중 폴리이미드에 유입된 습기를 제거하기 위하여 50°C에서 36시간 동안 건조되었다. 감도, 히스테리시스 및 안정성에 대한 측정을 위하여 습도센서를 상대습도와 온도에 대한 분해능이 각각 ±1%와 0.5°C인 환경챔버(WEISS WK1³⁴⁰)에 위치시키고 RLC 측정기(HP4274A)를 이용하여 100 kHz에서 상대습도의 변화에 따른 정전용량을 측정하였다. 감도와 히스테리시스의 판정에 사용된 센서는 유효전극면적 71.3%의 유효면적과 3×3 mm²의 크기를 가진 소자였다. 또한 안정성의 측정은 71.3%의 유효전극 면적과 5×5 mm²의 센서를 이용하여 수행하였다.

4.1. 감도

감도의 측정은 40°C의 온도에서 상대습도를 10%에서 90%까지 20%씩 단계적으로 증가시키면서 특정 상대습도에서 30분간의 안정화 단계를 거친 후 30분간 매 5분마다 정전용량 값을 기록하는 방법으로 이루어졌다. 정전용량 값의 절대적 크기의 변화량은 유효전극 면적을 증가시키거나 감습층의 두께를 감소시킴으로써 커질 수 있다. 그러므로 감도의 정의는 식 (1)에서 제시한 바와 같이 특정 상대습도 범위(10%~90%)에 대하여 초기 정전용량 값에 대한 상대적 변화량을 나타내는 정규화된 백분율 정전용량변화로 정의 하였다. 이러한 정의에 근거하여 측정된 정전용량의 변화는 그림 5(a)에서 제시된 바와 같이 0.37%RH이었으며 선형 추세선으로 부터의 편차는 0.46%였다.

4.2. 히스테리시스

습도센서는 반복적 사용으로 인한 오프셋(offset)을 적게 하는 것이 중요하다. 제작된 습도센서의 히스테리시스

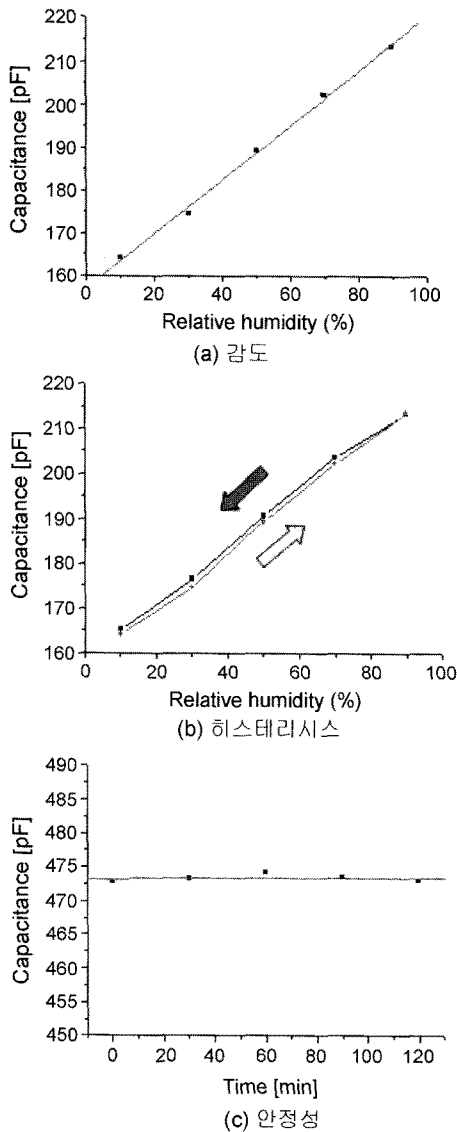


그림 5. 습도센서의 특성 측정 결과
 Fig. 5. Results for the characteristic measurements of the humidity sensor (a) sensitivity, (b) hysteresis, and (c) stability.

스를 판정은 그림 5(b)에서와 같이 40°C의 온도에서 상대습도를 10%~90%까지 20%씩 단계적으로 증가시키고 다시 20%씩 감소시키면서 동일 상대습도에서의 정전용량 값을 비교함으로써 이루어졌다. 이 결과 동일 상대습도에서 평균 0.77%의 정전용량 값의 차이를 보였다.

4.3. 안정성

안정성은 동일 상대습도에서 시간이 지남에 따라 정

전용량 값의 변화 추이를 나타내는 인자이다. 이 특성의 측정은 40°C의 온도에서 상대습도가 50%로 유지되는 환경에서 120분 동안 이루어졌으며 그림 5(c)에서 확인할 수 있듯이 최대백분율 편차는 0.25%였다.

5. 결 론

마이크로 패키지에 대한 밀폐도 검사에 대한 필요성의 증대함에 따라 침투성이 강한 습기를 측정하기 위하여 ‘폴리머/금속 다층공정’을 이용하여 정전용량형 습도센서를 제작하였다. 고감도 습도센서의 구현을 위해 소수성원소가 포함되어있는 상업용 폴리이미드를 사용하는 대신, 불소가 포함되지 않은 단량체로 이루어진 12%wt의 폴리아믹산을 합성하고 회전코팅과 열적 고분자화를 통하여 폴리이미드 필름을 제조하였다.

습도센서의 특성을 평가하기 위하여 환경챔버와 RLC 측정기를 이용하여 감도, 히스테리시스, 안정성에 대한 측정을 실시하였다. 측정결과 10%~90%의 상대습도에서 0.37%RH의 감도와 0.77%의 히스테리시스를 가짐이 관찰되었다. 또한, 상대습도 50%에서 평균 정전용량 값에서 0.25%의 최대편차를 보이는 안정성을 확인할 수 있었다. 이러한 실험결과에 비추어 개발된 습도센서는 마이크로 패키지의 밀폐도 검사를 위한 도구로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

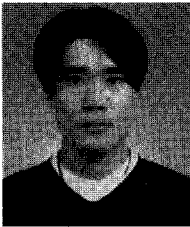
후 기

습도센서의 성능평가를 위한 실험을 물심양면으로 도와주신 기술표준원의 전기응용과 송양희, 정밀전자과 김종오, 이상근 연구관님들께 감사드립니다. 본 연구는 보건복지부 보건의료기술개발사업의 중점공동연구지원 연구개발사업에 의해 지원된 것임(과제고유번호: 02-PJ1-CH07-0001).

참고 문헌

- [1] Y. T. Cheng, W. T Hsu, L. Lin, Nguyen, and K. Najafi, "Vacuum packaging technology using localized aluminum/silicon-to-glass bonding", *Proc. 14th IEEE Int. Conf. MEMS*, pp. 18-21, 2001.
- [2] M. Dokmeci and K. Najafi, "A high-sensitivity polyimide capacitive relative humidity sensor for monitoring anodically bonded hermetic micropackages", *J. MEMS*, vol. 10, iss. 2, pp. 197-204, 2001.
- [3] C. Laville and C. Pellet, "Comparison of three humidity sensors for a pulmonary function diagno-

- sis microsystem”, *IEEE J. Sensors*, vol. 2, no. 2, pp. 96-101, 2002.
- [4] Y. Y. Qui, C. Azeredo-Leme, L. R. Alcacer, and J. E. Franca, “A CMOS humidity sensor with on-chip calibration”, *Sens. Act. A*, vol. 92, pp. 80-87, 2001.
- [5] D. D. Denton, C. N. Ho, and S. G. He, “A solid-state relative humidity measurement system”, *IEEE Trans. Instr. and Meas.*, vol. 39, no. 3, pp. 508-511, 1990.
- [6] G. Maier, “Low dielectric constant polymers for microelectronics”, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 26, pp. 3-65, 2001.
- [7] J. O. Simpson and A. K. St. Clair, “Fundamental insight on developing low dielectric constant polyimides”, *NASA Tech. Report*, no. 294, 1997.
- [8] Y. J. Kim and M. G. Allen, “Surface micromachined solenoid inductors for high frequency applications”, *IEEE Trans. CPMT*, vol. 21, no. 1, pp. 26-33, 1998.
- [9] C. H. Ahn, Y. J. Kim, and M. G. Allen, “A planar variable reluctance magnetic micromotor with fully integrated stator and coils”, *J. MEMS*, vol. 2, no. 4, pp. 165-173, 1993.
- [10] H. Han, H. Chung, C. C. Gryte, T. J. Shin, and M. Ree, “Effects of precursor origins on water sorption behaviors of various aromatic polyimides in thin films”, *Polym.*, vol. 40, pp. 2681-2685, 1999.



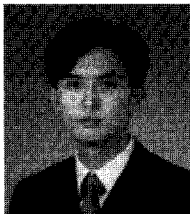
김 용 호

- 1976년 1월 22일생
- 2001년 2월 연세대학교 기계공학과(학사)
- 2004년 2월 연세대학교 기계공학과(석사)
- 2004년 ~ 현재 연세대학교 기계공학과 박사과정
- 주관심분야 : 곱힘이 자유로운 마이크로센서



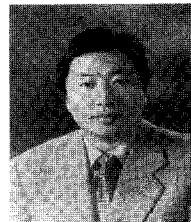
김 용 준

- 1964년 8월 28일생
- 1987년 2월 연세대학교 전기공학과(학사)
- 1989년 5월 Univ. of Missouri-Columbia 전기공학과(석사)
- 1997년 9월 Georgia Institute of Technology 전기공학과(박사)
- 1996년 8월 ~ 2002년 8월 삼성전자 중앙연구소
- 2002년 9월 ~ 현재 연세대학교 기계공학과 교수
- 주관심분야 : 전자패키징, 미세센서 및 구동기, 고주파응용을 위한 집적수동소자



김 경 일

- 1975년 6월 17일생
- 2001년 2월 인하대학교 화공고분자생물공학부(학사)
- 2004년 2월 연세대학교 화학공학과(석사)
- 2004년 3월 ~ 현재 LG Philips LCD
- 주관심분야 : 초임계 이산화탄소를 이용한 다중 기공체



김 중 현

- 1978년 2월 연세대학교 화학공학과(학사)
- 1982년 8월 연세대학교 화학공학과(석사)
- 1986년 12월 Lehigh Univ. 고분자공학(박사)
- 1986년 1월 ~ 1987년 8월 EPI, Lehigh Univ. 선임연구원
- 1987년 9월 ~ 1989년 8월 Morton Thiokol Inc 선임연구원
- 1989년 9월 ~ 1991년 2월 Morton International 책임연구원
- 1991년 3월 ~ 현재 연세대학교 화학공학과 교수