

논문 2011-2-31

환경 모니터링을 위한 압력 센서 연구

A Study of Pressure Sensor for Environmental Monitoring

황현석*, 최원석**

Hyun-Suk Hwang, Won-Seok Choi

요 약 본 연구에서는 환경 모니터링을 위한 정전용량형 압력센서를 저온동시소성세라믹 (LTCC) 기술을 이용하여 제작하였다. LTCC 기술은 실리콘 기반의 기술에 비하여 낮은 생산 단가, 높은 수율, 3차원 구조물의 용이한 제작성 등으로 인하여 센서 응용분야에서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 특히 열악한 외부환경에 적합한 물질이다. 400 μm 두께 삼차원 구조의 LTCC 다이어프램은 NEG사의 MLS 22C 상용 파우더를 이용하여 100 μm 두께의 그린쉬트를 적층하고 동시소결하여 제작하였다. 제작한 다이어프램은 공동의 면적에 따른 센싱특성을 평가하기 위하여 각각 25, 49 mm^2 의 두 종류를 제작하였다. 정전용량형 압력센서를 구현하기 위하여 상부에는 열증착기를 이용하여 Au 금속박막을 증착하였고 하부에는 상용 알루미늄박을 압착하였다. 압력에 따른 센싱특성을 평가하기 위하여 제작된 측정시스템을 이용하여 0~30 psi의 압력을 가변하여 압력센서의 정전용량 변화를 측정된 결과 두 센서 모두에서 선형적인 센싱특성을 나타냄을 확인하였다.

Abstract In this study, capacitive type pressure sensors based on low temperature co-fired ceramics (LTCC) technology for environmental monitoring were demonstrated. The LTCC is one of promising technology than si based one since it has many advantages (e.g., low cost production, high manufacturing yields and easy realizing 3D structure etc.) for sensor application. Especially, it has good mechanical and chemical properties for robust environmental application. The 3D LTCC diaphragm with thickness of 400 μm were fabricated by laminating 4 green sheets using commercial powder (NEG, MLS 22C). To evaluate the sensing properties of the different cavity areas, two types of diaphragm which had different cavity areas with 25, 49 mm^2 respectively, were fabricated. To realize capacitive type pressure sensor, the Au top electrode was fabricated using thermal evaporator and the bottom electrode was compressed using aluminium foil. The sensing properties of the fabricated sensors showed linear characteristic under different pressure (0~30 psi) using pressure measurement system.

Key Words : Pressure sensor, Low temperature co-fired ceramics (LTCC), Environmental monitoring, Diaphragm, Capacitance

I. 서 론

환경상태나 안전에 대한 관심이 증대되면서 외부의 다양한 환경에서도 신뢰성 있게 동작 가능한 센서에 대

한 수요가 급격히 증가하고 있다^[1]. 압력은 환경을 모니터링하기 위한 대표적인 물리량중의 하나로서, 1950년대 중반 실리콘의 압저항 (piezoresistivity) 현상의 발견과 microelectromechanical systems (MEMS) 기술을 이용한 실리콘 기반의 다이어프램 형태의 압력센서가 연구된 이후 1970년대에는 자동차용 분야에서, 1980년대에는 의료용 분야에서 상용화되는 등 압력센서는 넓은 산업적

*정회원, 서일대학 전기과

**정회원, 한밭대학교 전기공학과

접수일자: 2011.2.16, 수정일자: 2011.3.29

게재확정일자: 2011.4.15

응용범위로 인하여 광범위하게 적용되고 있으며, 소형이면서 감도가 높은 압력 센서를 개발하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 압력 센서를 실현하는 방식에는 정전 용량 방식, 감압 저항 방식, 전자 유도 방식, 압전 방식 등 다양한 원리가 이용되고 있으며, 사용 방식에 따라 구성 재료도 달라진다^[1-6]. 이 중에서 가장 많이 사용되는 방식은 정전 용량 방식과 감압 저항 방식으로서 두 방식은 모두 다이어프램을 사용하여 인가된 압력에 의하여 발생하는 다이어프램의 기계적 변위를 응용한 것이다. 최근에는 실리콘 기반의 다이어프램 이외에 글래스, 알루미늄, 저온 동시 소성세라믹 (LTCC)^[2-4]과 같은 다이어프램을 이용한 연구들이 진행되고 있으며, 특히 LTCC 기술을 이용한 3차원 다이어프램의 구현은 다른 물질들에 비하여 구조의 구현이 용이하고 집적화된 패키지에 적절하다는 등의 장점을 가지고 있다. 또한 기계적, 화학적 특성이 우수하여 외부환경과 같은 열악한 환경에 적용시 더욱 우수한 특성을 나타낼 수 있다.

본 논문에서는 기존 압력센서의 센서 특성과 사용범위 등의 한계를 극복하기 위하여 하이브리드 LTCC 기술을 기반으로 정전용량형 압력센서를 제작하는 효율적 방법을 연구하였다.

II. 실험

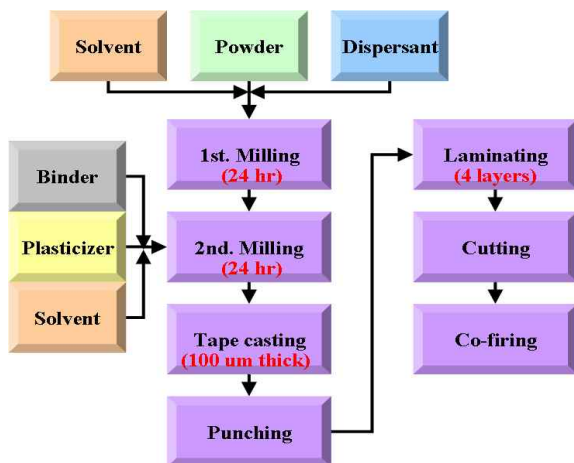


그림 1. LTCC 기판 제조과정
Fig. 1. Fabrication process for LTCC substrate

3차원 LTCC 다이어프램에 대한 제작공정은 그림 1에 나타내었다. 실험에 사용한 원료는 LTCC용 상용분말로서 세라믹 기판재료로 널리 사용되는 분말인 MLS-22C

(NEG, Japan)을 사용하였으며, 슬러리 제조를 위한 용매는 톨루엔과 에탄올을 6:4의 무게비율로 혼합하여 사용하였다. 그리고 분산제는 기존 실험에서 우수한 분산상태를 나타내었던 BYK-111^[7]을 사용하여 24시간 동안 1차 밀링하고, 결합제와 가소제를 첨가하여 2차 밀링을 통하여 슬러리를 제조하였다.

테이프 캐스팅 공정을 통하여 제작된 그린시트 1장의 두께는 100 μm 두께로 제작하였으며, 3차원 다이어프램의 구현 및 기판으로 취급하기 용이하게 하기 위하여 상부층 1장과 편칭공정을 통하여 제작된 공동을 가지는 하부층 3장의 그린시트를 적층하여 400 μm 두께의 다이어프램을 제작하였으며 각 기판은 10×10 mm^2 로 절단하였다. 또한 공동의 면적에 따른 센싱 특성을 평가하기 위하여 각각 25, 49 mm^2 의 두 종류를 제작하였다.

제작된 LTCC 기판은 아세톤, 메탄올, 탈이온수로 각 10분씩 초음파 세정기로 세척한 후 질소가스로 건조시켜 기판표면의 유기물들을 제거하였다. 정전용량형 압력센서를 구현하기 위하여 상하부 전극이 필요로 하므로, LTCC 기판의 상부에는 열증착방법을 사용하여 200 nm 두께의 Au 전극을 증착하였으며, 하부는 상용 알루미늄 호일을 압착하였다.

제작한 다이어프램은 X-ray diffraction method (XRD)와 Atomic Force Microscope (AFM)를 사용하여 결정화 상태와 표면상태를 확인하였으며, 광학현미경을 사용하여 다이어프램 구조를 확인하였다.

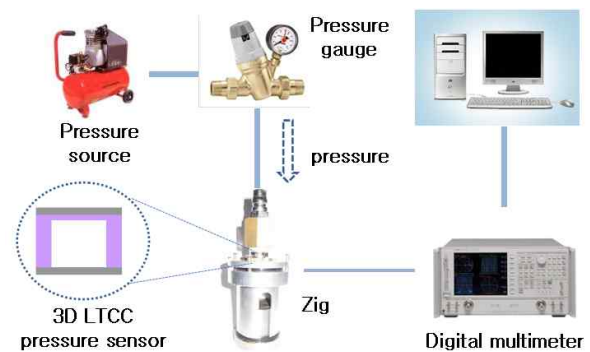


그림 2. 압력측정 시스템의 구성도
Fig. 2. Schematic diagram of Pressure measurement system

정전용량형 압력센서는 압력에 의해 다이어프램의 변위가 발생하고 이에 따라 정전용량값의 변화가 발생하는 원리이므로 그림 2에 도시한 바와 같이 공기압축기, 압력 게이지, 압력센서를 측정하기 위하여 자체 제작한 지그,

그리고 정전용량 측정기 (Boonton 7200)로 구성된 압력 측정 시스템을 이용하여 0~30 psi의 압력을 가변하면서 센싱 특성을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

MLS 22C를 사용하여 소결된 소재의 유전율은 7.83, 유전손실은 0.0047을 나타내었으며, XRD와 AFM을 사용하여 분석된 LTCC 다이어프램의 결정성 및 표면상태에 대한 결과는 각각 그림 3, 4와 같다. 그림 3에서의 XRD 분석 결과 LTCC 기판은 분말원료인 Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , TiO_2 등의 다결정상태를 나타냄을 확인할 수 있었으며, 그림 4에서 기판의 표면상태는 연마공정을 거치지 않은 세라믹 기판의 특성상 평균자승 거칠기 (RMS roughness)는 수 nm에서 수십 nm 이상의 거칠기 분포를 나타내었다. 따라서 LTCC 다이어프램은 박막 공정을 수반하는 센서 제작 공정 등에 응용 시 별도의 연마공정이 없이도 가능함을 확인할 수 있었다.

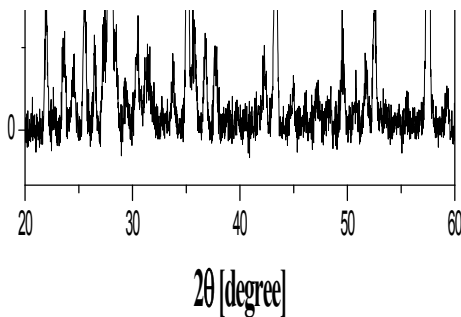


그림 3. LTCC 기판의 XRD 측정결과
Fig. 3. XRD pattern of LTCC substrate

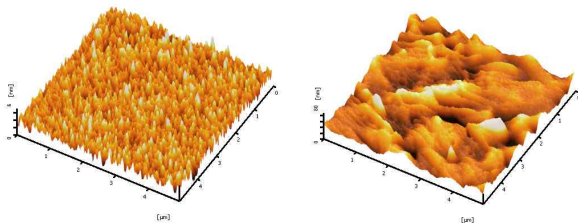


그림 4. LTCC 기판의 AFM 측정결과
Fig. 4. Surface profiles of LTCC substrates measured with AFM

그림 5는 정전용량형 압력센서의 상하부의 광학 현미경 사진을 나타냈었다. LTCC 기술을 적용함으로써 식각 및 노광공정 등을 필요로 하는 실리콘 공정에 비하여 단순하고 저렴한 방법으로 400 um 두께의 다이어프램을 손쉽게 제작할 수 있었다.

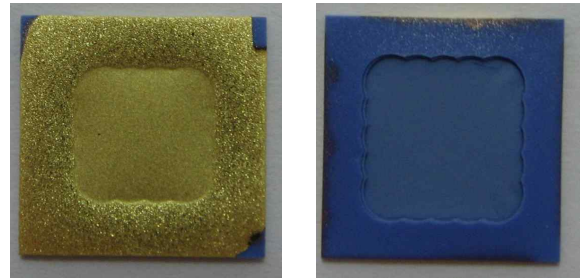


그림 5. 3차원 LTCC 다이어프램의 광학현미경 사진 (a) Au 전극이 증착된 상부, (b) 공동을 가지는 하부
Fig. 5. Microscope image of 3D LTCC substrate (a) Top view with Au electrode, (b) Bottom view with cavity

그림 6은 제작된 두 종류의 정전용량형 압력센서를 압력 측정시스템을 이용하여 압력에 따른 정전용량의 변화를 측정한 결과이다. 초기 정전용량값은 공동의 면적이 25, 49 mm²인 경우 각각 18.5, 19.9 pF이었으며, 인가 압력을 30 psi까지 변화시킴에 따라 각각 19.62, 21.5 pF까지 선형적으로 변화함을 확인할 수 있었다. 또한 감도는 측정범위에서 각각 0.037, 0.054 pF/psi를 나타냄으로서 공동의 면적이 증가할수록 감도도 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 공동의 면적이 클수록 다이어프램의 변화가 커지게 됨으로서 나타난 결과로 판단되며, 공동의 면적은 센서를 설계하는데 있어서 주요한 변수가 됨을 확인할 수 있었다.

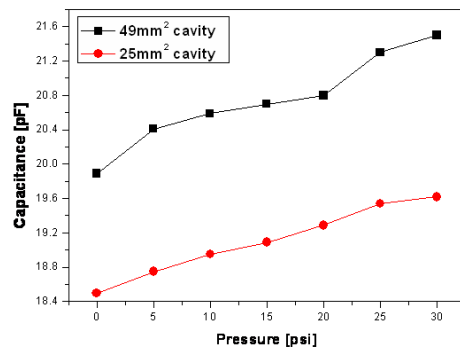


그림 6. 제작한 압력센서의 압력에 따른 정전용량 변화
Fig. 6. Capacitance variation of the fabricated pressure sensors under different pressure

IV. 결 론

본 논문에서는 기존 실리콘 기반의 압력센서를 대체할 기술로서 3차원 다이어프램의 제작이 용이하고 열악한 외부환경 등 다양한 환경조건에서도 적용이 가능한 LTCC 기술을 적용하여 정전용량형 압력센서를 제작하여 압력센서로의 적용 가능성 여부를 확인하였다.

LTCC 기술은 기존 실리콘 기반의 기술의 단점인 사진 및 식각공정 등의 고비용 공정이 불필요하므로 100 μm ~10 mm 정도의 중규모 3차원 구조물을 필요로 하는 센서 및 액추에이터와 같은 분야에 적합한 기술이다.

본 연구에서는 공동의 면적에 따라 25, 49 mm^2 인 두 종류의 센서를 제작하였으며, 제작한 압력센서의 센싱 특성을 평가한 결과 모든 센서에서 압력 변화에 따른 응답특성이 선형적으로 변화함을 확인하였다. 그리고 0~30 psi의 압력 측정범위에서 공동의 면적에 따라 각각 0.037, 0.054 pF/psi의 감도를 나타내었으며, 이는 압력센서의 설계 시 공동 면적의 변화가 주요한 변수임을 확인할 수 있었다. 또한, 다이어프램의 두께, 재질 등 동일한 압력에 대하여 다이어프램의 구조변화를 가져올 수 있는 여러 설계요소들을 적용함으로써 다양한 압력 범위에서 적용 가능한 센서를 구현할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] K. G. Ong, C. A. Grimes, C. L. Robbins, R. S. Singh, "Design and application of a wireless, passive, resonant-circuit environmental monitoring sensor" *Sens. Actuators A*, 93, pp.33-43, 2001.

[2] D. Belavic, M. S. Zarnik, S. Mac다, M. Jerlah, M. Hrovat, M. Pavlin, "Capacitive Pressure Sensors Realized With LTCC Technology", *Proc. of IEEE*, pp.269-272, 2008.

[3] M. R. Gongora-Rubio, P. Espinoza-Vallejos, L. Sola-Laguna, J. J. Santiago-Aviles, "Overview of low temperature co-fired ceramics tape technology for meso-system technology (MsST)", *Sens. Actuators A*, 89, pp.222-241, 2001.

[4] Clayton B. Sippola, Chong H. Ahn, "A thick film screen-printed ceramic capacitive pressure microsensors for high temperature applications", *J. Micromech. Microeng.*, 16, pp. 1086-, 2006.

[5] W. Wang, K. Lee, I. Woo, I. Park, S. Yang, "Optimal design on SAW sensor for wireless pressure measurement based on reflective delay line" *Sens. Actuators A*, 139, pp.2-6, 2007.

[6] K. Moeller, J. Besecker, G. Hampikian, A. Moll, D. Plumlee, J. Youngsman, J. M. Hampikian, " A PROTOTYPE CONTINUOUS FLOW POLYMERASE CHAIN REACATION LTCC DEVICE, *Materials Science Forum Vols.*, 539-543, pp.523-528, 2007.

[7] 권혁중, 신호순, 여동훈, 김종희, 조용수, "상용 LTCC 소재의 슬러리 제조 공정에서 분산성 평가 및 최적화", *한국전기전자재료학회*, 21권, pp.341-347, 2008.

※ 본 논문은 2009년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음

저자 소개

황 현 석(정회원)



- 학위(학,석,박사)
1995년 2월 성균관대학교 전기공학과 학사
997년 2월 성균관대학교 전기공학과 석사
2007년 8월 성균관대학교 전기전자및 컴퓨터공학과 박사

• 경력

1997년~2004년 한국산업기술평가원 선임연구원
2009년 3월~현재 서일대학 전기과 전임강사
<주관심분야 : 통신부품, USN>

최 원 석(정회원)



- 학위(학,석,박사)
1998년 2월 성균관대학교 전기공학과 학사
2001년 8월 성균관대학교 전기전자및 컴퓨터공학과 석사
2006년 2월 성균관대학교 전기전자및 컴퓨터공학과 박사

• 경력

2006년~2007년 성균관대학교 정보통신공학부 연구교수
2007년 9월~현재 한밭대학교 조교수
<주관심분야 : 통신부품, 철도통신>