

스크린 프린팅법과 MEMS 공정을 이용한 압전 액츄에이터의 특성

김상종¹, 감중윤², 김현재³, 성만영⁴, 윤석진⁵

한국과학기술연구원¹, 고려대학교²

Characteristics of Piezoelectric Actuator

Prepared by Screen Printing Method and MEMS Process

Sang-Jong Kim¹, Chong-Yoon Kang², Hyun-Jai Kim³, and Seok-Jin Yoon⁵

Korea Institute Science and Technology¹, Korea Uni.²

Abstract

본 연구에서는 MEMS 공정에 의해 제작된 실리콘 멤브레인 위에 스크린 프린팅법을 이용하여 압전 후막을 제작, 그 특성을 관찰하였다. 실리콘 웨이퍼의 후면을 각각 다른 4가지의 크기로 식각하여 멤브레인을 제작하였다. 제작된 멤브레인 위에 하부전극 Ag-Pd를 스크린 프린팅법으로 형성하고, 그 위에 압전 후막을 스크린 프린팅하여 열처리 하였다. 제작된 압전 후막위에 MFM(Metal-Ferroelectric-Metal)구조의 액츄에이터를 제작하기위해 상부전극으로 Pt를 스퍼터링으로 증착하였다. 제작된 마이크로 액츄에이터는 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 구조분석하고, RT66A와 MTI2000으로 동작특성을 해석 하였다.

Key Words : Piezoelectric Actuator, MEMS, Screen Printing, Thick Film

1. 서 론

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System)[1] 기술의 발전은 기계 및 전자 부품의 소형화를 급속히 진전시키고 있고, 이에 따라 과거에는 상상할 수 없었던 새로운 종류의 기계와 시스템이 등장하고 있다. 특히, MEMS를 이용한 시스템의 트랜스듀서 부분에 있어서 응용 가능한 여러 가지 구동방법 중 압전, 전왜 특성을 이용한 기술은 타 방법에 비하여 구동전압이 낮고, 비교적 큰 힘을 얻을 수 있으며, 디바이스 구조가 간단할 뿐만 아니라 제조 공정이 반도체 공정과의 정합성에 있어서도 비교적 우수하기 때문에 이들 압전, 전왜 박막을 이용한 트랜스듀서의 제작에 관한 연구에 관심이 고조되고 있다. 더욱이 수 마이크로미터 이상의 후막을 이용 할 경우 박막제조방법에 비해 후막제조방법이 공정상 간단하며 저렴한 장점이 있다.[2,3]

후막 제조 공정은 Sol-Gel법, tape casting법, jet printing법[4], sputtering법 screen printing법[5] 등

이 있으며, 스크린 프린팅에 의한 후막 공정은 비교적 저가에 대량생산이 가능할 뿐만 아니라 제조 공정이 쉽고 실리콘 소자와의 집적이 가능한 장점이 있다.

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼를 MEMS 공정에 의해 식각하여 멤브레인을 형성한 후, 하부전극으로 Ag-Pd를 스크린 프린팅하여 열처리 하고, 압전 후막을 역시 스크린 프린팅하여 열처리한 후, 상부전극 Pt를 스퍼터링으로 증착하여 액츄에이터를 제작하였다. 제작된 액츄에이터는 SEM으로 구조분석하고, RT66A와 MTI2000으로 재료특성 및 동작 특성을 해석하였다.

2. 실험

2.1 페이스트 제작

본 연구에서 사용된 조성은 높은 압전상수와 기계적 품질계수를 갖는 $Pb(Al,Nb)O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ (이하 PAN-PZT) 이며, 산화물 혼합법에 의해 제조되었으며, 최종적인 세라믹 분말은 페로브스카이트

트상 형성을 위해 850°C에서 2시간 동안 하소 후 재분쇄 과정을 거쳐 준비되었다. 세라믹 페이스트 제조를 위해 사용된 유기 바인더는 BN-75001(Ferro Co.)이었으며, 후막의 치밀화를 향상시키기 위해 각 세라믹 분말은 혼합이 가능한 범위에서 최대로 고상 분말의 양을 증가시켜, 분말 대 바인더의 질량 비율을 80:20 으로 하여 three ball miller[6]를 이용하여 혼합 및 분산 시켰다.

2.2 액추에이터 제작

마이크로 액추에이터 제작을 위해 사용된 기판은 1.0 μm SiO_2/Si 이며, 제작된 구조는 그림 1과 같다. 그림 2에는 액추에이터 제작 과정을 나타내었다. (b)후면의 SiO_2 를 멤브레인이 형성될 크기로 Litho 공정을 거쳐 Reactive Ion Etching(RIE)를 이용하여 식각하였다. (c)TMAH용액에서 Si를 300 μm 식각하였다. (d)앞면에 형성시킬 후막과 멤브레인과의 정렬을 위해 align mark를 5000Å 두께로 SiO_2 를 RIE를 이용해 식각하였다. (e)20 μm 멤브레인을 형성하기 위해 TMAH용액에서 식각하였다. (f)하부전극 Ag-Pd를 스크린 프린팅하여 1100°C에서 열처리하였다. (g)제작된 PAN-PZT 페이스트를 스크린 프린팅하고 400°C에서 바인더 burn-out하였으며, Rapid Thermal Annealing(RTA)로 850°C에서 열처리하였다. (h)상부전극 Pt를 DC-Sputter로 증착하였다.

제작된 액추에이터를 특성 평가를 위하여 1mm 당 3.5kV를 인가하여 분극 처리하였다.

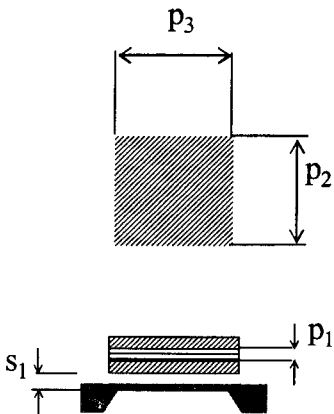


그림 1. 압전 액추에이터의 구조

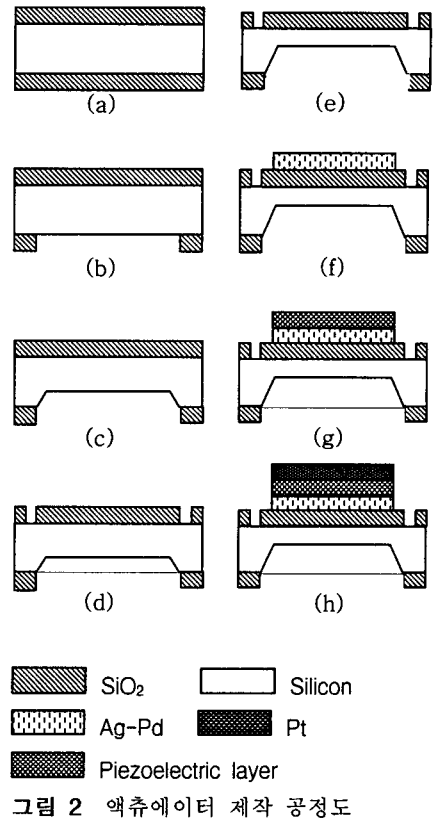


그림 2 액추에이터 제작 공정도

3. 결과 및 고찰

그림 3은 제작된 후막의 단면과 표면의 미세구조를 나타낸 SEM 사진이다. 하부전극의 두께는 5 μm , 압전 후막의 두께는 50 μm 이다. 하부전극의 두께가 5 μm 인 것은 압전 후막의 열처리시 실리콘이 확산하는 것을 하부전극의 두께를 두껍게 함으로써 차단하는 기능을 갖게 하여, 전극의 기능과 buffer layer의 기능을 동시에 수행하기 위함이다.[7] 사진에서 알 수 있듯이 그레인 성장이 완전하지 못하고 기공도 많음을 알 수 있다. 이는 여러 연구에서 확인된바와 같이 열처리시 기판에 의해

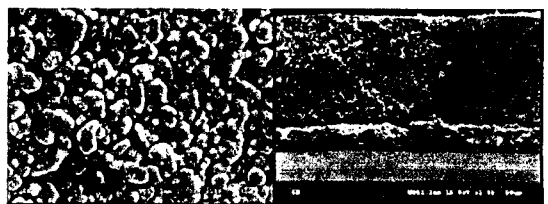


그림 3 PAN-PZT 후막의 미세구조

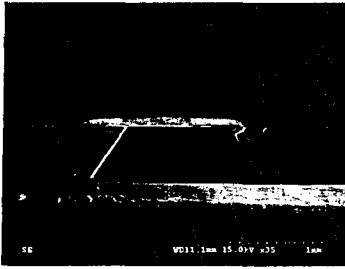


그림 4 압전액츄에이터의 단면도

수축을 하지 못하여 z축으로만 수축이 일어남으로써 치밀화 되지 못한 것으로 보인다. 그림 4는 액츄에이터의 단면사진이다. 멤브레인의 두께는 20 μm 이고 멤브레인과 하부전극과의 접합이 잘 되어 있음을 알 수 있다.

그림 5는 RT66A를 이용하여 측정한 P-E 곡선이다. 잔류분극은 15.6 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, 항전계는 60.8 kV/cm 를 나타내었다. 이는 기존의 재료실험 조건과 유사한 결과이다. 그림 6은 MTI2000을 이용한 액츄에이터의 크기에 따른 변위를 나타낸 그림이다. 멤브레인 크기의 비율이 커질수록 변위값이 커짐을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼를 MEMS 공정에 의해 식각하여 멤브레인을 형성한 후, 하부전극으로 Ag-Pd를 스크린 프린팅하여 열처리 하고, 압전 후막을 역시 스크린 프린팅하여 열처리한 후, 상부전극 Pt를 스퍼터링으로 증착하여 액츄에이터를 제작하였다. 스크린 프린팅 공정에 의한 마이크로 액츄에이터의 제작이 가능하여 저가에 대량생산이 가능함을 확인할 수 있었다. 멤브레인 위에 형성된 PAN-PZT 후막은 잔류분극이 15.6 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$,

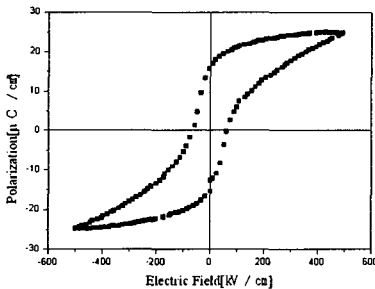


그림 5 PAN-PZT 후막의 P-E 곡선

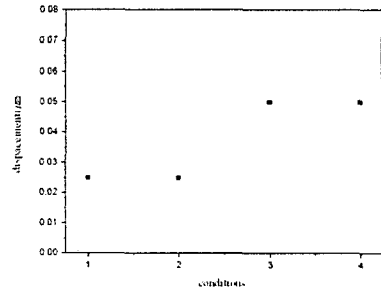


그림 6 마이크로 액츄에이터의 변위

항전계는 60.8 kV/cm 를 나타내었다. 마이크로 액츄에이터의 최대 0.05 μm 의 변위를 나타내었다.

참고 문헌

- [1] Gregory T. A. Kovacs, Nadim I. Maluf and Kurt E. Petersen "Bulk Micromachining of Silicon" Proceeding of The IEEE, Vol. 86, 8, August 1998
- [2] R. Linnemann, P. Woias, C.-D. Senfft, and J. A. Ditterich "A Self-Priming and Bubble-Tolerant Piezoelectric Silicon Micropump for Liquids and Gases" IEEE/ P532-537, (1998)
- [3] N. T. Nguyen, S. Schubert, S. Richter, W. Dotzel "Hybrid-assembled micro dosing system using silicon-based micropump/valve and mass flow sensor" Sensor and Actuator A 69 P.85-91, (1998)
- [4] Hideo Adachi, Yoshimi Kuroda, Takuda Imahashi and Kazuhisa Yanagisawa, "Preparation of Piezoelectric Thick Films using a Jet Printing System" Jpn. J. Appl. Phys. Vol.36 pp.1159, 1997.
- [5] L. F. Miller, "Screenability and Rheology" Solid State Technology/October 1974.
- [6] S. T. Kim, J. W. Kim, S. W. Jung, J. S. Shin, W. J. Lee and S. T. Ahn, Materials Chemistry and Physics, Volume 45, Issue 2, pp 155~158, August 1996.
- [7] 김상중, 최형욱, 백동수, 최지원, 김태송, 윤석진 and 김현재, "Fabrication and Characterization of PMN-PZT Thick Films Prepared by Screen Printing Method" 한국전기전자재료학회 논문집 Vol.13 No.11 pp.921~925, 2000.