

1. 서론

기계적 에너지를 전기적 에너지 (Direct piezoelectric effect)로, 전기적 에너지를 기계적 에너지 (Reverse piezoelectric effect)로 변환시키는 특성으로 인해 압전 소재 (Piezoelectric material)는 각종 센서와 액추에이터로 많이 응용되어 왔다.

전자 기기의 소형화, 집적화 추세에 따라 압전 박막을 MEMS (Microelectromechanical Systems)에 도입하는 압전 MEMS (Piezoelectric MEMS)에 대한 연구가 90년대 중반부터 진행되어 왔으며, 이러한 연구들을 통해 잉크젯 프린터의 헤드, 압력 센서, 가속도 센서, 자이로스코프, 프로젝터와 같이 폭넓은 분야로 전개될 수 있을 것으로 기대된다. 압전 MEMS는 비교적 큰 발생력, 고속 응답, 저전압 구동, 저소비 전력의 특징에 의해 정전압 (Electrostatic)이나 압저항 (Piezoresistive) 타입 등 기존 기술 대비 차별화된다 [1, 2].

압전 기술과 MEMS 압전 박막은 Silicon 기판 위에 10~20년 넘게 연구소나 대학에서의 많은 연구되어 왔으나 성공적으로 제품으로 상용화되기 위해서는 몇 가지 극복해야 하는 점들이 있다 [3]. 우선적으로 압전 특성을 이해하고 이를 바탕으로 구현하고자 하는 최종 제품의 특성과 관계를 이해, 구조 설계에 대해 최적화를 위해 Design tool 개발이 필요하다.

두 번째로는 Mass production을 위한 압전 박막

의 증착 Tool의 개발이다. Sol-gel coating 이나 Sputtering과 같은 증착 공법으로 High quality의 압전 박막을 양산성있게 확보하는 것이 필수적이다 [4-6]. 압전 특성을 이용하는 많은 제품들은 증착되는 박막의 두께가 수 um 영역을 사용하고 있으며 이러한 두께를 구현하기 위해서는 High throughput을 위한 Sol-coater나 Sputter 장비 개발이 필수적이라 볼 수 있다. 특히 Sol-coater의 경우, 제품에서 필요로 하는 두께를 구현하기 위해 10~40회의 누적 코팅이 필요로 하며, Mass production을 위해서는 자동화된 Sol-coater 장비에 대한 개발도 필수적이라 볼 수 있겠다. 이러한 시도는 제품 구현 시 가격 경쟁력에도 큰 영향을 미친다. 마지막으로 압전 MEMS 공정을 진행하며 어떻게 Quality를 확인해 나갈 수 있는가 하는 점이다. 대부분의 압전 소자의 경우, 압전 특성 및 제품 특성을 확인할 수 있는 단계가 소자의 최종 단계인 경우가 많다. 전기장의 방향과 기계적 변위가 발생하는 방향이 수직이 되는 d_{31} 압전 상수를 이용하는 응용 제품의 경우, 특성 평가를 위해 별도의 소자를 만들어야 하는 경우가 많다. 소자 제조 중간 단계에서 Quality 평가를 위한 In-situ quality monitoring tool 개발은 제품 특성 확보 차원과 가격 경쟁력 확보를 위한 수를 향상 측면에서 필수적이라 할 수 있다. 또한 각 공정에서 모니터링 하는 평가 항목들과 최종 제품 특성과의 관계에 대한 이해도 매우 중요하다고 할 수 있다.

2. 압전 박막재료

압전 재료로는 ZnO, AlN, Quartz (SiO₂)과 더불어 PbZrTiO₃ (PZT)을 비롯한 강유전체 [1, 5, 6], (K, Na)KbO₃ (KNN) [7]과 같은 Pb free 친환경 재료 등에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. MEMS 소자에 사용되는 압전 박막은 기존 많은 연구가 되어 온 Bulk 압전 재료 특성과 상이한 연구 결과가 보고되었으며, 그 이유로 압전 박막이 증착되는 기판 종류, 증착 공정, 미세 구조물을 제조하는 MEMS 공정 조건 등에 의해 크게 그 특성이 좌우됨을 알 수 있다.

표 1은 주요 압전 재료의 주요 물성에 대해 요약된 것으로 PZT 재료는 다른 재료들에 비해 압전 상수가 매우 크고 오랜 강유전체 비휘성 메모리와 관련된 많은 연구로 인하여 기반 기술에 대한 정보와 문헌 등을 압전 기술에 활용할 수 있다는 장점이 있다. 높은 압전 상수를 얻기 위해 PZT 조성 중 유전 특성 및 전기적, 압전 특성이 우수한 MPB (Morphotropic phase boundary) 조성에 대한 연구가 많이 이루어져 있다.

압전 특성에 영향을 미치는 또 하나의 인자로 박막의 우선 배향성을 들 수 있으며, 기판의 선택, 하부 전극의 배향성, Seed layer 도입, 증착 열처리 조건

표 1. Thin film piezoelectric and dielectric properties [1].

Coefficient Figures of merit	ZnO	AlN	PZT
e_{31} (C/m ²)	-1.0	-1.05	-8 ... -12
d_{33} (pm/V)	5.9	3.9	60 ... 130
ϵ_{33}	10.9	10.5	300 ... 1300
$\tan \delta$ (@1-10 kHz, 105V/m)	0.01 ... 0.1	0.003	0.01 .. 0.03

e_{31} : deflection force, piezoelectric charge of deflected piezoelectric laminated structure
 d_{33} : piezoelectric charge constant
 ϵ_{33} : dielectric constant
 1,2,3 denotes direction of x, y and z

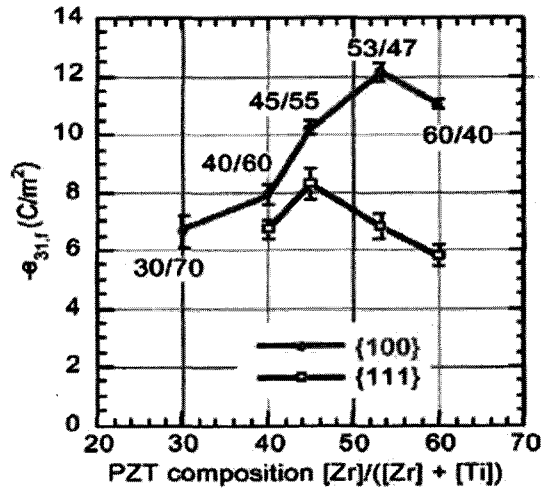


그림 1. PZT 조성과 우선 배향성에 따른 압전 특성.

등에 따라 우선 배향성이 변화하며 그림 1과 같이 PZT 박막의 우선 배향성과 박막 내 조성에 따른 압전 상수와의 관계를 알 수 있다 [1, 4, 8].

3. 압전 박막 응용

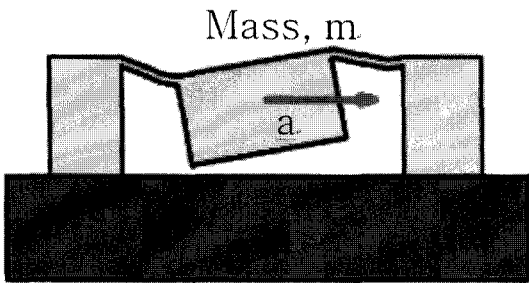
압전 MEMS의 주요 응용 분야로는 다양한 Input 을 센싱하여 출력해 주는 센서류로 가속도, 자이로, 초음파 및 적외선 센서 등을 들 수 있다. 그 중 상용화된 일례로 오랜 PZT 박막 재료에 대한 연구 경험을 토대로 디지털 카메라, 캠코더의 손 떨림 방지용 자이로 센서에 상용화한 파나소닉社 (日)나 엠슨社 (日)의 잉크젯의 헤드 응용 등을 들 수 있겠다 [9, 10]. 최근 가속도, 지자기 센서 및 자이로 센서의 아이폰 4 채용은 증강 현실 및 닌텐도 위에서 보여 주었던 체감형 게임 (스티브 잡스가 보여준 Jenga 게임과 같이)에 대한 여러 응용에 대한 길을 활짝 열어 주었다. 본 장에서는 우리 생활로 파고들고 있는 가속도 센서와 자이로 센서에 대한 응용에 대해 좀 더 알아보 고자 한다.

3.1 가속도 센서

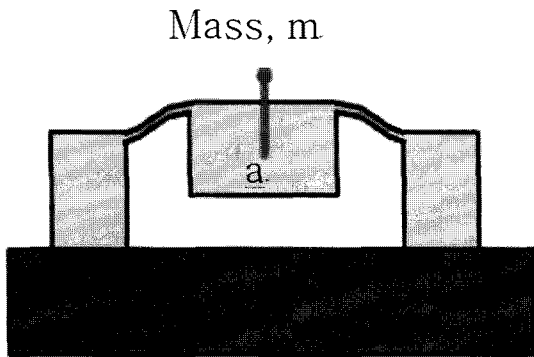
가속도 센서는 단위시간당 속도의 변화를 감지하

는 소자로 활용하는 센싱 타입에 따라 센서의 미세 구조는 다르나 그림 2와 같이 가속도가 들어왔을 때 이를 감지하는 Mass와 가속도 Input으로 Mass에 가해진 힘을 압전 특성을 통해 변위를 전기적 신호로 변환, 센싱하는 구조로 구성된다.

이 같은 경우, Newton의 법칙, $F=ma$ 에 의해 전달된 힘이 압전 박막을 통해 센싱되는 구조가 되겠다. 이때 들어온 가속에 의한 변위가 최대로 나타나는 영역에 압전 박막은 위치하며 압전 박막은 가속도에 의해 발생한 변위를 전기적인 신호로 변환하여 가속도를 센싱하게 되는 것이다. 그림 2와 같은 구조로 PZT 압전 박막을 이용하여 다축 가속도 센서 제작을



(a)



(b)

그림 2. 다축 가속도 센서.

위한 연구 개발이 진행 중이며, Interdigitated 전극을 이용하여 d_{33} 모드의 압전 상수를 이용하는 Approach도 보고된 바 있다 [11]. 가속도 센서는 자동차 에어백, 만보기, 핸드폰의 화면 전환 등 생활 주변에서 많이 볼 수 있다.

3.2 자이로 센서

한 축을 중심으로 회전하는 힘을 센싱하는 자이로 센서는 앞서 언급한 대로 카메라의 손 떨림 보상, 자동차 내비게이션 등에 탑재되어 균형 제어를 필요로 하는 기기 등에 사용되고 있다. 기본 원리는 진동하고 있는 물체에 각속도가 인가되면 진동과 수직 방향으로 힘이 발생하는 Coriolis 힘을 이용한다. 그림 3과 같이 질량을 가지고 있는 물체가 y 방향으로 v 의 속도로 진동하고 있을 때, z 축 방향으로 회전 각속도가 가해지면, Coriolis 힘은 이 두 방향에 수직인 x 축으로 발생하게 된다. ($F=2m\omega v$)

4. 결론

PZT 등과 같은 압전 박막의 MEMS 응용은 센서/액추에이터의 집적화, 저전압 구동소자에 대한 요구 추세에 부합하는 연구 개발 분야로 High quality의 박막 기술 확보 등 실용화를 위해서는 재료 기술과 더불어 MEMS 공정과의 성공적 연결이 필수적이라

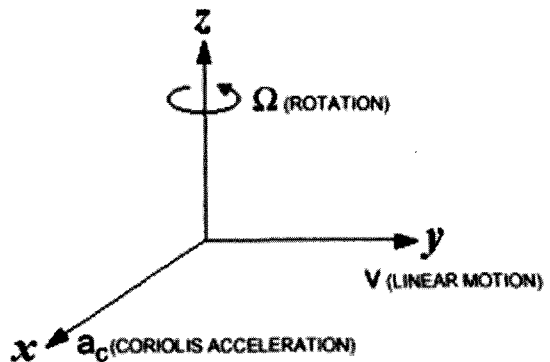


그림 3. 자이로 센서 원리.

할 수 있다. 압전 MEMS 기술을 통해 단일 센서의 부분적인 정보만이 아니라 최근 출시되는 몇몇 제품에 서 보이듯이 여러 센서를 융합하여 멀티 센싱하여 고성능, 고부가가치를 가져다주는 센서 제품으로의 확대 적용을 기대해 본다.

참고 문헌

- [1] S. Trolier-Mckistry, P. Muralt, "Thin film piezoelectrics for MEMS", J. Electroceram., 12, 7 (2004).
- [2] M. Ichiki, J. Tsau, L. Zhang, Z. Wang and R. Maeda, IEEJ. Trans. SM, 123 560 (2003)
- [3] F. Tyholdt, Workshop on Piezoelectric MEMS, - Materials, Tools, and Devices, May 18th & 19th , 2010 - Aachen, Germany.
- [4] S. Fujii, E. Fujii, R. Takayama, A. Tomozawa, T. Kamada and H. Toril, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 015502.
- [5] H. Jacobsen, H. Quenzer, B. Wagner, K. Ortner and Th. Jung, Sens. Act. A 135 23 (2007)
- [6] F. Griggio and S. Trolier-Mckinstry, J. Appl. Phys. 107, 024105 (2010)
- [7] Kenji Shibata, Hitachi Cable, Ltd., Workshop on Piezoelectric MEMS, - Materials, Tools, and Devices, May 18th & 19th , 2010 - Aachen, Germany.
- [8] N. Lederman, P. Muralt, J. Baborowski, S. Gentil, K. Mukati, M. Cantoni, A. Seifert and N. Setter, Sens. Act. A 105 162 (2003)
- [9] http://industrial.panasonic.com/ww/news_e/nr200712MC001_e/nr200712MC001_e.html
- [10] M. Okumura, T. Takahashi, K. Kato and S. Denda, Workshop on Piezoelectric MEMS, - Materials, Tools, and Devices, May 18th & 19th , 2010 - Aachen, Germany.
- [11] H. Yu, L. Zou, K. Deng, R. Wolf, S. Tadigadapa, S. Trolier-Mckinstry, Sens. Act. A 107 26 (2003)

저자약력



성명 : 이정원

◆ 학력

- 1992년 연세대학교 공과대학 세라믹공학과 공학사
- 1995년 연세대학교 대학원 세라믹공학과 공학석사
- 2002년 North Carolina State Univ. Materials Science and Eng. 공학박사

◆ 경력

- 1997년 - 1999년 Alfred Univ. Ceramic Eng. Research Associate
- 2002년 - 2004년 North Carolina State Univ. Post Doc.
- 2005년 - 현재 삼성전기(주) Advanced Device 랩 수석연구원

