수정진동자를 이용한 메탈 삽입 테프론 다이어프램 압전소자모듈의 제조 및 특성

김경민 · 박성현*** · 김성우* · 손원근* · 신병철***†

Fabrication and characteristic of metal inserted teflon diaphragm piezoelectric device module using quartz crystal oscillator

Kyung-Min Kim, Sung-Hyun Park***, Sung-Woo Kim*, Won-Geon Son*, and Byoung-Chul Shin***†

Abstract

Top of the alumina body which is made according to plan has been printed using a screen printer equipment in order to print an electrode pattern. The electrode is connected with the quartz crystal oscillator of the piezoelectricity method which has a piezoelectric characteristic. The pressure contact department has been experimented using three type of the teflon. The teflon is good for pressure delivery vector but it is bad restitution. So we devised the structure which inserts the metal in the teflon. Bottom of the module is connected with the signal processing department which is planned in advance and then has investigated to characteristic. Therefore we have got the best output-voltage and frequency characteristic follows in the pressure.

Key Words : piezoelectric device, quartz crystal oscillator, screen printing, pressure transmitter

1. 서 론

선박에 설치되어 있는 밸러스트탱크(ballast tank)와 각종 오일(oil), 물탱크(water tank)의 수위나 흐름을 연속적으로 측정 하는 수위계측용 레벨트랜스미터(level transmitter)에 내장되는 압전센서 제품은 대부분 독일 및 일본 등지에서 수입에 의존하고 있으며, 피에조방식 압전센서의 국내 개발을 통한 특수용도의 상용화는 여전히 미약하고 국내개발은 전무한 실정이다.

국내의 레벨트랜스미터 관련 산업의 제조방식은 수입된 압전센서를 이용하여 완제품을 조립하는 방식으로 생산하기 때문에 센서소자의 수입단가 상승은 완제품가격을 높이는 주범이 되므로 경제적 손실이 매우 크다.

일반적으로 산업용 압전소자는 높은 감도와 작은

온도계수, 강한 내구성 및 빠른 실용화를 요구한다. 따라서 이를 위해 견고한 세라믹 소재를 이용한 피에조방식의 세라믹 압전소자의 개발이 절대적으로 필요하다. 이는 소량 다품종 생산을 가능하게 하고, 가혹 산업현장에 사용되는데 내구성이 강한 세라믹소재를 이용하는 가공방식이 활성화되어야 한다.

본 연구에서는 경도가 우수한 세라믹 모재와 내열성, 내화학성 및 높은 절연성을 가지는 테프론 다이어프램(teflon diaphragm)을 사용하여 압전 소자모듈을 제조하였고, 특히 테프론다이어프램의 구조에 따른 압력의 특성변화를 알아보았다.

압전체는 안정된 주파수를 유지하고, 규칙적인 기준 신호를 만들어 내는 수정진동자(quartz crystal oscillator) 혹은 quartz crystal microbalance)를 사용하여 압전소자 모듈을 제조 하였다.

수정진동자는 수백 마이크로미터 정도 두께의 수정판(수 밀리미터의 직경) 양쪽 면에 전극을 부착하고 전극에 교류를 가하였을 때 수정의 물질적 특성에 기인하여 발생하는 고유진동의 특성을 전기적으로 측정함으로써 전극 표면에 부착한 미세 물질을 검출하기 위

동의대학교 나노공학과(Department of Nano engineering, Dong-Eui University)

*(주)유니크코리아NI(Unique Korea NI Co., Ltd)

**동의대학교 전자세라믹센터(Electronic Ceramic Center, Dong-Eui University)

†Corresponding author : shinbc@deu.ac.kr

(Received : December 21, 2009, Revised : January 27, February 25, 2010
Accepted : March 23, 2010)

한 목적으로 개발되어 왔다^[1].

Quartz의 결정체를 적당한 크기와 방향으로 잘라내어 여기에 기계적인 힘을 가하면 특정 방향으로 기전력을 발생시킨다. 반대로, 그 방향으로 기전력을 가하면 결정체가 일그러지는 힘을 발생시킨다. 이러한 현상을 압전기효과 혹은 피에조효과라고 하며, 이 현상이 발생되도록 만든 수정편을 piezoelectric crystal 또는 Quartz라고 한다.

이 수정편에 극성이 변하는 전기를 가하면 기계적인 신축 즉, 진동이 용이하고 강하게 발생된다. 이것을 전자회로의 일부에 삽입하면 수정편의 고유주파수에 따라 일정한 주파수가 안정되게 발생된다^[1,2].

발진주파수의 차이는 수정의 표면에 어떤 물리적 질량의 차이에 따라 다르게 나타난다^[3,4].

이러한 수정진동자를 이용하여 압전소자를 제조하였으며 테프론다이아프램의 구조에 따른 압력의 특성 변화에 대해 조사하였다.

2. 압전소자 감지 원리

압전소자에 교류전압이 인가되면 수정진동자는 자기 고유주파수로 진동을 하게 되고, 아래 Fig. 2와 같이 메탈(metal)이 삽입된 테프론다이아프램에 압력이 인가되면 수정진동자는 압력을 감지한다. 가해진 압력의

Fig. 1. Manufacturing process of piezoelectric device module.

Fig. 2. Mechanism of piezoelectric device module using quartz crystal oscillator.

크기에 따라 진동의 크기가 달라지고 발진주파수변화가 생기게 된다.

변화된 주파수는 신호처리부에서 신호를 증폭, 변조하여 출력전압의 변화를 측정하게 된다.

3. 실험

본 실험의 압전소자 모듈 제조공정도를 Fig. 1과 같이 세라믹모재 부와 다이아프램 부로 나타내었다. 압전소자 모듈의 압력접촉부는 아래 Table 1과 같이 세 가지 방식으로 제안하여 실험을 하였다. 제안된 세 가지의 압전소자 모듈은 압력 캘리브레이터(pressure calibrator, Druck co., DPI 600)를 사용하여 기계적인 압력을 인가하였고, 인가된 압력에 따라 발진 주파수의 변화 및 출력 전압 변화를 측정하였다.

3.1. 세라믹모재부 설계 및 제조

알루미나(alumina, 96%) 소재의 세라믹 모재(두께 :

Table 1. Specific of teflon diaphragm A, B, C type

	A-type	B-type	C-type
외경(mm)	32.4	32.4	32.4
두께(mm)	3.939	3.939	3.939
삽입된 metal 직경(mm)	26.5	20	8
삽입된 metal 두께(mm)	1	1	1

Table 2. Specific of quartz crystal oscillator

Model	IK-smx- 5032
Size	5.0 × 3.2 × 0.8 mm
Frequency range	12 MHz ~ 48 MHz
Operating temperature	-10 °C ~ 70 °C

5 mm, 직경 : 32.4 mm)와 테프론다이어프램을 Table 1과 같이 설계한 후 가공하였다.

신호처리부와 수정진동자와의 연결을 위해서 알루미늄 세라믹 모재 상부면에 전극 패턴을 인쇄하였다. 전극 인쇄는 스크린 프린터 장비(micro tec co., MT-320TV)를 사용하였다. 인쇄된 전극의 두께는 10 μ m 이었다.

스크린 프린팅에 의한 후막 공정에서는 페이스트의 점도와 소성 그리고 프린팅에 있어서 스크린 변수와 기계적 변수 등을 고려하여야 한다^[5-7]. 스크린 변수에는 mesh의 재질과 크기, 장력, emulsion type, 두께 그리고 패턴의 방향 등이 있고 기계적 변수에는 스퀴즈의 강도, 누르는 힘, 속도와 페이스트의 양 등이 있다^[8].

본 실험의 스크린 프린팅 공정 조건은 Table 3에 정리하였다.

전극은 silver content가 67 %, viscosity가 100 kcps ~ 120 kcps인 silver paste로 실험하였다.

전극을 인쇄하기 위하여 Fig. 3과 같이 마스크(stainless steel, mash : 325)와 지그를 설계 및 제작하였다.

Fig. 4와 같이 전극을 열처리하기 위해 전극 인쇄 후 전극의 용매를 제거하기 위해 건조기로 100 °C에서 10 분간 열처리 하였고, 수직로를 사용하여 650 °C에서 10분간 소결하였다.

인쇄된 세라믹 모재 상부면의 전극은 Fig. 5와 같이 압전특성을 가지는 피에조 방식의 수정진동자와 연결되어 지고, 저온 안정성 및 내열성, 내화학성 그리고 광범위한 주파수대에 걸쳐 높은 절연성, 낮은 손실을 및 높은 표면저항을 가지는 테프론과 접합을 하였다.

Table 3. Processing condition of screen printing

Distance between Jig and Mask	80 μ m
Scraper speed	32 mm/s
Squeeze speed	24 mm/s
Ag paste amount	30 g

Fig. 3. Mask(left), jig holder(right) for screen printing.

Fig. 4. Annealed electrode after electrode printing.

Fig. 5. Joined with quartz crystal oscillator after printed electrode.

3.2. 다이어프램부 설계 및 제조

테프론은 압력인가부로부터의 압력전달 매개체로 유연성은 좋으나 복원력이 문제가 있어 테프론에 메탈을 삽입한 구조를 Fig. 6과 같이 고안하였다.

3.3. 신호처리부 설계 및 압전소자 모듈 특성 조사

접합된 모듈 하부면은 신호처리부와 연결하였고, 가해진 압력에 따른 특성을 분석하였다.

압력 캘리브레이터(druck co., DPI 600)를 이용하여 0 Bar~20 bar 범위의 압력에 따른 압전센서의 출력변화 측정을 위해 Fig. 7과 같이 신호처리부 PCB1, PCB2를 제작하였다.

신호처리부는 0 Bar~20 Bar의 선형적인 입력 압력변화에 따른 압전센서로부터 주파수 변화도를 측정하였고, 이에 따른 신호를 증폭, 변조하여 출력전압의 변화도를 오실로스코프(oscilloscope, lecroly co., 44Xi)와 디지털멀티미터(digital multimeter, EZ co., DM-441B)를 이용하여 측정하였다.

Fig. 6. Insulated metal in the Teflon Diaphragm and piezoelectric device module. (a) A-type, (b) B-type, (c) C-type, (d) piezoelectric device module.

Fig. 7. Signal processing department PCB1(left), PCB2 (right).

4. 결과 및 고찰

테프론다이아프램의 구조에 따라 압력 측정을 0 bar~20 bar까지 변화하며 압력에 따른 발진 주파수 변화 및 출력전압의 변화를 측정하였다.

Fig. 8에서와 같이 테프론다이아프램 A-type은 4 bar 압력까지는 출력전압 변화값이 약 15 mV로 특성을 보이다가 5 bar 압력부터는 변화값이 일정하지 않았다. 발진주파수 변화도는 6 bar까지 12 Hz정도 변화하였다. 이후에는 변화값이 일정하지 않았다.

Fig. 9에서와 같이 테프론다이아프램 B-type은 발진 주파수와 출력전압값이 3 bar까지는 변화가 없었다. 4 bar에서 20 bar까지의 출력전압 값은 50 mV이었다. 발진주파수 변화는 변화값이 불규칙하였다.

Fig. 10에서와 같이 테프론다이아프램 C-type은 0 bar~20 bar까지의 압력에 따른 발진주파수의 변화값은

Fig. 8. Output voltage and frequency characteristic of Teflon diaphragm A-type.

Fig. 9. Output voltage and frequency characteristic of Teflon diaphragm B-type.

50 Hz, 출력전압 변화값은 약 70 mV로 감도가 좋았으며 선형적인 특성을 보였다.

테프론다이아프램 A-type과 B-type은 다이아프램과 메탈사이의 공간에 의해 압력의 힘이 분산되어서 특성이 좋지 않은 것으로 사려되어진다.

본 연구를 통해서 테프론다이아프램 구조에 따른 특성 변화를 실험하였으며, Fig. 11에서와 같이 0.3 %FS의 선형성을 가지는 압전소자모듈을 제조하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 경도가 우수한 세라믹 소재와 내열성, 내화학성 및 높은 절연성을 가지는 테프론 다이아프램

Fig. 10. Output voltage and frequency characteristic of Teflon diaphragm C-type.

Fig. 11. Linearity of piezoelectric device.

을 사용하여 압전소자모듈을 제조 하였고, 특히 테프론 다이어프램의 구조에 따른 압력의 특성변화를 알아보았다.

알루미늄 모재에 스크린 프린팅 장비를 사용하여 전극을 인쇄하였고, 수정진동자와 접합을 하였다. 압력이 인가되는 다이어프램에는 테프론을 사용하였다.

테프론다이어프램은 메탈을 삽입한 구조를 제안하였다.

테프론다이어프램의 구조에 따라서 발진주파수 변화와 출력전압 변화 특성을 조사하였다.

테프론다이어프램에 삽입한 메탈은 크기가 작을수록 우수한 특성을 나타내었고, 재현성 또한 확인할 수 있었다.

향후 메탈이 삽입되지 않는 테프론다이어프램의 구조를 제작하여 실험할 것이다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부와 부산광역시의 지원을 받는 지역혁신센터(RIC)인 동의대학교 전자세라믹스센터의 지원으로 이루어 졌습니다.

참고문헌

- [1] 서용권, 김영한, “수정진동자를 사용한 점탄성 유체의 점성계수와 전단 탄성계수 측정에 관한 이론 해석”, 대한기계학회논문집 B권, 제32권, 제7호, pp. 487-496, 2008.
- [2] Rodriguez-Pardo, J. Farina, C. Gabrielli, H. Perrot, and R. Brendel, “Resolution in quartz crystal oscillator circuits for high sensitivity microbalance sensors in damping media”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 103, Issues 1-2, pp. 318-324, 2004.
- [3] G. Sauerbrey, “Verwendung von schwingen zur wägung dünner schichten und zur mikrowägung”, *Z. Phys.*, vol. 155, no. 206, 1959.
- [4] V.E. Granstaff and S.J. Martin, “Characterization of a thickness-shear mode quartz resonator with multiple nonpiezoelectric layers”, *J. Appl. Phys.*, vol. 75, no. 3, pp. 1319-1329, 1994.
- [5] R. E. Trease and R. L. Dietz, “Rheology of pastes in thick-film printing”, *Solid State Technology*, 1972.
- [6] L. F. Miller, “Screenability and rheology”, *Solid State Technology*, 1974.
- [7] S. Egusa and N. Iwasawa, “Piezoelectric paints ; preparation and application as built-in vibration sensors of structural materials”, *J. Materials Science*, vol. 28, no. 6, pp. 1667-1672, 1993.
- [8] 김상중, 최형욱, 백동수, 최지원, 김태송, 윤석진, 김현재, “Screen Printing법을 이용한 PMN-PZT후막의 제조 및 특성연구”, *J. the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, vol. 13, no. 11, pp. 921-925, 2000.

김 경 민

- 2009년 2월 동의대학교 정보소재공학과 (공학사)
- 현재 동의대학교 나노공학과 석사과정
- 주관심분야: SiC epilayer growth, SiC Schottky Barrier Diode, Piezoelectric device.

박 성 현

- 2001년 2월 부경대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 3월~2003년 12월 동명대학 정보통신계열 겸임교수
- 2004년 9월~2005년 12월 경상대학교 전자전기메카트로닉스공학과 겸임교수
- 2000년 3월~2005년 12월 엔알디테크주식회사 기술연구소 선임연구원
- 2006년 3월~현재 동의대학교 나노공학과 강의전담교수
- 2006년 7월~현재 (주)유니크코리아NI 부사장
- 2008년 3월~현재 동의대학교 전자세라믹센터 운영위원회 책임연구원
- 주관심분야: SiC epilayer growth, SiC Schottky Barrier Diode, Piezoelectric device, Rogowskicoil current sensor process, Gas sensor process, CMOS RF 집적회로설계

김 성 우

- 2002년 8월 부경대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 7월~현재 (주)유니크코리아NI 부속기술연구소 선임연구원
- 주관심분야: 전력증폭기, LNA, Mixer, CMOS RF 집적회로설계

손 원 근

- 2009년 2월 동의대학교 정보소재공학과 (공학사)
- 2009년 3월~현재 (주)유니크코리아NI 부설기술연구소 연구원
- 주관심분야: 압력센서, 압전센서

신 병 철

- 1988년 8월 KAIST 재료공학과(공학박사)
- 1990년 2월~1990년 8월 미국 펜실베이니아 주립대 MRL 방문연구원
- 1991년 10월~1992년 12월 일본 東京大學 RCAST 객원연구원
- 1988년 9월~1996년 2월 포철 RIST 신소재연구부문 책임연구원
- 1996년 3월~현재 동의대학교 나노공학과 교수
- 2001년 6월~2006년 3월 지역협력연구센터(RRC) 소장
- 2002년 4월~2006년 3월 지역기술혁신센터(TIC) 소장
- 2006년 3월~현재 전자세라믹스 지역혁신센터(RIC) 소장
- 주관심분야: SiC Ingot growth, SiC epilayer growth, SiC Schottky Barrier Diode, Piezoelectric device, Rogowskicoil current sensor process, Gas sensor process.