Regular Paper
J. KIEEME
Vol. 23, No. 8, pp. 601-604, August 2010
DOI: 10.4313/JKEM.2010.23.8.601

압전 에너지 하베스트를 위한 마이크로 필라 공정 연구

윤석우[1], 이규탁[1], 이경수[1], 정순종[2], 김민수[2], 조경호[3], 고중혁[1,a]

[1] 광운대학교 전자재료공학과
[2] 한국전기연구원 에너지반도체센터
[3] 국방과학연구소 제4기술연구본부

Processing Study for the Micro Pillar for Piezoelectric Energy Harvest

Seok-Woo Yun[1], Ku-Tak Lee[1], Kyoung-Su Lee[1], Soon-Jong Jeong[2], Min-Soo Kim[2], Kyoung-Ho Cho[3], and Jung-Hyuk Koh[1,a]

[1] Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
[2] Research Center of Energy semiconductor, Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon 641-120, Korea
[3] Research Headquarter of the Fourth Technology, Agency for Defense Development, Daejeon 305-152, Korea

(Received May 18, 2010; Accepted June 21, 2010)

Abstract: In this study, the piezoelectric energy harvester was investigated employing the pillar structure with the diameter size of 50~500 um. Usually, the aspect ratio between the height and diameter was related with the piezoelectric performance. High aspect ratio was showed the low electric noise and high piezoelectric properties than low aspect ratio. Therefore, we have selected the Su-8 photo-resist and modified lithography process to manufacture the pillar structure with height above the 250 μm. In this presentation, we will report the process and properties of micro pillar structure based on the PMN-PZT ($Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbZrTiO_3$) materials.

Keywords: Energy havesting, Micro pillar structure

1. 서 론

최근 고유가 시대에 산업의 발달에 따라 급격히 늘어나는 에너지 수요를 충족하는 국가적 대체에너지 개발 및 에너지효율의 합리적 사용에 대한 요구가 급격히 증대되고 있다. 또한 에너지 수요의 공급에 관련해 종래의 환경오염을 야기 시키는 화력 발전, 원자력 발전과 달리 친환경적인 에너지 생산 방법에 관련하여 많은 관심이 대두 되고 있다. 이와 관련 하여 대체 에너지 개발과 고 에너지 효율성 소자 개발에 대한 연구가 전 세계적으로 진행 되고 있다. 이러한 연구 중 에서 태양광을 이용한 태양발전, 풍력을 이용한 풍력발전, 수력을 이용한 수력 발전 등 생활 속에서 무의식적으로 버려지는 에너지를 활용하여 쉽고 편리하게 사용 할 수 있는 전기에너지로 변환시키는 에너지 하비스팅 기술이 대두 되고 있다. 이런 일련의 방법들은 각각 장, 단점을 가지고 있어 주어진 자연환경에 적합한 방법이 이용되고 있다. 예를 들면 태양열 발전을 이용한 태양전지 (solar cell)는 에너지 양은 크지만 흐린 날이나 실내에서는 사용 할 수 없는 단점이 있다. 수력 발전을 이용한 발전은 반영구적으로 에너지를 생산 할 수 있지만 수력 발전소를 설치하는 방법에는 많은 경제적 요건과 환경적 요건의 제약이 많다. 또한 풍력에너지를 이용한 에너지 발전은 친환경적이고 경제성이 있지만 지리적 제약이

a. Corresponding author; jhkoh@kw.ac.kr

존재 하고 있다. 이러한 대체에너지 중에서 경제성과 환경 친화성 및 지리적 이점을 동시에 지니고 있는 것으로 평가 되고 있는 압전 (piezoelectric)을 이용 기술에 대한 중요성이 부각되고 있다. 이와 관련된 연구로써 현재 사람이 움직이는 동안 신발에 압전소자를 삽입하여 전력을 얻을 수 있는 기술 [1], 무릎의 관절 사이에 압전 소자를 삽입하여 전력을 생산하여 사용할 수 있는 방법 [2], 또한 벤더형이 아닌 심벌즈 구조를 갖는 압전 엑추에이터를 이용하여 에너지를 수확하는 연구 [3] 등이 활발히 이루어지고 있다. 그리고 스스로 전기를 생산/공급하는 반영구적인 또는, 장기간 작동하는 제품 개념인 self-powered system이 대두되고 있으며 인공 심장박동기 동력원, 핵발전소내 관 내부의 fouling 제거 청소 로봇 동력원, 군사용 목적으로 또는 오지에서 사용해야할 휴대용 통신, 위치 확인 시스템 (GPS), 무선 정보 장비용 전원, 자동차 엔진 열을 이용하는 계측장비 등, 자가 발전형 마이크로 시스템에 대한 다양한 분야로의 적용을 위한 연구개발이 진행 중이다. 압전효과를 이용한 연구 중 현재 가장 큰 에너지를 제공할 수 있는 부분은 보행 시 인간의 무게에 의한 충격에너지이며, 그 크기는 1~10 W에 달한다. 이를 이용한 자가 발전/충전 시스템을 개발하면 실생활 에서도 효과적인 전원으로 사용될 수 있을 것이다.

이 논문에서는 피에조 하비스팅 기술의 적용을 위하여 높은 압전 특성을 나타 낼수 있는 micro pillar 형태의 구조의 공정 설계 기술을 연구 하였다. 그리고 composite의 탄성체로 채워서 구조물을 외부의 충격으로부터 견딜 수 있는 구조로 제작하여 이를 이용하여 자가 발전에 의한 에너지의 발전 시스템의 개발을 목표로 하고 있다.

2. 실험 방법

본 실험은 그림 1과 같은 순서로 진행하였다. 기판은 Al_2O_3를 사용하여 우선 trichloroethylene을 사용하여 15분간 세척 후 아세톤과 메탄올에 각각 15분 동안 기판을 세척하였다 세척한 알루미나 기판 위에 Su-8 photo-resist를 스핀코팅 방법으로 500 rpm으로 10초, 1,500 rpm으로 30초간 가하여 1 mL/inch^2 의 양으로 photo-resist를 올렸다. 그 후 65℃ 오븐내에서 40분간 pre-baking을 한 후 95℃에서 120분간 soft-baking 하였다. 그 후 60초간 UV (ultraviolet)를 expose

Fig. 1. Manufacturing process of the micro pillar structure.

하였다. UV를 expose한 후에 95℃에서 40분간 baking 한 후 20분간 develop를 하였다. 그 후에 isopropyl alcohol에 develop가 잘 되었는지 확인한 후 190℃에서 120분간 hard-baking 하였다. 그 후 PMN-PZT 슬러리를 만든 후 스크린 프린팅을 하였다. 그 후 120℃ 온도에서 건조를 시킨 후 PR을 전기로를 이용하여 제거를 하였다. 그 후 홀 패턴화된 PMN-PZT를 1,200℃에서 소결 시킨 후 폴리머 물질로는 PDMS를 선택 하여 충진 시킨 후 기판을 제거 하고 실버 페이스트를 이용하여 상, 하부전극을 코팅 하였다. 유전율은 4284 LCR 미터를 사용하여 측정 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 전체 공정 과정에 관련한 샘플의 이미지 모식도이다.

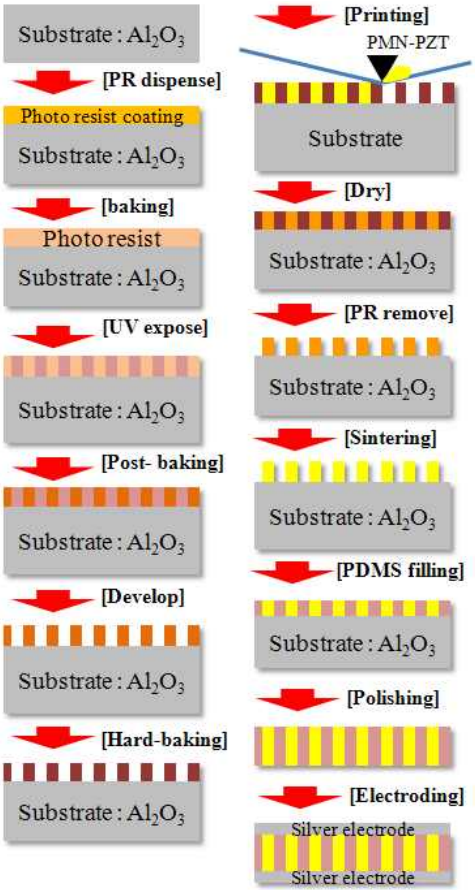

Fig. 2. Total process image of micro pillar.

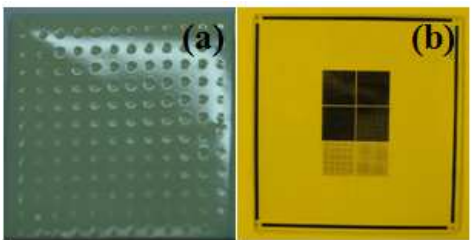

Fig. 3. (a) consummative sample of the micro pillar structure (b) pattern mask.

이 연구의 목표인 압전 에너지 하비스팅을 위하여 ceramic pillar를 만들었을 때 aspect ratio가 높게 나오게 하기 위해서 초반 pattern을 제작할 때 photo-resist의 두께를 250 μm이상으로 제작을 하였다. 또한 높은 aspct ratio를 구현 하기 위하여 패턴 마스크를 통하여 50 μm에서 500 μm까지 다양한 지름의 pattern을

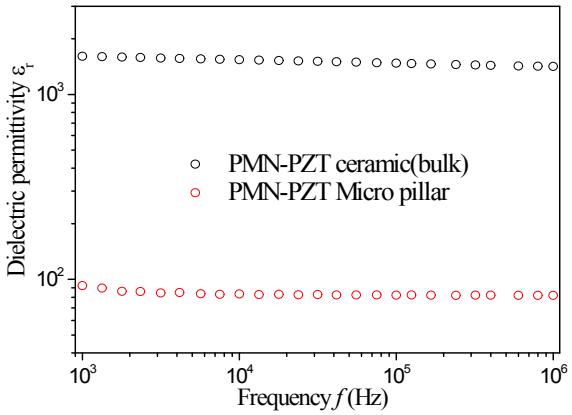

Fig. 4. Frequency dependent dielectric of PMN-PZT ceramic and micro pillar.

형성하였다. 압전 물질에서는 aspect ratio (L/D, L fiber 길이, D fiber 지름)가 높을수록 전기적 노이즈가 작아지며 압전 특성은 증가 한다 [4,5]. 그림 3은 완성된 마이크로 필라 구조의 샘플 사진과 패턴 마스크의 사진이다.

그림 4는 주파수에 따른 PMN-PZT의 벌크와 마이크로 필라 형태의 유전율의 변화를 나타낸 그래프이다. 마이크로 필라 형태의 PMN-PZT는 일반 벌크 세라믹의 비교하여 10배 정도의 유전율이 감소하였다. 이것은 세라믹과 달리 제작 과정 중에 PR의 제거시에 영향을 받거나 세라믹의 일축 압축 성형과 달리 스크린 프린팅 기법의 차이로 판단된다. 일반적으로 에너지 하베스팅 소자로 쓰이는 압전 물질은 압전특성 때문에 변형이 일어나게 된다. 따라서 세라믹 형태로 마이크로 단위의 두께로 소자를 제작 하면은 압전 특성으로 인한 변형 때문에 면적이 넓고 두께가 얇은 판 형태에서는 변형으로 인한 압전 물질이 파괴되는 현상을 보인다. 따라서 250 um의 두께 이하 에서는 필라 형태로 제작을 하여야 한다.

4. 결 론

본 연구에서 피에조 하비스팅 기술의 적용을 위하여 높은 압전 특성을 나타 낼 수 있는 micro pillar 형태의 구조의 공정 설계 기술을 연구 하였다. 스핀 코터를 사용하여 Su-8 PR을 500 rpm으로 10초, 1,500

rpm으로 30초의 조건으로 250 μm 이상의 두께의 PR을 올릴 수가 있었다. 또한 후공정인 압전 물질을 스크린 프린팅 기술을 사용하기 위하여 PR 패턴의 구조 변화를 줄이기 위해 hard-baking을 하였다. 완성된 샘플은 50 μm~500 μm 의 diameter hole 패턴을 가졌다. 또한 PMN-PZT를 스크린 프린팅 방법으로 충진하였고 PR을 제거한 후 PDMS를 충전 하였다. 그 후 기판을 제거 하고 전극을 코팅 하여 마이크로 필라를 제작 하였다. 제작한 PMN-PZT 마이크로 필라의 유전율은 벌크 세라믹에 비하여 약 1/10 정도의 유전율을 보였다. 위 기술을 이용하면 높은 aspect ratio를 구현해 낼 수 있으며 이에 따라 압전 특성을 향상 시킬 수 있다. 차후 연구에서는 다양한 aspect ratio를 가지는 마이크로 필라 구조를 바탕으로 composite를 이용한 에너지 하비스팅 소자의 제작을 통해 스스로 전력을 자가 생산 할 수 있는 발전시스템의 개발을 할 것이며 이 기술은 USN (ubiquitous sensor network)로 활용이 가능 하며 또한 무선 전자기기, 센서, MEMS 등 다양한 분야에 응용 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국방 과제 “군용전원 특화연구센터 사업”의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

[1] J. Kymissis, C. Kendall, J. Paradiso, and N. Gershenfeld, *Proceeding of the Second IEEE International Conference on Wearable Computing (ISWC 1998)* (IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Calif., 1998) p. 132.

[2] S. R. Platt, S. Farritor, K. Garvin, and H. Haider, *IEEE-ASME Trans. Mechatron.* **10**, 455 (2005).

[3] H. W. Kim, A. Batra, S. Priya, K. Uchino, D. Markley, R. E. Newnham, and H. F. Hofmann, *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, 6178 (2004).

[4] Y. Hirata, H. Okuyama, and S. Ogino, *J. Mater. Sci.* **43**, 117 (2008).

[5] Y. Hirata, H. Okuyama and S. Ogino, *Proc. IEEE MEMS Workshop* (IEEE, Amsterdam, Netkedands, 1995) p. 191.