

복합구조의 압전 에너지 하베스터를 위한 공정연구

이경수¹, 신동진¹, 고중혁^{1,a}

¹ 광운대학교 전자재료공학과

Processing Study for the Piezoelectric Energy Harvest of Composit Structure

Kyoung-Soo Lee¹, Shin Dong-Jin¹, and Jung-Hyuk Koh^{1,a}

¹ Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

(Received March 20, 2012; Revised March 22, 2012; Accepted March 24, 2012)

Abstract: In this paper, we have proposed piezoelectric energy harvester employing the pillar structure with the diameter size of 500 μm . So we have selected the Su-8 photo-resist and modified lithography process to manufacture the pillar structure with height above the 500 μm . Simultaneously, we tried to make a comparative study to use ceramic bulk - polymer structure. In this paper, we will report the process and properties of micro pillar structure based on the PMN-PZT ($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbZrTiO}_3$) materials. Finally, We will propose a method for generating electrical energy with a piezoelectric element using vibration, an energy source can be obtained from the "clean" energy.

Keywords: Energy harvesting, Micro pillar structure

1. 서론

자연계에서 버려지는 에너지를 활용하는 것을 목표로 하는 에너지 하베스팅 (energy harvesting)은 지난 몇 년간 전 세계적으로 다양하게 연구되고 있는 주제이다. 태양광을 이용하는 태양 전지, 풍력, 바다의 파도 등을 이용하는 압전 발전, 폐열을 이용하는 발전 등 다양한 형태로 연구되고 있다. 각각의 연구 방법들은 장점과 단점을 동시에 가지고 있어 단점을 보완하고 장점을 살리는 방향으로 연구가 진행되고 있는데, 이 중에서도 생활 속에서 무의식적으로 버려지는 에너지를 활용하여 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 전기에너지로 변환시키는 에너지 하베스팅 기술이 대두되고 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 액추에이터를 이용하여 에너지를 수확하는 연구 [3] 등이 활발히 이루어지고 있다. 이처럼 다양한 형태의 미활용 에너지를 기계적 진동으로 변환하여 압전 소자의 순방향 압전 성능을 이용하여 발전을 하고 이를 저장 회로를 통하여 배터리에 저장하는 것이 일반적인 개념이다. 에너지 하베스팅 연구에서는 기계적인 진동을 효율적으로 전기적인 에너지로 변환하는 방법과 변환된 전기적인 에너지를 저장하는 에너지 저장 기술이 두 가지 중요한 주제로 알려져 있다. 국내에서도 압전 재료를 이용한 에너지 하베스팅에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 압전 효과로 발생하는 전기의 양이 작기 때문에 MEMS (micro electro mechanical systems)장치나 신체 삽입 기구의 동력으로 적용하려는 목적으로 연구가 진행되고 있다 [4-6].

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

하지만 이러한 압전 소자는 매우 단단하여 작은 진동에 의해서는 효과적인 에너지를 발생할 수 없을 뿐만 아니라 큰 변형을 가하게 되면 깨져버리는 단점을 갖고 있다. 이러한 단점을 개량하기 위해서 본 연구에서는 PZT (lead zirconium titanite ceramics)의 발전 성능을 개량시킬 수 있는 세라믹-고분자 필라 구조 복합재료 발전 소자를 도입하였다. 세라믹-고분자 필라 구조 발전소자란 PZT를 폴리머 계열의 재료와 같이 필라 구조로 설계한 후 복합재료 성형 공정을 통하여 제작하는 것을 의미한다. 이렇게 함으로써 압전-복합재료 작동 소자와 같이 압전 재료의 압전 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대하였다.

또한 환경적 규제를 통한 PbO의 제한에도 불구하고 미세구조로 제작됨에 따른 특성 저하를 고려하여 본 실험에서는 PbO를 사용하였다. 차후 계속된 연구에서 안정적인 결과가 지속된다면 환경적 측면을 고려하려 NKN (sodium potassium niobate ceramics) 계열 에너지 발생 재료로도 진행될 수 있을 것이라 판단된다.

본 논문에서는 압전 에너지 발생 기술의 적용을 위하여 높은 압전 특성을 나타낼 수 있는 마이크로단위의 미세 기둥 형태의 공정 설계 기술을 연구하였으며, 이러한 압전 에너지 발생 소자를 마이크로단위로 미세화하여 복합체 상태의 탄성체를 이용, 구조물을 제작하여 기존 압전 재료보다 외부의 충격으로부터 더 강하게 견딜 수 있는 특성을 갖도록 연구하였다. 이를 이용하여 자가 발전에 의한 안정적 에너지발전 시스템의 개발을 목표로 하는 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

본 실험은 기존의 압전 파우더를 필라 구조로 소성시키는 방법으로 진행되었다. 공정의 실험 과정은 다음과 같다.

복합체 상태의 구조물을 제작하기에 앞서 Al_2O_3 기판을 각각 가로 세로 1.5 mm 크기로 잘라내고 이를 trichloroethylene을 사용하여 15분 간 세척한 다음 아세톤과 메탄올에 각각 15분 동안 기판을 세척하였다. 세척한 알루미늄 기판에 감광액 (Su-8 photo-resist, PR)을 스핀코팅 (spin coating) 공정 방법을 이용하려 500 rpm으로 10초, 1,500 rpm으로 30초 간 가하여 1 mL/inch²의 양의 감광액 (Su-8 photo-resist, PR)을 도포하였다.

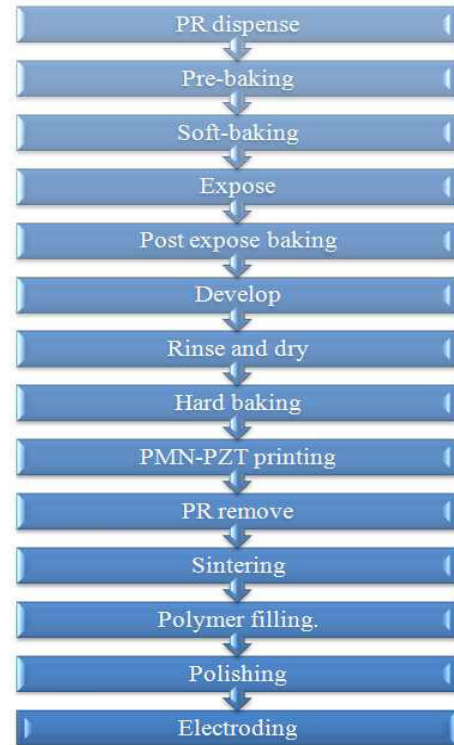


Fig. 1. The picture of Manufacturing process of the micro pillar structure.

이어진 경화 공정에서는 65°C 오븐 (oven)에서 40분 간 프레베이크 (pre-bake) 공정을 실시하였으며, 95°C에서 120분 간 소프트베이크 (soft-bake) 공정을 실시하였다. 경화된 감광액 (Su-8 photo-resist, PR)을 리소그래피 (lithography) 공정으로 60초 간 UV (ultraviolet)에서 expose 처리하고 추가적으로 95°C에서 40분 간 베이크 (baking)를 실시하였다. 경화된 감광액 (Su-8 photo-resist PR)을 20분 간 디벨롭 (develop) 하였다. 공정 중 이소프로필알콜 (isopropylalcohol)을 이용하여 develop을 확인한 후 190°C에서 120분 간 하드베이크 (hardbake)를 실시하였다. 이러한 과정을 통하여 완성되어진 구조체에 파우더 상태의 PMN-PZT 파우더를 충전하였다. 충전된 복합체는 공정 과정 중 포함된 수분을 제거하기 위하여 120°C 온도의 오븐에서 건조 후 감광액 (Su-8 photo-resist, PR) 구조체 제거 및 충전 PMN-PZT 파우더의 소결을 실시하였다. 이때 전기로는 1,200°C에서 4시간 유지하였으며, 승온율은 3°C/min이었다. 소결이 완료된 기둥구조

PMN-PZT에 고분자 탄성체 물질을 첨가하였다. 탄성체로 사용된 물질로는 고분자 (polymer)를 사용하였고 이는 PDMS (polydimethylsiloxane) 공정을 통하여 경화시켰다. 최종적으로 완성된 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자는 하부 알루미늄기판을 제거하고 실버 페이스트를 이용하여 상, 하부전극을 코팅하였다. 소자에 대한 특성으로 유전율은 Hp 4284 LCR meter를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

이 연구의 목표인 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자 제작을 위하여 위와 같은 실험 과정을 실시하였고 이에 우리는 다음과 같은 결과물을 얻을 수 있었다.

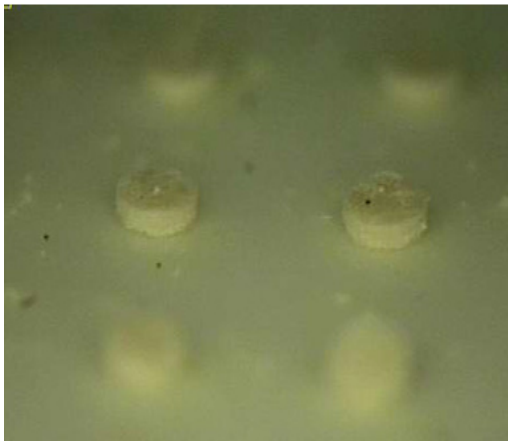


Fig. 2. The picture of PZT ceramics by figure pillar structure (500 um).

그림 2는 압전 세라믹 파우더인 PMN-PZT ($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbZrTiO}_3$)를 사용하여 만든 세라믹 상태의 미세구조 기둥 형태 소자이다. 기초 공정 과정 중에서 고분자 (polymer)를 첨가하여 복합 구조를 제작하기 전 단계의 과정으로 감광액 (Su-8 photo-resist, PR) 구조체를 사용함으로써 안정적인 재현성을 확보할 수 있었다. 이 세라믹 상태의 미세구조 기둥 형태 소자는 지름 500 um, 높이 150 um의 크기를 지닌다. PDMS공정을 거치면 다음 그림 3과 같은 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자로서 제작되게 된다.

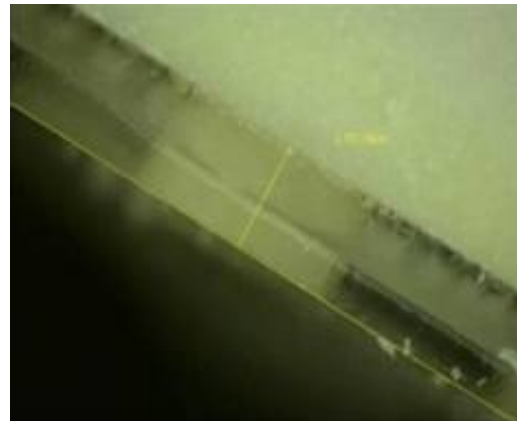


Fig. 3. The picture of PZT ceramics by figure pillar structure with PDMS (150 um).

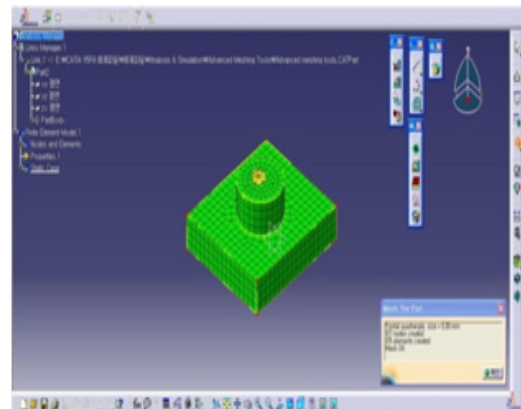


Fig. 4. Simulation analysis of Pillar-polymer composite by ATILA.

기존 연구에서 압전 에너지 발생 적용을 위한 세라믹 소자들은 세라믹이 갖는 한계로 인하여 반복되는 충격과 압력에 쉽게 파손된다는 단점이 있었다. 하지만 본 논문에서 연구한 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자는 고분자 (polymer)의 추가로 인하여 순수한 세라믹 재료보다 탄성적인 안전성을 확보할 수 있었다. 그리고 아직 연구 중인 이유로 본 논문에서 마저 다루어지지 않았지만 순수 세라믹 재료와 달라진 특성 또한 기대할 수 있다. 불안정해 보이는 그림 2와는 달리 그림 3에서 보면 필라 구조의 세라믹-폴리머 복합소자는 충격에 더 강하고 세라믹 소자에 비해 큰 안정성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

또한 생성된 세라믹 소자의 두께는 150 um인 것을 확인하였으며 이와 동시에 PDMS의 두께도 150 um

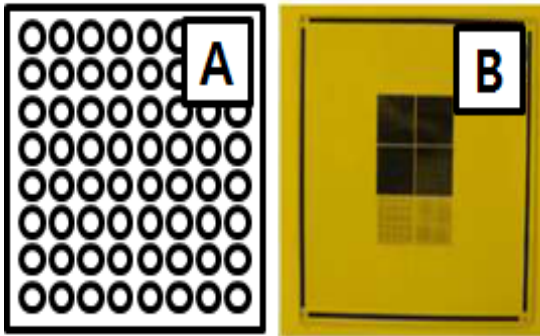


Fig. 5. (a) Schematic model of the micro pillar structure, (b) processing pattern mask.

로 유지하였다. 이는 완성된 세라믹 소자가 전극에 정확하게 접촉하기 위한 조건이다.

PDMS의 두께가 소자의 크기보다 더 두꺼워지는 경우에는 전극과의 접촉 불량 문제가 일어나 소자로서의 특성을 발휘하지 못한다.

그림 4는 필라 구조 복합소자를 압전 해석 프로그램인 ATILA를 사용하여 분석하는 장면이다. 형성된 필라 구조체를 한 개씩 나누어 소자가 받을 수 있는 압력을 구조적으로 분석하는 화면이다. 실험에서 제작한 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자의 압전적 특성은 아직 연구 중이므로 비교를 할 수 없었지만 시뮬레이션 상의 압전특성은 일반적으로 제작된 세라믹 형태의 압전 재료와 큰 차이를 보이지 않았다.

그림 5는 공정 과정 중 사용된 감광액 (Su-8 photo-resist, PR) 구조체의 모형 그림과 감광액 구조체를 제작할 때 사용된 패턴 마스크의 사진을 나타낸 것이다. (a)의 구조체에 보이는 하나의 원기둥 (hole)의 크기는 직경 500 μm 로써 마스크 (b)를 이용하여 500 - 100 μm 크기의 구조체를 제작할 수 있었으며, 우리는 이번 연구에서 500 μm 의 구조체를 사용하였다.

4. 결론

본 연구에서는 우수한 압전 특성을 가지는 PMN-PZT($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbZrTiO}_3$)를 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자 제작 공정을 통하여 연구를 진행하였다. 본 논문에서 기술된 공정과정으로 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자를 만드는 성과를 이루었으며, 제작된 소자가 갖는 유전율과 기대 효과 등을 파악할 수 있었다. 이는 세라믹-고분자 복합 미세구조 기둥형태 소자를 제작함에 있어서 안정적인 내구성과 압전 물질의 특성을 모두 얻을 수 있는 방향으로 에너지 하베스팅 연구에 있어 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0029625).

REFERENCES

- [1] J. Kymissis, C. Kendall, J. Paradiso, and N. Gershenfeld, *Proceeding of the Second IEEE International Conference on Wearable Computing* (IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, U.S.A. 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] M. K. Kwak, K. Y. Kim, H. Y. Kang, and N. S. Kim, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, **25**, 32 (2008).
- [5] Y. S. Nam, J. S. Park, H. G. Park, and J. K. Lee, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, **25**, 92 (2008).
- [6] B. Choi and W. H. Lee, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, **25**, 78 (2008).