ET-P013

휨 구조의 압전 마이크로-켄틸레버를 이용한 진동 에너지 수확 소자

나예은, 박현수, 박종철

전자공학과, 광운대학교

서론: 저 전력 소모를 필요로 하는 무선 센서 네트워크 관련 기술의 급격한 발달과 함께 자체 전력 수급을 위한 진동 에너지 수확 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 다양한 구조와 소재를 압전 외팔보에 적용하여 제안하고 있다. 그 중에서도 진동 기반의 에너지 수확 소자는 주변 환경에서 쉽게 진동을 얻을 수 있고, 높은 에너지 밀도와 제작 방법이 간단하다는 장점을 가지고 있어 많은 분야에 응용 및 적용 가능하다. 기존 연구에서는 2차원적으로 진동 에너지 수확을 위한 휜 구조의 압전 외팔보를 제안 하였다. 휜 구조를 갖는 압전 외팔보는 각각의 짧은 두 개의 평평한 외팔보가 일렬로 연결된 것으로 볼 수 있다. 하나의 짧고 평평한 외팔보는 진동이 가해지면 접선 방향으로 응력이 생겨 최대 휨 모멘텀을 갖게 된다. 그러므로 휜 구조를 갖는 외팔보는 진동이 인가됨에 따라 길이 방향과 수직 방향으로 진동한다. 하지만, 이 구조는 수평 방향으로 가해지는 진동에 대한 에너지를 수확하기에는 한계점을 가진다. 즉, 3축 방향에서 임의의 방향에서 진동 에너지를 수확하기는 어렵다. 본 연구에서는 3축 방향에서 에너지를 효율적으로 수확할 수 있도록 헤어-셀 구조의 압전 외팔보 에너지 수확소자를 제안한다. 제안된 소자는 길이 방향과 수직 방향뿐만 아니라 수평 방향으로도 진동하여 임의의 방향에서 진동 에너지를 수확할 수 있다.

구성 및 공정: 제안하는 소자는 3축 방향에서 임의의 진동을 수확하기 위해서 길이를 길게 늘이고 길이 방향을 따라 휘어지는 구조의 헤어-셀 구조로 제작하였다. 외팔보의 구조는 외팔보의 폭 대비 길이의 비가 충분히 클 때, 추가적인 자유도를 얻을 수 있다. 그러므로 헤어-셀 구조의 에너지 수확 소자는 기본적인 길이 방향, 수직방향 그리고 수평방향에 더불어 추가적으로 뒤틀리는 방향을 통해서 3차원적으로 임의의 주변 진동 에너지를 수확하여 전기적인 에너지로 생성시킬 수 있다. 제작된 소자는 높은 종횡비를 갖는 무게 추(500×15×22 μm3)와 길이 방향으로 길게 휜 압전 외팔보(1000×15×1.7 μm3)로 구성되어있다. 공정 과정은 다음과 같다. 먼저, 실리콘 웨이퍼 위에 탄성층을 형성하기 위해 LPCVD SiNx를 0.8 μm 와 LTO 0.2 μm를 증착 후, 각각 0.03 μm 과 0.12 μm의 두께를 갖는 Ti 와 Pt을 하부 전극으로 스퍼터링한다. 그리고 Pb(Zr0.52Ti0.48)O3 박막을 0.35 μm 두께로 졸겔법을 이용하여 증착하고 상부 Pt층을 두께 0.1 μm로 순차적으로 스퍼터링하여 형성한다. 상/하부 전극은 ICP (Inductively Coupled Plasma)를 이용해 건식 식각으로 패턴을 형성한다. PZT 층과 무게 추 사이의 보호막을 씌우기 위해 0.2 μm 의 Si3N4 박막이 PECVD 공정법으로 증착되고, RIE로 패턴을 형성된다. Ti/Au (0.03/0.35 μm)이 E-beam으로 증착되고 lift-off를 통해서 패턴을 형성함으로써 전극 본딩을 위한 패드를 만든다. 초반에 형성한 실리콘 웨이퍼 위의 SiNx/LTO 층은 RIE로 외팔보 구조를 형성한다. 이후에 진행될 도금 공정을 위해서 희생층으로는 감광액이 사용되고, 씨드층으로는 Ti/Cu (0.03/0.15 μm) 박막이 스퍼터링 된다. 도금 형성층을 위해 감광액을 패턴화하고, Ni0.8Fe0.2 (22 μm)층으로 도금함으로써 외팔보 끝에 무게 추를 만든다. 마지막으로, 압전 외팔보 소자는 XeF2 식각법을 통해 제작된다. 제작된 소자는 소자의 여러 층 사이의 고유한 응력 차에 의해 휨 변형이 생긴다.

실험 방법 및 측정 결과: 제작된 소자의 성능을 확인하기 위하여 일정한 가속도 50 m/s2로 3축 방향에 따라 입력 주파수를 변화시키면서 출력 전압을 측정하였다. 먼저, 소자의 기본적인 공진 주파수를 얻기 위하여 수직 방향으로 진동을 인가하여 주파수를 변화시켰다. 그 때에 공진 주파수는 116 Hz를 가지며, 최대 출력 전압은 15 mV로 측정되었다. 3축 방향에서 진동 에너지 수확이 가능하다는 것을 확인하기 위하여 제작된 소자를 길이 방향과 수평 방향으로 가진기에 장착한 후, 기본 공진 주파수에서의 출력 전압을 측정하였다. 진동이 길이방향으로 가해졌을 때에는 33 mV, 수평방향으로 진동이 인가되는 경우에는 10 mV의 최대 출력 전압을 갖는다. 제안하는 소자가 수 mV 의 적은 전압은 출력해내더라도 소자는 진동이 인가되는 각도에 영향 받지 않고, 3축 방향에서 진동 에너지를 수확하여 전기에너지로 얻을 수 있다.

결론: 제안된 소자는 3축 방향에서 진동 에너지를 수확할 수 있는 에너지 수확 소자를 제안하였다. 외팔보의 구조를 헤어-셀 구조로 길고 휘어지게 제작함으로써 기본적인 길이 방향, 수직방향 그리고 수평방향에 더불어 추가적으로 뒤틀리는 방향에서 출력 전압을 얻을 수 있다. 미소 전력원으로 실용적인 사용을 위해서 무게추가 더 무거워지고, PZT 박막이 더 두꺼워진다면 소자의 성능이 향상되어 높은 출력 전압을 얻을 수 있을 것이라 기대한다.

Keywords: 압전 에너지 수확 소자, 3축 방향

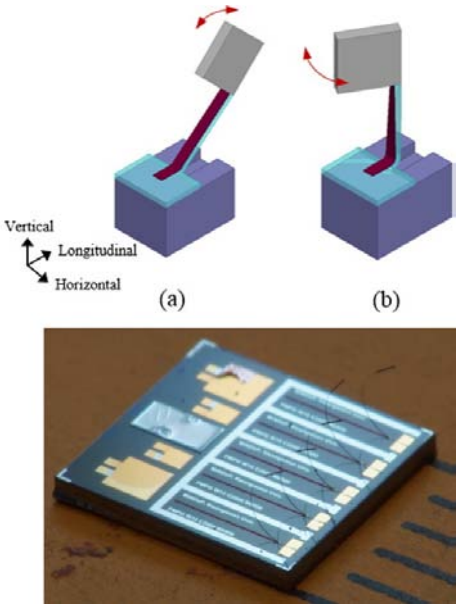

Fig. 1.

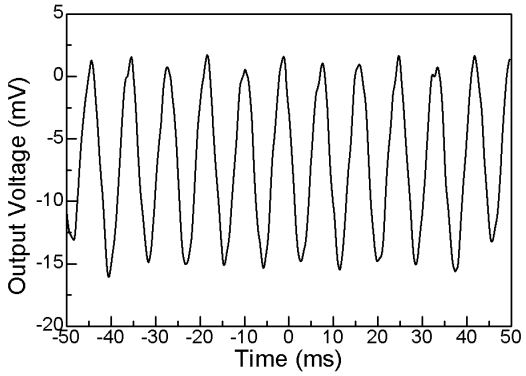

Fig. 2.

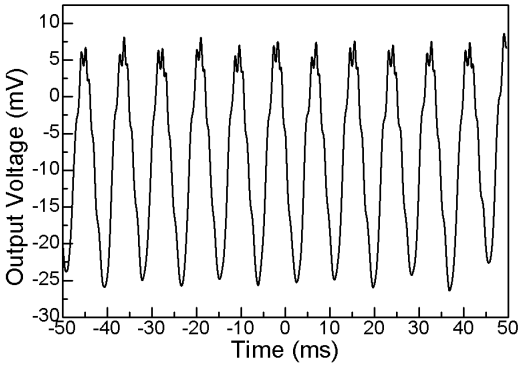

Fig. 3.

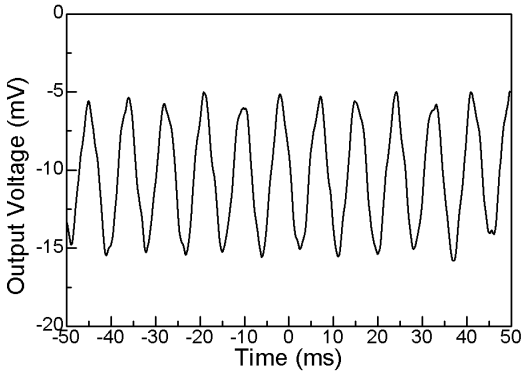

Fig. 4.