

PCB 4층 사각코일과 Nd 자석을 이용한 초소형발전기의 특성

이동호 · 김성일* · 이윤표 · 장영수

한국과학기술연구원 반도체소자 연구실

Characterization of a Micro Power Generator using a Fabricated Square Coil of 4 Layers and Nd Magnet

Dong Ho Lee, Seong-II Kim*, Yoon Pyo Lee, and Young Soo Chang

Semiconductor Materials and Devices Laboratory, Korea Institute of Science and Technology

초 록: PCB제작방법으로 제작한 4층 사각코일과 Nd 영구자석을 이용하여 초소형발전기를 제작하였다. 선폭이 100 μm 로 제작된 4층 사각코일의 크기는 두께가 1.6 mm 면적이 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 와 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 이다. 진동발생장치를 제작하고 코일위에서 Nd 영구자석을 수평으로 움직여 교류전압을 발생시켰다. 진동수를 0.5 Hz에서 7 Hz까지 변화시키면서 전압 값을 측정하였다. 5.5 Hz의 진동을 발생시켜 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 의 크기의 코일에서 62 mV의 교류전압이 발생하였고 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 크기의 코일에서 245 mV의 교류전압이 발생하였다. 7 Hz의 진동수에서 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 크기의 코일에서 320 mV의 교류전압이 발생하였고 차배정류 회로를 이용할 때는 7 Hz의 진동수에서 400 mV의 직류전압이 발생하였다.

Abstract: We designed and fabricated square coils of 4 layered structure on a PCB board. The size of the coils were $1 \times 1 \text{ cm}^2$ and $2 \times 2 \text{ cm}^2$. The line width of the fabricated coils was 100 μm . By reciprocating a magnet on the surface of a fabricated square coil which is composed of 4 layers, an alternating output voltage was obtained. We changed the vibrational frequency from 0.5 to 7 Hz. The generated voltages were 62 mV at $1 \times 1 \text{ cm}^2$ and 245 mV at $2 \times 2 \text{ cm}^2$ when 5.5 Hz frequency. We rectified and stepped up the output voltage using a quadrupler circuit and $2 \times 2 \text{ cm}^2$ coil. Before using the step up circuit, the measured voltage was 320 mV at 7 Hz. After using the step up circuit, the measured voltage was 400 mV at 7 Hz.

Keywords: Micro power generator, Radio frequency identification, Micro electro mechanical system, Micro coil, Magnet

1. 서 론

최근 모바일 기술의 발달로 인해 휴대전화, 노트북 컴퓨터, MP3, PMP 등 다양한 종류의 휴대용 기기들이 있다. 휴대용 기기들의 대부분은 전원으로 일차전지 또는 충전이 가능한 이차전지 사용하고 있다. 일차전지의 단점은 수명이 다하면 사용할 수 없고, 그것이 이차전지라 하여도 전원을 모

두 소모하게 되면 외부의 전원으로 부터 다시 충전을 시켜야 하는 단점이 있다. 그 외에도 수명이 다 하면 다시 쓸 수 없게 되어 환경을 오염시키는 원인이 된다. 이를 대처하기 위해 태양전지, 연료전지, 압전소자 등 다양한 종류의 전원장치들이 있다.¹⁻²⁾ 하지만 이런 전원들이 모두 완벽하다 할 수는 없다. 예를 들어 밤이 되거나 아주 흐린 날에는 태양 전지를 사용할 수 없고, 연료전지는 연료를 다

*Corresponding author
E-mail: s-ikim@kist.re.kr

소모하게 되면 다시 주입을 해야 하고, 압전소자는 전압은 높는데 비해 전류가 너무 작다. 본 연구에서는 청정에너지의 대안 중의 하나인 이중 자석과 코일 및 진동에너지를 이용한 발전에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 사각형의 spiral 형태로 감겨진 고정된 코일 위에서 외부의 진동에너지에 의해 자석이 수평으로 움직일 때 코일의 내부에서 기전력이 발생하는 현상을 이용한다.³⁾ 본 실험에서는 코일의 감긴 횟수를 증가시키기 위하여 PCB를 이용하여 다층 코일을 제작하였다. Fig. 1에서와 같이 자석이 외부 진동에 의해 직선 왕복운동을 하게 되면 전자기 유도현상에 의해 교류전압을 얻게 된다. 대부분의 전자소자들이 작동을 하는 직류전압을 얻기 위하여 정류를 할 필요가 있다. 따라서 PCB 4층 사각코일을 제작하고, 일정하고 균일한 전압 측정을 위하여 진동발생장치를 이용하여 교류 전압 값을 측정하고 채배회로를 설치하여 직류 전압 값을 측정하는 실험을 하였다.

3. 결 과

3.1 PCB 코일의 제작

PCB 다층코일은 평면의 코일을 여러 층으로 적층하고 층간의 코일을 연결하여 하나의 선이 되어 하나의 완벽한 코일이 되어야 한다. Fig. 2는 PCB 4층 코일을 제작하기 위한 도면으로 다층코일이 어떻게 구성되었는가를 보여준다. 코일의 첫 번째

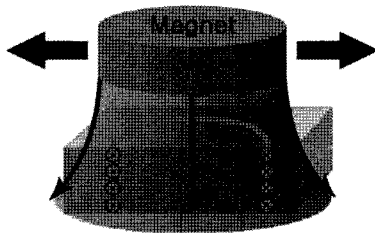


Fig. 1. By reciprocating a magnet on the surface of a fabricated square coil which is composed of 4 layers, an alternating output voltage is obtained.

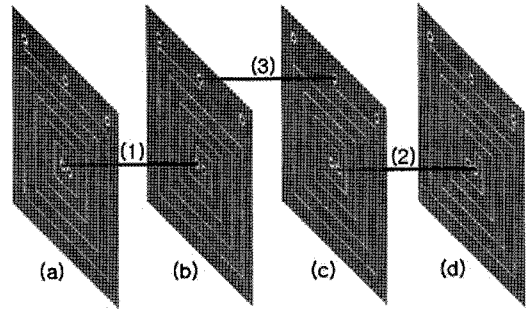


Fig. 2. The shape of a designed 4 layered coil. (a) 1st layered coil is wired from outside to inside. (b) 2nd layered coil is wired from inside to outside. (c) 3rd layered coil is wired from outside to inside. (d) 4th layered coil is wired from inside to outside. Layered coils of (a), (b), (c) and (d) is connected by lines of (1), (2) and (3).

층으로 Fig. 2(a)는 왼쪽 윗부분에서부터 기판의 중심부로 감겨들어가는 방향으로 배선이 되어있고, 두 번째 층으로 Fig. 2(b)는 (a)에서 들어온 선이 이어져 중심에서부터 밖으로 감겨나가는 구조로 배선이 되어있다. 다시 세 번째 층으로 Fig. 2(c)는 (b)에서 들어온 선이 이어져 밖에서부터 안으로 감겨나가는 구조로 배선이 되어있고, 마지막 층으로 Fig. 2(d)는 안에서 밖으로 감겨나가는 구조로 배선이 되어있다. Fig. 2에서 원형으로 생긴 점들을 하나로 이으면 다층 코일이 된다. 상판에 있는 모든 점들과 같은 위치에 있는 아래층들의 모든 점들이 하나로 이어지게 되고 코일과 관계없이 격리되어 있는 점들은 고립되어 코일에 영향을 주지 않는다. 실제로 제작된 코일의 크기는 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 와 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 이고 코일의 내부저항은 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 가 16Ω , $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 가 56Ω 이다. 모든 코일의 선폭은 $100 \mu\text{m}$ 이고 PCB 4층 기판의 두께는 1.6 mm 이다.

3.2 진동발생장치

본 연구에서 주파수에 따른 진동에너지를 측정하기 위해 모터의 회전 운동을 정확하고 일정하게 수평방향의 진동으로 변환해주는 진동 발생장치를 이용하였다. Fig. 3은 진동발생장치의 개요도이고 구성요소는 크게 세부분으로 회전속도를 조절할 수 있는 속도 조절장치, 회전운동을 하는 모터부와 회전판 마지막으로 회전운동을 직선왕복운

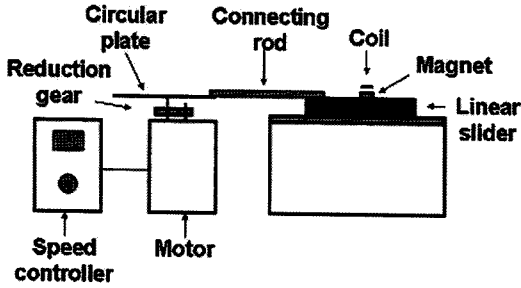


Fig. 3. A measurement system is composed a speed and frequency control part, a rotary motion part and a linear motion part.

동으로 바꿔주는 슬라이더부로 구성되어 있다. 구체적으로 진동 발생장치는 속도 조절장치와 속도 변환 모터, 선형베어링, 일반베어링 및 아크릴 몸체 등으로 이루어져 있다. 선형베어링 위에 슬라이더를 장착하여 자석을 왕복하여 움직일 수 있게 하였다. 모터의 축에 원형 아크릴 판을 달았고, 코일의 크기에 따라 자석의 진폭을 조절하기 위하여 원형 아크릴판 위에 1 cm단위로 베어링을 설치하였다. 아크릴 판이 회전을 하면 막대의 형태인 아크릴이 슬라이더에 직선 운동의 형태로 에너지를 전달해준다.⁴⁾ AC 속도변환 모터는 최대 600rpm까지 가능하고 이를 직선운동형태로 변환할 경우 진동수단위로 환산하면 10 Hz가 된다.

3.3 주파수 변화에 따른 발생전압 특성 분석

PCB 1×1 cm²와 2×2 cm²의 크기인 PCB 4층 사각코일, Nd 자석과 진동발생장치를 이용하여 1 Hz에서 7 Hz까지의 진동으로 교류전압을 발생시켜 전압 크기를 비교하였고, 전압특성이 좋은 2×2 cm²의 PCB 4층 사각코일, Nd 자석, 진동발생장치와 채배정류회로를 이용하여 교류전류를 직류로 바꾸고 전압을 채배하는 실험을 하였다. 이때 전압은 작은 값이므로 다이오드선정에서 순방향 문턱 전압이 작은 쇼트키다이오드를 사용하는 것이 바람직하다.⁵⁾ 이 실험에서 사용한 커패시터의 용량은 47 μF이었다. Fig. 4는 진동수가 5.5 Hz일 때 각각 1×1 cm²의 다층코일과 2×2 cm²의 다층코일에서 발생한 교류전압을 측정 한 그림이다. 1×1 cm²의 코일에서는 62 mV의 교류전압이 발생하였고 2×2 cm²의 코일에서는 245 mV의 교류전압이 발생했다. 발생된 전압의 크기가 2×2 cm²의 코일

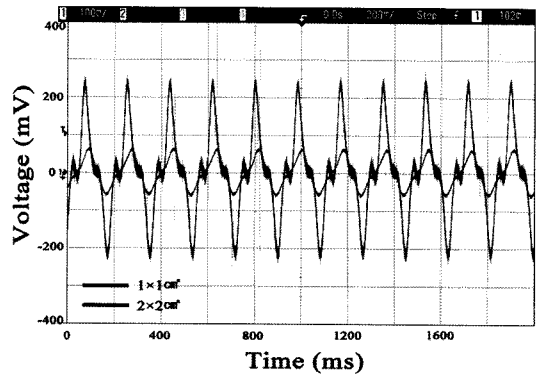


Fig. 4. 62mV and 245mV were generated by 4 layered coils of 1 cm² and 4 cm² respectively when frequency was 5.5 Hz.

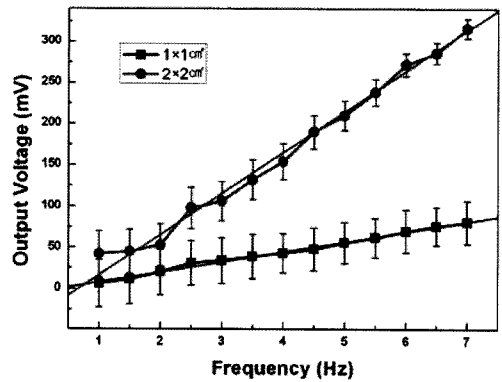


Fig. 5. The change of the output voltages as a function of frequency.

에서 발생된 전압이 1×1 cm²의 코일에서 발생된 전압보다 약 3.9배가량 큰 것을 알 수 있다. Fig. 5는 1에서 7 Hz까지 0.5 Hz증가할 때 1×1 cm²와 2×2 cm²의 코일에서 발생한 전압을 나타낸 그래프이다. 0.5 Hz증가할 때 1×1 cm²의 코일에서 발생하는 전압의 증가분이 평균 4.2 mV이고 2×2 cm²의 코일에서 발생하는 전압의 증가분은 평균 18.8 mV이다. 결과적으로 2×2 cm²의 코일에서 발생한 전압의 그래프가 1×1 cm²의 코일에서 발생한 전압의 그래프 기울기보다 약 4배 가파른 것을 알 수 있다. 외부에서 같은 양의 자기장을 인가할 지라도 코일의 크기에 비해 발생하는 에너지 크기 차이가 발생한다. 제작된 PCB 4층 코일의 부피를 비교해 볼 때 2×2 cm²의 코일이 1×1 cm²의 코일보다 4배가 크고 두 코일에 같은 양의 자기장을 인가하였

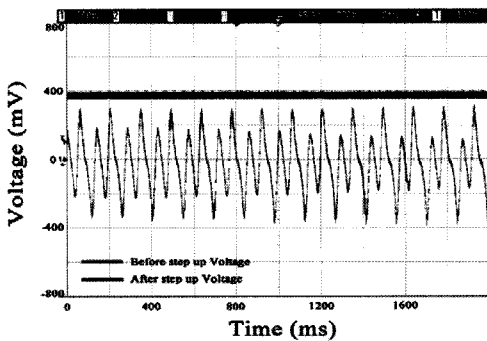


Fig. 6. The comparison between using a step up circuit and nothing when frequency was 7Hz. Before using a step up circuit, the output voltage of 320 mV was generated. using a step up circuit, the output voltage of 400 mV was generated.

을 때 발생된 전압의 차이가 4배가량 난다. 위의 실험방법과 같이 진동발생장치를 이용하여 1 Hz에서 7 Hz까지의 진동을 만들어서 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 코일로부터 교류전압을 발생시켰고, 채배정류회로를 사용하여 직류전압을 얻었다. Fig. 6에서 진동수 7 Hz가 인가될 때 채배되기 전의 전압과 채배된 후의 전압을 비교해보면 채배되기 전에는 320 mV가 발생하였고 채배된 후에는 400 mV가 발생하였다. 채배되기 전보다 채배된 후의 전압이 20 mV 높았다. Fig. 7은 1 Hz에서 7 Hz까지의 진동수에서 0.5 Hz단위로 진동에 의한 교류전압과 채배정류된 직류전압을 나타내고 채배된 전압 data를 Boltzmann

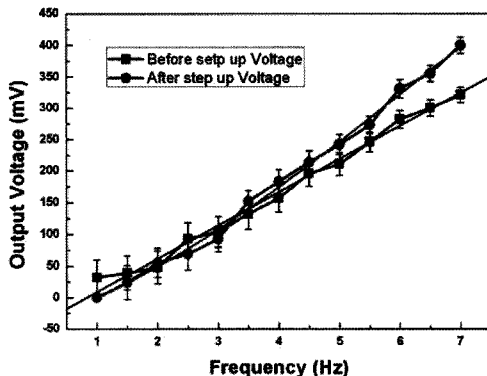


Fig. 7. The comparison between using a step up circuit and nothing.

함수로 채배되기 전의 전압 data를 선형함수로 나타낸 그림이다. 함수로 나타내어진 값을 비교해보면 3.5 Hz까지는 채배되기 전의 전압값이 채배된 후의 전압값보다 높지만 3.5 Hz 이후에서 부터는 채배된 전압값이 채배되기 전의 전압값보다 크다. 진동수가 0.5 Hz씩 증가하면 교류전압은 거의 일정하게 평균 38 mV씩 증가하였다. 결과적으로 채배 되기 전의 교류전압의 증가율이 일정하게 증가하였고, 채배정류된 직류전압은 전압증가율이 점차적으로 증가하여 약 3.5 Hz에서 전압 값이 같아진다. 3.5 Hz 이후에는 채배정류된 전압의 증가량이 채배정류 되기 전의 증가량보다 10 mV 이상 큰 것을 알 수 있다. 따라서 3.5 Hz까지는 채배정류회로를 사용하여 얻어진 이득이 채배회로 자체의 저항이나 커패시터와 관련된 손실보다 작음을 알 수 있었고, 3.5 Hz 이상부터는 채배회로를 사용한 이득이 손실보다 더 큰 값을 갖고 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

PCB 제작방법으로 PCB 4층 사각코일을 제작하고, 일정한 진동수를 얻기 위해 진동발생장치를 제작하였다. 진동발생장치를 이용하여 제작된 다층코일 위에서 자석을 수평으로 왕복운동 시켜서 초소형발전기의 특성을 측정하였다. $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 와 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 코일을 사용하여 진동수를 1 Hz부터 7 Hz까지 0.5 Hz단위로 증가시켜 발생하는 전압을 비교하였다. 진동수가 5.5 Hz에서 62 mV와 245 mV의 교류전압이 발생하여 약 3.9배의 차이가 나고. 전체적인 전압증가율은 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 코일에서 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 의 코일에서보다 약 4배가 되는 것을 알 수 있다. $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 코일을 사용하여 진동수가 7 Hz에서 교류전압 320 mV가 발생하였다. 채배정류회로를 이용하여 전압을 채배시킨 결과 400 mV의 값을 얻었고 Boltzmann 함수와 선형함수로 나타낸 값의 비교에 따르면 약 3.5 Hz에서 채배되기 전 교류전압과 채배된 직류전압 값이 같아진다. 3.5 Hz 이후에는 채배정류된 전압의 증가량이 채배정류되기 전의 증가량보다 커졌다. 이는 저 진동에서 발생한 전압이 약 150 mV 이상에서 채배될 때 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 정책과제(2N30500) 및 KIST 기관고유과제(2E19910 및 2E19820)의 도움으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. N. Wang, N. Zhang and M. Wang, "Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective", *Computers and Electronics in Agriculture*, 50(1), 1-14(2006).
2. L. Chiu, T. Y. Yum, W. S. Chang, Q. Xue and C. H. Chan, "Retrodirective array for RFID and microwave tracking beacon applications", *Microwave and optical technology letters*, 48(2), 409-411(2006).
3. K. Kawabe, H. Koyama and K. Shirae, "Planar inductor", *IEEE transactions on magnetics*, 20(5), 1804 (1984).
4. T.G Park, D.S. Jeong, M.H. Kim and T.K. Song, "A study on the rotary-type ultrasonic motor using a longitudinal-torsional vibration converter", *Materials chemistry and physics*, 98(1), 1-4(2006).
5. D. H. Lee, S. I. Kim, Y. H. Kim, Y. T. Kim, M. C. Park, C. W. Lee, C. W. Baek, "Characterization of a Micro Power Generator using a Fabricated Electroplated Coil", *Journal of the Microelectronics & Packaging Society*, 13(3), 9-12(2006).