

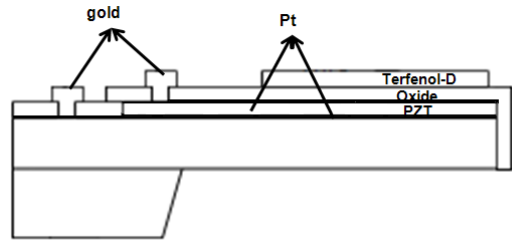
## Magnetolectric 효과를 이용한 전류 및 자기 센서

이동건\*, 이정훈  
 광운대학교 전기공학과

### Magnetic sensor and current sensor using a Magnetolectric effect

Dong-Gun LEE, Jeong Hoon Lee  
 Electrical Engineering, Kwangwoon University, KOREA

**Abstract** - 최근들어 멀티 페로익스(multiferroics)재료를 이용하여 자기(magnetic field)하에서 전기적현상(polarization)을 유기시키는 재료에 대한 관심이 폭발적으로 증가되고 있다. 이는 megnetoelectric 효과(ME 효과)를 이용하는 방법으로, 자기 및 전류센서에 응용함을 위해 크게 각광받고 있으며, 본 연구에서는 자계내에서 자성재료-압전재료의 다층 구조 캔틸레버의 구현을 통해 전기적인 신호로의 변화를 통해 전류 및 자기 센서로의 가능성에 대한 연구를 진행하였다.



<그림 1> Micro cantilever 구조

### 1. 서 론

현재 보편적으로 사용 되고 있는 magnetic sensor로 Hall Sensor가 있다. 하지만 Hall 센서는 상대적으로 낮은 sensitivity를 가지며, 작은 자기의 변화를 검출 하는데 한계가 있다.

전자기 효과 (magnetolectric effect)에 기반을 둔 탄성 커플링(elastic coupling) 효과, 즉 자기장 하에서 전기적인 특성을 야기 시키는 재료 및 소자에 대한 연구가 최근 들어 폭발적인 관심과 연구가 시작 중에 있으며, 멀티페로익스(multiferroics) 재료 및 소자가 그 대표적인 예이다 [1].

기존의 연구는 유도된 자기장의 크기가 매우 작고, ME 효과를 나타내는 복합물질(compound)이 자기력을 잃게 되는 큐리온도(curie temperate)가 상온보다 낮으며, 복합물질의 결정체를 결함 없이 성장시키는 부분에 있어서 어려움이 있어 크게 각광받지 못했으나, 전자기 효과를 더욱 크게 낼 수 있는 재료에 대해 연구가 진행된 결과로 멀티 페로익스 복합재료의 개념이 나오게 되었다. 멀티 페로익스 재료는 강자성체(ferromagnetics)와 강전기극성체(ferroelectrics)를 이용하는 것으로  $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ ,  $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$ ,  $Ba_{0.8}Pb_{0.2}TiO_3$ , 및  $CuFe_{1.8}Cr_{0.2}O_4$  등이 제안되었다.

본 연구에서는 멀티페로익스 재료의 개발이 아닌 다층 박막 구조, 즉 자성재료와 압전재료의 다층 구조를 구현함으로써 그 ME effect를 고찰하고자 하였으며, 특히 센서로의 감도를 증진시키기 위해 마이크로 캔틸레버 구조의 소자를 구현하고자 하였다. 자성 박막을 위해 Terfenol-D ( $Tb_{1-x}Dy_xFe_{2-y}$ )를 사용하였으며, 압전재료는 PZT(52/48)의 박막이 사용되었다. [2]

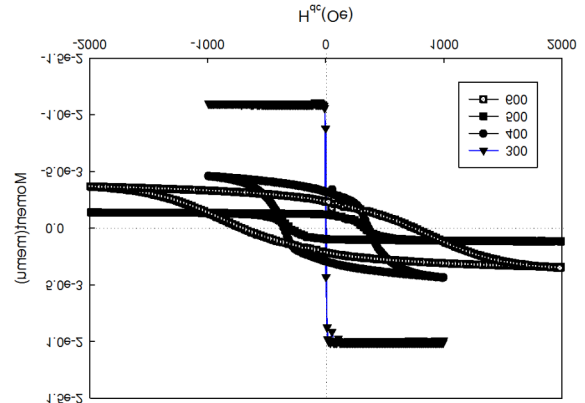
### 2. 본 론

#### 2.1 Device fabrication

그림1에 마이크로 캔틸레버에 구현된 ME 소자에 대한 모식도를 나타내었다. 마이크로 캔틸레버는 일반적인 마이크로 가공 기술을 이용하여 구현 하였으며, 구현된 캔틸레버의 크기는  $100 \mu m \times 300 \mu m \times 2 \mu m$  (가로×세로×높이)의 크기를 가진다. 마이크로 캔틸레버의 제작을 위해 SiNx를 지지층으로 사용하였으며, 압전박막의 상하부에 각각 Pt 전극을 형성하였으며, PZT는 스퍼터링을 이용하여 증착되었다. 자성재료는 상부 Pt 및 전기적 passivation을 위해 증착된 실리콘 산화막위에 증착되었으며, 높은 전계 특성 및 자성 특성을 보이는 것으로 보고된 terfenol-D을 sputter법을 이용하여 300 nm 증착하였다. 자성 특성의 확보를 위해 Ar 분위기에서 후열처리(post-annealing)를 시행하였으며, 후열처리조건에 따른 자성 특성의 결과를 그림 2에 나타내었다.

#### 2.2 자기이력곡선(Hysteresis Loop)

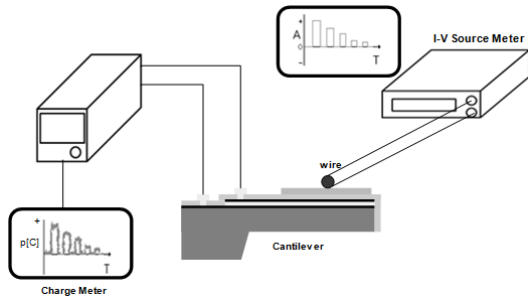
자기이력곡선(hysteresis Loop)은 가해진 외부 자기장에 따라 반응하는 자화강도의 변화를 나타낸 곡선을 의미하며, 자기장에 따라 자화강도가 포화 상태에 도달하는 점을 포화자화라 하며, 자기장을 제거 시에 존재하는 자화강도를 포화 잔류자화라 정의한다. 또한 중요 자화특성으로는 자화특성이 0이 될 때의 외부 자기장 값이 있으며, 이를 보자력(coercive force)라 한다. 그림2에 후열처리에 따른 자화특성을 나타내었으며, 압전 재료의 상부 전극으로 사용된 Au의 산화가 일어나지 않는 온도에서의 최적화 자성 특성은 400 C에서 나타남을 확인 가능하였다.



<그림 2> M-H Curve

#### 2.3 시스템 구성

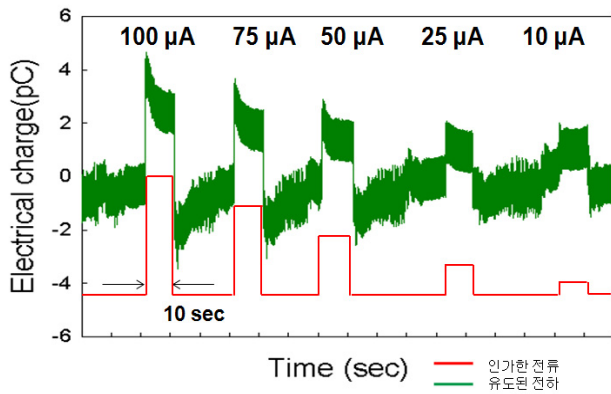
제작된 마이크로 캔틸레버를 이용하여, 구성된 측정 시스템의 모식도를 그림 3에 나타내었다. 캔틸레버에 전류 및 자기 신호를 가하기 위해 I-V 소스미터(Keithley source meter 2400)를 사용하였으며, 구리선을 이용해 전류 및 자계를 인가하였다. 이때, 구리선과 cantilever 사이의 거리는 0.1 mm로 일정하게 유지 하였으며, PZT 압전 박막으로 부터의 신호는 charge meter(5015 Desktop version, kistler instrument)를 이용하여 측정하였으며, Lab-view를 통해 PC로 신호를 출력하였다.



<그림 3> Experiment system diagram

## 2.4 실험결과

입력 신호에 따른 압전체로부터의 전기적 신호 그래프를 그림 4에 나타내었다. 그래프는 전류를 인가했을 때 나타나는 외부 자기장이 cantilever에 증착된 terfenol-D에 의해 PZT로 그 변형이 유도되어 나타난 charge의 변화량을 나타내고 있다. 전류를 인가하지 전에는 전기적 신호의 변화가 감지되지 않았으며, 전류를 인가한 후 그 변화가 발생하였다. 전류는 100  $\mu$ [A]부터 10  $\mu$  [A]로 순차적으로 조절하였으며, 이때 ME effect를 통해 전기적으로 변환된 전기적 신호의 값 또한 선형적으로 비례하여 감소함을 확인 가능하였다.



<그림 4> 전류 변화에 따른 cantilever에 측정된 전하의 변화 량

## 3. 결 론

ME 효과를 이용한 재료 및 소자에 대한 연구는 극미세 자기/전류 센서를 위해 그 연구가 활발히 진행 중이다. 본 연구는 자성 및 압전 다층 박막의 샌드위치 구조의 구현 및 마이크로 캔틸레버 소자의 제작을 통해 전류 및 자장에 의해 자성 박막의 변형, 그리고 이에 따른 압전 박막의 변형에 따른 전기적 신호 감지를 통해 자기-전류 센서의 가능성을 보여주고 있다. 이러한 소자는 추가적인 연구를 통해 센서뿐만 아니라 에너지 변환 소자로서의 가능성을 제시해 줄 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: 2011-0004785)

## [참 고 문 헌]

- [1] Manfred Fiebig, "Revival of the magnetoelectric effect", Appl. Phys, vol 38, p3, 2005
- [2] 저자명, "Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions", Appl. Phys, vol 103, p19, 2008