



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년12월10일  
 (11) 등록번호 10-1471770  
 (24) 등록일자 2014년12월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 B81B 3/00 (2006.01) H02N 2/00 (2006.01)  
 B81C 1/00 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-0069011  
 (22) 출원일자 2013년06월17일  
 심사청구일자 2013년06월17일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR1020090014065 A\*  
 US07345475 B2\*  
 KR1020030092142 A  
 JP11330580 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 광운대학교 산학협력단  
 서울특별시 노원구 광운로 20 (월계동, 광운대학교)  
 (72) 발명자  
 이정훈  
 서울 노원구 마들로 31, 124동 2601호 (월계동, 그랑빌아파트)  
 이동건  
 인천 계양구 아나지로299번길 17, 2동 712호 (작전동, 미도아파트)  
 이준우  
 경기 남양주시 퇴계원면 퇴계원로106번길 3-9,  
 (74) 대리인  
 특허법인한벗

전체 청구항 수 : 총 8 항

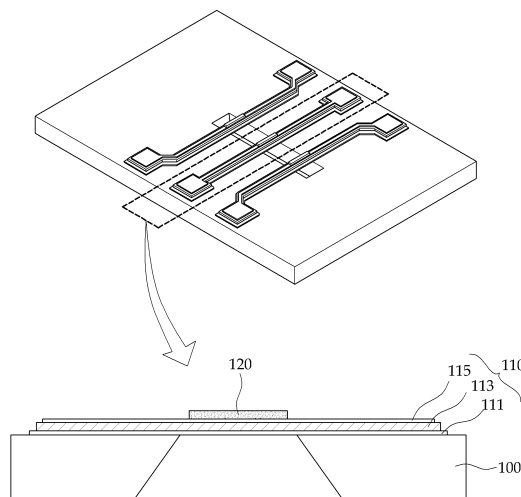
심사관 : 이관호

(54) 발명의 명칭 **압전-자성 마이크로 소자, 이를 포함하는 자기 센서 및 압전-자성 마이크로 소자의 제조 방법**

**(57) 요약**

압전 물질과 자성 물질이 일체화된 극미세 사이즈의 MEMS 구조물을 형성함으로써, 자기전기효과 계수를 극대화할 수 있고, 초소형 자기 센서 또는 전류 센서의 구현에 응용할 수 있는 압전-자성 마이크로 소자 및 그 제조 방법을 제공한다. 본 발명의 일 실시예에 의한 압전-자성 마이크로 소자는, 압전 박막층, 상기 압전 박막층의 상, 하부에 각각 형성되는 상부 전극층 및 하부 전극층을 포함하는 압전체와, 상기 압전체의 상부에 형성되는 자성 박막층과, 상기 압전체의 하부 양 끝단에 형성되는 지지층을 포함하고, 상기 지지층으로 인해 상기 압전체는 하부의 일부가 노출된 브릿지(bridge) 구조를 이루는 것을 특징으로 한다.

**대표도 - 도1**



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

압전 박막층, 상기 압전 박막층의 상, 하부에 각각 형성되는 상부 전극층 및 하부 전극층을 포함하는 압전체와, 상기 압전체의 상부에 형성되는 자성 박막층과, 상기 압전체의 하부 양 끝단에 형성되는 지지층과, 상기 압전체와 상기 자성 박막층 사이에 형성되는 절연층을 포함하고, 상기 지지층으로 인해 상기 압전체는 하부의 일부가 노출된 브릿지(bridge) 구조를 이루는 것을 특징으로 하는 압전-자성 마이크로 소자.

### 청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 자성 박막층은 상기 압전체 중 하부가 노출된 브릿지 영역의 상부에 형성되는 것을 특징으로 하는 압전-자성 마이크로 소자.

### 청구항 3

제 1항에 있어서, 주변 자기장의 변화에 의해 상기 자성 박막층에 스트레인이 발생하면, 상기 압전체는 상기 스트레인에 대응하는 전기신호를 발생시키는 것을 특징으로 하는 압전-자성 마이크로 소자.

### 청구항 4

삭제

### 청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 지지층은 SiNx, poly-Si, SiO<sub>2</sub> 및 Al 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성되고, 상기 하부 전극층 및 상기 상부 전극층은 Pt로 형성되고, 상기 압전 박막층은 PZT, PMN-ZT, PVDF 및 BaTiO<sub>3</sub> 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 압전-자성 마이크로 소자.

### 청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 자성 박막층은 Terfenol-D, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Ni, Metglass 및 Permendur 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는

압전-자성 마이크로 소자.

### 청구항 7

다수의 마이크로 소자를 포함하는 자기 센서에 있어서,  
 상기 다수의 마이크로 소자는 서로 쌍을 이루어 형성되고,  
 상기 다수의 마이크로 소자는 공통적으로 압전 박막층, 상기 압전 박막층의 상, 하부에 각각 형성되는 상부 전극층 및 하부 전극층을 포함하는 압전체와, 상기 압전체의 하부 양 끝단에 형성되는 지지층을 포함하고,  
 상기 지지층으로 인해 상기 압전체는 하부의 일부가 노출된 브릿지(bridge) 구조를 이루며,  
 상기 쌍을 이루는 마이크로 소자 중 하나는 상기 압전체의 상부에 형성되는 자성 박막층과, 상기 압전체와 상기 자성 박막층 사이에 형성되는 절연층을 포함하고, 다른 하나는 상기 자성 박막층을 포함하지 않는 것으로 하는 자기 센서.

### 청구항 8

제 7항에 있어서,  
 상기 자성 박막층은 상기 압전체 중 하부가 노출된 브릿지 영역의 상부에 형성되는 것을 특징으로 하는 자기 센서.

### 청구항 9

삭제

### 청구항 10

지지층 상에 하부 전극층, 압전 박막층 및 상부 전극층을 순차적으로 증착하는 단계와,  
 상기 상부 전극층, 압전 박막층 및 하부 전극층에 포토리소그래피 및 식각 공정을 순차적으로 수행하여 압전체를 형성하는 단계와,  
 상기 압전체의 하부 일부가 노출되도록 상기 지지층의 하부를 식각하여 브릿지(bridge) 구조를 형성하는 단계와,  
 상기 압전체 상부에 절연층을 증착하는 단계와,  
 상기 압전체 중 하부가 노출된 브릿지 영역의 상부에 자성 박막층을 증착하는 단계를 포함하는 압전-자성 마이크로 소자의 제조 방법.

### 청구항 11

삭제

## 명세서

### 기술분야

본 발명은 자기전기효과(Magnetoelectric effect)를 발생시키는 압전 물질과 자성 물질의 복합 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

[0001]

**배경 기술**

- [0002] 자기전기효과란 결정에 전기장을 가할 때 전기장에 비례해 자기화가 생기는 현상, 또는 역으로 결정에 자기장을 가할 때 자기장에 비례해 전기편극이 생기는 현상을 의미한다. 이러한 자기전기효과는 극미세 자기 센서(magnetic sensor), 전류 센서(current sensor), 마이크로 변압기, 자이로 센서(gyro sensor) 등의 기술적 분야에 응용될 수 있으며, MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용하여 소자를 제작할 경우 초소형, 극미세 센서의 구현이 가능하다.
- [0003] 일반적으로 유전 물질(dielectric material)와 자성 물질(magnetic material)은 상호 간의 커플링(coupling) 현상, 즉, 전기장 하에서의 자화 현상 등이 거의 발생하지 않으나, 연구를 통해 특정 단일 재료에서 자기전기효과가 발생된다는 것이 발견되었다. 이러한 발견으로 인해 현재 단일층, 복합체 또는 자성체와 압전체의 층간 구조(layered structure) 등의 재료적인 연구가 진행되고 있으며, 주로 최적의 자기-전계 커플링 계수(magnetoelectric coupling coefficient)를 얻고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.
- [0004] 그러나, 현재 자기전기효과를 이용한 소자의 제작 및 센서 등으로의 응용에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 특히, 극미세 자기 센서 또는 전류 센서의 경우 최근 크게 각광받고 있는 스마트 그리드(Smart Grid) 등에 적용될 수 있을 것으로 여겨지나, 이에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0005] 본 발명은 압전 물질과 자성 물질이 일체화된 극미세 사이즈의 MEMS 구조물을 형성함으로써, 자기전기효과 계수를 극대화할 수 있고, 초소형 자기 센서 또는 전류 센서의 구현에 응용할 수 있는 압전-자성 마이크로 소자 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0006] 이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자는, 압전 박막층, 상기 압전 박막층의 상, 하부에 각각 형성되는 상부 전극층 및 하부 전극층을 포함하는 압전체와, 상기 압전체의 상부에 형성되는 자성 박막층과, 상기 압전체의 하부 양 끝단에 형성되는 지지층을 포함하고, 상기 지지층으로 인해 상기 압전체는 하부의 일부가 노출된 브릿지(bridge) 구조를 이루는 것을 특징으로 한다.
- [0007] 상기 자성 박막층은 상기 압전체 중 하부가 노출된 브릿지 영역의 상부에 형성될 수 있다.
- [0008] 상기 압전체는, 주변 자기장의 변화에 의해 상기 자성 박막층에 스트레인이 발생하면, 상기 스트레인에 대응하는 전기신호를 발생시킬 수 있다.
- [0009] 상기 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자는, 상기 압전체와 상기 자성 박막층 사이에 형성되는 절연층을 더 포함할 수 있다.
- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 센서는, 서로 쌍을 이루어 형성되는 다수의 마이크로 소자를 포함하고, 상기 다수의 마이크로 소자는 공통적으로 압전 박막층, 상기 압전 박막층의 상, 하부에 각각 형성되는 상부 전극층 및 하부 전극층을 포함하는 압전체와, 상기 압전체의 하부 양 끝단에 형성되는 지지층을 포함하고, 상기 지지층으로 인해 상기 압전체는 하부의 일부가 노출된 브릿지(bridge) 구조를 이루며, 상기 쌍을 이루는 마이크로 소자 중 하나는 상기 압전체의 상부에 형성되는 자성 박막층을 포함하고, 다른 하나는 상기 자성 박막층을 포함하지 않을 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 제조 방법은, 지지층 상에 하부 전극층, 압전 박막층 및 상부 전극층을 순차적으로 증착하는 단계와, 상기 상부 전극층, 압전 박막층 및 하부 전극층에 포토리소그라피 및 식각 공정을 순차적으로 수행하여 압전체를 형성하는 단계와, 상기 압전체의 하부 일부가 노출되도록 상기 지지층의 하부를 식각하여 브릿지(bridge) 구조를 형성하는 단계와, 상기 압전체 중 하부가 노출된 브릿지

영역의 상부에 자성 박막층을 증착하는 단계를 포함한다.

[0012] 상기 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 제조 방법은, 상기 자성 박막층의 증착 이전에, 상기 압전체 상부에 절연층을 증착하는 단계를 더 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

[0013] 본 발명에 의하면, 지지층과 압전체를 브릿지(bridge) 구조로 형성하고, 압전체의 하부가 노출된 브릿지 영역의 상부에 자성 박막층을 형성함으로써, 압전-자성 마이크로 소자에서 발생하는 자기전기효과를 극대화할 수 있다.

[0014] 또한, 압전-자성 마이크로 소자에서 자기전기효과를 유도하여 주변의 자기장 또는 전류장에 대응하는 전기신호를 생성함으로써 높은 감도를 가지는 초소형의 자기 센서 또는 전류 센서를 구현할 수 있다.

[0015] 또한, 압전-자성 마이크로 소자의 압전체에서 생성된 전기 에너지를 센서의 동력원으로 사용함으로써 무전원 동작이 가능하고, 이를 이용하여 신재생 에너지, 스마트 그리드, 자동차 등 다양한 분야에 적용이 가능하다.

[0016] 또한, 일반적인 MEMS 공정을 적용하여 대량 생산이 가능하고, 기존의 고감도 센서 모듈에 비해 가격 경쟁력을 크게 높일 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 압전-자성 마이크로 소자의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 구성도이다.
- 도 3a 내지 도 3f는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 제조 방법을 도시한 도면이다.
- 도 4는 Terfenol-D 물질로 형성된 자성 박막층의 열처리 전후의 자화 특성을 나타낸 도면이다.
- 도 5 및 도 6은 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자에 미세 전류를 인가했을 때 압전체에 유도된 전기신호를 측정된 결과를 도시한 도면이다.
- 도 7은 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자를 이용한 온도 센싱 결과를 도시한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0018] 전술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 후술되며, 이에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 상세한 설명을 생략한다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 구성도이다.

[0020] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자는, 압전 박막층(113), 상기 압전 박막층(113)의 상, 하부에 각각 형성되는 상부 전극층(115) 및 하부 전극층(111)을 포함하는 압전체(110)와, 상기 압전체(110)의 상부에 형성되는 자성 박막층(120)과, 상기 압전체(110)의 하부 양 끝단에 형성되는 지지층(100)을 포함하고, 상기 지지층(100)으로 인해 상기 압전체(110)는 하부의 일부가 노출된 브릿지(bridge) 구조를 이루는 것을 특징으로 한다.

[0021] 자성 박막층(120)은 압전체(110) 중 양 지지층(100) 사이로 하부가 노출되어 있는 브릿지 영역의 상부에 형성될 수 있다. 압전체(110)의 브릿지 영역은 1 ~ 500um 크기의 폭과, 폭의 1 ~ 4배 길이 및 0.1 ~ 10um 크기의 두께로 형성될 수 있다. 압전 박막층(113)과 자성 박막층(120)은 0.01 ~ 4um 두께로 형성될 수 있다.

[0022] 지지층(100)은 SiNx, poly-Si, SiO2 및 Al 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성될 수 있고, 그 위에 적층되는 하부 전극층(111)과 상부 전극층(115)은 Pt로 형성될 수 있으며, 양 전극층(111, 115) 사이의 압전 박막층(113)은 PZT, PMN-ZT, PVDF 및 BaTiO3 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성될 수 있다. 자성 박막층(120)은 Terfenol-D, NiFe2O4, Ni, Metglass 및 Permendur 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성될 수 있다.

- [0023] 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자는 자기전기효과를 유도하고 이를 극대화함으로써 초소형 고감도 자기 센서 또는 전류 센서로 이용될 수 있다. 이를 위해, 먼저 압전 박막층(113)의 상, 하부에 동일한 재료의 전극층(111, 115)을 형성하여 등전위(equi-potential) 상태를 만들어 줌으로써 높은 전기적 물성을 얻는다. 또한, 압전체(110)과 자성 박막층(120)이 일체화된 마이크로 사이즈의 브릿지 구조를 형성하되, 자성 박막층(120)을 브릿지 영역의 전면부 전체에 형성함으로써 주변 자기장 변화에 의해 발생하는 기계적 스트레인(strain)을 최대화하여 자기전기효과 계수(electromagnetic coefficient)에 의한 커플링 효과를 극대화한다.
- [0024] 이 때, 자성 박막층(120)에 발생한 기계적 스트레인으로 인해 압전체(110)에는 전하량(또는 전압)의 변화, 즉, 전기신호가 발생하게 되고, 그 크기를 측정함으로써 주변 자기장 또는 전기장의 변화 및 세기를 감지할 수 있게 된다.
- [0025] 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자를 활용한 자기 센서 또는 전류 센서는 자기전기효과에 의해 압전체(110)에 생성된 전기 에너지를 동력원으로 사용할 수 있으므로, 센서 회로의 구동을 위한 별도의 전원이 필요하지 않게 된다. 즉, 자체 발전을 통한 무전원 동작이 가능하므로, 센서의 초소형화가 더욱 용이해진다.
- [0026] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 구성도이다.
- [0027] 도 2를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자는 도 1과 같이 지지층(100), 압전체(110) 및 자성 박막층(120)을 포함하고, 추가적으로 압전체(110)와 자성 박막층(120) 사이에 형성되는 절연층(200)을 더 포함한다.
- [0028] 이와 같이, 압전체(110)와 자성 박막층(120) 사이에 층간 물질로 절연층(200)을 형성함으로써, 탄성 커플링(elastic coupling)을 극대화하고, 압전-자성 마이크로 소자의 전기자기 효과를 더욱 높일 수 있는 효과가 있다.
- [0029] 한편, 도 1의 상단부에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자를 활용한 자기 센서는 다수의 마이크로 소자를 포함하는 브릿지 어레이(array) 형태로 구현될 수도 있다. 이 경우, 캔틸레버 구조의 다수의 마이크로 소자는 서로 쌍을 이루어 형성될 수 있는데, 쌍을 이루는 캔틸레버 중 하나에는 압전체 위에 자성 박막층을 형성하고, 다른 하나에는 자성 박막층을 형성하지 않는 구조로 제작할 수도 있다(도면에 미도시). 이를 통해 외부의 온도 변화, 습도 변화 등 자기장 또는 전류의 변화 이외의 외부 환경의 변화를 상쇄시킴으로써 더욱 정밀한 센싱 동작이 가능해진다.
- [0030] 도 3a 내지 도 3f는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 제조 방법을 도시한 도면이다.
- [0031] 도 3a 내지 도 3f를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 압전-자성 마이크로 소자의 제조 방법은, 지지층(100) 상에 하부 전극층(111), 압전 박막층(113) 및 상부 전극층(115)을 순차적으로 증착하는 단계와, 상기 상부 전극층(115), 압전 박막층(113) 및 하부 전극층(111)에 포토리소그래피(photolithography) 및 식각(etching) 공정을 순차적으로 수행하여 압전체(110)를 형성하는 단계와, 상기 압전체(110)의 하부 일부가 노출되도록 상기 지지층(100)의 하부를 식각하여 브릿지 구조를 형성하는 단계와, 상기 압전체(110) 중 하부가 노출된 브릿지 영역의 상부에 자성 박막층(120)을 증착하는 단계를 포함한다.
- [0032] 먼저, 도 3a와 같이, SiNx, poly-Si, SiO<sub>2</sub> 및 Al 중 적어도 하나를 포함하는 물질을 지지층(100)으로 하고, 그 위에 솔젤(sol-gel)법, 스퍼터링(sputtering)법 또는 CVD(Chemical Vapor Deposition)법을 이용하여 하부 전극층(111), 압전 박막층(113) 및 상부 전극층(115)을 증착하여 다층 기판을 형성한다. 여기에서 하부 전극층(111)과 상부 전극층(115)으로는 Pt가, 압전 박막층(113)으로는 PZT, PMN-ZT, PVDF 및 BaTiO<sub>3</sub> 중 적어도 하나를 포함하는 물질이 사용될 수 있다.
- [0033] 이어서, 도 3b 및 도 3c와 같이, 포토리소그래피 및 식각 공정을 통해 상부 전극층(115)과 압전 박막층(113)을 식각한다.
- [0034] 이어서, 도 3d 및 도 3e와 같이, 지지층(100)의 하부 중앙 부분을 식각한 후 남아 있는 하부 전극층(111)을 식각하여 브릿지 구조의 압전체(110)를 형성한다. 이러한 브릿지 구조는 폭이 1 ~ 500 $\mu$ m이고, 길이가 폭의 1 ~ 4 배이며, 0.1 ~ 10 $\mu$ m의 두께를 가지도록 형성될 수 있다.
- [0035] 이어서, 도 3f와 같이, 압전체(110) 중 하부가 노출된 브릿지 영역의 상부에 스퍼터링법 등을 이용하여 Terfenol-D, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Ni, Metglass 또는 Permendur 등의 자성 물질로 자성 박막층(120)을 증착한다.
- [0036] 이 때, 자성 박막층(120)은 증착 중 열처리(in-situ annealing) 또는 증착 후 열처리(post-annealing) 과정을

거칠 수 있다. 특히, 자성 박막층(120)으로 Terfenol-D 물질이 사용될 경우, 열처리 과정이 필수적으로 요구된다. 이러한 열처리는 압전체(110)의 상전이 온도 이하(50 ~ 450℃)에서 하는 것이 바람직하다.

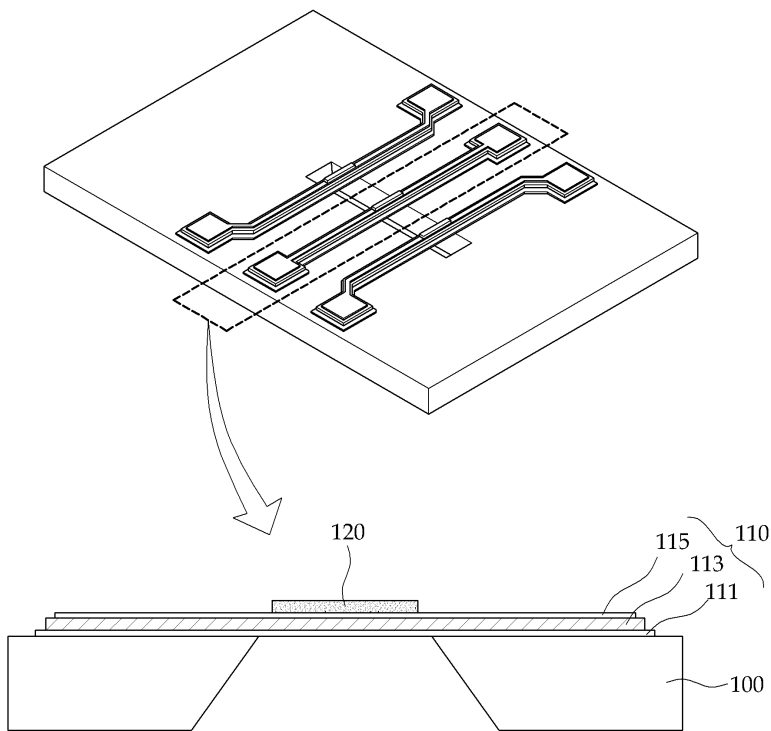
- [0037] 한편, 상기한 자성 박막층(120)의 증착 이전에, 압전체(110) 상부에 도 2에 도시된 것과 같은 절연층(200)을 더 증착하고, 그 위에 자성 박막층(120)을 증착할 수도 있다. 절연층(200)은 SiO<sub>2</sub>, Parylene 등의 물질로 형성될 수 있으며, 절연층(200)을 통해 자성 박막층(120)과 전기를 발생시키는 압전체(110)에서의 전류의 이동 현상을 막아 전기자기 효과를 더욱 높일 수 있게 된다.
- [0038] 도 4는 Terfenol-D 물질로 형성된 자성 박막층의 열처리 전후의 자화 특성을 나타낸 도면이다.
- [0039] 도 4에서, 가로축은 자기장의 크기, 세로축은 박막의 자화(magnetization) 정도를 나타낸다. 빨간 점들로 이루어진 선은 열처리 이전의, 파란 점들로 이루어진 선은 열처리 이후의 M-H 히스테리시스(hysteresis) 곡선이다. 이와 같이, Terfenol-D 물질로 증착된 자성 박막층(120)의 경우 열처리 과정을 거쳐 비로소 자성체의 특성을 가지게 된다.
- [0040] 도 5 및 도 6은 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자에 미세 전류를 인가했을 때 압전체에 유도된 전기신호를 측정하여 결과를 도시한 도면이다.
- [0041] 제작된 압전-자성 마이크로 소자에 전자석, 도전성 와이어(conductive wire) 및 헬름홀츠 코일(Helmholtz coil)을 사용하여 전류를 흘려준 후 자성 박막층의 변형에 따라 압전체에 유도된 전하량을 측정하였다.
- [0042] 도 5를 참조하면, 먼저 자성 박막층이 없는 상태에서 인가되는 전류(파란색 선)를 조금씩 높여 가며 실험한 결과, 그래프 아래의 빨간색 선과 같이 거의 반응이 나타나지 않았다. 반면, 자성 박막층을 형성한 후 전류(파란색 선)를 조금씩 높여 가며 실험한 결과, 그래프 위의 초록색 선과 같이 인가된 전류의 크기에 비례하는 전기신호가 측정되었다.
- [0043] 도 6은 최소 전류 0.1uA를 인가했을 때 압전체에 유도된 전기신호의 변화를 보여주며, 검출 가능한 최소 전류 및 자기장(magnetic field)은 각각 0.1uA,  $2 \times 10^{-11}$ T 인 것으로 확인되었다. 이를 통해, 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자를 이용하여 고감도 및 초소형의 전류 센서 또는 자기 센서를 구현할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0044] 도 7은 본 발명에 따른 압전-자성 마이크로 소자를 이용한 온도 센싱 결과를 도시한 도면이다. 도 7에 도시된 바와 같이, 브릿지 구조의 압전체 및 자성체를 포함하는 압전-자성 마이크로 소자의 공진 주파수 변화를 모니터링함으로써 미세 온도 센서로의 응용이 가능하다.
- [0045] 본 발명의 기술사상은 상기 바람직한 실시예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술분야의 통상의 전문가라면 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 다양한 실시예가 가능함을 알 수 있을 것이다.

**부호의 설명**

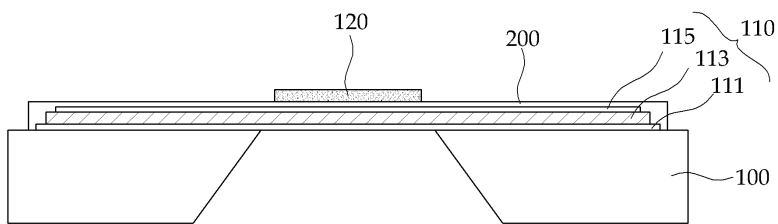
- [0046] 100 : 지지층                                    110 : 압전체
- 111 : 하부 전극층                              113 : 압전 박막층
- 115 : 상부 전극층                              120 : 자성 박막층
- 200 : 절연층

도면

도면1

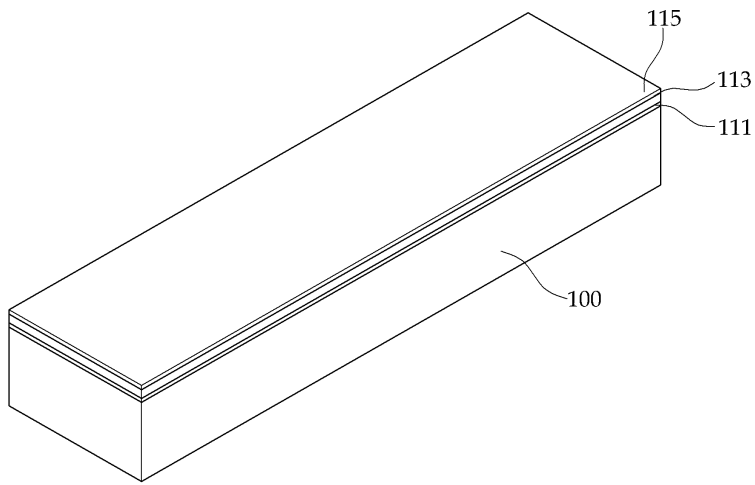


도면2

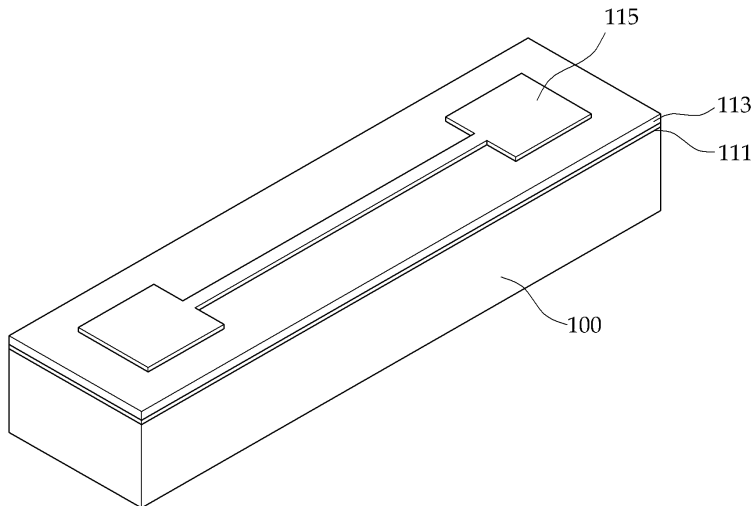




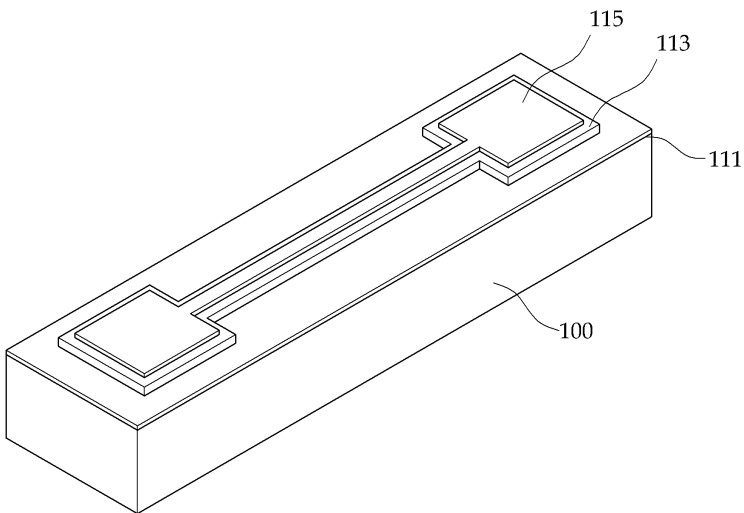
도면3a



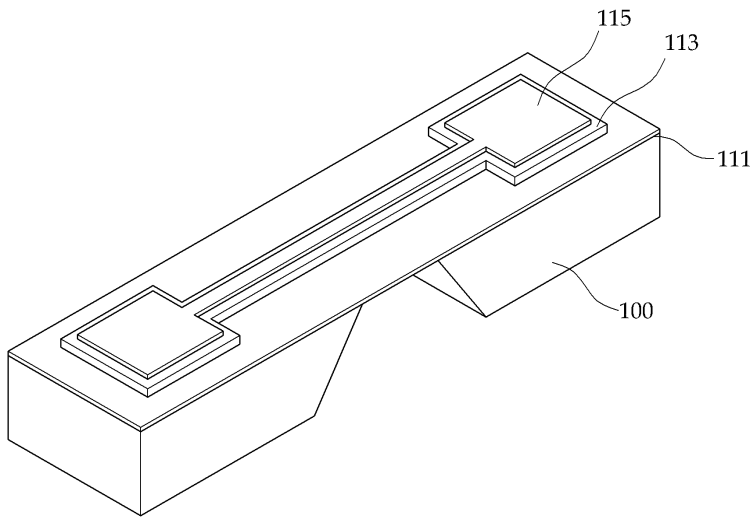
도면3b



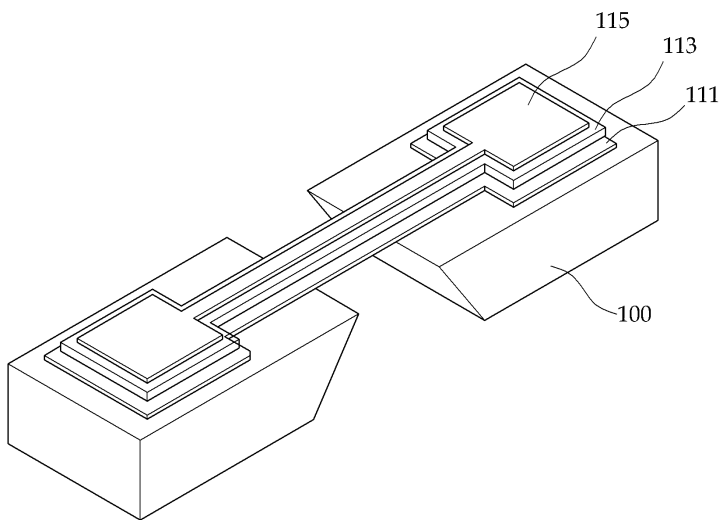
도면3c



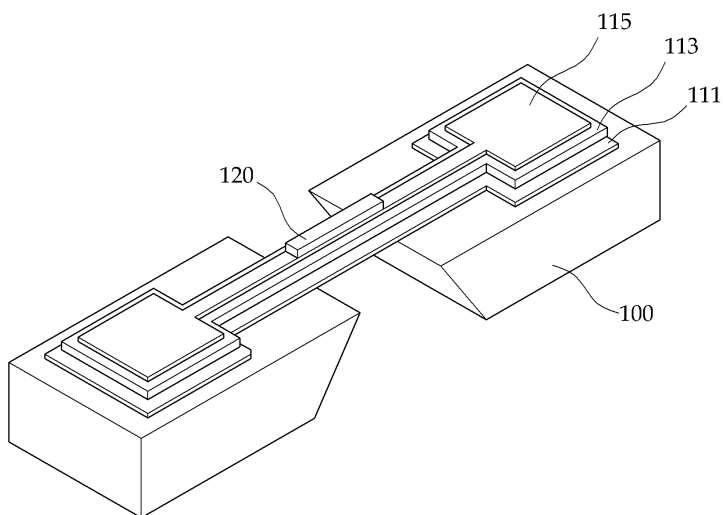
도면3d



도면3e

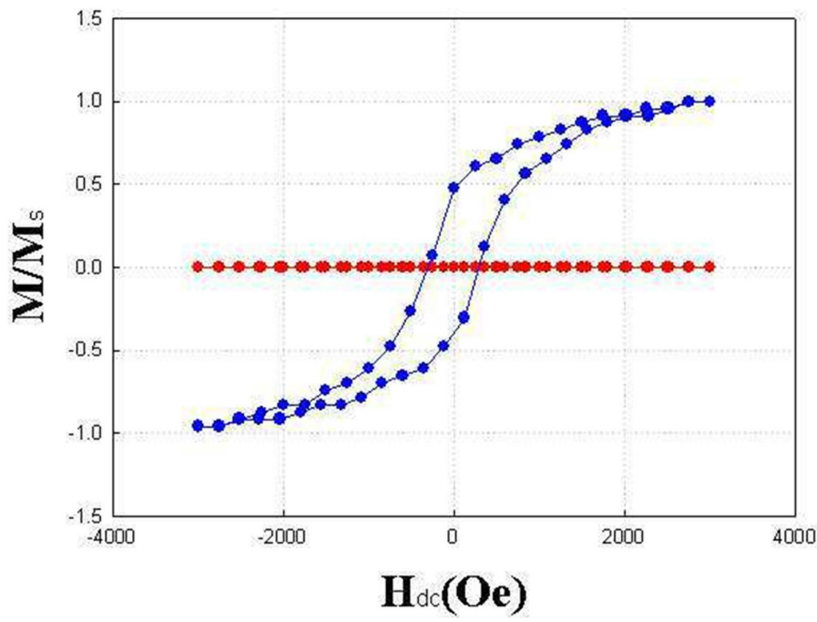


도면3f

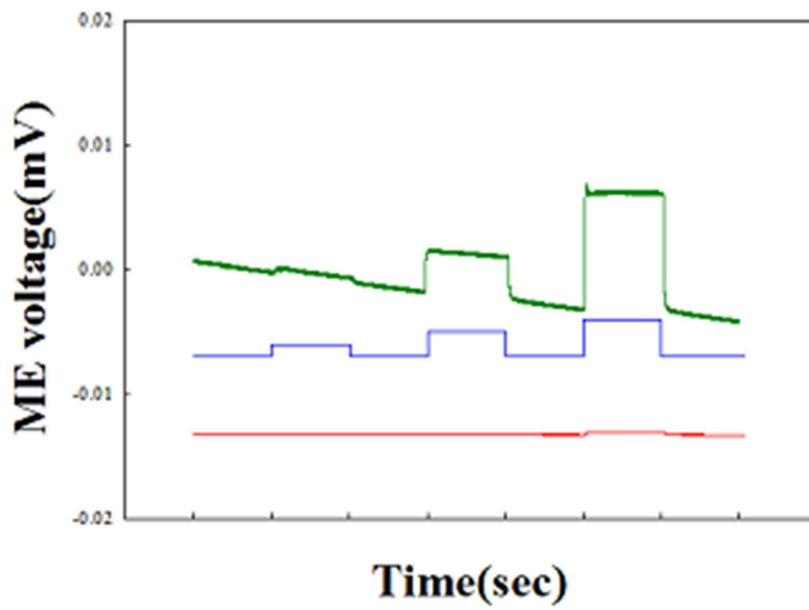


도면4

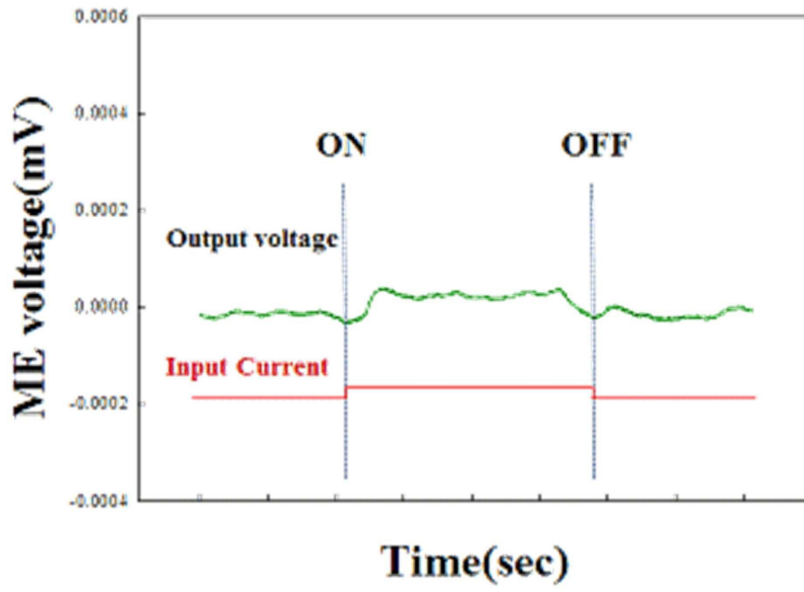
### Magnetization



도면5



도면6



도면7

