



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0170567
(43) 공개일자 2024년12월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 33/09 (2006.01) G01R 33/00 (2006.01)
H01F 10/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 33/093 (2013.01)
G01R 33/0052 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7036549
(22) 출원일자(국제) 2023년04월04일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년10월31일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/058767
(87) 국제공개번호 WO 2023/194346
국제공개일자 2023년10월12일
(30) 우선권주장
22305459.4 2022년04월05일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
폼미사리아 아 레네르지 아토미끄 에프 옥스 에너지
지스 엘터네이티브즈
프랑스, 파리 75015, 바띠맹 르 포낭트 디, 뤼 레
블랑크 25
쎄뜨레 나티오날 데 라 르세르쉬 생띠끄
프랑스 75016 파리 뤼 미셀 엔지 3
유니버시티 그르노블 알페스
프랑스 38400 생마르탱 데레스 621 애비뉴 센트랄
(72) 발명자
팔로미노, 알바로
프랑스, 38054 그르노블 세텍스 9, 아베뉴 데 마
르티르 17, 씨이에이-그르노블 디알에프/이리그/
스핀텍 내
디에니, 베르나르
프랑스, 38054 그르노블 세텍스 9, 아베뉴 데 마
르티르 17, 씨이에이-그르노블 디알에프/이리그/
스핀텍 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
청운특허법인

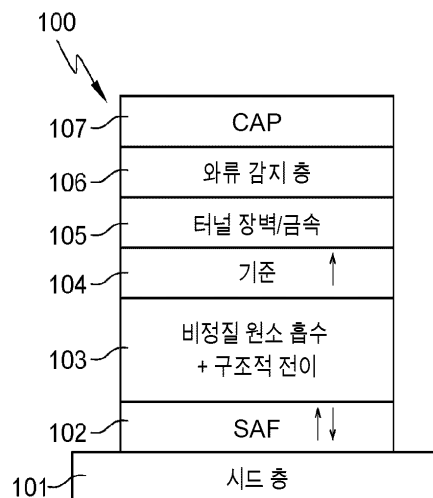
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 평면외 자기장에 민감한 자기저항 센서

(57) 요약

본 발명은 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서(100)에 관한 것으로, 자기저항 센서는: - 감지 층(106); - 고정된 자화를 갖는 기준 층(104), 여기서 상기 고정된 자화의 방향은 상기 기준 층의 평면에 수직임; - 상기 감지 층(106)과 상기 기준 층(104)을 분리하는 비-자성 스페이서 층(105);을 포함하며, 상기 감지 층(106)은 인가된 자기장이 없을 시에 자화 와류 구성을 자발적으로 가지며, 상기 기준 층(104)의 평면에 수직인 인가된 자기장이 있을 시에 와류 코어 직경이 변한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G01R 33/007 (2013.01)

G01R 33/098 (2013.01)

H01F 10/3254 (2013.01)

H01F 10/3272 (2013.01)

H01F 10/3286 (2013.01)

(72) 발명자

수사, 리카르도

프랑스, 38054 그르노블 세텍스 9, 아베뉴 데 마르
티르 17, 씨이에이-그르노블 디알에프/이리그/스핀
텍 내

프레즈베아누, 이오안-루시안

프랑스, 38054 그르노블 세텍스 9, 아베뉴 데 마르
티르 17, 씨이에이-그르노블 디알에프/이리그/스핀
텍 내

명세서

청구범위

청구항 1

평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서(100, 200, 300)에 있어서,

- 감지 층(106, 206, 306);
- 고정된 자화를 갖는 기준 층(104, 204, 304), 여기서 상기 고정된 자화의 방향은 상기 기준 층의 평면에 수직임;
- 상기 감지 층(106, 206, 306)과 상기 기준 층(104, 204, 304)을 분리하는 비-자성 스페이서 층(105, 205, 305);을 포함하며,

상기 감지 층(106, 206, 306)은 인가된 자기장이 없을 시에 자화 와류 구성을 가지며, 상기 기준 층(104, 204, 304)의 평면에 수직인 인가된 자기장이 있을 시에 와류 코어 직경이 변하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

감지 층은, 감지 층의 두께를 감지 층의 평면내 특성 치수로 나눈 값으로 정의된 종횡비로 선택되며, 종횡비는 0.2 내지 2를 포함하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 종횡비는 0.2 내지 1을 포함하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 4

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,

비-자성 스페이서 층은 터널 장벽 층 또는 금속 스페이서인, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 5

청구항 1 내지 4 중 어느 한 항에 있어서,

기준 층은 수직 이방성을 갖는 합성 반강자성 층(synthetic antiferromagnetic layer)에 자기적으로 결합되는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 6

청구항 1 내지 5 중 어느 한 항에 있어서,

비-자성 스페이서 층은 터널 장벽 층이며, 그리고

감지 층은 철, 코발트 및 비정질 원소를 기반으로 한 합금으로 만들어진 제1 층을 포함하며, 상기 제1 층은 터널 장벽 층과 접촉하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

감지 층은, 제1 층에 존재하는 비정질 원소의 적어도 일부를 흡수하고 감지 층에 포함된 층들 간의 구조적 전이를 보장하도록 구성된 적어도 또 다른 재료 층을 포함하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

비정질 원소의 적어도 일부를 흡수하도록 구성된 재료는 Ta, Mo, W 또는 Hf 또는 이들의 혼합물 재료 중에서 선택되는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 9

청구항 1 내지 8 중 어느 한 항에 있어서,

감지 층은 하나 또는 여러 개의 적층물 산화 층을 포함하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 10

청구항 1 내지 9 중 어느 한 항에 있어서,

자기저항 센서는, 와류 코어 자화 방향의 전환을 방지하는 하나 이상의 층의 배치를 포함하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 11

청구항 1 내지 10 중 어느 한 항에 있어서,

기준 층은 수직 이방성을 갖는 단단한 재료로 만들어진 층에 자기적으로 결합되는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 12

청구항 1 내지 11 중 어느 한 항에 있어서,

자기저항 센서는 감지 층에 수직 교환 바이어스(perpendicular exchange bias)를 유도하는 반강자성 층을 포함하며,

상기 반강자성 층은 감지 층에 자기적으로 결합되는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

자기저항 센서는 감지 층과 반강자성 층 사이에 비-자성 스페이서 층을 포함하며, 비-자성 스페이서 층은 감지 층 자화에 수직 교환 바이어스를 유도하여 교환 바이어스 결합 강도를 조정하는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 14

청구항 1 내지 13 중 어느 한 항에 있어서,

와류 감지 층의 기하학적인 구조와 치수는 감지 층의 와류 구성이 적어도 + 또는 - 200 mT의 감지될 인가 자기장 범위에서 소멸되지 않도록 선택되는, 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서.

청구항 15

직렬 및/또는 병렬로 전기적으로 결합되는, 청구항 1 내지 14 중 어느 한 항에 따른 자기저항 센서를 복수개 포함하는, 감지 디바이스.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

청구항 1 내지 14 중 어느 한 항에 따른 자기저항 센서를 4개 포함하고,

4 개의 자기저항 센서는, 휘트스톤 브리지 구성(Wheatstone bridge configuration)에 따라 배열되고 브리지의 2 개의 대향 분기부에 위치한 2 개 센서의 기준 층이 제1 평면외 방향으로 자화되면서, 브리지의 2개의 다른 분

기부에 위치한 2 개의 자기저항의 기준 층이 반대 평면의 방향으로 자화되도록 구성되는, 감지 디바이스.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스핀트로닉스(spintronic) 분야에 속하며, 자기장의 평면외(out-of-plane) 성분에 민감한 자기저항 센서에 관한 것이다.

[0002] 설명을 쉽게 하기 위해, 자기장의 평면외 성분을 평면외 자기장 또는 평면에 수직인 자기장이라고 할 것이다.

배경 기술

[0003] 스핀트로닉 자기장 센서는 광범위한 자동차, 산업 또는 생물 의학 응용 분야에서 사용된다(PP Freitas, R. Ferreira 및 S. Cardoso, 2016, "Spintronic Sensors," in Proceedings of the IEEE, vol. 104, no. 10, pp. 1894-1918).

[0004] 이러한 타입의 자기저항 센서는 높은 감도, 소형 크기, 낮은 전력 소모, CMOS 통합과의 호환성, 낮은 비용 등의 결합으로 인해 홀 센서, 탐색 코일, 거대 자기 임피던스 센서, SQUID 또는 플럭스게이트와 같은 다른 대안에 비해 여러 가지 장점을 제공한다.

[0005] 스핀트로닉스 센서는 dc 또는 ac 바이어스 전류 하에서 자기장 변화를 전압 또는 저항 변화로 변환한다. 이러한 저항 변화는 스핀 밸브(spin-valve, SV)의 거대 자기 저항(giant magnetoresistance, GMR) 효과 또는 자기 터널 접합(magnetic tunnel junctions, MTJ)의 터널 자기저항(tunnel magnetoresistance, TMR)에 기반한다. 두 자기저항 구조체 모두는 고정 자화의 기준 층(RL)과 감지 층(SL) 자화 사이의 상대적 배향의 함수로서 전기 저항의 변화를 보여준다.

[0006] 와류 기반 자기저항 센서는 높은 포화 자기장을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 이는 큰 동적 범위의 응용 분야에 매력적인 특징이다(Suess, D., Bachleitner-Hofmann, A., Satz, A. et al., 2018, "Topologically protected vortex structures for low-noise magnetic sensor with high linear range". Nat Electron 1, 362-370).

[0007] 속도 또는 전류 센서와 같은 특정 응용 분야의 경우, 넓은 선형 범위는 바이어스 자석이 센서에서 생성하는 필드의 진폭에 필요한 정확도를 낮추기 때문에 중요한 특징이다. 그러나 센서 감도가 감소한다.

[0008] 와류 구조의 안정성은 와류 구조의 불균일성에서 발생하는 교환 에너지, 쌍극자 상호작용에서 발생하는 자기-정역(magneto-static) 에너지, 자기 결정 이방성 에너지, 및 외부 필드가 인가될 경우의 제만 에너지(Zeeman energy)를 포함하는 시스템의 총 에너지의 최소화에서 비롯된다. 특정 기하 구조의 경우, 나노스케일 원통의 기저 에너지 상태는 이론적으로 예측된 대로 와류 구성을 선호한다(Metlov, K. L. and Lee Y., 2008, "Map of metastable states for thin circular magnetic nanocylinders." Appl. Phys. Lett. 92, 112506 (2008)). 이러한 기하 구조에서, 자기-정역 에너지는 교환 에너지를 압도하여, 자기 모멘트의 평면내 컬링(curling)에 해당하는 와류 구성이 형성되어, 원통 중심의 자기 특이성에 의해 생성된 교환 에너지 비용을 줄이기 위해 평면외 자화된 와류 코어로 평면 내 플럭스 폐쇄가 가능해진다. 종래 기술 센서에서 일반적으로 사용되는 경우, 원통

$$l_{ex} = \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{2}\mu_0 M_s^2}}$$

의 두께는 직경보다 매우 작다. 이 상황에서, 와류 코어의 직경은 l_{ex} 로 정의된 교환 길이로 주어진다. 퍼멀로이(Permalloy, $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$), 코발트, 철과 같이 일반적으로 사용되는 재료의 경우, 이 길이는 일반적으로 5nm 정도이다. 따라서 와류 코어의 면적은 디스크 면적의 아주 작은 부분이다. 예를 들어, 직경이 1 마이크로미터인 디스크의 경우, 코어 면적 대 디스크 면적의 비율은 $(5/1000)^2 = 2.5 \cdot 10^{-5}$ 정도이다.

[0009] 종래 기술의 와류 기반 센서는 자기장의 평면내 성분에 민감하다. 이 설명 전반에 걸쳐, "평면내(in-plane)"는 센서의 스택 층의 평면과 평행을 의미하는 반면, "평면외" 또는 "평면에 수직"은 이 평면에 대한 법선을 따른 것을 의미한다. 도 1은 이러한 종래 기술 센서의 자기 스택 구성(1)을 설명한다.

[0010] 자기 스택(1)은 연속적으로 다음을 포함한다:

[0011] - 시드 층(2);

- [0012] - 고정된 합성 반강자성(pinned synthetic antiferromagnetic) 구조체(3);
- [0013] - 센서가 자기 터널 접합일 시에 터널 장벽 또는 센서가 금속 스핀 밸브일 시에 비-자성 금속 스페이서일 수 있는 스페이서(4);
- [0014] - 인가된 자기장이 없을 때 자발적으로 자기 와류 구성을 갖는 감지 층(5);
- [0015] - 캡핑층(capping layer, 6).
- [0016] 고정된 합성 반강자성 구조체(3)는 연속적으로 다음을 포함한다:
- [0017] - 일반적으로 IrMn 또는 PtMn 합금(예를 들어, $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$ 또는 $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$)을 기반으로 하는 반강자성 층(antiferromagnetic layer, AF)(7);
- [0018] - 강자성 층(ferromagnetic layer, FM)(8);
- [0019] - 2 개의 인접한 자기 층 사이에 반강자성 층간 결합(interlayer coupling)(소위 RKKY 결합)을 제공하는 스페이서 층(9), 이 스페이서 층은 예를 들어 Ru로 만들어짐;
- [0020] - 기준 층(10).
- [0021] 기준 층(10)은 합성 반강자성체(Synthetic Antiferromagnet, "SAF")의 일부이다. SAF는 금속 스페이서(9)에 의해 분리된 반강자성적으로 결합된 두 개의 층(8 및 10)을 포함한다. 2 개의 층(8 및 10) 각각은 기준(또는 편광기) 층(10) 및 고정 층(8)으로 간주된다. SAF는 SAF와 접촉하는 SAF의 자기 고정 층(8)에 교환 바이어스를 제공하는 반강자성 고정 층(7)과 연관된다. 그런 다음 SAF는 이 반강자성 고정 층(7) 위에 성장한다. (AF/FM/Ru/기준) 형태의 고정된 합성 반강자성 구조체(AF/SAF)는 일반적으로 고정된 기준 전극으로 사용되며, 여기서 층 FM(8)은 코발트 또는 주로 Fe, Co, Ni를 기반으로 하는 합금과 같은 강자성 재료이다. 센서가, 비-자성 금속 스페이서가 기준 층과 감지 층을 분리하는 금속 스핀 밸브일 시에, 전체 스택은 일반적으로 면심 입방(face centered cubic, fcc(111) 텍스처)을 가진다. 센서가 자기 터널 접합일 때, 기준 층과 감지 층 사이의 스페이서는 대부분 MgO bcc(001) 텍스처로 만들어진 산화물 터널 장벽이다. 이 경우, 3 중 대칭(three-fold symmetry) fcc(111) AF/SAF 구조체의 상부 상에 4 중 대칭 bcc(001) 산화물 터널 장벽을 성장시키기 위해, 기준 층(10)은 일반적으로 연속적으로 다음을 포함하는 복합 3중층(composite trilayer)으로 구성된다:
- [0022] - Ru 또는 Ir의 스페이서 층(9)과 접촉하는 Co 또는 CoFe 층은 반평행(antiparallel) RKKY(Ruderman-Kittel-Kasuya-Yoshida) 결합을 유도함;
- [0023] - 인접 층으로부터 비정질화 원소(amorphizing element, 예를 들어, B)를 흡수하고 층간 강자성 결합을 제공하면서, fcc와 bcc 구조체 사이의 구조적 전이를 보장할 수 있는 Ta, W, Mo 또는 Hf와 같은 재료로 만들어진 나노 결정 또는 비정질 층,
- [0024] - 터널 장벽(4)과 접촉하는 비정질 CoFeB 합금. 이러한 비정질 CoFeB 층은 250 °C 이상의 온도에서 어닐링하는 동안 터널 장벽과 동일한 결정학적 구조(결정학적 구조)로 결정화되어, 해당 분야의 통상의 기술자에게 잘 알려진 대로 큰 터널링 자기저항 값(TMR)을 초래한다.
- [0025] 합성 반강자성(SAF) 구성은 감지 층에 이러한 단단한 기준 스택이 가하는 누설 자기장(stray field)을 줄일 수 있게 하고, 기준 층에 더 큰 자기적 안정성을 제공한다. 강자성 기준 층은 평면내 자화를 가지고 있으며 반강자성 재료 층과 교환 결합된다. 통상의 기술자가 잘 알고 있는 바와 같이, 반강자성 층(7)에 인접한 SAF의 강자성 재료 층(8)은 스택을 어닐링하고 특정 방향으로 외부에서 인가된 자기장 하에서 반강자성 층의 차단 온도 이상에서 냉각시켜 원하는 방향으로 강자성 층 자화를 포화시킴으로써 평면내 방향으로 고정된다.
- [0026] 평면내 자기장에 민감한 와류 기반 센서에서, 와류 소멸 자기장(vortex annihilation fields)에 의해 제한된 특정 범위의 자기장에서, 감지될 평면내 자기장과 직교하는 방향으로 측면 와류 코어 운동으로 인해 저항 대 자기장의 거의 선형 변화가 관찰된다. 감지 층에 와류 구성이 있는 최첨단 자기저항 센서는 선형 R(H) 특성과 와류 구성의 안정성으로 인해 매력적이다.
- [0027] 종래 기술의 와류 센서의 동작 메커니즘은 도 2에 도시된다. 도 2는 와류 감지 층의 x축(즉, 고정된 기준 층의 자화 방향)을 따라 자기 응답을, 감지될 자기장의 함수로 도시하는데, 이 자기장은 고정된 기준 층의 자화의 x 방향을 따라 층 평면에 인가된다. 0의 인가 자기장(지점 C)에서 평형 상태는 디스크의 중심에 코어가 위치한 와류 구성이다(기준 스택에서 누설 자기장이 없다고 가정). 0이 아닌 평면내 주어진 자기장 H(지점

B)에서, 와류 자화는 인가된 자기장 방향에 수직인 방향으로 와류 코어의 측면 이동에 의해 자기장 방향을 따라 분극된다. 도 2에서, 자기장은 x 방향을 따라 인가되므로 와류 코어는 제만 에너지, 교환 에너지 및 자기정역 에너지 간의 균형에서 발생하는 거리 Δd 만큼 y 방향으로 이동한다. 자기장이 클수록, 와류 코어가 더 많이 이동한다. 이는, 소멸 자기장(H_a)이라고 하는 특정 특성장까지 선형 M(H) 및 R(H) 특성을 생성하며, 여기서 와류 구조는 완전히 소멸되고 단일 도메인 미세자기 구조가 형성된다(A). 포화에서 돌아오는 길에 와류는 핵 생성 장(nucleation field, H_n)이라고 알려진 특정 자기장에서 다시 형성된다.

[0028] 이러한 알려진 와류 기반 센서의 한 가지 특별한 장점은 단일 도메인 타원형 센서(5mT)에 비해 선형 범위가 넓은 점(40mT)으로, 이는 감지 범위가 8배 향상되지만 감도는 Suess, D., Bachleitner-Hofmann, A., Satz, A. et al., 2018, "Topologically protected vortex structures for low-noise magnetic sensors with high linear range". Nat Electron 1, 362-370에서 보고한 것과 같은 요인만큼 감소한다.

[0029] 이 타입의 센서의 단점은 잡음이다. 이 잡음은 이방성의 국소적 변동으로 인해 측면 운동에서 와류 코어의 트래핑(trapping)으로부터 발생된다. 이는 특히 산화물 터널 장벽과 감지 층 사이의 계면에서 계면 이방성의 공간적 변화로 인해 자기 터널 접합에서 발생할 수 있다. 실제로, 이 이방성은 국소 산소 또는 붕소 농도와 같은 파라미터에 매우 민감한 것으로 알려져 있다. 종래 기술의 와류 센서에서는 와류 코어의 면적이 작기 때문에(일반적으로 직경 5nm), 그레인 경계(grain boundaries)와 같은 몇 nm 정도의 작은 결함에서도 트래핑이 매우 효과적일 수 있다. 이는 도메인 벽 전파에서 알려진 바르크하우젠 잡음(Barkhausen noise)과 동일한 잡음을 유발할 수 있지만 여기서는 와류 코어 전파에 대해 설명한다. 이 잡음은 이 타입의 센서의 신호 대 잡음비에 영향을 미친다.

[0030] 또한, 이러한 센서는 기준 층 자화의 고정 방향, 즉 평면내 방향과 평행한 자기장 성분에 민감한다. 따라서 자기장 측정 방향에 제한이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0031] 이러한 맥락에서, 본 발명의 목적은 자기장의 평면외 성분을 측정할 수 있고 향상된 신호 대 잡음비를 제공하는 와류 기반 자기저항 센서를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0032] 이러한 목적을 위해, 본 발명은 평면외 인가된 자기장에 민감한 자기저항 센서를 제안하며, 자기저항 센서는 다음을 포함한다:

[0033] - 감지 층;

[0034] - 고정된 자화를 갖는 기준 층, 상기 고정된 자화의 방향은 상기 기준 층의 평면에 수직임;

[0035] - 상기 감지 층과 상기 기준 층을 분리하는 비-자성 스페이서 층;

[0036] 상기 감지 층은 인가된 자기장이 없을 시에 자화 와류 구성을 가지며, 상기 감지 층의 평면에 수직인 인가된 자기장이 있을 시에 와류 코어 직경이 변함.

[0037] 본 발명 덕분에, 감지 층이 와류 미세자기 구성에 있는 감지 층의 평면에 수직으로 배향된 자기장을 감지하는 것이 가능하다. 센서 원리는 감지될 평면외 자기장의 영향 하에, 평면외 자화된 와류 코어의 확장 또는 수축에 기반한다. 이러한 감지 층을 자기 터널 접합 또는 평면외 자화된 기준 층을 포함하는 스핀 밸브에 구현함으로써, 와류 코어의 이러한 확장/수축은 감지될 인가된 자기장의 진폭을 측정하는데 사용될 수 있는 자기저항 신호를 생성한다. 얻어진 자기저항 센서는 종래 기술의 와류 기반 센서에 비해 큰 선형 범위 및 향상된 신호 대 잡음비를 보여준다.

[0038] 본 발명에 따른 센서는 감지될 평면외 자기장의 진폭에 대해 거의 선형적인 저항 변화를 나타낸다. 그러나, 이 선형 변화는 종래 기술 센서에서와 같이 와류 코어의 측면 운동과 연관이 없고, 평면외 인가 자기장 하에서 와류 코어의 확장/수축과 연관이 있다. 와류 코어의 크기가 매우 크고 자기장 감지 중에 코어의 중심이 측면으로 움직이지 않기 때문에, 이러한 센서의 잡음은 크게 감소하여 종래 기술 와류 센서에 비해 신호 대 잡음비가 높아진다.

- [0039] 본 발명에서, 설명에서 더 자세히 볼 수 있는 바와 같이, 감지 층의 두께를 센서의 측면 치수로 나눈 비율은 유리하게도 종래 기술의 와류 센서보다 매우 더 크다. 이로 인해 와류 코어는 와류 코어의 직경이 교환 길이로 주어지는 종래 기술의 와류 센서보다 매우 더 넓어진다.
- [0040] 본 발명에 따른 센서는 또한 개별적으로 또는 기술적으로 가능한 모든 조합에 따라 고려되는 아래 특성 중 하나 이상을 제시할 수 있다:
- [0041] - 본 발명의 자기저항 센서는 층 평면에 대략 수직인 방향으로 센서를 통해 전류를 인가하는 수단을 포함한다;
- [0042] - 감지 층은 감지 층의 두께를 감지 층의 평면내 특성 치수로 나눈 값으로 정의된 종횡비로 선택되며, 종횡비는 0.2 내지 2, 유리하게는 0.2 내지 1을 포함한다; 본 발명의 센서가 원형 단면을 갖는 원통형 형상을 가질 때, 감지 층 평면내 특성 치수는 직경이다. 그러나 본 발명은 감지 층의 와류 구성을 안정화할 수 있는 임의의 타 입의 형상에 적용된다. 이는 특히 다른 것들 중에서, 정사각형, 모서리가 둥근 정사각형, 약간 직사각형 형상 (긴 변이 짧은 변의 두 배를 넘지 않음), 가능하다면 모서리가 둥근 직사각형 형상, 적당한 타원율(장축과 단축 간의 비율이 2를 넘지 않음)을 갖는 타원형 형상 또는 와류 상태를 안정화할 수 있는 임의의 다른 형상이다. 이러한 모든 형상에 대해, 감지 층 종횡비는 두께와 가장 짧은 평면내 치수의 비율로 정의된다. 감지 층이 디스크 형상인 경우, 이 특성 치수는 직경이다. 감지 층이 정사각형이거나 정사각형에 가까운 경우, 이는 정사각형 변의 길이이다. 감지 층이 직사각형인 경우, 이는 직사각형의 짧은 변이다. 감지 층이 타원인 경우, 이는 타원의 단축이다.
- [0043] - 비-자성 스페이서 층은 터널 장벽 층 또는 금속 스페이서이다;
- [0044] - 기준 층은 수직 이방성을 갖는 합성 반강자성 층에 자기적으로 결합된다;
- [0045] - 비-자성 스페이서 층은 터널 장벽 층이고 감지 층은 철, 코발트 및 비정질 원소를 기반으로 한 합금으로 만들어진 제1 층을 포함하며, 상기 제1 층은 터널 장벽 층과 접촉한다;
- [0046] - 감지 층은 제1 층에 존재하는 비정질 원소의 적어도 일부를 흡수하고 감지 층에 포함된 층들 간의 구조적 전이를 보장하도록 구성된 적어도 또 다른 재료 층을 포함한다;
- [0047] - 비정질 원소의 적어도 일부를 흡수하도록 구성된 재료는 다음 재료 중에서 선택된다: Ta, Mo, W 또는 Hf 또는 이들의 혼합물;
- [0048] - 감지 층은 하나 또는 여러 개의 적층물 산화 층을 포함한다;
- [0049] - 본 발명의 자기저항 센서는 와류 코어 자화 방향의 전환을 방지하는 하나 이상의 층의 배치를 포함한다;
- [0050] - 기준 층은 수직 이방성을 갖는 단단한 재료로 만들어진 층에 자기적으로 결합된다;
- [0051] - 본 발명의 자기저항 센서는 감지 층에 수직 교환 바이어스를 유도하는 반강자성 층을 포함하며, 상기 반강자성 층은 감지 층에 자기적으로 결합된다;
- [0052] - 본 발명의 자기저항 센서는 감지 층과 반강자성 층 사이에 비-자성 스페이서 층을 포함하며, 비-자성 스페이서 층은 감지 층 자화에 수직 교환 바이어스를 유도하여 교환 바이어스 결합 강도를 조정한다;
- [0053] - 와류 감지 층의 기하학적인 구조와 치수는 감지 층의 와류 구성이 적어도 + 또는 - 200 mT의 감지될 인가 자기장 범위에서 소멸되지 않도록 선택된다.
- [0054] 본 발명은 또한 본 발명에 따른 복수의 자기저항 센서를 포함하는 감지 디바이스를 제공하는 것을 목적으로 하며, 복수의 자기저항 센서는 직렬 및/또는 병렬로 전기적으로 결합된다.
- [0055] 상기 감지 디바이스는 본 발명에 따른 4개의 자기저항 센서를 포함할 수 있으며, 상기 4개의 자기저항 센서는 휘트스톤 브리지 구성(Wheatstone bridge configuration)에 따라 배열되고 브리지의 2 개의 대향 분기부에 위치한 2 개 센서의 기준 층이 제1 평면의 방향으로 자화되면서, 브리지의 2개의 다른 분기부에 위치한 2 개의 자기저항의 기준 층이 반대 평면의 방향으로 자화되도록 구성된다.

도면의 간단한 설명

- [0056] 본 발명의 다른 특징 및 장점은 아래에 제공된 설명에서 명확하게 드러날 것이며, 이는 지시적 목적일 뿐 어떠한 제한적 목적도 아니며, 첨부된 도면을 참조하여 설명하겠습니다. 첨부된 도면에는 다음이 포함된다::

- 도 1은 종래 기술에 따른 와류 센서를 도시한다;
- 도 2는 도 1의 종래 기술의 와류 센서의 동작 메커니즘을 도시한다;
- 도 3은 본 발명에 따른 센서의 제1 실시예를 개략적으로 도시한다;
- 도 4는 도 3의 와류 센서의 동작 메커니즘을 도시한다;
- 도 5는 도 3의 센서 스택의 상세한 실시예를 보여준다;
- 도 6은 자기 스택 평면에 수직으로 인가된 외부 자기장의 함수로서 도 5의 센서의 전기 저항의 종속성을 도시한다;
- 도 7a는 마이크로 자기 시뮬레이션에 의해 수행된 60nm 직경, 60nm 두께 및 0.8 MA/m의 자기 포화도를 갖는 자기 요소의 자화 반전에 대한 횡단면도를 보여준다;
- 도 7b는 도 7a에서 인가된 동일한 외부 자기장에서 최상층 표층(uppermost superficial layer)의 Mz 성분의 2D 뷰를 보여준다.
- 도 7c는 y=0에서 최상층 표층의 Mz 성분의 1D 뷰를 보여준다;
- 도 8은 감지 층의 서로 다른 직경 D에 대해 인가된 평면외 자기장 Hz의 함수로서 자화 Mz의 전개(evolution)를 보여준다;
- 도 9는 서로 다른 직경을 갖는 서로 다른 나노패턴 센서의 전기적 결과를 보여준다;
- 도 10은 $A_{ex}=13 \times 10^{-12} \text{ J/m}^2$ 이고 $\alpha=0.01$ 인 60nm 두께, 및 60nm 직경의 원통형의 반전에 대한 미세자기 시뮬레이션을 서로 다른 포화 자화 값에 대해 보여준다;
- 도 11은 인가된 평면외 자기장의 함수로 2 개의 센서의 전기 저항의 전개를 보여주며, 2 개의 센서 중 하나는 감지 층 재료로 NiFe 재료($M_s=0.756 \text{ MA/m}$)를 사용하고, 다른 하나는 감지 층 재료로 Co 재료($M_s=1.44 \text{ MA/m}$)를 사용하며, 두 센서의 직경은 유사하다;
- 도 12a 및 b 각각은 다음을 보여준다:
 - 외부 인가 자기장 하에서 층 평면의 계면 결합의 존재 시에 변위 동안 종래 기술의 와류 센서에 대한 자기 와류 코어가 따르는 경로 및 그에 따른 자화 응답의 개략적 도시와;
 - 층 평면에 수직인 외부 인가 자기장 하에서 계면 결합의 존재 시에 본 발명의 와류 센서에 대한 자기 와류 코어가 따르는 확장 및 그에 따른 자화 응답의 개략적 도시;
- 도 13a는 와류 코어 극성 변화로 인해 센서에서 관찰된 실험적 히스테리시스 동작을 보여준다;
- 도 13b는 특정 방향으로 와류 코어 극성을 안정화하는 비완전 보상 SAF 구조의 누설 자기장의 존재에 기인한 본 발명의 센서에서의 비-히스테리시스 동작을 보여준다;
- 도 14a 및 b 각각은 다층 평면에 수직인 방향으로 자화된 비보상 자기 기준 층을 갖는 본 발명의 자기저항 센서의 개략적이고 상세한 표현을 보여준다;
- 도 15a 및 b 각각은 층 평면에 수직인 방향으로 자화된 보상 자기 기준 층 및 상부 교환 바이어스 층을 갖는 본 발명의 자기저항 센서의 개략적이고 상세한 표현을 보여준다;
- 도 16은 본 발명의 4 개의 기본 자기저항 센서를 포함하는 휘트스톤 브리지 구성의 본 발명의 감지 디바이스를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0057] 도 3은 본 발명에 따른 센서(100)의 제1 실시예를 개략적으로 도시한다.
- [0058] 상기 센서(100)는 다음을 연속적으로 포함하는 자기 스택이다:
 - [0059] - 시드 층(101);
 - [0060] - 합성 반강자성 구조체(102);

- [0061] - 텍스처 파괴 층(texture breaking layer, 103);
- [0062] - 기준 층(104);
- [0063] - 센서가 자기 터널 접합일 시에 터널 장벽이 되거나, 센서가 금속 스핀 밸브일 시에 비-자성 금속 스페이서가 될 수 있는 스페이서(105);
- [0064] - 인가된 자기장이 없을 시에 자발적으로 자기 와류 구성을 갖는 감지 층(106);
- [0065] - 캡핑층(107).
- [0066] 상기 자기 스택은 필러(pillar) 형태를 갖고 있으며, 그 단면은 유리하게는 원형 형태를 가진다.
- [0067] 상술된 바와 같이, 감지 층(106)은 자화 와류 구성을 가진다. 게다가, 감지 층(106)은 0.2 내지 2, 유리하게는 0.2 내지 1의 종횡비(즉, 두께를 평면내 특성 치수, 여기서는 직경으로 나눈 값)를 나타낸다. 종래 기술의 와류 센서와 달리, 이 센서의 감지 층의 종횡비는 1에 매우 더 가깝다. 결과적으로, 와류는 여기에서 종래 기술의 평면내 감응 센서보다 좁은 원통 내에 매우 더 한정된다. 예상치 못하게도, 이러한 한정으로 인해, 와류 코어는 종래 기술의 와류 센서보다 상당히 더 큰 것으로 밝혀졌다. 게다가, 도 4와 관련하여 볼 수 있는 바와 같이, 평면의 자기장이 디바이스에 적용될 때 와류 코어 직경이 크게 변화하는데, 이는 종래 기술의 와류 센서에서는 일어나지 않은 경우이다.
- [0068] 기준 층(104)은 기준 층(104)의 평면에 수직인 고정된 단일 도메인(mono-domain) 자화를 가진다. 기준 층(RL)은 도 3에 도시된 바와 같이 합성 반강자성체(Synthetic Antiferromagnet, "SAF") 102와 함께 가장 자주 사용된다. 그러나 본 발명에는 반드시 SAF가 필요한 것은 아니다.
- [0069] 와류 구성의 감지 층(106)은 자기저항 요소의 일부이다. 자기 저항 요소는 터널 접합 또는 대형 자기저항 금속 스택일 수 있다. 두 경우 모두, 요소는 상단 및 하단 전극을 포함하므로 전류가 층 평면에 대략 수직인 방향으로 디바이스 전체에 흐를 수 있다. 통상의 기술자라면 잘 알고 있는 바와 같이, 자기 터널 접합과 완전 금속 대형 자기저항 스택에서 층의 특성에 대한 요구 사항은 다르다. 실제로, 터널 접합에서는 스택에 서로 다른 결정학적 구조가 존재하는 반면(터널 장벽에는 가까운 체심(body centered, bcc) 및 스택의 하단부와 상단 부에는 면심 입방(face centered cubic, fcc)), 대형 자기저항 스택에서는 구조가 전체 스택에 걸쳐 fcc로 유지될 수 있다.
- [0070] 이러한 종래 기술과 대조적으로, 도 3의 센서(100)의 동작 메커니즘은 도 4를 참조하여 설명된다.
- [0071] 종래 기술의 와류 기반 센서가 평면내 자기장에 민감한 것과 달리, 센서(100)는 평면의 자기장을 감지하도록 설계되었다. 물리적 관점에서, 평면내 자기장을 적용할 시 와류 코어의 측면 평면내 이동에 의존하는 대신, 본 발명의 센서(100)는 평면의 자기장(Hz) 하에서 감지 층(106)의 와류 코어의 확장/수축에 의존한다(즉, z축을 따라, Oxy 평면은 센서의 서로 다른 층의 평면임).
- [0072] 인가된 자기장의 평면외 성분 Hz의 함수로서 감지 층(106)의 z 축을 따른 자화 응답 Mz는 인가된 자기장 Hz의 z 축 성분의 함수로서 감지 층(106)의 자화 Mz를 보여주는 도 4의 전달 곡선에 도시된다. 종래 기술의 자기저항 센서의 경우, 상기 전달 곡선은 선형 응답 영역과 상승 및 하강 분기를 따른 두 개의 특성 자기장, 즉 와류 코어가 전체 감지 층 구역으로 확장되어 미세자기 구성이 평면외 방향으로 거의 포화된 단일 도메인이 되는 소멸 자기장 Ha와, 그리고 와류가 다시 형성되는 포화로부터 자기장이 감소할 때의 핵생성 자기장 Hn을 보여준다.
- [0073] 이전에 언급한 바와 같이, 종래 기술의 와류 센서에서, 감지 층 직경은 일반적으로 크며, 1 또는 수 미크론 정도이고, 감지 층의 두께보다 적어도 한 자릿수 이상 크다. 결과적으로, 와류 코어는 매우 좁으며, 교환 길이에 의해 주어진 수 나노미터의 직경을 가진다. 반면에, 유리하게도, 본 발명에 따르면, 직경이 필름 두께에 가까워질 때, 와류 코어 직경은 더 작은 직경의 원통에서 매우 더 넓어진다. 와류 코어 자화와 평행한 평면외 방향으로 자기장이 인가되는 경우, 코어 직경은 증가하는 경향이 있다: 이 상황은 자기장이 인가되지 않은 상태 C와 비교된 상태 B로 설명된다. 상태 B에서, z축을 따라 와류 코어 방향의 자화가 아래로 향한다고 가정하면(즉, 와류 코어 자화의 z 성분이 음수임), 성분 Hz는 평행하고 와류 코어 자화와 동일한 방향(Mz가 음수임)이며, 와류 코어 직경의 직경은 인가된 필드가 없는 상태 A에서의 값과 비교하여 증가한다. 반대로, 필드가 코어 자화와 반평행하게 인가되는 경우, 직경이 감소한다. 또한, 유리하게도, 본 발명의 센서는 선형 응답 범위에서 사용해야 한다는 점에 유의해야 한다; 다시 말해, 바람직하게는, 인가된 자기장은 소멸 자기장 Ha 위에서 사용해서는 아니 되며, 여기서 와류 코어는 도 4의 상태 A에 도시된 바와 같이 전체 감지 층 구역으로 확장된다. 이러한 소멸을 피하고 센서를 선형 응답으로 유지하는 방법을 보여주기 위해 설명의 후반부에서

이 문제로 돌아갈 것이다.

- [0074] 이 감지 층(106)이 평면외 자화 기준 층(104)을 포함하는 자기 터널 접합 또는 스핀 밸브에서 구현되는 경우, 감지 층(106)의 와류 코어 직경의 이러한 변화는 양 및 음 와류 소멸 자기장으로 한정된 자기장 범위에서 저항 변화를 초래한다. 저항의 상기 변화에 기반으로 하여, 인가된 자기장의 해당 평면외 성분의 값에 접근할 수 있다.
- [0075] 도 5는 본 발명의 와류 센서의 제1 가능한 실시예를 설명하는데, 여기서 감지 층은 기준 층이 평면외 방향으로 자화된 자기 터널 접합에 삽입된다.
- [0076] 디바이스가 자기 터널 접합인 경우, 터널 장벽(105)은 MgO , AlO_x , TiO_x 또는 AlN , TiN 과 같은 산화물 또는 질화물 층이지만, 바람직하게는 큰 TMR 신호를 제공하는 것으로 알려진 MgO 이다. MgO 를 사용하여 큰 TMR을 얻으려면(큰 TMR은 일반적으로 80% 이상, 바람직하게는 140% 이상, 바람직하게는 200% 이상의 TMR을 의미함), MgO 층과 MgO 층을 샌드위치한 두 개의 자기 전극은 (100) 텍스처를 갖는 결정질 bcc 구조를 가져야 한다. 통상의 기술자에게 잘 알려진 바와 같이, 이는 증착 시 비정질이지만 일반적으로 250 °C 내지 400 °C 범위의 온도에서 어닐링하면 bcc 구조로 재결정될 수 있는 $FeCoB$ 층을 자기 전극으로 사용하여 실현될 수 있다.
- [0077] 이 재결정이 일어나려면, $FeCo$ 기반 합금에 함유된 B 또는 보다 일반적으로 비정질 원소가 이 합금에서 배출되어야 한다. 이를 위해 이 비정질 원소를 흡수할 수 있는 재료의 얇은 층이 MgO 층과의 계면과 반대쪽의 계면 상의 $FeCo$ 기반 층 옆에 증착된다. 이러한 비정질 원소 흡수 층은 예를 들어 Ta, W, Mo 또는 Hf로 만들어질 수 있다.
- [0078] 위의 고려 사항을 고려하면, 와류 감지 층(106)은 먼저 MgO 장벽(105)과 접촉하는 얇은 $FeCoB$ 기반 층을 포함할 수 있다. 이 층에서, B는 비정질화 원소이다. B는 Zr 또는 Nb와 같은 다른 비정질화 원소로 대체될 수 있다. 이러한 제1 층은 일반적으로 1.5 내지 5nm 범위의 두께를 가진다. 그런 다음 이 $FeCoB$ 는 구조의 어닐링 시 비정질화 원소를 흡수할 수 있는 수 옹스트롬 두께의 얇은 층과 접촉한다. 이 층은 예를 들어 W, Mo, Ta로 만들어질 수 있다. 감지 층(106)은 감지될 자기장의 영향으로 미세자기 구성이 변할 때 이 층의 히스테리시스를 최소화하기 위해 퍼멀로이 $NiFe(Ni_{80}Fe_{20})$ 에 가까운 조성물) 또는 $Co_{90}Fe_{10}$ 또는 $FeCoB$ 합금과 같은 연성 $FeCo$ 층과 같은 연성 자기 재료로 바람직하게 만들어진 자기 층을 더 포함한다. 이 감지 층(106)은 또한 이러한 층을 여러 개 포함하는 다 층일 수 있다. 감지 층(106)은 또한 W, Mo, Ta와 같은 비-자성 금속의 얇은 적층물(두께 0.1 내지 0.5nm 정도)을 포함할 수 있으며, 이는 임의의 비정질화 원소를 흡수하거나 그레인 성장을 끊어 감지 층의 상단 거칠기를 줄이기 위한 것이다. 디바이스가 자기 터널 접합인 경우, 이러한 적층물은 또한 MgO , TaO_x , AlO_x , TiO_x 와 같은 산화물 재료로 만들어질 수도 있으며, 이는 감지 층에 일부 계면 수직 이방성을 유도하여 감지 층의 두께를 다소 줄일 수 있도록 하기 위한 것이다. 이러한 산화 적층물의 면적(RA)에 의한 저항의 결과는 터널 자기저항 신호를 제공하는 주 장벽의 RA보다 낮은 값으로 조정되어야 한다. 이렇게 하면 이러한 산화 적층물의 도입에 의해 야기된 증가 저항으로 인해 자기저항 신호가 과도하게 희석되는 것을 피할 수 있다.
- [0079] 이미 설명된 바와 같이, 이 감지 층의 층 두께는 종횡비(두께를 측면 치수로 나눈 값, 여기서는 원형 감지 층의 직경)가 0.2 내지 2 인 것이 유리하여, 미세자기 평형 구성이, 코어 직경이 교환 길이보다 상당히 큰 와류 상태, 바람직하게는 교환 길이의 적어도 2배의 와류 상태(즉, 퍼멀로이 또는 $Co_{90}Fe_{10}$ 과 같은 재료의 경우 적어도 10nm)가 되도록 선택된다. 감지 층에 대한 치수 예로는 직경이 50 내지 200 nm의 범위에 있는 경우, 예를 들어 60 nm인 경우, 0 자기장(zero field)에서 와류 형성을 안정화하기 위한 60 nm 정도의 두께가 있다.
- [0080] 미세자기 시뮬레이션은 와류 코어 직경이 적어도 교환 길이의 두 배인 와류 구성 조건을 만족하는 두께 범위를 계산하는데 사용될 수 있다.
- [0081] 기준 층(104)에 관하여, 그 자화는 자기 층 스택에 수직인 방향으로 고정된다. 기준 층(104)의 이 수직 구성은, 측정된 자기저항 변화가 와류 감지 층(106)의 수직 자화 M_z 의 변화에 의존하기 때문에 필요하다. 스택이 MgO 기반 자기 터널 접합인 경우, 이 기준 층(104)은 바람직하게는 MgO 장벽(105)와 접촉하는 $FeCoB$ 합금으로 만들어진다. 이 기준 층(104)의 자화는 $FeCoB/MgO$ 계면에 존재하는 계면 이방성에 의해 그리고(Co/Pt) 다층과 같은 평면외 자화된 다층과의 교환식 결합(exchange-like coupling)에 의해 평면외에서 고정되어 유지된다. Co/X 와 같은 다른 다층은 X가 Pd, Ni 또는 Ir인 경우, 통상의 기술자에게 큰 PMA(수직 자기 이방성) 값을 제공하는 것으로 잘 알려져 있다. $CoPt$, $CoPd$ 또는 $FePt$ 또는 $FePd$ 의 주문 합금(ordered alloys)과 같은 합금 또는 $TbCo$, $TbFe$ 와 같은 일부 희토류 전이 합금도 강력한 PMA를 제공할 수 있다. 이 PMA 다층 또는 합금 자체는

두 개의 반강자성 결합 다층, 그 예로 (Co/Pt) 다층으로 구성된 합성 반강자성 SAF 층(102)의 일부일 수 있으며, 합성 반강자성 SAF 층은 일반적으로 Ru 또는 Ir의 비-자성 스페이서로 분리되며, 이 스페이서의 두께는 두 개의 인접한 다층(일반적으로 Ru 스페이서의 경우 0.8nm) 사이에 강력한 반강자성 결합을 제공하도록 조정된다. 이러한 타입의 배치는 통상의 기술자에게 잘 알려져 있다. 또한 이러한 SAF 구조는 SAF 및 기준 층이 감지 층에 가하는 순 누설 자기장을 더욱 줄이기 위해 두 개 초과와 반강자성 결합된 다층을 포함할 수 있다는 것도 잘 알려져 있다. 이러한 PMA 다층은 fcc 구조를 갖는 반면, FeCoB는 어닐링 후 bcc이기 때문에, 예를 들어 Ta, Mo 또는 W로 만들어진 얇은 구조적 전이 층(103)은 FeCoB 층과 PMA 다층 사이에 다시 도입되어야 한다. 이 층(103)은 또한 어닐링 시 FeCoB 합금에서 비정질 원소를 흡수하도록 의도된다. 다시 말해, 텍스처 파괴 층(103)은 장벽(105)과 접촉하는 FeCoB의 기준 층(104)과 나머지 SAF (102) 사이에 도입되어, 최종 디바이스에서 체심 입방 구조(4중 대칭을 갖는 bcc)여야 하는 FeCoB 층과, 일반적으로 (111 텍스처)와 3중 대칭을 갖는 fcc 구조를 가진 나머지 SAF 사이의 구조적 전이를 보장한다.

[0082] 게다가, SAF 층(102)은 (111) 텍스처를 촉진하기 위해 시드 층(101)에서 성장된다. 시드 층(101)은 Ta/Pt 형태의 다층일 수 있다. 시드 층(101)에 사용된 재료는 캡핑 층(107)에도 사용 가능하다.

[0083] 도 6은 도 5에 표현된 센서의 자기 스택 평면에 수직으로 인가되는 외부 자기장의 함수로서 센서의 전기 저항의 종속성을 보여주는 실험 결과를 도시한다. 도 6은 평면내 자기장 감지(40 mT 또는 80 mT)를 위해 개발된 종래 기술의 와류 센서에 대해 이미 보고된 것보다 매우 더 큰 최대 200mT 이상의 선형 범위를 얻을 수 있음을 보여준다.

[0084] 도 7a는 도 5에서 정성적으로 설명된 평면의 자기장 하에서 감지 층 자화의 전개에 대한 단면도를 도시한다. 도 7a에 표현된 미세자기 구성은 미세자기 시뮬레이션 MuMax3 소프트웨어를 사용하여 미세자기 시뮬레이션을 통해 얻었다. 시뮬레이션은 다음 감지 층 파라미터를 사용하여 60nm 두께 및 60nm 직경의 원통에서 수행되었다.

[0085] - 포화 자화: $M_{\text{sat}} = 800 \times 10^3 \text{ A/m}$,

[0086] - 교환 강성(exchange stiffness): $A_{\text{ex}} = 13 \times 10^{-12} \text{ J/m}^2$.

[0087] 도 7b는 반전 과정 동안 상층 자화의 2차원 x-y 뷰를 나타낸다. 시뮬레이션의 메시는 1nm의 셀 크기를 가진다. H=0T에서, 여기에서 와류 코어는 아래 방향으로 자화된 코어로 안정화된다. 필드를 증가시키면 (0.125T 및 0.25T에서 스냅샷 참조), 음으로 자화된 코어가 점진적으로 수축하고, 부수적으로, 평면내 컬(curl) 자화된 셀은 점점 더 평면의 인가된 자기장 방향을 향해 편향된다. 마지막으로, 와류는 소멸되고, H=0.5T 위 또는 H=-0.5T 아래에서 단일 도메인이 관찰된다.

[0088] 원통형 감지 층의 직경을 따라 최상층 표층(1nm 셀)에 대한 수직 방향 Mz를 따라 자화 값의 전개가 도 7c에 표현된다.

[0089] 도 8의 미세자기 시뮬레이션에서 보인 바와 같이, 감지 층 직경을 변화시켜 특성 핵생성 및 소멸 자기장이 제어될 수 있으며, 이는, 도 5에서와 같이 동일한 재료 파라미터를 사용하여, 감지 층의 서로 다른 직경 D(각각 D는 40 nm, 60 nm, 80 nm 및 100 nm와 같음)에 대해 인가된 평면의 자기장 Hz의 함수로서 자화 Mz의 전개를 보여준다. 도 8은, 직경이 40nm인 요소의 경우, 형상 이방성(감지 층의 두께가 감지 층의 직경보다 큼)이 자기 요소의 가장 긴 치수(여기서는 두께)를 따라 단일 도메인 상태를 선호하기 때문에, 두 개의 단일 도메인 상태 사이에서 반전이 갑작스럽다는 것을 보여준다. 그러나, 직경이 60nm 이상인 경우 와류 형성이 관찰되고, 와류가 외부 자기장 하에서 안정을 유지하는 선형 영역이 감지 요소 직경과 함께 확장된다. 앞서 언급한 바를 고려하면, 본 발명에 따른 센서의 감지 층의 직경(즉, 특성 길이)은 따라서 감지 층의 두께보다 크거나 같다. 감지 층의 직경을 늘리면, 응답의 선형 부분의 범위를 증가시키는 반면 응답의 선형 부분의 기울기는 줄일 수 있음을 알 수 있다. 이러한 직경 의존성으로 인해 센서의 직경을 늘리는 것만으로 선형 범위가 큰 센서 디바이스를 만들 수 있다. 게다가, 도 8에서 Mz 대 Hz의 응답에 히스테리시스가 존재함을 더 알 수 있으며, 상기 히스테리시스는 일정한 자화 차이로 분리된 두 개의 평행한 선형 응답으로 나타난다. 유리하게도, 본 발명에 따른 센서는 이들 두 개의 평행한 선형 응답 중 하나 또는 다른 하나에서 사용될 것이다. 본 발명에 따른 단일 센서에 대해 한 선형 부분에서 다른 부분으로 전환하는 것을 피하는 방법을 본 명세서에서 나중에 살펴본다.

[0090] 도 8에 보고된 시뮬레이션은 서로 다른 직경을 갖는 서로 다른 나노패턴 센서의 전기적 결과를 보여주는 도 9에 표시된 실험 결과에 의해 확인된다. 도 9는 인가된 자기장의 성분 Hz의 함수로서 센서의 전기 저항을 보여준다. 서로 다른 곡선은 더 작은 저항(더 큰 직경에 해당)을 갖는 디바이스의 시뮬레이션에서 예측된 더 큰 선

형 범위를 확인한다. D.C. 마그네트론 스퍼터링으로 실온에서 증착된 센서의 다층 스택 조성물은 도 5에 나타난 것과 같다:

- [0091] Ta3/Pt30/4x[Co0.5/Pt0.25]/Co0.5/Ru0.9/3x[Co0.5/Pt0.25]/Co0.5/Ta0.2/FeCoB1.1/Mg01.25/FeCoB1.4/Ta0.2/NiFe58/Ta1/Pt3.
- [0092] 샘플은 이후 300 °C에서 10분 동안 어닐링되었다. 도 9에서 회색 점으로 표현된 소멸 자기장은 가장 큰 저항 접합부에서 가장 작은 저항 접합부로 점차 53 mT에서 178 mT로 증가하는데, 이는 더 작은 직경에서 더 큰 직경으로 증가한다는 것을 의미한다.
- [0093] 특성 핵생성 및 소멸 자기장은 감지 층의 포화 자화 M_s 를 변화시킴으로써 제어될 수도 있다. 도 10은 $A_{ex}=13 \times 10^{-12} \text{ J/m}^2$ 및 $\alpha=0.01$ 인 60 nm 두께, 60 nm 직경의 원통 반전의 미세자기 시뮬레이션을 서로 다른 포화 자화 M_s 값에 대해 보여준다. 감지 재료의 포화 자화를 수정함으로써 와류 안정 영역에 해당하는 선형 범위도 조정될 수 있는 것으로 관찰되었다. 감지 층의 포화 자화 M_s 를 증가시키면 (선형 부분의 기울기를 감소시킴으로써) 응답의 선형 부분 범위를 증가시킬 수 있다.
- [0094] 도 11에서 관찰된 바와 같이, 두 개의 센서 디바이스(도 5에서 제안된 실시예와 유사한 전기적 직경(52nm 및 58nm 각각)을 가진 센서의 경우)를 비교할 때, M_s 가 증가함에 따라 선형 범위가 증가하는 것은 실험적으로 확인되었으며, 두 개의 센서 디바이스 중 하나는 감지 층 재료로 NiFe 재료($M_s=0.756 \text{ MA/m}$)를 사용하고 다른 하나는 감지 층 재료로 Co 재료($M_s=1.44 \text{ MA/m}$)를 사용하였다. 코발트로 만든 감지 층의 경우, 와류 상태를 소멸시킴 없이, 최대 200mT 이상의 매우 큰 자기장을 얻을 수 있다.
- [0095] 본 발명에 따른 와류 센서의 또 다른 장점은 종래 기술의 와류 센서와 비교했을 때 히스테리시스가 감소한다는 것이다. 실제로, 평면내 자기장에 민감한 종래 기술의 와류 센서에서, 와류 감지 층과 터널 장벽 사이의 계면에서 무작위로 분포된 결함이 존재하면, 와류 코어가 이러한 결함과 연관된 에너지 웰에 무작위로 트래핑될 시에 와류 코어 변위 경로가 변경된다. 이러한 효과는 종래 기술의 와류 센서에서 특히 두드러지는데, 이는 와류 코어가 매우 좁아서(교환 길이~5nm), 와류 코어가 이러한 작은 결함에 쉽게 트래핑되기 때문이다. 자기 터널 접합에서, 이들 결함은 MgO/FeCoB 계면에 걸친 공간적 변화, 산소 농도 또는 붕소 농도의 공간적 변화, 또는 Ta, Mn, W 또는 Mo와 같은 스택에 존재하는 제3 원소의 MgO 계면을 향한 확산으로 인해 발생할 수 있다. 이들 결함은 이방성 에너지의 국소적 변화를 유도할 수 있으며, 이는 와류 코어에 대한 트래핑 센터 역할을 할 수 있다. 도 12a는 결함(30)을 포함하는 종래 기술의 감지 층의 평면도를 보여준다. 와류 코어(31)가 제1 변위 방향(32)으로 이동할 때, 와류 코어는 변위 경로에서 마주친 결함(30)에 트래핑된다(그 후 탈-트래핑된다). 유사하게 제2 변위 방향(33)으로 이동하는 와류 코어(31)는 변위 경로에서 마주친 결함(30)에 트래핑된다(그리고 탈-트래핑된다). 핵생성 시 위치에 의존하여, 와류 코어(31)는 제2 변위 방향(33)으로 이동할 때와 제1 변위 방향(32)으로 이동할 때 서로 다른 결함(30)에 트래핑되고 탈-트래핑될 수 있다. 서로 다른 결함으로의 이러한 트래핑/탈-트래핑으로 인해, 와류 코어(31)는 제1 및 제2 변위 방향으로 서로 다른 경로를 따를 수 있다. 이러한 종래 기술 센서에서, 와류 코어는 제1 및 제2 변위 방향으로 서로 다른 경로를 따라가기 때문에, 자화의 서로 다른 자화 분포가 발생하고, 따라서 외부 인가 평면내 자기장 H의 각 값에서 자기 센서의 서로 다른 저항이 발생한다.
- [0096] 이러한 트래핑의 결과로, 전달 곡선(M_x 대 H_x)은 따르는 경로에 따라 다를 수 있으며, 이는 S.Dounia, C.Baraduc, 및 B. Dieny, 2020, EP. Patent No.19315026.5에서 보여준 바와 같이 외부 자기장의 각 값에서 센서의 서로 다른 저항으로 이어질 수 있다.
- [0097] 이와 대조적으로, 본 발명에 따른 센서는 이러한 결함의 존재와 그 트래핑에 매우 덜 민감하다. 실제로, 와류 코어는 본 발명의 센서에서 측면으로 움직이지 않는다: 와류 코어는 단지 디바이스의 외부 부분에 있는 컬링된 자화가 감지될 평면의 자기장의 영향으로 평면외로 가역적으로 당겨지거나 평면내 방향으로 돌아오는 동안만 확장되거나 수축된다. 그러므로, 자기장 하의 와류 변형은 도 12b에 개략적으로 도시된 바와 같이 본 발명의 센서에서 종래 기술의 와류 센서보다 매우 더 가역적이다. 이는 본 발명의 센서에서 잡음이 상당히 감소된다.
- [0098] 본 발명의 센서의 실시예에서, 기준 층 및 연관된 SAF 층은 보상될 수 있으며, 이는 이들이 자기장을 전혀 가지 않거나 단지 매우 작은 자기장(즉, 와류 코어 극성을 반전시키는데 필요한 자기장에 대해 무시할 수 있는 자기장)을 가한다는 것을 의미한다. 이러한 경우, 본 발명의 센서의 가능한 단점은 소멸 자기장보다 큰 자기장이 와류 코어 극성과는 반대 방향으로 인가될 때 와류 코어 극성이 변하는 것일 수 있다. 이러한 와류 극성의 변화는 이미 도 8에서 관찰되고 도 13a에 도시된 바와 같이 원치 않은 히스테리시스를 생성할 수 있다. 이러

한 히스테리시스는 센서가 항상 동일한 자기장 극성(흑색으로 표시된 마이너 루프(minor loops)) 하에서 동작되는 경우 결코 나타나지 않는다. 그러나, 와류 코어 극성이 변화되는 경우, 0 자기장(ΔR)에서 두 상태(A, B) 사이의 저항에 특정 차이가 나타날 수 있다. 저항(ΔR)의 이러한 차이는 전체 사이클(0.04T 내지 -0.04T)을 거치면 잘 관찰된다. 소멸 자기장보다 큰 양의 자기장($H > H_a$)에서 시작하여 자기장을 0으로 감소시키는 경우, 와류 코어는 양의 극성을 보인다(A, 와류 코어 위). 이와 달리, 소멸 자기장보다 절대값이 큰 음의장에서 시작하여 자기장을 0으로 감소시키면(회색 선 도 13a 참조), 와류 극성은 반전된다(B, 와류 코어 아래). 이로 인해 인가된 장이 0일 시에 저항(ΔR)에서 관찰된 차이가 발생한다.

- [0099] 이 문제는 센서가 노출되는 자기장 범위를 제한함으로써 피할 수 있다. 자기장 값은 와류 소멸 자기장 아래에 유지되어야 한다. 그러나, 센서가 우연히 지나치게 큰 자기장에 노출되면 이 경우에도 와류 코어 극성이 우발적으로 전환될 위험이 여전히 있다.
- [0100] 이러한 와류 코어 극성의 우발적 전환 문제를 더 잘 피하기 위해, 기준 층이 연관된 PMA 다층 또는 SAF 층에 결합되고, 상기 기준 층과 상기 PMA 다층(또는 각각 상기 기준 층과 상기 SAF 층)이 보상되지 않는 제2 실시예가 제안된다. 그 결과, 이들은 감지 층 자화에 평면의 누설 자기장을 생성한다. 이 평면의 누설 자기장으로 인해, 와류는 포화 자기장 방향(양 또는 음)에 관계없이 항상 동일한 극성으로 다시 핵생성을 수행한다. 이는 도 13b에 도시된 최적의 응답을 제공한다. 주목할 점은, 이 누설 자기장이 반대 자기장에 대한 소멸 자기장의 약한 비대칭성으로만 변환된다는 점인데, 이는 감지 층의 큰 볼륨으로 설명될 수 있다.
- [0101] 보상되지 않은 기준 층과 PMA 다층을 갖는 이러한 센서(200)는 도 14a에 개략적으로, 그리고 도 14b에는 더 상세하게 도시된다.
- [0102] 상기 센서(200)는 다음을 연속적으로 포함하는 자기 스택이다:
- [0103] - 시드 층(201);
 - [0104] - 수직 자기 이방성 PMA 재료를 갖는 다층(202);
 - [0105] - 텍스처 파괴 층(203);
 - [0106] - 기준 층(204);
 - [0107] - 센서가 자기 터널 접합일 시에 터널 장벽 또는 센서가 금속 스핀 밸브일 시에 비-자성 금속 스페이서일 수 있는 스페이서(205);
 - [0108] - 인가된 자기장이 없을 때 자발적으로 자기 와류 구성을 갖는 감지 층(206);
 - [0109] - 캡핑층(207).
- [0110] PMA 다층(202)를 제외한 다른 층(201, 203, 204, 205, 206 및 207)은 도 3과 5의 센서에 도시된 층과 동일할 수 있다.
- [0111] 상기에서 언급된 바와 같이, 이 경우, 기준 층은 도 3 및 도 5에서와 같이 SAF 층에 결합될 필요가 없다. 오히려, 기준 층(204)은 단일 고 PMA 재료(202)에 결합된다. 이러한 고 PMA 재료는 Co/Pt 또는 Co/X 반복으로 만들어질 수 있으며, 여기서 X는 큰 PMA 값을 제공하는 것으로 알려진 Pd, Ni 또는 Ir을 나타낸다. CoPt, CoPd 또는 FePt 또는 FePd의 주문형 합금과 같은 합금 또는 TbCo, TbFe와 같은 일부 희토류 전이 합금도 강력한 PMA를 제공할 수 있다. (Co/Pt) 다층에서 반복 횟수 또는 합금의 두께는 충분한 누설 자기장을 제공하도록 조정될 수 있으므로 와류는 항상 동일한 극성으로 핵생성되지만, 센서에 양 또는 음의 필드가 적용될 때 응답이 대칭을 유지하도록 너무 높지 않다. (Pt/Co) 다층의 경우, PMA 다층에서 1 내지 6의 반복 횟수 n 이 사용되는 것이 유리할 수 있다.
- [0112] 와류 코어 극성을 안정화하는 것을 목표로 하는 또 다른 가능한 실시예는 감지 층을 반강자성 층에 결합하여 와류 코어에 평면의 교환 바이어스를 제공하는 것으로 구성된다. 이러한 센서(300)는 도 15a에 개략적으로 도시되며, 도 15b에 더 상세하게 도시된다.
- [0113] 상기 센서(300)는 다음을 연속적으로 포함하는 자기 스택이다:
- [0114] - 시드 층(301);
 - [0115] - SAF 층(302);

- [0116] - 텍스처 파괴 층(303);
- [0117] - 기준 층(304);
- [0118] - 센서가 자기 터널 접합일 시에 터널 장벽 또는 센서가 금속 스핀 밸브일 시에 비-자성 금속 스페이서일 수 있는 스페이서(205);
- [0119] - 인가된 자기장이 없을 때 자발적으로 자기 와류 구성을 갖는 감지 층(306);
- [0120] - 교환 바이어싱 층(308);
- [0121] - 캡핑층(307).
- [0122] 추가된 교환 바이어싱 층(308)을 제외하고, 다른 층(301, 302, 303, 304, 305, 306 및 307)은 도 3 및 5의 센서에 도시된 각각의 층(101, 102, 103, 104, 105, 106 및 107)과 동일할 수 있다.
- [0123] 교환 바이어싱 층(308)은 와류 감지 층(306) 위에 있고 와류 감지 층과 접촉한다. 터널 장벽과 반대쪽의 감지 층 계면에 있는 이리듐 망간(IrMn) 또는 백금 망간(PtMn) 합금과 같은 반강자성 재료(AF)로 만들어진 상기 교환 바이어싱 층(308)은 이 목적을 위해 사용될 수 있다. 두 층 사이의 교환 결합으로 인해 야기된 강자성 감지 층(306)과 AF 층(308) 사이의 계면에서 단방향 자기 이방성이 발생한다. 교환 바이어스를 제공하기 위해, 스택은 반강자성 층 차단 온도 위에서 어닐링되어야 하고 층 평면에 수직인 자기장 방향의 자기장에서 냉각되어야 한다. 통상의 기술자가 잘 알고 있는 바와 같이, 교환 바이어스의 강도는 감지 층(306)과 반강자성 층(308) 사이의 계면에 Cu, W, Mo 또는 Ta와 같은 비-자성 원소의 얇은 층(표시되지 않음)을 삽입하여 조절될 수 있다. 도 15의 센서의 주요 장점은, 단일 와류 극성 안정화가 접합 치수에 따른 가변성으로 인해 실제로 제어하기 어려울 수 있는 기준 층의 누설 자기장에서 비롯되지 않고, 감지 층과 접촉하여 성장된 반강자성 층과의 교환에서만 비롯된다는 것이다. 이러한 AF 층의 사용은 스핀트로닉스 센서에서 매우 흔한데, 기존 센서의 기준 층이 일반적으로 층 평면에서, 이러한 AF 구조와의 교환 바이어싱에 의해 고정되기 때문이다.
- [0124] 도 16은 감지 디바이스(D)의 실시예를 나타낸다. D는 4개의 자기저항 센서(R1, R2, R3 및 R4)를 갖는 휘트스톤(Wheatstone) 브리지 배열을 포함하며, 각 센서는 본 발명에 따른 센서이다.
- [0125] 휘트스톤 브리지 구성의 감지 디바이스(D)는 본 발명의 4개의 기본 센서(R1, R2, R3 및 R4)를 포함하며, R1 및 R4는 감지 층에서 기준 층과 와류 코어 자화가 제1 평면의 방향으로 배향되는 반면, R2 및 R3는 감지 층에서 기준 층과 와류 코어 자화가 반대 평면의 방향으로 배향되어 있도록 구성된다.
- [0126] 센서(R1 및 R4) 각각은 센서(R2 및 R3)에 비해 역응답을 가진다. 다시 말해, R1 및 R4(반대 분기에 위치한 센서)는 동일한 응답을 갖고 감지 층에서 기준 층과 와류 코어 자화가 제1 평면의 방향으로 배향되는 반면, R2 및 R3도 동일한 응답을 갖고 감지 층에서 기준 층과 와류 코어 자화가 반대 평면의 방향으로 배향된다.
- [0127] 감지 전류는 접점(C1과 C2) 사이에 공급되고, I_{in} 은 브리지로 들어오는 전류를 나타내고 I_{out} 은 나가는 전류를 나타낸다. 이러한 휘트스톤 브리지 구성(D)에서, 기본 센서는, 감지될 인가 자기장 하에서 반대쪽 분기(여기서는 R1과 R4)에 위치한 2 개의 기본 센서의 저항이 증가하는 반면(각각 감소), 다른 2 개의 센서(이 예에서는 R2와 R3)의 저항이 감소(각각 증가)하도록 구성된다. 유리하게도, 이를 통해 두 접점(C3과 C4) 사이의 전위차 Voutput을 측정할 수 있으며, 전위차는 감지될 외부 평면의 자기장과 직접 관련이 있다.
- [0128] 도 16의 실시예에 따르면, 동일한 층 스택(즉, 동일한 기술, 동일한 기하학적 구조 및 재료로 동일한 웨이퍼에 구현됨)을 갖는 4개의 센서(R1, R2, R3, R4)로 시작할 수 있다. 센서(R1 및 R4) 그룹과 센서(R2 및 R3) 그룹의 반대 응답을 얻기 위해 이들 기본 센서를 구성하려면, 줄 열(Joule heating)의 영향과 외부 자기장의 적용을 결합하여 사용하는 것이 가능하다. 바람직하게는, 자기 터널 접합은 저항 면적 곱(RA)이 비교적 높은, 일반적으로 $100 \Omega \cdot m^2$ 이상으로 선택된다. 이를 통해 센서의 전력 소비를 줄이고 터널 자기저항 진폭을 증가시킬 수 있다. 또한, 기준 층은 보상되지 않은 기준 층을 갖도록 선택되어 기준 층으로부터의 누설 자기장이 충분히 커져 와류 코어 자화가 항상 기준 층 자화와 평행하게 유지된다. 그 후, 휘트스톤 브리지 구성을 초기화하기 위해, 먼저 모든 층의 자화를 제1 평면의 방향(예를 들어, 위쪽)으로 완전히 포화시킬 만큼 충분히 큰 평면의 자기장이 인가된다. 그 후, 접점(C1과 C3) 사이와 접점(C4와 C2) 사이에 전류가 전송되어 센서(R1과 R4)에서 줄 열이 생성된다. 접합부의 온도를 일반적으로 $80^\circ C$ 내지 $200^\circ C$ 까지 증가시키는 이 줄 열은 이들 두 센서(R1과 R4)에서 기준 층과 와류 코어 자화의 보자력장(coercive field)을 감소시킨다. 접합부가 가열되는 동안, 초기 포화 자기장의 제1 방향과 반대 방향의 자기장이 인가되며, 자기장은 센서(R1과 R4)에서 기준 층 자

화와 와류 코어 자화를 전환할 만큼 충분히 크지만 대기(standby) 온도로 유지되는 센서(R2와 R3)의 자화를 전환하지 않을 만큼 충분히 낮은 진폭을 가진다. 이러한 중간 자기장 진폭을 찾는 것은 이러한 타입의 센서에서 온도에 따른 보자력장의 변화 덕분에 가능하다. 이 초기화 절차의 결과로, 브리지에 포함된 4개의 자기 센서는 도 16에 표시된 바와 같은 자기 구성을 이루게 될 것이다. R2 및 R3의 기준 층 자화는 여전히 위쪽 방향에 있는 반면, R1 및 R4의 기준 층 자화는 아래쪽 방향에 있으며, 모든 접합부의 감지 층의 와류 코어 자화는 각각의 기준 층 자화와 평행하다. 그 후, 감지될 자기장을 인가하면 인가된 자기장과 평행한 자화를 가진 센서의 와류 코어가 넓어지는 반면, 인가된 자기장과 반평행한 자화를 가진 센서의 와류 코어가 줄어들게 될 것이다. 전자의 접합부의 경우, 저항이 감소하는 반면 후자의 경우 저항이 증가할 것이다. 따라서 휘트스톤 브리지의 불균형은 적용된 자기장에 따라 크게 달라지며, 이로써 센서 출력 신호 Voutput이 생성될 것이다.

[0129] 대안적인 실시예에서, 센서(R1, R2, R3, R4)는 직렬 또는 병렬로 연결된 여러 개별 센서로 형성될 수 있다. 이 경우, 저항 R_i (i 는 1에서 4까지) 중 하나를 구성하는 모든 개별 센서는 위 또는 아래 방향으로 포화 자기장을 적용하기만 하면 동일하게 구성될 것이다.

[0130] 물론, 본 발명에 따른 센서는 방금 설명한 실시예에 한정되지 않으며, 도면을 참조하여 설명하였으므로 제한적인 목적이 아니다.

[0131] 위에 개시된 모든 실시예에서, 본 발명에 따른 센서는 "하단" 구성에 있으며, 이는 감지 층이 터널 장벽 위에 있고 기준 층이 터널 장벽 아래에 있음을 의미한다. 그러나, 본 발명은 물론 "하단" 구성에 한정되지 않는다; 본 발명의 센서는 대안적으로 "상단" 구성에 있을 수 있다. 이는 스택이 하단 고정 또는 상단 고정 구성으로 성장될 수 있음을 의미하고, 즉 감지 층은 터널 접합 위 또는 아래에 있을 수 있는 반면, 그에 대응되게 기준 층은 터널 장벽 아래 또는 위에 있을 수 있다. 감지 층이 센서에서 바람직하게 다소 두껍기 때문에, 터널 장벽의 성장에 큰 거칠기를 생성하지 않기 위해 터널 장벽 위에 성장시키는 것이 유리할 수 있다.

[0132] 게다가, 본 발명에 따른 센서의 상세한 실시예가 자기 터널 접합에 기반한 센서를 위해 만들어졌지만, 통상의 기술자는 상기의 설명된 실시예가 대형 자기저항에 기반한 완전 금속 자기저항 센서의 경우에도 적용될 수 있다는 것을 알고 있다. 이 경우, 터널 장벽은 Cu와 같은 비-자성 금속 스페이서로 대체될 것이다. 재료 관점에서, 이러한 금속 스택은 모든 관련 재료가 fcc 구조를 가질 수 있으므로, 스택의 일부가 fcc이고 다른 부분은 bcc인 자기 터널 접합보다 고려해야 할 재료 문제가 적기 때문에, 더 쉽다.

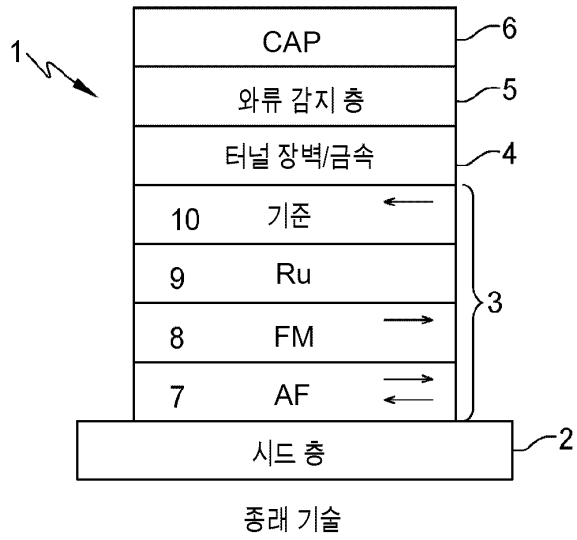
[0133] 게다가, 본 발명의 센서가 원형 단면을 갖는 원통형 형상을 가지므로 감지 층 치수가 직경과 두께로 특징지어지는 것으로 가정하여 상세한 실시예가 개시되었다. 그러나, 본 발명은 감지 층의 와류 구성을 안정화할 수 있는 임의의 타입의 형상에 적용될 것이다. 이는 특히 다른 것들 중에서, 정사각형, 모서리가 둥근 정사각형, 약간 직사각형 형상(긴 변이 짧은 변의 두 배를 넘지 않음), 가능하다면 모서리가 둥근 직사각형 형상, 적당한 타원율(장축과 단축 간의 비율이 2를 넘지 않음)을 갖는 타원형 형상 또는 와류 상태를 안정화할 수 있는 임의의 다른 형상이다. 이러한 모든 형상에 대해, 감지 층 종횡비는 두께와 가장 짧은 평면내 치수의 비율로 정의된다. 감지 층이 디스크 형상인 경우, 이 특성 치수는 직경이다. 감지 층이 정사각형이거나 정사각형에 가까운 경우, 이는 정사각형 변의 길이이다. 감지 층이 직사각형인 경우, 이는 직사각형의 짧은 변이다. 감지 층이 타원인 경우, 이는 단축이다.

[0134] 이러한 디바이스는 종래 기술 TMR 센서와 매우 유사한 제조 공정을 사용하여 제작될 수 있다. 이 공정에는 모든 층을 물리적 기상 증착으로 증착하고, 반응성 또는 이온 빔 에칭으로 감지 층을 에칭하고, 이온 빔 에칭으로 다른 층을 에칭하는 단계가 포함된다. 이 공정에서, 자기 재료의 이온 빔 에칭이 특히 높은 종횡비의 필터가 에칭되는 현재의 경우에서 테이퍼형 필터로 자주 이어지는 것으로 알려져 있다. 이러한 테이퍼형 형상의 존재는 허용 가능하며 센서의 작동 원리를 방해하지 않을 것이다.

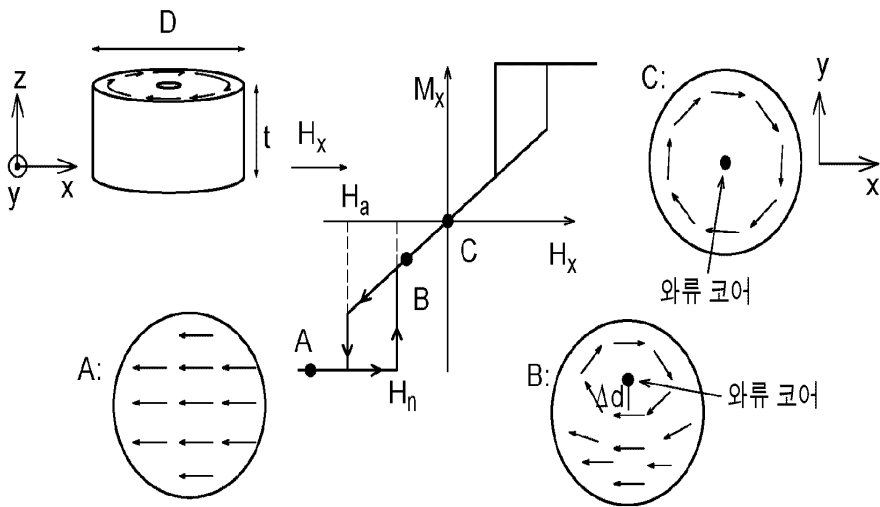
[0135] 게다가, 통상의 기술자라면 잘 알고 있는 바와 같이, 본 발명의 여러 센서는 직렬 및/또는 병렬로 연결되어 전체 센서의 신호 대 잡음비를 높일 수 있다.

도면

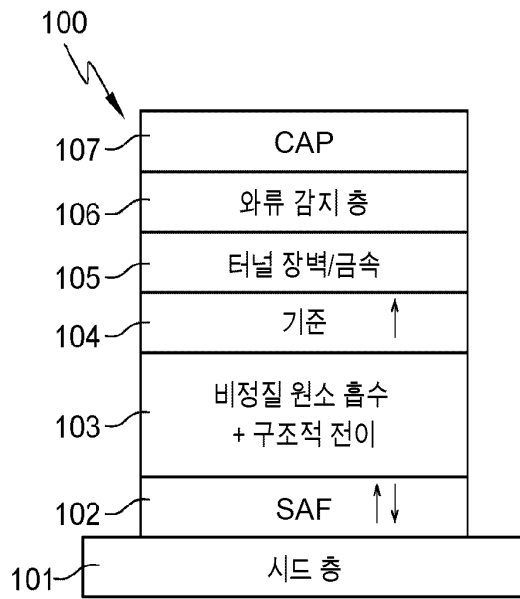
도면1



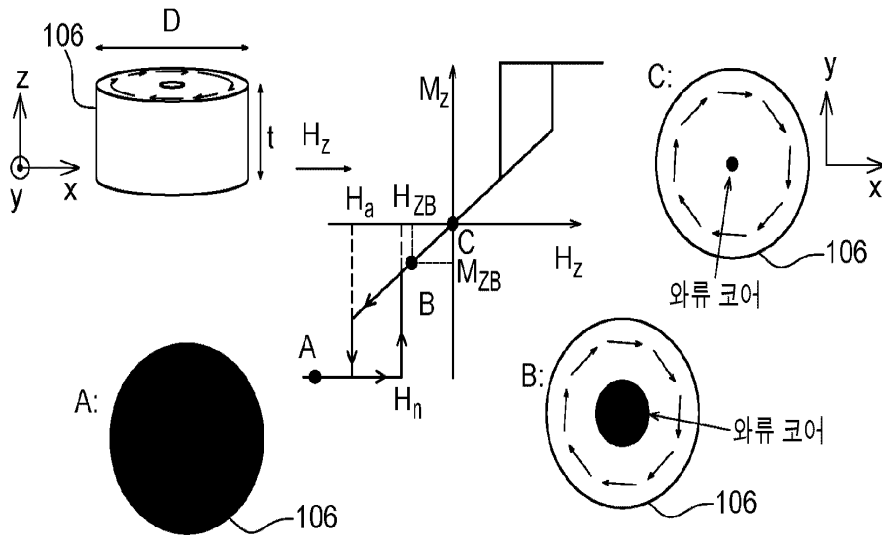
도면2



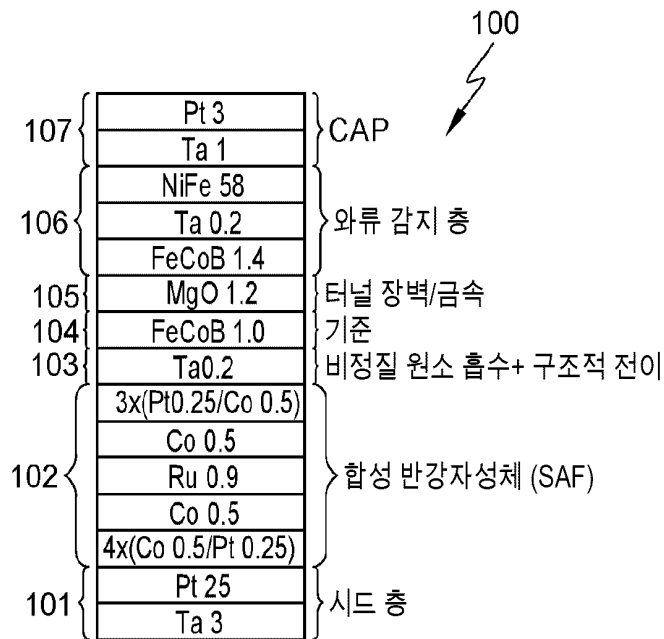
도면3



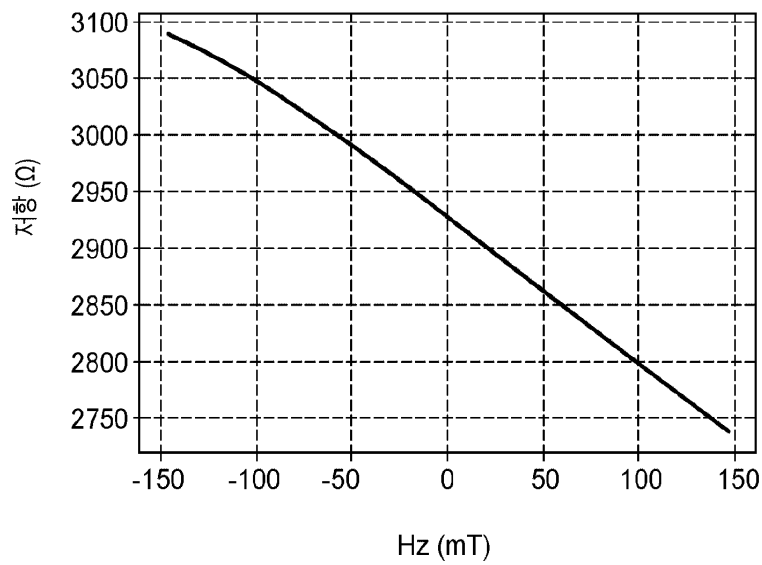
도면4



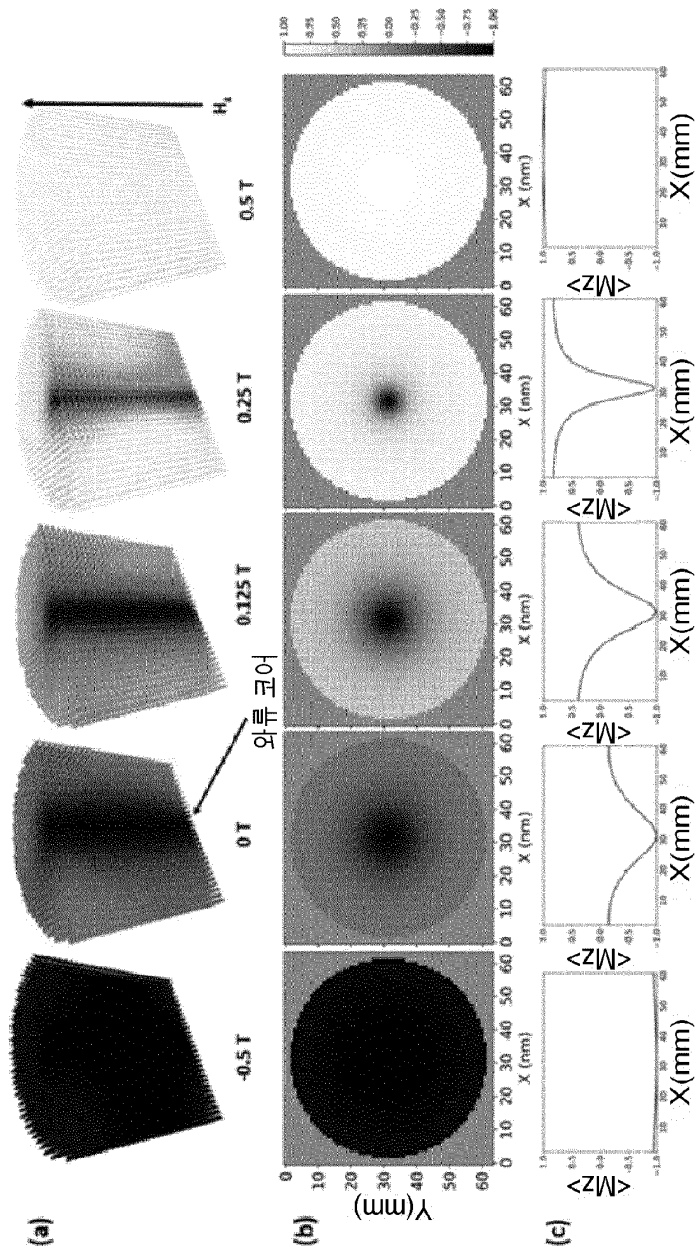
도면5



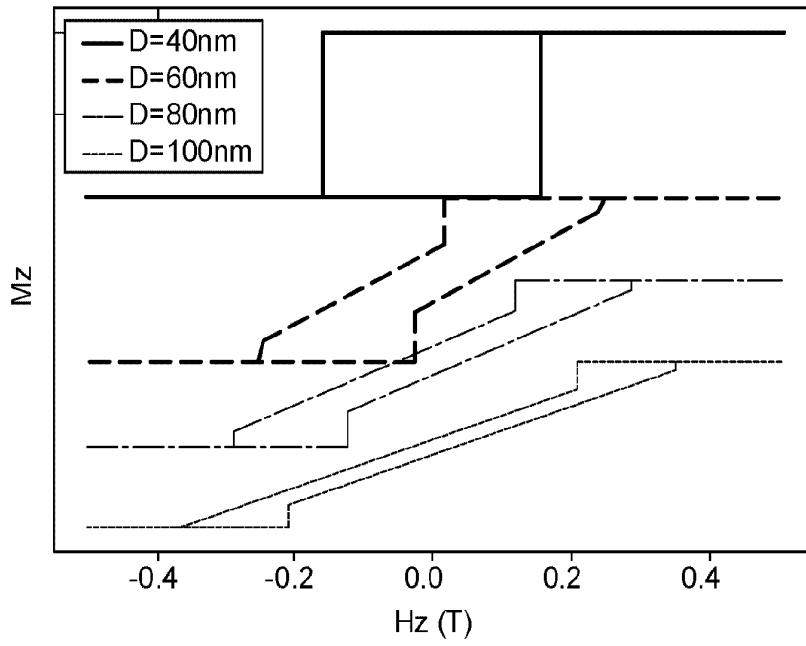
도면6



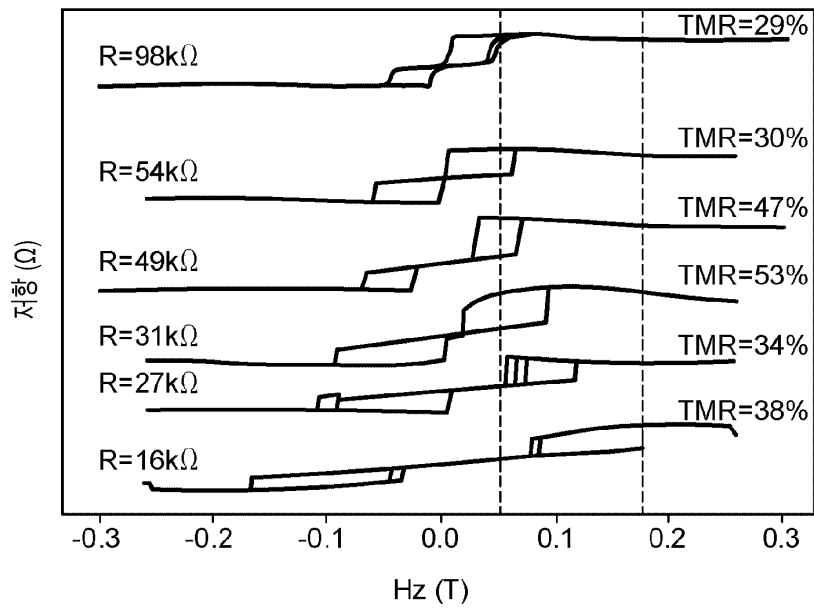
도면7



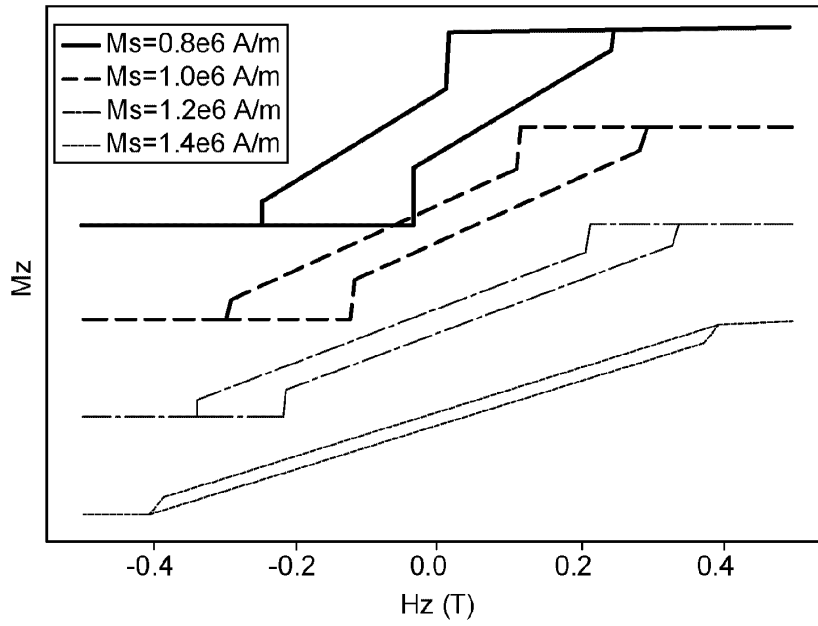
도면8



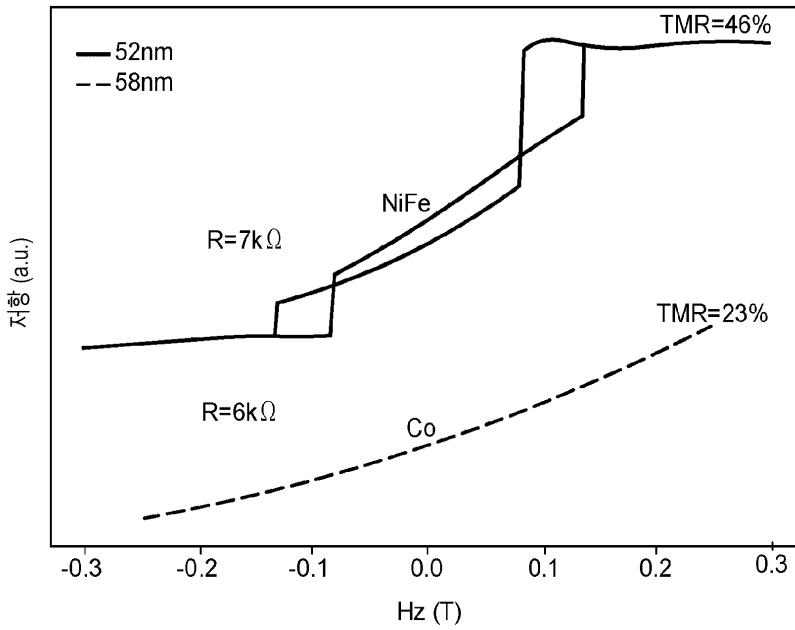
도면9



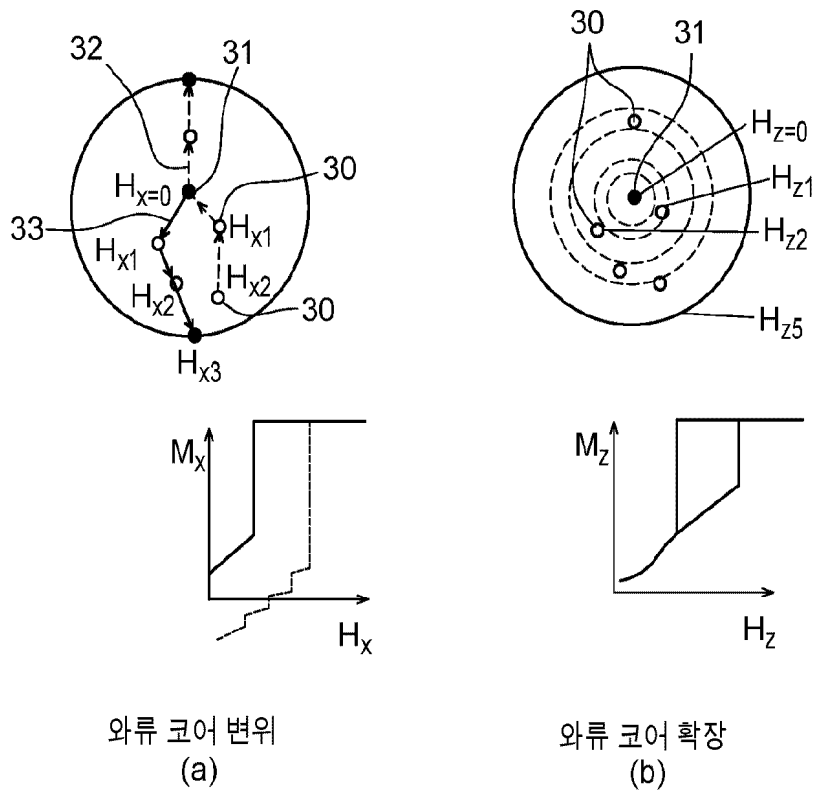
도면10



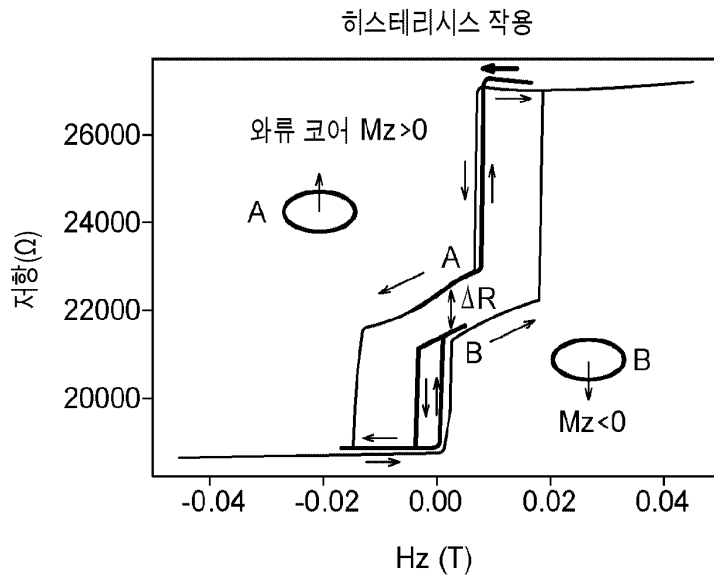
도면11



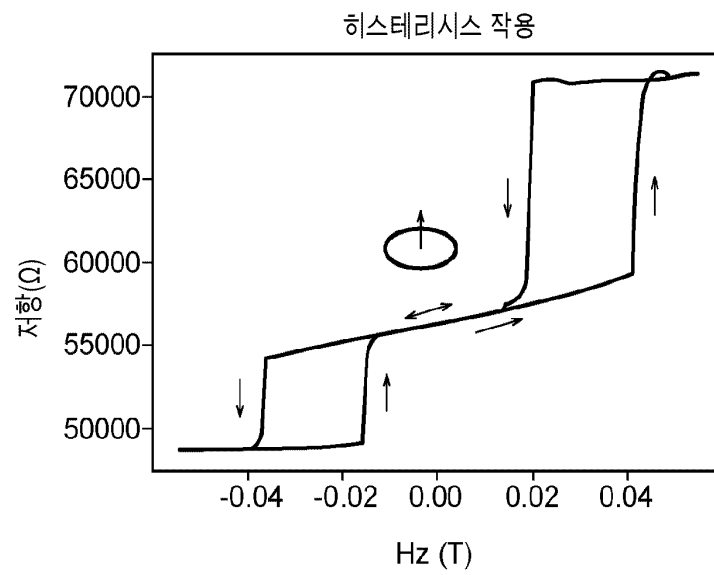
도면12



도면13

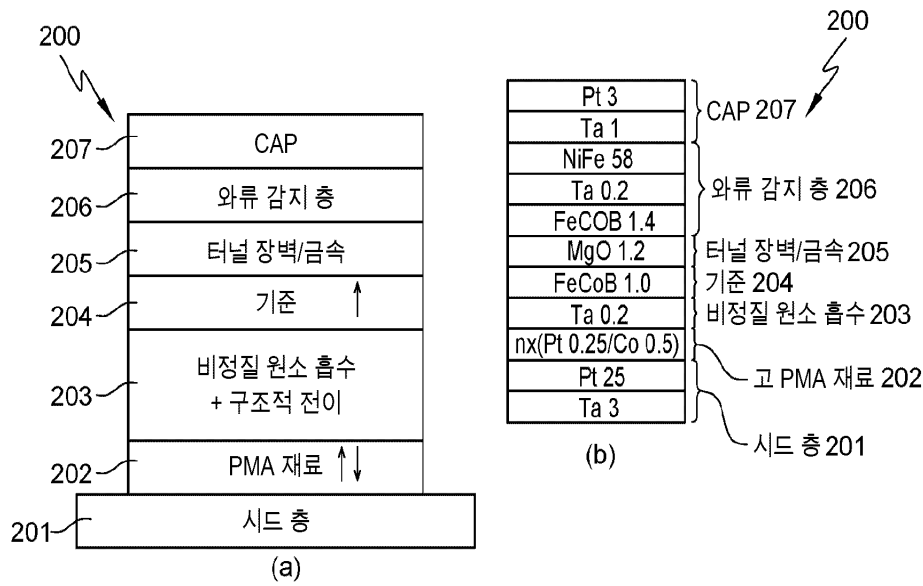


(a)

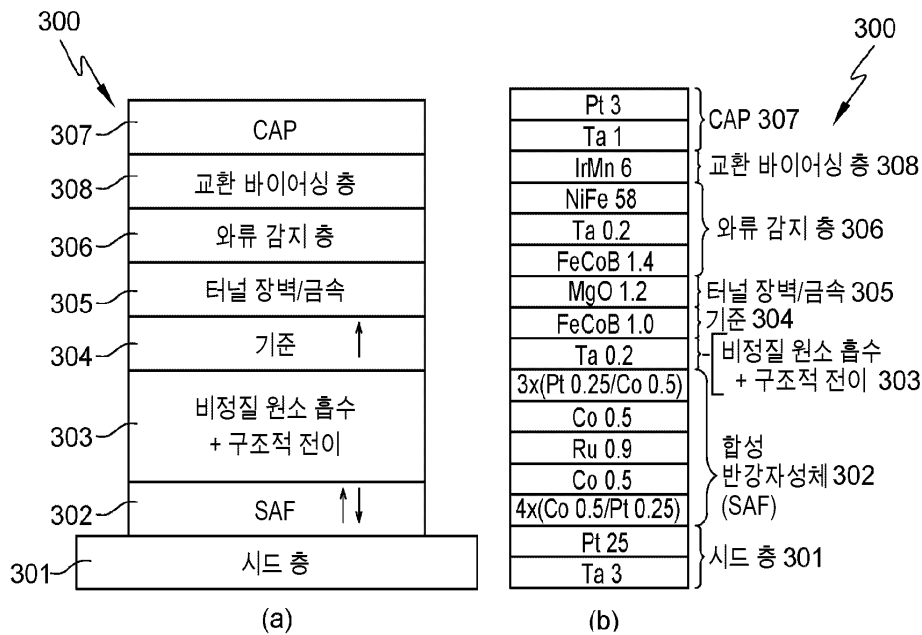


(b)

도면14



도면15



도면16

