

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0168078

(43) 공개일자 2024년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10N 52/00 (2023.01) G11C 11/16 (2006.01)

H10B 61/00 (2023.01) H10N 52/85 (2023.01)

(52) CPC특허분류

H10N 52/101 (2023.02)

G11C 11/1673 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0065645

(22) 출원일자 2023년05월22일

심사청구일자 2023년05월22일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

이상훈

서울특별시 노원구 마들로 31, 105동 705호

(74) 대리인

김등용

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 스핀-궤도 토크를 이용한 양축이방성 자성 박막 기반 자기 기억 소자

(57) 요약

평면 양축이방성 자성 박막 기반 자기 기억 소자가 개시된다. 상기 자기 기억 소자는 기판 및 상기 기판 상에 형성되는 강자성 층을 포함하고, 상기 강자성 층은 양축이방성(biaxial anisotropy)을 갖는다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G11C 11/1675 (2013.01)

H10B 61/00 (2023.02)

H10N 52/85 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711160931
과제번호	2021R1A2C1003338
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	망간 비스무스 화합물 자성결정 박막 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

기관; 및

상기 기관 상에 형성되는 강자성 층을 포함하고,

상기 강자성 층은 양축이방성(biaxial anisotropy)을 갖는,

자기 기억 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 강자성 층은 중심비대칭 구조를 갖는 강자성 물질인,

자기 기억 소자.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 강자성 층은 갈륨망간아세나이드(GaMnAsP) 또는 망간비스무스(MnBi)를 포함하는,

자기 기억 소자.

청구항 4

제1항에 있어서,

쓰기(write) 동작시, 상기 강자성 층에 제1 방향의 전류가 인가되어 제1 자화상태의 상기 강자성 층의 자화상태가 제2 자화상태로 전환되는,

자기 기억 소자.

청구항 5

제4항에 있어서,

쓰기 동작시, 상기 강자성 층에 상기 제1 방향과 반대되는 방향인 제2 방향의 전류가 인가되어 상기 제2 자화상태의 상기 강자성 층의 자화상태가 상기 제1 자화상태로 전환되는,

자기 기억 소자.

청구항 6

제1항에 있어서,

읽기(read) 동작시, 상기 강자성 층의 평면 홀 저항 값에 기초하여 상기 자기 기억 소자에 저장되어 있는 정보가 식별되는, 자기 기억 소자.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 자기 기억 소자에 관한 것으로, 특히 평면 양축 자기이방성(in-plane biaxial anisotropy)을 갖는 강자성 물질 단일층에서 전류에 의해 발생하는 스핀-궤도 필드(spin-orbit field)를 이용하여 외부 자기장 없이 전류로만 동작하는 자기 기억 소자에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 일반적으로 자기 기억 소자(Magnetic Random Access Memory, MRAM)는 비휘성 소자로서 현재 사용되고 있는 DRAM(Dynamic-RAM), SRAM(Static-RAM), 플래시 메모리(Flash memory) 등을 대체하는 기억 소자로 자리매김 하고 있으나, 복잡한 소자 구조와 더불어 소자 동작 시 많은 전류를 필요로 하는 단점을 안고 있다. 상기와 같은 자기 기억 소자(MRAM)의 단점들을 해결하기 위해 소자 구조를 단순화하고 저전류에서 빠른 동작 속도가 가능하도록 연구가 활발히 진행 중이다.
- [0003] 종래의 MRAM 소자는 정보가 기록되는 자성층과 스핀 전류를 발생시키는 중금속층(또는 다른 자화층)으로 구성되어 있다. 특히, 스핀-궤도 토크 MRAM 소자의 경우는 완전한 전환을 위해 필요한 외부 자기장을 구조 내의 유효 자기장으로 대체하기 위해 요구되는 보조층들이 필수로 포함되어 있다. 즉, 중금속층에서 발생된 스핀 전류를 자성층으로 보내어 자성층의 자화에 스핀-궤도 토크를 주며, 보조층의 유효 자기장이 동시에 작용하게 함으로써 자화를 제어하는 원리이다. 또한, 스핀-전환 토크 및 스핀-궤도 토크 MRAM 소자는 자화에 기록된 정보를 센싱하는 방식이 거대자기저항(Giant Magneto Resistance, GMR) 또는 터널링자기저항(Tunneling Magneto Resistance, TMR) 현상을 이용한 것으로 도 1에 도시된 바와 같이 적어도 두 개의 자성층이 포함된 복잡한 구조를 갖는다.
- [0004] 도 1을 참조하면, 종래의 MRAM 소자는 정보 저장 역할을 수행하는 소프트 자성층(soft magnet)과 이와 접촉되어 스핀 전류를 발생시키는 중금속층, 그리고 절연체 층에 의해 분리된 센싱 역할을 수행하는 하드 자성층을 포함하도록 구성된다.
- [0005] 여기서, 소프트 자성층의 자화 방향을 중금속(또는 하드 마그넷)층에 접속된 워드 라인에 전류를 흘림으로써 기록하고, 수직 방향의 전류를 통해 두 자성층의 자화 방향에 따른 저항 변화를 감지함으로써 기록된 자화 방향을 읽게 된다.
- [0006] 상술한 바와 같이, 종래의 스핀 MRAM 소자는 자성층에 정보를 쓰기 위한 중금속층 및 보조층과 읽기(read line) 동작을 수행하는 두 개 이상의 자성층들로 구성된 스핀밸브 구조가 포함된 다중층의 복잡한 구조를 가짐으로써 소자 공정 상의 어려움과 생산성이 떨어지는 문제가 있다.
- [0007] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 양축 자기이방성을 갖는 중심 비대칭 결정 구조의 강자성 물질 단일층을 이용하여 소자 구조를 단순화하고, 제조 공정을 단축시켜 공정 효율성을 높일 수 있는 자기 기억 소자를 제공하는 데 있다.
- [0008] 본 발명의 또 다른 목적은 강자성 물질 자체에서 발생하는 스핀 분극을 이용함으로써 스핀-궤도 필드에 의한 자화 제어에 필요한 전류의 크기를 감소시켜 소자 동작의 에너지 효율을 증가시킬 수 있는 자기 기억 소자를 제공하는 데 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제0862183호 (2008.10.09. 공고)
- (특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제2012-0063320호 (2012.06.15. 공개)
- (특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제2021-0052141호 (2021.05.10. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 평면 양축이방성 자성 박막 기반의 자기 기억 소자를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 기억 소자는 기판 및 상기 기판 상에 형성되는 강자성 층을 포함하고, 상기 강자성 층은 양축이방성(biaxial anisotropy)을 갖는 것을 특징으로 한다.

- [0012] 또한, 상기 강자성 층은 중심비대칭 구조를 갖는 강자성 물질로써, 갈륨망간아세나이드(GaMnAsP) 또는 망간비스무스(MnBi)를 포함할 수 있다.
- [0013] 또한, 쓰기(write) 동작시, 상기 강자성 층에 제1 방향의 전류가 인가되어 제1 자화상태의 상기 강자성 층의 자화상태가 제2 자화상태로 전환된다.
- [0014] 또한, 쓰기 동작시, 상기 강자성 층에 상기 제1 방향과 반대되는 방향인 제2 방향의 전류가 인가되어 상기 제2 자화상태의 상기 강자성 층의 자화상태가 상기 제1 자화상태로 전환된다.
- [0015] 또한, 읽기(read) 동작시, 상기 강자성 층의 평면 홀 저항 값에 기초하여 상기 자기 기억 소자에 저장되어 있는 정보가 식별된다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명에 따른 양측이방성을 갖는 중심비대칭 결정 구조의 강자성 물질의 특정 결정 방향으로 형성된 자기기억 소자는 [110] 또는 $[1\bar{1}0]$ 결정 방향에 따른 스핀-궤도 필드의 자화 용이축 성분이 반대로 바뀌어 전류 펄스만으로 셀 안에 정보를 저장할 수 있으므로 기억 소자의 동작 효율을 증가시킬 수 있다.
- [0017] 또한, 중금속/강자성 접합 다층을 기본으로 포함하는 기존의 스핀-궤도 토크 MRAM 소자와 비교하여 단일 자성층만으로 소자 구현이 가능하므로 전체 기억 소자의 구조를 간단히 함으로써 공정의 효율성을 높일 수 있으며, 고 집적화가 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.
- 도 1은 종래의 자기 기억 소자의 구조를 도시한다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 기억 소자의 구조를 도시한다.
- 도 3은 중심비대칭 결정구조를 갖는 자성 박막에서 정방형이방성이 강한 경우에 나타나는 박막면에서의 자기이방성을 결정방향에 따라 보여주는 도면이다.
- 도 4는 도 3에 도시된 4개의 이방성에너지 최소방향에 따라 자화상태가 변화 할 때 수학적 1에 의한 평면홀 저항 값을 도시한다.
- 도 5와 도 6은 중심비대칭 결정구조를 갖는 강자성 물질의 결정 방향에 따른 스핀-궤도 필드를 (III,M)(V)물질을 예시로 나타낸 것이다.
- 도 7는 홀 소자에 양과 음의 전류를 흘렸을 때 전류 방향에 따라 발생하는 스핀-궤도 필드에 의한 자화 전환 원리를 나타낸 것이다.
- 도 8은 양측 이방성을 갖는 중심비대칭 결정구조의 강자성 박막에 전류를 스캔했을 때, 자화 전환이 일어나고 이에 따른 편면 홀 저항값이 변화하는 히스테리시스를 보여주고 있다.
- 도 9는 양측이방성을 갖는 중심비대칭 결정구조의 단일층 강자성 박막으로 이루어진 홀소자의 예시이며 그에 따른 편면 홀저항 측정 방법을 보여주고 있다.
- 도 10은 전류 펄스를 양과 음의 방향으로 주기적으로 전환할 때 그에 따른 편면 홀 저항의 측정값을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0020] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

- [0021] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.
- [0022] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0023] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0024] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0025] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0026] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 기억 소자의 구조를 도시한다.
- [0027] 도 2를 참조하면, 자기 기억 소자는 기판(110) 및 기판(110) 상에 형성되고 자화 상태를 이용하여 정보를 저장(write)하고 평면 홀 저항 값을 통해 저장된 정보를 센싱(리드(read))하는 강자성층(120)을 포함한다. 실시예에 따라, 자기 기억 소자는 강자성 층(120) 상에 형성된 (절연) 보호막(130)을 더 포함할 수 있다. 강자성 층(120)은 강자성 박막으로 구현될 수 있다.
- [0028] 자기 기억 소자의 쓰기(write) 동작 시, 자기 기억 소자(보다 구체적으로는, 강자성층(120)을 의미할 수 있음)에 (필스 형태의) 전류를 인가하여 강자성층(120)에 스핀-궤도 필드를 발생하고, 양축 자기 이방성을 갖는 강자성층(120)의 자화를 전류 필스 방향에 따라 90도 전환하는 상태로 만들고, 자화 상태에 따라 달라지는 평면 홀 저항 값을 기록하여 정보(또는 데이터)를 저장할 수 있다. 이때, 평면 홀 저항 값은 수학식 1에 의해 측정될 수 있다.
- [0029] [수학식 1]
- [0030]
$$R_{PHE} = \frac{k}{t} M^2 \sin 2\phi_M$$
- [0031] 여기서, k는 평면 홀효과 상수이며, t는 강자성 층(120)의 두께, ϕ 는 자화 방향을 의미할 수 있다. 그리고, 강자성층(120)은 zinc-blend와 같은 중심비대칭 결정 구조를 갖는 (III,M)(V) 등과 같은 물질로 구성된 것을 특징으로 하는 강자성 물질일 수 있다. 여기서 III, V, 및 M은 각각 주기율표의 3족, 5족, 및 전이원소이다.
- [0032] 도 3은 zinc-blend와 같은 중심비대칭 결정 구조를 갖는 자성 박막에서 정방형이방성이 강한 경우에 나타나는 박막면에서의 자기이방성을 결정 방향에 따라 보여주는 도면이다. 이 경우 [100] 결정 방향에서 이방성 에너지가 최소인 축이 두 개 존재하며(양축 이방성), 이에 따라 1, 2, 3, 및 4로 표시된 방향에서 안정된 자화 상태를 갖는다.
- [0033] 도 4는 도 3에 도시된 4개의 이방성에너지 최소방향에 따라 자화 상태가 변화할 때 수학식 1에 의한 평면홀 저항 값을 도시한다. 자화가 양축이방성의 두 축에서 각기 다른 값을 가져 자화 방향에 따라 정보 저장이 가능함

을 보여준다. 스핀-궤도 필드에 의한 박막 면내에서 자화의 상태 전환을 위해서는 안정한 자화 상태 방향의 스핀-궤도 필드 성분이 필요하며, 이는 강자성층에 존재하는 양축이방성 방향과 전류에 의해 유도되는 스핀-궤도 필드 방향이 45도 정도의 각을 이루고 있어 가능하다.

[0034] 따라서, 자기 기억 소자에 기록된(또는 저장된) 정보는 측정된 평면홀 저항 값과 미리 정해진 기준값을 비교함으로써, 판독될 수 있다. 예시적으로, 측정된 평면홀 저항 값이 미리 정해진 기준값 보다 큰 경우 기록된 정보는 0(또는 1)이고, 측정된 평면홀 저항 값이 미리 정해진 기준값 보다 작은 경우 기록된 정보는 1(또는 0)일 수 있다. 실시예에 따라, 미리 정해진 기준값은 복수개일 수도 있다. 예시적으로, 측정된 평면홀 저항 값이 제1 기준값보다 큰 경우 기록된 정보는 0(또는 1)이고, 측정된 평면홀 저항 값이 제2 기준값보다 작은 경우 기록된 정보는 1(또는 0)일 수 있다. 이때, 제1 기준값은 제2 기준값 보다 큰 값을 갖는다. 또 다른 예로, 측정된 평면홀 저항 값의 부호에 기초하여 기록된 정보가 판독될 수 있다. 예컨대, 측정된 평면홀 저항 값이 양수인 경우 기록된 정보는 0(또는 1)이고, 측정된 평면홀 저항 값이 음수인 경우 기록된 정보는 1(또는 0)일 수 있다.

[0035] 다시 도 2를 참조하면, 자기 기억 소자는 기판(110) 및 기판(110) 상에 형성된 중심비대칭 결정 구조의 강자성층(120)을 포함하고, 강자성층(120) 상에 형성된 보호막(130)을 더 포함할 수 있다. 강자성층(120)은 전류 펄스를 이용하여 정보(데이터)를 자화 방향에 따라 저장(라이트)하고 평면 홀 저항을 통해 센싱(리드)하는 역할을 담당한다.

[0036] 강자성층(120)은 중심비대칭 결정 구조의 (III,M)(V) 자성 반도체 및 전이금속 화합물로 구성될 수 있다. 실시예에 따라, 강자성층(120)은 갈륨망간아세네이드(GaMnAsP), 및 망간비스무스(MnBi) 등을 포함할 수 있다.

[0037] 이하, 자기 기억 소자의 구조는 당업자에게 자명하므로 일반적인 자기 기억 소자 구성에 대한 설명은 생략하고 본 발명의 핵심에 해당하는 박막에서 양축 자기이방성을 갖는 중심비대칭 결정 구조의 강자성층의 구성 및 작용에 대해 중점적으로 설명하기로 한다.

[0038] 기존의 스핀-궤도 토크 MRAM에서는, 중금속(예컨대, Pt, Ta, W 등)층에서 발생하는 스핀 홀 효과를 이용하여 스핀 전류를 발생시키고, 이 스핀 전류를 접촉된 강자성층에 주입하여, 스핀-궤도 토크에 의해 자성층의 자화를 조절하여 정보를 저장하는 방식을 이용한다. 본 발명에서 이용하는 중심비대칭 결정 구조의 자성물질은 결정 구조의 대칭성이 깨짐으로 인한 드레셀하우스 효과(Dresselhaus effect)와 라슈바 효과(Rashba effect)에 의해 자성층 자체에서 전류가 흐를 때 스핀-궤도 필드(전하 스핀 분극 유도)가 발생하며, 이 스핀 분극 전하가 자성층 자체의 자화에 스핀-궤도 토크를 주어 자화가 조절되며 각 자화 상태에 따라 정보가 저장되게 된다. 따라서, 본 발명은 다중층의 복잡한 기존 스핀-궤도 토크 MRAM 소자 구조를 개선하는 방안으로 스핀 분극 발생층과 정보저장 자성층이 분리되어 있던 여러 층을 대신하여, 중심비대칭 결정 구조의 자성물질 단일층에서 스핀 분극 발생과 자화방향에 의한 정보 저장을 동시에 이용함으로써 MRAM 구조를 단순화 할 수 있다.

[0039] 또한, 중금속/강자성층의 조합을 기반으로 하는 기존 스핀-궤도 토크 MRAM에서는 강자성층이 수직 이방성(perpendicular magnetic anisotropy: PMA)을 갖는 물질인 경우, 단순한 중금속/강자성층의 조합만으로 이루어진 구조에서는 스핀-궤도 토크만으로는 자성층의 자화 전환이 불가능하며, 반드시 외부 자기장의 도움이 필요하다. 이처럼 기존 스핀-궤도 토크 MRAM 소자 구조는 외부 자기장이 필요하여 실제 기억 소자 응용에 비현실적인 문제점이 있었다. 실용화를 위해 필요한 외부 자기장을 구조 내의 보조층들을 이용해 유효 자기장으로 대체하는 방법들이 개발되지만 이는 소자 구조를 더욱 복잡 할 뿐만아니라 공정을 어렵게 하여 생산 단가가 증가하는 문제가 있었다.

[0040] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 박막 면 내에서 양축 자기이방성을 갖는 중심비대칭 결정 구조의 자성물질에서 발생하는 전류 방향에 따른 스핀-궤도 필드(스핀 분극)를 이용하여 외부 자기장 없이 단일 자성층으로 이루어진 소자 구조에서 전류 펄스만으로 동작하게 된다.

[0041] 본 발명에 이용되는 중심비대칭 결정 구조의 자성물질은 스핀 분극의 원인이 전류가 흐르는 박막의 결정 방향에 따라 스핀분극의 방향이 바뀌는 드레셀하우스 효과(Dresselhaus effect)와 라슈바 효과(Rashba effect)에 의한 것이다. 특히, 드레셀하우스 효과에 의한 스핀-궤도 필드의 방향은 결정 방향에 따라 전류와 수직 뿐만아니라 평행과 반평행인 경우가 있다. 본 발명은 이 드레셀하우스 효과와 라슈바 효과과 합쳐진 스핀 분극을 이용한 소자 동작에 관한 것으로 이후 설명은 전체 스핀-궤도 필드에 의한 자화전환에 관한 내용으로 국한한다.

[0042] 도 5와 도 6은 중심비대칭 결정구조를 갖는 강자성 물질의 결정 방향에 따른 스핀-궤도 필드를 (III,M)(V)물질을 예시로 나타낸 것이다.

[0043] 도 5와 6을 참조하면, 전류가 [110] 방향으로 흐를 때, 스핀-궤도 필드(스핀 분극은)는 전류와 수직이며, 자화

용이축인 [100] 자기이방성 방향과 45도(실시예에 따라, $(45 \pm \alpha)$ 도일 수도 있음. 여기서, α 는 임의의 실수임) 각도를 이루고 있다. 따라서, 스핀-궤도 필드가 자화 용이축 방향의 성분이 있으며, 이 성분은 전류 방향에 따라 반대 방향이 된다. 따라서, 외부 자기장이 없이도 전류 펄스만으로 강자성층의 자화를 박막면의 자화 용이축 사이에서 전환할 수 있다. 본 발명에서는, 이러한 스핀-궤도 필드의 자화 용이축 방향 성분이 전류의 방향에 따라 반대로 바뀌는 특성을 이용하여 전류 펄스만을 이용한 자화 전환을 이용하여 자기 기억 소자를 구성한다.

[0044] 도 7는 홀 소자에 양과 음의 전류를 흘렸을 때 전류 방향에 따라 발생하는 스핀-궤도 필드에 의한 자화 전환 원리를 나타낸 것이다.

[0045] M_i 와 M_f 는 초기와 나중 자화 방향을 나타내며, 음의 전류 펄스가 가해진 경우, 1사분면의 자화 용이축에 있던 자화가 4사분면의 자화 용이축으로 전환되고, 양의 전류 펄스가 가해진 경우, 4사분면의 자화 용이축에 있던 자화가 1사분면의 자화 용이축으로 전환되는 과정을 보여 주고있다. 도 7에서, 좌와 우로 향하는 실선 화살표는 전류의 방향을 나타내며, 위와 아래로 향하는 굵은 화살표는 전류 방향에 대응되는 스핀-궤도 필드의 방향을 나타낸다.

[0046] 도 8은 양축이방성을 갖는 중심비대칭 결정 구조의 강자성 박막에 양 ([100] 결정 방향)과 음 ($\bar{1}\bar{1}0$)의 결정 방향으로 전류를 스캔했을 때, 음과 양 전류 방향에서 자화 전환이 일어나고 이에 따른 평면 홀 저항값이 양과 음에서 변화하는 히스테리시스를 보여주고 있다. 도 8에서, 점선 화살표는 전류의 스캔 방향을 나타내며, 굵은 화살표는 저항 상태에 대응되는 자화 방향을 나타낸다. 따라서, 외부 자기장이 없이도 전류에 의한 스핀-궤도 필드 만으로 박막 면 내의 강자성 층의 자화를 두 상태 사이에서 제어할 수 있다. 도 8을 참조하면, 높은 저항 (또는 양의 저항) 자화 상태와 낮은 저항(또는 음의 저항) 자화 상태에 정보를 저장할 수 있어서 기억 소자로서 동작이 가능하다.

[0047] 도 9는 양축이방성을 갖는 중심비대칭 결정 구조의 단일층 강자성 박막으로 이루어진 홀소자의 예시이며 그에 따른 평면 홀 저항 측정 방법을 보여주고 있다. 즉, 도 9는 홀 소자 형태의 스핀-궤도 필드 자기 기억 소자의 개략도이다. 정보 저장용 셀에 펄스 형태의 전류를 흘려 스핀-궤도 필드가 발생되어 셀 안에 두 축 방향의 자화 상태로 정보를 기록할 수 있다.

[0048] 도 9에서, 십자 모양의 자기 기억 소자가 중심비대칭 결정 구조의 단일층 강자성 박막 상에 전도층과 보호층으로만 형성되어 있다. 전류 펄스의 방향을 양의 방향 ([110]) 혹은 음의 방향($\bar{1}\bar{1}0$)으로 전환하여 두 자화용이축 사이에서 자화 상태를 바꿀 수 있으며, 상기와 같은 방법으로 강자성 층에 정보를 저장할 수 있다. 또한, 상기와 같이 저장된 정보는 센싱 전류를 통해 평면 홀 저항 값 또는 자기 저항 값의 크기를 측정하여 읽을 수 있다. 따라서, 단일의 강자성 층이 정보의 저장과 센싱 역할을 동시에 수행할 수 있다.

[0049] 도 10은 전류 펄스를 양과 음의 방향으로 주기적으로 전환 할 때 그에 따른 평면 홀 저항의 측정값을 보인 것이다. 전류 펄스의 방향이 바뀔 때 두 홀 저항 상태가 자화 상태에 대응되어 일정하게 전환되어 안정된 정보 저장, 제어 및 센싱이 가능함을 보여 주고있다. 즉, 전류 펄스의 방향을 조절하면 셀 안에 자화를 선호하는 방향으로 전환할 수 있으며, 이에 따라 도 10에 도시된 바와 같이 평면 홀 저항 값이 전류 펄스에 의해 조절됨을 알 수 있다.

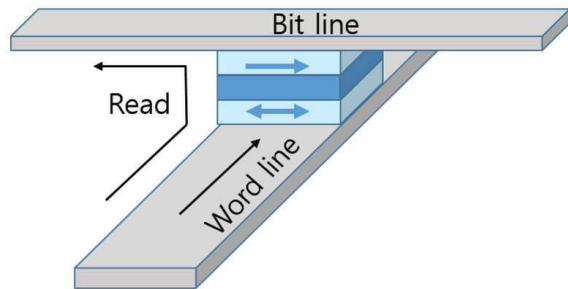
[0050] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0051] 110 : 기판
120 : 강자성층
130 : 보호막

도면

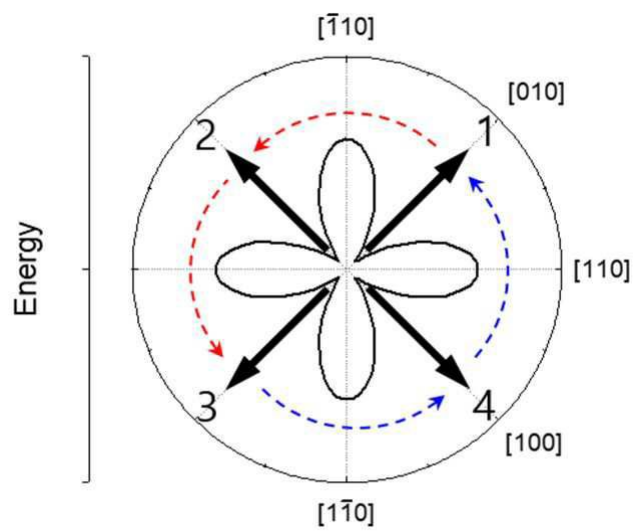
도면1



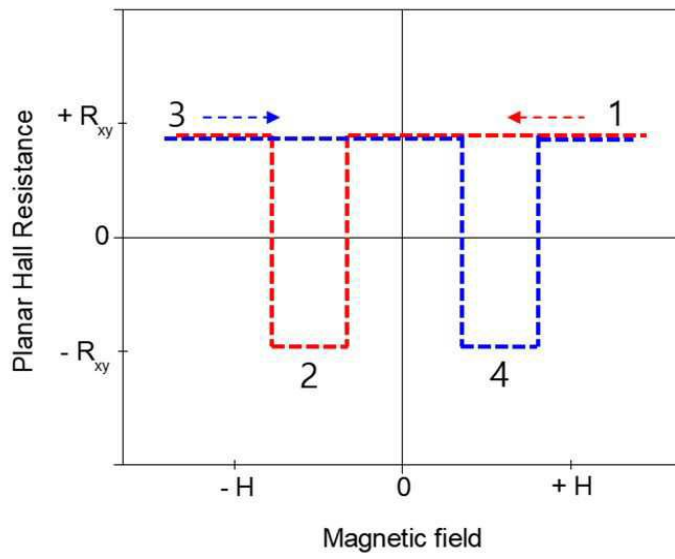
도면2



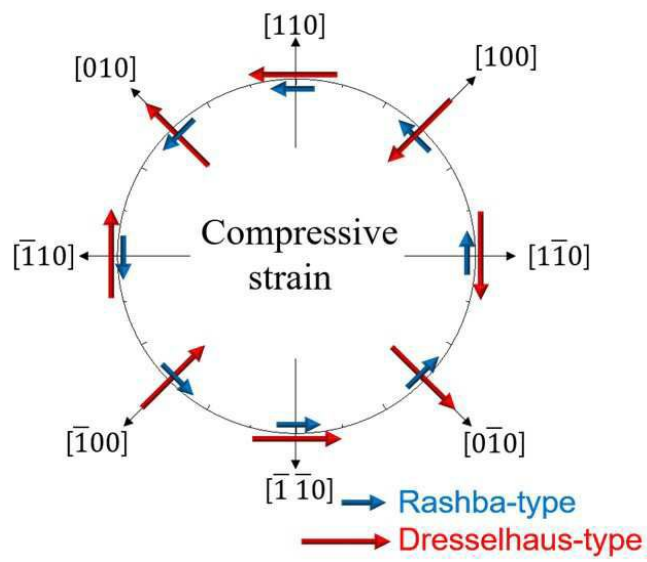
도면3



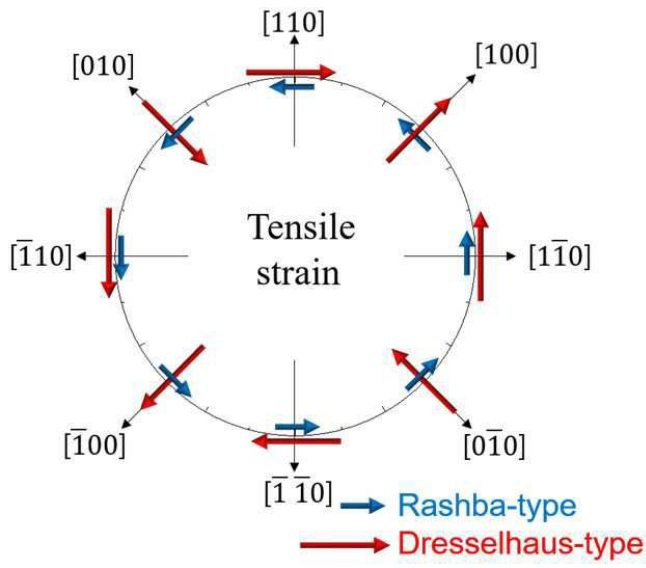
도면4



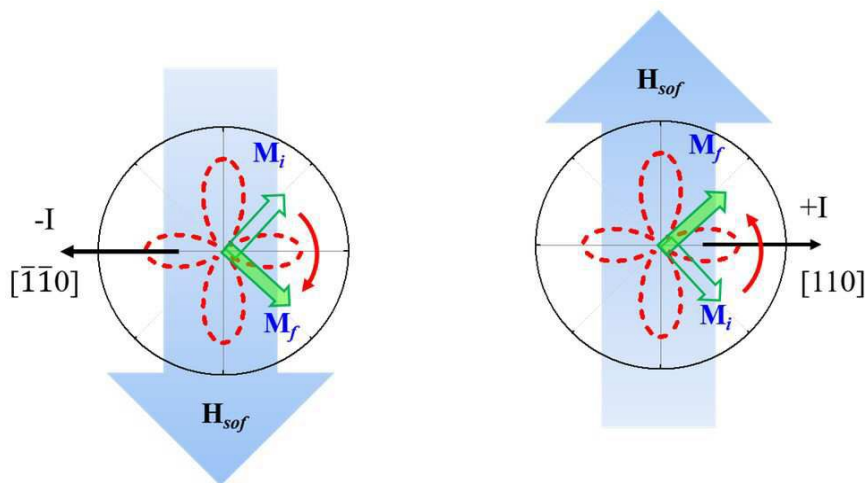
도면5



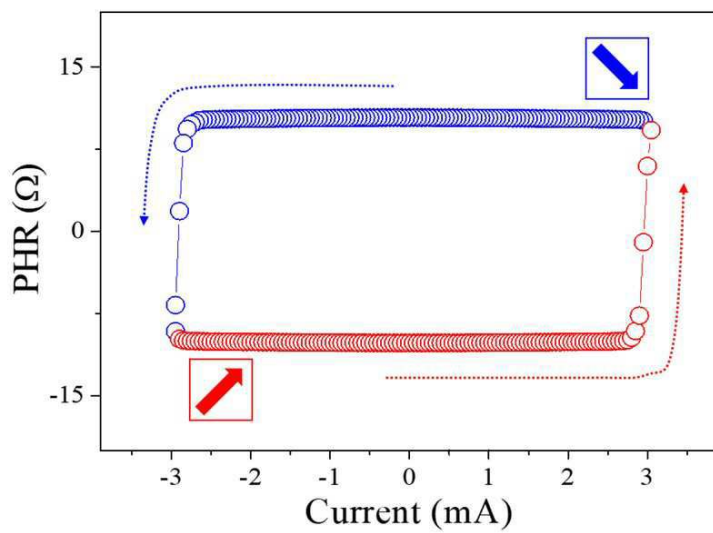
도면6



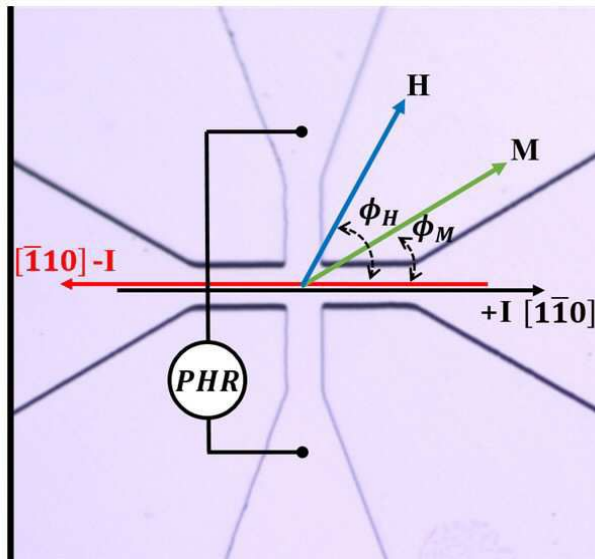
도면7



도면8



도면9



도면10

