



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년07월06일
(11) 등록번호 10-1875931
(24) 등록일자 2018년07월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 43/10 (2006.01) H01L 43/02 (2006.01)
H01L 43/08 (2006.01) H01L 43/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 43/10 (2013.01)
H01L 43/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0086553
(22) 출원일자 2017년07월07일
심사청구일자 2017년07월07일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020170042622 A
JP201369820 A
KR1020160135057 A
KR1020170042629 A

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
재단법인대구경북과학기술원
대구 달성군 현풍면 테크노중앙대로 333,
(72) 발명자
이기석
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술대학교
한희성
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술대학교
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
제일특허법인

전체 청구항 수 : 총 23 항

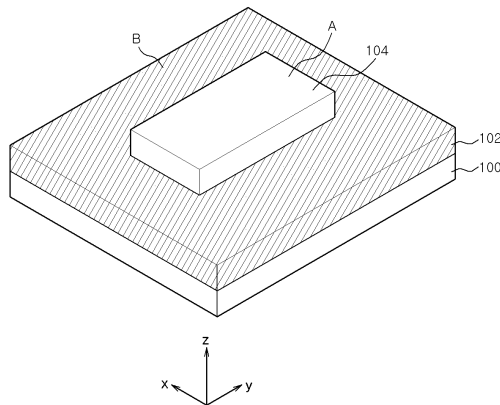
심사관 : 방인환

(54) 발명의 명칭 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물, 메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법

(57) 요약

본 발명은 메탈 구조물 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 헤비메탈층(Heavy Metal layer); 상기 헤비메탈층 상에 형성되는 강자성층(Ferromagnetic layer); 및 상기 강자성층 상에 형성되는 반강자성층(Anti-Ferromagnetic layer)을 포함하고, 상기 반강자성층은 상기 강자성층과 접합되어 있는 제1 영역과 상기 강자성층과 접합되어 있지 않은 제2 영역을 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 43/08 (2013.01)

H01L 43/12 (2013.01)

(72) 발명자

홍정일

대구광역시 달성군 현풍면 테크노중앙대로 333

임미영

대구광역시 달성군 현풍면 테크노중앙대로 333

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711027169

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 창의소재디스커버리사업

연구과제명 Logic-in-Memory 구현을 위한 Spin-Orbitronics 소재개발

기 여 율 1/2

주관기관 고려대학교

연구기간 2015.06.10 ~ 2015.11.09

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711042736

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 해외우수기관유치

연구과제명 로렌스 버클리 국립연구소-DGIST 공동연구센터

기 여 율 1/2

주관기관 대구경북과학기술원

연구기간 2016.08.01 ~ 2017.07.31

명세서

청구범위

청구항 1

헤비메탈층(Heavy Metal layer);

상기 헤비메탈층 상에 형성되는 강자성층(Ferromagnetic layer); 및

상기 강자성층 상에 형성되는 반강자성층(Anti-Ferromagnetic layer)을 포함하고,

상기 반강자성층은 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있는 제1 영역과 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있지 않는 제2 영역을 포함하는

메탈 구조물.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

제1 온도에서 상기 제1 영역은 상기 강자성층과 상기 반강자성층의 접합 계면의 반강자성 결합(antiferromagnetic coupling)에 의해 스커미온(Skyrmion)이 형성되며, 상기 제1 온도보다 높은 제2 온도에서 상기 메탈 구조물에 수평 방향 전류가 인가되면 상기 제1 영역에 형성된 스커미온이 상기 제2 영역으로 이동되는

메탈 구조물.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제1 영역과 상기 제2 영역은 상기 헤비메탈층과 상기 강자성층의 접합 계면에 의해 DMI(interfacial Dzyaloshinskii Moriya Interaction)가 존재하는

메탈 구조물.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 강자성층은,

합금계 자성체 또는 호이슬러 합금계 자성체 중 어느 하나인

메탈 구조물.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 반강자성층은,

이리듐-망간 합금, 코발트-산화니켈 합금, 망간-플레티늄 합금, 페로망간, 산화코발트 중 적어도 하나를 포함하는

메탈 구조물.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 헤비메탈층은,

플래티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 적어도 하나를 포함하는
메탈 구조물.

청구항 7

제 1 항에 있어서,
상기 헤비메탈층은 시드 층(seed layer)인
메탈 구조물.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
상기 강자성층은,
수A 내지 수nm의 두께 범위를 갖는
메탈 구조물.

청구항 9

제 1 항에 있어서,
상기 헤비메탈층은,
단일층 구조 또는 다층 구조로서, 수nm 내지 수십nm의 두께 범위를 갖는
메탈 구조물.

청구항 10

제 1 항에 있어서,
상기 반강자성층은, 원형 또는 다각형 형상을 갖는
메탈 구조물.

청구항 11

베이스 상에 헤비메탈층을 형성하는 단계;
상기 헤비메탈층 상에 강자성층을 형성하는 단계;
상기 강자성층상에 반강자성층을 형성하는 단계;
상기 반강자성층 내에 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있는 제1 영역과 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있지 않는 제2 영역을 형성하는 단계; 및
온도를 변화시켜 상기 제1 영역과 상기 제2 영역 상에 스커미온을 교번적으로 형성하는 단계를 포함하는
메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,
상기 스커미온을 교번적으로 형성하는 단계는,
제1 설정 온도에서 상기 헤비메탈층과 상기 강자성층의 접합 계면에 의해 상기 제1 영역에 제1 스커미온을 형성하는 단계;
제2 설정 온도에서 전류를 인가하여 상기 제1 스커미온을 상기 제2 영역으로 이동시키는 단계; 및
상기 제1 설정 온도에서 상기 제1 영역에 제2 스커미온을 형성하는 단계를 포함하는

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 제2 영역을 정의하기 위한 레지스트 패턴을 형성하는 단계; 및

상기 레지스트 패턴을 마스크로 하여 상기 상기 반강자성층을 식각하는 단계를 더 포함하는

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 반강자성층은 원형 또는 다각형 형태로 패터닝되는

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 제1 영역은 상기 강자성층과 상기 반강자성층의 접합 계면의 반강자성 결합에 의해 상기 스커미온의 형성을 유지시키는

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 제1 설정 온도는 상기 반강자성 결합이 증가하는 온도인

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 제2 설정 온도는 상기 반강자성 결합이 감소하는 온도인

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 18

제 11 항에 있어서,

상기 강자성층은,

수Å 내지 수nm의 두께 범위를 갖는

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 19

제 11 항에 있어서,

상기 헤비메탈층은,

단일층 구조 또는 다층 구조로서, 수nm 내지 수십nm의 두께 범위를 갖는

메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 20

제 11 항에 있어서,
상기 강자성층은,
합금계 자성체 또는 호이슬러 합금계 자성체 중 어느 하나인
메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 21

제 11 항에 있어서,
상기 반강자성층은,
이리듐-망간 합금, 코발트-산화니켈 합금, 망간-플래티넘 합금, 페로망간, 산화코발트 중 적어도 하나를 포함하
는
메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 22

제 11 항에 있어서,
상기 헤비메탈층은,
플래티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 적어도 하나를 포함하는
메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

청구항 23

제 11 항에 있어서,
상기 헤비메탈층은 시드 층(seed layer)인
메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 반도체 소자에 적용 가능한 메탈 구조물 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 기반의 정보 처리 방법론은 다음과 같은 이유에서 한계가 예
상된다.

[0003] 첫째, 집적도 증가에 따라 게이트 산화막의 두께가 점점 작아져야 하지만, 게이트 산화막의 두께가 0.7nm 정도
가 되면 전자가 게이트 산화막을 투과하게 되어 게이트 산화막이 더 이상 절연막으로서의 기능을 하지 못하게
된다. 둘째, 집적도 증가를 위해 도선의 폭을 감소시키면 전류 밀도의 증가로 인해 도선의 단락이 발생된다.

[0004] CMOS 기반의 정보 처리 방법론을 대체하기 위해서 전자, 즉 전하의 이동에 의한 정보 처리 방법에서 탈피하여
전자가 가지고 있는 양자적 특성인 스핀(spin)을 이용한 정보 처리 방법에 대한 연구가 수행되고 있다. 예를 들
어, 나노 자성체에서의 솔리톤(soliton)을 이용한 자기 양자 셀 방식 자동장치(MQCA) 소자와 정보의 전달과 처
리에 자성체에 발생된 스핀파를 응용하기 위한 연구가 수행되고 있다.

[0005] 이러한 한계를 극복할 또 다른 대안으로서, 스커미온(Skyrmion)을 정보 캐리어로 이용하는 정보 처리 소자가 부
상하고 있다.

[0006] 스커미온이란, 박막과 수직인 자화를 중앙에 형성하고, 그 자화 주위를 반대 방향의 자화가 감싸고 있는 형태로
구성한 자기 구조체이다. 이러한 스커미온은 매우 작은 전류밀도, 예를 들어 $10^5 \sim 10^6 \text{ Am}^{-2}$ 로 쉽게 가이딩(이동)
될 수 있기 때문에 스커미온을 단일 비트로 하는 저전력의 메모리 소자를 개발하는데 큰 기여를 할 수 있다.

- [0007] 이러한 스커미온을 형성하기 위한 기술로서, 반도체 층의 구조를 변경하는 기술, SP-STM(Spin Polarized Scanning Tunneling Microscopy) 팁(tip)을 이용하는 기술, GHz 단위의 주파수로 박막과 수직인 펄스를 인가하는 기술 등이 제안된 바 있다.
- [0008] 그러나, 이들 기술들은 기하학적인 구조에 제한이 있거나 실제 소자에 사용하기에는 무리가 있으며, GHz 단위의 펄스 인가를 위한 별도의 장치가 필요하고 강한 펄스에 의해 스커미온이 랜덤하게 형성된다는 단점이 있다.
- [0009] 따라서, 정보 저장 장치와 같은 실제 소자에 용이하게 적용 가능하면서, 보다 안정적이고 효율적으로 스커미온을 형성하기 위한 기술이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국공개특허 2017-0013111호, 2017.02.06 공개

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명의 실시예에서는, 강자성층(Ferromagnetic layer)과 반강자성층(Anti-Ferromagnetic layer)의 접합 계면의 반강자성 결합(antiferromagnetic coupling)을 이용하여 스커미온을 형성할 수 있는 반도체 소자의 메탈 구조물을 제안하고자 한다.
- [0012] 또한, 본 발명의 실시예에서는, 헤비메탈층(Heavy Metal layer)과 강자성층의 접합 계면에 존재하는 DMI(interfacial Dzyaloshinskii Moriya Inter action)와 자기장을 이용하여 자성체 내에 스커미온을 형성할 수 있는 반도체 소자의 메탈 구조물을 제안하고자 한다.
- [0013] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 해결하고자 하는 과제는 아래의 기재들로부터 본 발명이 속하는 통상의 지식을 가진 자에 의해 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명의 실시예에 따르면, 헤비메탈층(Heavy Metal layer); 상기 헤비메탈층 상에 형성되는 강자성층(Ferromagnetic layer); 및 상기 강자성층 상에 형성되는 반강자성층(Anti-Ferromagnetic layer)을 포함하고, 상기 반강자성층은 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있는 제1 영역과 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있지 않는 제2 영역을 포함하는 메탈 구조물을 제공할 수 있다.
- [0015] 여기서, 제1 온도에서 상기 제1 영역은 상기 강자성층과 상기 반강자성층의 접합 계면의 반강자성 결합(antiferromagnetic coupling)에 의해 스커미온(Skyrmion)이 형성되며, 상기 제1 온도보다 높은 제2 온도에서 상기 메탈 구조물에 수평 방향 전류가 인가되면 상기 제1 영역에 형성된 스커미온이 상기 제2 영역으로 이동될 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 제1 영역과 상기 제2 영역은 상기 헤비메탈층과 상기 강자성층의 접합 계면에 의해 DMI(interfacial Dzyaloshinskii Moriya Inter action)가 존재할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 강자성층은, 합금계 자성체 또는 호이슬러 합금계 자성체 중 어느 하나일 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 반강자성층은, 이리듐-망간 합금, 코발트-산화니켈 합금, 망간-플레티넘 합금, 페로망간, 산화코발트 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 헤비메탈층은, 플레티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 헤비메탈층은 시드 층(seed layer)일 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 강자성층은, 수Å 내지 수nm의 두께 범위를 가질 수 있다.

- [0022] 또한, 상기 헤비메탈층은, 단일층 구조 또는 다층 구조로서, 수nm 내지 수십nm의 두께 범위를 가질 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 반강자성층은, 원형 또는 다각형 형상을 가질 수 있다.
- [0024] 본 발명의 실시예에 따르면, 베이스 상에 헤비메탈층을 형성하는 단계; 상기 헤비메탈층 상에 강자성층을 형성하는 단계; 상기 강자성층상에 반강자성층을 형성하는 단계; 상기 반강자성층 내에 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있는 제1 영역과 상기 강자성층과 상기 반강자성층이 접합되어 있지 않는 제2 영역을 형성하는 단계; 및 온도를 변화시켜 상기 제1 영역과 상기 제2 영역 상에 스커미온을 교번적으로 형성하는 단계를 포함하는 메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법을 제공할 수 있다.
- [0025] 여기서, 상기 스커미온을 교번적으로 형성하는 단계는, 제1 설정 온도에서 상기 헤비메탈층과 상기 강자성층의 접합 계면에 의해 상기 제1 영역에 제1 스커미온을 형성하는 단계; 제2 설정 온도에서 전류를 인가하여 상기 제1 스커미온을 상기 제2 영역으로 이동시키는 단계; 및 상기 제1 설정 온도에서 상기 제1 영역에 제2 스커미온을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 또한, 메탈 구조물 내 스커미온 형성 방법은, 상기 제2 영역을 정의하기 위한 레지스트 패턴을 형성하는 단계; 및 상기 레지스트 패턴을 마스크로 하여 상기 반강자성층을 식각하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0027] 또한, 상기 반강자성층은 원형 또는 다각형 형태로 패턴닝될 수 있다.
- [0028] 또한, 상기 제1 영역은 상기 강자성층과 상기 반강자성층의 접합 계면의 반강자성 결합에 의해 상기 스커미온의 형성을 유지시킬 수 있다.
- [0029] 또한, 상기 제1 설정 온도는 상기 반강자성 결합이 증가하는 온도일 수 있다.
- [0030] 또한, 상기 제2 설정 온도는 상기 반강자성 결합이 감소하는 온도일 수 있다.
- [0031] 또한, 상기 강자성층은, 수Å 내지 수nm의 두께 범위를 가질 수 있다.
- [0032] 또한, 상기 헤비메탈층은, 단일층 구조 또는 다층 구조로서, 수nm 내지 수십nm의 두께 범위를 가질 수 있다.
- [0033] 또한, 상기 강자성층은, 합금계 자성체 또는 호이슬러 합금계 자성체 중 어느 하나일 수 있다.
- [0034] 또한, 상기 반강자성층은, 이리듐-망간 합금, 코발트-산화니켈 합금, 망간-플레티넘 합금, 페로망간, 산화코발트 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0035] 또한, 상기 헤비메탈층은, 플레티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0036] 또한, 상기 헤비메탈층은 시드 층일 수 있다.

발명의 효과

- [0037] 본 발명은 강자성층과 반강자성층의 접합 계면의 반강자성 결합을 이용하여 스커미온을 안정적으로 형성할 수 있다. 또한, 본 발명은 헤비메탈층과 강자성층의 접합 계면에 존재하는 DMI와 자기장을 이용하여 자성체 내에 스커미온을 연속적으로 형성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0038] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물에 대한 사시도이다.
- 도 2a 내지 2g는 본 발명의 일 실시예에 따라 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물을 제조하는 과정을 설명하기 위한 중간 단면도이다.
- 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따라 메탈 구조물 내에 스커미온을 형성하는 과정을 예시적으로 설명하기 위한 적층 평면도이다.
- 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물에 대한 사시도이다.
- 도 5a 내지 도 5f는 본 발명의 다른 실시예에 따라 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물을 제조하는 과정을 설명하기 위한 중간 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명의 범주는 청구항에 의해 정의될 뿐이다.
- [0040] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어 실제로 필요한 경우 외에는 생략될 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0041] 일반적으로, 스커미온은 스핀 편향 전류(spin polarized current)를 통해 움직일 수 있으며, 또한 오직 DMI(Dzyaloshinskii Moriya Inter action)가 있는 영역만 지나다닐 수 있기 때문에 DMI가 있는 영역이 일종의 도파로 역할을 하게 된다. 본 발명의 실시예는 강자성층과 반강자성층의 접합 계면의 반강자성 결합을 이용하여 스커미온을 안정적으로 형성하고, 헤비메탈층과 강자성층의 접합 계면에 존재하는 DMI와 자기장을 이용하여 자성체 내에 스커미온을 연속적으로 형성하는 것을 기초로 한다.
- [0042] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명하기로 한다.
- [0043] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물에 대한 사시도이다.
- [0044] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예의 메탈 구조물은, 헤비메탈층(100), 헤비메탈층(100) 상에 형성되는 강자성층(102), 강자성층(102) 상에 형성되는 반강자성층(104)을 포함할 수 있다.
- [0045] 도 1에 도시한 바와 같이, 반강자성층(104)은 강자성층(102)과 반강자성층(104)이 접합되어 있는 제1 영역(A)과, 강자성층(102)과 반강자성층(104)이 접합되어 있지 않는 제2 영역(B)을 포함할 수 있으며, 제1 영역(A)과 제2 영역(B)에는 헤비메탈층(100)과 강자성층(102)의 접합 계면에 의해 DMI가 존재하고, DMI가 존재하는 영역에는 스커미온이 형성될 수 있다.
- [0046] 이때, 제1 영역(A)은, 예를 들어 원형 또는 다각형 형태를 가질 수 있으며, 이는 반강자성층(104)을 강자성층(102) 상에서 원형 또는 다각형 형태로 패터닝함으로써 구현될 수 있다.
- [0047] 또한, 제1 영역(A)에는 제1 온도에서 강자성층(102)과 반강자성층(104)의 접합 계면의 반강자성 결합(antiferromagnetic coupling)이 형성될 수 있으며, 이러한 반강자성 결합에 의해 제1 영역(A)에 형성된 스커미온이 안정적으로 유지될 수 있다.
- [0048] 여기서, 반강자성 결합이라 함은, 반강자성체와 강자성체의 자화 배열이 변하지 않도록 붙잡아 주는 현상을 의미하며, 이러한 반강자성 결합은 온도 변화에 민감한 특성, 예컨대 온도가 상승하면 반강자성 결합의 결합 세기가 감소되는 특성을 지닌다.
- [0049] 예를 들어, 본 발명의 실시예에 따른 메탈 구조물은, 제1 온도에서는 반강자성 결합에 의해 반강자성층(104) 상에 형성된 스커미온을 유지시키고, 제1 온도보다 높은 제2 온도에서는 반강자성 결합의 결합 세기가 감소될 수 있다. 반강자성 결합의 결합 세기가 감소된 상태에서 메탈 구조물에 수평 방향 전류를 인가하게 되면, 반강자성층(104) 상에 형성된 스커미온이 반강자성층(104) 이외의 영역, 예컨대 제2 영역(B)으로 용이하게 이동될 수 있는 조건이 될 수 있다.
- [0050] 여기서, 제1 온도는, 예를 들어 15° 내지 25° 범위 내의 상온(ordinary temperature)일 수 있으며, 제2 온도는, 예를 들어 제1 온도보다 높은 30° 내지 350° 범위 내일 수 있다. 다만, 이러한 제2 온도는 메탈 구조물에 사용되는 물질마다 고유의 범위를 가지기 때문에, 어느 특정 온도범위에 한정될 필요는 없다. 예컨대, 반강자성층(104)이 이리듐-망간 합금(IrMn)을 포함하는 경우의 제2 온도는 30° 내지 250° 온도 범위 내일 수 있고, 반강자성층(104)이 산화니켈 합금을 포함하는 경우의 제2 온도는 30° 내지 190° 온도 범위 내일 수 있다.
- [0051] 이와 같이, 제2 온도를 설정한 후 전류를 인가하여 반강자성층(104)에 존재하던 스커미온이 반강자성층(104) 이외의 영역, 예를 들어 강자성층(102) 상의 반강자성층(104)이 존재하지 않는 임의의 영역으로 이동된 후에는, 다시 메탈 구조물이 제1 온도가 되도록 하여 강자성층(102)과 반강자성층(104)의 접합 계면의 반강자성 결합의 결합 세기를 증가시킬 수 있으며, 반강자성 결합의 결합 세기가 증가함에 따라 반강자성층(104) 상에 다른 스커

미온을 추가적으로 형성할 수 있다.

- [0052] 이러한 온도 상승 → 전류 인가 → 온도 감소 등의 과정들을 반복 실시함으로써, 메탈 구조물 상의 제1 영역(A)과 제2 영역(B)에는 복수의 스커미온들이 교번적으로 연속되게 형성될 수 있다.
- [0053] 한편, 헤비메탈층(100)은 DMI를 형성시켜 스커미온을 안정화시키고, 헤비메탈층(100) 또는 강자성층(102)에 흐르는 전류에 의해 강자성층(102) 및 반강자성층(104) 상의 스커미온을 이동시킬 수 있는데, 이러한 강자성층(102) 및 반강자성층(104) 상의 스커미온은, 예를 들어 제1 방향(y)을 따라 이동될 수 있다. 이때, 제1 방향(y)은 헤비메탈층(100), 강자성층(102), 반강자성층(104)의 적층 방향과 수직되고 반강자성층(104)의 연장되는 방향일 수 있다.
- [0054] 여기서, 강자성층(102)으로서는, 수직자기 이방성을 위해, 예컨대 CoFe, CoFeB 등과 같은 합금계 자성체 또는 Co_2FeSi , Co_2MnSi 등과 같은 호이슬러 합금계 자성체 등이 사용될 수 있다.
- [0055] 또한, 강자성층(102)은, 예컨대 스퍼터링, MBE(molecular beam epitaxy), ALD(atomic layer deposition), PLD(pulse laser deposition), 전자 빔 이베퍼레이터(E-beam evaporator) 등과 같은 공정을 통해 단일층(mono_layer; 계면 DMI를 위한 단일층 구조) 구조 또는 다층 구조로 형성될 수 있다.
- [0056] 여기서, 계면 DMI를 이용하는 경우일 때, 강자성층(102)은 단일층 구조로서 그 두께가, 예컨대 수 Å 내지 수 nm의 범위로 될 수 있다.
- [0057] 또한, 반강자성층(104)으로서는, 예컨대 이리듐-망간 합금(IrMn), 코발트-산화니켈 합금(CoNiO), 망간-플래티넘 합금(MnPt), 페로망간(FeMn), 산화코발트(CoO) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0058] 그리고, 헤비메탈층(100)으로는, 예컨대 플래티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 어느 하나 혹은 둘 이상의 혼합물이 사용될 수 있으며, 강자성층(102)과 마찬가지로, 예컨대 스퍼터링, MBE, ALD, PLD 전자 빔 이베퍼레이터 등과 같은 공정을 통해 단일층 구조 또는 다층 구조로 형성될 수 있다. 여기에서, 헤비메탈층(100)의 두께는, 예컨대 수 nm 내지 수십 nm의 범위가 될 수 있다.
- [0059] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 메탈 구조물은, 결정성 및 균일성을 증가시켜 계면의 질을 향상시킬 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예에서 헤비메탈층(100)은 강자성층(102)의 하부에서 식각 처리되지 않은 시드 층(seed layer)으로서의 역할을 할 수 있다.
- [0060] 다음에, 상술한 바와 같은 구성을 갖는 본 발명의 실시예의 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물을 제조하는 주요 공정들에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0061] 도 2a 내지 2g는 본 발명의 실시예에 따라 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물을 제조하는 주요 과정을 도시한 도면이다.
- [0062] 먼저, 도 2a를 참조하면, 예컨대 스퍼터링, MBE, ALD, PLD, 전자 빔 이베퍼레이터 중 어느 하나를 이용하는 증착 공정을 진행함으로써, 도시 생략된 베이스(예컨대, 웨이퍼 등) 상에 소정의 두께와 소정의 선폭을 갖는 헤비메탈층(100)을 형성한다. 여기서, 헤비메탈층(100)으로는, 예컨대 플래티넘, 탄탈, 이리듐 등이 사용될 수 있으며, 그 두께는, 예컨대 수 nm 내지 수십 nm의 범위가 될 수 있다.
- [0063] 이후, 도 2b에서는 헤비메탈층(100)의 일면에 강자성층(102)을 형성(증착)한다. 여기서, 강자성층(102)은, 예컨대 CoFe, CoFeB 등과 같은 합금계 자성체이거나 혹은 Co_2FeSi , Co_2MnSi 등과 같은 호이슬러 합금계 자성체일 수 있다.
- [0064] 그리고, 강자성층(102)은, 단일층 구조일 때, 예컨대 수 Å 내지 수 nm의 두께 범위를 가질 수 있다.
- [0065] 다시, 스퍼터링, MBE, ALD, PLD, 전자 빔 이베퍼레이터 중 어느 하나를 이용하는 증착 공정을 진행함으로써, 일례로서 도 2c에 도시된 바와 같이, 강자성층(102)의 일면에 반강자성층(104)을 위한 반강자성체 물질(104a)을 형성한다. 여기서, 반강자성체 물질(104a)로는, 예컨대 이리듐-망간 합금(IrMn), 코발트-산화니켈 합금(CoNiO), 망간-플래티넘 합금(MnPt), 페로망간(FeMn), 산화코발트(CoO) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0066] 이후, 도 2d에서는, 예를 들어 스핀 코팅 등과 같은 공정을 진행하여 반강자성체 물질(104a)의 전면에 레지스트 물질, 예를 들어 포토레지스트(106, Photoresist)를 도포한다.
- [0067] 그리고, 도 2e에서는, 예를 들어 포토리소그래피 공정을 진행하여 포토레지스트(106)를 패터닝할 수 있다. 도

2e에서 도면부호 106a는 이와 같이 패터닝 처리된 포토레지스트 패턴을 나타낸다.

- [0068] 이후, 도 2f에서는, 도 2e의 포토레지스트 패턴(106a)을 식각(etching) 장벽층으로 하는 식각 공정을 진행하여 반강자성체 물질(104a)을 선택적으로 제거한다. 도 2f에서 도면부호 104는 식각 공정에 의해 선택적으로 제거된 반강자성층을 나타낸다.
- [0069] 마지막으로, 플라즈마 애싱(Plasma ashing) 등과 같은 스트리핑 공정을 진행하여 잔류하는 헤비메탈 물질 상에 있는 포토레지스트 패턴(106a)을 제거함으로써, 도 2g의 단면과 같은 층 구조를 형성할 수 있다.
- [0070] 도 2d 내지 도 2g의 과정들은, 본 발명의 실시예에 따른 메탈 구조물의 패터닝을 위한 실시예일뿐이며, 반드시 포토레지스트를 이용한 포토리소그래피 공정과 같은 패터닝 기법에 국한될 필요는 없다. 예를 들어, 전자빔(e-beam) 레지스트를 이용한 전자빔 리소그래피 공정을 적용하여 메탈 구조물을 패터닝할 수도 있음을 주지할 필요가 있다.
- [0071] 이와 같은 층 구조에서 반강자성층(104)은 강자성층(102)을 노출시키지 않는 제1 영역(A)과 강자성층(102)을 노출시키도록 개구된 제2 영역(B)을 포함할 수 있다.
- [0072] 이때, 제1 영역(A)은 원형 또는 다각형 형태를 가질 수 있으며, 이는 반강자성층(104)을 강자성층(102) 상에서 원형 또는 다각형 형태로 패터닝함으로써 구현될 수 있다.
- [0073] 여기서, 제1 영역(A)은 제1 온도에서 강자성층(102)과 반강자성층(104)의 접합 계면의 반강자성 결합에 의해 스커미온이 형성되며, 제1 온도보다 높은 제2 온도에서 메탈 구조물에 수평 방향 전류가 인가되면 제1 영역(A)에 형성된 스커미온이 제2 영역(B)으로 이동될 수 있다.
- [0074] 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따라 메탈 구조물 내에 스커미온을 형성하는 과정을 예시적으로 설명하기 위한 적층 평면도이다.
- [0075] 먼저, 도 3a에서 도면부호 102는 강자성층, 도면부호 104는 이러한 강자성층(102)의 상부면 일부에 적층된 반강자성층을 나타낸다.
- [0076] 이러한 적층 구조에서, 강자성층(102)과 반강자성층(104) 간의 접합 계면에 의해 제1 스커미온(S1)이 형성될 수 있으며, 이러한 접합 계면에 의해 반강자성 결합의 결합력이 발생되어 반강자성층(104)의 반강자성체 물질이 강자성층(102)의 자화 배열이 변하지 않도록 하여 제1 스커미온(S1)이 반강자성층(104) 상에 유지될 수 있게 한다. 도 3a는 본 발명의 실시예에 적용되는 메탈 구조물의 초기 상태로서, 예를 들어 15° 내지 25° 범위 내의 상온 상태의 온도인 제1 온도로 설정될 수 있다.
- [0077] 이후, 도 3b에서는 메탈 구조물의 온도를 제1 온도보다 높은 제2 온도로 설정할 수 있으며, 온도가 상승할 경우에는 강자성층(102)과 반강자성층(104)의 반강자성 결합 결합력이 감소할 수 있다. 이때, 제2 온도는 반강자성층(104)에 포함되는 물질에 따라 상이하게 설정될 수 있는데, 예를 들어 반강자성층(104)이 이리듐-망간 합금(IrMn)을 포함하는 경우에는 30° 내지 250° 온도 범위 내의 온도로 제2 온도를 설정할 수 있다.
- [0078] 도 3c에서는 제2 온도로 설정된 메탈 구조물에 대해 전류, 예를 들어 수평 방향의 전류를 인가하여 제1 스커미온(S1)을 제2 영역(B)으로 이동시킬 수 있다. 즉, 제2 온도로 설정된 메탈 구조물은 강자성체(102)와 반강자성체(104) 사이의 접합 계면의 반강자성 결합이 감소하기 때문에, 수평 방향 전류를 인가할 경우에는 제1 스커미온(S1)이 강자성체(102)와 반강자성체(104)의 접합 영역이 아닌 다른 영역, 예컨대 제2 영역(B)으로 이동될 수 있다. 여기서, 수평 전류는, 예를 들어 헤비메탈층(100)에 인가될 수 있으며, 전류를 인가하기 위한 메탈 구조물의 층 구조에 따라 다양하게 적용이 가능함을 주지하여야 할 것이다.
- [0079] 이후, 도 3d에서는 제2 온도로 설정된 메탈 구조물에 대해, 다시 제1 온도로 설정하여 반강자성층(104)에 제2 스커미온(S2)을 형성할 수 있다. 즉, 제2 온도에서 제1 온도로 온도가 감소하게 된 후, 강자성층(102)과 반강자성층(104) 간의 접합 계면에 의해 제2 스커미온(S2)이 형성될 수 있고, 강자성층(102)과 반강자성층(104) 간의 접합 계면의 반강자성 결합의 결합력이 증가하여 반강자성층(104)의 반강자성체 물질이 강자성층(102)의 자화 배열이 변하지 않도록 하여 제2 스커미온(S2)이 반강자성층(104) 상에 유지될 수 있게 한다.
- [0080] 이러한 온도 상승 → 전류 인가 → 온도 감소 등의 과정들을 반복 실시함으로써, 메탈 구조물 상의 제1 영역(A)과 제2 영역(B)에는 복수의 스커미온들이 교번적으로 연속되게 형성될 수 있다.
- [0081] 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물에 대한 사시도이다.

- [0082] 도 4를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예의 메탈 구조물은, 헤비메탈층(100), 헤비메탈층(100) 상에 형성되는 제1 강자성층(102), 제1 강자성층(102) 상에 형성되는 반강자성층(104), 반강자성층(104) 상에 형성되는 제2 강자성층(108)을 포함할 수 있다.
- [0083] 도 4에 도시한 바와 같이, 반강자성층(104)은 제1 강자성층(102)과 반강자성층(104)이 접합되어 있는 제1 영역(A)과, 제1 강자성층(102)과 반강자성층(104)이 접합되어 있지 않는 제2 영역(B)을 포함할 수 있으며, 제1 영역(A)은 원형 또는 다각형 형태를 가질 수 있고, 이는 반강자성층(104)을 강자성층(102) 상에서 원형 또는 다각형 형태로 패터닝함으로써 구현될 수 있다.
- [0084] 이때, 제1 영역(A)은 반강자성층(104)을 사이에 두고 제1 강자성층(102)과 제2 강자성층(108)이 접합되어 있는 영역이며, 이러한 제1 영역(A)에는 제1 온도에서 제1 강자성층(102)과 반강자성층(104)의 접합 계면, 반강자성층(104)과 제2 강자성층(108)의 접합 계면의 반강자성 결합이 형성될 수 있다. 이러한 반강자성 결합에 의해 제1 영역(A)에 형성된 스커미온이 유지될 수 있다.
- [0085] 여기서, 반강자성 결합이라 함은, 반강자성체와 강자성체의 자화 배열이 변하지 않도록 붙잡아 주는 현상을 의미하며, 이러한 반강자성 결합은 온도 변화에 민감한 특성, 예컨대 온도가 상승하면 반강자성 결합의 결합 세기가 감소되는 특성을 지닌다.
- [0086] 예를 들어, 본 발명의 실시예에 따른 메탈 구조물의 제1 강자성층(102)과 제2 강자성층(108)이 서로 다른 방향의 자화 방향을 가지고 있을 때, 제2 강자성층(108)의 자화 방향과 동일한 방향의 자기장을 인가하게 되면, 제1 강자성층(102)의 제2 영역(B)의 자화 방향은 제2 강자성층(108)의 방향과 동일한 방향을 가지나, 제1 영역(A)의 자화 방향은 반강자성 결합에 의해 제2 강자성층(108)의 자화 방향과 반대인 자화 방향을 유지하게 되며, 이로 인하여 스커미온이 형성될 수 있다.
- [0087] 이에 따라, 제1 온도에서는 반강자성 결합에 의해 제1 강자성층(102) 상에 형성된 스커미온을 유지시키고, 제1 온도보다 높은 제2 온도에서는 반강자성 결합의 결합 세기가 감소될 수 있다. 반강자성 결합의 결합 세기가 감소된 상태에서 메탈 구조물에 수평 방향 전류를 인가하게 되면, 제1 강자성층(102) 상에 형성된 스커미온이 반강자성층(104) 이외의 영역, 예컨대 제2 영역(B)으로 용이하게 이동될 수 있는 조건이 될 수 있다.
- [0088] 여기서, 제1 온도는, 예를 들어 15° 내지 25° 범위 내의 상온일 수 있으며, 제2 온도는, 예를 들어 제1 온도보다 높은 30° 내지 350° 범위 내의 온도일 수 있다. 다만, 이러한 제2 온도는 메탈 구조물에 사용되는 물질마다 고유의 범위를 가지기 때문에, 어느 특정 온도범위에 한정될 필요는 없다. 예컨대, 반강자성층(104)이 이리듐-망간 합금(IrMn)을 포함하는 경우의 제2 온도는 30° 내지 250° 온도 범위 내의 온도일 수 있고, 반강자성층(104)이 산화니켈 합금을 포함하는 경우의 제2 온도는 30° 내지 190° 온도 범위 내의 온도일 수 있다.
- [0089] 이와 같이, 메탈 구조물이 제2 온도가 되도록 한 후 전류를 인가하여 제1 강자성층(102)에 존재하던 스커미온이 반강자성층(104) 이외의 영역, 예를 들어 제1 강자성층(102)의 제2 영역(B)으로 이동된 후에는, 다시 메탈 구조물이 제1 온도가 되도록 하여 제1 강자성층(102)과 반강자성층(104), 제2 강자성층(108)의 접합 계면의 반강자성 결합의 결합 세기를 증가시킬 수 있으며, 반강자성 결합의 결합 세기가 증가함에 따라 제1 강자성층(102) 상에 다른 스커미온을 추가적으로 형성할 수 있다.
- [0090] 이러한 온도 상승 → 전류 인가 → 온도 감소 등의 과정들을 반복 실시함으로써, 메탈 구조물 상의 제1 영역(A)과 제2 영역(B)에는 복수의 스커미온들이 교번적으로 연속되게 형성될 수 있다.
- [0091] 한편, 헤비메탈층(100)은 DMI를 형성시켜 스커미온을 안정화시키는 역할을 하며, 헤비메탈층(100) 또는 제1 강자성층(102)에 흐르는 전류에 의해 제1 및 제2 강자성층(102, 108) 상의 스커미온을 가이딩할 수 있는데, 이러한 제1 및 제2 강자성층(102, 108) 상의 스커미온은, 예를 들어 제1 방향(y)을 따라 이동될 수 있다. 이때, 제1 방향(y)은 헤비메탈층(100), 제1 강자성층(102), 반강자성층(104) 및 제2 강자성층(108)의 적층 방향과 수직되는 방향일 수 있으며, 스커미온 형성을 위해서는 이러한 적층 방향과 수직되는 방향으로 자기장을 인가할 수 있다.
- [0092] 여기서, 제1 및 제2 강자성층(102, 108)으로서는, 수직자기 이방성을 위해, 예컨대 CoFe, CoFeB 등과 같은 합금계 자성체 또는 Co₂FeSi, Co₂MnSi 등과 같은 호이슬러 합금계 자성체 등이 사용될 수 있다.
- [0093] 또한, 제1 및 제2 강자성층(102, 108)은, 예컨대 스퍼터링, MBE(molecular beam epitaxy), ALD(atomic layer deposition), PLD(pulse laser deposition), 전자 빔 이베퍼레이터(E-beam evaporator) 등과 같은 공정을 통해

단일층(mono_layer; 계면 DMI를 위한 단일층 구조) 구조 또는 다층 구조로 형성될 수 있다.

- [0094] 여기서, 계면 DMI를 이용하는 경우일 때, 제1 및 제2 강자성층(102, 108)은 단일층 구조로서 그 두께가, 예컨대 수 Å 내지 수 nm의 범위로 될 수 있다.
- [0095] 또한, 반강자성층(104)으로서는, 예컨대 이리듐-망간 합금(IrMn), 코발트-산화니켈 합금(CoNiO), 망간-플래티늄 합금(MnPt), 페로망간(FeMn), 산화코발트(CoO) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0096] 그리고, 헤비메탈층(100)으로는, 예컨대 플래티늄, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 어느 하나 혹은 둘 이상의 혼합물이 사용될 수 있으며, 제1 및 제2 강자성층(102, 108)과 마찬가지로, 예컨대 스퍼터링, MBE, ALD, PLD 전자 빔 이베퍼레이터 등과 같은 공정을 통해 단일층 구조 또는 다층 구조로 형성될 수 있다. 여기에서, 헤비메탈층(100)의 두께는, 예컨대 수 nm 내지 수십 nm의 범위가 될 수 있다.
- [0097] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 메탈 구조물은, 결정성 및 균일성을 증가시켜 계면의 질을 향상시킬 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예에서 헤비메탈층(100)은 제1 강자성층(102)의 하부에서 식각 처리되지 않은 시드 층으로서의 역할을 할 수 있다.
- [0098] 다음에, 상술한 바와 같은 구성을 갖는 본 발명의 실시예의 스커미온 형성을 위한 메탈 구조물을 제조하는 주요 공정들에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0099] 도 5a를 참조하면, 예컨대 스퍼터링, MBE, ALD, PLD, 전자 빔 이베퍼레이터 중 어느 하나를 이용하는 증착 공정을 진행함으로써, 도시 생략된 베이스(예컨대, 웨이퍼 등) 상에 소정의 두께와 소정의 선폭을 갖는 헤비메탈층(100)을 형성한다. 여기서, 헤비메탈층(100)으로는, 예컨대 플래티늄, 탄탈, 이리듐 등이 사용될 수 있으며, 그 두께는, 예컨대 수 nm 내지 수십 nm의 범위가 될 수 있다.
- [0100] 이후, 도 5b에서는 헤비메탈층(100)의 일면에 제1 강자성층(102)을 형성(증착)한다. 여기서, 제1 강자성층(102)은, 예컨대 CoFe, CoFeB 등과 같은 합금계 자성체이거나 혹은 Co₂FeSi, Co₂MnSi 등과 같은 호이슬러 합금계 자성체일 수 있다.
- [0101] 그리고, 제1 강자성층(102)은, 단일층 구조일 때, 예컨대 수 Å 내지 수 nm의 두께 범위를 가질 수 있다.
- [0102] 다시, 스퍼터링, MBE, ALD, PLD, 전자 빔 이베퍼레이터 중 어느 하나를 이용하는 증착 공정을 진행함으로써, 일례로서 제1 강자성층(102)의 일면에 반강자성층(104)을 위한 반강자성체 물질(104a)과 제2 강자성층(108)을 위한 제2 강자성체 물질(108a)을 순차적으로 형성한다. 여기서, 반강자성체 물질(104a)로는, 예컨대 이리듐-망간 합금(IrMn), 코발트-산화니켈 합금(CoNiO), 망간-플래티늄 합금(MnPt), 페로망간(FeMn), 산화코발트(CoO) 중 적어도 하나를 포함하며, 제2 강자성체 물질(108a)로는, 예컨대 이리듐-망간 합금(IrMn), 코발트-산화니켈 합금(CoNiO), 망간-플래티늄 합금(MnPt), 페로망간(FeMn), 산화코발트(CoO) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0103] 이후, 도 5c에서는, 예를 들어 스핀 코팅 등과 같은 공정을 진행하여 제2 강자성체 물질(108a)의 전면에 레지스트 물질, 예를 들어 포토레지스트(106)를 도포한다.
- [0104] 그리고, 도 5d에서는, 예를 들어 포토리소그래피 공정을 진행하여 포토레지스트(106)를 패터닝할 수 있다. 도 5d에서 도면부호 106a는 이와 같이 패터닝 처리된 포토레지스트 패턴을 나타낸다.
- [0105] 이후, 도 5e에서는, 도 5d의 포토레지스트 패턴(106a)을 식각 장벽층으로 하는 식각 공정을 진행하여 제2 강자성체 물질(108a)과 반강자성체 물질(104a)을 선택적으로 제거한다. 도 5e에서 도면부호 108 및 104는 식각 공정에 의해 선택적으로 제거된 제2 강자성층 및 반강자성층을 나타낸다.
- [0106] 마지막으로, 플라즈마 애싱(Plasma ashing) 등과 같은 스트리핑 공정을 진행하여 잔류하는 헤비메탈 물질 상에 있는 포토레지스트 패턴(106a)을 제거함으로써, 도 5f의 단면과 같은 층 구조를 형성할 수 있다.
- [0107] 도 5c 내지 도 5f의 과정들은, 본 발명의 실시예에 따른 메탈 구조물의 패터닝을 위한 실시예일뿐이며, 반드시 포토레지스트를 이용한 포토리소그래피 공정과 같은 패터닝 기법에 국한될 필요는 없다. 예를 들어, 전자빔 레지스트를 이용한 전자빔 리소그래피 공정을 적용하여 메탈 구조물을 패터닝할 수도 있음을 주지할 필요가 있다.
- [0108] 이와 같은 층 구조에서 제2 강자성층(108)과 반강자성층(104)은 제1 강자성층(102)과 접합되어 있는 제1 영역(A)과 제1 강자성층(102)과 접합되어 있지 않는 제2 영역(B)을 포함할 수 있다.
- [0109] 이때, 제1 영역(A)은, 예를 들어 원형 또는 다각형 형태를 가질 수 있으며, 이는 반강자성층(104)을 강자성층(102) 상에서 원형 또는 다각형 형태로 패터닝함으로써 구현될 수 있다.

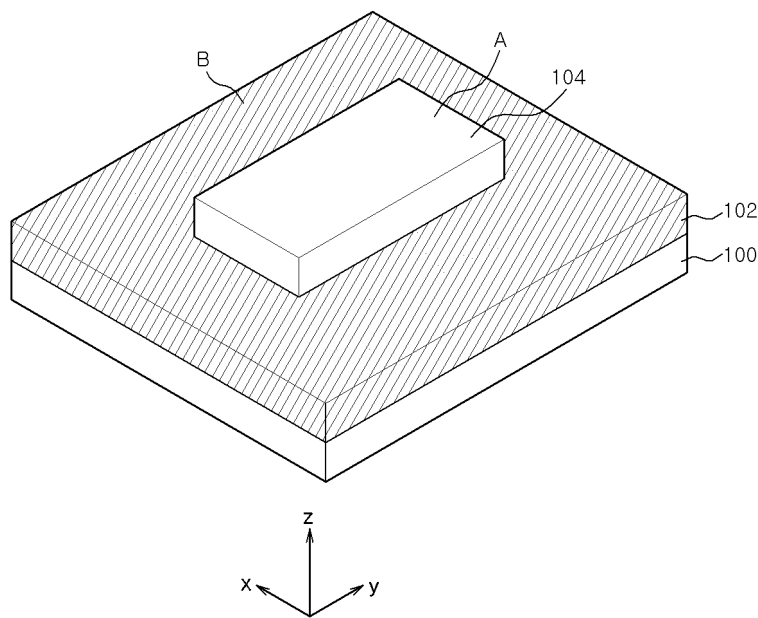
- [0110] 여기서, 제1 영역(A)은 제1 온도에서 제1 강자성층(102)과 반강자성층(104)의 접합 계면, 반강자성층(104)과 제2 강자성층(108)의 반강자성 결합에 의해 스커미온이 형성 및 유지될 수 있으며, 제1 온도보다 높은 제2 온도에 서 메탈 구조물에 수평 방향 전류가 인가되면 제1 영역(A)에 형성된 스커미온이 제2 영역(B)으로 이동될 수 있다.
- [0111] 도 4 및 도 5f에서의 스커미온의 이동 및 형성 과정은 도 3a 내지 도 3d의 스커미온 형성 과정과 동일한 바, 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0112] 이상 설명한 바와 같은 본 발명의 실시예에 의하면, 강자성층과 반강자성층의 접합 계면의 반강자성 결합을 이용하여 스커미온을 안정적으로 형성하고, 헤비메탈층과 강자성층의 접합 계면에 존재하는 DMI와 자기장을 이용하여 자성체 내에 스커미온을 연속적으로 형성하도록 구현한 것이다.
- [0113] 이상의 설명은 본 발명의 기술사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에 서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경 등이 가능함을 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것으로서, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다.
- [0114] 따라서, 본 발명의 보호 범위는 후술되는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

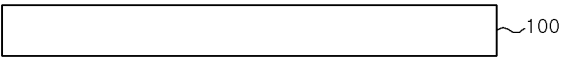
- [0115] 100: 헤비메탈층
102: 강자성층
104: 반강자성층
A: 제1 영역
B: 제2 영역

도면

도면1



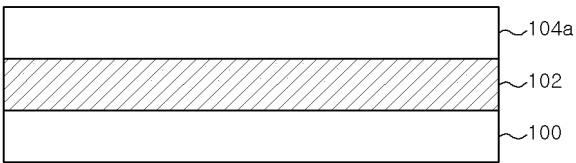
도면2a



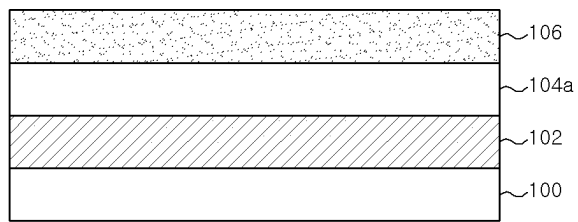
도면2b



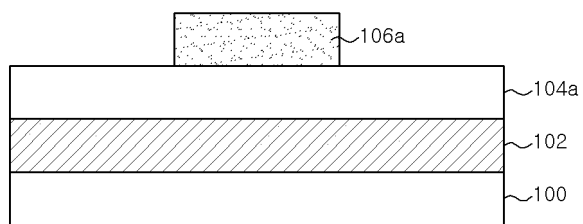
도면2c



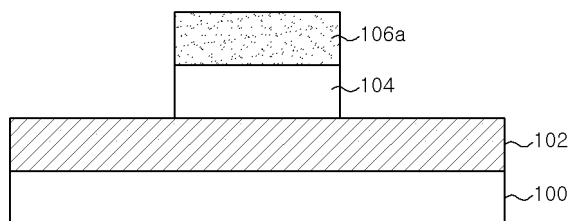
도면2d



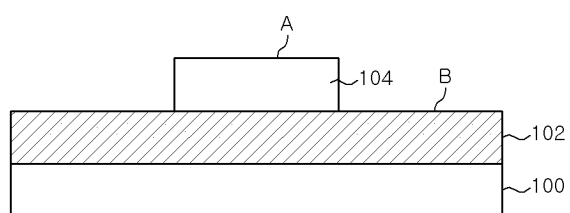
도면2e



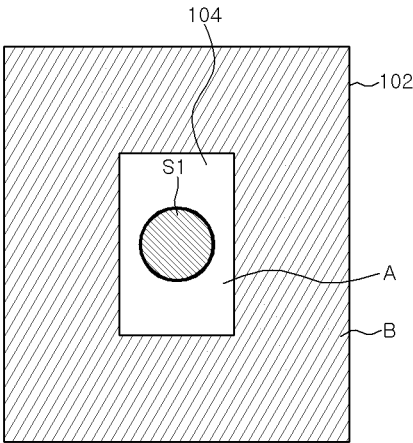
도면2f



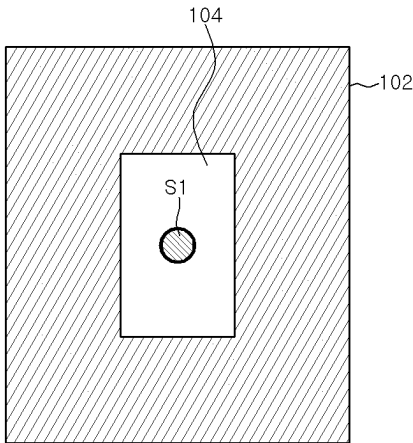
도면2g



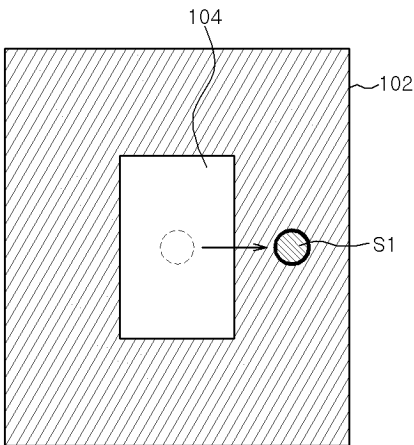
도면3a



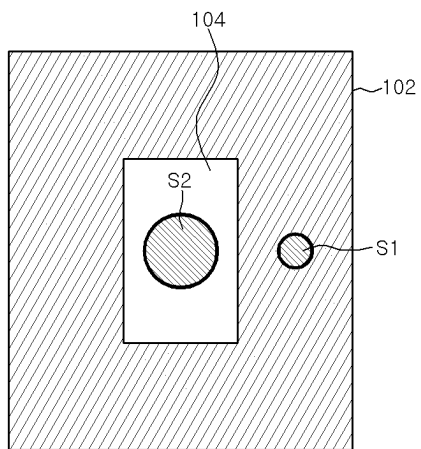
도면3b



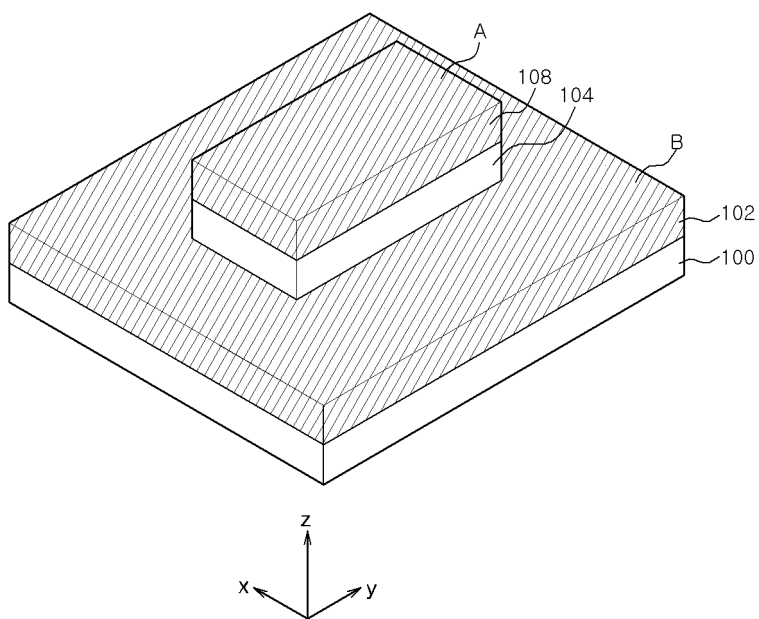
도면3c



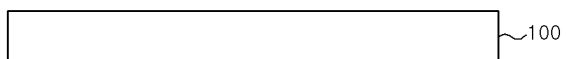
도면3d



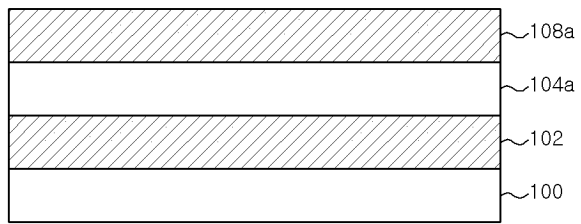
도면4



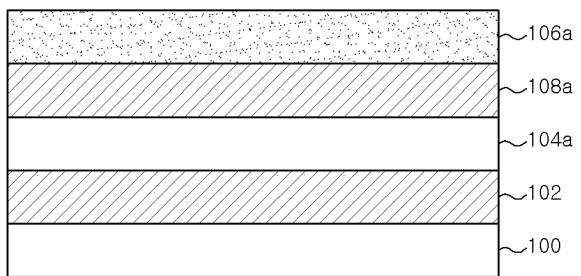
도면5a



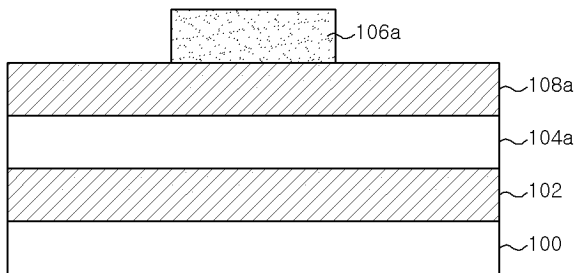
도면5b



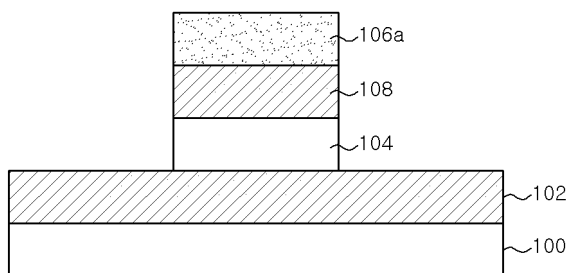
도면5c



도면5d



도면5e



도면5f

