



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년05월22일
(11) 등록번호 10-1738828
(24) 등록일자 2017년05월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 43/12 (2006.01) C22C 19/07 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01) C23C 14/16 (2006.01)
C23C 14/34 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)
H01L 21/203 (2006.01) H01L 21/285 (2006.01)
H01L 43/10 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 43/12 (2013.01)
C22C 19/07 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0170108

(22) 출원일자 2016년12월14일

심사청구일자 2016년12월14일

(56) 선행기술조사문헌

KR101519767 B1
KR1019950006452 A
KR1020080048151 A
KR1020110083403 A

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

김영근

서울특별시 강남구 압구정로61길 37, 72동 1109호

김용진

충청북도 청주시 청원구 내수읍 묵방2가길 6

(74) 대리인

특허법인 누리

전체 청구항 수 : 총 27 항

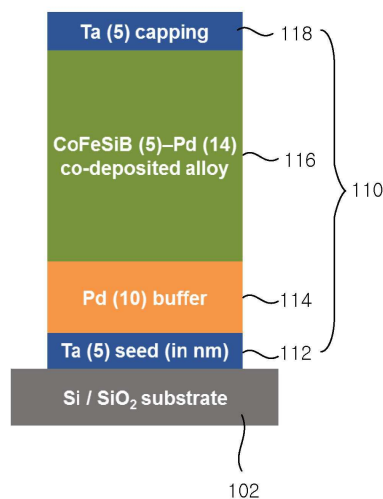
심사관 : 노영철

(54) 발명의 명칭 수직자기이방성을 갖는 합금 박막

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성 합금 박막의 제조 방법은, 진공 챔버 내에서 CoFeSiB 타겟과 Pd 타겟을 동시에 스퍼터링하여 상기 진공 챔버 내에 배치된 기판 상에 CoFeSiB-Pd 합금 박막을 형성하는 단계; 및 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C23C 14/024 (2013.01)
C23C 14/165 (2013.01)
C23C 14/3464 (2013.01)
H01L 21/02631 (2013.01)
H01L 21/203 (2013.01)
H01L 21/2855 (2013.01)
H01L 43/08 (2013.01)
H01L 43/10 (2013.01)
C22C 2202/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2015M3D1A1070465
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	미래소재디스커버리사업
연구과제명	설계기반 Spin-Orbitronics 소재 개발
기 여 율	1/1
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2015.12.04 ~ 2021.12.03
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

진공 챔버 내에서 CoFeSiB 타겟과 Pd 타겟을 동시에 스퍼터링하여 상기 진공 챔버 내에 배치된 기판 상에 CoFeSiB-Pd 합금 박막을 형성하는 단계; 및

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막을 형성하기 전에 버퍼층을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 버퍼층을 형성하기 전에 시드층을 형성하는 단계; 및

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막을 형성한 후에 캐핑층을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 열처리하는 온도는 섭씨 300도 초과 600도 미만인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 상기 CoFeSiB 타겟과 상기 Pd 타겟을 이용하여 DC 스퍼터링 방법에 형성되는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 CoFeSiB 타겟의 조성비는 $\text{Co}_x\text{Fe}_y\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ (atomic %)이고,

$x=70.5\sim 75$, $y=4.5\sim 0$ 인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 7

제5 항에 있어서,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 아르곤 분위기 하에서 1 mTorr 내지 10 mTorr의 분위기 하에서 증착되는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 8

제1 항에 있어서,

CoFeSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1: 7인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd

합금 박막의 제조 방법.

청구항 9

제1 항에 있어서,

상기 수직자기이방성이 발현된 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 각형비는 90% 이상이고,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 포화 자화는 200 emu/cm^3 이상이고,

자기이방성 에너지는 $1.53 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 이상인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 10

진공 챔버 내에서 CoSiB 타겟과 Pd 타겟을 동시에 스퍼터링하여 상기 진공 챔버 내에 배치된 기판 상에 CoSiB-Pd 합금 박막을 형성하는 단계; 및

상기 CoSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하는 단계는 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막을 형성하기 전에 버퍼층을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 버퍼층을 형성하기 전에 시드층을 형성하는 단계; 및

상기 CoSiB-Pd 합금 박막을 형성한 후에 캐핑층을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 13

제10 항에 있어서,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 열처리하는 온도는 섭씨 300도 초과 600도 미만인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 14

제10 항에 있어서,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 상기 CoSiB 타겟과 상기 Pd 타겟을 이용하여 DC 스퍼터링 방법에 형성되는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 15

제14 항에 있어서,

상기 CoSiB 타겟의 조성비는 $\text{Co}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ (atomic %)인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 16

제14 항에 있어서,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 아르곤 분위기 하에서 1 mTorr 내지 10 mTorr의 분위기 하에서 증착되는 것을 특징

으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 17

제1 항에 있어서,

CoSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1:7인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법.

청구항 18

기관 상에 형성된 CoFeSiB-Pd 합금 박막에 있어서,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 비정질 상태로 동시 증착되고, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막에 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하여 다결정 구조로 변경된 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막.

청구항 19

제18 항에 있어서,

상기 수직자기이방성이 발현된 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 각형비는 90% 이상이고,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 포화 자화는 200 emu/cm^3 이상이고,

자기이방성 에너지는 $1.53 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 이상인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막.

청구항 20

제18 항에 있어서,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 두께는 9.5 nm 내지 20 nm이고,

CoFeSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1:7인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막.

청구항 21

제18 항에 있어서,

상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 하부에 버퍼층을 더 포함하고,

상기 버퍼층은 3 nm 이상의 두께의 Pd인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막.

청구항 22

기관 상에 형성된 CoSiB-Pd 합금 박막에 있어서,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 비정질 상태로 동시 증착되고, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막에 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하여 다결정 구조로 변경된 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막.

청구항 23

제22 항에 있어서,

상기 수직자기이방성이 발현된 상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 각형비는 90% 이상이고,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 포화 자화는 200 emu/cm^3 이상인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막.

청구항 24

제22 항에 있어서,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 두께는 9.5 nm 내지 20 nm이고,

CoSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1:7인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막.

청구항 25

제22 항에 있어서,

상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 하부에 버퍼층을 더 포함하고,

상기 버퍼층은 3 nm 이상의 두께의 Pd인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막.

청구항 26

자화 방향이 스위칭되는 자유층과 자화 방향이 고정된 고정층 사이에 개재된 터널절연층을 포함하는 자기터널접합 소자에 있어서,

상기 고정층은:

시드층;

상기 시드층 상에 형성된 버퍼층; 및

상기 버퍼층 상에 형성된 제1 고정층을 포함하고,

상기 제1 고정층은 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 CoSiB-Pd 합금 박막을 포함하고,

상기 제1 고정층의 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 후속 열처리에 의하여 수직자기이방성을 발현하는 것을 특징으로 하는 자기터널접합 소자.

청구항 27

제26 항에 있어서,

상기 고정층은 상기 제1 고정층 상에 배치된 비자성 금속층 및 상기 비자성 금속층 상에 배치된 제2 고정층을 더 포함하고,

상기 제2 고정층은 수직자기이방성을 가진 CoFeB 박막을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기터널접합 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자성 합금 박막에 관한 것으로, 더 구체적으로, 열처리 후 수직자기이방성이 발현되고, 섭씨 500도 정도의 고온열처리에도 수직자기이방성을 유지하는 합금 박막과 이를 이용한 자기 메모리 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기존 메모리를 대체하기 위한 차세대 메모리 중 비휘발성 메모리인 자기 랜덤 액세스 메모리 (magnetic random access memory, MRAM)는 빠른 구동속도, 낮은 구동전압, 높은 정보유지 내구성 등의 장점으로 주목받고 있다.

[0003] 자기 메모리는 기존의 휘발성 소자인 DRAM(Dynamic Random Access Memory)의 고집적도와 SRAM(Static Random Access Memory)의 고속도를 구현할 수 있어, 스마트폰, 컴퓨터 및 네트워크에 사용되는 기존의 메모리의 대체수단으로 부각되고 있다. 또한, 저전력, 비휘발성을 요구하는 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 용 전자제품에 적용하려는 시도가 진행 중이며, 자동차, 로봇 등에 활용가능성이 크다.

[0004] 자기터널접합(magnetic tunnel junction, MTJ)은 MRAM의 핵심 소자이며, 높은 터널자기저항비(tunneling magnetoresistance ratio, TMR), 높은 기록안정성, 낮은 전류밀도, 고집적화를 구현하기 위해 자기터널접합은 필수적으로 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy, PMA)이 구현되어야 한다.

[0005] 자기터널 접합은 기본적으로 강자성체/산화물/강자성체의 3중층 구조로 되어 있으며, 각각 자화 고정층(pinned

layer, PL), 터널 베리어(tunnel barrier, TB), 및 자화 자유층(free layer, FL)을 포함하고, 자유층과 고정층의 위치는 서로 바뀔 수 있다. 터널 베리어를 사이에 두고 이웃한 자유층과 고정층의 스핀 방향이 평행(parallel) 또는 반평행(antiparallel)으로 배열된 상태에 따라서 터널베리어를 통과하는 터널링 전류의 값이 달라지는 성질을 이용하며, 이때의 저항차이를 터널자기저항비(TMR)이라고 한다. 고정층의 스핀 방향은 고정되어 있고, 자유층의 스핀방향을 자기장 또는 전류를 흘려주어 조작함으로써 정보를 입력할 수 있다.

[0006] 여기서 자기터널접합은 터널링 장벽(tunneling barrier)으로서 절연층 (일반적으로 MgO)을 사이에 둔 두 강자성층(ferromagnetic layer)의 샌드위치 형태로 되어 있으며, 전류가 각 층에 수직하게 흐르는 현상을 나타낸다. 여기서 두 강자성층은 기준층으로 작용하는 고정층(pinned layer)과 저장이나 감지의 기능을 하는 자유층(free layer)을 말한다. 전류가 흐를 때, 두 강자성층의 자화 방향이 같으면(parallel) 저항이 작으며 전류의 터널링 확률이 크게 된다. 반면에 두 강자성층의 스핀 방향이 정반대이면(antiparallel), 저항이 크며 전류의 터널링 확률이 작게 된다. 자기메모리의 초고집적화를 위해서는 서브마이크로 미터 단위의 메모리 셀 형성이 필요하다. 이렇게 자기메모리의 고집적화를 위해 자기터널접합의 크기를 감소시키면서 셀의 종횡비(aspect ratio)를 작게 하는 경우에는 자기터널접합의 자성체 내부에서 강한 탈자기장(demagnetization field)에 의한 다자구(multi-domain) 또는 볼텍스(vortex)가 형성되고 이로 인해 불안정한 셀 스위칭 현상이 나타나 기록마진이 떨어지게 된다.

[0007] 큰 종횡비로 셀을 제작하면 이러한 다자구 구조는 형상자기이방성에 의해 발생하지 않지만 고집적화를 이룰 수 없고 큰 스위칭 자기장을 필요로 하게 되어 결과적으로 고집적화를 이룰 수 없다.

[0008] 그래서 개발된 것이 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy, PMA)을 갖는 자기터널접합이다(Naoki Nishimura et al., J. Appl. Phys., vol. 91, p. 5246. 2002). 니시무라 그룹은 수직자기이방성 물질로 잘 알려진 TbFeCo, GdFeCo를 자유층과 고정층으로 사용하여 자기터널접합을 제작하여 자기저항비 55%를 획득하였다. 또한 MFM(magnetic force microscope)을 통해 수직자기이방성 자기터널접합에서 자화 비틀림 현상이 없다는 것을 확인하였다. 그러나 이 실험에서 사용된 Tb, Gd 등은 희토류 금속으로 지구상에서 존재량이 적어 실용화가 불가능하다. 그러므로 수직자기이방성 자기터널접합을 실용화하기 위해서는 새로운 수직자기이방성 물질의 개발이 필요하다.

[0009] 기존에 연구된 수직자기이방성 박막들은 고밀도화에 있어 한계에 부딪칠 수평자기 기록 매체를 대체하기 위하여 개발되었다. 수직자기이방성을 보이는 물질은 CoCr계 합금막, Co/Pt, Co/Pd 다층박막 등으로, 이때 요구되는 물리적 성질은 기록자구의 안정성과 신뢰성을 위하여 수직자기이방성이 크고, 보자력이 높으며, 잔류자화(remanent magnetization) 값이 큰 것을 요구한다.

[0010] 그러나 자기 메모리는 빠른 스위칭과 저전력 동작이 요구되며, 이에 따라 낮은 보자력(coercivity)과 재생 마진(reading margin) 증진을 위한 높은 자기이방성이 요구된다. 또한, 잔류자화(remanent magnetization) 값이 포화자화(saturation magnetization) 값과 유사하며, 동시에 낮은 값을 유지하는 것이 전류소모를 줄이는 데 필요하다.

[0011] 수직자기이방성을 갖는 자기터널접합을 간편하게 pMTJ(perpendicular magnetic tunnel junction)라고 칭한다. pMTJ의 낮은 보자력과 높은 자기이방성을 갖는 수직자기이방성 박막이 요구된다. 한편, pMTJ의 고정층으로 사용하기 위하여, 높은 보자력, 높은 열안정성을 위하여 높은 수직자기이방성 박막을 요구한다.

[0012] 일반적으로 자기터널접합은 스퍼터링(sputtering), 분자선 에피택시(MBE: molecular beam epitaxy) 등의 증착 방법을 이용해서 제작한다. 하지만 수직자기이방성이 나타나는 재료들은 한정되어 있고, 증착된 막의 미세구조 및 계면 변화에 큰 영향을 받는다. 특히 반도체 공정 중 후공정(back-end-of-line, BEOL) 시 필요한 높은 온도(통상 400°C 이상)에서 수직자기이방성 특성을 유지하는 것이 중요한 기술적 문제이다.

[0013] 다층 박막은 수직자기이방성을 가지는 범위 내에서 손쉽게 구조적인 변화를 줄 수 있다. 이를 통해 자기적 특성에도 변화를 줄 수 있다는 장점을 가진다. 그러나, 기존 다층 박막의 치명적인 단점은 섭씨 250도 정도의 후속 열처리 후 수직자기이방성이 약해지는 문제점이 있다. 현재, 섭씨 400도 이상의 열처리 온도에서도 강한 수직자기이방성을 유지하는 새로운 자유층 또는 고정층 용 자성 재료가 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 고온 열처리 후에도 수직자기이방성을 유지하는 자기터널접합에 필요한 자성층을 제공하는데 있다.
- [0015] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 기존에 사용되던 다층박막 자성층을 보다 간단한 방법인 동시증착법 (co-deposition)을 합금 박막 증착에 이용해 공정 과정을 단축하는데 있다.
- [0016] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법은, 진공 챔버 내에서 CoFeSiB 타겟과 Pd 타겟을 동시에 스퍼터링하여 상기 진공 챔버 내에 배치된 기판 상에 CoFeSiB-Pd 합금 박막을 형성하는 단계; 및 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하는 단계를 포함한다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막을 형성하기 전에 버퍼층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 버퍼층을 형성하기 전에 시드층을 형성하는 단계; 및 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막을 형성한 후에 캐핑층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 열처리하는 온도는 섭씨 300도 초과 600도 미만일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 상기 CoFeSiB 타겟과 상기 Pd 타겟을 이용하여 DC 스퍼터링 방법에 형성될 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoFeSiB 타겟의 조성비는 $\text{Co}_x\text{Fe}_y\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ (atomic %)이고, $x=70.5\sim75$, $y=4.5\sim0$ 일 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 아르곤 분위기 하에서 1 mTorr 내지 10 mTorr의 분위기 하에서 증착될 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 있어서, CoFeSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1: 7일 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 수직자기이방성이 발현된 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 각형비는 90% 이상이고, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 포화 자화는 200 emu/cm^3 이상이고, 자기이방성 에너지는 $1.53 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 이상일 수 있다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막의 제조 방법은, 진공 챔버 내에서 CoSiB 타겟과 Pd 타겟을 동시에 스퍼터링하여 상기 진공 챔버 내에 배치된 기판 상에 CoSiB-Pd 합금 박막을 형성하는 단계; 및 상기 CoSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하는 단계는 포함한다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막을 형성하기 전에 버퍼층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 버퍼층을 형성하기 전에 시드층을 형성하는 단계; 및 상기 CoSiB-Pd 합금 박막을 형성한 후에 캐핑층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 열처리하는 온도는 섭씨 300도 초과 600도 미만일 수 있다.
- [0030] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 상기 CoSiB 타겟과 상기 Pd 타겟을 이용하여 DC 스퍼터링 방법에 형성될 수 있다.
- [0031] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoSiB 타겟의 조성비는 $\text{Co}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ (atomic %)일 수 있다.
- [0032] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 아르곤 분위기 하에서 1 mTorr 내지 10 mTorr의 분

위기 하에서 증착될 수 있다.

- [0033] 본 발명의 일 실시예에 있어서, CoSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1:7일 수 있다.
- [0034] 본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성을 갖는 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 기판 상에 형성된다. 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 비정질 상태로 동시 증착되고, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막에 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하여 다결정 구조로 변경된다.
- [0035] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 수직자기이방성이 발현된 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 각형비는 90% 이상이고, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 포화 자화는 200 emu/cm^3 이상이고, 자기이방성 에너지는 $1.53 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 이상일 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 두께는 9.5 nm 내지 20 nm이고, CoFeSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1:7일 수 있다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 하부에 버퍼층을 더 포함하고, 상기 버퍼층은 3 nm 이상의 두께의 Pd일 수 있다.
- [0038] 본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성을 갖는 CoSiB-Pd 합금 박막은 기판 상에 형성된다. 상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 비정질 상태로 동시 증착되고, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막에 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하여 다결정 구조로 변경된다.
- [0039] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 수직자기이방성이 발현된 상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 각형비는 90% 이상이고, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 포화 자화는 200 emu/cm^3 이상일 수 있다.
- [0040] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 두께는 9.5 nm 내지 20 nm이고, CoSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1:7일 수 있다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막의 하부에 버퍼층을 더 포함하고, 상기 버퍼층은 3 nm 이상의 두께의 Pd일 수 있다.
- [0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기터널접합은 자화 방향이 스위칭되는 자유층과 자화 방향이 고정된 고정층 사이에 개재된 터널절연층을 포함한다. 상기 고정층은, 시드층; 상기 시드층 상에 형성된 버퍼층; 및 상기 버퍼층 상에 형성된 제1 고정층을 포함한다. 상기 제1 고정층은 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 CoSiB-Pd 합금 박막을 포함하고, 상기 제1 고정층의 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 후속 열처리에 의하여 수직자기이방성을 발현한다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 고정층은 상기 제1 고정층 상에 배치된 비자성 금속층 및 상기 비자성 금속층 상에 배치된 제2 고정층을 더 포함할 수 있다. 상기 제2 고정층은 수직자기이방성을 가진 CoFeB 박막을 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0044] 본 발명의 일 실시예에 따른 자성층은 CoFeSiB-Pd 합금박막을 이용하여 용이하게 수직자기이방성을 구현할 수 있다. CoFeSiB-Pd 합금박막은 열처리 후 수직자기이방성을 발현하며, 높은 각형비, 높은 수직 이방성 에너지, 열처리 온도에 상관없이 일정한 포화 자화를 보인다.

도면의 간단한 설명

- [0045] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성 합금 박막을 설명하는 단면이다.
- 도 2는 진동시편자력계(vibrating sample magnetometer, VSM)로 측정한 열처리 온도에 따른 자기이력(magnetic hysteresis) 곡선이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 합금 박막의 열처리 온도에 따른 자기적 특성을 나타낸다.
- 도 4는 투과전자현미경(transmission electron microscope, TEM)을 이용해서 얻은 박막시편의 단면 사진이다.
- 도 5는 이차이온질량분석법(secondary ion mass spectroscopy, SIMS)을 이용해 측정한 열처리 온도에 따른 깊이 방향 원소분석 결과이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 합금 박막의 X-선 회절(X-ray diffraction) 패턴들이다.

도 7은 Pd 버퍼층의 두께에 따른 합금박막의 자기이력 곡선을 나타낸다.

도 8은 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 두께에 따른 자기이력 곡선을 나타낸다.

도 9a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 수직자기이방성 박막을 설명하는 개념도이다.

도 9b는 도 9a의 수직자기이방성 박막의 자기이력 곡선을 나타낸다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 나타내는 개념도이다.

도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 나타내는 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0046] 자기터널접합은 높은 비트 안정성(high bit stability)을 가진 저전류 밀도 동작(low-current-density operation)을 가능하게 한다. 따라서, 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy; PMA)을 가진 자기 터널접합(magnetic tunnel junction; MTJ)은 비휘발성 자기 랜덤 액세스 메모리에 사용될 수 있다.
- [0047] pMTJ(PMA를 기본으로 하는 MTJ 소자)는 통상적으로 100% 이상의 TMR, 60 이상의 기록 안정성, 그리고 자화 반전에 필요한 낮은 임계전류를 요구한다.
- [0048] 또한, 자기터널 접합은 섭씨 450도 까지의 높은 온도를 포함하는 BEOL(back-end-of-line) 집적회로 공정을 견디어야 한다. 따라서, 고온 노출에서 수직자기이방성의 열화(degradation)는 문제점이다. 따라서, 수직자기이방성을 비롯하여 원하는 자기적 성질을 유지하면서 고온 열처리를 견딜 수 있는 물질의 탐색이 중요하다.
- [0049] 통상적으로 다층 박막 구조는 열처리 전에 수직자기이방성을 나타내지만 후공정 내열성을 확보하기 위하여, 증착 후 열처리를 수행한 후에도 수직자기이방성을 계속 유지하는 것이 관건이다.
- [0050] TbFeCo 그리고 GdFeCo와 같은 희토류 전이금속 합금(rare-earth transition-metal alloys)을 포함하는 몇몇의 강자성 물질 시스템은 수직자기이방성 특성을 나타낸다.
- [0051] 그러나, 이들 합금을 포함하는 자기터널접합은 섭씨 200도 이상의 증착 후 열처리(post-deposition annealing) 후에 수직자기이방성을 상실한다.
- [0052] 다른 시스템은 FePd 또는 FePt와 같은 $L1_0$ 규칙합금($L1_0$ ordered alloys)을 포함한다. 이러한 합금은 $\sim 10^7$ erg/cm³의 큰 일축 이방성 상수(uniaxial anisotropy constants; K_u)를 제공한다. 그러나, 이러한 규칙합금은 박막 증착 중 섭씨 500도 초과와 고온 처리를 요구하기 때문에 화학적 규칙도(chemical ordering)를 달성하기 어렵다.
- [0053] 수직자기이방성을 갖는 다른 시스템으로는 Co/Pd, Co/Pt, CoFe/Pd, 또는 CoFe/Pt와 같이 잘 알려진 코발트에 기초한 다층박막이 있다. 여기서, 포화 자화(saturation magnetization; M_s) 그리고 일축 이방성 상수 (K_u) 과 같은 중요한 자기 성질은 강자성층 및 비자성층의 두께 그리고 이중층(bilayer)의 개수를 변경하여 조절될 수 있다.
- [0054] 코발트에 기초한 다층 박막을 구성하는 고정층(pinned layers)의 두께는 5 nm 내지 20 nm 의 범위에 있다. 한편, 이중층 반복의 개수(n)는 5 내지 10에서 가변될 수 있다. Co/Pd 다층 박막에 대하여, 수직자기이방성의 원인은 계면에서 낮아진 대칭성(lowered symmetry)에 기인하거나 또는 강자성층과 비자성층 사이의 응력 계면 합금화(stressed interfacial alloying)에 기인하는 계면 효과로 알려져 있다.
- [0055] 추가적으로, Co/Pd 계면에서 Co-Pd 상호확산(interdiffusion) 또는 Pd 확산에 기인하여, 수직자기이방성은 코발트에 기초한 다층 박막에서 섭씨 300도 이상의 열처리에서 열화되는 것으로 알려져 있다. 기존 MTJ에 사용하던 수직자기이방성 재료들은 증착된 막의 미세구조 및 계면 변화에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다
- [0056] 본 발명에서, 우리는 CoFeSiB-Pd 합금 박막(또는 CoSiB-Pd 합금 박막)에서 수직자기이방성 특성을 조사하였다. CoFeSiB-Pd 합금 박막(또는 CoSiB-Pd 합금 박막)은 동시 증착에 의하여 준비되고, 섭씨 500도 까지의 온도에서 열처리한 후에도 수직자기이방성을 발현하였다. 동시 증착에 의하여 준비된 CoFeSiB-Pd 합금 박막은(또는 CoSiB-Pd 합금 박막) 다층 박막을 형성하는 시간을 감소시켜 생산성을 향상시킬 수 있다.

- [0057] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 박막 증착 시에는 수직자기이방성을 가지는 발현하지 않으나, 증착 후 열처리 공정을 통하여 수직자기이방성을 발현하는 새로운 자기 박막을 제안한다. 이 자기 박막은 다층 박막을 형성하기 위하여 정밀한 박막 두께 및 조성비를 제어하고 복잡한 공정 구조 및 공정 시간을 요구하는 종래의 다층 박막 구조에 비하여 현저한 경제적 효과를 유발한다. 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막(또는 CoSiB-Pd 합금 박막)이 형성된 기판을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리는 독립적으로 수행되거나, 자기터널접합에 필요한 다른 박막을 형성한 후 수반되는 열처리로 대체되어 공정 단계를 감소시킬 수 있다. 열처리에 의하여 발현되는 합금 박막은 자기터널 접합의 고정층 또는 자유층으로 사용될 수 있다.
- [0058] 본 발명의 일 실시예에 따른 합금 박막은 높은 터널자기저항(TMR) 값을 유발하는 CoFeB(자유층)/MgO(터널층)/CoFeB(고정층) 구조의 자기터널 접합에 적용될 수 있다. 구체적으로, Pd/CoFeSiB-Pd/W(또는 Ta)/CoFeB/MgO(터널층)/CoFeB/W(또는 Ta)/CoFeSiB-Pd에 적용될 수 있다. 이에 따라, 높은 TMR 값을 가지면서, 섭씨 400도 수준의 높은 열처리 안정성이 확보될 수 있다.
- [0059] 이하 본 발명에 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예와 결과 등에 대해 설명하고자 한다. 이하의 실시예와 결과는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 또한 설명의 편의를 위하여 도면에서는 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다.
- [0060] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성 합금 박막을 설명하는 단면이다.
- [0061] 도 1을 참조하면, 수직자기이방성 합금 박막(110)의 제조 방법은, 진공 챔버 내에서 CoFeSiB 타겟과 Pd 타겟을 동시에 스퍼터링하여 상기 진공 챔버 내에 배치된 기판 상에 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)을 형성하는 단계; 및 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)이 형성된 기판(102)을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하는 단계를 포함한다.
- [0062] 기판(102) 상에 차례로 시드층(112), 버퍼층(114), CoFeSiB-Pd 합금 박막(116), 및 덮개층(118)이 적층될 수 있다. 상기 시드층(112)은 5 nm의 Ta이고, 상기 버퍼층(114)은 10 nm의 Pd이고, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 19 nm의 CoFeSiB-Pd 합금이다. 또한, 캐핑층(118)은 5 nm의 Ta일 수 있다.
- [0063] 본 발명의 일 실시예에 따른 수직자기이방성 박막 시편은 다음과 같이 준비되었다. 상기 수직자기이방성 박막(110)은 실리콘 기판/실리콘 산화막/Ta 5/Pd 10/[CoFeSiB 5-Pd 14]/Ta 5 (두께 단위: nm) 이다. 실리콘 기판은 단결정이며, 실리콘 산화막은 기판 상에 형성된 300 nm 두께의 실리콘 산화층이고, Ta는 시드층(seed layer)이고, Pd는 버퍼층이다. 다른 Ta 층은 캐핑층(capping layer)이다. CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 동시 증착법을 이용한 합금 박막이다. 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 5 nm 두께에 대응하는 CoFeSiB와 14 nm 두께에 대응하는 Pd가 동시 증착하여 형성된다. 이에 따라, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)의 총 두께는 19 nm이다.
- [0064] 본 발명의 일 실시예에 따르면, [CoFeSiB 5-Pd 14] 합금 박막은 직류(DC) 마그네트론 스퍼터링 방법에 의하여 형성된다. 마그네트론 스퍼터링 장치는 5×10^{-9} Torr 미만의 초기 압력(base pressure)을 가진다. 박막의 두께는 증착 시간과 스퍼터링 파워를 통하여 조절될 수 있다. 마그네트론 스퍼터링 장치는 CoFeSiB 타겟과 Pd 타겟을 구비한다. 상기 CoFeSiB 타겟에 인가되는 스퍼터링 파워와 상기 Pd 타겟에 인가되는 스퍼터링 파워를 조절하여, [CoFeSiB 5-Pd 14] 합금 박막을 동시에 형성한다. 상기 CoFeSiB 타겟의 조성비는 $\text{Co}_{70.5}\text{Fe}_{4.5}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ 이다 (숫자는 atomic percent). [CoFeSiB5-Pd14] 합금 박막은 증착 시 상온에서는 수직자기이방성을 나타내지 않는다.
- [0065] 예들 들어, 박막 증착을 위하여, DC 파워 밀도(power density)는 2.5 W/cm^2 이고, 순수한 아르곤 압력이 약 2 mTorr로 유지될 수 있다. CoFeSiB와 Pd의 증착속도는 각각 0.0298과 0.127 nm/s일 수 있다. 타겟에 인가되는 파워를 조절하여 증착속도를 제어할 수 있다. 박막의 구조는 Si/SiO₂/Ta (seed layer) 5/Pd (buffer layer) 10/[CoFeSiB 5-Pd 14]/Ta (capping layer) 5 (단위: nm)이다. 상기 시드층은 Ta이고, 접착층(adhesion layer)으로 기능한다. 상기 캐핑층은 Ta이고, 보호층으로 기능한다. 증착된 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 비정질 상태이고, 수직자기이방성을 나타내지 않는다. 증착된 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 후속 열처리에 의하여 다결정 상태로 변환되어 수직자기이방성을 발현한다.
- [0066] [박막의 증착 후 열처리]
- [0067] 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)을 형성한 후, 이 실리콘 기판(102)은 열처리로에서 열처리되었다. 시료들은 박막 증착 후에는 섭씨 300도, 섭씨 400도, 그리고 섭씨 500도의 온도에서 각각 1시간 동안 열처리되었다. 열처리

시, 초기 진공은 10^{-6} Torr 대역이며, 6 kOe의 외부자기장을 인가하며 1시간 동안 진행하였다. 상기 후속 열처리 후, 상기 [CoFeSiB 5- Pd 14] 합금 박막(116)은 수직자기이방성을 발현하였다.

[0068] 도 2는 진동시편자력계(vibrating sample magnetometer, VSM)로 측정한 열처리 온도에 따른 자기이력(magnetic hysteresis) 곡선이다.

[0069] 도 2를 참조하면, 제1 시료는 Ta/Pd 10 nm/[CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm]/Ta 구조이다. 제1 시료는 본 발명의 일 실시예에 따른 동시증착법을 이용하여 형성되었으며, 제1 시료의 CoFeSiB-Pd 합금 박막은 상온에서 열처리 전에는 수직자기이방성을 띄지 않았다. 그러나, 제1 시료는 섭씨 400도 및 섭씨 500도의 열처리가 진행된 후에 수직자기이방성이 강하게 나타났다.

[0070] 제1 시료는 증착 시 낮은 보자력을 나타내며, 섭씨 300도 1시간 열처리 시 약 3 kOe의 보자력을 보이며, 섭씨 500도 시간 열처리 시 약 5 kOe의 보자력을 보인다.

[0071] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 합금 박막의 열처리 온도에 따른 자기적 특성을 나타낸다.

[0072] 도 3(a)를 참조하면, 섭씨 400도 이상의 열처리를 할 경우 각형비(squareness)가 90%를 넘었으며, 섭씨 500도 열처리 이후에도 이를 유지하였다. 각형비(squareness)는 포화자화(M_s)에 대한 잔류자화(M_r)의 비(M_r/M_s)로 주어진다.

[0073] 도 3(b)를 참조하면, 열처리 온도에 관계없이 대략 300 emu/cm^3 의 포화자화 값을 유지하였다.

[0074] 도 3(c)를 참조하면, 유효 일축 자기이방성 에너지($K_{u,eff}$)가 열처리 온도가 증가함에 따라 함께 증가하였으며, 섭씨 500도 열처리 이후 $1.53 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 을 나타냈다. 포화자화는 시드층(112), Pb 버퍼층(114), 캐핑층(118)을 제외한 합금 박막(116)의 부피를 이용하여 계산되었다.

[0075] 도 3(d)를 참조하면, 보자력(H_c)은 섭씨 400도 열처리 시 급격하게 증가하였으며, 섭씨 500도 열처리 이후 4700 Oe를 보였다. 이와 같은 자기적 특성에 기초하여, CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 자기터널 접합의 고정층으로 사용될 수 있다. 섭씨 300도 초과 섭씨 600도 미만의 1시간 이상의 열처리를 수행한 경우, CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 수직자기이방성 특성을 나타낸다. 3 kOe 이상의 높은 보자력과 약 300 emu/cm^3 일정한 포화자화, 약 $1.53 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 수준의 높은 자기 이방성 에너지를 보인다. 보자력의 변화는 박막의 미세구조가 열처리 진행 시 변화된 것에 기인한 것으로 예측된다. CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)은 자기 터널 접합의 고정층으로 사용될 수 있다.

[0076] 도 4는 투과전자현미경(transmission electron microscope;TEM)을 이용해서 얻은 박막시편의 단면 사진이다.

[0077] 도 4(a)는 열처리 전, 도 4(b)는 섭씨 500도 열처리 후의 사진이다. 이를 통해 비정질 구조에서 열처리 후 다결정 구조로 변하는 것을 확인할 수 있다. 열처리 전에는 흐릿한 링 형태의 FFT(Fast Fourier Transformed) 회절 패턴을 통해 비정질 상인 것으로 확인된다. 섭씨 500도 열처리 후, 합금 박막과 버퍼층 사이에 상호 확산이 발생한다.

[0078] 도 5는 이차이온질량분석법(secondary ion mass spectroscopy, SIMS)을 이용해 측정한 열처리 온도에 따른 깊이 방향 원소분석 결과이다.

[0079] 도 5를 참조하면, 박막의 원소별 깊이 프로파일(elemental depth profile)은 Cs^+ 이온(ions)을 사용한 이차이온 질량분석법에 의하여 측정되었다.

[0080] 열처리 전 CoFeSiB-Pd 합금 박막과 버퍼층이 뚜렷하게 구분되며, 열처리가 진행될수록 버퍼층의 Pd 원소들이 CoFeSiB-Pd 합금 박막으로 확산되는 것을 확인할 수 있다. 대부분의 B 원소는 섭씨 300도의 열처리를 할 경우 버퍼층으로 이동했으며, 섭씨 500도의 열처리에서 캐핑층(118)과 시드층(112)으로 이동한다.

[0081] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 합금 박막의 X-선 회절(X-ray diffraction) 패턴들이다.

[0082] 도 6을 참조하면, 열처리 후 CoPd 계열의 합금 내지 금속간화합물이 생성된 것을 확인할 수 있다. 버퍼층인 Pd (111) 층 내로 B(보론)이 확산되어 Pd 격자가 팽창됨을 알 수 있다. 열처리 전에는 수직자기이방성이 발현되지 않으나, 고온 열처리 이후에는 CoPd 계 합금 내지 금속간화합물(intermetallic compound)이 형성되어 수직자기

이방성이 유지되는 것으로 판단된다. 열처리 전 증착된 상태에서 40.51° 의 피크는 면심입방정(face-centered cubic, *fcc*) (111)-Pd에 기인한다. Pd 피크는 동시-증착된 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 격자 변형에 기인하여 *fcc* (111)-Pd (JCPDS No. 07-0645)에 비하여 약간 높은 각도를 가진다. 섭씨 300도 열처리 후, Pd 피크는 2개로 갈라진다. 버퍼층의 피크 위치는 열처리 동안의 B 확산에 기인하여 낮은 각도로 이동한다. Pd 매트릭스에서 틸새(interstitial) B 원자들로 추정된 조성(composition)은 5 at.% 내지 6 at.%이다.

- [0083] 섭씨 500도 열처리 후의 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 XRD 피크 위치는 41.3° 이다. 이 피크는 (111) 방향으로 정렬된(oriented) CoPd (41.0°) 그리고 CoPd₃ (40.9°)의 피크들과 매우 가깝다.
- [0084] 합금 박막의 두 개의 주 구성요소인 Co와 Pd의 조성은 각각 19와 81 at.%이다. 비록, CoFeSiB-Pd 합금은 순수한 이종 Co-Pd 시스템은 아니지만, 주 구성요소는 Co와 Pd이고, 다른 구성요소의 양은 작다. 따라서, 열처리 후 형성된 합금은 Pd-rich Co-Pd 합금으로 취급될 수 있다. 고온 열처리 후에 동시 증착된 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 수직자기이방성의 주요 원인은 벌크 효과(bulk effect)에 기인한다고 추정된다.
- [0085] 도 7은 Pd 버퍼층의 두께에 따른 합금박막의 자기이력 곡선을 나타낸다.
- [0086] 도 7을 참조하면, (a)는 버퍼층의 두께가 3 nm의 Pd이고, (b)는 버퍼층이 없는 경우이다. 수직자기이방성 특성에서 주목할 만한 변화는 버퍼층(114)이 10 nm에서 5 nm로 감소한 경우에도 관측되지 않았다. 그러나, 버퍼층(114)이 3 nm로 감소한 경우, 자기 특성이 현저히 변경되었다. 제2 시료는 Ta/Pd 3 nm/[CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm]/Ta 구조이다. 제3 시료는 Ta/Pd 0 nm/[CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm]/Ta 구조이다.
- [0087] 상기 제2 시료는 열처리 후 충분한 보자력을 나타내지 못한다. 또한, 제3 시료는 수직자기이방성을 완전히 상실하였다. 따라서, [CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm] 합금 박막이 자기터널 접합의 자성층으로 사용하기 위하여 적어도 3 nm 이상의 Pd 버퍼층을 가질 필요가 있다.
- [0088] 도 8은 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 두께에 따른 자기이력 곡선을 나타낸다.
- [0089] 도 8을 참조하면, (a)는 Ta/Pd 10/[CoFeSiB 2.5-Pd 7]/Ta 구조의 자기이력 곡선이며, (b)는 Ta/Pd 10/[CoFeSiB 1.5-Pd 4.2]/Ta 구조의 자기이력 곡선이다. (a)의 경우, CoFeSiB-Pd 합금 박막은 2.5 nm 두께에 대응하는 CoFeSiB와 7 nm 두께에 대응하는 Pd를 동시 증착법에 의하여 형성되어, 총 9.5 nm의 두께를 가진다. 이 경우, 섭씨 400도 열처리 후, 수직자기이방성을 나타낸다. 그러나, 열처리 온도에 따른 포화자화 값이 변동되어 양호한 자기 특성을 나타내지 않는다.
- [0090] (b)의 경우, CoFeSiB-Pd 합금 박막은 1.5 nm 두께에 대응하는 CoFeSiB와 4.2 nm 두께에 대응하는 Pd를 동시 증착법에 의하여 형성되어, 총 6.7 nm의 두께를 가진다. 그러나, 열처리 온도에 따른 포화 자화의 값이 변동되어 양호한 자기 특성을 나타내지 않는다.
- [0091] 따라서, 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막(116)의 두께는 안정적인 자기 특성을 위하여 9.5 nm 내지 20 nm인 것이 바람직할 수 있다. 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 두께가 너무 얇으면 자기 특성을 상실할 수 있다. 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막의 두께가 너무 두꺼우면, 보자력 및 포화자화가 지나치게 증가될 수 있다.
- [0092] 또한, Pd의 비율이 CoFeSiB에 대비하여 증가하면 포화자화가 감소하고, 보자력이 감소할 수 있다. CoFeSiB과 Pd 증착률은 1:1.6 내지 1: 7일 수 있다. 적절한 보자력, 포화자화, 각형비, 또는 수직자기이방성 에너지를 달성하기 위하여, 합금 박막의 두께 및 CoFeSiB과 Pd의 조성비가 선택될 수 있다.
- [0093] 도 9a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 수직자기이방성 박막을 설명하는 개념도이다.
- [0094] 도 9b는 도 9a의 수직자기이방성 박막의 자기이력 곡선을 나타낸다.
- [0095] 도 9a 및 도 9b를 참조하면, 수직자기이방성 박막(110a)은 기판(102) 상에 차례로 시드층(112), 버퍼층(114), CoSiB-Pd 합금 박막(116a), 및 덮개층(118)을 포함할 수 있다. 상기 시드층(112)은 5 nm의 Ta이고, 상기 버퍼층(114)은 10 nm의 Pd이고, 상기 CoSiB-Pd 합금 박막(116a)은 19 nm의 CoSiB-Pd 합금이다. 또한, 캐핑층(118)은 5 nm의 Ta일 수 있다.
- [0096] 수직자기이방성 합금 박막의 제조 방법은 진공 챔버 내에서 CoSiB 타겟과 Pd 타겟을 동시에 스퍼터링하여 상기 진공 챔버 내에 배치된 기판(102) 상에 CoSiB-Pd 합금 박막을 형성하는 단계; 및 상기 CoSiB-Pd 합금 박막(116a)이 형성된 기판(102)을 수직자기이방성을 발현시키기 위하여 열처리하는 단계는 포함할 수 있다. 상기 CoSiB-Pd 합금 박막(116a)을 형성하기 전에 버퍼층(114)이 형성될 수 있다. 상기 버퍼층(114)을 형성하기 전에 시드층(112)을 형성하는 단계; 및 상기 CoSiB-Pd 합금 박막(116a)을 형성한 후에 캐핑층(118)을 형성할 수

있다. 상기 CoSiB-Pd 합금 박막이 형성된 기판을 열처리하는 온도는 섭씨 300도 초과 600도 미만일 수 있다. 상기 CoSiB-Pd 합금 박막(114a)은 상기 CoSiB 타겟과 상기 Pd 타겟을 이용하여 DC 스퍼터링 방법에 형성될 수 있다. 상기 CoSiB 타겟의 조성비는 $\text{Co}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ (atomic %)일 수 있다. 상기 CoSiB-Pd 합금 박막(116a)은 아르곤 분위기 하에서 1 mTorr 내지 10 mTorr 의 분위기 하에서 증착될 수 있다. CoSiB과 Pd가 차지하는 부피 비는 1:1.6 내지 1:7일 수 있다.

[0097] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 나타내는 개념도이다.

[0098] 도 10을 참조하면, 자기 메모리 소자(200)는 선택 트랜지스터(104)와 자기 터널접합(201)을 포함할 수 있다. 상기 자기터널접합(201)은 자화 방향이 스위칭되는 자유층(230)과 자화 방향이 고정된 고정층(210) 사이에 개재된 터널절연층(220)을 포함할 수 있다. 상기 고정층(210)은, 시드층(212); 상기 시드층 상에 형성된 버퍼층(214); 및 상기 버퍼층 상에 형성된 제1 고정층(216)을 포함할 수 있다. 상기 제1 고정층(216)은 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 CoSiB-Pd 합금 박막을 포함할 수 있다. 상기 제1 고정층(216)의 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 후속 열처리에 의하여 수직자기이방성을 발현할 수 있다.

[0099] 선택 트랜지스터(104)는 기판 상에 배치된 게이트 절연막(104b) 및 상기 게이트 절연막(104b) 상에 배치된 게이트 전극(104c), 및 상기 게이트 절연막의 양측에 배치된 불순물 영역(104a)을 포함할 수 있다. 상기 선택 트랜지스터의 불순물 영역(104a)은 상기 자기 터널 접합에 전기적으로 연결될 수 있다. 상기 불순물 영역의 도전형은 상기 게이트 절연막 하부의 채널 영역의 도전형과 반대 형태일 수 있다. 제1 층간 절연막(106)은 상기 선택 트랜지스터(104)를 덮도록 배치된다. 상기 불순물 영역은 소오스(source)와 드레인(drain)을 제공할 수 있다. 상기 제1 층간 절연막을 관통하여 상기 불순물 영역에 접촉하는 콘택 플러그(106)가 배치될 수 있다. 상기 콘택 플러그(104) 상에 자기 터널 접합이 배치될 수 있다.

[0100] 상기 자기터널접합(201)은 차례로 적층된 고정층(210), 터널 절연층(220), 및 자유층(230)을 포함할 수 있다. 상기 고정층(210)은 차례로 적층된 시드층(212), 버퍼층(214) 및 제1 고정층(216)을 포함할 수 있다. 상기 시드층(212)은 Ta이고, 상기 버퍼층(214)은 Pd이고, 상기 제1 고정층(216)은 동시 증착된 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 CoSiB-Pd 합금 박막일 수 있다. 상기 제1 고정층(216)은 증착시 수직자기이방성을 발현하지 않고, 섭씨 300도 초과 섭씨 600도 미만의 열처리에 의하여 수직자기이방성을 발현할 수 있다.

[0101] 상기 고정층(210) 상에 터널 절연층(220)이 배치될 수 있다. 상기 터널 절연층(220)은 MgO 타겟을 스퍼터링하여 결정 상태로 증착될 수 있다.

[0102] 상기 터널 절연층(220) 상에 자유층(230)이 배치될 수 있다. 상기 자유층(230)은 동시 증착된 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 CoSiB-Pd 합금 박막일 수 있다. 상기 자유층(230)은 증착시에는 수직자기이방성을 발현하지 않고 별도의 섭씨 300도 초과 섭씨 600도 미만의 열처리에 의하여 다결정화되어 수직자기이방성을 발현할 수 있다. 상기 자유층(230)의 자기특성과 상기 제1 고정층(216)의 자기 특성은 서로 다를 수 있다. 구체적으로, 상기 제1 고정층(216)의 포화자화는 상기 자유층(230)의 포화자화보다 클 수 있다. 또한, 상기 제1 고정층(216)의 보자력은 상기 자유층(230)의 보자력보다 클 수 있다.

[0103] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 자유층(230)은 수직자기이방성을 가지는 다른 물질로 변형될 수 있다.

[0104] 상기 자유층(230) 상에 도전 패턴(240)이 배치될 수 있다. 상기 도전 패턴(240)과 접촉한 자유층(230)은 상기 자기터널접합을 통하여 흐르는 전류에 기인한 스핀 전달 토크(spin transfer torque)에 의하여 스위칭될 수 있다. 또는 상기 자유층(230)은 상기 도전 패턴(240)에 흐르는 면내 전류에 의하여 발생한 스핀 전류에 의하여 스위칭될 수 있다. 또는 자유층(230)은 스핀 전달 토크(spin transfer torque) 및 스핀 오빗 토크(spin orbit torque)에 의하여 스위칭될 수 있다.

[0105] 본 실시예에 따른 자기 메모리 소자(200)에 있어서, 기판(102) 상에 선택 트랜지스터(104)가 형성된 후, 제1 층간 절연막(107)이 증착된다. 이어서, 상기 제1 층간 절연막(107)의 상부면은 평탄화될 수 있다. 상기 제1 층간 절연막(107)에 패터닝 공정을 사용하여 콘택 플러그(106)가 배치될 콘택홀을 형성한다. 상기 콘택홀이 형성된 기판 상에 콘택홀을 채우는 도전체를 매립한 후, 에치백(etch-back) 공정을 사용하여 콘택 플러그(106)를 형성할 수 있다.

[0106] 이어서, 제1 층간 절연막(107) 상에 차례로 고정층(210), 터널 절연층(220), 및 자유층(230)을 형성한다. 이어서 패터닝 공정을 통하여 고정층(210), 터널 절연층(220), 및 자유층(230)을 패터닝하여 자기터널접합(201)을 형성한다. 상기 자기터널접합(201)이 형성된 기판을 한 번의 열처리를 통하여, 상기 제1 고정층(216) 및 상기

자유층(230)에 수직자기이방성을 발현시킬 수 있다.

[0107] 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 나타내는 개념도이다.

[0108] 도 11을 참조하면, 자기 메모리 소자(300)는 선택 트랜지스터(104)와 자기터널접합(301)을 포함할 수 있다. 상기 자기터널접합(301)은 자화 방향이 스위칭되는 자유층(330)과 자화 방향이 고정된 고정층(310) 사이에 개재된 터널절연층(220)을 포함할 수 있다. 상기 고정층(310)은, 시드층(212); 상기 시드층 상에 형성된 버퍼층(214); 상기 버퍼층 상에 형성된 제1 고정층(216); 상기 제1 고정층 상에 배치된 비자성 도전층(318); 및 상기 비자성 도전층 상에 배치된 제2 고정층(319)을 포함할 수 있다. 상기 제1 고정층(216)은 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 CoSiB-Pd 합금 박막을 포함할 수 있다. 상기 제1 고정층(216)의 상기 CoFeSiB-Pd 합금 박막 또는 상기 CoSiB-Pd 합금 박막은 후속 열처리에 의하여 수직자기이방성을 발현할 수 있다. 상기 비자성 도전층(318)은 Ta 또는 W일 수 있다. 상기 제2 고정층(319)은 후속 열처리 이후 수직자기이방성을 가지는 비정질 CoFeB일 수 있다. 상기 제1 고정층과 상기 제2 고정층은 동일한 자화 방향을 가질 수 있다. 상기 비자성 도전층은 0.4 nm 내지 0.6 nm의 Ta 또는 W일 수 있다. 상기 제2 고정층은 1 nm 수준의 CoFeB일 수 있다.

[0109] 통상적으로, 비정질 CoFeB를 자성층으로 사용하는 경우, 수직자기이방성을 발현하기 위하여 섭씨 300도 이상으로 열처리하면, 비정질 CoFeB는 결정화되고, 섭씨 400도 이상으로 열처리하면, 결정화된 CoFeB는 수직자기이방성을 상실한다.

[0110] 그러나, 본 발명에 따른 제1 고정층(216), 비자성 금속층(318), 및 제2 고정층(319) 구조를 사용하면, 섭씨 300도 내지 섭씨 600도의 열처리를 수행한 경우, 제1 고정층(또는 CoSiB-Pd 합금 박막)은 수직자기이방성을 발현하고, 상기 제2 고정층(또는 CoFeB)은 수직자기이방성을 유지한다.

[0111] 상기 제2 고정층(319) 상에 터널 절연막(220)이 배치될 수 있다. 상기 터널 절연막(320)은 스퍼터링 증착 방법에 의하여 형성되고 증착과 동시에 결정성을 가지는 1 nm 수준의 MgO일 수 있다.

[0112] 상기 터널 절연막 상에 자유층(330)이 배치된다. 상기 자유층(320)은 CoFeB일 수 있다. 이에 따라, CoFeB/MgO/CoFeB 구조에 기인한 높은 TMR 값을 유지할 수 있다.

[0113] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 열처리는 제1 고정층(216) 및 제2 고정층(319)을 형성한 후 열처리될 수 있다. 이에 따라, 상기 제1 고정층(216)은 수직자기이방성을 발현하고, 상기 제2 고정층(319)은 수직자기이방성을 유지할 수 있다. 또한, 상기 자유층(330)을 형성한 후에 비정질 상태의 자유층을 위하여 별도의 보조 열처리가 수행될 수 있다. 상기 보조 열처리의 온도는 상기 제1 고정층(216)에 수직자기이방성을 제공하기 위한 열처리 온도 보다 낮을 수 있다.

[0114] 이상에서는 본 발명을 특정 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 이러한 실시예에 한정되지 않으며, 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 실시할 수 있는 다양한 형태의 실시예들을 모두 포함한다.

부호의 설명

[0115] 112: 시드층

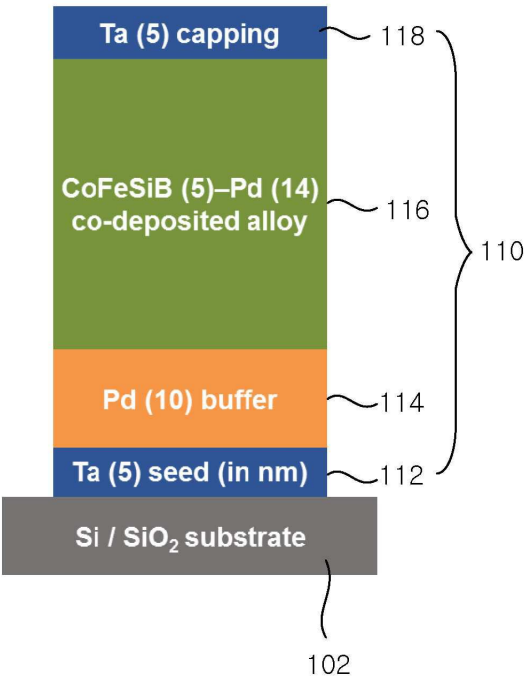
114: Pd 버퍼층

116: CoFeSiB-Pd 합금 박막

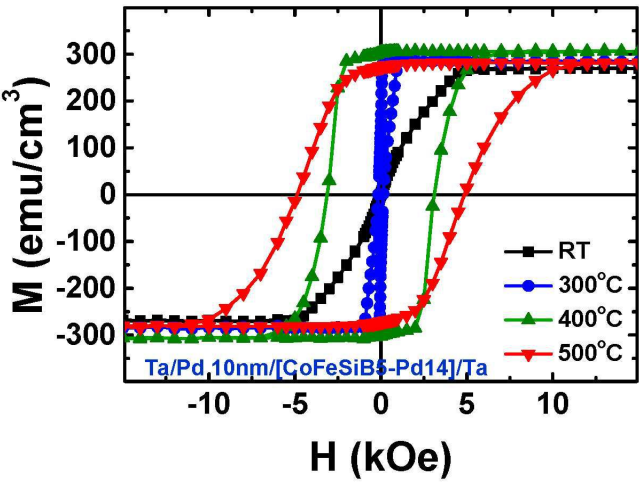
118: 캐핑층

도면

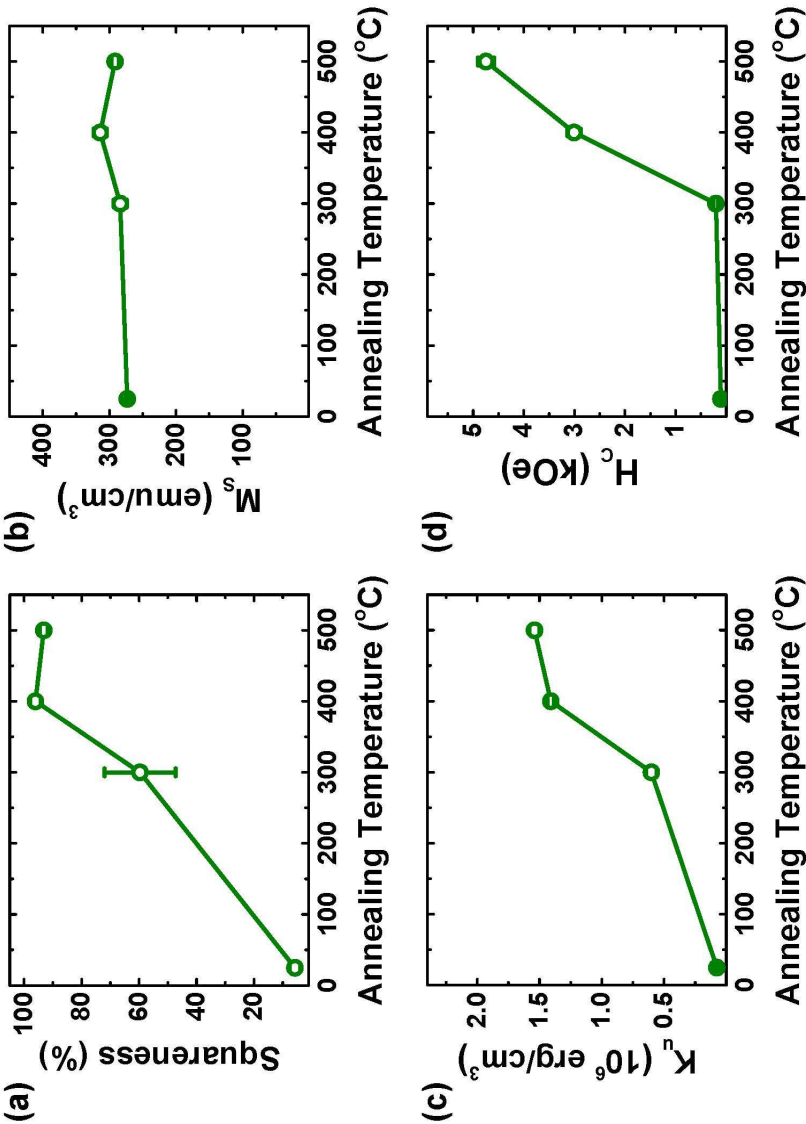
도면1



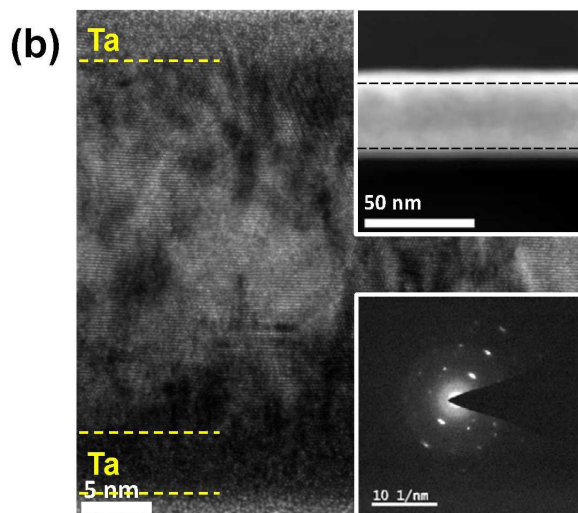
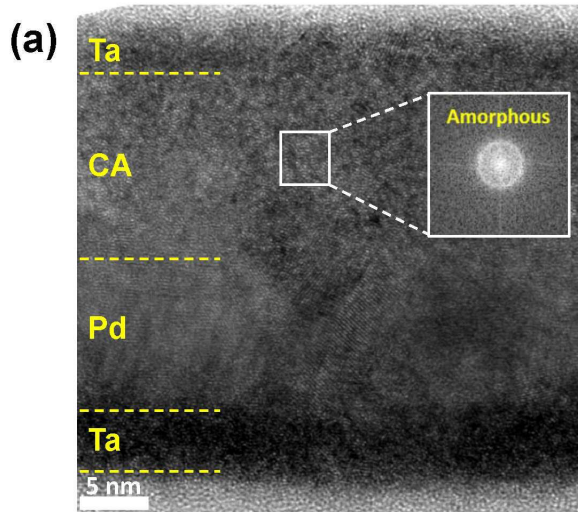
도면2



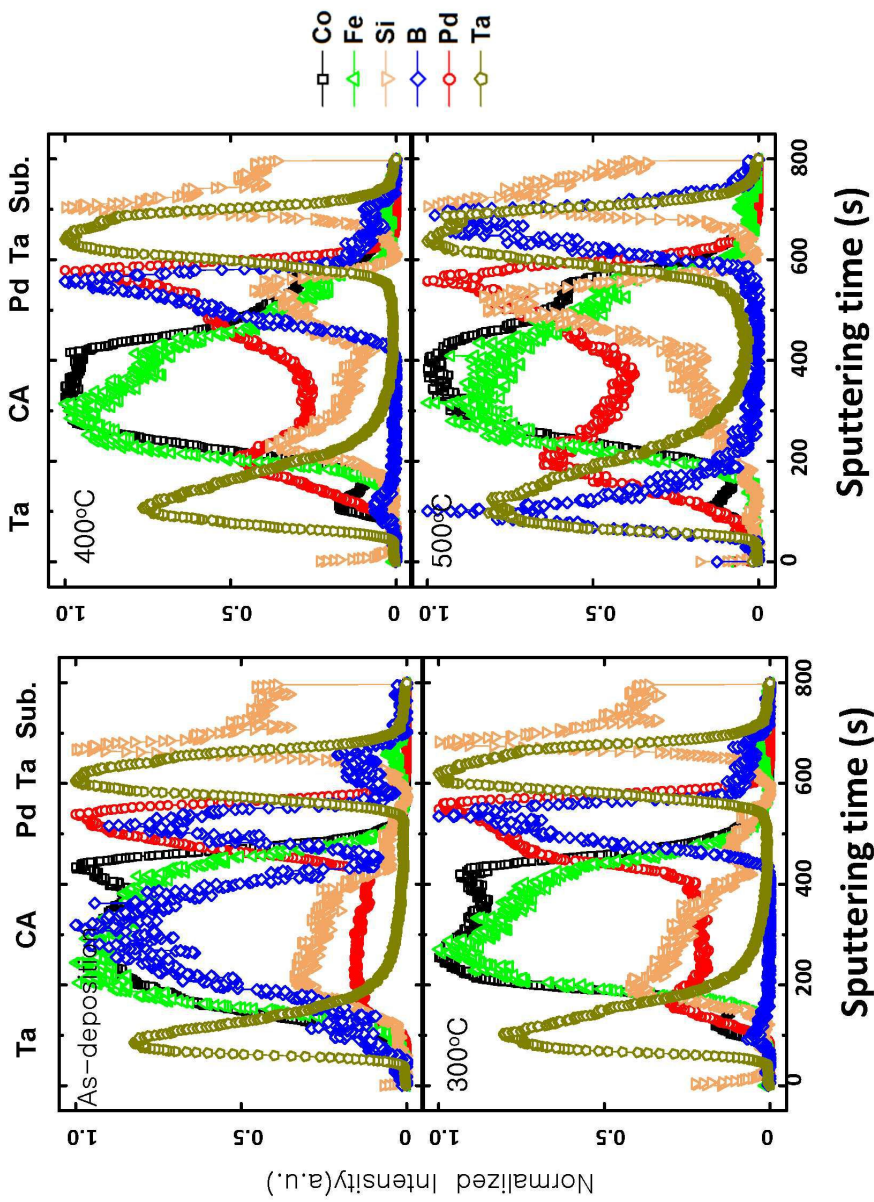
도면3



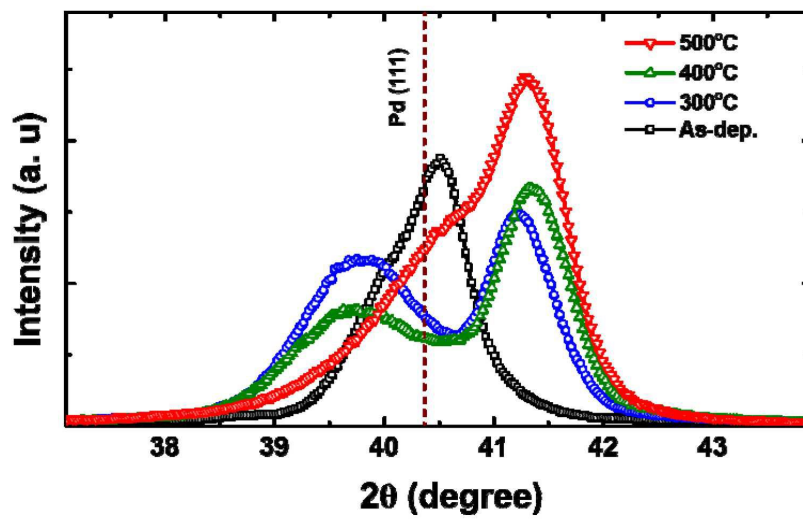
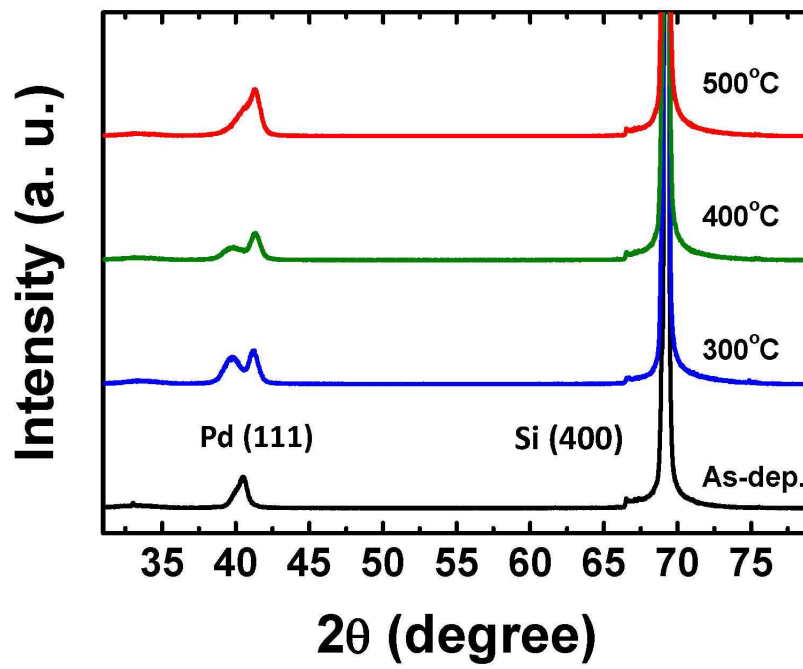
도면4



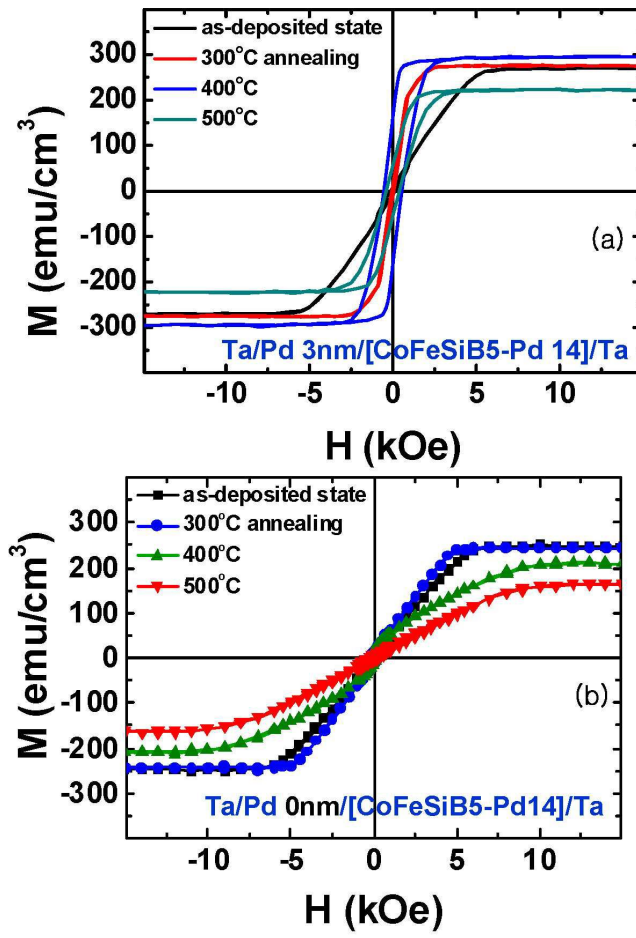
도면5



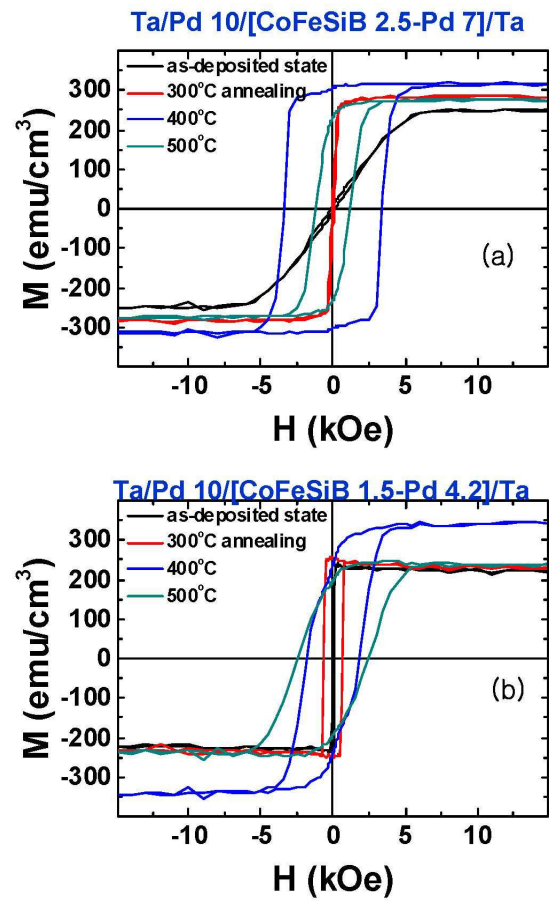
도면6



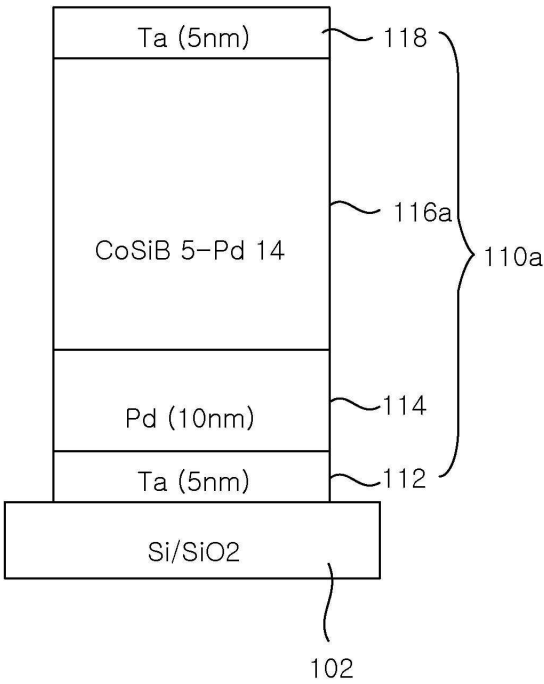
도면7



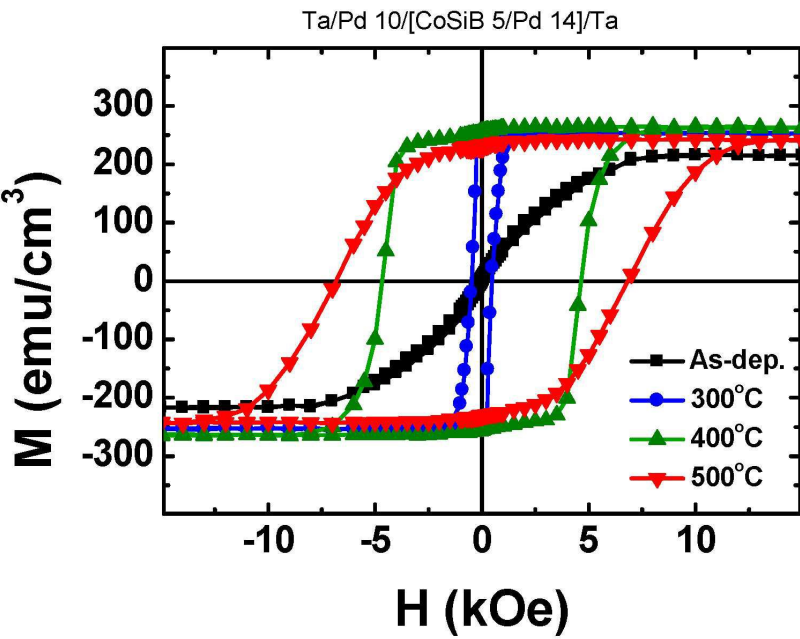
도면8



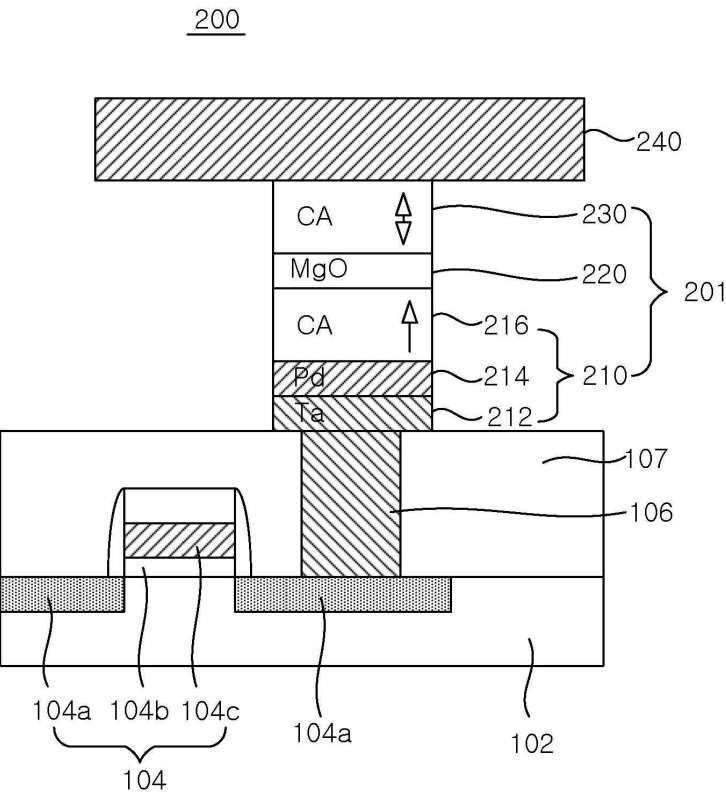
도면9a



도면9b



도면10



도면11

