



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년07월26일
 (11) 등록번호 10-1881933
 (24) 등록일자 2018년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 43/02 (2006.01) *G11C 11/15* (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0002041
 (22) 출원일자 2012년01월06일
 심사청구일자 2016년12월30일
 (65) 공개번호 10-2013-0081071
 (43) 공개일자 2013년07월16일
 (56) 선행기술조사문헌
 W02010134378 A1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
삼성전자주식회사
 경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
 (72) 발명자
김광석
 경기 성남시 분당구 동판교로 275, 113동 1204호
 (삼평동, 봇들마을풍성신미주아파트)
이성철
 경기 오산시 남부대로 430-12, 104동 1103호 (고현동, 오산고현아이파크)
 (74) 대리인
리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 8 항

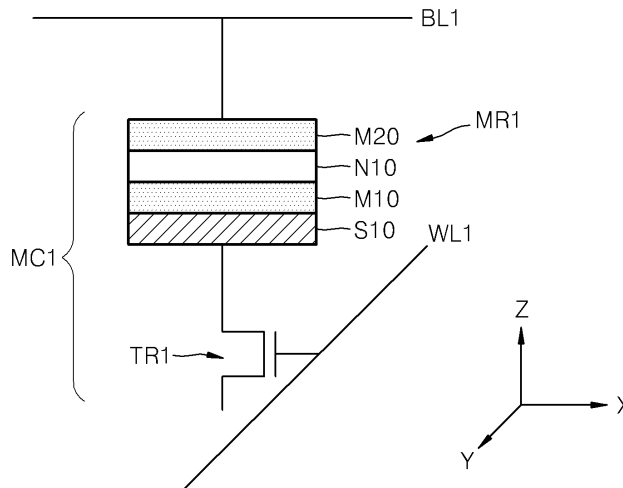
심사관 : 노영철

(54) 발명의 명칭 **자성구조체와 그 형성방법 및 자성구조체를 포함하는 메모리소자**

(57) 요약

자성구조체와 그 형성방법 및 자성구조체를 포함하는 메모리소자에 관해 개시되어 있다. 개시된 자성구조체는 자성층 및 상기 자성층에 응력을 인가하는 응력인가요소를 포함할 수 있다. 상기 응력인가요소는 상기 자성층에 압축 응력을 인가하도록 구성될 수 있다. 상기 자성층은 상기 응력인가요소에 의해 압축 변형된 격자 구조를 가질 수 있다. 상기 자성구조체는 상기 자성층에 접합된 비자성층을 더 포함할 수 있다. 상기 자성층은 상기 비자성층과의 계면에서 계면 수직자기이방성(IPMA)을 가질 수 있다. 상기 자성구조체는 상기 비자성층의 일면에 구비된 제2자성층을 더 포함할 수 있다.

대표도 - 도17



명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

응력인가층에 의해 압축 변형된(compressive strained) 격자 구조를 갖는 자성층을 형성하는 단계; 및
상기 자성층에 접촉된 비자성층을 형성하는 단계;를 포함하고,

상기 자성층은 상기 비자성층과의 계면에서 계면 수직자기이방성(interface perpendicular magnetic anisotropy)(IPMA)을 가지며,

상기 응력인가층은 상변태(phase transformation) 물질로 형성하는 자성구조체의 형성방법.

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

제 17 항에 있어서,

상기 자성구조체의 형성방법은,

상기 응력인가층 및 이에 접합된 자성물질층을 형성하는 단계; 및

상기 응력인가층의 상(phase)을 변화시키는 단계;를 포함하고,

상기 응력인가층의 상을 변화시키는 단계에서 상기 자성물질층의 격자 구조가 압축 변형되어 상기 자성층이 형성되는 자성구조체의 형성방법.

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

제 17 항에 있어서,

상기 자성층은 상기 비자성층에 접촉된 제1층 및 상기 제1층과 상기 응력인가층 사이에 구비된 제2층을 포함하도록 형성하고,

상기 제2층의 포화 자화(saturation magnetization)(Ms)는 상기 제1층의 포화 자화보다 작은 자성구조체의 형성 방법.

청구항 26

제 17 항에 있어서, 상기 자성층은 제1자성층이고,
 상기 비자성층의 일면에 제2자성층을 형성하는 단계를 더 포함하고,
 상기 제1 및 제2자성층 사이에 상기 비자성층이 구비되는 자성구조체의 형성방법.

청구항 27

삭제

청구항 28

자기저항요소를 포함하는 적어도 하나의 메모리셀을 구비하는 메모리소자에 있어서, 상기 자기저항요소는,
 서로 이격된 제1 및 제2자성층;

상기 제1 및 제2자성층 사이에 구비된 비자성층; 및

상기 제1자성층에 압축 응력을 인가하는 응력인가층;을 포함하고,

상기 제1자성층은 상기 응력인가층에 의해 압축 변형된 격자 구조를 갖고,

상기 응력인가층은 상변태 물질을 포함하는 메모리소자.

청구항 29

삭제

청구항 30

제 28 항에 있어서,

상기 제1자성층은 자유층이고,

상기 제2자성층은 고정층인 메모리소자.

청구항 31

제 28 항에 있어서,

상기 제1자성층은 상기 비자성층과의 계면에서 계면 수직자기이방성(interface perpendicular magnetic anisotropy)(IPMA)을 갖는 메모리소자.

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

제 28 항에 있어서,

상기 제1자성층은 상기 비자성층에 접촉된 제1층; 및 상기 제1층과 상기 응력인가층 사이에 구비된 제2층;을 포함하고,

상기 제2층의 포화 자화(saturation magnetization)(Ms)는 상기 제1층의 포화 자화보다 작은 메모리소자.

청구항 36

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 자성구조체와 그 형성방법 및 자성구조체를 포함하는 메모리소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] MRAM(Magnetic random access memory)은 MTJ(magnetic tunneling junction) 요소의 저항 변화 현상을 이용해서 데이터를 저장하는 메모리소자이다. MTJ 요소의 저항은 자유층(free layer)의 자화 방향에 따라 달라진다. 즉, 자유층의 자화 방향이 고정층(pinned layer)의 자화 방향과 동일할 때, 상기 MTJ 요소는 낮은 저항값을 갖고, 반대인 경우에 높은 저항값을 갖는다. 상기 MTJ 요소가 낮은 저항값을 가질 때, 데이터 '0'에 대응될 수 있고, 높은 저항값을 가질 때, 데이터 '1'에 대응될 수 있다. 이러한 MRAM은 비휘발성을 갖고, 고속 동작이 가능하며, 높은 내구성(endurance)을 갖는 등의 이점으로 인해 차세대 비휘발성 메모리소자의 하나로 주목받고 있다.

[0003] MRAM의 기록 밀도를 높이기 위해서는, 즉, 고밀도 MRAM을 구현하기 위해서는, MTJ 요소의 사이즈를 감소시켜야 한다. 그런데 MTJ 요소의 사이즈가 감소되면, 데이터 저장층(즉, 자유층)에 기록된 데이터의 열적 안정성(thermal stability)이 떨어지기 때문에, 데이터 보유(retention) 특성을 확보하기가 어려워진다. 이러한 이유로 MRAM의 기록 밀도를 특정 수준 이상으로 증가시키는 것은 용이하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 자기저항요소(magneto-resistive element)의 스케일 다운(scale down)에 유리한 자성구조체를 제공한다.

[0005] 자성층의 자기이방성 에너지(magnetic anisotropy energy)를 높일 수 있는 자성구조체를 제공한다.

[0006] 자성층의 열적 안정성(thermal stability)을 용이하게 확보할 수 있는 자성구조체를 제공한다.

[0007] 자성층의 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy)을 유지할 수 있는 임계 두께(critical thickness)를 증가시킬 수 있는 자성구조체를 제공한다.

[0008] 자기저항비(magneto-resistance ratio)(즉, MR 비)를 높일 수 있는 자성구조체를 제공한다.

[0009] 메모리소자의 고집적화 및 고성능화에 유리한 자성구조체를 제공한다.

[0010] 상기 자성구조체의 형성방법을 제공한다.

[0011] 상기 자성구조체를 포함하는 메모리소자를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 측면(aspect)에 따르면, 자성층; 상기 자성층의 제1면에 구비된 응력인가층; 및 상기 자성층의 제2면에 구비된 비자성층;을 포함하고, 상기 응력인가층은 상기 자성층에 압축 응력을 인가하고, 상기 자성층은 상기 응력인가층에 의해 압축 변형된(compressive strained) 격자 구조를 갖는 자성구조체가 제공된다.

[0013] 상기 자성층은 상기 비자성층과의 계면에서 계면 수직자기이방성(interface perpendicular magnetic anisotropy)(IPMA)을 가질 수 있다.

[0014] 상기 자성층은 Fe 계열 또는 CoFe 계열의 물질을 포함할 수 있다.

[0015] 상기 CoFe 계열의 물질은, 예컨대, CoFeB를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 비자성층은 절연 물질을 포함할 수 있다.

[0017] 상기 비자성층은 산화물을 포함할 수 있다.

[0018] 상기 산화물은, 예컨대, Mg 산화물을 포함할 수 있다.

[0019] 상기 응력인가층은 상기 자성층보다 열팽창 계수가 큰 물질을 포함할 수 있다.

- [0020] 상기 자성층보다 열팽창 계수가 큰 물질은, 예컨대, Al, Ga, Mn, Zn 및 Cu 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 응력인가층은 상변태(phase transformation) 물질을 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 응력인가층은 상기 자성층보다 격자 상수(lattice parameter)가 작은 물질을 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 자성층은 상기 응력인가층과 상기 비자성층 사이에 구비될 수 있다.
- [0024] 상기 자성층은 상기 비자성층에 접촉된 제1층; 및 상기 제1층과 상기 응력인가층 사이에 구비된 제2층;을 포함할 수 있다.
- [0025] 상기 제2층의 포화 자화(saturation magnetization)(Ms)는 상기 제1층의 포화 자화보다 작을 수 있다.
- [0026] 상기 자성층이 상기 제1층 및 제2층을 포함하는 경우, 상기 자성층은 1~3nm 정도의 두께를 가질 수 있다.
- [0027] 상기 제1층은 약 1nm 이하의 두께를 가질 수 있다.
- [0028] 상기 제2층은 약 2nm 이하의 두께를 가질 수 있다.
- [0029] 상기 자성층은 제1자성층일 수 있고, 상기 비자성층의 일면에 제2자성층이 더 구비될 수 있다. 이 경우, 상기 제1 및 제2자성층 사이에 상기 비자성층이 구비될 수 있다.
- [0030] 상기 제1 및 제2자성층 중 하나는 자유층(free layer)일 수 있고, 다른 하나는 고정층(pinned layer)일 수 있다.
- [0031] 상기 자성구조체는 자기저항요소(magnetoresistive element)일 수 있다.
- [0032] 상기 자기저항요소는 MTJ(magnetic tunneling junction) 요소일 수 있다.
- [0033] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 응력인가층에 의해 압축 변형된(compressive strained) 격자 구조를 갖는 자성층을 형성하는 단계; 및 상기 자성층에 접촉된 비자성층을 형성하는 단계;를 포함하는 자성구조체의 형성방법이 제공된다.
- [0034] 상기 자성층은 상기 비자성층과의 계면에서 계면 수직자기이방성(interface perpendicular magnetic anisotropy)(IPMA)을 가질 수 있다.
- [0035] 상기 응력인가층은 상기 자성층보다 열팽창 계수가 큰 물질로 형성할 수 있다.
- [0036] 상기 응력인가층을 상기 자성층보다 열팽창 계수가 큰 물질로 형성하는 경우, 상기 자성구조체의 형성방법은 상기 응력인가층을 가열하는 단계; 상기 가열된 응력인가층 상에 자성물질층을 형성하는 단계; 및 상기 자성물질층 및 상기 응력인가층을 냉각하는 단계;를 포함할 수 있다. 상기 냉각 단계에서 상기 자성물질층의 격자 구조가 압축 변형되어 상기 자성층이 형성될 수 있다.
- [0037] 상기 응력인가층을 상기 자성층보다 열팽창 계수가 큰 물질로 형성하는 경우, 상기 자성구조체의 형성방법은 자성물질층을 형성하는 단계; 상기 자성물질층을 가열하는 단계; 상기 가열된 자성물질층 상에 상기 응력인가층을 형성하는 단계; 및 상기 응력인가층과 상기 자성물질층을 냉각하는 단계;를 포함할 수 있다. 상기 냉각 단계에서 상기 자성물질층의 격자 구조가 압축 변형되어 상기 자성층이 형성될 수 있다.
- [0038] 상기 응력인가층은 상변태(phase transformation) 물질로 형성할 수 있다.
- [0039] 상기 응력인가층을 상기 상변태 물질로 형성하는 경우, 상기 자성구조체의 형성방법은 상기 응력인가층 및 이에 접합된 자성물질층을 형성하는 단계; 및 상기 응력인가층의 상(phase)을 변화시키는 단계;를 포함할 수 있다. 상기 응력인가층의 상을 변화시키는 단계에서 상기 자성물질층의 격자 구조가 압축 변형되어 상기 자성층이 형성될 수 있다.
- [0040] 상기 응력인가층은 상기 자성층보다 격자 상수(lattice parameter)가 작은 물질로 형성할 수 있다.
- [0041] 상기 자성층은 상기 비자성층에 접촉된 제1층 및 상기 제1층과 상기 응력인가층 사이에 구비된 제2층을 포함하도록 형성할 수 있다. 이 경우, 상기 제2층의 포화 자화(saturation magnetization)(Ms)는 상기 제1층의 포화 자화보다 작을 수 있다.
- [0042] 상기 자성층은 제1자성층일 수 있고, 상기 자성구조체의 형성방법은 상기 비자성층의 일면에 제2자성층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 상기 제1 및 제2자성층 사이에 상기 비자성층이 구비될 수 있다.

- [0043] 상기 제1 및 제2자성층 중 하나는 자유층(free layer)일 수 있고, 다른 하나는 고정층(pinned layer)일 수 있다.
- [0044] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 자기저항요소를 포함하는 적어도 하나의 메모리셀을 구비하는 메모리소자에 있어서, 상기 자기저항요소는,
- [0045] 서로 이격된 제1 및 제2자성층; 상기 제1 및 제2자성층 사이에 구비된 비자성층; 및 상기 제1자성층에 압축 응력을 인가하는 응력인가층;을 포함하고, 상기 제1자성층은 상기 응력인가층에 의해 압축 변형된 격자 구조를 갖는 메모리소자가 제공된다.
- [0046] 상기 메모리셀은 상기 자기저항요소에 연결된 스위칭요소를 더 포함할 수 있다.
- [0047] 상기 제1자성층은 자유층일 수 있고, 상기 제2자성층은 고정층일 수 있다.
- [0048] 상기 제1자성층은 상기 비자성층과의 계면에서 계면 수직자기이방성(interface perpendicular magnetic anisotropy)(IPMA)을 가질 수 있다.
- [0049] 상기 응력인가층은 상기 제1자성층보다 열팽창 계수가 큰 물질을 포함할 수 있다.
- [0050] 상기 응력인가층은 상변태 물질을 포함할 수 있다.
- [0051] 상기 응력인가층은 상기 제1자성층보다 격자 상수가 작은 물질을 포함할 수 있다.
- [0052] 상기 제1자성층은 상기 비자성층에 접촉된 제1층; 및 상기 제1층과 상기 응력인가층 사이에 구비된 제2층;을 포함할 수 있다. 상기 제2층의 포화 자화(saturation magnetization)(Ms)는 상기 제1층의 포화 자화보다 작을 수 있다.
- [0053] 상기 메모리소자는 MRAM(magnetic random access memory)일 수 있다.
- [0054] 상기 메모리소자는 STT-MRAM(spin transfer torque MRAM)일 수 있다.

발명의 효과

- [0055] 자성층의 자기이방성 에너지(magnetic anisotropy energy)를 높일 수 있어서, 스케일 다운(scale down)에 유리한 자성구조체(자기저항요소)를 구현할 수 있다. 자성층의 열적 안정성(thermal stability)을 용이하게 확보할 수 있는 자성구조체(자기저항요소)를 구현할 수 있다. 자성층의 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy)을 유지할 수 있는 임계 두께를 증가시킬 수 있는 자성구조체(자기저항요소)를 구현할 수 있다. 자기저항비(magnetoresistance ratio)(즉, MR 비)를 높일 수 있는 자성구조체(자기저항요소)를 구현할 수 있다.
- [0056] 상기 자성구조체(자기저항요소)를 적용하면, 고밀도/고성능의 메모리소자를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0057] 도 1 내지 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체의 단면도이다.
- 도 5 내지 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체를 포함하는 자기저항요소의 단면도이다.
- 도 9a 내지 도 9e는 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다.
- 도 10은 도 9a 내지 도 9e의 형성방법을 정리한 순서도이다.
- 도 11a 내지 도 11d는 본 발명의 다른 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다.
- 도 12는 도 11a 내지 도 11d의 형성방법을 정리한 순서도이다.
- 도 13a 내지 도 13d는 본 발명의 다른 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다.
- 도 14는 도 13a 내지 도 13d의 형성방법을 정리한 순서도이다.
- 도 15a 내지 도 15c는 본 발명의 다른 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다.

도 16는 도 15a 내지 도 15c의 형성방법을 정리한 순서도이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)를 포함하는 메모리소자의 일례를 보여주는 도면이다.

도 18의 (A)는 MgO/Fe의 결정 구조를 보여주는 도면이다.

도 18의 (B)는 MgO/Fe 구조에서 Fe의 격자 상수에 따른 표면 자기이방성 에너지(K_s)의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 19의 (A)는 MgO/CoFe의 결정 구조를 보여주는 도면이다.

도 19의 (B)는 MgO/CoFe 구조에서 CoFe의 격자 상수에 따른 표면 자기이방성 에너지(K_s)의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 20a 및 도 20b는 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체의 응력인가층 물질로 적용될 수 있는 MnAl의 제1상(ϵ' -phase) 및 제2상(τ -phase)을 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0058] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체와 그 형성방법 및 자성구조체를 포함하는 메모리소자를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 첨부된 도면에 도시된 층이나 영역들의 폭 및 두께는 명세서의 명확성을 위해 다소 과장되게 도시된 것이다. 상세한 설명 전체에 걸쳐 동일한 참조번호는 동일한 구성요소를 나타낸다.

[0059] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체를 보여주는 단면도이다.

[0060] 도 1을 참조하면, 자성층(M10)의 일면(예컨대, 하면)에 비자성층(N10)이 구비될 수 있다. 자성층(M10)의 타면(예컨대, 상면)에 응력인가층(S10)이 구비될 수 있다. 자성층(M10)은 비자성층(N10)과의 계면(즉, 접촉면)에서 계면 수직자기이방성(interface perpendicular magnetic anisotropy)(IPMA)을 가질 수 있다. 다시 말해, 자성층(M10)과 비자성층(N10)은 IPMA 시스템 또는 IPMA 구조를 형성한다고 할 수 있다. 자성층(M10)은 Fe 계열 또는 CoFe 계열의 물질을 포함할 수 있다. 여기서, 상기 CoFe 계열의 물질은, 예컨대, CoFeB를 포함할 수 있다. 비자성층(N10)은 절연층일 수 있다. 이 경우, 비자성층(N10)은 산화물을 포함할 수 있다. 상기 산화물은, 예컨대, Mg 산화물(즉, MgO)을 포함할 수 있다. 자성층(M10)의 물질로 언급한 CoFeB의 경우, 본래 수평자기이방성(in-plane magnetic anisotropy)(IMA)을 갖지만, 소정의 산화물(예컨대, MgO)과 접촉되면 계면 효과에 의해 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy)(PMA)을 가질 수 있다. 자성층(M10)의 두께는 약 2nm 이하일 수 있고, 비자성층(N10)의 두께는 약 3nm 이하일 수 있다. 그러나 자성층(M10)과 비자성층(N10)의 두께는 전술한 바에 한정되지 않고, 달라질 수 있다.

[0061] 응력인가층(S10)은 자성층(M10)에 압축 응력(compressive stress)을 인가하는 층일 수 있다. 상기 압축 응력은 수평 방향(in-plane direction)으로의 압축 응력이다. 응력인가층(S10)에 의해 자성층(M10)은 압축 변형된(compressive strained) 격자 구조를 가질 수 있다. 자성층(M10)이 압축 변형되었다는 것은 평형 상태인 경우보다 작은 격자 상수(lattice parameter)를 갖는 것을 의미한다. 자성층(M10)의 두께가 얇기 때문에, 자성층(M10)의 전 영역에서 격자 구조가 압축 변형될 수 있다. 즉, 응력인가층(S10)에 접촉된 자성층(M10) 영역뿐 아니라 그 반대쪽 영역, 즉, 비자성층(N10)과 접촉된 자성층(M10) 영역도 압축 변형될 수 있다. 자성층(M10)이 압축 변형된 구조를 가질 때, 자성층(M10)의 자기이방성 에너지(magnetic anisotropy energy)가 증가할 수 있다. 다시 말해, 자성층(M10)이 압축 변형된 경우, 그렇지 않은 경우보다(예컨대, 평형 상태인 경우보다) 큰 자기이방성 에너지를 가질 수 있다. 자성층(M10)이 비자성층(N10)과의 계면에서 계면 수직자기이방성(IPMA)을 형성하는 경우, 자성층(M10)의 자기이방성 에너지는 "표면 자기이방성 에너지"(surface magnetic anisotropy energy)(K_s)라고 할 수 있다. 그러므로 응력인가층(S10)에 의해 자성층(M10)의 표면 자기이방성 에너지(K_s)가 증가할 수 있다. 자성층(M10)의 자기이방성 에너지가 증가할수록, 자성층(M10)의 자화의 열적 안정성(thermal stability)이 향상될 수 있다. 이에 대해서는 추후에 보다 상세히 설명한다.

[0062] 응력인가층(S10)은 자성층(M10)보다 열팽창 계수(thermal expansion coefficient)가 큰 물질을 포함할 수 있다. 자성층(M10)보다 열팽창 계수가 큰 물질은, 예컨대, Al, Ga, Mn, Zn, Cu 등일 수 있다. Al의 열팽창 계수는 Fe보다 2배가량 크고, Ga의 열팽창 계수는 Fe보다 10배가량 크다. 자성층(M10)보다 열팽창 계수가 큰 물질로 구성된 층, 예컨대, Al층을 자성층(M10)과 접합시키더라도, 특정 조건에서 Al층을 형성하지 않으면, 상기 Al층

은 자성층(M10)에 응력을 인가하지 않을 수 있다. 특정 조건에서 Al층을 형성하는 경우, 상기 Al층은 자성층(M10)에 응력을 인가하는 층, 즉, 응력인가층(S10)이 될 수 있다. 그러므로 단지 Al, Ga, Mn, Zn, Cu 등으로 형성된 층이라고 해서, 응력인가층(S10)에 대응될 수 있는 것은 아니다. 자성층(M10)보다 열팽창 계수가 큰 물질로 응력인가층(S10)을 형성하는 방법에 대해서는 추후에 상세히 설명한다. 다른 실시예에 따르면, 응력인가층(S10)은 상변태(phase transformation) 물질을 포함할 수 있다. 상기 상변태 물질은 저온에서 제1상을 갖고, 고온에서 제2상을 갖는 물질일 수 있다. 상기 제2상의 수평 방향으로의 격자 상수는 상기 제1상의 그것보다 작을 수 있다. 따라서 상기 상변태 물질의 결정 구조가 상기 제1상에서 제2상으로 변화되면서, 자성층(M10)에 압축 응력을 인가할 수 있다. 상기 상변태 물질은 상기 고온에서 제2상으로 변화된 후, 온도가 저온으로 떨어지더라도 계속해서 상기 제2상을 유지하는 물질일 수 있다. 즉, 상기 상변태 물질은 비가역적으로(irreversibly) 상이 변하는 물질일 수 있다. 구체적인 예로, 상기 상변태 물질은 MnAl을 포함할 수 있다. 상기 상변태 물질을 이용해서 응력인가층(S10)을 형성하는 방법에 대해서는 추후에 상세히 설명한다. 또 다른 실시예에 따르면, 응력인가층(S10)은 자성층(M10)보다 격자 상수(lattice parameter)가 작은 물질을 포함할 수 있다. 응력인가층(S10)의 수평 방향으로의 격자 상수가 자성층(M10)의 그것보다 작을 수 있다. 응력인가층(S10)의 격자 상수와 자성층(M10)의 격자 상수의 차이는 약 10% 이내일 수 있다. 자성층(M10)보다 격자 상수가 작은 물질이 자성층(M10)과 접합되면, 자성층(M10)이 압축 응력을 받을 수 있다. 한편, 응력인가층(S10)의 두께는 특별한 제한이 없으나, 예컨대, 약 20nm 이하에서 결정될 수 있다.

[0063] 앞서 언급한 바와 같이, 자성층(M10)이 압축 변형됨에 따라, 자성층(M10)의 자기이방성 에너지가 증가할 수 있다. 그 이유에 대해서는 도 18 및 도 19를 참조하여 설명한다.

[0064] 도 18의 (A)도면은 MgO/Fe의 결정 구조를 보여주고, (B)도면은 MgO/Fe 구조에서 Fe의 격자 상수에 따른 표면 자기이방성 에너지(K_s)의 변화를 보여준다. 도 19의 (A)도면은 MgO/CoFe의 결정 구조를 보여주고, (B)도면은 MgO/CoFe 구조에서 CoFe의 격자 상수에 따른 표면 자기이방성 에너지(K_s)의 변화를 보여준다. 여기서, 상기 격자 상수는 수평 방향(즉, in-plane direction)으로의 Fe 원자간(즉, Fe-Fe) 격자 상수이고, 상기 표면 자기이방성 에너지(K_s)는 진성 표면 수직자기이방성 에너지(intrinsic K_s)이다. 한편, 도 19의 CoFe는 $Co_{0.4}Fe_{0.6}$ 이다.

[0065] 도 18 및 도 19를 참조하면, Fe 및 CoFe의 격자 상수가 평형 상태(2.95Å)보다 작아질수록, 표면 자기이방성 에너지(K_s)는 증가하는 경향을 보인다. 이는 Fe 및 CoFe 계열의 자성층의 경우, 평형 상태보다 작은 격자 상수를 가질 때, 즉, 압축 변형된 격자 구조를 가질 때, 표면 자기이방성 에너지(K_s)가 커진다는 것을 의미한다. 특히, 도 19에서 CoFe의 격자 상수가 2.65Å 정도일 때, 표면 자기이방성 에너지(K_s)는 6 erg/cm² 정도로 매우 높은 수치를 나타냈다.

[0066] 도 18 및 도 19를 참조하여 설명한 바와 같은 이유로, 도 1의 자성층(M10)이 압축 변형된 격자 구조를 가질 때, 그의 자기이방성 에너지 또는 표면 자기이방성 에너지는 증가될 수 있다. 이 경우, 자성층(M10)의 자화의 열적 안정성(thermal stability)은 향상될 수 있다. IPMA 구조에서 자성층의 열적 안정성은 자기이방성 에너지와 열 에너지의 비, 즉, $K_sA/k_B T$ 에 비례한다. 여기서, K_s 는 상기 자성층의 표면 자기이방성 에너지(erg/cm²)를 나타내고, A는 상기 자성층의 면적(비자성층과의 접촉 면적)을 나타내며, k_B 는 볼츠만 상수를 나타내고, T는 절대 온도를 나타낸다. 열에너지($k_B T$) 대비 자기이방성 에너지($K_s A$)가 얼마나 더 크가에 따라, 자성층의 열적 안정성이 결정된다. 따라서 자성층의 표면 자기이방성 에너지(K_s)가 클수록, 열적 안정성이 향상될 수 있다. 본 실시예에서와 같이, 응력인가층(S10)에 의해 자성층(M10)의 표면 자기이방성 에너지(K_s)가 증가되면, 자성층(M10)의 열적 안정성을 용이하게 확보할 수 있다. 이는 곧 자성층(M10)의 스케일 다운(scale down)이 용이하다는 것을 의미한다. 자성층(M10)의 표면 자기이방성 에너지(K_s)가 크면, 자성층(M10)의 사이즈(폭)를 줄이더라도 자기이방성 에너지($K_s A$) 값을 크게 유지할 수 있다. 본 실시예의 경우, 20nm 이하의 스케일 다운(scale down)이 가능할 수 있고, 따라서, 초고밀도 소자의 제조가 용이할 수 있다.

[0067] 도 1의 구조는 예시적인 것이고, 이 구조는 다양하게 변형될 수 있다. 예컨대, 도 1에서는 비자성층(N10) 상에 자성층(M10) 및 응력인가층(S10)이 순차로 적층된 경우를 도시하였지만, 이들의 위치 관계는 달라질 수 있다. 그 변형예가 도 2에 도시되어 있다.

[0068] 도 2를 참조하면, 자성층(M10)의 하면에 응력인가층(S10)이 구비될 수 있고, 자성층(M10)의 상면에 비자성층(N10)이 구비될 수 있다. 즉, 응력인가층(S10) 상에 자성층(M10) 및 비자성층(N10)이 순차로 적층될 수 있다.

자성층(M10), 응력인가층(S10) 및 비자성층(N10)의 물질, 물성, 두께 등은 도 1을 참조하여 설명한 것과 동일할 수 있다.

[0069] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자성구조체를 보여주는 단면도이다.

[0070] 도 3을 참조하면, 자성층(M11)은 다층 구조를 가질 수 있다. 예컨대, 자성층(M11)은 제1층(10) 및 제2층(20)을 포함하는 이중층 구조를 가질 수 있다. 제1층(10)은 도 1의 자성층(M10)과 동일한 물질로 구성될 수 있다. 즉, 제1층(10)은 Fe 계열 또는 CoFe 계열의 물질을 포함할 수 있다. 여기서, 상기 CoFe 계열의 물질은, 예컨대, CoFeB를 포함할 수 있다. 제1층(10)은 비자성층(N10)과의 계면에서 계면 수직자기이방성(IPMA)을 형성할 수 있다. 이러한 제1층(10)에 의해 자성층(M11) 전체가 수직자기이방성(PMA)을 가질 수 있다. 즉, 제1층(10)은 자성층(M11)의 자기이방성을 결정하는 층일 수 있다. 제2층(20)은 제1층(10)보다 포화 자화(saturation magnetization)(Ms)가 작은 물질로 구성될 수 있다. 예컨대, 제2층(20)은 소정의 자성 물질에 비자성 물질이 첨가된 구성을 가질 수 있다. 상기 비자성 물질은 제2층(20)의 포화 자화(Ms)를 낮추는 역할을 할 수 있다. 제2층(20)의 자성 물질은 Co, Fe 및 Ni 중 적어도 하나를 포함할 수 있고, 상기 비자성 물질은, 예컨대, V, Al, Cr, Ti, Ta 등을 포함할 수 있다. 제1층(10)의 두께는, 예컨대, 약 1nm 이하일 수 있고, 제2층(20)의 두께는, 예컨대, 약 2nm 이하일 수 있다. 자성층(M11) 전체의 두께는 약 3nm 이하, 예컨대, 1~3nm 정도일 수 있다. 이와 같이, 자성층(M11)을 다층 구조로 구성하면, 수직자기이방성(PMA) 또는 계면 수직자기이방성(IPMA)이 유지되는 자성층(M11)의 임계 두께(critical thickness)를 증가시킬 수 있다. 이에 대해서 보다 자세히 설명하면 다음과 같다.

[0071] 도 1의 구조에서 자성층(M10)의 두께가 과도하게 두꺼워지면, 자성층(M10)의 계면 수직자기이방성(IPMA)이 유지되기 어려울 수 있다. 이는 자성층(M10)의 두께가 두꺼우면, 자성층(M10)과 비자성층(N10) 사이의 계면 효과에 의한 수직자기이방성 에너지보다 탈자화 에너지(demagnetization energy)가 커지기 때문이다. 그러므로 자성층(M10)의 두께가 두꺼우면, 자성층(M10)의 자기이방성은 수직에서 수평으로 바뀔 수 있다. 아래의 수학적 식 1은 자성층의 진성(intrinsic) 표면 수직자기이방성 에너지(K_S)와 유효(effective) 표면 수직자기이방성 에너지(K_S)의 관계를 보여준다.

[0072] 수학적 식 1 : $Effective\ K_S = Intrinsic\ K_S - 2\pi \cdot Ms^2 \cdot t$

[0073] 수학적 식 1에서 $2\pi \cdot Ms^2 \cdot t$ 는 탈자화 에너지(demagnetization energy)를 나타낸다. 도 1에서 자성층(M10)의 두께(t)가 두꺼워질수록 탈자화 에너지가 증가하고, 유효(effective) 표면 수직자기이방성 에너지(K_S)는 감소한다. 그러므로 두께(t)가 소정 수준 이상이 되면, 자성층(M10)의 자기이방성은 수직에서 수평으로 바뀔 수 있다. 이런 이유로 도 1의 구조에서는 자성층(M10)의 두께(t)를 증가시키기가 어려울 수 있다.

[0074] 그러나 도 3의 실시예와 같이, 포화 자화(Ms)가 낮은 제2층(20)을 사용하면, 자성층(M11) 전체의 포화 자화(Ms)를 낮출 수 있기 때문에, 상기 탈자화 에너지를 낮출 수 있다. 따라서, 계면 수직자기이방성(IPMA)이 유지되는 자성층(M11)의 임계 두께(critical thickness)를 증가시킬 수 있다. 그러므로 자성층(M11)의 두께를 1nm 이상으로 증가시킬 수 있다. 예컨대, 자성층(M11)의 두께는 1~3nm 정도 또는 1.5~3nm 정도일 수 있다. 도 3과 같은 자성구조체를 이용해서 자기저항요소를 형성할 경우(예컨대, 도 7과 같은 자기저항요소를 형성할 경우), 자성층(M11)의 두께가 두꺼울수록 상기 자기저항요소의 자기저항비(즉, MR 비)를 증가시킬 수 있다. 예컨대, 상기 자기저항요소의 자기저항비(즉, MR 비)를 약 200% 까지 증가시킬 수 있다. 그러므로 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체를 이용하면, 우수한 성능의 자기저항요소를 구현할 수 있다. 이러한 자기저항요소를 메모리소자에 적용하면, 메모리소자의 동작 마진(operation margin)을 넓힐 수 있다.

[0075] 도 3의 구조를 위·아래로 뒤집은 구조도 가능하다. 그 예가 도 4에 도시되어 있다. 도 4에서는 응력인가층(S10) 상에 자성층(M11) 및 비자성층(N10)이 순차로 구비되고, 자성층(M11)은 제1층(10) 및 제2층(20)을 포함한다. 제2층(20)은 제1층(10)과 응력인가층(S10) 사이에 구비된다.

[0076] 도 1 내지 도 4의 자성구조체는 제2자성층을 더 포함할 수 있다. 도 1 내지 도 4의 자성구조체에 제2자성층을 추가한 구조가 도 5 내지 도 8에 도시되어 있다.

[0077] 도 5 내지 도 8을 참조하면, 자성층(M10, M11)은 제1자성층(M10, M11)일 수 있고, 비자성층(N10)의 일면에 제2자성층(M20)이 더 구비될 수 있다. 제2자성층(M20)은 비자성층(N10)을 사이에 두고 제1자성층(M10, M11)과 마주하도록 구비될 수 있다. 따라서 제1자성층(M10, M11)과 제2자성층(M20) 사이에 비자성층(N10)이 구비될 수

있다. 제2자성층(M20)은, 예컨대, Co, Fe 및 Ni 중 적어도 하나를 포함하는 강자성 물질로 형성될 수 있다. 상기 강자성 물질은 Co, Fe, Ni 이외에 다른 원소, 예컨대, B, Cr, Pt, Pd 등을 더 포함할 수도 있다. 제1자성층(M10, M11)이 수직자기이방성을 갖는 경우, 제2자성층(M20)도 수직자기이방성을 가질 수 있다. 그러나 제2자성층(M20)의 물질은 전술한 바에 한정되지 않고, 다양하게 변화될 수 있다. 한편, 제2자성층(M20)의 두께는 약 50nm 이하, 예컨대, 약 30nm 이하일 수 있다.

[0078] 제1자성층(M10, M11)과 제2자성층(M20) 중 하나, 예컨대, 제1자성층(M10, M11)은 자유층(free layer)일 수 있고, 다른 하나, 예컨대, 제2자성층(M20)은 고정층(pinned layer)일 수 있다. 자유층은 자화 방향을 변동할 수 있는 자성층을 의미하고, 고정층은 자화 방향이 고정된 자성층을 의미한다. 제2자성층(M20)의 자화 방향이 고정된 상태에서, 제1자성층(M10, M11)의 자화 방향이 변동됨에 따라, 제1자성층(M10, M11)과 제2자성층(M20) 사이의 저항이 달라질 수 있다. 따라서 제1자성층(M10, M11)과 제2자성층(M20) 및 이들 사이에 비자성층(N10)을 포함하는 자성구조체는 자기저항요소(magnetoresistive element)일 수 있다. 특히, 비자성층(N10)이 절연층인 경우, 상기 자기저항요소는 MTJ(magnetic tunneling junction) 요소일 수 있다. 상기 자유층(ex, 제1자성층)의 자화 방향이 상기 고정층(ex, 제2자성층)의 자화 방향과 동일할 때, 상기 자기저항요소는 낮은 저항값을 갖고, 상기 자유층(ex, 제1자성층)의 자화 방향이 상기 고정층(ex, 제2자성층)의 자화 방향과 반대일 때, 상기 자기저항요소는 높은 저항값을 갖는다. 상기 자기저항요소의 낮은 저항값은 데이터 '0'에 대응될 수 있고, 높은 저항값은 데이터 '1'에 대응될 수 있다.

[0079] 도 9a 내지 도 9e는 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다. 본 실시예의 방법은 도 6의 구조를 갖는 자성구조체(자기저항요소)를 형성하는 방법이다.

[0080] 도 9a를 참조하면, 소정의 기판(미도시) 상에 응력인가층(S100)을 형성할 수 있다. 현 단계에서 응력인가층(S100)은 다른 층에 응력을 인가하는 층은 아니지만, 추후에 "응력인가층"이 될 것이기 때문에, 편의상 "응력인가층"이라 칭한다. 응력인가층(S100)은 추후에 형성할 자성층(도 9c의 M100)보다 열팽창 계수가 큰 물질로 형성할 수 있다. 예컨대, 응력인가층(S100)은 Al, Ga, Mn, Zn, Cu 등으로 구성된 그룹 중에서 선택된 적어도 하나의 물질로 형성할 수 있다. 응력인가층(S100)은, 예컨대, 상온 또는 상온과 유사한 온도(약 150°C 이하의 저온)에서 형성할 수 있다.

[0081] 도 9b를 참조하면, 응력인가층(S100)을 가열할 수 있다. 예컨대, 응력인가층(S100)을 200~500°C 정도의 온도로 가열할 수 있다. 이에, 응력인가층(S100)은 수평 방향으로 팽창될 수 있다. 응력인가층(S100)을 소정의 기판(미도시) 상에 형성한 경우, 상기 기판을 가열함으로써, 응력인가층(S100)을 가열할 수 있다.

[0082] 도 9c를 참조하면, 가열된 응력인가층(S100) 상에 제1자성층(M100) 및 비자성층(N100)을 순차로 형성할 수 있다. 제1자성층(M100)은 비자성층(N100)과의 계면(즉, 접촉면)에서 계면 수직자기이방성(IPMA)을 가질 수 있다. 다시 말해, 제1자성층(M100)과 비자성층(N100)의 적층 구조는 IPMA 시스템 또는 IPMA 구조라고 할 수 있다. 제1자성층(M100)은 Fe 계열 또는 CoFe 계열의 물질을 포함할 수 있고, 상기 CoFe 계열의 물질은, 예컨대, CoFeB를 포함할 수 있다. 비자성층(N100)은 산화물, 예컨대, Mg 산화물(즉, MgO)을 포함할 수 있다. 응력인가층(S100)이 가열된 상태에서 제1자성층(M100) 및 비자성층(N100)을 형성하므로, 제1자성층(M100) 및 비자성층(N100)도 응력인가층(S100)과 동일한(혹은 유사한) 온도로 가열된 상태일 수 있다.

[0083] 도 9d를 참조하면, 가열된 응력인가층(S100), 제1자성층(M100) 및 비자성층(N100)을 소정 온도까지 냉각할 수 있다. 예컨대, 상기 층들(S100, M100, N100)을 상온까지 냉각시킬 수 있다. 응력인가층(S100)의 열팽창 계수는 제1자성층(M100)의 열팽창 계수보다 크기 때문에, 응력인가층(S100)의 수평 방향으로의 수축 정도는 제1자성층(M100)의 그것보다 클 수 있다. 그러므로 응력인가층(S100)에 의해 제1자성층(M100)에 수평 방향으로의 압축 응력이 인가될 수 있다. 이에, 제1자성층(M100)은 응력인가층(S100)에 의해 압축 변형된(compressive strained) 격자 구조를 가질 수 있다. 제1자성층(M100)의 두께가 얇기 때문에, 제1자성층(M100)의 전 영역에서 격자 구조가 압축 변형될 수 있다. 즉, 응력인가층(S100)에 접촉된 제1자성층(M100) 영역뿐 아니라 그 반대쪽 영역, 즉, 비자성층(N100)과 접촉된 제1자성층(M100) 영역도 압축 변형될 수 있다. 제1자성층(M100)이 압축 변형된 구조를 가질 때, 제1자성층(M100)의 자기이방성 에너지(magnetic anisotropy energy)가 증가할 수 있다.

[0084] 도 9e를 참조하면, 비자성층(N100) 상에 제2자성층(M200)을 형성할 수 있다. 제2자성층(M200)은, 예컨대, Co, Fe 및 Ni 중 적어도 하나를 포함하는 강자성 물질로 형성될 수 있다. 상기 강자성 물질은 Co, Fe, Ni 이외에 다른 원소, 예컨대, B, Cr, Pt, Pd 등을 더 포함할 수도 있다. 제1자성층(M100)이 수직자기이방성을 갖는 경우, 제2자성층(M200)도 수직자기이방성을 가질 수 있다. 제1자성층(M100) 및 제2자성층(M200) 중 하나, 예컨대, 제1자성층(M100)은 자유층일 수 있고, 다른 하나, 예컨대, 제2자성층(M200)은 고정층일 수 있다. 이러한 도 9e의

자성구조체는 자기저항요소일 수 있다. 비자성층(N100)이 절연층인 경우, 도 9e의 자성구조체는 MTJ 요소일 수 있다.

- [0085] 도 10은 도 9a 내지 도 9e의 형성방법을 간략히 정리한 순서도이다.
- [0086] 도 10을 참조하면, 열팽창 계수가 큰 물질로 응력인가층을 형성한 후(S1), 이를 가열하고(S2), 그 위에 제1자성층/비자성층의 적층 구조물을 형성할 수 있다(S3). 그 다음, 상기 응력인가층과 적층 구조물을 냉각하고(S4), 제2자성층을 형성할 수 있다(S5). 제3단계(S3)에서 형성하는 제1자성층/비자성층의 적층 구조물은 IPMA 시스템 일 수 있다. 제4단계(S4), 즉, 냉각 단계에서 상기 응력인가층이 수평 방향으로 수축되면서, 상기 제1자성층에 압축 응력이 인가될 수 있다. 그 결과, 상기 제1자성층의 격자 구조는 압축 변형될 수 있다. 상기 제2자성층은 상기 냉각 단계(즉, 제4단계)(S4) 이전에, 제3단계(S3)에서 형성할 수도 있다. 다시 말해, 제3단계(S3)에서 상기 비자성층 상에 제2자성층을 형성한 후, 냉각 단계(S4)를 수행할 수도 있다.
- [0087] 상기 열팽창 계수가 큰 물질로 응력인가층을 형성하는 경우, 만약 상기 응력인가층을 고온에서 증착하면, 응력인가층의 표면 모폴로지(morphology)가 나빠질 가능성이 있다. 특히, 상기 열팽창 계수가 큰 물질이 금속인 경우, 고온 증착시, 표면 모폴로지가 나빠질 가능성이 있다. 그러나 전술한 실시예에서는 상온 또는 상온과 유사한 온도에서 먼저 응력인가층을 형성하고, 후속 단계에서 이를 가열한 다음, 제1자성층/비자성층을 형성한 후, 냉각하기 때문에, 위와 같은 문제, 즉, 응력인가층의 표면 모폴로지가 나빠지는 문제를 방지할 수 있다.
- [0088] 도 11a 내지 도 11d는 본 발명의 다른 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다. 본 실시예의 방법은 도 5의 구조를 갖는 자성구조체(자기저항요소)를 형성하는 방법이다.
- [0089] 도 11a를 참조하면, 제2자성층(M201)을 형성할 수 있다. 제2자성층(M201)은, 예컨대, Co, Fe 및 Ni 중 적어도 하나를 포함하는 강자성 물질로 형성될 수 있다. 상기 강자성 물질은 Co, Fe, Ni 이외에 다른 원소를 더 포함할 수도 있다. 제2자성층(M201)은 수직자기이방성을 가질 수 있다. 제2자성층(M201) 상에 비자성층(N101) 및 제1자성층(M101)을 순차로 적층할 수 있다. 제1자성층(M101)은 비자성층(N101)과의 계면(즉, 접촉면)에서 계면 수직 자기이방성(IPMA)을 형성할 수 있다. 제1자성층(M101)은 Fe 계열 또는 CoFe 계열의 물질을 포함할 수 있고, 상기 CoFe 계열의 물질은, 예컨대, CoFeB를 포함할 수 있다. 비자성층(N101)은 산화물, 예컨대, Mg 산화물(즉, MgO)을 포함할 수 있다.
- [0090] 도 11b를 참조하면, 제1자성층(M101), 비자성층(N101) 및 제2자성층(M201)을 가열할 수 있다. 예컨대, 상기 층들(M101, N101, M201)을 200~500℃ 정도의 온도로 가열할 수 있다. 상기 층들(M101, N101, M201)을 소정의 기판(미도시) 상에 형성한 경우, 상기 기판을 가열함으로써, 상기 층들(M101, N101, M201)을 가열할 수 있다.
- [0091] 도 11c를 참조하면, 제1자성층(M101), 비자성층(N101) 및 제2자성층(M201)이 가열된 상태에서, 제1자성층(M101) 상에 응력인가층(S101)을 형성할 수 있다. 응력인가층(S101)은 제1자성층(M101)보다 열팽창 계수가 큰 물질로 형성할 수 있다. 예컨대, 응력인가층(S101)은 Al, Ga, Mn, Zn, Cu 등으로 구성된 그룹 중에서 선택된 적어도 하나의 물질로 형성할 수 있다. 응력인가층(S101)은 고온, 예컨대, 200~500℃ 정도의 온도에서 형성되기 때문에, 수평 방향으로 팽창된 상태로 형성될 수 있다.
- [0092] 도 11d를 참조하면, 응력인가층(S101), 제1자성층(M101), 비자성층(N101) 및 제2자성층(M201)을 소정 온도까지 냉각할 수 있다. 예컨대, 상기 층들(S101, M101, N101, M201)을 상온까지 냉각시킬 수 있다. 응력인가층(S101)의 열팽창 계수는 제1자성층(M101)의 열팽창 계수보다 크기 때문에, 응력인가층(S101)의 수평 방향으로의 수축 정도는 제1자성층(M101)의 그것보다 클 수 있다. 그러므로 응력인가층(S101)에 의해 제1자성층(M101)에 수평 방향으로의 압축 응력이 인가될 수 있다. 따라서 제1자성층(M101)은 응력인가층(S101)에 의해 압축 변형된 격자 구조를 가질 수 있다.
- [0093] 도 12는 도 11a 내지 도 11d의 형성방법을 간략히 정리한 순서도이다.
- [0094] 도 12를 참조하면, 제2자성층 상에 비자성층/제1자성층의 적층 구조물을 형성한 후(S11), 이 층들을 소정 온도, 예컨대, 200~500℃ 정도의 온도로 가열할 수 있다(S21). 다음, 상기 가열된 제1자성층 상에 열팽창 계수가 큰 물질로 응력인가층을 형성한 후(S31), 상기 응력인가층과 적층 구조물을 냉각할 수 있다(S41). 제4단계(S41), 즉, 냉각 단계에서 상기 응력인가층이 수평 방향으로 수축되면서, 상기 제1자성층에 압축 응력이 인가될 수 있다. 그 결과, 상기 제1자성층의 격자 구조는 압축 변형될 수 있다.
- [0095] 도 13a 내지 도 13d는 본 발명의 다른 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다. 본 실시예의 방법은 도 6의 구조를 갖는 자성구조체(자기저항요소)를 형성하는 방법이다.

- [0096] 도 13a를 참조하면, 소정의 기관(미도시) 상에 응력인가층(S102)을 형성할 수 있다. 현 단계에서 응력인가층(S102)은 다른 층에 응력을 인가하는 층은 아니지만, 추후에 "응력인가층"이 될 것이기 때문에, 편의상 "응력인가층"이라 칭한다. 응력인가층(S102)은 상변태(phase transformation) 물질로 형성할 수 있다. 상기 상변태 물질은 저온에서 제1상을 갖고, 고온에서 제2상을 갖는 물질일 수 있다. 상기 제2상의 수평 방향으로의 격자 상수는 상기 제1상의 그것보다 작을 수 있다. 상기 상변태 물질은 상기 고온에서 제2상으로 변화된 후, 온도가 저온으로 떨어지더라도 계속해서 상기 제2상을 유지하는 물질일 수 있다. 즉, 상기 상변태 물질은 비가역적으로(irreversibly) 상이 변하는 물질일 수 있다. 본 단계에서 응력인가층(S102)은 상기 제1상을 가질 수 있다. 구체적인 예로, 상기 상변태 물질은 MnAl을 포함할 수 있다. 이 경우, 상기 MnAl은 도 20a에 도시된 바와 같은 ϵ' -phase를 가질 수 있다. 도 20a의 ϵ' -phase는 상기 제1상에 대응될 수 있다.
- [0097] 도 13b를 참조하면, 응력인가층(S102) 상에 제1자성층(M102) 및 비자성층(N102)을 순차로 형성할 수 있다. 제1자성층(M102)은 비자성층(N102)과의 계면(즉, 접촉면)에서 계면 수직자기이방성(IPMA)을 가질 수 있다. 다시 말해, 제1자성층(M102)과 비자성층(N102)은 IPMA 시스템 또는 IPMA 구조를 형성할 수 있다. 제1자성층(M102)은 Fe 계열 또는 CoFe 계열의 물질을 포함할 수 있고, 상기 CoFe 계열의 물질은, 예컨대, CoFeB를 포함할 수 있다. 비자성층(N102)은 산화물, 예컨대, Mg 산화물(즉, MgO)을 포함할 수 있다.
- [0098] 도 13c를 참조하면, 응력인가층(S102)의 상(phase)을 변화(변태)시킬 수 있다. 응력인가층(S102)의 상을 변화(변태)시키는 단계는 응력인가층(S102)을 소정 온도(예컨대, 약 300°C 이상의 온도)로 가열하는 단계를 포함할 수 있다. 응력인가층(S102)의 상이 제2상으로 변화되면서, 응력인가층(S102)의 수평 방향으로의 격자 상수가 수축될 수 있다. 그러므로 응력인가층(S102)에 의해 제1자성층(M102)에 수평 방향으로의 압축 응력이 인가될 수 있다. 이에, 제1자성층(M102)은 응력인가층(S102)에 의해 압축 변형된(compressive strained) 격자 구조를 가질 수 있다. 제1자성층(M102)의 두께가 얇기 때문에, 제1자성층(M102)의 전 영역에서 격자 구조가 압축 변형될 수 있다. 제1자성층(M102)이 압축 변형된 구조를 가질 때, 제1자성층(M102)의 자기이방성 에너지가 증가할 수 있다.
- [0099] 구체적인 예로, 도 13c에서 응력인가층(S102)이 상변태 물질로 MnAl을 포함하는 경우, MnAl의 상(phase)은 도 20a의 ϵ' -phase에서 도 20b의 τ -phase으로 변화될 수 있다. 도 20b의 τ -phase는 상기 제2상에 대응될 수 있다. 도 20b의 τ -phase에서 파라미터 b'는 도 20a의 ϵ' -phase에서 파라미터 b보다 작다. 즉, 상변태에 의해 수평 방향으로의 격자 상수가 수축한 것이다.
- [0100] 도 13d를 참조하면, 비자성층(N102) 상에 제2자성층(M202)을 형성할 수 있다. 제2자성층(M202)은, 예컨대, Co, Fe 및 Ni 중 적어도 하나를 포함하는 강자성 물질로 형성될 수 있다. 상기 강자성 물질은 Co, Fe, Ni 이외에 다른 원소를 더 포함할 수도 있다. 제1자성층(M102)이 수직자기이방성을 갖는 경우, 제2자성층(M202)도 수직자기이방성을 가질 수 있다. 제1자성층(M102) 및 제2자성층(M202) 중 하나, 예컨대, 제1자성층(M102)은 자유층일 수 있고, 다른 하나, 예컨대, 제2자성층(M202)은 고정층일 수 있다. 이러한 도 13d의 자성구조체는 자기저항요소일 수 있다. 비자성층(N102)이 절연층인 경우, 도 13d의 자성구조체는 MTJ 요소일 수 있다.
- [0101] 도 14는 도 13a 내지 도 13d의 형성방법을 간략히 정리한 순서도이다.
- [0102] 도 14를 참조하면, 상변태 물질을 포함하는 응력인가층을 형성한 후(S12), 그 위에 제1자성층/비자성층의 적층 구조물을 형성할 수 있다(S22). 그 다음, 상기 응력인가층의 상을 변화시킬 수 있고(S32), 상기 비자성층 상에 제2자성층을 형성할 수 있다(S42). 제2단계(S22)에서 형성하는 제1자성층/비자성층의 적층 구조물은 IPMA 시스템일 수 있다. 제3단계(S32), 즉, 상변태 단계에서 상기 응력인가층이 수평 방향으로 수축되면서, 상기 제1자성층에 압축 응력이 인가될 수 있다. 그 결과, 상기 제1자성층의 격자 구조는 압축 변형될 수 있다. 상기 제2자성층은 상기 상변태 단계(즉, 제3단계)(S32) 이전에, 제2단계(S22)에서 형성할 수도 있다. 다시 말해, 제2단계(S22)에서 상기 비자성층 상에 제2자성층을 형성한 후, 상변태 단계(S32)를 수행할 수도 있다.
- [0103] 도 15a 내지 도 15c는 본 발명의 다른 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법을 보여주는 단면도이다. 본 실시예의 방법은 도 5의 구조를 갖는 자성구조체(자기저항요소)를 형성하는 방법이다.
- [0104] 도 15a를 참조하면, 제2자성층(M203)을 형성할 수 있다. 제2자성층(M203)은, 예컨대, Co, Fe 및 Ni 중 적어도 하나를 포함하는 강자성 물질로 형성될 수 있다. 상기 강자성 물질은 Co, Fe, Ni 이외에 다른 원소를 더 포함할 수도 있다. 제2자성층(M203)은 수직자기이방성을 가질 수 있다. 다음, 제2자성층(M203) 상에 비자성층(N103) 및 제1자성층(M103)을 순차로 적층할 수 있다. 제1자성층(M103)은 비자성층(N103)과의 계면(즉, 접촉면)에서 계면 수직자기이방성(IPMA)을 형성할 수 있다. 제1자성층(M103)은 Fe 계열 또는 CoFe 계열의 물질을 포함할 수 있고,

비자성층(N103)은 산화물, 예컨대, Mg 산화물(즉, MgO)을 포함할 수 있다.

- [0105] 도 15b를 참조하면, 제1자성층(M103) 상에 응력인가층(S103)을 형성할 수 있다. 현 단계에서 응력인가층(S103)은 제1자성층(M103)에 응력을 인가하는 층은 아니지만, 추후에 "응력인가층"이 될 것이기 때문에, 편의상 "응력인가층"이라 칭한다. 응력인가층(S103)은 상변태 물질로 형성할 수 있다. 상기 상변태 물질은 도 13a에서 설명한 바와 동일할 수 있다.
- [0106] 도 15c를 참조하면, 응력인가층(S103)의 상(phase)을 변화(변태)시킬 수 있다. 응력인가층(S103)의 상을 변화(변태)시키는 방법은 도 13c에서 설명한 바와 동일하거나 유사할 수 있다. 응력인가층(S103)의 상이 변화(변태)되면서, 응력인가층(S103)의 수평 방향으로의 격자 상수가 수축될 수 있고, 제1자성층(M103)에 수평 방향으로의 압축 응력이 인가될 수 있다. 따라서 제1자성층(M103)은 응력인가층(S103)에 의해 압축 변형된 격자 구조를 가질 수 있다.
- [0107] 도 16는 도 15a 내지 도 15c의 형성방법을 간략히 정리한 순서도이다.
- [0108] 도 16을 참조하면, 제2자성층 상에 비자성층/제1자성층의 적층 구조물을 형성한 후(S13), 상기 제1자성층 상에 상변태 물질을 포함하는 응력인가층을 형성하고(S23), 상기 응력인가층의 상을 변화(변태)시킬 수 있다(S33). 제3단계(S33), 즉, 상변태 단계에서 상기 응력인가층이 수평 방향으로 수축되면서, 상기 제1자성층에 압축 응력이 인가될 수 있다. 그 결과, 상기 제1자성층의 격자 구조는 압축 변형될 수 있다.
- [0109] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 자성층의 압축 변형을 유도하기 위하여, 상기 자성층보다 격자 상수(lattice parameter)가 작은 물질로 응력인가층을 형성할 수도 있다. 상기 응력인가층의 수평 방향으로의 격자 상수는 상기 자성층의 그것보다 작을 수 있다. 상기 응력인가층의 격자 상수와 상기 자성층의 격자 상수의 차이는 약 10% 이내일 수 있다. 자성층보다 격자 상수가 작은 물질이 상기 자성층과 접합되어 있으면, 상기 자성층에 압축 응력이 인가될 수 있다. 에피택셜 성장(epitaxial growth)의 상황을 고려할 때, 격자 상수가 상대적으로 작은 물질층 상에 자성층을 에피택셜하게 성장시키면, 상기 자성층은 상기 격자 상수가 작은 물질층에 의해 압축 응력을 받을 수 있다. 이렇게 자성층보다 격자 상수가 작은 물질을 응력인가층에 적용함으로써, 도 5 및 도 6과 같은 자성구조체(자기저항요소)를 형성할 수 있다.
- [0110] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 전술한 다양한 제조방법에서 제1자성층(M100, M101, M102, M103)을 다층 구조로 형성할 수 있다. 예컨대, 제1자성층(M100, M101, M102, M103)을 제1층(도 7 및 도 8의 10)과 제2층(도 7 및 도 8의 20)을 포함하는 이중층 구조로 형성할 수 있다. 이때, 상기 제2층은 상기 제1층보다 작은 포화 자화(Ms)를 가질 수 있다. 이와 같이, 제1자성층(M100, M101, M102, M103)을 다층 구조로 형성하면, 도 7 및 도 8과 같은 자성구조체(자기저항요소)를 제조할 수 있다. 그 밖에도 전술한 제조방법들은 다양하게 변화될 수 있다.
- [0111] 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)는 다양한 자성소자 및 전자소자에 적용될 수 있다. 예컨대, 상기 자성구조체(자기저항요소)는 메모리소자의 메모리셀에 적용될 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)는 스케일 다운(scale down)에 유리하고, 우수한 성능 및 열적 안정성을 가질 수 있으므로, 이를 메모리소자에 적용하면, 고밀도/고성능의 메모리소자를 구현할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 자기저항요소는 메모리소자뿐 아니라, 그 밖에 다른 소자에도 여러 가지 용도로 적용될 수 있다.
- [0112] 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)를 포함하는 메모리소자의 일례를 보여주는 도면이다.
- [0113] 도 17을 참조하면, 본 실시예의 메모리소자는 메모리셀(MC1)에 자기저항요소(MR1) 및 이에 연결된 스위칭요소(TR1)를 포함할 수 있다. 자기저항요소(MR1)는 도 5 내지 도 8에서 설명한 다양한 구조 중 하나, 예컨대, 도 6의 구조를 가질 수 있다. 자기저항요소(MR1)의 제1 및 제2자성층(M10, M20) 중 하나, 예컨대, 제1자성층(M10)은 자유층일 수 있고, 다른 하나, 예컨대, 제2자성층(M20)은 고정층일 수 있다. 스위칭요소(TR1)는, 예컨대, 트랜지스터일 수 있다. 스위칭요소(TR1)는 자기저항요소(MR1)의 제1자성층(M10)에 전기적으로 연결될 수 있다.
- [0114] 메모리셀(MC1)은 비트라인(BL1)과 워드라인(WL1) 사이에 연결될 수 있다. 비트라인(BL1)과 워드라인(WL1)은 서로 교차하도록 구비될 수 있고, 이들의 교차점에 메모리셀(MC1)이 구비될 수 있다. 비트라인(BL1)은 자기저항요소(MR1)에 연결될 수 있다. 자기저항요소(MR1)의 제2자성층(M20)이 비트라인(BL1)에 전기적으로 연결될 수 있다. 워드라인(WL1)은 스위칭요소(TR1)에 연결될 수 있다. 스위칭요소(TR1)가 트랜지스터인 경우, 워드라인(WL1)은 스위칭요소(TR1)의 게이트전극에 연결될 수 있다. 워드라인(WL1)과 비트라인(BL1)을 통해서, 메모리셀

(MC1)에 쓰기전류, 읽기전류, 소거전류 등이 인가될 수 있다.

[0115] 도 17에서는 하나의 메모리셀(MC1)을 도시하였지만, 복수의 메모리셀(MC1)은 어레이(array)를 이루도록 배열될 수 있다. 즉, 복수의 비트라인(BL1)과 복수의 워드라인(WL1)이 서로 교차하도록 배열될 수 있고, 이들의 교차점 각각에 메모리셀(MC1)이 구비될 수 있다.

[0116] 도 17의 메모리소자는 MRAM(magnetic random access memory)일 수 있다. 이때, 도 17의 메모리소자는 스핀 트랜스퍼 토크(spin transfer torque)를 이용해서 데이터를 기록하는 소자일 수 있다. 상기 스핀 트랜스퍼 토크(spin transfer torque)는 전류에 의해 유도될 수 있다. 전류에 의해 유도된 스핀 토크(spin torque)가 자유층, 예컨대, 제1자성층(M10)에 전달됨에 따라 제1자성층(M10)이 소정 방향으로 자화될 수 있다. 상기 전류의 방향에 따라 제1자성층(M10)의 자화 방향이 달라질 수 있다. 이렇게 스핀 트랜스퍼 토크(spin transfer torque)를 이용해서 데이터를 기록하는 메모리소자는 STT-MRAM(spin transfer torque MRAM)이라 할 수 있다. STT-MRAM의 경우, 기존의 MRAM과 달리 외부 자기장 발생을 위한 별도의 도선(즉, 디지털 라인)을 필요치 않기 때문에, 고집적화에 유리하고 동작 방법이 단순하다는 장점이 있다.

[0117] 상기한 설명에서 많은 사항이 구체적으로 기재되어 있으나, 그들은 발명의 범위를 한정하는 것이라기보다, 구체적인 실시예의 예시로서 해석되어야 한다. 예를 들어, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면, 도 1 내지 도 8의 자성구조체(자기저항요소)의 구조는 다양하게 변형될 수 있음을 알 수 있을 것이다. 구체적인 예로, 도 5 내지 도 8의 자성구조체(자기저항요소)에서 제2자성층(M20)에 접합된 제2응력인가층을 더 구비시킬 수 있고, 이 경우, 상기 제2자성층(M20)도 압축 변형된 격자 구조를 가질 수 있음을 알 수 있을 것이다. 또한 본 발명의 실시예에 따른 자성구조체(자기저항요소)는 도 17과 같은 메모리소자뿐 아니라 다른 구조의 메모리소자 또는 메모리소자가 아닌 다른 자성소자(예컨대, 자기센서 등)에도 적용될 수 있음을 알 수 있을 것이다. 또한 도 9a 내지 도 16을 참조하여 설명한 자성구조체(자기저항요소)의 형성방법도 다양하게 변화될 수 있음을 알 수 있을 것이다. 때문에 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 의하여 정하여 질 것이 아니고 특허 청구범위에 기재된 기술적 사상에 의해 정하여져야 한다.

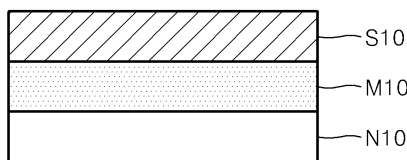
부호의 설명

[0118] <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

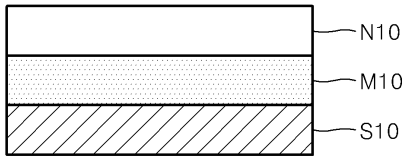
- M10, M11, M100~M103 : 자성층
- M20, M200~M203 : 제2자성층
- N10, N100~N103 : 비자성층
- S10, S100~S103 : 응력인가층
- MC1 : 메모리셀
- MR1 : 자기저항요소
- TR1 : 스위칭요소
- BL1 : 비트라인
- WL1 : 워드라인
- 10 : 자성층의 제1층
- 20 : 자성층의 제2층

도면

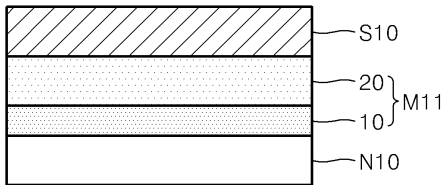
도면1



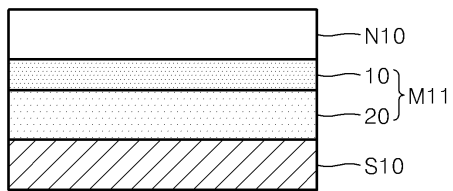
도면2



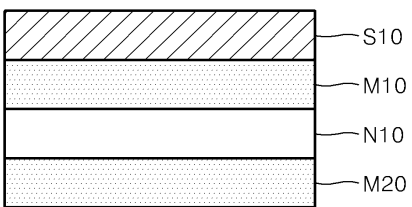
도면3



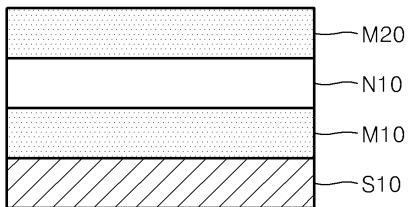
도면4



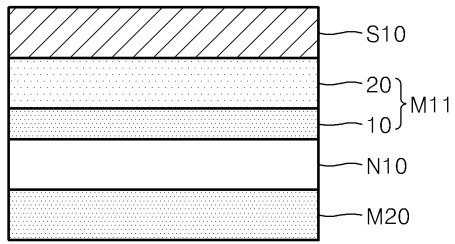
도면5



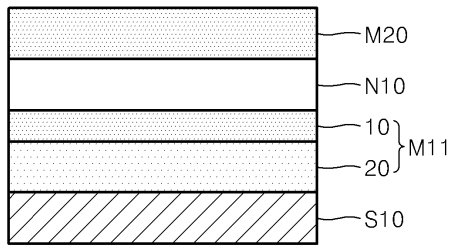
도면6



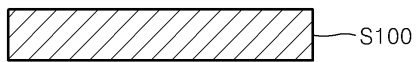
도면7



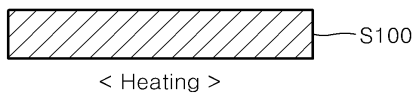
도면8



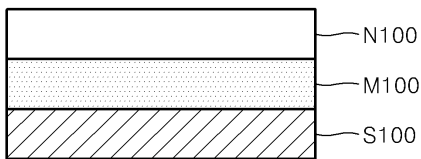
도면9a



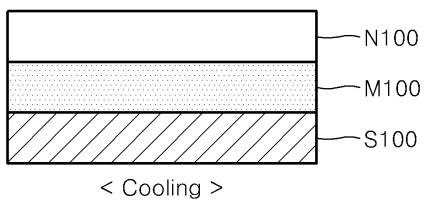
도면9b



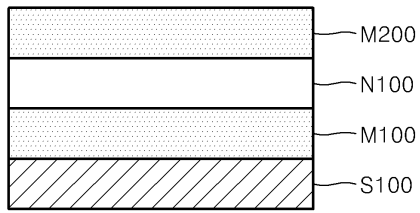
도면9c



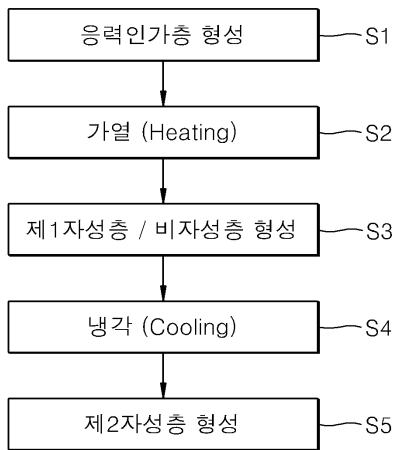
도면9d



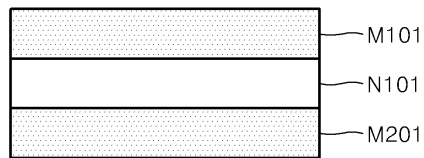
도면9e



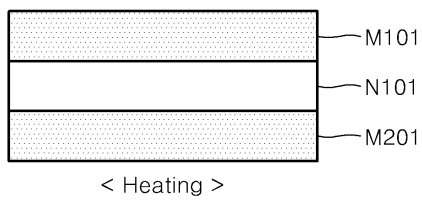
도면10



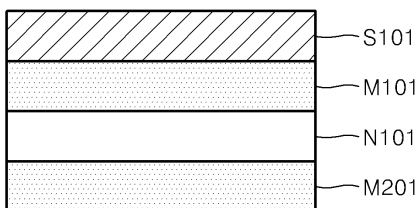
도면11a



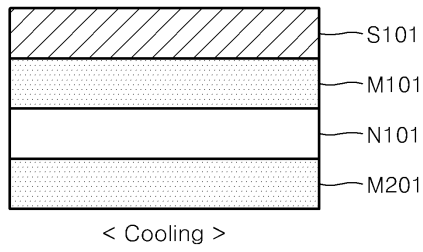
도면11b



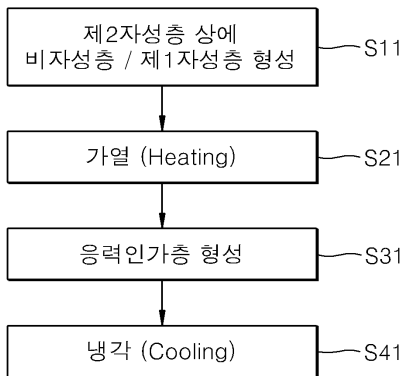
도면11c



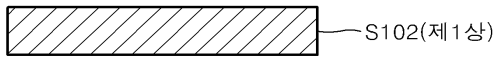
도면11d



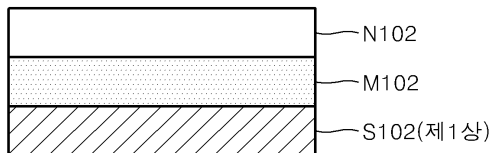
도면12



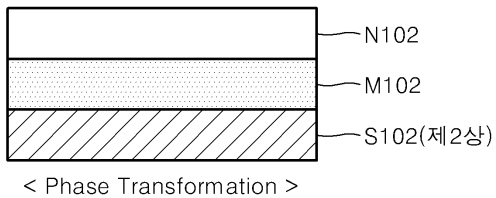
도면13a



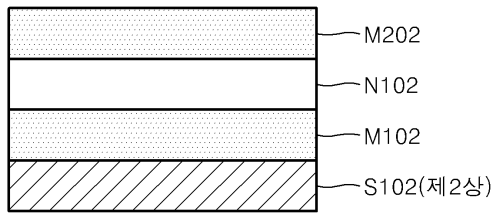
도면13b



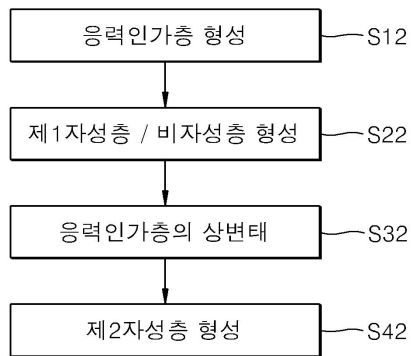
도면13c



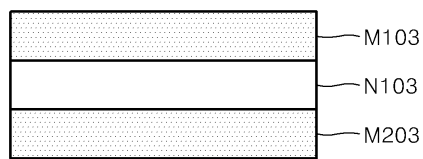
도면13d



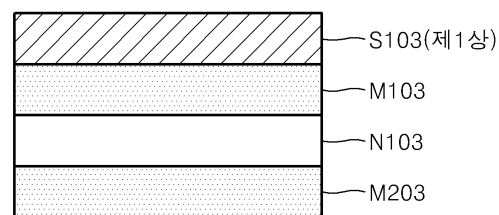
도면14



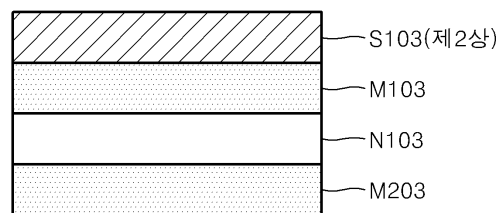
도면15a



도면15b

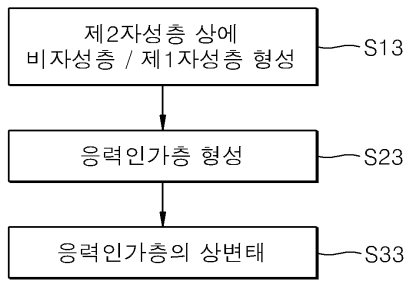


도면15c

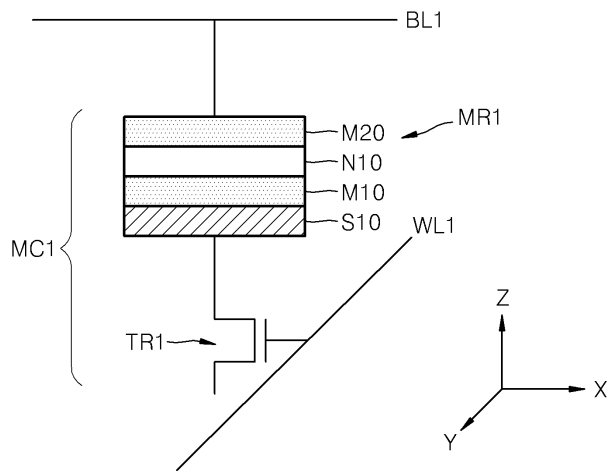


< Phase Transformation >

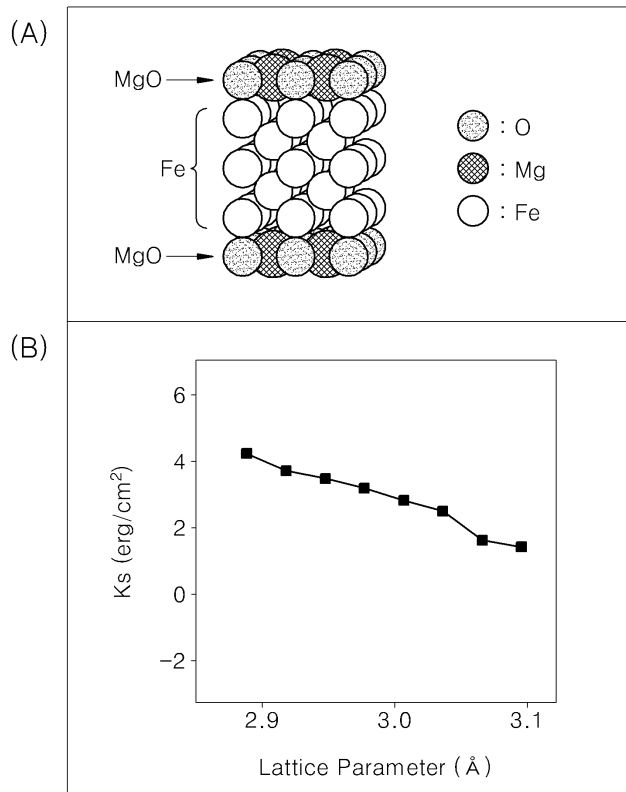
도면16



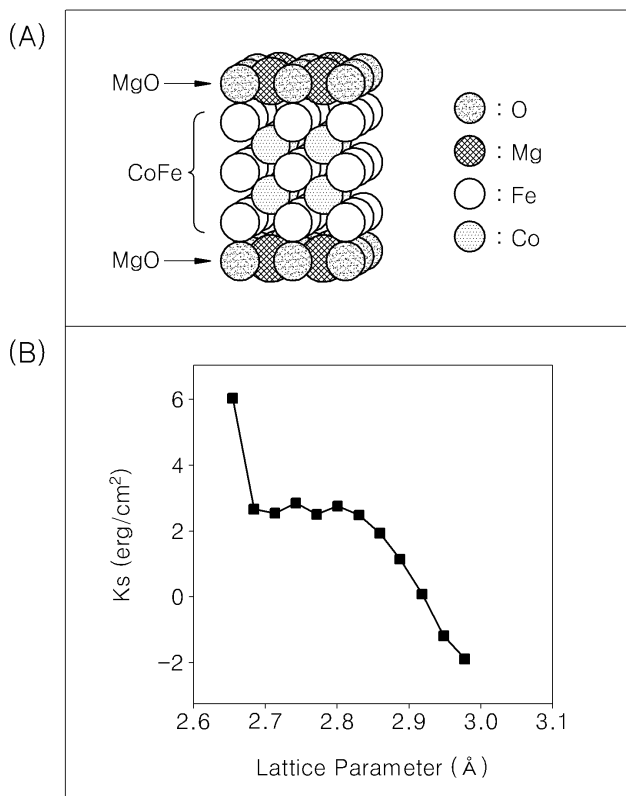
도면17



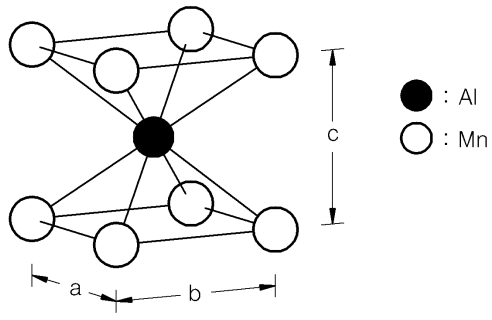
도면18



도면19



도면20a



도면20b

