(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0083403
(43) 공개일자 2011년07월20일

(51) Int. Cl.
G11C 11/15 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0003614
(22) 출원일자 2010년01월14일
심사청구일자 2010년01월14일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
임상호
서울특별시 성북구 하월곡동 39-1 한국과학기술연구원
이성래
서울특별시 강남구 논현동 245 동양파라곤아파트 101동 201호
정종호
서울특별시 동대문구 제기2동 67-252 203호
(74) 대리인
특허법인 대아

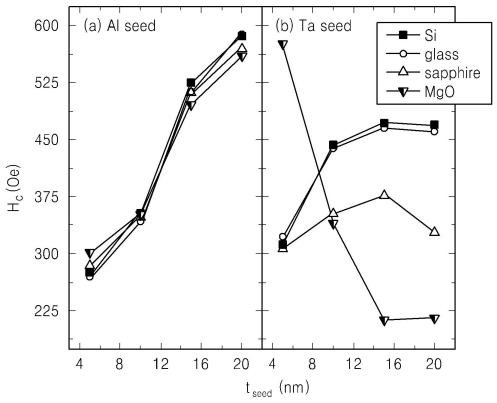
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 수직자기이방성을 가지는 코발트-철-보론/팔라듐 다층박막 및 이를 이용하여 제조한 자기 랜덤 액세스 메모리

(57) 요 약

본 발명은 수직자기이방성을 가지는 CoFeB/Pd 다층박막 및 이를 이용하여 제조한 자기 랜덤 액세스 메모리에 관한 것으로, 기판 상부에 형성되는 Pd층 및 상기 Pd층 상부에 형성되는 [CoFeB/Pd]N(N은 3이상의 자연수)를 포함하는 다층박막을 제공하되, 상기 기판은 실리콘 기판, 유리 기판, 사파이어 기판 및 산화마그네슘 기판 중 어느 하나를 사용 하고, 상기 기판 및 Pd층 사이에 형성되는 Al 또는 Ta 시드층을 더 포함시킴으로써, 40 ~ 600 Oe의 높은 보자력(Hc)을 가지는 우수한 수직자기이방성을 나타내도록 하는 발명에 관한 것이다.

대 표 도 - 도6



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 R0911821
부처명 지식경제부
연구관리전문기관
연구사업명 IT산업원천기술개발사업
연구과제명 수직자화 STT-MRAM 구동 모델링 및 셀 최적화 기술개발
기여율
주관기관 한양대학교
연구기간 2009년 03월 01일 ~ 2010년 02월 28일

특허청구의 범위

청구항 1

수직자기이방성을 가지는 다층박막에 있어서,

기판 상부에 형성되는 Pd층; 및

상기 Pd층 상부에 형성되는 [CoFeB/Pd]이 N회 반복 적층된(N은 3이상의 자연수) 다층막 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 실리콘 기판, 유리 기판, 사파이어 기판 및 산화마그네슘 기판 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기판 및 Pd층 사이에 형성되는 Al 또는 Ta 재질의 시드층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 시드층의 두께는 5 ~ 20nm인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 Pd층의 두께는 5 ~ 20nm인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 CoFeB/Pd에서 CoFeB의 두께:Pd의 두께는 1:2.5의 비율로 구성됨을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 N은 3 ~ 20인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 CoFeB은 $Co_xFe_yB_z$(원자%, x+y+z=100)의 조성으로 형성하되, 상기 x=45~60이고, y=16~31이고, z=24인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 CoFeB은 $Co_xFe_yB_z$(원자%, x+y+z=100)의 조성으로 형성하되, 상기 x=43~58이고, y=15~30이고, z=27인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 다층박막의 보자력(Hc)은 40 ~ 600 Oe인 것을 특징으로 하는 수직자기이방성 다층박막.

청구항 11

상기 제1항 내지 제10항 중에서 선택되는 하나로 구비되는 수직자기이방성 다층박막을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 랜덤 액세스 메모리.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 수직자기이방성을 가지는 CoFeB/Pd 다층박막 및 이를 이용하여 제조한 자기 랜덤 액세스 메모리에 관한 것으로, 구체적으로는 다층의 CoFeB/Pd 막을 포함하는 다층박막의 수직자기이방성을 향상시키고 이를 이용하여 자기 랜덤 액세스 메모리를 제조하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자기 랜덤 액세스 메모리(Magnetic Random Access Memory; 이하 MRAM)의 구동은 자화반전에 기반하고 있으며, 최근에는 전류를 이용한 자화반전(Current Induced Magnetization Switching, CIMS)이 고밀도 MRAM 구현에 적합한 것으로 증명되었다.

[0003] 자성박막에 전류를 인가하면 스핀토크 (Spin-Transfer Torque; STT)가 발생하는데, CIMS는 이러한 스핀토크를 자화반전에 용이하게 이용할 수 있기 때문이다.

[0004] 아울러, 스핀토크를 이용한 자화반전은 기존의 자장을 이용한 자화 반전에 비하여 고집적화 및 넓은 쓰기 윈도우, 낮은 전력 소모 등 몇 가지 장점을 가지고 있다.

[0005] 지금까지의 연구는 평면자화형(In-plane Anisotropy) 자기터널접합(Magnetic Tunnel Junctions (MTJs))을 통해 주된 연구가 진행 되어왔으며, 최근에는 나노미터 단위의 자기 셀에서 열적 안정성을 유지하면서도 상대적으로 낮은 수MA/㎠의 임계전류 밀도가 얻어졌다.

[0006] 이와 같은 결과들은 대개 MgO막을 기반으로, 3층 결합 구조의 자유층과 고정층을 이용한 MTJs 구조들에서 얻어졌지만 상용화를 위한 고집적 MRAM의 구현에는 보다 낮은 임계전류 밀도(1MA/㎠ 이하)가 요구되고 있는 상황이다.

[0007] 이러한 점에서 수직자화형(Perpendicular Anisotropy) 자기터널접합(pMTJs)은 기존의 평면자화형 자기터널접합

의 임계전류 밀도에 원천적으로 포함 될 수밖에 없었던 반자장에 의한 증가분($2\pi Ms$; 여기서 Ms는 포화자화를 나타냄)을 제거 할 수 있다는 점에서 주목 받고 있다.

[0008] 한편, 수직자화형 자기터널접합(pMTJs) 구조에서 전류를 이용한 자화반전(CIMS)이 실험적으로 보고된 이래, 수직자기이방성의 구현 및 이를 이용한 수직자화형 자기터널 접합에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 수직자화형 자기터널접합(pMTJs)의 구현에는 적합한 수준의 수직자기이방성 뿐만 아니라 높은 터널자기저항(Tunneling Magnetoresistance(TMR))이 필수적으로 요구되고 있다.

[0009] 또한, 수직자기이방성을 나타내는 박막으로 CoFeSiB/Pt 다층박막이 보고되기도 하였다. CoFeSiB/Pt 다층박막은 수직자기이방성은 크지만 보자력(Hc)을 최소화시키고자 하는데 그 주요 특징이 있었다. 따라서 보자력(Hc)의 최소화를 달성하기 위하여 포화자속밀도가 작은 CoFeSiB 합금을 사용하였다. 이때, CoFeSiB 합금은 높은 터널자기저항(TMR)을 가지는 고밀도 자기 랜덤액세스 메모리에 제조에 필수적인 MgO 자기터널접합에는 적용이 불가능한 문제가 있었다. CoFeSiB 합금은 열처리 시 MgO의 템플레이트 효과에 의한 bcc Co 또는 CoFe(001) 형성이 불가능하였기 때문이다. 따라서, CoFeSiB/Pt 다층박막은 자기장에 의한 자화반전 및 이를 이용한 MRAM에 응용이 가능하며, 전류인가에 의한 자화반전(CIMS) 기술을 이용한 고밀도 스핀 토크(STT) MRAM 제조를 위한 응용 분야에는 적합하지 않는 문제가 있었다.

[0010] 따라서 평면 자화형 CoFeB/MgO/CoFeB 형태를 가지는 자기터널접합에서 높은 터널자기저항이 얻어지고 있는 것을 고려해 볼 때, 수직자화형 MTJs 역시 CoFeB을 이용한 구조가 적합한 특성을 나타낼 것으로 기대가 되었다.

[0011] 최근 보고에 따르면 TbFeCo/CoFeB/MgO/CoFeB/TbCoFe 구조를 가지는 수직자화형 자기터널접합에서 4.7MA/㎠ 의 임계전류 밀도가 100ns의 전류 인가 시간에서 관찰되었다. 그러나 터널자기저항은 상대적으로 낮은 15% 수준이었으며, 이것은 TbCoFe과 CoFeB이 직접적으로 접촉해 있음으로 인해 높은 터널자기저항을 얻는데 필수적이라고 알려진 MgO 템플릿 효과가 잘 일어나지 못했을 가능성이 있다.

[0012] 따라서 수직자화형 자기터널접합(pMTJs) 및 높은 자기터널저항(TMR)의 구현을 위해서는 CoFeB 자성층을 비 자성체를 이용하여 고립시키되, 수직자기이방성을 유지시키는 것이 중요하지만, 이에 대한 연구 또는 실험성과가 부족한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 수직자화형 자기터널접합(pMTJs) 구현을 위해서는 CoFeB 자성층을 비 자성체를 이용하여 고립시키되, CoFeB/Pd 다층막 형성을 위한 기판과 시드층을 조절함으로써, 보다 향상된 수직자기이방성을 유지시킬 수 있도록 하는 코발트-철-보론/팔라듐 다층박막 및 이를 이용하여 제조한 자기 랜덤 액세스 메모리를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명에 따른 수직자기이방성 다층박막은 수직자기이방성을 가지는 다층박막에 있어서, 기판 상부에 형성되는 Pd층 및 상기 Pd층 상부에 형성되는 [CoFeB/Pd]이 N회 반복 적층된(N은 3이상의 자연수) 다층막 구조를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 여기서, 상기 기판은 실리콘 기판, 유리 기판, 사파이어 기판 및 산화마그네슘 기판 중에서 선택되는 것을 특징으로 하고, 상기 기판 및 Pd층 사이에 형성되는 Al 또는 Ta 재질의 시드층을 더 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 시드층의 두께는 5 ~ 20nm인 것을 특징으로 하고, 상기 Pd층의 두께는 5 ~ 20nm인 것을 특징으로 하고, 상기 CoFeB/Pd에서 CoFeB의 두께:Pd의 두께는 1:2.5의 비율로 구성됨을 특징으로 하고, 상기 N은 3 ~ 20인 것을 특징으로 하고, 상기 CoFeB은 $Co_xFe_yB_z$(원자%, x+y+z=100)의 조성으로 형성하되, 일 실시예로 x=45~60, y=16~31, z=24이고, 다른 실시예로 x=43~58, y=15~30, z=27인 것을 특징으로 하고, 상기 다층박막의 보자력(Hc)은 40 ~ 600 Oe 인 것을 특징으로 한다.

[0016] 아울러, 본 발명에 따른 자기 랜덤 액세스 메모리는 상술한 수직자기이방성 다층박막을 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따른 수직자기이방성 다층박막을 포함하는 수직자화형 자기터널접합(pMTJs)의 임계전류 밀도는 평면 자화형 자기터널접합의 반자장에 해당되는 $2\pi Ms$가 포함되지 않는 특성으로 인해 낮은 임계전류 밀도 값만을 가져도 자화반전이 가능하다. 따라서, 본 발명은 기판 및 시드층을 조절함으로써, 수직자화형 자기터널접합의 특성을 더 향상시킬 수 있도록 하는 효과를 제공한다.

[0018] 아울러, 자화반전에 기반하는 자기 랜덤 액세스 메모리에 있어서, 전류 인가에 의해 발생된 스핀 토크(STT)를 이용한 자화반전(CIMS)을 수행하되, 자화반전시 요구되는 전류밀도를 감소시킬 수 있는 고성능의 자기 랜덤 액세스 메모리를 제조할 수 있는 효과를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 층수별 전자기 특성을 실험하기 위한 실시예를 도시한 단면도.

도 2는 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 층수별 m-H(자기모먼트-자기장) 이력곡선.

도 3은 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 층수별 전자기 특성을 나타낸 그래프.

도 4는 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 MFM 이미지를 나타낸 평면 사진.

도 5는 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 수직자기이방성에 대한 기판 및 시드층의 영향력을 실험하기 위한 실시예를 도시한 단면도.

도 6은 본 발명에 따른 시드층의 종류 및 그 두께(t_{seed})에 따른 보자력(Hc) 함수 그래프.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 랜덤 액세스 메모리를 도시한 단면도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하에서는 상술한 본 발명의 기술에 근거하여 수직자기이방성을 가지는 코발트-철-보론/팔라듐 다층박막 및 이를 이용하여 제조한 자기 랜덤 액세스 메모리에 대해 상세히 설명하는 것으로 한다.

[0021] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 상세하게 후술되어 있는 도면 및 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0022] 본 발명에 따른 수직자기이방성 다층박막은 기본적으로 도 1에 도시된 바와 같이 기판(10)/Pd층(20)/[CoFeB(30)/Pd(40)]×N(N=3 ~ 20)의 다층박막 구조를 가진다.

[0023] 여기서, 본 발명에 따른 수직자기이방성 다층박막에 대한 다른 실시예로서, 하기 도 5에서와 같이 기판(100) 및 Pd층(120) 사이에 [CoFeB(130)/Pd(140)]의 수직자기이방성 강화를 위한 시드층(110)이 더 포함된 다층박막 구조를 가질 수 있다. 이때, 시드층(110)의 두께는 5 ~ 20nm인 것이 바람직하다. 여기서, [CoFeB/Pd] 이중층 구조는 CoFeB 상부에 Pd가 형성된 구조를 말하며, CoFeB/Pd 라고 표현할 수도 있다.

[0024] 또한, 시드층(110)의 두께가 5nm 미만인 경우 수직자기이방성이 나타나지 않을 수 있으며, 시드층(110)의 두께가 20nm를 초과하는 경우에는 두께 대비 효율이 증가되지 않는 문제가 있을 수 있다.

[0025] 이하에서는, 상술한 본 발명의 수직자기이방성에 대한 기판과 시드층의 영향력을 알아보기 위한 실시예로서 먼

저 CoFeB/Pd 다층박막(N)의 영향력을 먼저 상세히 설명하는 것으로 한다.

[0026] 도 1은 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 층수별 전자기 특성을 실험하기 위한 실시예를 도시한 단면도이다.

[0027] 도 1을 참조하면, 500㎛ 두께의 실리콘 기판(Si sub, 10)상부에 5nm두께의 Pd층을 형성하고, Pd층 상부에 [CoFeB(0.3nm)/Pd(0.8nm)]층을 복수번(N) 적층시켰다. 이때, N은 CoFeB/Pd 이층구조의 반복 횟수로 3번, 9번, 15번, 20번 적용하여 실험을 진행하였다.

[0028] 여기서, 기판은 열산화된 실리콘(thermally oxidized Si (001))기판을 이용하였고, 증착은 1 ~ 5×10^{-8} torr의 진공을 가지는 스퍼터를 통해 이루어 졌다. 증착 홀더에는 Nd-Fe-B 영구자석이 장착되어 있으며, 이 영구 자석을 통해 증착 과정에서 100 Oe 정도의 자기장이 박막 평면 방향에서 가해 졌다.

[0029] 이때, CoFeB은 $Co_{56}Fe_{24}B_{20}$ (원자 %)의 합금 타겟을 통해 CoFeB이 증착되었으며, ICP AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy)를 통한 CoFeB 조성 분석에서는 $Co_{51}Fe_{22}B_{27}$ (원자 %)의 조성이 확인 되었다. 또 다른 예들로서 $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$ (원자 %)의 합금 타겟을 통해 CoFeB을 증착하는 경우, ICP AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy)를 통한 CoFeB 조성 분석에서는 $Co_{38}Fe_{38}B_{24}$ (원자 %)의 조성이 확인 되었으며, $Co_{20}Fe_{60}B_{20}$ (원자 %)의 합금 타겟을 사용하는 경우 $Co_{19}Fe_{57}B_{24}$ (원자 %)의 조성이 확인 되었다. 이러한 조성분석 결과로부터, Co/Fe 원자비는 타겟과 박막에서 동일하나, B함량은 박막이 타겟보다 높음을 알 수 있다.

[0030] 아울러, 본 발명에 따른 CoFeB은 $Co_xFe_yB_z$(원자%, x+y+z=100)의 조성 범위 내에서 구성될 수 있으며, 일 실시예로서 x=45~60, y=16~31, z=24이고, 다른 실시예로서 x=43~58, y=15~30, z=27 인 것이 바람직하다. 만약에, 상기 x, y, z 범위를 벗어나는 경우 수직자기이방성이 떨어지거나 높은 터널자기저항에 필요한 결정구조가 형성되지 않을 수 있다.

[0031] 상기 조성범위에 대한 그 구체적인 임계적 의의를 설명하기 위해서 2nm의 CoFeB 단일 박막을 형성하였으며, Co의 함량을 높임으로써, 포화자화를 낮추고, 따라서 강한 수직자기이방성을 얻을 수 있도록 하였다.

[0032] 이와 관련하여 통상의 MgO 기반 자기터널접합층(MTJs)에서는 $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$ 의 조성범위를 가지는 타겟을 많이 사용하였다. 그 이유는 이 조성범위에서 높은 터널자기저항비(TMR) 달성에 필수적인 bcc CoFe 상이 열처리 중에 형성되는데 유리하기 때문이다. 그러나, $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$ 의 조성 범위는 본 발명에 따른 $Co_{56}Fe_{24}B_{20}$ 의 조성 범위에 비해 포화자화가 높아 수직자기이방성을 형성하는데 있어 불리하다.

[0033] 그러나 본 발명에 의한 실험 결과 $Co_{56}Fe_{24}B_{20}$합금 타겟을 사용하는 경우 가장 우수한 수직자기이방성이 얻어졌으며(Hc=1050 Oe; Mr/Ms=100%, 여기서 Hc는 보자력, Mr은 잔류자화, Ms는 포화자화이며, Mr/Ms는 각형비를 나타냄), $Co_{45}Fe_{31}B_{24}$, $Co_{60}Fe_{16}B_{24}$, $Co_{43}Fe_{30}B_{27}$ 및 $Co_{58}Fe_{15}B_{27}$ 박막 조성에서 상기 최대치에 근접한 수직자기이방성이 얻어졌다.

[0034] 반면에 가장 큰 포화자화를 가지는 $Co_{20}Fe_{60}B_{20}$합금 타겟을 사용하였을 때, Hc=0 Oe, Mr/Ms=0와 같은 가장 열화된 수직자기이방성이 얻어졌으며, 중간크기의 포화자화를 가지는 $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$합금 타겟을 사용하는 경우 중간 크기의 수직자기이방성(Hc=125 Oe; Mr/Ms=15%)이 얻어졌으며, x=62 이상의 낮은 포화자화를 가지는 경우 수직자기이방성이 지속적으로 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

[0035] 따라서, 본 발명에 따른 CoFeB층은 $Co_xFe_yB_z$(원자%, x+y+z=100) 상기 x=45~60, y=16~31, z=24, 또는 x=43~58, y=15~30, z=27의 조성 범위에서 수직자기이방성의 신뢰성이 높아지는 것을 알 수 있다.

[0036] 하기 표 1 및 표 2는 상기 실험 결과를 정리한 것이다. 표 1은 z=24인 경우에 대한 결과를 요약한 것이고, 표 2는 z=27인 경우에 대한 결과를 요약한 것이다.

[0037] [표 1]

	$Co_xFe_yB_z$ (원자%, x+y+z=100) tCFB (10)			Hc(Oe)	Mr/Ms(%)
	x	y	z		
비교예1	19	57	24	0	0
비교예2	20	56	24	0	0
비교예3	30	46	24	0	0
비교예4	38	38	24	125	15
비교예5	44	32	24	657	87
실시예1	45	31	24	1018	100
실시예2	46	30	24	1023	100
실시예3	47	29	24	1028	100
실시예4	48	28	24	1030	100
실시예5	49	27	24	1036	100
실시예6	50	26	24	1040	100
실시예7	51	25	24	1042	100
실시예8	52	24	24	1048	100
실시예9	53	23	24	1050	100
실시예10	54	22	24	1048	100
실시예11	55	21	24	1042	100
실시예12	56	20	24	1033	100
실시예13	57	19	24	1027	100
실시예14	58	18	24	1024	100
실시예15	59	17	24	1019	100
실시예16	60	16	24	1012	100
비교예6	61	15	24	997	97
비교예7	62	14	24	954	95
비교예8	64	12	24	951	93
비교예9	66	10	24	949	90
비교예10	68	8	24	948	87
비교예11	70	6	24	947	85
비교예12	72	4	24	938	80
비교예13	74	2	24	920	74
비교예14	75	1	24	911	72

[0038]

[0039] [표 2]

	$Co_xFe_yB_z$ (원자%, x+y+z=100) tCFB (10)			Hc(Oe)	Mr/Ms(%)
	x	y	z		
비교예15	15	58	27	0	0
비교예16	20	53	27	0	0
비교예17	30	43	27	0	0
비교예18	35	38	27	60	8
비교예19	42	31	27	607	84
실시예17	43	30	27	1010	100
실시예18	44	29	27	1025	100
실시예19	45	28	27	1030	100
실시예20	46	27	27	1037	100
실시예21	47	26	27	1039	100
실시예22	48	25	27	1040	100
실시예23	49	24	27	1043	100
실시예24	50	23	27	1047	100
실시예25	51	22	27	1050	100
실시예26	52	21	27	1047	100
실시예27	53	20	27	1034	100
실시예28	54	19	27	1029	100
실시예29	55	18	27	1020	100
실시예20	56	17	27	1018	100
실시예31	57	16	27	1008	100
실시예32	58	15	27	1007	100
비교예20	59	14	27	990	95
비교예21	64	9	27	946	90
비교예22	66	7	27	940	83
비교예23	68	5	27	932	80
비교예24	70	3	27	916	78
비교예25	72	1	27	901	70

[0040]

[0041] 상기 표 1 및 표 2는 각형비(Mr/Ms)=100%을 기준으로 실시예 및 비교예를 구분하였으며, 그에 따른 보자력(Hc)

값을 기준으로 최적의 조성비를 취한 것이다.

[0042] 아울러, 상기와 같은 결과에 따라서 수직자기이방성에 미치는 표면/계면 효과를 무시한다면, 본 발명에 따른 조성 범위를 사용할 경우 포화자화가 낮기 때문에 종래에 비해 $4\pi Ms$ 만큼 큰 수직자기이방성을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 이는 수직자기이방성 형성에 포화자화가 매우 큰 기여를 한다는 것을 보여주는 것이다.

[0043] 다음으로 각 층의 두께, 특히 CoFeB과 Pd의 두께는 전체 막의 특성에 큰 영향을 미치므로, 표면거칠기단차 박막두께측정기(Surface Profiler)와 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope; SEM)의 2가지 실험방법을 통하여 정확하게 측정하였다.

[0044] 다음으로, 특성 분석을 위한 M(or m)-H((자속 밀도 or 자기모먼트)-자기장) 이력곡선은 진동시료형자력계(Vibrating Sample Magnetometer; VSM)를 통하여 상온에서 측정하였고, 자구 관찰은 자기력간전자현미경(Magnetic Force Microscope; MFM)을 통하여 측정하였고, 박막의 표면 상태는 비접촉식 3D 광학 표면측정기(Non-contacting 3D Optical Profiler)를 통하여 측정하였고, 화학적인 성분분석은 ICP AES를 통하여 측정하였고, 박막의 미세구조는 X선회절계(X-ray diffractometer; XRD)를 통해 측정하였다.

[0045]

[0046] 도 2는 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 층수별 m-H(자기모먼트-자기장) 이력곡선이다.

[0047] 도 2는 자기장을 박막의 수직한 방향으로 가하며 측정한 것으로, N 값이 증가할수록 포화 자기모먼트가 증가되는 경향을 보였으며, 수직이방성을 가지고 가역적(reversible) 또는 비가역적(irreversible) 자화 반전을 하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 대한 보다 더 상세한 내용은 하기 도 3과 함께 설명하는 것으로 한다.

[0048] 도 3은 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 층수별 전자기 특성을 나타낸 그래프이다.

[0049] 도 3은 상기 도 1의 시드층을 포함하지 않은 CoFeB/Pd 다층박막에 대한 보자력(Hc)을 나타낸 것으로, N=12인 경우 까지 거의 일정한 값을 보이다가 N=15에서 최고값을 가진다. 이후 N=20에서는 크게 감소되는 양상을 보여주었다.

[0050] 포화자기장(Hs)(상기 도 2에서 m 값이 변하다가 일정해지면서 포화되는 시점의 자기장)과 역자구생성 자기장(Hn)(nucleation field; 상기 도 2에서 m 값이 떨어지기 시작하는 부분으로 이 점을 기준으로 자화의 거동이 가역적에서 비가역적으로 바뀐다.)을 살펴보면, N이 3에서 20 까지 변함에 따라 포화자기장(Hs)이 114 Oe에서 1360 Oe 까지 증가한 반면, 역자구생성 자기장(Hn)은 N 값 3에서 9 영역까지 거의 변함이 없었다.

[0051] 이때, 역자구생성 자기장(Hn)은 마이너스 값으로 표시되었는데, 이는 일반적인 자성 물질의 일반적인 거동으로 자화가 반대방향의 자기장이 걸릴 때에 반전됨을 의미한다. 그러나 이 값은 N=12 인 경우 거의 0 Oe 에 가까우며, 보다 큰 N 에서는 플러스 값으로 바뀌게 된다. N=20 인 경우를 예로 들면, 외부 자기장이 자화와 같은 방향으로 가해지고 있음에도 불구하고, 비가역적 자화 반전이 시작된다는 의미이다.

[0052] N=20에서 자기모먼트(m) 값의 경우 역자구생성 자기장(Hn)에서 급격히 감소되는 모습을 보이며, 외부 자기장이 0인 상태(remanent state)에서는 거의 0에 가까운 값을 가지게 된다. 이와 같은 거동은 큰 N 값을 가질 때, 수직자기이방성을 가진 자구 형성 및 자구 벽 이동에 의한 것으로 설명이 가능하다. 또한 이러한 거동은 다층박막의 MFM 이미지를 통하여 알 수 있는데, 도 4는 상기 도 2에서 나타낸 N=20인 샘플의 MFM 이미지(스캔한 면적 5㎛×5㎛)를 나타낸 것으로, 전형적인 스트립(strip) 형태의 자구를 보여주고 있다. 그 폭은 약 125nm 로 카플랜 모델(Kaplan's model)을 이용하여 계산한 값 117nm와 잘 일치한다. 이때, 계산에 사용된 파라미터는 Ms(CoFeB와 Pd를 동시에 고려한 유효 saturation magnetization)=450 emu/cc, Ku(uniaxial anisotropy constant)=5.6×10^{5} erg/cc 및 A(exchange stiffness)=10^{-6} erg/cm 이다.

[0053] 또한, 상기 도 2를 참조하면 N=3인 최소값에서도 수직자기이방성이 좋은 것이 확인 되었으므로, N=3인 조건에서 하지층(underlayer)으로서 작용되는 Pd의 두께를 최적화시키는 조건을 조사하였다. 그 결과, Pd 두께(t_{Pd})에 대

한 수직자기이방성의 의존성은 Pd 두께(t_{Pd})가 증가함에 따라 증가되는 모습을 보여주었고, 그 실질적 범위는 5 ~ 20nm에서 포화되는 양상을 보여 주었다. Pd 두께(t_{Pd})가 5nm 미만일 경우 CoFeB/Pd 다층박막의 수직자기이방성이 나타나지 않을 수 있으며, 20nm를 초과하는 경우에는 적층 두께 대비 효율이 증가되지 않는 문제가 있을 수 있다. 따라서 최적의 Pd 두께(t_{Pd})는 20nm로 고정하는 것이 바람직하다.

[0054] 다음으로, 여기까지 형성된 상기 도 1의 CoFeB/Pd 다층박막의 구조에서 기판의 종류를 달리하고, 시드층을 추가하여 수직자기이방성에 미치는 영향을 조사하였다.

[0055] 도 5는 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막의 수직자기이방성에 대한 기판 및 시드층의 영향력을 실험하기 위한 실시예를 도시한 단면도이다.

[0056] 도 5를 참조하면, 500㎛ 정도의 두께를 갖는 기판(100) 상부에 5 ~ 20nm 두께(t_{seed})의 시드층(110)을 형성한다.

[0057] 여기서, 기판은 열산화된 실리콘(thermally oxidized Si (001)) 기판, 유리(glass, Pyrex 7740) 기판, 단결정 사파이어(a single crystal sapphire (0001)) 기판 및 산화마그네슘(MgO (001)) 기판 중 선택된 어느 하나를 사용하였다. 그리고, 시드층은 Al 또는 Ta 를 사용하였다.

[0058] 다음으로, 20nm 두께의 Pd(120)층을 형성하고, 증착 공정을 통하여 [CoFeB(0.3nm)/Pd(0.8nm)] 구조의 다층박막을 형성하였다.

[0059] 여기서, 증착은 1 ~ 5×10^{-8}torr의 진공을 가지는 스퍼터를 통해 이루어졌다. 이때, 증착 홀더에는 Nd-Fe-B 영구자석이 장착되어 있으며, 이 영구자석을 통해 증착 과정에서 100 Oe 정도의 자기장이 박막 평면 방향에서 가해지도록 하였다.

[0060] 그 다음으로, 각 층의 두께, 특히 CoFeB과 Pd의 두께는 전체 막의 수직자기이방성에 큰 영향을 미치므로, 박막 두께를 결정짓는 증착속도는 표면거칠기단차 박막두께측정기(Surface Profiler)와 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope; SEM)의 2가지 실험 방법을 통하여 확인되었다.

[0061] 이와 같이 형성된 도 5의 적층구조에 자기장이 박막 면에 수직으로 가해지도록 하여 m-H 이력곡선을 측정하였다. 다음으로, 측정된 m-H 이력곡선을 통하여 보자력(Hc)을 구하였다.

[0062] 도 6은 본 발명에 따른 시드층의 종류 및 그 두께(t_{seed})에 따른 보자력(Hc) 함수 그래프이다.

[0063] 도 6을 참조하면, 보자력(Hc)을 4개의 서로 다른 기판(Si, Glass, Sapphire, MgO)에 대해서 나타내었다.

[0064] 그 중에서, 도 6의 (a)는 Al 시드층에 대한 결과를 나타낸 것이고, 도 6의 (b)는 Ta 시드층에 대한 결과를 나타낸 것이다.

[0065] Al 시드층을 사용한 다층박막의 경우 보자력(Hc) 값은 기판의 종류에 대한 의존성이 거의 없지만, 시드층의 두께(t_{seed})에 따라 민감하게 변화하였다. 즉, 시드층의 두께(t_{seed}) 증가에 따라 보자력(Hc) 또한 증가되는 양상을 보이며, 초기 및 후기에는 그 증가 정도가 적었지만, 중간 영역의 시드층의 두께(t_{seed}; 10 ~ 15nm)에서는 두께 증가에 따른 보자력(Hc) 변화가 크게 나타났다. 조사된 시드층의 두께(t_{seed}) 영역에서 보자력(Hc)은 최대 301 Oe(5nm) 에서 최대 586 Oe(20nm) 로 거의 두 배에 가까운 증가를 보였다.

[0066] 그러나, 도 6의 (b)와 같이 Ta 시드층을 사용한 경우에는 다른 형태의 거동이 관찰 되었다. 이 경우, 보자력(Hc)은 기판의 종류에 따라(Si 과 glass 는 제외하고) 큰 차이를 나타내었다. Si 과 glass 기판이 사용된 경우는 결과가 거의 유사했는데, 시드층의 두께(t_{seed})가 5nm에서 15nm로 증가함에 따라 보자력(Hc)은 최대 322 Oe 에서 최대 469 Oe로 증가했다. 다음으로, 시드층의 두께(t_{seed})가 20nm까지 증가했을 때에는 465 Oe ~ 472 Oe 수준의 서로 유사한 값을 나타내었다.

[0067] 도 6의 (b)와 같이 Ta 시드층을 사용하고, 사파이어 기판이 사용된 경우에는 시드층의 두께(t_{seed})에 대한 의존

성은 작은 편이였으며, 15nm에서 가장 큰 값이 관찰 되었다.

[0068] 하지만 도 6의 (b)와 같이 Ta 시드층을 사용하고, MgO 기판이 적용된 경우 시드층의 두께(t_{seed})에 대한 보자력(Hc)의 의존성은 크게 다르게 나타났다. 이 경우 두 가지의 특징적인 거동이 관찰되는데, 첫째는 Al 시드층이 사용된 경우와는 반대로 시드층의 두께(t_{seed}) 증가에 따라 보자력(Hc)이 감소하는 두께의존성을 보여준다. 두 번째는 시드층의 두께(t_{seed})에 대한 보자력(Hc)의 변화 양상이 여타의 경우 보다 크게 나타났다는 점인데, 시드층의 두께(t_{seed}) 5nm ~ 15nm 범위에서 보자력 변화가 두드러지게 나타났다.

[0069] 아울러, Ta 시드층(t_{seed}=5 nm) 인 경우에 관찰된 576 Oe의 보자력(Hc)은 상당히 큰 값이다. 이는, Al 시드층이 사용된 경우에 관찰 된 가장 높은 586 Oe의 보자력(Hc) 값과 비슷한 수준이 된다.

[0070] 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 다층박막의 경우 두꺼운 Pd층(20nm)이 시드층 상부에 증착 되었음에도 불구하고, 기판과 시드층의 변화에 따라 수직자기이방성이 크게 변화된다. 이것은 수직자기이방성이 Pd/CoFeB의 경계면의 특성과 연관되지 않았을 가능성을 내포한다. 또한 이점은 Co/Pd 다층박막에서 Co/Pd 경계면의 특성은 Pd의 결정방향과 직접적 연관이 없다는 종래의 실험 결과와도 부합하는 모습을 보여준다.

[0071] 본 발명에서 얻어진 결과를 설명하기 위하여 표면 거칠기를 관찰하였다. 이것은 다층박막이 증착되는 기판과 시드층의 거칠기가 Pd/CoFeB 경계면에서 생성되는 표면이방성(surface anisotropy)에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 이를 확인하기 위하여 비접촉식 3D 광학 표면측정기(Non-contacting 3D Optical Profiler)를 이용하여 450㎛×600㎛의 넓은 범위에서 다층박막의 표면 상태(surface morphology)를 측정해 보았다.

[0072] 결과에서는 기판과 시드층에 따라 큰 차이가 나타나지 않았다. 표면 거칠기에 대한 일예를 들어 보면, Si 기판이 사용된 경우 Ta 시드층의 두께가 0에서 10 nm 까지 변함에 따라 0.71에서 0.62 nm의 범위 값이 측정되었다.

[0073] 또한, 종래의 Co/Pd 다층 박막의 수직자기이방성 값은 하지층 Pd(111) texture 정도와 비례한다는 사실이 알려져 있으므로, 본 발명에서는 X선회절계(X-ray diffractometer; XRD)를 이용하여 다층박막의 Pd(111) texture를 측정하였다.

[0074] Si 기판이 사용된 경우 Ta 시드층의 두께가 0에서 10nm 까지 변함에 따라 Pd(111) texture의 경우 시드층의 두께에 따라 크게 변화되는 결과가 얻어 졌는데, Ta 시드층이 사용되지 않은 경우 Pd(111) texture가 거의 발달하지 않았으나, Ta 시드층이 3nm 이상 증착된 경우 Pd(111) texture 발달이 두드러졌다.

[0075] 그리고, Ta 시드층의 두께가 5nm, 10nm로 두꺼워짐에 따라 Pd(111) texture의 세기는 약화되는 모습이 관찰 되었다. 이러한 결과는 이 범위의 시드층 두께에 대해 수직자기이방성이 증가하는 경향성과 일치되지 않기 때문에 Pd(111) texture가 수직자기이방성에 영향을 주지 않았을 것으로 판단된다.

[0076] 다음으로는, 표면 거칠기와 Pd(111) texture를 제외한 나머지 가능성을 자기탄성효과(magnetoelastic interaction)에서 찾는 시도를 하였다. CoFeB는 비정질 물질로 격자 상수 차이에의 의한 응력효과는 나타나지 않을 것이지만, 증착 과정 중 열팽창 계수의 차이에 의한 열응력은 박막에 생겨 날 수 있고, 이는 CoFeB의 자기변형(magnetostriction)과 결합 될 수 있다. 일반적으로 CoFeB의 자기 변형 계수는 +10ppm 정도로 알려져 있다.

[0077] 열응력을 계산하기 위해 필요한 열팽창계수(α), 영율(Young's modulus; E) 및 포아손 비(Poisson's ratio; ν) 등 물리적 파라미터들은 하기 표 3과 같이 요약되었다. 열응력을 계산하기 위한 구체적 방법은 다음과 같다.

[0078] [표 3]

[0079]

	기판				시드층		CoFeB	
	Si	Glass	Sapphire	MgO	Ta	Al	Pd	Pd/CoFeB
α (10^{-6}/K)	2.95	3.20	5.30	11.20	6.5	24.0	11.0	11.5
B(GPa)	165	62.7	470	248	186	68	117	133
ν	0.22	0.20	3.97	3.61	0.35	0.35	0.39	0.37

[0080] 먼저, 열응력의 계산은 상용 프로그램 팩키지(commercial program package; the multiphysics finite element method COMSOL)를 이용하여 계산하였다. 이때, CoFeB/Pd 다층박막은 다른 층에 비하여 아주 얇다는 점에서 이 다층박막을 하나의 실효층(effective layer)으로 간주함으로써 메쉬(mesh) 형성을 효율적으로 하여 계산의 정확성을 높이고자 하였다.

[0081] 여기서, 열응력의 계산은 다층박막의 증착이 400K에서 이루어진 후에 상온(300K)으로 냉각 된 상황을 가정하였다. 이 경우 간단한 2층막에 있어서는 상대적으로 열팽창계수가 높은 막에서는 인장응력이 형성되며, 상대적으로 열팽창계수가 낮은 막에서는 압축응력이 형성되는 것을 용이하게 예상 할 수 있다.

[0082] 본 발명에서는 CoFeB에 생기는 열응력의 경우 기판의 열팽창계수에 의하여 주된 영향력을 받게 되는데, 이것은 기판의 두께가 상대적으로 훨씬 두껍기 때문이다. 예를 들어 실리콘(Si) 과 유리(glass) 처럼 다른 층들에 비해 작은 열팽창 계수를 가지는 물질의 경우, 기판에는 압축응력(compressive stress)이, CoFeB/Pd 다층박막에서는 인장응력(tensile stress)이 형성될 것으로 예상된다.

[0083] 결과적으로 본 발명에서 계산된 결과는 모든 샘플들에 대하여 CoFeB/Pd 다층박막에서 인장응력(tensile stress)이 형성되는 결과로 관찰 되었고, 그 크기 또한 시드층의 종류(Ta or Al) 및 두께(t_{seed}) 에 크게 의존하지 않는 것으로 나타났다.

[0084] 한편, MgO 기판의 열팽창 계수가 다른층(Al 제외)에 비하여 상대적으로 크다는 점을 고려 해 보면 MgO 기판을 사용한 CoFeB/Pd 다층박막에서 인장응력(tensile stress)이 형성된 것은 예외적인 결과를 나타낸다. 이점은 열응력이 계면에 집중되어 있는 상태에서 기판 전체에 걸쳐 미치는 효과는 적다는 점에서 기판의 종류에 따른 영향력이 많이 감소된 현상으로 이해 할 수 있다. 다만 MgO 가 사용된 경우의 계산된 값 자체는 여타 다른 기판이 사용된 경우에 비해 아주 작았다. 이때, MgO의 경우 6.4MPa의 인장응력을 형성되었으며, 사파이어 기판은 129MPa, 유리기판은 173MPa, 실리콘 기판은 178MPa의 인장응력이 형성되었다.

[0085] 상기와 같은 상황에서 CoFeB이 플러스 값의 포화자기변형 계수 값을 가진다는 점에서 인장응력은 자기탄성상호작용으로부터 수직자기이방성 형성을 저해하는 역할을 한다.

[0086] 이상의 결과들로부터 열응력과 포화자기변형 효과의 결합에 의한 설명을 본 발명에서 얻어진 기판 및 두께(t_{seed})에 따른 수직자기이방성을 설명하기 위한 보조 수단으로 사용할 수 있다.

[0087] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 CoFeB/Pd 다층박막은 기판 및 시드층의 종류 그리고 그 두께(t_{seed})에 따라서 수직자기이방성이 변화함을 알 수 있다. 이와 같은 CoFeB/Pd 다층박막의 수직자기이방성 크기는 잘 알려진 Co/Pd 다층막에서 보고 된 값과 상응하는 결과를 나타내고 있다.

[0088] [Co(0.3nm)/Pd(1nm)]×14의 보자력(Hc)은 1300 Oe, [Co(0.3nm)/Pd(0.6nm)]×4의 보자력(Hc)은 500 ~ 1000 Oe가 보고되고 있는데, 이에 상응하는 본 발명의 CoFeB/Pd 다층박막은 상기 도 3 내지 도 6의 결과를 통하여 40 ~ 600 Oe의 보자력(Hc)을 나타내고 있음을 알 수 있다.

[0089] 따라서, 본 발명의 CoFeB/Pd 다층박막은 높은 터널자기저항비(TMR) 및 낮은 임계전류 밀도를 달성할 가능성이 크므로, 고밀도 스핀 토크(STT) MRAM 의 구현에 필수적인 수직자화형 자기터널접합(pMTJs)에 보다 적합하게 적용할 수 있다. 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 MRAM에 대해 상세히 설명하는 것으로 한다.

[0090] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 랜덤 액세스 메모리를 도시한 단면도이다.

[0091] 도 7의 본 발명에 따른 자기 랜덤 액세스 메모리는 기판(200)에 불순물이 각각 도핑되어 상호 소정 간격 이격되어 있는 제1 불순물 영역(215D)및 제2 불순물 영역(215S)을 포함한다. 이때, 기판(200)은 웨이퍼 기판이 사용될 수 있다.

[0092] 다음으로, 제1 및 제2불순물 영역(215D, 215S) 사이의 기판(200) 상에 형성된 게이트 유전막(220)과, 게이트 유전막(220) 상에 형성되는 게이트 워드라인(230)이 구비된다.

[0093] 그 다음으로, 제 1 및 제 2 불순물 영역(215D, 215S)과 각각 연결되는 콘택(240, 245)을 포함하고, 게이트 사이의 영역을 매립하는 제 1 층간절연막(235)이 구비된다.

[0094] 그 다음으로, 콘택(240, 245)과 전기적으로 연결되는 전극 패드(250, 255)가 구비되고, 제 1 및 제 2 불순물 영역(215D, 215S) 중 선택된 어느 하나와 연결되는 수직자기이방성 CoFeB/Pd 다층박막(300)이 구비된다. 이때, 수직자기이방성 CoFeB/Pd 다층박막(300)은 시드층(310)과, Pd층(320)과, CoFeB(340)/Pd(360)으로 구성되고, 비트라인과 연결되는 드레인 불순물 영역과 접속되도록 구비된다.

[0095] 그 다음으로, 수직자기이방성 CoFeB/Pd 다층박막(300) 및 전극 패드(250, 255)를 매립하는 제 2 층간 절연막(260)이 구비된다.

[0096] 그 다음으로, 제 2 층간 절연막(260) 상부에 수직자기이방성 CoFeB/Pd 다층박막(300)과 연결되며, 게이트 워드라인(230)과 수직한 방향으로 배열되는 비트라인(270)이 구비된다.

[0097] 그 다음으로, 본 발명에 따른 고밀도 스핀 토크 MRAM은 상기와 같은 주요 구성 이외에 게이트 워드라인(230) 및 비트라인(270)에 전류를 공급할 수 있는 전류 인가 회로부 및 센스 앰프 등 메모리 소자를 구동하기 위한 각종 회로 장치들이 더 포함될 수 있다.

[0098] 아울러, 상기 각 구성을 형성하는 공정 단계는 일반 반도체 제조 공정의 게이트 워드라인, 비트라인 형성 공정과 동일하므로 여기서는 그 구체적인 설명을 생략하는 것으로 한다.

[0099] 또한, 상술한 도면은 고밀도 스핀 토크 MRAM에 대한 기본 구조를 중심으로 설명한 것 일뿐이므로, MRAM에 대한 모든 경우를 대표하는 것은 아니다. 따라서, 본 발명은 상기 도 7에 의해서 제한되는 것이 아니며, MRAM에 사용되는 수직자기이방성 다층 박막이라면, 어느 것이든 동일하게 적용이 되는 것으로 보아야 한다.

[0100] 다음으로, 상술한 고밀도 스핀 토크(STT) MRAM에서 CoFeB/Pd 다층박막은 40 ~ 600 Oe의 보자력(Hc)을 나타내고, 높은 터널자기저항비(TMR) 및 낮은 임계전류 밀도를 나타내고 있는 수직자화형 자기터널접합(pMTJs)형태로서, MRAM의 구현에 최적의 조건을 제공한다. 또한, 기존의 자장을 이용한 자화 반전 MRAM에 비하여 고집적화 및 쓰기 윈도우 마진(쓰기는 전류를 크게 읽기는 전류를 작게)을 향상시키고, 낮은 전력 소모량을 나타냄으로써, 최적의 MRAM 구성으로써, 작용하는 장점이 있다.

[0101] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

[0102]

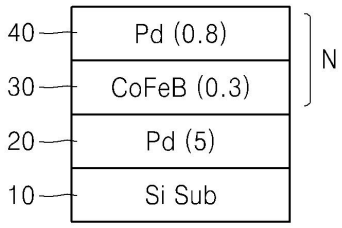
10, 100, 200: 기판	20, 120, 320: Pd층
30, 130, 340: CoFeB	40, 140, 360: Pd
110, 310: 시드층	215D: 제1불순물 영역
215S: 제2불순물 영역	220: 게이트 유전막
230: 게이트 워드라인	235: 제1층간절연막

240, 245: 콘택 250, 255: 전극 패드

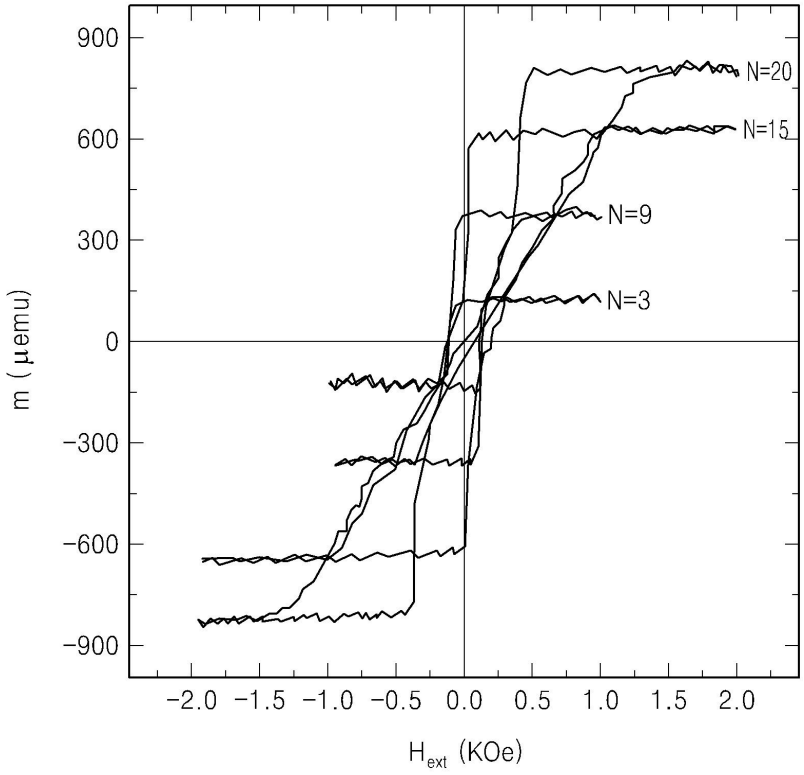
270: 비트라인 300: 수직자기이방성 CoFeB/Pd 다층박막

도면

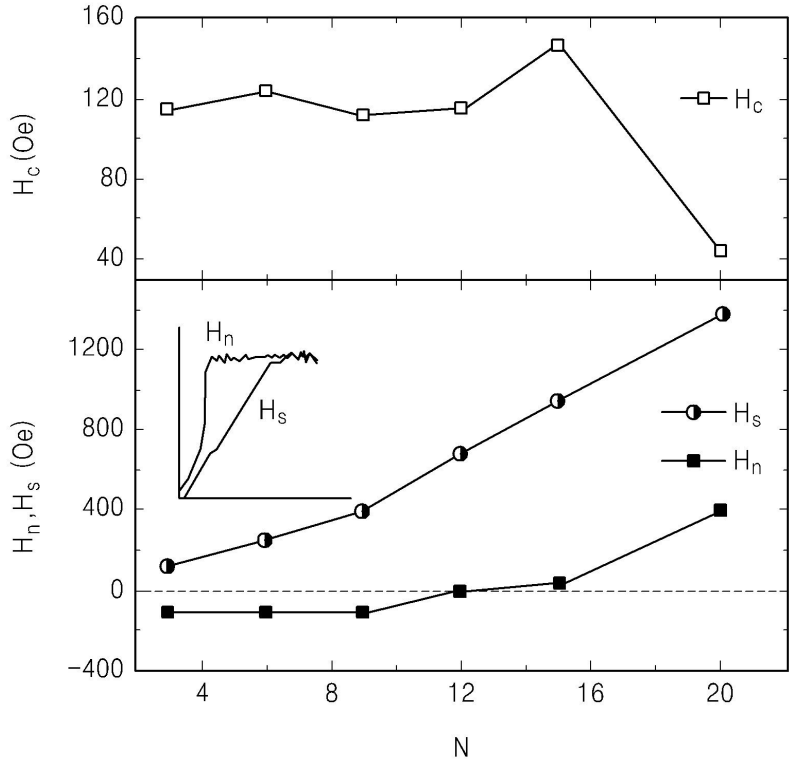
도면1



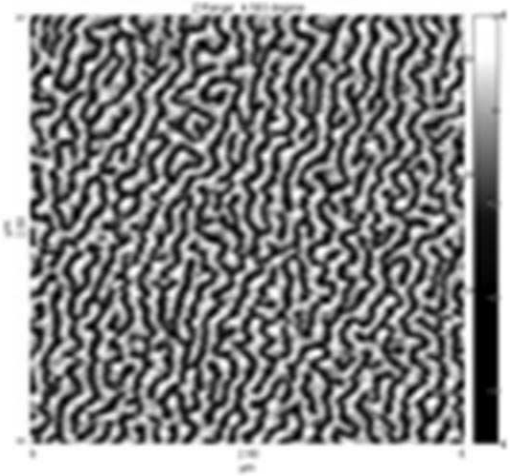
도면2



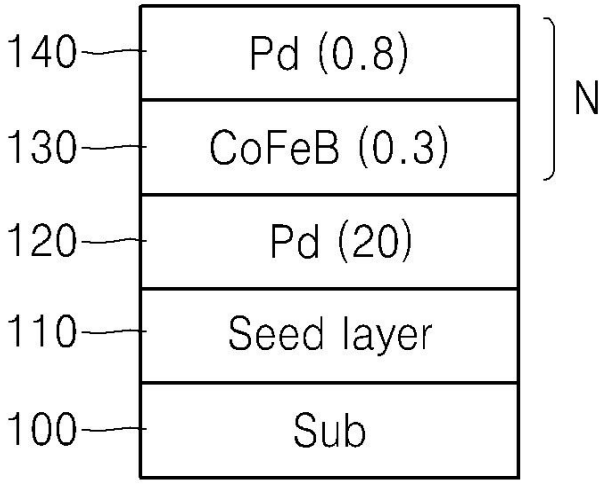
도면3


160
120
80
40
H_c (Oe)
H_c
1200
800
400
0
-400
H_n,H_s (Oe)
H_n
H_s
H_s
H_n
4
8
12
16
20
N

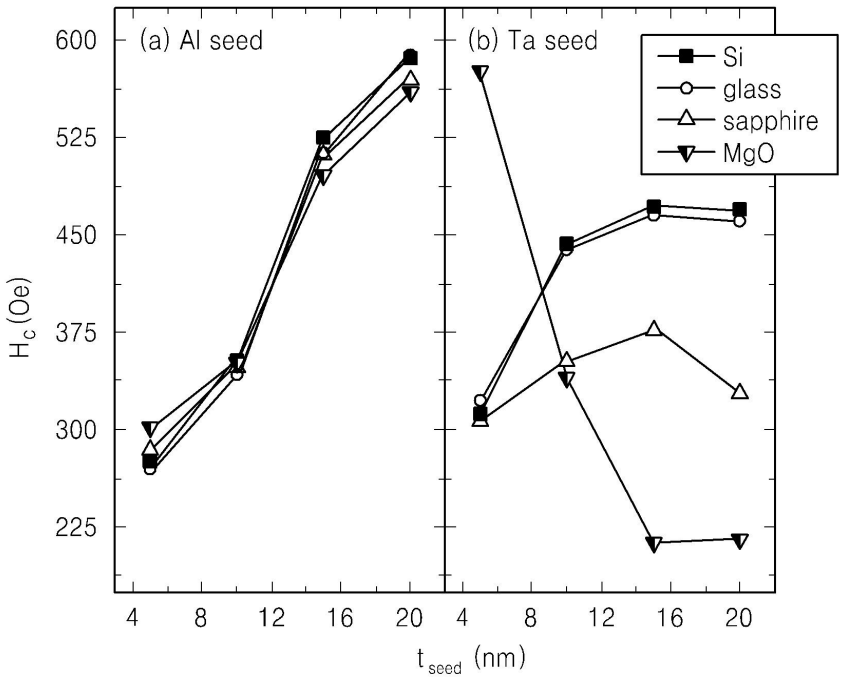
도면4



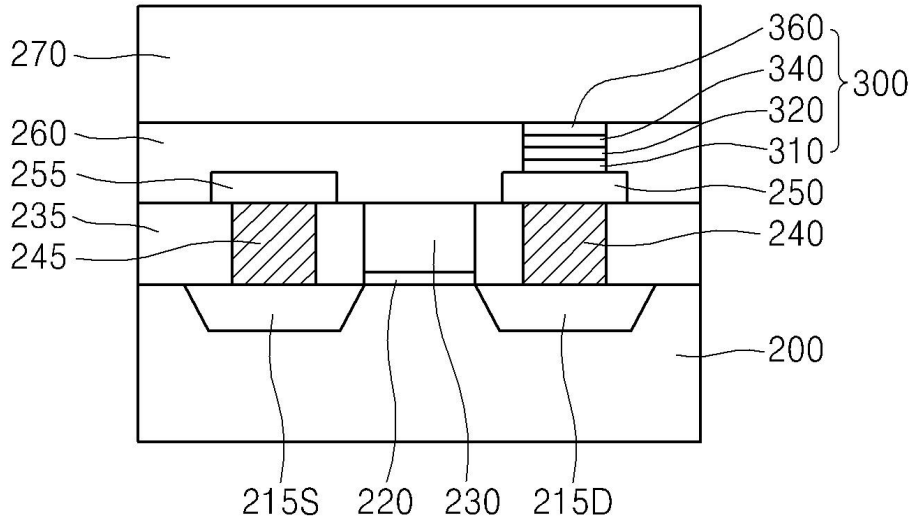
도면5


140
Pd (0.8)
130
CoFeB (0.3)
120
Pd (20)
110
Seed layer
100
Sub
N

도면6


(a) Al seed
(b) Ta seed
Si
glass
sapphire
MgO
600
525
450
375
300
225
H_c (Oe)
4
8
12
16
20
t_{seed} (nm)

도면7


270
260
255
235
245
360
340
320
310
300
250
240
200
215S
220
230
215D