



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0056535
(43) 공개일자 2009년06월03일

(51) Int. Cl.

H01L 27/115 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0123736

(22) 출원일자 2007년11월30일

심사청구일자 2007년11월30일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

이성래

서울 강남구 논현동 245 동양파라곤 아파트 101동 201호

정하창

경기 안산시 단원구 고잔동 759-11, 201호

(74) 대리인

특허법인이지

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 자기 터널 접합 소자

(57) 요약

본 발명은 자기 터널 접합 소자에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 기판; 상기 기판상에 적층되는 시드층 (seed layer); 상기 시드층 상에 적층되는 반강자성층; 상기 반강자성층 상에 적층되는 고정층; 상기 고정층 상에 적층되는 터널장벽층; 상기 터널장벽층 상에 적층되는 자유층; 및 상기 자유층 상에 적층되는, Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 포함하는 상지층;을 포함하는 자기 터널 접합 소자는 열처리 이후에 터널장벽층 상부의 강자성층이 상지층의 영향을 받지 아니하고, 절연층에 에피택시한 관계로 결정성장함으로써, 상온에서 높은 자기저항비를 가지는 소자로, 자기랜덤 액세스 메모리(MRAM), 자기저항 센서 등에서의 자기기억 소자로서도 활용가능하다.

대표도 - 도1

상지층	17
자유층	16
터널장벽층	15
고정층	14
반강자성층	13
시드층(seed layer)	12
기판	11

특허청구의 범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 적층되는 시드층 (seed layer);

상기 시드층 상에 적층되는 반강자성층;

상기 반강자성층 상에 적층되는 고정층;

상기 고정층 상에 적층되는 터널장벽층;

상기 터널장벽층 상에 적층되는 자유층; 및

상기 자유층 상에 적층되는, Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)를 포함하는 상지층;

을 포함하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)은 다결정질 또는 비정질상을 갖는 자기 터널 접합 소자.

청구항 3

기판;

상기 기판 상에 적층되는 시드층 (seed layer);

상기 시드층 상에 적층되는 반강자성층;

상기 반강자성층 상에 적층되는 고정층;

상기 고정층 상에 적층되는 터널장벽층;

상기 터널장벽층 상에 적층되는 자유층; 및

상기 자유층 상에 적층되는, Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)를 포함하는 상지층;

을 포함하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시드층은 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)인 자기 터널 접합 소자.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 터널장벽층은 MgO , $TiAlO$, $ZrAlO$, AlO , Ga_2O_3 , TaO , EuO , EuS , Fe_2O_3 및 ZrO 로 구성된 군에서 선택된 하나의 절연층인 자기 터널 접합 소자.

청구항 6

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고정층은 $NiFe$, $CoFe$ 및 $CoFeB$ 로 구성된 군에서 선택된 하나의 강자성층인 자기 터널 접합 소자.

청구항 7

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 고정층은 Ru층을 추가적으로 포함하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 고정층은 상기 Ru층 하부에 제1강자성층을 추가적으로 포함하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 9

제8항에 있어서,
상기 제1강자성층은 NiFe 또는 CoFe인 자기 터널 접합 소자.

청구항 10

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 반강자성층 하부에 제2강자성층을 추가적으로 포함하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 11

제10항에 있어서,
상기 제2강자성층은 NiFe, CoFe 및 CoFeB로 구성된 군에서 선택된 어느 하나인 자기 터널 접합 소자.

청구항 12

제7항에 있어서,
상기 반강자성층 하부에 제2강자성층을 추가적으로 포함하는 자기 터널 접합 소자

청구항 13

제12항에 있어서,
상기 제2강자성층은 NiFe, CoFe 및 CoFeB로 구성된 군에서 선택된 어느 하나인 자기 터널 접합 소자.

청구항 14

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 반강자성층은 MnFe, MnIr, MnRh, PtMN 및 Ru로 구성된 군에서 선택되는 하나인 자기 터널 접합 소자.

청구항 15

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 자기 터널 접합 소자는 스핀 밸브 타입의 자기 터널 접합 소자.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

<1> 본 발명은 자기 터널 접합 소자에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 상온에서 높은 자기저항비를 가지는 자기 터널 접합 소자에 관한 것이다.

배경기술

<2> 최근 고진공의 초박막 증착 기술과 표면 처리 기술의 급속한 발달로 인해 스핀간의 교환 상호작용 거리인 수 nm 두께에서 자자압 가막을 정밀하게 성장시키고, 소자를 제작하는 것이 가능해졌다. 그에 따라, 벌크(bulk)

형태의 자성물질에서는 관찰할 수 없었던 여러 현상들이 발견되었고 이를 가전 제품 및 산업 부품 등에 응용하는 단계에 이르렀다. 예를 들어, 초고밀도의 정보 저장 장치에 정보를 기록하는 자기 기록용 헤드, MRAM (magnetic random access memory: 자기메모리) 등이 대표적이다.

- <3> 이러한 자기 저항소자(magnetic resistance device)는 자기 에너지(magnetic energy)에 의해 저항이 변하는 원리를 이용한 소자로서, 거대 자기 저항 소자(GMR: giant magneto-resistance device) 및 자기 터널 접합 소자(tunneling magneto-resistance device)가 있다.
- <4> 자기 저항 헤드를 예를 들어 설명하면, 자기 저항 헤드는 정보가 저장되어 있는 HDD (hard disk driver: 하드 디스크 드라이버)와 같은 정보저장 매체의 정보를 감지하는 장치로서, 최근 GMR 헤드 (giant magneto resistance head: 거대 자기 저항헤드) 또는 TMR 헤드(tunnel magneto resistance head: 투과 자기 저항 헤드) 등이 널리 사용되고 있다.
- <5> 거대 자기 저항은 전자가 자성층을 통과할 때, 두 자성층의 자화 배열에 따라저항값이 변화하는 것을 응용한 것으로, 이는 스핀 의존 산란 (spin dependent)로 설명 가능하다. 또한, 투과 자기 저항 현상은 두 자성층 사이에 절연체가 존재하는 구조에서 강자성체의 상대적인 자화 방향에 따라 터널링 전류가 달라지는 현상을 의미한다.
- <6> 이와 달리, 자기 터널 접합 소자(Magnetic Tunnel Junction: MTJ)의 경우, 그 구현의 핵심기술은 우수하고 안정적인 자기저항 특성을 나타내는 박막 소재의 개발기술과 종래의 반도체 회로와 공정을 이용한 집적 공정 기술이다. 최근 활발히 연구되고 있는 터널 자기 저항 (tunneling magnetoresistance : TMR) 현상을 나타내는 자기 저항 박막, 즉 자기 터널 접합 소자가 자기 디스크 드라이브의 자기 센서용 뿐만 아니라, 우수한 특성의 비휘발성 자기 임의 접근 메모리(Magnetic Random Access Memory: MRAM) 소자 개발에 가장 적합한 박막 소자로 각광을 받고 있다.
- <7> 상기와 같은 자기 터널 접합 소자는 두 강자성층 사이에서의 자기 배열에 따라 터널링 전류의 큰 저항 변화를 가져온다. 이러한 자기 터널 접합 소자는 유니버설메모리로 각광 받고 있는 MRAM과 초고밀도 직접도를 가지는 하드 디스크 드라이브(HDD)의 헤드에 쓰이는 센서 혹은 각종 자기 센서로서 응용한다. 공업적으로 요구되는 터널자기저항 소자의 특성으로는 상온과 고온에서 높은 자기저항비 (MR비)를 얻을 수 있어야 한다.
- <8> 상기와 같은 높은 자기저항비를 얻기 위해서는, 절연층으로 MgO를 사용하고 강자성층으로 비정질 CoFeB를 사용하는 자기 터널 접합 소자가 채택되고 있다. 이러한 구조의 자기 터널 접합 소자가 높은 자기저항비를 나타내기 위해서는 열처리 공정을 통해 비정질 강자성층이 결정화가 일어 날때, 절연층인 MgO와 에피택시한 관계를 가지며 성장해야 한다. 에피택시한 구조를 가지는 자기 터널 접합을 구성하면 터널링 전류가 MgO 절연층과 강자성층 사이의 국부적인 부분에서의 산란이 없게 되어 자기저항의 민감도가 상승하게 된다.
- <9> 기존의 자기 터널 저항 소자는 산화를 방지하기 위해, 상지층(덮개층, capping layer)으로서 결정성을 가지는 Ru 등을 사용하였다. 이와 같이, Ru를 상지층으로 사용하는 경우에는, 터널장벽층 바로 위에 위치한 강자성층이 열처리 공정을 통해 결정화가 일어날 때, 터널장벽층의 결정성과 에피택시하지 않는 구조로 바뀌게 된다. 이러한 구조로 발달한 자기 터널 접합 소자는 높은 자기저항비(MR 비)를 얻지 못하고, 공업적으로 요구되는 자기 터널 접합 소자의 특성을 만족시키지 못하는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <10> 본 발명의 목적은 높은 자기저항비를 갖는 자기 터널 접합 소자를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- <11> 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 측면에서는,
- <12> 기판; 상기 기판 상에 적층되는 시드층 (seed layer); 상기 시드층 상에 적층되는 반강자성층; 상기 반강자성층 상에 적층되는 고정층; 상기 고정층 상에 적층되는 터널장벽층; 상기 터널장벽층 상에 적층되는 자유층; 및 상기 자유층 상에 적층되는, Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 포함하는 상지층; 을 포함하는 자기 터널 접합 소자를 제공한다.
- <13> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)은 다결정질 또는 비정질상을 갖는 것일 수 있다.

- <14> 또 다른 측면에서, 본 발명은,
- <15> 기관; 상기 기관 상에 적층되는 시드층 (seed layer); 상기 시드층 상에 적층되는 반강자성층; 상기 반강자성층 상에 적층되는 고정층; 상기 고정층 상에 적층되는 터널장벽층; 상기 터널장벽층 상에 적층되는 자유층; 및 상기 자유층 상에 적층되는, Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 포함하는 상지층;을 포함하는 자기 터널 접합 소자를 제공한다.
- <16> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 시드층은 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)일 수 있다.
- <17> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 터널장벽층은 MgO, $TiAlO$, $ZrAlO$, AlO , Ga_2O_3 , TaO, EuO, EuS, Fe_2O_3 및 ZrO로 구성된 군에서 선택된 하나의 절연층일 수 있다.
- <18> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 고정층은 NiFe, CoFe 및 CoFeB로 구성된 군에서 선택된 하나의 강자성층일 수 있다.
- <19> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 고정층은 Ru층을 추가적으로 포함할 수 있다.
- <20> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 고정층은 상기 Ru층 하부에 제1강자성층을 추가적으로 포함할 수 있고, 여기서, 상기 제1강자성층은 NiFe 또는 CoFe일 수 있다.
- <21> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 반강자성층은 MnFe, MnIr, MnRh, PtMN 및 Ru로 구성된 군에서 선택되는 하나일 수 있다.
- <22> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 반강자성층 하부에 제2강자성층을 추가적으로 포함할 수 있고, 여기서 상기 제2강자성층은 NiFe, CoFe 및 CoFeB로 구성된 군에서 선택된 하나일 수 있다.
- <23> 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 자기 터널 접합 소자는 스핀 밸브 타입의 자기 터널 접합 소자일 수 있다.

효 과

- <24> 본 발명에 따른 자기 터널 접합 소자는 열처리 이후에 터널장벽층 상부의 강자성층이 상지층의 영향을 받지 아니하고, 절연층에 에피택시한 관계로 결정성장함으로써, 상온에서 높은 자기저항비를 가지는 소자로, 자기랜덤 액세스 메모리(MRAM), 자기저항 센서 등에서의 자기기억 소자로서도 활용가능하다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <25> 이하, 본 발명에 따른 자기 터널 접합 소자에 대해서 보다 상세하게 설명하기로 한다.
- <26> 도 1은 본 발명에 따른 자기터널접합 소자(MTJ)의 개략적인 구조를 단면도로 도시한 것으로서, 기관(11) 상에 시드층(12)이 적층되고, 시드층 위에 반강자성층(13)이 형성되고, 상기 반강자성층(13) 상에 고정층(pinned layer)(14), 터널장벽층(15), 자유층(free layer)(16), 및 상지층(17)이 순차적으로 적층된 구조이다.
- <27> 상기 기관(11)으로는, 자기 터널 접합 소자를 형성시키는 일반적인 재료를 모두 포함할 수 있으며, Si 기관을 사용하는 것이 통상적이다. 또한, 상기 Si 기관 상부를 산화시켜, Si 기관 상부에 SiO_2 형성시켜 사용할 수 있다.
- <28> 상기 시드층(12)은 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)으로 형성시킬 수 있다. 이는 시드층을 자성물질로 형성시키는 것보다 자기터널 접합소자의 MR값을 더 향상시킬 수 있다.
- <29> 상기 반강자성층(13)은 통상 사용되는 물질에 제한없이 사용할 수 있으며, 선택적으로, NiFe 및 IrMn 등을 다층 구조로 형성시켜 사용할 수 있으며, 바람직하게는, MnFe, MnIr, MnRh, PtMN 및 Ru로 구성된 군에서 선택되는 하나일 수 있으며, 더욱 바람직하게는 IrMn일 수 있다.
- <30> 추가적으로, 상기 반강자성층(13) 하부에 제2강자성층을 추가적으로 포함할 수 있고, IrMn과 같은 반강자성층이 터널장벽층 아래 고정층의 자화방향을 고정시키는 역할을 제대로 하기 위해서는 FCC 결정구조를 가져야 하는데, 제2강자성층을 사용함으로 FCC 결정성장을 도울 수 있다. 여기서 상기 제2강자성층은 NiFe, CoFe 및 CoFeB로 구성된 군에서 선택된 하나일 수 있다.
- <31> 본 발명에 따른 자기터널접합 소자는 고정층/터널장벽층/자유층 구조의 접합에서 강자성층들의 상대적인 자화방향에 따라 터널링 전류가 달라지는 현상인 자기 터널 접합 (magnetic tunnel junction) 원리를 이용하는 것으로, 자기터널접합 소자에 있어서 전류는 각 층에 평행하게 흐르는 거대 자기 저항(giant

magnetictoresistance: GMR)과는 달리 상기 층들에 수직하게 흐른다. 상기 고정층(14)은 반강자성층(13)에 의하여 그 자기 정렬 방향이 고정되며, 자유층(16)은 그 자기 정렬 방향이 외부의 영향으로 전환된다. 따라서, 상기 고정층 및 자유층의 자기정렬방향(스핀방향)이 동일한 경우, 자기저항이 적어 전류의 터널링 확률이 높으므로, 터널장벽층(15)을 통해 많은 전류가 흐르고, 반면에 자기정렬방향(스핀방향)이 정반대인 경우, 고정층(14)과 자유층(16)에 전류를 인가하게 되면, 저항이 커서 전류의 터널링 확률이 적으므로, 터널장벽층을 통해 적은 전류가 흐르게 된다. 즉, 상기 자기 터널 접합 소자에서의 전류(이하, 터널링 전류)는 고정층(14) 및 자유층(16)의 상대적 자화방향에 의존하고, 두 층 사이에서의 자기 배열에 따라 터널링 전류의 큰 저항 변화를 가져온다.

<32> 상기 고정층 (pinned layer)(14)은 강자성층으로, NiFe, CoFe 및 CoFeB로 구성된 군에서 선택된 어느 하나일 수 있고, 바람직하게는, CoFeB일 수 있다.

<33> 추가적으로, 상기 고정층은 상기 강자성층만으로 될 수도 있으나, Ru층을 추가적으로 포함할 수 있다. 그리고, 상기 Ru층 하부에 제1강자성층을 추가적으로 포함하여 합성(synthetic)구조의 고정층을 형성할 수 있다.

<34> 고온 열처리를 통해 반강자성층의 한 예인 IrMn에서의 Mn이 상기 CoFeB과 MgO 방향으로 확산이 되어 들어가는 현상이 발생하고, 이러한 현상이 발생되면 자기저항비가 급격히 저하된다. 이러한 현상을 막기 위해, CoFeB와 같은 강자성층에 추가적으로 Ru층 및 제1강자성층을 포함시켜 합성구조의 고정층을 형성하게 되면, 추가적으로 포함된 제1강자성층인 CoFe와 CoFeB 사이에 포함시킨 얇은 두께의 Ru층으로 인해, Mn이 더 이상 위쪽으로 확산되지 못하고, 또한 고정층 전체를 완벽하게 잡아주는 정도의 교환결합력 또는 교환 결합 자기장(exchange coupling field) 또한 향상시켜준다. 상기 Ru층 하부에, 추가적으로 포함된 CoFe와 같은 제1강자성층은 MgO하부에 위치한 강자성층인 CoFeB과 IrMn과 같은 반강자성층이 직접 맞닿았을 경우의 교환결합력보다 CoFe과 IrMn이 맞닿았을 경우 교환결합력이 우수하다, 여기서, 상기 제1강자성층은 NiFe 또는 CoFe일 수 있다

<35> 상기 터널장벽층(15)은 절연층 또는 산화층으로, MgO, TiAlO, ZrAlO, AlO, Ga₂O₃, TaO, EuO, EuS, Fe₂O₃ 및 ZrO로 구성된 군에서 선택된 하나의 절연층일 수 있고, 바람직하게는, MgO일 수 있다.

<36> 상기 자유층(16)은 강자성층으로, 바람직하게는, CoFeB일 수 있다.

<37> 상기 상지층은 Ti 및 Al의 합금 또는 Zr 및 Al의 합금이 가능하고, 바람직하게는, 상기 Ti 및 Al합금은 다결정질 또는 비정질상을 갖는 Ti_xAl_{1-x} (0<x<1)일 수 있고, 상기 Zr 및 Al 합금은, 바람직하게는, 비정질의 Zr_xAl_{1-x} (0<x<1)일 수 있다.

<38> 또한, 상기 상지층으로 사용한 Ti_xAl_{1-x} (0<x<1)은 일 예로써, Ti 0.01~10.00 원자%의 조성을 가질 수 있으며, Al 타겟위에 Ti의 칩(chip)의 개수를 조절하는 방법을 이용하여 원하는 조성을 얻을 수 있다. 구체적으로, Al 타겟의 크기는 약 3인치 정도이고, 칩의 크기는 약 0.3~0.5 mm이다. 칩을 붙이지 않은 상태에서는 오직 Al만이 증착이 되지만, 칩을 붙이게 되면 Al과 Ti이 한꺼번에 증착이 되면서 합금을 형성하게 된다. 이때, 칩을 많이 붙일수록 Ti의 양은 많아 지게되므로, 원하는 Ti의 양을 컨트롤 하기 위해 칩의 개수를 조절하여 원하는 조성의 합금을 제조할 수 있다. 바람직하게, Ti 5~6 원자%의 조성, 특히 바람직하게는, Ti 5.33 원자%의 조성을 가질 수 있고, TiAl은 다결정질과 비정질의 두가지의 상을 나타낸다. 아울러, 상지층으로 사용된 Zr_xAl_{1-x} (0<x<1)은 일 예로써, Zr 0.01~20.00 원자%, 바람직하게는 9~10원자%, 특히 바람직하게는, Zr 9.89 원자%의 조성을 가질 수 있고, 이 경우에도, TiAl의 경우와 동일한 방법으로, Zr 칩의 개수를 조절하여 원하는 조성을 얻을 수 있다. 상기 ZrAl은 비정질상을 나타낸다.

<39> 또한, 자기저항비 (magnetoresistive ratio; MR비) 는 하기 수학적 식 1에 의해 계산된다.

<40> [수학적 식 1]

<41> 자기저항비(MR비) = (고MR-저MR)/저MR

<42> 상기 자기저항비가 높으면 고정층과 자유층의 스핀 방향을 판별하기가 용이하여 자기 터널 접합 소자의 비트에 기록된 정보를 고속으로 재생할 수 있으므로, MRAM과 같은 비휘발성 메모리 소자의 데이터 기록 및 재생 성능이 우수한 자기저항소자를 제조할 수 있다. 이와 같이, 터널링 전류가 자기 스핀의 방향에 따라 소자의 저항치가 달라지는 성질을 이용하여, 해당 비트가 "0"과 "1"인지를 판별하여 외부로부터 자기장을 걸어 상기 비트를 기록하거나 판독할 수 있다. 상기의 자기 터널 접합 소자를 동작시키는 센서에 관하여 미국 특허 제 5,650,958호에 개시되어 있다.

- <43> 또한, 상기 자기 터널 접합 소자는 보자력이 다른 두 자성층을 이용하여 스핀의 방향을 제어할 수 있는 가상 스핀-밸브(pseudo spin-valve)형과 반강자성층의 교환 바이어스 자기장(exchange biasing field)을 통하여 두 강자성층 중의 한 층을 고정함으로써 다른 자성층의 스핀 방향을 조절할 수 있는 교환 바이어스 형으로 나눌 수 있다.
- <44> 상기와 같은 자기터널접합 소자는 상온과 고온에서 높은 자기저항비(MR비)를 얻을 수 있어야 하고, 이를 위해, 절연층으로 MgO를, 강자성층으로 비정질 CoFeB이 사용가능하다. 또한, 이와 같은 구조를 가진 자기터널접합 소자가 높은 자기저항비를 나타내기 위해서는 열처리 공정을 통해 비정질 강자성층이 결정화가 일어날 때, 절연층인 MgO와 에피택시한 관계를 가지며 성장해야 한다. 에피택시한 구조를 가지는 자기 터널 접합을 구성하면 터널링 전류가 MgO 절연층과 강자성층 사이의 국부적인 부분에서의 산란이 없게 되어 자기저항의 민감도가 상승하게 된다.
- <45> 기존의 자기터널저합 소자는 산화를 방지하기 위해, 상지층(덮개층, capping layer)으로서 결정성을 가지는 Ru 등을 사용하였다. 하지만, Ru를 상지층으로 사용하는 경우에, 터널장벽층 바로 위에 위치한 강자성층이 열처리 공정을 통해 결정화가 일어날 때, 터널장벽층의 결정성과 에피택시하지 않는 구조로 바뀌게 된다. 이러한 구조로 발달한 자기 터널 접합 소자는 높은 자기저항비(MR비)를 얻지 못하므로, 열처리 이후에 비정질 CoFeB 강자성층을 MgO의 결정성과 에피택시한 구조로 발전시키기 위해, 본 발명에서는 상지층에 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 사용하여 자기 터널 접합 소자를 제조하고자 한 것이다.
- <46> 본 발명에 따른 자기 터널 접합 소자는 자기기록디스크에 기록되어 있는 데이터를 자기적으로 인식하기 위한 자기저항센서의 구조로 응용가능하다. 즉, 자기 기록 디스크를 회전시키기 위해 상기 디스크에 연결된 모터, 자기 터널 접합 자기센서를 지지하고 상기 센서를 부착하기 위한 기판을 제공하는 캐리어, 상기 자기저항 센서는 상기 기판상에 형성되며, 본 발명에 따른 자기 터널 접합 구조를 포함하여, 상기 캐리어를 이동시키는 액츄에이터, 상기 캐리어를 상기 액츄에이터와 연결하는 연결수단, 상기 자기 터널 접합 자기센서에 전기적으로 연결되어 상기 자기 저항 센서와 저항의 변화를 감지하는 감지수단, 상기 모터와 액츄에이터를 지지하는 수단으로 이뤄지도록 자기 기록 디스크 드라이브를 구성할 수 있다.
- <47> 또한, 본 발명에 따른 자기 터널 접합 소자는 자기랜덤액세스메모리 (MRAM)의 자기기억소자로 사용될 수 있다. 다이내믹 랜덤 액세스 메모리 (DRAM)의 전형적인 단위셀은 전계 효과 트랜지스터 (field effect transistor) 1개와 캐패시터 (capacitor) 1개로 이루어져 있다. 상기 트랜지스터는 반도체 기판의 표면에 형성되어 있으며 서로 이격되어 있는 소스영역과 드레인 영역을 가지며, 소스영역과 드레인 영역 사이의 영역 위에 형성된 게이트를 가진다. 캐패시터는 기억 소자로서 위의 소스 영역과 드레인 영역 중 한 영역과 연결된다. 이러한 구조의 다이내믹 랜덤 액세스 메모리는 미국특허 제4,962,476호 등에 개시되어 있다. 다이내믹 랜덤 액세스 메모리의 단위 셀에서 기억소자인 캐패시터를 자기저항 소자로 대체한 것이 자기 랜덤 액세스 메모리 단위 셀인데, 본 발명에 따른 자기 터널 접합 구조는 기억 소자로서 좋은 효과를 가지므로 자기랜덤액세스메모리 단위셀의 기억 소자로서 사용될 수 있다.
- <48> 이하, 본 발명의 구체적인 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자에 대해 상세히 설명하고자 한다.
- <49> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 포함하는 자기 터널 접합 소자의 구조를 나타낸 그림이다. 구조는, 기판에서부터 적층된 순서로, 열적으로 산화된 Si 기판 (thermally oxidized Si substrate)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (17nm)/ $Ir_{21}Mn_{79}$ (7.5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (2nm)/ Ru (0.8nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ MgO (1.7nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (4nm) 이다. 상지층인 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 제외한 시드층, 고정층, 절연층, 자유층의 구조는 상기 Ru를 상지층으로 한 경우와 동일하다.
- <50> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 포함하는 자기 터널 접합 소자의 구조를 나타낸 그림이다. 구조는, 기판에서부터 적층된 순서로, 열적으로 산화된 Si 기판 (thermally oxidized Si substrate)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (17nm)/ $Ir_{21}Mn_{79}$ (7.5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (2nm)/ Ru (0.8nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ MgO (1.7nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (4nm) 이다. 상지층인 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 제외한 시드층, 고정층, 절연층, 자유층의 구조는 Ru를 상지층으로 한 경우와 동일하다.

- <51> 도 4는 비교예로서, 상지층으로 Ru를 사용하여 제조한 자기터널접합 소자의 구조를 나타낸 그림이다. 터널장벽층으로서 MgO 절연층과 그 위에 비정질 CoFeB 강자성층을 가지는 자기 터널 접합구조에서 기존의 결정질 Ru를 상지층으로 하여 제조한 자기 터널 접합 소자의 구조를 나타낸 그림이다. 구조는, 기판에서부터 적층된 순서로, 열적으로 산화된 Si 기판 (thermally oxidized Si substrate)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (17nm)/ $Ir_{21}Mn_{79}$ (7.5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (2nm)/ Ru (0.8nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ MgO (1.7nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ Ru (4nm) 이다. 기판 위에 적층된 시드층 위에 반강자성층 (antiferromagnetic layer)으로 IrMn (7.5nm)을 사용하고 고정층(pinned layer)은 $Co_{80}Fe_{20}$ (2nm)/ Ru (0.8nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)의 합성 (synthetic)구조를 가진다. 고정층은 MgO (1.7nm)의 절연층으로 인해 상부의 자유층 (free layer)인 $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)와 분리되어 있다. 자유층 위에 상지층(덮개층)으로 Ru (4nm)를 형성시켜 자기 터널 접합 소자가 제조된다.
- <52> 도 5 내지 도 7은 상지층을 각각 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$), Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$), Ru로 하여 제조된 시편에서의 MgO 절연층 상부에 위치한 CoFeB 강자성층의 열처리에 따른 결정화 거동을 측정한 고해상(high resolution) XRD 그래프들이다. 상기 열처리기는 3×10^{-6} torr의 진공도에서 350℃에서 실시한 것이다.
- <53> 도 5는 본 발명에 따라, Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 하여, 유리기판/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ MgO (1.7nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (4nm)의 구조를 가진 시편에서, MgO 절연층의 상부에 위치한 CoFeB 강자성층의 열처리 이후 결정화에 대한 거동을 나타내는 XRD 그래프이다.
- <54> 상지층을 TiAl로 하여 제조한 자기터널접합 소자의 경우, 열처리 이후 MgO 절연층의 상부에 위치한 CoFeB 강자성층은 CoFe (002)로 우월하게 성장하게 된다. 또한, 다결정질과 비정질의 두가지 상을 가지는 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 사용하였을 경우, 기존에 결정질 Ru를 상지층으로 사용한 경우와는 달리, MgO 절연층 상부에 위치한 CoFeB의 결정화가 MgO 절연층의 결정성과 동일한 (002)면으로 성장하여 에피택시한 관계를 가진다. Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)의 결정성은 MgO 절연층 상부에 위치한 비정질 CoFeB 강자성층이 결정화가 될 때, 어떠한 영향도 미치지 않으며, MgO 절연층 상부에 위치한 CoFeB 강자성층은 MgO 절연층의 template 효과의 영향만을 받아 (002)면으로 성장한다.
- <55> 도 6은 본 발명에 따라, Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 하여, 유리기판/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ MgO (1.7nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (4nm)의 구조를 가진 시편에서, MgO 절연층의 상부에 위치한 CoFeB 강자성층의 열처리 이후 결정화에 대한 거동을 나타내는 XRD 그래프이다.
- <56> 상지층을 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)로 한 것 이외에는 상기 도 5의 구조와 동일한 구조를 가진 시편으로, 이 경우, 열처리 이후 MgO 절연층의 상부에 위치한 CoFeB 강자성층은 CoFe (002)로 우월하게 성장하게 된다. 특히, 비정질상을 갖는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 상지층의 경우에는, Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)과 마찬가지로, MgO 절연층 상부 CoFeB의 결정화에 큰 영향을 미치지 않게 되며, MgO 절연층 상부에 위치한 CoFeB 강자성층은 MgO 절연층과 에피택시한 관계를 가지며 성장한다.
- <57> 도 7은 Ru를 상지층으로 하여, 유리기판/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ MgO (1.7nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ Ru (4nm)의 구조를 가진 시편에서, MgO 절연층의 상부에 위치한 CoFeB 강자성층의 열처리 이후 결정화에 대한 거동을 나타내는 XRD 그래프이다.
- <58> Ru를 상지층으로 한 경우에는, 열처리 이후 절연층 상부에 위치한 CoFeB 강자성층의 결정화에 있어서, CoFe(110)이 CoFe(002)보다 우월하게 나타난다. 결정성을 가지는 MgO 절연층 주위에 있는 비정질 CoFeB층은 열처리 이후 결정화가 일어남에 있어서 MgO 절연층의 결정면과 결정방향에 가장 적합하고 에너지적으로 안정한 구조인 CoFe(002)로 성장하는 템플레이트 (template) 효과가 발생한다.
- <59> 특히, MgO 절연층의 상부에 위치하는 CoFeB 강자성층의 경우에는, MgO 절연층의 하부에 위치하는 CoFeB 강자성층과는 달리, Ru와 같은 상지층의 결정성에도 영향을 받으며 결정성장을 일으킨다.
- <60> 이로 인해 MgO 절연층 상부의 CoFeB 강자성층은 MgO 절연층의 결정성에 따른효과와 Ru와 같은 상지층의 결정성에도 영향을 받으면서 결정성장을 일으키며, Ru의 결정성과 에너지면에서 가장 안정한 결정성장면인 (110)면으

로 성장이 우월하게 일어나게 된다. 이와 같이 상지층의 결정성의 영향을 받은 절연층 상부의 CoFeB 강자성층은 MgO 절연층과 에피택시한 관계를 이루지 못함을 보여준다.

- <61> 도 8은 상기 도 2 내지 도 4의 구조를 가지는, 즉, Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$), Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$), 및 Ru를 상지층으로 갖는 자기 터널 접합 소자의 열처리 시간에 따른 자기 저항비(MR ratio)를 나타낸 그래프이다. 상기 자기 터널 접합 소자 시편의 면적은 메탈 마스크를 사용하여 $200\mu m \times 200\mu m$ 의 크기로 제작하고, 구조는 열적으로 산화된 Si 기판 (thermally oxidized Si substrate)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (17nm)/ $Ir_{21}Mn_{79}$ (7.5nm)/ $Co_{80}Fe_{20}$ (2nm)/ Ru (0.8nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ MgO (1.7nm)/ $Co_{54}Fe_{26}B_{20}$ (3nm)/ 상지층(capping layer)(4nm) 이다.
- <62> 열처리 시간이 증가함에 따라, 비정질 CoFeB 강자성층의 결정화가 진행되면서, 자기 터널 접합의 자기저항비가 점차 증가하게 된다. 상기 Ru, Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$), Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)의 상지층을 가지는 각각의 자기 터널 접합소자의 경우, 모두 열처리 조건이 $350^\circ C$ 에서 80분간 열처리 했을 경우에 최적인 자기저항비를 가진다. 이것은 비정질 CoFeB 강자성층이 가장 최적으로 결정화가 일어나는 열처리 조건이다. 또한, 같은 열처리 조건을 가져도, 상지층의 종류에 따라서 자기 저항비는 크게 차이가 난다.
- <63> 기존에 사용된 결정질 Ru를 상지층으로 사용한 자기 터널 접합 시편의 경우, 열처리 이후, 상부 CoFeB 강자성은 MgO 절연막과 에피택시하지 못한 관계를 나타낸다. 이로 인해 절연층과 상부 강자성층의 국부적인 부분에서의 전자 산란(scattering) 현상이 일어나게 되어 상부 강자성층에서부터의 스핀방향에 영향을 주게된다. 이로 인해 자기저항비가 낮게 나타난다.
- <64> 본 발명에 따른 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 구성한 자기 터널접합 소자의 경우, 열처리 이후, 상부 CoFeB 강자성층은 MgO 절연층의 template 효과로 인해 MgO 절연층과 에피택시한 관계를 가지는 방향으로 결정화가 일어나게 된다. 이러한 MgO 절연층과 상부 CoFeB 강자성층에서 MgO 절연층으로 전자가 터널링할 때, 스핀의 정보를 잃지 않고 간섭(coherent) 터널링을 하게 되며, 이로 인해 높은 자기저항비를 얻는다.
- <65> 도 9 내지 도 11은 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$), Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 및 Ru를 상지층으로 갖는 자기 터널 접합에서 $350^\circ C$ 에서 80분간 열처리를 한 경우의 자기저항곡선을 나타낸 그래프이다.
- <66> 도 9는 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 갖는 자기 터널 접합 시편의 상기와 같은 열처리 후의 자기저항곡선을 나타낸 것으로, 일정한 전류를 흘려주며, 외부에서 인가한 자기장을 -7000 Oe에서 +7000 Oe으로 변화시켜가면서 자기저항비를 측정하여 그래프화한 것이다. 1281.4 Oe의 교환 결합 자기장(exchange coupling field, H_{ex})를 가지며, 2.5 Oe의 층간 결합 세기(interlayer coupling field, H_{int})를 가지는 것으로 나타나, 상기 Ru를 상지층으로 갖는 경우와 크게 차이 나지 않지만, 자기저항비는 72.7%를 나타내어, 상기 Ru를 상지층으로 사용한 자기 터널 접합 시편보다 약 1.56배 정도 향상된 것으로 나타난다.
- <67> 도 10은 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 갖는 자기 터널 접합 시편의 상기와 같은 열처리 후의 자기저항곡선을 나타낸 것으로, 일정한 전류를 흘려주며, 외부에서 인가한 자기장을 -7000 Oe에서 +7000 Oe으로 변화시켜가면서 자기저항비를 측정하여 그래프화한 것이다. 1276 Oe의 교환 결합 자기장(exchange coupling field, H_{ex})를 가지며, 2.5 Oe의 층간 결합세기(interlayer coupling field, H_{int})를 가지는 것으로 나타나, 상기 Ru 또는 TiAl을 상지층으로 갖는 경우와 크게 차이 나지 않지만, 자기저항비는 71.8%를 나타내어, 상기 Ru를 상지층으로 사용한 자기 터널 접합 시편보다 약 1.54배 정도 향상된 것으로 나타난다.
- <68> 도 11은 비교예로서, Ru를 상지층으로 갖는 자기 터널 접합 시편의 상기와 같은 열처리 후의 자기저항곡선을 나타낸 것으로, 일정한 전류를 흘려주며, 외부에서 인가한 자기장을 -7000 Oe에서 +7000 Oe으로 변화시켜가면서 자기저항비를 측정하여 그래프화하였다. 1181.4 Oe의 교환 결합 자기장(exchange coupling field, H_{ex})를 가지며, 2.1 Oe의 층간 결합 세기(interlayer coupling field, H_{int})를 가진다. 자기저항비는 46.7%를 나타낸다.
- <69> 상기한 설명에서 많은 사항이 구체적으로 기재되어 있으나, 그들은 발명의 범위를 한정하는 것이라기보다, 바람직한 실시예의 예시로서 해석되어야 한다. 예를 들어, 상기 도 1은 개략적인 자기 터널 접합 소자의 구조는 가장 간단한 터널 접합을 도시한 것으로, 부가적으로 버퍼층 등의 중간층을 더 포함하는 자기 터널 접합 소자를 형성시키는 것 또한 가능하다. 따라서, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 의해 정해져 있지 아니고 특허 청구

범위에 기재된 기술적 사상에 의해 정해져야 한다.

도면의 간단한 설명

- <70> 도 1은 본 발명에 따른 자기 터널 접합 소자의 구조를 개략적으로 나타낸 그림이다.
- <71> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 사용한 자기 터널 접합 소자의 구조를 나타낸 그림이다.
- <72> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 사용한 자기 터널 접합 소자의 구조를 나타낸 그림이다.
- <73> 도 4는 Ru를 상지층으로 사용한 자기 터널 접합 소자의 구조를 나타낸 그림이다.
- <74> 도 5는 유리기판/CoFeB(3nm)/MgO(1.7nm)/CoFeB(3nm)/ Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (4nm)의 다층구조를 가진 자기 터널 접합 소자의 열처리 시간에 따른 CoFeB의 결정성장에 관한 XRD 그래프이다.
- <75> 도 6은 유리기판/CoFeB(3nm)/MgO(1.7nm)/CoFeB(3nm)/ Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) (4nm)의 다층구조를 가진 자기 터널 접합 소자의 열처리 시간에 따른 CoFeB의 결정성장에 관한 XRD 그래프이다.
- <76> 도 7은 유리기판/CoFeB(3nm)/MgO(1.7nm)/CoFeB(3nm)/Ru(4nm)의 다층구조를 가진 자기 터널 접합 소자의 열처리 시간에 따른 CoFeB의 결정성장에 관한 XRD 그래프이다.
- <77> 도 8은 Ru를 상지층으로 하는 자기 터널 접합 소자와 본 발명에 따라 제조된 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$) 또는 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 하는 자기 터널 접합 소자의 열처리 시간에 따른 자기저항비를 나타내는 그래프이다.
- <78> 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 Ti_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 하여 제조한 자기 터널 접합 소자의 자기 저항곡선을 나타낸 그래프이다.
- <79> 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 Zr_xAl_{1-x} ($0 < x < 1$)을 상지층으로 하여 제조한 자기 터널 접합 소자의 자기 저항 곡선을 나타낸 그래프이다.
- <80> 도 11은 Ru를 상지층으로 한 자기 터널 접합 소자의 자기 저항 곡선을 나타낸 그래프이다.
- <81> <도면 부호의 설명>
- <82> 11: 기판
- <83> 12: 시드층(seed layer)
- <84> 13: 반강자성층
- <85> 14: 고정층
- <86> 15: 터널장벽층
- <87> 16: 자유층
- <88> 17: 상지층

도면

도면1

상지층	17
자유층	16
터널장벽층	15
고정층	14
반강자성층	13
시드층(seed layer)	12
기판	11

도면2

TiAl
CoFeB
MgO
CoFeB
Ru
CoFe
IrMn
CoFe
TiAl 또는 ZrAl
기판

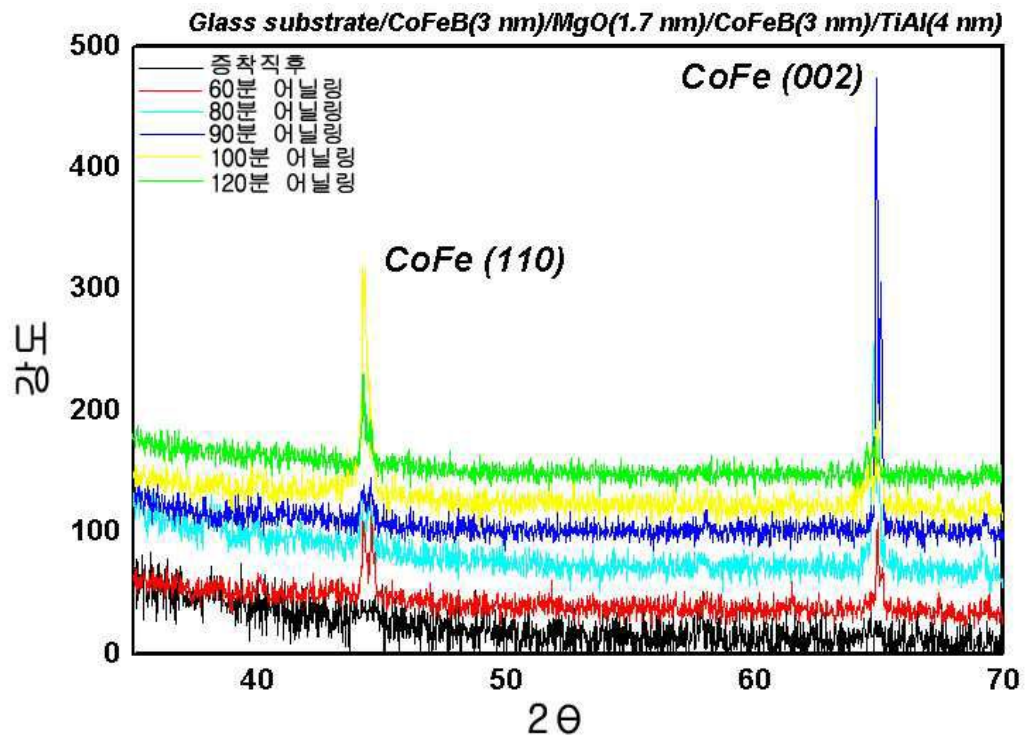
도면3

ZrAl
CoFeB
MgO
CoFeB
Ru
CoFe
IrMn
CoFe
TiAl 또는 ZrAl
기판

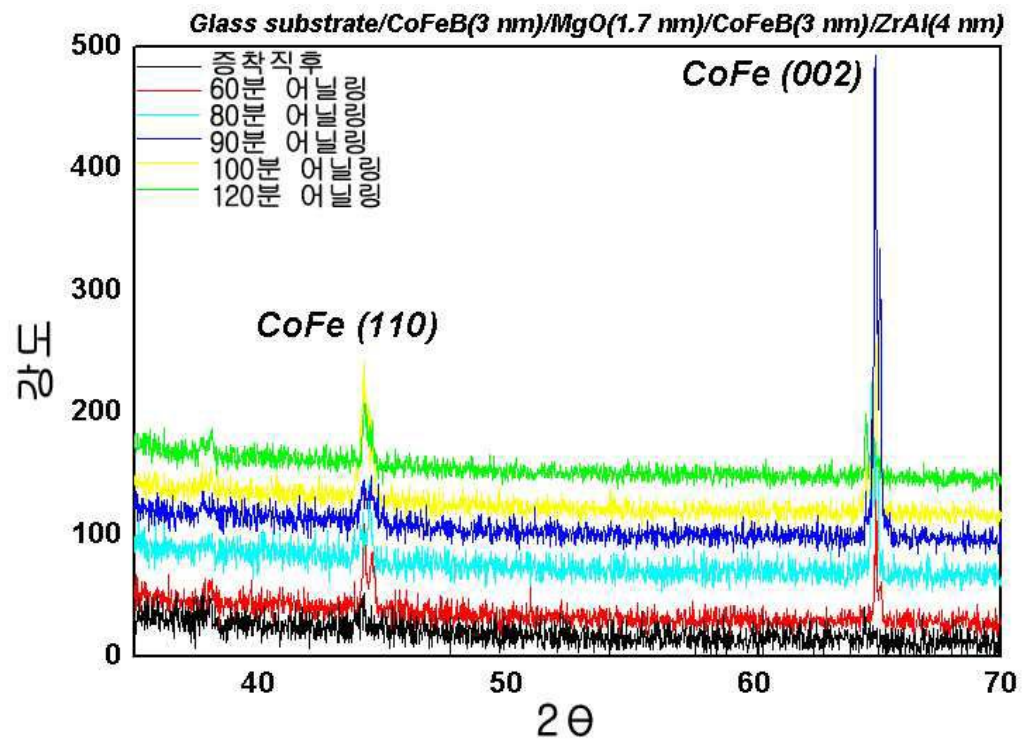
도면4

Ru
CoFeB
MgO
CoFeB
Ru
CoFe
IrMn
CoFe
TiAl 또는 ZrAl
기판

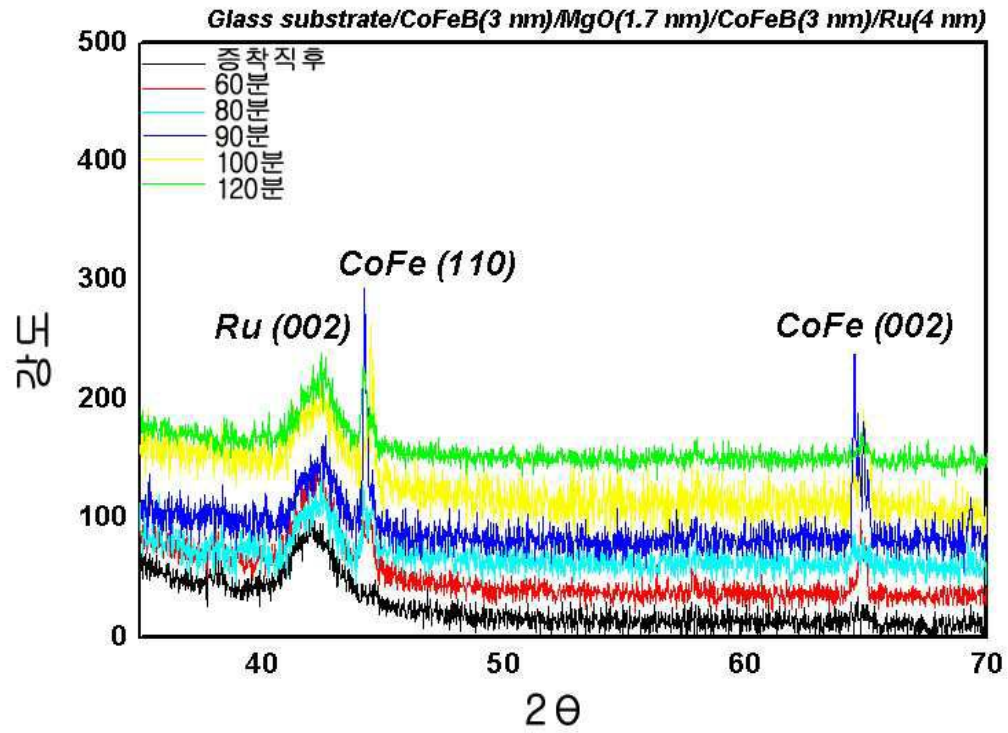
도면5



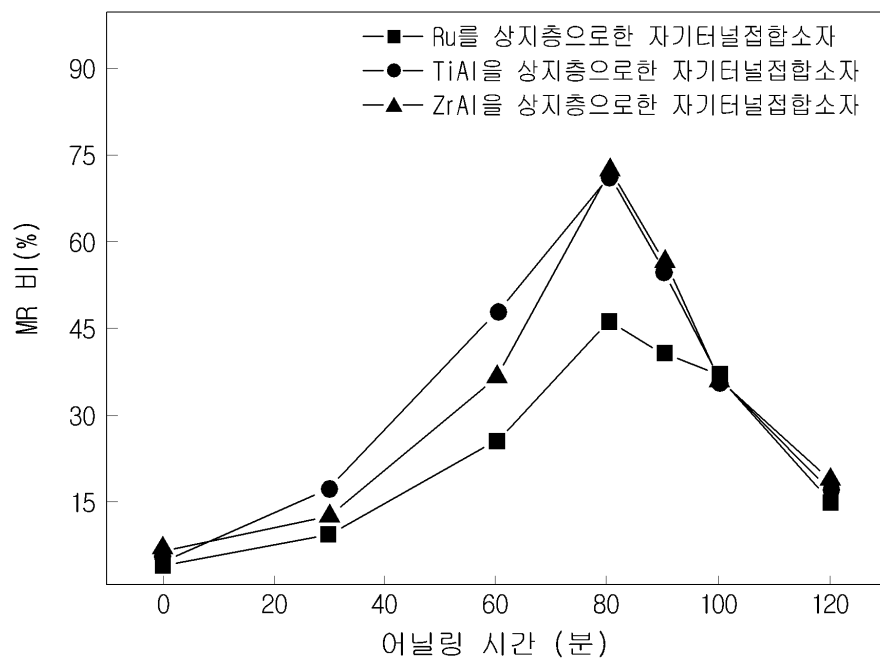
도면6



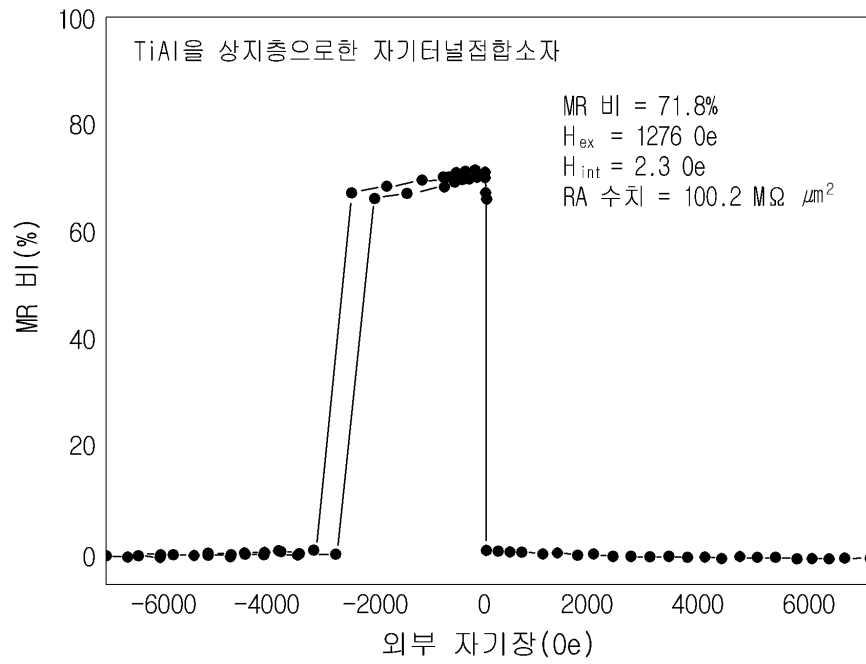
도면7



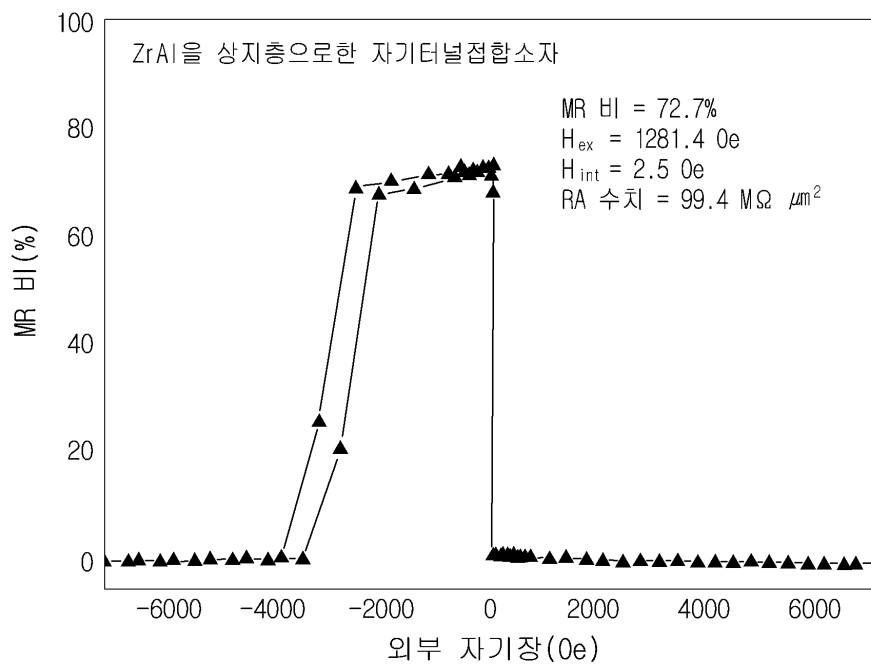
도면8



도면9



도면10



도면11

