



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0084003
(43) 공개일자 2023년06월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10N 50/80 (2023.01) H10B 61/00 (2023.01)
H10N 50/01 (2023.01) H10N 50/10 (2023.01)
H10N 50/85 (2023.01)
- (52) CPC특허분류
H10N 50/80 (2023.02)
H10B 61/00 (2023.02)
- (21) 출원번호 10-2022-0085310
- (22) 출원일자 2022년07월11일
심사청구일자 없음
- (30) 우선권주장
63/285,672 2021년12월03일 미국(US)
17/675,876 2022년02월18일 미국(US)

- (71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
- (72) 발명자
아팔코브 드미트로
3655 노스 1번가, 새너제이, 캘리포니아 95134, 미국
케플스키 로만
3655 노스 1번가, 새너제이, 캘리포니아 95134, 미국
- (74) 대리인
특허법인가산

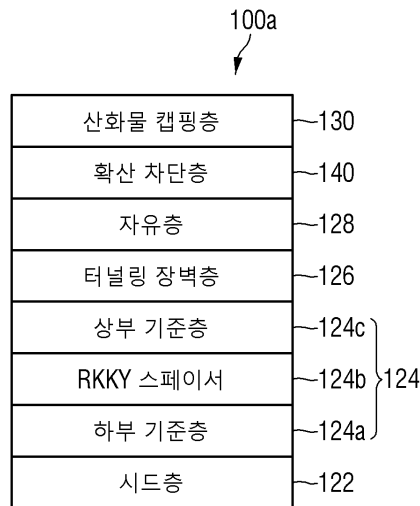
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 스핀 전달 토크 및 스핀 궤도 토크 랜덤 액세스 메모리를 위한 자기 저항 메모리 요소

(57) 요약

자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자는 자기 기준층(RL), 자기 자유층(FL), 자기 기준층과 자기 자유층 사이에 연장되는 터널링 장벽층, 및 자기 자유층 상에 연장되는 확산 차단층(DBL)을 포함한다. 확산 차단층은 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(CD)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나를 포함한다. 산화물 캡핑 층이 확산 차단층에도 제공된다. 산화물 층은 스트론튬(Sr), 스칸듐(Sc), 베릴륨(Be), 칼슘(Ca), 이트륨(Y), 지르코늄(Zr) 및 hafnium(Hf) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H10N 50/01 (2023.02)

H10N 50/10 (2023.02)

H10N 50/85 (2023.02)

명세서

청구범위

청구항 1

자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자에 있어서,

자기 기준층;

자기 자유층;

상기 자기 기준층 및 상기 자기 자유층 사이에서 연장되는 터널링 장벽층; 및

상기 자기 자유층 상의 확산 차단층을 포함하고,

상기 확산 차단층은 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(Cd)로 이루어진 그룹에서 선택된 하나 이상의 물질을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 자기 자유층은 상기 자기 자유층과의 계면을 정의하는 상기 확산 차단층과 상기 터널링 장벽 층 사이에서 연장되는, 메모리 소자.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 확산 차단층 상의 산화물 층을 더 포함하는, 메모리 소자.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 확산 차단층은 1Å 내지 10Å 범위의 두께를 갖는, 메모리 소자.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 확산 차단층은 상기 산화물 층과 상기 자기 자유층 사이에서 연장되는, 메모리 소자.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 산화물 층은 2Å 내지 20Å 범위의 두께를 갖고, 스칸듐 산화물(Sc-O) 및 마그네슘 산화물(Mg-O) 중 적어도 하나를 포함하는, 메모리 소자.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 산화물 층은 스트론튬 산화물(Sr-O), 탄탈륨 산화물(Ta-O), 베릴륨 산화물(Be-O), 칼슘 산화물(Ca-O), 이트륨 산화물(Y-O), 지르코늄 산화물(Zr-O), 티타늄 산화물(Ti-O), 및 hafnium 산화물(Hf-O) 중 적어도 하나를 포함하는, 메모리 소자.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 확산 차단층은,

제1 물질을 포함하는 제1 확산 차단층; 및

제1 물질과 상이한 제2 물질을 포함하고, 상기 제1 확산 차단층과 상기 산화물 층 사이에서 연장되는 제2 확산 차단층의 적층된 복합층을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제1 확산 차단층은 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 스칸듐(Sc), 티타늄(Ti), 바나듐(V) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 그룹에서 선택되는 적어도 하나의 물질을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 10

제 5 항에 있어서,

상기 산화물 층은,

스칸듐 산화물(Sc-O), 스트론튬 산화물(Sr-O) 및 칼슘 산화물(Ca-O)로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 산화물을 포함하는 제1 산화물 층; 및

탄탈륨 산화물(Ta-O) 및 하프늄 산화물(Hf-O)로 이루어진 그룹에서 선택되는 적어도 하나의 산화물을 포함하는 제2 산화물 층의 복합층을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 제1 산화물 층은 상기 제2 산화물 층과 상기 확산 차단층 사이에서 연장되는, 메모리 소자.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 제2 산화물 층은 상기 제1 산화물 층보다 더 두꺼운, 메모리 소자.

청구항 13

제 5 항에 있어서,

상기 산화물 층은 산화마그네슘(Mg-O), 산화칼슘(Ca-O), 산화스칸듐(Sc-O), 산화티타늄(Ti-O), 산화바나듐(V-O), 산화철(Fe-O), 산화니켈(Ni-O), 산화코발트(Co-O), 산화지르코늄(Zr-O), 산화니오븀(Nb-O), 산화탄탈륨(Ta-O), 산화텅스텐(W-O), 산화오스뮴(Os-O)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 물질을 포함하는 섀트-전류 감소 산화물(SRO) 층인, 메모리 소자.

청구항 14

스핀 전달 토크 자기 저항 랜덤 액세스 메모리(STT-MRAM) 소자에 있어서,

자기 기준층(RL);

자기 자유층(FL);

상기 자기 기준층과 상기 자기 자유층 사이에 연장되는 터널링 장벽층; 및

상기 자기 자유층 상의 확산 차단층(DBL)으로, 상기 확산 차단층은 1Å 내지 10Å 범위의 두께를 갖고, 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(Cd)으로 이루어진 그룹에서 선택되는 적어도 하나의 물질을 포함하는 확산 차단층;

상기 확산 차단층 상의 산화물 층; 및

상기 자기 기준층 상의 시드 층을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 자기 기준층은 그 사이에서 연장되는 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida(RKKY) 결합 층을 갖는 제1 및 제2 자기 기준층의 적층된 복합층을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 확산 차단층은,

상기 자기 기준층과 접촉하는, 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 스칸듐(Sc), 티타늄(Ti), 바나듐(V) 및 크롬(Cr)으로 이루어지는 그룹에서 선택된 제1 물질을 포함하는 제1 확산 차단층; 및

상기 제1 물질과 상이한 제2 물질을 포함하고, 상기 제1 확산 차단층과 상기 산화물 층 사이에서 연장되는 제2 확산 차단층의 적층된 복합층을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 산화물 층은,

상기 확산 차단층과 접촉하는, 스칸듐 산화물(Sc-O) 층, 스트론튬 산화물(Sr-O) 층 및/또는 칼슘 산화물(Ca-O) 층; 및

탄탈륨 산화물(Ta-O) 층 및/또는 그 위의 하프늄 산화물(Hf-O) 층의 적층 복합체를 포함하는, 메모리 소자.

청구항 18

스핀 궤도 토크 자기 저항 랜덤 액세스 메모리(SOT-MRAM) 소자로서,

자기 기준층(RL);

자기 자유층(FL);

상기 자기 기준층과 상기 자기 자유층 사이에 연장되는 터널링 장벽층;

상기 자기 자유층 상의 확산 차단층(DBL)으로, 상기 확산 차단층은 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In), 및 카드뮴(Cd)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 물질을 포함하는 확산 차단층; 및

상기 확산 차단층 상의 셉트 전류 환원 산화물(SRO) 층을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 셉트 전류 환원 산화물 층 상의 스핀궤도 토크 기록 라인을 더 포함하고,

상기 셉트 전류 환원 산화물 층은 산화마그네슘(Mg-O), 산화칼슘(Ca-O), 산화스칸듐(Sc-O), 산화티타늄(Ti-O), 산화바나듐(V-O), 산화철(Fe-O), 산화니켈(Ni-O), 산화코발트(Co-O), 산화지르코늄(Zr-O), 산화니오븀(Nb-O), 산화탄탈륨(Ta-O), 산화텅스텐(W-O), 산화오스뮴(Os-O)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 물질을 포함하는, 메모리 소자.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 확산 차단층은 1Å 내지 10Å 범위의 두께를 갖고, 상기 셉트 전류 환원 산화물 층과 상기 자기 자유층 사이에서 연장되며 이와 접촉하는, 메모리 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 집적 회로 메모리 장치에 관한 것으로, 특히, 비휘발성 집적 회로 메모리 장치 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 종래의 자기 저항 랜덤 액세스 메모리(MRAM) 장치는 일반적으로 비휘발성 메모리 소자로서 자기 저항(a/k/a 자기) 터널 접합(MTJ)을 이용하며, 이는 단순화된 형태로 3개의 계층의 수직 스택으로 정의될 수 있다. 이 3개의 계층은 (i) "핀드" 또는 "고정된" 자기 층이라고 하는 자기 기준층, (ii) 터널링 유전체 층이라고 하는 터널링 장벽 층, 및 (iii) 자기 자유층을 포함한다. 당업자에 의해 이해되는 바와 같이, MTJ는 메모리 기록 동작 동안 자기 기준층의 필드와 평행하거나 역평행하도록 자기 자유층의 "필드"를 설정함으로써 "0" 또는 "1" 로직 상태를 정의하도록 프로그래밍될 수 있다.

[0003] 따라서, 도 1a에 도시된 바와 같이, MTJ(10)는 자기 자유층(12)의 자화가 자기 기준층(16)의 자화와 평행하도록 설정함으로써 "제1" 로직 상태를 갖도록 설정되므로, 상기 기준층(16)으로부터 자기 자유층(12)을 분리하는 터널링 장벽층(14)을 포함하는 MTJ(10)의 층에 걸쳐 관독 전류가 설정될 때 상대적으로 낮은 저항 상태가 존재하게 된다.

[0004] 대안적으로, MTJ(10)는 자기 자유층(12)의 자화가 자기 기준층(16)의 자화와 역평행하도록 설정함으로써 "제2" 로직 상태를 갖도록 설정되므로, 관독 전류가 MTJ(10)의 층에 걸쳐 형성될 때 상대적으로 높은 저항 상태가 존재하게 된다. 도시되지는 않았지만, 종래의 MTJ는 또한 도 1a에 도시된 "수평" 스핀 방향보다는 "수직" 또는 "직각" 스핀 방향을 지원하도록 구성될 수 있다.

[0005] 또한, 도 1b의 좌측에 도시된 바와 같이, 스핀 전달 토크(STT) MRAM(20a)(단일 "관독/기록" 선택 트랜지스터 T1을 가짐)은 로직 "0"을 프로그래밍하기 위해 MTJ(10)의 층을 통해 제1 방향으로 그리고 로직 "1"을 프로그래밍하기 위해 제1 방향과 반대인 제2 방향으로, "기록" 전류를 전달하여 기록 동작 동안 프로그래밍될 수 있다.

[0006] 또한 더 높은 기록 전류를 사용하여 더 빠른 프로그래밍으로 결과되는 더 짧은 액세스 시간을 얻을 수 있지만, 더 높은 전류는 반복된 프로그래밍에 대한 응답으로 MTJ(10)의 층에 대해 점진적인 손상을 일으킬 수 있으며, 이에 의해 STT-MRAM(20a)의 장기적인 내구성 및 신뢰성을 저하시킨다.

[0007] 다행스럽게도, 도 1b의 우측에 도시된 바와 같이, 스핀 궤도 토크(SOT) MRAM(20b)(분리된 관독 및 기록 선택 트랜지스터(T1, T2)를 가짐)는 자기 자유층(12)과 계면을 공유하는 별도의 "스트랩" 층(18) 양단에 "기록" 전류를 전달함으로써 프로그래밍될 수 있다. 별도의 관독 전류 및 기록 전류 경로에서 볼 수 있듯이, 기록 전류를 지원하는 스트랩 층(18)의 사용은 기록 전류 경로를 관독 전류 경로에서 분리하도록 동작하고, 이에 의해 STT-MRAM(20a)과 관련된 잠재적인 내구성 및 신뢰성 제한을 피할 수 있지만, 각 메모리 셀 내의 추가의 기록 선택 트랜지스터(T2)에 의해 야기되는 비트당 레이아웃 풋프린트는 다소 커지게 된다.

[0008] 이제 도 2를 참조하면, 종래 기술에 따른 보다 대표적인 MTJ(10')는 시드층(22)을 포함하는 것으로 도시되어 있고, 그 위에 하부 자기 기준층(24a), Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida(RKKY) 스페이서/결합 층(24b), 상부 자기 기준층(24c)의 스택이 복합 자기 기준층(24)으로서 순차적으로 형성된다. MTJ(10')과 관련된 기존의 장치는 D. Apalkov, B. Dieny 및 J. M. Slaughter에 의한, "자기 저항 랜덤 액세스 메모리" IEEE Proceedings, vol. 104, no. 10, pp. 1796-1830, 2016년 10월에 개시되어 있다.

[0009] MTJ(10')는 또한 산화마그네슘(Mg-O) 층으로 구성될 수 있는 터널링 장벽층(26), 및 터널링 장벽층(26) 바로 위에 있는 자기 자유층(28)을 포함한다. 도시된 바와 같이, 마그네슘 산화물(Mg-O) 층으로 구성될 수 있는 산화물 캡(30)이 또한 도시된 바와 같이, 자기 자유층(28) 상에 제공된다. 어떤 이론에 얽매이고 싶지는 않지만, 고효율 및/또는 최적의 터널 자기 저항(TMR)을 위한 산화물 캡은 다른 저성능 산화물 캡과 비교할 때 어닐링 후 안정성이 부적절할 수 있다. 따라서, 고성능 산화물 캡과 우수한 어닐링 사후 안정성을 갖는 MTJ 기반 비휘발성 메모리 소자의 개발에 필요성이 대두되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 제조 동안 개선된 열 안정성 및 개선된 제조 후 수율 및 내구성을 갖는 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자를 제공하는 것이다.
- [0011] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 실시 예에 따른 비휘발성 메모리는 제조 동안 개선된 열 안정성 및 개선된 제조 후 수율 및 내구성을 갖는 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자를 이용할 수 있다.
- [0013] 이들 실시 예 중 일부에 따르면, 자기 기준층(RL), 자기 자유층(FL), 및 자기 RL과 자기 FL 사이에서 연장되는 터널링 배리어층을 포함하는 MTJ 메모리 요소가 제공된다. 또한, 열적 안정성을 향상시키기 위해 DBL과 터널링 배리어 층 사이에 연장되는 자기 FL 상에 확산 차단층(DBL)이 제공된다. 이 DBL은: (i) 비교적 높은 열 안정성 (예: 어닐링 안정성), (ii) 상대적으로 높은 확산 장벽 에너지(Eb) 또는 그 층 계면(들) 쪽으로 갈수록 상대적으로 높은 분리 경향, 및 (iii) 인접한 층에 대한 격자 불일치 감소를 갖도록 구성되며, 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(CD)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 물질을 포함할 수 있다. 일부 실시 예에서, 산화물 캡핑 층과 같은 산화물 층이 DBL 상에 제공된다. 또한, DBL은 1Å 내지 10Å 범위의 두께를 가질 수 있는 반면, 산화막은 2Å 내지 20Å 범위의 두께를 가질 수 있다. 본 발명의 일부 실시 예에서, 산화물 층은 마그네슘 산화물(Mg-O)을 포함하지만; 다른 실시 예에서, 산화물 층은 스트론튬 산화물(Sr-O), 탄탈륨 산화물(Ta-O), 스칸듐 산화물(Sc-O), 베릴륨 산화물(Be-O), 칼슘 산화물(Ca-O), 이트륨 산화물(Y-O), 지르코늄 산화물(Zr-O) 및 하프늄 산화물(Hf-O) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0014] 본 발명의 다른 실시 예에 따르면, DBL은 제1 물질의 제1 DBL, 및 제1 DBL과 산화물 층 사이에서 연장되는 제2 물질의 제2 DBL의 적층된 복합층을 포함한다. 이러한 제1 물질은 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 스칸듐(Sc), 티타늄(Ti), 바나듐(V) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 그룹에서 선택되는 물질일 수 있다. 산화물 층은 다음과 같은 복합층으로 구성될 수 있다: (i) 스칸듐 산화물(Sc-O), 스트론튬 산화물(Sr-O) 및 칼슘 산화물(Ca-O)로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 산화물을 포함하는 제1 산화물층, 및 (ii) 탄탈륨 산화물(Ta-O) 및 하프늄 산화물(Hf-O)로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 산화물을 포함하는 제2 산화물층. 제1 산화물 층은 DBL과 제1 산화물 층보다 더 두꺼울 수 있는 제2 산화물 층 사이에서 연장된다.
- [0015] 본 발명의 추가적인 실시 예에 따르면, 스핀 전달 토크 자기 저항 랜덤 액세스 메모리(STT-MRAM) 소자가 제공되고, 이것은 자기 기준층(RL), 자기 자유층(FL), 자기 RL과 자기 FL 사이에서 연장되는 터널링 장벽층, 및 자기 RL 아래의 시드층을 포함한다. 이들 실시 예 중 일부에서, 자기 RL은 사이에 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida(RKKY) 결합 층이 연장되어 있는 제1 및 제2 자기 기준층의 적층된 복합층을 포함할 수 있고, 이것은 하부 RL과 상부 RL 사이의 반강자성 결합을 용이하게 하도록 설계된 것이다.
- [0016] 또한, 확산 차단층(DBL)이 자기 FL 상에 제공되고, 산화물 "캡핑"층이 DBL 상에 제공된다. 바람직하게, DBL은 무엇보다도 자기 FL로부터의 외부 확산을 억제하고(즉, FL과 산화물 캡핑 층 사이의 상호 확산), 캡핑 층으로부터의 외부 확산을 억제함으로써, 제조 중 메모리 요소의 어닐링 안정성을 개선하도록 작동한다. 이들 실시 예 중 일부에서, DBL은 1Å 내지 10Å 범위의 두께를 가질 수 있고, 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(CD)으로 이루어진 그룹에서 선택된 1종 이상의 물질을 포함할 수 있다. DBL은 제1 DBL, 및 제1 DBL과 산화물 캡핑 층 사이에서 연장되는 (상이한 재료의) 제2 DBL의 적층된 복합층으로 구성될 수도 있다. 이러한 제1 DBL은 자기 FL과 접촉하는, 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 스칸듐(Sc), 티타늄(Ti), 바나듐(V) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 군에서 선택된 제1 물질을 포함할 수 있다. 본 발명의 또 다른 실시 예에서, 산화물 캡핑 층은 다음의 적층된 복합층을 포함할 수 있다: (i) 스칸듐 산화물(Sc-O) 층, 스트론튬 산화물(Sr-O) 층 및/또는 DBL과 접촉하는 칼슘 산화물(Ca-O) 층, 및 (ii) 탄탈륨 산화물(Ta-O) 층 및/또는 그 위의 하프늄 산화물(Hf-O) 층.
- [0017] 본 발명의 다른 실시 예에 따르면, 스핀-궤도 토크 자기 저항 랜덤 액세스 메모리(SOT-MRAM) 소자가 제공되고, 이것은 자기 기준층(RL), 자기 자유층(FL), 및 자기 RL과 자기 FL 사이에서 연장되는 터널링 배리어 층을 포함한다. 또한, 제작 중 열 안정성을 향상시키기 위해 자기 FL에 확산 차단층(DBL)이 제공된다. 이 DBL은 비스무트

(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(Cd)으로 이루어진 그룹에서 선택된 하나 이상의 물질을 포함한다. 셉트 전류 감소 산화물(SRO) 층이 DBL 위에 제공되고 스핀 궤도 토크 기록 라인이 SRO 층 위에 제공된다. 이러한 SRO층은 산화마그네슘(Mg-O), 산화칼슘(Ca-O), 산화스칸듐(Sc-O), 산화티탄(Ti-O), 산화바나듐(V-O), 산화철(Fe-O), 산화니켈(Ni-O), 산화코발트(Co-O), 산화지르코늄(Zr-O), 산화니오븀(Nb-O), 산화탄탈(Ta-O), 텅스텐 산화물(W-O), 및 오스뮴 산화물(Os-O)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 물질을 포함할 수 있다. DBL은 또한 1Å 내지 10⁴ Å 범위의 두께를 가질 수 있고, SRO 층과 자성 (FL) 사이에 연장될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1a는 저 저항 프로그램 상태와 고 저항 프로그램 상태로 프로그램될 때, 비휘발성 메모리 소자로 동작하는 종래의 자기 저항 터널 접합(MTJ)의 단면도이다.
- 도 1b는 종래 기술에 따른 스핀 전달 토크(STT) MRAM 단위 셀 및 스핀 궤도 토크(SOT) MRAM 단위 셀의 단순화된 개략도이다.
- 도 2는 비휘발성 메모리 소자로 동작할 수 있는 종래의 자기 저항 터널접합(MTJ)의 단면도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 비휘발성 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자의 단면도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 비휘발성 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자의 단면도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 비휘발성 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자의 단면도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 비휘발성 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자의 단면도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 스핀 궤도 토크(SOT) MRAM 장치의 비휘발성 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자의 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 본 발명은 이하 본 발명의 바람직한 실시 예가 도시되어 있는 첨부된 도면을 참조하여 보다 완전하게 설명될 것이다. 그러나, 본 발명은 많은 상이한 형태로 구현될 수 있고 본 명세서에서 설명된 실시 예로 제한되는 것으로 해석되어서는 안 되고; 이들 실시 예는 본 개시가 철저하고 완전하게 되고, 본 발명의 범위가 당업자에게 충분히 전달될 수 있도록 제공된다.
- [0020] 도면에서, 층 및 영역의 두께는 명확성을 위해 과장되어 있다. 또한 층이 다른 층이나 기재 "위에" 있는 것으로 언급되는 경우, 이는 다른 층 또는 기재 상에 바로 거나 중간 층이 또한 존재할 수 있음을 이해할 것이다. 동일한 참조 번호는 전체에 걸쳐 동일한 요소를 지칭한다. 또한, 여기에서 M-O로 식별되는 금속(M) 산화물(O)에 대한 각 언급은 금속 산화물 화합물 M_xO_y를 나타내며, 여기서 M은 금속을 나타내고, O는 산소를 나타내고, 이 때 화학양론적으로 첨자는 다양하다: $x \geq 1, y \geq 1$ 이다.
- [0021] 제1, 제2, 제3 등의 용어는 다양한 요소, 구성요소, 영역, 층 및/또는 섹션을 설명하기 위해 본 명세서에서 사용될 수 있지만, 이러한 요소, 구성 요소, 영역, 층 및/또는 섹션은 이들 용어로만 제한되어서는 안 된다는 것이 이해될 것이다. 이러한 용어는 한 요소, 구성 요소, 영역, 층 또는 섹션을 다른 영역, 층 또는 섹션과 구별하는 데만 사용된다. 따라서, 이하에서 논의되는 제1 구성요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션은 본 발명의 교시로부터 벗어나지 않고 제2 구성요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션으로 지칭될 수 있다.
- [0022] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 단수 형태"는 문맥에서 명백하게 달리 나타내지 않는 한 복수 형태도 포함하도록 의도된다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어 "포함하는", "구비하는", "갖는" 및 이들의 변형은 명시된 기능, 단계, 작업, 요소 및/또는 구성 요소의 존재를 지정하지만, 하나 이상의 다른 기능, 단계, 작업, 요소, 구성 요소 및/또는 이들의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다는 것이 이해될 것이다. 대조적으로, 본 명세서에서 사용될 때 "~로 이루어진"이라는 용어는 명시된 특징, 단계, 동작, 요소 및/또는 구성 요소를 지정하고, 추가 기능, 단계, 동작, 요소 및/또는 구성 요소를 배제한다.
- [0023] 달리 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술적, 과학적 용어 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 것과 동일한 의미를 갖는다. 또한 일반적으로 사용

되는 사전에 정의된 것과 같은 용어는 관련 기술의 맥락에서 그 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어 야 하며 본 명세서에서 명시적으로 정의되지 않는 한 이상화되거나 지나치게 형식적인 의미로 해석되지 않는다는 것이 이해될 것이다.

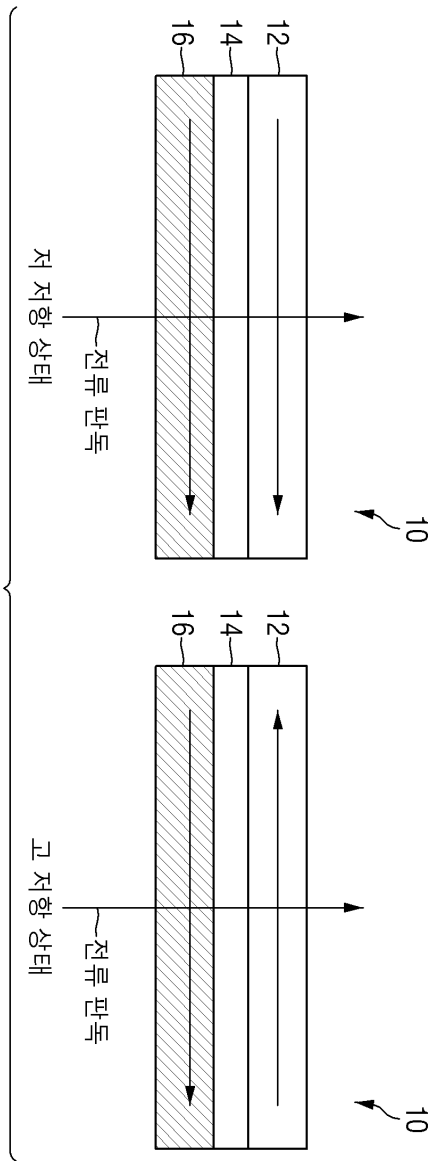
- [0024] 이하 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 비휘발성 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자(100a)는 다음의 수직 스택을 포함하는 것으로 도시된다: (i) 시드층(122), (ii) 시드층(122) 상의 자기 기준층(RL; Reference Layer)(124), (iii) 자기 RL(124) 상의 터널링 장벽층(126), 및 (iv) 터널링 장벽층(126) 상의 자기 자유층(FL; Free Layer)(128). 도시된 바와 같이, 자기 RL(124)은 하부 자기 RL(124a), Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida(RKKY) 결합/스페이서 층(124b), 및 스페이서 층(124b) 상의 상부 자기 RL(124c)의 적층된 복합층으로 구성된다.
- [0025] 이들 실시 예 중 일부에 따르면, 시드층(122)은 예를 들어, Ir, Ru, Ta로 이루어진 그룹에서 선택된 물질을 포함하며, 약 10Å 내지 약 2000Å 범위의 두께를 가질 수 있다. 게다가, 하부 자기 RL(124a)은 Co/Pt 다중층 또는 Co-Pt 합금으로 이루어진 그룹에서 선택된 물질 또는 Pt 또는 Pd와 같은 비자기 물질과 Co 또는 Fe와 같은 자기 물질의 다중층을 포함하는 다른 물질을 포함할 수 있으며, 약 10Å 내지 약 500Å 범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0026] RKKY(Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) 결합층(124b)은 Ru, Rh, Ir 및 이들의 합금으로 이루어진 그룹에서 선택된 물질을 포함할 수 있고, 약 3Å 내지 약 18Å 범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0027] 상부 자기 RL(124c)은 선택적인 비자기 또는 약자기 삽입층과 터널링 장벽층(126) 옆 CoFeB를 갖는 Co/Pt 다중층 또는 합금으로 이루어진 그룹에서 선택된 물질을 포함할 수 있고, 약 5Å 내지 약 200Å의 범위의 두께를 갖는다.
- [0028] 터널링 장벽층(126)은 예를 들어, 산화마그네슘(Mg-O)층 및/또는 Mg-Al-O층으로 구성될 수 있으며, 약 4Å 내지 약 20Å의 두께를 가질 수 있다.
- [0029] 자기 FL(128)은 Co, Fe, B, Nb, Ta, Mo, Si, Zr, Ge, W로 이루어진 그룹에서 선택된 물질을 포함할 수 있고, 약 4Å 내지 약 50Å 범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0030] 바람직하게, 열 안정성을 향상시키기 위해, 도시된 바와 같이 자기 FL(128)과 산화물 캡핑 층(130) 사이에서 연장하는 (그리고 그와 계면을 형성하는) 확산 차단 층(DBL; Diffusion Blocking Layer)(140)이 제공된다.
- [0031] 특히, FL(128)과 산화물 캡핑층(130) 사이의 상호확산을 억제하기 위해, DBL(140)은 바람직하게 (i) 상대적으로 높은 열 안정성(예: 어닐링 안정성), (ii) 그 층 계면(들)으로 갈수록 상대적으로 높은 확산 장벽 에너지(Eb) 또는 상대적으로 높은 분리 경향, 및 (iii) 인접한 자기 FL(128) 및 산화물 캡핑 층(130)에 대한 격자 불일치를 감소를 갖는다. 특히, 본 명세서에서 참조로 통합되는, 21년 12월 3일에 출원된 앞서 언급한 미국 가출원 번호 63/285,672에 기술된 바와 같이, 산화물 캡핑층(130)의 어닐링 안정성은 DBL(140)을 구성함으로써 향상될 수 있으므로, 특히 자기 FL과 산화물(예: Mg-O) 캡핑 층 사이의 기존 계면에 비해 확산 장벽 에너지(Eb)의 증가 또는 상대적으로 높은 분리 경향 및 감소된 격자 불일치가 달성된다(기존 계면에 비해 충분한 수직 자기 이방성(PMA)을 유지하면서).
- [0032] 또한, 본 발명의 일부 실시 예에 따르면, DBL(140)은 1Å 내지 10Å의 두께를 가질 수 있으며, 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(Cd)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 물질을 포함할 수 있다.
- [0033] 어떤 이론에 얽매는 것을 원치 않지만, 오스뮴(Os), 레늄(Re) 및 로듐(Rh)은 자유층 및 산화물층 계면으로 갈수록 더 낮은 분리 경향을 갖지만 상대적으로 높은 확산 장벽을 갖는 것으로 믿어지며, 이는 이러한 요소가 포스트 어닐링 동안 증착된 상태로 남아 있을 수 있음을 시사한다.
- [0034] 대안적으로, 비스무트(Bi), 인듐(In) 및 카드뮴(Cd)은 더 낮은 확산 장벽을 갖지만, 계면 쪽으로 갈수록 더 높은 분리 경향을 갖는 것으로 믿어지므로, 포스트 어닐링 중 확산은 이러한 요소를 계면 밖으로 이동시킬 가능성이 없다.
- [0035] 또한, 일부 실시 예에서, 이후에 형성되는 산화물 캡의 안정성(및 기타 특성)의 가능성을 기반으로 하여, 8개의 요소 그룹 내에서, 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re) 및 주석(Sn)의 제 1 하위 그룹이 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(Cd)의 제 2 하위 그룹에 비해 선택될 수 있으며, 이하 상세히 설명한다. DBL(140)의 두께의 균일성은 또한 DBL(140)의 증착 전에 자기 FL(128)을 포함하는 중간 스테이지 기판을 약 -250°C 내지 약

-100℃의 온도로 냉각함으로써 향상될 수 있다.

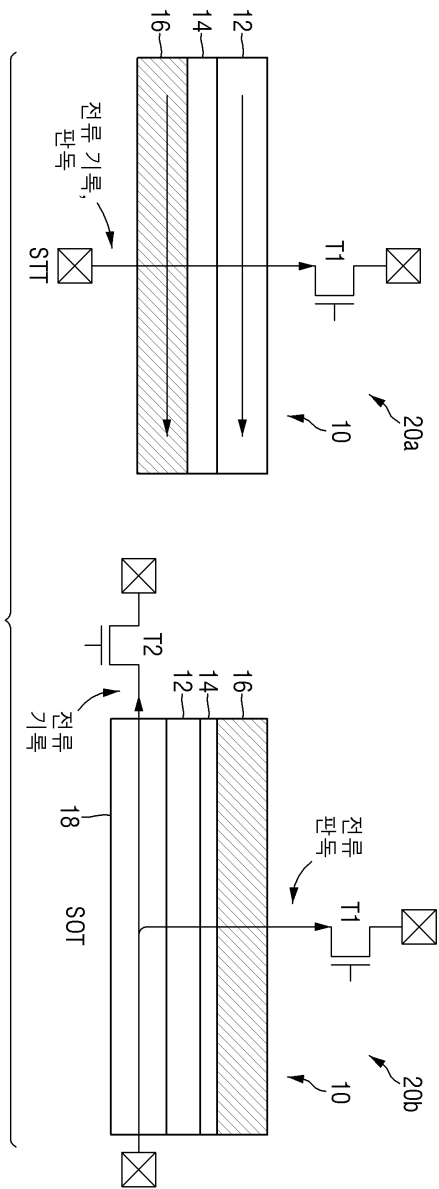
- [0036] DBL(140)에 제공되는 도 3의 산화물 캡핑층(130)은 2Å 내지 20Å의 두께를 가질 수 있으며, 산화마그네슘(Mg-O) 또는 다른 산화물로 이루어질 수 있다.
- [0037] 그러나, 도 4의 자기 저항 터널접합(MTJ) 메모리 소자(100b)에 의해 도시된 바와 같이, 대체 산화물 캡핑층(130')은 낮은 형성 에너지와 높은 산소 확산 장벽을 제공할 수 있는, 스트론튬 산화물(Sr-O), 스칸듐 산화물(Sc-O), 베릴륨 산화물(Be-O), 칼슘 산화물(Ca-O), 탄탈륨 산화물(Ta-O), 이트륨 산화물(Y-O), 지르코늄 산화물(Zr-O) 및 하프늄 산화물(Hf-O) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다..
- [0038] 또한, 도 5의 자기 저항성 터널 접합(MTJ) 메모리 소자(100c)에 의해 도시된 바와 같이, 도 3 및 도 4의 DBL(140)은 제1 물질의 제1 DBL(140a)과 제2 물질의 제2 DBL(140b)의 적층된 복합층을 포함하도록 수정될 수 있고, 이는 제1 DBL(140a)과 산화물 캡핑층(130') 사이에서 연장된다. 이러한 제1 물질은 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 스칸듐(Sc), 티타늄(Ti), 바나듐(V) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 그룹에서 선택되는 물질일 수 있고, 제2 물질은 비스무트(Bi), 안티몬(Sb), 오스뮴(Os), 레늄(Re), 주석(Sn), 로듐(Rh), 인듐(In) 및 카드뮴(Cd) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0039] 어떤 이론에 얽매이고 싶지는 않지만, 제1 DBL(140a)은 (예를 들어, 제2 DBL(140b)의 증착 및 후-어닐링 동안) 제2 DBL(140b)로부터 자기 FL(128)로의 원자의 외부 확산을 억제하도록 동작할 수 있다.
- [0040] 이하 도 6의 자기 저항 터널 접합(MTJ) 메모리 소자(100d)를 참조하여, 도 3 내지 5의 산화물 캡핑층(130, 130')은 (i) 스칸듐 산화물(Sc-O), 스트론튬 산화물(Sr-O) 및 칼슘 산화물(Ca-O)로 이루어진 그룹에서 선택된 하나의 산화물을 포함하는 어닐링 안정성이 우수한 제1 산화물층(130a), 및 (ii) 마그네슘 산화물(Mg-O), 탄탈륨 산화물(Ta-O) 및 하프늄 산화물(Hf-O)로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 산화물을 포함하는 우수한 성능 지수(FOM; Figure Of Merit)를 위한 제2 산화물 층(130b)의 적층된 복합층을 포함하도록 수정될 수 있으며, 제1 산화층(130a)보다 두꺼울 수 있다.
- [0041] 마지막으로, 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명의 다른 실시 예에 따른 스핀 궤도 토크 자기 저항 랜덤 액세스 메모리(SOT-MRAM) 소자(100e)는: (i) 상부에 캡핑층(250)을 갖는 자기 기준층(224)(예를 들어, Ta-N, Ti-N과 같은 질화물), (ii) 자기 자유층(228), (iii) 자기 기준층(224)과 자기 자유층(228) 사이에서 연장되는 터널링 장벽층(226), 및 (iv) 자기 자유층(228) 상의 확산 차단층(240)을 포함한다. 자기 기준층(224)은 상부 기준층(224a), Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida(RKKY) 결합/스페이서 층(224b), 및 하부 기준층(224c)의 적층된 복합층을 포함하는 것으로 도시되어 있다. 메모리 요소(100e)의 일부 실시 예에서, 층 (i) 내지 (iv)는 도 3 내지 도 6의 메모리 요소(100a-100d)와 관련하여 위에서 설명된 바와 같이 구성될 수 있다.
- [0042] 도 7의 SOT-MRAM 소자(100e)는 확산 차단층(240)과 SOT 기입/판독 라인(300) 사이에서 연장되는 얇은 셉트 전류 감소 산화물(SRO)층(260)을 더 포함하고, 이는 상대적으로 높은 저항을 가지며 기록 및 판독 작업 중 도 1b의 SOT-MRAM(20b)의 스트랩층(18)과 동일한 기능을 수행할 수 있다. 유리하게는, SRO 층(260)은 얇고(계면 투명도를 개선하기 위해) SOT 기록/판독 라인(300)에 대해 상대적으로 높은 병렬 저항을 제공하므로, 측방향 셉트 전류(J_c)가 기입 동작 동안 상대적으로 낮은 저항 자유층(228)을 측방향으로 통과하는 것이 차단되도록 한다. 확산 방지 층(240)은 또한 얇은 SRO 층(260)의 어닐링 안정성을 향상시킨다.
- [0043] 이들 실시 예 중 일부에 따르면, SRO 층은 산화마그네슘(Mg-O), 산화칼슘(Ca-O), 산화스칸듐(Sc-O), 산화티타늄(Ti-O), 산화바나듐(V-O), 산화철(Fe-O), 산화니켈(Ni-O), 산화코발트(Co-O), 산화지르코늄(Zr-O), 산화니오븀(Nb-O), 산화탄탈륨(Ta-O), 산화텅스텐(W-O), 산화오스뮴(Os-O)으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 물질을 포함하고, 약 2Å 내지 약 10Å 범위의 두께를 갖는다.
- [0044] 도면 및 명세서에서, 본 발명의 전형적인 바람직한 실시 예가 개시되어 있고, 특정 용어가 사용되긴 하지만, 이들은 제한을 위한 것이 아니라 일반적인 의미로만 사용되는 것이며, 본 발명의 범위는 다음 청구범위에서 기재되는 바와 같다.

도면

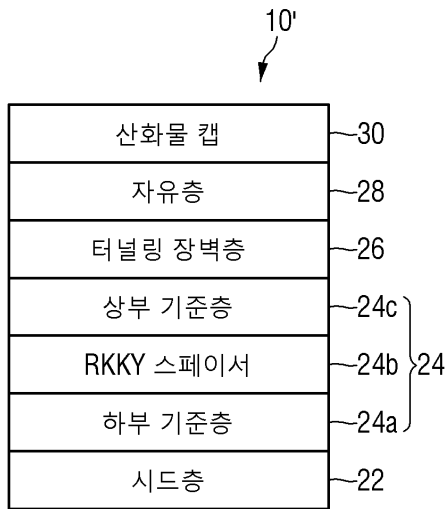
도면1a



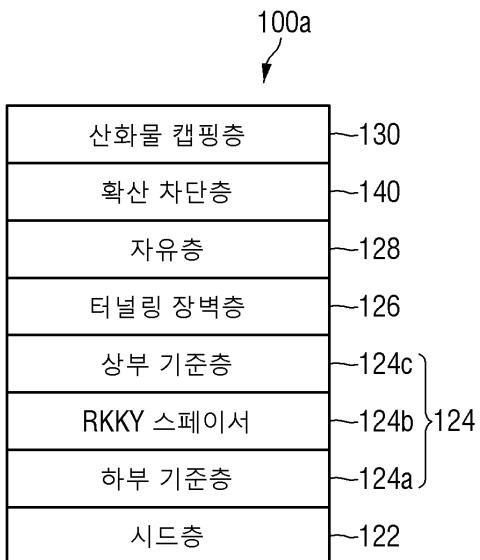
도면1b



도면2



도면3



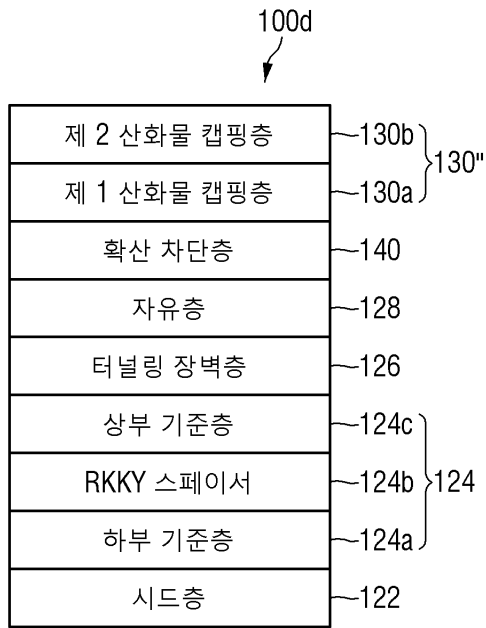
도면4



도면5



도면6



도면7

