



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0043696
(43) 공개일자 2018년04월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 43/02 (2006.01) G11C 11/16 (2006.01)

H01L 43/08 (2006.01) H01L 43/10 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 43/02 (2013.01)

G11C 11/161 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0136757

(22) 출원일자 2016년10월20일

심사청구일자 2016년10월20일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

이경진

서울특별시 노원구 중계로 195, 105동 305호

(74) 대리인

특허법인 누리

전체 청구항 수 : 총 42 항

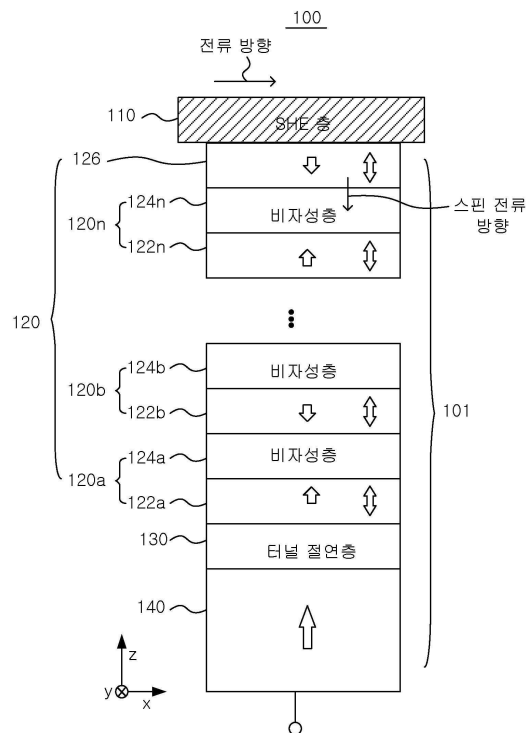
(54) 발명의 명칭 자기 터널 접합 소자 및 자기 메모리 소자

(57) 요약

본 발명은 자기 터널 접합 소자 및 자기 메모리 소자를 제공한다. 상기 자기 터널 접합 소자는 차례로 적층된 고정 자성체, 절연체, 및 자유 자성체를 구비하는 자기 터널 접합 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선을 포함한다. 상기 자기 터널 접합 소자는 상기 고정

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2a



자성체는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이고, 상기 자유 자성체는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이며, N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층 및 상기 보조 자유 자성층은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이며, 상기 메인 자유 자성층은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체를 구성하는 자성층들 중 서로 가장 가까운 두 자성층의 자화방향은 RKKY 교환 상호작용에 의해 서로 반대 방향이다.

(52) CPC특허분류

H01L 43/08 (2013.01)

H01L 43/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015M3D1A1070465

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 미래소재디스커버리 사업

연구과제명 설계기반 Spin-Orbitronic 소재 개발

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2015.12.04 ~ 2021.12.03

명세서

청구범위

청구항 1

고정 자성체, 자유 자성체, 및 상기 고정 자성체와 상기 자유 자성체 사이에 개재된 절연체를 구비하는 자기 터널 접합 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선을 포함하는 자기 터널 접합 소자에 있어서,

상기 고정 자성체는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이고,

상기 자유 자성체는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이며,

N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조임을 나타내며,

상기 자유 자성체 내에서 서로 이웃한 두 자성층들은 상기 자유 비자성층을 통한 RKKY (Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) 교환 상호작용에 의해 서로 반대방향의 자화를 갖으며,

상기 메인 자유 자성층 및 상기 보조 자유 자성층은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이며,

상기 메인 자유 자성층은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치된 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 절연체에 인접한 상기 보조 자유 자성층의 두께가 1nm 이상인 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 자유 자성체에 포함된 자성층들 중 상기 절연체에 인접한 상기 보조 자유 자성층을 제외한 모든 자성층들의 각각의 두께가 1nm 이하인 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 자유 자성체의 전체 두께는 2nm 이상인 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 보조 자유 자성층 및 상기 메인 자유 자성층 각각은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 보조 자유 자성층 및 상기 메인 자유 자성층 각각은 서로 다른 물질로 이루어지거나 서로 다른 두께로 이루어진 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 자유 자성체의 상기 자유 비자성층은 Ru, Ta, Cu, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 고정 자성체는 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 고정 자성체는 차례로 적층된 제1 고정 자성층, 고정 비자성층, 및 제2 고정 자성층으로 이루어진 반자성체 (Synthetic Antiferromagnet) 구조로서,

상기 제1 고정 자성층 및 제2 고정 자성층은 각각 독립적으로 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하고,

상기 고정 비자성층은 Ru, Ta, Cu 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 고정 자성체는 차례로 적층된 반강자성층, 제1 고정 자성층, 고정 비자성층, 및 제2 고정 자성층으로 이루어진 교환바이어스된 반자성체구조로서,

상기 반강자성층은 Ir, Pt, Mn 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어지고,

상기 제1 고정 자성층 및 제2 고정 자성층은 각각 독립적으로 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어지며,

상기 고정 비자성층은 Ru, Ta, Cu, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어진 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 절연체는 AlO_x , MgO , TaO_x , ZrO_x 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어지는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 면내 전류를 인가하는 도선은 Cu, Ta, Pt, W, Bi, Ir, Mn, Ti, Cr, O, 및 이들의 혼합물 중에서 선택되는 물질로 이루어지는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 면내 전류를 인가하는 도선은 반강자성층을 포함하고,

상기 도선은 상기 메인 자유 자성층에 면내 교환바이어스 자기장을 제공하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 자유 자성체의 외부로부터 발생하는 자기장이 상기 자유 자성체에 인가되는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 자유 자성체는 적어도 하나의 자구 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 면내 전류를 인가하는 도선은 차례로 적층된 반강자성층 및 강자성층을 포함하고,

상기 반강자성층은 상기 메인 자유층에 인접하여 배치되고,

상기 강자성층은 면내 자화 방향을 가지고,

상기 도선은 상기 메인 자유 자성층에 면내 교환바이어스 자기장을 제공하고,

상기 자유 자성체는 외부 자기장 없이 스위칭되는 것을 특징으로 하는 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 고정 자성체에 인접하여 차례로 적층된 쌍극자 필드 비자성층 및 면내 자화방향을 가진 쌍극자 필드 강자성층을 더 포함하고,

상기 쌍극자 필드 비자성층은 상기 고정 자성체에 인접하여 배치되는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

상기 자유 자성체는 외부 자기장 없이 스위칭되는 것을 특징으로 하는 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 도선과 상기 자유 자성체 사이에 배치된 보조 절연층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 19

제1항에 있어서,

상기 도선은 차례로 적층된 도선 비자성층 및 도선 강자성층을 포함하고,

상기 도선 강자성층은 면내 자화 방향 성분을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 20

제1항에 있어서,

상기 도선은 차례로 적층된 도선 강자성층 및 도선 비자성층을 포함하고,

상기 도선 강자성층과 상기 자유 자성체 사이에 배치된 비자성층을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 터널 접합 소자.

청구항 21

복수의 자기 터널 접합을 구비한 자기 메모리 소자에 있어서,

매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합; 및

상기 자기 터널 접합의 자유 자성체에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴을 포함하고,

상기 고정 자성체는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이고,

상기 자유 자성체는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이며,

상기 자유 자성체는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이며,

상기 자유 자성체 내에서 서로 이웃한 두 자성층들은 상기 자유 비자성층을 통한 RKKY (Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) 교환상호작용에 의해 서로 반대방향의 자화를 갖으며,

N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조인 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 메인 자유 자성층은 상기 도전 패턴과 인접하여 배치되고,

상기 제1 도전 패턴은 면내 전류로부터 상기 제1 도전 패턴의 배치 평면에 수직한 스핀 전류를 발생시키어 상기 자유 자성체의 자화 방향을 스위칭하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 23

제21 항에 있어서,

상기 절연체에 인접한 상기 보조 자유 자성층의 두께가 1nm 이상인 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자

청구항 24

제21 항에 있어서,

상기 자유 자성체에 포함된 자성층들 중 상기 절연체에 인접한 상기 보조 자유 자성층을 제외한 모든 자성층들의 각각의 두께가 1nm 이하인 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자

청구항 25

제21항에 있어서,

상기 자유 자성체의 전체 두께는 2nm 이상인 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 26

제21항에 있어서,

상기 보조 자유 자성층 및 상기 메인 자유 자성층 각각은 서로 다른 물질로 이루어지거나 서로 다른 두께로 이루어진 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 27

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 Cu, Ta, Pt, W, Bi, Ir, Mn, Ti, Cr, O, 및 이들의 혼합물 중에서 선택되는 물질로 이루어지는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 28

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 면내 전류를 인가하고, 반강자성층을 포함하고,

상기 제1 도전 패턴은 상기 메인 자유 자성층에 면내 교환바이어스 자기장을 제공하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 29

제21항에 있어서,

상기 자유 자성체는 적어도 하나의 자구 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 30

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 면내 전류를 인가하고, 차례로 적층된 반강자성층 및 강자성층을 포함하고,

상기 반강자성층은 상기 메인 자유층에 인접하여 배치되고,

상기 강자성층은 면내 자화 방향을 가지고,

상기 제1 도전 패턴은 상기 메인 자유 자성층에 면내 교환바이어스 자기장을 제공하고,

상기 자유 자성체는 외부 자기장 없이 스위칭되는 것을 특징으로 하는 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 31

제21항에 있어서,

상기 고정 자성체에 인접하여 차례로 적층된 쌍극자 필드 비자성층 및 면내 자화방향을 가진 쌍극자 필드 강자성층을 더 포함하고,

상기 비자성층은 상기 고정 자성체에 인접하여 배치되는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 32

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴과 상기 자유 자성체 사이에 배치된 보조 절연층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 33

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 차례로 적층된 제1 도전 패턴 비자성층 및 제1 도전 패턴 자성층을 포함하고,

상기 제1 도전 패턴 자성층은 면내 자화 방향 성분을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 34

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 차례로 적층된 제1 도전 패턴 자성층 및 제1 도전 패턴 비자성층을 포함하고,

상기 제1 도전 패턴 자성층과 상기 자유 자성체 사이에 배치된 비자성층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 35

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 나란히 진행하고,

제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 고정 자성체에 전기적으로 연결되고

상기 기판 평면에서 상기 제2 방향으로 연장되는 제2 도전 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 36

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 고정 자성체에 전기적으로 연결되고 상기 기판 평면에서 상기 1 방향으로 연장되는 제2 도전 패턴;

상기 제1 방향으로 배열된 상기 제1 도전 패턴들의 각각의 일단에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제3 도전 패턴; 및

상기 제2 방향으로 배열된 제1 도전 패턴들의 각각의 타단에 연결되고 상기 제2 방향으로 연장되는 제4 도전 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 37

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 연장되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 자기 터널 접합들의 고정 자성체 각각에 전기적으로 연결된 선택 트랜지스터들;

상기 제1 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들 각각의 소오스/드레인에 전기적으로 연결되고 상기 기판 평면에서 상기 1 방향으로 연장되는 제2 도전 패턴; 및

상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 상기 선택 트랜지스터들 각각의 게이트에 연결된 제3 도전 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 38

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 연장되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 자기 터널 접합들의 고정 자성체 각각에 전기적으로 연결된 선택 트랜지스터들;

상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들 각각의 소오스/드레인에 전기적으로 연결되고 상기 기판 평면에서 상기 2 방향으로 연장되는 제2 도전 패턴; 및

상기 제1 방향으로 배열된 상기 선택 트랜지스터들 각각의 게이트에 연결된 제3 도전 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 39

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합의 고정 자성체 각각에 전기적으로 연결되고 제1 방향으로 연장되는

제2 도전 패턴;

상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴의 각각의 일단에 연결되고 제1 방향으로 연장되는 제3 도전 패턴;

상기 제1 도전 패턴 각각의 타단에 연결되는 선택 트랜지스터들;

상기 제1 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제4 도전 패턴; 및

상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들의 게이트에 연결되고 상기 제2 방향으로 연장되는 제5 도전 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 40

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 자기 터널 접합들의 고정 자성체에 각각 연결되는 선택 트랜지스터들;

상기 제1 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들의 소오스/드레인에 각각 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제2 도전 패턴;

상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들의 게이트에 연결되고 상기 제2 방향으로 연장되는 제3 도전 패턴;

상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴 각각의 일단에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제4 도전 패턴; 및

상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴의 타단에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제5 도전 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 41

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 고정 자성체 각각에 전기적으로 연결되고 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 연장되는 제2 도전 패턴;

상기 제1 도전 패턴의 일단에 각각 연결된 제1 선택 트랜지스터;

상기 제1 도전 패턴의 타단에 각각 연결된 제2 선택 트랜지스터;

상기 제1 방향으로 배열된 상기 제1 선택 트랜지스터의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제3 도전 패턴;

상기 제1 방향으로 배열된 상기 제2 선택 트랜지스터의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제4 도전 패턴; 및

상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 제1 선택 트랜지스터의 게이트와 제2 선택 트랜지스터의 게이트를 서로 연결하여 상기 제2 방향으로 연장되는 제5 도전 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

청구항 42

제21항에 있어서,

상기 제1 도전 패턴은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고,

상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치되고,

상기 자기 터널 접합의 고정 자성체에 각각 연결되는 제1 선택 트랜지스터;

상기 제1 도전 패턴의 일단에 각각 연결되는 제2 선택 트랜지스터;

상기 제1 방향으로 배열된 제1 선택 트랜지스터의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장되는 제2 도전 패턴;

상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴의 타단을 각각 연결하고 상기 제1 방향으로 연장되는 제3 도전 패턴;

상기 제1 방향으로 배열된 제2 선택 트랜지스터의 소오스/드레인을 각각 연결하고 상기 제1 방향으로 연장되는 제4 도전 패턴;

상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 제1 선택 트랜지스터의 게이트를 각각 연결하고 상기 제2 방향으로 연장되는 제5 도전 패턴; 및

상기 제2 방향으로 배열된 제2 선택 트랜지스터의 게이트를 각각 연결하고 상기 제2 방향으로 연장되는 제6 도전 패턴;을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 메모리 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자기 메모리 소자, 자기 논리 소자, 및 자기 센서 등 다양한 용도로 사용될 수 있는 자기 터널 접합에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 도선에 면내 전류를 인가하여 스핀 홀 혹은 라쉬바 효과에 의한 스핀궤도 스핀토크를 발생시키는 스핀 궤도 토크 자기 터널 접합에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 강자성체는 외부에서 강한 자기장을 인가하지 않더라도 자발적으로 자화가 되어 있는 물질을 말한다. 두 강자성체 사이에 절연체를 삽입한 자기 터널 접합 구조(제1 자성체/절연체/제2 자성체)에서 두 자성체의 상대적인 자화 방향에 따라 전기 저항이 달라지는 터널 자기 저항 효과가 발생한다. 터널 자기 저항 효과는 자기 터널 접합 구조에서 업 스핀과 다운 스핀의 전자가 절연체를 터널링하여 흐르는 정도가 다르기 때문에 발생한다.

[0003] 한편, 뉴턴의 제3 법칙인 작용-반작용 법칙에 따라, 상대적 자화 방향이 전류의 흐름을 제어할 수 있다면, 그 반작용으로 전류를 인가하여 두 자성체의 상대적 자화 방향을 제어하는 것 역시 가능하다. 자기 터널 접합 구조에 막 면의 수직 방향으로 전류를 인가하면, 제1 자성체(고정 자성체)에 의해 스핀 분극된 전류가 제2 자성체(자유 자성체)를 통과하면서 자신의 스핀 각운동량을 전달하게 된다. 이러한 스핀 각운동량의 전달에 의해 자화가 느끼는 토크를 스핀전달토크(Spin-transfer torque)라고 한다. 스핀전달토크를 이용하여 자유 자성체의 자화를 반전시키거나 지속적으로 회전시키는 소자 혹은 자유 자성체의 자구벽을 이동시키는 소자의 제작이 가능하다.

[0004] 또한 자기 터널 접합은 자유 자성체에 인접한 도선 내에 흐르는 면내 전류에 의해 발생한 스핀궤도 스핀토크를 이용하여 자유 자성체의 자화 반전 혹은 자구 구조의 이동을 유도할 수 있다.

[0005] 스핀 궤도 스핀 토크를 이용한 자화 반전 소자는 US 8416618 B2에 개시되어 있다.

[0006] 도 1은 종래의 스핀궤도 스핀토크를 이용한 자기 터널 접합의 구조를 나타낸 단면도이다.

[0007] 도 1을 참조하면, 자기터널 접합 소자(10)는 면내 전류가 흐르는 스핀홀 물질층(11), 및 상기 스핀홀 물질층에 연결된 자기터널 접합을 구비한다. 상기 자기 터널 접합은 차례로 적층된 고정 자성층(14), 터널 절연층(13), 및 자유 자성층(12)을 포함한다. 상기 자유 자성층(12)은 상기 스핀홀 물질층으로부터 스핀 전류를 제공받아 자화반전을 수행한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 종래 스핀케도 스핀토크를 이용하여 자화방향을 반전하거나 조작하는 자기 터널 접합 구조에서 임계 전류 I_c 와 열적 안정성 계수 Δ 가 모두 자유 자성체의 두께 d 에 비례하는 문제로 인해 낮은 임계 전류와 높은 열적 안정성을 동시에 얻을 수 없다는 문제를 해결하기 위한 새로운 구조의 자유 자성체를 포함하는 자기 터널 접합을 제공하는 것이다.
- [0009] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 외부 자기장 없이 동작하는 스핀케도 스핀토크를 이용한 자기 터널 접합을 제공하는 것이다.
- [0010] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 스핀케도 스핀토크를 이용한 자기 메모리 소자를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자는 차례로 적층된 고정 자성체, 절연체, 및 자유 자성체를 구비하는 자기 터널 접합 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선을 포함한다. 상기 자기 터널 접합 소자는 상기 고정 자성체는 고정 자화 방향을 갖고, 막면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이고, 상기 자유 자성체는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이며, N 은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N 번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층 및 상기 보조 자유 자성층은 자화 방향이 변하고, 막면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이며, 상기 메인 자유 자성층은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치된다.

발명의 효과

- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자는 전류가 자유 자성체에 인접한 도선을 따라 면내 방향으로 흐를 때 스핀 홀 혹은 라쉬바 효과에 의해 발생한 스핀 전류가 자유 자성체의 표면에서 다 흡수되는 것이 아니라 자유 자성체의 두께 전체에서 상대적으로 균일하게 흡수되는 특성을 이용하여, 스핀케도 스핀토크의 효율이 자유 자성체의 두께에 반비례하지 않고 상대적으로 무관한 특성을 제공할 수 있다. 따라서 [자성층/비자성층]_N/자성층 구조의 N 을 증가시켜 자유 자성체 전체의 두께를 증가시키면, 열적 안정성이 증가하는 반면, 임계 전류 I_c 가 자유 자성체의 전체 두께 d 와 상대적으로 무관하게 된다. 그 결과 매우 작은 크기의 단면적을 갖는 자기 터널 접합을 이용하더라도 비휘발성의 확보 (예를 들어 $\Delta > 50$)가 가능하며 동시에 낮은 임계전류를 통해 소자를 구동할 수 있다. 따라서 저전력에서 구동되는 초고집적 비휘발성 소자가 가능해지는 자기 터널 접합 구조이다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 종래의 스핀케도 스핀토크를 이용한 자기 터널 접합의 구조를 나타낸 단면도이다.
- 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합 및 자유 자성층의 자화 방향을 설명하는 개념도들이다.
- 도 3은 종래의 자기 터널 접합과 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합의 스핀 전류의 x 방향 성분(s_x)을 나타내는 도면이다.
- 도 4는 도 3의 스핀 x 방향 성분의 두께 평균 값을 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 기존 자기 터널 접합과 본 발명에 따른 자기 터널 접합에서 자유 자성체의 두께 d 에 따른 자화 반전을 위한 임계 전류 I_c 의 변화를 보여준다.
- 도 6은 본 발명에 따른 자기 터널 접합에서 자유 자성체의 두께 d 에 따른 열적 안정성 계수 Δ 의 변화를 보여준다.
- 도 7 내지 도 14는 본 발명의 일 실시예들에 따른 자기터널 접합 소자를 설명하는 도면들이다.
- 도 15 내지 도 22는 본 발명의 또 다른 실시예들에 따른 자기 메모리 소자의 구동 방법 및 배열을 설명하는 도면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 도선에 면내 전류를 인가하여 스핀 홀 혹은 라쉬바 효과에 의한 막 면에 수직방향으로 자화된 자유 자성체에 인접한 도선에 면내 전류를 인가하여 스핀 홀 혹은 라쉬바 효과에 의한 스핀궤도 스핀토크를 발생시킨다. 이 스핀궤도 스핀토크가 자기 터널 접합에서 자유 자성체의 자화를 반전시키거나 자구벽 (magnetic domain wall) 등의 자구를 이동시킨다. 자유 자성체가 [자성층/비자성층]_N/자성층 구조이다. 이때 N은 [자성층/비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조임을 나타내며, 전체 자유 자성체 구조 내에서 서로 가까운 임의의 두 자성층 들은 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) 교환 상호작용에 의해 서로 반대방향의 자화를 갖는다. [자성층/비자성층]_N/자성층 구조의 한 쪽 끝에 위치한 자성층은 스핀전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치되고, 다른 쪽 끝에 위치한 자성층은 절연체와 인접해 배치된다.

[0015] 본 발명에 따른 자기 터널 접합은 자유 자성체에 인접한 도선 내에 흐르는 전류에 의해 발생한 스핀궤도 스핀토크를 이용하여 자유 자성체의 자화 반전 혹은 자구 구조의 이동을 유도한다. 도선에 면내 방향으로 흐르는 전하 전류는 도선의 스핀궤도 결합에 의해 스핀 전류로 전환된다. 이 스핀 전류가 도선에 인접한 자유 자성체에 스핀궤도 스핀토크를 인가한다. 그 결과, 스핀궤도 스핀토크는 자유 자성체의 자화를 반전시키거나 지속적으로 회전시키는 소자 혹은 자유 자성체의 자구 구조를 이동시키는 소자를 제공할 수 있다.

[0016] 수직 자기이방성을 갖는 자유 자성체에 대해, 도선에 흐르는 면내 전류에 의해 발생하는 스핀궤도 스핀토크에 의한 자유 자성체의 자화 반전을 위해 필요한 임계전류 I_c는 다음 [수학식 1]과 같다 [K.-S. Lee, S.-W. Lee, B.-C. Min, K.-J. Lee, Applied Physics Letters 102, 112410 (2013)].

[0017] [수학식 1]

$$I_c = \frac{2e}{\hbar} \frac{M_S d A}{\theta_{SH}} \left(\frac{H_{K,eff}}{2} - \frac{H_x}{\sqrt{2}} \right)$$

[0018]

[0019] 상기 [수학식 1]에서, $\hbar (=1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})$ 는 Planck 상수를 2π 로 나눈 값이고, $e (=1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$ 는 전자의 전하량, θ_{SH} 는 도선 물질 및 자유 자성체에 의해 결정되는 유효 스핀 홀 각도이며, M_S 는 자성체의 포화자화양, d 는 자유 자성체의 두께, A 는 면내 전류가 흐르는 면적, $H_{K,eff}$ 는 자유 자성체의 수직방향 자기이방성 자계, H_x 는 자유 자성체에 인가된 면내 방향 (전류의 흐름과 동일 선상)의 자기장이다.

[0020] 한편, 고집적 소자를 위해 메모리 단위 셀의 크기를 줄이면, 상온에서의 열에너지에 의해 기록된 자화방향이 임의적으로 바뀌는 초상자성 한계(super-paramagnetic limit)가 발생한다. 초상자성 한계는 기록된 자기정보가 원하지 않게 지워지는 문제를 야기한다. 열에너지에 저항하여 평균적으로 자화방향이 유지되는 시간(τ)은 하기 [수학식 2]와 같다.

[0021] [수학식 2]

$$\tau = \tau_0 \exp \left(\frac{K_{eff} V}{k_B T} \right) = \tau_0 \exp \left(\frac{H_{K,eff} M_S d A_F}{2 k_B T} \right)$$

[0022]

[0023] 상기 [수학식 2]에서, τ_0 는 시도 주파수의 역수로 1 ns 정도이며, K_{eff} 는 유효 수직 자기이방성 에너지 밀도 ($K_{eff} = H_{K,eff} M_S / 2$), V 는 자유 자성체의 부피, A_F 는 자유 자성체의 단면적, k_B 는 볼츠만 상수($=1.381 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$), T 는 켈빈 온도이다. 여기서, $K_{eff} V / k_B T$ 는 자기 메모리 소자의 열적 안정성 계수(Δ)로 정의된다. 비휘발성 메모리로서의 상용화를 위해서는 일반적으로 상온에서 열적 안정성 계수 $\Delta > 50$ 의 조건이 만족되어야 한다.

[0024] 상기 [수학식 1]과 [수학식 2]로부터 스핀궤도 스핀토크를 이용하는 자기 터널 접합의 임계 전류 I_c 와 열적 안정성 계수 Δ 가 모두 자유 자성체의 두께 d 가 커짐에 따라 증가함을 알 수 있다. 즉, 높은 열적 안정성을 확보하기 위해 자유 자성체를 두껍게 만들면, 자화 반전에 필요한 전류가 더 많이 필요하다. 그 결과, 소자 구동을 위한 전력 소모가 커진다는 문제가 있다. 이와 같이 종래의 자기 터널 접합 및 자기 메모리 소자는 임계 전류 I_c

와 열적 안정성 계수 Δ 가 모두 자유 자성체의 두께 d 에 비례하는 문제점을 가진다. 따라서, 임계전류 I_c 를 감소시킨 저전력 구동과 자유 자성체의 두께 d 를 증가시켜 열적 안정성 향상을 동시에 만족시키는 소자의 구현이 어렵게 된다.

[0025] 본 발명의 목적은 종래 스핀궤도 스핀토크를 이용하여 자화방향을 반전하거나 조작하는 자기 터널 접합 구조에서 임계 전류 I_c 와 열적 안정성 계수 Δ 가 모두 자유 자성체의 두께 d 에 비례하는 문제로 인해 낮은 임계 전류와 높은 열적 안정성을 동시에 얻을 수 없다는 문제를 해결하기 위한 새로운 구조의 자유 자성체를 포함하는 자기 터널 접합을 제공하는 것이다.

[0026] 종래의 자기 터널 접합 구조에서 임계 전류 I_c 가 자유 자성체의 두께 d 에 비례하는 이유는, 스핀궤도 스핀토크를 발생시키는 스핀전류가 모두 자유 자성체의 표면에서 흡수되기 때문이다. 이러한 스핀토크의 특성을 "surface-torque 특성"이라 부른다. 표면 토크(Surface-torque) 특성은 자유 자성체 내에서 양자역학적인 스핀의 공간적 세차운동에 의해 설명될 수 있다 [M. D. Stiles and A. Zangwill, Physical Review B 66, 014407 (2002)]. 자유 자성체에 인접한 도선에 흐르는 면내 전류는 스핀 홀 혹은 라쉬바 효과에 의해 수직 방향으로 흐르는 스핀 전류를 만든다. 이 스핀 전류는 자유 자성체에 입사한다. 자성체는 업 스핀과 다운 스핀의 페르미 파 벡터 (Fermi wave vector)가 다르기 때문에, 자유 자성체의 자기 모멘트 방향과 다른 방향을 갖는 스핀이 자유 자성체에 입사하면, 이 스핀은 자기 모멘트 주위를 빠르게 세차 운동하면서 공간적으로 진행한다. 이때 스핀 세차운동의 공간적 파장 (spatial wavelength)은 입사하는 전자의 방향에 따라 달라진다. 고체 내에서 특정 방향으로 전류가 흐르는 경우에도, 전류를 구성하고 있는 각 전자의 방향은 전자 밴드의 페르미 표면 상 모든 방향을 갖는다. 다른 방향으로 이동하는 스핀들은 각각 서로 다른 파장을 갖고 세차운동을 하기 때문에 공간적으로 매우 빠른 스핀 위상차 (dephasing)가 발생한다. 이를 모두 고려하면, 자기 모멘트와 다른 방향을 갖는 스핀 성분은 자유 자성체의 표면으로부터 일정한 거리 내에서만 존재한다. 이 거리 이상에서는 자기 모멘트 방향과 동일하게 된다. 이 거리를 강자성 결맞음 길이 (ferromagnetic coherence length) λ_c 라고 하며 다음과 같이 주어진다 [A. A. Kovalev, G. E. W. Bauer, A. Brataas, Physical Review B 73, 054407 (2006)].

[0027] [수학식 3]

$$\lambda_c = \frac{\pi}{|k_F^{\uparrow} - k_F^{\downarrow}|}$$

[0028]

[0029] 여기서, $k_F^{\uparrow}$ 는 자유 자성체의 업 스핀 페르미 파 벡터의 크기이고, $k_F^{\downarrow}$ 는 자유 자성체의 다운 스핀 페르미 파 벡터의 크기이다.

[0030] $|k_F^{\uparrow} - k_F^{\downarrow}|$ 는 자유 자성체의 교환 상호작용의 크기 (= 업 스핀과 다운 스핀의 에너지 차이)가 클수록 크다. 코발트, 철 등 강자성 금속의 경우 λ_c 는 1nm 이하로 매우 짧다 [X. Waintal, E. B. Myers, P. W. Brouwer, D. C. Ralph, Physical Review B 62, 12317 (2000)]. 자유 자성체의 자기 모멘트 방향을 $\vec{m}$, 자유 자성체 내의 스핀 전류의 스핀 방향을 $\vec{s}$ 라고 할 때, 스핀토크는 $\vec{m} \times \vec{s}$ 에 비례한다. 이때 $\vec{s}$ 는 $\vec{m} \times \hat{y}$ 성분과 $\hat{y}$ 성분으로 구성되며, 이중 $\vec{m} \times \hat{y}$ 성분이 자화 반전을 결정한다. 즉, 스핀토크 성분 중 $\vec{m} \times (\vec{m} \times \hat{y})$ 성분이 자화 반전을 결정한다. 위에 설명한 이유로 인해, 강자성체에서 스핀 전류의 스핀 방향 $\vec{s}$ 는 자유 자성체의 표면으로부터 λ_c 이내의 거리에서만 $\vec{m}$ 과 다른 방향을 가지므로, 강자성 금속으로 구성된 자유 자성체에서 스핀궤도 스핀토크는 자유 자성체의 표면에서만 0이 아닌 값을 갖게 되고 따라서 표면에만 걸리는 표면 토크(surface torque)이다. 이러한 표면 토크 특성으로 인해 자유 자성체의 두께 d 를 늘리더라도 스핀궤도 스핀토크의 크기는 변하지 않는다. 대신에 스핀토크에 의해 자화방향이 움직여야 하는 자성체의 부피가 커지게 되므로, 임계 전류 I_c 가 자유 자성체의 두께 d 에 비례하게 된다.

[0031] 이와 같이 임계 전류 I_c 가 자유 자성체의 두께 d 에 비례하는 문제를 해결하기 위해, 자유 자성체가 복수의 자성층으로 구성되어 있고, 각 자성층의 자기 모멘트가 전류가 흐르는 방향을 따라 반복적으로 반전되는 구조를 제안한다. 보다 구체적으로, 제안하는 자유 자성체는 [자성층/비자성층]이 반복된 구조를 포함하며, 비자성층을

통한 RKKY 교환 상호작용에 의해 가장 가까운 두 자성층의 자화 방향이 서로 반대 방향을 갖는다. 이와 같이 서로 반대 방향의 자화가 반복적으로 배열된 구조로 인해, 자유 자성체 내에서 업 스핀과 다운 스핀의 효과적 (effective) 에너지 차이가 줄어든다. 효과적 에너지 차이의 감소는 자유 자성체 전체의 효과적 $|k_F^{\uparrow} - k_F^{\downarrow}|$ 가 줄어드는 결과를 만든다. 강자성 결맞음 길이 λ_c 가 $1/|k_F^{\uparrow} - k_F^{\downarrow}|$ 에 비례하므로, 이와 같이 서로 반대방향의 자화가 반복적으로 배열된 구조에서의 강자성 결맞음 길이 λ_c 는, 모두 한 방향의 자화를 갖는 기존 자유 자성체의 강자성 결맞음 길이 λ_c 에 비해, 훨씬 길어지게 된다. 그 결과 표면 토크특성이 사라지고 벌크 토크(bulk-torque) 특성이 발현된다. 이러한 벌크(bulk-torque) 특성으로 인해 자유 자성체의 두께 d를 늘리면, 스핀레도 스핀토크의 크기가 비슷한 비율로 증가한다. 따라서, 임계 전류 I_c 가 자유 자성체의 두께 d가 증가하더라도 그 증가폭이 크지 않거나 이상적인 경우에는 임계 전류 I_c 가 d와 무관하게 된다.

[0032] 제안한 새로운 자유 자성체 구조에서 벌크-토크(bulk-torque) 특성이 실제로 발현되는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인되었다.

[0033] 본 발명에 따른 자기 터널 접합은 전류가 자유 자성체에 인접한 도선을 따라 면내 방향으로 흐를 때 스핀 홀 혹은 라쉬바 효과에 의해 발생한 스핀 전류가 자유 자성체의 표면에서 다 흡수되는 것이 아니라 자유 자성체의 두께 전체에서 상대적으로 균일하게 흡수되는 특성을 이용한다. 이에 따라, 스핀레도 스핀토크의 효율은 자유 자성체의 두께에 반비례하지 않고 상대적으로 두께에 무관한 특성을 갖는다. 이를 위해 자유 자성체는 [자성층/비자성층]_N/자성층 구조로 구성된다. [자성층/비자성층] 단위 구조의 반복횟수를 나타내는 N을 증가시켜 자유 자성체 전체의 두께를 증가시키면, 전체 자기 부피가 증가하여 열적 안정성이 증가한다. 따라서 높은 열적 안정성과 낮은 임계 전류를 동시에 확보할 수 있다. 그 결과 매우 작은 크기의 단면적을 갖는 자기 터널 접합을 이용하더라도, 자유 자성체 전체의 두께를 증가시켜 비휘발성의 확보 (예를 들어 열적 안정성 계수 $\Delta > 50$)가 가능하며, 동시에 두께 전체에 대해 균일하게 스핀 토크가 흡수되는 특성을 이용하여 낮은 임계전류를 확보할 수 있다. 따라서 저전력 구동과 높은 열적 안정성을 구비한 초고집적 비휘발성 소자가 가능하다.

[0034] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다. 이하, 바람직한 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 그러나 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 실험 조건, 물질 종류 등에 의하여 본 발명이 제한되거나 한정되지는 않는다는 것은 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다. 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되어지는 것이다. 도면들에 있어서, 구성요소는 명확성을 기하기 위하여 과장되어진 것이다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0035] 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합 및 자유 자성층의 자화 방향을 설명하는 개념도들이다.

[0036] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 자기 터널 접합 소자(100)는 고정 자성체(140), 자유 자성체(120), 및 상기 고정 자성체(140)와 상기 자유 자성체(120) 사이에 개재된 절연체(130)를 구비하는 자기 터널 접합(101) 및 상기 자기 터널 접합(101)의 상기 자유 자성체(120)에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선(110)을 포함한다.

[0037] 상기 자유 자성체(120)의 외부로부터 발생하는 자기장이 자유 자성체에 인가되거나 상기 외부 자기장을 대체할 수 있도록 자기터널 접합 소자의 구조가 변경될 수 있다.

[0038] 상기 고정 자성체(140)는 고정된 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)]_N/메인 자유 자성층(126) 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)] 구조(120a~120n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(126)은 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선(110)과 인접하여 배치된다.

[0039] 상기 도선(110)은 면내 방향으로 흐른 면내 전류에 의하여 스핀 홀(spin Hall) 혹은 라쉬바(Rashiba) 효과에 의

해 스핀케도 스핀토크(spin orbit spin torque)를 발현한다. 스핀케도 스핀토크는 자유 자성층(120)의 자화를 반전시키거나 자구 구조를 이동시킨다. 상기 도선(110)은 단층 구조 또는 다른 물질로 형성된 복층 구조일 수 있다. 상기 도선(110)은 스핀홀 효과 또는 라쉬바 효과를 발생시키는 중금속 물질일 수 있다. 상기 도선(110)은 Cu, Ta, Pt, W, Bi, Ir, Mn, Ti, Cr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나의 물질을 포함할 수 있다. 상기 도선(110)은 β -Ta, Pt, β -W, Pd, 또는 Cr 같은 중금속일 수 있다. 상기 도선(110)은 산소와 같은 불순물로 도핑될 수 있다.

[0040] 자기 터널 접합(101)은 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 포함할 수 있다. 상기 자기 터널 접합(101)은 자유 자성체를 포함하는 한 다양하게 변형될 수 있다. 상기 자기 터널 접합 소자(100)는 전체적으로 뒤집힐 수 있다.

[0041] 상기 절연체(110)는 터널 절연층을 포함할 수 있다. 상기 절연체(110)는 AlO_x , MgO, TaO_x , ZrO_x 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어지는 박막일 수 있다.

[0042] 상기 고정 자성체(140)는 강자성 물질을 포함하고, 상기 고정 자성체(140)는 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 고정 자성체(140)는 Co, CoFe, CoFeB, CoNi, 또는 NiFe일 수 있다.

[0043] 상기 고정 자성체(140)는 차례로 적층된 제1 고정 자성층, 고정 비자성층, 및 제2 고정 자성층으로 이루어진 반자성체 (Synthetic Antiferromagnet) 구조일 수 있다. 상기 제1 고정 자성층 및 제2 고정 자성층은 각각 독립적으로 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하고, 상기 고정 비자성층은 Ru, Ta, Cu 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0044] 상기 고정 자성체(140)는 차례로 적층된 반강자성층, 제1 고정 자성층, 고정 비자성층, 및 제2 고정 자성층으로 이루어진 교환바이어스된 반자성체구조일 수 있다. 상기 반강자성층은 Ir, Pt, Mn 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어질 수 있다. 상기 제1 고정 자성층 및 제2 고정 자성층 각각은 강자성체 물질을 포함하고, 각각 독립적으로 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어질 수 있다. 상기 고정 비자성층은 Ru, Ta, Cu, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어질 수 있다.

[0045] 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a)/자유 비자성층(124a)]으로 구성된 단위 구조(120a)가 N회 반복된 구조를 포함하며, 가장 가까운 두 보조 자유 자성층들 (예를 들어, 122a, 122b)은 자유 비자성층(124a)을 통한 RKKY(Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) 교환 상호작용에 의해 서로 반대 방향의 자기 모멘트(또는 자화)를 갖는다. 동일한 이유에 의해, 상기 메인 자유 자성층(126)의 자화 방향은 가장 인접한 보조 자유 자성층(122n)의 자화 방향과 반대 방향을 가진다.

[0046] 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 모두 수직 자기 이방성을 가지고 면에 수직인 자화 방향을 가지며, 서로 이웃한 보조 자성층은 서로 반대 방향의 자화 방향을 가진다. 또한, 상기 메인 자유 자성층(126)과 상기 메인 자유 자성층에 가장 인접한 보조 자유 자성층(122n)은 서로 다른 자화 방향을 가진다. 상기 보조 자유 자성층(122a~122n) 및 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 스핀 전류에 의하여 동시에 자화반전될 수 있다.

[0047] 상기 자유 자성체(120)가 2회 이상 반복하여 적층되는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~122n)]을 가질 수 있다.

[0048] 상기 보조 자유 자성층(122a~122n) 및 상기 메인 자유 자성층(126) 각각은 서로 다른 물질로 이루어지거나 서로 다른 두께로 이루어질 수 있다. 예를 들어 상기 터널 절연층(130)에 인접한 상기 보조 자유 자성층(122a)는 상기 자기 터널 접합(101)의 터널 자기 저항을 결정한다. 터널 자기 저항은 상기 자기 터널 접합(101)을 포함하는 자기 소자의 재생신호의 크기를 결정하므로, 클수록 소자 구동에 유리하다. 따라서 높은 터널 자기 저항을 갖기 위해 상기 보조 자유 자성층(122a)의 물질 및 두께는 다른 보조 자유 자성층(122b~122n, 126)과 다를 수 있다. 또한 상기 도선(110)에 인접한 상기 메인 자유 자성층(126)은 계면 효과에 의해 상기 자유 자성체(120)에 입사하는 스핀전류의 크기에 영향을 줄 수 있다. 따라서 큰 스핀토크를 확보하기 위해 상기 메인 자유 자성층(126)의 물질 및 두께는 다른 보조 자유 자성층(122a~122n)과 다를 수 있다. 또한 서로 가장 가까운 두 자성층 (예를 들어 122a와 122b, 혹은 122c와 122d, 혹은 122n과 126)의 물질 혹은 두께를 다르게 하여 자화 반전 혹은 자구 구동 효율을 증가시킬 수 있다.

[0049] 구체적으로, 상기 터널 절연층(130)에 인접한 상기 보조 자유 자성층(122a)은 CoFeB를 포함하고, 이외의 자유

자성체(120) 내의 다른 자성층들은 CoFe, Co 등으로 구성될 수 있다. 또는, 상기 터널 절연층(130)에 인접한 상기 보조 자유 자성층(122a)의 두께는 높은 터널 자기 저항 확보를 위해 1nm 보다 클 수 있다. 또는, 상기 보조 자유 자성층(122a) 이외의 자유 자성체(120) 내의 다른 자성층들은 벌크 토크(bulk-torque) 특성을 발현하기 위해 강자성 결맞음 길이 λ_c 보다 작은 1nm 이하일 수 있다.

[0050] 상기 도선(110) 내에 x축 방향으로 흐르는 면내 전하 전류를 구성하는 업 스핀과 다운 스핀의 전자는 스핀궤도 상호작용에 의해 각기 다른 방향으로 편향된다(예를 들어, y축 방향). 상기 면내 전하 전류 방향에 수직인 모든 방향으로 스핀 전류가 발생한다. 이때 각 방향으로 발생한 스핀전류는 그 방향에 수직으로 편향된 스핀 성분을 갖는다.

[0051] 상기 도선(110) 내의 면내 전류가 x 방향으로 흐르는 경우, 발생한 스핀전류 중 -z 방향 성분(자유 자성체에 입사하는 스핀 전류)은 상기 도선(110) 및 이에 인접한 메인 자유 자성층(126)의 물질의 종류에 따라 y 방향 또는 -y 방향의 스핀 성분 $\vec{s}$ 을 가지며 상기 자유 자성체(120)로 흘러 들어간다. 이렇게 흘러 들어간 스핀 전류에 의해 자유 자성체는 스핀궤도 스핀토크를 받게 된다.

[0052] 상기 자유 자성체(120)에 입사한 스핀 전류가 만드는 스핀궤도 스핀토크의 방향은 $\vec{m} \times \vec{s}$ 이다. 여기서 $\vec{m}$ 은 자유 자성체의 자화 방향이고, $\vec{s}$ 는 $\vec{m} \times \hat{y}$ 성분과 $\hat{y}$ 성분으로 구성되며, 이중 $\vec{m} \times \hat{y}$ 성분이 자화 반전을 결정한다. $\vec{m}$ 은 수직 자기 이방성을 가지고 있어 z축 방향이므로 $\vec{m} \times \hat{y}$ 성분은 x축 방향이다. 따라서 $\vec{s}$ 중 x축 방향 성분이 상기 자유 자성층의 자화를 반전시키거나 자구 구조를 이동시킬 수 있다. 상기 면내 전류의 방향에 따라 상기 스핀 성분 $\vec{s}$ 의 방향이 변경되어, 상기 자유 자성층의 자화는 반전될 수 있다.

[0053] 도 3은 종래의 자기 터널 접합과 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합의 스핀 전류의 x 방향 성분(s_x)을 나타내는 도면이다.

[0054] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합(101)은 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a)/자유 비자성층(124a)]으로 구성된 단위 구조(120a)가 N회 반복된 구조를 포함한다.

[0055] 도 3은 본 발명의 자기 터널 접합에 대해 비평형 그린 함수 방법 (NEGF: Non-Equilibrium Green Function technique)에 기반하여 양자역학적으로 계산된 스핀 전류의 x 방향 성분(s_x)을 자유 자성체의 두께 방향 축(z)에 대해 도시하고 있다. 이때 s_x 는 특정 z에서 계산된 국부적 값이며, 자유 자성체(120)과 도선(110)의 계면은 $z = 0$ 에 위치한다.

[0056] 도 1을 참조하면, 기존 자기 터널 접합(10)의 경우, 강자성 결맞음 길이 λ_c 가 매우 짧기 때문에 스핀 성분(s_x)이 자유 자성체의 표면 ($z = 0$)으로부터 1nm 보다 짧은 구간 내에서 거의 0이 된다. 이는 기존 자기 터널 접합(100)에서 스핀궤도 스핀토크가 표면 토크임을 보여준다.

[0057] 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)의 경우, 스핀궤도 스핀토크를 결정하는 스핀 성분(s_x)이 자유 자성체의 표면 ($z = 0$)에서 훨씬 먼 거리까지 0이 아닌 상태를 유지함을 알 수 있다. 이는 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)에서 스핀궤도 스핀토크가 벌크 토크임을 보여준다.

[0058] 도 4는 도 3의 스핀 성분의 자유 자성체 두께 평균 값을 각 두께에 따라 나타내는 그래프이다.

[0059] 도 4를 참조하면, 도 3에 도시된 국부적 스핀 성분 s_x 를 서로 다른 두께를 갖는 자유 자성체의 전체 두께에 대해 평균낸 값($= \langle s_x \rangle$)을 도시하고 있다. 이때 $\langle s_x \rangle$ 는 다음과 같이 정의된다.

[0060] [수학식 4]

$$\langle s_x \rangle = \frac{1}{d} \int_{z=0}^{z=d} s_x dz$$

[0061]

[0062] 여기서 $\langle s_x \rangle$ 는 d의 두께를 갖는 자유 자성체가 실제로 느끼는 전체 스핀궤도 스핀토크와 비례한다.

[0063] 도 1을 참조하면, 기존 자기 터널 접합(10)의 경우, 강자성 결맞음 길이 λ_c 가 매우 짧기 때문에 $\langle s_x \rangle$ 가 $1/d$ 의 의존성을 갖는다. 즉, 자유 자성체의 두께 d 가 증가하면 스핀토크 효율이 $1/d$ 로 줄어든다.

[0064] 도 2a와 2b를 참조하면, 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)의 경우, $\langle s_x \rangle$ 의 d 에 대한 의존성이 거의 없으며, 이는 자유 자성체의 두께 d 가 증가하더라도 스핀토크 효율이 유지됨을 보여준다.

[0065] 이하, 비평형 그린 함수 방법에 기반하여 양자역학적인 모델링이 설명된다.

[0066] 본 발명에 따른 자기 터널 접합에서의 스핀궤도 스핀토크의 특성을 비평형 그린 함수 방법 (NEGF: Non-Equilibrium Green Function technique) [S. Datta, Superlattice and Microstructures 28, 4 (2000); S. Datta, Quantum transport: atom to transistor. Cambridge University Press (2005)]에 기반하여 양자역학적인 모델링을 통해서 확인하였다. 기존 자기 터널 접합 구조 [스핀 분극층(SP)/비자성체(NM)/자유 자성체(자성층(FM))]와 본 발명에 따른 자기 터널 접합 구조 [스핀 분극층(SP)/비자성체(NM)/자유 자성체([자성층(FM)/비자성층(NM)])의 반복 구조]에 대해 사용된 Tight-Binding 해밀토니안 H 는 [수학식 5 내지 7]와 같다.

[0067] [수학식 5]

[0068]
$$H_{SP} = -t \sum_{\langle i,j \rangle} a_i^\dagger a_j - \Delta_{SP} \sum_i a_i^\dagger (\vec{\sigma} \cdot \vec{m}_i) a_i$$

[0069] [수학식 6]

[0070]
$$H_{NM} = -t \sum_{\langle i,j \rangle} a_i^\dagger a_j$$

[0071] [수학식 7]

[0072]
$$H_{FM} = -t \sum_{\langle i,j \rangle} a_i^\dagger a_j - \Delta_{FM} \sum_i a_i^\dagger (\vec{\sigma} \cdot \vec{m}_i) a_i$$

[0073] 여기서 H_{SP} , H_{NM} , H_{FM} 은 각 층의 해밀토니안이며, t 는 홉핑 상수(hopping constant)이며, i 와 j 는 site index이며, $a^\dagger$ 는 생성 연산자이며, a 는 소멸 연산자이며, Δ_{SP} 은 스핀 분극층의 교환 상호작용에너지이며, Δ_{FM} 은 자유 자성체를 구성하는 자성층의 교환 상호작용에너지이며, $\vec{\sigma}$ 는 파울리 스핀 행렬 (Pauli spin matrix)이며, $\vec{m}$ 은 자화 방향의 단위 벡터이다. 이때 Δ_i 는 i 층의 JS이며, J 는 자화의 각운동량 $\vec{S}$ 와 전류에 의한 비평형 스핀 밀도 $\vec{s}$ 간 교환 상호작용의 크기이며, S 는 $|\vec{S}|$ 이다.

[0074] 모델링에서는 표면 그린 함수 (surface Green function) [T. Ozaki, K. Nishio, H. Kino, Physical Review B 81, 035116 (2010)]를 자체 에너지 행렬 $A_{L,R}$ 에 적용하여 각각 한쪽으로 무한한 스핀 분극층과 자유 자성체를 고려하였다. 상기 기술한 해밀토니안과 자체 에너지 행렬로부터, 스핀 밀도는 [수학식 8 내지 10]에 의해 주어진다.

[0075] [수학식 8]

[0076]
$$G(E) = [EI - (H + A_L + A_R)]^{-1}$$

[0077] [수학식 9]

[0078]
$$\rho = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G^n(E) dE$$

[0079] [수학식 10]

$$\vec{s} = \frac{\hbar}{2} \text{Tr}[\vec{\sigma} \cdot \vec{\delta\rho}]$$

[0081] 여기서 G 는 그린 함수이며, E 는 에너지이며, I 는 단위 행렬이며, G^n 은 correlation 함수이며, ρ 는 전자밀도이며, $\vec{\delta\rho}$ 는 전압 인가에 따른 비평형 전자 밀도이다.

[0082] 도선의 스핀 홀 혹은 라쉬바 효과에 따른 스핀 전류가 y 방향의 스핀을 갖는 것을 모사하기 위해, 스핀 분극층의 자화를 y 방향으로 설정했다. 기존 자기 터널 접합(10)의 경우 자유 자성체의 모든 사이트(site)에서의 자화 방향을 $+z$ 방향으로 설정하였다. 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합(100)의 경우, 자유 자성체를 구성하는 자성층 중 홀수 번째 자성층의 자화는 $+z$ 방향으로 설정하였고, 짝수 번째 자성층의 자화는 $-z$ 방향으로 설정하였다.

[0083] 실험예 1. 본 발명에 따른 자기 터널 접합의 자유 자성체에서 x 성분 비평형 스핀 밀도의 공간적 변화

[0084] (1) 도 3은 기존 자기 터널 접합(10)과 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)에 대해 비평형 그린 함수 방법에 기반하여 양자역학적으로 계산된 스핀 전류의 x 방향 성분(s_x)을 자유 자성체의 두께 방향 축(z 축)에 대해 도시하고 있다. 이때 스핀 성분 s_x 는 특정 z 에서 계산된 국부적 값이며, 자유 자성체의 표면은 $z = 0$ 에 위치한다.

[0085] (2) 사용된 물성 값은 다음과 같다.

[0086] 격자 간격 = 0.25nm, 자유 자성체를 구성하는 자성층의 두께 = 0.25nm, 자유 자성체를 구성하는 비자성층의 두께 = 0.25nm, 자유 자성체 바깥에 존재하는 비자성층의 두께 = 2.5nm, Hopping constant $t = 1.0$ eV, 전자 질량 = 9.1×10^{-31} kg, 스핀 분극층의 교환 에너지 = 0.8 eV, 자유 자성체를 구성하는 자성층의 교환 에너지 = 0.8 eV, 페르미 에너지 = 4.1 eV.

[0087] (3) 도 3을 참조하면, 기존 자기 터널 접합(100)의 경우 강자성 결맞음 길이 λ_c 가 매우 짧기 때문에 스핀 성분이 자유 자성체의 표면 ($z = 0$)으로부터 1nm 보다 짧은 구간 내에서 거의 0이 된다. 이는 기존 자기 터널 접합(100)에서 스핀레도 스핀토크가 표면 토크임을 보여준다.

[0088] 이에 반해 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)의 경우, 스핀레도 스핀토크를 결정하는 s_x 가 자유 자성체의 표면 ($z = 0$)에서 훨씬 먼 거리까지 0이 아닌 상태를 유지함을 알 수 있다. 이는 본 발명에 따른 자기 터널 접합(200)에서 스핀레도 스핀토크가 벌크 토크임을 보여준다.

[0089] 실험예 2. 본 발명에 따른 자기 터널 접합의 자유 자성체에 인가되는 전체 스핀레도 스핀토크와 자유 자성체 두께의 관계

[0090] (1) 도 4는 도 3에 도시된 국부적 s_x 를 서로 다른 두께를 갖는 자유 자성체의 전체 두께에 대해 평균낸 값($\langle s_x \rangle$)을 도시하고 있다. 이때 $\langle s_x \rangle$ 는 상기 [수학식 4]로 정의되며, $\langle s_x \rangle$ 는 d 의 두께를 갖는 자유 자성체가 실제로 느끼는 전체 스핀레도 스핀토크와 비례한다.

[0091] (2) 사용된 물성 값은 실험예 1과 같다.

[0092] (3) 도 4를 참조하면, 기존 자기 터널 접합(10)의 경우 $\langle s_x \rangle$ 가 $1/d$ 의 의존성을 갖는다. 즉, 자유 자성체의 두께 d 가 증가하면 스핀토크 효율이 약 $1/d$ 로 줄어든다.

[0093] 이에 반해 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)의 경우, $\langle s_x \rangle$ 의 d 에 대한 의존성이 거의 없으며, 이는 자유 자성체의 두께 d 가 증가하더라도 스핀토크 효율이 유지됨을 보여준다.

[0094] 본 발명에 따른 자기 터널 접합에서의 임계전류 I_c 의 자유 자성체 두께에 따른 의존성을 미소자기학을 통해 확인하였다. 자화의 운동방정식은 [수학식 11]과 같다.

[0095] [수학식 11]

$$\frac{\partial \hat{m}}{\partial t} = -\gamma \hat{m} \times \vec{H}_{eff} + \alpha \hat{m} \times \frac{\partial \hat{m}}{\partial t} + \vec{N}_{SOT}$$

[0096]

[0097] [수학식 11]에서, γ 는 자기회전상수, H_{eff} 는 자유 자성체(120)의 모든 유효 자기장 벡터, α 는 Gilbert 감쇠상수이며, N_{SOT} 는 스핀궤도 스핀토크이다.

[0098] 실험예 3. 본 발명에 따른 자기 터널 접합에 대해 자유 자성체의 두께 d에 따른 임계 전류 I_c 의 변화

[0099] 도 5는 기존 자기 터널 접합과 본 발명에 따른 자기 터널 접합에서 자유 자성체의 두께 d에 따른 자화 반전을 위한 임계 전류 I_c 의 변화를 보여준다.

[0100] 도 5를 참조하면, 기존 자기 터널 접합(10)의 경우 임계 전류 I_c 가 d에 비례하는 결과가 얻어지며, 이는 스핀토크 효율이 $1/d$ 의 의존성을 가지기 때문이다. 이는 [수학식 1]에 의해 예측되는 결과와 같다.

[0101] 이에 반해 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)의 경우 임계 전류 I_c 가 d와 거의 무관하게 일정한 결과가 얻어지며, 이는 자유 자성체의 두께를 키우더라도 자화 반전 혹은 자구 구조 이동에 필요한 전류의 크기가 거의 변하지 않음을 보여준다.

[0102] (1) 도 5는 기존 자기 터널 접합(10)과 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)에서 자유 자성체의 두께 d에 따른 자화 반전을 위한 임계 전류 I_c 의 변화를 보여준다. 이때 임계 전류 I_c 를 $d=0.6\text{nm}$ 에서의 임계 전류로 정상화하여 도시하였다. 기존 자기 터널 접합의 경우, 표면 토크 특성 (비형평 스핀밀도가 자유 자성체의 표면에서만 0이 아니고 다른 곳에서는 0임)을 가정하였다. 본 발명에 따른 자기 터널 접합의 경우 벌크 토크 특성 (비평형 스핀밀도가 공간적으로 균일함)을 가정하였다.

[0103] (2) 소자의 구조와 물성 값은 다음과 같다.

[0104] 자유 자성체의 단면적 = $30 \times 30 \text{ nm}^2$,

[0105] 기존 자기 터널 접합과 본 발명에 따른 자기 터널 접합의 자유 자성체를 구성하는 자성층의 공통 물성: "포화자화값 (M_s) = 1000 emu/cm^3 , Gilbert감쇠상수 (α) = 0.02, 수직 자기이방성 에너지 (K) = $7.2 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$, 유효 스핀 홀 각도 절대값 ($|\Theta_{SH}|$) = 0.1"

[0106] 본 발명에 따른 자기 터널 접합의 자유 자성체를 구성하는 자성층에만 적용된 물성: "각 자성층의 두께 = 0.3nm, 서로 가장 가까운 자성층들 간의 RKKY 교환 에너지 = $2.5 \times 10^{-7} \text{ erg/cm}$ "

[0107] (3) 도 5를 참조하면, 기존 자기 터널 접합(10)의 경우 임계전류 I_c 가 d에 비례하는 결과가 얻어지며, 이는 스핀토크 효율이 $1/d$ 의 의존성을 가지기 때문으로, 이는 [수학식 1]에 의해 예측되는 결과와 같다.

[0108] 이에 반해 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)의 경우 임계전류 I_c 가 d와 거의 무관하게 일정한 결과가 얻어지며, 이는 자유 자성체의 두께를 키우더라도 자화 반전 혹은 자구 구조 이동에 필요한 전류의 크기가 거의 변하지 않음을 보여준다.

[0109] 도 6은 본 발명에 따른 자기 터널 접합에서 자유 자성체의 두께 d에 따른 열적 안정성 계수 Δ 의 변화를 보여준다.

[0110] 도 6을 참조하면, 자유 자성체(120)의 두께가 증가하면 전체적인 자기 부피 (magnetic volume) V가 커지므로, 열적 안정성 계수 Δ 가 이에 비례하여 커지게 된다.

[0111] 도 5와 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 터널 접합의 경우, 자유 자성체의 두께 d를 증가시킴에 따라 열적 안정성 계수 Δ 는 이에 비례하여 증가하지만, 임계전류 I_c 가 d와 거의 무관하게 일정함을 보여준다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 의한 자기 터널 접합은 보다 작은 크기의 메모리 혹은 논리소자 셀로 활용되었을 때 비휘발성을 유지하면서 낮은 전류에서 구동되는 특성을 갖게 되어 저전력 초고밀도 비휘발성 소자가 가능하게 된다.

[0112] 본 발명에 따른 자기 터널 접합에서의 열적 안정성 계수 Δ 의 자유 자성체 전체 두께에 따른 의존성을 스트링 기법 [E. Weinan, W. Ren, E. Vanden-Eijnden, Journal of Chemical Physics 126, 164103 (2007)]을 통해 확인하였다. 열적 안정성 계수 Δ 를 결정하는 에너지 장벽 E_b 를 얻기 위해, 먼저 두 에너지 최소 상태 (모든 자화가 +z 방향인 경우와 모든 자화가 -z인 경우) 사이의 전이 경로를 설정하였다. 전체 전이 경로를 100개의 이미지로 구분하였다. 이 초기 전이 경로는 최소 에너지 경로가 아니므로, 하기 [수학식 12]를 통해 각 i 번째 이미지에 대한 δt 시간 이후의 최소 에너지 경로를 구하였다.

[0113] [수학식 12]

$$\hat{m}_i(t+\delta t) = \hat{m}_i(t) - \int_t^{t+\delta t} \gamma \hat{m} \times (\hat{m} \times \vec{H}_{eff}) dt$$

[0114]

[0115] 상기 [수학식 12]에서, γ 는 자기회전상수, H_{eff} 는 자유 자성체(120)의 모든 유효 자기장 벡터이다. 시간에 대해 수렴한 각 이미지를 통해 E_b 를 결정하였고, 열적 안정성 계수 Δ 는 상온 ($T = 300$ K)에서 $E_b/k_B T$ 로 결정하였다.

[0116] 실험예 4. 본 발명에 따른 자기 터널 접합에 대해 자유 자성체의 두께 d 에 따른 열적 안정성 계수 Δ 의 변화

[0117] (1) 도 6은 본 발명에 따른 자기 터널 접합(100)에서 자유 자성체의 두께 d 에 따른 열적 안정성 계수 Δ 의 변화를 보여준다. 이때 열적 안정성 계수 Δ 를 $d=1.0\text{nm}$ 에서의 Δ 로 정상화하여 도시하였다.

[0118] (2) 소자의 구조와 물성 값은 실험예 3과 같다.

[0119] (3) 도 6를 참조하면, 본 발명에 따른 자기 터널 접합(200)의 경우 열적 안정성 계수 Δ 가 d 와 선형적으로 비례하는 결과가 얻어지며, 이는 자유 자성체의 두께가 증가하면 전체적인 자기 부피 (magnetic volume) V 가 커지므로, 열적 안정성 계수 Δ 가 이에 비례하여 커지기 때문이다.

[0120] 도 2 내지 6에서 설명한 것과 중복되는 설명은 생략한다.

[0121] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기터널 접합 소자를 설명하는 도면이다.

[0122] 도 7을 참조하면, 자기 터널 접합 소자(200)는 차례로 적층된 고정 자성체(240), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 구비하는 자기 터널 접합(201) 및 상기 자기 터널 접합(201)의 상기 자유 자성체(120)에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(240)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)]_N/메인 자유 자성층(126) 구조이다. N 은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N 번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(120)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(120)을 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0123] 상기 고정 자성체(240)는 차례로 적층된 제1 고정 자성층(244), 고정 비자성층(246), 및 제2 고정 자성층(248)으로 이루어진 인위적 반자성체 (Synthetic Antiferromagnet) 구조일 수 있다. 상기 제1 고정 자성층(244) 및 제2 고정 자성층(248)은 각각 독립적으로 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 고정 비자성층(246)은 Ru, Ta, Cu 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0124] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 고정 자성체(240)은 차례로 적층된 반강자성층(242), 제1 고정 자성층(244), 고정 비자성층(246), 및 제2 고정 자성층(248)으로 이루어진 교환 바이어스된 반자성체구조일 수 있다. 상기 반강자성층(242)은 Ir, Pt, Mn 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어질 수 있다. 상기 제1 고정 자성층(244) 및 제2 고정 자성층(248)은 각각 독립적으로 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어질 수 있다. 상기 고정 비자성층(246)은 Ru, Ta, Cu, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함하는 물질로 이루어질 수 있다.

[0125] 도 8은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자를 설명하는 도면이다.

[0126] 도 8을 참조하면, 자기 터널 접합 소자(300)는 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(320)를 구비하는 자기 터널 접합(301) 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체(326)에 인접하여 상기 자기

터널 집합에 면내 전류를 인가하는 도선(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(320)는 [보조 자유 자성층(322a~322n)/자유 비자성층(324a~324n)]_N/메인 자유 자성층(326) 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조(320a~320n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(326) 및 상기 보조 자유 자성층(322a~322n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(326)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(320)를 구성하는 자성층들(322a~322n, 326) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(324a~324n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0127] 상기 고정 자성체(140)는 상기 자유 자성체(320)와 서로 정렬되지 않을 수 있다. 구체적으로, 상기 자유 자성체(320)는 상기 도선(110)의 연장 방향으로 서로 나란히 연장될 수 있다. 상기 자유 자성체(320)는 적어도 하나의 자구 구조(321)를 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 메인 자유 자성층(326)과 상기 보조 자유 자성층(322a~322n) 각각은 적어도 하나의 자구 구조(321)를 포함할 수 있다. 상기 자구 구조(321)는 상기 도선(110)에 흐르는 면내 전류에 의하여 x축 방향으로 이동할 수 있다. 상기 자구 구조(321)는 자벽 또는 스커미온이고, 서로 반대 방향으로 자화된 자구를 분할할 수 있다.

[0128] 도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 터널 집합 소자를 설명하는 도면이다.

[0129] 도 9를 참조하면, 자기 터널 집합 소자(400)는 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 구비하는 자기 터널 집합(101) 및 상기 자기 터널 집합의 상기 자유 자성체(120)에 인접하여 상기 자기 터널 집합에 면내 전류를 인가하는 도선(410)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조(120a~120n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선(410)과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0130] 상기 도선(410)은 도전성 반강자성체를 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 도선(410)은 상기 면내 전류를 인가하고 반강자성층을 포함할 수 있다. 상기 도선(410)은 상기 메인 자유 자성층(126)에 면내 교환바이어스 자기장을 제공할 수 있다. 구체적으로, 상기 도선(410)은 FeMn, PtMn, 또는 IrMn일 수 있다. 상기 반강자성층은 상기 자유 자성체(120)에 교환바이어스 자기장을 제공할 수 있다. 이에 따라, 상기 자기 터널 집합 소자는 외부 자기장을 사용하지 않고 수직 자기 이방성을 가진 자유 자성체의 자화 방향을 스위칭할 수 있다.

[0131] 도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 터널 집합 소자를 설명하는 도면이다.

[0132] 도 10을 참조하면, 자기 터널 집합 소자(500)는 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 구비하는 자기 터널 집합 및 상기 자기 터널 집합의 상기 자유 자성체(120)에 인접하여 상기 자기 터널 집합에 면내 전류를 인가하는 도선(510)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~122n)]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조(120a~120n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선(410)과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0133] 상기 면내 전류를 인가하는 도선(510)은 차례로 적층된 반강자성층(510a) 및 강자성층(510b)을 포함할 수 있다. 상기 반강자성층(510a)은 상기 메인 자유층(126)에 인접하여 배치될 수 있다. 상기 강자성층(510b)은 면내 자화 방향 또는 상기 강자성층이 연장되는 방향의 자화 방향을 가질 수 있다. 상기 도선(510)은 상기 메인 자유 자성층(126)에 면내 교환바이어스 자기장을 제공할 수 있다. 상기 자유 자성체(120)는 외부 자기장을 사용하지 않고 스위칭될 수 있다.

[0134] 상기 강자성층(510b)은 면내 자기 이방성을 가지고 상기 반강자성층(510a)을 면내방향으로 반강자성 정렬시키는

기능을 제공한다. 수직 자기이방성을 갖는 자유 자성층(120)에 인접한 반강자성층(510a)이 수직 자기이방성을 갖는 자유 자성층(120)에 수평방향의 교환 바이어스 자기장을 발생시킨다. 구체적으로, 수평 자기장 하에 열적 어닐링 시 면내 자기이방성을 갖는 강자성층(510b)과 반강자성층(510a) 사이의 교환 상호작용에 의해 반강자성층(510a)에 면내 방향의 반강자성으로 정렬된다. 이로써, 반강자성 규칙에 의해 다른 편에 인접한 수직 자기이방성을 갖는 자유 자성층(120)에 수평방향의 교환 바이어스 자기장이 유도된다. 상기 반강자성층(510a)을 갖는 도선(510)에 흐르는 전류는 비정상 홀 효과(anomalous Hall effect) 혹은 스핀 홀 효과를 통해 스핀-궤도 스핀 토크를 발생시킨다.

[0135] 도 11은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자를 나타내는 도면이다.

[0136] 도 11을 참조하면, 자기 터널 접합 소자(600)는 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 구비하는 자기 터널 접합(601) 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)]_N/메인 자유 자성층(126) 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조(120a~120n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(120a~120n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0137] 상기 고정 자성체(140)에 인접하여 차례로 적층된 쌍극자 필드 비자성층(652) 및 면내 자화방향을 가진 쌍극자 필드 강자성층(654)이 배치된다. 상기 쌍극자 필드 비자성층(652)은 상기 고정 자성체(140)에 인접하여 배치된다.

[0138] 상기 쌍극자 필드 비자성층(652)은 도전성 금속으로 Ru, Ta, Cu, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0139] 상기 쌍극자 필드 강자성층(654)은 면내 자화 방향(예를 들어, -x축 방향)을 가지고 쌍극자 자기장을 생성하여 상기 자유 자성층(120)에 면내 방향(+x축 방향)으로 자기장을 생성할 수 있다. 이에 따라, 상기 자기 터널 접합 소자의 자유 자성체는 외부 자기장을 사용하지 않고 자화 반전을 수행할 수 있다.

[0140] 도 12는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자를 나타내는 도면이다.

[0141] 도 12를 참조하면, 자기 터널 접합 소자(700)는 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 구비하는 자기 터널 접합(701) 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조(120a~120n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0142] 보조 절연층(727)이 상기 도선(110)과 상기 자유 자성체(120) 사이에 배치될 수 있다. 상기 보조 절연층(727)은 AlO_x, MgO, TaO_x, ZrO_x 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 보조 절연층(727)은 상기 도선을 따라 흐르는 면내 전하 전류가 상기 자기터널 접합을 직접 통하여 흐르지 않도록 억제하고 순수 스핀 전류만 지나가도록 할 수 있다.

[0143] 도 13은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자를 나타내는 도면이다.

[0144] 도 13을 참조하면, 자기 터널 접합 소자(800)는 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 구비하는 자기 터널 접합(101) 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선(810)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층

(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조(120a~120n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선(810)과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0145] 상기 도선(810)은 차례로 적층된 도선 비자성층(810a) 및 도선 강자성층(810b)을 포함할 수 있다. 상기 도선 강자성층(810b)은 면내 자화 방향 성분을 포함할 수 있다. 상기 도선 비자성층(810a)은 상기 자유 자성체(120)와 인접하도록 배치될 수 있다. 상기 도선 비자성층(810a)은 Cu, Ta, Pt, W, Bi, Ir, Mn, Ti, Cr, 및 이들의 혼합물 중에서 선택되는 물질일 수 있다. 상기 도선 강자성층(810b)은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 도선 강자성층(810b)을 통해 흐르는 면내 전하 전류에 의해, 상기 도선 강자성층(810b)의 자체적인 비정상 홀 효과 혹은 이방성 자기 저항(anisotropic magnetoresistance) 효과를 통해 스핀 전류를 발생시킬 수 있다[T. Taniguchi, J. Grollier, M. D. Stiles, Physical Review Applied 3, 044001 (2015)]. 또는 상기 도선 강자성층(810b)과 상기 도선 비자성층(810a)의 계면 스핀궤도 결합 효과에 의해 스핀 전류를 발생시킬 수 있다[V. P. Amin, M. D. Stiles, Physical Review B 94, 104419 (2016)].

[0146] 도 14는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 터널 접합 소자를 나타내는 도면이다.

[0147] 도 14를 참조하면, 자기 터널 접합 소자(900)는 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 구비하는 자기 터널 접합(901) 및 상기 자기 터널 접합의 상기 자유 자성체에 인접하여 상기 자기 터널 접합에 면내 전류를 인가하는 도선(910)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층(122a~122n)/자유 비자성층(124a~124n)]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조(120a~120n)가 N번 반복 적층된 구조임을 나타낸다. 상기 메인 자유 자성층(126) 및 상기 보조 자유 자성층(122a~122n)은 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질을 포함하는 박막이다. 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 면내 전류로 인해 스핀 전류를 발생시키는 도선(910)과 인접하여 배치된다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다.

[0148] 상기 도선(910)은 차례로 적층된 도선 강자성층(910a) 및 도선 비자성층(910b)을 포함할 수 있다. 상기 도선 강자성층(910a)과 상기 자유 자성체(120) 사이에 배치된 비자성층(927)을 포함할 수 있다. 상기 도선 강자성층(910a)은 상기 자유 자성체(120)에 인접하게 배치될 수 있다. 상기 비자성층(927)은 상기 자유 자성층의 측면과 정렬될 수 있다.

[0149] 상기 도선 비자성층(910b) 및 상기 비자성층(927)은 Cu, Ta, Pt, W, Bi, Ir, Mn, Ti, Cr, 및 이들의 혼합물 중에서 선택되는 물질일 수 있다. 상기 도선 강자성층(910a)은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0150]

[0151] 도 15는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.

[0152] 도 15를 참조하면, 자기 메모리 소자(91)는 복수의 자기 터널 접합(101)을 구비한다. 상기 자기 터널 접합(101) 또는 자기 터널 접합 소자(100)는 도 2 내지 도 14에서 설명한 바와 같이 다양하게 변형될 수 있다.

[0153] 상기 자기 메모리 소자(91)는 기판 배치 평면에서 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합(101)의 자유 자성체(120)에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합은 차례로 적층된 고정 자성체, 절연체, 및 자유 자성체를 포함할 수 있다.

- [0154] 상기 메인 자유 자성층(126)은 상기 도전 패턴과 인접하여 배치되고, 상기 제1 도전 패턴(110)은 면내 전류로부터 상기 제1 도전 패턴의 배치 평면에 수직인 스핀 전류를 발생시키어 상기 자유 자성체의 자화 방향을 스위칭할 수 있다.
- [0155] 상기 자유 자성체(120)의 전체 두께는 높은 열 안정성을 확보하기 위해 2nm 이상일 수 있다.
- [0156] N은 2 이상의 자연수이고, 상기 자유 자성체(120) 내에서 서로 이웃한 상기 보조 자유 자성층은 RKKY (Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) 교환상호작용에 의해 서로 반대방향의 자화를 가질 수 있다. 상기 자유 자성체(120)의 전체 두께는 2nm 이상일 수 있다. 상기 보조 자유 자성층(120) 및 상기 메인 자유 자성층(120) 각각은 서로 다른 물질로 이루어지거나 서로 다른 두께로 이루어질 수 있다. 상기 보조 자유 자성층(120) 및 상기 메인 자유 자성층(120) 각각은 0.3 nm 수준일 수 있다.
- [0157] 상기 제1 도전 패턴(110)은 Cu, Ta, Pt, W, Bi, Ir, Mn, Ti, Cr, 및 이들의 혼합물 중에서 선택되는 물질로 이루어질 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀케도 스핀 토크를 인가할 수 있다. 상기 스핀케도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.
- [0158] 상기 제1 도전 패턴(110 또는 BL)은 기판 평면에서 제1 방향으로 나란히 진행할 수 있다. 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체(120)는 상기 제1 도전 패턴에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 제2 도전 패턴(182 또는 WL)은 상기 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 고정 자성체(140)에 전기적으로 연결되고 상기 기판 평면에서 상기 제2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0159] 상기 자기 메모리 소자(91)는 크로스포인트 메모리로 동작할 수 있다. 상기 자기 메모리 소자(91)는 상기 제1 도전 패턴(110)에 흐르는 전류에 의한 스핀홀 효과, 상기 제2 도전 패턴(182)에 인가되는 전압에 의한 임계 전류 감소 효과에 의하여 동작할 수 있다. 또는, 상기 자기 메모리 소자(91)는 제1 도전 패턴에 흐르는 전류에 의한 스핀홀 효과 및 선택된 자기터널 접합을 통하여 흐르는 스핀 전달 토크 효과에 의하여 동작할 수 있다.
- [0160] 도 16은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.
- [0161] 도 16을 참조하면, 자기 메모리 소자(92)는 복수의 자기 터널 접합을 구비한다. 상기 자기 메모리 소자(92)는 기판 배치 평면에서 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합의 자유 자성체에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_M/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합은 차례로 적층된 고정 자성체, 절연체, 및 자유 자성체를 포함할 수 있다.
- [0162] 상기 제1 도전 패턴(110)은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 이격되어 배치될 수 있다. 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체(120)는 상기 제1 도전 패턴(110)에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀케도 스핀 토크를 인가할 수 있다. 상기 스핀케도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.
- [0163] 제2 도전 패턴(282 또는 WL)은 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 고정 자성체(140)에 전기적으로 연결되고 상기 기판 평면에서 상기 1 방향으로 연장된다.
- [0164] 제3 도전 패턴(283 또는 SL)은 상기 제1 방향으로 배열된 상기 제1 도전 패턴들(110)의 각각의 일단에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장된다.
- [0165] 제4 도전 패턴(284 또는 BL)은 상기 제2 방향으로 배열된 제1 도전 패턴들(110)의 각각의 타단에 연결되고 상기 제2 방향으로 연장된다.
- [0166] 상기 자기 메모리 소자(92)는 변형된 크로스포인트 메모리로 동작할 수 있다. 상기 제1 도전 패턴은 서로 분리되어 상기 자유 자성체에 스핀 전류를 주입할 수 있다. 상기 제3 도전 패턴, 상기 제1 도전 패턴, 및 제4도전 패턴을 통하여 전류가 흐르는 경우, 상기 제1 도전 패턴에 흐르는 면내 전류는 상기 자유 자성체에 스핀 전류를

주입하여 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.

- [0167] 도 17은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.
- [0168] 도 17을 참조하면, 자기 메모리 소자(93)는 복수의 자기 터널 접합을 구비한다. 상기 자기 메모리 소자(93)는 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합의 자유 자성체에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합은 차례로 적층된 고정 자성체, 절연체, 및 자유 자성체를 포함할 수 있다.
- [0169] 상기 제1 도전 패턴(110)은 기판 평면에서 제1 방향으로 연장되고, 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체(120)는 상기 제1 도전 패턴(110 또는 BL)에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀궤도 스핀 토크를 인가할 수 있다. 상기 스핀궤도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.
- [0170] 선택 트랜지스터들(TR)은 상기 자기 터널 접합들(101)의 고정 자성체(140) 각각에 전기적으로 연결될 수 있다.
- [0171] 제2 도전 패턴(382 또는 SL)은 상기 제1 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들(TR) 각각의 소오스/드레인에 전기적으로 연결되고 상기 기판 평면에서 상기 1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0172] 제3 도전 패턴(383 또는 WL)은 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 상기 선택 트랜지스터들(TR) 각각의 게이트에 연결될 수 있다.
- [0173] 특정한 제1 도전 패턴(110, BL0)에 전류가 흐르는 경우, 상기 제1 도전 패턴에 연결된 모든 자기 터널 접합의 자유층들은 스핀 전류를 공급받을 수 있다. 한편, 으나, 특정한 메모리 셀을 선택하기 위하여 선택 트랜지스터(TR)의 게이트에 연결된 특정 제3 도전 패턴에 전압을 인가한다. 이에 따라, 특정한 메모리 셀은 상기 제1 도전 패턴에 의한 스핀 전류 및 선택된 선택 트랜지스터에 의하여 고정 자성층에 전압 또는 스핀 전달 전류를 공급받을 수 있다. 이에 따라, 특정한 메모리 셀은 기록 동작을 수행할 수 있다.
- [0174] 도 18은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.
- [0175] 도 18을 참조하면, 자기 메모리 소자(94)는 복수의 자기 터널 접합을 구비한다. 상기 자기 메모리 소자(94)는 기판 배치 평면에서 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합의 자유 자성체에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합은 차례로 적층된 고정 자성체, 절연체, 및 자유 자성체를 포함할 수 있다.
- [0176] 상기 제1 도전 패턴(110 또는 WBL)은 기판 평면에서 제1 방향으로 연장되고, 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체(120)는 상기 제1 도전 패턴(110)에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀궤도 스핀 토크를 인가할 수 있다. 상기 스핀궤도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.
- [0177] 선택 트랜지스터들(TR)은 상기 자기 터널 접합들의 고정 자성체(140) 각각에 전기적으로 연결될 수 있다.
- [0178] 제2 도전 패턴(482 또는 RBL)은 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들(TR) 각각의 소오스/드레인에 전기적으로 연결되고 상기 기판 평면에서 상기 2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0179] 제3 도전 패턴(483 또는 WL)은 상기 제1 방향으로 배열된 상기 선택 트랜지스터들 각각의 게이트에 연결될 수 있다.

- [0180] 특정한 메모리 셀에 쓰기 동작을 수행하기 위하여, 특정한 제1 도전 패턴이 선택되고, 선택된 제1 도전 패턴에 전류가 흐른다. 또한, 선택된 메모리 셀에 연결된 선택 트랜지스터의 게이트에 연결된 제3 도전 패턴이 선택되어, 상기 선택 트랜지스터의 소오스/드레인을 상기 고정 자성층에 전압이 인가되거나 스핀 전달 전류가 흐른다. 이에 따라, 특정한 메모리 셀은 기록 동작을 수행할 수 있다.
- [0181] 도 19는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.
- [0182] 도 19를 참조하면, 자기 메모리 소자(95)는 복수의 자기 터널 접합을 구비한다. 상기 자기 메모리 소자(95)는 기판 배치 평면에서 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합의 자유 자성체(120)에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합(101)은 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 포함할 수 있다.
- [0183] 상기 제1 도전 패턴(110)은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고, 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀궤도 스핀 토크를 인가할 수 있다. 상기 스핀궤도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.
- [0184] 제2 도전 패턴(582 또는 RBL)은 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합의 고정 자성체(140) 각각에 전기적으로 연결되고 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0185] 제3 도전 패턴(583 또는 WBL)은 상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴(110)의 각각의 일단에 연결되고 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0186] 선택 트랜지스터들(TR)은 상기 제1 도전 패턴(110) 각각의 타단에 연결될 수 있다.
- [0187] 제4 도전 패턴(584 또는 SL)은 상기 제1 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들(TR)의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0188] 제5 도전 패턴(585 또는 WL)은 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들(TR)의 게이트에 연결되고 상기 제2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0189] 도 20은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.
- [0190] 도 20을 참조하면, 자기 메모리 소자(96)는 복수의 자기 터널 접합을 구비한다. 상기 자기 메모리 소자(96)는 기판 배치 평면에서 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합의 자유 자성체(120)에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합(101)은 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 포함할 수 있다.
- [0191] 상기 제1 도전 패턴(110)은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고, 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀궤도 스핀 토크를 인가할 수 있다. 상기 스핀궤도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.
- [0192] 선택 트랜지스터들(TR)은 상기 자기 터널 접합들의 고정 자성체(140)에 각각 연결될 수 있다.
- [0193] 제2 도전 패턴(682 또는 RBL)은 상기 제1 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들의 소오스/드레인에 각각 연결되

고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.

- [0194] 제3 도전 패턴(683 또는 WL)은 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 선택 트랜지스터들(TR)의 게이트에 연결되고 상기 제2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0195] 제4 도전 패턴(684 또는 WBL)은 상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴(110)의 각각의 일단에 연결되고 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0196] 제5 도전 패턴(685 또는 SL)은 상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴(110)의 타단에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0197] 도 21은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.
- [0198] 도 21을 참조하면, 자기 메모리 소자(97)는 복수의 자기 터널 접합을 구비한다. 상기 자기 메모리 소자(97)는 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합의 자유 자성체에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체(120)는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합(101)은 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 포함할 수 있다.
- [0199] 상기 제1 도전 패턴(110)은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고, 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체(120)는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀궤도 스핀 토크를 인가할 수 있다. 상기 스핀궤도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.
- [0200] 제2 도전 패턴(782)은 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 고정 자성체(140) 각각에 전기적으로 연결되고 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0201] 제1 선택 트랜지스터(TR1)는 상기 제1 도전 패턴(110)의 일단에 각각 연결될 수 있다.
- [0202] 제2 선택 트랜지스터(TR2)는 상기 제1 도전 패턴(110)의 타단에 각각 연결될 수 있다.
- [0203] 제 3 도전 패턴(783 또는 WBL)은 상기 제1 방향으로 배열된 상기 제1 선택 트랜지스터(TR1)의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0204] 제 4 도전 패턴(784 또는 SL)은 상기 제1 방향으로 배열된 상기 제2 선택 트랜지스터(TR2)의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0205] 제 5 도전 패턴(785)은 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 제1 선택 트랜지스터(TR1)의 게이트와 제2 선택 트랜지스터(TR2)의 게이트를 서로 연결하여 상기 제2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0206] 도 22는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 메모리 소자를 설명하는 도면이다.
- [0207] 도 22를 참조하면, 자기 메모리 소자(98)는 복수의 자기 터널 접합을 구비한다. 상기 자기 메모리 소자(98)는 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기 터널 접합(101); 및 상기 자기 터널 접합의 자유 자성체에 인접하여 배치된 제1 도전 패턴(110)을 포함한다. 상기 고정 자성체(140)는 고정 자화 방향을 갖고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체는 자화 방향이 변하고, 막 면에 대하여 수직 방향으로 자화되는 물질로 이루어진 박막이다. 상기 자유 자성체는 [보조 자유 자성층/자유 비자성층]_N/메인 자유 자성층 구조이다. N은 2 이상의 자연수이고, [보조 자유 자성층/자유 비자성층] 구조가 N번 반복 적층된 구조이다. 상기 자유 자성체(120)를 구성하는 자성층들(122a~122n, 126) 중 서로 가장 가까운 두 자성층들은 상기 자유 비자성층(124a~124n)을 통한 RKKY 교환 상호작용으로 인해 서로 반대 방향으로 자화된다. 상기 자기터널 접합(101)은 차례로 적층된 고정 자성체(140), 절연체(130), 및 자유 자성체(120)를 포함할 수 있다.
- [0208] 상기 제1 도전 패턴(110)은 기판 평면에서 제1 방향으로 주기적으로 배치되고, 상기 제1 방향으로 배열된 자기 터널 접합들의 각각의 자유 자성체는 상기 제1 도전 패턴 각각에 인접하여 주기적으로 배치될 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 자유 자성층에 스핀 전류를 제공하고 상기 자유 자성체(120)에 스핀궤도 스핀 토크를

인가할 수 있다. 상기 스핀레도 스핀 토크는 상기 자유 자성체의 자화 반전에 기여할 수 있다.

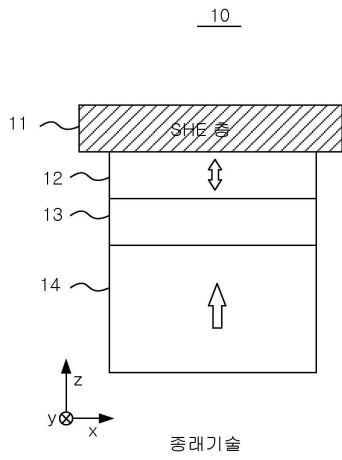
- [0209] 제1 선택 트랜지스터(TR1)는 상기 자기 터널 접합의 고정 자성체(140)에 각각 연결될 수 있다.
- [0210] 제2 선택 트랜지스터(TR2)는 상기 제1 도전 패턴(110)의 일단에 각각 연결될 수 있다.
- [0211] 제2 도전 패턴(882 또는 RBL)은 상기 제1 방향으로 배열된 제1 선택 트랜지스터(TR1)의 소오스/드레인에 연결되고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0212] 제3 도전 패턴(883 또는 WBL)은 상기 제1 방향으로 배열된 제1 도전 패턴(110)의 타단을 각각 연결하고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0213] 제4 도전 패턴(884 또는 SL)은 상기 제1 방향으로 배열된 제2 선택 트랜지스터(TR2)의 소오스/드레인을 각각 연결하고 상기 제1 방향으로 연장될 수 있다.
- [0214] 제5 도전 패턴(885 또는 WL)은 상기 제1 방향에 수직한 제2 방향으로 배열된 제1 선택 트랜지스터(TR1)의 게이트를 각각 연결하고 상기 제2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0215] 제6 도전 패턴(886 또는 WL)은 상기 제2 방향으로 배열된 제2 선택 트랜지스터(TR2)의 게이트를 각각 연결하고 상기 제2 방향으로 연장될 수 있다.
- [0216] 도 15 내지 도 22 및 도 8을 참조하면, 상기 자유 자성체(120)는 적어도 하나의 자구 구조를 포함할 수 있다. 상기 자구 구조는 자벽 또는 스커미온일 수 있다.
- [0217] 도 15 내지 도 22 및 도 9를 참조하면, 상기 제1 도전 패턴(110)은 면내 전류를 인가하고, 반강자성층을 포함할 수 있다. 상기 제1 도전 패턴(110)은 상기 메인 자유 자성층에 면내 교환바이어스 자기장을 제공할 수 있다.
- [0218] 도 15 내지 도 22 및 도 10을 참조하면, 상기 제1 도전 패턴(110)은 면내 전류를 인가하고, 차례로 적층된 반강자성층 및 강자성층을 포함하고, 상기 반강자성층은 상기 메인 자유층에 인접하여 배치되고, 상기 강자성층은 면내 자화 방향을 가지고, 상기 제1 도전 패턴은 상기 메인 자유 자성층에 면내 교환바이어스 자기장을 제공하고, 상기 자유 자성체는 외부 자기장 없이 스위칭될 수 있다.
- [0219] 도 15 내지 도 21 및 도 11을 참조하면, 상기 고정 자성체에 인접하여 차례로 적층된 쌍극자 필드 비자성층 및 면내 자화방향을 가진 쌍극자 필드 강자성층을 더 포함하고, 상기 비자성층은 상기 고정 자성체에 인접하여 배치될 수 있다. 상기 자유 자성체는 상기 쌍극자 필드 강자성층으로부터 제공되는 면내 자기장에 의해, 외부 자기장 없이 스위칭될 수 있다.
- [0220] 도 15 내지 도 22 및 도 12를 참조하면, 상기 제1 도전 패턴(110)과 상기 자유 자성체(120) 사이에 배치된 보조 절연층을 더 포함할 수 있다.
- [0221] 도 15 내지 도 22 및 도 13을 참조하면, 상기 제1 도전 패턴(110)은 차례로 적층된 제1 도전 패턴 비자성층 및 제1 도전 패턴 자성층을 포함하고, 상기 제1 도전 패턴 자성층은 면내 자화 방향 성분을 포함할 수 있다.
- [0222] 도 15 내지 도 22 및 도 14를 참조하면, 상기 제1 도전 패턴(110)은 차례로 적층된 제1 도전 패턴 자성층 및 제1 도전 패턴 비자성층을 포함하고, 상기 제1 도전 패턴 자성층과 상기 자유 자성체 사이에 배치된 비자성층을 포함할 수 있다.
- [0223] 이상에서는 본 발명을 특정의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 이러한 실시예에 한정되지 않으며, 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 실시할 수 있는 다양한 형태의 실시예들을 모두 포함한다.

부호의 설명

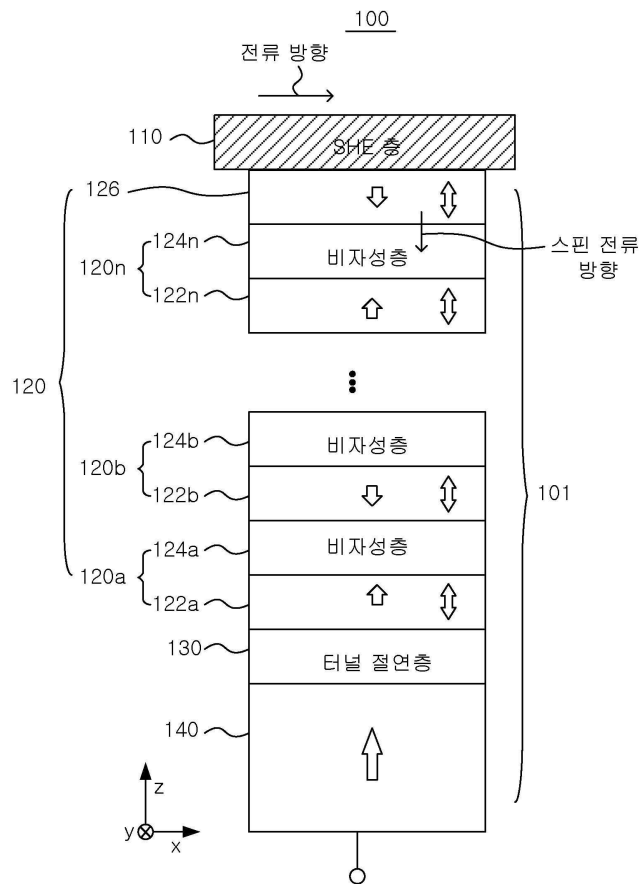
- [0224] 110: 도선 또는 제1 도전 패턴
- 120: 자유 자성체
- 130: 절연체
- 140: 고정 자성체

도면

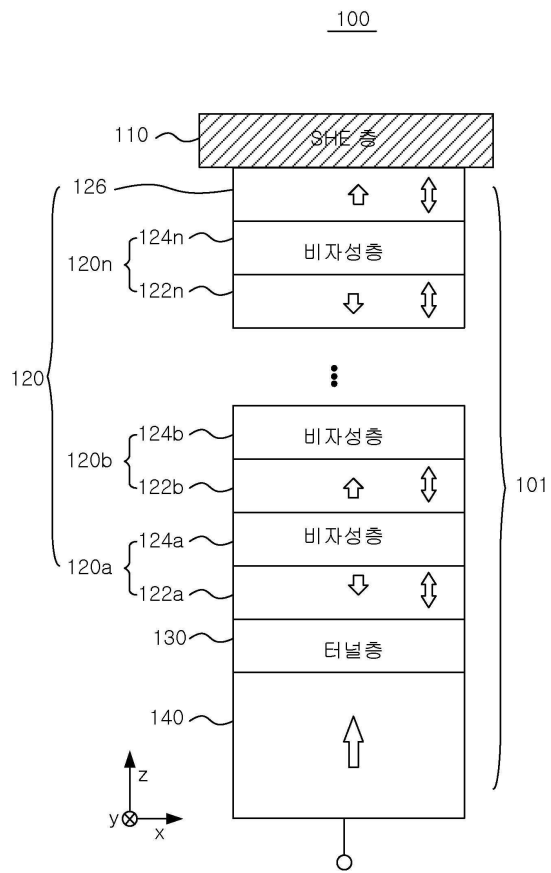
도면1



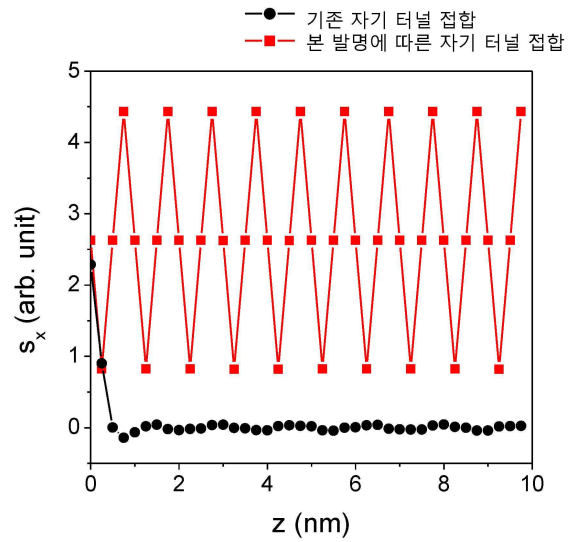
도면2a



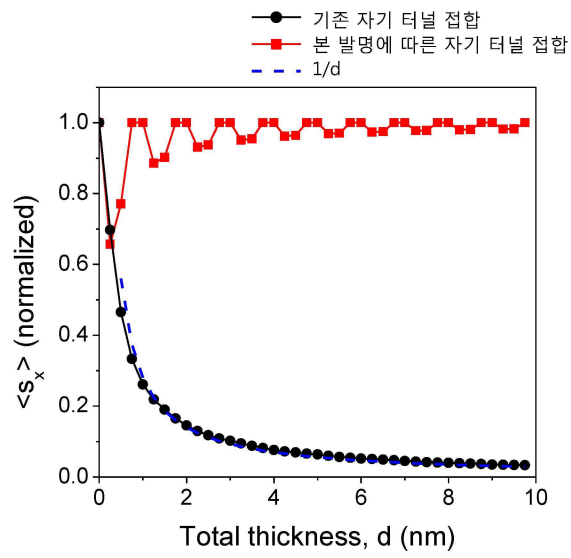
도면2b



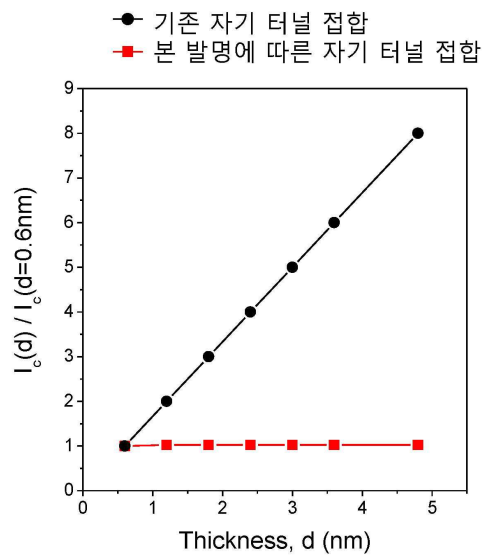
도면3



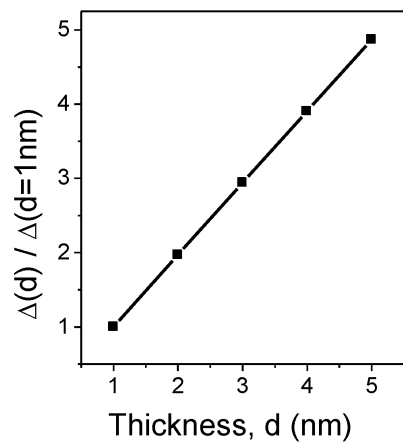
도면4



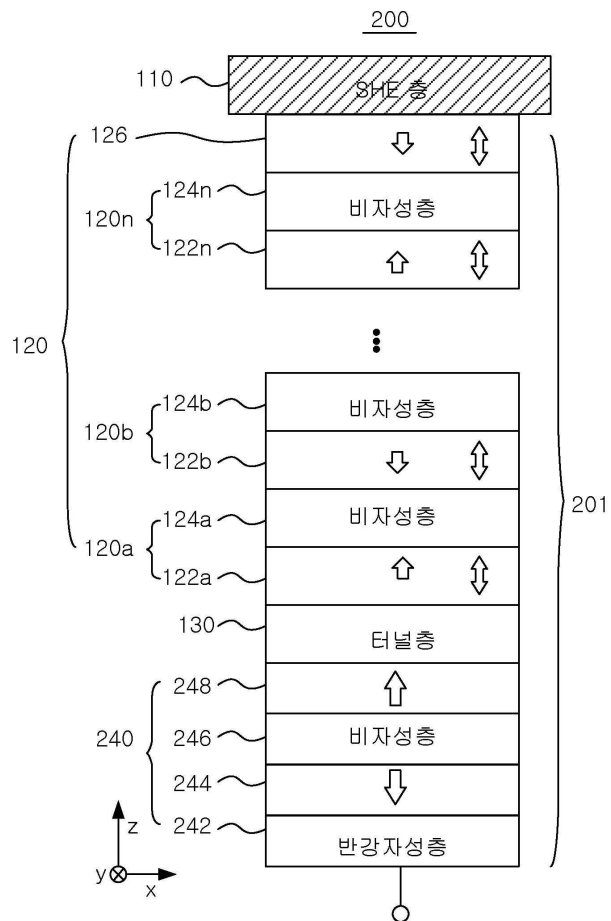
도면5



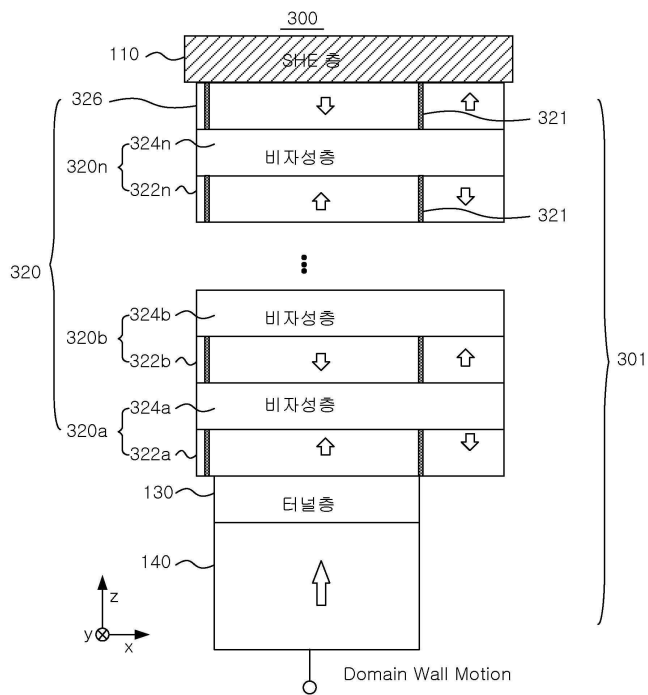
도면6



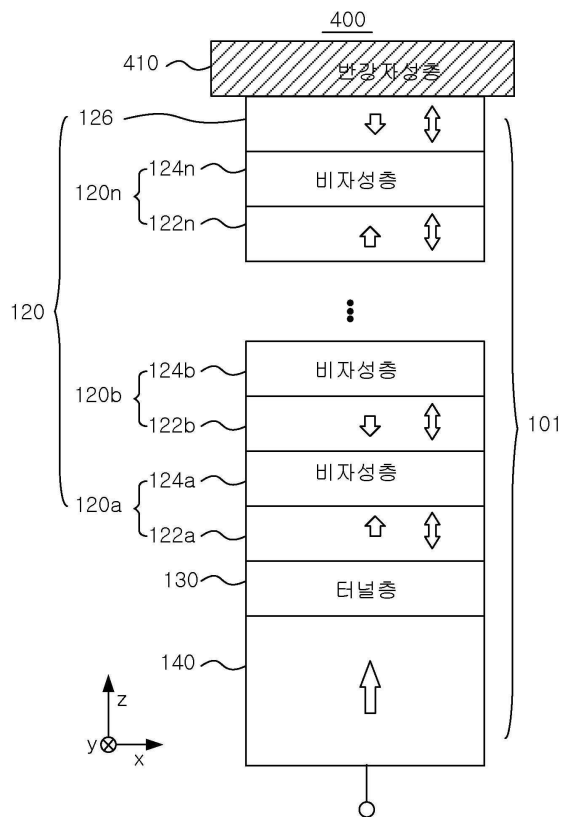
도면7



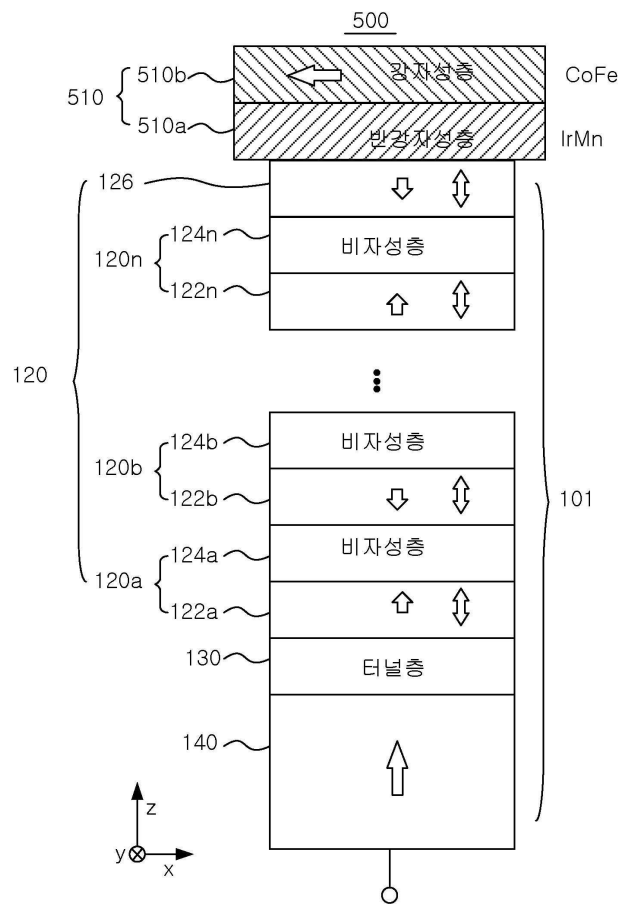
도면8



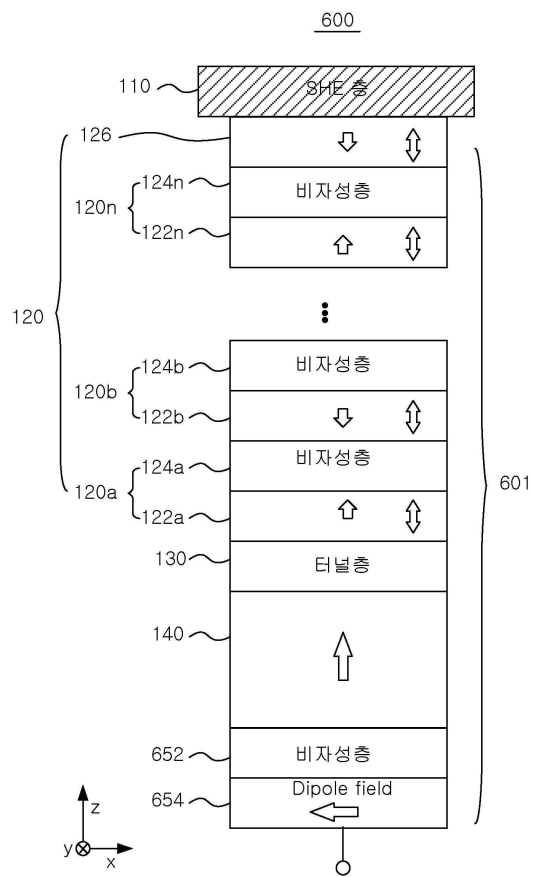
도면9



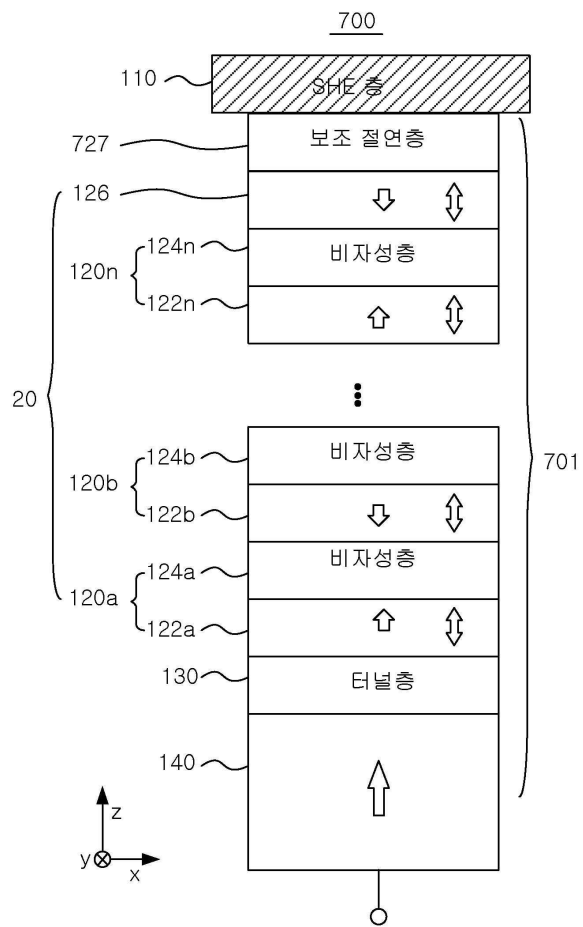
도면10



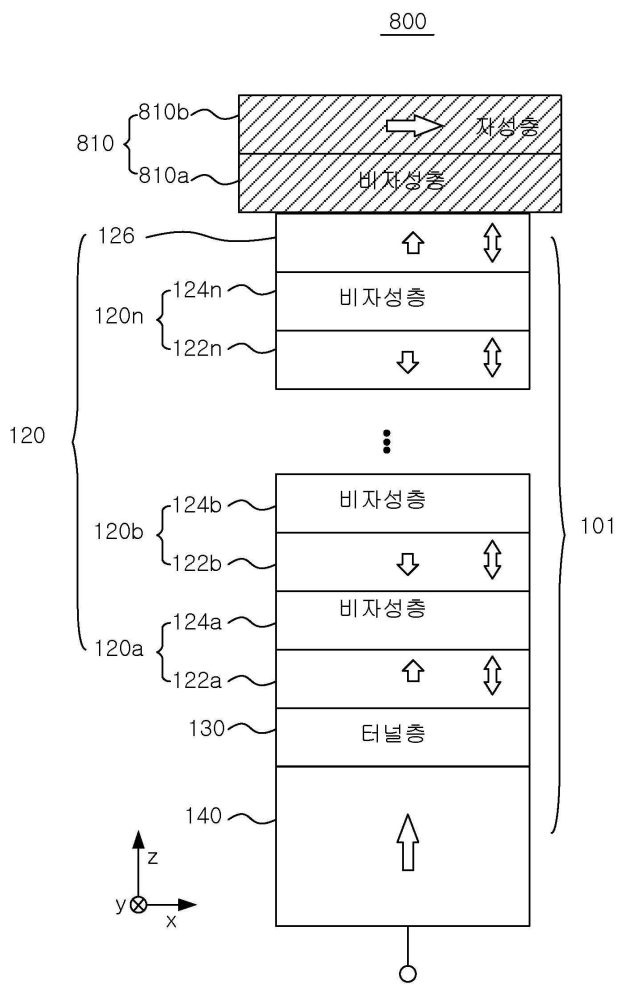
도면11



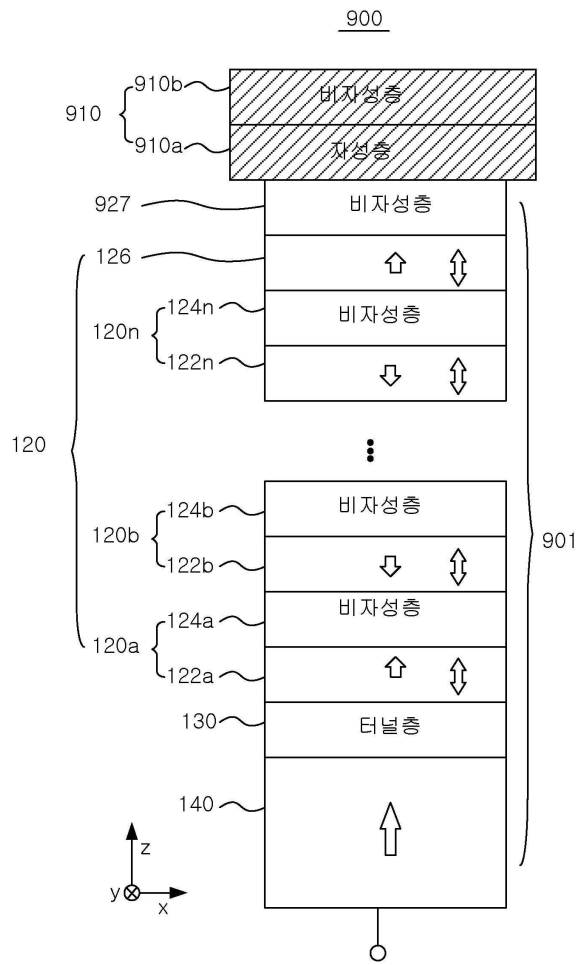
도면12



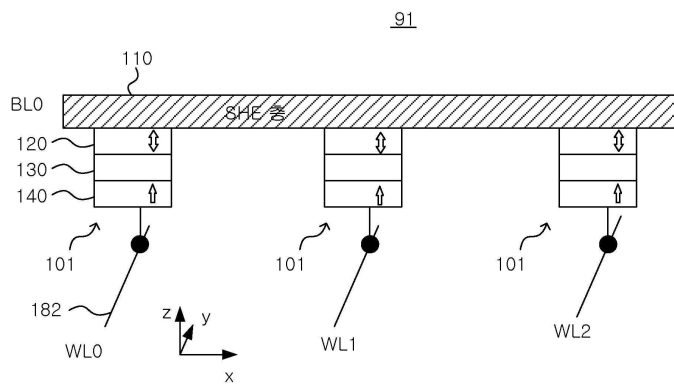
도면13



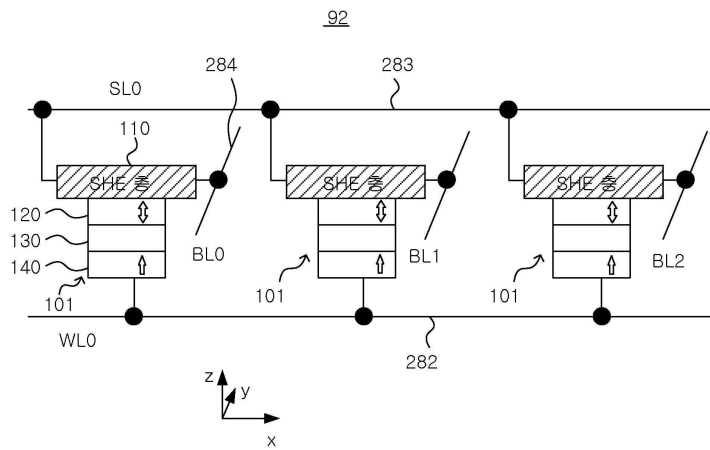
도면14



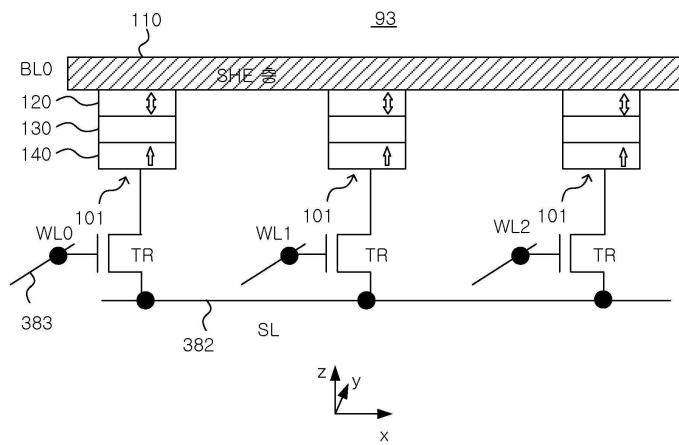
도면15



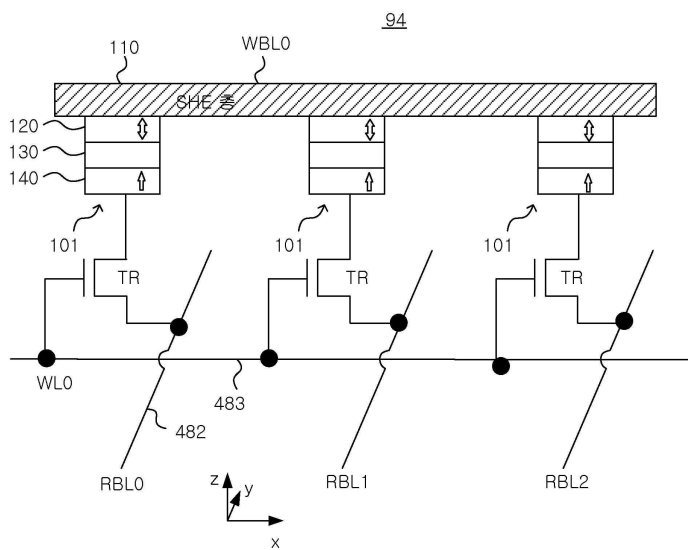
도면16



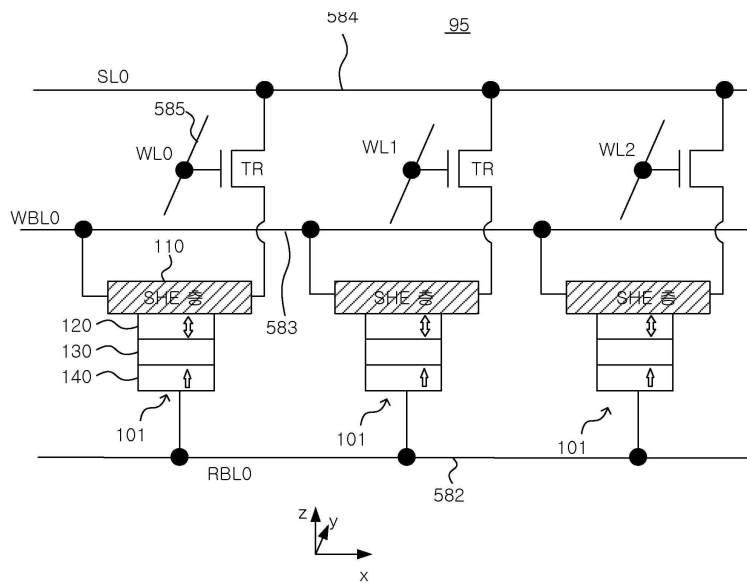
도면17



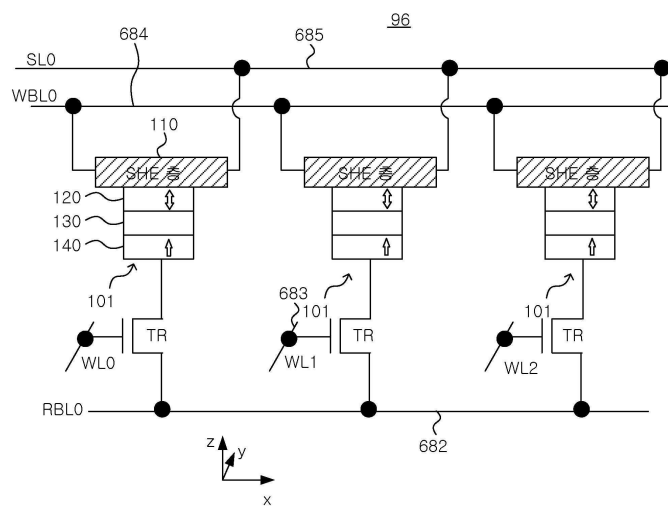
도면18



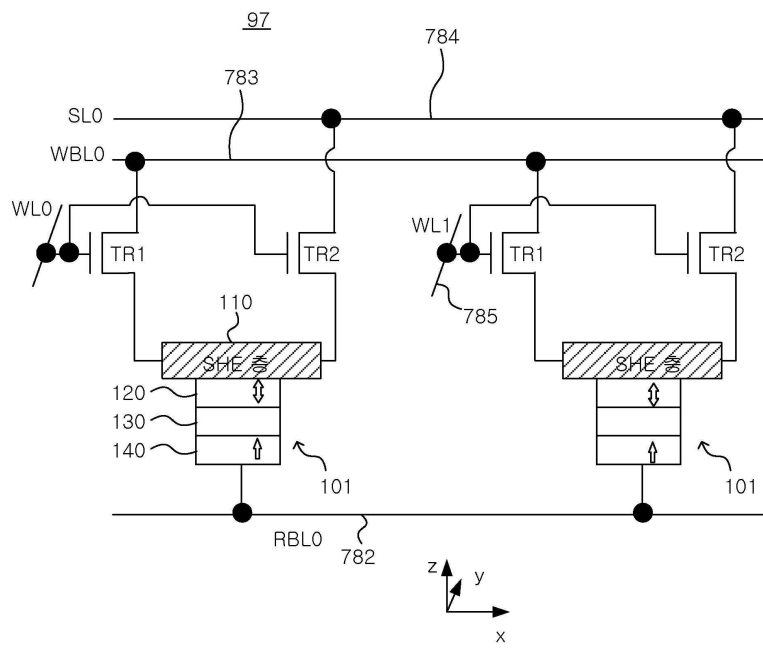
도면19



도면20



도면21



도면22

