(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0035001
(43) 공개일자 2010년04월02일

(51) Int. Cl.
G11B 5/00 (2006.01) *G11B 5/02* (2006.01)
G11B 5/09 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0094278
(22) 출원일자 2008년09월25일
심사청구일자 2008년09월25일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
(72) 발명자
유천열
인천 연수구 동춘동 동아APT 115-1001
이현우
경상북도 포항시 남구 지곡동 756번지 9동 1902호
이경진
서울특별시 성북구 종암동 삼성래미안아파트 104-1301
(74) 대리인
이평우

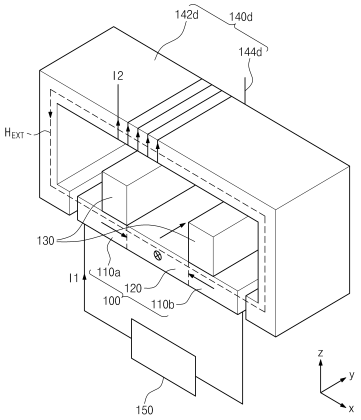
전체 청구항 수 : 총 29 항

(54) 자기 소자, 초고주파 발진기, 및 정보 기록 방법

(57) 요 약

본 발명은 자기 소자, 초고주파 발진기, 및 정보 기록 방법을 제공한다. 이 소자는 자벽을 포함하는 나노와이어, 나노와이어에 인접하게 배치되어 자벽을 고정시키는 자벽고정체, 나노와이어의 자벽을 회전시키는 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체, 및 나노와이어의 상기 자벽을 회전시키는 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로를 포함한다. 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류는 자벽을 회전시키고, 자기장 인가체는 전류인가회로의 스핀전달토크 전류를 감소시킨다.

대 표 도 - 도7d



특허청구의 범위

청구항 1

자벽을 포함하는 나노와이어;

상기 나노와이어에 인접하게 배치되어 상기 자벽을 고정시키는 자벽고정체;

상기 나노와이어의 상기 자벽을 회전시키는 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체; 및

상기 나노와이어의 상기 자벽을 회전시키는 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로를 포함하되,

상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류에 의하여 상기 자벽을 회전시키고, 상기 자기장 인가체는 전류인가회로의 상기 스핀전달토크 전류를 감소시키는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 자기장 인가체는 도선, 전자석 및 영구 자석 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 자기장 인가체는 자성 코어와 상기 자성 코어를 감는 코일을 포함하되,

상기 자성 코어와 상기 나노와이어는 자기회로를 구성하도록 배치되는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 자벽 고정체는 제1 자벽 고정체 및 제2 자벽 고정체를 포함하되,

상기 제1 자벽 고정체는 좌측 자구에 인접하게 배치되고, 상기 제2 자벽 고정체는 우측 자구에 인접하게 배치되고,

상기 제1 자벽 고정체는 제1 강자성층 및 제1 비자성층을 포함하고, 상기 제1 강자성층과 상기 나노와이어 사이에 제1 비자성층이 개재하고,

상기 제2 자벽 고정체는 제2 강자성층 및 제2 비자성층을 포함하고, 상기 제2 강자성층과 상기 나노와이어 사이에 제2 비자성층이 개재하고,

상기 제1 자벽 고정체 및 상기 제2 자벽 고정체는 층간 상호 교환 결합 작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 상기 좌측 자구와 상기 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽을 고정하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 제1 자벽 고정체와 상기 나노와이어 사이의 층간 상호 교환 결합 작용의 크기는 상기 제2 자벽 고정체와 상기 나노와이어 사이의 층간 상호 교환 결합 작용의 크기와 서로 다른 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 제1 자벽 고정체는 상기 제1 강자성층 상에 배치된 제1 반강자성층을 더 포함하고,

상기 제2 자벽 고정체는 상기 제2 강자성층 상에 배치된 제2 반강자성층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 7

제 4항에 있어서,

상기 제1 비자성층 및 제2 비자성층의 두께는 0.1 nm 내지 10 nm인 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 8

제 4항에 있어서,

상기 제1 비자성층 및 제2 비자성층은 Cr,Cu,Ru,Au 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 9

제 4항에 있어서,

상기 제1 비자성층과 제2 비자성층은 서로 연장되어 접촉하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 10

제 4항에 있어서,

상기 제1 강자성체 및 상기 제2 강자성체는 서로 분리되고 다른 물질인 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 11

제 4항에 있어서,

상기 제1 자벽 고정체와 상기 제2 자벽 고정체는 서로 1 nm 내지 50 nm의 간격을 유지하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 12

제 4항에 있어서,

상기 제1 강자성층의 자화 방향은 상기 좌측 자구의 자화 방향과 반평행하고,

상기 제2 강자성층의 자화 방향은 상기 우측 자구의 자화 방향과 반평행한 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 13

제 1항에 있어서,

상기 자벽 고정체는 상기 나노 와이어의 자벽의 좌측 자구 또는 우측 자구 에 인접하여 배치되고,

상기 자벽 고정체는 비자성층 및 강자성층을 포함하고, 상기 비강자성층은 상기 강자성층과 상기 나노와이어 사이에 개재되고,

상기 자벽 고정체는 층간 상호 교환 결합 작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 좌측 자구와 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽을 고정하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 자기장 인가체는 상기 나노 와이어의 연장 방향으로 평행 또는 반평행한 성분을 가지는 상기 외부 자기장을 인가하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 15

제 1항에 있어서,

상기 자벽 고정체는 제1 자벽 고정체 및 제2 자벽 고정체를 포함하되,

상기 제1 자벽 고정체는 좌측 자구에 인접하게 배치되고, 상기 제2 자벽 고정체는 우측 자구에 인접하게 배치되고,

상기 제1 자벽 고정체는 제1 강자성층을 포함하고,

상기 제2 자벽 고정체는 제2 강자성층을 포함하고,

상기 제1 자벽 고정체 및 상기 제2 자벽 고정체는 교환상호작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 상기 좌측 자구와 상기 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽을 고정하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 제1 강자성층과 상기 제2 강자성층은 서로 다른 물질인 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 제1 강자성층의 자화방향은 상기 좌측 자구의 자화방향과 일치하고, 상기 제2 강자성층의 자화방향은 상기 우측 자구의 자화방향과 일치하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 자벽에 인접하게 배치된 누설 자기장 감지 센서를 더 포함하되, 상기 누설 자기장 감지 센서는 상기 자벽의 회전에 의한 누설 자기장을 측정하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 19

제 19 항에 있어서,

상기 누설 자기장 감지 센서는 GMR 소자, TMR소자, AMR소자, 홀 소자, 및 도전성 루프 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 누설 자기장 감지 센서는 상기 자벽을 포함하도록 구성된 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 21

제 1 항에 있어서,

상기 나노와이어는 상기 자벽을 고정시키는 피닝 영역을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 피닝 영역에 상기 자벽이 배치되고, 상기 피닝 영역은 상기 나노와이어의 국부적인 기하학적 구조의 변형 및/또는 국부적인 물질 조성의 변형에 의하여 형성되는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 23

제 1항에 있어서,

상기 자벽고정체는 상기 나노 와이어의 주위에 배치되는 반강자성층을 포함하되,

상기 반강자성층은 교환 바이어스 작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 좌측 자구와 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하는 것을 특징으로 하는

자기 소자.

청구항 24

자벽 및 상기 자벽을 고정하는 피닝 영역을 포함하는 나노와이어;

상기 나노와이어의 상기 자벽에 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체; 및

상기 나노와이에 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로를 포함하되,

상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류에 의하여 상기 자벽을 회전시키는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

상기 피닝 영역에 상기 자벽이 배치되고, 상기 피닝 영역은 상기 나노와이어의 국부적인 기하학적 구조의 변형 및/또는 국부적인 물질 조성의 변형에 의하여 형성되는 것을 특징으로 하는 자기 소자.

청구항 26

자벽을 포함하는 나노와이어;

상기 나노와이어에 인접하게 배치되어 상기 자벽을 고정시키는 자벽고정체;

상기 나노와이어의 상기 자벽에 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체; 및

상기 나노와이에 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로; 및

상기 자벽의 회전에 의하여 발생한 누설 자기장을 측정하는 누설 자기장 감지 센서를 포함하되,

상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류에 의하여 상기 자벽을 회전시키고, 상기 자기장 인가체는 전류인가회로의 구동 전류를 감소시키는 것을 특징으로 하는 초고주파 발진기.

청구항 27

제 26항에 있어서,

상기 자벽의 회전에 의한 상기 누설 자기장의 주파수는 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달전류의 조합에 의하여 변경가능한 것을 특징으로 초고주파 발진기.

청구항 28

자벽을 포함하는 나노 와이어를 제공하는 단계;

상기 자벽을 고정하는 자벽 고정체를 제공하는 단계;

상기 나노 와이어에 스핀전달토크 전류 및 상기 자벽에 외부 자기장을 인가하는 단계;

상기 스핀 전달토크 전류 및 상기 외부 자기장에 의하여 상기 자벽이 회전하여 상기 자벽의 누설 자기장에 의하여 자성 기록 매체에 정보를 기록하는 단계를 포함하는 정보 기록 방법.

청구항 29

제 28 항에 있어서,

상기 스핀 전달 토크 전류 및/또는 상기 외부 자기장은 펄스 형태로 인가되고, 상기 스핀 전달 토크 전류 및 상기 외부 자기장은 상기 자벽을 회전시키기 위하여 보강 간섭 또는 상쇄 간섭하는 것을 특징으로 하는 정보 기록 방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 자기 소자에 관한 것으로, 더 구체적으로 누설 자기장 발생 장치 및 초고주파 발진기에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자성소자들의 소형화, 집적화가 진행됨에 따라 누설 자기장 발생 장치의 소형화가 하드디스크 기록 헤드 등의 분야에서 중요해 지고 있다. 특히 하드디스크의 기록 밀도의 증가함에 따라, 유도 코일(induction coil)에 의해서 발생되는 누설 자기장을 이용하는 방식의 기록헤드는 한계를 가진다. 기록밀도의 증가에 따라, 기록헤드에서 발생하는 자기장의 크기의 증가, 발생 자기장의 국소화, 및 기록 속도 증가 등이 요구된다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0003] 본 발명이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 스핀전달토크에 속박된 자벽의 회전에 요구되는 전류밀도를 감소시킨 자기 소자를 제공하는 것이다.

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 안정적이고 주파수 가변인 초고주파 발진기를 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 소형화된 정보 기록 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

[0006] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자는 자벽을 포함하는 나노와이어, 상기 나노와이어에 인접하게 배치되어 상기 자벽을 고정시키는 자벽고정체, 상기 나노와이어의 상기 자벽을 회전시키는 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체, 및 상기 나노와이어의 상기 자벽을 회전시키는 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로를 포함한다. 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류는 상기 자벽을 회전시키고, 상기 자기장 인가체는 전류인가회로의 상기 스핀전달토크 전류를 감소시킨다.

[0007] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자기장 인가체는 도선, 전자석 및 영구 자석 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자기장 인가체는 자성 코어와 상기 자성 코어를 감는 코일을 포함하되, 상기 자성 코어와 상기 나노와이어는 자기회로를 구성하도록 배치될 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자벽 고정체는 제1 자벽 고정체 및 제2 자벽 고정체를 포함하되, 상기 제1 자벽 고정체는 좌측 자구에 인접하게 배치되고, 상기 제2 자벽 고정체는 우측 자구에 인접하게 배치되고, 상기 제1 자벽 고정체는 제1 강자성층 및 제1 비자성층을 포함하고, 상기 제1 강자성층과 상기 나노와이어 사이에 제1 비자성층이 개재하고, 상기 제2 자벽 고정체는 제2 강자성층 및 제2 비자성층을 포함하고, 상기 제2 강자성층과 상기 나노와이어 사이에 제2 비자성층이 개재하고, 상기 제1 자벽 고정체 및 상기 제2 자벽 고정체는 층간 상호 교환 결합 작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 상기 좌측 자구와 상기 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽을 고정할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 자벽 고정체와 상기 나노와이어 사이의 층간 상호 교환 결합 작용의 크기는 상기 제2 자벽 고정체와 상기 나노와이어 사이의 층간 상호 교환 결합 작용의 크기와 서로 다를 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 자벽 고정체는 상기 제1 강자성층 상에 배치된 제1 반강자성층을 더 포함하고, 상기 제2 자벽 고정체는 상기 제2 강자성층 상에 배치된 제2 반강자성층을 더 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 비자성층 및 제2 비자성층의 두께는 0.1 nm 내지 10 nm일 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 비자성층 및 제2 비자성층은 Cr,Cu,Ru,Au 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 비자성층과 제2 비자성층은 서로 연장되어 접촉할 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 강자성체 및 상기 제2 강자성체는 서로 분리되고 다른 물질일 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 자벽 고정체와 상기 제2 자벽 고정체는 서로 1 nm 내지 50 nm의 간격을 유지할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 강자성층의 자화 방향은 상기 좌측 자구의 자화 방향과 반평행하고, 상기 제2 강자성층의 자화 방향은 상기 우측 자구의 자화 방향과 반평행할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자벽 고정체는 상기 나노 와이어의 자벽의 좌측 자구 또는 우측 자구 에 인접하여 배치되고, 상기 자벽 고정체는 비자성층 및 강자성층을 포함하고, 상기 비강자성층은 상기 강자성층과 상기 나노와이어 사이에 개재되고, 상기 자벽 고정체는 층간 상호 교환 결합 작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 좌측 자구와 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽을 고정할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자기장 인가체는 상기 나노 와이어의 연장 방향으로 평행 또는 반평행한 성분을 가지는 상기 외부 자기장을 인가할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자벽 고정체는 제1 자벽 고정체 및 제2 자벽 고정체를 포함하되, 상기 제1 자벽 고정체는 좌측 자구에 인접하게 배치되고, 상기 제2 자벽 고정체는 우측 자구에 인접하게 배치되고, 상기 제1 자벽 고정체는 제1 강자성층을 포함하고, 상기 제2 자벽 고정체는 제2 강자성층을 포함하고, 상기 제1 자벽 고정체 및 상기 제2 자벽 고정체는 교환상호작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 상기 좌측 자구와 상기 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽을 고정할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 강자성층과 상기 제2 강자성층은 서로 다른 물질일 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 강자성층의 자화방향은 상기 좌측 자구의 자화방향과 일치하고, 상기 제2 강자성층의 자화방향은 상기 우측 자구의 자화방향과 일치할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자벽에 인접하게 배치된 누설 자기장 감지 센서를 더 포함하되, 상기 누설 자기장 감지 센서는 상기 자벽의 회전에 의한 누설 자기장을 측정할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 누설 자기장 감지 센서는 GMR 소자, TMR소자, AMR소자, 홀 소자, 및 도전성 루프 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 누설 자기장 감지 센서는 상기 자벽을 포함하도록 구성될 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 나노와이어는 상기 자벽을 고정시키는 피닝 영역을 더 포함할 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 피닝 영역에 상기 자벽이 배치되고, 상기 피닝 영역은 상기 나노와이어의 국부적인 기하학적 구조의 변형 및/또는 국부적인 물질 조성의 변형에 의하여 형성될 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자벽고정체는 상기 나노 와이어의 주위에 배치되는 반강자성층을 포함하되, 상기 반강자성층은 교환 바이어스 작용을 이용하여 상기 나노와이어의 상기 자벽의 양측에 배치된 좌측 자구와 우측 자구의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자는 자벽 및 상기 자벽을 고정하는 피닝 영역을 포함하는 나노와이어, 상기 나노와이어의 상기 자벽에 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체, 및 상기 나노와이에 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로를 포함하되, 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류에 의하여 상기 자벽을 회전시킬 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 피닝 영역에 상기 자벽이 배치되고, 상기 피닝 영역은 상기 나노와이어의 국부적인 기하학적 구조의 변형 및/또는 국부적인 물질 조성의 변형에 의하여 형성될 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따른 초고주파 발진기는 자벽을 포함하는 나노와이어, 상기 나노와이어에 인접하게 배치되어 상기 자벽을 고정시키는 자벽고정체, 상기 나노와이어의 상기 자벽에 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체, 및 상기 나노와이에 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로, 및 상기 자벽의 회전에 의하여 발생한 누설 자기장을 측정하는 누설 자기장 감지 센서를 포함하되, 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류에 의하여 상기 자벽을 회전시키고, 상기 자기장 인가체는 전류인가회로의 구동 전류를 감소시킬 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 자벽의 회전에 의한 상기 누설 자기장의 주파수는 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달전류의 조합에 의하여 변경할 수 있다.

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 정보 기록 방법은 자벽을 포함하는 나노 와이어를 제공하는 단계, 상기 자벽을 고정하는 자벽 고정체를 제공하는 단계, 상기 나노 와이어에 스핀전달토크 전류 및 상기 자벽에 외부 자기장을 인가하는 단계, 상기 스핀 전달토크 전류 및 상기 외부 자기장에 의하여 상기 자벽이 회전하여 상기 자벽의 누설 자기장에 의하여 자성 기록 매체에 정보를 기록하는 단계를 포함한다.

[0034] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 스핀 전달 토크 전류 및/또는 상기 외부 자기장은 펄스 형태로 인가되고, 상기 스핀 전달 토크 전류 및 상기 외부 자기장은 상기 자벽을 회전시키기 위하여 보강 간섭 또는 상쇄 간섭할 수 있다.

효 과

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자는 외부 자기장과 스핀 전달토크 전류를 동시에 이용하여 소형이면서 자벽이 회전하는 자기 소자를 제공할 수 있다. 상기 자벽의 회전에 따른 누설자기장은 기록 헤드로 사용될 수 있으며, 상기 누설 자지기장을 감지하여 초고주파 발진기가 제공될 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0036] 강자성체 나노와이어에 형성된 자벽은 임계 전류 밀도 값 (J_W) 이상의 전류 또는 워커 브래이크다운(Walker breakdown) 이라고 알려진 임계 자기장의 값 (H_W) 보다 큰 자기장 하에서 회전 운동을 하며 이동할 수 있다. 이 경우, 상기 자벽을 공간적으로 구속시키면, 상기 자벽은 공간적으로 속박된 범위를 벗어나지 못하고 제자리에서 회전할 수 있다.

[0037] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기소자는 강자성체 나노와이어에 형성된 자벽을 공간적으로 구속시킨 상태에서 상기 나노와이어에 스핀전달토크 전류 및 외부 자기장을 인가하여 상기 자벽을 회전시킬 수 있다. 회전하는 상기 자벽은 누설자기장을 발생시킬 수 있다. 상기 누설 자기장은 자기 기록 소자 또는 발진기(oscillator) 등으로 이용될 수 있다.

[0038] 속박된 상기 자벽은 특정 외부 자기장의 값 (H_R) 및 특정 전류 밀도 값 (J_R) 이상에 제자리에서 회전 운동을 할 수 있다. 이때, 발생하는 누설 자기장의 크기와 방향은 회전하는 상기 자벽의 방향에 따라 바뀔 수 있다. 속박된 상기 자벽의 회전은 전류에 의한 스핀전달토크 현상에 의해서 계속 유지될 수 있다. 외부에서 인가한 외부 자기장은 전류에 의한 스핀전달토크 현상에 의한 자벽의 회전 속도를 증가시키거나 혹은 감소시키는 역할을 할 수 있다. 회전하는 상기 자벽에서 발생하는 누설 자기장은 스핀전달토크 전류 및 외부 자기장에 의해서 그 세기와 방향이 조절될 수 있다. 따라서, 상기 누설 자기장은 교류 누설 자기장의 소스로 사용이 가능하다. 회전하는 상기 자벽에서 발생하는 상기 누설 자기장은 하드디스크의 기록 헤드의 쓰기 자기장으로 사용 가능하다. 회전하는 상기 자벽에서 발생하는 누설자기장은 주변의 누설 자기장 센서에 의하여 상기 자벽의 회전에 해당하는 고주파의 교류 전류를 생성할 수 있다. 상기 누설 자기장 센서는 터널링 자기저항 (TMR: Tunneling Magnetoresistance), 거대자기저항 (GMR: Giant magnetoresistance), 홀 센서(Hall sensor), 이방성 자기저항 (AMR: anisotropic magnetoresistance), 누설 자기장에 의한 유도전류를 측정하기 위한 전도성 도선 등을 포함할 수 있다. 상기 자벽을 회전시키기 위한 외부 자기장은 별도의 직류 전류, 교류 전류를 이용하거나 혹은 영구자석을 이용하여 형성될 수 있다. 상기 스핀전달토크 전류에 의한 스핀전달토크 현상만으로 속박된 자벽을 회전시키기 위해서는 매우 높은 전류밀도가 요구된다. 상기 스핀전달토크 전류만으로 상기 자벽을 회전시키는 경우, 상기 나노와이어는 많은 열을 발생시킬 수 있다. 하지만, 전류에 의한 스핀전달토크 현상 및 외부 자기장을 이용할 경우, 상기 자벽을 회전시키기 위한 스핀전달토크의 전류밀도를 크게 낮출 수 있다. 또한, 스핀전달토크의 전류밀도 및 상기 외부 자기장의 세기를 변경하여, 상기 자벽의 회전 속도를 조절할 수 있다.
따라서, 가변 주파수의 발진기가 구현될 수 있다. 상기 자기소자는 스핀전달토크현상 및 외부 자기장에 의해서 수~수십 GHz 대역의 주파수를 발생시킬 수 있고, 상기 자기 소자는 높은 양호도(quality factor: Q) 값과 가변 주파수의 특성을 가질 수 있다.

[0039] 본 발명의 일 실시예에 따른 자벽의 회전을 이용한 자기 소자는 국소적으로 강한 자기장을 발생시킬 수 있으므로 하드 디스크 등의 기록 헤드로 사용이 가능하다. 이 자기 소자는 수 GHz 대역의 주파수의 누설 자기장을 발생시킬 수 있다. 또한, 상기 주파수가 외부 자기장 및 스핀전달토크 전류에 의존하므로, 발생하는 누설 자기장

을 이용한 2 차 자기저항 소자를 구현할 수 있다. 또한, 상기 자기 소자는 유도전류 현상을 이용할 경우 수 GHz 대역의 가변 주파수를 가지는 교류발생 장치로 사용될 수 있다.

[0040] 도 1 내지 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자의 동작 원리를 설명하는 도면들이다.

[0041] 도 1을 참조하면, 강자성체로 이루어진 나노와이어(100)는 서로 다른 두 방향의 자구 (magnetic domain)이 존재할 경우, 두 자구들의 경계면에 자벽(magnetic domain wall,120)이 형성된다. 상기 나노와이어(100)의 길이 방향은 x축 방향일 수 있다. 상기 나노와이어의 폭은 y축 방향으로 연장된 길이일 수 있다. 상기 나노와이어(100)의 두께는 z축 방향으로 연장된 길이일 수 있다. 상기 나노 와이어의 폭은 1 nm 내지 10 μm일 수 있다.

[0042] 상기 나노와이어는 좌측 자구(110a) 및 우측 자구(110b)를 포함하고, 상기 자구들(100a,110b) 사이에 상기 자벽(120)이 배치될 수 있다. 평형 상태에서, 상기 자벽(100)의 자화방향은 y축과 평행 또는 반평행할 수 있다. 상기 좌측 자구의 자화방향은 +x축일 수 있고, 상기 우측 좌구의 자화방향은 -x축 방향일 수 있다. 상기 자벽(120)의 자화방향은 상기 자구들(110a,110b)의 자화방향을 천천히 변화시키면서 변할 수 있다. 상기 자벽(120)의 자화방향은 상기 나노와이어(100)의 두께, 폭, 강자성 물질의 이방성 에너지, 강자성 물질의 포화 자화량, 외부 자기장 등에 의해서 결정될 수 있다.

[0043] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 나노와이어는 수직자기 이방성 에너지를 가지는 강자성체에 적용될 수 있다. 또한, 상기 자벽(120)은 닐(Neel), 블로크(Bloch), 또는 보텍스(vortex) 타입일 수 있다.

[0044] 도 2를 참조하면, 외부 자기장(H_{EXT})을 +x 방향으로 인가한 경우, 자벽(120)의 이동을 나타낸다. 외부 자기장(H_{EXT})이 +x 방향으로 인가되었을 경우, 지만(Zeeman) 에너지를 최소화도록, +x 방향의 자화 방향을 가지는 좌측 자구(110a)는 팽창하고, 반대 방향의 자화방향을 가지는 우측 자구(110b)는 축소될 수 있다. 이에 따라, 상기 자벽(120)은 우측으로 이동할 수 있다.

[0045] 도 3을 참조하면, 상기 나노와이어에 인가된 외부 자기장(H_{EXT})이 Walker breakdown 자기장 (H_w)라고 하는 임계값 보다 큰 값을 가지는 경우, 상기 자벽(120)은 +x축 방향으로 이동을 하면서 yz 평면에서에서 회전할 수 있다. 상기 회전각(ϕ)는 +y축과 상기 자벽(120)의 자화방향 사이의 각도이다. 상기 자벽의 회전 방향은 외부 자기장에 방향에 따라 변할 수 있다.

[0046] 한편, Walker breakdown 자기장 (H_w)라고 하는 임계값 보다 큰 값에 상응하는 큰 스핀전달토크 전류가 인가되는 경우, 상기 자벽(120)은 회전하면서 이동하는 현상을 보일 수 있다. 즉, 상기 나노와이어에 스핀전달토크 전류가 인가된 경우, 상기 자벽(120)은 +x축 방향으로 이동을 하면서 yz 평면에서에서 회전할 수 있다. 상기 자벽(120)의 회전 방향은 스핀전달토크 전류의 방향에 따라 변할 수 있다.

[0047] 도 4a 및 도 4b는 Walker breakdown 자기장(H_W)보다 큰 외부 자기장(H_{EXT}) 하에서 자벽의 시간에 따른 이동 및 회전을 나타내는 전산 모사의 결과를 나타내는 도면들이다. 자벽의 이동 속도의 변화는 외부 자기장이 작은 경우에 시간에 따라 변할 수 있다. 상기 외부 자기장이 큰 경우, 상기 자벽의 이동 속도는 일정할 수 있다.

[0048] 도 5a 및 도 5b는 Walker breakdown 자기장보다 큰 외부 자기장에서 해당하는 스핀전달토크 전류에 의하여 자벽의 시간에 따라 이동 및 회전을 나타내는 전산 모사의 결과를 나타내는 도면들이다. 시간에 따른 자벽의 이동 속도는 일정할 수 있다.

[0049] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자의 동작 영역을 설명하는 도면이다. x축은 스핀전달토크 전류밀도(J_{ST})를 나타내고, y축은 외부 자기장(H_{EXT})의 세기를 나타낸다. 제1 사분면은 3 영역으로 구분될 수 있다. 자벽이 회전하지 않는 비회전 영역(A1), 상기 자벽이 자벽 고정체에 의하여 고정되어 회전하는 회전 영역(A2), 상기 자벽이 회전하면서 이동하는 이동영역(A3)을 포함할 수 있다.

[0050] 스핀전달토크 전류밀도 및 외부 자기장에 의해 충분히 큰 에너지를 얻은 자벽은 회전하면서 이동할 수 있다. 이때, 상기 자벽을 움직일 수 없도록 공간적으로 속박하면, 상기 자벽은 속박된 범위 내에서 스핀전달토크 전류밀도(J) 및 외부 자기장(H)에 대해서 회전운동을 할 수 있다. 이때 회전하는 상기 자벽의 회전 각속도는 외부자기장(H)의 크기 및 스핀전달토크 전류밀도(J)의 크기 및 방향에 의존할 수 있다. 상기 자벽의 자화방향은 나노와이어의 단면 내에서 회전할 수 있다. 회전하는 상기 자벽에서 발생하는 누설자기장은 상기 자벽의 방향 및 상기 자벽의 상세 내부 구조에 의해서 그 크기와 방향이 변할 수 있다.

[0051] 회전 영역의 임의의 지점(J,H)에서, 상기 자벽은 외부 자기장 ($H_1<H_{ext}<H_2$) 범위에서 공간적으로 속박되어 있을

수 있다. H_1과 H_2는 상기 나노와이어의 기하학적, 물리적, 및 자기적 특성, 시스템의 온도, 및 상기 자벽을 속박하는 방법들에 의해서 결정될 수 있다. 상기 H_2 는 Walker Breakdown 자기장(H_W)보다 작을 수 있다. 속박된 상기 자벽이 제자리에서 회전 운동을 할 수 있는 최소 스핀전달토크 전류밀도(J_R) 및 외부 자기장의 크기(H_R)는 상기 자벽이 속박된 정도와 강자성 나노와이어의 특성 및 온도에 의해 결정될 수 있다. H_R 이상의 외부 자기장과 J_R 이상의 전류밀도에 의해 자벽은 회전운동을 할 수 있다.

[0052] 외부 자기장만에 의한 경우, 속박된 상기 자벽은 일정 시간이 지나면 더 이상 회전을 하지 않고 멈출 수 있다. 스핀전달토크 전류 밀도만에 의한 경우, 속박된 상기 자벽은 전류 밀도가 인가되는 동안 계속 회전할 수 있다. 상기 스핀전달토크 전류밀도와 상기 외부 자기장이 동시에 존재하면, 상기 자벽의 회전 속도, 위상 등은 스핀전달토크 전류밀도 및 외부 자기장의 함수로 주어질 수 있다. 상기 외부 자기장에 의한 상기 자벽의 회전 방향과 스핀전달토크 전류에 의한 상기 자벽의 회전 방향이 같으면, 두 효과는 상호 보강 간섭을 할 수 있다. 이에 따라, 상기 외부 자기장이 있는 경우, 상기 자벽의 회전에 필요한 스핀전달토크 전류는 상기 외부 자기장이 없는 경우의 상기 자벽의 회전에 필요한 스핀전달토크 전류보다 감소할 수 있다. 한편, 스핀전달토크 전류에 의한 상기 자벽의 회전 방향과 외부 자기장에 상기 자벽의 회전 방향이 서로 반대이면, 두 효과는 서로 방해하는 역할을 할 수 있어, 상기 자벽의 회전에 필요한 스핀전달토크 전류는 상기 외부 자기장이 없는 경우의 상기 자벽의 회전에 필요한 스핀전달토크 전류보다 증가할 수 있다.

[0053] 상기 자벽의 속박을 극복하는 외부 자기장(H_M)과 스핀전달토크 전류밀도(J_M) 이상이 되면, 상기 자벽은 속박을 극복하고 이동할 수 있다.

[0054] 외부 자기장의 인가 방식을 설명한다.

[0055] 도 7a은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자를 설명하는 사시도이다.

[0056] 상기 자기 소자는 자벽(120)을 포함하는 나노와이어(100), 상기 나노와이어(100)에 인접하게 배치되어 상기 자벽(120)을 고정시키는 자벽고정체(130), 상기 자벽(120)을 회전시키 위한 외부 자기장을 인가하는 자기장 인가체(140a), 및 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽을 회전시키기 위한 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로(150)를 포함한다. 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류는 상기 자벽(120)을 회전시키고, 상기 자기장 인가체(140a)는 상기 전류인가회로(150)의 상기 스핀전달토크 전류를 감소시킬 수 있다.

[0057] 상기 나노 와이어(100)는 강자성체이고, x축 방향으로 연장될 수 있다. 상기 나오 와이어(100)는 상기 자벽(120)을 포함할 수 있다. 상기 자벽(120)의 양측에는 서로 다른 자화방향을 가진 자구들(110a,110b)이 배치될 수 있다. 좌측 자구(110a) 상에 제1 자벽 고정체(130a)가 배치될 수 있고, 상기 우측 자구(110b) 상에 제2 자벽 고정체(130b)가 배치될 수 있다. 상기 전류인가회로(150)에 의하여 스핀전달토크 전류(I1)가 상기 나노 와이어(100)에 흐를 수 있다. 상기 전류인가회로(150)은 상기 나노와이어(100)의 양단 근처의 상부면 또는 하부면에서 전기적으로 연결될 수 있다.

[0058] 상기 자기장 인가체(140a)는 상기 자벽(120)을 회전시키는 외부 자기장을 인가할 수 있다. 상기 자기장 인가체(140a)는 영구 자석일 수 있다. 상기 자기장 인가체(140)은 상기 나노 와이어(100)의 길이 방향의 양단의 단면에 접할 수 있다. 이에 따라서, 상기 자기장 인가체(140a)와 상기 나노와이어(100)는 자로(magnetic path)를 형성할 수 있다.

[0059] 도 7b은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자기 소자를 설명하는 사시도이다.

[0060] 도 7a에서 설명한 부분과 중복되는 설명은 생략한다. 상기 자기장 인가체(140b)는 영구 자석일 수 있다. 상기 영구 자석은 상기 나노 와이어(100)의 양단 근처의 상부면에 배치될 수 있다. 이에 따라서, 상기 영구 자석과 상기 나노와이어는 자로(magnetic path)를 형성할 수 있다. 상기 전류인가회로(150)은 상기 나노와이어(100)와 상기 나노와이어(100)의 양단에서 전기적으로 연결될 수 있다.

[0061] 도 7c은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 소자를 설명하는 사시도이다.

[0062] 도 7a에서 설명한 부분과 중복되는 설명은 생략한다. 상기 자기장 인가체(140c)는 판형 도선일 수 있다. 상기 판형도선은 y축 방향으로 연장될 수 있다.상기 판형 도선에 -y축 방향으로 전류(I2)가 흐름에 따라, 외부 자기장(H_{EXT})이 생성될 수 있다. 상기 판형 도선의 전류(I2)은 상기 나노 와이어(100)의 상기 자벽(120)에 외부 자기장(H_{EXT})을 인가할 수 있다. 상기 판형 도선은 상기 나노 와이어(100)의 상부 및/또는 하부에 배치될 수 있다.

[0063] 도 7d은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 자기 소자를 설명하는 사시도이다.

[0064] 도 7a에서 설명한 부분과 중복되는 설명은 생략한다. 상기 자기장 인가체(140d)는 자성 코어(142d)와 상기 자성 코어(142d)를 감싸는 유도 코일(144d)을 포함할 수 있다. 상기 유도 코일(144d)에 전류(I2)가 인가됨에 따라 상기 자성 코어(140d)에 외부 자기장(H_{EXT})이 구속될 수 있다. 상기 자성 코어(142d)와 상기 나노와이어(100)는 자로(magnetic path)를 형성할 수 있다. 상기 유도 코일에 흐르는 전류(I2)는 직류, 교류, 펄스 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0065] 자벽의 속박하는 방식에 대하여 설명한다.

[0066] 도 8a 내지 도 8d는 본 발명의 실시예들에 따른 자벽을 속박하는 자벽 고정체를 설명하는 사시도들이다.

[0067] 도 8a를 참조하면, 자벽(120)을 포함하는 나노 와이어(100)는 x축 방향으로 연장될 수 있다. 상기 자벽 고정체(230)는 상기 자벽(120)의 우측 상부에 배치되는 반강자성층(antiferromagnetic material layer)을 포함할 수 있다. 상기 반강자성층은 교환 바이어스(exchange bias) 작용을 이용하여 상기 자벽을 속박할 수 있다. 상기 나노와이어(100)는 좌측 자구(110a), 우측 자구(110b) 및 상기 좌측 자구와 상기 우측 자구의 사이에 배치된 자벽(120)을 포함할 수 있다. 상기 자벽 고정체(230)는 상기 우측 자구(110b)와 직접 접촉하도록 배치될 수 있다.

[0068] 상기 자벽 고정체(230)는 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽(120)의 양측에 배치된 좌측 자구(110a)와 우측 자구(110b)의 보자력(coercive force)을 서로 다르게 할 수 있다. 예를 들어, 상기 반강자성층에 의한 교환 바이어스가 작용하여, 상기 우측 자구(110b)는 상기 좌측 자구(110a)보다 큰 보자력을 가질 수 있다. 외부 자기장(H_{EXT})이 +x축 방향으로 인가된 경우, 상기 좌측 자구(110a)와 우측 자구(110b)의 자화방향은 서로 반대로 형성될 수 있다. 또한, 상기 외부 자기장(H_{EXT}) 및 스핀전달토크 전류에 의하여 상기 자벽(120)은 제자리에서 회전할 수 있다.

[0069] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 자벽 고정체(230)는 상기 나노 와이어(100)의 상부, 하부, 또는 측면에 배치될 수 있다. 상기 나노와이어(100)의 상부, 혹은 하부에 반강자성(antiferromagnetic material)층을 상기 좌측 자구 또는 우측 자구에만 추가하여 소위 교환 바이어스 (exchange bias) 작용을 이용하여 상기 나노와이어의 좌측과 우측 부분의 보자력을 부분적으로 다르게 할 수 있다. 상기 자벽 고정체(230)는 서로 자화방향을 가진 두 개의 자구를 형성하고, 상기 자벽(120)을 속박할 수 있다.

[0070] 도 8b를 참조하면, 상기 자벽 고정체(330)는 제1 자벽 고정체(330a) 및 제2 자벽 고정체(330b)를 포함할 수 있다. 나노 와이어(100)는 자벽(120), 상기 자벽(120)의 좌측에 배치된 좌측 자구(110a), 상기 자벽(120)의 우측에 배치된 우측 자구(110b)를 포함할 수 있다.

[0071] 상기 제1 자벽 고정체(330a)는 상기 좌측 자구(110a) 상에 배치되고, 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 상기 우측 자구(110b) 상에 배치될 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a)는 제1 강자성층(334a) 및 제1 비자성층(334a)을 포함할 수 있다. 상기 제1 강자성층(334a)와 상기 나노와이어(100) 사이에 제1 비자성층(332a)이 개재할 수 있다. 상기 제1 강자성층(334a)과 제1 비자성층(332a)의 측면은 서로 정렬될 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a)와 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 서로 1 nm 내지 50 nm의 간격을 유지할 수 있다.

[0072] 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 제2 강자성층(334b) 및 제2 비자성층(332b)을 포함할 수 있다. 상기 제2 강자성층(334b)과 상기 나노와이어(100) 사이에 제2 비자성층(332b)이 개재할 수 있다. 상기 제2 강자성층(334b)과 제2 비자성층(332b)의 측면은 서로 정렬될 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체 및 제2 자벽 고정체는 층간 상호 교환 결합(interlayer exchange coupling) 작용에 의하여 상기 자벽(120)을 고정할 수 있다. 상기 제1 비자성층(332a) 및 제2 비자성층(332b)의 두께는 5 nm이하일 수 있다. 상기 제1 비자성층(334a) 및 제2 비자성층(334b)의 두께는 1nm가 바람직하다.

[0073] 상기 제1 자벽 고정체(330a)와 상기 나노와이어(100) 사이의 층간 상호 교환 결합 작용의 크기는 상기 제2 자벽 고정체(330b)와 상기 나노와이어(100) 사이의 층간 상호 교환 결합 작용의 크기와 서로 다를 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a)의 제1 강자성체층(334a)과 상기 제2 자벽 고정체(330b)의 제2 강자성체층(334b)은 서로 다른 물질일 수 있다. 상기 좌측 자구(110a)의 자화 방향과 상기 우측 자구(110b)의 자화방향은 서로 반대 방향일 수 있다. 상기 제1 강자성층(334a)의 자화방향은 상기 좌측 자구(110a)의 자화방향과 반평행하고, 상기 제2 강자성층(334b)의 자화방향은 상기 우측 자구(110b)의 자화방향과 반평행할 수 있다. 상기 제1 비자성층(332a) 및 제2 비자성층(332b)은 Cr,Cu,Ru,Au 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 제1 비자성층(332a)과 상기 제2

비자성층(332b)은 같은 물질일 수 있다.

[0074] 외부 자기장(H_{EXT})은 상기 나노와이어(100)의 + x축 방향 또는 -x 축 방향으로 인가될 있다. 상기 나노와이어(100)에 스핀 전달토크 전류가 인가될 수 있다. 이에 따라, 상기 자벽(120)은 속박되어 회전할 수 있다.

[0075] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 제1 자벽 고정체(330a)는 상기 제1 강자성층(334a) 상에 배치된 제1 반강자성층(미도시)을 더 포함할 수 있다. 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 상기 제2 강자성층(334b) 상에 배치된 제2 반강자성층(미도시)을 더 포함할 수 있다.

[0076] 도 8c를 참조하면, 상기 자벽 고정체(330)는 상기 나노 와이어(100)의 우측 자구(110b) 상에 배치될 수 있다. 상기 자벽 고정체(330)는 강자성층(334) 및 비자성층(332)을 포함할 수 있다. 상기 비자성층(332)은 상기 강자성층(334)과 상기 나노와이어(100) 사이에 개재될 수 있다. 상기 자벽 고정체(330)는 층간 상호 교환 결합 작용에 의하여 자벽(120)을 고정할 수 있다.

[0077] 상기 자기장 인가체(미도시)는 상기 나노 와이어의 +x 방향으로 외부 자기장(H_{EXT})을 인가하면, 상기 자벽(120)은 속박될 수 있다. 한편, 상기 자기장 인가체가 상기 나오와이어의 -x 방향으로 외부 자기장을 인가하면, -x 방향으로 상기 자벽(120)은 쉽게 이동할 수 있다. 상기 나노와이어(100)에 외부 자기장(H_{EXT}) 및 스핀전달 전류를 인가하면, 상기 자벽(120)은 속박되어 회전할 수 있다.

[0078] 본 발명의 변형될 실시예에 따르면, 상기 강자성층(334) 상에는 반자성층(미도시)이 배치될 수 있다.

[0079] 도 8d를 참조하면, 상기 자벽 고정체(430)는 제1 자벽 고정체(430a) 및 제2 자벽 고정체(430b)를 포함할 수 있다. 나노 와이어(100)는 자벽(120), 상기 자벽(120)의 우측에 배치된 우측 자구(110b), 상기 자벽(120)의 좌측에 배치된 좌측 자구(110a)을 포함할 수 있다. 상기 자벽 고정체(430)는 스프링 자석(spring magnet) 구조를 이용할 수 있다. 상기 좌측 자구(110a)과 우측 자구(110b) 상에 각기 다른 보자력을 가진 하드마그네틱층 (Hard Magnetic layer)을 형성하여, 상기 나노와이어(100)의 상기 좌측 자구(110a)와 상기 우측 자구(110b)가 서로 다른 보자력을 가지게 할 수 있다. 이에 따라, 상기 좌측 자구(110a)와 상기 우측 자구(110b)의 자화방향은 서로 반대로 형성될 수 있다. 상기 자벽 고정체(430)는 상기 자벽(120)을 속박할 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(430a)의 자화방향과 상기 좌측 자구(110a)의 자화방향은 같은 방향일 수 있다. 상기 제2 자벽 고정체(430b)의 자화방향과 상기 우측 자구(110b)의 자화방향은 같은 방향일 수 있다.

[0080] 도 8e를 참조하면, 자벽 고정하는 수단은 나노와이어(100)에 포함되도록 구성될 수 있다.

[0081] 자기 소자는 자벽(120) 및 상기 자벽(120)을 고정하는 피닝 영역(102)을 포함하는 나노와이어(100), 상기 자벽(120)에 외부 자기장(H_{EXT})을 인가하는 자기장 인가체(240d), 및 상기 나노와이어(100)에 스핀전달토크 전류(I1)를 인가하는 전류인가회로(150)를 포함할 수 있다. 상기 외부 자기장(H_{EXT}) 및 상기 스핀전달토크 전류(I1)에 의하여 상기 자벽(120)을 회전시킬 수 있다.

[0082] 상기 피닝 영역(102)에 상기 자벽(120)이 배치되고, 상기 피닝 영역(102)은 상기 나노와이어의 국부적인 기하학적 구조의 변형 및/또는 국부적인 물질 조성의 변형에 의하여 형성될 수 있다. 상기 자벽(120)의 속박 정도는 상기 피닝 영역(102)의 기하학적 구조 및 상기 나노와이어(100)를 이루는 강자성체의 포화자화량, 이방성 에너지 등의 물성에 의해서 결정될 수 있다. 구체적으로, 상기 피닝 영역(102)의 두께는 다른 영역의 두께보다 작을 수 있다.

[0083] 상기 자기장 인가체(240d)는 자성코어(242d)와 상기 자성 코어(242d)를 감싸는 유도코일(244d)을 포함할 수 있다. 상기 자성 코어(242d)와 상기 나노와이어(100)는 폐루프(closed loop)를 형성할 수 있다. 상기 자성 코어(242d)와 상기 나노와이어(100)는 자기회로(magnetic circuit)를 구성할 수 있다. 상기 자성 코어(242d)의 일단은 상기 나노와이어(100)의 좌측 상부면과 접촉할 수 있다. 상기 자성코어(242d)의 타단은 상기 나노와이어(100)의 우측 상부면과 접촉할 수 있다.

[0084] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 자기 소자는 상기 자벽을 고정시키기 위하여 추가적으로 자벽 고정체(미도시)를 더 포함할 수 있다. 상기 자벽 고정체는 도 8a 내지 도 8d에서 설명하였다.

[0085] 도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 실시예들에 따른 초고주파 발진기를 설명하는 도면들이다.

[0086] 도 9a 내지 도 9d를 참조하면, 상기 초고주파 발진기는 자벽을 포함하는 나노와이어(100), 상기 나노와이어(100)에 인접하게 배치되어 상기 자벽(120)을 고정시키는 자벽고정체(130), 상기 나노와이어(100)의

상기 자벽(120)을 회전시키기 위한 외부 자기장(H_{EXT})을 인가하는 자기장 인가체(미도시), 및 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽(120)을 회전시키는 스핀전달토크 전류를 인가하는 전류인가회로(미도시)를 포함한다. 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달토크 전류에 의하여 상기 자벽을 회전시키고, 상기 자기장 인가체는 전류인가회로의 상기 스핀 전달토크 전류를 감소시킬 수 있다. 상기 자벽(120)의 회전에 의한 상기 누설 자기장의 주파수는 상기 외부 자기장 및 상기 스핀전달전류의 조합에 의하여 변경할 수 있다.

[0087] 상기 초고주파 발진기는 상기 자벽(120)에 인접하게 배치된 누설 자기장 감지 센서(260)를 포함한다. 상기 누설 자기장 감지 센서(260)는 상기 자벽(120)의 회전에 의한 누설 자기장을 측정할 수 있다. 상기 누설 자기장 감지 센서(260)는 GMR 센서(giant magnetoresistance sensor), TMR 센서(tunneling magnetoresistance sensor), AMR 센서(anisotropic magnetoresistance sensor), 홀 소자(Hall sensor), 및 도전성 루프(conductive loop) 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 누설 자기장 감지 센서(260)는 상기 자벽(120)을 포함하도록 구성될 수 있다.

[0088] GMR, TMR, AMR 등의 누설 자기장 감지 센서(260)의 경우, 회전하는 상기 자벽(120)에서 발생하는 누설 자기장에 의해 상기 누설 자기장 감지 센서(260)의 저항값이 바뀔 수 있다. 상기 누설 자기장 감지 센서(260)에 정전압을 인가한 경우, 상기 센서에 흐르는 전류는 교류성분을 포함할 수 있다. 또한, 홀 센서(Hall sensor) 의 경우, 상기 누설 자기장에 대해서 홀(Hall) 효과의 크기가 변할 수 있다. 또한 시간에 따라 변하는 누설 자기장에 의한 유도전류를 도전성 루프를 이용해서 측정하면, 상기 자기 소자는 교류발생 장치로 사용될 수 있다. 또한 누설 자기장 감지 센서의 출력은 정류장치의 입력되어 직류로 변경될 수 있다.

[0089] 도 9a를 참조하면, GMR 소자(260)는 고정 자화층(266)/도전층(264)/자유 자화층(120) 구조를 포함할 수 있다. 상기 자유 자화층(120)은 상기 나노와이어의 상기 자벽(120)에 해당할 수 있다. 상기 고정 자화층(266)은 강자성체층일 수 있다. 상기 GMR 소자는 제1 전극/고정 자화층/도전층/자유 자화층/제2 전극 구조를 포함할 수 있다. 상기 제1 전극(268)과 상기 제2 전극(262)은 전류/전압 검출 회로에 연결될 수 있다. 상기 제1 전극(268) 및 상기 제2 전극(262)은 상기 나노 와이어(100)를 가로지르도록 연장될 수 있다. 상기 자유 자화층 또는 상기 자벽의 자화 방향의 변화에 따라, 상기 제1 전극(268) 및 상기 제2 전극(262) 사이의 저항 변화가 감지될 수 있다.

[0090] 상기 자벽 고정체(130)는 제1 자벽 고정체(130a) 및 제2 자벽 고정체(130b)를 포함할 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(130a)는 상기 좌측 자구(110a) 상에 배치되고, 상기 제2 자벽 고정체(130b)는 상기 우측 자구(110b) 상에 배치될 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(130a)는 제1 강자성층(134a) 및 제1 비자성층(132a)을 포함할 수 있다. 상기 제1 강자성층(134a)과 상기 나노와이어(100) 사이에 제1 비자성층(132a)이 개재할 수 있다.

[0091] 상기 제2 자벽 고정체(130b)는 제2 강자성층(134b) 및 제2 비자성층(132b)을 포함할 수 있다. 상기 제2 강자성층(134b)과 상기 나노와이어(100) 사이에 제2 비자성층(132b)이 개재할 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(130a) 및 상기 제2 자벽 고정체(130b)는 층간 상호 교환 결합 작용을 이용하여 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽(120)의 양측에 배치된 좌측 자구(110a)와 우측 자구(110b)의 보자력을 서로 다르게 할 수 있다. 이에 따라, 상기 제1 자벽 고정체(130a) 및 상기 제2 자벽 고정체(130b)는 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽(120)을 고정할 수 있다.

[0092] 상기 제1 비자성층(132a), 상기 제2 비자성층(132b) 및 상기 도전층(264)은 같은 도전성 물질일 수 있고, 서로 연장되어 접촉할 수 있다.

[0093] 도 9b를 참조하면, TMR 소자는 고정 자화층(366)/터널 절연층(364)/자유 자화층(120) 구조를 포함할 수 있다. 상기 자유 자화층(120)은 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽(120)에 해당할 수 있다. 상기 고정 자화층(366)은 강자성체층일 수 있다. 상기 TMR 소자는 제1 전극(368)/고정 자화층(366)/터널절연층(364)/자유 자화층(120)/제2 전극(362) 구조를 포함할 수 있다. 상기 제1 전극(368)과 상기 제2 전극(362)은 전류/전압 검출 회로에 연결될 수 있다. 상기 제1 전극(368) 및 상기 제2 전극(362)은 상기 나노 와이어를 가로지르도록 연장될 수 있다.

[0094] 상기 자벽 고정체(330)는 제1 자벽 고정체(330a) 및 제2 자벽 고정체(330b)를 포함할 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a)는 좌측 자구(110a) 상에 배치될 수 있다. 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 우측 자구(110b) 상에 배치될 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a)는 제1 강자성층(334a) 및 제1 비자성층(332a)을 포함할 수 있다. 상기 제1 강자성층(334a)과 상기 나노와이어(100) 사이에 제1 비자성층(332a)이 개재할 수 있다. 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 제2 강자성층(334b) 및 제2 비자성층(332a)을 포함할 수 있다. 상기 제2 강자성층(334b)과

상기 나노와이어(100) 사이에 제2 비자성층(332b)이 개재할 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a) 및 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 층간 상호 교환 결합 작용을 이용하여 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽의 양측에 배치된 좌측 자구(110a)와 우측 자구(110b)의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽(120)을 고정할 수 있다.

[0095] 상기 제1 비자성층(332a)은 상기 제1 강자성층(334a)과 정렬될 수 있다. 상기 제2 비자성층(332b)은 상기 제2 강자성층(334b)과 정렬될 수 있다. 상기 제1 비자성층(332a) 및 상기 제2 비자성층(332b)은 도선성 물질일 수 있다. 상기 터널 절연층(364)은 고정 자화층(366)과 정렬될 수 있다.

[0096] 도 9c를 참조하면, 누설 자기장 감지 센서(460)는 상기 나노와이어(100)의 자벽(120)에 인접하게 배치될 수 있다. 상기 누설 자기장 감지 센서(460)는 저항 소자(462), 제1 전극(464) 및 제2 전극(466)을 포함할 수 있다. 상기 저항 소자는 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽(100)과 직접 접촉하거나 간접적으로 접촉할 수 있다.

[0097] 상기 자벽 고정체(330)는 제1 자벽 고정체(330a) 및 제2 자벽 고정체(330b)를 포함할 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a)는 좌측 자구(110a) 상에 배치될 수 있다. 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 우측 자구(110b) 상에 배치될 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a)는 제1 강자성층(334a) 및 제1 비자성층(332a)을 포함하고, 상기 제1 강자성층(334a)과 상기 나노와이어(100) 사이에 제1 비자성층(332a)이 개재할 수 있다.

[0098] 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 제2 강자성층(334b) 및 제2 비자성층(332b)을 포함 할 수 있다. 상기 제2 강자성층(334b)과 상기 나노와이어(100) 사이에 제2 비자성층(332b)이 개재할 수 있다. 상기 제1 자벽 고정체(330a) 및 상기 제2 자벽 고정체(330b)는 층간 상호 교환 결합 작용을 이용하여 상기 나노와이어(100)의 상기 자벽의 양측에 배치된 좌측 자구(110a)와 우측 자구(110b)의 보자력을 서로 다르게 하여, 서로 다른 자화방향을 가진 자구들을 형성하여 상기 자벽(120)을 고정할 수 있다.

[0099] 상기 제1 비자성층(332a)은 상기 제1 강자성층(3324a)과 정렬될 수 있다. 상기 제2 비자성층(332b)은 상기 제2 강자성층(334b)과 정렬될 수 있다.

[0100] 도 9d를 참조하면, 누설 자기장 감지 센서(560)는 상기 나노와이어(100)의 자벽(120)에 인접하게 배치될 수 있다. 상기 누설 자기장 감지 센서(560)는 도전성 루프일 수 있다. 상기 도전성 루프는 상기 자벽(120)의 회전에 따른 자속의 변화를 감지할 수 있다. 상기 도전성 루프는 상기 나노 와이어(100)의 하부 또는 상부에 배치될 수 있다.

[0101] 상기 자벽 고정체(430)는 제1 자벽 고정체(430a) 및 제2 자벽 고정체(430b)를 포함할 수 있다. 나노 와이어는 자벽(120), 상기 자벽의 우측에 배치된 우측 자구(110a), 상기 자벽의 좌측에 배치된 좌측 자구(110b)을 포함할 수 있다. 상기 자벽 고정체(430)는 스프링 자석(spring magnet) 구조를 이용할 수 있다. 상기 좌측자구과 우측 자구 상에 각기 다른 보자력을 가진 하드마그네틱층 (Hard Magnetic layer)을 형성하여 상기 나노와이어(100)의 상기 좌측 자구(110a)와 상기 우측 자구(110b)가 서로 다른 보자력을 가지게 할 수 있다. 이에 따라, 상기 좌측 자구(110a)와 상기 우측 자구(110b)의 자화방향은 서로 반대로 형성될 수 있다. 상기 자벽 고정체(130)는 상기 자벽(120)을 속박할 수 있다. 상기 좌측 자구(110a_)의 자화 방향과 상기 제1 자벽 고정체(430a)의 자화 방향은 같은 방향일 수 있다.

[0102] 본 발명의 실시예들에 따른 상기 자기 소자의 동작 방법을 설명한다.

[0103] 도 10a 를 참조하면, 정보 기록 방법은 자벽(120)도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 실시예들에 따른 상기 자기 소자의 동작 방법을 설명하는 도면들이다.

[0104] 자벽을 포함하는 나노 와이어(100)를 제공하는 단계, 상기 자벽(120)을 고정하는 자벽 고정체(130)를 제공하는 단계, 상기 나노 와이어(100)에 스핀전달토크 전류(I1) 및 상기 자벽(120)에 외부 자기장(H_{EXT})을 인가하는 단계, 상기 스핀 전달토크 전류(I1) 및 상기 외부 자기장(H_{EXT})에 의하여 상기 자벽(120)이 회전하여 상기 자벽(120)의 누설 자기장에 의하여 자성 기록 매체(170)에 정보를 기록하는 단계를 포함한다.

[0105] 상기 나노 와이어(100)는 강자성체를 패터닝하여 형성할 수 있다. 상기 자벽 고정체(130)는 제1 자벽 고정체(130a) 및 제2 자벽 고정체(130b)를 포함할 수 있다. 상기 나노 와이어(100)는 상기 자벽(120), 상기 자벽의 좌측에 배치된 좌측 자구(110a), 상기 자벽의 우측에 배치된 우측 자구(110b)를 포함할 수 있다. 상기 자벽 고정체(130)는 스프링 자석(spring magnet) 구조를 이용한 방식으로 상기 좌측 자구와 우측 자구 상에 각기 다른 보자력을 가진 하드마그네틱층(Hard Magnetic layer)을 형성하여 상기 나노와이어의 상기 좌측 자구와 상

기 우측 자구가 서로 다른 보자력을 가지게 할 수 있다. 이에 따라, 상기 좌측 자구와 상기 우측 자구의 자화 방향은 서로 반대로 형성될 수 있다. 상기 자벽 고정체는 상기 자벽을 속박할 수 있다.

[0106] 상기 전류인가회로는 상기 나노 와이어에 연결되어 스핀전달토크 전류(I1)를 인가할 수 있다. 또한, 상기 자벽(120)에 외부 자기장(H_{EXT})을 인가하는 것은 판형 도선에 전류(I2)를 흘려 외부 자기장(H_{EXT})을 형성하여 수행할 수 있다.

[0107] 자성 기록 매체(170)는 하드 디스크일 수 있다. 상기 자성 기록 매체(170)는 상기 나노와이어(100)에 상대적으로 움직일 수 있다. 상기 자성 기록 매체(170)는 정보 기록 영역(174a,174b)과 지지층(172)을 포함할 수 있다. 상기 스핀 전달토크 전류(I1) 및 상기 외부 자기장(H_{EXT})에 의하여 상기 자벽(120)이 회전하여 상기 자벽(120)의 누설 자기장에 의하여 자성 기록 매체(170)에 정보를 기록할 수 있다.

[0108] 상기 스핀 전달토크 전류(I1) 및/또는 상기 외부 자기장(H_{EXT})은 펄스 형태로 인가될 수 있다. 상기 스핀전달토크 전류(I1) 및 상기 외부 자기장(H_{EXT})은 상기 자벽(120)을 회전시키기 위하여 보강 간섭 또는 상쇄 간섭할 수 있다.

[0109] 하드 디스크의 기록 헤드로 사용할 경우에는 외부 자기장(H_{EXT}) 및 스핀전달 토크 전류(I1)를 조절하여 상기 누설 자기장의 방향과 크기를 수 GHz의 속도로 조절할 수 있다. 상기 누설 자기장은 수 십 nm 정도의 국소적 공간에만 존재하므로, 기존의 기록 헤드에 비해 장점을 가지고 있다. 또한, 수 GHz 정도의 교류 누설 자기장이 존재할 경우, 보자력보다 작은 누설 자기장에 의해서도 상기 자성 기록 매체의 자화역전(Magnetization Switching)이 일어날 수 있다. 자기 소자는 단독으로 기록 헤드로 사용되거나 기록 헤드의 보조적인 역할을 할 수 있다.

[0110] 도 10b를 참조하면, 상기 스핀전달토크 전류(I1)는 펄스로 인가될 수 있다. 또한, 상기 스핀전달토크 전류(I1)는 이진 정보에 따라 두 방향을 가질 수 있다. v펄스 형태의 외부 자기장(H_{EXT})와 상기 스핀전달토크 전류(I1)는 자벽을 회전시키도록 보강 간섭할 수 있다.

[0111] 도 10c를 참조하면, 상기 스핀전달토크 전류(I1)는 펄스로 인가될 수 있다. 또한, 상기 스핀전달토크 전류(I1)는 이진 정보에 따라 두 방향을 가질 수 있다. 다만, 양의 방향의 세기와 음의 방향의 세기는 서로 다를 수 있다. 상기 양의 방향의 세기는 상기 음의 방향의 세기보다 클 수 있다. 외부 자기장(H_{EXT})은 상기 스핀전달토크 전류(I1)와 상세 간섭 또는 보강 간섭할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0112] 도 1 내지 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자의 동작 원리를 설명하는 도면들이다.

[0113] 도 4a 및 도 4b는 Walker breakdown 자기장(H_W)보다 큰 외부 자기장(H_{EXT}) 하에서 자벽의 시간에 따른 이동 및 회전을 나타내는 전산 모사의 결과를 나타내는 도면들이다.

[0114] 도 5a 및 도 5b는 Walker breakdown 자기장보다 큰 외부 자기장에서 해당하는 스핀전달토크 전류에 의하여 자벽의 시간에 따라 이동 및 회전을 나타내는 전산 모사의 결과를 나타내는 도면들이다.

[0115] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 소자의 동작 영역을 설명하는 도면이다.

[0116] 도 7a 내지 7d은 본 발명의 실시예들에 따른 자기 소자를 설명하는 사시도들이다.

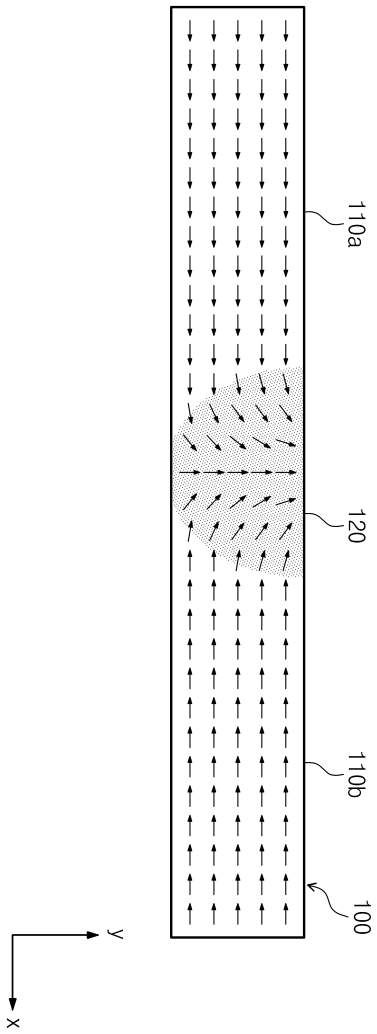
[0117] 도 8a 내지 도 8d는 본 발명의 실시예들에 따른 자벽을 속박하는 자벽 고정체를 설명하는 사시도들이다.

[0118] 도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 실시예들에 따른 초고주파 발진기를 설명하는 도면들이다.

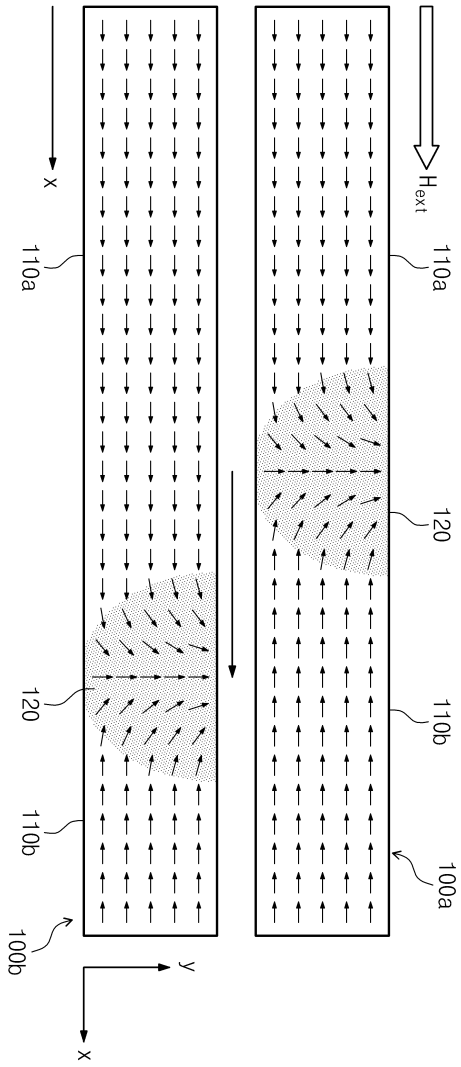
[0119] 도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 실시예들에 따른 상기 자기 소자의 동작 방법을 설명하는 도면들이다.

도면

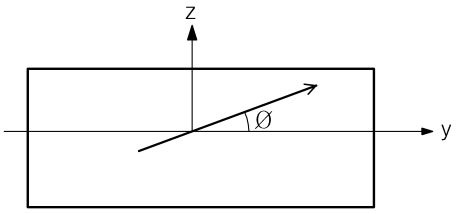
도면1



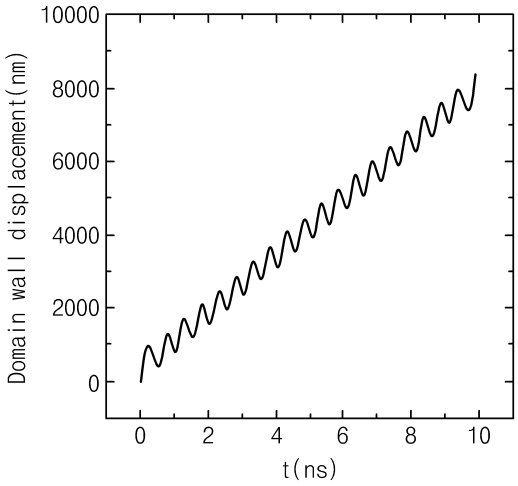
도면2



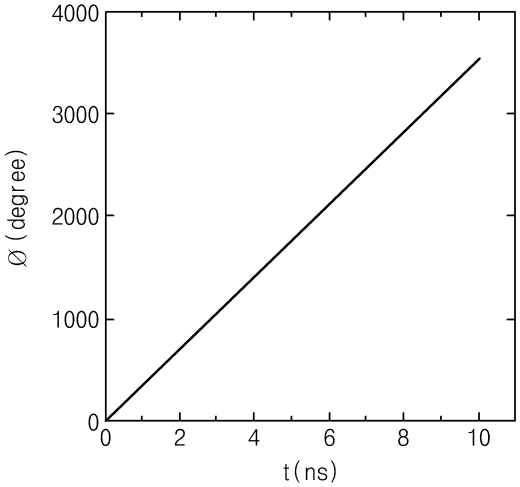
도면3



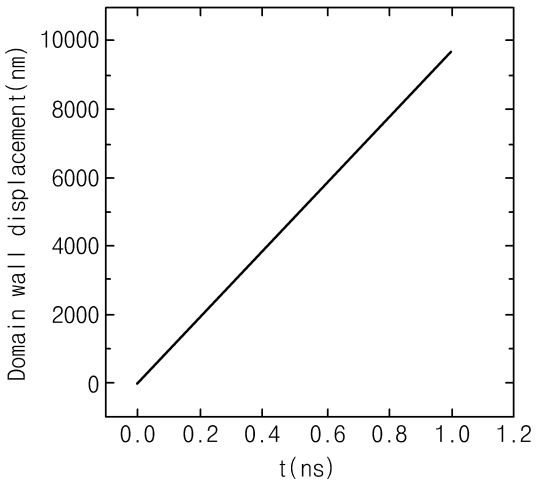
도면4a



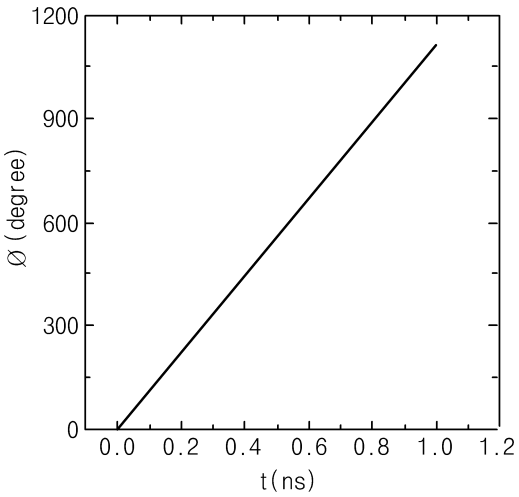
도면4b



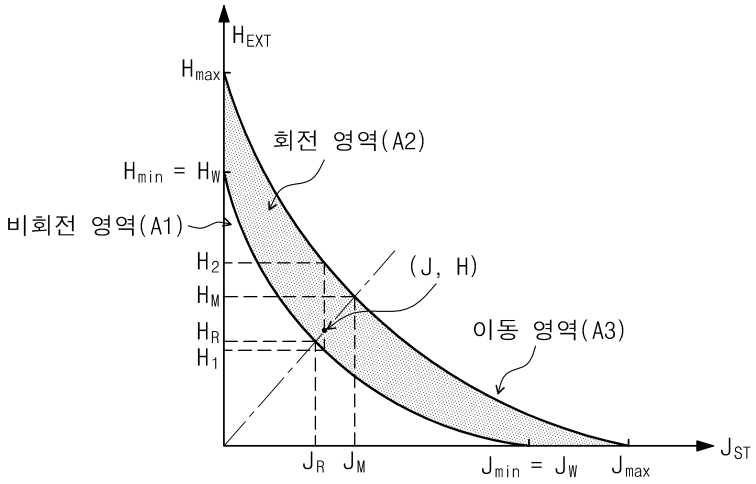
도면5a



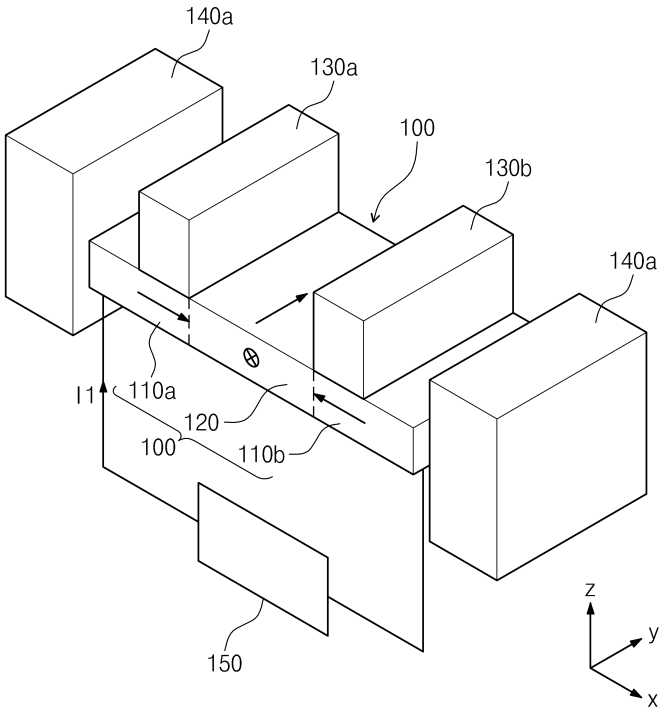
도면5b


1200
900
600
300
0
Ø (degree)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
t(ns)

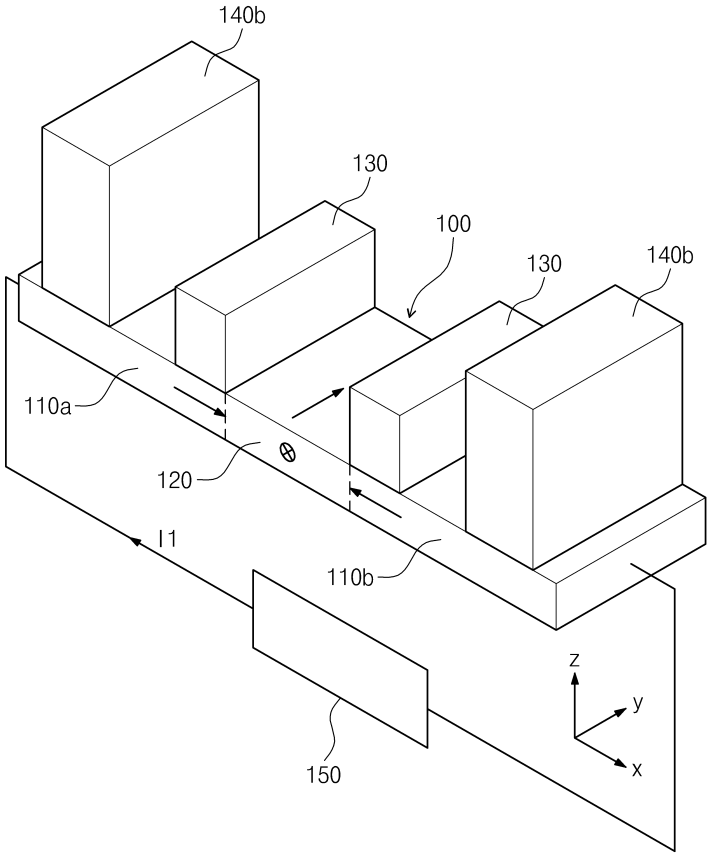
도면6


HEXT
Hmax
회전 영역(A2)
Hmin = HW
비회전 영역(A1)
H2
HM
HR
H1
(J, H)
이동 영역(A3)
JST
JR
JM
Jmin = JW
Jmax

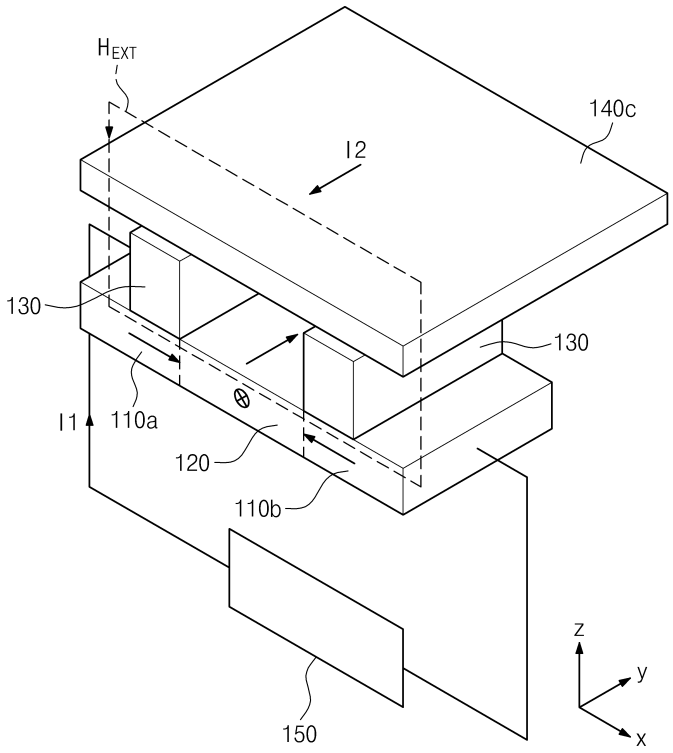
도면7a


140a
130a
100
130b
140a
I1
110a
120
100
110b
150
z
y
x

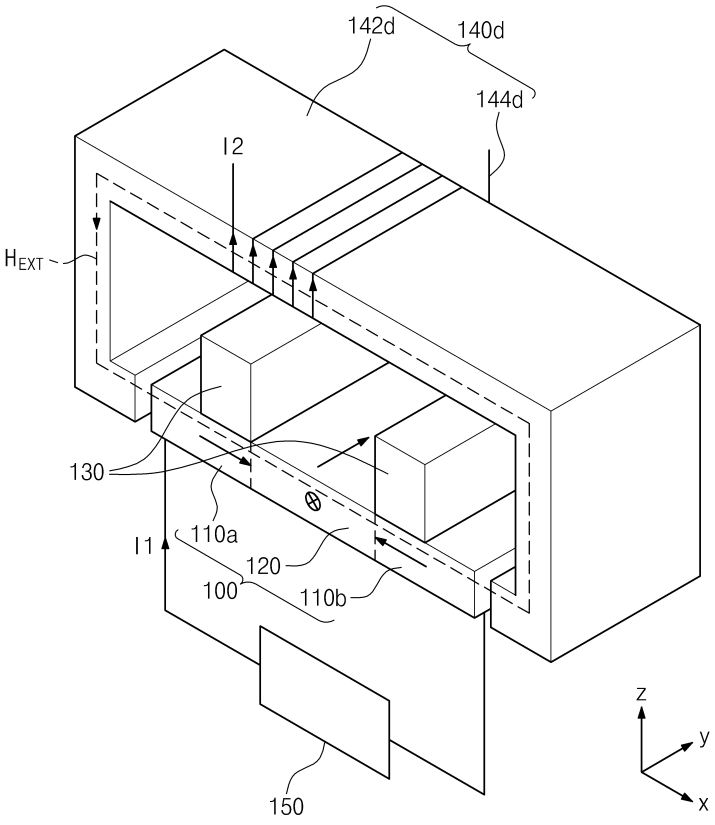
도면7b


140b
130
100
130
140b
110a
120
I1
110b
150
z
y
x

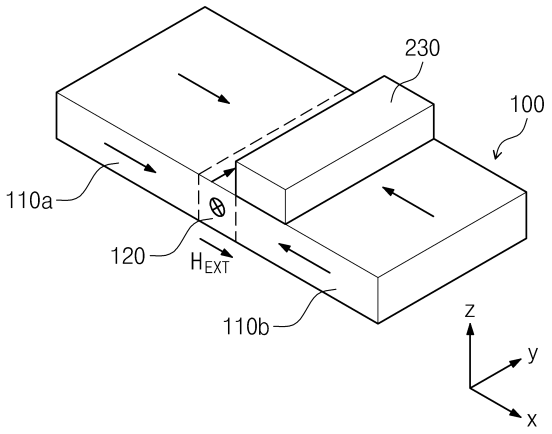
도면7c


H_{EXT}
140c
I2
130
130
I1
110a
120
110b
150
z
y
x

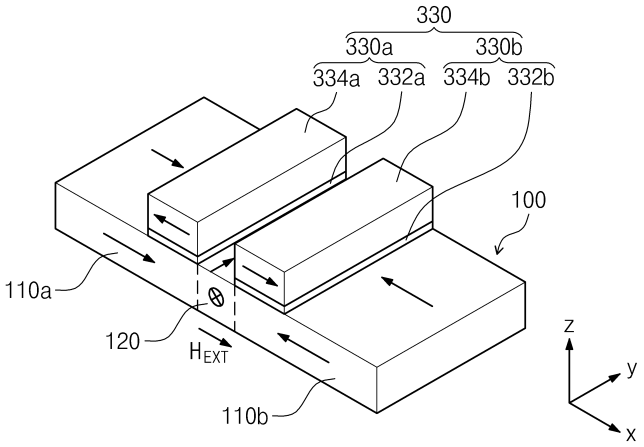
도면7d


142d
140d
144d
I2
H_{EXT}
130
I1
110a
120
100
110b
150
z
y
x

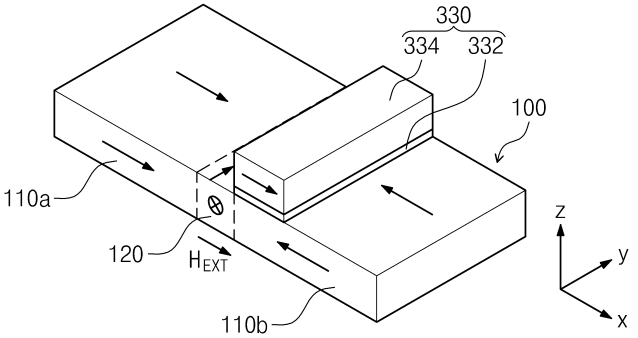
도면8a



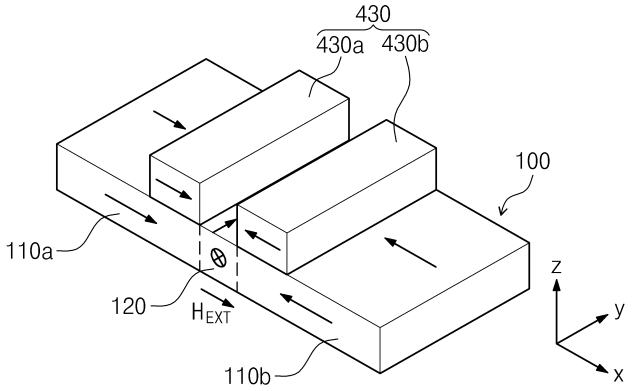
도면8b



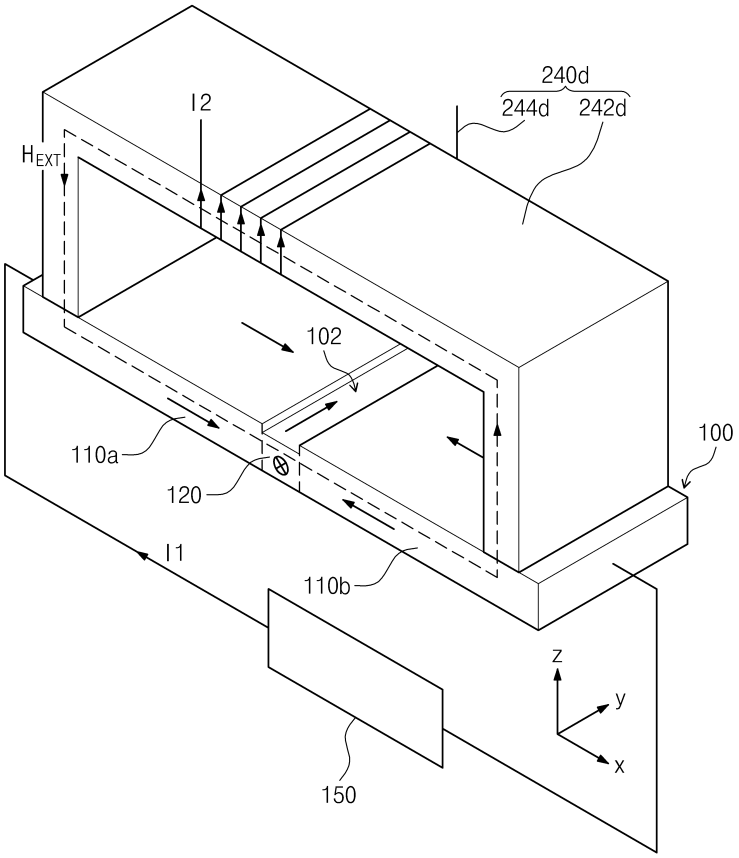
도면8c



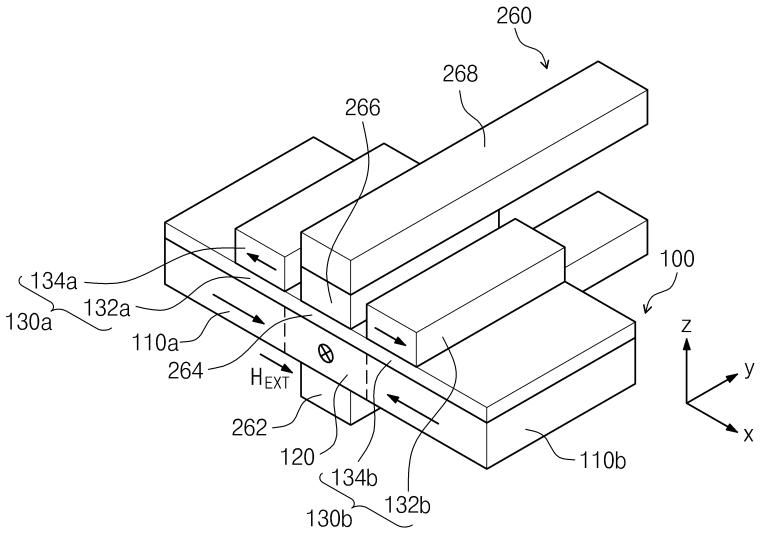
도면8d


430
430a
430b
100
110a
120
H_{EXT}
110b
z
y
x

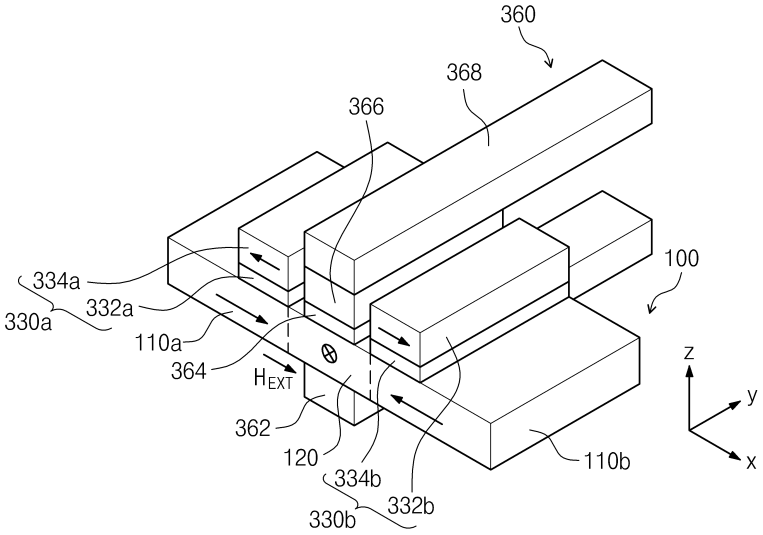
도면8e


240d
244d
242d
I2
H_{EXT}
102
100
110a
120
I1
110b
150
z
y
x

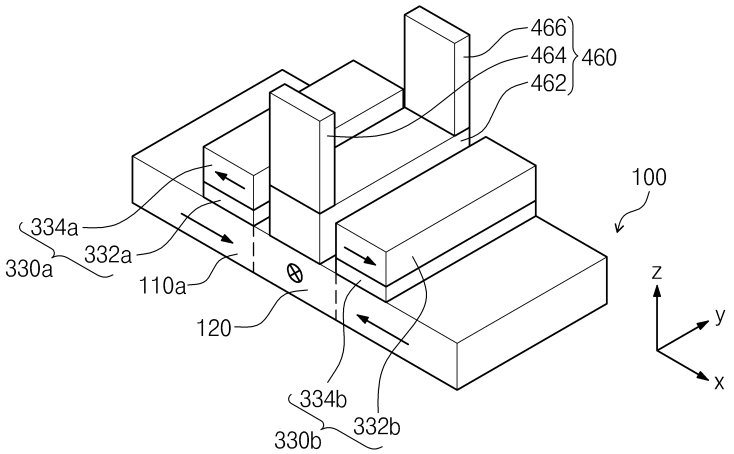
도면9a


260
268
266
100
134a
132a
130a
110a
264
H_{EXT}
262
120
134b
132b
130b
110b
z
y
x

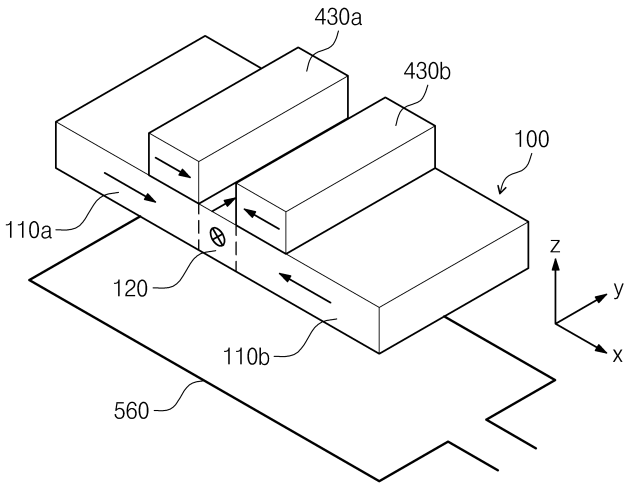
도면9b


360
368
366
100
334a
332a
330a
110a
364
H_{EXT}
362
120
334b
332b
330b
110b
z
y
x

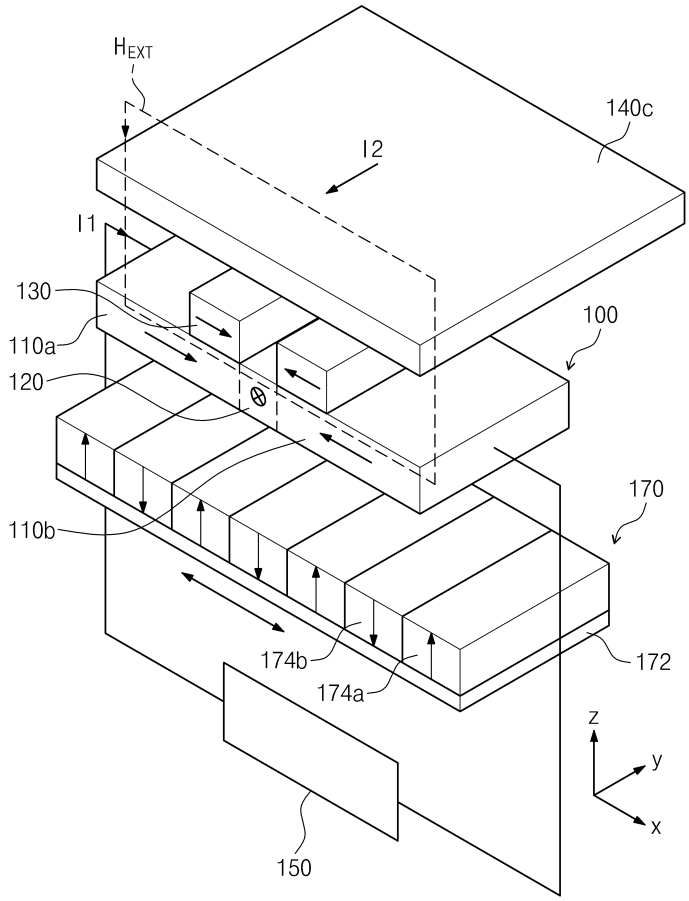
도면9c


466
464
460
462
100
334a
330a
332a
110a
120
z
y
x
334b
330b
332b

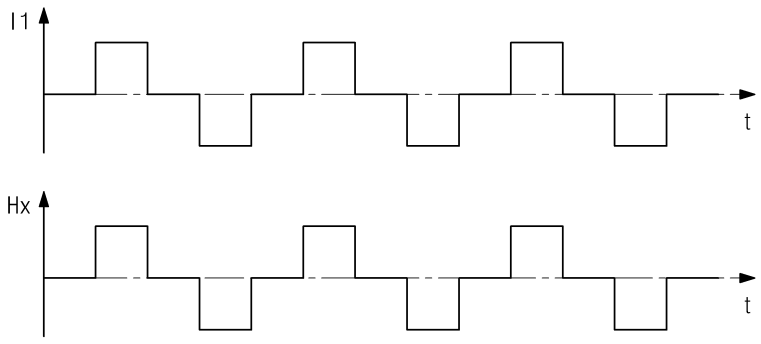
도면9d


430a
430b
100
110a
120
z
y
x
110b
560

도면10a


H_{EXT}
140c
I2
I1
130
110a
120
100
170
110b
174b
174a
172
z
y
x
150

도면10b


I1
t
Hx
t

도면10c

