



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0105849
(43) 공개일자 2017년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 43/02 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)

H01L 43/10 (2006.01) H01L 43/12 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 43/02 (2013.01)

H01L 29/82 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0029030

(22) 출원일자 2016년03월10일

심사청구일자 2016년03월10일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

이기석

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

정대한

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

제일특허법인

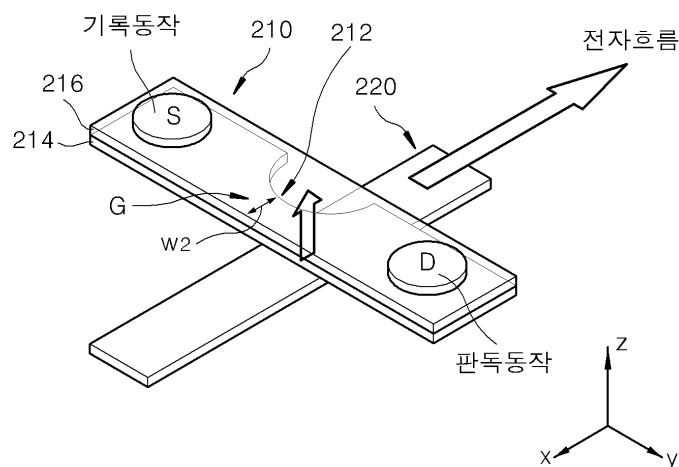
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 스위칭 소자

(57) 요약

본 발명의 스위칭 소자는, 소오스와 드레인을 포함하며, 외부 자기장에 따라 스커미온(Skyrmion)의 출입을 제어하는 게이트가 형성된 상부 도선과, 상기 외부 자기장의 선택적인 인가를 통해 상기 스커미온의 출입을 제어함으로써, 상기 게이트를 온 또는 오프시키는 하부 도선을 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 43/10 (2013.01)

H01L 43/12 (2013.01)

(72) 발명자

한희성

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

이수석

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1C1A1A02037742

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 신진연구자지원

연구과제명 스핀 스커미온의 동적 서동에 대한 기초 이해와 이를 이용한 신개념의 B

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2015.07.01 ~ 2016.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

소오스와 드레인을 포함하며, 외부 자기장에 따라 스커미온(Skyrmion)의 출입을 제어하는 게이트가 형성된 상부 도선과,

상기 외부 자기장의 선택적인 인가를 통해 상기 스커미온의 출입을 제어함으로써, 상기 게이트를 온 또는 오프시키는 하부 도선

을 포함하는 스위칭 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 상부 도선은,

상기 스커미온의 출입 통제를 위한 자계 유도 구조를 갖는 헤비메탈층과,

상기 헤비메탈층 상에 형성된 자성층

을 포함하는 스위칭 소자.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 자계 유도 구조는,

DMI(dzyaloshinskii moriya inter action) 제로 디펙트(zero Defect) 구조인

스위칭 소자.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 헤비메탈층은,

플래티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 어느 하나이거나 혹은 둘 이상의 혼합물인

스위칭 소자.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 헤비메탈층은,

단층 구조인

스위칭 소자.

청구항 6

제 2 항에 있어서,

상기 헤비메탈층은,

다층 구조인

스위칭 소자.

청구항 7

제 2 항에 있어서,
상기 헤비메탈층은,
수nm 내지 수십nm의 두께 범위를 갖는
스위칭 소자.

청구항 8

제 7 항에 있어서,
상기 헤비메탈층은,
수십nm 내지 수 μ m의 선평 범위를 갖는
스위칭 소자.

청구항 9

제 2 항에 있어서,
상기 자성층은,
합금계 자성체 또는 호이슬러 합금계 자성체 중 어느 하나인
스위칭 소자.

청구항 10

제 2 항에 있어서,
상기 자성층은,
수A 내지 수nm의 두께 범위를 갖는
스위칭 소자.

청구항 11

제 10 항에 있어서,
상기 자성층은,
수십nm 내지 수 μ m의 선평 범위를 갖는
스위칭 소자.

청구항 12

제 1 항에 있어서,
상기 하부 도선은,
헤비메탈층과,
상기 헤비메탈층 상에 형성된 자성층
을 포함하는 스위칭 소자.

청구항 13

제 1 항에 있어서,
상기 하부 도선은,
단일의 자성층인
스위칭 소자.

청구항 14

제 1 항에 있어서,
상기 하부 도선은,
자기구역(Domain)이 형성되어 포유자계(Stray Field)로 상기 상부 도선에 박막과 수직한 상기 외부 자기장을 인가하는
스위칭 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 반도체 소자에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 자성체 안에 존재하는 스커미온(Skyrmion)의 이동(출입)을 이용하여 온/오프 제어되는 스위칭 소자로서 기능하는 트랜지스터에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 잘 알려진 바와 같이, 반도체 기술은 무어(Moore)의 법칙 하에 발전을 거듭해 왔지만, 반도체 소자의 크기가 축소됨에 따라 양자 현상이 나타나게 되고 그로 인해 기존에 적용했던 설계법칙을 변경하지 않을 수 없게 되었다.

[0003] 더욱이, 소모 전력의 급격한 증대에 따른 열문제, 정보처리 속도의 정체, 제조장비 및 공정비용의 급격한 증가 같은 한계에도 불구하고 됨으로써, 실리콘 기반의 기존 소자 개념을 탈피한 새로운 개념 및 접근 방법이 시도되고 있으며, 이를 통해 현재의 기술적 한계를 극복하려는 연구가 도처에서 진행 중이다.

[0004] 상술한 바와 같은 문제를 극복할 대안의 하나로서 스커미온을 정보 캐리어로 이용하는 정보 처리 소자가 부상하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2006-0063814호(공개일: 2006. 06. 12)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 자성체 내 스커미온의 이동을 정보 캐리어로 이용할 수 있는 스위칭 소자를 제안하고자 한다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 해결하고자 하는 과제는 아래의 기재들로부터 본 발명이 속하는 통상의 지식을 가진 자에 의해 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은, 일 관점에 따라, 소오스와 드레인을 포함하며, 외부 자기장에 따라 스커미온(Skyrmion)의 출입을 제어하는 게이트가 형성된 상부 도선과, 상기 외부 자기장의 선택적인 인가를 통해 상기 스커미온의 출입을 제어함으로써, 상기 게이트를 온 또는 오프시키는 하부 도선을 포함하는 스위칭 소자를 제공한다.

- [0009] 본 발명의 상기 상부 도선은, 상기 스커미온의 출입 통제를 위한 자계 유도 구조를 갖는 헤비메탈층과, 상기 헤비메탈층 상에 형성된 자성층을 포함할 수 있다.
- [0010] 본 발명의 상기 헤비메탈층은, 플래티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 어느 하나이거나 혹은 둘 이상의 혼합물일 수 있다.
- [0011] 본 발명의 상기 자계 유도 구조는, DMI(dzyaloshinskii moriya inter action) 제로 디펙트(zero Defect) 구조일 수 있다.
- [0012] 본 발명의 상기 헤비메탈층은, 단층 구조일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 상기 헤비메탈층은, 다층 구조일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 상기 헤비메탈층은, 수nm 내지 수십nm의 두께 범위를 가질 수 있다.
- [0015] 본 발명의 상기 헤비메탈층은, 수십nm 내지 수 μ m의 선폭 범위를 가질 수 있다.
- [0016] 본 발명의 상기 자성층은, 합금계 자성체 또는 호이스러 합금계 자성체 중 어느 하나일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 상기 자성층은, 수Å 내지 수nm의 두께 범위를 가질 수 있다.
- [0018] 본 발명의 상기 하부 도선은, 헤비메탈층과, 상기 헤비메탈층 상에 형성된 자성층을 포함할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 상기 하부 도선은, 단일의 자성층일 수 있다.
- [0020] 본 발명의 상기 하부 도선은, 자기구역(Domain)이 형성되어 포유자계(Stray Field)로 상기 상부 도선에 박막과 수직인 상기 외부 자기장을 인가할 수 있다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명은, 자성체 내 스커미온의 이동을 정보 캐리어로 이용함으로써, 기존 반도체 소자의 문제점을 효과적으로 극복할 수 있는 스위칭 소자를 실현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 외부 자기장을 통해 다이오드 특성이 변화하는 것을 보여주는 그래프이다.
- 도 2 및 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 스위칭 소자의 각 모식도이다.
- 도 4a는 w_2 가 30nm일 때 임계전류의 크기가 200m/s 정도임을 보여주는 그래프이다.
- 도 4b는 w_2 가 40nm일 때 임계전류의 크기가 40m/s 정도임을 보여주는 그래프이다.
- 도 5a는 자기장을 인가하지 않았을 때 정방향의 임계전류(전도전자속도)의 크기가 15m/s 정도임을 보여주는 그래프이다.
- 도 5b는 +z 방향으로 10mT 크기의 선형 자기장을 인가했을 때 정방향의 임계전류의 크기가 13m/s 정도임을 보여주는 그래프이다.
- 도 5c는 -z 방향으로 10mT 크기의 선형 자기장을 인가했을 때 정방향의 임계전류의 크기가 17m/s 정도임을 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 먼저, 본 발명의 장점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 여기에서, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 발명의 범주를 명확하게 이해할 수 있도록 하기 위해 예시적으로 제공되는 것이므로, 본 발명의 기술적 범위는 청구항들에 의해 정의되어야 할 것이다.
- [0024] 아울러, 아래의 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성 등에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들인 것으로, 이는 사용자, 운용자 등의 의도 또는 관례 등에 따라 달

라질 수 있음은 물론이다. 그러므로, 그 정의는 본 명세서의 전반에 걸쳐 기술되는 기술사상을 토대로 이루어져야 할 것이다.

- [0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0026] 일반적으로, 스커미온은 스핀 편향 전류(spin polarized current)를 통해 움직일 수 있으며, 또한 오직 DMI((dzyaloshinskii moriya inter action))가 있는 곳만 지나다닐 수 있기 때문에 DMI가 있는 지역이 일종의 도파로 역할을 하게 된다.
- [0027] 여기에서, 자성층에 DMI가 없는 곳은 스커미온이 안정하지 못해서 이 부분을 디펙트(defect)라고 부르는데, 스커미온이 도파로 위에서 움직이다 디펙트와 만나면 특정 방향만 선택적으로 돌려고 하는 상호작용이 생긴다.
- [0028] 그리고, 스커미온 다이오드의 다이오드 특성은 외부 자기장을 인가함으로써 조절이 가능, 일례로서 도 1에 도시된 바와 같이, 비평면(out-of-plane)의 자기장이 인가될 때 그래프의 임계전류(critical current)가 바뀌는 것을 알 수 있다. 이것은 스커미온이 디펙트(defect)를 지나가고 안 지나가고를 자기장을 통해 능동적으로 제어(조절)함으로써 스위치 역할, 즉 트랜지스터 등의 스위칭 소자로 쓰일 수 있음을 의미한다.
- [0029] 도 2 및 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 스위칭 소자의 각 모식도이다.
- [0030] 도 2 및 도 3을 참조하면, 본 실시 예의 스위칭 소자는 상부 도선(210)과 이 상부 도선(210)에 직교하는 하부 도선(220) 등을 포함할 수 있다.
- [0031] 먼저, 상부 도선(210)은 소오스(S) 영역과 드레인(D) 영역을 포함하며, 하부 도선(220)으로부터 제공되는 외부 자기장에 따라 스커미온(Skyrmion)의 출입을 조절하는 자계 유도 구조(212)가 게이트(G) 영역으로서 기능할 수 있다.
- [0032] 즉, 게이트(G)는 외부 자기장이 가해질 때 스커미온이 지나갈 수 있고 없고를 조절하는 영역을, 소오스(S)는 스커미온이 들어오는 영역을, 드레인(D)은 스커미온이 나가는 영역을 각각 의미할 수 있다. 여기에서, 소오스(S)는 스커미온을 생성하는 영역으로 정의되고, 드레인(D)은 스커미온을 읽어내는 영역으로 정의될 수 있다.
- [0033] 그리고, 자계 유도 구조(212)는, 예컨대 반원형, 반타원형, 삼각형, 사각형 등과 같은 다양한 형상의 구조들이 적용될 수 있으며, DMI 제로 디펙트(zero Defect) 구조로 정의될 수 있다.
- [0034] 도 4a 및 4b를 참조하면, 자계 유도 구조(212)의 반원의 크기(사이즈)가 커지게 되면 결과적으로 w2에 해당하는 길이가 줄어들게 되므로 스커미온 다이오드의 임계 전류(정방향 임계전류와 역방향 임계전류)가 커지게 된다. 예컨대, 도 4a에서와 같이 w2가 30nm인 경우에는 임계전류(전도전자속도)의 크기가 200m/s 정도인 반면에, 도 4b에서와 같이 w2가 40nm인 경우에는 임계전류의 크기가 40m/s 정도가 됨을 알 수 있다.
- [0035] 또한, 상부 도선(210)은 스커미온의 출입 통제를 위한 자계 유도 구조를 갖는 헤비메탈층(214)과 헤비메탈층(214) 상에 형성된 자성층(216)을 포함하는 스커미온 다이오드 구조를 의미할 수 있다.
- [0036] 그리고, 헤비메탈층(214)으로는, 예컨대 플래티넘, 탄탈, 이리듐, 탄탈륨, 하프늄, 텅스텐, 팔라듐 중 어느 하나 혹은 둘 이상의 혼합물이 사용될 수 있으며, 예컨대 스퍼터링, MBE(molecular beam epitaxy), ALD(atomic layer deposition), PLD(pulse laser deposition), 전자 빔 이베퍼레이터(E-beam evaporator) 등과 같은 공정을 통해 단층 구조 또는 다층 구조로 형성될 수 있다. 여기에서, 헤비메탈층(214)의 두께는, 예컨대 수nm 내지 수십nm의 범위가 될 수 있으며, 선평은, 예컨대 수십nm 내지 수 μ m의 범위가 될 수 있다.
- [0037] 또한, 자성층(216)은 수직자기 이방성을 위해, 예컨대 CoFe, CoFeB 등과 같은 합금계 자성체 또는 Co2FeSi, Co2MnSi 등과 같은 호이슬러 합금계 자성체 등이 사용될 수 있으며, 헤비메탈층(214)과 마찬가지로, 예컨대 스퍼터링, MBE, ALD, PLD 전자 빔 이베퍼레이터 등과 같은 공정을 통해 단층 구조(즉, 계면(interfacial) DMI를 위한 단일층 구조)로 형성될 수 있다. 여기에서, 자성층(216)의 두께는, 예컨대 수Å 내지 수nm의 두께 범위가 될 수 있으며, 선평은, 예컨대 수십nm 내지 수 μ m의 범위가 될 수 있다.
- [0038] 한편, 하부 도선(220)은 외부 자기장을 선택적으로 인가하여 스커미온의 출입을 제어함으로써, 게이트(G)를 온 또는 오프시키도록 기능할 수 있는데, 이러한 하부 도선(220)은 자기구역(domain)을 이용할지 혹은 스커미온을 이용할지의 여부에 따라 각각 다른 구조가 적용될 수 있다.
- [0039] 여기에서, 스커미온을 이용하기 위해서는 상부 도선과 동일한 구조 및 재료의 헤비메탈층과 자성층 구조여야 하고, 자기구역을 이용하기 위해서는 헤비메탈층 없이 자성층 구조만 있으면 되는데, 이때 단일층인 자성층의 두

계는, 예컨대 수nm 내지 수십nm의 범위가 될 수 있으며, 선풍은, 예컨대 수nm 내지 수μm의 범위가 될 수 있다. 여기에서, 자기구역을 이용하는 자성층으로는, 예컨대 코발트나 CoPtCr 등과 같은 코발트계 합금이 사용될 수 있다.

[0040] 그리고, 하부 도선(220)은 자기구역(Domain)이 형성되어 포유자계(Stray Field)로 상부 도선(210)에 박막과 수직인 외부 자기장을 인가할 수 있다. 즉, 상부 도선(210)은 스커미온 다이오드로서 기능하고, 상부 도선(210)에 직교하는 하부 도선(220)에는 자기구역들이 존재하는데, 상부 도선(다이오드)에 인가되는 외부 자기장은 자기구역이나 스커미온에서 나오는 포유자계를 이용한다.

[0041] 따라서, 자기구역이나 스커미온들은 전류를 통해 이동시킬 수 있기 때문에, 하부 도선(220)에 전류를 흘려주게 되면 자기구역들이 움직여 상부 도선(스커미온 다이오드)에 외부 자기장을 변화시키고 결과적으로 온/오프(on/off) 상태를 능동적으로 제어할 수 있는 스위칭 소자로서 기능하게 된다.

[0042] 즉, 상부 도선(210)에서 자계 유도 구조(DMI-제로 디펙트 부근)에는 자기장이 걸리는데 이 영역이 게이트에 해당되며, 이러한 상부 도선(210)에는 일정한 전류가 계속 흐르는데, 이때 흐르는 전류의 세기는 일정하지만 상황에 따라 임계전류 값보다 작을 수도 있고 클 수도 있는데, 이러한 상황은 하부 도선(220)으로부터 제공되는 외부 자기장을 통해 조절될 수 있다.

[0043] 도 5a는 자기장을 인가하지 않았을 때 정방향의 임계전류(전도전자속도)의 크기가 15m/s 정도임을 보여주는 그래프이고, 도 5b는 +z 방향으로 10mT 크기의 선형 자기장을 인가했을 때 정방향의 임계전류의 크기가 13m/s 정도임을 보여주는 그래프이며, 도 5c는 -z 방향으로 10mT 크기의 선형 자기장을 인가했을 때 정방향의 임계전류의 크기가 17m/s 정도임을 보여주는 그래프이다.

[0044] 도 5a, 도 5b, 도 5c를 참조하면, 스커미온 다이오드의 임계 전류는 자기장의 영향을 받는다. 즉, 자기장을 +z 방향(A2, B1)으로 가하게 되면 임계전류가 작아지고 -z 방향(A1, B2)으로 가하게 되면 임계전류가 커지게 되는데, 이를 통해 자기장을 조절하여 해당하는 전류의 세기가 임계전류보다 크면 스커미온이 게이트(G)를 지나갈 수 있는 온(on) 상태가 되는 것이고, 전류의 세기가 임계전류보다 작으면 스커미온이 게이트(G)를 지나갈 수 없는 오프(off) 상태가 된다.

[0045] 그리고, 상부 도선(210)의 DMI-제로 디펙트 부근 아래에 하부 도선(220)이 배치되는데, 이러한 하부 도선(220)의 영역에는 자기구역이 형성되어 있어 포유자계로 상부 도선(210)에 박막과 수직인 자기장을 인가한다. 예컨대, 하부 도선(220)의 자기구역이 +z로 향하고 있으면 게이트에 가하는 자기장도 +z 방향(도 2의 화살표 방향)으로 된다. 또한, 자기구역은 전류를 흘려줌으로써 움직일 수 있기 때문에(즉, 스핀전달 토크 때문에 전도전자의 방향으로 자기구역이 움직임) 게이트에 -z 방향(도 3의 화살표 방향)의 자기장을 인가할 수도 있다.

[0046] 이상의 설명은 본 발명의 기술사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경 등이 가능함을 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것으로서, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0047] 따라서, 본 발명의 보호 범위는 후술되는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0048] 210 : 상부 도선

212 : 자계 유도 구조

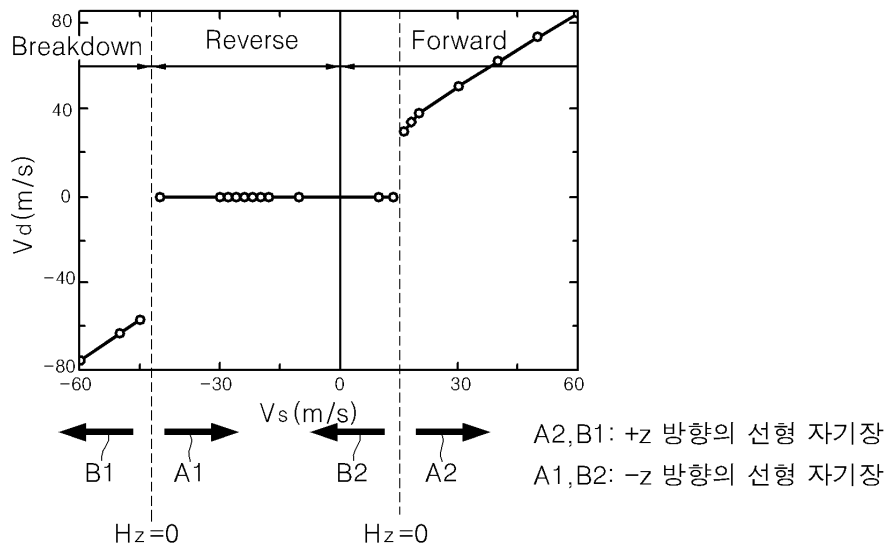
214 : 헤비메탈층

216 : 자성층

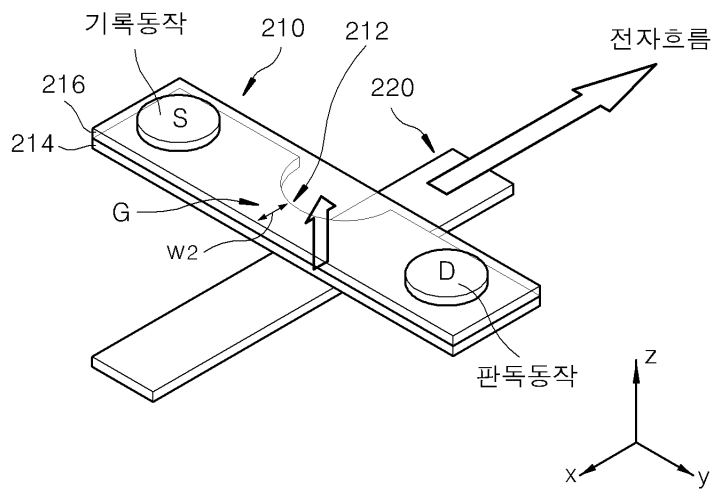
220 : 하부 도선

도면

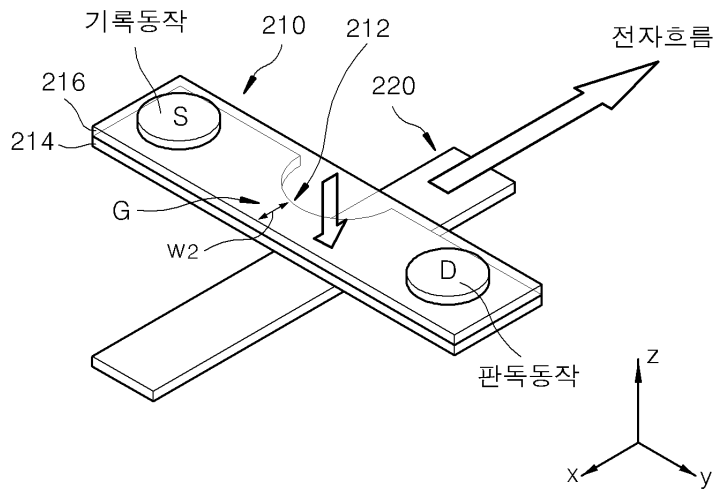
도면1



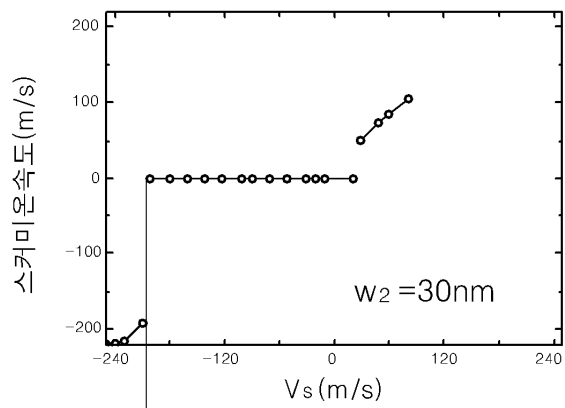
도면2



도면3

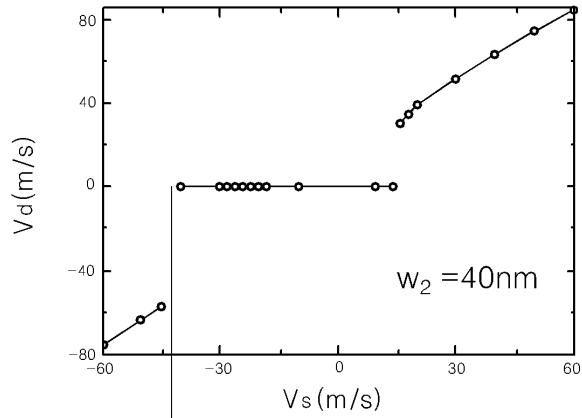


도면4a



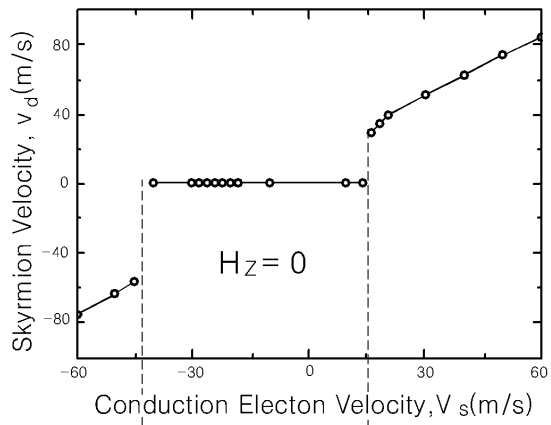
$-210 < v_s(\text{m/s}) < -200$

도면4b



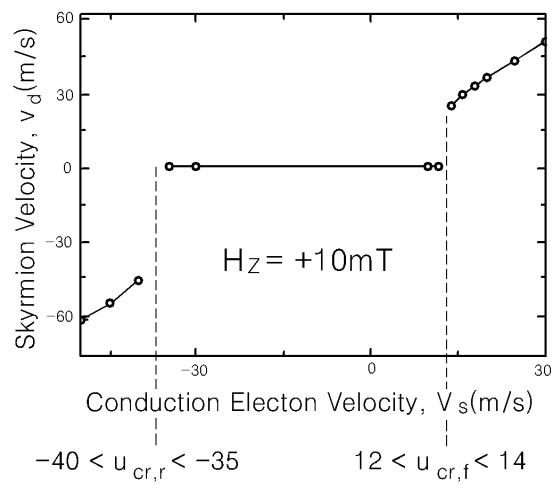
$$-45 < v_s(\text{m/s}) < -40$$

도면5a



$$-45 < u_{cr,r} < -40 \quad 14 < u_{cr,f} < 16$$

도면5b



도면5c

