



- (51) 국제특허분류:
H01L 29/06 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2014/009982
- (22) 국제출원일: 2014년 10월 23일 (23.10.2014)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2013-0134404 2013년 11월 6일 (06.11.2013) KR
- (71) 출원인: 인하대학교 산학협력단 (INHA-INDUSTRY PARTNERSHIP INSTITUTE) [KR/KR]; 402-823 인천시 남구 인하로 100, Incheon (KR).
- (72) 발명자: 유천열 (YOU, Chun-Yeol); 135-280 서울시 강남구 선릉로 120, 7-1403, Seoul (KR).
- (74) 대리인: 이평우 (LEE, Pyung-Woo); 137-806 서울시 서초구 사평대로 70, 4층, Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO,

AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

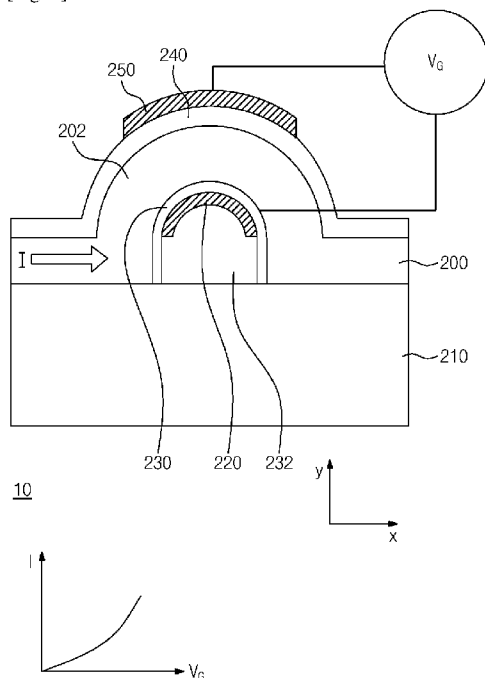
공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

(54) Title: NANO-WIRE DEVICE HAVING CONDUCTIVE SEMICIRCULAR STRUCTURE

(54) 발명의 명칭 : 도전성 반원 구조의 나노 와이어 소자

[Fig. 7]



(57) Abstract: The present invention provides a nano-wire device. The nano-wire device comprises: a conductive nano-wire having a semicircular structure; a first electrode disposed on the upper surface of the semicircular structure; and a second electrode disposed on the lower surface of the semicircular structure, wherein voltage is applied between the first and second electrodes to control current flowing at both ends of the nano-wire.

(57) 요약서: 본 발명은 나노 와이어 소자를 제공한다. 상기 나노 와이어 소자는 반원 구조를 가진 도전성의 나노와이어; 상기 반원 구조의 상부면 배치된 제 1 전극; 및 상기 반원 구조의 하부면에 배치된 제 2 전극을 포함하고, 상기 제 1 전극과 상기 제 2 전극 사이에 전압을 인가하여 상기 나노 와이어의 양단에 흐르는 전류를 제어한다.

명세서

발명의 명칭: 도전성 반원 구조의 나노 와이어 소자

기술분야

- [1] 본 발명은 트랜지스터에 관한 것으로, 더 구체적으로, 반원 구조의 도전성 나노 와이어를 이용한 나노 와이어 소자에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 패터닝 기술의 진화에 따라, 나노 와이어 패터닝이 가능해졌다. 또한, 나노 구조는 비선형 형상을 나타낸다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 반원 구조의 도전성 나노 와이어를 이용한 능동 소자가 제안된다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [3] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 오메가 구조의 나노 와이어를 이용하여 트랜지스터와 같은 능동 소자를 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

- [4] 본 발명의 일 실시예에 따른 반원 구조를 가진 도전성의 나노와이어; 상기 반원 구조의 상부면 배치된 제1 전극; 및 상기 반원 구조의 하부면에 배치된 제2 전극을 포함한다. 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 전압을 인가하여 상기 나노 와이어의 양단에 흐르는 전류를 제어한다.
- [5] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 반원 구조의 곡률 반경 또는 내경은 1 nm 내지 100 nm이고, 상기 나노 와이어의 두께는 1 nm 내지 100 nm일 수 있다.
- [6] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 전극과 상기 나노 와이어 사이에 배치된 제1 절연체; 및 상기 제2 전극과 상기 나노 와이어 사이에 배치된 제2 절연체를 더 포함할 수 있다.
- [7] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 반원 구조를 가진 도전성의 나노 와이어; 및
- [8] 상기 반원 구조가 배치된 평면에 접촉하여 배치된 강자성체를 포함하고, 상기 자성체의 자화 방향에 따라 상기 나노 와이어에 흐르는 전류의 세기가 변경된다.
- [9] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 반원 구조의 곡률 반경 또는 내경은 1 nm 내지 100 nm이고, 상기 나노 와이어의 두께는 1 nm 내지 100 nm일 수 있다.

발명의 효과

- [10] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노와이어 소자는 다이오드, 트랜지스터, 및 메모리로 동작할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [11] 도 1은 오옴(Ohm)의 법칙에 따른 확산(diffusive) 모델을 설명하는 도면이다.
- [12] 도 2는 통상적인 홀(Hall)효과의 측정 원리를 설명하는 도면이다.
- [13] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 도전성 나노 소자의 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.

- [14] 도 4는 직선 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.
- [15] 도 5는 오메가 구조 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.
- [16] 도 6a 및 도 6b는 오메가 구조의 효과를 설명하는 도면이다.
- [17] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 단면도이다.
- [18] 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 사시도이다.
- [19] 도 9는 오메가 구조를 가진 나노 와이어에서의 전도효과를 몬테카를로((Monte-Carlo) 시뮬레이션으로 확인한 결과이다.
- [20] 도 10은 2 개의 오메가 구조를 가진 나노 와이어를 전자들이 충돌한 점으로 나타낸 것이다.
- [21] 도 11은 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 20 nm인 경우 +/-10, 0 T 의 자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.
- [22] 도 12는 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 30 nm인 경우 +/-10, 0 T 의 자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.
- [23] 도 13은 고정된 전기장 값(10^2 , +/- 10^6 V/m)에 대해서 자기장의 변화에 따른 전류를 계산한 결과이다.
- [24] 도 14는 박막의 두께를 5 nm 로 얇게 한 경우 자기장 및 전기장에 따른 전류를 나타낸다.

발명의 실시를 위한 형태

- [25] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 와이어 소자는 금속으로 이루어진 나노 와이어 구조에서 오메가 구조 (Omega, Ω -structure)를 이용한다. 오메가 구조는 금속 나노 와이어의 중간에 수 내지 수십 nm 의 반지름을 가진 오메가 모양의 반원구조의 나노 와이어를 의미한다. 상기 오메가 구조는 비선형 전도 특성을 보일 수 있다. 상기 오메가 구조를 포함하는 소자는 액티브 소자로 동작할 수 있다.
- [26] 도 1은 오옴(Ohm)의 법칙에 따른 확산(diffusive) 모델을 설명하는 도면이다.
- [27] 도 1을 참조하면, 일반적인 금속의 전도 모델은 경우 오옴(Ohm)의 법칙을 따를 수 있다. 오옴의 법칙에 따르면, 인가한 전압(V)에 비례하는 전류(J)가 흐른다. 이 경우, 전류와 전압이 비례하는 선형적인 저항 소자가 형성된다. 만약에 도체 시료(100)의 양단간의 전압차이가 없을 경우, 도체 시료(100) 내부에서 열적 요동에 의해서 무질서하게 운동하는 전자들의 움직임이 평균적으로 영(zero)이 된다. 따라서, 양쪽 방향으로 흐르는 전류가 상쇄되어 전류의 값이 영(zero) 이 된다.
- [28] 만약에 양단간에 유한한 전압이 인가되면, 양쪽으로 움직이는 전자들의 흐름이

상쇄되지 않고 한쪽 방향이 우세해져서 전류가 소위 유동 속도로 흐르게 된다. 이와 같은 전도 모델은 금속의 경우 대부분의 전도현상을 설명할 수 있다. 이러한 모델을 확산(diffusive) 모델이라고 한다. 이 확산 모델의 가정은 도체 시료의 기하학적 크기(scale)가 이 전자들의 평균자유경로(mean free path) 보다 매우 큰 경우에 적용된다.

- [29] 전자의 평균자유경로보다 작은 크기의 도체 시료(100)의 경우, 도체 시료의 전도도는 도체 시료의 기하학적 크기에 관계없이 발라스틱(ballistic) 모델에 의해서 양자화된 전도도(conductance quantum)($G_0 = 2e^2/h$)와 전도 채널의 수에 의해서 결정된다는 것이 잘 알려져 있다. 이것은 란다우 공식(Landauer Formula)이다.
- [30] 일반적인 금속에서, 전자의 평균자유경로(mean free path)의 크기는 상온에서 대략 3 내지 30 nm 에서 저온에서 수백 nm일 수 있다. 평균자유경로(mean free path) 정도의 곡률 반경을 가진 오메가 구조를 가진 나노 와이어에서 발현되는 비선형 전도 특성을 이용한 액티브 소자에 대해 설명하고자 한다.
- [31] 도 2는 통상적인 홀(Hall)효과의 측정 원리를 설명하는 도면이다.
- [32] 도 2를 참조하면, 선형의 도체 시료(100)는 x축 방향으로 연장되고, z축 방향의 자기장(B)이 인가된다. 이 경우, 로렌츠 힘(Lorentz force)에 의해서 전도 전자들의 궤적(T)은 직선이 아닌 곡선을 그리게 된다. 따라서, 도체 시료(100)의 한쪽 면에 전자들이 축적되면서 양단간에 전위차가 발생하게 된다. 이렇게 축적된 전하는 홀(Hall) 전압을 발생시킨다. 상기 홀 전압은 홀 전기장(E_H)에 비례한다. 이때 전자는 홀 전기장에 의해 힘을 받아서 자기장에 의한 효과가 상쇄되어, 다시 직선 궤적을 그리게 된다.
- [33] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 도전성 나노 소자의 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.
- [34] 도 3을 참조하면, 도전성 나노 와이어(200)는 오메가 구조를 가진다. 상기 도전성 나노 와이어(200)는 x축 방향으로 진행하면서 x-y 평면에서 반원 형상의 오메가 구조를 포함한다. z축 방향의 자기장(B)이 인가된다. 상기 도전성 나노 와이어(200)는 Bi, Ga, W, Zn, Cd, Re, Sn, Pb, Pd, Pt, Mg, Fe일 수 있다. 또는, 상기 도전성 나노 와이어(200)는 Au, Cu, Ag, In, K, Ni, Nb, Al일 수 있고, 이 물질들의 합금일 수 있다. 상기 반원 구조의 곡률 반경 또는 내경은 1 nm 내지 100 nm일 수 있다. 상기 나노 와이어의 두께는 1 nm 내지 100 nm일 수 있다.
- [35] 전자가 오른쪽에서 왼쪽으로 진행할 경우, 자기장(B)에 의한 로렌츠 힘에 의해서 곡선을 그리는 전자의 궤도는 오메가 구조와 같은 방향이 된다. 전자가 그리는 곡률 때문에, 전자는 나노와이어의 계면에서의 충돌 확률을 낮출 수 있다.
- [36] 반대로 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하는 전자의 경우, 자기장(B)에 의해서 계면과의 충돌 확률이 증가하게 된다. 따라서, 자기장(B)의 방향과 전자의 진행방향에 의해 평균자유경로(mean free path)가 영향을 받게 된다. 이에 따라

저항값이 결정된다.

- [37] 로렌츠 힘에 의해서 발생한 홀(Hall) 전압은 로렌츠 힘과는 반대방향으로 작용한다. 이에 따라, 홀(Hall) 전압은 로렌츠 힘에 의한 효과를 상쇄시켜서 홀(Hall) 효과에 의해서 생기는 전자의 곡선운동이 상쇄될 수 있다. 따라서, 가장 단순한 금속의 경우, 위의 예상한 효과는 없어지고, 가로 홀 저항(Transverse Hall resistance)은 영(zero)이 된다. 그렇지만, 실험적으로는 항상 유한한 크기의 가로 홀(Hall) 저항이 측정된다. 이 모순은 투밴드(two-band) 모델에 의해서 설명이 가능하다. 즉, 단일 밴드(single band) 금속이 아닌 경우, 페르미 준위(Fermi level)에 여러 개의 밴드가 걸쳐 있는 경우, 가로 홀 효과(Transverse Hall effect)가 생기는 것을 설명할 수 있다.
- [38] 도 4는 직선 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.
- [39] 도 5는 오메가 구조 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.
- [40] 도 4 및 도 5를 참조하면, 투밴드(Two-band) 모델 혹은 멀티밴드(multi-band) 모델에 의하면, 로렌츠 힘에 의해서 유한한 홀(Hall) 전압이 생긴다. 상기 홀(Hall) 전압이 생기는 방향으로 알짜 전류는 영(zero)이다. 하지만, 서로 다른 밴드(band)에 속한 전하들이 받는 로렌츠 힘과 홀(Hall) 전압에 의한 힘은 상쇄되지 않는다. 따라서, 전하들이 서로 다른 반대방향으로 휘게 된다. 따라서 앞에서 논의한 오메가 구조의 효과는 여전히 유효하다. 하지만, 그 크기는 금속의 종류에 따라서 크게 달라질 것이다.
- [41] 도 6a 및 도 6b는 오메가 구조의 효과를 설명하는 도면이다.
- [42] 도 6a 및 도 6b를 참조하면, 투밴드(two-band) 모델을 적용하면, 오메가 구조의 효과가 설명될 수 있다. 당연히 오메가 구조의 효과는 금속의 밴드 구조에 크게 의존하게 된다. 이와 같은 오메가 구조의 전도 특성을 이용하면, 자기장(B)의 방향과 전류의 방향에 따라서 전도 특성이 크게 바뀐다. 따라서, 오메가 구조의 나노와이어는 다이오드 특성을 보일 수 있다. 즉, 교류에 대해서 한 방향의 전류만이 흐를 수 있다. 따라서, 단순한 금속 오메가 나노 와이어 구조에서 다이오드 특성이 보일 수 있다.
- [43] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 단면도이다.
- [44] 도 7를 참조하면, 오메가 구조의 상단 부분과 하단 부에 게이트(gate) 전압(V_G)을 인가하여, 유효 홀 전압을 조절할 경우, 오메가 구조의 효과가 증가하거나, 감소할 것이다. 따라서, 흐르는 전류(I)를 상기 게이트 전압(V_G)으로 조절 할 수 있는 필드 효과 트랜지스터(Field Effect Transistor) 구조가 구현될 수 있다.
- [45] 나노 와이어 소자(10)는 반원 구조(오메가 구조; 202)를 가진 도전성의 나노와이어(200), 상기 반원 구조의 상부면 배치된 제1 전극(250), 및 상기 반원 구조의 하부면에 배치된 제2 전극(220)을 포함한다. 상기 제1 전극(250)과 상기

- 제2 전극(220) 사이에 전압(V_G)을 인가하여 상기 나노 와이어(200)의 양단에 흐르는 전류(I)를 제어한다.
- [46] 기판(210) 상에 절연 구조체(232)가 패터닝 공정을 통하여 형성될 수 있다. 상기 절연 구조체(232)는 상부면의 일부는 일정한 곡률을 가질 수 있다. 이에 따라, 상기 절연 구조체에 도전성 막이 증착되고, 이어서 패터닝 공정을 통하여, 상기 도전성 막은 패터닝 공정을 통하여 제2 전극을 형성할 수 있다. 상기 제2 전극은 일정한 곡률을 가질 수 있다. 이어서, 상기 제2 전극 상에 제2 절연체가 증착된다. 상기 제2 절연체는 필요에 따라 패터닝될 수 있다.
- [47] 상기 제2 절연체가 증착된 후, 상기 기판 상에 도전성 물질이 증착될 수 있다. 상기 도전성 물질은 패터닝되어 나노 와이어(200)를 형성할 수 있다. 상기 나노 와이어의 반원 구조는 상기 제2 전극과 정렬될 수 있다.
- [48] 상기 나노 와이어 상에 제1 절연체가 증착될 수 있다. 상기 제1 절연체 상에 도전체가 증착되고 패터닝되어 제1 전극(250)이 형성될 수 있다. 상기 제1 전극(250)은 상기 제2 전극(220)과 정렬될 수 있다.
- [49] 기판(210) 상에 나노 와이어가 배치될 수 있다. 상기 기판은 반도체 기판, 플라스틱, 또는 유리 기판일 수 있다. 상기 나노 와이어 소자(10)는 Bi, Ga, W, Zn, Cd, Re, Sn, Pb, Pd, Pt, Mg, Fe 또는 이들의 합금일 수 있다. 상기 반원 구조의 곡률 반경 또는 내경은 1 nm 내지 100 nm일 수 있다. 상기 나노 와이어의 두께는 1 nm 내지 100 nm일 수 있다.
- [50] 제1 절연체(240)는 상기 제1 전극과 상기 나노와이어 사이에 배치될 수 있다. 상기 제1 절연체(240)는 실리콘 산화막(SiO_x), 실리콘 질화막(SiN_x), 또는 타이타늄 산화막(TiO_x)일 수 있다. 상기 제1 절연체(240)는 상기 반원 구조(202) 상에 배치될 수 있다.
- [51] 제2 절연체(230)는 상기 제2 전극(220)과 상기 상기 반원 구조(202) 사이에 배치될 수 있다. 상기 제2 절연체(230)는 실리콘 산화막(SiO_x), 실리콘 질화막(SiN_x), 또는 타이타늄 산화막(TiO_x)일 수 있다.
- [52] 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 인가되는 게이트 전압은 상기 반원 구조의 대칭 중심축 방향의 전기장을 인가할 수 있다. 이에 따라, 상기 반원 구조 또는 오메가 구조에 의한 비선형 현상을 유발할 수 있다.
- [53] 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 사시도이다.
- [54] 도 8a 및 도 8b를 참조하면, 나노 와이어 소자(20)는 반원 구조(202)의 도전성의 나노 와이어(200), 및 상기 반원 구조가 배치된 평면에 접촉하여 배치된 강자성체(204)를 포함할 수 있다. 상기 강자성체(204)의 자화 방향에 따라 상기 나노 와이어에 흐르는 전류의 세기가 변경될 수 있다. 상기 반원 구조의 곡률 반경 또는 내경은 1 nm 내지 100 nm이고, 상기 나노 와이어의 두께는 1 nm 내지 100 nm일 수 있다. 상기 강자성체(204)의 자화 방향은 상기 반원 구조의 배치 평면에 수직할 수 있다.

- [55] 상기 강자성체(204)은 수직자기 이방성(Perpendicular Magnetic Anisotropy)을 가진 전이금속(Fe, Co, Ni)-희토류금속 (Tb, Sm, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Pt, Pd, Au,)의 합금이나 다층 박막일 수 있다.
- [56] 오메가 구조(202)의 나노 와이어(200) 상에 수직자기 이방성을 가진 강자성체(204)를 추가할 경우, 강자성체의 자화방향(M)에 따라서 전류가 잘 흐르는 방향이 정해질 수 있다. 강자성체(204)의 자화방향에 따라, "0" 또는 "1" 상태를 나타내는 비휘발성 메모리로 사용이 가능하다. 강자성체(204)의 자화방향은 상기 강자성체의 배치평면에 수직할 수 있다. 이 때, 상기 오메가 구조에 흐르는 전류를 이용해서 스핀 홀 토크(Spin Hall Torque) 효과나 라쉬바(Rashba) 효과 등으로 강자성체의 자화방향을 스위칭하는 것이 가능하므로 정보의 기록 또한 가능하다.
- [57] 도 9는 오메가 구조를 가진 나노 와이어에서의 전도효과를 몬테카를로((Monte-Carlo) 시뮬레이션으로 확인한 결과이다.
- [58] 도 9를 참조하면, 대칭적인 2 개의 오메가 구조를 가진 나노 와이어를 정의한다. 중심의 x축 좌표는 영이다. 나노 와이어의 하부면의 y축 좌표는 영이다. 나노 와이어를 이루는 박막의 두께는 20 nm이다. 나노 와이어의 중앙부에서 출발한 전자들이 열적 요동에 의한 무작위 운동과 전기장과 자기장에 의한 효과를 함께 고려한 운동 끝에 양쪽 끝 단에 도달하는 경우를 계산하고, 그 차이를 전류로 정의하여 계산하였다.
- [59] 전자들이 지나간 흔적들이 도시되었다. 2 개의 오메가 구조가 전자들의 충돌에 의해서 보여진다.
- [60] 도 10은 2 개의 오메가 구조를 가진 나노 와이어를 전자들이 충돌한 점으로 나타낸 것이다.
- [61] 도 10을 참조하면, 오메가 구조의 내경은 각각 30 nm 로 하고, 외경은 내경과 박막의 두께의 합으로 정했다. 나노 와이어를 이루는 박막의 두께는 20 nm이다.
- [62] 이때, 전자의 평균자유경로(mean free path)는 20 nm 내지 30 nm 로 설정하였다. 시뮬레이션의 효과를 극대화 하기 위해서 $\pm 10^6$ V/m 의 전기장과 ± 10 T 의 자기장을 인가하고 200,000 개의 전자에 대한 계산을 수행하였다. 통계적으로 의미있는 몬테카를로 시뮬레이션의 결과를 얻기 위해서는 더 많은 수의 전자들을 좀 더 현실적인 전기장과 자기장 크기에 대한 운동을 계산하여야 한다. 하지만, 여기서는 정량적인 결과가 아닌 경향성을 확인하기 위한 것이므로, 계산시간의 단축과 효과의 극대화를 위해서 지나치게 큰 전기장과 자기장을 사용하였으므로, 실제 실험에서의 효과는 시뮬레이션을 통해서 얻은 값에 비해서 상당히 작을 것이다. 또한, 이 시뮬레이션에서는 홀 전압에 의한 상쇄 효과를 고려하지 않았으므로, 실제 오메가 구조의 효과의 크기는 실험을 통하여 확인이 필요하다. 그렇지만, 이 시뮬레이션에서 얻은 현상 자체는 존재함이 자명하다.
- [63] 도 11은 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 20 nm인 경우 $\pm 10, 0$ T 의

자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.

[64] 도 12는 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 30 nm인 경우 $\pm 10, 0$ T의 자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.

[65] 도 11 및 도 12를 참조하면, 자기장(Hz)이 없을 경우 원점을 지나가는 직선은 오옴의 법칙을 의미한다. 자기장이 +10 T (Tesla)인 경우와 -10 T인 경우, 전자의 방향에 따라서 더 큰 전류나 혹은 더 작은 전류가 흐른다. 그 효과는 당연히 평균 자유 경로(mean free path)가 클수록 증가한다. 특히, 시뮬레이션에서에서 인가한 전기장의 값이 매우 큰 값이다. 10 T 자기장에 의한 효과가 전기장에 의한 전류의 증가와 비슷한 수준(order)의 전류의 변화를 일으킨다는 것은 오메가 구조의 효과가 매우 크다는 것을 의미한다.

[66] 예를 들어, 전기장이 크지 않을 때는 자기장의 방향에 의해서 전류의 방향이 결정될 수 있다. 이는 오메가 구조의 효과가 저항의 크기를 바꾸는 정도가 아니라 저항의 부호를 바꿀 정도로 클 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 메모리 소자로 사용시 전류의 부호로 기록된 정보의 값을 판독할 수 있게 된다.

[67] 도 13은 고정된 전기장 값($10^2, \pm 10^6$ V/m)에 대해서 자기장의 변화에 따른 전류를 계산한 결과이다.

[68] 도 13을 참조하면, 예상한 바와 같이 자기장(H)에 의해서 전류의 방향과 세기가 변한다. 이때, 변화의 크기는 전기장에 의한 효과에 상응할 수 있다. 이 결과는 30 nm의 평균 자유 경로(mean free path)와 20 nm 두께의 박막에 대해서 계산되었다.

[69] 도 14는 박막의 두께를 5 nm로 얇게 한 경우 자기장 및 전기장에 따른 전류를 나타낸다.

[70] 도 14를 참조하면, 이 전도현상에서는 계면에서의 충돌이 증가할수록 효과가 증대된다. 박막의 두께를 5 nm로 얇게 한 경우, 전류가 증가된다. 따라서, 오메가 구조의 효과는 박막의 두께, 오메가 구조의 반경, 평균자유경로(mean free path) 등에 의존한다.

[71] 실제 오메가 구조는 수십 nm 크기의 나노 구조물일 수 있다. 이러한 구조는 현재의 나노 공정의 기술 또는 전자빔 리소그래피를 사용할 경우 큰 어려움 없이 제작될 수 있다. 특히 최근 실용화되고 있는 FinFET 구조와 공정면에서 매우 유사하다. 이때, 사용 가능한 물질은 모든 종류의 금속과 반도체가 가능하지만, 가급적이면 가로 홀 저항(Transverse Hall Resistance) 효과가 크고, 평균자유경로(mean free path)가 큰 물질이 바람직할 수 있다. 또한, 오메가 구조의 크기가 평균자유경로와 비슷해지고, 자기장에 의한 곡률반경인 mv/qB (m: 전자의 유효질량, v 전자의 속도, q 전자의 전하량, B 자기장) 값과 비슷해 질수록 효과가 극대화될 수 있다. 소자의 크기를 감소시킬수록, 비선형 전도 특성은 더 증가한다.

[72] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 와이어 소자는 오메가 구조와 자기장의 존재에 의해서 전도 전자의 운동에 있어서 대칭성을 깨뜨리기 때문에 발생하는 효과를 이용한다. 만약 전기장 없이 자기장만 인가해도 유한한 전류가 흐르는

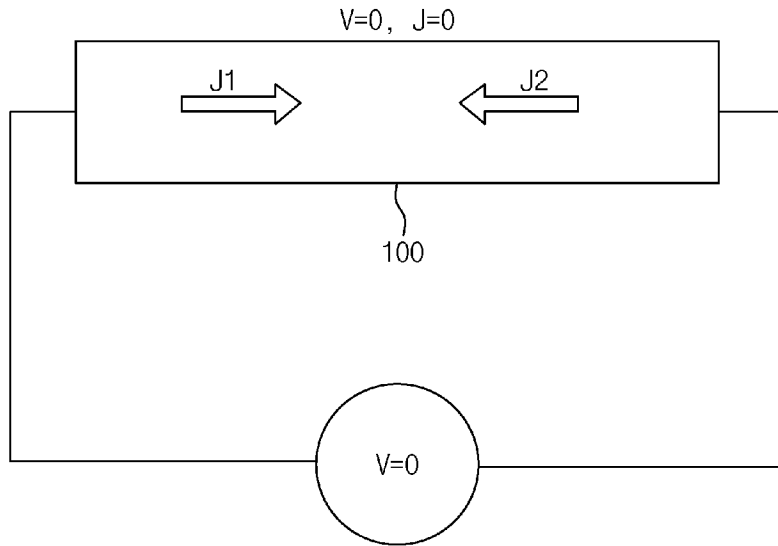
결과가 시뮬레이션에서 나타난다. 이 결과가 의미하는 것은 실제로 전류가 흐르기 보다는 오메가 구조의 양단간에 유한한 전압이 형성될 수 있다. 금속 나노 와이어에서 강유전체처럼 분극된 상태가 가능하다.

[73]

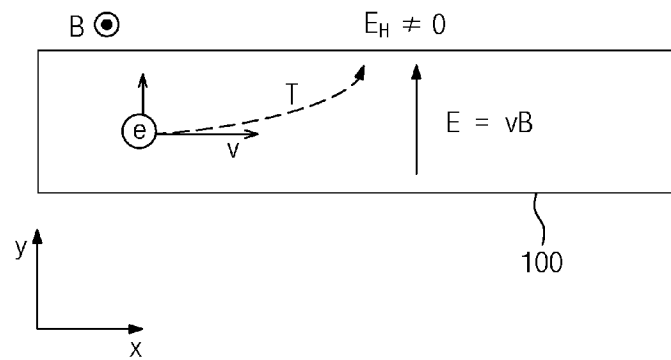
청구범위

- [청구항 1] 반원 구조를 가진 도전성의 나노와이어;
 상기 반원 구조의 상부면 배치된 제1 전극; 및
 상기 반원 구조의 하부면에 배치된 제2 전극을 포함하고,
 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 전압을 인가하여 상기 나노와이어의 양단에 흐르는 전류를 제어하는 것을 특징으로 하는 나노 와이어 소자.
- [청구항 2] 제1 항에 있어서,
 상기 반원 구조의 곡률 반경 또는 내경은 1 nm 내지 100 nm이고,
 상기 나노 와이어의 두께는 1 nm 내지 100 nm인 것을 특징으로 하는 나노 와이어 소자.
- [청구항 3] 제1 항에 있어서,
 상기 제1 전극과 상기 나노 와이어 사이에 배치된 제1 절연체; 및
 상기 제2 전극과 상기 나노 와이어 사이에 배치된 제2 절연체를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 와이어 소자.
- [청구항 4] 반원 구조를 가진 도전성의 나노 와이어; 및
 상기 반원 구조가 배치된 평면에 접촉하여 배치된 강자성체를 포함하고,
 상기 자성체의 자화 방향에 따라 상기 나노 와이어에 흐르는 전류의 세기가 변경되는 것을 특징으로 하는 나노 와이어 소자.
- [청구항 5] 제4 항에 있어서,
 상기 반원 구조의 곡률 반경 또는 내경은 1 nm 내지 100 nm이고,
 상기 나노 와이어의 두께는 1 nm 내지 100 nm인 것을 특징으로 하는 나노 와이어 소자.

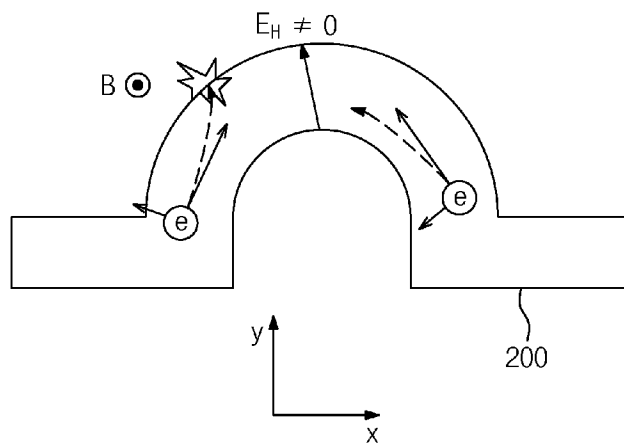
[Fig. 1]



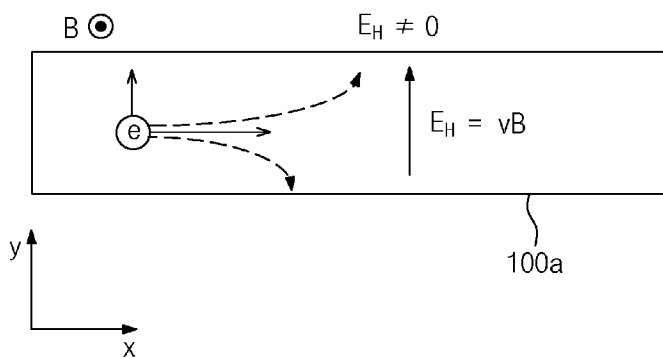
[Fig. 2]



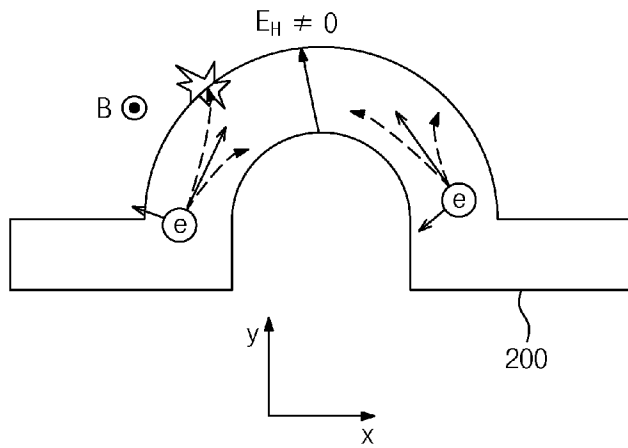
[Fig. 3]



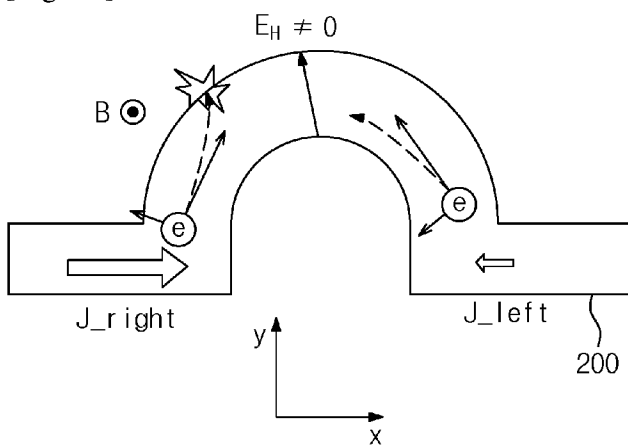
[Fig. 4]



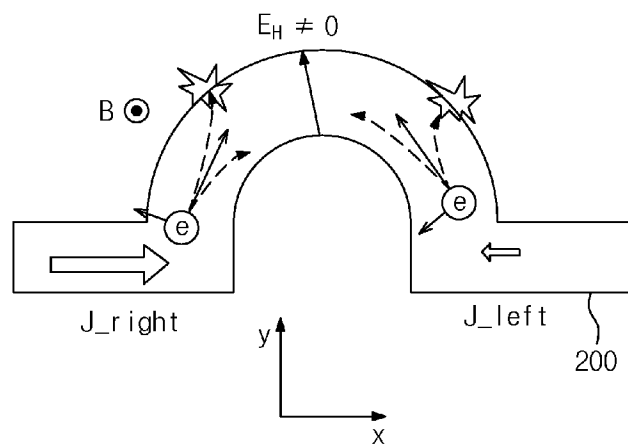
[Fig. 5]



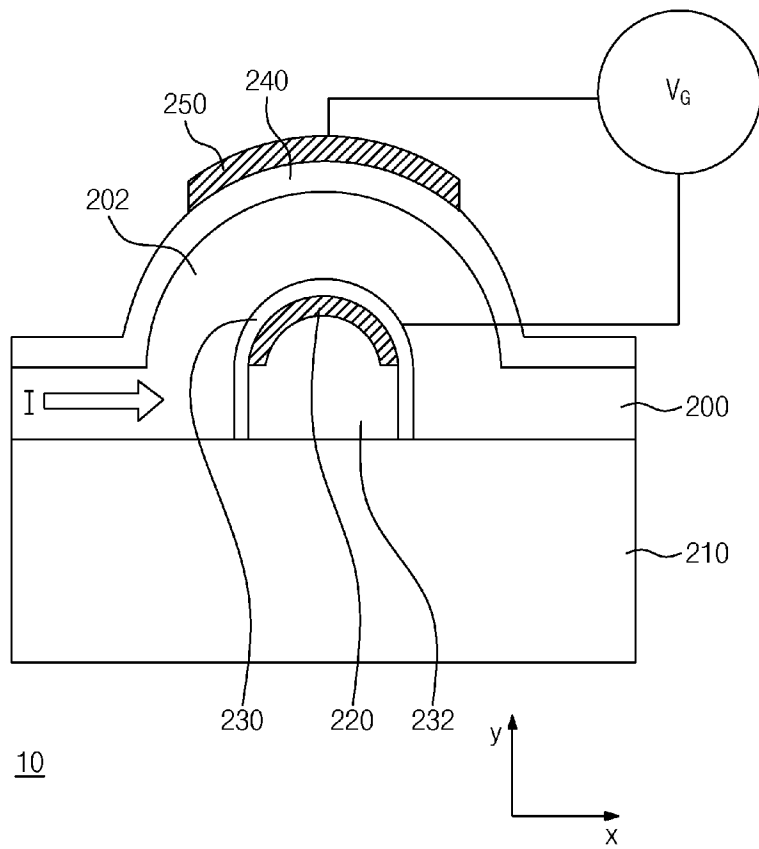
[Fig. 6a]



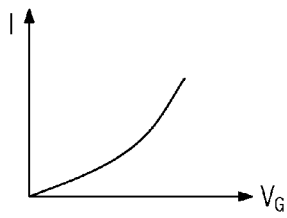
[Fig. 6b]



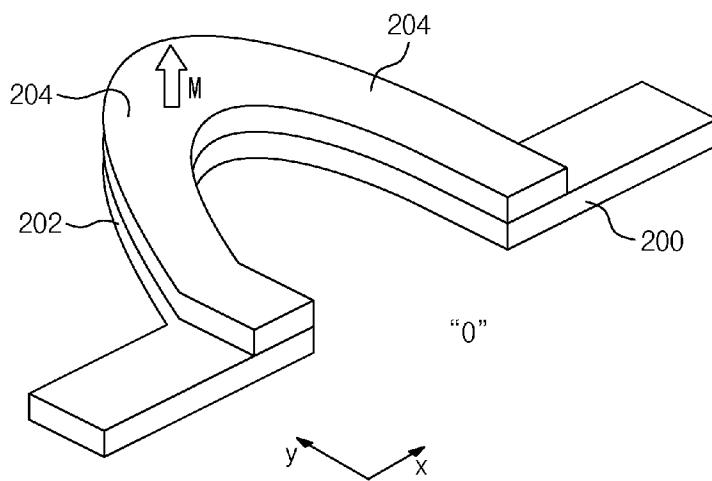
[Fig. 7]



10

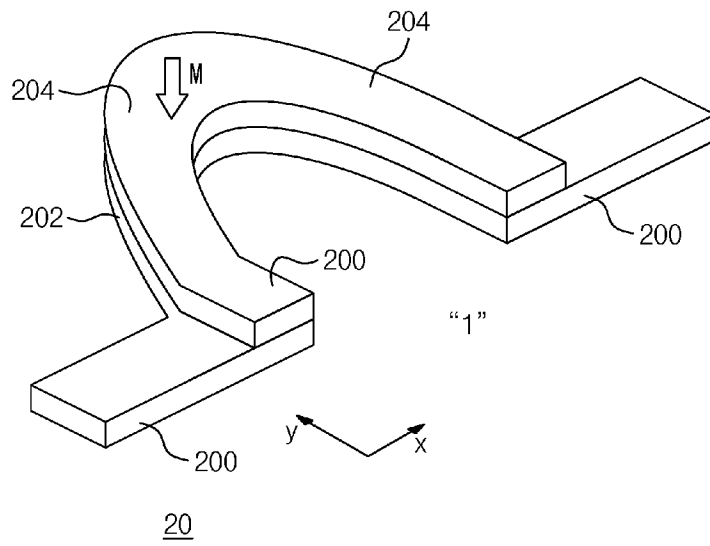


[Fig. 8a]

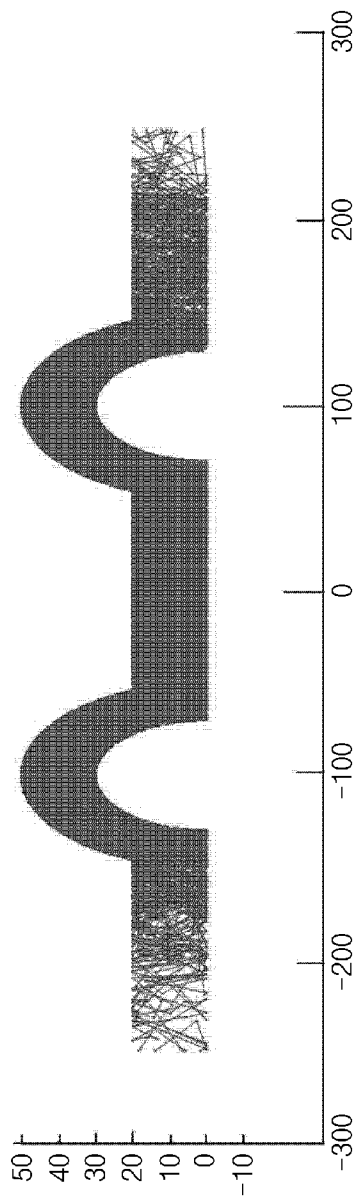


20

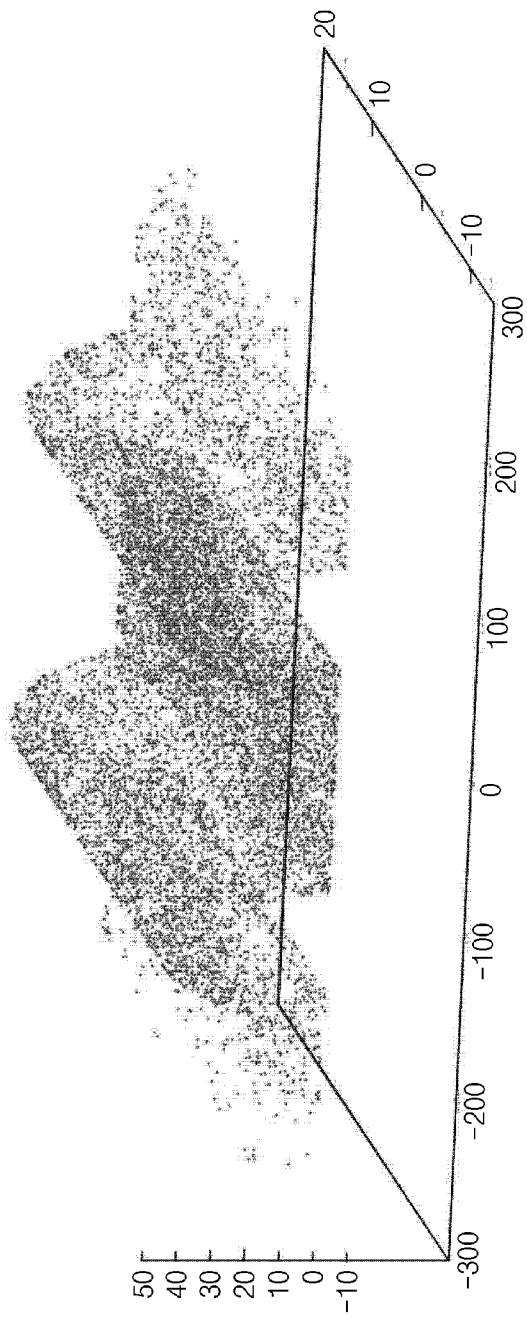
[Fig. 8b]



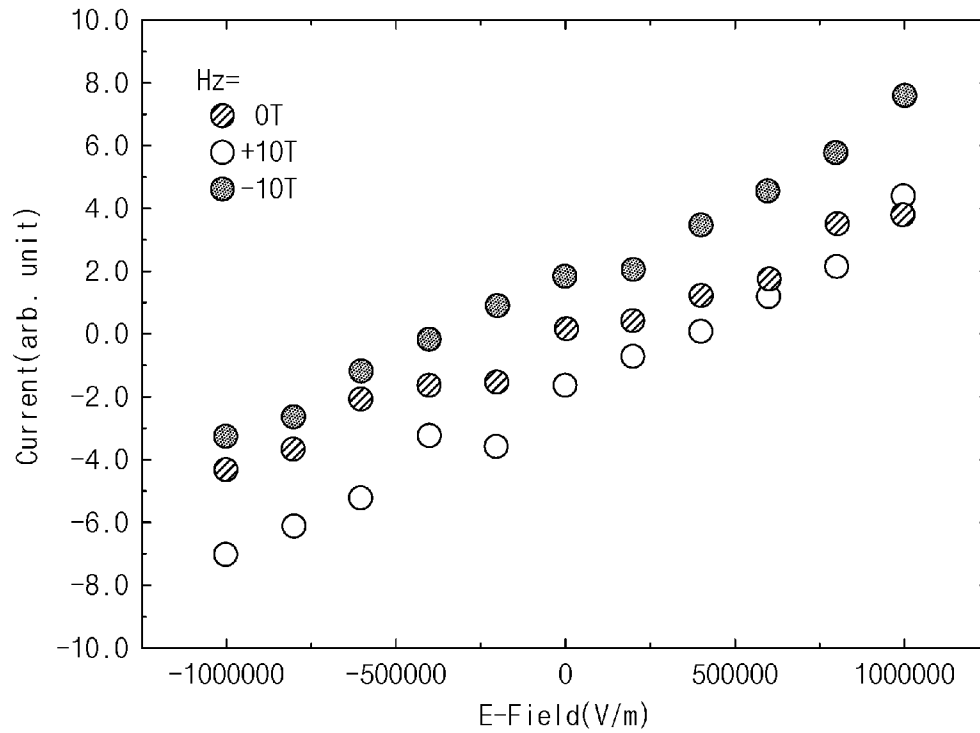
[Fig. 9]



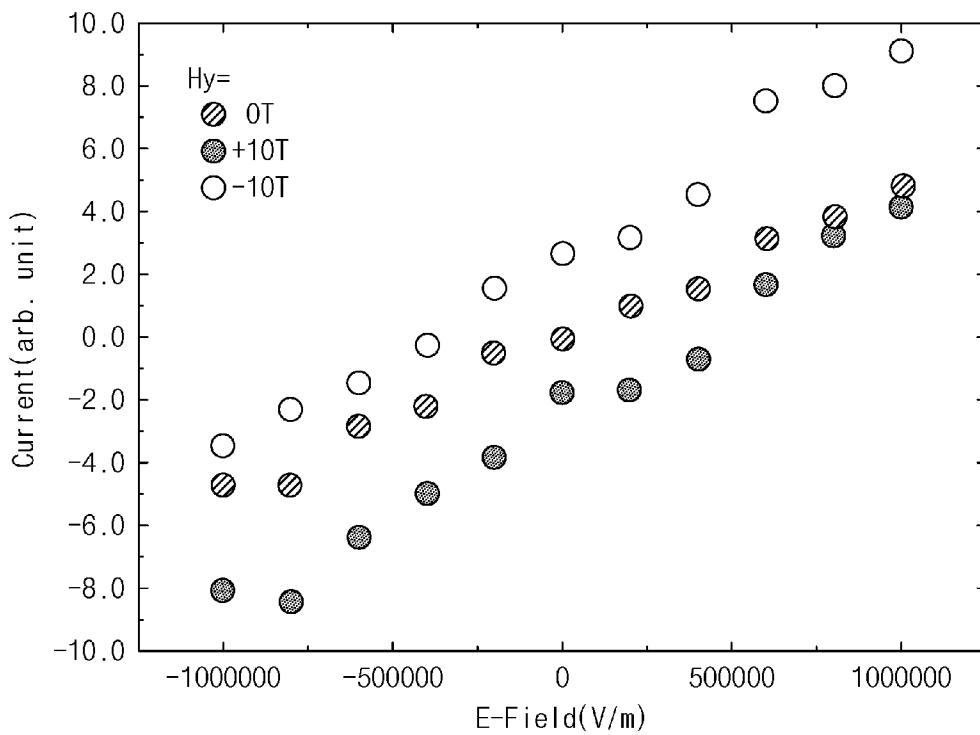
[Fig. 10]



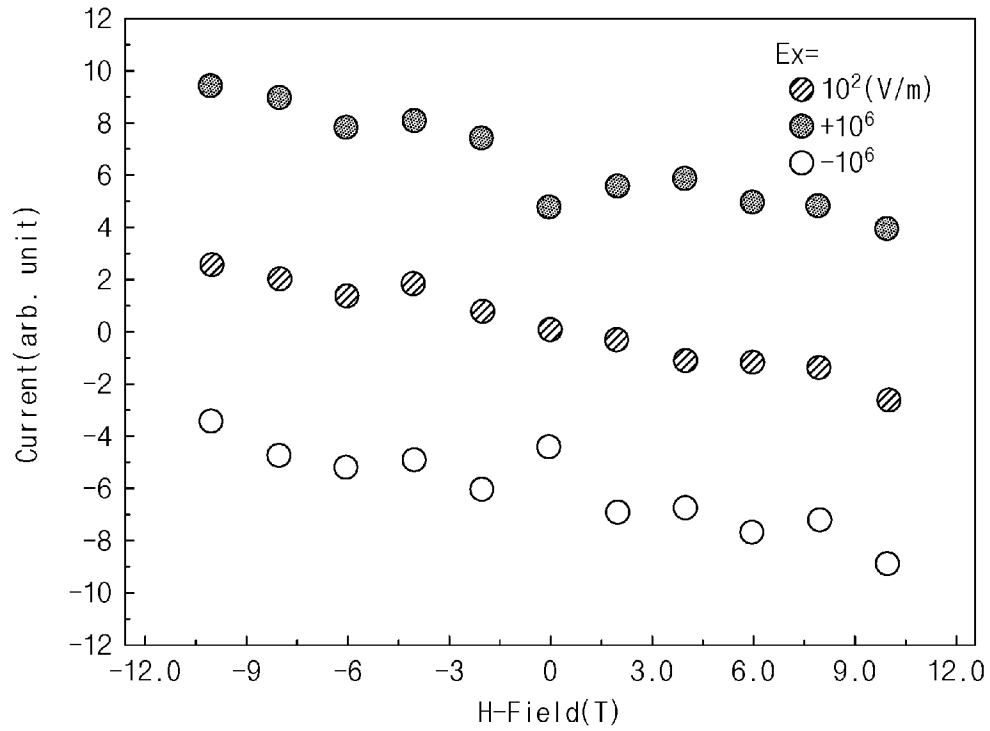
[Fig. 11]



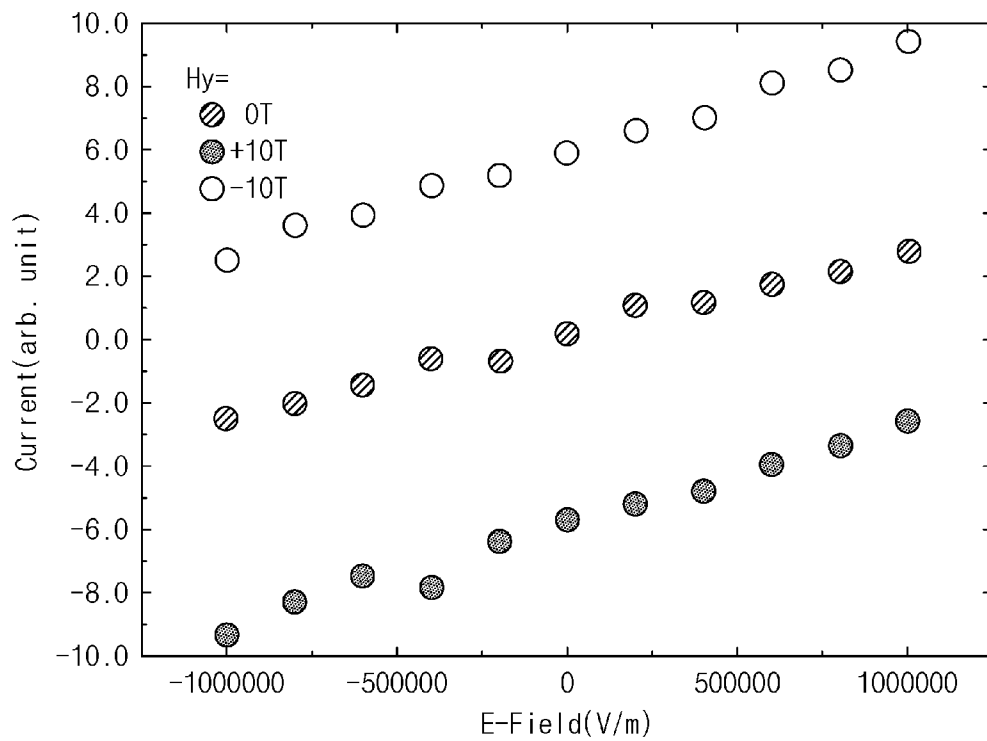
[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2014/009982**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H01L 29/06(2006.01)i, H01L 29/82(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L 29/06; H01L 21/336; H01L 29/82; H01L 29/78; C01B 31/02; H01L 29/66; G01R 33/06; H01J 1/304

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: nanowire, magnetism, electrode, hole effect

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-159273 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 16 June 2005 See abstract, paragraphs [0079]-[0082], figure 3.	1-5
Y	JP 2009-016767 A (FUJITSU LTD) 22 January 2009 See abstract, paragraph [0018], figure 1.	1-5
A	KR 10-2001-0051096 A (ALCATEL-LUCENT USA INC.) 25 June 2001 See abstract, claims 1, 2, figures 6, 7.	1-5
A	KR 10-2009-0081218 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD. et al.) 28 July 2009 See abstract, claim 1, figures 1, 2.	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 JANUARY 2015 (27.01.2015)

Date of mailing of the international search report

27 JANUARY 2015 (27.01.2015)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2014/009982

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 2005-159273 A	16/06/2005	NONE	
JP 2009-016767 A	22/01/2009	JP 5092596 B2	05/12/2012
KR 10-2001-0051096 A	25/06/2001	AU 2000-65430 A1	26/04/2001
		CA 2322254 A1	18/04/2001
		EP 1100106 A2	16/05/2001
		JP 2001-167692A	22/06/2001
		US 6741019 B1	25/05/2004
KR 10-2009-0081218 A	28/07/2009	KR 10-1400238 B1	29/05/2014
		US 2009-0184783 A1	23/07/2009
		US 8120015 B2	21/02/2012

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H01L 29/06(2006.01)i, H01L 29/82(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H01L 29/06; H01L 21/336; H01L 29/82; H01L 29/78; C01B 31/02; H01L 29/66; G01R 33/06; H01J 1/304

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 나노와이어, 자기, 전극, 홀효과

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	JP 2005-159273 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 2005.06.16 요약, 식별번호[0079]-[0082], 도면 3 참조.	1-5
Y	JP 2009-016767 A (FUJITSU LTD) 2009.01.22 요약, 식별번호[0018]. 도면 1 참조.	1-5
A	KR 10-2001-0051096 A (루센트 테크놀로지스 인크) 2001.06.25 요약, 청구항 제1,2항, 도면 6,7 참조.	1-5
A	KR 10-2009-0081218 A (삼성전자주식회사 외 1명) 2009.07.28 요약, 청구항 제1항, 도면 1,2 참조.	1-5

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2015년 01월 27일 (27.01.2015)

국제조사보고서 발송일

2015년 01월 27일 (27.01.2015)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



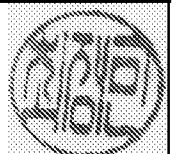
대한민국 특허청
(302-701) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 ++82 42 472 3473

심사관

최정민

전화번호 +82-42-481-8708



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2005-159273 A	2005/06/16	없음	
JP 2009-016767 A	2009/01/22	JP 5092596 B2	2012/12/05
KR 10-2001-0051096 A	2001/06/25	AU 2000-65430 A1	2001/04/26
		CA 2322254 A1	2001/04/18
		EP 1100106 A2	2001/05/16
		JP 2001-167692A	2001/06/22
		US 6741019 B1	2004/05/25
KR 10-2009-0081218 A	2009/07/28	KR 10-1400238 B1	2014/05/29
		US 2009-0184783 A1	2009/07/23
		US 8120015 B2	2012/02/21