



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월05일

(11) 등록번호 10-1479426

(24) 등록일자 2014년12월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

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

(21) 출원번호 10-2013-0134404

(22) 출원일자 2013년11월06일

심사청구일자 2013년11월06일

(56) 선행기술조사문헌

JP2005159273 A*

JP2009016767 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인화로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

유천열

서울 강남구 남부순환로 2914, 7동 1403호 (대치동, 개포우성아파트)

(74) 대리인

이평우

전체 청구항 수 : 총 5 항

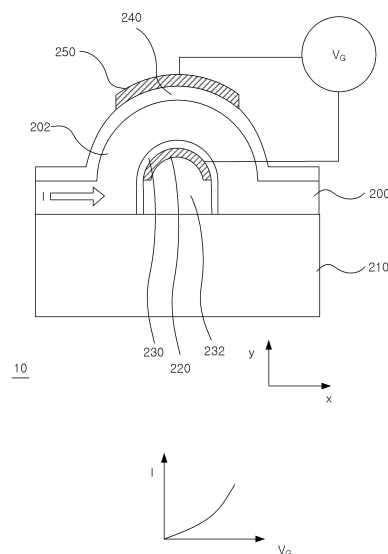
심사관 : 방인환

(54) 발명의 명칭 도전성 반원 구조의 나노 와이어 소자

(57) 요약

본 발명은 나노 와이어 소자를 제공한다. 상기 나노 와이어 소자는 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 나노 와이어의 양단에 흐르는 전류를 제어한다.

대표도 - 도7



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013011936

부처명 미래창조부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 국가연구개발사업

연구과제명 자전력 IT 스핀 소자 개발을 위한 광자기-강자성 공명 장치를 이용한 단원자자성층에서의 스핀 동역학 연구

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2013.06.01 ~ 2014.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

반원 구조를 가진 도전성의 금속 재료의 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 나노 와이어의 양단에 흐르는 전류를 비선형 전도 특성에 의하여 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 금속 재료의 나노 와이어; 및

상기 반원 구조가 배치된 평면에 접촉하여 배치된 강자성체를 포함하고,

상기 강자성체는 수직자기 이방성을 가지고,

상기 자성체의 자화 방향에 따라 상기 나노 와이어에 흐르는 전류의 세기가 비선형 전도 특성에 의하여 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.

명 세 서

기술 분야

[0001]

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

배경 기술

[0002]

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 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 오메가 구조의 나노 와이어를 이용하여 트랜지스터와 같은 능동 소자를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0004] 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.

[0005] 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.

[0006] 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.

[0007] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 반원 구조를 가진 도전성의 나노 와이어; 및

[0008] 상기 반원 구조가 배치된 평면에 접촉하여 배치된 강자성체를 포함하고, 상기 자성체의 자화 방향에 따라 상기 나노 와이어에 흐르는 전류의 세기가 변경된다.

[0009] 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

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노와이어 소자는 다이오드, 트랜지스터, 및 메모리로 동작할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 오옴(Ohm)의 법칙에 따른 확산(diffusive) 모델을 설명하는 도면이다.

도 2는 통상적인 홀(Hall)효과의 측정 원리를 설명하는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 도전성 나노 소자의 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.

도 4는 직선 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.

도 5는 오메가 구조 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.

도 6a 및 도 6b는 오메가 구조의 효과를 설명하는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 단면도이다.

도 8a 및 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 사시도이다.

도 9는 오메가 구조를 가진 나노 와이어에서의 전도효과를 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션으로 확인한 결과이다.

도 10은 2 개의 오메마 구조를 가진 나노 와이어를 전자들이 충돌한 점으로 나타낸 것이다.

도 11은 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 20 nm인 경우 +/-10, 0 T 의 자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.

도 12는 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 30 nm인 경우 +/-10, 0 T 의 자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.

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

도 14는 박막의 두께를 5 nm 로 얇게 한 경우 자기장 및 전기장에 따른 전류를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 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.
- [0013] 도 1은 오옴(Ohm)의 법칙에 따른 확산(diffusive) 모델을 설명하는 도면이다.
- [0014] 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.
- [0015] 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.
- [0016] 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.
- [0017] 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.
- [0018] 도 2는 통상적인 홀(Hall)효과의 측정 원리를 설명하는 도면이다.
- [0019] 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.
- [0020] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 도전성 나노 소자의 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.
- [0021] 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.
- [0022] 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.
- [0023] 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.
- [0024] 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)는 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.

[0025] 도 4는 직선 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.

[0026] 도 5는 오메가 구조 나노 와이어의 투밴드(two-band) 모델에 따른 홀(Hall)효과를 설명하는 도면이다.

[0027] 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.

[0028] 도 6a 및 도 6b는 오메가 구조의 효과를 설명하는 도면이다.

[0029] 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.

[0030] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 단면도이다.

[0031] 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] 제2 절연체(230)는 상기 제2 전극(220)과 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.

[0039] 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.

- [0040] 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 오메가 구조를 적용한 액티브 소자를 설명하는 사시도이다.
- [0041] 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.
- [0042] 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.
- [0043] 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.
- [0044] 도 9는 오메가 구조를 가진 나노 와이어에서의 전도효과를 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션으로 확인한 결과이다.
- [0045] 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.
- [0046] 전자들이 지나간 흔적들이 도시되었다. 2 개의 오메가 구조가 전자들의 충돌에 의해서 보여진다.
- [0047] 도 10은 2 개의 오메가 구조를 가진 나노 와이어를 전자들이 충돌한 점으로 나타낸 것이다.
- [0048] 도 10을 참조하면, 오메가 구조의 내경은 각각 30 nm 로 하고, 외경은 내경과 박막의 두께의 합으로 정했다. 나노 와이어를 이루는 박막의 두께는 20 nm이다.
- [0049] 이때, 전자의 평균자유경로(mean free path)는 20 nm 내지 30 nm 로 설정하였다. 시뮬레이션의 효과를 극대화하기 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.
- [0050] 도 11은 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 20 nm인 경우 ± 10 , 0 T 의 자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.
- [0051] 도 12는 전자들의 평균자유경로(mean free path)가 30 nm인 경우 ± 10 , 0 T 의 자기장에 대한 인가 전기장에 대한 전류의 경향성이다.
- [0052] 도 11 및 도 12를 참조하면, 자기장(Hz)이 없을 경우 원점을 지나는 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.
- [0053] 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.

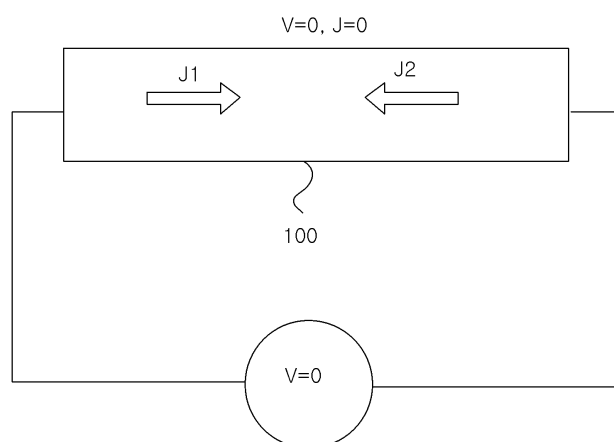
- [0054] 도 13은 고정된 전기장 값(10^2 , $+/-10^6$ V/m)에 대해서 자기장의 변화에 따른 전류를 계산한 결과이다.
- [0055] 도 13을 참조하면, 예상한 바와 같이 자기장(H)에 의해서 전류의 방향과 세기가 변한다. 이때, 변화의 크기는 전기장에 의한 효과에 상응할 수 있다. 이 결과는 30 nm의 평균 자유 경로(mean free path)와 20 nm 두께의 박막에 대해서 계산되었다.
- [0056] 도 14는 박막의 두께를 5 nm로 얇게 한 경우 자기장 및 전기장에 따른 전류를 나타낸다.
- [0057] 도 14를 참조하면, 이 전도현상에서는 계면에서의 충돌이 증가할 수록 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.
- [0058] 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 가로홀 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 유효 질량, v 전자의 속도, q 전자의 전하량, B 자기장) 값과 비슷해 질수록 효과가 극대화될 수 있다. 소자의 크기를 감소시킬 수록, 비선형 전도 특성은 더 증가한다.
- [0059] 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.

부호의 설명

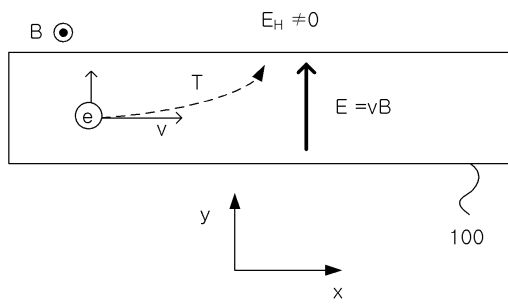
- [0060] 10: 나노 와이어 소자
200: 나노와이어
202: 반원 구조(오메가 구조)
250: 제1 전극
220: 제2 전극

도면

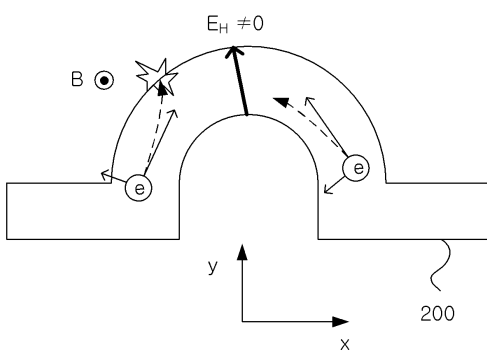
도면1



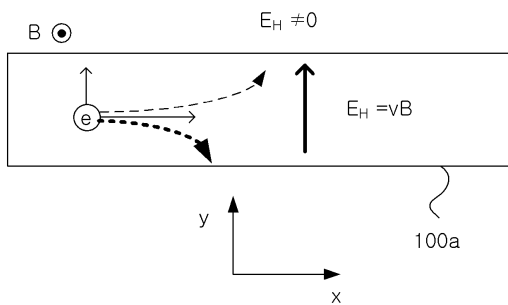
도면2



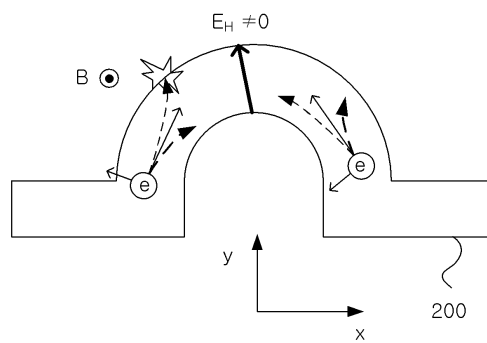
도면3



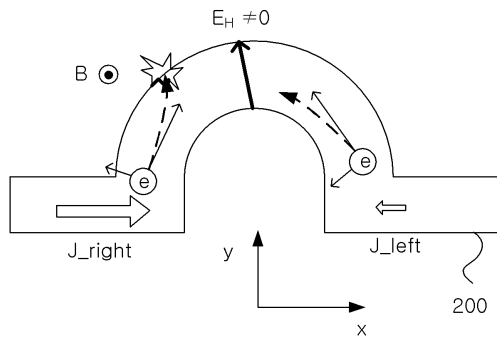
도면4



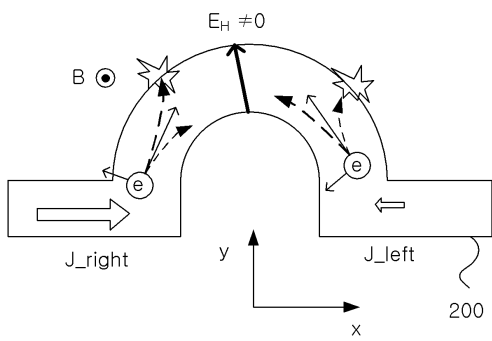
도면5



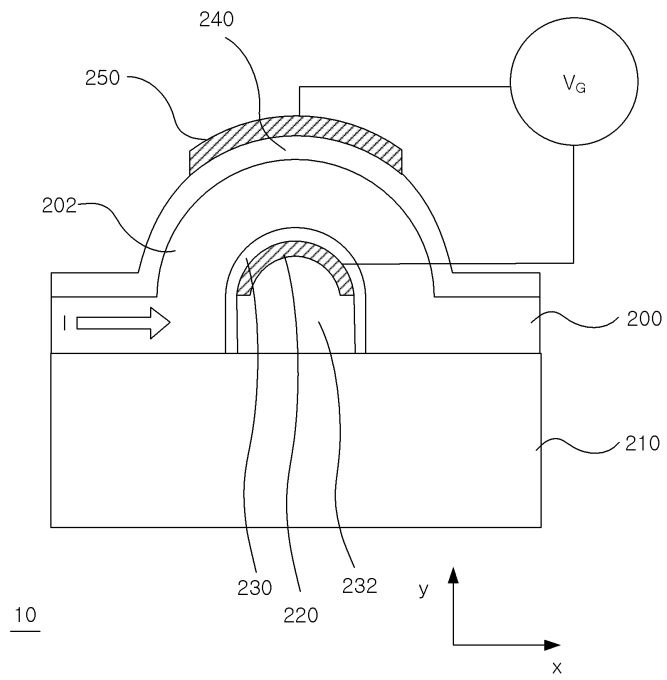
도면6a



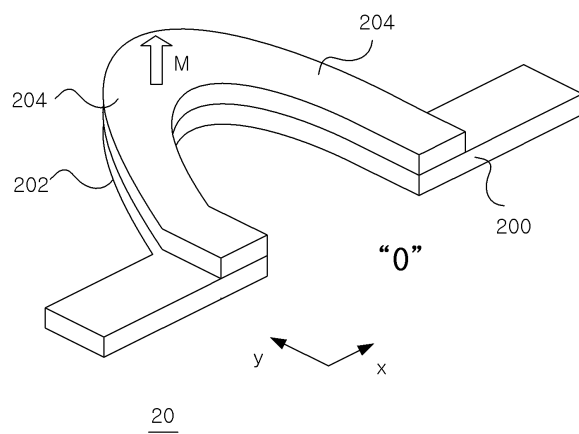
도면6b



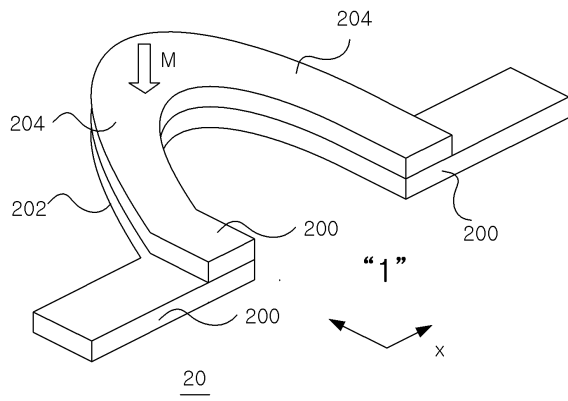
도면7



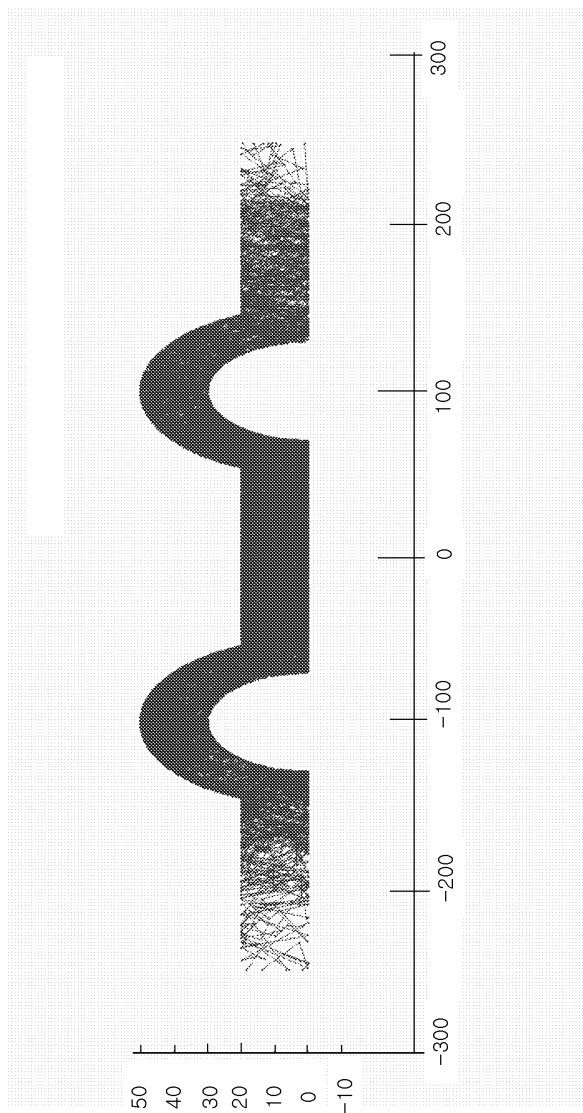
도면8a



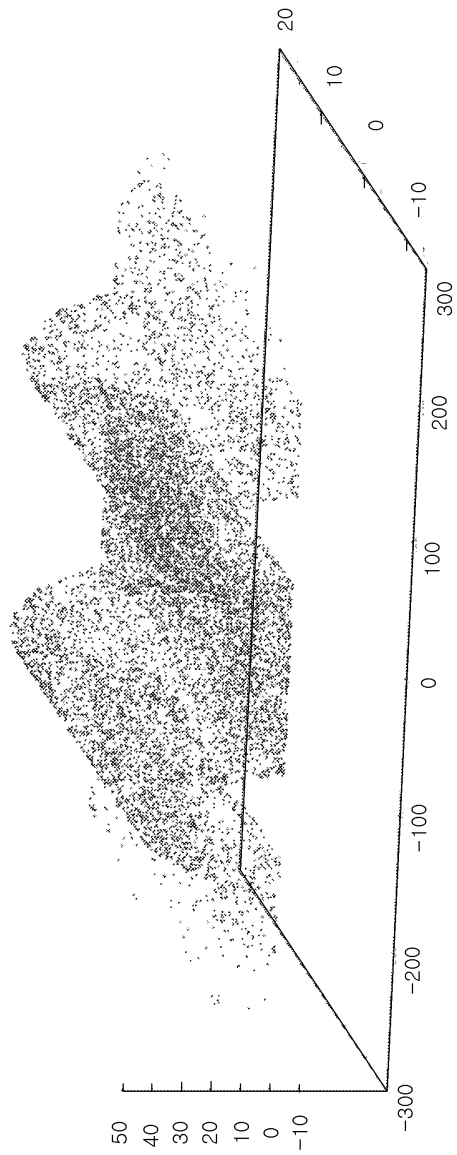
도면8b



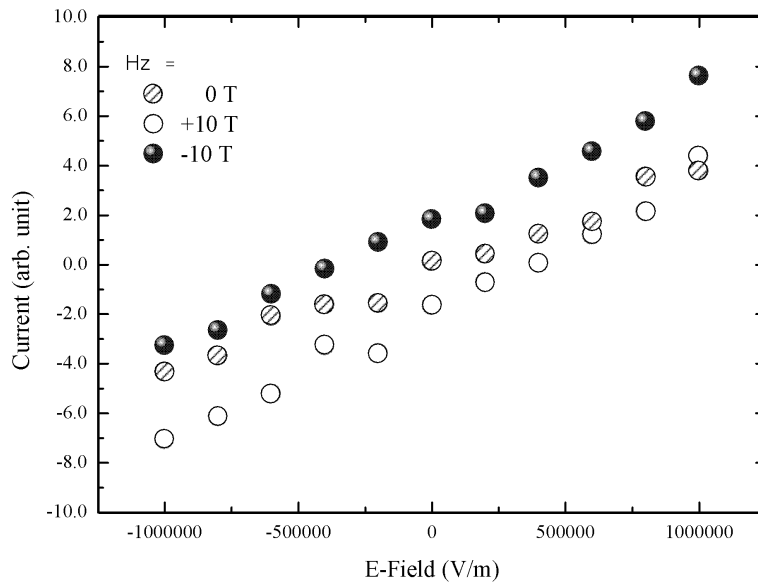
도면9



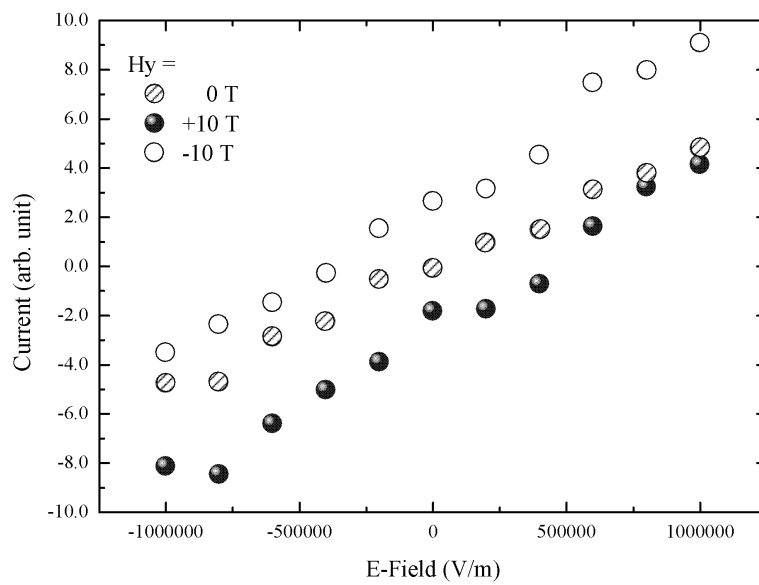
도면10



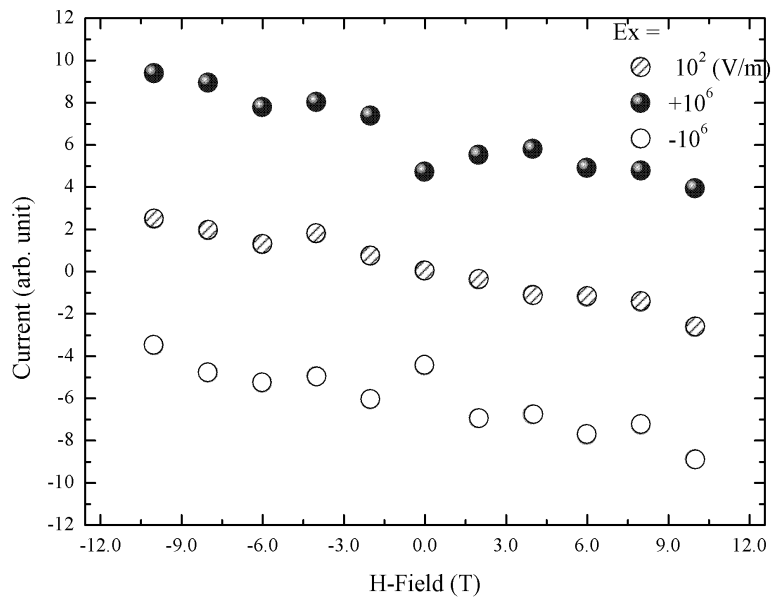
도면11



도면12



도면13



도면14

