



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년02월15일
(11) 등록번호 10-1948602
(24) 등록일자 2019년02월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0384 (2006.01) H01L 31/032 (2006.01)
H01L 31/072 (2006.01) H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/03845 (2013.01)
H01L 31/032 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0138972
(22) 출원일자 2017년10월25일
심사청구일자 2017년10월25일
(56) 선행기술조사문헌
JP4224578 B2*
KR100809440 B1*
KR1020170076638 A*
KR100859723 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
주진수
서울특별시 중랑구 신내로21길 16, 525동 402호
박철준
경기도 군포시 산본2동 개나리아파트 1331동 301
호
(74) 대리인
김등용, 김홍석

전체 청구항 수 : 총 16 항

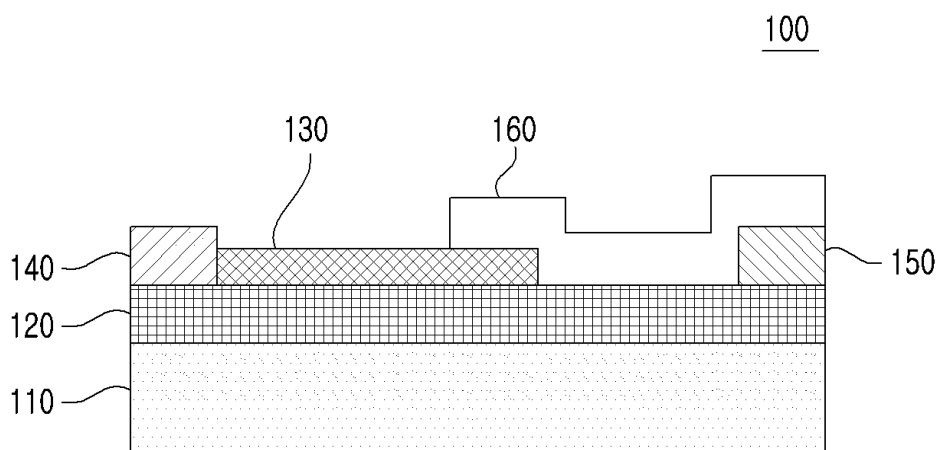
심사관 : 이규재

(54) 발명의 명칭 전이금속 칼코겐 화합물 및 유기 화합물의 하이브리드 구조를 포함하는 나노소자 및 그것의 제조 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 나노소자는 게이트 전극으로 동작하는 기관, 상기 기관 상에 적층되는 절연층, 상기 절연층 상에 부착되며, 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 층을 포함하는 전이금속 칼코겐 화합물 조각, 상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각에 연결되는 소스 전극, 상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 이격되어 위치하는 드레인 전극 그리고 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 드레인 전극을 연결하는 유기물 판을 포함하되, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이에서 상기 기관에 인가되는 전압에 따라 역 이중극성을 가지는 소스-드레인 전류가 흐를 수 있다. 또한, 광기전 특성을 가질 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/072 (2013.01)

H01L 31/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017031053

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 (이공)중견연구자지원_핵심연구

연구과제명 MoS2/유기반도체 하이브리드 나노판 특성과 다기능 광전자 소자 응용 연구

기 여 율 1/2

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2017.05.01 ~ 2018.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017016314

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 글로벌프론티어지원

연구과제명 전자기 파동에너지 극한제어 기술

기 여 율 1/2

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2017.05.01 ~ 2018.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

게이트 전극으로 동작하는 기관;

상기 기관 상에 적층되는 절연층;

상기 절연층 상에 부착되며, 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 층을 포함하는 전이금속 칼코겐 화합물 조각;

상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각에 연결되는 소스 전극;

상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 이격되어 위치하는 드레인 전극; 그리고

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 드레인 전극을 연결하는 유기물 판을 포함하되,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이에서 상기 기관에 인가되는 전압에 따라 역 이중극성을 가지는 소스-드레인 전류가 흐르고,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각의 두께가 증가하는 경우, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이의 전하이동도는 증가하는,

나노소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에 전압이 인가되지 않은 상태에서 상기 유기물 판에 특정 파장의 빛이 조사되는 경우, 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에서 광전류가 발생하는 나노소자.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에 전압이 인가되지 않은 상태에서 상기 유기물 판에 특정 파장의 빛이 조사되는 경우, 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에서 상기 기관에 인가되는 전압에 따라 변화하는 광전류가 발생하는 나노소자.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 광전류는 상기 기관에 인가되는 전압의 크기에 따라 역 이중극성의 특성을 가지는 나노소자.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 광전류는 상기 기관에 인가되는 전압의 크기가 변화되는 경로에 따라 서로 다른 최대 값을 가지는 나노소자.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 소스-드레인 전류는 상기 기관에 인가되는 전압의 크기가 변화되는 경로에 따라 서로 다른 최대 값을 가지는 나노소자.

청구항 7

게이트 전극으로 동작하는 기관;

상기 기관 상에 적층되는 절연층;

상기 절연층 상에 부착되며, 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 층을 포함하는 전이금속 칼코겐 화합물 조각;

상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각에 연결되는 소스 전극;

상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 이격되어 위치하는 드레인 전극; 그리고

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 드레인 전극을 연결하는 유기물 판을 포함하되,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이에서 상기 기관에 인가되는 전압에 따라 역 이중극성을 가지는 소스-드레인 전류가 흐르고,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이의 전하이동도는 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각의 두께에 따라 제어되는,

나노소자.

청구항 8

삭제

청구항 9

게이트 전극으로 동작하는 기관;

상기 기관 상에 적층되는 절연층;

상기 절연층 상에 부착되며, 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 층을 포함하는 전이금속 칼코겐 화합물 조각;

상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각에 연결되는 소스 전극;

상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 이격되어 위치하는 드레인 전극; 그리고

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 드레인 전극을 연결하는 유기물 판을 포함하되,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이에서 상기 기관에 인가되는 전압에 따라 역 이중극성을 가지는 소스-드레인 전류가 흐르고,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각에 포함된 전이금속 칼코겐 화합물 층의 수가 증가하는 경우, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이의 전하이동도는 증가하는,

나노소자.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각은 상기 유기물 판과 2차원 구조 또는 수평적 구조로 연결되는 나노소자.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각은 MoS_2 로 구성된 적어도 하나의 층을 포함하는 나노소자.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 유기물 판은 루브린 나노판을 포함하는 나노소자.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 상기 유기물 판은 전계효과 트랜지스터의 채널 영역을 형성하는 나노소자.

청구항 14

2차원 전이금속 칼코겐 화합물 조각을 포함하는 나노소자의 제조 방법에 있어서,

게이트 전극의 기능을 수행하는 기관 상에 절연층을 형성하는 단계;

상기 절연층 상에, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각을 부착하는 단계;

상기 절연층 상에, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 접촉하도록 소스 전극을 형성하는 단계;

상기 절연층 상에, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 이격하여 드레인 전극을 형성하는 단계; 그리고

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 드레인 전극에 모두 연결되도록 미리 생성된 유기물 판을 이동시키는 단계를 포함하되,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판은 서로 수평적으로 접합되고,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각의 두께가 증가하는 경우, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이의 전하이동도는 증가하는,

나노소자의 제조 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각은 기계적 박리법에 의해 상기 절연층에 부착되는 나노소자의 제조 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 유기물 판은 실리콘 산화물 기관에서 생성되어 마이크로 매니플레이터에 달린 텅스텐 팁을 이용하여 이동되는 나노소자의 제조 방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극은 전자빔을 이용하여 증착될 영역을 패터화한 후 Al, Cr, Au의 순서대로 증착하여 형성하는 나노소자의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전이금속 칼코겐 화합물을 이용한 나노소자에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로 전이금속 칼코겐 화합물 및 유기 화합물의 하이브리드 구조를 포함하는 나노소자 및 그것의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 그래핀은 고유의 전자구조에 의하여, 기계적, 열적, 전기적 특성이 매우 우수하다. 다만, 에너지 띠틈(band gap)이 없는 그래핀 물질의 특성상 전자산업의 핵심 소자인 트랜지스터로의 상용화에는 한계점을 갖고 있다.

[0003] 이러한 문제점을 극복하기 위해, 최근에 전이금속 칼코겐 화합물에 대한 관심이 증가하였으며, 전이금속 칼코겐 화합물은 흑연과 유사한 층상 구조를 갖는다. 전이금속 칼코겐 화합물은, 공유결합으로 이루어진 X-M-X층이 반

테르발스 결합으로 유지되고 있다.

[0004] 전이금속 칼코겐 화합물과 같은 칼코겐 화합물은, 공통된 결정 구조로 이루어짐과 동시에 전기적, 자기적 및 광학적으로 큰 이방성을 갖고 각종의 특이한 물성을 나타내기 때문에 그 물성의 해명과 응용에 대한 연구가 이루어지고 있다.

[0005] 전이금속 칼코겐 화합물은 전기이동도가 $200\text{cm}^2/\text{Vs}$ 정도로 높고, 온-오프 비(on-off ratio)가 10^8 으로 매우 우수한 물질이다. 또한, 전이금속 칼코겐 화합물은 유연한 특성을 갖고 있어, 유연한 박막 트랜지스터, 플렉시블(flexible) 디스플레이를 구현하기 위한 채널층 등으로 사용하기에 적합한 이점을 갖고 있다.

[0006] 이러한 전이금속 칼코겐 화합물을 이용하여 p-n 이종접합구조를 만들고, 역 이종극성 트랜지스터의 특성과 태양전지의 특성을 분석하는 연구들이 시도되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상술된 기술적 과제를 해결하기 위한 것으로써, 본 발명의 목적은 전이금속 칼코겐 화합물 및 유기 화합물의 하이브리드 구조를 포함하며, 역 이종극성 트랜지스터의 특징 및 태양전지의 특성을 모두 가지는 나노소자 및 그것의 제조 방법을 제공하는 데 있다.

[0008] 또한, 본 발명은 전이금속 칼코겐 화합물과 유기 화합물의 수평적 접합 구조를 가지는 나노소자를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0009] 또한, 본 발명은 전이금속 칼코겐 화합물의 두께를 조절하여 나노소자의 특성을 제어하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시 예에 따른 나노소자는 게이트 전극으로 동작하는 기관, 상기 기관 상에 적층되는 절연층, 상기 절연층 상에 부착되며, 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 층을 포함하는 전이금속 칼코겐 화합물 조각, 상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각에 연결되는 소스 전극, 상기 절연층 상에서, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 이격되어 위치하는 드레인 전극 그리고 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 드레인 전극을 연결하는 유기물 판을 포함하되, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판 사이에서 상기 기관에 인가되는 전압에 따라 역 이종극성을 가지는 소스-드레인 전류가 흐를 수 있다.

[0011] 본 발명의 실시 예에 따른 2차원 전이금속 칼코겐 화합물 조각을 포함하는 나노소자의 제조 방법은, 게이트 전극의 기능을 수행하는 기관 상에 절연층을 형성하는 단계, 상기 절연층 상에, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각을 부착하는 단계, 상기 절연층 상에, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 접촉하도록 소스 전극을 형성하는 단계, 상기 절연층 상에, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각과 이격하여 드레인 전극을 형성하는 단계, 그리고 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 드레인 전극에 모두 연결되도록 미리 생성된 유기물 판을 이동시키는 단계를 포함하되, 상기 전이금속 칼코겐 화합물 조각 및 상기 유기물 판은 서로 수평적으로 접합될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 나노소자를 보여주는 단면도이다.

도 2는 도 1의 나노소자를 제조하는 방법을 보여주는 순서도이다.

도 3은 도 1의 나노소자를 제조하는 방법을 순서대로 보여주는 단면도이다.

도 4는 도 2의 방법으로 제조된, 다양한 두께를 가지는 나노소자들(A1 내지 B3)의 전하이동도를 보여주는 도면이다.

도 5a 내지 도 5e는 나노소자들(A1 내지 B3)의 소스-드레인 전류의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 6은 도 1의 나노소자의 광기전 효과를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 도 6의 나노소자에서 측정된 소스-드레인 전압 및 소스-드레인 전류를 보여주는 그래프와 광기전 효과를 보여주는 확대그래프이다.

도 8은 도 6의 나노소자에서 게이트 전압에 따른 소스-드레인 전류의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 9는 도 1의 나노소자를 예시적으로 보여주는 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 앞의 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명 모두 예시적이라는 것이 이해되어야 하며, 청구된 발명의 부가적인 설명이 제공되는 것으로 여겨져야 한다. 참조부호들이 본 발명의 바람직한 실시 예들에 상세히 표시되어 있으며, 그것의 예들이 참조 도면들에 표시되어 있다. 가능한 어떤 경우에도, 동일한 참조 번호들이 동일한 또는 유사한 부분을 참조하기 위해서 설명 및 도면들에 사용된다.
- [0014] 제 1 또는 제 2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제 1 구성요소는 제 2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성요소는 제 1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0015] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0016] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0017] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0018] 이하, 실시 예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나 특허출원의 범위가 이러한 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0019] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 나노소자를 보여주는 단면도이다. 도 1을 참조하면, 나노소자(100)는 기판(110), 절연층(120), 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130), 소스 전극(140), 드레인 전극(150) 및 유기물 판(160)을 포함할 수 있다. 본 발명의 실시 예에 따르면, 나노소자(100)는 전이금속 칼코겐 화합물 및 유기물의 접합을 통한 하이브리드 채널 영역을 포함하고, 트랜지스터의 특성 및 태양 전지의 특성을 모두 포함할 수 있다.
- [0020] 기판(110)은 나노소자(100)의 게이트 전극의 역할을 수행할 수 있다. 예를 들면, 기판(110)은 Si, Ge, SiGe, GaP, GaAs, SiC, SiGeC, InAs 및 InP로 이루어지는 군에서 선택되는 하나 이상의 반도체 재료로 이루어질 수 있다. 이하에서, 기판(110)은 P형으로 도핑된 실리콘(p++ Si)으로 예시적으로 설명하지만, 기판(110)은 이에 한정되지 않는다.
- [0021] 절연층(120)은 기판(110) 상에 형성될 수 있다. 예를 들면, 절연층(120)은 화학 기상 증착(Chemical Vapor Deposition: CVD) 공정, 플라즈마 화학 기상 증착(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition: PECVD) 공정, 원자층 증착(Atomic Layer Deposition: ALD) 공정 등을 통해 형성될 수 있다. 또한, 절연층(120)은 실리콘 산화물(예를 들어, SiO₂)을 사용하여 형성될 수 있다. 이하에서, 절연층(120)은 SiO₂인 것으로 예시적으로 설명하지만, 절연층(120)은 이에 한정되지 않는다.
- [0022] 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130) 및 유기물 판(160)은 나노소자(100)의 채널 영역을 형성할 수 있다. 예를 들면, 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)은 N형 반도체 특성을 가지는 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 층

을 포함할 수 있다. 전이금속 칼코겐 화합물 층은 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides; 예를 들어, MoS_2 , MoSe_2 , MoTe_2 , WS_2 , WSe_2 , WTe_2 등)이 2차원적으로 결합되어 형성될 수 있다. 전이금속 칼코겐 화합물은 전이금속 물질(예를 들어, Mo, W 등)에 전해질을 이용하여 칼코겐 물질(예를 들어, S, Se, Te)을 도핑하여 형성될 수 있다. 이하에서, 전이금속 칼코겐 화합물은 MoS_2 인 것으로 예시적으로 설명하지만, 전이금속 칼코겐 화합물은 이에 한정되지 않는다. 유기물 판(160)은 P형 반도체의 특성을 가지는 파이-공액 구조의 루브린(rubrene) 나노판을 포함할 수 있다.

[0023] 소스 전극(140)은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)에 연결될 수 있다. 드레인 전극(150)은 유기물 판(160)에 연결될 수 있다. 예를 들면, 소스 전극(140)은 직접적으로 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)에 접촉될 수 있다. 드레인 전극(150)은 직접적으로 유기물 판(160)에 접촉될 수 있다. 소스 전극(140) 및 드레인 전극(150)은 Al, Cr, Au, Pt, Ti, Ru, Ag, W 또는 Cu 등의 물질로 구성될 수 있다. 소스 전극(140) 및 드레인 전극(150)은 화학 기상 증착(CVD) 공정, 플라즈마 화학 기상 증착(PECVD) 공정, 원자층 증착(ALD) 공정, 또는 스퍼터(sputter) 공정 등을 통해 형성될 수 있다.

[0024] 나노소자(100)는 기본적으로 전계효과 트랜지스터의 구조를 가질 수 있다. 예를 들면, 나노소자(100)는 역 이중극성 트랜지스터의 특성을 가질 수 있다. 역 이중극성 트랜지스터는 게이트 전압이 인가되지 않은 상태에서 전류가 잘 흐르고, 양의 게이트 전압 또는 음의 게이트 전압이 인가된 상태에서 전류가 흐르지 않는 트랜지스터를 말한다.

[0025] 또한, 나노소자(100)는 태양전지의 특성을 가질 수 있다. 예를 들면, 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)과 유기물 판(160)의 경계 상의 유기물 판(160)에 특정 파장의 빛을 조사하는 경우, 소스 전극(140)과 드레인 전극(160) 사이에 전류가 발생할 수 있다. 따라서, 나노소자(100)는 트랜지스터의 특성 및 태양 전지의 특성을 모두 발현할 수 있다.

[0026] 도 2는 도 1의 나노소자를 제조하는 방법을 보여주는 순서도이다. 도 3은 도 1의 나노소자를 제조하는 방법을 순서대로 보여주는 단면도이다. 도 2 및 도 3을 참조하면, 나노소자(100)는 복수의 단계를 통해 제조될 수 있다.

[0027] S110 단계에서, 기판(110) 상에 절연층(120)을 형성할 수 있다. 예를 들면, 기판(110)은 P형으로 도핑된 실리콘(p++ Si)으로 구성될 수 있다. 절연층(120)은 화학 기상 증착(Chemical Vapor Deposition: CVD) 공정, 플라즈마 화학 기상 증착(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition: PECVD) 공정, 원자층 증착(Atomic Layer Deposition: ALD) 공정 등을 통해 형성될 수 있다. 절연층(120)은 기판(110) 상에 증착된 SiO_2 로 구성될 수 있다.

[0028] S120 단계에서, 절연층(120) 상에 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)을 부착할 수 있다. 예를 들면, 3M 테이프 또는 PDMS(polydimethylsiloxane) 필름을 이용한 기계적 박리법을 이용하여, MoS_2 조각은 획득될 수 있으며, MoS_2 조각을 CVD방법 등으로 제작할 수 있다. 획득된 MoS_2 조각은 깨끗이 세척된 절연층(120) 상에 붙여 박리될 수 있다. 나노소자(100)에 사용될 MoS_2 조각은 균일한 두께를 가진 것으로 선별될 수 있다.

[0029] S130 단계에서, 절연층(120) 상에 소스 전극(140) 및 드레인 전극(160)을 형성할 수 있다. 이때 소스 전극(140)은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)에 직접 접촉되도록 형성되고, 드레인 전극(160)은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)과 특정 간격을 두고 형성될 수 있다. 예를 들면, 절연층(120) 상에 소스 전극(140) 및 드레인 전극(160)을 증착할 영역은 전자빔을 이용하여 패터닝될 수 있다. 그 후 소스 전극(140) 및 드레인 전극(160)의 패턴에 Al, Cr, Au이 순서대로 증착될 수 있다. 실시 예로서, 소스 전극(140) 및 드레인 전극(160)은 Al이 50nm, Cr이 10nm, Au가 50nm의 두께로 증착될 수 있다.

[0030] S140 단계에서, 유기물 판(160)은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130) 및 드레인 전극(160) 사이를 덮도록 이동될 수 있다. 유기물 판(160)의 한쪽 끝은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)에 접촉되고, 유기물 판(160)의 다른쪽 끝은 드레인 전극(160)에 접촉될 수 있다. 예를 들면, 유기물 판(160)은 루브린 나노판이 사용될 수 있다. 미리 제작된 루브린 나노판은 마이크로 매니퓰레이터에 달린 텅스텐 팁으로 들어올려질 수 있다. 들어올려진 루브린 나노판은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130) 및 드레인 전극(160)에 모두 접촉되도록 이동될 수 있다. 루브린 나노판이 이동된 후, 루브린 나노판이 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130) 및 드레인 전극(160)에 충분히 부착되도록 일정시간 동안 진공상태가 유지될 수 있다. 유기물 판(160)은 루브린 나노판 결정 중 수십 μm 크기로 선별될 수 있다.

- [0031] 일 실시 예에서, 루브린 나노판은 다음의 방법으로 제작될 수 있다. 루브린 가루를 담은 알루미늄 보트는 고온 전기로의 가열 부분에 위치할 수 있다. 시드 역할을 하는 금 나노입자가 뿌려진 실리콘 산화물 기판은 가열 부분이 끝나는 영역에 위치할 수 있다. 가열 부분에 열(약 310℃)을 가해줌과 동시에 질소 기체를 흘려주면, 가열로 인하여 승화된 루브린 분자 기체는 실리콘 산화물 기판으로 이동할 수 있다. 이동된 루브린 분자 기체는 온도가 낮은 실리콘 산화물 기판에서 다시 승화하여 결정을 형성할 수 있다. 따라서, 루브린 분자 기체는 수백 nm 두께의 나노판 형태로 자가조립될 수 있다.
- [0032] 도 4는 도 2의 방법으로 제조된, 다양한 두께를 가지는 나노소자들(A1 내지 B3)의 전하이동도를 보여주는 도면이다. 도 5a 내지 도 5e는 나노소자들(A1 내지 B3)의 소스-드레인 전류의 변화를 보여주는 그래프이다. 도 4 및 도 5a 내지 도 5e를 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 나노소자(100)는 전계효과 트랜지스터의 특성을 가질 수 있다. 나노소자들(A1~A2, B1~B3)은 도 1의 나노소자(100)와 동일 또는 유사한 구조를 가지고, 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)의 두께만 서로 다르다. 예를 들면, 나노소자들(A1~A2)은 3층 이하의 MoS_2 조각을 포함하는 나노소자이다. 나노소자들(B1~B3)은 5층 이상의 MoS_2 조각을 포함하는 나노소자이다. 나노소자들(A1~A2, B1~B3)은 도 1의 유기물 판(160)으로서 동일 또는 유사한 두께(약 400nm)의 루브린 나노판을 포함할 수 있다.
- [0033] 도 5a 내지 도 5e는 나노소자들(A1~A2, B1~B3) 각각에 대하여 특정 소스-드레인 전압(V_D)에서 게이트 전압(V_G)을 변화시키면서 소스-드레인 전류(I_D)를 측정한 것이다. 예를 들면, 실선 그래프(①구간, ②구간)는 게이트 전압(V_G)을 음전압부터 양전압으로 변화시키면서 측정된 소스-드레인 전류(I_D)이다. 점선 그래프(③구간, ④구간)는 게이트 전압(V_G)을 양전압부터 음전압으로 변화시키면서 측정된 소스-드레인 전류(I_D)이다. 도 5a는 나노소자(A1)의 소스-드레인 전류(I_D)에 대한 그래프이다. 도 5b는 나노소자(A2)의 소스-드레인 전류(I_D)에 대한 그래프이다. 도 5c는 나노소자(B1)의 소스-드레인 전류(I_D)에 대한 그래프이다. 도 5d는 나노소자(B2)의 소스-드레인 전류(I_D)에 대한 그래프이다. 도 5e는 나노소자(B3)의 소스-드레인 전류(I_D)에 대한 그래프이다.
- [0034] 도 5a 내지 도 5e에서, 소스-드레인 전류(I_D)는 특정 게이트 전압(V_G)에서 최대 값을 가진다. 또한, 소스-드레인 전류(I_D)이 최대인 게이트 전압(V_G)으로부터 게이트 전압(V_G)이 음 또는 양의 방향으로 멀어질수록, 소스-드레인 전류(I_D)는 0A에 가까워진다. 이는 두 물질(MoS_2 , 루브린)의 접합 면에서 Langevin 재결합 또는 Schokely-Read Hall 재결합 과정을 통해 전자와 정공의 재결합에 의해 전류가 흐르게 되는데, N형 반도체인 MoS_2 조각에 포함된 전자의 농도와 P형 반도체인 루브린 나노판에 포함된 정공의 농도가 균형을 이루는 경우 전자와 정공의 재결합이 원활히 발생하기 때문이다. 전자의 농도와 정공의 농도가 균형을 이루게되는 조건은 N형 반도체 및 P형 반도체의 종류와 두께에 따라 달라질 수 있다. 한편, 이러한 그래프의 형태는 역 이중극성 트랜지스터의 특성을 보여준다.
- [0035] 도 4에서, 나노소자들(A1~A2, B1~B3)에 대한 각 구간(①구간, ②구간, ③구간, ④구간)의 전하이동도는 도 5a 내지 도 5e의 그래프를 통해 계산될 수 있다. 예를 들면, 나노소자들(B1~B3)의 전하이동도는 나노소자들(A1~A2)의 전하이동도보다 약 100배 정도 크다. 따라서, 본 발명의 실시 예에 따른 나노소자(100)의 전하이동도는 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)의 두께에 따라 조절할 수 있다.
- [0036] 한편, 도 5a 내지 도 5e에서, 나노소자(100)는 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)의 두께가 작을수록 구동하기 위해 더 높은 게이트 전압(V_G)을 요구할 수 있다. 예를 들면, 나노소자(A1)는 -50V부터 20V 사이의 게이트 전압(V_G)이 인가된 경우, 나노소자(A2)는 -70V부터 40V 사이의 게이트 전압(V_G)이 인가된 경우 소스-드레인 전류(I_D)가 흐른다. 반면에, 나노소자(B1)는 -20V부터 10V 사이의 게이트 전압(V_G)이 인가된 경우, 나노소자(B2)는 -15V부터 0V 사이의 게이트 전압(V_G)이 인가된 경우, 나노소자(B3)는 -12.5V부터 7.5V 사이의 게이트 전압(V_G)이 인가된 경우 소스-드레인 전류(I_D)가 흐른다.
- [0037] 또한, 나노소자(100)의 소스-드레인 전류(I_D)는 게이트 전압(V_G)의 변화 방향에 따라 이력현상을 보일 수 있다. 예를 들면, 나노소자들(A1~A2, B1~B3)의 소스-드레인 전류(I_D)는 게이트 전압(V_G)이 음전압으로부터 양전압으로 변경될 경우 실선 그래프(①구간, ②구간)를 따라 변화할 수 있다. 나노소자들(A1~A2, B1~B3)의 소스-드레인 전류(I_D)는 게이트 전압(V_G)이 양전압으로부터 음전압으로 변경될 경우 점선 그래프(③구간, ④구간)를 따라 변화

할 수 있다. 또한, 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)의 두께가 작을수록, 소스-드레인 전류(I_D)의 이력현상은 더 심하게 나타날 수 있다. 예를 들면, 나노소자들(A1~A2)은 나노소자들(B1~B3)보다 더 심한 이력현상을 보여주고 있다.

[0038] 도 6은 도 1의 나노소자의 광기전 효과를 설명하기 위한 도면이다. 도 7은 도 6의 나노소자에서 측정된 소스-드레인 전압 및 소스-드레인 전류를 보여주는 그래프이다. 도 8은 도 6의 나노소자에서 게이트 전압에 따른 소스-드레인 전류의 변화를 보여주는 그래프이다. 도 6 내지 도 8을 참조하면, 나노소자(100)의 유기물 판(160)에 레이저 광이 조사될 수 있다. 예를 들면, 레이저 광의 파장은 532nm이고, 레이저 광의 세기는 100μW일 수 있다. 레이저 광은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(130)과 유기물 판(160)의 상단에 조사될 수 있다. 소스-드레인 전압(V_D)이 인가되지 않은 상태에서 나노소자(100)의 유기물 판(160)에 레이저 광이 조사되면, 소스 전극(140) 및 드레인 전극(150) 사이에서 발생하는 소스-드레인 전류(I_D)가 측정될 수 있다. 이하에서, 도 4의 나노소자(B2)의 경우가 예시적으로 설명된다.

[0039] 도 7에서, 나노소자(B2)의 루브린 나노판에 레이저 광이 조사되는 경우(Light), 소스-드레인 전류(I_D)는 레이저 광이 조사되지 않은 상태(Dark)보다 증가할 수 있다. 레이저 광이 조사되는 경우(Light), 소스-드레인 전류(I_D)가 0A일 때 게이트 전압은 약 0.36V로 측정되고, 소스-드레인 전압(V_D)이 0V일 때 단락전류는 약 3.7×10^{-10} A로 측정될 수 있다. 이러한 결과를 이용하면, 나노소자(B2)에 대한 태양전지의 전력변환률은 5.53×10^{-4} %로 계산될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시 예에 따른 나노소자(100)는 광기전 소자의 특성을 가질 수 있다.

[0040] 도 8에서, 나노소자(B2)의 루브린 나노판에 레이저 광이 조사되는 경우(Light), 게이트 전압(V_G)에 따라 소스-드레인 전류(I_D)는 변화할 수 있다. 예를 들면, 레이저 광을 조사하면서 게이트 전압(V_G)을 음전압으로부터 양전압까지 변화시키는 경우, 소스-드레인 전류(I_D)는 I 구간 및 II 구간을 따라 발생할 수 있다. 따라서, 나노소자(100)의 소스-드레인 전류(I_D)는 광기전 효과에 의한 역 이중극성 특성을 가질 수 있다. 즉, 게이트 전압(V_G)을 조절하여 나노소자(100)의 태양전지 특성(광전류 및 전력변환률 등)은 제어될 수 있다.

[0041] 한편, 나노소자(100)의 유기물 판(160)에 레이저 광이 조사되는 경우(Light), 발생하는 나노소자(100)의 소스-드레인 전류(I_D)는 게이트 전압(V_G)의 변화 방향에 따라 이력현상을 보여줄 수 있다. 예를 들면, 게이트 전압(V_G)이 음전압으로부터 양전압으로 변경될 경우, 나노소자(B2)의 소스-드레인 전류(I_D)는 I 구간 및 II 구간의 그래프를 따라 변화할 수 있다. 게이트 전압(V_G)이 양전압으로부터 음전압으로 변경될 경우, 나노소자(B2)의 소스-드레인 전류(I_D)는 III 구간 및 IV 구간의 그래프를 따라 변화할 수 있다. 따라서, 나노소자(100)의 태양전지 특성은 게이트 전압(V_G)에 따라 조절될 수 있다.

[0042] 도 9는 도 1의 나노소자를 예시적으로 보여주는 모식도이다. 도 1 및 도 9를 참조하면, 도 9의 나노소자는 도 1의 나노소자(100)에 대응할 수 있다. 예를 들면, P형으로 도핑된 실리콘(p++ Si)으로 구성된 기판은 나노소자의 게이트 전극의 역할을 수행할 수 있다. 기판 상에 실리콘 산화물(SiO_2)로 구성된 절연층이 증착되고, 소스 전극(Source), 전이금속 칼코겐 화합물 조각(MoS_2), 유기물 판(rubrene sheet) 및 드레인 전극(Drain)은 절연층 상에 2차원적으로 또는 수평적으로 배치될 수 있다. 따라서, N형 반도체의 특성을 가지는 전이금속 칼코겐 화합물 조각(MoS_2) 및 P형 반도체의 특성을 가지는 유기물 판(rubrene sheet)의 하이브리드 접합을 통하여, 본 발명의 나노소자는 트랜지스터의 특성 및 광기전 소자의 특성을 모두 가질 수 있다.

[0043] 한편, 전이금속 칼코겐 화합물 조각(MoS_2)은 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 층으로 이루어질 수 있고, 전이금속 칼코겐 화합물 조각(MoS_2)과 유기물 판(rubrene sheet)의 접합면은 전이금속 칼코겐 화합물의 층 수에 비례하여 증가할 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시 예에 따른 나노소자에 대한 트랜지스터의 특성 및 광기전 소자의 특성은 전이금속 칼코겐 화합물 조각(MoS_2)의 두께를 조절하여 제어할 수 있다.

[0044] 이상에서와 같이 도면과 명세서에서 실시 예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허 청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된

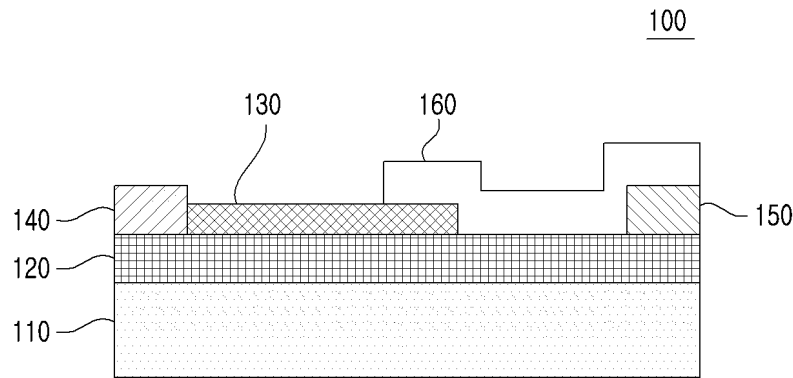
특히 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

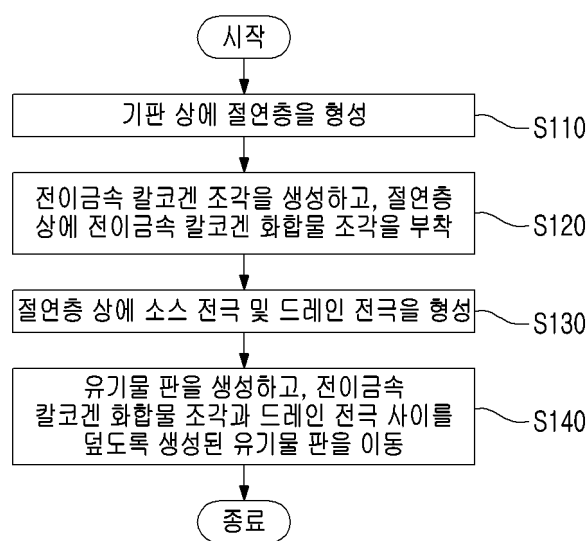
- 100: 나노소자
- 110: 기판
- 120: 절연층
- 130: 전이금속 칼코겐 화합물 조각
- 140: 소스 전극
- 150: 드레인 전극
- 160: 유기물 판

도면

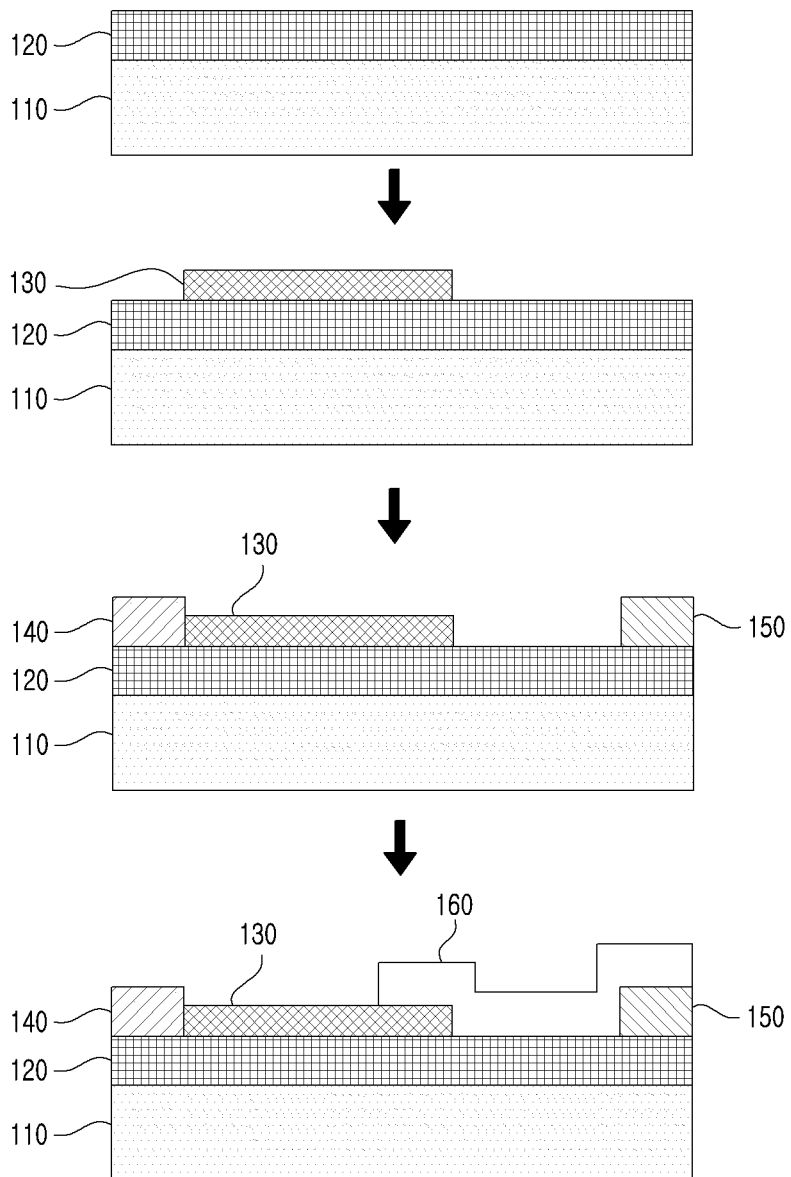
도면1



도면2



도면3



도면4

3층 이하의 MoS₂를 가지는 나노소자

나노소자	MoS ₂ 두께(층수)	전하 이동도(cm ² /Vs)			
		① 구간	② 구간	③ 구간	④ 구간
A1	2 layer	1.21×10 ⁻⁴	1.20×10 ⁻⁴	1.45×10 ⁻⁴	3.03×10 ⁻⁴
A2	3 layer	1.55×10 ⁻³	6.37×10 ⁻⁴	3.91×10 ⁻⁴	1.59×10 ⁻³



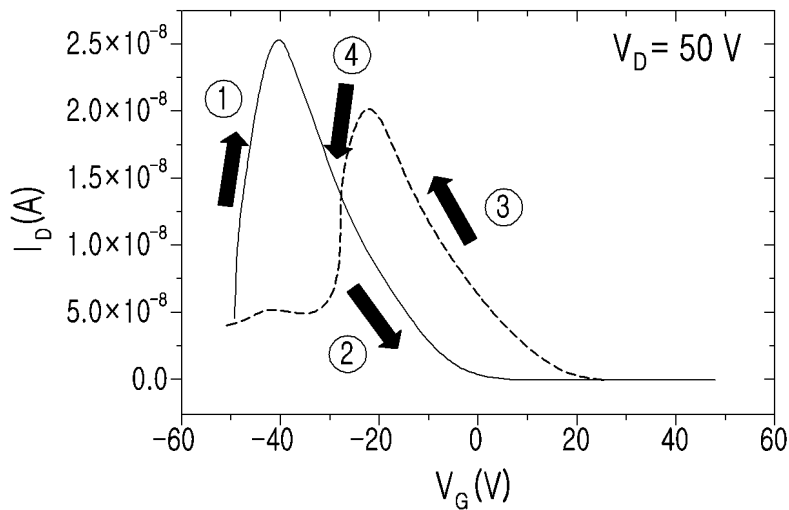
MoS₂ 두께 증가에 따라
전하이동도 증가

5층 이상의 MoS₂를 가지는 나노소자

나노소자	MoS ₂ 두께(층수)	전하 이동도(cm ² /Vs)			
		① 구간	② 구간	③ 구간	④ 구간
B1	6 nm	2.43×10 ⁻²	1.17×10 ⁻²	1.33×10 ⁻²	1.78×10 ⁻²
B2	6 nm	3.59×10 ⁻²	4.73×10 ⁻²	4.72×10 ⁻²	3.33×10 ⁻²
B3	10 nm	2.38×10 ⁻²	7.35×10 ⁻²	9.47×10 ⁻²	3.09×10 ⁻²

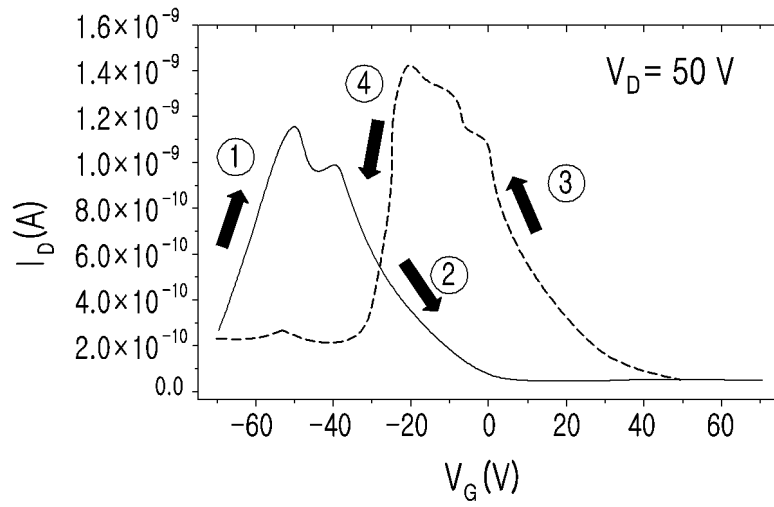
도면5a

나노소자(A1)의 소스-드레인 전류 변화



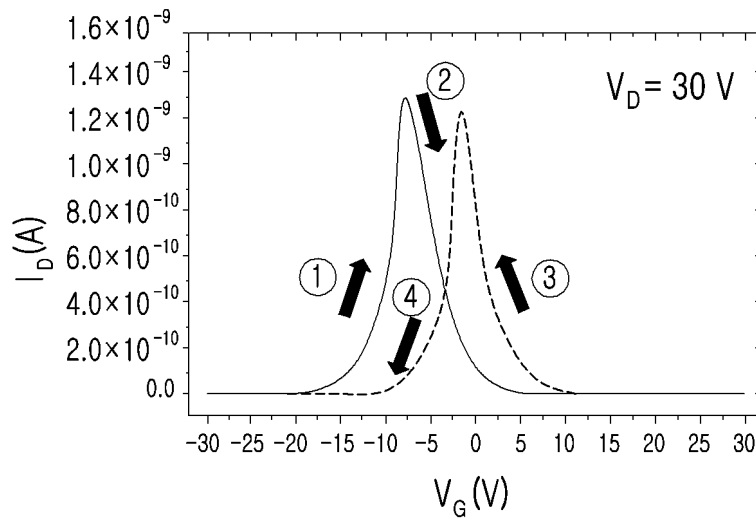
도면5b

나노소자(A2)의 소스-드레인 전류 변화



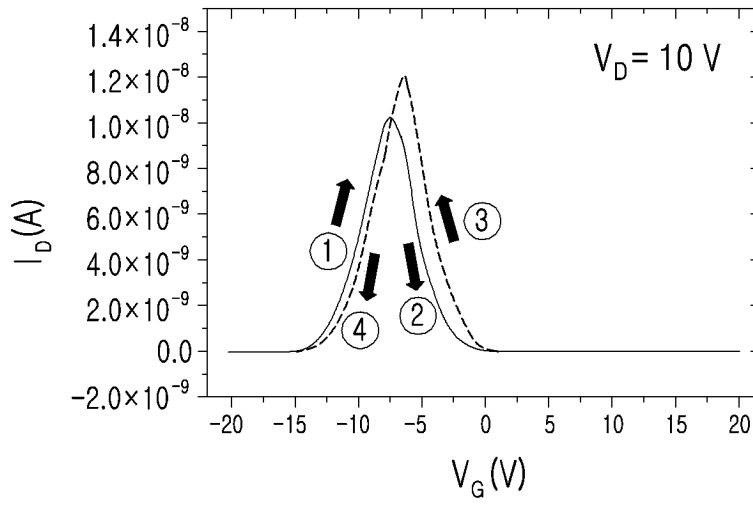
도면5c

나노소자(B1)의 소스-드레인 전류 변화



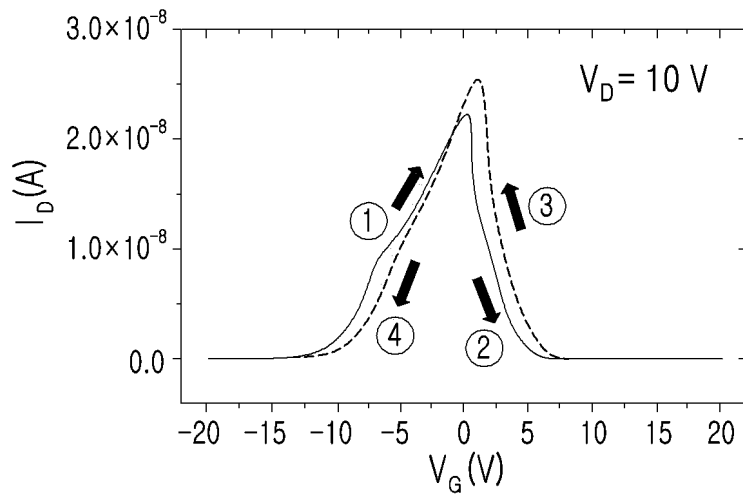
도면5d

나노소자(B2)의 소스-드레인 전류 변화

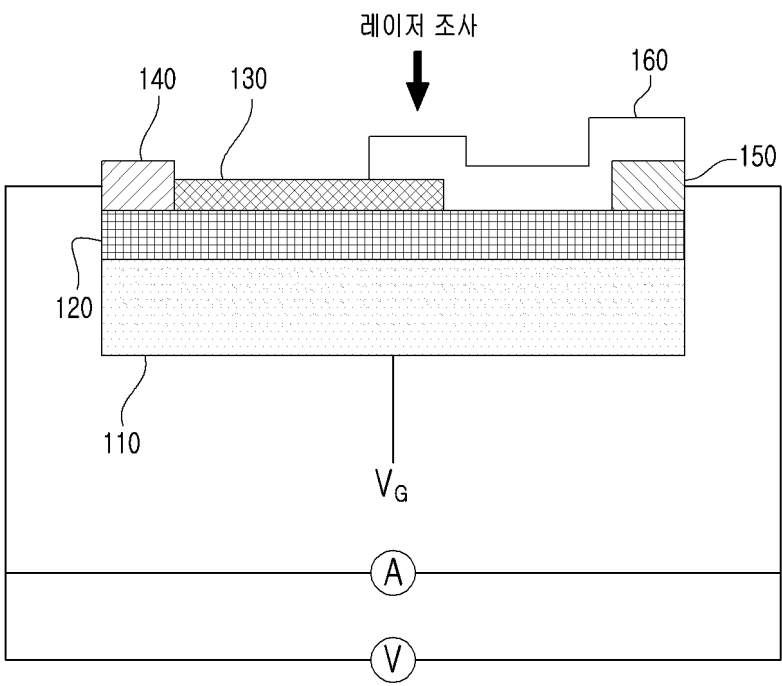


도면5e

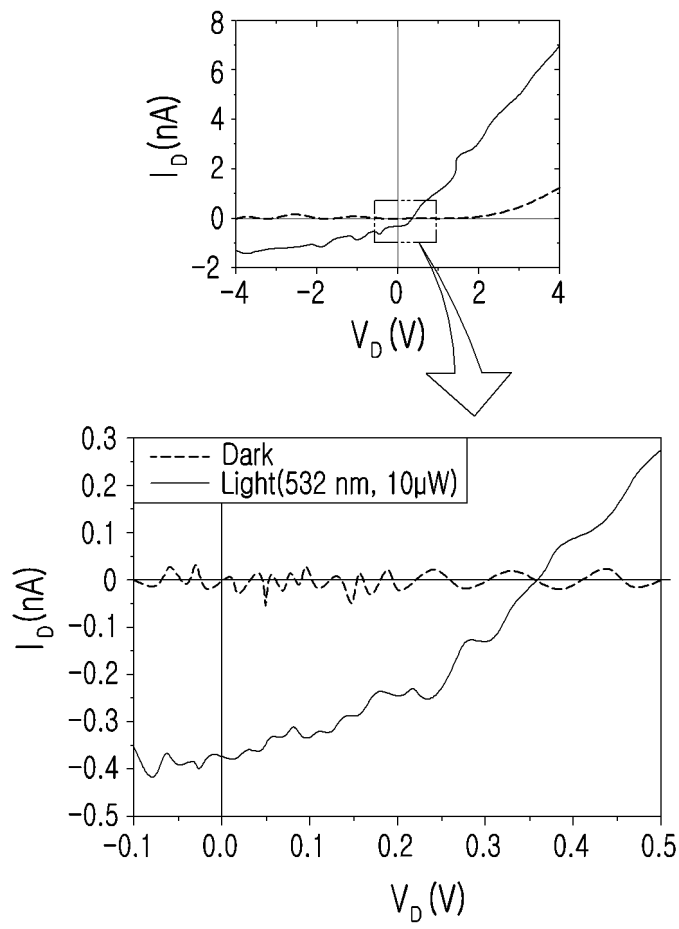
나노소자(B3)의 소스-드레인 전류 변화



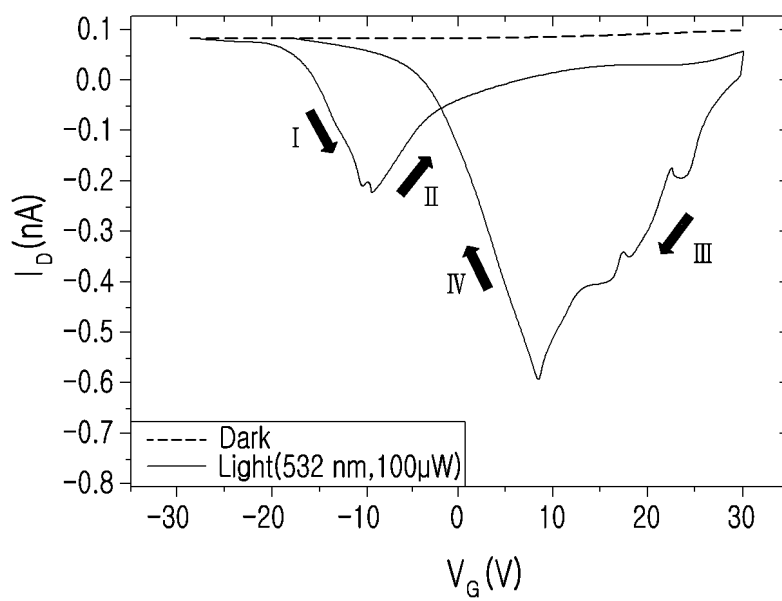
도면6



도면7



도면8



도면9

