



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월12일
(11) 등록번호 10-2766039
(24) 등록일자 2025년02월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10D 12/00 (2025.01) H10D 48/00 (2025.01)
H10D 8/60 (2025.01) H10F 30/24 (2025.01)
H10F 71/00 (2025.01)
(52) CPC특허분류
H10D 12/211 (2025.01)
H10D 8/60 (2025.01)
(21) 출원번호 10-2024-0006355
(22) 출원일자 2024년01월15일
심사청구일자 2024년01월15일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020230052729 A

(73) 특허권자
조선대학교 산학협력단
광주광역시 동구 조선대길 126(서석동, 산학협력단)
(72) 발명자
고필주
광주광역시 남구 노대실로 33 (노대동, 송화마을 휴먼시아)
정관검
광주광역시 북구 송월로49번길 27 (오치동, 좋은사람들)
우창림
광주광역시 북구 설죽로 595 (일곡동, 롯데아파트)
(74) 대리인
함상혁

전체 청구항 수 : 총 17 항

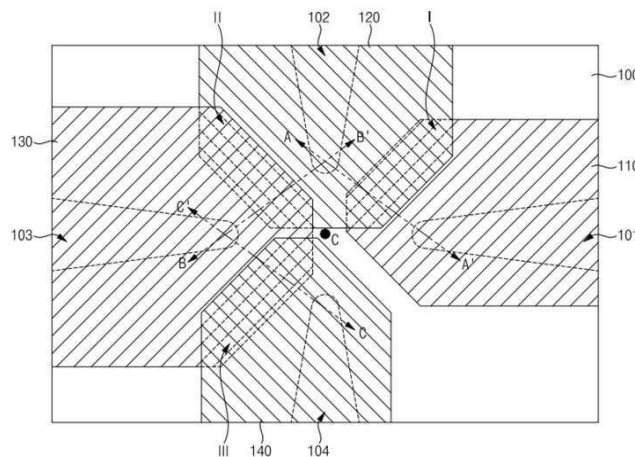
심사관 : 안경민

(54) 발명의 명칭 다기능성 장치

(57) 요약

다기능성 장치는, 기관; 상기 기관 상에 방사상으로 순차적으로 배치된 제1 도전막, 제2 도전막, 제3 도전막 및 제4 도전막들을 포함하고, 상기 제1 및 제2 도전막들이 상기 기관 상면에 수직한 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제1 접합, 상기 제2 및 제3 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제2 접합 및 상기 제3 및 제4 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제3 접합을 포함하며, 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 MoSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 WSe_2 를 포함하거나, 이와 반대로 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 WSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 MoSe_2 를 포함할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

H10D 99/00 (2025.01)

H10F 30/245 (2025.01)

H10F 71/00 (2025.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345370809
과제번호	2021RIS-002
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	지자체대학협력기반지역혁신사업
연구과제명	(광주전남지역혁신플랫폼)전남대학교
과제수행기관명	(광주전남지역혁신플랫폼)전남대학교
연구기간	2023.04.01 ~ 2024.02.29

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관 상에 방사상으로 순차적으로 배치된 제1 도전막, 제2 도전막, 제3 도전막 및 제4 도전막들을 포함하고,

상기 제1 및 제2 도전막들이 상기 기관 상면에 수직한 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제1 접합, 상기 제2 및 제3 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제2 접합 및 상기 제3 및 제4 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제3 접합을 포함하며,

상기 각 제1 및 제3 도전막들은 MoSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 WSe_2 를 포함하거나, 이와 반대로 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 WSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 MoSe_2 를 포함하는 다기능성 장치.

청구항 2

제1항에서, 상기 제1 접합에서 상기 제1 도전막은 상기 제2 도전막의 하부에 배치되고, 상기 제2 접합에서 상기 제2 도전막은 상기 제3 도전막의 하부에 배치되며, 상기 제3 접합에서 상기 제3 도전막은 상기 제4 도전막의 하부에 배치되는 다기능성 장치.

청구항 3

제1항에서, 상기 수직 방향으로 상기 제1 내지 제4 도전막들 중 한 개 혹은 두 개만 배치되는 다기능성 장치.

청구항 4

제3항에서, 상기 제1 도전막 및 상기 제4 도전막은 상기 수직 방향으로 오버랩 되지 않는 다기능성 장치.

청구항 5

제1항에서, 상기 제1 내지 제4 도전막들은 반시계 방향 혹은 시계 방향으로 순차적으로 배치된 다기능성 장치.

청구항 6

기관;

상기 기관 상에 순차적으로 배열된 제1 전극, 제2 전극, 제3 전극 및 제4 전극;

상기 제1 내지 제4 전극들 상에 각각 형성된 제1 도전막, 제2 도전막, 제3 도전막 및 제4 도전막을 포함하고,

상기 제1 및 제2 도전막들이 상기 기관 상면에 수직한 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제1 접합, 상기 제2 및 제3 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제2 접합 및 상기 제3 및 제4 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제3 접합을 포함하며,

상기 각 제1 및 제3 도전막들은 MoSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 WSe_2 를 포함하거나, 이와 반대로 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 WSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 MoSe_2 를 포함하는 다기능성 장치.

청구항 7

제6항에서, 상기 제1 접합에서 상기 제1 도전막은 상기 제2 도전막의 하부에 배치되고, 상기 제2 접합에서 상기 제2 도전막은 상기 제3 도전막의 하부에 배치되며, 상기 제3 접합에서 상기 제3 도전막은 상기 제4 도전막의 하부에 배치되는 다기능성 장치.

청구항 8

제6항에서, 상기 수직 방향으로 상기 제1 내지 제4 도전막들 중 한 개 혹은 두 개만 배치된 다기능성 장치.

청구항 9

제8항에서, 상기 제1 도전막 및 상기 제4 도전막은 상기 수직 방향으로 오버랩 되지 않는 다기능성 장치.

청구항 10

제6항에서, 상기 제1 내지 제4 전극들은 방사상으로 순차적으로 배열되며, 이에 대응하여 제1 내지 제4 도전막들은 방사상으로 순차적으로 배열되는 다기능성 장치.

청구항 11

제10항에서, 상기 각 제1 내지 제4 전극들은 상기 방사상의 중심을 향해 배치된 꼭짓점을 포함하는 삼각형 형상을 갖는 다기능성 장치.

청구항 12

제6항에서, 상기 각 제1 내지 제4 전극들은 티타늄을 포함하는 다기능성 장치.

청구항 13

기판 상에 순차적으로 배열된 제1 전극, 제2 전극, 제3 전극 및 제4 전극을 형성하고;

상기 제1 전극 상에 제1 도전막을 형성하고;

상기 제2 전극 상에 상기 제1 도전막과 상기 기판 상면과 수직한 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제2 도전막을 형성하고;

상기 제3 전극 상에 상기 제2 도전막과 상기 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제3 도전막을 형성하고;

상기 제4 전극 상에 상기 제3 도전막과 상기 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제4 도전막을 형성하는 것을 포함하며,

상기 각 제1 및 제3 도전막들은 MoSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 WSe_2 를 포함하거나, 이와 반대로 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 WSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 MoSe_2 를 포함하는 다기능성 장치의 제조 방법.

청구항 14

제13항에서, 상기 각 제1 내지 제4 도전막들은 기계적 박피 공정을 통해 형성되는 다기능성 장치의 제조 방법.

청구항 15

제13항에서, 상기 제1 내지 제4 전극들은 방사상으로 순차적으로 배열되도록 형성하는 다기능성 장치의 제조 방법.

청구항 16

제13항에서, 상기 각 제1 내지 제4 전극들은 열 증발 방법을 통해 형성되는 다기능성 장치의 제조 방법.

청구항 17

제13항에서, 상기 제1 내지 제4 도전막들을 형성한 후, 어닐링 공정을 더 수행하는 다기능성 장치의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다기능성 장치에 관한 것이다. 보다 자세하게는 본 발명은 이차원 물질을 포함하는 다기능성 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에는 이차원(2-dimentional) 물질의 출현으로 다기능 전자 장치 및 센서의 발전이 크게 가속화되고 있다. 실제로 이차원 물질은 큰 표면적 대 부피 비율, 뛰어난 기계적 강도, 조정 가능한 전자 및 광학 특성과 같은 놀라운 이점을 제공한다. 또한, 서로 다른 이차원 물질들을 이종 구조(heterostructure)로 조립하면, 새로운 기능이 출현하고 이를 포함하는 장치의 성능을 향상시키는 데 큰 가능성이 있음이 입증되었다.

[0003] 전이금속 디칼코게나이드(Transition Metal Dichalcogenides: TMD)는 이차원 물질의 한 종류이며 구성, 두께 및 적층 순서에 따라 고유한 조정 가능한 물리적 특성을 갖는다. TMD 물질을 기반으로 한 전자 장치 및 센서는 바이오 센싱, 광검출, 자기 감도, 높은 선택성 및 안정성 측면에서 탁월한 성능을 가지며, 헬스케어, 에너지, 정보 기술 등과 같은 분야에서 잠재적인 응용 가능성을 보여준다. 이에 비해, 광검출기, 광전자 시냅스, 프로그래밍 가능한 정류기, 물 분해 장치와 같은 TMD 기반의 다기능 장치에 대한 보고는 거의 없다.

[0004] TMD 물질 중에서 몰리브덴 이셀레나이드(MoSe_2)와 텅스텐 디셀레나이드(WSe_2)는 물리적, 화학적 특성으로 인해 특히 흥미롭다. MoSe_2 및 WSe_2 는 모두 조정 가능한 밴드 갭 특성과 고성능 전기화학적 및 광전기화학적 특성을 갖고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 과제는 개선된 전기적 특성을 갖는 다기능성 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 본 발명의 과제를 달성하기 위하여, 예시적인 실시예들에 따른 다기능성 장치는, 기판; 상기 기판 상에 방사상으로 순차적으로 배치된 제1 도전막, 제2 도전막, 제3 도전막 및 제4 도전막들을 포함하고, 상기 제1 및 제2 도전막들이 상기 기판 상면에 수직한 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제1 접합, 상기 제2 및 제3 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제2 접합 및 상기 제3 및 제4 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제3 접합을 포함하며, 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 MoSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 WSe_2 를 포함하거나, 이와 반대로 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 WSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 MoSe_2 를 포함할 수 있다.

[0007] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 접합에서 상기 제1 도전막은 상기 제2 도전막의 하부에 배치되고, 상기 제2 접합에서 상기 제2 도전막은 상기 제3 도전막의 하부에 배치되며, 상기 제3 접합에서 상기 제3 도전막은 상기 제4 도전막의 하부에 배치될 수 있다.

[0008] 일 실시예에 있어서, 상기 수직 방향으로 상기 제1 내지 제4 도전막들 중 한 개 혹은 두 개만 배치될 수 있다.

[0009] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 도전막 및 상기 제4 도전막은 상기 수직 방향으로 오버랩 되지 않을 수 있다.

[0010] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 내지 제4 도전막들은 반시계 방향 혹은 시계 방향으로 순차적으로 배치될 수 있다.

[0011] 상술한 본 발명의 과제를 달성하기 위하여, 예시적인 실시예들에 따른 다기능성 장치는, 기판; 상기 기판 상에 순차적으로 배열된 제1 전극, 제2 전극, 제3 전극 및 제4 전극; 상기 제1 내지 제4 전극들 상에 각각 형성된 제1 도전막, 제2 도전막, 제3 도전막 및 제4 도전막을 포함하고, 상기 제1 및 제2 도전막들이 상기 기판 상면에 수직한 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제1 접합, 상기 제2 및 제3 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제2 접합 및 상기 제3 및 제4 도전막들이 상기 수직 방향으로 오버랩 되며 서로 접촉하는 제3 접합을 포함하며, 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 MoSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 WSe_2 를 포함하거나, 이와 반대로 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 WSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 MoSe_2 를 포함하는 다기능성 장치를 포함할 수 있다.

- [0012] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 접합에서 상기 제1 도전막은 상기 제2 도전막의 하부에 배치되고, 상기 제2 접합에서 상기 제2 도전막은 상기 제3 도전막의 하부에 배치되며, 상기 제3 접합에서 상기 제3 도전막은 상기 제4 도전막의 하부에 배치되는 다기능성 장치.
- [0013] 일 실시예에 있어서, 상기 수직 방향으로 상기 제1 내지 제4 도전막들 중 한 개 혹은 두 개만 배치될 수 있다.
- [0014] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 도전막 및 상기 제4 도전막은 상기 수직 방향으로 오버랩 되지 않을 수 있다.
- [0015] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 내지 제4 전극들은 방사상으로 순차적으로 배열되며, 이에 대응하여 제1 내지 제4 도전막들은 방사상으로 순차적으로 배열될 수 있다.
- [0016] 일 실시예에 있어서, 상기 각 제1 내지 제4 전극들은 상기 방사상의 중심을 향해 배치된 꼭짓점을 포함하는 삼각형 형상을 가질 수 있다.
- [0017] 일 실시예에 있어서, 상기 각 제1 내지 제4 전극들은 티타늄을 포함할 수 있다.
- [0018] 상술한 본 발명의 과제를 달성하기 위하여, 예시적인 실시예들에 따른 다기능성 장치의 제조 방법은 기판 상에 순차적으로 배열된 제1 전극, 제2 전극, 제3 전극 및 제4 전극을 형성하고; 상기 제1 전극 상에 제1 도전막을 형성하고; 상기 제2 전극 상에 상기 제1 도전막과 상기 기판 상면과 수직인 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제2 도전막을 형성하고; 상기 제3 전극 상에 상기 제2 도전막과 상기 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제3 도전막을 형성하고; 상기 제4 전극 상에 상기 제3 도전막과 상기 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제4 도전막을 형성하는 것을 포함하며, 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 MoSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 WSe_2 를 포함하거나, 이와 반대로 상기 각 제1 및 제3 도전막들은 WSe_2 를 포함하고 상기 각 제2 및 제4 도전막들은 MoSe_2 를 포함할 수 있다.
- [0019] 일 실시예에 있어서, 상기 각 제1 내지 제4 도전막들은 기계적 박피 공정을 통해 형성하는 것을 포함할 수 있다.
- [0020] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 내지 제4 전극들은 방사상으로 순차적으로 배열되도록 형성하는 것을 포함할 수 있다.
- [0021] 일 실시예에 있어서, 상기 각 제1 내지 제4 전극들은 열 증발 방법을 통해 형성하는 것을 포함할 수 있다.
- [0022] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 내지 제4 도전막들을 형성한 후, 어닐링 공정을 더 수행할 수 있다.

발명의 효과

- [0023] 다기능성은 이차원 물질이 갖는 독특한 전자 밴드 구조와 탁월한 전자 및 광학 특성에서 발생한다. 이러한 독특한 특성으로 인해 MoSe_2 및 WSe_2 를 사용하는 이중 구조를 포함하는 다기능성 장치는 다양한 분야에 응용될 수 있다.
- [0024] 구체적으로, $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 이중 접합에서, $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 접합 및 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 접합은 다이오드 혹은 쇼트키 다이오드와 같은 동작을 보이고, $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 접합 및 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 접합은 접합형 트랜지스터(Bipolar Junction Transistor: BJT)와 유사한 동작을 보이며, $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합은 터널링 효과를 보인다.
- [0025] 또한, 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 이중 접합에서, $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 접합 및 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 접합은 각각 6 AW^{-1} 및 3 AW^{-1} 의 높은 감광성과 함께 강력하고 조정 가능한 광검출 특성을 나타낸다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1 내지 도 4는 각각 예시적인 실시예들에 따른 다기능성 장치를 설명하기 위한 평면도 및 단면도들이다.
- 도 5 및 도 6은 실제 제조된 상기 다기능성 장치의 형태를 설명하기 위한 사진들 및 그래프들이다.
- 도 7 내지 도 10은 예시적인 실시예들에 따른 다기능성 장치의 전기적 특성을 설명하기 위한 그래프들이다.
- 도 11 내지 도 14는 예시적인 실시예들에 따른 다기능성 장치의 광전자적 특성을 설명하기 위한 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들에 따른 다기능성 장치 및 그 제조 방법에 대하여 상세하게 설명한다. 본 발명에서, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0028] **I. 다기능성 장치**
- [0029] 도 1 내지 도 4는 예시적인 실시예들에 따른 다기능성 장치를 설명하기 위한 평면도 및 단면도들이다. 이때, 도 2는 도 1의 A-A' 선을 따라 절단한 단면도이고, 도 3은 도 1의 B-B' 선을 따라 절단한 단면도이며, 도 4는 도 1의 C-C' 선을 따라 절단한 단면도이다.
- [0030] 도 1 내지 도 4를 참조하면, 상기 다기능성 장치는 기판(100), 전극 구조물, 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 150)을 포함할 수 있다.
- [0031] 기판(100)은 실리콘, 게르마늄, 실리콘-게르마늄과 같은 반도체 물질, 또는 GaP, GaAs, GaSb 등과 같은 III-V 족 화합물을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 기판(100)은 실리콘-온-인슐레이터(SOI) 기판 또는 게르마늄-온-인슐레이터(GOI) 기판일 수 있다.
- [0032] 상기 전극 구조물은 기판(100) 상에 중심점(C)을 기준으로 방사상으로 순차적으로 배열된 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104)을 포함할 수 있다. 이때, 제1 및 제3 전극들(101, 103)은 중심점(C)을 기준으로 서로 마주보도록 형성될 수 있고, 제2 및 제4 전극들(102, 104)은 중심점(C)을 기준으로 서로 마주보도록 형성될 수 있다.
- [0033] 예시적인 실시예들에 있어서, 각 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104)은 삼각형 모양을 가질 수 있다. 구체적으로, 즉, 각 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104)은 제1 변, 제2 변 및 상기 제1 변 및 상기 제2 변이 만나는 제1 꼭짓점을 포함할 수 있다. 이때, 각 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104)의 상기 제1 꼭짓점은 중심점(C)을 향하도록 배치될 수 있다. 한편, 상기 제1 변 및 상기 제2 변은 서로 길이가 동일할 수 있고, 상기 제1 꼭짓점은 라운드 질 수 있다.
- [0034] 예시적인 실시예들에 있어서, 각 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104)는 티타늄(Ti)과 같은 금속을 포함할 수 있다.
- [0035] 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104) 상에 각각 형성될 수 있다. 즉, 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104)에 대응하여 방사상으로 순차적으로 배열될 수 있다.
- [0036] 이때, 각 제1 및 제3 도전막들(110, 130)은 MoSe_2 을 포함하고 각 제2 및 제4 도전막들(120, 140)은 WSe_2 를 포함하거나, 제1 및 제3 도전막들(110, 130)은 WSe_2 을 포함하고 각 제2 및 제4 도전막들(120, 140)은 MoSe_2 를 포함할 수 있다.
- [0037] 한편, 제1 및 제2 도전막들(110, 120)이 기판(100)의 상면에 수직인 수직 방향으로 서로 오버랩 되며 접촉하는 부분을 제1 접합(I)으로 정의할 수 있고, 제2 및 제3 도전막들(120, 130)이 상기 수직 방향으로 서로 오버랩 되며 접촉하는 부분을 제2 접합(II)으로 정의할 수 있으며, 제3 및 제4 도전막들(130, 140)이 서로 오버랩 되며 접촉하는 부분을 제3 접합(III)으로 정의할 수 있다.
- [0038] 이때, 후술하는 바와 같이 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 순차적으로 형성되므로, 제1 접합(I)에서 제1 도전막(110)은 제2 도전막(120)의 하부에 배치될 수 있고, 제2 접합(II)에서 제2 도전막(120)은 제3 도전막(130)의 하부에 배치될 수 있으며, 제3 접합(III)에서 제3 도전막(130)은 제4 도전막(140)의 하부에 배치될 수 있다. 이때, 제1 도전막(110) 및 제4 도전막(140)은 상기 수직 방향으로 오버랩 되지 않을 수 있다.
- [0039] 예시적인 실시예들에 있어서, 상기 수직 방향으로, 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140) 중 한 개 혹은 두 개만 배치될 수 있다. 다시 말해, 상기 수직 방향으로, 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140) 중 세 개 이상이 오버랩 되지 않을 수 있다.
- [0040] 한편, 도면 상에는 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)이 반시계 방향으로 형성된 것을 전제로 도시하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않는다. 즉, 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 시계 방향으로 형

성될 수도 있다.

[0041] 더 나아가, 도면 상에는 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104) 및 이들 상에 각각 형성된 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)이 방사상으로 배열된 것을 도시되어 있으나, 본 발명의 개념은 이에 한정되지 않고, 다양하게 배열될 수 있다. 즉, 예를 들어, 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104) 및 이들 상에 각각 형성된 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 일직선 상에 순차적으로 배열될 수도 있다.

[0042] 예시적인 실시예들에 있어서, 각 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 상부에서 보았을 때, 다각형 형상을 가질 수 있다. 도면 상에는 각 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)이 육각형 형상을 갖는 것이 도시되어 있으나, 본 발명의 개념은 이에 한정되지 않는다.

[0043] II. 다기능성 장치의 제조 방법

[0044] 다기능성 장치를 제조하기 위해, 예를 들어, 기계적 박리 기술(mechanical exfoliation technique)을 사용할 수 있다. 기계적 박리 기술의 경우, 뛰어난 결정 구조를 가진 순수한 고품질의 이차원 물질을 생산할 수 있다는 장점이 있다. 기계적 박리 기술에서는 이차원 물질의 벌크 결정에서 평면 내의 결정 구조를 파괴하지 않고 개별 층을 분리하기 위해 벌크 결정에 기계적 힘을 가하며, 이에 따라 벌크 결정으로부터 원자 단위의 얇은 플레이크(flake)를 박리할 수 있다.

[0045] 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104)은 기판(100) 상에 열 증발 방법(thermal evaporation method)을 사용하여 형성할 수 있다.

[0046] 이후, 예를 들어, 기계적 박리 기술을 사용하여 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)을 순차적으로 형성할 수 있다. 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 제1 내지 제4 전극들(101, 102, 103, 104) 상에 각각 형성될 수 있다.

[0047] 구체적으로, 제1 전극(101) 상에 제1 도전막(110)을 형성하고, 제2 전극(102) 상에 제1 도전막(110)과 상기 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제2 도전막(120)을 형성하고, 제3 전극(103) 상에 제2 도전막(120)과 상기 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제3 도전막(130)을 형성하고, 제4 전극(104) 상에 제3 도전막(130)과 상기 수직 방향으로 적어도 부분적으로 오버랩 되도록 제4 도전막(140)을 형성할 수 있다. 제1 및 제4 도전막들(110, 140)은 서로 오버랩 되지 않을 수 있다.

[0048] 이때, 제1 및 제2 도전막들(110, 120)은 상기 수직 방향으로 서로 오버랩 되도록 형성되어 제1 접합(I)이 정의될 수 있고, 제2 및 제3 도전막들(120, 130)은 상기 수직 방향으로 서로 오버랩 되도록 형성되어 제2 접합(II)이 정의될 수 있으며, 제3 및 제4 도전막들(130, 140)은 상기 수직 방향으로 서로 오버랩 되도록 형성되어 제3 접합(III)이 정의될 수 있다.

[0049] 이후, 기판(100) 및 기판(100) 상에 형성된 각종 구조물들에 대하여 어닐링(annealing) 공정을 수행하여 상기 다기능성 장치의 제조가 완성될 수 있다. 상기 어닐링 공정은 예를 들어, 약 200℃에서 약 5분간 수행될 수 있다.

[0050] III. 제조된 다기능성 장치의 형태학적 분석

[0051] 도 5(a)는 상기 제조 방법을 사용하여 실제로 제조된 다기능성 장치에 대한 SEM 이미지(20 μm 스케일 바)이고, 도 5(b)는 상기 다기능성 장치의 AFM 이미지이다.

[0052] 도 5(a)의 상기 다기능성 장치는 MoSe₂ 막인 Layer 1부터 시작하여, 반시계 방향으로 WSe₂ 막, MoSe₂ 막 및 WSe₂ 막이 순차적으로 형성된 것이다.

[0053] 이하에서는 설명의 편의 상, 도 1 내지 도 4에 대응하도록 상기 다기능성 장치에서 MoSe₂ 막인 Layer 1부터 시작하여, 반시계 방향으로 형성된 WSe₂ 막, MoSe₂ 막 및 WSe₂ 막을 각각 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)로 지칭하기로 한다. 이에 따라, 제1 및 제2 도전막들(110, 120)이 상기 수직 방향으로 서로 오버랩 되는 영역은 제1 접합(I)으로 지칭하고, 제2 및 제3 도전막들(120, 130)이 상기 수직 방향으로 서로 오버랩 되는 영역은 제2 접합(II)으로 지칭하며, 제3 및 제4 도전막들(130, 140)이 상기 수직 방향으로 서로 오버랩 되는 영역을 제3 접합(III)으로 지칭하기로 한다.

[0054] 도 6(a)는 도 5의 파란색 선을 따라 절단한 단면을 따라 MoSe₂ 막, 즉 제1 도전막(110)의 기판으로부터의 높이 프로파일(profile)이고, 도 6(b)는 도 5의 초록색 선을 따라 절단한 단면을 따라 WSe₂막, 즉 제2 도전막(120)의

기관으로부터의 높이 프로파일이고, 도 6(c)는 도 5의 빨간색 선을 따라 절단한 단면을 따라 MoSe₂ 막, 즉 제3 도전막(130)의 기관으로부터의 높이 프로파일이며, 도 6(d)는 도 5의 노란색 선을 따라 절단한 단면을 따라 WSe₂ 막, 즉 제4 도전막(140)의 기관으로부터의 높이 프로파일이다.

[0055] 즉, 상기 다기능성 장치에서 제1 내지 제4 도전막들(110, 120, 130, 140)은 각각 기관으로부터 대략 85nm, 대략 30nm, 대략 80nm 및 대략 50nm의 높이를 가지도록 형성될 수 있다.

[0056] IV. 제조된 다기능성 장치의 특성

[0057] 1) 전기적 특성

[0058] 도 7 내지 도 10은 상기 다기능성 장치의 전기적 특성을 나타낸 그래프들이다.

[0059] 도 7은 각 제1 내지 제3 접합들(I, II, III)의 전기적 특성을 나타낸 그래프들이다.

[0060] 도 7(a)를 참조하면, 게이트 전압(V_G)이 없을 때 제1 접합(I)은 쇼트키 다이오드(Schottky-diode)와 유사한 동작을 보인다.

[0061] 도 7(a) 및 도 7(c)를 참조하면, 직접 분극(direct polarization)에서, 각 제1 및 제3 접합들(I, III)은 게이트 전압(V_G) 값이 -20V로 감소함에 따라 전류가 증가하는 p형 동작을 보이는 반면, 도 7(b)를 참조하면, 제2 접합(II)은 게이트 전압(V_G) 값이 20V로 증가함에 따라 전류가 증가하는 n형 동작이 나타난다.

[0062] 도 8은 공통 이미터에서 MoSe₂/WSe₂/MoSe₂ 이중 접합, 특히, 제1 및 제2 접합들(I, II)을 포함하는 이중 접합의 입출력 특성을 나타낸 그래프들이다.

[0063] 도 8(a)는 상기 MoSe₂/WSe₂/MoSe₂ 이중 접합의 입력 특성, 구체적으로, 순방향 바이어스에서 베이스-이미터 전압(V_{BE}) 및 콜렉터-이미터 전압(V_{CE})에 대한 베이스 전류(I_B)의 의존성을 나타낸다.

[0064] 도 8(a)를 참조하면, 상기 MoSe₂/WSe₂/MoSe₂ 이중 접합은 높은 베이스-이미터 전압(V_{BE}) 값에서 콜렉터-이미터 전압(V_{CE})이 증가함에 따라 베이스 전류(I_B)가 감소하여 npn형 트랜지스터와 유사한 동작이 나타난다. 다만, 3V 부근의 베이스-이미터 전압(V_{BE})에서 이중 접합은 콜렉터-이미터 전압(V_{CE})이 증가함에 따라 베이스 전류(I_B)가 증가하는 다른 동작을 보인다. 이는 실제로 베이스-이미터 전압(V_{BE})가 3V 영역 부근에서는 콜렉터-이미터 전압(V_{CE})이 베이스-이미터 전압(V_{BE})보다 크기 때문에 베이스 전류(I_B)는 얇은 층으로 인해 누설된 콜렉터 전류(I_C)의 영향을 받아 나타나는 현상이다.

[0065] 도 8(b)는 상기 MoSe₂/WSe₂/MoSe₂ 이중 접합의 출력 특성, 구체적으로, 순방향 바이어스에서 콜렉터-이미터 전압(V_{CE}) 및 베이스 전류(I_B)에 대한 콜렉터 전류(I_C)의 의존성을 나타낸다.

[0066] 도 8(b)를 참조하면, 상기 MoSe₂/WSe₂/MoSe₂ 이중 접합은 콜렉터-이미터 전압(V_{CE})과 베이스 전류(I_B)가 증가함에 따라 콜렉터 전류(I_C)가 증가하여 npn형 트랜지스터와 유사한 동작이 나타나나, 전류의 포화 영역은 관찰되지 않았다.

[0067] 도 9은 공통 베이스에서 WSe₂/MoSe₂/MoSe₂ 이중 접합, 특히, 제2 및 제3 접합들(II, III)을 포함하는 이중 접합의 입출력 특성을 나타낸 그래프들이다.

[0068] 도 9(a)는 상기 WSe₂/MoSe₂/MoSe₂ 이중 접합의 입력 특성, 구체적으로 순방향 바이어스에서 베이스-이미터 전압(V_{BE}) 및 콜렉터-베이스 전압(V_{CB})에 대한 이미터 전류(I_E)의 의존성을 나타낸다.

[0069] 도 9(a)를 참조하면, 상기 WSe₂/MoSe₂/MoSe₂ 이중 접합은 콜렉터-베이스 전압(V_{CB})을 2V에서 -1V로 감소시키면 이미터 전류(I_E)가 감소하는 pnp형 트랜지스터와 유사한 동작이 나타난다.

[0070] 도 9(b)는 순방향 바이어스에서 콜렉터-베이스 전압(V_{CB}) 및 이미터 전류(I_E)에 대한 콜렉터 전류(I_C)에 대한 의존성을 나타낸다.

- [0071] 도 9(b)를 참조하면, 상기 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합은 콜렉터-베이스 전압(V_{CB}) 및 이미터 전류(I_E)에 대한 콜렉터 전류(I_C)의 낮은 의존성을 보이며, 포화 영역은 관찰되지 않았다.
- [0072] 도 10은 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합에서 전기적 특성을 나타낸 그래프이다.
- [0073] 도 10을 참조하면, 게이트 전류(I_G)가 0인 경우, 음의 저항이 나타나는 Region I에서는 상기 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합은 터널링 효과를 보이며, Region II에서는 전압이 증가함에 따라 전류도 증가한다. 게이트 전류(I_G)를 증가하는 경우, 상기 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합에서 관찰되는 터널링 효과는 상쇄된다. 특히, 게이트 전류(I_G)를 증가시키면 전류가 증가한다.
- [0074] 즉, 상기 다기능성 장치에 포함된 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 접합 및 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 접합은 다이오드 혹은 쇼트키 다이오드와 같은 동작을 보이고, 상기 다기능성 장치에 포함된 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 접합 및 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 접합은 접합형 트랜지스터(Bipolar Junction Transistor: BJT)와 유사한 동작을 보이며, 상기 다기능성 장치에 포함된 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합은 터널링 효과를 보인다.
- [0075] **2) 광전자적 특성**
- [0076] 도 11 내지 도 14는 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합 및 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 이중 접합의 광전자적 특성을 나타낸다.
- [0077] 도 11(a) 내지 도 11(d)는 서로 다른 게이트 전압(V_G) 및 광 여기(light excitation) 조건에서 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합의 콜렉터-이미터 전압(V_{CE}) 및 게이트 전압(V_G)에 대한 콜렉터 전류(I_C)의 의존성을 나타낸다.
- [0078] 도 11(a) 내지 도 11(d)를 참조하면, 콜렉터 전류(I_C)는 게이트 전압(V_G)을 20V로 높이고 레이저 파워, 즉 조도(P)를 높이면 크게 증가한다.
- [0079] 도 12(a) 및 도 12(b)는 고정된 콜렉터-이미터 전압(V_{CE}) 값($V_{CE} = 8V$)에서 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합의 게이트 전압(V_G) 및 조도(P)에 대한 광전류($I_{Ph} = I_{light} - I_{dark}$) 및 광감도($R_\lambda = I_{Ph}/P$)의 의존성을 나타낸다.
- [0080] 광전류(I_{Ph})는 아래 수식을 통해 구할 수 있다.
- [0081]
$$I_{Ph} = I_{light} - I_{dark} \dots (1)$$
- [0082] 광감도(R_λ)는 아래 수식을 통해 구할 수 있다.
- [0083]
$$R_\lambda = I_{Ph}/P \dots (2)$$
- [0084] 도 12(a) 및 도 12(b)를 참조하면, 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합에서 게이트 전압(V_G)가 증가하면 광전류(I_{Ph})와 광감도(R_λ) 모두 증가한다.
- [0085] 한편, 매우 낮은 조도($P = 0.016 \mu W$)에서 측정된 광전류(I_{Ph})는 어두운 조건에서 측정된 전류만큼 낮았으며 이는 조도(P)가 $0.016 \mu W$ 만큼 낮은 수준에서 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합의 광감도(R_λ)가 낮게 형성되는 것을 설명한다.
- [0086] 반면, 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합은 20V의 게이트 전압에서 $6AW^{-1}$ 의 최대 광감도(R_λ)를 나타낸다. 상기 값은 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합이 광검출 장치에 쓰일 수 있을 만큼 충분히 높다.
- [0087] 도 13(a) 내지 도 13(d)는 서로 다른 게이트 전압(V_G) 및 광 여기 조건에서 상기 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합의 콜렉터-이미터 전압(V_{CE}) 및 게이트 전압(V_G)에 대한 콜렉터 전류(I_C)의 의존성을 나타낸다.
- [0088] 도 13(a) 내지 도 13(d)를 참조하면, 상기 $\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ 이중 접합과는 달리, 상기 $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2/\text{WSe}_2$ 이중 접합은 순방향 바이어스에서 게이트 전압(V_G)가 감소함에 따라 콜렉터 전류(I_C)가 증가하고 역방향 바이어스에서

게이트 전압(V_G)가 증가함에 따라 콜렉터 전류(I_C)가 증가한다.

[0089] 도 14(a) 및 도 14(b)는 고정된 콜렉터-이미터 전압(V_{CE}) 값($V_{CE} = -8V$)에서 상기 $WSe_2/MoSe_2/MoSe_2$ 이중 접합의 게이트 전압(V_G) 및 조도(P)에 대한 광전류(I_{Ph}) 및 광감도(R_λ) 의존성을 나타낸다.

[0090] 도 14(a) 및 도 14(b)를 참조하면, 광감도(R_λ)는 게이트 전압(V_G)가 증가함에 따라 증가하고 조도(P)가 증가함에 따라 감소한다. 최대 광감도(R_λ)는 $V_G=20V$ 및 $P=0.016 \mu W$ 에서 $3AW^{-1}$ 이다.

[0091] 상기 다기능성 장치에 포함된 $MoSe_2/WSe_2/MoSe_2$ 접합 및 $WSe_2/MoSe_2/WSe_2$ 접합은 각각 $6 AW^{-1}$ 및 $3 AW^{-1}$ 의 높은 감광성과 함께, 강력하고 조정 가능한 광검출 특성을 나타낸다.

[0092] 상술한 바와 같이 본 발명의 바람직한 실시예들을 참조하여 설명하였지만 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0093] 100: 기판

101, 102, 103, 104: 제1 내지 제4 전극

110, 120, 130, 140: 제1 내지 제4 도전막

I, II, III: 제1 내지 제3 접합

V_{BE} : 베이스-이미터 전압 V_{CB} : 콜렉터-베이스 전압

V_{CE} : 콜렉터-이미터 전압 V_G : 게이트 전압

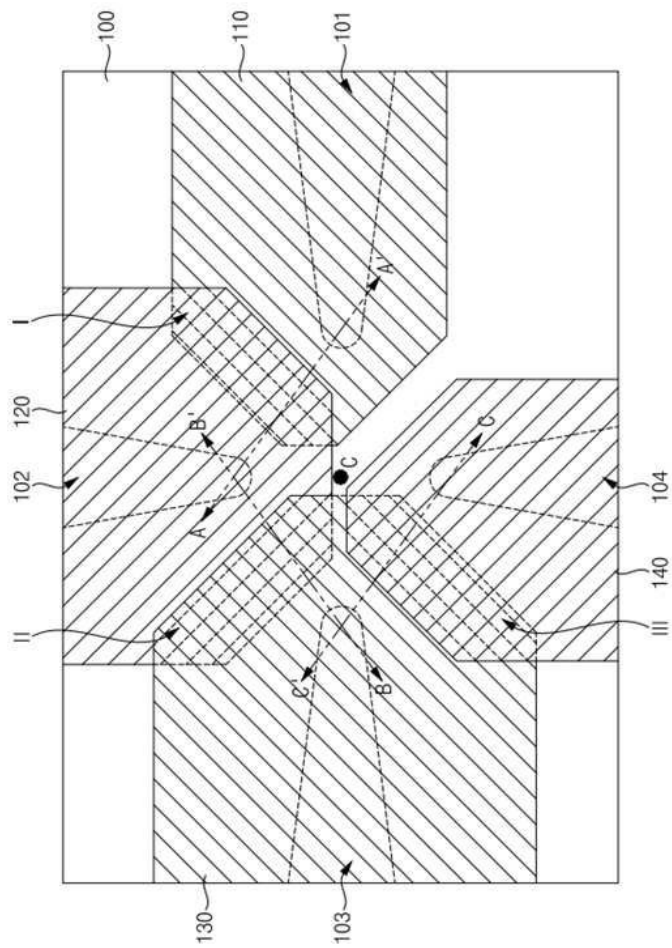
I_B : 베이스 전류 I_C : 콜렉터 전류

I_{Ph} : 광전류 P: 조도

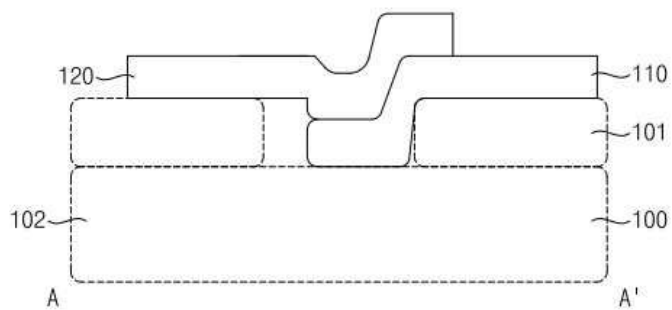
R_λ : 광감도

도면

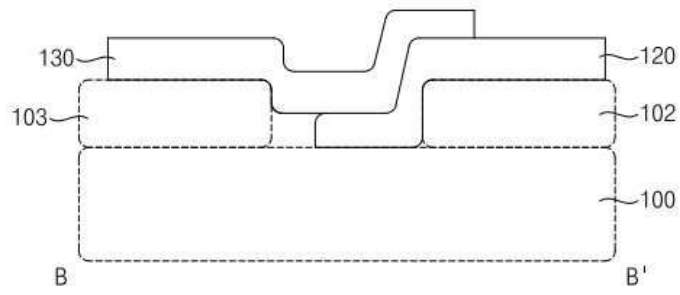
도면1



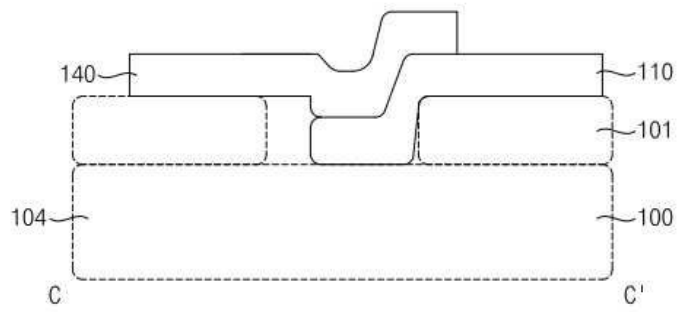
도면2



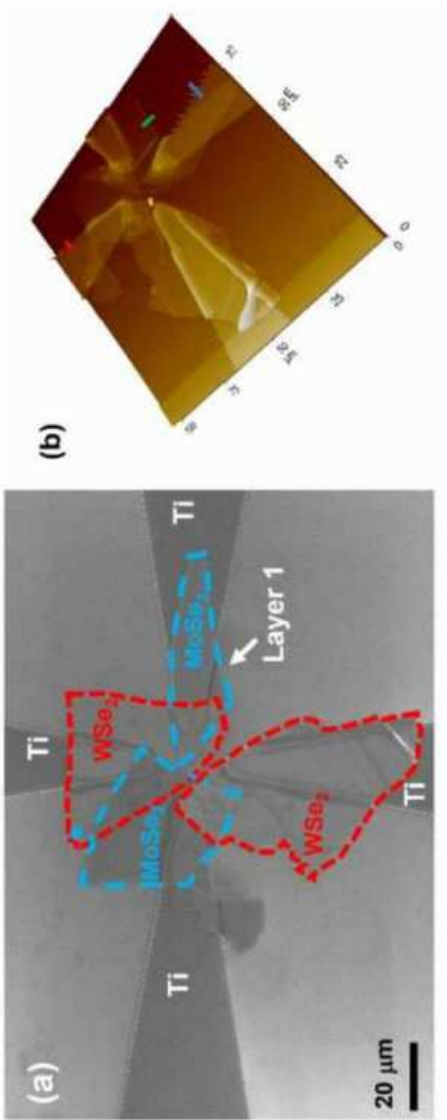
도면3



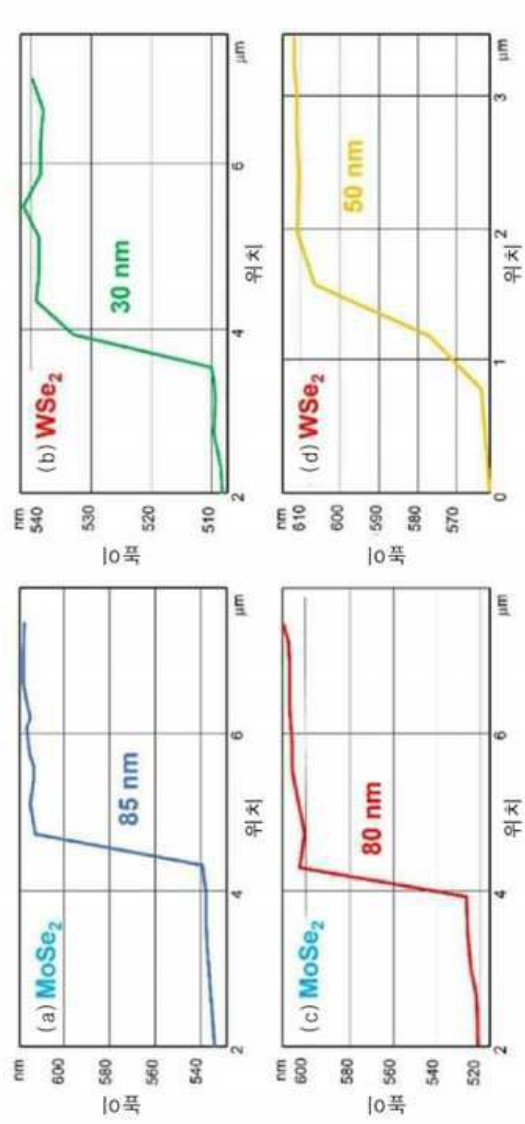
도면4



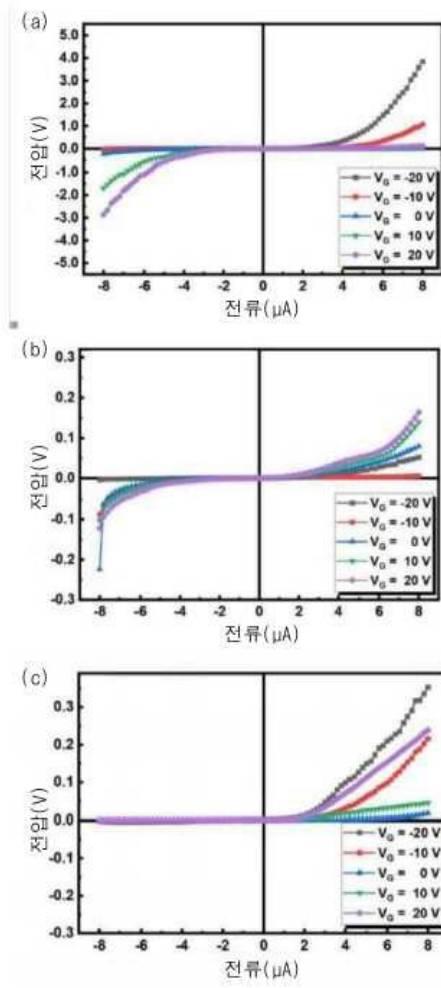
도면5



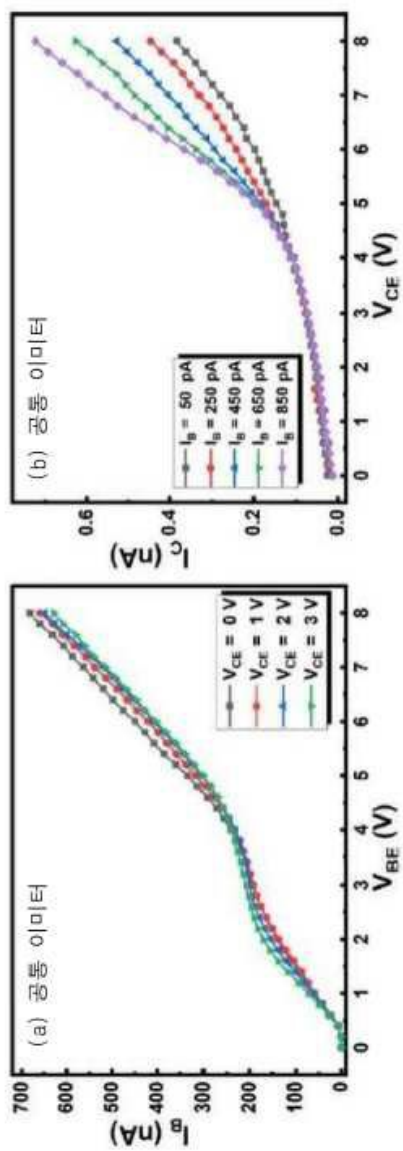
도면6



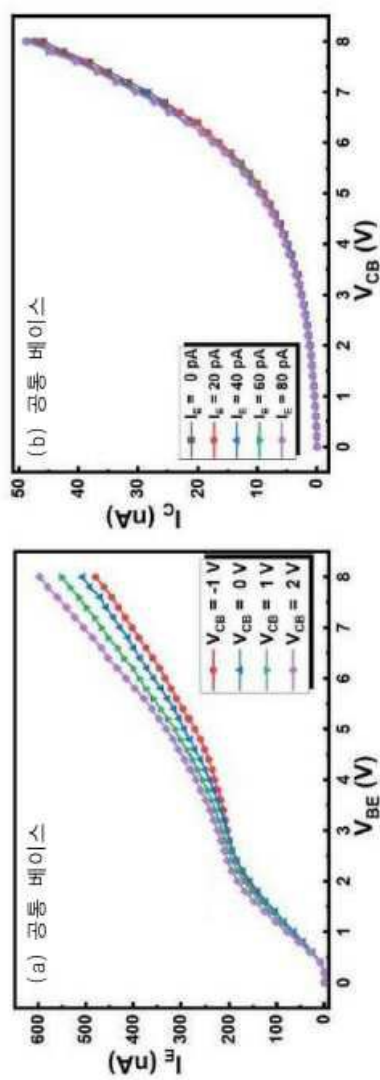
도면7



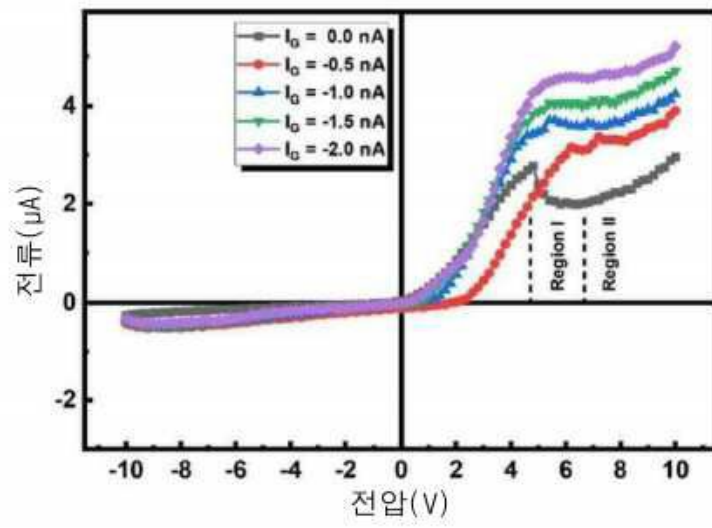
도면8



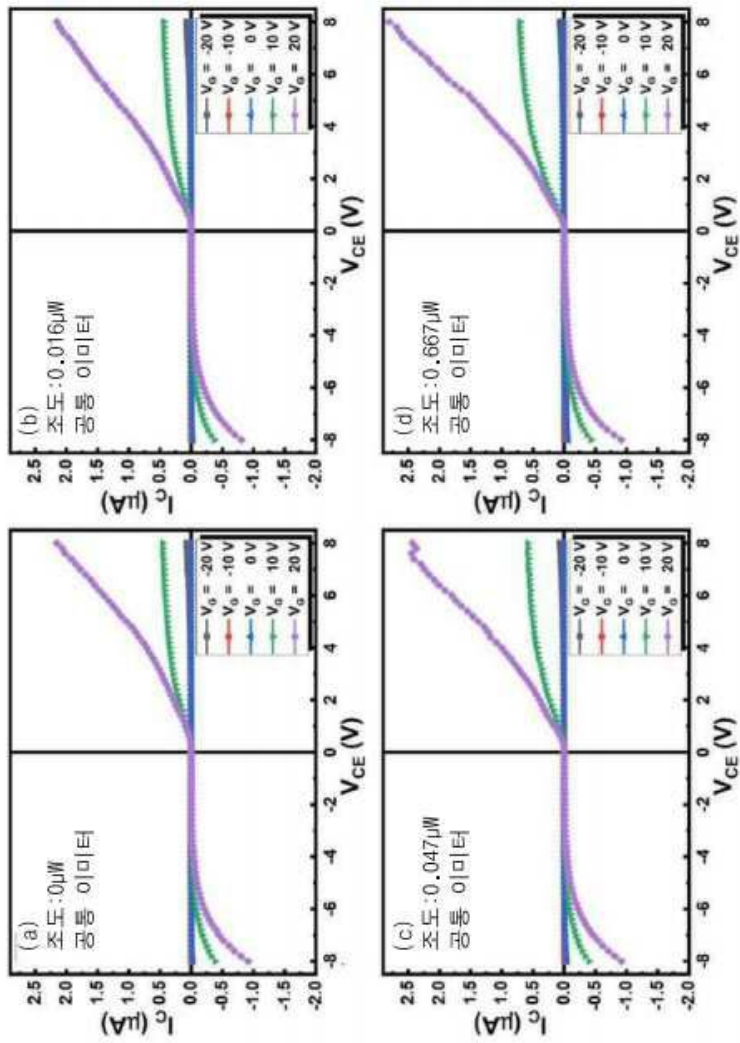
도면9



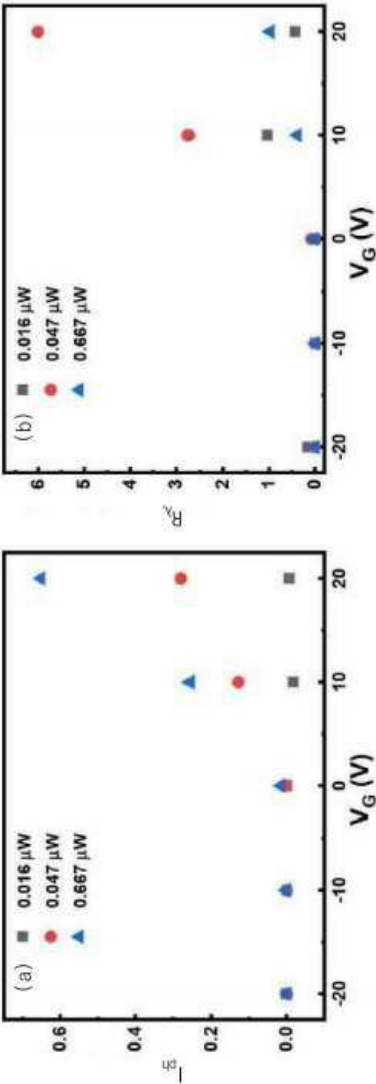
도면10



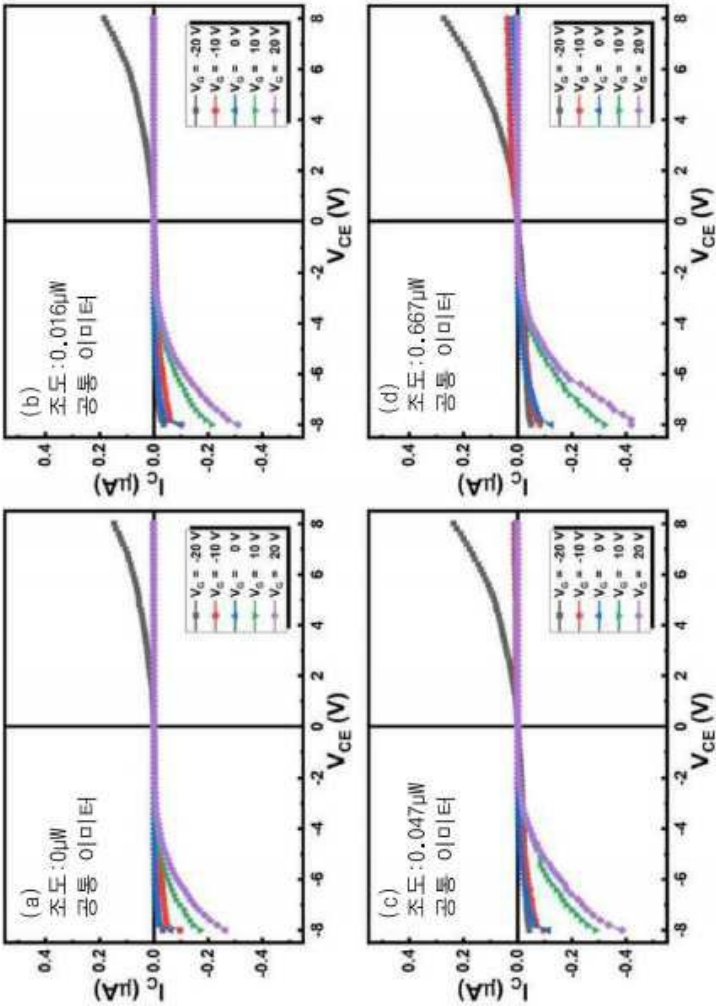
도면11



도면12



도면13



도면14

