



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0124711
(43) 공개일자 2017년11월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 17/20 (2006.01) B01J 19/08 (2015.01)
C01B 19/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C01B 17/20 (2013.01)
B01J 19/081 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0054422
(22) 출원일자 2016년05월03일
심사청구일자 2016년05월03일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
박동혁
인천광역시 서구 청라사파이어로 158, 573동 1901호(경서동, 청라골드클래스)
김석호
강원도 홍천군 동면 삼현길 70-16
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
신성기

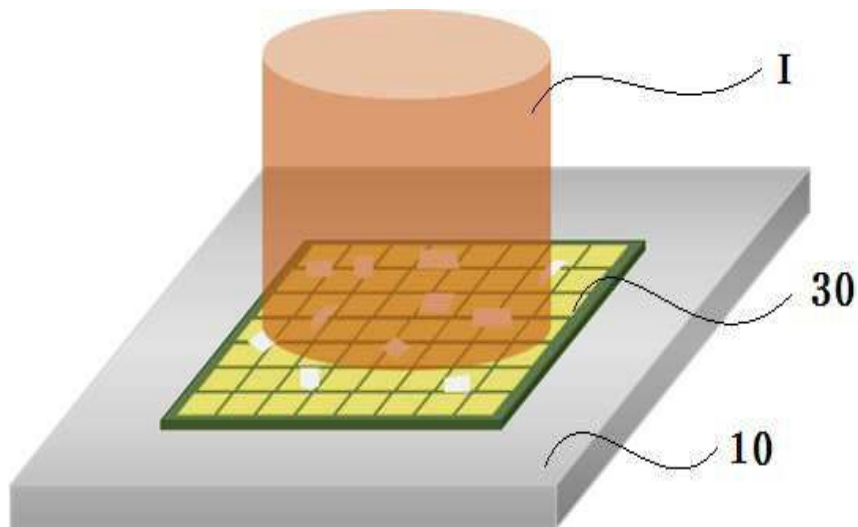
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 의하면, 이온빔의 조사를 통해 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 변화시킬 수 있으므로, 도핑 등 화학적 처리를 통해서 발생하는 부작용의 해결을 도모할 수 있다. 또한, 이온빔의 조사 조건과 TMDs 2차원 시트의 전기특성의 상관 관계를 분석하고 그 결과를 TMDs 2차원 시트 제작에 반영하면, TMDs 2차원 시트의 전기특성을 원하는 대로 조절할 수 있고, 또한 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 정량적으로 분석 및 제어가 가능하다. 즉, 본 발명의 일 측면에 따라 제조되는 TMDs 2차원 시트는 트랜지스터 등의 전자 산업 분야에서 폭넓게 사용될 수 있다.

대표도 - 도1c



(52) CPC특허분류

C01B 19/04 (2013.01)

C01P 2006/40 (2013.01)

(72) 발명자

최진호

경기도 성남시 수정구 산성대로405번길 9-15. 101호

김형태

인천광역시 서구 심곡로 11, 103동 2101호(심곡동, 광명아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015M2B2A9033159

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 원자력연구기반확충사업/전략기초연구

연구과제명 이온 주입을 통한 차세대 2차원 소재의 특성 조절 및 소자 제작

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교

연구기간 2015.06.01 ~ 2018.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

제1 기판을 준비하는 제1 기판 준비단계(S10);

상기 준비된 제1 기판의 상면에 전도성 접착층을 형성하는 접착층 형성단계(S20);

TMDs 2차원 시트가 올려진 제2 기판을 상기 전도성 접착층 상면에 부착하는 제2 기판 부착단계(S30); 및

상기 TMDs 2차원 시트에 저에너지 이온빔을 조사하는 이온빔 조사단계(S40);를 포함하는 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 제1 기판 준비단계(S10)에서, 상기 제1 기판은 도체 기판이거나 부도체 기판에 전도성 물질이 코팅되거나 도핑된 반도체 기판인 것을 특징으로 하는 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 접착층 형성단계(S20)에서, 상기 전도성 접착층은 실버 페이스트 층인 것을 특징으로 하는 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 제2 기판 부착단계(S30)에서, 상기 제2 기판은 실리콘 기판인 것을 특징으로 하는 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 이온빔 조사단계(S40)에서, 상기 조사된 이온빔은 금속 이온이고,

상기 조사된 이온빔의 에너지는 20 KeV 내지 140 KeV이며, 상기 조사된 이온빔의 선량은 1.0×10^{13} electrons/cm² 내지 1.0×10^{17} electrons/cm² 인 것을 특징으로 하는 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 이온빔을 조사하여 TMDs 2차원 시트를 개질하는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 TMDs 2차원 시트 손상을 최소화 하면서 전기적 특성을 개질할 수 있는 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법

[0001]

에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 탄소 원자들이 벌집모양의 육각형으로 배열된 대표적인 2차원 나노 소재인 그래핀은 2004년 발견 이후 강도와 열 전도율, 전기 전도성 등으로 인해 많은 주목을 받았다. 이러한 그래핀의 특성들은 에너지 밴드갭이 없는 그래핀의 전자구조에 기인한다. 그러나 이러한 에너지 구조는 반도체보다 준금속에 가까운 특성을 보이며, 전자산업에서 주로 쓰이는 트랜지스터로의 활용에 큰 걸림돌이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 많은 연구팀에서는 그래핀 이외의 2차원 소재에 주목했다. 그 중 최근 이황화몰리브덴과 같은 형태의 전이금속 칼코겐화합물(Transition-metal Dichalcogenides, TMDs)에 관심을 가지기 시작했다. TMDs는 MX_2 의 화학식을 가지며 여기서 M은 전이금속 원소(주기율표 4~6족)를 가리키며 X는 칼코겐 원소(주기율표 7족)이다. 이러한 TMDs 중 현재 트랜지스터로 사용하기 위해 가장 활발한 연구가 진행되고 있는 물질은 이황화몰리브덴이다. 이황화몰리브덴은 전형적인 n형 반도체로서 트랜지스터 제작에 중요한 역할을 한다. 그러나 더 다양하고 고효율의 트랜지스터를 제작하기 위해서는 p형과 n형을 자유롭게 전환할 수 있는 기술이 필요하다. 따라서 구조적 손상을 유발하지 않고 화학적 처리를 거치지 않으면서 p형과 n형을 자유자재로 조절할 수 있다면 전자산업분야에서 큰 발전을 이룰 수 있으므로 연구의 필요성이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0003] 본 발명은 상기와 같은 필요성에 의해 안출된 것으로, 본 발명은 이온빔을 이용하여 TMDs 2차원 시트의 전기특성 조절 방법 및 그에 의해 조절된 TMDs 2차원 시트를 제공하고자 한다.
- [0004] 특히, TMDs 중 이황화몰리브덴은 전형적인 n형 반도체 특성을 나타내다가 이온빔에 의해 p형 반도체 특성을 나타내도록 개질할 수 있는 TMDs 2차원 시트의 전기특성 조절 방법을 제공하고자 한다.
- [0005] 본 발명의 또 다른 목적은 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 제어할 수 있는 TMDs 2차원 시트의 특성 조절용 이온빔의 제어 방법을 제공한다..

과제의 해결 수단

- [0006] 상기와 같은 본 발명의 목적은, 제1 기판을 준비하는 제1 기판 준비단계(S10); 준비된 제1 기판의 상면에 전도성 접착층을 형성하는 접착층 형성단계(S20); TMDs 2차원 시트가 올려진 제2 기판을 상기 전도성 접착층 상면에 부착하는 제2 기판 부착단계(S30); 및 TMDs 2차원 시트에 저에너지 이온빔을 조사하는 이온빔 조사단계(S40);를 포함하는 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법을 제공함으로써 달성될 수 있다.
- [0007] 또한, 제1 기판 준비단계(S10)에서, 제1 기판은 도체 기판이거나 반도체 기판에 전도성 물질이 코팅되거나 도핑된 반도체 기판일 수 있다.
- [0008] 그리고, 접착층 형성단계(S20)에서, 전도성 접착층은 실버 페이스트 층일 수 있다.
- [0009] 제2 기판 부착단계(S30)에서, 제2 기판은 실리콘 기판일 수 있다.
- [0010] 한편, 이온빔 조사단계(S40)에서, 조사된 이온빔은 금속 이온이고,
- [0011] 조사된 이온빔의 에너지는 20 KeV 내지 140 KeV이며, 조사된 이온빔의 선량은 1.0×10^{13} electrons/cm² 내지 1.0×10^{17} electrons/cm² 일 수 있다.
- [0012] 한편, 본 발명의 일 측면에 따르면, 이온빔 조사에 기반한 TMDs 2차원 시트의 개질 방법은, 이온빔의 조사에 의해 상기 개질된 TMDs 2차원 시트가 얹혀진 제2 기판을 탈착하는 단계(S50);와, TMDs 2차원 시트의 전기 특성을 측정하는 단계(S60); 및 이온빔의 조사 조건 및 상기 TMDs 2차원 시트의 전기특성 상관 관계를 분석하는 단계(S70)를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0013] 본 발명의 일 측면에 따르면, 이온빔의 조사를 통해 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 변화시킬 수 있으므로, 도핑 등 화학적 처리를 통해서 발생하는 부작용의 해결을 도모할 수 있다. 또한, 이온빔의 조사 조건과 TMDs 2차원

시트의 전기특성의 상관 관계를 분석하고 그 결과를 TMDs 2차원 시트 제작에 반영하면, TMDs 2차원 시트의 전기 특성을 원하는 대로 조절할 수 있고, 또한 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 정량적으로 분석 및 제어가 가능하다. 즉, 본 발명의 일 측면에 따라 제조되는 TMDs 2차원 시트는 트랜지스터 등의 전자 산업 분야에서 폭넓게 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1a 내지 도 1d는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온빔 조사를 통한 TMDs 2차원 시트의 전기적 특성 개질 공정을 개략적으로 설명하기 위한 공정 사시도,
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 실험예(2a) 및 비교예(2b)에 따른 이황화몰리브덴 시트의 광학 현미경 사진이고,
- 도 3은 본 발명의 실험예 및 비교예에 따른 이황화몰리브덴 시트에 대한 공초점 현미경(Laser Confocal Microscope: LCM) 라만 스펙트럼 ($\lambda_{ex} = 514 \text{ nm}$) 결과를 표로서 나타낸 도면이고,
- 도 4에는 금 전극과 이황화몰리브덴을 이용하여 소자를 제작하고, 해당 소자의 트랜지스터 특성을 측정한 결과를 표로서 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 본 발명의 일 측면에 따른 TMDs 2차원 시트의 개질 방법, 및 TMDs 2차원 시트 개질용 이온빔의 제어 방법에 대하여 상세히 설명한다.
- [0016] 본 발명에 있어서, "TMDs 2차원 시트"는 전이금속 원소와 칼코겐 원소가 1:2의 비율로 결합하여 평면 상에 균일한 상태로 정렬되어 결합된 2차원 시트가 금 전극과 함께 실리콘 웨이퍼 위에 올려진 구조체로서, 상기 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 조절 혹은 변화시키기 위한 공정, 예를 들어, 이온빔을 조사하기 전의 구조체를 가리킨다. 상기 웨이퍼 위에 있는 TMDs 2차원 시트는, 예를 들어, 단일층, 이중층 등의 구조를 가질 수 있고, 본 발명이 이에 의해 한정되거나 제한되지 않는다.
- [0017] 본 발명에 있어서, "이온빔"은 장치에 의해 가속되어 이온이 방출되는 것으로서, 상기 이온빔은, 예를 들어, 코발트, 철, 크롬, 구리 등 금속 이온과 헬륨, 아르곤, 질소, 수소 등과 같은 기체 이온 등이 될 수 있으며, 본 발명이 이에 의해 한정되거나 제한되지 않는다.
- [0018] 도 1a 내지 도 1d는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온빔 조사를 통한 TMDs 2차원 시트의 전기특성 개질 공정을 개략적으로 설명하기 위한 공정 사시도이다. 여기서, 도 1에서는 TMDs 2차원 시트를 단일층으로 도시하고 있다. 그러나, 도 1은 본 발명의 TMDs 2차원 시트의 개질 공정을 설명하기 위한 예시적인 도면으로서, 본 발명은 이에 의해 한정되거나 제한되지 않는다.
- [0019] 도 1a 내지 도 1d를 참조하면, 본 실시예는 제1 기판(10)을 준비하는 제1 기판 준비단계(S10)와, 이후 준비된 제1 기판의 상면에 전도성 접착층을 형성하는 접착층 형성단계(S20)와, 이후 TMDs 2차원 시트가 올려진 제2 기판(30)을 전도성 접착층 상면에 부착하는 제2 기판 부착단계(S30);와, 이후 TMDs 2차원 시트에 저에너지 이온빔을 조사하는 이온빔 조사단계(S40);를 포함한다. 이하에서는, 각 단계별로 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0020] 먼저, 도 1a를 보면, 이온빔을 조사하기 위해 금속이 덮인 제1 기판(10)을 준비한다. 제1 기판(10)의 재료와 겹면의 금속 재료는 특별히 한정되지는 않으나, 예를 들어, 부도체로서 유리 기판 등을 사용할 수 있고, 금속은 알루미늄 등을 사용할 수 있다. 그 중에서, 알루미늄이 덮인 유리 기판은 알루미늄 테이프를 사용하여 제작할 수 있다.
- [0021] 도 1a와 같이, 금속이 덮인 제1 기판(10)에 부착하는 전도성 접착제(20)는 특별히 한정되지는 않으나, 예를 들어, 도전성이 우수한 카본 테이프 등을 사용할 수 있다.
- [0022] 금 전극과 TMDs 2차원 시트가 올려진 제2 기판(30)인 실리콘 웨이퍼를 준비한 후에는, 도 1b에 도시한 바와 같이, 전도성 접착제(20)로 접착시킨다. TMDs 2차원 시트는 단일층, 이중층 등의 구조를 가질 수 있으나, 이에 의해 본 발명이 한정되거나 제한되지 않는다.
- [0023] 이상에서는, TMDs 2차원 시트에 이온빔 조사를 위한 준비 방법으로, 금속이 덮인 제1 기판(10)에 제1 기판(30)인 TMDs 2차원 시트가 올려진 실리콘 웨이퍼를 카본 테이프로 접착하는 방법을 예로 들었지만, 본 발명은 이에

국한되지 않는다. 일 예로, 금속이 덮인 제1 기판(10)을 도핑이 많이 된 실리콘 기판을 사용해도 무방하며, 또한 전도성 접착제(20)로 실버 페이스트를 사용해서 접착할 수도 있다.

[0024] 상기 이온빔 조사를 위한 TMDs 2차원 시트를 준비한 후에는, 도 1c에 도시한 바와 같이, 미리 제어된 이온빔을 조사한다. 여기서, "미리 제어된"이란 상기 이온빔의 구체적인 조사 조건 및 상기 TMDs 2차원 시트와 전기특성의 상관 관계를 분석한 결과가 반영된 의미이다. 즉, 상기 미리 제어된 이온빔은, 상기 이온빔의 조사 조건을 다양하게 하여 많은 TMDs 2차원 시트를 제조한 후, 각각의 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 측정된 후, 상기 이온빔의 조사 조건 및 상기 TMDs 2차원 시트와 전기특성의 상관 관계를 분석하여, 그 분석 결과가 반영된 이온빔이다.

[0025] 이와 같이, 상기 분석 결과가 TMDs 2차원 시트 개질에 반영됨으로써 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 원하는 대로 개질시킬 수 있으며, 아울러 TMDs 2차원 시트의 전기특성에 대해 정량적인 제어가 가능하다. 또한, 이온빔 조사와 같은 물리적 공정으로 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 개질시키기 때문에, 기존의 화학물질을 사용하여 처리하는 공정 중 발생할 수 있는 문제점들을 해결할 수 있다.

[0026] 상기 이온빔의 가속전압 및 선량 등과 같은 이온빔 조사 조건은 상기 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 얼마나 변화시킬 것인가에 따라 달라진다. 예를 들어, 상기 2차원 TMDs 시트의 전기특성을 조금 변화시키고자 하는 경우, 상기 이온빔의 가속전압 및 선량은 각각 작을 수 있고 반면에, 상기 2차원 TMDs 시트의 전기특성을 많이 변화시키고자 하는 경우, 상기 이온빔의 에너지 및 선량은 각각 클 수 있다. 이 때문에, 상기 이온빔의 에너지 및 선량의 크기에 의해 본 발명이 한정되지 않으나, 예를 들어, 상기 이온빔의 에너지는 20 KeV 또는 140 KeV이고, 상기 이온빔의 선량은 1.0×10^{13} electrons/cm² 내지 1.0×10^{17} electrons/cm² 일 수 있다.

[0027] 상기 이온빔을 조사한 후에는, 도 1d에 도시된 바와 같이, 제2 기판(30)인 실리콘 웨이퍼를 탈착한다. 이때의 탈착 과정은 부착하는 과정의 반대 순서로 진행하며 웨이퍼 파손에 유의하여야 한다.

[0028] 상기 TMDs 2차원 시트의 전기특성을 측정하기 위해 공지의 모든 측정 방법들을 이용할 수 있다. 예를 들어, 상기 TMDs 2차원 시트의 라만 스펙트럼 측정, 라만 스펙트럼 이미지 측정, 광학 이미지 측정, 트랜지스터 특성 측정 등을 수행할 수 있다.

[0029] 상기 이온빔의 조사 조건은 이온빔 조사 장치를 이용하여 이온빔을 조사할 때 변화를 줄 수 있는 모든 변수들을 말하는 것이므로, 예를 들어, 상기 이온빔의 가속전압, 선량 및 조사 시간을 포함할 수 있다.

[0030] 한편, 본 발명은 2차원 TMDs 시트 단일층을 비롯한 벌크 상태의 2차원 TMDs 시트에서도 전기특성 변화를 이루고자 할 때에도 적용될 수 있다.

[0031] 상기한 바에 따라 제조되는 개질된 2차원 TMDs 시트는 이온빔 조사로 인해 일부 손상된 부분이 있을 수는 있다. 상기 2차원 TMDs 시트의 라만 스펙트럼 봉우리는 376cm^{-1} 에서 800 내지 1600의 세기일 수 있고, 406cm^{-1} 에서 1000 내지 1900의 세기일 수 있으나, 이는 이온빔 조사 조건과 라만 스펙트럼 측정시 조사하는 레이저의 세기에 따라 달라지므로, 본 발명은 이에 의해 한정되거나 제한되지 않는다.

[0032] 이하, 하기 실험예를 참조하여 본 발명을 상세하게 설명하기로 한다.

[0034] 1. 이황화몰리브덴 시트 개질

[0035] 실험예 1 내지 9

[0036] 일반적으로 흔히 사용하는 슬라이드 글라스를 준비하였다. 이어, 상기 슬라이드 글라스의 모든 면을 알루미늄 테이프로 완전 감싸주어 이온빔 조사를 위한 받침 부분을 제작하였다. 상기 받침에 전도성 접착제로서 카본 테이프를 부착하여 금 전극과 이황화몰리브덴이 올려진 실리콘 웨이퍼를 붙일 수 있도록 준비한다. 이어, 금 전극과 이황화몰리브덴이 올려진 실리콘 웨이퍼를 전도성 접착제인 카본 테이프 위에 부착하여 조사된 이온들이 표면에 과도하게 축적되지 않을 수 있는 여건을 만들어준다.

[0037] 이어, 상기 웨이퍼에 이온빔을 상온 및 공기 중에서 조사하였다. 상기 이온빔은 대형연구시설의 가속기 장비를 이용하여 발생하였다. 본 발명은 이온빔 발생장치에 의해 제한되거나 한정되지는 않는다. 방출되는 이온빔의 조사 시간을 조절하여 원하는 선량을 얻었다. 실험예 1 내지 9에서의 이온빔의 에너지 및 선량을 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

	에너지 (KeV)	선량 (electrons/cm ²)
실험예 1	140	6.0×10^{13}
실험예 2	140	1.0×10^{14}
실험예 3	140	3.0×10^{14}
실험예 4	140	6.0×10^{14}
실험예 5	140	1.0×10^{15}
실험예 6	140	3.0×10^{15}
실험예 7	140	6.0×10^{15}
실험예 8	140	1.0×10^{16}
실험예 9	140	3.0×10^{16}

상기 실험예와 비교되는 비교예는 이온빔을 조사하지 않았다는 점을 제외하고는 상기 실험예 1 내지 실험예 9와 동일한 과정을 거쳐 비교예에 따른 이황화몰리브덴 시트를 준비하였다.

2. 이황화몰리브덴 시트의 전기특성 측정 및 분석

실험예 및 비교예에 따라 제조된 이황화몰리브덴 시트의 라만 스펙트럼, 라만 스펙트럼 이미지, 광학 현미경 이미지, 트랜지스터 특성을 측정하였다.

광학 현미경 사진 분석

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 실험예 및 비교예에 따른 이황화몰리브덴 시트의 광학 현미경 사진으로서, 도 2a는 비교예, 도 2b는 실험예 4의 광학 현미경 사진이다. 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 실험예 4 및 비교예에 따른 이황화몰리브덴 시트는 외관상 차이가 발생하지 않았음을 알 수 있다.

라만 스펙트럼을 통한 구조 및 상태 변화 분석

도 3은 본 발명의 실험예 및 비교예에 따른 이황화몰리브덴 시트에 대한 공초점 현미경(Laser Confocal Microscope: LCM) 라만 스펙트럼 ($\lambda_{ex} = 514 \text{ nm}$) 으로서, 비교예, 실험예 1 내지 실험예 9의 값을 각각 도시한 것이다. 여기서 라만 분광분석의 측정은 320 내지 450 cm^{-1} 범위의 라만 스펙트럼이다.

트랜지스터 특성 측정 및 분석

도 4에는 금 전극과 이황화몰리브덴을 이용하여 소자를 제작하고, 해당 소자의 트랜지스터 특성을 측정한 결과를 표로서 나타낸 도면이다. 도 4a는 이온빔 조사 전 비교예를 측정한 것이고, 전형적인 n형 반도체 특성을 나타낸다. 반면에 도 4b는 이온빔 조사 후의 측정값으로서, 기본적으로 상기와 같은 n형이 보이지만 동시에 p형 반도체의 특성을 나타낸다. 두 차례에 걸쳐 측정한 것으로 각각 -60 내지 40 V의 범위와, -40 내지 40 V의 범위에서 측정하였다. 즉, 본 발명의 주를 이루는 이온빔 조사에 의해 n형 특성만을 가지던 물질이 n형과 p형을 동시에 나타내도록 특성이 개질되었다.

상기 이황화몰리브덴 시트의 특성 라만 피크를 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

피크 위치 (cm^{-1})	라만 특성 진동 모드	표기
383	in-plane mode	E_{2g}

409	out-of-plane mode	A_{1g}
-----	-------------------	----------

[0053] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 설명하였지만, 상술한 본 발명의 기술적 구성은 본 발명이 속하는 기술 분야의 당 업자가 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해되어야 한다. 아울러, 본 발명의 범위는 상기의 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어진다. 또한, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

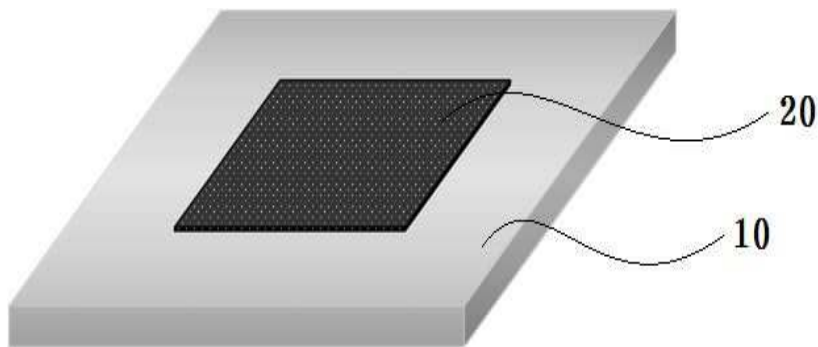
부호의 설명

[0054]

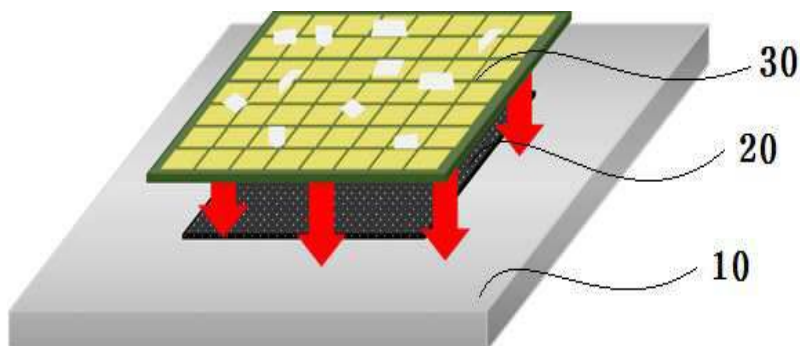
- I : 이온빔 선속
- 10: 유리기판
- 20: 전도성 접착층
- 30: TMDs 2차원 시트가 올려진 실리콘 웨이퍼
- 40: 개질된 TMDs 2차원 시트

도면

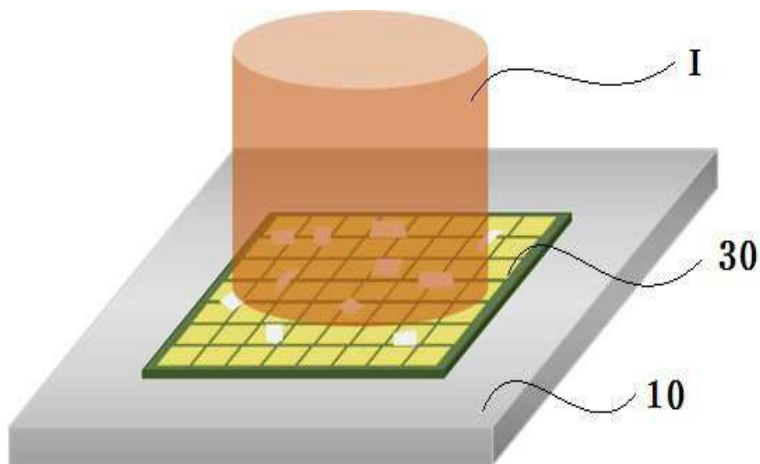
도면1a



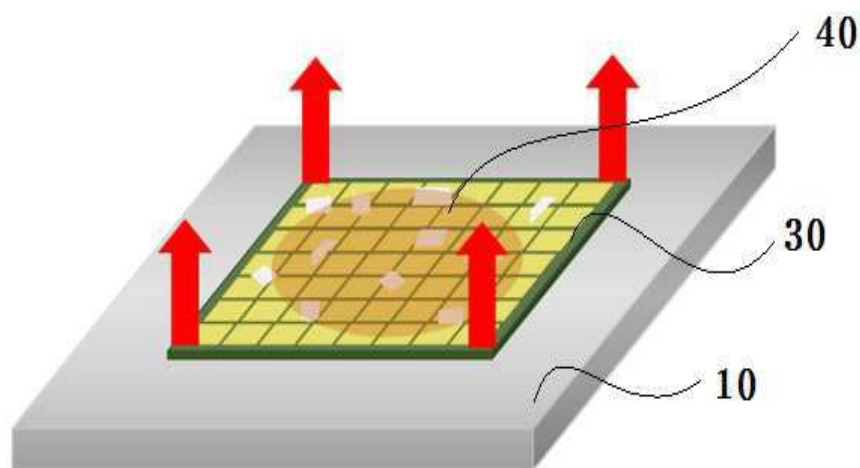
도면1b



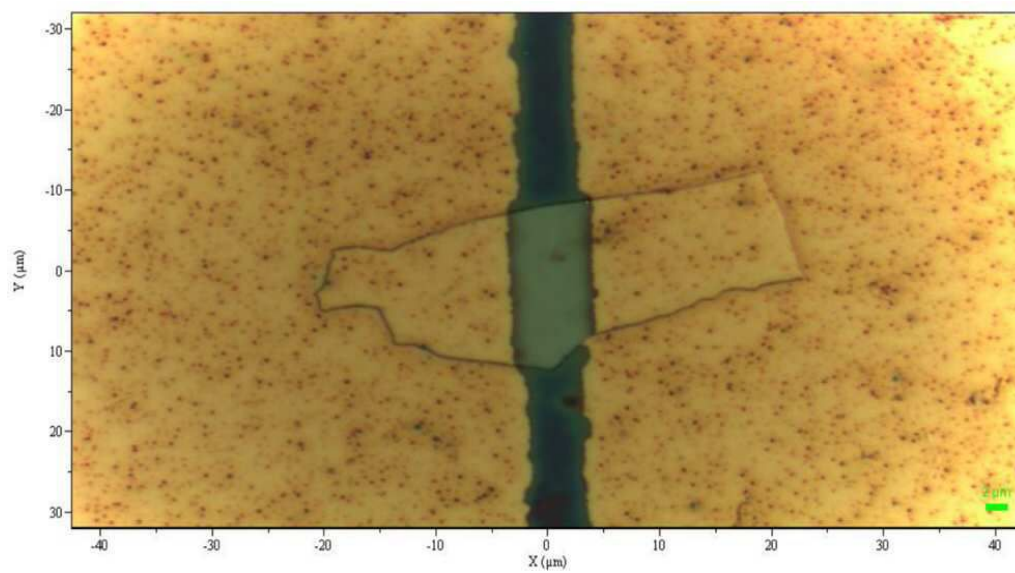
도면1c



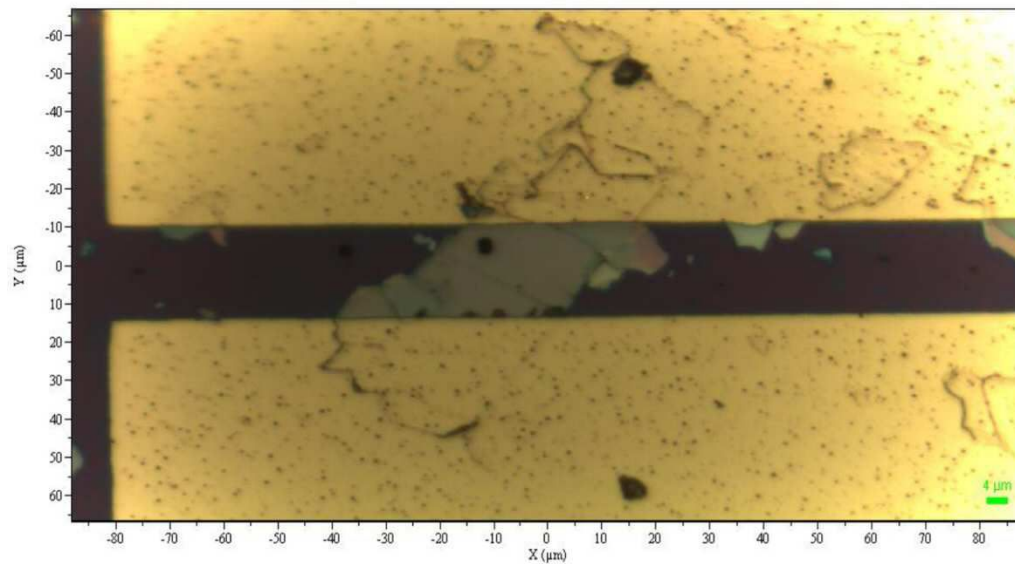
도면1d



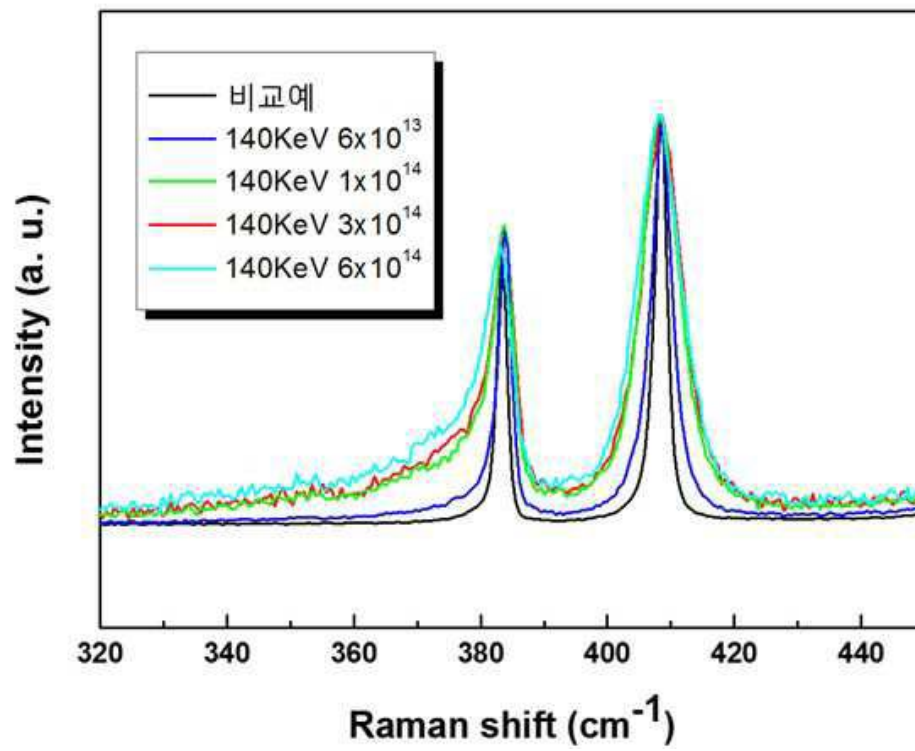
도면2a



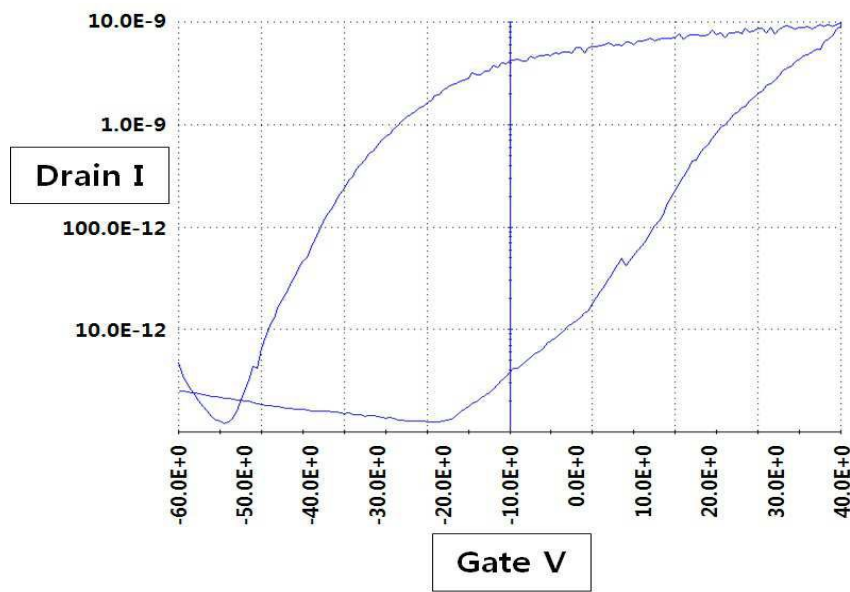
도면2b



도면3



도면4a



도면4b

