



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0064947  
(43) 공개일자 2021년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B28B 1/00 (2006.01) H01L 31/032 (2006.01)  
B82Y 40/00 (2017.01)  
(52) CPC특허분류  
B28B 1/005 (2013.01)  
H01L 31/0324 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0153747  
(22) 출원일자 2019년11월26일  
심사청구일자 2019년11월26일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
박철민  
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제2공학관 217호  
이혁중  
서울특별시 동대문구 답십리로 130, 407동 1901호  
(74) 대리인  
김권석

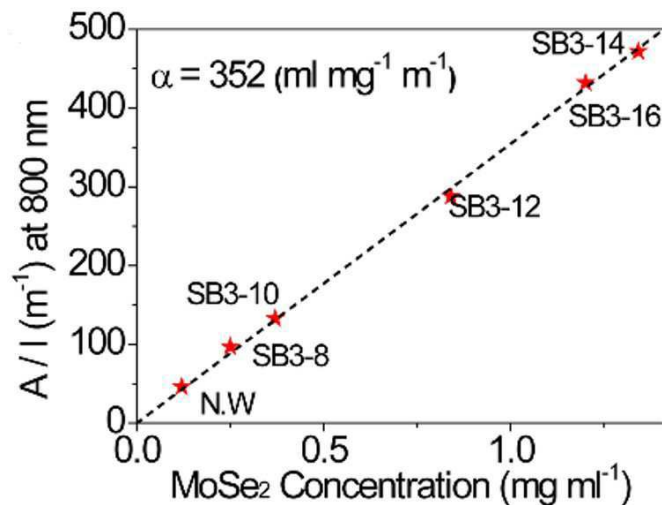
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 나노 복합체 및 이를 포함하는 광검출기 소자

(57) 요약

본 발명은 나노 복합체 및 이를 포함하는 광 검출기에 관한 것이다. 본 발명에 따른 나노 복합체는 양쪽성 이온 화합물을 포함하는 수용액 및 상기 수용액에 분산된 나노 시트를 포함한다. 본 발명에 따른 광 검출기는 상기 나노 복합체 내 용매를 제거한 잉크를 포함하고, 상기 잉크를 기재 상에 잉크젯 프린팅하여 제조된다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

B82Y 40/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2018111787(2019013610)
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원천기술개발사업
연구과제명	[Ezbaro] (총괄/3세부)인공 공감각 일렉트로닉스 플랫폼 개발 (1단계)(2/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.01.16 ~ 2020.01.15

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

양쪽성 이온 화합물을 포함하는 수용액; 및  
상기 수용액에 분산된 나노시트를 포함하는 나노 복합체.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 양쪽성 이온 화합물은 알킬 사슬을 포함하는, 나노 복합체.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,  
상기 양쪽성 이온 화합물은 술포베타인 기능기(sulfobetaine derivative)를 갖는 계면 활성제인, 나노 복합체.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,  
상기 양쪽성 이온 화합물은 sulfobetaine(SB3-8), caprylyl sulfobetaine(SB3-10), lauryl sulfobetaine(SB3-12), myristyl sulfobetaine(SB3-14), 및 palmityl sulfobetaine(SB3-16) 중 하나 이상을 포함하는, 나노 복합체.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,  
상기 나노시트는 2차원 구조를 가지는 전이금속 디칼코게나이드 나노시트인, 나노 복합체.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,  
상기 양쪽성 이온 화합물은 양이온부 및 음이온부를 포함하고, 상기 양이온부 및 상기 음이온부는 상기 수용액 내 물과 결합하는, 나노 복합체.

#### 청구항 7

기재;  
상기 기재 상에 배치되고 빛을 흡수하는 광 반응층; 및  
상기 광 반응층과 연결되고, 광전류를 발생시키는 전극;을 포함하는 광 검출 소자로서,  
상기 광 반응층은 전이금속 디칼코게나이드 나노시트 및 양쪽성 이온 화합물을 포함하는, 광 검출기 소자.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,  
상기 전극은 그래핀 나노시트 및 양쪽성 이온 화합물을 포함하는, 광 검출기 소자.

#### 청구항 9

제7항에 있어서,

상기 광반응층 및 상기 전극 중 하나는 상기 기재 상에 잉크젯 인쇄된, 광 검출기 소자.

#### 청구항 10

제7항에 있어서,

상기 기재는 유연성 있는 필름인, 광 검출기 소자.

#### 청구항 11

제7항에 있어서,

상기 광 반응층이 복수인 어레이 구조를 가지는, 광 검출기 소자.

#### 청구항 12

제7항에 있어서,

상기 양쪽성 이온 화합물은 알킬 사슬을 포함하는, 광 검출기 소자.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 나노 입자를 포함하는 소재에 관한 것이며, 구체적으로 나노 복합체 및 이를 포함하는 광검출기 소자에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 2차원 소재는 층상 구조를 가지는 소재를 의미하며, 이러한 2차원 소재의 대표적인 것으로는 그래핀, 전이금속 디칼코게나이드(transition metal dichalcogenide, TMD) 등이 있다. 이러한 2차원 소재는 벌크(bulk)상태의 소재와 대비하여 물리적/화학적 특성이 바뀌는 두께를 지닌 2차원 박막을 통칭한다. 이러한 2차원 소재 중 대표적인 그래핀은 높은 전자 이동도, 탄성, 열 전도성, 및 유연성의 뛰어난 성질을 보유하고 있기 때문에, 종래의 전자 디바이스에 사용되던 소재를 대체할 수 있는 유망한 후보 소재라는 것이 다양한 연구들을 통해 확인되고 있다. 또한, 그래핀과 마찬가지로 전이금속 디칼코게나이드 중 이황화 몰리브덴( $\text{MoS}_2$ )은 황 원자 사이에 위치한 한 개의 몰리브덴 원자의 공유 결합 및 층간 반데르발스 힘에 의해 응집되어 적층된 구조 물질이고, 상기  $\text{MoS}_2$ 는 조절 가능한 밴드 갭[1.2eV(벌크)의 간접 밴드 갭으로부터 1.8eV(단층)의 직접 밴드 갭까지] 및 주변 안정성으로 인하여 그래핀과 동시에 유망한 2차원(2D) 소재로 각광받고 있다.

[0003] 상술한 장점을 갖는 2차원 그래핀이나 2차원 전이금속 디칼코게나이드는 우수한 전기적 특성 및 안정성으로 인해, 생물학적 마커(biological marker), 비선형 광학 물질, 발광 소자, 광검출기, 촉매, 화학적 센서 등에 적용될 수 있다. 하지만, 이러한 2차원 그래핀 나노시트나 2차원 전이금속 디칼코게나이드(Transition metal dichalcogenide, TMD) 나노시트는 액상 박리법(liquid-phase exfoliation)에 의하여 수득될 수 있고, 이 액상 박리법은 독성이 있고 환경적으로 유해한 용매를 주로 포함하는 공정이라는 문제점이 있다. 또한, 액상 박리법에 의해 얻어진 2차원 나노시트는 나노 입자들 간의 강한 반데르발스힘에 의해 분산성을 확보하기 어렵다는 단점도 존재한다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 나노 입자들 간의 분산성이 우수한 2차원 층상 구조를 가지는 나노시트를 포함하는 나노 복합체를 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는 벌크 상태에서부터 나노시트 형태로 그래핀 또는 전이금속 디칼코게나이드를 박리하는 액상 박리 공정 중, 독성이 있고 환경적으로 유해한 용매의 사용을 배제함으로써 생체친화적인 나노 복합체를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 또다른 기술적 과제는 본 발명을 통해 얻어진 나노 복합체를 적용하여 생체친화적인

며 광특성이 우수한 광검출기 소자를 제조하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명의 제 1 실시예에 따른 나노 복합체에서, 나노 복합체는 양쪽성 이온 화합물을 포함하는 수용액과 상기 수용액에 분산된 나노시트를 포함한다.
- [0008] 본 발명의 제 2 실시예에 따른 나노 복합체에서, 상기 양쪽성 이온 화합물이 알킬 사슬을 포함한다.
- [0009] 본 발명의 제 3 실시예에 따른 나노 복합체에서, 상기 양쪽성 이온 화합물은 술포베타인 기능기(sulfobetaine derivative)를 갖는 계면 활성제이다.
- [0010] 본 발명의 제 4 실시예에 따른 나노 복합체에서, 상기 양쪽성 이온 화합물은 sulfobetaine(SB3-8), caprylyl sulfobetaine(SB3-10), lauryl sulfobetaine(SB3-12), myristyl sulfobetaine(SB3-14), 및 palmityl sulfobetaine(SB3-16) 중 하나 이상을 포함한다.
- [0011] 본 발명의 제 5 실시예에 따른 나노 복합체에서, 상기 나노시트는 2차원 구조를 가지는 전이금속 디칼코게나이드 나노시트이다.
- [0012] 본 발명의 제 6 실시예에 따른 나노 복합체에서, 상기 양쪽성 이온 화합물은 양이온부 및 음이온부를 포함하고, 상기 양이온부 및 상기 음이온부는 상기 수용액 내 물과 결합한다.
- [0013] 본 발명의 제 7 실시예에 따른 광 검출기 소자에서, 상기 광 검출기 소자는 기재, 상기 기재 상에 배치되고 빛을 흡수하는 광 반응층, 및 상기 광 반응층과 연결되고, 광전류를 발생시키는 전극을 포함하고, 상기 광 반응층은 전이금속 디칼코게나이드 나노시트 및 양쪽성 이온 화합물을 포함한다.
- [0014] 본 발명의 제 8 실시예에 따른 광 검출기 소자에서, 상기 전극은 그래핀 나노시트 및 양쪽성 이온 화합물을 포함한다.
- [0015] 본 발명의 제 9 실시예에 따른 광 검출기 소자에서, 상기 광반응층 및 상기 전극 중 하나는 상기 기재 상에 잉크젯 인쇄된다.
- [0016] 본 발명의 제 10 실시예에 따른 광 검출기 소자에서, 상기 기재는 유연성 있는 필름이다.
- [0017] 본 발명의 제 11 실시예에 따른 광 검출기 소자에서, 상기 광 반응층이 복수인 어레이 구조를 가진다.
- [0018] 본 발명의 제 12 실시예에 따른 광 검출기 소자에서, 상기 양쪽성 이온 화합물은 알킬 사슬을 포함한다.

### 발명의 효과

- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따르면 양쪽성 이온을 포함하는 화합물을 분산제로 사용하여 2차원 나노시트를 수용액 상에 분산시켜, 상기 분산제 이외에 별도의 첨가제없이도 우수한 분산성을 확보한 나노 복합체를 제공할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면 2차원 나노시트를 수득하는 공정 중 유기 용매의 사용을 배제하고, 양쪽성 이온을 포함하는 화합물을 수용액 내 분산제로 사용하여, 친환경적이고 생체 친화적(biocompatible)인 나노 복합체를 제공할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면 생체 친화적이며, 간단한 구조만으로도 광 특성이 우수한 고성능의 광검출기 소자를 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 나노 복합체의 정성적인 분산도를 나타내는 사진이다.
- 도 2는 자외선 및 가시선 분광 분석법(UV-visible spectrophotometer)을 사용하여 측정된 파장에 따른 흡광도를 나타내는 그래프이다.
- 도 3은 800nm 파장(A-엑시톤 에너지 1.54 eV)에서, MoSe<sub>2</sub> 나노시트 함량에 따른 흡광도를 측정된 그래프이다.
- 도 4는 계면 활성제의 농도에 따른 흡광도를 나타내는 그래프이다.

도 5는 시간의 경과에 따른 흡광도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6(a)는 라만 분광기를 이용한 Raman shift-Intensity의 그래프이고, 도6(b)는 XRD를 이용한  $2\theta$ -Intensity의 그래프이다.

도 7은 수용액 내 양쪽성 이온 화합물의 농도에 따른 나노시트의제타 전위를 나타내는 그래프이다.

도 8은 나노시트들 간의 반발력의 메커니즘을 설명하는 그림이다.

도 9는 MoSe<sub>2</sub> 나노시트와 SB3-14 화합물 간의 결합을 푸리에 변환 적외선 분광기 (Fourrier-transform infrared spectroscopy, FT-IR) 및 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy)를 이용하여 측정한 결과를 나타낸다.

도 10은 계면 활성제에 대한 XPS 그래프이다.

도 11은 나노 복합체의 흡광도를 나타내는 그래프이다.

도 12는 나노시트 농도에 따른 세포 생존율을 나타내는 그래프이다.

도 13은 본 발명의 나노 복합체로부터 얻어진 잉크를 이용하여 인쇄한 이미지이다.

도 14(a) 및 도14(b)는 각각 실시예에 따른 잉크를 종이 위에 떨어뜨린 그림 및 비교예에 따른 잉크를 종이 위에 떨어뜨린 그림이다.

도 15는 광 검출기의 인가 전압에 따른 광 전류를 나타내는 그래프이다.

도 16은 굴곡 반경에 따른 광 특성을 나타내는 그래프이다.

도 17은 사람의 피부 표면 상에 광 검출기를 부착한 경우, 인가 전압에 따른 광전류를 나타내는 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.
- [0024] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.
- [0025] 도면에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다. 또한, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.
- [0026] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다. 또한, 본 명세서에서 단수로 기재되어 있다 하더라도, 문맥상 단수를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"이란 용어는 언급한 형상들, 숫자, 단계, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 다른 형상, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 그룹들의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다.
- [0027] 이하에서, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 이상적인 실시예들을 개략적으로 도시하는 단면도들을 참조하여 설명될 것이다. 이들 도면들에 있어서, 예를 들면, 부재들의 크기와 형상은 설명의 편의와 명확성을 위하여 과장될 수 있으며, 실제 구현 시, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니된다. 또한, 도면의 부재들의 참조 부호는 도면 전체에 걸쳐 동일한 부재를 지칭한다.
- [0028] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하면서 본 발명의 일 예로서 나노 복합체 및 이를 포함하는 광검출기 소자를 상세히 설명하도록 한다.

### [0030] 나노 복합체

- [0031] 본 발명의 일 측면에 따른 나노 복합체는 양쪽성 이온을 포함하는 화합물 및 상기 양쪽성 이온을 포함하는 화합물이 용해된 수용액 상에 분산된 나노시트를 포함한다. 본 발명에서 나노시트(nanosheet)란 2차원의 층상 구조

를 가지는 소재를 의미하고, 비제한적인 예로서, 그래핀 나노시트나 전이금속 디칼코게나이드 나노시트일 수 있으며, 벌크 상태인 경우와 대비하여 물리적/화학적 특성이 변하는 두께를 갖는 2차원 박막 소재를 통칭한다. 이 중, 전이금속 디칼코게나이드 나노시트는 사용되는 전구체 종류에 따라 하기 화학식 1로 표시되는 조성을 가질 수 있다.

[0032] [화학식 1]

[0033]  $MX_2$

[0034] 상기 식에서 M은 전이금속 원소로서, 예를 들어, Mo, W, Nb, V, Ta, Ti, Zr, Hf, Tc 및 Re 중 하나일 수 있고, X는 S, Se 또는 Te이다. 이러한 전이금속 디칼코게나이드 나노시트는 예를 들어,  $MoS_2$ ,  $MoSe_2$ ,  $MoTe_2$ ,  $WS_2$ ,  $WSe_2$ ,  $WTe_2$ ,  $ZrS_2$ ,  $ZrSe_2$ ,  $HfS_2$ ,  $HfSe_2$ ,  $NbSe_2$ ,  $ReSe_2$  등일 수 있으며, 바람직하게는  $MoS_2$ ,  $MoSe_2$ ,  $WS_2$  및  $WSe_2$  일 수 있다. 상술한  $MoS_2$ ,  $MoSe_2$ ,  $WS_2$  및  $WSe_2$ 는 2차원 층상 구조로 인해, 광소자 및 에너지 변환, 에너지 저장 장치의 응용에 특히 유리하다. 더욱이, 전이금속 디칼코게나이드 나노시트는 기계적으로 유연한 특성을 갖기 때문에 2차 층상 구조의 전이금속 디칼코게나이드 나노시트를 포함하는 나노 복합체를 종래의 종이나 플라스틱 상에 용이하게 프린팅 할 수 있다. 그렇기 때문에 본 발명에 따른 나노 복합체를 웨어러블 장치나 플렉시블한 특성이 요구되는 전자 부품에 유용하게 적용할 수 있다.

[0035] 한편, 이러한 2차원 층상 구조를 가지는 전이금속 디칼코게나이드 나노시트를 제조할 때, 2차원 전이금속 디칼코게나이드 나노시트 사이의 상호 관계를 제어하기 위한 분산제, 안정제 및 바인더가 필수적으로 요구되며, 이를 통해 나노시트의 충분한 박리성과 충분한 분산성을 확보할 수 있다. 다만, 이러한 분산제, 안정제 및 바인더를 용해시키는 용매는 일반적으로 독성이 있고, 환경적으로 유해한 용매이며, 그러한 용매에 따라 함께 적용될 수 있는 분산제의 종류도 매우 제한적이다.

[0036] 하지만, 본 발명에 따른 나노 복합체는 나노 복합체 내의 2차원 나노시트를 안정적으로 박리시키고 분산시키기 위해 유해한 용매의 사용을 배제하고 간단하고 친환경적인 용매를 사용하여 액상 박리 및 분산을 진행시킬 수 있다. 구체적으로 살펴보면, 본 발명에 따른 나노 복합체는 나노시트를 분산시키는 용매로서, 양이온과 음이온을 모두 포함하며 알짜 전하(net charge)의 값이 0인 양쪽성 이온을 포함하는 화합물이 용해된 수용액을 사용한다. 상기 양쪽성 이온을 포함하는 화합물은 수용액 상에서 용해도가 우수하며, 생체친화적인 특성을 갖는다. 상기 양쪽성 이온을 포함하는 화합물은 각 화합물에 하나 이상의 음이온과 양이온을 포함하는 화합물을 의미하고, 단량체, 다이머나 트라이머와 같은 올리고머, 고분자 화합물일 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니다. 비제한적인 예로서, 양쪽성 이온을 포함하는 화합물은 그 화합물의 분자체의 길이가 나노시트의 외경보다 짧아서 분자체가 나노시트를 둘러쌀지 못하고, 분산된 상태에서 입자의 중심에서 외부로 뻗어가는 형태로 결합되어, 나노시트의 가장 바깥쪽 표면에 양쪽성 이온이 분포되도록 할 수 있다. 보다 구체적으로 살펴보면, 본 발명의 나노 복합체에서 2차원 나노시트의 표면에 양쪽성 이온을 포함하는 화합물에 형성된 알킬 사슬(alkyl chain)이 부착하여 수용액 내에서 2차원 나노시트의 분산성이 확보될 수 있도록 하는 것이다. 이처럼 2차원 나노시트의 분산성이 수용액 내 알킬 사슬에 의해 확보되기 때문에, 2차원 나노 시트의 분산성은 수용액 내 알킬기의 수에 의해 제어될 수 있고, 알킬기를 충분히 갖는 양쪽성 이온 화합물을 사용하면, 더 다양한 종류의 2차원 나노시트를 분산시킬 수 있다.

[0038] 이하에서는 양쪽성 이온을 포함하는 화합물이 용해된 수용액 상에 벌크 2차원 나노시트를 박리하는 공정을 설명하며, 본 발명이 이에 한정되는 것이 아님은 물론이다.

[0039] 먼저, 술포베테인 기능기(sulfobetaine derivative)를 갖는 다양한 종류의 양쪽성 이온 화합물을 준비하여 이를 수용액 상에 용해시킨다. 상기 다양한 종류의 양쪽성 이온 화합물은 서로 상이한 수의 알킬 사슬을 포함하고, 비제한적인 예로서, 상기 다양한 종류의 양쪽성 이온 화합물은 계면 활성제로 활용되는 sulfobetaine(SB3-8), caprylyl sulfobetaine(SB3-10), lauryl sulfobetaine(SB3-12), myristyl sulfobetaine(SB3-14), 또는 palmityl sulfobetaine(SB3-16)일 수 있다.

[0040] 다음,  $MoS_2$ ,  $WS_2$ ,  $MoSe_2$ , 및  $WSe_2$ 의 전이금속 디칼코게나이드 벌크 입자를 상기 양쪽성 이온 화합물이 용해된 수용액 상에 추가하고, 연이어 초음파를 이용하여 분산시키면, 양쪽성 이온의 양 극성이 활성화되고 긴 알킬 사슬이 형성되면서 전이금속 디칼코게나이드 층들의 강력한 반데르발스 힘이 완화되고 벌크 상태의 전이금속 디칼코게나이드가 수용액 내에서 2차원 구조의 나노시트 형태로 박리되어 분산된다. 도 1은 상술한 양쪽성 이온 화합



물의 종류에 따른 수용액 내 디칼코제나이드 나노시트의 분산 정도를 정성적으로 나타내는 그림이고, 도 1을 참고할 때, 양쪽성 이온을 포함하는 화합물의 알킬 사슬 수가 증가할수록 MoSe<sub>2</sub>나노 시트의 박리 및 분산 정도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0041] 양쪽성 이온을 포함하는 화합물의 종류에 따른 나노시트의 분산정도를 보다 구체적으로 살펴보기 위하여 도 2를 참고한다. 도 2는 자외선 및 가시선 분광 분석법(UV-visible spectrophotometer)을 사용한 광특성을 통해 양쪽성 이온 화합물의 종류에 따른 MoSe<sub>2</sub> 나노시트의 분산 정도를 나타내고, SB3-8, SB3-10, SB3-12, SB3-14 및 SB3-16 의 계면 활성제를 양쪽성 이온 화합물로 선정하였다. 도 2를 참고하면, 양쪽성 이온 화합물의 알킬 사슬의 수가 증가될수록 나노시트의 분산정도가 증가하는 경향성이 확인된다.

[0042] 보다 구체적으로, 도 3은 800nm 파장(A-엑시톤 에너지 1.54 eV)에서, MoSe<sub>2</sub> 나노시트 함량에 따른 흡광도를 측정한 그래프이고, 도 3을 통해, 양쪽성 이온 화합물의 종류에 따른 MoSe<sub>2</sub> 나노 시트의 분산 정도를 더욱 명확하게 확인할 수 있다. 도 3을 참고할 때, 양쪽성 이온 화합물을 포함하지 않는 수용액의 경우(N.W), MoSe<sub>2</sub> 나노시트를 포함하는 용액은 가장 낮은 수준의 흡광도를 나타내고, 음파기에 의해 박리된 나노 시트가 이온화되지 않은 수용액 상에서는 거의 분산되지 않는다는 것을 의미한다. 이와 관련하여, 양쪽성 이온 화합물을 포함하지 않아, 이온화되지 않은 수용액 내에서 MoSe<sub>2</sub> 나노시트는 고유의 소수성(hydrophobicity)에 의해 수용액 내에서 분산되지 않고 어그리게이션(aggregation)된 상태로 존재하는 것이다. 반면, 양쪽성 이온 화합물을 포함하는 수용액의 경우, SB3-8, SB3-10, SB3-12, SB3-14의 순서로 흡광도가 증가하고, 이로부터 동일한 농도의 양쪽성 이온 화합물을 함유하는 수용액의 경우, 양쪽성 이온의 알킬 사슬 수가 증가할수록 그 흡광도도 증가한다는 것을 예상할 수 있다. 도 3을 참고하면, 양쪽성 이온 화합물 중 myristyl sulfobetaine(SB3-14) 또는 palmityl sulfobetaine(SB3-16)의 계면 활성제를 포함하는 수용액 내 나노시트의 분산력이 특히 우수한 것을 알 수 있다. 한편, SB3-14와 SB3-16의 양쪽성 이온 화합물을 대비할 때, SB3-16 계면 활성제는 SB3-14 계면 활성제보다 알킬 사슬이 더 많음에도 나노시트의 분산성은 SB3-14 계면 활성제를 함유하는 수용액에서 더 우수한 것과 관련하여, 본 발명자는 SB3-16 계면 활성제의 분자 크기가 SB3-14 계면 활성제의 분자 크기보다 더 크기 때문에, 유효 표면 음전하의 저하가 발생하기 때문인 것으로 예상한다.

[0044] 따라서, 이하에서는 양쪽성 이온 화합물 중 수용액 내에서 나노시트의 분산성을 개선하는데 특히 유용한 것으로 예상되는 myristyl sulfobetaine (SB3-14) 계면 활성제를 함유하는 수용액을 중심으로 본 발명을 보다 구체화하고자 한다. 그럼에도, 본 발명의 나노 복합체가 양쪽성 이온 화합물로서 SB3-14 계면 활성제만을 함유하는 것은 아닌 점을 명확히 한다.

[0045] 도 4는 양쪽성 이온 화합물(myristyl sulfobetaine, SB3-14)을 함유하는 수용액, 트리톤™ X-100 (TX-100)을 함유하는 수용액 및 도데실 황산 나트륨(Sodium Dodecyl sulfate, SDS)를 함유하는 수용액과 관련하여, 그 계면 활성제의 농도에 따른 흡광도를 나타내는 그래프이다. 도 4를 참고하면, 상기 SB3-14의 양쪽성 이온 화합물 함유 수용액 내에서 MoSe<sub>2</sub> 나노 시트의 분산성은 SB3-14 대신 SDS 또는 트리톤™ X-100을 계면활성제로 사용한 수용액 내 MoSe<sub>2</sub> 나노 시트의 분산성과 대비하여 개선된 것이 명확하다. 또한, SB3-14 함유 수용액 내 나노 시트의 분산성이 0.3 mg/mL농도의 계면 활성제의 조건에서 포화되는 것으로부터, 본 발명의 양쪽성 이온 화합물 함유 수용액 내 전이금속 칼코제나이드 나노 시트는 낮은 농도의 양쪽성 이온 화합물을 함유하는 것만으로도 달성될 수 있다는 것이 확인된다. 반면, SDS 나 트리톤™ X-100을 동일한 수준의 농도인 0.3mg/mL 농도로 함유하는 수용액의 경우, 나노시트가 거의 분산되지 않은 상태인 것을 알 수 있다.

[0046]

[0047] 또한, 도 5는 시간 경과에 따른 흡광도의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 5를 참고할 때, 양쪽성 이온 함유 수용액 내 전이금속 디칼코제나이드 나노 입자의 분산성은 시간이 지남에 따라 그 분산성이 저하되지 않고 유지되기 때문에 분산 안정성이 높다고 할 수 있다. 반면, 양쪽성 이온 화합물을 함유하지 않은 수용액(N.W)의 경우, 6주의 기간이 경과함에 따라 MoSe<sub>2</sub> 나노시트의 분산성은 급격하게 저하되는 것을 알 수 있다. 이와 같이, 양쪽성 이온 화합물(SB3-14)이 용해된 수용액 내의 MoSe<sub>2</sub> 나노시트는 시간이 경과하여도 분산성의 거의 90% 수준으로 유지되는 반면, 어떠한 계면 활성제도 함유하지 않은 수용액 내의 MoSe<sub>2</sub> 나노시트는 시간이 경과할 때 분산



성이 거의 유지되지 않아 분산 안정성이 확보되지 않는다.

- [0049] 이하에서는 양쪽성 이온 함유 수용액 내 2차원 구조의 전이금속 디칼코게나이드 나노시트가 분산되는 분산 메커니즘을 보다 상세히 설명한다. 비제한적인 예로서,  $\text{MoSe}_2$  나노 시트를 포함하는 수용액을 설명하지만, 2차원 구조의 전이금속 디칼코게나이드 나노시트가 이에 한정되는 것은 아니며, 2차원 층상 구조의 그래핀도 제한없이 적용될 수 있다.
- [0050] 도6(a)에 도시된 라만 분광기(Raman spectroscopy)를 이용한 그래프와 도6(b)에 도시된 XRD (X-ray diffraction)를 이용한 그래프를 통해 양쪽성 이온 함유 수용액 내에서  $\text{MoSe}_2$  나노시트의 박리 및 분산 상태는 확인할 수 있다. 그 측정을 위해 준비된 시료는 수분을 완전하게 제거한 후 기재(substrate) 상에 준비되고, SB3-14 계면 활성제를 양쪽성 이온 함유 화합물로서 수용액 내에 용해시킨다. 도6(a)를 참고할 때, 수용액 내 분산된  $\text{MoSe}_2$  나노시트의 피크( $A_{1g}$ )는 벌크 상태의  $\text{MoSe}_2$ 의  $243\text{cm}^{-1}$  값으로부터  $242.1\text{cm}^{-1}$  값으로 시프트(downshift)된다. 이러한 결과로부터, 벌크 상태의  $\text{MoSe}_2$ 가 복수의 층으로 구성되는  $\text{MoSe}_2$  나노시트 상태로 박리된 것을 알 수 있다. 또한, 본 발명의 일 예에 따른 나노 복합체로서 SB3-14의 양쪽성 이온 화합물을 수용액 내에 분산한  $\text{MoSe}_2$  나노시트를 포함하는 나노 복합체에서만,  $286\text{cm}^{-1}$  값에서 피크값을 갖는 것이 관찰된다. 이러한 결과를 통해서도 벌크 상태의  $\text{MoSe}_2$ 가  $\text{MoSe}_2$  나노시트 상태로 안정적으로 박리된 것을 알 수 있다. 라만 분광기를 이용한 그래프의 도6(a)와 마찬가지로, XRD를 이용한 그래프의 도6(b)를 통해서도 본 발명의 나노 복합체 내에서  $\text{MoSe}_2$  나노시트가 안정적으로 분산된 것을 보다 명확하게 관찰할 수 있다.
- [0052] 다음, 도 7은 수용액 내 양쪽성 이온 화합물(SB3-14)의 농도에 따른  $\text{MoSe}_2$  나노시트의 제타 전위(zeta potential)를 나타낸다. 이 경우, 양쪽성 이온 화합물로서 SB3-14 계면 활성제를 사용하였으나, 양쪽성 이온을 포함하는 화합물인 경우, 나노 복합체에 제한없이 적용할 수 있다. 도 7을 참고하면, 나노시트들 사이의 반발력을 의미하는 제타 전위값이 SB3-14인 양쪽성 이온 화합물의 수용액 내 농도에 따라 증가한다. 본 발명의 나노 복합체 내 나노시트의 분산 메커니즘을 보다 자세히 살펴보기 위하여, 본 발명자는 도 4의 그래프 중 SB3-14 계면 활성제 함유 수용액에 관한 결과를 도 7에 표시하였다. 도 4의 그래프는 SB3-14 계면 활성제의 농도 증가에 따라 분산성(흡광도)이 증가하는 것을 나타낸다. 도 7에서 도 4의 결과는 파란색으로 표시한다. 도 7을 참고하면, SB3-14 농도에 따른 나노시트의 분산성을 나타내는 파란색 선의 증가 경향성과 SB3-14 농도에 따른 제타 전위를 나타내는 검정 선의 증가 경향선이 일치한다는 것을 알 수 있다. 이로부터, 나노시트들 간의 증가된 반발력으로 인해 우수한 박리성이 확보될 수 있다는 결과를 도출할 수 있다.
- [0053] 도 8은 나노시트들 간의 반발력의 메커니즘을 설명하는 그림이다. 도 8을 참고하면, 나노시트들 간의 상기 반발력은 SB3-14로 대표되는 양쪽성 이온 함유 화합물의 끝단에 포함되고, 음이온 특성을 가지는 설포닉산(sulfonic acid)으로부터 구현된다. 한편, 양쪽성 이온 화합물의 알킬 사슬은 소수성이기 때문에, 마찬가지로 소수성을 띄는  $\text{MoSe}_2$  나노시트의 표면 상에 안정적으로 흡착된 것으로 예상된다. 이와 같이, 계면 활성제 내 음이온 간의 반발력은  $\text{MoSe}_2$  나노시트 표면에서 발생하고, 이 반발력은 복수의  $\text{MoSe}_2$  나노시트들 간의 강한 반데르발스 힘을 약화시키고, 그 결과 나노시트의 분산성이 충분히 확보될 수 있다. 또한, 나노 복합체 내 나노시트와 양쪽성 이온 화합물 사이에서는 반데르발스 힘이 존재하고, 나노시트와 양쪽성 이온 화합물 간의 상기 반데르발스 힘은 상기 양쪽성 이온 화합물의 알킬 사슬 길이가 증가할수록 증가하는 경향이 확인된다. 이러한 경향은 알킬 사슬의 길이가 증가할수록  $\text{MoSe}_2$  나노시트 상 양쪽성 이온 화합물의 흡착 강도가 증가하기 때문이고, 그 결과, 양쪽성 이온 화합물의 알킬 사슬의 길이가 증가할수록 나노 복합체 내 나노시트 분산성이 증가한다고 볼 수 있다.
- [0055] 도 9는  $\text{MoSe}_2$  나노시트와 SB3-14 화합물 간의 결합을 푸리에 변환 적외선 분광기 (Fourrier-transform infrared spectroscopy, FT-IR) 및 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy)를 이용하여 측정한 결과를 나타낸다. 도 9를 참고하면,  $1030\text{cm}^{-1}$  파장에서 관찰되는 흡광도 피크는 술포산기(sulfonate group) 내 대칭 구조의  $\text{S}=\text{O}$ 에 대응되고,  $943\text{cm}^{-1}$  파장에서 관찰되는 작은 정도의 피크는 4차 아민기의  $\text{C}-\text{N}^+$  이온으로부터 유래된 것을

알 수 있다. 한편, 도 8을 참고하면, 양쪽성 이온 화합물(SB3-14)에서 관찰되는 다수의 피크는 양쪽성 이온 화합물(SB3-14)을 함유하는 수용액 내 나노 시트( $\text{MoSe}_2$ )를 포함하는 나노 복합체에서 관찰되는 다수의 피크와 대비하여 거의 변화가 없다. 이로부터, 본 발명에 따른 나노 복합체 내 나노시트는 양쪽성 이온 화합물이 용해된 수용액 상에 분산되어도, 나노시트와 양쪽성 이온 화합물 간 특정 분자 결합이 새롭게 형성되는 것은 아닌 점을 확인할 수 있다. 그 결과, 요구되는 성능을 구현할 수 있는 나노시트 고유의 전기적 특성에 영향을 끼치지 않고 나노시트 간의 우수한 분산성을 확보할 수 있게 된다.

[0056]

[0057] 다음, 도 10은 본 발명에 따른 나노 복합체, 벌크 상태의  $\text{MoSe}_2$ , 및 SB3-14 계면 활성제에 대한 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) 그래프이며, X선 흡수에 따른 원자 내각 전자의 결합 에너지에 대한 발광 강도(intensity)를 측정한 것이다. 도 10을 참고하면, 질소의 1s 피크가 거의 변화하지 않은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 SB3-14 계면 활성제의 양이온 및 음이온이 모두  $\text{MoSe}_2$  나노시트와 접촉하지 않은 것을 보여준다. 이로부터 SB3-14 계면 활성제의 소수성의 알킬기는 소수성 표면을 갖는  $\text{MoSe}_2$  나노시트 상에 기계적으로 흡착되고, 양이온 특성과 음이온 특성을 각각 나타내는 4차 아민기와 술폰산기는 나노 복합체의 물분자와 결합된 것을 알 수 있다. 다시 말해, SB3-14 양쪽성 이온 화합물을 통한  $\text{MoSe}_2$  나노 시트의 수용액 내 분산은 상기 SB3-14의 알킬 체인이 상기 나노시트에 결합하고 상기 SB3-14의 양이온과 음이온이 물과 반응함으로써 구현된 것을 알 수 있다. 이러한 분산 메커니즘을 통해,  $\text{MoSe}_2$  나노시트 이외의 다른 종류의 전이금속 디칼코게나이드 나노시트, 예를 들어,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$  및  $\text{WSe}_2$  나노시트도 양쪽성 이온을 갖는 화합물이 용해된 수용액 내에서 소수성의 표면 특성을 가지는 전이금속 디칼코게나이드 나노시트가 우수한 분산성을 갖는 것을 알 수 있다.

[0059] 따라서, 이하에서는 전이금속 디칼코게나이드 나노시트를  $\text{MoSe}_2$  나노시트에 제한하지 않고, 본 발명에 따른 나노 복합체에 함유될 수 있는  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$  및  $\text{WSe}_2$  나노시트들의 나노 복합체 내 분산성 등을 보다 자세히 설명한다.

[0061] 도 11은 SB3-14 계면 활성제와 다양한 전이금속 디칼코게나이드 나노시트를 포함하는 나노 복합체의 흡광도를 나타내는 그래프이다.  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$ , 및  $\text{WSe}_2$  나노시트 각각에 대하여 670nm, 630nm, 757nm 파장의 흡수밴드에 대응하는 흡광도 피크를 확인할 수 있다. 이러한 결과로부터, 나노시트가 수용액 내에서도 우수한 박리성과 분산성을 가지는 것을 알 수 있다.

[0063] 또한, 본 발명에 따른 나노 복합체는 유해한 용매의 사용을 배제하기 때문에 생체 친화적인 특성을 가질 수 있다. 이러한 생체 친화적인 특성은 양쪽성 이온을 포함하는 수용액 상에 전이금속 나노시트가 분산된 나노 복합체를 피부에 패치화(patchable)한 전자 소자를 구현할 수 있는 것을 의미한다. 본 발명에 따른 나노 복합체의 생체 친화적인 특성을 확인하기 위해, 2차원 나노시트의 종류를 변경하면서 나노 복합체를 HeLa 세포를 노출시키고, 세포 생존율(cell viability)을 측정해보았으며, 그 결과는 용액 내 나노 시트의 농도와 세포 생존율 간의 관계를 나타내는 그래프의 도 12를 통해 확인된다. 도 12를 참고하면, 나노 복합체 내 나노시트 함량이 증가할수록 세포 생존율이 감소되는 경향을 확인할 수 있다. 또한,  $\text{MoSe}_2$  나노시트와 그래핀(Gr) 나노시트의 경우를 제외하고, 전체적인 세포 생존율은 나노 시트의 농도가  $120\mu\text{g/mL}$  수준으로 상당히 증가하여도 70% 수준을 유지한다. 도 11의 이러한 결과로부터 본 발명에 따른 나노 복합체는 종래 독성이 있는 용매의 사용을 배제하고, 수용액을 용매로 활용하기 때문에, 생체 친화적인 응용이 가능한 소재인 것을 알 수 있다.

[0065] 다음, 본 발명에 따른 나노 복합체는 비제한적인 예로서, 잉크젯 프린팅용 잉크로 사용될 수 있고, 이하에서는 본 발명의 나노 복합체를 적용한 잉크젯 프린팅용 잉크를 설명한다.

[0066] 본 발명자는 나노 복합체를 포함하는 잉크젯 프린팅용 잉크의 우수한 인쇄성능을 확인하기 위하여 다양한 종류의 전이금속 디칼코게나이드 나노시트를 이용하여 다양한 종류의 잉크를 제조하였다. 구체적으로, 본 발명에 따른 나노 복합체의 용매를 제거하는 공정을 통해 초고농도의 나노시트 농도를 포함하는 잉크를 제조하였다.

이와 관련하여, 나노 복합체의 용매를 제거하는 공정은 비제한적인 예로 원심분리 공정을 적용할 수 있고, 이러한 원심분리 공정의 결과, 나노 복합체로부터 나노시트와 양쪽성 이온 화합물을 포함하는 잉크가 얻어진다.

[0067] 동시에, 전이금속 디칼코게나이드 나노시트 이외에 다층 구조의 그래핀을 함유하는 나노 복합체도 원심 분리를 통해 용매를 제거하고 고농도의 그래핀 잉크를 준비한다. 그래핀 나노시트를 포함하는 나노 복합체도 상술한 바와 같이, SB3-14 계면활성제를 활용하여 수용액 내에서 층상 구조의 그래핀이 우수한 분산성을 가지도록 한 것이다. 이러한 그래핀 잉크는, 후술할 본 발명의 다른 일 예에 따른 광검출기 소자에 포함되는 전극을 인쇄하기 위한 것이다.

[0068]

[0069] 상술한 방법을 통해 얻어진 전이금속 디칼코게나이드(Transition metal dichalcogenide, TMD) 잉크 및 그래핀 잉크는 기재(substrate) 상에 고해상도의 이미지가 인쇄되도록 한다. 상기 기재는 비제한적인 예로서, 금속 구리판, PET(polyethylene terephthalate), 아크릴 테이프 또는 종이일 수 있다. 보다 구체적인 예로서, 도 13은 MoSe<sub>2</sub> 나노시트를 포함하는 잉크를 사용하여 잉크젯 프린팅한 이미지이고, 도 13을 참고할 때, 본 발명의 잉크를 사용하여 A4용지의 크기로도 고해상도의 잉크젯 프린팅이 가능하다. 이처럼, 본 발명의 나노 복합체로부터 얻어진 잉크는 상용화에 유리한 A4 용지 사이즈에서도 고해상도 이미지 인쇄를 가능하게 하는 것을 알 수 있다.

[0070] 또한, 본 발명의 잉크를 종래 잉크젯 프린트에 적용할 수 있기 위해서는 노즐을 통해 분사되는 잉크젯 프린팅용 잉크가 종래 노즐을 통해 분사될 수 있는 특성을 갖추는 것은 중요하다. 이러한 분사 특성을 갖추기 위해서는 잉크젯 인쇄용 잉크의 점도 및 표면 장력을 제어하는 것이 중요하다. 본 발명에 따른 나노 복합체 내 양쪽성 이온 화합물은 잉크 내 점도 및 표면 장력의 조절제로 사용될 수 있기 때문에, 고해상도 인쇄 성능을 가지는 잉크젯 프린팅용 잉크를 얻을 수 있다. 만약, 잉크젯 프린팅용 잉크가 적합한 점도 특성이나 표면 장력 특성을 갖지 못하는 경우, 기관 젖음성(wettability)이나, 기존 노즐로부터 잉크가 잘 분산되지 않는 문제가 발생할 수 있다. 비제한적인 예로서, 도 14(a)는 나노 복합체 내 SB3-14의 양쪽성 이온의 농도를 0.5mg/mL로 하는 경우의 잉크젯 프린팅용 잉크(실시에 1)를 A4 용지 위에 떨어뜨린 경우 이미지이다. 도 14(b)를 참고할 때, 본 발명에 따른 나노 복합체를 이용해 잉크젯 프린팅용 잉크를 제조하면, 기관 젖음성과 공기 노즐로부터 잉크가 분산되는 특성이 우수한 것을 알 수 있다. 이와 달리, 도 14(b)는 실시에 1과 대비하여 SB3-14 양쪽성 이온을 함유하지 않는 경우의 잉크젯 프린팅용 잉크(비교예 1)를 A4 용지 위에 떨어뜨린 경우의 이미지이다. 도 14(b)를 참고할 때, SB3-14 계면 활성제를 함유하지 않는 잉크젯 프린팅용 잉크는 기관 젖음성의 문제가 심각한 것을 알 수 있다.

[0072] 다음, 상술한 나노 복합체를 이용하여 제조한 잉크를 포함하는 일 응용예로서 광검출기 소자를 설명한다.

[0074] 광 검출기 소자

[0075] 광 검출기는 광 에너지를 검출하여 전기적 신호로 바꿀 수 있는 소자이고, 카메라, 자동차 어플리케이션, 감지, 통신, 의료 장치, 보안 등에 폭넓게 적용될 수 있는 소자이다.

[0076] 본 발명에 따른 광 검출기는 간단한 잉크젯 프린팅 방식을 사용하여 제조될 수 있을 뿐만 아니라, 우수한 광 특성을 발현할 수도 있다. 본 발명에 따른 광 검출기 소자는 SB3-14로 예시되는 양쪽성 이온 화합물을 포함하는 나노 복합체로부터 원심 분리를 통해 얻어진 잉크를 통해 제조될 수 있다. 본 발명의 나노 복합체로부터 얻어지는 잉크에 관한 구체적인 설명은 상술한 내용과 중복되기 때문에, 잉크에 대한 구체적인 설명은 생략한다.

[0078] 본 발명에 따른 광 검출기는 전극 및 상기 전극과 연결되는 광 반응층을 포함하고, 상기 전극은 그래핀 함유 잉크를 통해 형성될 수 있고, 상기 광 반응층은 TMD 나노시트 함유 잉크를 통해 형성될 수 있으나, 당업자가 제조 조건 및 요구되는 특성을 고려하여 적절한 소재를 선택할 수 있다. 상기 광 검출기는 단일 소자에 제한될 뿐만 아니라, 어레이 구조(array structure)로 구성될 수도 있다. 상기 광 검출기를 제조하는 비제한적인 일 방법을 설명하면, MoSe<sub>2</sub> 나노시트를 함유하는 잉크를 이용하여, 소정의 두께를 가지는 광 반응층을 잉크젯 인쇄한다. 이어서, 상기 광 반응층과 연결되며 서로 이격되고 상이한 극성을 인가할 수 있는 전극을 잉크젯 인쇄하여, 광

검출기를 제조한다. 광 반응층 및 이와 연결되는 전극을 제조하는 상기 공정을 복수 회 반복하여 어레이 구조를 가지는 광 검출기를 제조할 수도 있다.

[0080] 도 15는 인가 전압에 따른 광전류(photocurrent)를 나타내는 그래프이고, 잉크젯 인쇄된 광 검출기의 광전류는 1064 nm 파장을 갖는 근적외선 레이저에  $\text{MoSe}_2$  광반응층을 노출시킴으로써 측정될 수 있다. 도 15를 참고하면, 광 검출기가 근적외선 레이저에 노출될 때 광검출기의 광전류는 OFF 상태에서부터 신속하게 증가되고 포화된다. 또한, 포화 상태 전류는 레이저 파워에 따라 증가되고, 에너지 밀도  $238 \text{ mW/cm}^2$  및 전압 5V 의 조건에서 최대값을 갖는 광전류가 측정된다.

[0082] 아울러, 본 발명에 따른 광 검출기는 우수한 광성능 특성을 구현하고, 기계적으로 유연성 특성을 구현할 수 있다. 이는, 본 발명에 따른 광 검출기가 2차원 나노시트를 포함하는 잉크를 유연한 기재 상에 잉크젯 인쇄하여 형성될 수가 있기 때문이다. 상기 광 검출기는 상기 잉크를 플렉서블한 기재 상에 인쇄하는 경우, 특히 기계적으로 유용할 수 있다. 예를 들어, 도 16는 굴곡 반경(bending radius)을 증가시키면서 광 검출기를 벤딩(bending)할 경우 광 특성을 나타낸다. 도 16을 참고하면, 광 검출기를 대략 0.5 mm 수준의 굴곡 반경을 갖도록 굽히더라도, 광 검출기의 전류에 대한 on/off 비(ratio)의 저하가 발생하지 않는다. 이로부터, 본 발명에 따른 광 검출기를 웨어러블 기기나 폴딩될 수 있는 플렉시블 특성의 전자 소자에 적용할 수 있게 된다.

[0084] 한편, 상기 광검출기를 잉크젯 인쇄하기 위한 기재는 종이 뿐만 아니라 다양한 기재일 수 있고, 비제한적인 예로서, 플라스틱, PET 필름이나 여과지일 수 있다. 이와 관련하여, 도 17은 사람의 피부 표면 상에 본 발명에 따른 광검출기를 부착한 경우, 인가 전압에 따른 광전류를 나타내는 그래프이다. 도 17을 참고하면, 광검출기는 아크릴 테이프(acryl tape) 기재 상에 SB3-14 양쪽성 이온 화합물 및  $\text{MoSe}_2$  나노시트를 포함하는 잉크를 잉크젯 프린팅하여 형성한다. 도 17을 참고하면 광검출기는 도 15와 마찬가지로, 전압 인가와 함께 신속하게 광전류 포화 상태에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과로부터, 사람의 피부 상에 본 발명에 따른 광 검출기를 패치화하는 경우에도, 광성능의 저하가 우려되지 않는 것을 알 수 있다.

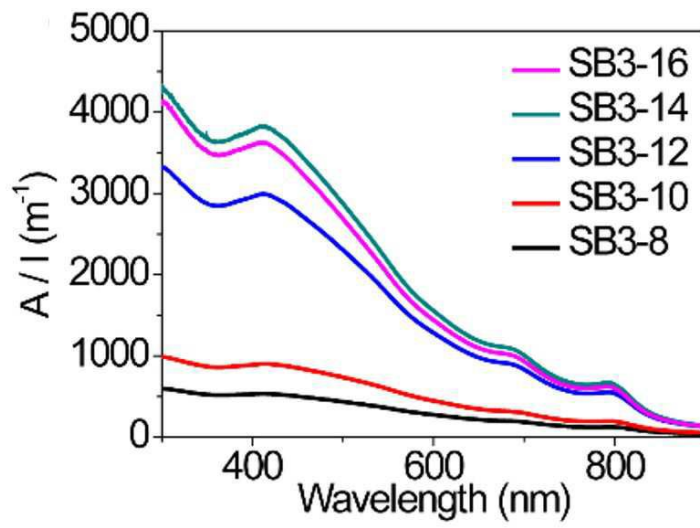
[0086] 이상에서 설명한 본 발명이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능한 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백하다.

## 도면

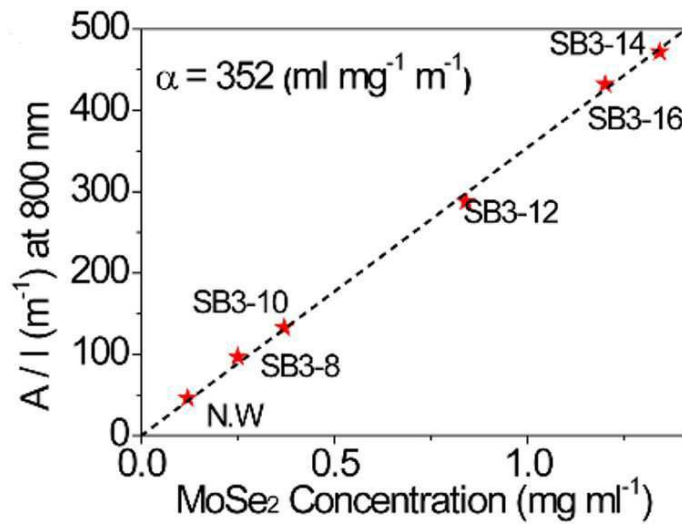
### 도면1



도면2

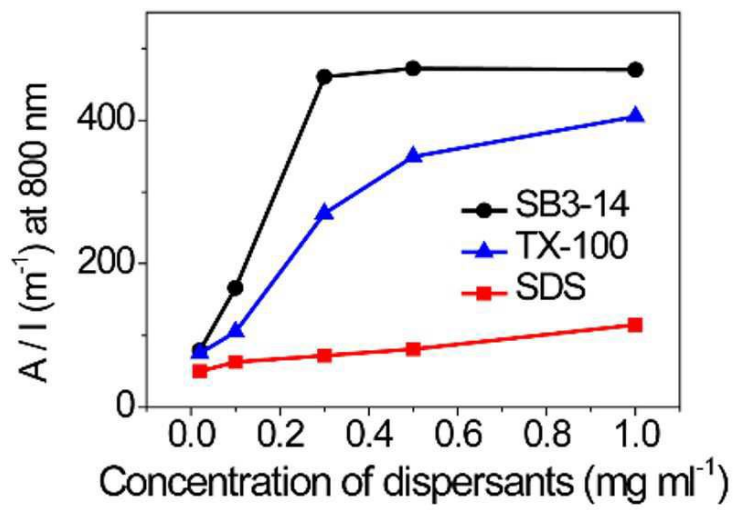


도면3

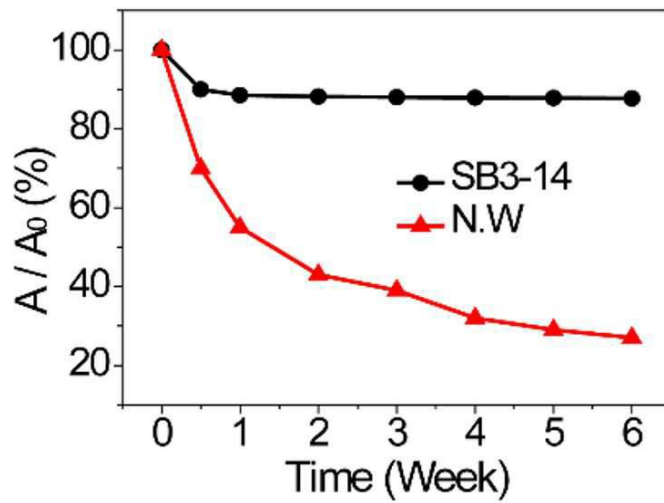




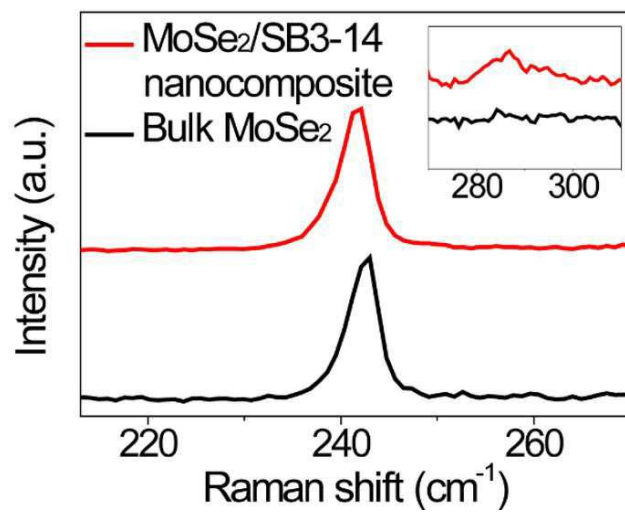
도면4



도면5

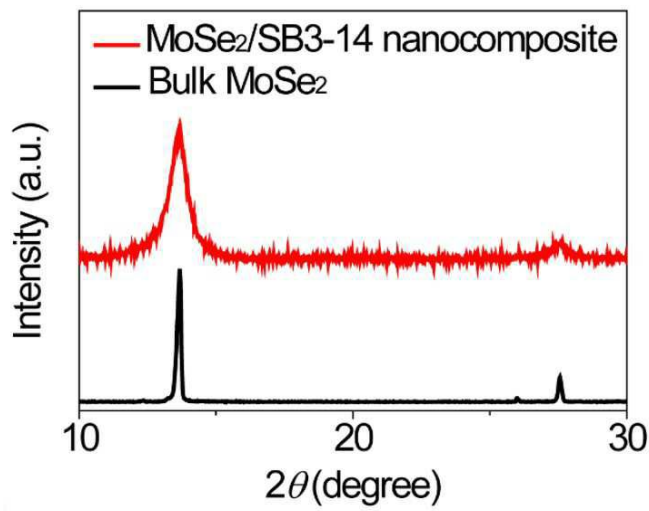


도면6a

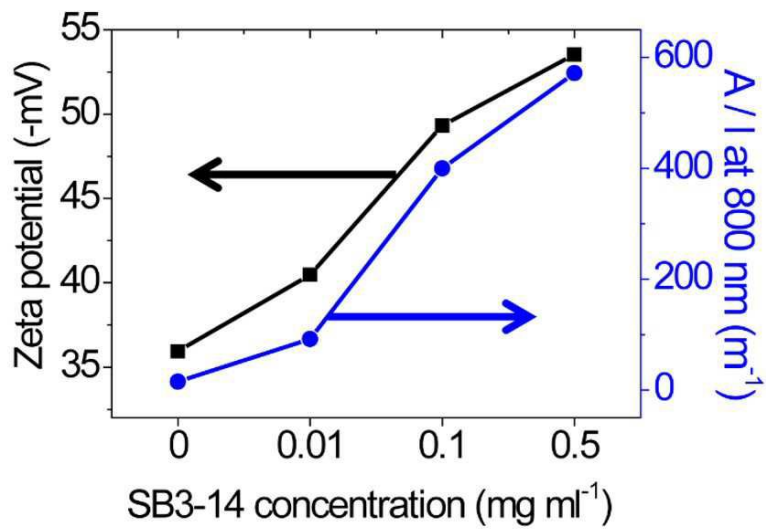




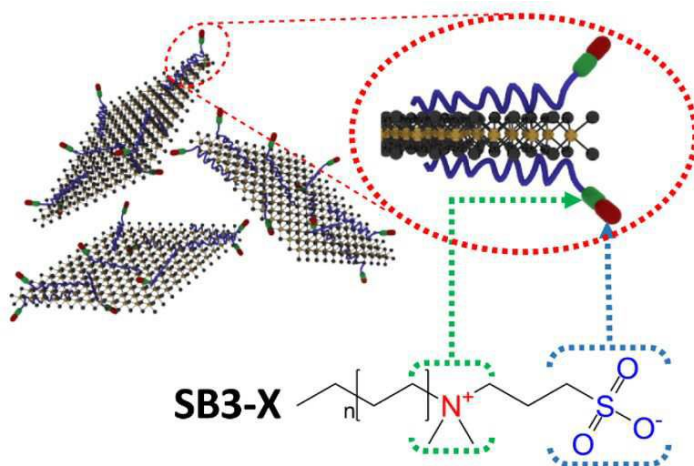
도면6b



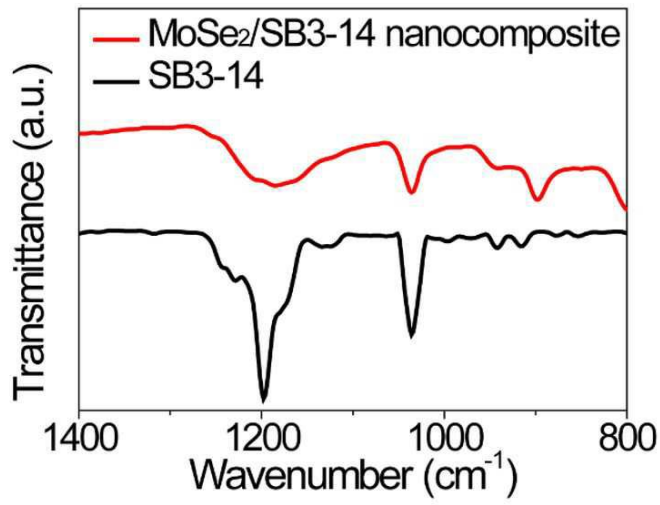
도면7



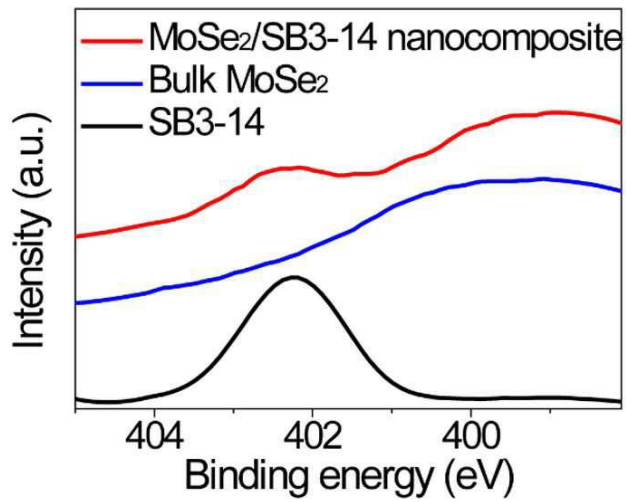
도면8



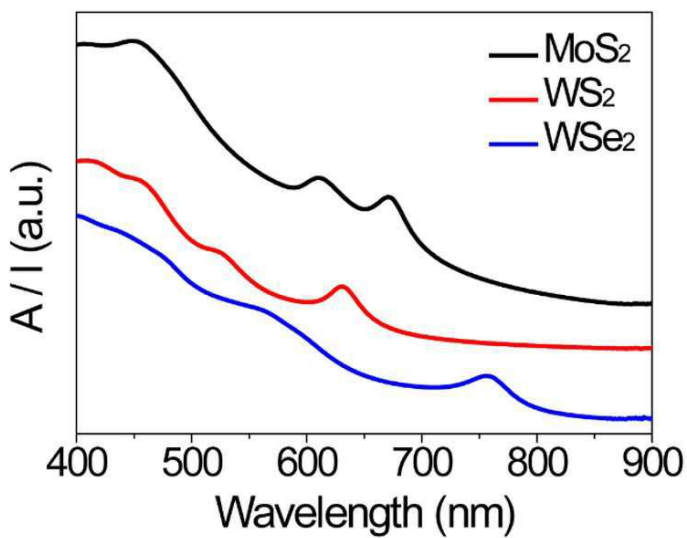
도면9



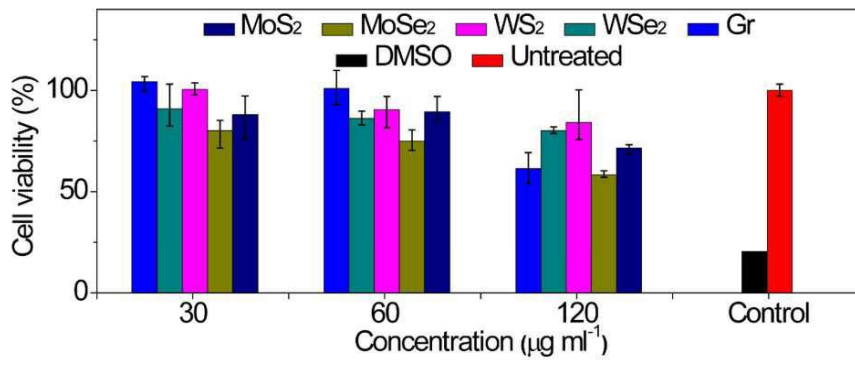
도면10



도면11



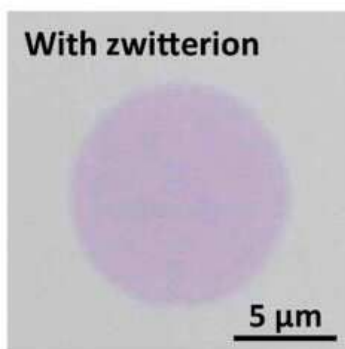
도면12



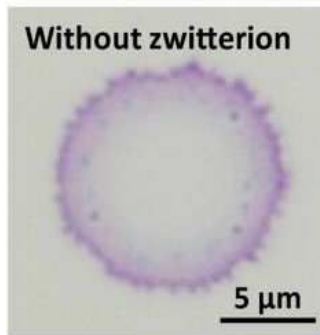
도면13



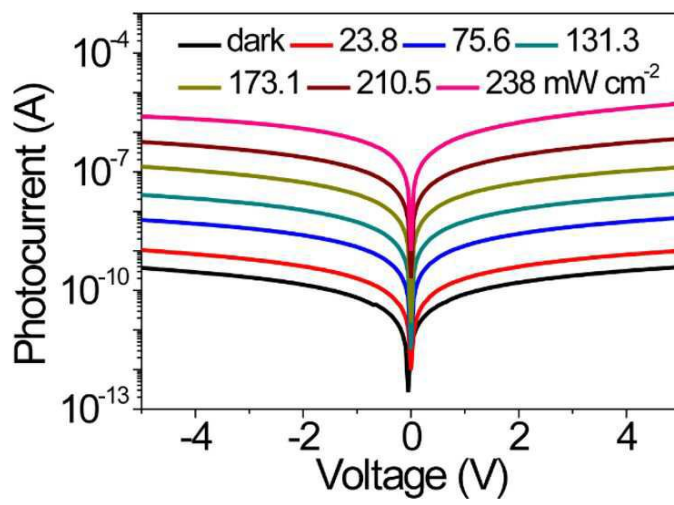
도면14a



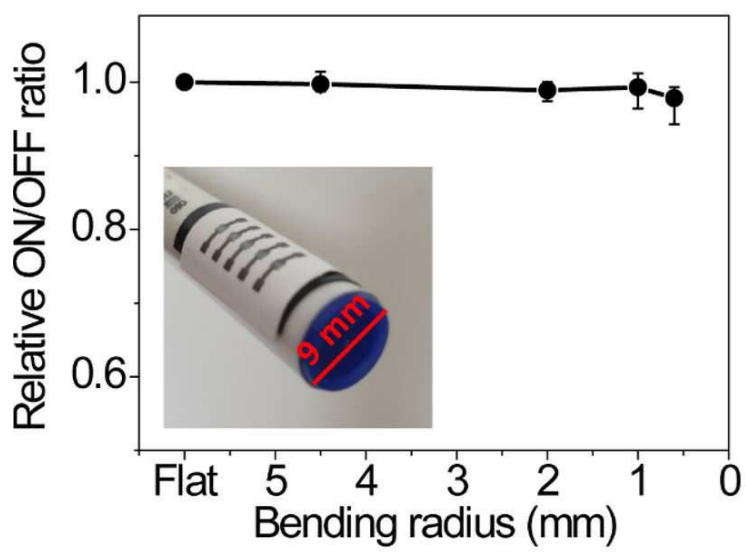
도면14b



도면15



도면16



도면17

