(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0037702
(43) 공개일자 2014년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01L 29/786* (2006.01) *H01L 31/09* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0104186
(22) 출원일자 2012년09월19일
심사청구일자 2012년09월19일

(71) 출원인
**경희대학교 산학협력단**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
**전자부품연구원**
경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)
(72) 발명자
**김선국**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732
**김영훈**
경기 성남시 분당구 정자일로 72, 306동 1404호 (금곡동, 청솔마을한라아파트)
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**특허법인 대아**

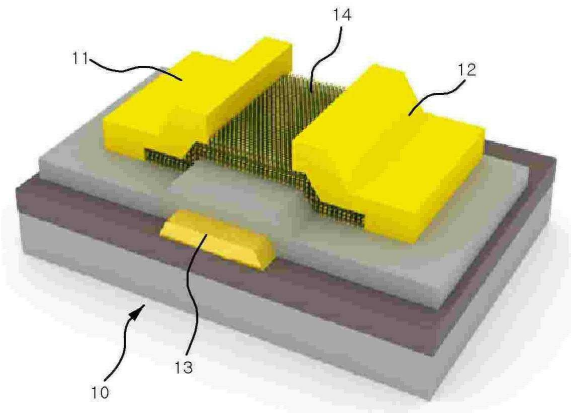
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자, 이를 이용한 광전자 소자 및 트랜지스터 소자**

## *(57) 요 약*

본 발명은 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소, 이를 이용한 광전자 소자, 및 트랜지스터 소자에 관한 것으로서, 종래의 단층 전이금속 칼코겐화합물을 바람직하게는 3층 이상의 다층으로 구성하여 복수의 투명 전극 사이에 채널층으로 형성한 발명에 관한 것이다. 이를 위해 투명 전도성 물질로 이루어진 복수의 전극, 그리고, 다층 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)에 의해 상기 복수의 전극 사이에 채널이 형성되는 채널영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자가 개시된다.

*대 표 도* - 도9



(72) 발명자

**이정노**

경기 용인시 수지구 용구대로 2742, 103동 1404호 (죽전동, 동성1차아파트)

**오민석**

서울 서초구 잠원로 88, 301동 1012호 (잠원동, 신반포아파트)

**유병욱**

경기 성남시 분당구 탄천로 35, 508동 804호 (이매동, 아름마을풍림아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 2012R1A1A1042630 |
| 부처명 | 이공분야 기초연구사업 |
| 연구사업명 | 일반연구자지원사업(신진) |
| 연구과제명 | 2D 나노 판상 트랜지스터 회로를 이용한 고효율 저전력 투명 유연 디스플레이 개발 |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 주관기관 | 경희대학교 산학협력단 |
| 연구기간 | 2012.09.01 ~ 2015.08.31 |

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

투명 전도성 물질로 이루어진 복수의 전극, 그리고,

다층 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)에 의해 상기 복수의 전극 사이에 채널이 형성되는 채널영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 투명 전도성 물질은 비정질 산화물, 결정질 산화물, 고분자 유기물 중 적어도 어느 하나의 물질인 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 투명 전도성 물질은 IZO(indium zinc oxide), ITO(indium thin oxide), 그래핀(graphene)인 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 다층 전이금속 칼코겐화합물은,

단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 반도체 밴드갭의 에너지가 더 작음으로써 상대적으로 넓은 파장대의 빛을 흡수하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 단층 전이금속 칼코겐화합물은 직접 천이 밴드갭에 의해 빛을 흡수하고,

상기 다층 전이금속 칼코겐화합물은 간접 천이 밴드갭에 의해 빛을 흡수하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 다층 전이금속 칼코겐화합물은,

$MoS_2$, $MoSe_2$, $WSe_2$, $MoTe_2$, 및 $SnSe_2$ 중 적어도 어느 하나의 화합물인 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 다층 전이금속 칼코겐화합물은,

자외선에서 근적외선 영역까지의 파장을 흡수할 수 있는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자.

**청구항 8**

투명 전도성 물질로 이루어진 애노드 전극 및 캐소드 전극, 그리고,

다층 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)에 의해 상기 전극 사이에 채널이 형성되는 채널영역을 포함함으로써 입사된 빛의 파장에 따라 동작하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 광전자 소자.

**청구항 9**

투명 전도성 물질로 이루어진 게이트 전극, 소스전극, 및 드레인 전극, 그리고,

다층 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)에 의해 상기 소스전극 및 드레인 전극 사이에 채널이 형성되는 채널영역을 포함함으로써 입사된 빛의 파장에 따라 동작하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 트랜지스터 소자.

## *명 세 서*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소, 이를 이용한 광전자 소자, 및 트랜지스터 소자에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 종래의 단층 전이금속 칼코겐화합물을 바람직하게는 3층 이상의 다층으로 구성하여 복수의 투명전극 사이에 채널층으로 형성한 발명에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 투명반도체 물질을 통한 투명전자회로를 구현하기 위해서는 물질의 투명성, 고이동도, 신뢰성 확보가 필요하다. 종래의 투명 트랜지스터는 투명전극(일예로 ITO, IZO, 그래핀)과 투명채널(일예로 oxide TFTs)로 연구가 많이 진행 되었다. 그러나 기존의 투명채널 물질은 투명성은 좋으나 이동도면에서 한계점을 드러내고 있었다.

### *선행기술문헌*

#### *특허문헌*

[0003] (특허문헌 0001) 대한민국공개특허공보 10-2009-0046179(발명의 명칭 : 투명박막 트랜지스터, 이미지센서 및 투명박막 트랜지스터의 제조방법)에 따르면, 투명 전도체를 이용하여 각 반도체층을 형성함으로써 광학 효율이 증가되고, 제작 공정을 단순화할 수 있는 투명박막 트랜지스터에 관한 발명이다.

(특허문헌 0003) 선행기술문헌은 투명박막 트랜지스터를 제조하기 위해 투명전극 물질을 사용하는 면에서는 본원발명과 유사하나, 본원발명은 투명전극 물질을 사용하여 투명전극을 형성하는 것 이외에도 채널형성을 투명한 2D 나노구조체인 다층 전이금속 칼코겐 화합물에 의해 형성하는 것으로서 그 차이점이 분명하다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0004] 따라서, 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로서, 투명전극(일예로 게이트, 드레인, 소스) 및 2차원 전이금속 칼코겐화합물을 다층으로 형성하여 반도체 채널을 이룸으로써 투명전자소자의

고투명성, 고이동도, 고신뢰성을 확보하는 발명을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0005] 그러나, 본 발명의 목적들은 상기에 언급된 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

## 과제의 해결 수단

[0006] 전술한 본 발명의 목적은, 투명 전도성 물질로 이루어진 복수의 전극, 그리고, 다층 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)에 의해 상기 복수의 전극 사이에 채널이 형성되는 채널영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자를 제공함으로써 달성될 수 있다.

[0007] 또한, 전자회로를 구성하는 능동소자로서 투명 트랜지스터, 다이오드로 구체화될 수 있다.

[0008] 또한, 투명 전도성 물질은 비정질 산화물, 결정질 산화물, 고분자 유기물 중 적어도 어느 하나의 물질이다.

[0009] 또한, 투명 전도성 물질은 IZO(indium zinc oxide), ITO(indium thin oxide), 그래핀(graphene)이다.

[0010] 또한, 다층 전이금속 칼코겐화합물은, 단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 반도체 밴드갭의 에너지가 더 작음으로써 상대적으로 넓은 파장대의 빛을 흡수하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 또한, 단층 전이금속 칼코겐화합물은 직접 천이 밴드갭에 의해 빛을 흡수하고, 다층 전이금속 칼코겐화합물은 간접 천이 밴드갭에 의해 빛을 흡수하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 다층 전이금속 칼코겐화합물은, $MoS_2$, $MoSe_2$, $WSe_2$, $MoTe_2$, 및 $SnSe_2$ 중 적어도 어느 하나의 화합물인 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 다층 전이금속 칼코겐화합물은, 자외선에서 근적외선 영역까지의 파장을 흡수할 수 있는 것을 특징으로 한다.

[0014] 한편, 본 발명의 목적은 투명 전도성 물질로 이루어진 애노드 전극 및 캐소드 전극, 그리고, 다층 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)에 의해 전극 사이에 채널이 형성되는 채널영역을 포함함으로써 입사된 빛의 파장에 따라 동작하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 광전자 소자를 제공함으로써 달성될 수 있다.

[0015] 한편, 본 발명의 목적은 투명 전도성 물질로 이루어진 게이트 전극, 소스전극, 및 드레인 전극, 그리고, 다층 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)에 의해 소스전극 및 드레인 전극 사이에 채널이 형성되는 채널영역을 포함함으로써 입사된 빛의 파장에 따라 동작하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 트랜지스터 소자를 제공함으로써 달성될 수 있다.

## 발명의 효과

[0016] 전술한 바와 같은 본 발명에 의하면 투명전극 및 다층 전이금속 칼코겐 화합물에 의한 채널형성으로 인하여 물질의 투명성, 고이동도, 고신뢰성이 확보되어 투명전자소자의 소비전력을 낮추고, 투명 디스플레이에 활용가능한 효과가 있다.

[0017] 또한, 단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 광대역 파장을 흡수할 수 있는 효과가 있다.

[0018] 또한, 본 발명에 의하면 자외선부터 근적외선 파장까지 감지할 수 있는 효과가 있다.

[0019] 그리고, 본 발명에 의하면 InGaZnO 화합물에 비해 높은 이동성과 게이트 동작 바이어스 전압을 낮출 수 있으며, 발광시 문턱 전압의 이동이 없는 효과가 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0020] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 일실시예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석 되어서는 아니 된다.

도 1은 단층 $MoS_2$의 삼차원적 구조를 나타낸 도면이고,

도 2 및 도 3은 단층 $MoS_2$ 트랜지스터의 삼차원적 도면이고

도 4는 서로 다른 두께를 가지는 $MoS_2$ 결정의 흡수 스펙트럼 도면이고,

도 5는 벌크 $MoS_2$의 밴드 구조를 나타낸 도면이고,

도 6은 직접 천이 밴드갭의 E-k 도면이고

도 7은 간접 천이 밴드갭의 E-k 도면이고

도 8은 $MoS_2$ 포토트랜지스터의 Id-Vgs 특성곡선이다.

도 9는 본 발명에 따른 투명 트랜지스터 소자의 구조를 나타낸 도면이고,

도 10 및 도 11은 도 9의 투명 트랜지스터 소자의 특성곡선을 나타낸 도면이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0021] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 일실시예에 대해서 설명한다. 또한, 이하에 설명하는 일실시예는 특허청구범위에 기재된 본 발명의 내용을 부당하게 한정하지 않으며, 본 실시 형태에서 설명되는 구성 전체가 본 발명의 해결 수단으로서 필수적이라고는 할 수 없다.

[0022] **<다층 전이금속 칼코겐화합물 소자의 구성>**

[0023] 2차원 물질은 일차원 물질과 비교했을 때 복잡한 구조를 제조하기가 상대적으로 쉬어 차세대 나노전자소자의 물질로 이용하기에 적합하다. 이러한 2차원 물질 중 2차원 전이금속 칼코겐화합물(2D Transition Metal Dichalcogenides)은 $MoS_2$, $MoSe_2$, $WSe_2$, $MoTe_2$, 또는 $SnSe_2$의 화합물로 이루어지며, 이 중에서 단층 $MoS_2$의 구조는 도 1에 도시된 바와 같다. 도 1에 도시된 바와 같이 단층 $MoS_2$ 결정은 수직적으로 쌓여있는 구조이고 단층(single layer)의 두께는 6.5Å으로 반더발스(van der Waals) 상호작용으로부터 층을 형성하고 있다.

[0024] 단층 $MoS_2$는 1.8eV의 고유 밴드갭을 가지고 있지만 이동성(mobility)은 0.5 ~ 3$cm^2V^{-1}s^{-1}$로 매우 낮은 수준이다. 또한, 그래핀이나 박막 실리콘의 이동성 값과 비교해 보았을 때, 밴드갭이 증가하면 이동성이 감소하는 경향이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 도 2에 도시된 바와 같이 상부 게이트는 유전상수가 25 정도로 높은 하프늄 옥사이드(halfnium oxide, $HfO_2$)를 사용하였고, 상부 게이트 아래에 이동성이 200$cm^2V^{-1}s^{-1}$ 이상인 단층 $MoS_2$를 부스터(booster)로 이용하였다. 다만, 이러한 공정은 종래 사용되고 있는 TFT(thin film transistor) 공정과는 일치하지 않는 면을 보이고 있다.

[0025] 이에 비해, 본 발명에서는 상술한 단층에서와 같이 상부 게이트를 하프늄 옥사이드를 사용하지 않고 다층 전이금속 칼코겐화합물을 채널로 사용하여 다층에서 기인하는 전도도의 증가를 통해 이동도를 50$cm^2V^{-1}s^{-1}$로 향상시켰다. 이러한 단일공정으로 이동도를 향상시킴으로써 종래의 TFT 기술과 일치된 공정을 나타낸다.

[0026] 상술한 단층 $MoS_2$는 도 4의 T2, T3 그래프와 같이 약 700nm 아래의 파장을 흡수할 수 있다. 도 4에 도시된 T1, T2, T3는 $MoS_2$ 결정의 두께를 나타내며, 두께는 T1 > T2 > T3 순으로서 T1은 약 40nm, T2는 약 4nm, T3는 약 1nm이다.

[0027] 도 4 및 도 5에 도시된 흡수 최고점 "A", "B"는 가전자 밴드(valance band) 스핀-궤도 결합으로부터 에너지 분리된 직접 천이 밴드갭에 상응하며, 꼬리 "I"는 간접 천이 밴드갭에 상응한다.

[0028] 한편, 도 6에 도시된 바와 같이 직접 천이 밴드갭은 가전자대의 에너지 $E_v(k)$가 전도대의 에너지 $E_c(k)$와 같은 파수 k로 발생하는 경우이고, 도 7에 도시된 바와 같이 위의 두 에너지가 다른 파수 값에서 생기는 것을 간접 천이 밴드갭이라 한다. 직접 천이 밴드갭은 광 방사 에너지 $h\nu$에 의해 가전자가 전도대에 직접 천이하지만, 간접 천이 밴드갭은 전도대에 간접 천이하며 그때 에너지 $E_{ph}$의 포논(phonon)을 발생한다.

[0029] 따라서, 직접 천이 밴드갭에서의 $h\nu=E_g$이고, 간접 천이 밴드갭에서의 $h\nu=E_g+E_{ph}$이다. 이와 같이 간접 천이 밴드갭에서는 $E_{ph}$가 발생됨으로써 직접 천이 밴드갭에서의 에너지 갭이 1.8eV(단층 $MoS_2$)에서 1.35eV(다층 $MoS_2$)로 낮아지게 된다. 이때 다층은 3층 이상인 경우가 바람직하다.

[0030] 에너지 갭이 1.8eV에서 1.35eV로 낮아지는 경우에는 다음의 수학식 1에 의해 파장 값이 변하게 된다.

*수학식 1*

[0031] $$\lambda=\frac{1.24}{E_g}$$

[0032] 에너지 갭이 1.8eV인 경우보다 1.35eV인 경우, 즉 스몰 밴드갭(small bandgap)인 경우에 파장($\lambda$)값이 커지며, 이는 단층 $MoS_2$를 사용하는 경우보다 다층 $MoS_2$를 사용하는 경우 더 넓은 범위의 파장을 흡수할 수 있음을 도 4의 T1, T2, T3 그래프를 통해 알 수 있다.

[0033] 단층 $MoS_2$의 경우에는 일반적으로 700nm 아래의 파장을 흡수할 수 있으나, 본 발명에 따른 다층 $MoS_2$(바람직하게는 3층 이상)의 경우에는 1000nm 아래의 모든 파장을 흡수할 수 있다. 이는 근적외선(near IR)에서부터 자외선(ultra violet)까지의 파장대를 감지할 수 있음을 의미한다.

[0034] 상술한 다층 전이금속 칼코겐화합물은 화학기상증착(CVD), PE-CVD, 원자층 증착(ALD), 또는 스퍼터(sputter) 등의 종래의 일반적인 증착방식을 이용하여 다층으로 증착되기 때문에 단층에 비해 대면적 성장이 용이하다.

[0035] 도 8에 도시된 바와 같이, 다층 $MoS_2$ 포토트랜지스터는 빛이 입사되지 않을 때와 빛이 입사될 때(633nm의 $50mWcm^{-2}$ 강도)의 $I_d$가 약 $10_3$ 차이가 남을 알 수 있다.

[0036] 따라서 상술한 다층 전이금속 칼코겐화합물을 채널물질로 이용하여 빛에 반응하여 동작되는 반도체 소자를 구현할 수 있다. 예를 들면 솔라 셀(solar cell), 포토디텍터(photodetector), 광전자 소자, 또는 박막트랜지스터(Thin Film Transitors) 구조, 또는 하이브리드 디바이스(일예로, P-type organic과 N-type 다층 전이금속 칼

코겐화합물)를 통한 포토트랜지스터 소자이다.

[0037] **<다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자>**

[0038] 본 발명에 따른 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명전자소자는 도 9에 도시된 바와 같이 소스, 드레인, 게이트 전극(11,12,13)을 투명전극으로 형성하고, 소스와 드레인 사이의 채널형성(14)을 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용하여 형성함으로써 투명전자소자를 구현할 수 있다.

[0039] 투명 디스플레이에서 실리콘 같은 경우에는 약 20 ~ 30%의 빛 투과성을 보이나 본 발명에 따른 투명전극 및 투명한 2D 나노구조체인 다층 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 투명 전자소자는 약 80%의 빛 투과성을 보이므로 투명 디스플레이 제작시 소비전력을 대폭 낮출수 있다.

[0040] 투명트랜지스터 소자의 특성곡선이 도 10 및 도 11에 나타나 있다. 도면에 도시된 바와 같이 본 발명에 따른 투명전극 및 다층 전이금속 칼코겐화합물에 의해 형성된 채널층을 이용한 투명 트랜지스터는 스위칭 소자(on-off)로서의 특성을 나타냄을 알 수 있다.

[0041] 소스, 드레인, 게이트, 및 채널의 형성은 화학기상증착(CVD), PE-CVD, 원자층 증착(ALD), 또는 스퍼터(sputter) 등의 종래의 일반적인 증착 방식을 이용하여 형성할 수 있다.

[0042] 상술한 도 9에 도시된 발명은 트랜지스터를 일예로 들어 설명하였으나, 이에 국한되지 않고 애노드 및 캐소드 전극을 형성하고 애노드 및 캐소드 전극 사이에 채널층을 형성한 PN 접합 다이오드로도 본 발명은 구체화될 수 있다.

[0043] 더 나아가, PN 접합 다이오드 구조를 활용한 솔라셀 및 포토디텍터 같은 광전자 소자에도 활용될 수 있다. 즉, 본 발명에서는 투명전극을 활용하여 빛 투과도를 높이고, 도 8에 도시된 바와 같이 다층 전이금속 칼코겐화합물($MoS_2$ 포토트랜지스터)을 이용하여 빛에 반응하여 동작되는 반도체 소자를 구현할 수 있다.

[0044] 이상, 본 발명의 일실시예를 참조하여 설명했지만, 본 발명이 이것에 한정되지는 않으며, 다양한 변형 및 응용이 가능하다. 즉, 본 발명의 요지를 일탈하지 않는 범위에서 많은 변형이 가능한 것을 당업자는 용이하게 이해할 수 있을 것이다.

## *부호의 설명*

[0045] 1 : 단층 $MoS_2$ 트랜지스터

10 : 투명 트랜지스터

11 : 소스 전극

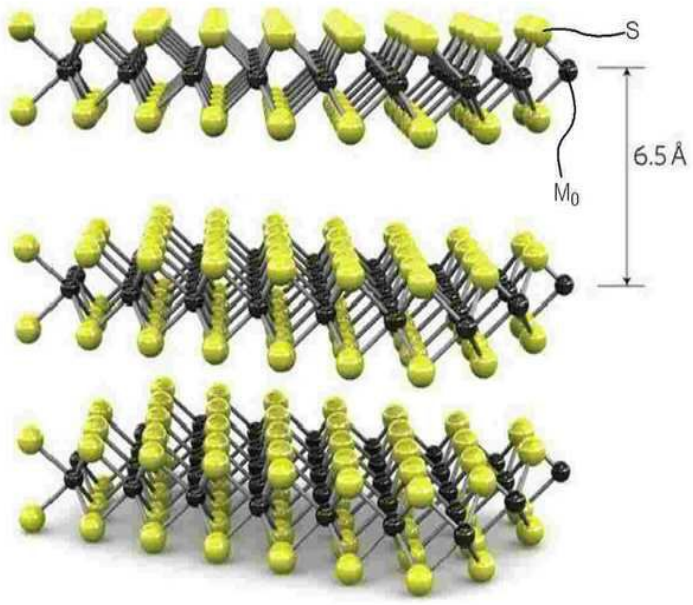
12 : 드레인 전극

13 : 게이트 전극

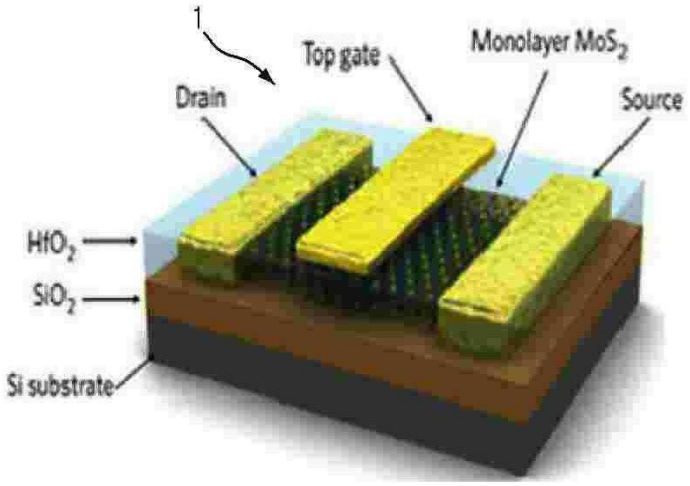
14 : 채널층

## 도면

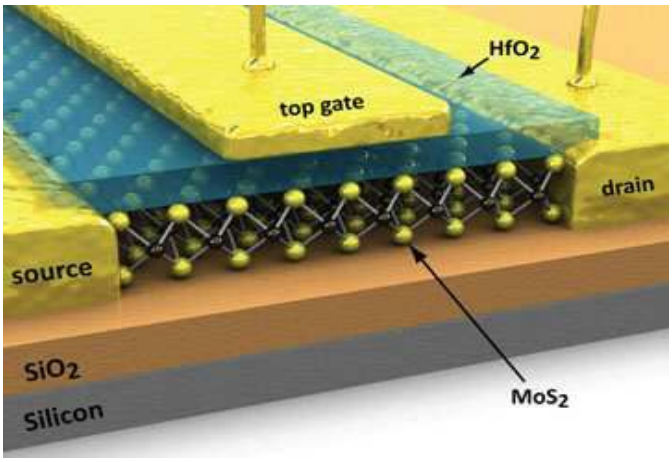
### 도면1


S
6.5 Å
$M_0$

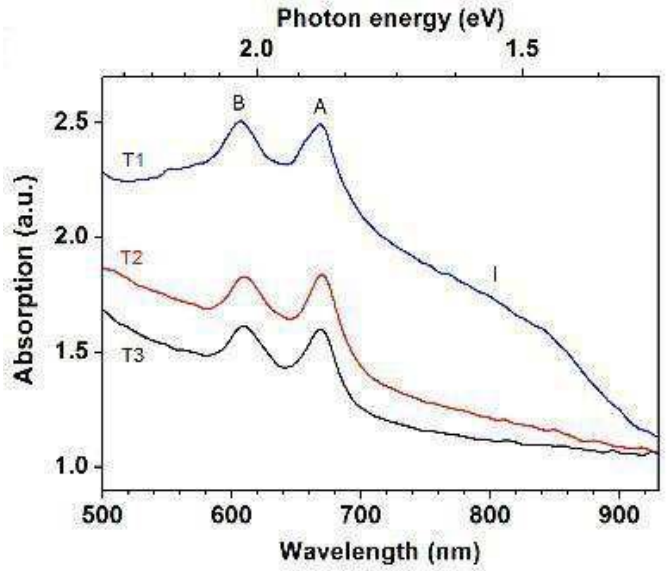
### 도면2


1
Top gate
Monolayer $MoS_2$
Drain
Source
$HfO_2$
$SiO_2$
Si substrate

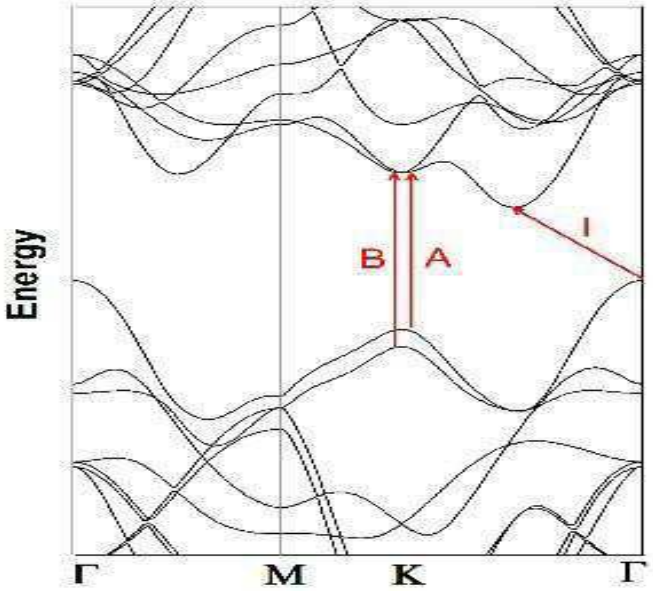
도면3


HfO2
top gate
drain
source
SiO2
Silicon
MoS2

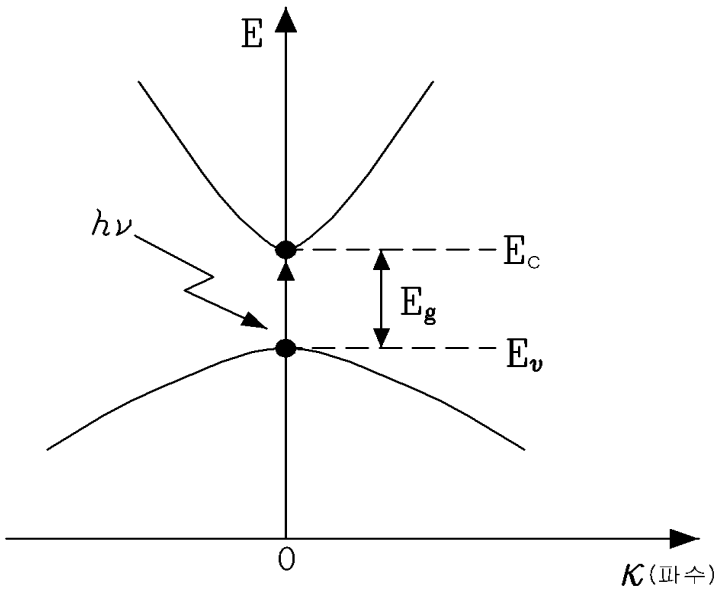
도면4


Photon energy (eV)
2.0
1.5
B
A
T1
T2
T3
I
Absorption (a.u.)
2.5
2.0
1.5
1.0
500
600
700
800
900
Wavelength (nm)

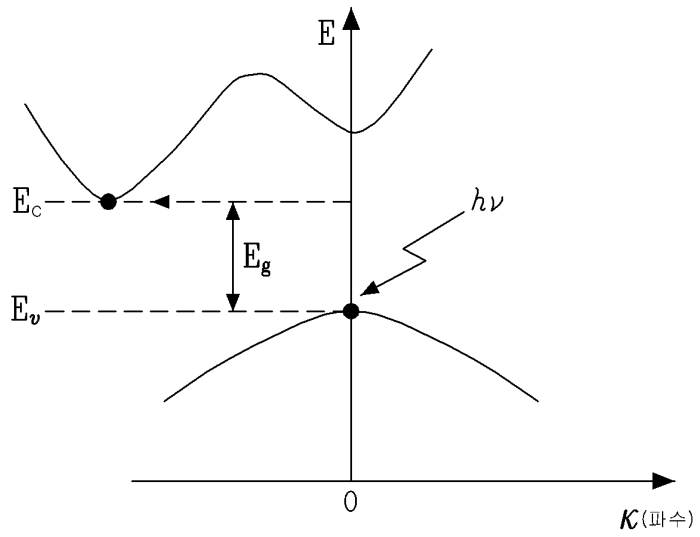
도면5



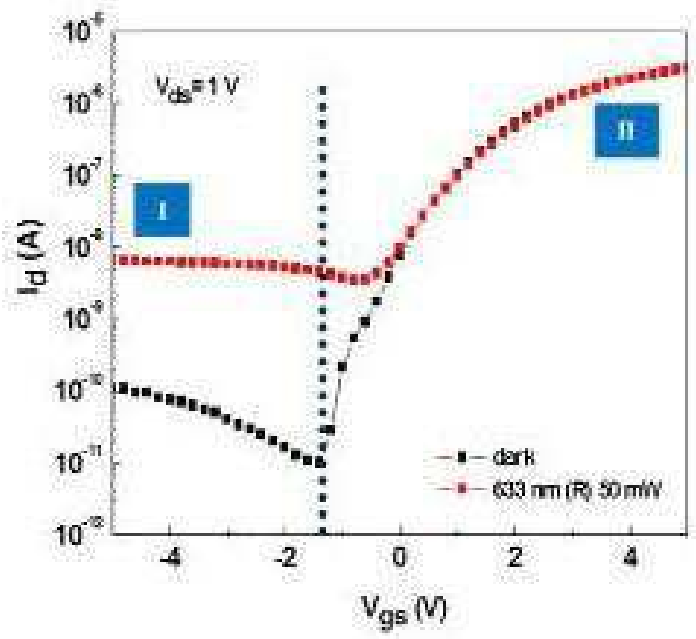

도면6



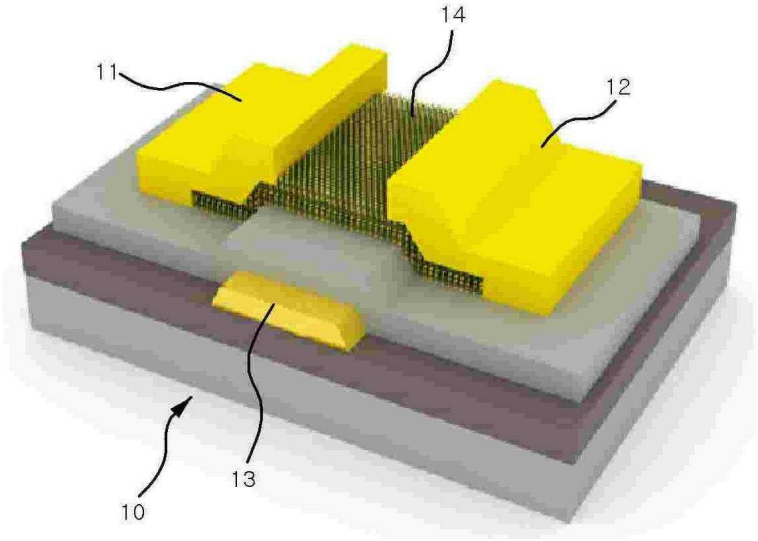
도면7



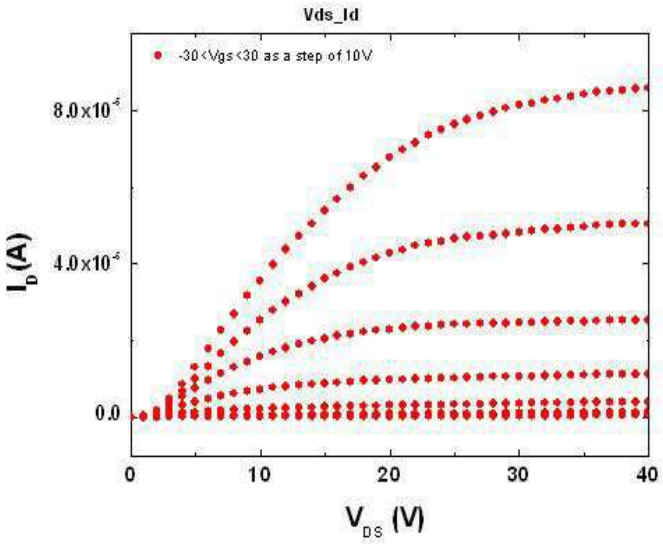

도면8



도면9


14
11
12
13
10

도면10


Vds_Id
-30<Vgs<30 as a step of 10V
8.0x10⁻⁶
4.0x10⁻⁶
0.0
I_D (A)
0
10
20
30
40
V_DS (V)

도면11

