(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0130915
(43) 공개일자 2013년12월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0256 (2006.01) *H01L 31/10* (2006.01)
H01L 29/786 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0054568
(22) 출원일자 2012년05월23일
심사청구일자 2012년05월23일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
김선국
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732
(74) 대리인
특허법인 대아, 특허법인우린

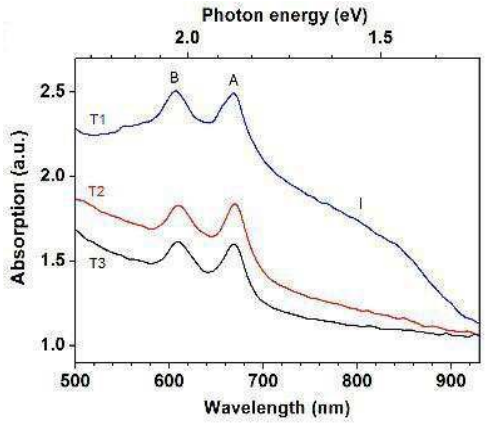
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **다층 전이금속 칼코겐화합물 소자 및 이를 이용한 반도체 소자**

(57) 요 약

본 발명은 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자 및 이를 이용한 반도체 소자에 관한 것으로서, 종래의 단층 전이금속 칼코겐화합물을 바람직하게는 3층 이상의 다층으로 구성하여 자외선에서부터 근적외선에 이르는 넓은 파장대를 흡수하도록 한 발명에 관한 것이다. 이를 위해 층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 상대적으로 넓은 파장대의 빛을 흡수하도록 다층 전이금속 칼코겐화합물(Transition Metal Dichalcogenides)로 형성하며, 다층 전이금속 칼코겐화합물에 의해 반도체 채널이 형성되는 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자가 개시된다.

대 표 도 - 도4



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

단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 상대적으로 넓은 파장대의 빛을 흡수하도록 다층 전이금속 칼코겐화합물(Transition Metal Dichalcogenides)로 형성하며,

상기 다층 전이금속 칼코겐화합물에 의해 반도체 채널이 형성되는 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 다층 전이금속 칼코겐화합물은,

상기 단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 반도체 밴드갭의 에너지가 더 작음으로써 상대적으로 넓은 파장대의 빛을 흡수하는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자.

청구항 3

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 칼코겐화합물 소자.

청구항 4

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 칼코겐화합물 소자.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 다층 전이금속 칼코겐화합물은,

자외선에서 근적외선 영역까지의 파장을 흡수할 수 있는 것을 특징으로 하는 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자.

청구항 6

제 1 항에 기재된 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자에 의해 입사된 빛의 파장에 따라 동작하는 반도체 소자.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자 및 이를 이용한 반도체 소자에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 종

래의 단층 전이금속 칼코겐화합물을 바람직하게는 3층 이상의 다층으로 구성하여 자외선에서부터 근적외선에 이르는 넓은 파장대를 흡수하도록 한 발명에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 전이금속 칼코겐화합물은 어느 것이나 모두 공통된 결정구조로 이루어짐과 동시에 전기적, 자기적 및 광학적으로 큰 이방성을 갖고 각종의 특이한 물성을 나타내는 것으로 종래부터 그 물성의 해명과 응용에 대한 관심이 있어 왔다.

[0003] 이러한 전이금속 칼코겐화합물을 이용한 단층 MoS_2 포토트랜지스터는 1.8eV의 직접 천이 밴드갭의 특성을 보임으로써 700nm 아래의 파장만 흡수할 수 있는 문제점이 있었으며, 또한, 단층으로 형성하는 경우 대략 1nm의 두께로 인하여 성장 및 증착이 어려운 문제점이 있었다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0004] (비특허문헌 0001) 2011.12.13일 발표된 단층 MoS2 포토트랜지스터(single-layer MoS2 phototransistors)에 관한 ACS NANO 논문에서는 1.8eV 직접 천이 밴드갭을 갖는 물질의 특성에 관한 논문을 발표하였다. 이와 같은 단층 MoS2 포토트랜지스터에서는 직접 천이 밴드갭에 의해 700nm 이하의 파장대를 흡수할 수 있음을 보이고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 따라서, 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로서, 2차원 전이금속 칼코겐화합물을 다층으로 형성함으로써 간접 천이 밴드갭에 의해 광(廣) 대역의 파장을 흡수할 수 있는 발명을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0006] 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

[0007] 전술한 본 발명의 목적은, 단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 상대적으로 넓은 파장대의 빛을 흡수하도록 다층 전이금속 칼코겐화합물(Transition Metal Dichalcogenides)로 형성하며, 다층 전이금속 칼코겐화합물에 의해 반도체 채널이 형성되는 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자를 제공함으로써 달성될 수 있다.

[0008] 또한, 다층 전이금속 칼코겐화합물은, 단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 반도체 밴드갭의 에너지가 더 작음으로써 상대적으로 넓은 파장대의 빛을 흡수하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 또한, 단층 전이금속 칼코겐화합물은 직접 천이 밴드갭에 의해 빛을 흡수하고, 다층 전이금속 칼코겐화합물은 간접 천이 밴드갭에 의해 빛을 흡수하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한, 다층 전이금속 칼코겐화합물은, MoS_2, $MoSe_2$, WSe_2, $MoTe_2$, 및 $SnSe_2$ 중 적어도 어느 하나의 화합물인 것을 특징으로 한다.

[0011] 또한, 다층 전이금속 칼코겐화합물은, 자외선에서 근적외선 영역까지의 파장을 흡수할 수 있는 것을 특징으로 한다.

[0012] 한편, 본 발명의 목적은 다층 전이금속 칼코겐화합물 소자에 의해 입사된 빛의 파장에 따라 동작하는 반도체 소자를 제공함으로써 달성될 수 있다.

발명의 효과

[0013] 전술한 바와 같은 본 발명에 의하면 단층 전이금속 칼코겐화합물에 비해 광대역 파장을 흡수할 수 있는 효과가 있다.

[0014] 또한, 본 발명에 의하면 자외선부터 근적외선 파장까지 감지할 수 있는 효과가 있다.

[0015] 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

[0016] 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_2의 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_2의 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.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 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.

[0018] **<다층 전이금속 칼코겐화합물 소자의 구성>**

[0019] 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_2의 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.

[0020] 단층 MoS_2는 1.8eV의 고유 밴드갭을 가지고 있지만 이동성(mobility)은 0.5 ~ $3cm^2V^{-1}s^{-1}$로 매우 낮은 수준이다. 또한, 그래핀이나 박막 실리콘의 이동성 값과 비교해보았을 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 $200cm^2V^{-1}s^{-1}$ 이상인 단층 MoS_2를 부스터(booster)로 이용하였다. 다만, 이러한 공정은 종래 사용되고 있는 TFT(thin film transistor) 공정과는 일치하지 않는 면을 보이고 있다.

[0021] 이에 비해, 본 발명에서는 상술한 단층에서와 같이 상부 게이트를 하프늄 옥사이드를 사용하지 않고 다층 전이금속 칼코겐화합물을 채널로 사용하여 다층에서 기인하는 전도도의 증가를 통해 이동도를 $50cm^2V^{-1}s^{-1}$로 향상시켰다. 이러한 단일공정으로 이동도를 향상시킴으로써 종래의 TFT 기술과 일치된 공정을 나타낸다.

[0022] 상술한 단층 MoS_2는 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.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 에너지 갭이 1.8eV에서 1.35eV로 낮아지는 경우에는 다음의 수학식 1에 의해 파장 값이 변하게 된다.

수학식 1

[0027]
$$\lambda=\frac{1.24}{E_g}$$

[0028] 에너지 갭이 1.8eV인 경우보다 1.35eV인 경우, 즉 스몰 밴드갭(small bandgap)인 경우에 파장(λ)값이 커지며, 이는 단층 MoS_2를 사용하는 경우보다 다층 MoS_2를 사용하는 경우 더 넓은 범위의 파장을 흡수할 수 있음을 도 4의 T1, T2, T3 그래프를 통해 알 수 있다.

[0029] 단층 MoS_2의 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.

[0030] 상술한 다층 전이금속 칼코겐화합물은 화학기상증착(CVD), PE-CVD, 원자층 증착(ALD), 또는 스퍼터(sputter) 등

의 종래의 일반적인 증착방식을 이용하여 다층으로 증착되기 때문에 단층에 비해 대면적 성장이 용이하다.

[0031] **<반도체 소자의 구성>**

[0032] 도 8에 도시된 바와 같이, 다층 MoS_2 포토트랜지스터는 빛이 입사되지 않을 때와 빛이 입사될 때(633nm의 50mWcm^{-2} 강도)의 I_d가 약 10_3 차이가 남을 알 수 있다.

[0033] 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 칼코겐화합물)를 통한 포토트랜지스터 소자이다.

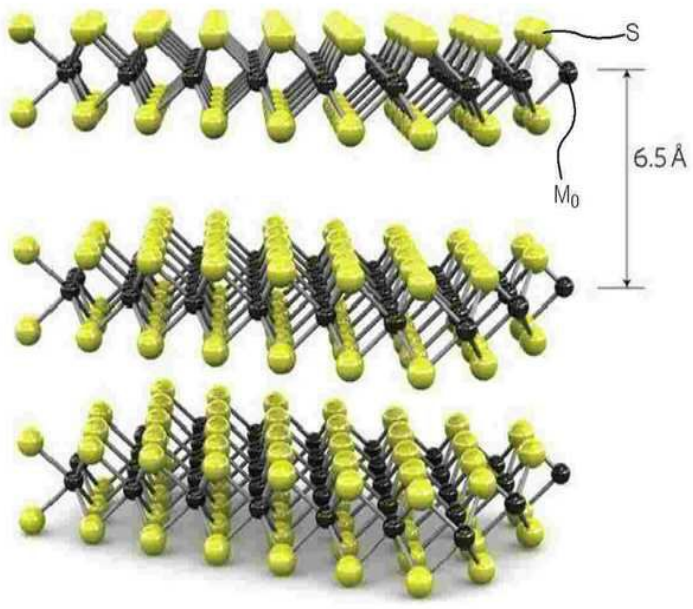
[0034] 이상, 본 발명의 일실시예를 참조하여 설명했지만, 본 발명이 이것에 한정되지는 않으며, 다양한 변형 및 응용이 가능하다. 즉, 본 발명의 요지를 일탈하지 않는 범위에서 많은 변형이 가능한 것을 당업자는 용이하게 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

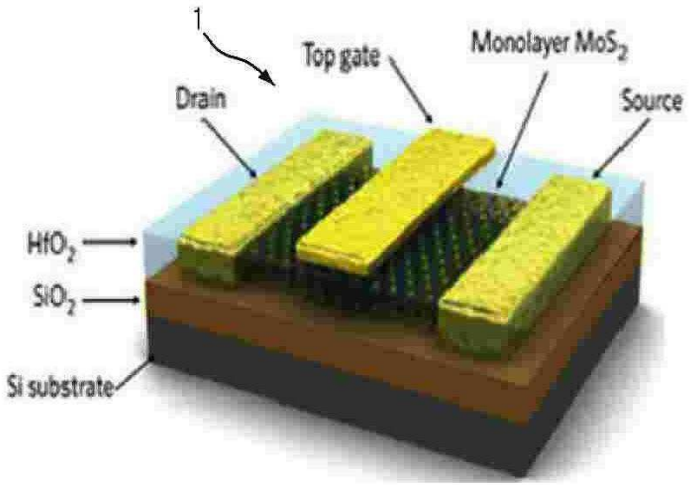
[0035] 1 : 단층 MoS_2 트랜지스터

도면

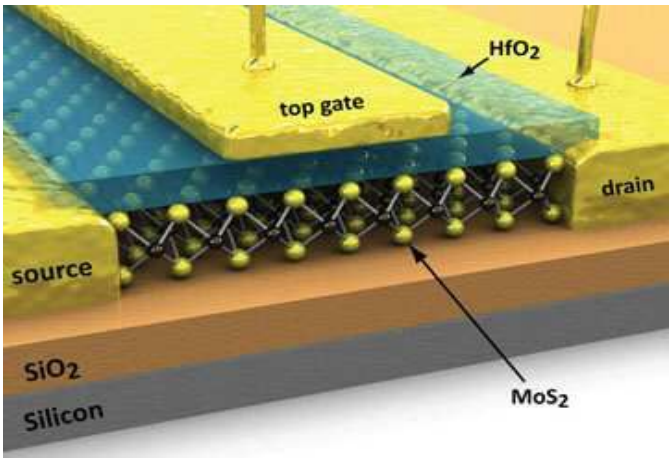
도면1



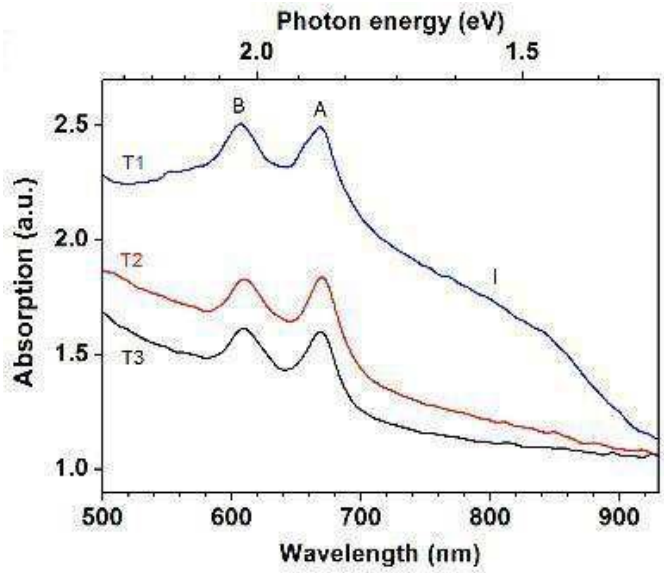
도면2


1
Top gate
Monolayer MoS_2
Drain
Source
HfO_2
SiO_2
Si substrate

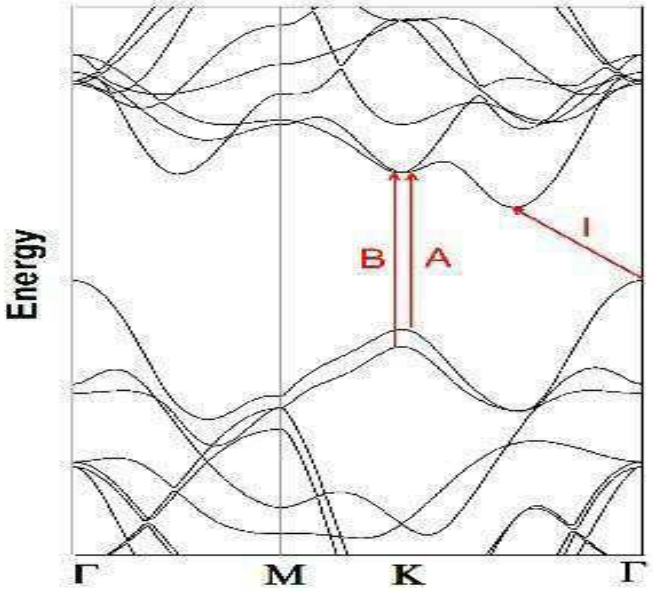
도면3


HfO_2
top gate
drain
source
SiO_2
Silicon
MoS_2

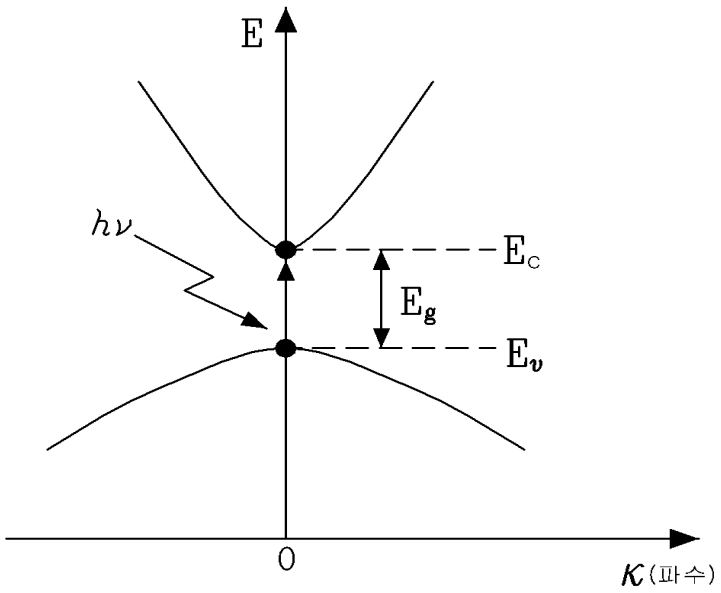
도면4


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

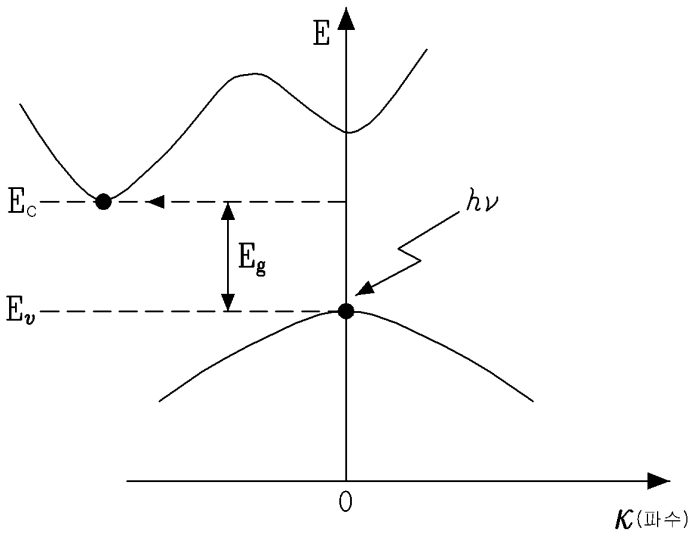
도면5



도면6



도면7



도면8

