



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0094646
(43) 공개일자 2019년08월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/12 (2006.01) G01N 21/17 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 27/125 (2013.01)
G01N 21/1717 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0014042
(22) 출원일자 2018년02월05일
심사청구일자 2018년02월05일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이철호
서울특별시 성북구 오패산로 90, 117동 1003호(하월곡동, 래미안월곡아파트)
박해리
서울특별시 도봉구 도봉로180길 6-83, 4동 1509호(도봉동, 삼환도봉아파트)
(74) 대리인
백두진, 김정연, 강일신

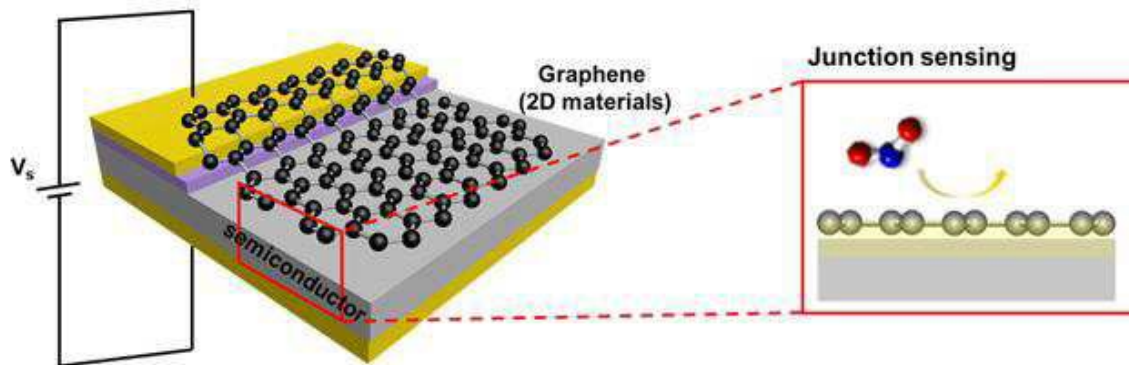
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 무전력 화학물질 감지센서 및 센싱방법

(57) 요약

본 발명은 무전력 화학물질 감지센서 및 센싱방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 무전력 화학물질 감지센서 및 센싱방법은 그래핀, 광흡수층 및 전극이 적층되어 이루어진 감지센서로 빛의 조사로 인해 무전력으로 화학물질을 감지할 수 있는 무전력 화학물질 감지센서 및 센싱방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 21/27 (2013.01)

G01N 27/129 (2013.01)

G01N 33/005 (2013.01)

G01N 2021/1721 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

그래핀, 광흡수층 및 전극이 적층되어 이루어진 감지센서로 빛의 조사로 인해 무전력으로 화학물질을 감지할 수 있는 무전력 화학물질 센싱방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 그래핀 및 광흡수층의 쇼트키 접합계면에 페르미 에너지 준위 차이에 의해 내부 확산 전위(built-in potential)가 생기고, 광흡수층에 밴드갭 이상의 빛을 조사함으로써 광전류가 발생하고, 화학물질의 존재에 따라 광전류가 증가 또는 감소하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 센싱방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 그래핀 표면에 화학물질이 흡착 또는 탈착함에 따라 페르미 에너지준위 변화로 화학물질 존재 유무를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 센싱방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

화학물질 중 특정 화학물질을 감지하기 위해 그래핀 표면에 촉매 물질들을 형성할 수 있으며,

수소를 감지하기 위해 그래핀 표면에 Pd 또는 Pt를 증착하여 수소 물질 존재여부를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 센싱방법.

청구항 5

그래핀, 광흡수층 및 전극이 적층되어 이루어진 감지센서로,

상기 그래핀 및 광흡수층은 이중접합 구조로 형성된 무전력 화학물질 감지센서.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 광흡수층은 반도체 또는 전이금속 칼코겐 화합물인 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 반도체는 Si, GaN계 화합물, GaAs계 화합물, Copper indium gallium selenide (CIGS) 계 화합물, 페로브

스카이게 화합물, 흑린(black phosphorous) 중 1이상 선택되며,
상기 전이금속 칼코겐 화합물로는 MoS_2 , MoSe_2 , MoTe_2 , WS_2 , WSe_2 , WTe_2 , SnS_2 , InSe , In_2Se_3 , GaS , GaSe , HfS_2 , HfSe_2 , ZrS_2 , ZrSe_2 , HfSe_2 중 1이상 선택되는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서.

청구항 8

제5항에 있어서,

화학물질 중 특정 화학물질을 감지하기 위해 그래핀 표면에 촉매물질 들을 형성할 수 있으며,

수소를 감지하기 위해 그래핀 표면에 Pd 또는 Pt를 증착하여 수소 물질 존재여부를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서.

청구항 9

제5항에 있어서,

그래핀 표면에 화학물질이 흡착 또는 탈착함에 따라 페르미 에너지준위 변화로 화학물질 존재 유무를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무전력 화학물질 감지센서 및 센싱방법에 관한 것으로 보다 상세하게는 빛에 반응하여 광전류가 발생할 수 있는 원자층 두께를 가지는 그래핀 기반의 수직 이중접합구조의 소자에서 타겟 물질을 광전류의 변화에 따라 물질을 감지하는 무전력 화학물질 감지센서 및 센싱방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 최근 인간의 생활환경에 존재하는 유해가스 및 대기환경에 대한 관심이 고조되면서 환경유해가스를 감지하거나, 다른 특정 화학물질을 손쉽게 감지할 수 있는 센서의 필요성이 중요하게 인식되고 있다.
- [0004] 또한, 초연결, 초지능을 특징으로 하는 4차 산업혁명의 시대가 도래 하면서 사물의 지능화를 통한 사물인터넷(IoT)의 역할이 중요시 되고 있는 데, 사물인터넷을 위해 정보를 얻는 데 있어 감지센서는 1차적인 역할을 하고 있다.
- [0005] 이러한 감지센서의 중요하게 여기는 사항은 민감도, 선택성, 반응시간, 회복속도 등의 일반적인 성능지수 뿐만 아니라 전력소모도 매우 중요한 부분이다.
- [0006] 한정된 전력용량 내에서 센서에 의한 전력소모를 최소화 하면, 제품의 사용시간을 최대화 할 수 있기 때문에 사물인터넷에 적용하기 위해서는 관련연구가 반드시 진행될 필요가 있다.
- [0007] 하지만 기존의 저항타입 가스센서는 저항변화를 측정하기 위해 구동전압이 인가되어야 하기 때문에 전력소모를 최소화 하는데 한계가 있었다.
- [0008] 이를 해결하기 위해서 전력소모 없이도 작동하여 화학물질을 감지할 수 있는 센서 및 센싱방법에 대한 기술개발이 요구되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상기한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해, 구동전압 없이도 화학 물질을 감지하여 무전력 동작할 수 있는 감지센서를 제공하기 위한 것이다.

[0011] 또한, 본 발명은 그래핀 표면에 흡착 및 탈착하는 화학 물질에 의한 페르미 에너지준위의 변화로 센서 소자의 광전류량의 변화를 통해 화학 물질을 감지할 수 있는 감지센서를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 측면에 따르면, 그래핀, 광흡수층 및 전극이 적층되어 이루어진 감지센서로 빛의 조사로 인해 무전력으로 화학물질을 감지할 수 있는 무전력 화학물질 센싱방법을 제공한다.

[0014] 또한, 상기 그래핀 및 광흡수층의 쇼트키 접합계면에 페르미 에너지 준위 차이에 의해 내부 확산 전위(built-in potential)가 생기고, 광흡수층에 밴드갭 이상의 빛을 조사함으로써 광전류가 발생하고, 화학물질의 존재에 따라 광전류가 증가 또는 감소하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 센싱방법을 제공한다.

[0015] 또한, 상기 그래핀 표면에 화학물질이 흡착 또는 탈착함에 따라 페르미 에너지준위 변화로 화학물질 존재 유무를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 센싱방법을 제공한다.

[0016] 또한, 화학물질 중 특정 화학물질을 감지하기 위해 그래핀 표면에 촉매 물질들을 형성할 수 있으며, 수소를 감지하기 위해 그래핀 표면에 Pd 또는 Pt를 증착하여 수소 물질 존재여부를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 센싱방법을 제공한다.

[0017] 본 발명의 일 측면에 따르면, 그래핀, 광흡수층 및 전극이 적층되어 이루어진 감지센서로, 상기 그래핀 및 광흡수층은 이중접합 구조로 형성된 무전력 화학물질 감지센서를 제공한다.

[0018] 또한, 상기 광흡수층은 반도체 또는 전이금속 칼코겐 화합물인 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서를 제공한다.

[0019] 또한, 상기 반도체는 Si, GaN계 화합물, GaAs계 화합물, Copper indium gallium selenide (CIGS) 계 화합물, 페로브스카이트계 화합물, 흑린(black phosphorous) 중 1이상 선택되며, 상기 전이금속 칼코겐 화합물로는 MoS_2 , MoSe_2 , MoTe_2 , WS_2 , WSe_2 , WTe_2 , SnS_2 , InSe , In_2Se_3 , GaS , GaSe , HfS_2 , HfSe_2 , ZrS_2 , ZrSe_2 , HfSe_2 중 1이상 선택되는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서를 제공한다.

[0020] 또한, 화학물질 중 특정 화학물질을 감지하기 위해 그래핀 표면에 촉매물질 들을 형성할 수 있으며, 수소를 감지하기 위해 그래핀 표면에 Pd 또는 Pt를 증착하여 수소 물질 존재여부를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서를 제공한다.

[0021] 또한, 그래핀 표면에 화학물질이 흡착 또는 탈착함에 따라 페르미 에너지준위 변화로 화학물질 존재 유무를 감지하는 것을 특징으로 하는 무전력 화학물질 감지센서.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 구동전압 없이 빛에 의해 생성된 광전류의 변화로 화학 물질을 감지하여 무전력 동작할 수 있는 감지센서를 제공하는 효과가 있다.

[0024] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 기존의 벌크 반도체가 아닌 수 원자층 두께의 그래핀을 사용하여 특히, 그래핀 표면에 흡,탈착하는 화학 물질에 의한 페르미 에너지준위의 변화로 센서 소자의 광전류량의 변화를 통해 화학 물질을 감지할 수 있는 감지센서를 제공하기 위한 것이다.

[0025] 또한, 본 발명을 통해 기존 센서와 다른 새로운 소자 구조, 구동원리 및 측정방법을 제시함으로써 중요한 기술적·산업적 효과를 기대할 수 있다. 구체적으로는 (1) 구동 전압없이 광전류 변화를 통해 센서가 동작시켜 전력 소모를 최소화할 수 있고, (2) 다양한 그래핀-반도체 이중접합 구조를 제시함으로써 기술의 활용가능성을 높이며, (3) 원자층 단위의 초박막 구조로 센서의 소형화에도 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 감지센서의 대략적인 모습을 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 감지센서의 작동 및 센싱 메카니즘을 나타낸 것이다.
- 도 3은 실시예 1 내지 실시예 3의 기체 종류에 따른 광전류의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.
- 도 4는 실시예 1 내지 실시예 3의 시간에 따른 기체 투입 및 광전류 변화를 그래프로 나타낸 것이다.
- 도 5는 실시예 4의 감지센서를 이용한 빛 유무에 따른 수소 센싱 그래프를 나타낸 것이다.
- 도 6은 실시예 4의 감지센서를 이용한 수소의 농도에 따른 광전류 변화 그래프를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시 예는 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래의 실시 예들로 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시 예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 요소의 형상은 보다 명확한 설명을 강조하기 위해 과장되었다.
- [0029] 본 명세서에서 표현하는 화학물질은 자연계에 존재하는 기체 또는 액체 물질을 의미한다.
- [0030] 본 발명에 따른 무전력 화학물질 감지센서는 그래핀, 광흡수층 및 전극이 수직으로 적층된 구조로 포함되며, 그래핀 및 광흡수층이 이중접합되어 무전력으로 작동하는 센서이다.
- [0031] 본 발명에 따른 무전력 화학물질 감지센서는 그래핀, 광흡수층 및 전극이 수직으로 적층된 구조로 포함되며, 그래핀 및 광흡수층이 이중접합되어 무전력으로 작동하는 센서이다.
- [0032] 본 발명은 그래핀 하부에 광흡수층이 접합된 이중접합구조로 그래핀과 광흡수층 사이의 계면에서 무전력하에서도 빛을 조사시에 광반응이 일어나 그 변화를 감지하여 화학물질의 존재여부를 감지하는 기술이다.
- [0033] 본 발명의 감지센서는 상기 그래핀 및 광흡수층 사이에 이중접합이 이루어지는 데, 그래핀 - 광흡수층은 (1)그래핀-반도체, (2)그래핀-전이금속 칼코겐 화합물(TMDCs)로 구성될 수 있다.
- [0034] 본 발명의 감지센서 중 그래핀은 화학물질을 흡착 또는 탈착시켜, 그래핀 및 광흡수층과의 계면에서 빛조사시에 광전하가 생성/분리되어 광전류가 흐르게 하는 역할을 한다.
- [0035] 상기 그래핀은 굉장히 얇은 두께를 가지기 때문에 그래핀 표면에 흡착 또는 탈착된 화학물질에 의해 그래핀의 페르미준위가 바뀌게 되고 이는 그래핀과 광흡수층 사이 계면의 내부 확산 전위(built-in potential)에 영향을 미쳐 광전류량의 변화를 주는 역할을 한다.
- [0036] 한편, 화학물질 중 특정 화학물질을 감지하기 위해 그래핀 표면에 촉매 물질 들을 추가적으로 형성할 수 있다.
- [0037] 그 예로서 수소를 감지하기 위해서는 그래핀 표면에 Pd 또는 Pt를 증착한다.
- [0038] 수소는 극성이 없어 그래핀 표면에 흡착되기가 매우 어렵다. 이를 위해 그래핀 표면에 Pd 또는 Pt를 얇게 증착함으로써 수소가 잘 흡착될 수 있도록 함으로써 화학물 질 중 수소를 감지할 수 있다.
- [0039] 또한, 상기 광흡수층은 밴드갭 이상의 빛 에너지를 주었을 때 전자와 홀을 분리시키는 역할을 한다.
- [0040] 상기 광흡수층은 반도체 또는 전이금속 칼코겐 화합물로 구성될 수 있다.
- [0041] 본 발명에 광흡수층으로 가능한 반도체는 Si, GaN계 화합물, GaAs계 화합물, Copper indium gallium selenide (CIGS) 계 화합물, 페로브스카이계 화합물, 흑린 (black phosphorous) 등을 이용하는 것이 바람직하다.
- [0042] 또한, 상기 전이금속 칼코겐 화합물로는 MoS_2 , MoSe_2 , MoTe_2 , WS_2 , WSe_2 , WTe_2 , SnS_2 , InSe , In_2Se_3 , GaS , GaSe , HfS_2 , HfSe_2 , ZrS_2 , ZrSe_2 , HfSe_2 등을 이용하는 것이 바람직하다.
- [0043] 상기 전극은 감지센서 소자내에서 빛으로부터 발생한 광전류를 이동할 수 있게 하는 역할을 한다.
- [0044] 상기 전극은 금속 또는 그래핀으로 구성될 수 있다. 전극으로 가능한 금속은 일반적으로 전극으로 사용가능한 것을 금속을 이용한데, Au, Ag, Al, Cr, Co, Pd, Pt, Ti, Ta, Cu, Sc, Ni, Mo, Fe 등을 이용할 수 있다. 또한,

금속성의 그래핀으로도 전극을 활용할 수 있다.

- [0045] 상기 전극은 광흡수층 하부에 위치하여 그래핀과 광흡수층 사이에 전기가 통할 수 있도록 한다. 이 경우 빛에 의해 광전류 발생시 그래핀은 전극역할도 할 수 있게 되어 그래핀과 하부 전극사이에서 전기적으로 통할 수 있게 된다.
- [0046] 또한, 추가적으로 상기 전극은 광흡수층 하부 및 광흡수층 상부에 그래핀과 연결되어 형성될 수 있다. 이 경우 광흡수층 상부에 그래핀과 연결되어 있는 전극은 광흡수층과 절연을 위해 광흡수층 상부에 위치한 전극 및 광흡수층 사이에는 절연층이 형성될 수 있다. (도 1 참조)
- [0047] 본 발명에서의 화학물질 감지는 무전력으로 감지센서를 작동시킬 수 있는데, 그래핀과 광흡수층 사이에 계면에 서 일어나는 변화를 감지하게 된다.
- [0048] 무전력인 상태에서 그래핀과 광흡수층을 접합시켰을 때 쇼트키 접합계면에 페르미 에너지 준위 차이에 의해 내부 확산 전위(built-in potential)가 생기게 되는 데, 광흡수층에 밴드갭 이상의 빛에너지를 조사하면 광전하가 생성 및 분리되어 광전류가 흐르게 된다.
- [0049] 광전류로 인해 감지센서가 작동하게 되어 그래핀 표면에 화학물질이 흡착하게 되면 그래핀을 p-doped 또는 n-doped 시켜서 그래핀과 광흡수층 사이의 내부 확산 전위(built-in potential)가 바뀌게 되어 광전류량을 변화시키게 된다.
- [0050] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 감지센서의 작동 및 센싱 메카니즘을 나타낸 것이다.
- [0051] 그래핀과 광전류층인 반도체 n-Si 사이의 계면사이의 변화를 확인하여 화학물질의 존재 유무를 확인하는 것이 센싱 메카니즘이 된다.
- [0052] 도 2를 참조하면, 그래핀과 n-Si(반도체)를 접합시켰을 때 계면에는 일함수 차이에 의해 내부 확산 전위(built-in potential)가 생기게 되고, n-Si의 밴드갭 이상의 빛에너지를 조사하면 광전하가 생성/분리되어 광전류가 흐르게 된다.
- [0053] 이를 통해, 감지센서 소자가 0V에서도 작동할 수 있게 되는데, 기체 등의 화학물질이 그래핀 표면에 흡착하게 되면 기체의 타입에 따라 그래핀을 p-doped 또는 n-doped 시켜서 그래핀과 n-Si 사이의 내부확산 전위(built-in potential)가 바뀌게 되어 광전류량을 변화시키게 된다.
- [0054] 즉, 그래핀 표면에 p-doped 또는 n-doped 됨에 따라 페르미 에너지준위 변화가 생기게 되고, 광전류량이 증가 또는 감소되는 변화가 생기게 되어 화학물질의 존재여부를 확인할 수 있게 된다.
- [0055] 이후 흡착된 기체 분자가 떨어져 나가게 되면, 그래핀의 일함수는 다시 원래 상태로 돌아오게 된다.
- [0057] 이하, 본 발명의 실시예에 대하여 설명하기로 한다.
- [0058] 실시예 1
- [0059] 금속성의 성질을 그래핀을 준비하고, 광흡수층으로 n-Si 반도체 물질을 준비하여 이중접합을 실시하였다.
- [0060] 이중접합을 실시하기 위하여 구리 호일 위에 그래핀을 CVD 성장을 시킨다. 이때 2차원으로 얇게 그래핀이 성장하는 데, 그래핀이 성장된 구리호일 상에 PMMA 코팅을 실시한다. 코팅이 완성된 후 구리 호일을 제거하는 데, 암모늄퍼설페이트 용액을 이용하여 구리 호일을 녹여서 제거할 수 있다.
- [0061] 구리호일이 제거되면 PMMA 아래에는 그래핀이 부착되어 있으며, 이를 물에 넣어 띄우고 광흡수층인 n-Si 위에 그래핀이 부착된 PMMA를 위치하도록 하여 n-Si 상에 부착되도록 한다. 이후 PMMA는 아세톤을 이용하여 녹여서 제거한다.
- [0062] 여기에 전극을 부착하는 데, 전극은 Au 전극을 이용하였다.
- [0063] 밀폐된 공간에서 제조된 감지센서에 빛을 조사한 상태에서 dry air를 흘려보낸다. 500초간 dry air를 흘려보낸 후에 이후 500초간 50ppm NH₃를 흘려보냈다. 또한 그 이후 다시 500초간 dry air를 흘려보내고, 이후 500초간 50ppm NH₃를 흘려보내는 것을 4000초까지 반복하였다.
- [0064] 실시예 2

- [0065] 실시예 1과 동일하게 실시하되, 화학물질로 NH_3 대신 5ppm의 NO_2 를 이용하였다.
- [0066] 실시예 3
- [0067] 실시예 1과 동일하게 실시하되,
- [0068] 감지센서 제조시, 그래핀과 n-Si가 접합된 이후에 그래핀 표면에 Pd를 증착하여 감지센서 소자를 제작하였다. 화학물질로는 50ppm의 H_2 를 이용하였다.
- [0070] 도 3은 실시예 1 내지 실시예 3의 기체 종류에 따른 광전류의 변화를 그래프로 나타낸 것이며, 도 4는 실시예 1 내지 실시예 3의 시간에 따른 기체 투입 및 광전류 변화를 그래프로 나타낸 것이다.
- [0071] 도 3은 dry air를 흘려보냈을 때의 광전류량 변화와 화학물질인 NH_3 , NO_2 및 H_2 를 흘려보냈을 때 광전류변화를 비교한 그래프이다.
- [0072] 도 3의 (a)를 참조하면, 빛이 조사된 상태에서 dry air를 흘려주며 그래핀/n-Si소자의 전류-전압 특성을 확인했을 때, 0 V에서 광전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다. 이때, 그래핀에 전자를 주는 타입의 NH_3 기체를 흘려주는 경우, 그래핀의 일함수가 감소하고 그에 따라 밴드 기울기가 감소하여 광전류량이 감소하게 된다.
- [0073] 반대로, 그래핀에 전자를 받는 타입의 NO_2 기체를 흘려주는 경우, 그래핀의 일함수가 증가하고 그에 따라 밴드 기울기가 증가하여 광전류량이 증가하게 된다. 이를 통해 센서가 제안된 구동원리로 동작하는 것을 확인할 수 있다.
- [0074] 도 3의 (b)를 참조하면, H_2 도 그래핀에 전자를 주는 타입으로 H_2 기체를 흘려보내는 경우, 그래핀의 일함수가 감소하고 그에 따른 밴드 기울기가 감소하여 광전류량이 감소함을 알 수 있다.
- [0075] 도 4의 (a)는 dry air 및 50ppm NH_3 을 시간대별로 흘려보냈을 때의 광전류 변화를 나타낸 것이다.
- [0076] 도 4의 (a)를 참조하면, NH_3 가스에 의해 상부 그래핀이 P형 도핑 되어 쇼트키 접합의 내부 확산 전위(built-in potential)의 크기가 작아지게 되고 광전류량이 감소하게 된다. 이를 확인함으로써 화학물질의 존재여부를 알 수 있다.
- [0077] 도 4의 (b)는 dry air 및 50ppm H_2 를 시간대별로 흘려보냈을 때의 광전류 변화를 나타낸 것이다.
- [0078] 도 4의 (b)를 참조하면, H_2 가스가 상부 그래핀의 Pd에 흡착되어 Pd- H_x 를 형성하게 되고 이에 따라 상부 그래핀이 상대적으로 P형 도핑 되어 쇼트키 접합의 내부 확산 전위(built-in potential)의 크기가 작아지게 되고 광전류량이 감소하게 된다. 이를 확인함으로써 수소의 존재여부를 알 수 있다.
- [0079] 도 4의 (c)는 dry air 및 5ppm NO_2 를 시간대별로 흘려보냈을 때의 광전류 변화를 나타낸 것이다.
- [0080] 도 4의 (c)를 참조하면, NO_2 가스에 의해 상부 그래핀이 N형 도핑 되어 쇼트키 접합의 내부 확산 전위(built-in potential)의 크기가 커지게 되고 광전류량이 증가하게 된다. 이를 확인함으로써 화학물질의 존재여부를 알 수 있다.
- [0082] 실시예 4
- [0083] 수소(H_2)의 감지여부를 확인하기 위해 실시예 3과 동일하게 실시(그래핀과 n-Si가 접합된 이후에 그래핀 표면에 Pd를 증착하여 감지센서 소자를 제작)하였으며, H_2 를 1, 5, 50, 500, 1000ppm의 농도로 흘려보내 이를 센싱하였다.
- [0084] 도 5는 실시예 4의 감지센서를 이용한 빛 유무에 따른 수소 센싱그래프를 나타낸 것이다.
- [0085] 도 6은 실시예 4의 감지센서를 이용한 수소의 농도에 따른 광전류 변화 그래프를 나타낸 것이다.
- [0086] 도 5를 참조하면, 수소(H_2) 1000ppm을 흘려보내고, 빛을 존재할 때와 존재하지 않을 때의 광전류 변화를 나타낸

것인데, 빛이 존재하지 않은 경우(검정색) 0V에서 전류가 흐르지 않기 때문에 수소가 센싱되지 않는다.

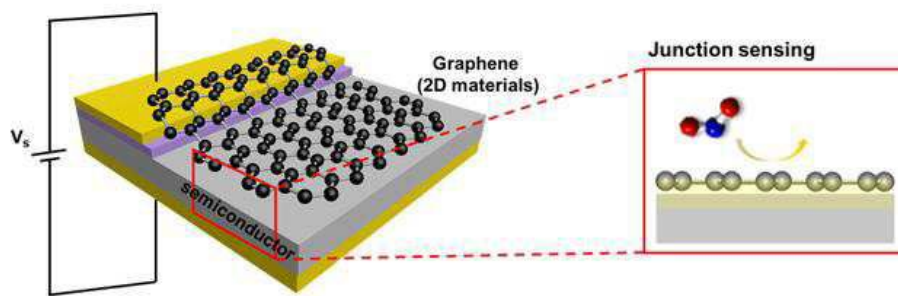
[0087] 반면에 빛이 존재(빨간색)하는 경우에는 빛에 의해 발생한 광전류에 의해 0V에서도 센싱이 가능함을 확인할 수 있다.

[0088] 도 6을 참조하면, 빛 조사하에서 시간에 따라 수소(H_2) 농도를 높여가면서 광전류의 변화를 측정하였다. 1, 5, 50, 500, 1000ppm로 농도 변화를 주었는데, 1 ppm에서도 광전류의 흐름을 파악할 수 있어, 작은 농도에서도 수소를 감지할 수 있음을 확인할 수 있었다.

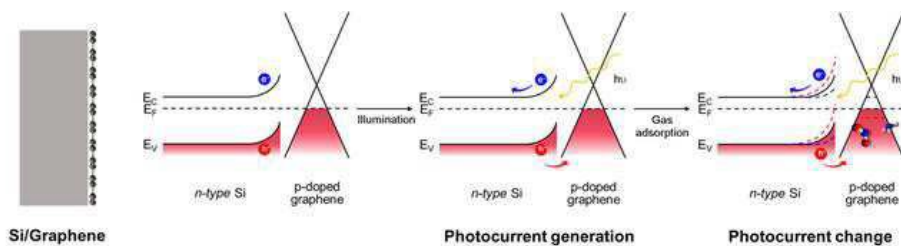
[0089] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 기술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며, 본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

도면

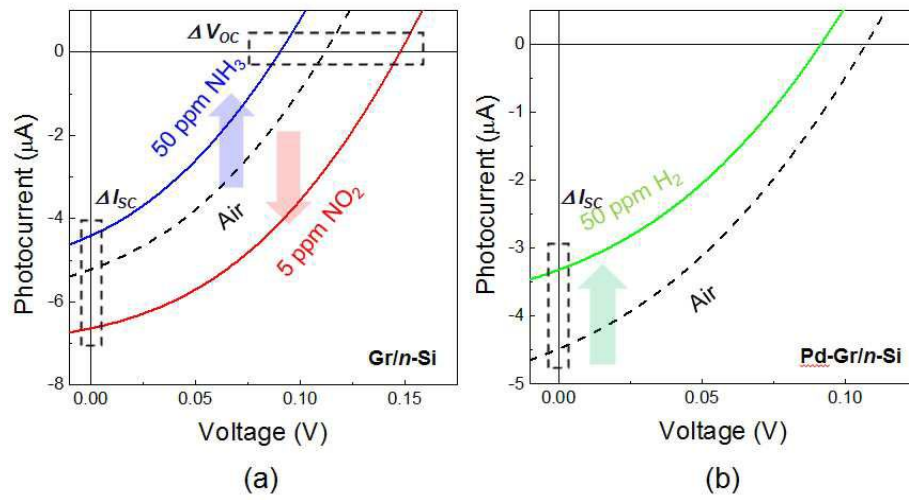
도면1



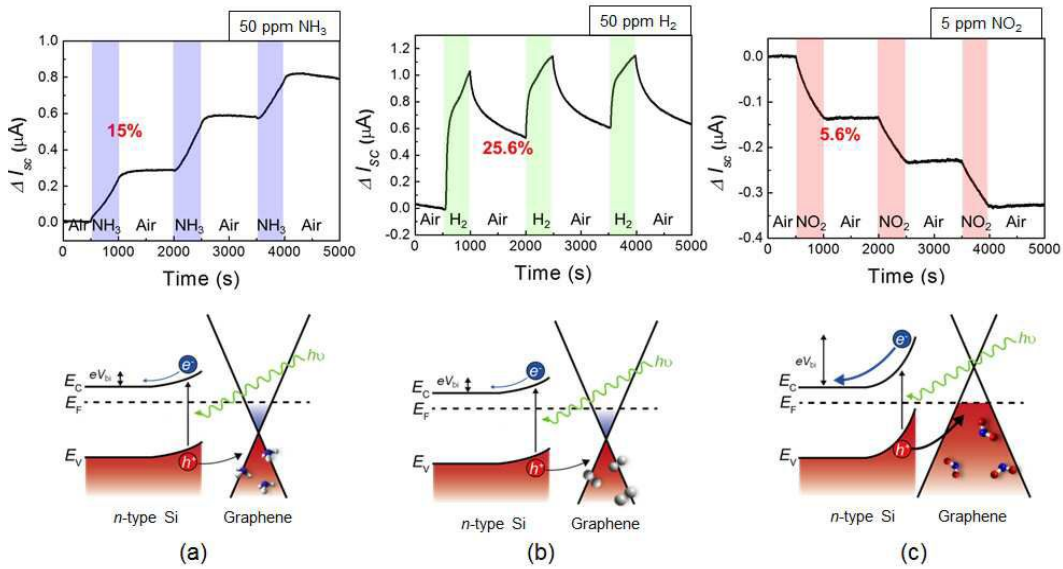
도면2



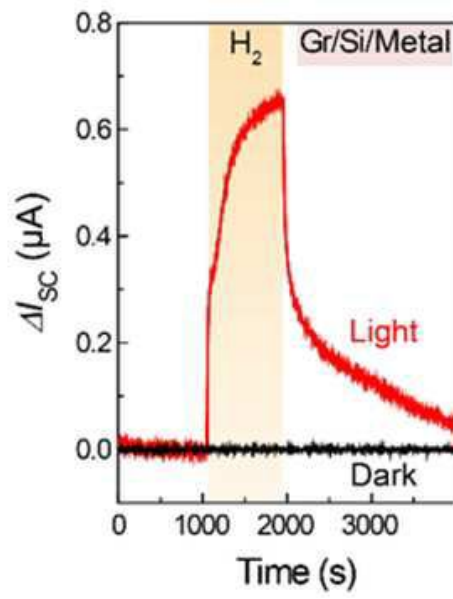
도면3



도면4



도면5



도면6

