



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년10월12일

(11) 등록번호 10-1558801

(24) 등록일자 2015년10월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/10 (2006.01) C01B 31/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0108712

(22) 출원일자 2014년08월21일

심사청구일자 2014년08월21일

(56) 선행기술조사문헌

US8554022 B1

US7005669 B1

US8742398 B2

US20130032782 A1

(73) 특허권자

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

최석호

경기 수원시 영통구 매영로 366, 726동 1103호 (영통동, 현대아파트)

신동희

충남 천안시 서북구 입장면 하장2길 19

김성

경기 수원시 영통구 영통로200번길 239, 101동 1103호 (영통동, 영통이-편한세상)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 8 항

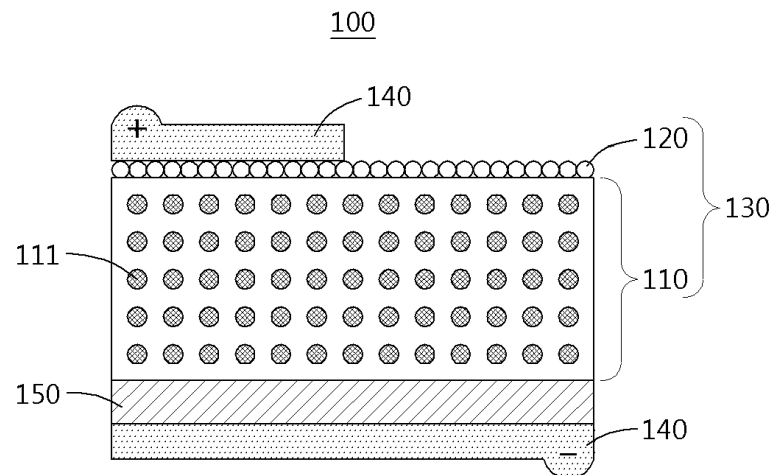
심사관 : 방기인

(54) 발명의 명칭 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 이용한 포토 다이오드 및 그 제조방법

(57) 요약

실리콘 양자점의 사이즈와, 그래핀의 도핑 농도의 제어를 통하여 광학적 특성 및 전기적 특성을 향상시킨 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드를 제공한다. 본 발명의 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드는 제작이 용이하고, 대면적 제작이 가능하며 자외선 영역에서 근적외선 영역까지 광검출 대역이 넓고, 선택적으로 흡수 에너지의 조절이 가능하다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2011-0017373

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 도전과제

연구과제명 그래핀 기반 융복합 나노구조의 특성 및 소자 응용 연구

기 여 율 1/1

주관기관 경희대학교산학협력단

연구기간 2011.05.01 ~ 2016.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

실리콘 산화물 박막 안에 형성된 실리콘 양자점(Si quantum dots)을 포함하는 실리콘 양자점층과, 상기 실리콘 양자점층 상에 형성되는 도핑된 그래핀으로 구성되는 하이브리드 구조(hybrid structure); 및

상기 하이브리드 구조의 상하부에 형성된 전극

을 포함하고,

상기 실리콘 양자점의 크기 및 상기 도핑된 그래핀의 도핑 농도에 따라 광학적 및 전기적 특성이 제어되는

그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 실리콘 양자점층은

기판 상에 SiO₂ 박막 및 SiO_x 박막을 순차적으로 적층한 이후, 1000℃ 내지 1200℃ 의 질소 분위기 상에서 열처리되어, 상기 SiO₂ 박막 안에 형성된 상기 실리콘 양자점을 포함하는

그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 x 는 0.8 내지 1.6의 값을 갖도록 제어되고, 상기 x의 값에 대응하여 상기 실리콘 양자점의 크기가 조절되는 것을 특징으로 하는

그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 SiO₂ 박막 및 SiO_x 박막은 각각 2nm 의 두께 단위로 순차적으로 23회 내지 25회 적층되는 것을 특징으로 하는

그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 도핑된 그래핀은 촉매층을 탄소 함유 혼합 가스와 반응시켜 상기 촉매층 상에 화학기상증착(CVD) 방식으로 증착되어 형성된 그래핀에 도핑 농도가 조절된 것을 특징으로 하는

그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 하이브리드 구조는 상기 증착되어 형성된 그래핀이 상기 실리콘 양자점층 상에 전사되어 형성되는 것을 특징으로 하는

그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 도핑된 그래핀은

10 내지 30nm 농도를 갖는 AuCl_3 를 상기 증착되어 형성된 그래핀에 스핀코팅하여, 90℃ 내지 110℃ 에서 어닐링 처리된 것을 특징으로 하는 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드.

청구항 8

기판 상에 실리콘 산화물 박막 안에 형성되는 실리콘 양자점을 포함하는 실리콘 양자점층을 형성시키는 단계;

상기 실리콘 양자점층 상에 도핑된 그래핀을 형성하여 하이브리드 구조를 형성시키는 단계; 및

상기 하이브리드 구조의 상부와, 상기 실리콘 양자점층이 형성된 기판의 하부에 각각 전극을 형성시키는 단계를 포함하는 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 실리콘 양자점의 사이즈와, 그래핀의 도핑 농도의 제어를 통하여 광학적 특성 및 전기적 특성을 향상시킨 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 그래핀은 높은 전기전도도를 가질 뿐만 아니라 광학적으로도 높은 성능을 가지고 있어서 플렉시블 디스플레이와 터치패널 등 차세대 디스플레이 분야와 태양전지 등 에너지 사업분야, 스마트윈도우, RFID 등 다양한 전자 산업 분야에서 신소재로 활용도가 확대되고 있다.

[0003] 최근 수년간 그래핀은 기초적인 학문의 발전뿐만 아니라, 산업적인 기술을 성장시킬 수 있는 가능성 때문에 많은 관심을 받고 있다. 특히 최근에는 그래핀의 대면적 제작기술이 개발되면서 다양한 산업분야에 그 응용 가능성이 확대되고 있다.

[0004] 그 중 산업전반에 널리 사용되고 있는 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)을 이용하여 제작한 그래핀은 대면적이면서도 높은 투과도 및 전기전도도를 가지기 때문에 투명전극으로서의 응용가능성이 기대된다.

[0005] 그래핀을 광 및 전자 소자에 활용하기 위해서는 반도체 소자구조의 기본인 다이오드 구조를 실현할 수 있어야 한다. 특히 그래핀이 현 산업전반에 널리 사용하는 실리콘 기반의 물질과 하이브리드 구조를 이루어 소자로 개발된다면 다른 물질과 비교하여 그 파급효과는 매우 클 것이다.

[0006] 광검출 소자 또는 광센서는 빛과 같은 전자기파 신호를 전기적인 신호로 변환시켜주는 광전 변환 센서로 이미지 센싱, 통신, 화학적/의학적/생물학적 센싱, 우주 산업과 같은 다양한 분야에 활용되고 있다.

[0007] 이러한 광검출 소자의 근간을 이루고 있는 대표적인 물질은 실리콘(Si)이다. 상용화된 실리콘 기반의 광검출 소자들은 각각 자외선, 가시광선 및 적외선 영역의 빛을 탐지할 수 있다. 기존의 광검출 소자는 광 검출 대역이 제한적이고 광 반응도가 낮고, Si의 띠 간격 에너지(Band gap energy)가 작기 때문에 상대적으로 높은 빛 에너지(자외선에서 가시광선 영역의 에너지)에 대해서는 열이 발생하여 소자의 수명을 단축시키는 문제점이 있다.

[0008] 이에, 자외선 및 가시광선 영역의 빛 흡수에 의하여 열 발생 현상을 최소화하기 위한, 에너지 밴드 갭이 큰 소재들을 이용한 광검출 소자의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0009] 특히 실리콘은 현 산업에서 가장 중요하게 이용되는 물질로서 에너지 밴드 갭을 조절할 수 있다면 그 파급효과는 막대할 것이다. 그 중에서도 실리콘 양자점은 양자구속효과(quantum confinement effect, QCE)로 인하여 벌크 단결정 실리콘 (bulk single-crystalline Si)과 비교하여 단파장 영역에서 더욱 증대된 광 흡수율 및 발광 효율을 기대할 수 있어서 차세대 광전자소자로서 매우 매력적인 물질 중의 하나로 주목 받고 있다.

- [0010] 또한, 미래에는 매우 얇고 유연한 광전자 소자가 요구되고 있어서 산, 학, 연에서는 이에 대한 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 실현시키기 위해서는 투명하고 유연성을 겸비한 기판을 사용하여야 하는데 이러한 기판은 열에 취약하기 때문에 고온에서 성장되는 그래핀이 대안이 될 수 있다.
- [0011] 또한, 고온에서 성장이 가능하다고 해도 공정이 복잡하고 그에 따라 발생하는 많은 비용들을 피할 수 없어, 상용화하는데 많은 제약이 따른다.
- [0012] 이에, 차세대 광검출 소자는 공정이 간단하면서도 투명하고 유연한 기판에 소자를 제작하는 것이 쉬어야 하고, 광대역, 고감도 및 고검출능의 높은 성능을 발휘할 수 있는 광검출 소자를 위한 적합한 물질 및 구조가 필요한 실정이다.
- [0013] 최근까지 가시광 영역에서 성능이 우수한 CdS, CdSe, PbS와 같은 콜로이드 양자점들을 기반으로 하는 광검출소자에 대한 연구들이 보고되고 있다. 콜로이드 양자점 기반 광검출 소자는 제작 공정이 단순하고 비용 소모도 적으면서도 감도가 좋다는 장점을 가지고 있다.
- [0014] 그러나, 동작전압이 40 내지 500V로 높고, 동작속도가 느린 단점이 있으며, 무엇보다 2006년 7월 1일부터 적용하는 RoHS(특정유해물질 사용제한)에 근거하여 Pb, Cd 기반의 물질들은 사용에 제한이 존재한다.
- [0015] 따라서, 전술한 기존 광검출 소자들이 가지고 있는 문제점들을 해결하기 위해서는 새로운 구조의 광검출 소자를 설계하고 제작하거나 새로운 광검출 소자용 물질을 개발하는 것이 필요하다.
- [0016] 최근 다양한 새로운 물질 및 구조를 가지는 광검출소자의 연구결과가 보고되고 있지만 광 반응도(Responsivity) 및 검출능(Detectivity)가 낮고, 비교적 높은 전압에서 구동되기 때문에 아직까지 상용화를 위해서는 어려운 점이 존재한다.
- [0017] 또한, 몇몇 성능이 우수하다고 보고되고 있는 광검출 소자는 제작 공정이 복잡하고, 대면적 소자제작이 어렵다는 문제점이 존재한다,

선행기술문헌

특허문헌

- [0018] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제2013-0056011호(2013.05.29), "복합 투명 전극을 포함하는 그래핀 기반 포토 디텍터와 그 제조방법 및 포토 디텍터를 포함하는 장치"
- (특허문헌 0002) 미국공개특허 제2014/0151631호(2014.06.05), "Asymmetric bottom contacted device"

비특허문헌

- [0019] (비특허문헌 0001) Xiaohong An, Fangze Liu, Yung Joon Jung, and Swastik Kar, Nano Lett. 2013, 13, 909-916

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0020] 본 발명은 제작이 용이하고, 대면적 제작이 가능하며 자외선 영역에서 근적외선 영역까지 광검출 대역이 넓고, 선택적으로 흡수 에너지의 조절이 가능한 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드 및 그 제조방법을 제공한다.
- [0021] 또한, 본 발명은 그래핀의 도핑 농도의 조절을 통한 그래핀의 페르미 준위의 제어를 통하여 광검출 소자의 성능을 최적화한 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드 및 그 제조방법을 제공한다.
- [0022] 또한, 본 발명은 실리콘 양자점의 사이즈 제어를 통하여 에너지 밴드 갭을 조절하여 포토 다이오드의 성능을 향상시킨 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드를 제공하고자 한다.
- [0023] 또한, 본 발명은 포토 다이오드 기반의 광전자 소자에 활용이 가능한 이상적인 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드

드 구조를 포함하는 포토 다이오드를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0024] 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드는 실리콘 산화물 박막 안에 형성된 실리콘 양자점(Si quantum dots)을 포함하는 실리콘 양자점층과, 상기 실리콘 양자점층 상에 형성되는 도핑된 그래핀으로 구성되는 하이브리드 구조(hybrid structure); 및 상기 하이브리드 구조의 상하부에 형성된 전극을 포함하고, 상기 실리콘 양자점의 크기 및 상기 도핑된 그래핀의 도핑 농도에 따라 광학적 및 전기적 특성이 제어된다.
- [0025] 또한, 상기 실리콘 양자점층은 기판 상에 SiO_2 박막 및 SiO_x 박막을 순차적으로 적층한 이후, 1000°C 내지 1200°C 의 질소 분위기 상에서 열처리되어, 상기 SiO_2 박막 안에 형성된 상기 실리콘 양자점을 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 x 는 0.8 내지 1.6의 값을 갖도록 제어되고, 상기 x의 값에 대응하여 상기 실리콘 양자점의 크기가 조절될 수 있다,
- [0027] 또한, 상기 SiO_2 박막 및 SiO_x 박막은 각각 2nm 의 두께 단위로 순차적으로 23회 내지 25회 적층될 수 있다.
- [0028] 상기 도핑된 그래핀은 촉매층을 탄소 함유 혼합 가스와 반응시켜 상기 촉매층 상에 화학기상증착(CVD) 방식으로 증착되어 형성된 그래핀에 도핑 농도가 조절된 것일 수 있다.
- [0029] 상기 하이브리드 구조는 상기 증착되어 형성된 그래핀이 상기 실리콘 양자점층 상에 전사되어 형성될 수 있다.
- [0030] 상기 도핑된 그래핀은 10 내지 30nm 농도를 갖는 AuCl_3 를 상기 증착되어 형성된 그래핀에 스핀코팅하여, 90°C 내지 110°C 에서 어닐링 처리될 수 있다.
- [0031] 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법은 기판 상에 실리콘 산화물 박막 안에 형성되는 실리콘 양자점을 포함하는 실리콘 양자점층을 형성시키는 단계; 상기 실리콘 양자점층 상에 도핑된 그래핀을 형성하여 하이브리드 구조를 형성시키는 단계; 및 상기 하이브리드 구조의 상하부에 전극을 형성시키는 단계를 포함한다.
- [0032] 상기 실리콘 양자점층을 형성시키는 상기 단계는, 기판 상에 SiO_2 박막 및 SiO_x 박막을 순차적으로 적층한 이후, 1000°C 내지 1200°C 의 질소 분위기 상에서 열처리되어, 상기 SiO_2 박막 안에 상기 실리콘 양자점을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 x 는 0.8 내지 1.6의 값을 갖도록 제어되고, 상기 x의 값에 대응하여 상기 실리콘 양자점의 크기가 조절될 수 있다.
- [0033] 하이브리드 구조를 형성시키는 상기 단계는, 촉매층을 탄소 함유 혼합 가스와 반응시켜 상기 촉매층 상에 화학기상증착(CVD) 방식으로 증착하여 그래핀을 형성하는 단계; 상기 형성된 그래핀이 상기 실리콘 양자점층 상에 전사되는 단계; 및 10 내지 30nm 농도를 갖는 AuCl_3 를 스핀코팅하여, 90°C 내지 110°C 에서 어닐링 처리하여 상기 그래핀을 도핑하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0034] 본 발명에 따르면 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드 및 그 제조방법을 제공하여, 제작이 용이하고, 대면적 제작이 가능하며 자외선 영역에서 근적외선 영역까지 광검출 대역이 넓고, 선택적으로 흡수 에너지의 조절이 가능하다.
- [0035] 또한, 본 발명에 따르면 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드 및 그 제조방법을 제공하여 그래핀의 도핑 농도를 조절을 통한 그래핀의 페르미 준위의 제어를 통하여 포토 다이오드의 성능을 최적화할 수 있다.
- [0036] 또한, 본 발명에 따르면 실리콘 양자점의 사이즈 제어를 통하여 에너지 밴드 갭을 조절하여 포토 다이오드의 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0037] 또한, 본 발명은 포토 다이오드 기반의 광전자 소자에 활용이 가능한 이상적인 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드를 제공한다.

[0038]

도면의 간단한 설명

[0039]

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드를 갖는 포토 다이오드를 도시한 것이다.

도 2a 내지 도 2e는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 과정을 도시한 것이다.

도 3a 내지 도 3f는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 그래핀의 도핑 농도 별 입사 파장의 변화에 따른 전류-전압 곡선을 도시한 것이다.

도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 도핑 농도 별 암전류 대 광전류의 비에 대한 그래프를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 그래핀의 도핑 농도에 따른 광 반응도를 도시한 그래프이고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 그래핀의 도핑 농도에 따른 양자 효율을 도시한 그래프이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 도핑 농도 별 광 검출능을 도시한 그래프이다.

도 8 및 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 선형 동작 범위(Linear Dynamic Range, LDR)를 설명하기 위해 도시한 그래프이다.

도 10 및 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 3-dB 대역폭을 설명하기 위해 도시한 그래프이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 실리콘 양자점의 크기 별로 파장에 대한 광반응도를 도시한 것이고, 도 13은 파장에 대한 광루미네센스(PL)를 도시한 그래프이며, 도 14는 도 12 및 도 13을 종합하여 도시한 그래프이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 활성층(active layer) 면적에 따른 광 반응도를 도시한 그래프이다.

도 16은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 크기에 따른 광 반응도를 도시한 그래프이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040]

이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0041]

소자(elements) 또는 층이 다른 소자 또는 층의 "위(on)" 또는 "상(on)"으로 지칭되는 것은 다른 소자 또는 층의 바로 위뿐만 아니라 중간에 다른 층 또는 다른 소자를 개재한 경우를 모두 포함한다. 반면, 소자가 "직접 위(directly on)" 또는 "바로 위"로 지칭되는 것은 중간에 다른 소자 또는 층을 개재하지 않은 것을 나타낸다.

[0042]

공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 소자 또는 구성 요소들과 다른 소자 또는 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 소자의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 소자를 뒤집을 경우, 다른 소자의 "아래(below 또는 beneath)"로 기술된 소자는 다른 소자의 "위(above)"에 놓여질 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 소자는 다른 방향으로도 배향될 수 있으며, 이 경우 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.

[0043]

본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다

른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

- [0044] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0045] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0046] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드를 갖는 포토 다이오드를 도시한 것이다.
- [0047] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드(100)는 도핑된 그래핀(130) 및 실리콘 양자점(111) 기반의 하이브리드 구조(130, hybrid structure) 및 하이브리드 구조(130)의 상하부에 형성된 전극(140)을 포함한다.
- [0048] 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드(100)는 실리콘 양자점(111)의 크기 및 도핑된 그래핀(130)의 도핑 농도에 따라 광학적 특성 및 전기적 특성이 제어된다.
- [0049] 하이브리드 구조(130)는 실리콘 산화물 박막 안에 형성된 실리콘 양자점(111)을 포함하는 실리콘 양자점층(110)과, 실리콘 양자점층(110) 상에 형성되는 도핑된 그래핀(120)을 포함한다.
- [0050] 도핑된 그래핀(120)은 촉매층을 탄소 함유 가스와 반응시켜 상기 촉매층 상에 화학기상증착(CVD) 방식으로 증착되어 형성된 그래핀에, 도핑 농도가 조절된 것일 수 있다.
- [0051] 예를 들어, 도핑된 그래핀(120)의 도핑 농도는 10 내지 30mM 농도를 갖는 $AuCl_3$ 를 상기 증착되어 형성된 그래핀에 스퍼코팅하여, 90℃ 내지 110℃ 에서 어닐링 처리하여 조절될 수 있다.
- [0052] 또한, 실시예에 따라 하이브리드 구조(130)는 상기 증착되어 형성된 그래핀이 실리콘 양자점층(110) 상에 전사되어 형성될 수 있다.
- [0053] 실리콘 양자점층(110)은 기판(150) 상에 SiO_2 박막 및 SiO_x 박막을 순차적으로 적층한 이후, 1000℃ 내지 1200℃ 의 질소 분위기 상에서 열처리되어 SiO_2 박막 안에 형성된 실리콘 양자점(111)을 포함할 수 있다. 상기 x는 0.8 내지 1.6의 값을 갖도록 제어되고, 상기 x의 값에 대응하여 실리콘 양자점(111)의 크기가 조절될 수 있다.
- [0054] 또한, 상기 SiO_2 박막 및 SiO_x 박막은 각각 2nm 의 두께 단위로 순차적으로 23회 내지 25회 적층될 수 있다.
- [0055] 도 2a 내지 도 2e는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 과정을 도시한 것이다.
- [0056] <실리콘 양자점의 제작>
- [0057] 도 1에서 전술한 바와 같이, 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드는 실리콘 산화물 박막 안에 형성된 실리콘 양자점(111)을 포함하는 실리콘 양자점층(110)을 포함한다.
- [0058] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법은 실리콘 양자점층(110)은 기판(150) 상에 SiO_2 박막(112) 및 SiO_x 박막(113)을 순차적으로 적층한 이후, 1000℃ 내지 1200℃ 의 질소 분위기 상에서 열처리되어 SiO_2 박막(112) 내부에 실리콘 양자점

(111)을 형성하는 과정을 포함할 수 있다.

[0059] 예를 들어, 실리콘 양자점층(110)은 이온빔 스퍼터링 증착법을 이용하여 기판(150) 상에 2nm 의 SiO_2 박막(112) 및 2nm 의 SiO_x 박막(113)을 교대로 선정된 주기로 증착하여, 1000℃ 내지 1200℃의 질소 분위기 상에서 20분간 급속 열처리 하여 형성될 수 있다. 이 경우, 2nm 의 SiO_2 박막(112) 및 2nm 의 SiO_x 박막(113)은 25번의 횟수 주기로 100nm 두께로 증착될 수 있고, 상기 x 는 0.8 내지 1.6의 값을 갖도록 제어되고, 상기 x의 값에 대응하여 상기 실리콘 양자점의 크기가 조절될 수 있다.

[0060] 또한, 상기 x 값은 X선 광전자 분광기(XPS)를 사용하여 조절될 수 있다.

[0061] 도 2c 및 도 2d 를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법은 화학기상증착법을 이용하여 단일층의 그래핀(120)을 제조한 이후, 제조된 단일층의 그래핀(120)을 실리콘 양자점층(120) 상에 전사하는 과정을 포함한다.

[0062] 하이브리드 구조(130)는 실리콘 산화물 박막 안에 형성된 실리콘 양자점(111)을 포함하는 실리콘 양자점층(110)과, 실리콘 양자점층(110) 상에 형성되는 도핑된 그래핀(120)을 포함한다.

[0063] 도핑된 그래핀(120)은 촉매층을 탄소 함유 가스와 반응시켜 상기 촉매층 상에 화학기상증착(CVD) 방식으로 증착되어 형성된 그래핀에, 도핑 농도가 조절된 것일 수 있다. 이하에서는 도핑된 그래핀의 제작과정을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0064] <도핑된 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조의 제작>

[0065] 화학기상증착법을 이용한 단일층의 그래핀 제조는 촉매층으로 활용할 구리(또는 니켈)를 기판 위에 증착하고, 고온에서 메탄 및 수소의 혼합가스와 반응시켜 적절한 양의 탄소가 촉매층에 녹아 들어가거나 흡착되도록 하고, 냉각을 하여 촉매층에 포함되어 있던 탄소원자들이 표면에서 결정화되면서 그래핀 결정 구조를 금속 위에 형성한다.

[0066] 이후, 합성된 그래핀 박막에서 촉매층을 제거함으로써 기판으로부터 분리시킨 후 단일층의 그래핀을 제조할 수 있다.

[0067] 본 발명의 실시예에서는 70um의 구리 호일을 석영관(quartz tube)에 넣고 메탄 가스의 유량을 10sccm에서 30sccm까지 변화시키고 수소 가스를 10sccm, 공정압력을 3mTorr로 고정하여 그래핀을 합성하였다.

[0068] 이후, 폴리메타크릴산메틸(Poly(methyl methacrylate) 및 벤젠을 혼합한 PMMA를 합성된 그래핀 위에 스핀-코팅하는데, PMMA의 코팅을 통하여 PMMA가 과황산암모늄(ammonium persulfate) 용액을 사용하여 구리 호일을 제거할 때 그래핀을 잡아서 고정시키는 역할을 하도록 하였다.

[0069] 이후, 과황산암모늄 용액에 구리 호일을 제거한 후, 그래핀 상에 잔존하는 과황산암모늄 용액을 초순수(DI water)로 세척하고, 세척된 그래핀을 300nm SiO_2/Si 기판 위에 전사하였다.

[0070] 다음으로, 그래핀을 SiO_2/Si 기판에 전사한 후 열처리를 통하여 기판 및 그래핀 사이의 결합력을 높였다. 열처리 이후, 아세톤을 사용하여 그래핀 위에 존재하는 PMMA를 제거하고, 그래핀 표면에 남아 있는 PMMA 잔여물을 제거하기 위해 급속열처리기로 열처리하여 최종적으로 단일층의 그래핀을 제조하였다.

[0071] 다시 도 2c 를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법은 화학기상증착법을 이용하여 단일층의 그래핀(120)을 제조한 이후, 제조된 단일층의 그래핀(120)을 실리콘 양자점층(120) 상에 전사하는 과정을 포함한다.

[0072] 다시 도 2d를 참조하면, 도핑된 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조(130)는 실리콘 양자점층(120) 상에 전사된 그래핀(120)에 도핑 농도를 조절함으로써 형성될 수 있다.

[0073] 구체적으로는 도핑된 그래핀(120)은 p형 또는 n형 도핑 용액을 그래핀에 스핀코팅하여 어닐링 처리하여 제작될 수 있다. 예를 들어, 도핑된 그래핀(120)은 증착되어 형성된 그래핀에 10mM 내지 30mM 농도를 갖는 AuCl_3 를 스핀코팅하여, 90℃ 내지 110℃ 에서 10분간 어닐링 처리한다. 도핑된 그래핀(120)의 도핑 농도는 AuCl_3 의 농

도를 조절하여 제어할 수 있다.

- [0074] <그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조의 포토 다이오드의 제작>
- [0075] 도 2e를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법은 도 2a 내지 도 2d 의 제조 과정을 통하여 형성된 기판 상에 형성된 도핑된 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조(130)의 상하부에 전극을 형성하는 과정을 포함한다.
- [0076] 예를 들면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법은 도핑된 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조(130)의 상하부에 크롬/금(Cr/Au) 금속을 순차적으로 증착시켜 전극을 형성하는 프로세스를 포함할 수 있다.
- [0077] 도 3a 내지 도 3f는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 그래핀의 도핑 농도 별 입사 파장의 변화에 따른 전류-전압 곡선을 도시한 것이다.
- [0078] 도 3a 내지 도 3f 에서는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대하여 제논 램프를 광원으로 사용하여 제논 램프에서 발생하는 빛을 단색화 분광기에 입사시킨 후 추출된 단색광을 그래핀 위에 조사하여 포토 다이오드의 파장에 따른 전류-전압 특성을 측정하였다.
- [0079] 도 3a 내지 도 3f 를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 조사되는 다양한 파장에 대하여 역방향 전압이 인가 될 때 광 전류의 변화가 매우 큼을 알 수 있다.
- [0080] 또한, 그래핀의 도핑 농도가 20 mM 일 때 다른 도핑 농도에 비해 큰 변화가 있고, 모든 그래핀의 도핑 농도에서 600 nm 파장에서 광 전류의 변화가 큰 것을 확인할 수 있다.
- [0081] 도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 도핑 농도 별 암전류 대 광전류의 비에 대한 그래프를 도시한 것이다.
- [0082] 도 4a 내지 도 4c 는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 도 3a 내지 도 3f 에 도시된 입사 파장의 변화에 따른 전류-전압 곡선으로부터 암전류에 대한 광전류의 비(Photo current/Dark current, PC/DC)를 도출하였고, 이를 그래핀의 도핑 농도에 대하여 도시한 것이다.
- [0083] 도 4a 내지 도 4c 를 참조하면, 암전류 대 광전류의 비(PC/DC)는 모든 입사 에너지에 대하여 인가전압이 -0.5 V 근처에서 가장 큼을 확인할 수 있고, 특히 도핑농도가 20 mM이고 입사 파장이 600 nm일 때 광전류는 암전류와 비교하여 11배 큼을 확인할 수 있다.
- [0084] 일반적으로 상용화된 실리콘 기반의 광검출기는 구동전압은 -15V인 것에 비해 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 구동전압은 매우 작은 값으로서 응용가능성이 매우 높다.
- [0085] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 그래핀의 도핑 농도에 따른 광 반응도를 도시한 그래프이고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 그래핀의 도핑 농도에 따른 양자 효율을 도시한 그래프이다.
- [0086] 도 5를 참조하면, 'Si' 라고 병기된 그래프는 상용화된 실리콘 기반의 광검출 소자의 광반응도를 도시한 것으로서, 상용화된 실리콘 기반의 광검출 소자의 경우 근자외선(~950nm) 에서 광 반응도가 가장 큰 반면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 경우 가시광 영역에서 상용화된 실리콘 기반의 광검출 소자보다 높음을 확인할 수 있다,
- [0087] 이는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 경우 실리콘 양자점의 광 흡수도가 가시광 영역에서 높기 때문에 광 반응도가 우수함을 나타낸다.

- [0088] 도 6을 참조하면, 'Si' 라고 병기된 그래프는 상용화된 실리콘 기반의 광검출 소자의 광반응도를 도시한 것으로서, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 외부 양자효율은 상용화된 실리콘 기반의 광검출 소자보다 가시광 영역에서 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.
- [0089] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 도핑농도 별 광 검출능을 도시한 그래프이다.
- [0090] 도 7을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 검출능은 가시광 영역에서 최고 10^9 Jones의 검출능을 보이며, 종래의 그래핀-단결정 실리콘 광검출 소자의 검출능($< 10^8$ Jones)보다 높음을 확인할 수 있다.
- [0091] 또한, 도 7에 도시된 바와 같이 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 검출능은 -1 V에서 가장 큰데, 이는 현재 상용화된 광검출 소자보다 매우 낮은 인가전압에서 검출능이 최대가 됨을 확인할 수 있다.
- [0092] 도 8 및 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 선형 동작 범위(Linear Dynamic Range, LDR)를 설명하기 위해 도시한 그래프이다.
- [0093] 도 8 및 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 선형 동작 범위(Linear Dynamic Range, LDR)의 도출을 위하여 532nm 레이저의 세기를 변화시키면서 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 광전류를 측정하는 것이다.
- [0094] 도 8를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 광전류를 측정하는 결과 빛의 세기가 증가함에 따라 광전류는 기울기가 1에 가까울 정도로 선형적으로 증가함을 확인할 수 있다.
- [0095] 또한, 도 8에 도시된 바와 같이 인가 전압이 증가함에 따라 선형적으로 광전류를 증가시킬 수 있는 빛의 세기의 범위가 증가함을 확인할 수 있는데, 이는 약한 빛부터 강한 빛까지 넓은 범위에서 소자의 광 반응이 저하되지 않고 일정하게 나타남을 의미한다. 보다 구체적으로는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드는 약한 빛 및 강한 빛에 국한되어 작동하는 것이 아님을 나타내며 수 nW에서 수 mW 까지 빛을 검출할 수 있는 우수한 성능을 포함하고 있음을 나타낸다.
- [0096] 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 선형 동작 범위는 인가 전압이 -1 V일 때에는 73 dB로 가시광 영역에서 우수한 성능을 포함하고 있음을 나타낸다.
- [0097] 도 10 및 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 3-dB 대역폭을 설명하기 위해 도시한 그래프이다.
- [0098] 도 10은 광원의 주파수에 따른 광반응도를 인가 전압 별로 도시한 것이고, 도 11은 도 10으로부터 도출되는 인가 전압에 따른 광원의 주파수를 도시한 것이다.
- [0099] 도 10 및 도 11으로부터, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 입사광의 주파수 변화에 따른 광반응도에서 도출된 주파수에 대한 작동범위인 3dB 대역폭으로부터 주파수에 대한 작동 범위를 알 수 있다.
- [0100] 도 10 및 도 11을 참조하면 인가 전압이 -5V 인 경우 3dB 대역폭이 10^5 Hz까지 증가하여, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 민감도가 우수함을 확인할 수 있다.
- [0101] 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 실

리콘 양자점의 크기 별로 파장에 대한 광반응도를 도시한 것이고, 도 13은 파장에 대한 광루미네센스(PL)를 도시한 그래프이며, 도 14는 도 12 및 도 13을 종합하여 도시한 그래프이다.

[0102] 도 12 내지 도 14를 참조하면, 그래핀의 도핑 농도는 20mM로 고정된 경우에 실리콘 양자점의 크기에 따라 광 반응도와 광루미네센스 피크(PL peak)의 이동 경향이 유사함을 확인할 수 있고, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 광 반응도와 광루미네센스 모두가 실리콘 양자점의 크기가 작아짐에 따라 양자구속효과에 따라 청색천이(blue-shift)함을 확인할 수 있다.

[0103] 또한, 도 12 내지 도 14에 도시된 바와 같이 광 반응도의 피크에 비해 광루미네센스 피크가 장파장 쪽에 치우친 것은 광 반응도의 피크는 흡수와 관련되기 때문이다.

[0104] 또한, 광루미네센스 피크의 경우에는 에너지 밴드 상의 밸런스 밴드(valence band)에 있는 전자가 전도대(conduction band)로 여기되고, 여기된 전자는 Si=O 인 인터페이스 상태(interface state)로 전이되면서 떨어지기 때문에 실제 에너지 밴드갭의 에너지보다는 작게 나타나게 되어 장파장 쪽에서 광루미네센스 피크가 나타나게 된다.

[0105] 도 12 내지 도 14에 도시된 바와 같이 광 반응도와 광루미네센스 모두 실리콘 양자점 사이즈가 2.8nm 일 때 가장 크게 나타남을 확인할 수 있는데, 이는 실리콘 양자점들의 표면적에 비해 결함(defect)이 적기 때문이다.

[0106] 또한, 본 발명의 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 경우, 실리콘 양자점 크기가 2.8 nm, 그래핀의 AuCl₃ 의 도핑농도가 20 mM 일 때 가장 우수한 특성을 보였다.

[0107] 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드에 대한 활성층(active layer) 면적에 따른 광 반응도를 도시한 그래프이다.

[0108] 광검출 소자의 경우 소자의 크기에 상관없이 광 반응도가 유지 되는 것이 중요하다.

[0109] 도 15는 본 발명의 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 최적화된 5 mm x 5 mm 시료에 대해 활성층 면적에 따른 광 반응도의 변화 측정을 위하여 레이저 빔의 크기를 다르게 하여 광 반응도를 측정한 것이다.

[0110] 또한, 광 반응도의 측정을 위해 사용된 레이저의 파장은 325 nm 및 532 nm로서, 레이저 빔의 크기, 즉 활성층 면적에 대해 10포인트 씩 측정하여 측정된 값들에 대한 평균값을 계산하여 도시하였다.

[0111] 도 15를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 활성층의 면적이 달라져도 광 반응도는 유지됨을 확인할 수 있다.

[0112] 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 크기에 따른 광 반응도를 도시한 그래프이다.

[0113] 도 16에서는 광 반응도의 측정을 위해 사용된 레이저의 파장은 325 nm 및 532 nm를 사용하였다.

[0114] 도 16을 참조하면, 본 발명의 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 크기(그래핀의 사이즈)가 작아짐에 따라 광 반응도는 작아지는 것을 확인할 수 있고, 포토 다이오드의 크기가 작아지더라도 광 반응도는 크게 감소하지 않음을 알 수 있다.

[0115]

[0116] 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 그래핀-실리콘 양자점 하이브리드 구조를 포함하는 포토 다이오드의 제조 방법을 도시한 흐름도이다.

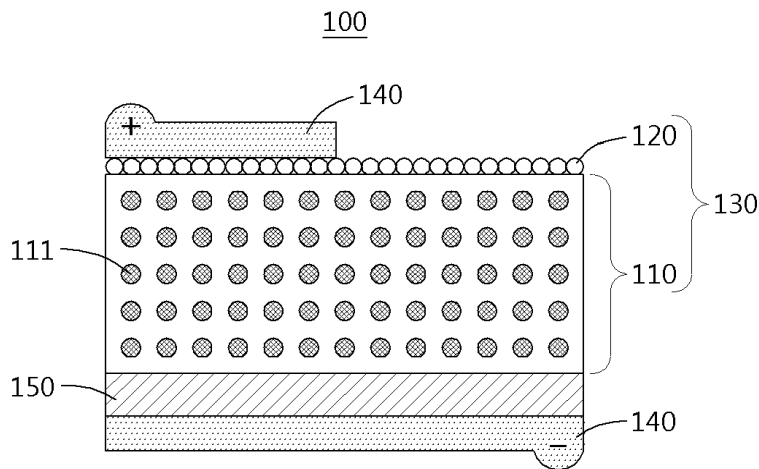
[0117] 도 17을 참조하면, 단계 1710에서 기판 상에 실리콘 산화물 박막 안에 형성되는 실리콘 양자점을 포함하는 실리콘 양자점층을 형성시킨다.

[0118] 단계 1710은 기판 상에 SiO₂ 박막 및 SiO_x 박막을 순차적으로 적층한 이후, 1000℃ 내지 1200℃ 의 질소 분위기 상에서 열처리되어, 상기 SiO₂ 박막 안에 상기 실리콘 양자점을 형성하는 단계일 수 있다. 이 때, 상기 x 는 0.8 내지 1.6의 값을 갖도록 제어되고, 상기 x의 값에 대응하여 상기 실리콘 양자점의 크기가 조절될 수 있다.

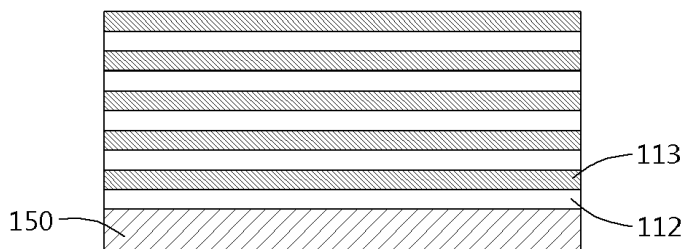
- [0119] 단계 1720에서 실리콘 양자점층 상에 도핑된 그래핀을 형성하여 하이브리드 구조를 형성시킨다.
- [0120] 단계 1720은 촉매층을 탄소 함유 혼합 가스와 반응시켜 촉매층 상에 화학기상증착(CVD) 방식으로 증착하여 그래핀을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0121] 또한, 단계 1720은 형성된 그래핀이 실리콘 양자점층 상에 전사되고, 10 내지 30nm 농도를 갖는 AuCl_3 를 스핀 코팅하여, 90℃ 내지 110℃ 에서 어닐링 처리하여 그래핀을 도핑하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0122] 단계 1730에서 하이브리드 구조의 상하부에 전극을 형성시킨다.
- [0123] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0124]
- [0125] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

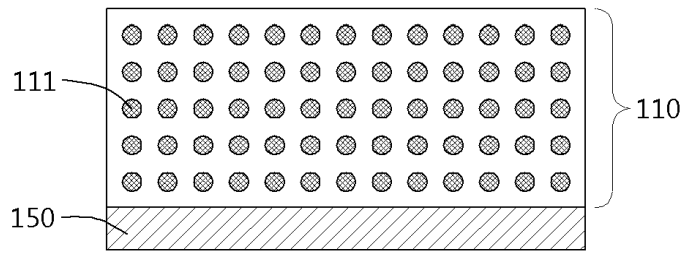
도면1



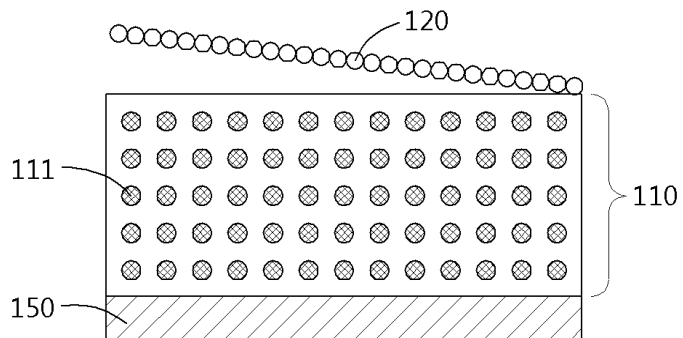
도면2a



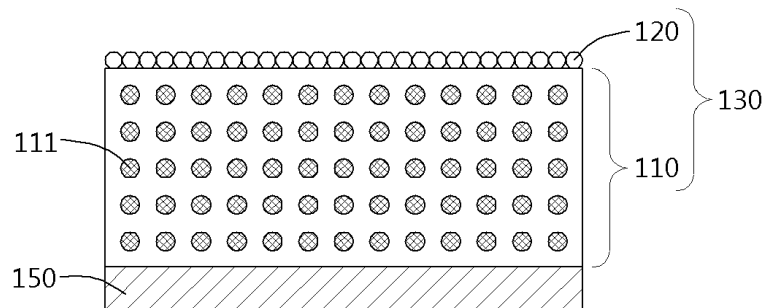
도면2b



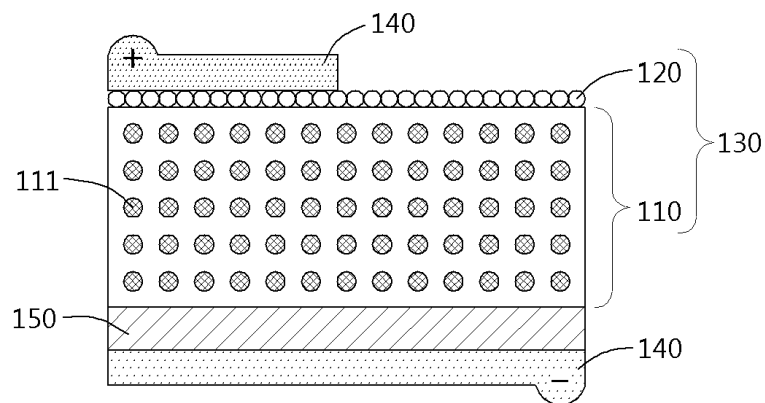
도면2c



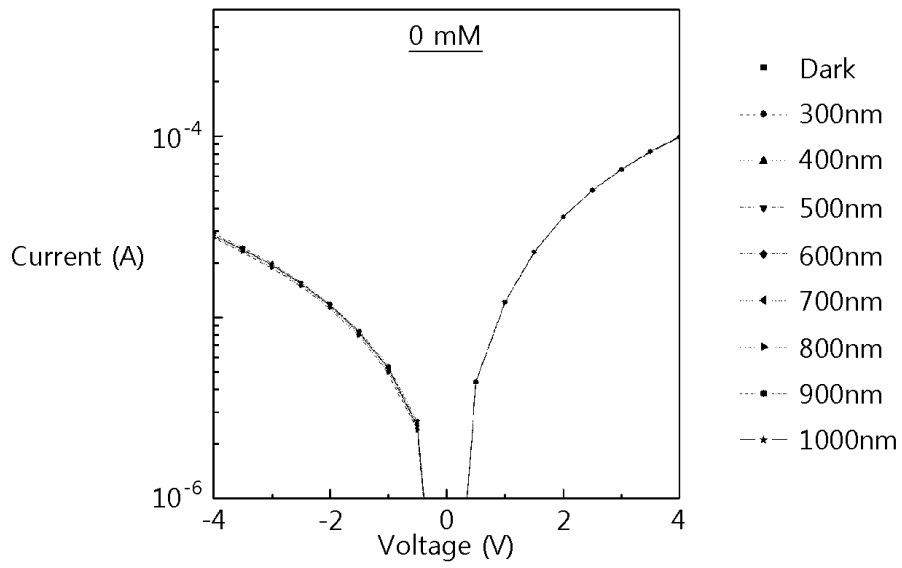
도면2d



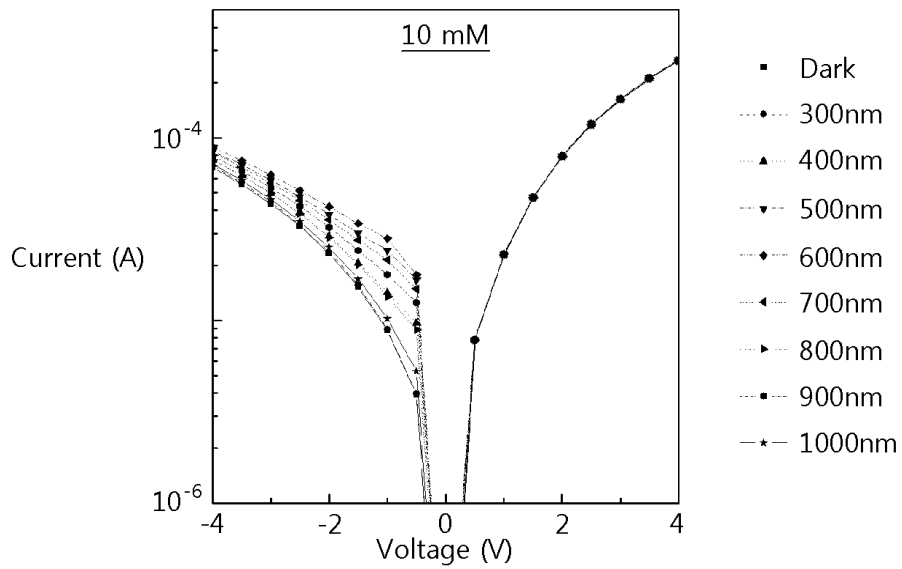
도면2e



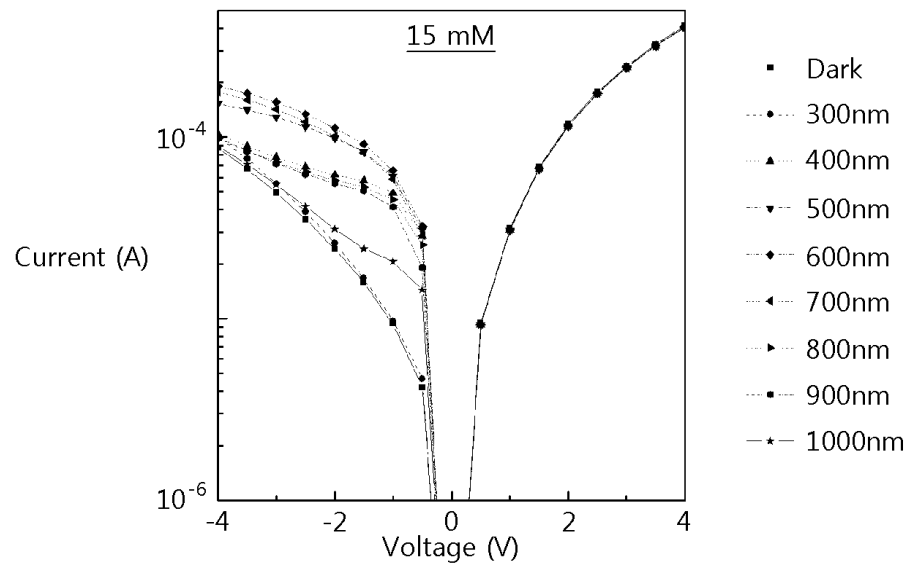
도면3a



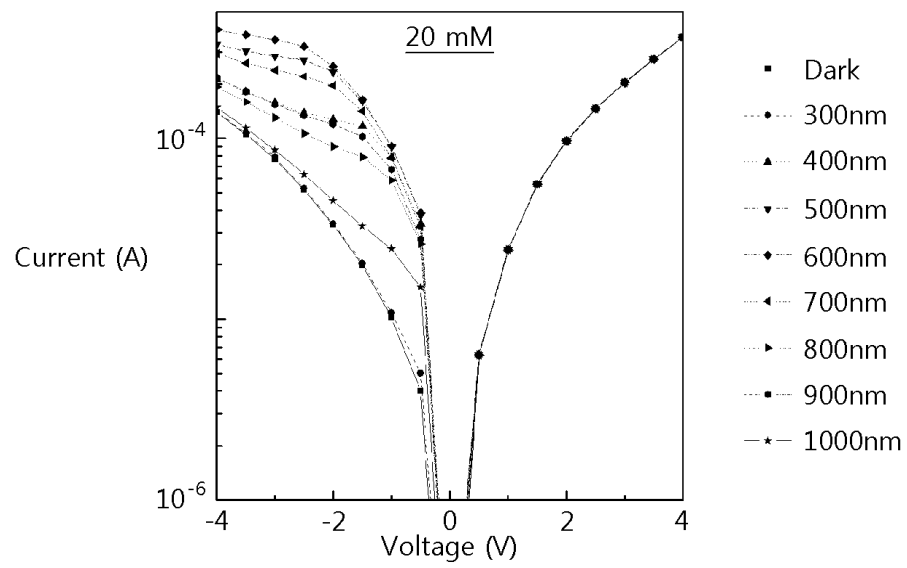
도면3b



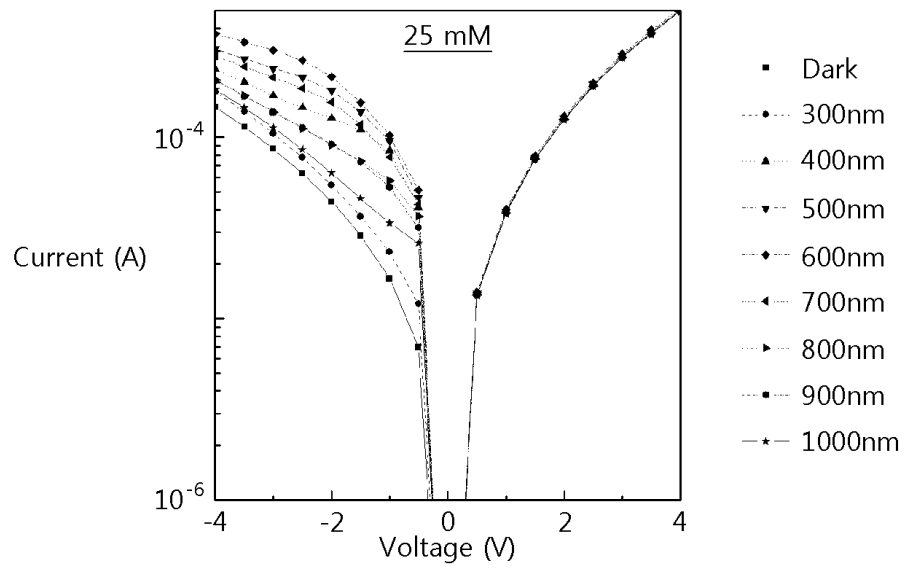
도면3c



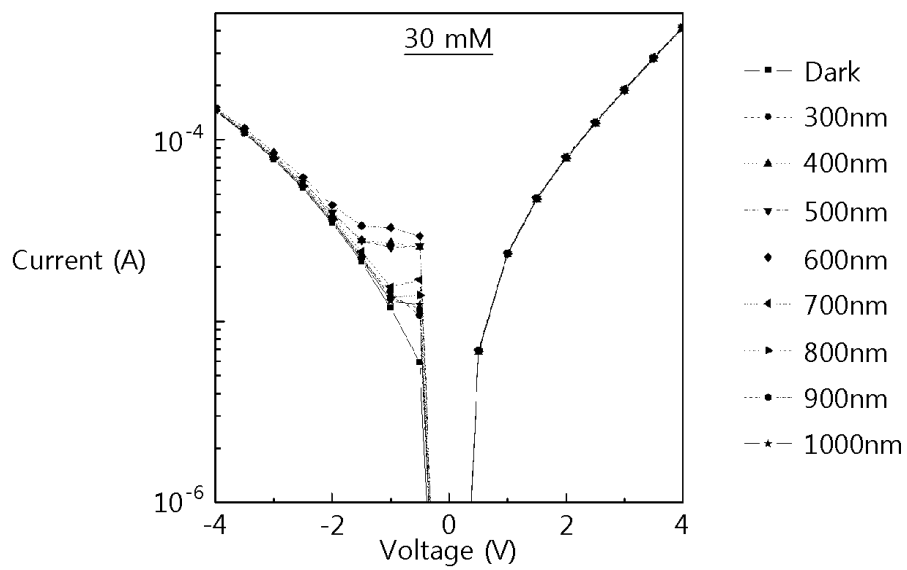
도면3d



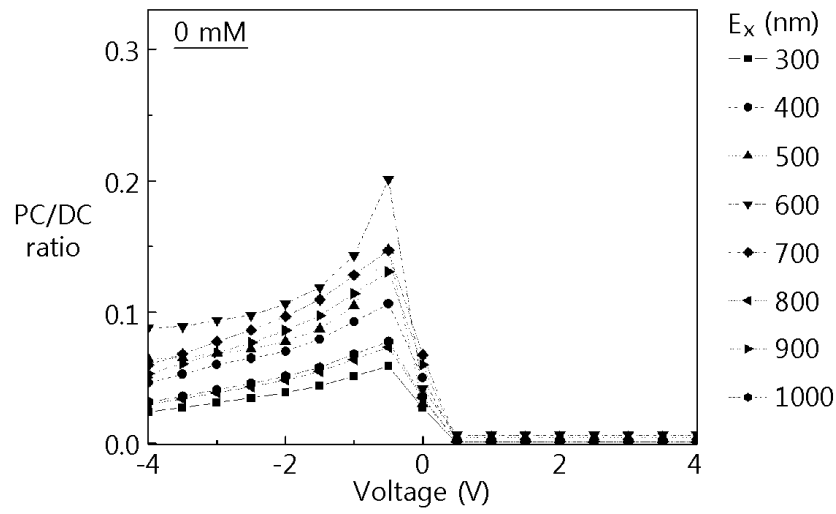
도면3e



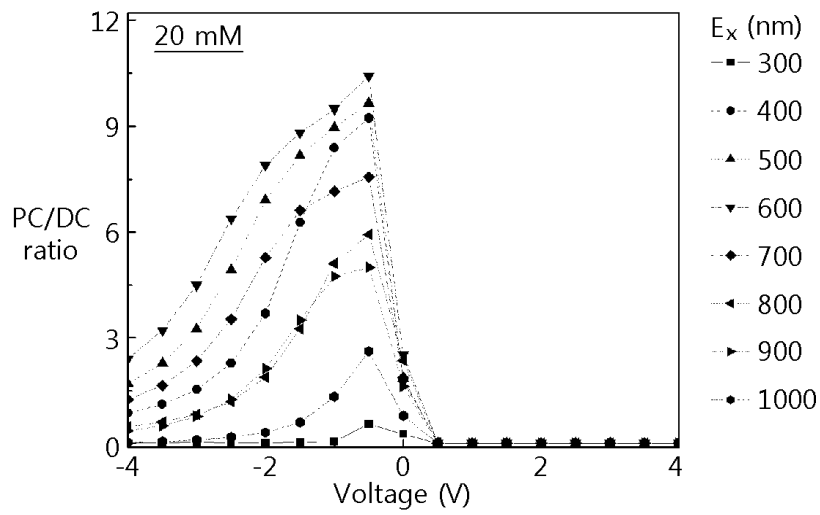
도면3f



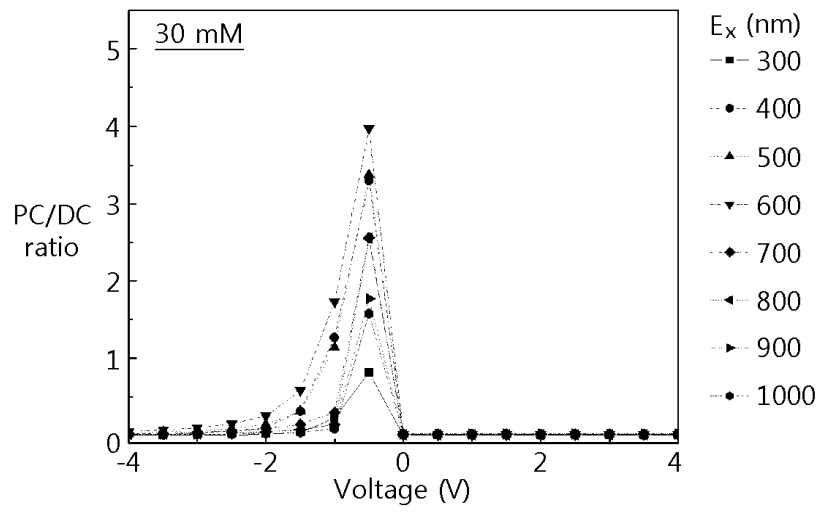
도면4a



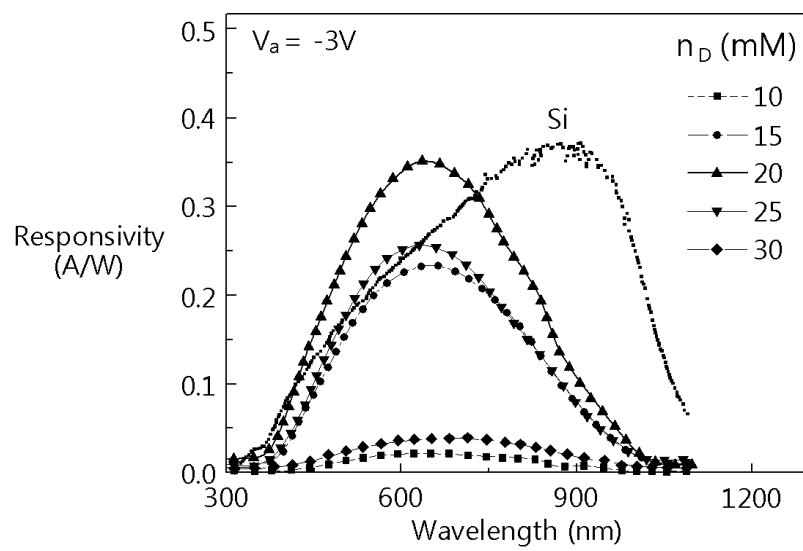
도면4b



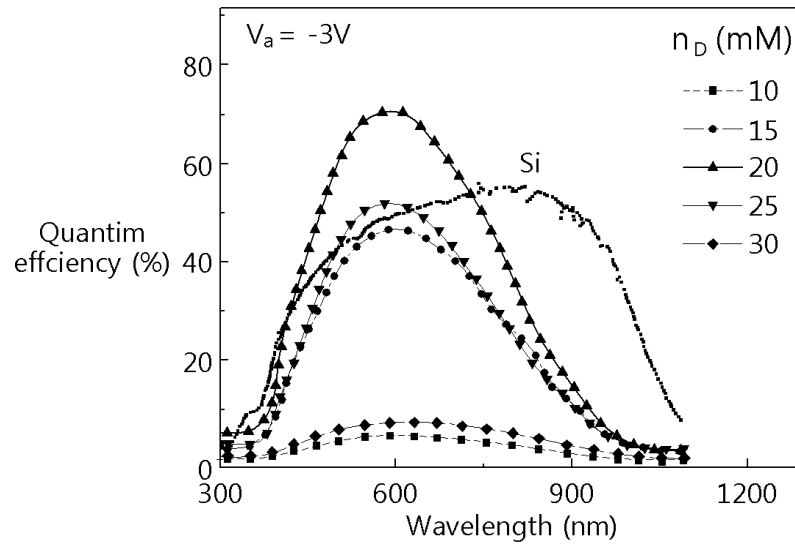
도면4c



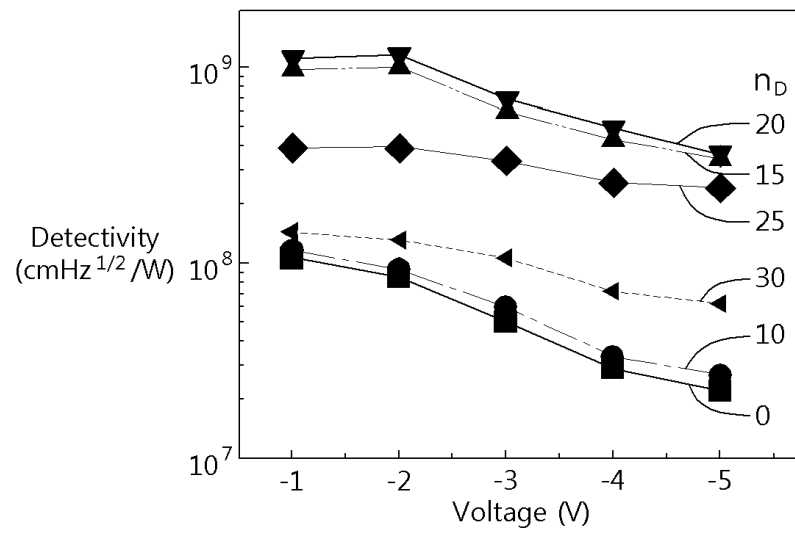
도면5



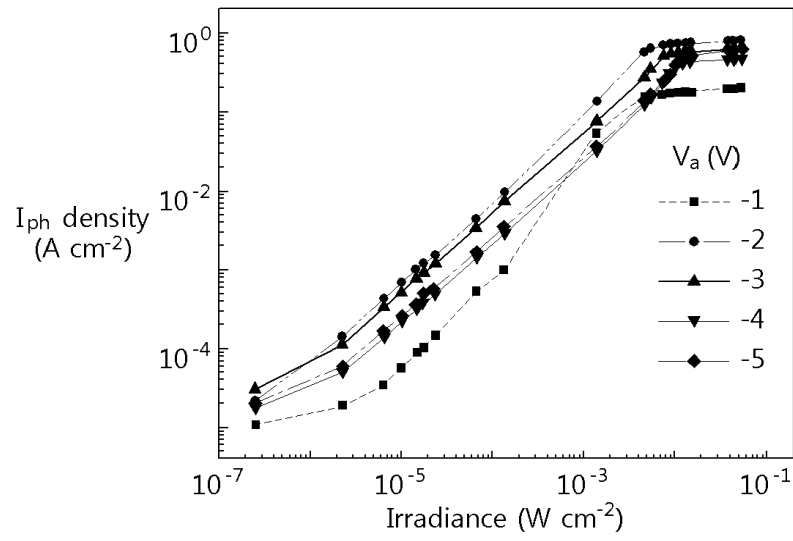
도면6



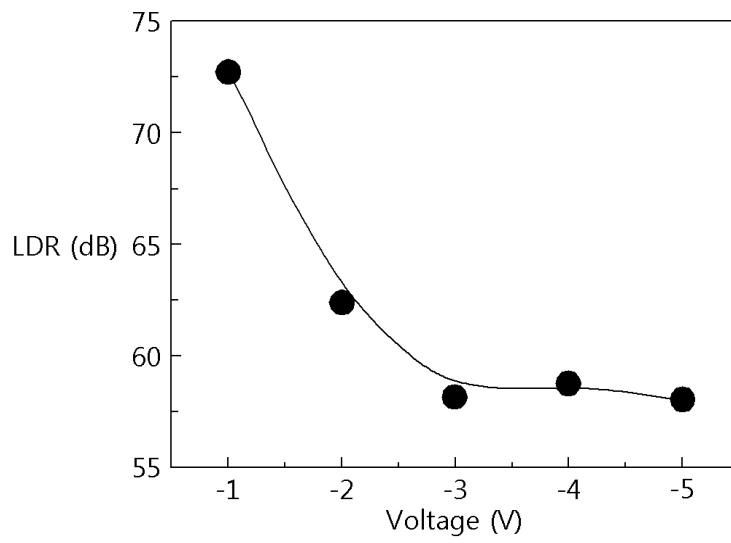
도면7



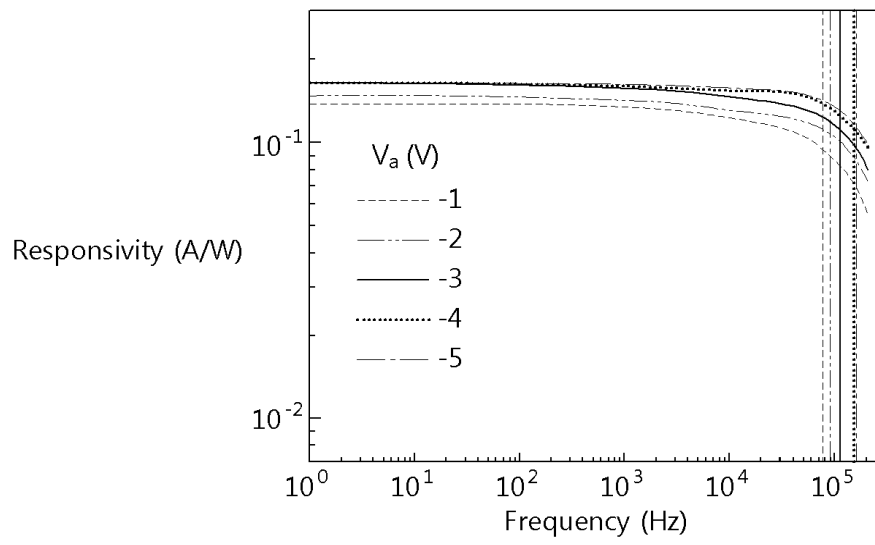
도면8



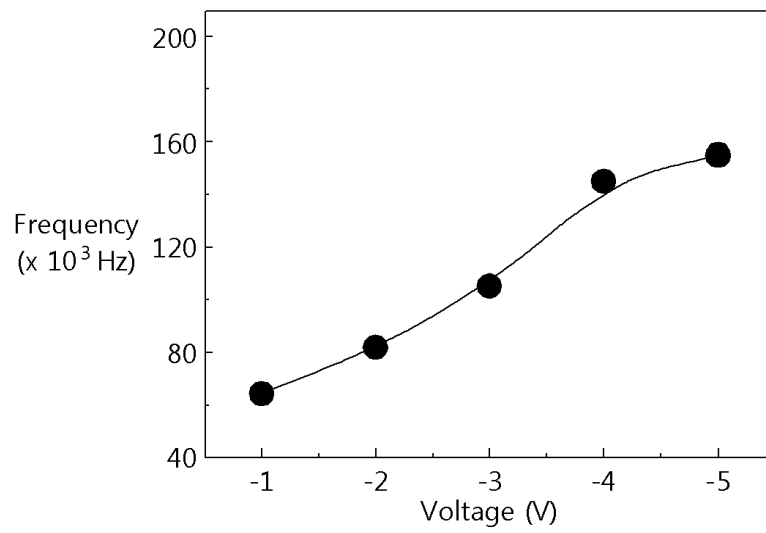
도면9



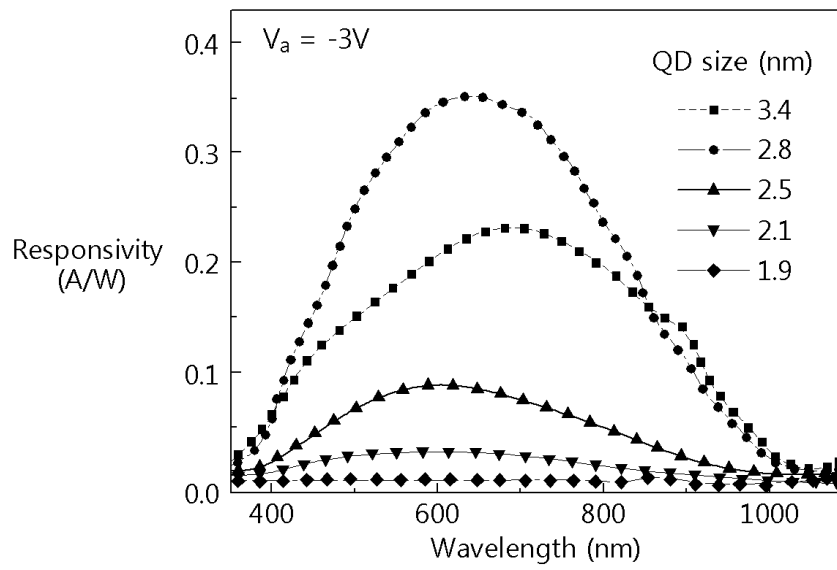
도면10



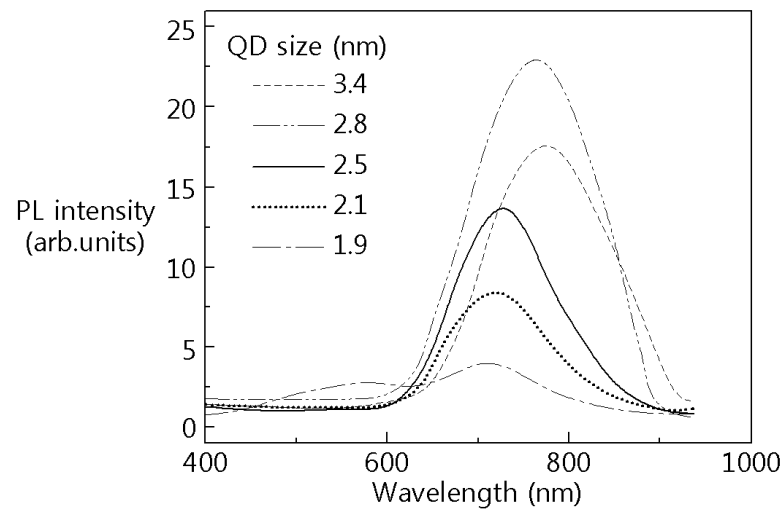
도면11



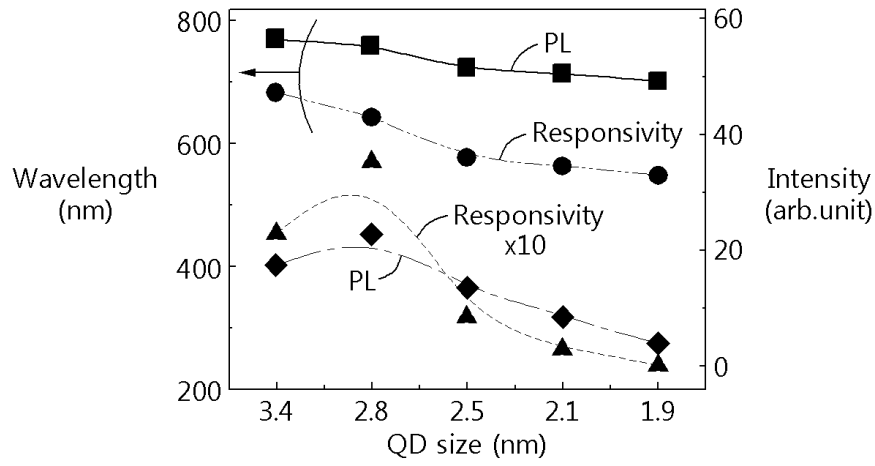
도면12



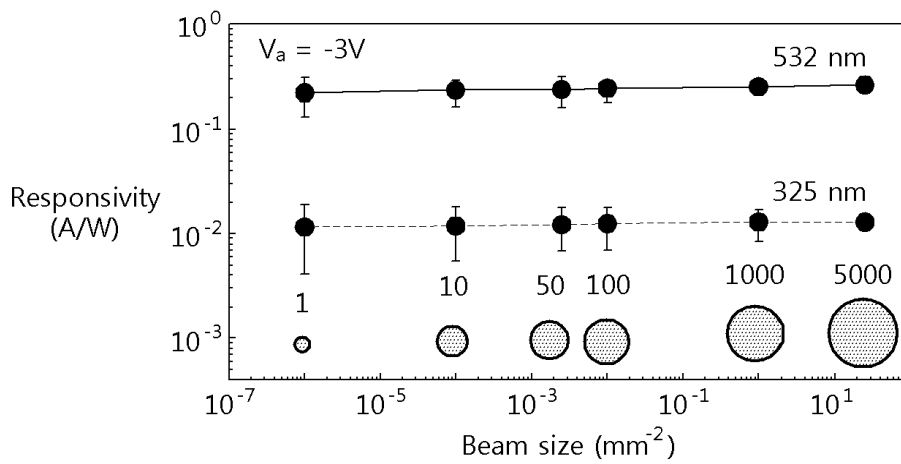
도면13



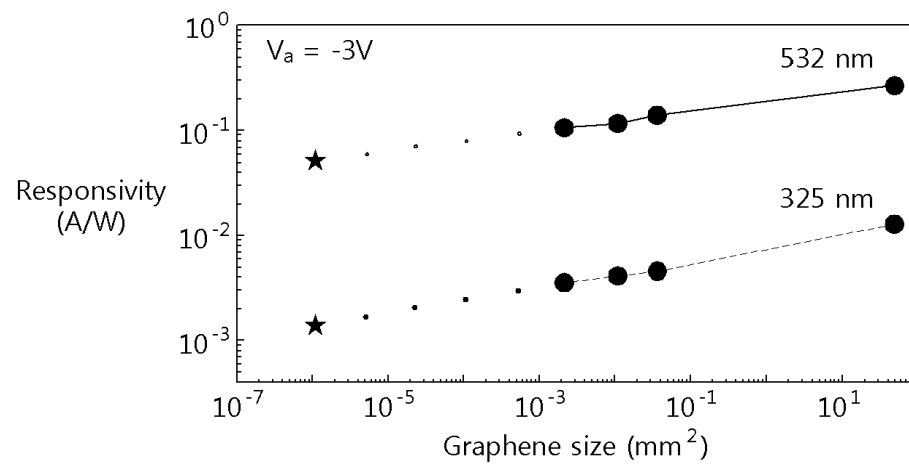
도면14



도면15



도면16



도면17

