(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0004532
(43) 공개일자 2021년01월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/09 (2006.01) *H01L 31/0224* (2006.01)
H01L 31/0304 (2006.01) *H01L 31/032* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/09 (2013.01)
H01L 31/0224 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0081098
(22) 출원일자 2019년07월05일
심사청구일자 2019년07월05일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
유현용
서울특별시 서초구 신반포로 270, 130동 2403호
김승근
서울특별시 광진구 구의로 29, 302호
(74) 대리인
김홍석

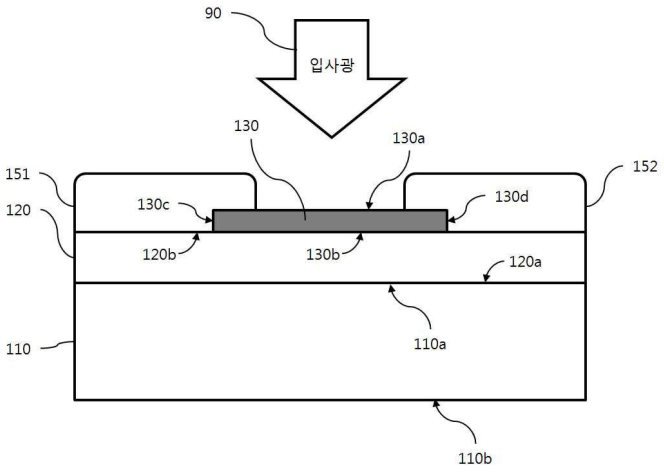
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **수광 소자 및 이를 이용한 광 측정 방법**

(57) 요 약

수광 소자 및 이를 이용한 광 측정 방법에 관한 것으로, 수광 소자는 넓은 밴드 갭을 갖는 물질을 포함하는 채널부 및 상기 채널부가 직접 또는 간접적으로 형성되는 조절전극부를 포함하되, 상기 조절전극부의 전부 또는 일부는 좁은 밴드 갭을 갖는 협밴드갭물질을 포함하여 형성된 것일 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 31/03046 (2013.01)
H01L 31/032 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

제1 밴드 갭(band gap)을 갖는 제1 밴드갭물질을 포함하는 채널부; 및

상기 채널부가 직접 또는 간접적으로 형성되는 조절전극부를 포함하되,

상기 조절전극부의 전부 또는 일부는 상기 제1 밴드 갭 보다는 좁은 제2 밴드 갭을 갖는 제2 밴드갭물질, 상기 제2 밴드갭물질의 화합물, 또는 상기 제2 밴드갭물질을 포함하는 혼합물을 이용하여 형성된,

수광 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 밴드갭물질은 저마늄(Ge), 인듐(In), 갈륨(Ga) 및 이들 중 적어도 하나를 포함하는 합성물 중 적어도 하나를 포함하는,

수광 소자.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 수광 소자는 상기 채널부와 상기 조절전극부 사이에 형성되는 산화층을 더 포함하는,

수광 소자.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 수광 소자에 적외선이 입사되면, 상기 조절전극부는 상기 적외선을 흡수하고, 상기 조절전극부 내에는 전자, 정공 쌍이 형성되며, 상기 전자는 상기 산화층 또는 상기 조절전극부의 계면에 축적되고,

상기 산화층 또는 상기 조절전극부의 계면에 축적된 전자에 의해 상기 채널부의 에너지 밴드가 증가하는,

수광 소자.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 채널부에는 입사되는 광의 종류에 따라서 상이한 크기의 전류가 흐르는,

수광 소자.

청구항 6

제5항에 있어서,

적외선이 입사된 경우, 상기 채널부에는 가시 광선의 입사 시에 흐르는 전류보다 작은 전류가 흐르는,

수광 소자.

청구항 7

제5항에 있어서,

가시광선이 입사된 경우, 상기 채널부에는 암전류보다 큰 전류가 흐르고,

적외선이 입사된 경우, 상기 채널부에는 암전류보다 작은 크기의 전류가 흐르는,

수광 소자.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 조절전극부에는 캐리어수신부 및 캐리어공급부가 직접 또는 간접적으로 형성되고,

상기 채널부는 상기 캐리어수신부 및 상기 캐리어공급부와 전기적으로 연결되는,

수광 소자.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제2 밴드갭물질은 이차원 물질을 포함하는,

수광 소자.

청구항 10

2차원 물질을 포함하는 채널부 및 상기 채널부가 직접 또는 간접적으로 형성되는 조절전극부를 포함하는 수광 소자에 광이 입사되는 단계;

상기 채널부에 전류가 생성되는 단계;

상기 채널부에 생성된 전류가 측정되는 단계; 및

측정되는 전류의 크기에 따라서 입사된 광의 종류가 식별되는 단계를 포함하되,

상기 조절전극부의 전부 또는 일부는 상기 채널부에 포함되는 제1 밴드갭물질의 밴드갭인 제1 밴드갭 보다 좁은 제2 밴드갭을 갖는 제2 밴드갭물질로 형성되거나 또는 상기 제2 밴드갭물질을 포함하는 화합물로 형성된,

광 측정 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 입사된 광의 종류가 식별되는 단계는,

상기 측정되는 전류의 크기가 미리 정의된 값보다 크면, 상기 입사된 광이 가시 광으로 식별되는 단계; 및

상기 측정되는 전류의 크기가 상기 미리 정의된 값보다 작으면, 상기 입사된 광이 적외선 광으로 식별되는 단계

중 적어도 하나를 포함하는,

광 측정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 수광 소자 및 이를 이용한 광 측정 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 수광 소자는 광을 수신하고 수신한 광에 대응하는 신호를 출력할 수 있는 부품 또는 소자를 의미한다. 최근에는 보안 분야, 군사 분야, 자율 주행 분야, 통신 분야 또는 로봇 산업 분야 등 다양한 분야에서 적외선을 감지하고 감지된 적외선을 기반으로 다양한 제어, 관리 또는 동작을 수행하는 기술이 소개되고 있다. 이와 같은 적외선 감지 및 감지 효율을 위하여 다양한 수광 소자가 개발되고 있다. 그러나, 광을 수신하는 소재의 특성 상의 한계나, 이들 소재의 구조를 구현하는 과정의 난해함 등에 따라 다양한 대역에서 높은 효율성을 갖는 수광 소자의 구현에 어려움이 존재하였다. 한편, 근자에 그래핀(Graphene)이나 흑린(black phosphorus) 등을 채널로 이용하는 수광 소자가 개발되었다. 그래핀이나 흑린을 채널로 이용하는 수광 소자는 적외선 영역의 광을 흡수 가능하다는 장점은 있다. 그러나, 그래핀은 제로 밴드 갭을 가지므로 수광 소자 내의 광전하의 생존 시간이 짧을 뿐만 아니라 수광 소자가 높은 암전류를 가진다는 단점을 가지고 있다. 또한, 흑린을 이용하는 수광 소자는 흑린의 강한 흡습성과 산화성 때문에 소자 공정의 난도가 매우 높아진다는 단점을 가지고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 미합중국 등록특허 제9,653,639호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 넓은 범위의 광을 감지할 수 있는 수광 소자 및 이를 이용한 광 측정 방법을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 실시 예에 따른 수광 소자는 제1 밴드 갭(band gap)을 갖는 제1 밴드갭물질을 포함하는 채널부 및 상기 채널부가 직접 또는 간접적으로 형성되는 조절전극부를 포함하되, 상기 조절전극부의 전부 또는 일부는 상기 제1 밴드 갭 보다는 좁은 제2 밴드 갭을 갖는 제2 밴드갭물질, 상기 제2 밴드갭물질의 화합물, 또는 상기 제2 밴드갭물질을 포함하는 혼합물을 이용하여 형성된다.

[0009] 또한, 본 발명의 실시 예에 따른 광 측정 방법은 2차원 물질을 포함하는 채널부 및 상기 채널부가 직접 또는 간접적으로 형성되는 조절전극부를 포함하는 수광 소자에 광이 입사되는 단계, 상기 채널부에 전류가 생성되는 단계, 상기 채널부에 생성된 전류가 측정되는 단계, 및 측정되는 전류의 크기에 따라서 입사된 광의 종류가 식별되는 단계를 포함하되, 상기 조절전극부의 전부 또는 일부는 상기 채널부에 포함되는 제1 밴드갭물질의 밴드갭인 제1 밴드갭 보다 좁은 제2 밴드갭을 갖는 제2 밴드갭물질로 형성되거나 또는 상기 제2 밴드갭물질을 포함하는 화합물로 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0011] 상술한 수광 소자 및 이를 이용한 광 측정 방법에 의하면, 적외선 광을 포함하여 넓은 범위의 광을 감지할 수 있게 되는 효과를 얻을 수 있다.

[0012] 또한, 낮은 공정 온도에서도 높은 광효율을 유지하면서도 넓은 대역폭의 광의 수신이 가능해지는 효과도 얻을 수 있다.

[0013] 또한, 2차원 물질을 채널부로 사용하는 경우에도 기존에 검출이 어려웠던 적외선 영역의 광을 감지할 수 있게 되어, 자외선 또는 가시광선 영역에서 적외선 영역까지 넓은 범위에서 광을 감지할 수 있게 되는 장점을 얻을 수 있으며, 2차원 물질을 기반으로 하는 광 소자의 대역폭의 협소 문제를 해결할 수 있게 되는 장점을 얻을 수 있다.

[0014] 또한, 이종 접합 형태의 전이금속 디칼코제나이드(TMD, Transition Metal Dichalcogenide)를 채널로 이용하는 광 소자, 그래핀을 채널로 이용하는 광 소자 또는 흑린을 채널로 이용하는 광 소자에 비해 상대적으로 용이하게 광 소자를 제작할 수 있게 될 뿐만 아니라, 이들 광 소자가 가지는 채널 물질의 종류 한정의 문제점도 해결할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0016] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.

도 1은 수광 소자의 일 실시예에 대한 측단면도이다.

도 2는 가시 광이 입사된 경우에서의 수광 소자의 상태를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 가시 광이 입사된 경우에서의 채널부, 산화층 및 조절전극부 사이의 전류의 변화를 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 가시 광이 입사된 경우에서의 캐리어공급부, 캐리어수신부 및 채널부 사이의 전류량의 변화를 설명하기 위한 그래프 도면이다.

도 5는 적외선 광이 입사된 경우에서의 수광 소자의 상태를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 적외선 광이 입사된 경우에서의 채널부, 산화층 및 조절전극부 사이의 전류의 변화를 설명하기 위한 에너지 밴드 다이어그램이다.

도 7은 적외선 광이 입사된 경우에서의 캐리어공급부, 캐리어수신부 및 채널부 사이의 전류량의 변화를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 적외선 광이 입사된 경우에서의 캐리어공급부, 캐리어수신부 및 채널부 사이의 전류량의 변화를 설명하기 위한 그래프 도면이다.

도 9는 광 측정 방법의 일 실시예에 대한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하 명세서 전체에서 동일 참조 부호는 특별한 사정이 없는 한 동일 구성요소를 지칭한다. 이하에서 사용되는 '부'가 부가된 용어는, 소프트웨어 또는 하드웨어로 구현될 수 있으며, 실시예에 따라 하나의 '부'가 하나의 물리적 또는 논리적 부품으로 구현되거나, 복수의 '부'가 하나의 물리적 또는 논리적 부품으로 구현되거나, 하나의 '부'가 복수의 물리적 또는 논리적 부품들로 구현되는 것도 가능하다.

[0018] 명세서 전체에서 어떤 부분이 다른 부분과 연결되어 있다고 할 때, 이는 어떤 부분과 다른 부분에 따라서 물리적 연결을 의미할 수도 있고, 또는 전기적으로 연결된 것을 의미할 수도 있다. 또한, 두 부분 사이의 연결은 두 부분 간의 직접적으로 연결된 것을 포함할 수도 있고, 또는 다른 부분이 두 부분 사이에 삽입되어 간접적으로 연결된 것을 포함할 수도 있다. 아울러, 어떤 부분이 다른 부분을 포함한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 부분 이외의 또 다른 부분을 제외하는 것이 아니며, 설계자의 선택에 따라서 또 다른 부분을 더 포함할 수 있음을 의미한다.

[0019] 또한 단수의 표현은 문맥상 명백하게 예외가 있지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.

[0021] 이하 도 1 내지 도 9를 참조하여 수광 소자의 일 실시예에 대해서 설명하도록 한다.

[0022] 도 1은 수광 소자의 일 실시예에 대한 측단면도이다.

[0023] 도 1에 도시된 바에 의하면, 수광 소자(100)는 조절전극부(110) 및 채널부(130)를 포함할 수 있다. 이 경우, 조절전극부(110)의 일 면(110a)과 채널부(130)의 일 면(130b)은 서로 마주보도록 마련될 수 있다. 실시예에 따라서, 조절전극부(110)의 일 면(110a)과 채널부(130)의 일 면(130b)은 서로 직접 접촉하여 마련될 수도 있고, 또는 다른 물질이나 구조, 일례로 산화층(120)을 사이에 두고 서로 마주보도록 마련될 수도 있다.

[0024] 조절전극부(110)는 적외선 광의 전부 또는 일부를 흡수 가능하도록 마련된다. 이 경우, 조절전극부(110)는 그 전부 또는 일부가 좁은 밴드 갭(band gap, 띠 틈, 띠 간격 또는 에너지 틈 등으로 표기 가능하다)을 갖는 물질(이하 협밴드갭물질)을 이용하여 구현된 것일 수도 있고 및/또는 협밴드갭물질과 다른 물질과의 화합물 또는 혼합물을 이용하여 구현된 것일 수도 있다. 다시 말해서, 조절전극부(110)는 협밴드갭물질, 이를 포함하는 화합물 및 혼합물 등 중 적어도 하나로 형성된 것일 수 있다. 여기서, 협밴드갭물질은 적외선 광을 소정의 수준 이상으로 흡수 가능한 물질을 포함할 수 있다. 구체적으로 예를 들어, 협밴드갭물질은 저마늄(Ge. 게르마늄이라 지칭 가능함. 밴드 갭 0.66eV), 안티몬화 인듐(InSb, 밴드 갭 0.17eV), 인듐 아세나이드(InAs, 밴드 갭 0.36eV) 및/또는 안티몬화 갈륨(GaSb, 밴드 갭 0.68eV) 등과 같이 대략 1.0eV 이하의 밴드 갭 에너지를 갖는 물질을 포함할 수 있다. 그러나, 협밴드갭물질은 이에 한정되는 것은 아니며, 일정 수준 이상 적외선 광의 흡수가 가능한 여러 종류의 물질 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일 실시예에 의하면, 조절전극부(110)는 게이트 전극을 포함할 수 있다.

[0025] 채널부(130)는 전하 캐리어, 일례로 전자 및/또는 정공(hole, 홀로도 표현 가능하다)이 전달되도록 마련된다. 일 실시예에 의하면, 채널부(130)는 가시광선의 전부 또는 일부를 흡수하되, 적외선 광은 그 전부 또는 일부를 투과할 수 있도록 제작된 것일 수 있다. 이 경우, 채널부(130)의 전부 또는 일부는, 가시광선을 흡수하되 적외선 광을 투과시킬 수 있는 소정의 물질을 이용하여 형성된 것일 수 있다. 여기서 소정의 물질은 넓은 밴드 갭을 갖는 물질(이하 광(廣)밴드갭물질이라 지칭한다)을 포함할 수 있다. 구체적으로 예를 들어, 채널부(130)는 가시광선의 흡수가 가능한 2차원 물질을 이용하여 제작된 것일 수도 있으며, 이 경우 2차원 물질은 전이금속 디칼코제나이드 물질 등을 포함할 수 있다. 전이금속 디칼코제나이드 물질 등은, 예를 들어, 이황화 텅스텐(WS2), 텅스텐 다이셀레나이드(WSe2), 이황화 몰리브덴(MoS2), 몰리브덴 다이셀레나이드, MoSe2), 이황화 레늄(ReS2) 및/또는 레늄 다이셀레나이드(ReSe2) 등을 포함할 수 있다. 그러나, 2차원 물질은 이에 한정되는 것은 아니다. 채널부(130)는 가시 광선의 수신 및 적외선 광의 투과가 가능한 다른 종류의 2차원 물질을 이용하여 구현될 수도 있다.

[0026] 상술한 바와 같이 채널부(130)의 일 면(130b)은 조절전극부(110)의 일 면(110a)을 향하도록 마련되며, 채널부(130)의 일 면(130b)에 대향하는 타 면(130a)은 외부로 노출되어 광(90)이 입사될 수 있도록 마련될 수 있다. 채널부(130)는 광밴드갭물질로 이루어져 있으므로, 만약 채널부(130)의 타 면(130a)에 입사된 광이 가시 광선(도 2의 91)이면, 가시 광선(91)의 전부 또는 일부는 채널부(130)에 의해 흡수된다. 만약 채널부(130)의 타 면(130a)에 입사된 광이 적외선 광(도 6의 92)이면, 적외선 광(92)의 전부 또는 일부는 채널부(130)를 투과하여 조절전극부(110)로 전달된다. 이 경우, 조절전극부(110)는 협밴드갭물질을 포함하고 있으므로, 수신한 적외선 광(92)의 전부 또는 일부를 흡수하게 된다.

[0027] 일 실시예에 의하면, 수광 소자(100)는 산화층(120)을 더 포함할 수도 있다. 산화층(120)은 조절전극부(110)과 채널부(130) 사이에 더 형성된 것일 수 있다. 조절전극부(110)가 게이트 전극인 경우, 산화층은 게이트 산화층을 포함할 수도 있다. 산화층(120)은 예를 들어 이산화규소(SiO2) 등으로 구현될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 산화층(120)의 일 면(120b)에는 채널부(130)가 설치될 수 있으며, 채널부(130)는 채널부(130)의 일 면(130b)이 산화층(120)의 일 면(120b)에 직접 접촉하도록 산화층(120)에 설치될 수도 있다. 실시예에 따라서, 산화층(120)과 채널부(130) 사이에 다른 물질이 더 추가되어 설치되는 것도 가능하다. 또한, 산화층(120)은 조절전극부(110)에 설치될 수도 있으며, 이 경우, 산화층(120)은 산화층(120)의 일 면(120b)에 대향하여 배치된 산화층(120)의 타 면(120a)이 조절전극부(110)의 일 면(110a)에 직접 접촉함으로써 조절전극부(110)에 설치될 수도 있다. 물론 실시예에 따라서, 조절전극부(110)와 산화층(120) 사이에 다른 물질이 더 추가적으로 설치 또는 배치되는 것도 가능하다.

[0028] 일 실시예에 의하면, 수광 소자(100)는 적어도 하나의 전극부(151, 152)를 포함할 수 있으며, 이 경우, 적어도 하나의 전극부(151)는, 예를 들어, 캐리어수신부(151) 및 캐리어공급부(152) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이하 설명에서는 도 1의 좌측 전극을 캐리어수신부(151)로 정의하고 도 2의 우측 전극을 캐리어공급부(152)로 정의하도록 하나, 실시예에 따라서 이들(151, 152)의 위치는 상호 변경될 수도 있고, 또는 도 1에 도시된 바와 상이한 위치에 배치되어 있는 것도 가능하다. 캐리어수신부(151)는 드레인(drain)을 포함할 수 있고, 캐리어공급부(152)는 소스(source)를 포함할 수 있다.

[0029] 캐리어수신부(151) 및 캐리어공급부(152)는 채널부(130)와 연결되어 있을 수 있으며, 실시예에 따라 각각 채널부(130)의 양 말단(130c, 130d)에 배치 및 연결되어 있을 수 있다. 캐리어수신부(151) 및 캐리어공급부(152)는 채널부(130)에 접하여 채널부(130)와 연결되어 있을 수도 있고 또는 채널부(130)의 일부를 덮음으로써 채널부(130)과 연결되어 있을 수 있다. 캐리어수신부(151) 및 캐리어공급부(152)는 채널부(130)과 전기적으로 연결되어 있으며, 광(90 내지 92)의 입사에 따라서 캐리어수신부(151) 및 캐리어공급부(152) 사이에는 채널부(130)를 경유하여 소정 크기의 전류가 흐르게 된다.

[0030] 실시예에 따라, 캐리어수신부(151) 및 캐리어공급부(152)는, 도 1에 도시된 바와 같이 산화층(120)의 일 면(120b)에 직접 설치되어 있을 수도 있고, 또는 조절전극부(110)의 일 면(110a)에 직접 설치될 수도 있다. 필요에 따라 산화층(120)과 캐리어수신부(151) 및/또는 캐리어공급부(152) 사이 또는 조절전극부(110)와 캐리어수신부(151) 및/또는 캐리어공급부(152) 사이에 별도의 물질이나 구조가 더 부가되는 것도 가능하다.

[0032] 이하 도 2 내지 도 4를 참조하여, 상술한 수광 소자(100)에 가시 광선(91)이 입사된 경우에서의 채널부(130)에 형성되는 전류에 대해 설명하도록 한다.

[0033] 도 2는 가시 광이 입사된 경우에서의 수광 소자의 상태를 설명하기 위한 도면이고, 도 3은 가시 광이 입사된 경우에서의 채널부, 산화층 및 조절전극부 사이의 전류의 변화를 설명하기 위한 도면이다. 도 4는 가시 광이 입사된 경우에서의 캐리어공급부, 캐리어수신부 및 채널부 사이의 전류량의 변화를 설명하기 위한 그래프 도면이다. 도 4에서 점선은 광 미조사 시의 암전류를 나타내고, 녹색 및 적색 선은 각각 520 nm 파장의 광(대략 녹색 가시광) 및 655 nm 파장의 광(대략 적색 가시광)을 조사했을 때, 수광 소자의 채널부에서 흐르는 전류를 나타낸다.

[0034] 도 2에 도시된 바와 같이 가시 광선(91), 예를 들어 520nm 파장의 가시 광선 또는 655nm 파장의 가시 광선 등이 채널부(130)의 일 면(130a)을 향해 입사될 수 있다. 이 경우, 가시 광선(91)은 채널부(130)에 입사되며, 경우에 따라 캐리어수신부(151) 및 캐리어공급부(152) 중 적어도 하나에도 입사된다. 채널부(130)는 광밴드갭물질을 포함하므로, 가시 광선(91)이 입사되면, 채널부(130)는 가시 광선(91)의 전부 또는 일부를 흡수할 수 있다. 가시 광선(91)의 전부 또는 일부의 흡수에 대응하여 채널부(130) 내에는, 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 상호 대응하는 전자(131) 및 정공(132)이 생성되고(즉, 전자 정공 쌍이 생성됨), 전자(131)와 정공(132) 각각은 서로 반대 방향으로 이동하게 된다. 구체적으로 예를 들어, 채널부(130) 내의 전자(131)는 캐리어공급부(152)의 방향에서 캐리어수신부(151)의 방향(즉, 일 말단(130c) 방향)으로 이동하고, 채널부 내의 정공(132)은 이와는 반대로 캐리어수신부(151)의 방향에서 캐리어공급부(152)의 방향(즉, 타 말단(130d) 방향)으로 이동하게 된다. 또한, 캐리어공급부(152) 내의 전자(152e)도 채널부(130)에 제공되고 채널부(130) 내부에서 이동하여 캐리어수신부(151) 방향으로 이동하게 된다. 말단(130c)으로 이동한 전자(131, 152e)는 캐리어수신부(151)에 제공 및 공급될 수 있다. 이에 따라 도 4에 도시된 바와 같이 채널부(130) 내에서 흘러 캐리어수신부(152)로 전달되는 전류의 크기가 증가하게 된다. 구체적으로 적색 광(655 nm 파장의 광)이 조사된 경우든, 녹색 광(520 nm 파장의 광)이 조사된 경우든, 채널부(130) 내에서 흘러 캐리어수신부(152)로 전달되는 전류의 크기는 상대적으로 증가하며, 특히 암전류 보다 상승하게 된다. 한편, 조절전극부(110) 역시 채널부(130)나 산화층(120) 등을 투과한 가시광선(91)을 흡수할 수는 있으며, 이에 따라 조절전극부(110) 내에도 전자(도 5의 111) 및 정공(도 5의 112)이 쌍으로 생성될 수도 있다. 그러나, 조절전극부(110) 내의 전자(111) 및 정공(112)의 생성에 따른 전류의 감소보다는, 가시광선(91)의 입사에 따라 채널부(130) 내에 생성되는 전류의 크기가 상대적으로 크다. 따라서, 가시광선(91)의 입사에서는 전류가 증가하는 경향을 보인다.

[0036] 이하 도 5 내지 도 8을 참조하여, 상술한 수광 소자(100)에 적외선 광(92)이 입사된 경우에서의 수광 소자(100)의 동작에 대해 설명하도록 한다.

[0037] 도 5는 적외선 광이 입사된 경우에서의 수광 소자의 상태를 설명하기 위한 도면이다. 도 6은 적외선 광이 입사

된 경우에서의 채널부, 산화층 및 조절전극부 사이의 전류의 변화를 설명하기 위한 에너지 밴드 다이어그램이고, 도 7은 적외선 광이 입사된 경우에서의 캐리어공급부, 캐리어수신부 및 채널부 사이의 전류량의 변화를 설명하기 위한 도면이다. 도 8은 적외선 광이 입사된 경우에서의 캐리어공급부, 캐리어수신부 및 채널부 사이의 전류량의 변화를 설명하기 위한 그래프 도면이다. 도 8에서 백색 삼각형으로 연결된 커브는 광이 미입사된 경우에서 채널부(130)에 흐르는 암전류의 조절전극부(110)에 인가되는 전압에 따른 변화를 도시한 것이고, 흑색 삼각형으로 연결된 커브는 적외선 광(92)이 입사된 경우에서 채널부(130)에 흐르는 전류의 조절전극부(110)에 인가되는 전압에 따른 변화를 도시한 것이다.

[0038] 도 5에 도시된 바와 같이, 적외선 광(92)이 수광 소자(100)에 조사되면, 넓은 밴드 갭을 갖는 채널부(130)는 대체적으로 적외선 광(92)을 투과시켜 적외선 광(92)을 조절전극부(110)로 전달시킨다. 조절전극부(110)의 좁은 밴드 갭을 갖는 물질(즉, 협밴드갭물질)은 입사된 적외선 광(92)을 흡수하고, 이와 같은 적외선 광(92)의 흡수에 대응하여 조절전극부(110) 내에는, 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이, 서로 대응하는 전자(111) 및 정공(112)의 쌍이 생성된다. 이 경우, 조절전극부(110) 내의 밴드 휨(밴드 벤딩) 현상에 의해, 조절전극부(110) 내의 전자(111) 및 정공(112)은 서로 분리되어 조절전극부(110)의 계면(110a, 110b) 방향으로 각각 이동하게 된다. 구체적으로 전자(111)는 산화층(120)의 타 면(120a)과 접하는 조절전극부(110)의 일 면(110c) 방향으로 대체적으로 이동하고, 정공(112)은 이와 반대로, 대체적으로 조절전극부(110)의 타 면(110b) 방향으로 이동하게 된다. 조절전극부(110)의 일 면(110c) 방향으로 이동한 전자(111)는 조절전극부(110)의 일 면(110c)이나 그 주변(즉, 조절전극부(110)나 산화층(120)의 계면이나 그 주변)에 누적된다. 이에 따라 조절전극부(110)의 일 면(110c)이나 그 주변의 전하량이 증가하게 된다. 한편, 정공(112)은 조절전극부(110)의 타 면(110b)에 누적되거나 또는 외부로 방출될 수 있다. 이와 같은 조절전극부(110)의 일 면(110c), 즉 조절전극부(110) 및 산화층(120)의 계면에서의 전자(111)의 집적에 따라서 산화층(120) 전부 또는 일부의 밴드(일례로 산화층(120) 계면의 밴드)의 밴드는 상승하게 되고, 이에 따라 조절전극부(110)에서의 밴드 휨은 완화되게 된다. 한편, 이와 같은 조절전극부(110)의 밴드 휨의 완화에 대응하여 밴드 휨의 완화를 보상하기 위해 채널부(130)에서 밴드 휨이 발생하고, 채널부(130)의 밴드도 상승하게 된다. 따라서, 채널부(130)의 전류 흐름에 대한 장벽이 증가하게 된다. 구체적으로 채널부(130)의 밴드가 위로 이동함에 따라 캐리어공급부(152)에서 채널부(130)로 전달될 때의 효과적 쇼키 장벽 높이(effective Schottky barrier height)가 증가하게 된다.

[0039] 이와 같은 채널부(130)의 전류 흐름에 대한 장벽의 증가는, 채널부(130) 내에서의 전자(131) 및/또는 정공(132)의 이동을 저해한다. 따라서, 도 7에 도시된 바와 같이, 채널부(130) 내의 전자(131)는 상대적으로 덜 이동하게 된다. 다시 말해서, 도 3에 도시된 바와 같이 가시광선(91)이 입사된 경우보다 상대적으로 더 적은 전자(131)가 캐리어공급부(152)의 방향에서 캐리어수신부(151)의 방향으로 이동하게 된다. 또한, 이 경우, 캐리어공급부(152)도 상대적으로 더 적은 전자(152e)를 채널부(130)에 제공 및 공급할 수도 있다.

[0040] 결과적으로 적외선 광(92)이 입사된 경우, 동일한 게이트 전압이 인가된 경우에도 채널(130)에서 흐르는 전류는 상대적으로 감소하는 양상을 보인다. 한편, 적외선 광(92)이 조사된 경우에서의 채널부(130)의 전류의 크기는, 도 8에 도시된 바와 같이, 암전류보다 상대적으로 더 낮아질 수도 있다. 구체적으로, 조절전극부(110)에 인가되는 전압의 크기가 -0.75V 내지 0.5V 범위 내인 경우, 채널부(130)의 전류 크기는 암전류보다 더욱 낮아질 수 있다.

[0041] 이와 같이 적외선 광(92)의 입사 시의 채널부(130) 내의 전류의 변화 양상은, 가시광선(91)의 입사 시의 전류의 변화 양상과 반대의 경향을 보인다. 다시 말해서, 도 4에 도시된 바와 같이 가시 광선(91)이 입사된 경우에는 채널부(130)의 전류는 암전류보다 상대적으로 증가하는 경향을 가지나, 적외선 광(92)이 입사된 경우에는 일정한 인가 전압의 범위에서 채널부(130)의 전류는 암전류보다 상대적으로 감소하는 경향을 가진다. 이와 같이 광의 종류에 따른 전류의 서로 상이한 변화 양상을 이용하면, 광의 종류의 식별 또는 판별이 가능해진다. 구체적으로 예를 들어, 채널부(130)의 전류의 크기가 미리 정의된 값이나 범위(일례로, 조절전극부(110)에 인가되는 전압의 크기에 다른 암전류의 값이나 범위)를 초과하는 경우에는 입사된 광을 가시광선(91)을 판단하고, 반대로 채널부(130)의 전류의 크기가 미리 정의된 값이나 범위에 미달하는 경우에는 입사된 광을 적외선 광(92)으로 판단함으로써, 수광 소자(100)에 입사된 광의 종류를 판별할 수 있게 된다. 또한, 적외선 광(92)이 입사된 경우 입사된 적외선 광(92)에 대응하는 크기의 전류가 채널부(130)에 흐름으로써, 이와 같이 구현된 수광 소자(100)는 적외선 광(92)의 검출 및 측정을 수행할 수도 있게 된다.

[0042] 한편, 도면 상에선 도시되어 있지 않으나, 상술한 수광 소자(100)에는 자외선 광(즉, 자외선 영역의 파장을 갖는 광)이 입사되는 것도 가능하다. 이 경우, 상술한 채널부(130)는 가시광선이 입사된 경우처럼 광을 흡수하게 되고 이에 따라 채널부(130) 내에는 전자와 정공이 발생되어 각각 양쪽의 전극, 즉 캐리어수신부(151) 및 캐리

어공급부(152)로 이동한다. 이에 따라 가시광선의 경우와 비슷하게 수광 소자(100)의 채널부(130)의 전류량이 증가하게 된다.

[0043] 상술한 수광 소자(100)는, 예를 들어, 게이트 전극을 갖는 다양한 종류의 광 소자에 적용될 수 있다.

[0044] 상술한 바와 같이, 수광 소자(100)의 조절전극부(110), 일례로 게이트 전극을 협밴드갭물질을 채용하여 구현함으로써 채널 물질의 종류에 구애되지 않은 광대역 수광 소자를 제작할 수 있게 된다. 또한, 이에 따라 구현된 수광 소자(100)는 종래의 2차원 물질 기반 광소자의 장점인 높은 광 효율 및 공정의 편의성(저온 공정)을 유지하면서도 넓은 범위의 파장의 광을 감지할 수 있는 장점을 가지게 되며, 입사광의 종류에 따른 전류의 변화 방향을 통해 입사광의 종류를 구별 및 식별할 수도 있게 된다. 근자에 광통신이나 자율 주행 차량 등에서 적외선 영역의 광을 감지할 수 있는 소자의 필요성이 높아지고 있다. 상술한 수광 소자(100)는 이와 같이 적외선 영역의 광을 감지가 필요한 다양한 기술 영역에서 이용될 수 있다.

[0046] 이하 도 9를 참조하여 수광 소자를 이용한 광 측정 방법의 일 실시예에 대해서 설명하도록 한다.

[0047] 도 9는 광 측정 방법의 일 실시예에 대한 흐름도이다.

[0048] 도 9에 도시된 광 측정 방법의 일 실시예를 참조하면, 먼저 수광 소자에 측정 대상인 광이 입사될 수 있다(201). 여기서, 수광 소자는 상술한 바와 같이 광밴드갭물질을 포함하는 채널부와 채널부가 직접 접하여 배치되거나 또는 산화층을 사이에 두고 채널부가 배치된 조절전극부(예를 들어, 게이트 전극)를 포함할 수 있으며, 조절전극부는 그 전부 또는 일부가 협밴드갭물질, 협밴드갭물질을 이용하여 획득된 화합물 및/또는 협밴드갭물질을 포함하는 혼합물을 기반으로 형성된 것일 수 있다. 실시예에 따라서, 수광 소자는 채널부에 연결된 캐리어공급부(예를 들어, 소스) 및 캐리어수신부(예를 들어, 드레인)를 포함할 수 있으며, 채널부와 조절전극부 사이에 배치되는 산화층(예를 들어, 게이트 산화층)을 포함할 수도 있다. 또한, 측정 대상인 광은 적외선 광일 수도 있고, 가시광선일 수도 있으며 또는 자외선 광일 수도 있다.

[0049] 광이 수광 소자에 입사되면, 입사된 광에 대응하여 채널부에 전류가 흐르게 된다(203).

[0050] 채널부에 흐르는 전류는 측정될 수 있다(205). 이 경우, 전류의 측정은 설계자의 선택에 따라 다양한 방법으로 수행될 수 있다.

[0051] 순차적으로 측정된 전류를 기준 값 또는 기준 범위와 비교한다(207). 여기서, 기준 값 또는 기준 범위는 설계자에 의해 미리 정의된 것일 수 있으며, 예를 들어, 채널부에 형성된 암전류를 기반으로 정의된 것일 수 있다. 또한, 기준 값은, 조절전극부에 인가되는 특정한 인가 전압에 대응하여 정의될 수도 있다. 예를 들어, 기준 값은, 특정한 인가 전압에 대한 암전류의 평균 측정 값이나 최대 또는 최소 값을 포함할 수 있다. 기준 범위도 이와 동일하거나 일부 변형된 방법으로 정의될 수 있다.

[0052] 만약 측정된 전류가 기준 값(예를 들어, 암전류의 크기)보다 크다면(207의 예), 입사된 광을 가시광선으로 판단할 수 있다. 상술한 바와 같이 입사된 가시광선은 광밴드갭물질을 포함하는 채널부에 의해 흡수되고 이에 따라 채널부에 암전류보다 높은 전류가 흐른다. 따라서, 측정된 전류가 기준이 되는 암전류보다 큰 경우라면, 가시광선으로 판단될 수 있다.

[0053] 반대로 만약 측정된 전류가 기준 값(예를 들어, 암전류의 크기)보다 작다면(207의 아니오), 입사된 광을 적외선으로 판단한다. 마찬가지로 적외선이 입사된 경우, 적외선은 광밴드갭물질을 포함하는 채널부를 대체적으로 통과하고 협밴드갭물질을 포함하는 조절전극부에 의해 흡수된다. 이 경우, 채널부에는 전류의 흐름을 방해하는 장벽이 증가하여, 상대적으로 더 작은 크기의 전류가 흐르게 되고, 또한 일정한 인가 전압 하에서는 암전류보다 작은 전류가 흐르게 된다. 따라서, 측정된 전류가 기준이 되는 암전류보다 작은 경우라면, 적외선 광으로 판단될 수 있다.

[0054] 일 실시예에 따른 수광 소자는 가시광선(또는 자외선 광)부터 적외선 광까지 넓은 범위의 파장의 광을 측정할 수 있으므로, 실시예에 따라서, 상술한 측정된 전류와 기준 값의 비교 및 입사 광의 판단 과정(207 내지 211)을, 채널부에서 측정된 전류의 크기를 기반으로 입사된 광의 파장을 결정하는 과정으로 변경 및 대체하는 것도 가능하다.

[0055] 상술한 실시예에 따른 광 측정 방법의 전부 또는 일부는, 컴퓨터 장치에 의해 구동될 수 있는 프로그램의 형태로 구현될 수도 있다. 여기서 프로그램은, 프로그램 명령, 데이터 파일 및 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조

합하여 포함할 수 있다. 프로그램은 기계어 코드나 고급 언어 코드를 이용하여 설계 및 제작된 것일 수 있다. 프로그램은 상술한 방법을 구현하기 위하여 특별히 설계된 것일 수도 있고, 컴퓨터 소프트웨어 분야에서 통상의 기술자에게 기 공지되어 사용 가능한 각종 함수나 정의를 이용하여 구현된 것일 수도 있다. 또한, 여기서, 컴퓨터 장치는, 프로그램의 기능을 실현 가능하게 하는 프로세서나 메모리 등을 포함하여 구현된 것일 수 있으며, 필요에 따라 통신 장치를 더 포함할 수도 있다.

[0056] 상술한 광 측정 방법을 구현하기 위한 프로그램은, 컴퓨터에 의해 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터에 의해 판독 가능한 기록 매체는, 예를 들어, 하드 디스크나 플로피 디스크와 같은 자기 디스크 저장 매체, 자기 테이프, 콤팩트 디스크나 디브이디와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 기록 매체 및 롬, 램 또는 플래시 메모리 등과 같은 반도체 저장 장치 등 컴퓨터 등의 호출에 따라 실행되는 특정 프로그램을 저장 가능한 다양한 종류의 하드웨어 장치를 포함할 수 있다.

[0057] 이상 수광 소자 및 광 측정 방법의 여러 실시예에 대해 설명하였으나, 수광 소자 및 광 측정 방법은 오직 상술한 실시예에 한정되는 것은 아니다. 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 상술한 실시예를 기초로 수정 및 변형하여 구현 가능한 다양한 수광 소자 또는 광 측정 방법 역시 상술한 수광 소자 및 광 측정 방법의 일례가 될 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 배치, 결합 또는 조합되거나 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 치환되더라도 상술한 수광 소자 및 광 측정 방법의 일 실시예가 될 수 있다.

부호의 설명

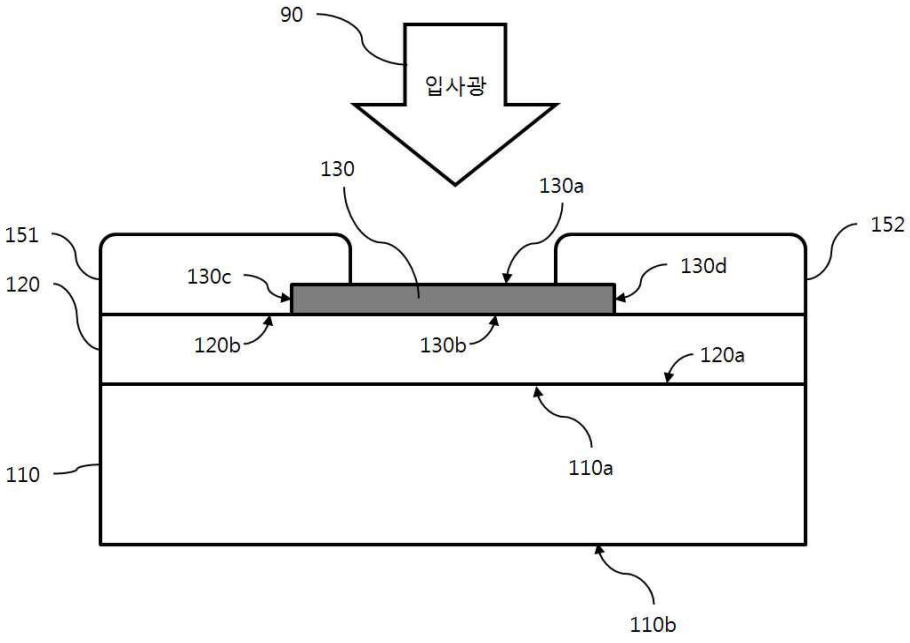
[0059] 100: 수광 소자 110: 조절전극부

120: 산화층 130: 채널부

151: 캐리어수신부 152: 캐리어공급부

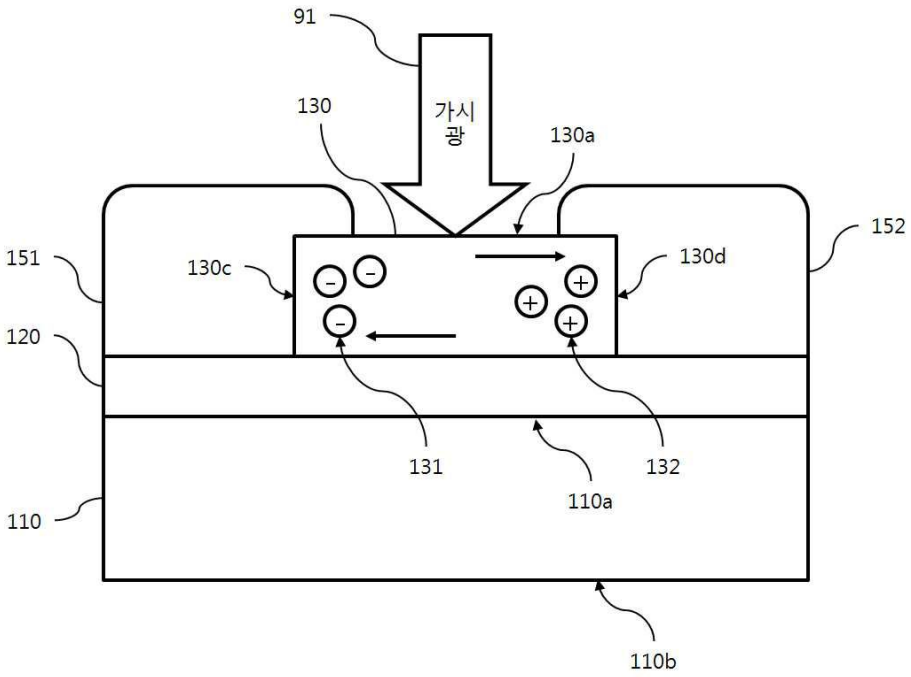
도면

도면1



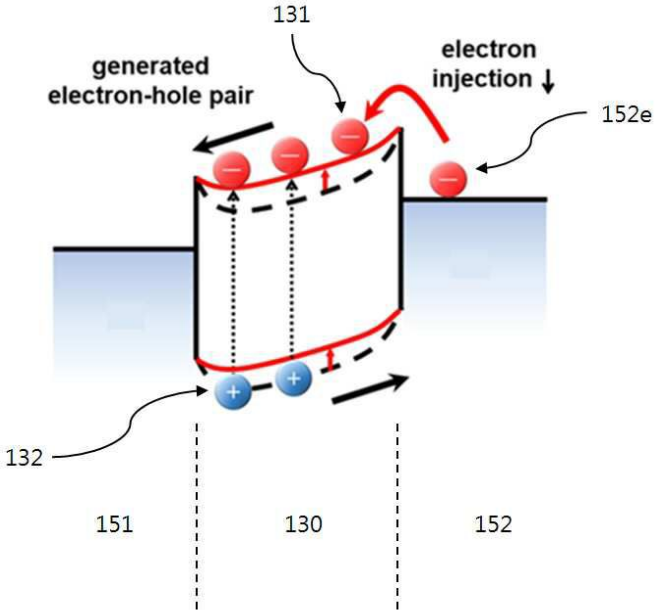
100

도면2

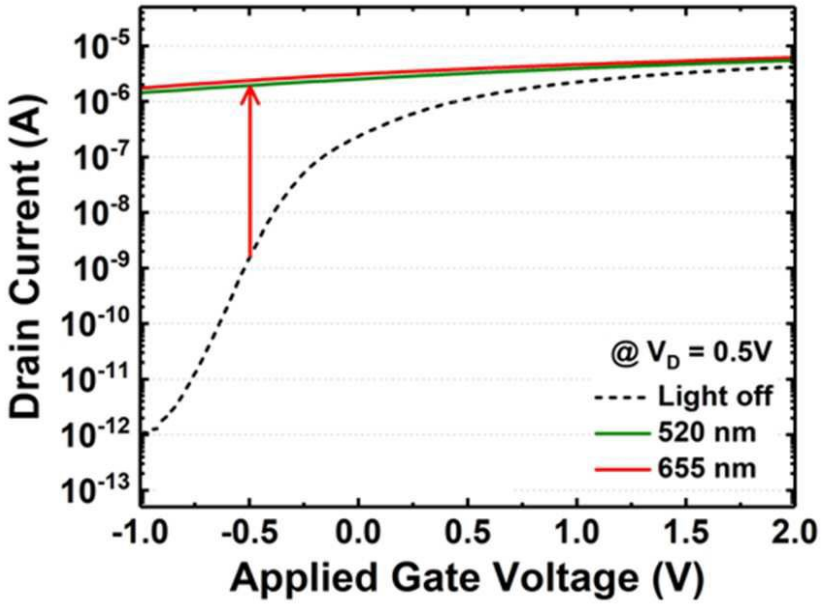

91
가시
광
130
130a
152
151
130c
130d
120
131
132
110a
110
110b

100

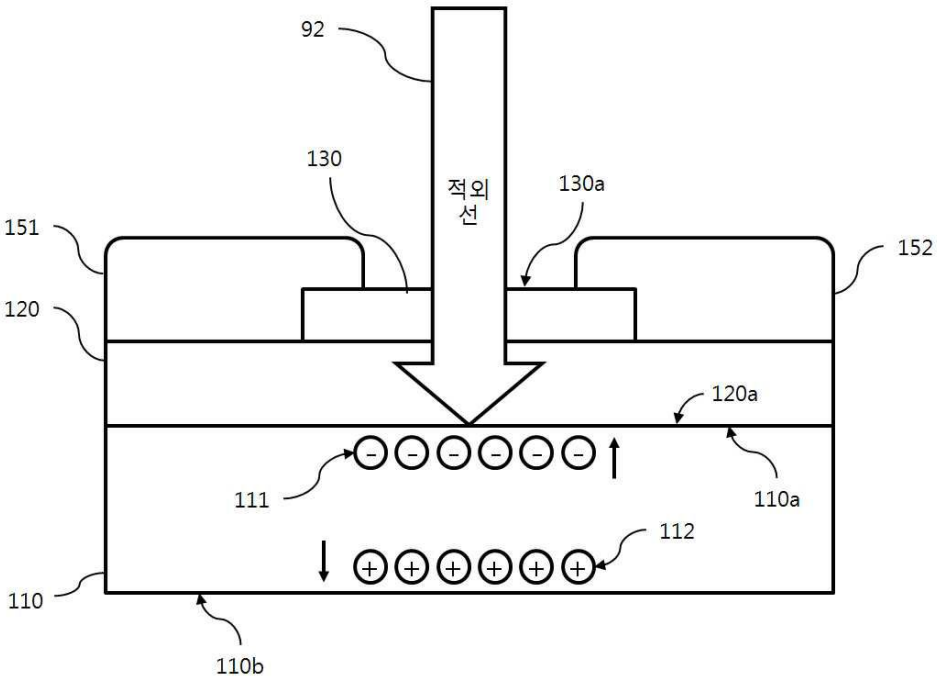
도면3


131
generated
electron-hole pair
electron
injection
152e
132
151
130
152

도면4

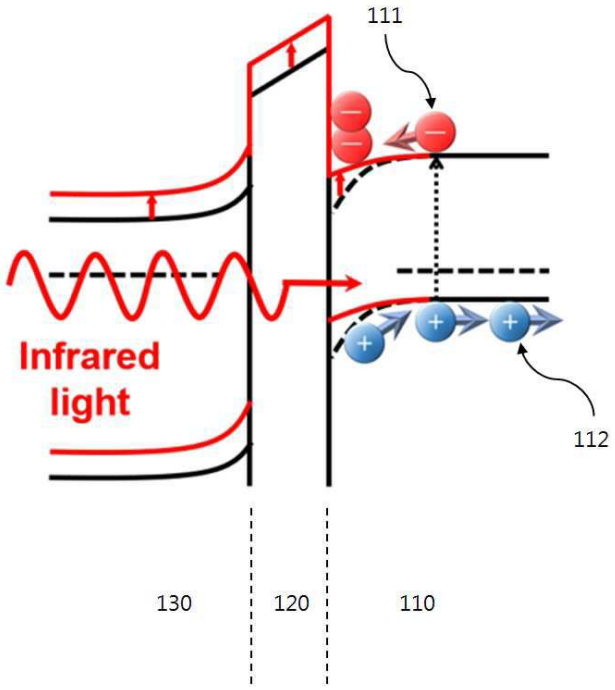

Drain Current (A)
10-5
10-6
10-7
10-8
10-9
10-10
10-11
10-12
10-13
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
Applied Gate Voltage (V)
@ VD = 0.5V
Light off
520 nm
655 nm

도면5

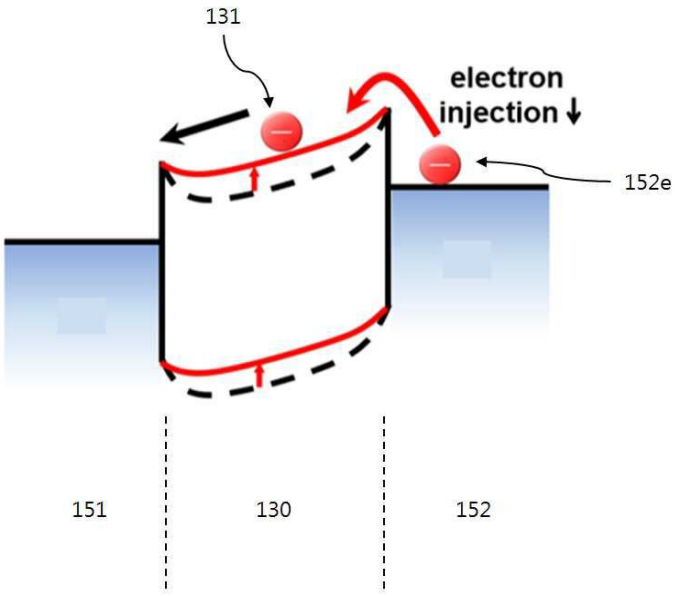

92
130
적외선
130a
151
152
120
120a
111
110a
112
110
110b

100

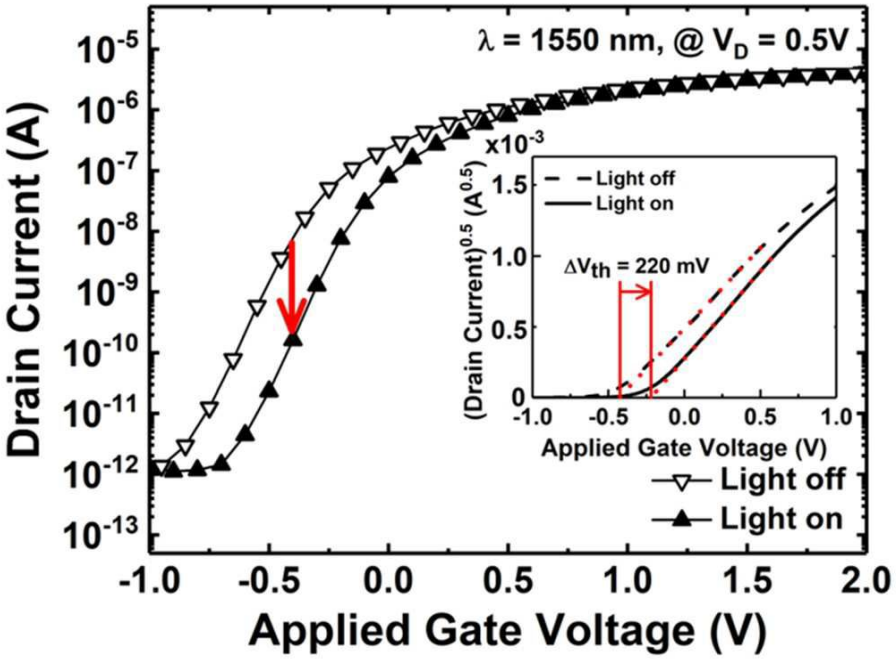
도면6


111
Infrared
light
112
130
120
110

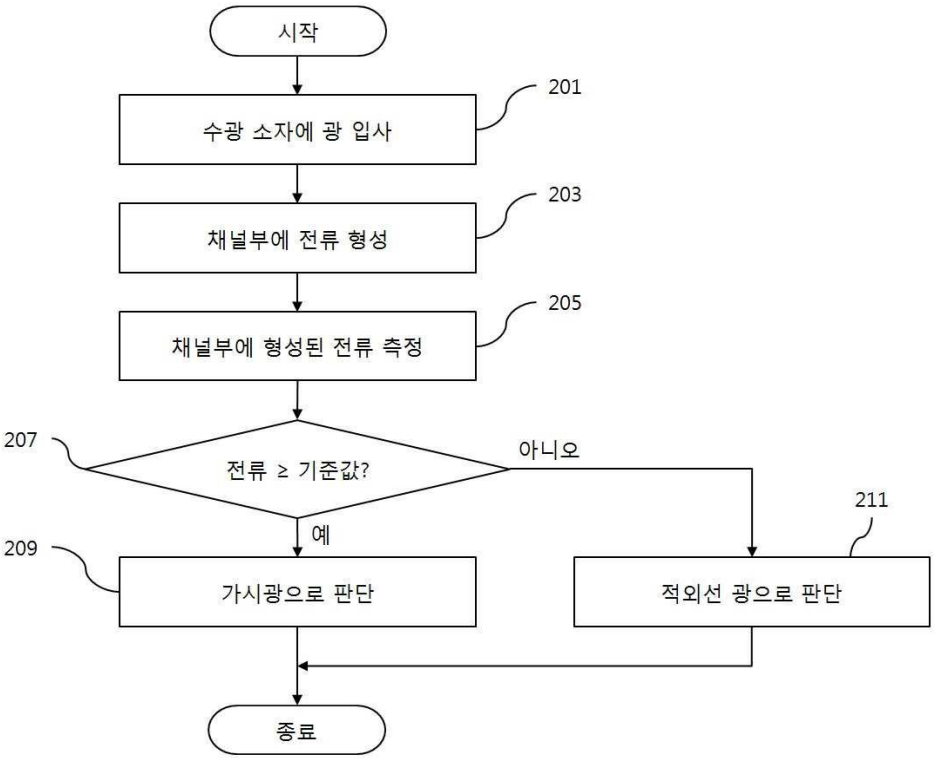
도면7


131
electron
injection
152e
151
130
152

도면8


λ = 1550 nm, @ V_D = 0.5V
Drain Current (A)
Applied Gate Voltage (V)
(Drain Current)^0.5 (A^0.5)
x10^-3
Light off
Light on
ΔVth = 220 mV
Applied Gate Voltage (V)

도면9


시작
수광 소자에 광 입사
201
채널부에 전류 형성
203
채널부에 형성된 전류 측정
205
207
전류 ≥ 기준값?
아니오
예
209
211
가시광으로 판단
적외선 광으로 판단
종료