



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0143602
(43) 공개일자 2016년12월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/109 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/109 (2013.01)
H01L 31/022466 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0138282(분할)
(22) 출원일자 2016년10월24일
심사청구일자 2016년10월24일
(62) 원출원 특허 10-2015-0078955
원출원일자 2015년06월04일
심사청구일자 2015년06월04일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 15, 230
4동 1001호(송도동, 송도 더샵 마스터뷰 23-1BL)
윤주형
경기도 화성시 동탄반송2길 41-13, 201호 (반송동)
김홍식
충청남도 천안시 동남구 터미널9길 59, 201동 40
1호 (신부동, 대림한들아파트)
(74) 대리인
특허법인가산

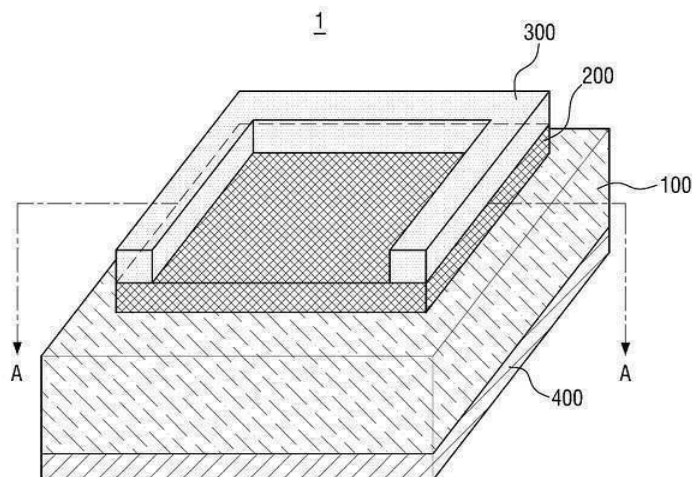
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 이종접합 포토 디텍터 및 그 제조방법

(57) 요약

이종접합 포토 디텍터 및 그 제조방법을 제공한다. 상기 이종접합 포토 디텍터는 저마늄(Ge) 기판, 상기 저마늄 기판 상에 형성되고, 상기 저마늄 기판과 쇼트키 접합(Schottky Junction)을 형성하는 금속 박막 및 상기 금속 박막 상에 형성되어 상기 저마늄 기판과 이종접합(hetero junction)을 이루는 투명 전도층을 포함하되, 상기 투명 전도층은, 상기 저마늄 기판 상에 형성되고, 제1 물질을 포함하는 제1 투명 전도층과, 상기 제1 투명 전도층 상에 형성되고, 상기 제1 물질과 다른 제2 물질을 포함하는 제2 투명 전도층을 포함하고, 상기 제1 및 제2 물질은 각각 ITO, AZO, 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In₂O₃), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/022475 (2013.01)

H01L 31/022483 (2013.01)

H01L 31/1884 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

저마늄(Ge) 기판;

상기 저마늄 기판 상에 형성되고, 상기 저마늄 기판과 쇼트키 접합(Schottky Junction)을 형성하는 금속 박막; 및

상기 금속 박막 상에 형성되어 상기 저마늄 기판과 이종접합(hetero junction)을 이루는 투명 전도층을 포함하되,

상기 투명 전도층은,

상기 저마늄 기판 상에 형성되고, 제1 물질을 포함하는 제1 투명 전도층과,

상기 제1 투명 전도층 상에 형성되고, 상기 제1 물질과 다른 제2 물질을 포함하는 제2 투명 전도층을 포함하고,

상기 제1 및 제2 물질은 각각 ITO, AZO, 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함하는 포토 디텍터.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제1 물질은 AZO(Aluminum-zinc-oxide)이고,

상기 제2 물질은 ITO(Indium-tin-oxide)인 포토 디텍터.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 제1 투명 전도층의 제1 두께는 상기 제2 투명 전도층의 제2 두께보다 작은 포토 디텍터.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 투명 전도층의 두께는 50nm 내지 1000nm인 포토 디텍터.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 금속 박막의 두께는 상기 투명 전도층의 두께 보다 작은 포토 디텍터.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 금속 박막의 두께는 10nm 이하인 포토 디텍터.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 투명 전도층 상에 전면 전극 패턴을 더 포함하는 포토 디텍터.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 저마늄 기관 아래에 후면 전극층을 더 포함하는 포토 디텍터.

청구항 9

저마늄 기관을 제공하고,

상기 저마늄 기관 상에 상기 저마늄 기관과 쇼트키 접합을 형성하는 금속 박막을 형성하고,

상기 금속 박막 상에 제1 물질을 포함하는 제1 투명 전도층을 형성하고,

상기 제1 투명 전도층 상에 상기 제1 물질과 다른 제2 물질을 포함하는 제2 투명 전도층을 형성하는 것을 포함 하되,

상기 제1 및 제2 물질은 각각 ITO, AZO, 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함하는 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 제1 투명 전도층의 제1 두께는 상기 제2 투명 전도층의 제2 두께보다 작은 포토 디텍터 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 이중접합 포토 디텍터 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 정류 작용을 용이하게 하고, 광캐리어의 포집이 우수한 이중접합 포토 디텍터 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 환경문제와 에너지 고갈에 대한 관심이 높아지면서, 에너지 자원이 풍부하고 환경오염에 대한 문제점이 없 으며 에너지 효율이 높은 대체 에너지로서의 태양에너지에 대한 관심이 높아지고 있다.

[0003] 광전소자는 입사되는 태양광을 전기 에너지로 변환시키는 변환효율(efficiency)을 높이는 것이 매우 중요하다. 따라서, 그 구조와 재질에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

[0004] 포토 디텍터는 빛 에너지를 전기 에너지로 만드는 광전소자로서, 특히 장파장 영역에서의 포토 디텍터는 의료, 산업 및 과학 응용 부문에서 널리 사용되고 있다. 분광 감도 특성(Spectral responsivity), 양자 효율(quantum efficiency), 안정성(stability), 대역폭(bandwidth) 및 비용(cost) 등은 장파장에서의 포토 디텍터의 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 일반적으로, 좁은 밴드갭 반도체들은 넓은 범위의 민감도 때문에 장파장 포토 디텍 터로 사용되고 있다.

[0005] 큰 캐리어 이동도, 상대적으로 큰 흡수 계수, 0.67eV의 낮은 에너지 갭 및 1800nm의 파장까지 가능한 감지 용량 등의 본질적인 특성에 따라 저마늄(Ge)은 강력한 장파장 포토 디텍터의 후보물질로 거론되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 변환효율이 개선된 포토 디텍터를 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는, 변환효율이 개선된 포토 디텍터를 제조하는 방법을 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제 들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터는 저마늄(Ge) 기관 및 상기 저마늄 산화막

상에 형성되어 상기 저마늄 기관과 이종접합(hetero junction)을 이루는 투명 전도층을 포함한다.

[0010] 상기 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터 제조 방법은 저마늄 기관을 제공하고, 상기 저마늄 기관 상에 제1 물질을 포함하는 제1 투명 전극층을 형성하고, 상기 제1 투명 전극층 상에 상기 제1 물질과 다른 제2 물질을 포함하는 제2 투명 전극층을 형성하는 것을 포함한다.

[0011] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0012] 본 발명의 일 실시예에 의하면 적어도 다음과 같은 효과가 있다.

[0013] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터는 정류작용(Rectifying current)을 용이하게 발생시킬 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터는 광캐리어의 포집 능력이 향상될 수 있다.

[0015] 본 발명에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이다.

도 2는 도 1의 포토 디텍터를 A-A로 자른 단면도이다.

도 3은 도 1의 투명 전도층의 X-ray 회절 패턴을 설명하기 위한 그래프이다.

도 4는 도 3의 In_2O_3 (400)의 피크 부분을 가우시안 피팅(Gaussian fitting)한 그래프이다.

도 5는 도 1의 포토 디텍터의 각 층 별 정보를 분석한 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy) 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 도 1의 포토 디텍터의 V_{BM} 을 선형 분석한 UPS(ultra-violet ray photoelectron spectroscopy) 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 도 1의 포토 디텍터의 투명 전도층의 에너지에 따른 광 흡수 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 도 1의 포토 디텍터의 저마늄 기관과 투명 전도층의 계면의 밴드 곡선을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 도 1의 포토 디텍터의 암 전류 조건(dark condition)에서의 전압 전류 곡선이다.

도 10은 도 1의 포토 디텍터의 400nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 11은 도 1의 포토 디텍터의 580nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 12는 도 1의 포토 디텍터의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 13은 도 1의 포토 디텍터의 1100nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 14는 도 1의 포토 디텍터의 입사광의 파장에 따른 광 반응률을 설명하기 위한 그래프이다.

도 15는 본 발명의 다른 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이다.

도 16은 도 15의 포토 디텍터를 B-B로 자른 단면도이다.

도 17은 도 15의 투명 전도층의 X-ray 회절 패턴을 설명하기 위한 그래프이다.

도 18은 도 15의 포토 디텍터의 제1 투명 전도층의 깊이에 따른 XPS 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.

도 19는 도 15의 포토 디텍터의 제1 투명 전도층의 V_{BM} 을 선형 분석한 UPS 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.

도 20은 유리 기관 상의 제1 투명 전도층의 에너지에 따른 광 밴드갭(optical band gap)을 설명하기 위한 도면이다.

도 21은 도 15의 포토 디텍터의 저마늄 기관과 제1 투명 전도층의 계면의 밴드 곡선을 설명하기 위한 도면이다.

도 22는 도 15의 포토 디텍터의 암 전류 조건에서의 전압 전류 곡선이다.

도 23은 도 15의 포토 디텍터의 300nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 24는 도 15의 포토 디텍터의 580nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 25는 도 15의 포토 디텍터의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 26은 도 15의 포토 디텍터의 1100nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

도 27은 도 15의 포토 디텍터의 입사광의 파장에 따른 광 반응률을 설명하기 위한 그래프이다.

도 28은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이다.

도 29는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0018] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.
- [0019] 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.
- [0020] 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.
- [0021] 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 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0022] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 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.
- [0023] 도 1 및 도 2를 참조하여, 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터를 설명한다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이다. 도 2는 도 1의 포토 디텍터를 A-A로 자른 단면도이다.
- [0025] 도 1을 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터(1)는 저마늄 기관(100), 투명 전도층(200), 전면 전극 패턴(300) 및 후면 전극층(400)을 포함한다.
- [0026] 구체적으로, 저마늄 기관(100)은 Ge을 포함할 수 있다. 저마늄 기관(100)은 p형 또는 n형 기관일 수 있다. 즉,

저마늄 기관(100)의 도전형은 무관하고, 저마늄 기관(100)은 투명 전도층(200)의 물질과 일함수(Work function)가 달라서, 투명 전도층(200)을 접합하였을 때 정류(Rectifying) 특성을 가질 수 있다. 저마늄(Ge)은 적외선 영역에서의 높은 투과도, 높은 캐리어 모빌리티 및 낮은 에너지 밴드갭(0.67eV) 때문에 적외선 포토 디텍터에 빈번하게 사용된다. 상기 낮은 에너지 밴드갭 때문에 저마늄은 1800nm의 파장까지 광자를 흡수할 수 있다.

[0027] 투명 전도층(200)은 저마늄 기관(100) 상에 형성될 수 있다. 투명 전도층(200)은 저마늄 기관(100)의 상면에 컨포말하게 형성될 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0028] 투명 전도층(200)은 저마늄 기관(100)과 다른 물질이므로 저마늄 기관(100)과 이종접합(heterojunction)을 이룬다. 투명 전도층(200)은 가시광선을 통과시키는 투명한 재료의 도전체일 수 있다. 예를 들어, 투명 전도층(200)은 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au, IZO(Indium-zinc-oxide) 또는 ITO(Indium-tin-oxide) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0029] 투명 전도층(200)의 두께는 50nm 에서 1000nm일 수 있다. 투명 전도층(200)의 두께가 50nm 미만인 경우 전기 전도성이 충분치 않아 소자의 직렬저항이 높아져 정류 특성이 나빠져 바람직하지 않다. 또한, 투명 전도층(200)의 두께가 1000nm 초과인 경우, 입사광의 투과도가 높지않아 바람직하지 않다(투과도가 85 % 미만). 투과도를 만족하는 투명 전도층(200)은 이상적으로는 빛의 입사면을 기준으로 반사되는 수광 파장의 phase가 1/4이 되는 두께를 이용하여 반사 방지막 (anti-reflection coating)두께를 결정할 수 있다.

[0030] 기존의 광 다이오드의 경우, 같은 물질을 도핑하여 PN 또는 PIN접합을 사용하였으나, 본 발명의 포토 디텍터는 이종접합(heterojunction)을 사용하였다. 광 다이오드의 제조시에 도핑 공정을 이용하는 경우, 캐리어의 재결합(recombination)에 의한 손실이 클 수 있다. 그러나, 도핑 공정이 없는 이종접합(heterojunction)의 경우에는 이종접합 면에서의 캐리어의 손실률을 줄일 수 있다. 더욱이, ITO 또는 AZO 등의 투명 전도체는 전기 전도성이 우수하고, 빛의 투과성도 우수하므로 이종접합 소자로서 빈번하게 사용된다.

[0031] 포토 디텍터의 저마늄 기관(100) 및 투명 전도층(200) 내에서는 전자들이 비대칭적으로 존재한다. 열적 평형상태에서 투명 전도층(200)과 저마늄 기관(100)의 접합으로 이루어진 다이오드 영역 내에서는 캐리어의 농도 구배에 의한 확산으로 전하의 불균형이 생기고, 이로 인해 전기장(electric field)이 형성된다.

[0032] 이에, 다이오드 영역 내부로, 다이오드 영역을 이루는 물질의 전도대(conduction band)와 가전자대(valence band) 사이의 에너지 차이인 밴드갭 에너지(band gap energy)보다 큰 에너지를 갖는 빛이 조사되었을 경우, 빛 에너지를 받은 전자들은 가전자대에서 전도대로 여기(excite)되며, 전도대로 여기된 전자들은 자유롭게 이동할 수 있게 된다.

[0033] 구체적으로, 투명 전도층(200)은 빛을 투과할 수 있으므로, 반사되지 않은 빛은 저마늄 기관(100)에 도달할 수 있다. 도달된 빛에 의해 여기된 전자들은 저마늄 기관(100)에서 비저항의 차이에 의해 투명 전도층(200)으로 쉽게 이동할 수 있다.

[0034] 예를 들어, 저마늄 기관(100)이 비저항에 비해 투명 전도층(200)의 비저항은 매우 작을 수 있다. 이에 따라, 상기 여기된 전자들은 저항이 작은 투명 전도층(200)으로 쉽게 이동할 수 있다. 따라서, 다수의 전자가 저마늄 기관(100)에서 투명 전도층(200)으로 이동하게 된다.

[0035] 따라서, 상기 여기된 전자의 확산에 의해 이종접합 영역 내부에 전압차(potential difference)가 생기게 되며, 이종접합 영역 양측에 전극을 연결하면, 이 기전력을 이용하여 태양전지 또는 포토 디텍터를 형성할 수 있다.

[0036] 전면 전극 패턴(300)은 투명 전도층(200) 상에 형성될 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 도전체로 형성될 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 금속을 포함할 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 Al, Ag, W, Co, Ni, Cu, Ru, Pd, Ag, Pt, Au, In, Sn, CoW, CoWP 및 NiB 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다. 전면 전극 패턴(300)은 투명 전도층(200)과 전기적으로 접속할 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 도사된 바와 같이 투명 전도층(200)의 표면의 일부와 접하는 패턴일 수 있다. 즉, 투명 전도층(200)의 표면 중 전면 전극 패턴(300)과 접하지 않는 표면을 통해 빛이 입사될 수 있다.

[0037] 후면 전극층(400)은 저마늄 기관 아래에 형성될 수 있다. 후면 전극층(400)은 도전체로 형성될 수 있다. 후면 전극층(400)은 금속을 포함할 수 있다. 후면 전극층(400)은 Al, Ag, W, Co, Ni, Cu, Ru, Pd, Ag, Pt, Au, In, Sn, CoW, CoWP 및 NiB 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다. 후면 전극층(400)은 투명 전도층(200)과 전기적으로 접속할 수 있다. 후면 전극층(400)은 저마늄 기관(100)의 표면과 전체적으로 접할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0038] 도 2를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터(1)는 저마늄 산화막(110)을 더 포함할 수 있다.
- [0039] 저마늄 산화막(110)은 투명 전도층(200) 및 저마늄 기관(100) 사이에 형성될 수 있다. 즉, 저마늄 기관(100) 상에 그리고, 투명 전도층(200) 아래에 형성될 수 있다. 도시되었듯이, 저마늄 산화막(110)의 두께(W1)는 투명 전도층(200)의 두께(W2)보다 작을 수 있다. 이에 한정되는 것은 아니지만, 200nm의 두께의 ITO로 형성된 투명 전도층(200)이 형성되는 경우에 저마늄 산화막(110)의 두께는 3.5nm일 수 있다.
- [0040] 저마늄 산화막(110)은 투명 전도층(200)을 형성하는 동안의 저마늄 기관(100)의 온도에 의해 형성될 수 있다. 즉, 급속도의 산화가 상대적으로 넓게 개방된 (100) 방향으로 일어날 수 있다. 저마늄 산화막(110)은 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터(1)에서 효과적으로 표면 누설 전류를 억제할 수 있고, 검출 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0041] 도 1 내지 도 14를 참고하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터(1)의 제조 방법을 설명한다. 상술한 설명과 중복되는 부분은 생략하거나 간략히 한다.
- [0042] **실시예 1**
- [0043] p형 저마늄(Ge) 기관(100)을 사용하였다. 상기 저마늄 기관(100) 상에 투명 전도층(200)은 200nm의 두께의 ITO로 형성하였다. 투명 전도층(200)은 스퍼터링(sputtering) 방식으로 증착되었다. 상기 ITO는 In₂O₃와 10 wt%의 SnO₂의 혼합으로 제공되었다. 투명 전도층(200)은 300W의 직류 전력으로 4인치 타겟으로 5 mTorr의 Ar/O₂ (50/1) 분위기에서 증착되었다. 저마늄 기관(100)은 300℃의 온도로 가열되었고, 균일하게 7rpm의 속도로 회전하였다. 상기 스퍼터링은 증착률이 16.6nm/min인 dc스퍼터링 시스템을 이용하여 증착되었다. 상기 저마늄 기관(100) 하부와 상기 투명 전도층(200) 상에 전면 전극 패턴(300) 및 후면 전극층(400)을 각각 Al으로 추가하였다.
- [0044] 도 2를 참조하면, ITO층의 격자 평면은 (440), (400) 및 (220)과 같이 임의의 방향으로 형성될 수 있다. 각각의 격자 평면 사이의 간격(d)은 (440), (400) 및 (220)의 격자 평면에 대해 각각 1.76, 2.46 및 2.82Å이다. 다른 2개의 방향과 비교하여 (400)의 방향은 ITO 층에서 우선적인 형성 방향이다.
- [0045] **실시예 2**
- [0046] p형 저마늄(Ge) 기관 상에 50nm의 ITO층을 형성하여 깊이 프로파일 분석(실험예 2)을 실행하기 위한 샘플을 형성하였다.
- [0047] **실험예 1**
- [0048] 도 3 및 도 4를 참조하면, 상기 실시예의 X-ray 회절 패턴 분석을 수행하였다.
- [0049] 도 3은 도 1의 투명 전도층의 X-ray 회절 패턴을 설명하기 위한 그래프이고, 도 4는 도 3의 In₂O₃ (400)의 피크 부분을 가우시안 피팅(Gaussian fitting)한 그래프이다.
- [0050] 도 3 및 도 4를 참조하면, ITO층의 가장 현저한 피크는 2θ = 35.03° 에서 (400) 평면 방향으로 나타난다. 이런 이유로, (400) 방향 패턴은 ITO층의 가장 지배적인 구조임을 확인할 수 있다. 그러나, 고해상도 TEM 이미지에서 나타난 다른 방향(도 2 참조)도 역시 XRD 스펙트럼에서 관측된다. 이러한 추가적인 평면 격자 방향들은 ITO/Ge의 계면의 미소변형(micro-strain)에 기여한다. 인접한 층들 사이의 상기 격자 불일치는 미소변형을 야기한다. (400)방향에 따른 평균 결정크기를 계산하기 위해서 하기 수식 1의 Debye-Scherrer 방정식을 사용할 수 있다.

수학식 1

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos \theta}$$

[0051]

[0052] 여기서, θ 및 β 는 상기 가장 현저한 피크의 위치 및 반치폭(full width at half maximum, FWHM)이다. 평균 결정 크기는 200nm 두께의 ITO층에 대해서 23nm로 계산되었다.

[0053] **실험예 2**

- [0054] 도 5를 참조하면, 상기 실시예 2의 XPS 및 UPS분석을 수행하였다. XPS는 물질의 화학적 조성을 확인하는 데에 강력한 도구가 될 수 있다.
- [0055] 도 5는 도 1의 포토 디텍터의 각 층 별 정보를 분석한 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy) 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.
- [0056] 도 5를 참조하면, 실시예 2의 ITO/Ge 소자는 서로 다른 깊이에서의 깊이 프로파일과 계면 효과를 조사하기 위해 식각 공정을 수행하였다. 매번 식각 공정은 5분 동안 1.6 nm/min의 식각율로 수행되었다. 5분의 식각 공정이 진행되고 나서, ITO/Ge 소자를 XPS 및 UPS 기술들로 스캐닝하였다. 상기 스캐닝이 끝난 후에 다시, ITO/Ge 소자는 5분 동안 같은 식각율로 다시 식각하고, 이러한 사이클을 7번 반복하였다. 초기 스캐닝은 표면 신호가 방해 받는 것을 피하기 위해서 이온 에칭 개시 후 1분 뒤에 측정되었다.
- [0057] 5분간의 식각 공정이 끝나면 대략 8nm 두께의 ITO 층이 식각되고, 표면 정보가 기록된다. 1~21분의 식각 공정 동안 예상되었듯이, 상기 ITO 층은 In, Sn 및 산소의 특성 피크(characteristic peak)를 확인할 수 있고, Ge의 신호는 확인할 수 없다. Sn의 신호는 21분에서 약화되고, 이는 ITO/Ge 계면에서의 ITO 구성 내의 Sn 함유량의 결핍을 의미한다. 26분에서 31분 사이에는, ITO 층의 흔적을 찾을 수 없고, Ge 3d의 피크가 나타난다. 이는 식각 깊이가 저마늄 기판에 거의 접근했다는 것을 나타낸다. 상기 피크는 444.eV 및 453eV에서 In 3d_{5/2} 및 In 3d_{3/2}에 각각 나타난다. 3d_{5/2} 및 In 3d_{3/2} 더블렛은 각각 487 및 496 eV에 위치한다. 29eV에 위치하는 피크는 Ge 3d에 대응된다. 이러한 피크들은 순수한 ITO 및 저마늄 물질의 특성 피크이다. 불순물은 XPS 스펙트럼에 관측되지 않는다. 세밀한 분석을 위해서, XPS 스펙트럼은 각각의 깊이에서 가우시안-로렌츠 모델(Gaussian Lorenz model)로 보간(interpolate)된다. 식각 시간에 따른 In 3d_{5/2} and Ge 3d 피크들의 코어 레벨 바인딩 에너지들(core level binding energies)은 표 1에 주어진다.

표 1

Etching time (min)	In 3d	ITO	ITO	Ge 3d	Ge	Ge	$\times E_{BE}^{ITO,Ge}$ (eV)	$\times E_V$ (eV)	$\times E_C$ (eV)
	B.E (eV)	V _{BM} (eV)	B.E(CL) (eV)	B.E (eV)	V _{BM} (eV)	B.E(CL) (eV)			
1	444.9	3.51	441.39	29.04	0.09	28.95	415.86	3.42	-0.14
6	445.02	3.51	441.51	29.04	0.09	28.95	415.98	3.54	-0.26
11	445.08	3.51	441.57	29.04	0.09	28.95	416.04	3.60	-0.32
16	445.07	3.51	441.56	29.04	0.09	28.95	416.03	3.59	-0.31
21	445.1	3.51	441.59	29.04	0.09	28.95	416.06	3.62	-0.34
26	444.92	3.37	441.55	29.04	0.09	28.95	415.88	3.44	-0.16
31	443.24	0.09	443.15	29.04	0.09	28.95	414.2	1.76	1.52

- [0059] ITO와 저마늄의 코어 레벨 바인딩 에너지(B.E)의 차이(표 1의 $\times E_{CL}^{ITO,Ge}$ 값)는 밴드 밴딩 효과(band bending effect)에 의해서 ITO/Ge 계면에서 갑자기 변한다.
- [0060] XPS가 코어 레벨의 정보를 확보하기 위함이라면, UPS 분석은 표면 레벨 정보(surface level information)에 대한 분석 방법이다.
- [0061] 도 6은 도 1의 포토 디텍터의 V_{BM}을 선형 분석한 UPS 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.
- [0062] 도 6을 참조하면, ITO 및 Ge의 밸런스 밴드 최대치(valence band maxima, V_{bm})는 3.51 및 0.09eV로 각각 정해진다. UPS 스펙트럼의 V_{bm}값은 식각 시간이 변함에 따라 변한다. 특히, V_{bm}은 ITO 층에서 3.51eV로 발견되고, ITO/Ge 계면에서는 3.37eV로, Ge에서는 0.09eV로 감소된다.
- [0063] 도 7은 도 1의 포토 디텍터의 투명 전도층의 에너지에 따른 광 흡수 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.
- [0064] 도 7을 참조하면, ITO 물질의 밴드갭 에너지(E_g)는 에너지(hv) 및 (ahv)²의 전형적인 그래프와 같이 측정된다. 흡수 계수 α는 수학적 식 2와 같이 계산된다.

수학식 2

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right)$$

[0065]

[0066]

여기서, d 는 ITO층의 두께이고, T 는 ITO층의 투과율이다. 도 7에서, ITO의 옵티컬 밴드갭(optical band gap)은 3.95eV이다. 저마늄의 에너지 갭은 0.67eV이다. 상기 ITO 및 저마늄의 XPS 및 UPS 및 에너지 갭으로부터, 하기 수학식 3 내지 7을 이용하여 데이터를 계산할 수 있다.

수학식 3

$$B.E \text{ at core level } (B.E_{CL}) = B.E - V_{BM}$$

[0067]

수학식 4

$$\text{Binding energy difference } \Delta E_{BE}^{ITO, Ge} = B.E^{ITO} - B.E^{Ge}$$

[0068]

수학식 5

$$\text{Core level energy difference } \Delta E_{CL}^{ITO, Ge} = B.E_{CL}^{ITO} - B.E_{CL}^{Ge}$$

[0069]

수학식 6

$$\text{Valence band offset, } \Delta E_V = \Delta E_{BE}^{ITO, Ge} - \Delta E_{CL}^{ITO, Ge}$$

[0070]

수학식 7

$$\text{Conduction band offset, } \Delta E_C = E_g^{ITO} - E_g^{Ge} - \Delta E_V$$

[0071]

[0072]

상기 수학식을 이용하여, 표 1의 밸런스 및 컨덕션 밴드 오프셋 값(ΔE_V 및 ΔE_C)이 계산될 수 있다. 이는 계면(식각 시간 26-31분)에서 ΔE_V 및 ΔE_C 값이 갑작스러운 변화를 가진다는 점에서 의미가 있다.

[0073]

도 8은 도 1의 포토 디텍터의 저마늄 기관과 투명 전도층의 계면의 밴드 곡선을 설명하기 위한 도면이다.

[0074]

도 8을 참조하면, ITO와 저마늄의 계면에서 3.5eV에서 1.7eV로의 밸런스 밴드 오프셋의 급격한 감소가 관측된다. ITO의 에너지 밴드는 식각 시간 및 고정된 저마늄의 에너지 레벨에 따라 점차 구부러진다. 상기 밴드 밴딩(band bending)은 쇼트키 컨택(Schottky like contacts)의 중요한 특성이다. 일반적으로, 반도체와 금속의 접합에서는 반도체의 밴드는 금속의 페르미 레벨에 고정된다. 밴드는, P형의 반도체에서는 위로 구부러지고, N형의 반도체에서는 아래로 구부러진다. 쇼트키 컨택에서는, 전하 캐리어들은 낮은 일함수 물질에서 높은 일함수 물질로 흐를 수 있다. 이러한 요소들을 모두 고려하면, 실시예 2는 어떠한 금속 컨택의 사용 없이 쇼트키 포토

디텍터로 작용하고, 좋은 정류 접합을 제공한다. 따라서, 본 발명의 포토 디텍터에서 전하 캐리어들은 p형 저마늄에서 IT0층으로 이동한다. 투명 전도체 및 반도체의 일함수의 차이에 따라, 이 2개의 물질의 접합은 자연스럽게 전기장을 형성하고, 이종접합 포토 다이오드(heterojunction photodiode)로 기능할 수 있다.

[0075] 실험예 3

[0076] IT0와 저마늄의 정류 접합의 성능을 조사하기 위해 실시예 1의 I-V 특성을 측정하였다. 도 9는 도 1의 포토 디텍터의 암 전류 조건(dark condition)에서의 전압 전류 곡선이다.

[0077] 도 9를 참조하면, IT0/Ge 포토 다이오드의 다이오드 특성 중 접합에서의 정류 콘택이 확인될 수 있다. 또한, 도 9는 I_{RS} (low reverse saturation current) 및 I_F (high forward current)를 보여준다. 도 9를 참조하면, I_{RS} 는 $-0.75V$ 에서 -10 mA/cm^2 이다. 역전류(reverse current)의 IT0와 Ge 면의 다른 격자상수에 기인한 결함(defect)과 직접적으로 관련이 있다. $0.75V$ 에서의 정전류(forward current)와 역전류의 비율인 정류율(rectification ratio)은 27.92로 계산된다. 정류값의 높은 수치는 정류접합의 성능에 기여한다. 또한, 실시예 2의 구조는 낮은 I_{RS} 값에 따라 효과적으로 누설 전류(leakage current)를 억제할 수 있다. 장치의 상면의 IT0 층은 그 위의 금속 전극으로의 캐리어 수송을 효과적으로 조절하고, 누설 전류 값을 낮추도록 유도한다.

[0078] 실험예 4

[0079] 실시예 1에 빛을 노출시켜 광반응을 측정하였다. 도 10은 도 1의 포토 디텍터의 400nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이고, 도 11은 도 1의 포토 디텍터의 580nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다. 도 12는 도 1의 포토 디텍터의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이고, 도 13은 도 1의 포토 디텍터의 1100nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

[0080] 각각의 파장의 빛은 주기적으로 온오프되고, 제로 바이어스 전압(zero bias voltage)에서 전류 값이 측정되었다. 실시예 1의 포토 디텍터는 파장을 늘림에 따라 광반응 프로파일이 더 강화되는 성향을 가지고 있다. 실시예 1의 포토 디텍터는 600 내지 900nm의 파장의 빛에 대해서 민감한 광반응을 보여준다. 400nm의 짧은 파장에서는 실시예 1의 포토 디텍터의 광 반응은 상대적으로 낮다. 이는 400nm의 파장에서 전하 캐리어들이 전자-홀 쌍을 생성하지 않고 여기(excite)하는 IT0의 본질적인 특성에 기인한다. 또한, IT0 내부에서 밴드간 전이(inter band transition)가 일어남에 따라 반응도(responsivity)는 $\lambda=1100\text{nm}$ 에서 감소한다.

[0081] 도 14는 도 1의 포토 디텍터의 입사광의 파장에 따른 광 반응률을 설명하기 위한 그래프이다. 도 14를 참조하면, 광 반응률(photoresponse ratio)은 온/오프 전류의 비율에서 계산되어 그래프로 그려질 수 있다.

[0082] 광 반응률은 400nm 에서 600nm 사이의 구간에서 점차 증가하고, 다시 900nm 까지는 점차 감소한다. 계속해서, 상기 반응은 1100nm의 파장까지는 빠르게 감소한다. 결과적으로, 실시예 1의 포토 디텍터는 600 내지 900nm의 입사광을 저마늄에 효과적으로 전달한다. 따라서, 자유 전하 캐리어들은 생성되고, 저마늄 기판에서 Al 전극까지 빠르게 운반된다. 넓은 파장 범위(400 내지 900nm)의 감지는 실리콘 물질을 사용하는 장치와 구별되는 저마늄 베이스의 장치들만의 효과이다. 즉, 실시예 1의 포토 디텍터는 넓은 범위의 파장의 빛을 감지할 수 있다. 또한 자연스럽게 형성되는 다이오드 접합 구성 역시 실시예 1의 포토 디텍터의 제조 공정 상 및 비용상의 장점이 될 수 있다.

[0083] 도 15 및 도 16을 참조하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 포토 디텍터를 설명한다. 상술한 포토 디텍터(1)와 유사한 부분의 설명은 생략하거나 간략히 하고, 다른 점을 중심으로 설명한다.

[0084] 도 15는 본 발명의 다른 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이고, 도 16은 도 15의 포토 디텍터를 B-B로 자른 단면도이다.

[0085] 도 15를 참고하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 포토 디텍터(2)의 투명 전도층(200)은 저마늄 기판(100), 제1 투명 전도층(200a), 제2 투명 전도층(200b), 전면 전극 패턴(300) 및 후면 전극층(400)을 포함한다.

[0086] 구체적으로, 저마늄 기판(100)은 Ge을 포함할 수 있다. 저마늄 기판(100)은 p형 또는 n형 기판일 수 있다. 즉, 저마늄 기판(100)의 도전형은 무관하고, 저마늄 기판(100)은 투명 전도층(200)의 물질과 일함수(Work function)가 달라서, 투명 전도층(200)을 접합하였을 때 정류(Rectifying) 특성을 가질 수 있다. 저마늄(Ge)은 적외선 영역에서의 높은 투과도, 높은 캐리어 모빌리티 및 낮은 에너지 밴드갭(0.67eV) 때문에 적외선 포토 디텍터에 빈번하게 사용된다. 상기 낮은 에너지 밴드갭 때문에 저마늄은 1800nm의 파장까지 광자를 흡수할 수 있다.

- [0087] 투명 전도층(200)은 저마늄 기관(100) 상에 형성될 수 있다. 투명 전도층(200)은 저마늄 기관(100)의 상면에 큰 포말하게 형성될 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0088] 투명 전도층(200)은 제1 투명 전도층(200a)과 제2 투명 전도층(200b)을 포함할 수 있다. 제2 투명 전도층(200b)은 제1 투명 전도층(200a) 상에 형성될 수 있다. 즉, 제1 투명 전도층(200a)의 하면이 저마늄 기관(100)의 상면과 접하고, 제2 투명 전도층(200b)의 하면이 제1 투명 전도층(200a)의 상면과 접할 수 있다.
- [0089] 제1 투명 전도층(200a)은 저마늄 기관(100)과 다른 물질이므로 저마늄 기관(100)과 이종접합(heterojunction)을 이룬다. 제1 투명 전도층(200a)은 가시광선을 통과시키는 투명한 재료의 도전체일 수 있다. 예를 들어, 제1 투명 전도층(200a)은 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au, IZO(Indium-zinc-oxide) 또는 ITO(Indium-tin-oxide) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0090] 제2 투명 전도층(200b)은 제1 투명 전도층(200a)과 다른 물질을 포함할 수 있다. 제2 투명 전도층(200b)은 가시광선을 통과시키는 투명한 재료의 도전체일 수 있다. 예를 들어, 제2 투명 전도층(200b)은 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au, IZO(Indium-zinc-oxide) 또는 ITO(Indium-tin-oxide) 중 적어도 하나를 포함할 수 있으나 제1 투명 전도층(200a)의 물질과 다른 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 투명 전도층(200a)의 물질이 AZO인 경우에는 제2 투명 전도층(200b)의 물질은 ITO일 수 있다. 상온에서 ITO는 AZO에 비해 낮은 투명도를 가지고, AZO는 넓은 밴드갭 및 높은 엑시톤 바인딩 에너지(exciton binding energy)를 가지고 있다. 따라서, AZO는 ITO의 대체물로도 많이 사용된다. 그러나, AZO층의 전도도는 ITO층의 전도도보다 낮다. 따라서, AZO 및 ITO의 복수의 층을 가지는 구조가 사용되어 전도도 및 투명도의 적절한 트레이드 오프(trade-off)를 유지할 수 있다. ITO/AZO/Ge 구조는 층마다 서로 다르게 설정된(graded) 반사 계수를 가질 수 있다. 구체적으로, 공기, ITO, AZO 및 저마늄의 반사 계수는 각각 1, 1.86, 1.85 및 4이다. 상기 복합구조는 반사를 억제하고, 입사광이 효과적으로 많은 수의 전자-홀 페어를 형성할 수 있도록 조절할 수 있다. 또한, AZO의 일함수가 p형 저마늄보다 높으므로, 안정된 정류 접합이 AZO의 제1 투명 전도층(200a) 및 저마늄 기관(100) 사이의 계면에서 형성될 수 있다.
- [0091] 제1 투명 전도층(200a)의 두께는 10nm 에서 200nm일 수 있다. 투명 전도층(200)의 두께가 10nm 미만인 경우 전기 전도성이 충분치 않아 소자의 직렬저항을 높여 바람직하지 않다. 또한, 투명 전도층(200)의 두께가 200nm 초과인 경우, 입사광의 투과도가 높지 않아 바람직하지 않다. 특히 제2 투명 전도층(200b)에서 직렬저항을 낮추지만 빛의 투과도를 제한하므로, 제1 투명 전도층(200a)에서는 우수한 빛의 투과도가 더욱 중요하며 두께를 200nm로 제한 하는 것이 바람직하다(투과도가 90% 이상).
- [0092] 제2 투명 전도층(200b)의 두께는 50nm 에서 1000nm일 수 있다. 투명 전도층(200)의 두께가 50nm 미만인 경우 전기 전도성이 충분치 않아 바람직하지 않다. 또한, 투명 전도층(200)의 두께가 1000nm 초과인 경우, 입사광의 투과도가 높지 않아 바람직하지 않다.
- [0093] 제2 투명 전도층(200b)의 두께는 제1 투명 전도층(200a)의 두께보다 두꺼울 수 있다. 예를 들어, 제2 투명 전도층(200b)의 두께는 제1 투명 전도층(200a)의 두께보다 10배만큼 클 수 있다.
- [0094] 전면 전극 패턴(300)은 제2 투명 전도층(200b) 상에 형성될 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 도전체로 형성될 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 금속을 포함할 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 Al, Ag, W, Co, Ni, Cu, Ru, Pd, Ag, Pt, Au, In, Sn, CoW, CoWP 및 NiB 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다. 전면 전극 패턴(300)은 제2 투명 전도층(200b)과 전기적으로 접속할 수 있다. 전면 전극 패턴(300)은 도화된 바와 같이 제2 투명 전도층(200b)의 표면의 일부와 접하는 패턴일 수 있다. 즉, 제2 투명 전도층(200b)의 표면 중 전면 전극 패턴(300)과 접하지 않는 표면을 통해 빛이 입사될 수 있다.
- [0095] 후면 전극층(400)은 저마늄 기관 아래에 형성될 수 있다. 후면 전극층(400)은 도전체로 형성될 수 있다. 후면 전극층(400)은 금속을 포함할 수 있다. 후면 전극층(400)은 Al, Ag, W, Co, Ni, Cu, Ru, Pd, Ag, Pt, Au, In, Sn, CoW, CoWP 및 NiB 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다. 후면 전극층(400)은 저마늄 기관(100)의 표면과 전체적으로 접할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0096] 도 16을 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터(2)는 저마늄 산화막(110)을 더 포함할 수 있다.
- [0097] 저마늄 산화막(110)은 제1 투명 전도층(200a) 및 저마늄 기관(100) 사이에 형성될 수 있다. 즉, 저마늄 기관(100) 상에 그리고, 제1 투명 전도층(200a) 아래에 형성될 수 있다. 저마늄 산화막(110)의 두께는 제1 투명 전도층(200a) 및 제2 투명 전도층(200b)의 두께보다 작을 수 있다.

- [0098] 저마늄 산화막(110)은 투명 전도층(200)을 형성하는 동안의 저마늄 기관(100)의 온도에 의해 형성될 수 있다. 즉, 급속도의 산화가 상대적으로 넓게 개방된 (100) 방향으로 일어날 수 있다. 저마늄 산화막(110)은 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터(2)에서 효과적으로 표면 누설 전류를 억제할 수 있고, 검출 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0099] 도 15 내지 도 16을 참고하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 포토 디텍터(2)의 제조 방법을 설명한다. 상술한 설명과 중복되는 부분은 생략하거나 간략히 한다.
- [0100] **실시예 3**
- [0101] p형 저마늄(Ge) 기관(100)을 사용하였다. 상기 저마늄 기관(100) 상에 제1 투명 전도층(200a)은 20nm의 두께의 AZO로 형성하였다. 제2 투명 전도층(200b)은 스퍼터링(sputtering) 방식으로 200nm의 두께로 증착되었다. 상기 ITO는 In_2O_3 와 10 wt%의 SnO_2 의 혼합으로 제공되었다. 투명 전도층(200)은 $3.70\text{W}/\text{cm}^2$ 의 직류 전력으로 4인치 타겟으로 상온의 Ar 분위기에서 증착되었다. 저마늄 기관(100) 및 제1 투명 전도층(200a)은 300°C 의 온도로 가열되었고, 균일하게 7rpm의 속도로 회전하였다. 상기 스퍼터링은 증착률이 $16.6\text{nm}/\text{min}$ 인 dc스퍼터링 시스템을 이용하여 증착되었다. 저마늄 기관(100) 하부와 제2 투명 전도층(200b) 상에 전면 전극 패턴(300) 및 후면 전극층(400)을 각각 Al으로 추가하였다.
- [0102] **실시예 4**
- [0103] p형 저마늄(Ge) 기관 상에 50nm의 AZO층을 형성하여 깊이 프로파일 분석(실험예 6)을 실행하기 위한 샘플을 형성하였다.
- [0104] **실험예 5**
- [0105] 도 17을 참조하면, 상기 실시예의 X-ray 회절 패턴 분석을 수행하였다.
- [0106] 도 17은 도 15의 투명 전도층의 X-ray 회절 패턴을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0107] 도 17을 참조하면, 실시예 3의 ITO층의 가장 현저한 피크는 $2\theta = 29.9^\circ$ 에서 (222) 평면 방향으로 나타난다. XRD 방법은 특정 깊이 아래에서는 한계를 가지므로, AZO층은 예상한 만큼 표시되지 않는다. 그러나, 상대적으로 작은 피크가 $2\theta = 33.9^\circ$ 에서 (002) 방향으로 나타난다. (222)방향에 따른 ITO층의 평균 결정크기를 계산하기 위해서 상기 수학적 1의 Debye-Scherrer 방정식을 사용할 수 있다.
- [0108] 수학적 1에서, θ 및 β 는 상기 가장 현저한 피크의 위치 및 반치폭(full width at half maximum, $\text{FWHM} \approx 0.48^\circ$)이다. 평균 결정 크기는 200nm 두께의 ITO층에 대해서 17nm로 계산되었다.
- [0109] AZO 층을 기반으로 성장된 ITO층은, AZO 없이 바로 Ge 위에 성장된 ITO층과 비교하여 (222)방향의 우선성장이 발견되며 이는 이중 에피탁셀(hetero-epitaxial) 성장으로 기인한다. 따라서 AZO기반의 ITO층에서 보다 우수한 격자특성을 얻을 수 있다.
- [0110] **실험예 6**
- [0111] 도 18을 참조하면, 상기 실시예 4의 XPS 및 UPS분석을 수행하였다. 도 18은 도 15의 포토 디텍터의 제1 투명 전도층의 깊이에 따른 XPS 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.
- [0112] 도 18을 참조하면, 실시예 4의 AZO/Ge 소자는 서로 다른 깊이에서의 깊이 프로파일과 계면 효과를 조사하기 위해 식각 공정을 수행하였다. 우선 첫번째 식각 공정은 1분 동안 $3\text{nm}/\text{min}$ 의 식각율로 수행되어 표면의 오염을 제거하였다. 결과적으로 3nm의 AZO층이 제거되었다. 이 때, AZO/Ge는 강한 Zn 더블릿 피크들($\text{Zn } 2p_{3/2}$ and $2p_{1/2}$)를 각각 1044.4 eV 및 1021.2 eV에서 나타낸다. 이러한 첫 번째 스캐닝에서는 Ge의 피크의 흔적은 나타나지 않는다.
- [0113] 두 번째 식각 공정은 10분동안 같은 식각율로 30nm를 식각하였다. XPS 스펙트럼은 표면에서 약 32nm의 깊이에서 기묘한 특성을 나타낸다. $\text{Zn } 2p_{3/2}$ 및 $\text{Zn } 2p_{1/2}$ 피크의 코어 레벨 바인딩 에너지들은 밸런스 및 컨덕션 밴드의 오프셋의 변화에 의해 갑자기 더 높은 값으로 이동된다. 13분 및 15분의 식각 공정에서도 현저하진 않지만, Zn 피크들의 바인딩 에너지에서 같은 현상이 발생한다. 이러한 바인딩 에너지들의 이동은 산화 상태의 변화에 있다. 산화 상태의 증가는 이온 코어로부터의 구속된 전자의 차단 감소에 의해 바인딩 에너지를 증가시킨다. 17분의 식각 공정에서는 AZO/Ge의 표면은 거의 계면에 도달하고(표면으로부터 거의 50nm의 깊이), AZO 층의 두께에 의

해 Zn 피크 들의 크기는 갑자기 감소한다. 저마늄은 Ge 3d 특성 피크로 나타난다. 이어서 2분간 더 식각되는 경우 저마늄의 내부로 도달하게 된다. 17 내지 19분 사이의 식각 공정에서는, Zn의 피크는 없어지고, Ge 3d가 끌어올려진다. 상기 관측되는 Zn 및 Ge의 피크들은 서로 구별되는 순수한 AZO 및 Ge의 피크들이다. 서로 다른 깊이의 AZO/Ge 포토 디텍터는 표 2와 같이 Zn 및 Ge의 코어 바인딩 에너지에서의 변화를 만들어 낸다.

표 2

Etching time (min)	AZO (Zn 2p)	AZO	AZO	Ge 3d	Ge	Ge	$\times E_{CL}^{AZO,Ge}$ (eV)	$\times E_V$ (eV)	$\times E_C$ (eV)
	B.E (eV)	V_{BM} (eV)	B.E (SL) (eV)	B.E (eV)	V_{BM} (eV)	B.E (SL) (eV)			
1	1021.33	2.74	1018.59	29.04	0.09	28.946	992.29	2.65	0.104
11	1021.77	2.74	1019.03	29.04	0.09	28.946	992.73	3.09	-0.336
13	1022.12	2.74	1019.38	29.04	0.09	28.946	993.08	3.44	-0.686
15	1022.06	2.74	1019.32	29.04	0.09	28.946	993.02	3.38	-0.626
17	1021.66	2.74	1018.92	29.04	0.09	28.946	992.62	2.98	-0.226

XPS가 코어 레벨의 정보를 확보하기 위함이라면, UPS 분석은 표면 레벨 정보(surface level information)에 대한 분석 방법이다.

도 19는 도 15의 포토 디텍터의 제1 투명 전도층의 V_{BM} 을 선형 분석한 UPS 스펙트럼을 설명하기 위한 도면이다.

도 19를 참조하면, AZO 및 Ge의 밸런스 밴드 최대치(valence band maxima, V_{bm})는 표면에서는 2.74eV, AZO와 Ge의 계면에서는 0.09eV로 측정된다. XPS에서 측정된 바인딩 에너지(BE) 및 UPS에서 측정된 V_{BM} 을 이용하면, AZO 및 Ge의 표면 레벨 바인딩 에너지(surface level binding energies)들은 아래의 수학적 식 8과 같이 계산될 수 있다.

수학적 식 8

$$\text{B. E at surface level (B. E}_{SL}) = \text{B. E} - V_{BM}$$

AZO 및 Ge 각각의 표면 레벨 바인딩 에너지 및 코어 레벨 바인딩 에너지들의 차이점은 하기 수학적 식 9 내지 수학적 식 11의 포토 디텍터의 밸런스 밴드 오프셋에 의해 설명된다.

수학적 식 9

$$\text{Valence band offset, } \Delta E_V = \Delta E_{CL}^{AZO,Ge} - \Delta E_{SL}^{AZO,Ge}$$

수학적 식 10

$$\text{Core level binding energy difference } \Delta E_{CL}^{AZO,Ge} = \text{B. E}^{AZO} - \text{B. E}^{GE}$$

수학적 식 11

$$\text{Surface level energy difference } \Delta E_{SL}^{AZO,Ge} = \text{B. E}_{SL}^{AZO} - \text{B. E}_{SL}^{GE}$$

[0123] AZO/Ge 포토 디텍터의 밴드 오프셋은 컨덕션 밴드 오프셋(χE_C)이 알려진 경우에만 알 수 있다.

[0124] 도 20은 유리 기관 상의 제1 투명 전도층의 에너지에 따른 광 밴드갭(optical band gap)을 설명하기 위한 도면이다.

[0125] 도 20을 참조하면, χE_C 를 계산하기 위해서, AZO 물질의 밴드갭 에너지(E_g)는 에너지($h\nu$) 및 $(\alpha h\nu)^2$ 의 전형적인 그래프와 같이 측정된다. AZO의 에너지 밴드갭(E_g)은 3.42eV로 계산된다. 나아가, 저마늄의 에너지 갭은 0.67eV이다. 상기 AZO 및 저마늄의 에너지 갭으로부터, 하기의 수학적식 12 내지 7을 이용하여 컨덕션 밴드 오프셋 값을 계산할 수 있다.

수학적식 12

[0126] *Conduction band offset,* $\Delta E_C = E_g^{AZO} - E_g^{Ge} - \Delta E_V$

[0127] 도 21은 도 15의 포토 디텍터의 저마늄 기관과 제1 투명 전도층의 계면의 밴드 곡선을 설명하기 위한 도면이다.

[0128] 도 21을 참조하면, 표 2에서 주어진 바인딩 에너지들의 차이, 밸런스 및 컨덕션 밴드 오프셋들은 간단한 결론을 가져온다. 11분의 식각 시간에서 χE_V 및 χE_C 값의 갑작스런 변화가 측정된다. 이러한 식각 공정 동안, 밴드들은 점차 AZO 및 Ge의 페르미 레벨과 동일하도록 구부러진다. 계면에서는 AZO의 밸런스 및 컨덕션 밴드들은 퀄리티 접합(quality junction)을 형성하기 위해 구부러진다. Ge 반도체의 일함수는 AZO 물질보다 낮으므로, 전하 캐리어들은 Ge로부터 AZO로 이동됨에 따라, 옴(ohmic) 콘택 대신 정류 콘택(rectifying contact)이 형성된다.

[0129] 상기 밴드 벤딩(band bending)은 쇼트키 콘택(Schottky like contacts)의 중요한 특성이다. 일반적으로, 반도체와 금속의 접합에서는 반도체의 밴드는 금속의 페르미 레벨에 고정된다. 밴드는, P형의 반도체에서는 위로 구부러지고, N형의 반도체에서는 아래로 구부러진다. 쇼트키 콘택에서는, 전하 캐리어들은 낮은 일함수 물질에서 높은 일함수 물질로 흐를 수 있다. 이러한 요소들을 모두 고려하면, 실시예 3은 어떠한 금속 콘택의 사용 없이 쇼트키 포토디텍터로 작용하고, 좋은 정류 접합을 제공한다.

[0130] 실험예 7

[0131] AZO와 저마늄의 정류 접합의 성능을 조사하기 위해 실시예 3의 I-V 특성을 측정하였다. 도 22는 도 15의 포토 디텍터의 암 정류 조건에서의 전압 전류 곡선이다.

[0132] 도 22를 참조하면, AZO/Ge 포토 다이오드의 다이오드 특성 중 접합에서의 정류 콘택이 확인될 수 있다. 일반적으로, 누설전류는 표면 결함 및 장치의 감지 수준의 저하를 불러오는 열악한 접합 구성에 기인한다. 그러나, AZO/Ge 포토 디텍터에서는 ITO층 및 저마늄 산화막이 패시베이션 특성을 통해 누설 전류를 가라앉힌다. 따라서, I_{RS} 는 53.6 μA 이다. 이는 일반적인 패터닝된 반도체 장치에 비해서 매우 낮은 값의 I_{RS} 이다. 1V에서의 정전류(forward current)와 역전류의 비율인 정류율(rectification ratio)은 22.36로 계산된다. 정류값의 높은 수치는 정류접합의 성능에 기여한다. 결과적으로, 빛에 의해 형성된 전자-홀 페어들은 빌트인 포텐셜(built-in potential) 및 그에 따른 반응도에 의해 빠르게 분리된다.

[0133] 실험예 8

[0134] 실시예 3에 빛을 노출시켜 광반응을 측정하였다. 도 23은 도 15의 포토 디텍터의 300nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이고, 도 24는 도 15의 포토 디텍터의 580nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다. 도 25는 도 15의 포토 디텍터의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이고, 도 26은 도 15의 포토 디텍터의 1100nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.

[0135] 각각의 파장의 빛은 주기적으로 온오프되고, 제로 바이어스 전압(zero bias voltage)에서 전류 값이

측정되었다. 실시예 3의 포토 디텍터는 파장을 늘림에 따라 광반응 프로파일이 더 강화되는 성향을 가지고 있다. 실시예 3의 포토 디텍터는 300nm의 파장의 빛에 대해서 상대적으로 낮은 광반응을 보여준다. 이는 300nm 이하의 파장에서 전하 캐리어들이 전자-홀 쌍을 생성하지 않고 여기(excite)하는 AZO의 본질적인 특성에 기인한다. 빛의 파장이 600nm로 늘어나면, 상기 광반응도 도시된 광전류와 같이 증가한다. 900nm에서는 실시예 3의 AZO/Ge의 포토 디텍터는 40.834nA의 가장 높은 광 생성 전류 값을 가진다. 이는 대응하는 파장에서의 광 생성 캐리어들의 효과적인 수집에 기인한다. 적외선 영역인 1100nm에서는 AZO/p-Ge는 6.54nA의 광 전류에 따른 더 나은 반응을 보여준다. AZO 내부에서 밴드간 전이(inter band transition)가 일어남에 따라 광 생성 전류 값(6.54nA)은 900nm의 빛보다 훨씬 낮아진다.

[0136] 도 27은 도 15의 포토 디텍터의 입사광의 파장에 따른 광 반응률을 설명하기 위한 그래프이다. 도 27을 참조하면, 광 반응도(light response ratio)는 광반응 전류(light-reactive current) 및 초기 전류(initial current)의 비율에서 계산되어 그래프로 그려질 수 있다.

[0137] 실시예 3의 포토 디텍터는 1100nm 에서 가장 높은 광반응도를 보여준다. 한편, 라이트 오프 전류(light-off current)는 상당히 억제된 약 6pA이고, 이는 900nm의 64.847pA보다 한 자리수가 낮은 값이다. 결과적으로, 엄청나게 높은 광반응 값(1089.61)이 1100nm에서 얻어진다. 이는 실리콘 물질을 사용하는 장치와 구별되는 저마늄 베이스의 장치들만의 효과이다. 즉, 실시예 3의 포토 디텍터는 적외선 영역 빠르게 감지할 수 있다. 또한 자연스럽게 형성되는 다이오드 접합 구성 역시 실시예 1의 포토 디텍터의 제조 공정 상 및 비용상의 장점이 될 수 있다.

[0138] 이하, 도 28을 참조하여, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 포토 디텍터(3)를 설명한다. 본 실시예는 상술한 포토 디텍터(1)와 유사하므로 다른 점을 중점적으로 설명한다.

[0139] 도 28은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이다.

[0140] 도 28을 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 포토 디텍터(3)는 포토 디텍터(1)에 금속 박막(150)을 더 포함한다.

[0141] 금속 박막(150)은 저마늄 기관(100)의 상면에 형성될 수 있다. 금속 박막(150)은 투명 전도층(200)의 하면에 형성될 수 있다. 즉, 금속 박막(150)은 저마늄 기관(100)과 투명 전도층(200) 사이에 형성될 수 있다. 금속 박막(150)의 두께는 매우 얇을 수 있다. 예를 들어, 금속 박막(150)의 두께는 10nm 이하일 수 있다.

[0142] 일반적으로, 쇼트키 접합 소자는 반도체 물질과 박막 금속을 이용하여 구성될 수 있다. 본 실시예의 포토 디텍터(3)는 금속 박막(150) 위에 투명 전도층(200)을 포함하여 전기 전도성을 향상시키고, 박막 금속의 산화를 방지할 수 있다.

[0143] 도 29는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 포토 디텍터의 구조를 설명하기 위한 개념도이다.

[0144] 도 29를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 포토 디텍터(4)는 포토 디텍터(2)에 금속 박막(150)을 더 포함한다.

[0145] 금속 박막(150)은 저마늄 기관(100)의 상면에 형성될 수 있다. 금속 박막(150)은 제1 투명 전도층(200a)의 하면에 형성될 수 있다. 즉, 금속 박막(150)은 저마늄 기관(100)과 제1 투명 전도층(200a) 사이에 형성될 수 있다. 금속 박막(150)의 두께는 매우 얇을 수 있다. 예를 들어, 금속 박막(150)의 두께는 10nm 이하일 수 있다.

[0146] 일반적으로, 쇼트키 접합 소자는 반도체 물질과 박막 금속을 이용하여 구성될 수 있다. 본 실시예의 포토 디텍터(3)는 금속 박막(150) 위에 제1 투명 전도층(200a)을 포함하여 전기 전도성을 향상시키고, 박막 금속의 산화를 방지할 수 있다.

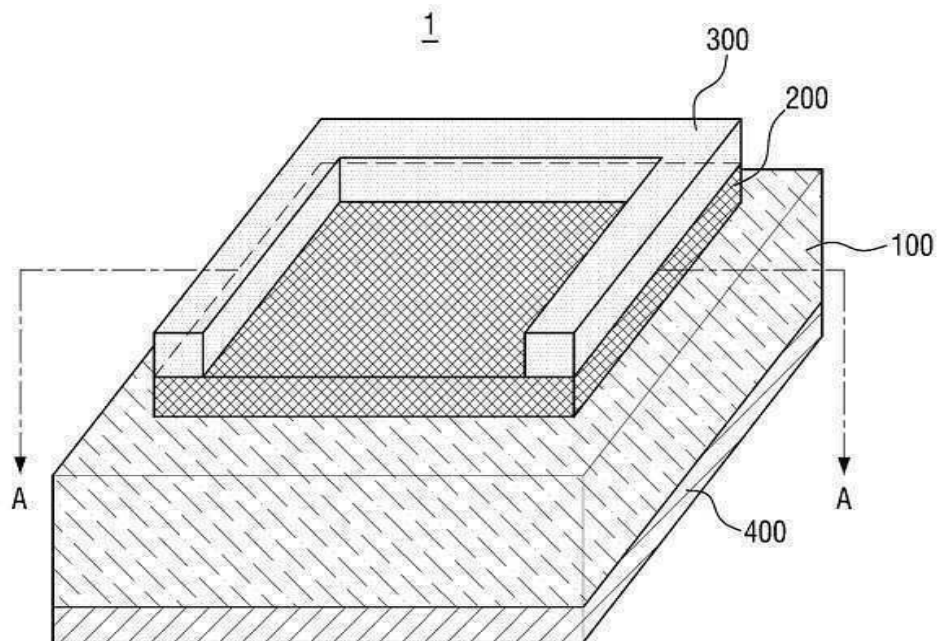
[0147] 이상 실험예 및 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

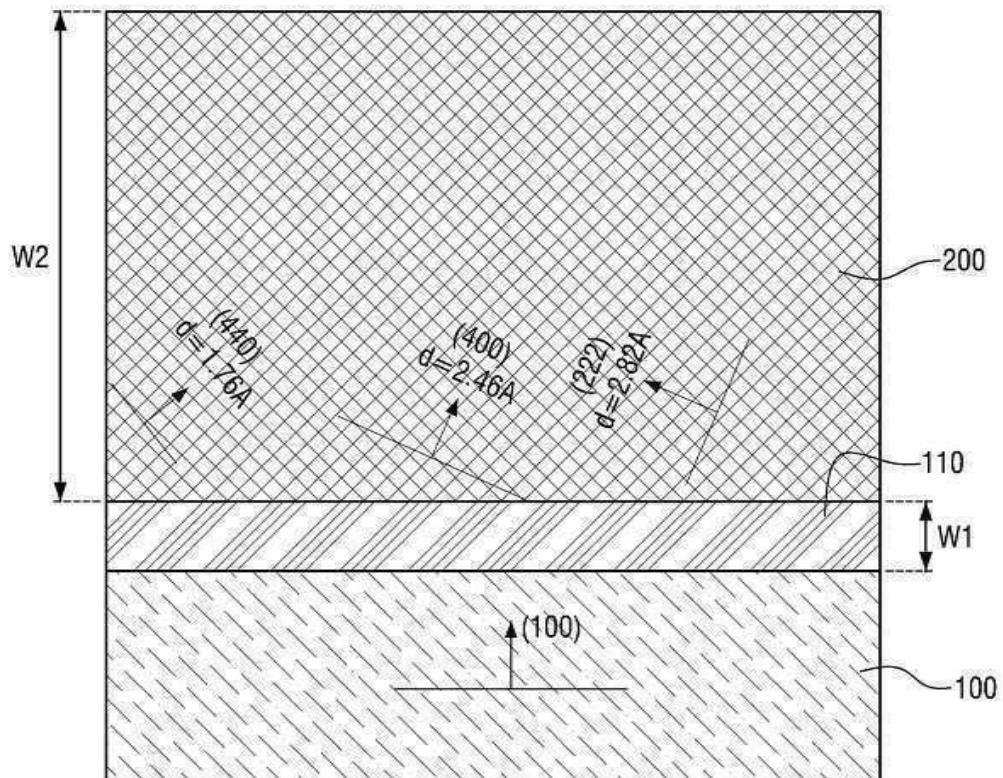
[0148] 100: 저마늄 기관 200: 투명 전도층
300: 전면 전극 패턴 400: 후면 전극층

도면

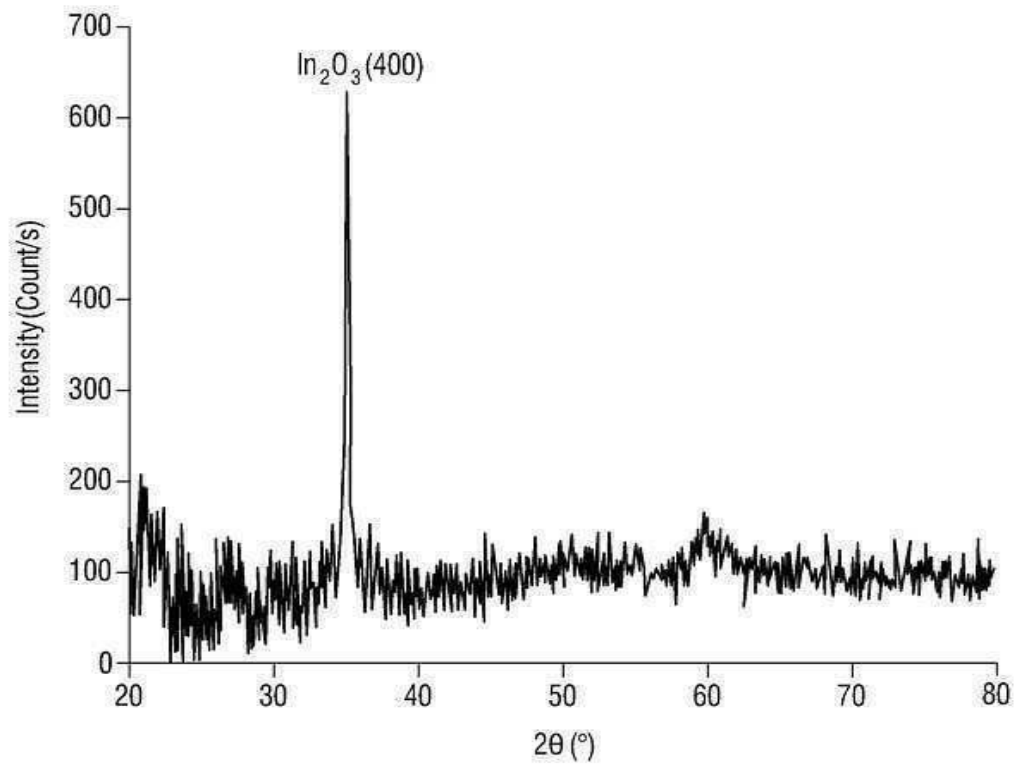
도면1



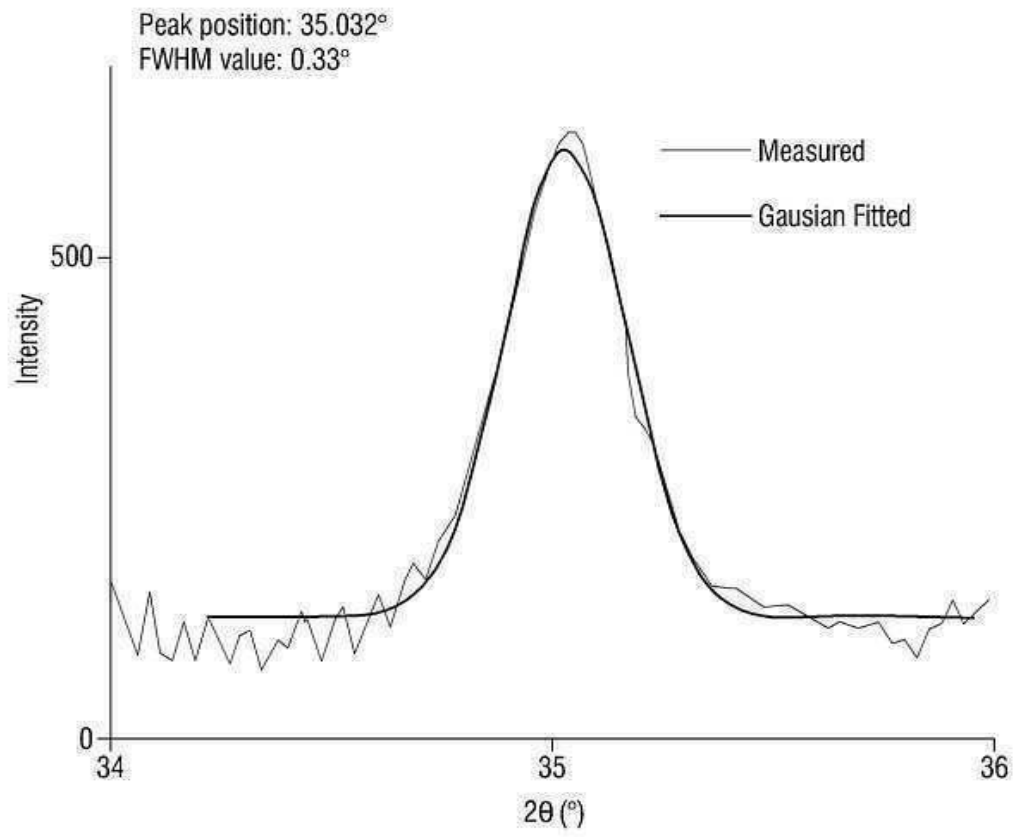
도면2



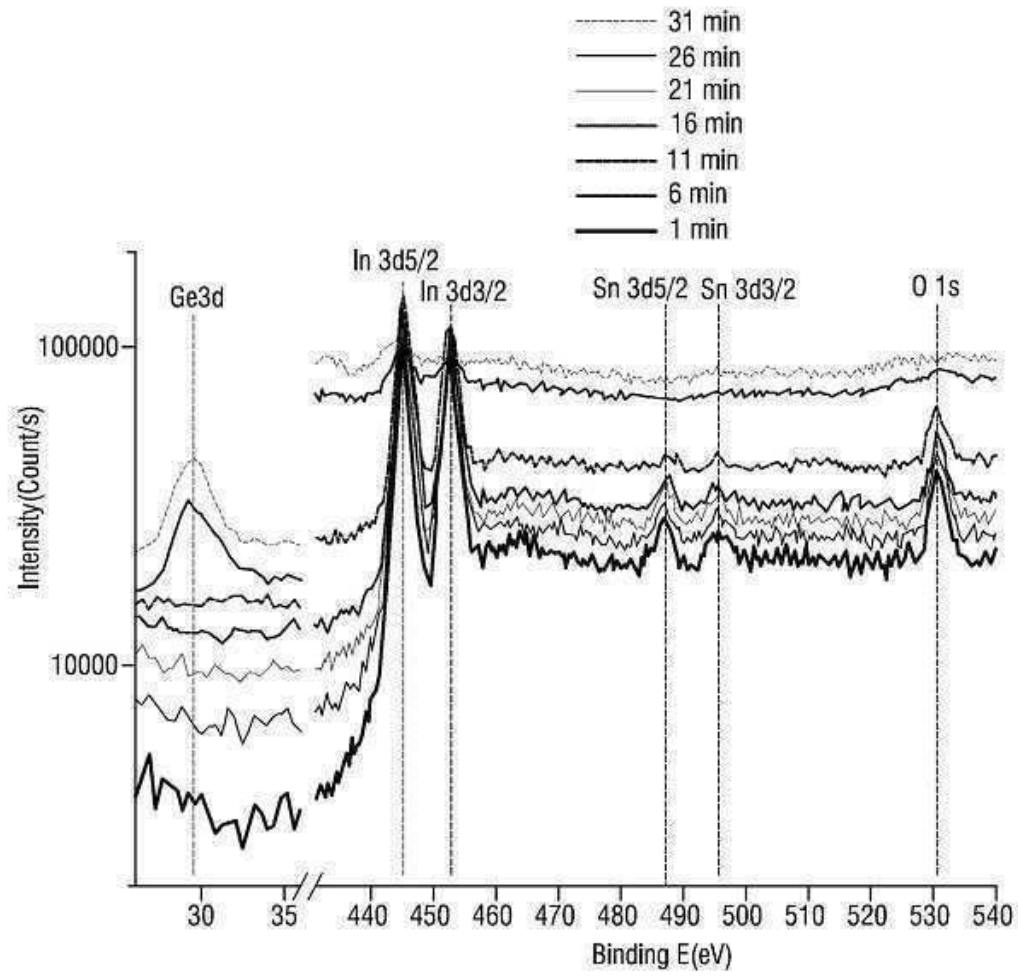
도면3



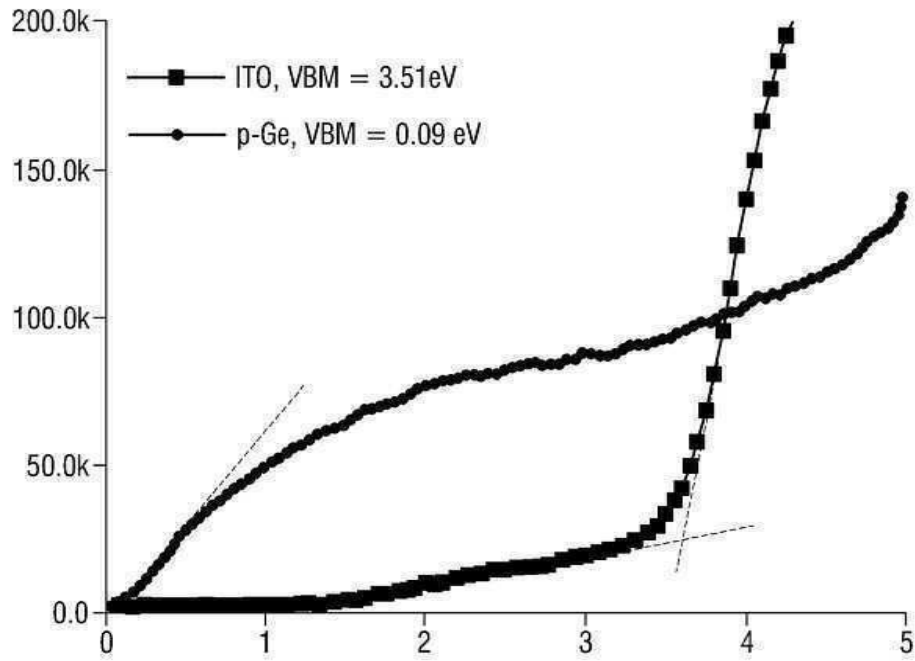
도면4



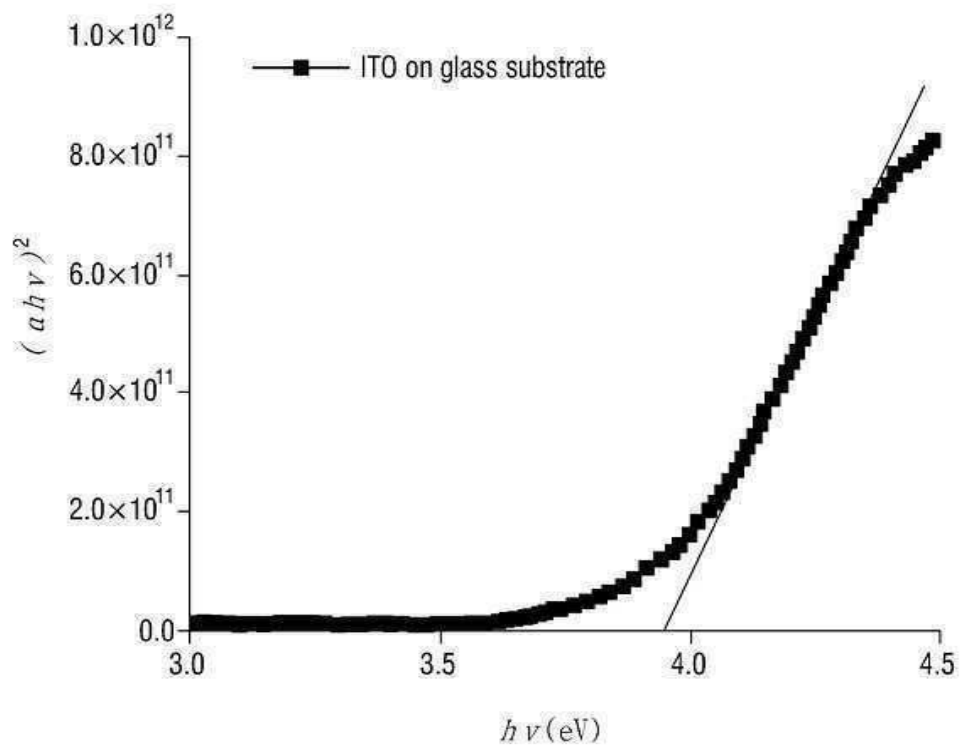
도면5



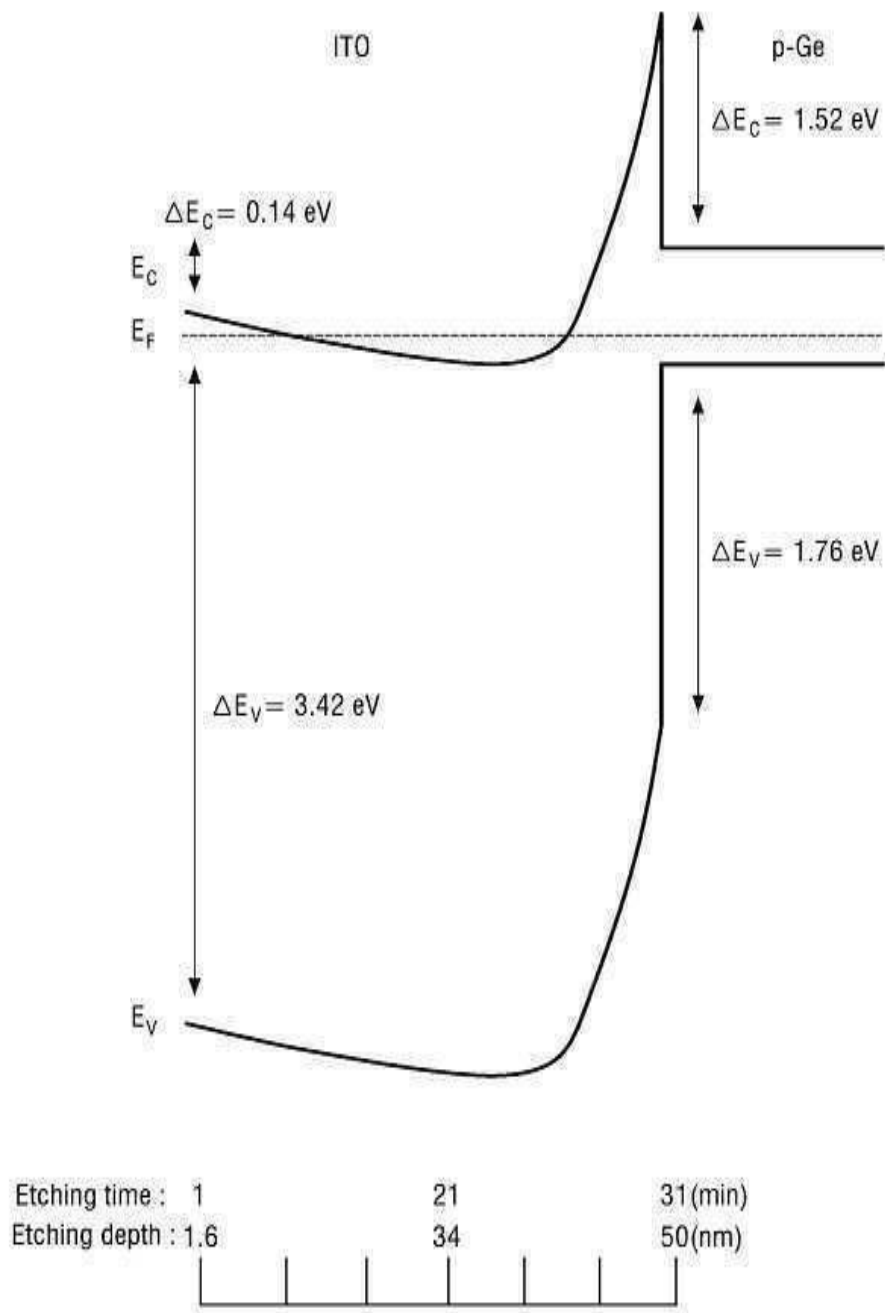
도면6



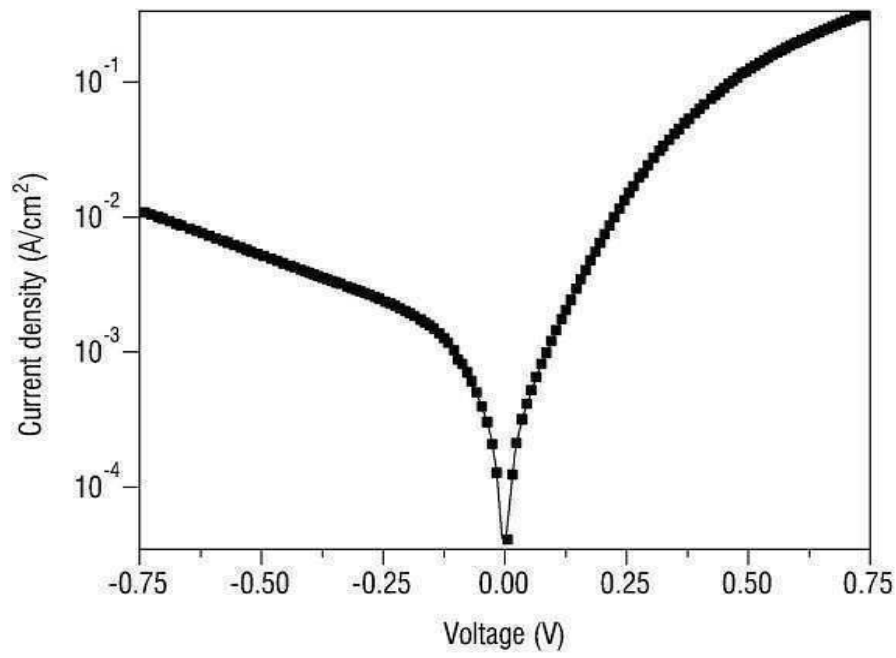
도면7



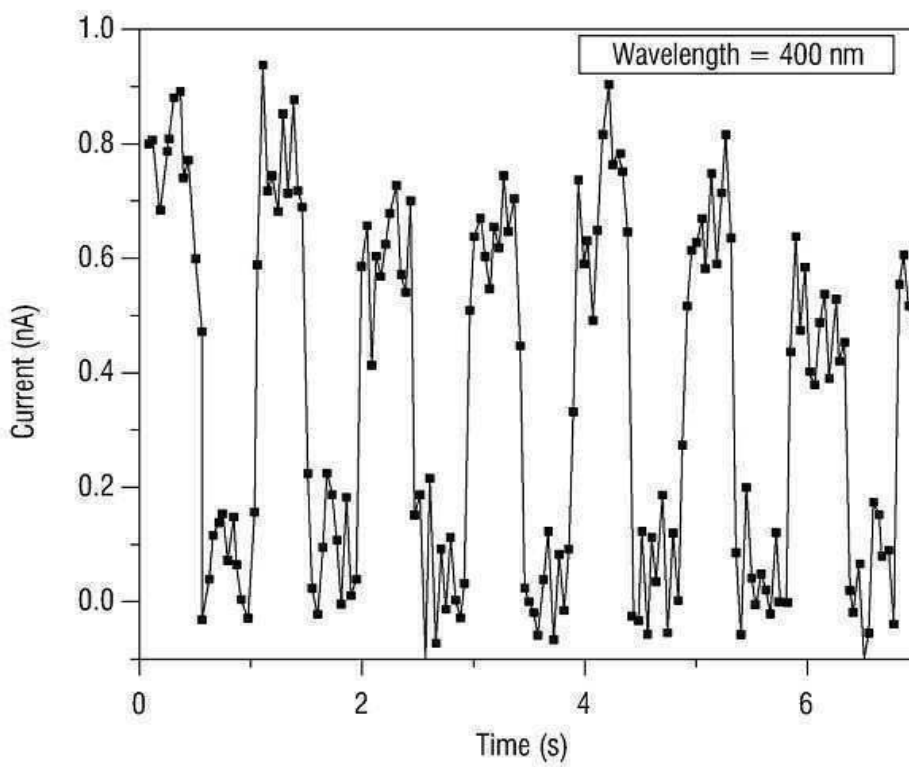
도면8



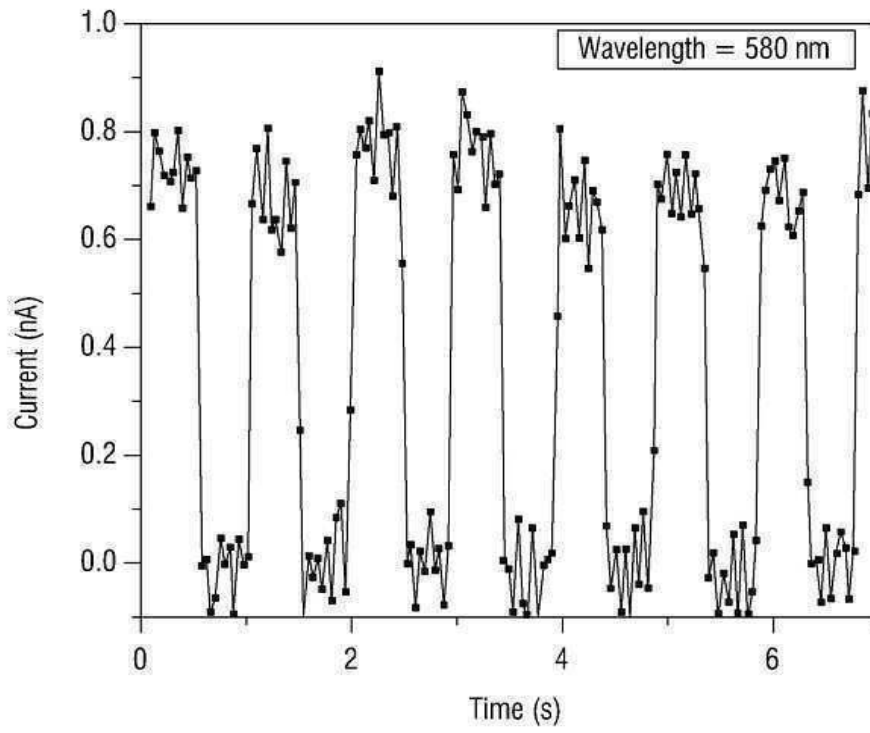
도면9



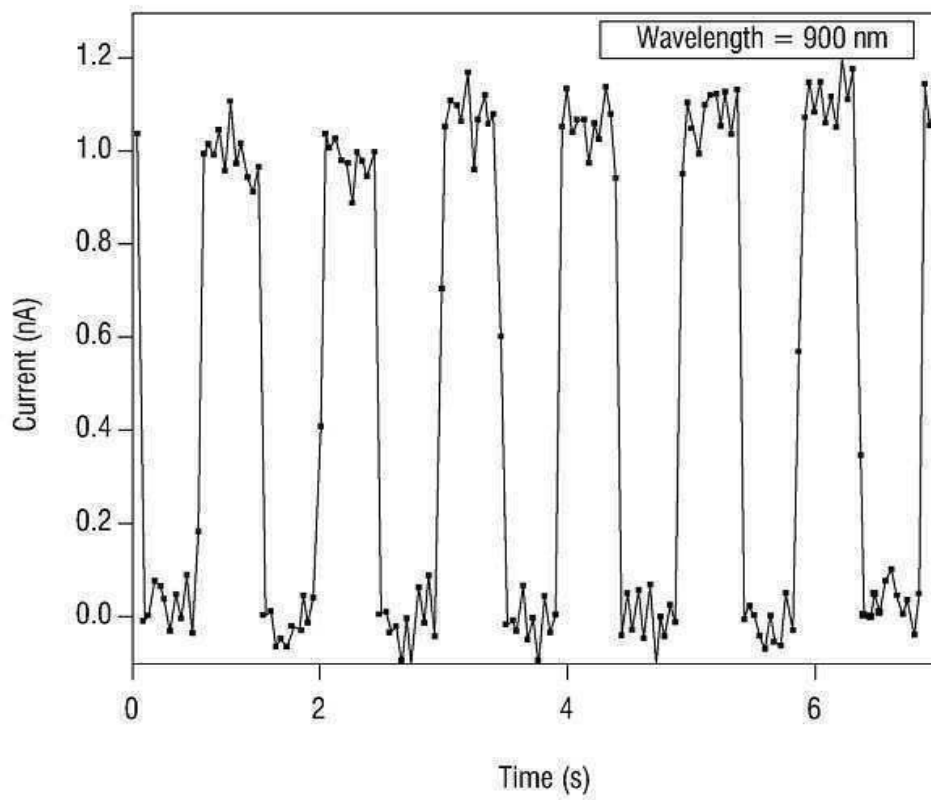
도면10



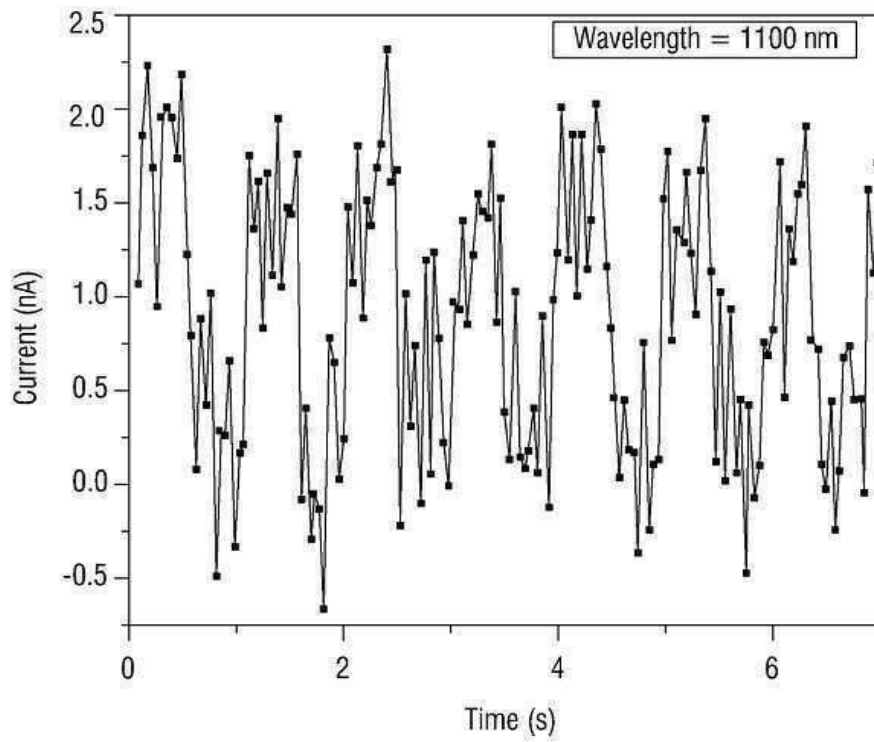
도면11



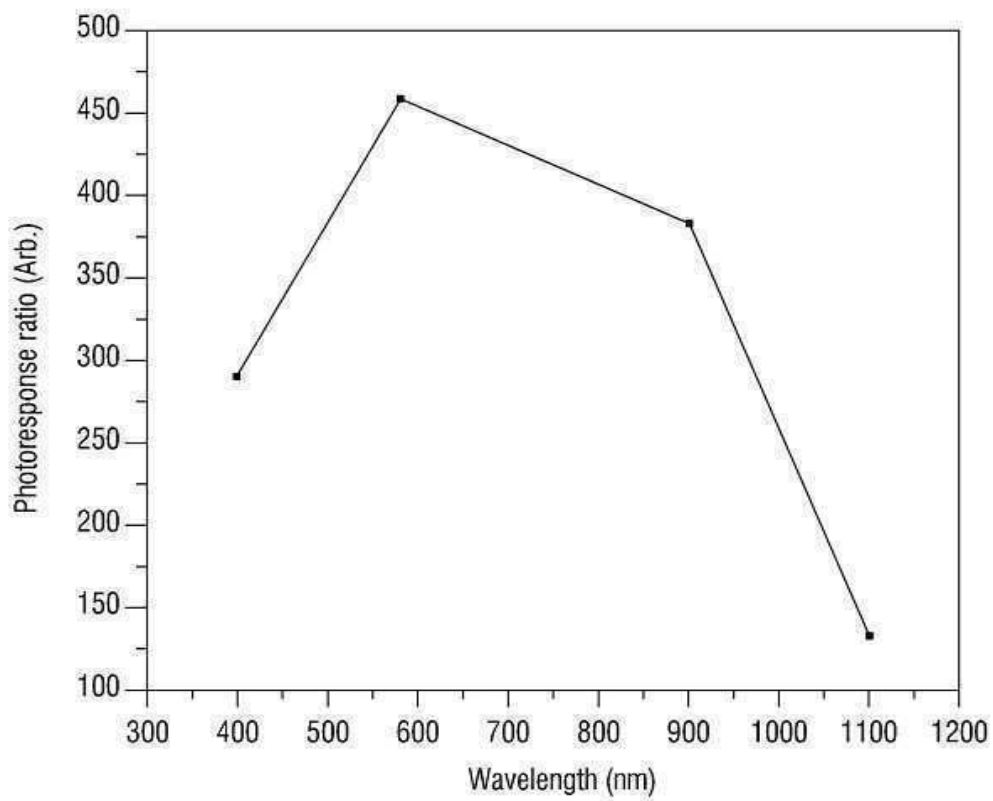
도면12



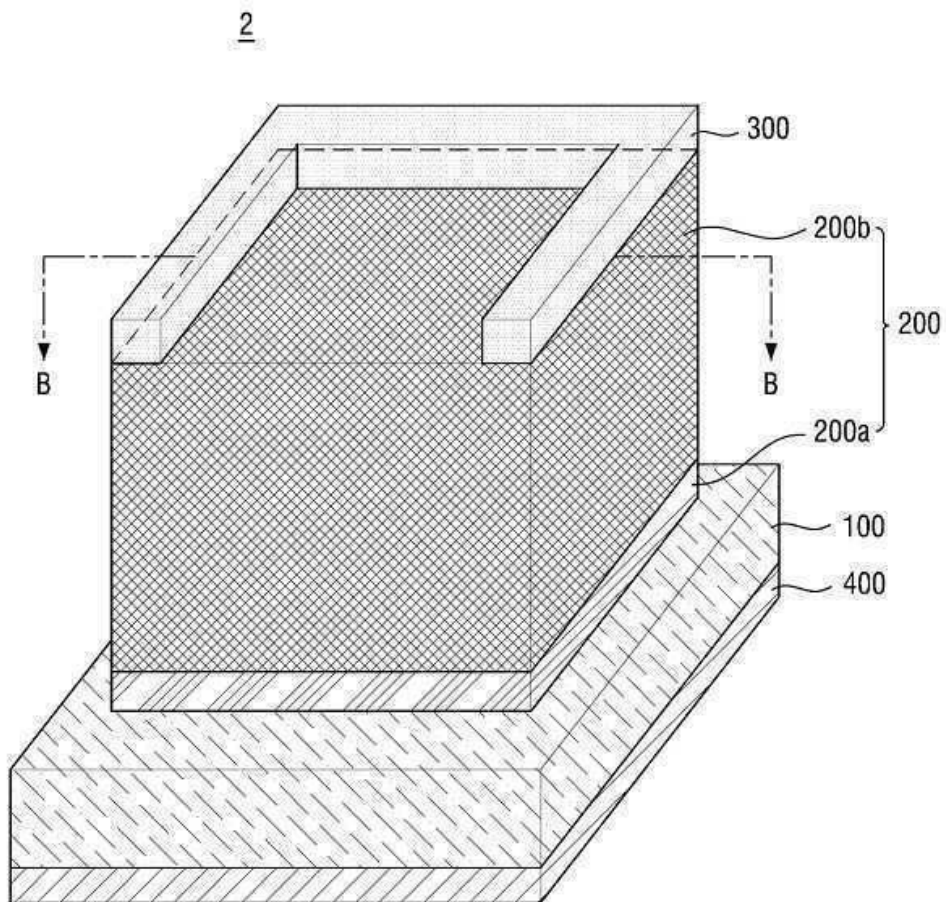
도면13



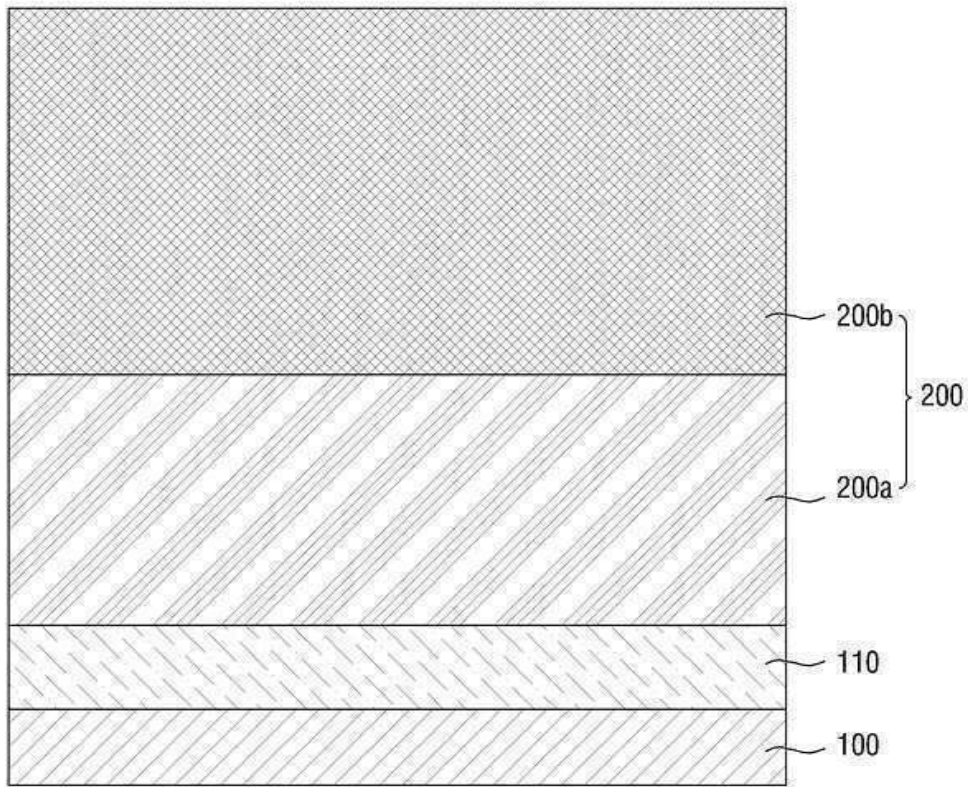
도면14



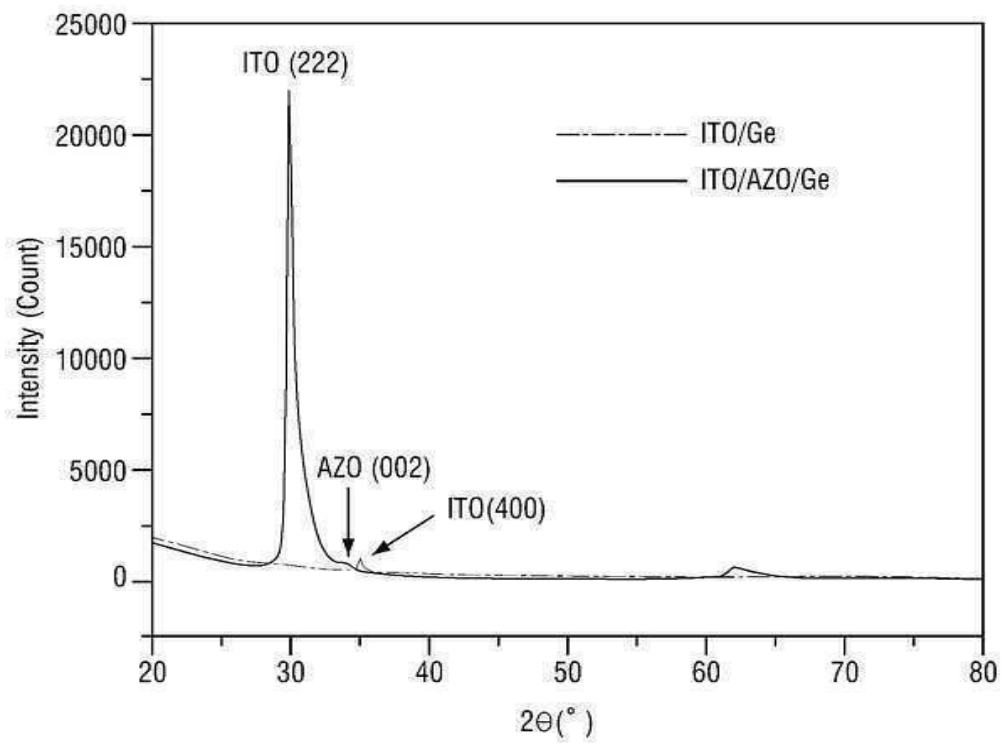
도면15



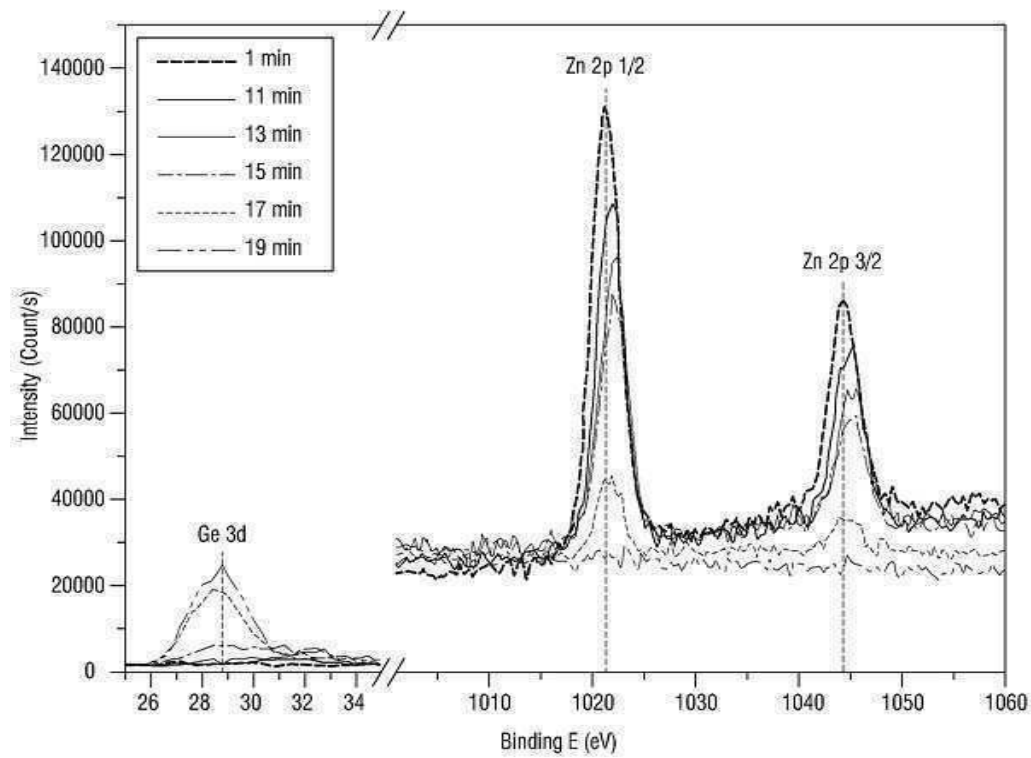
도면16



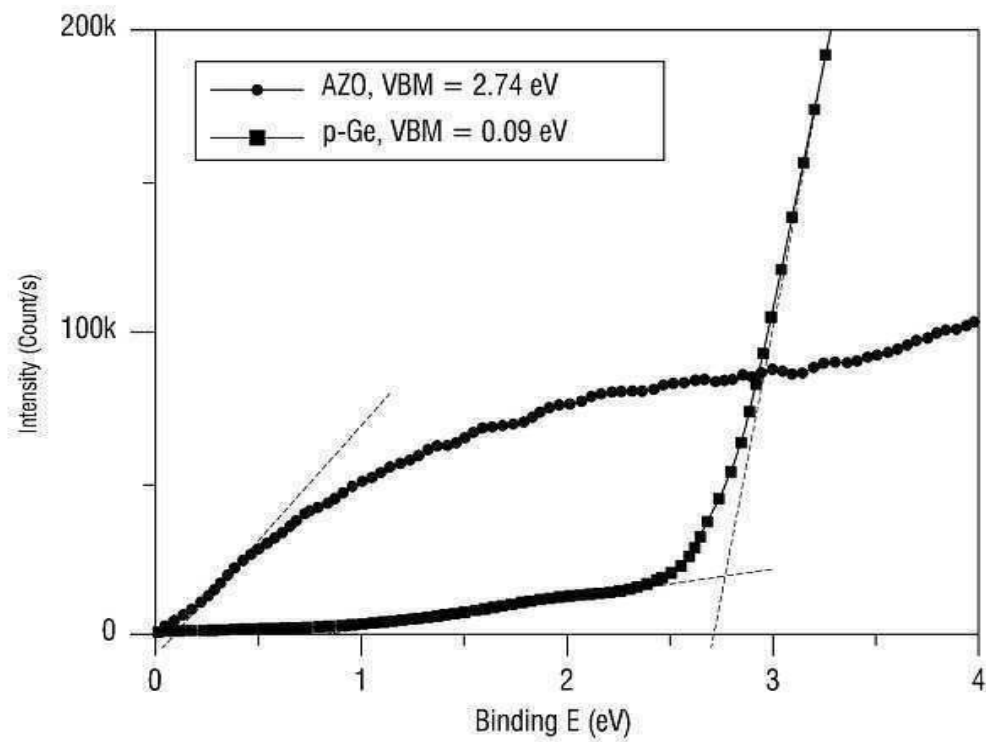
도면17



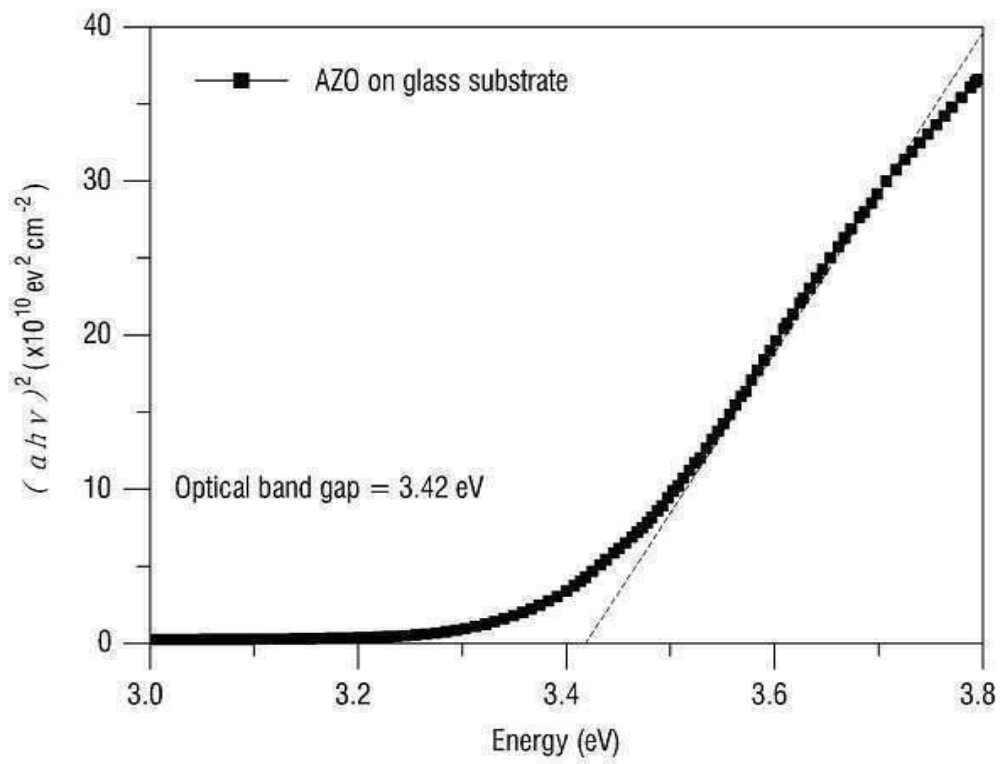
도면18



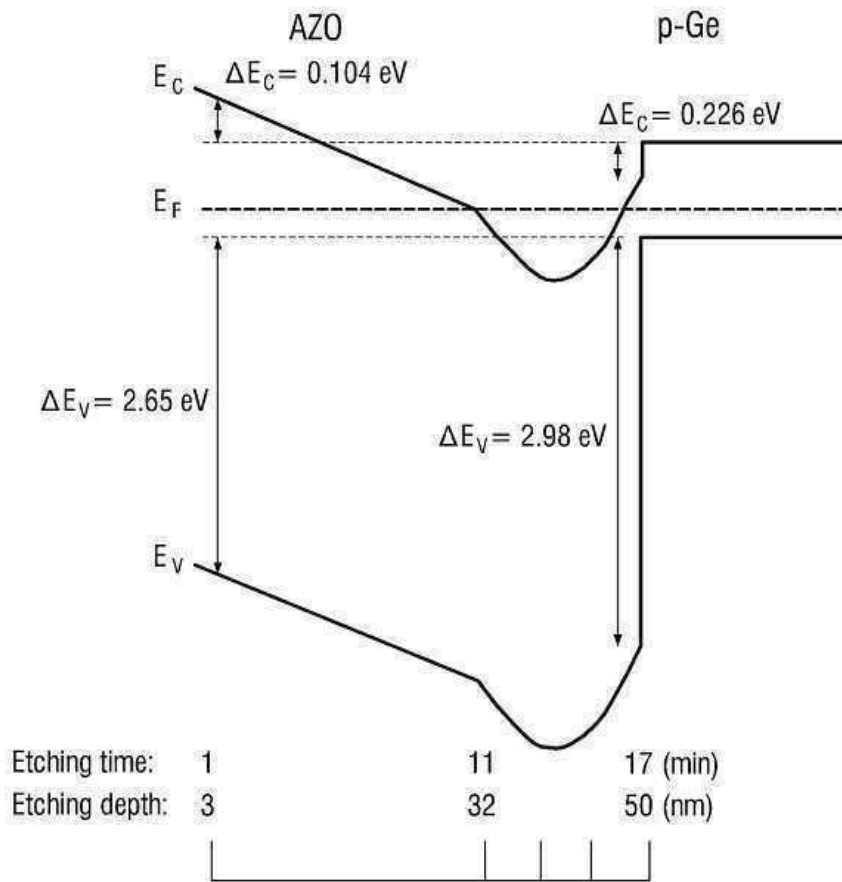
도면19



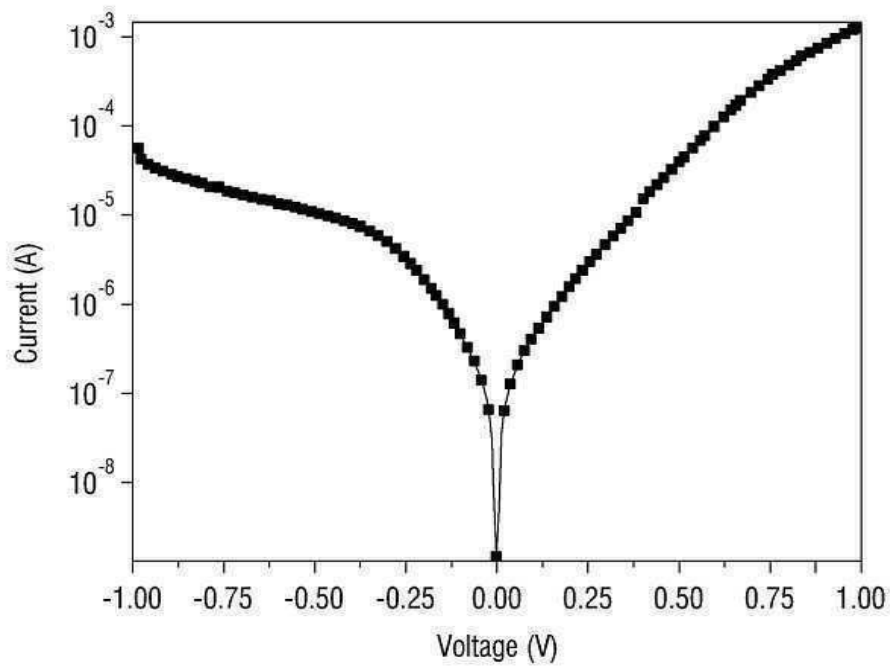
도면20



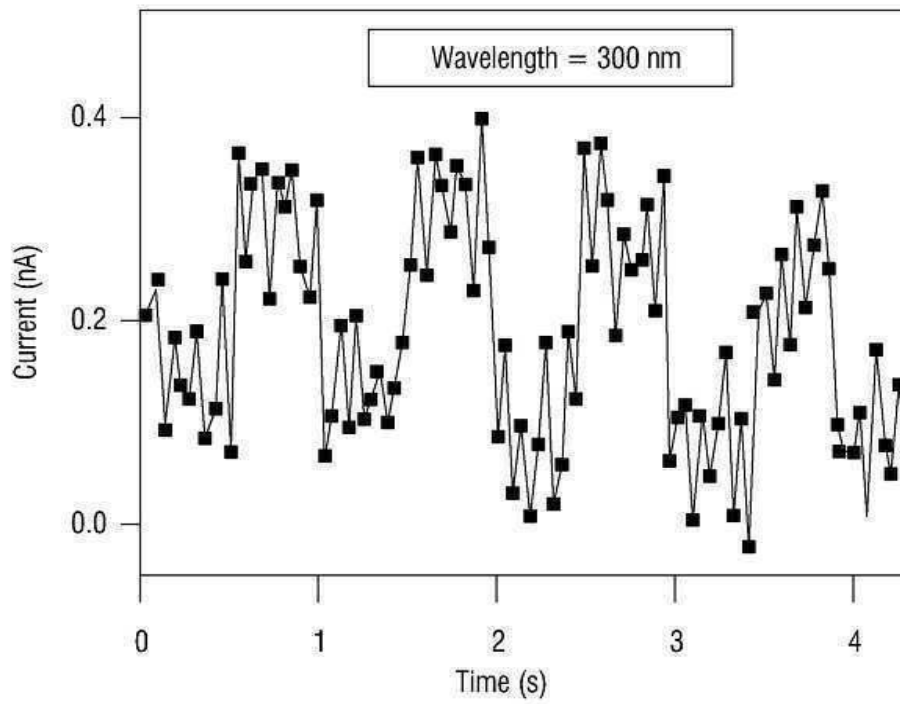
도면21



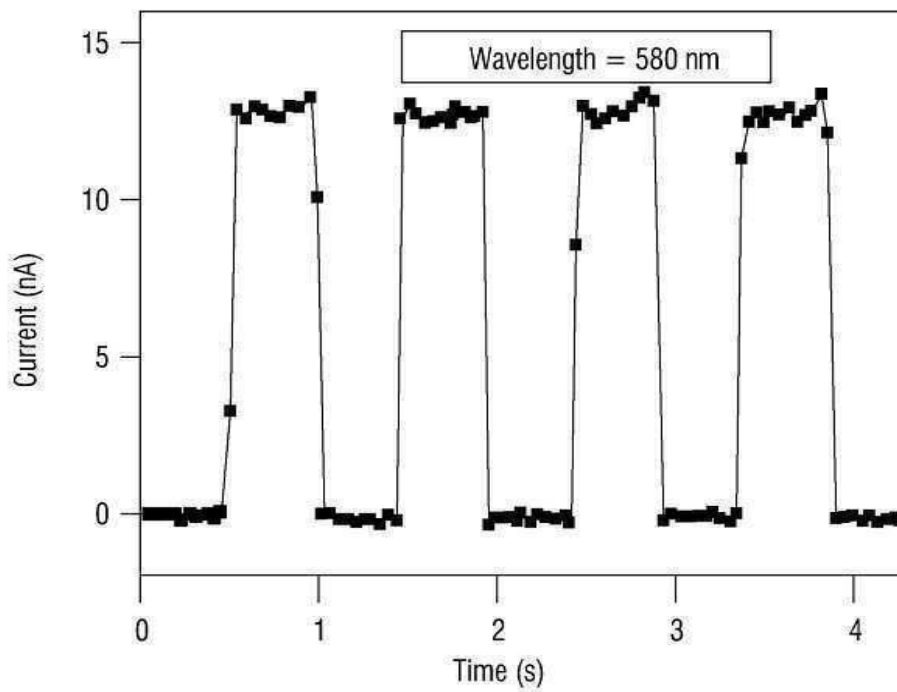
도면22



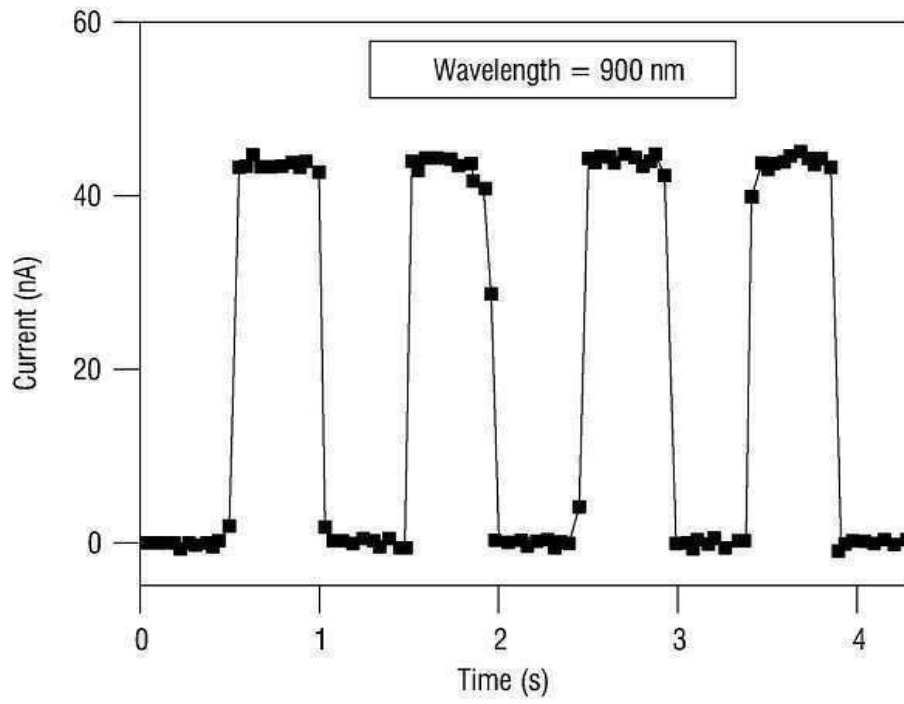
도면23



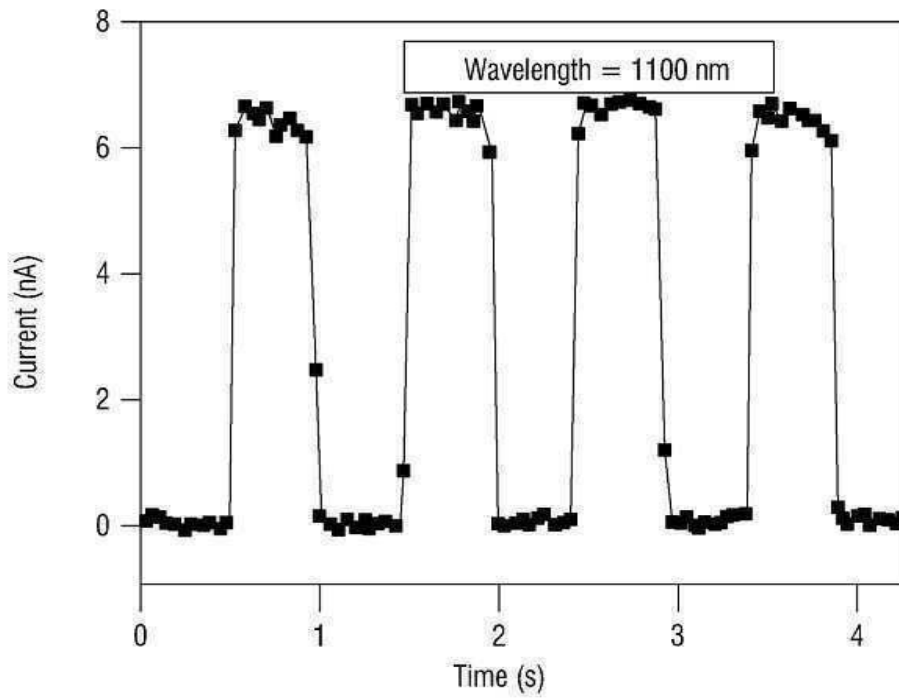
도면24



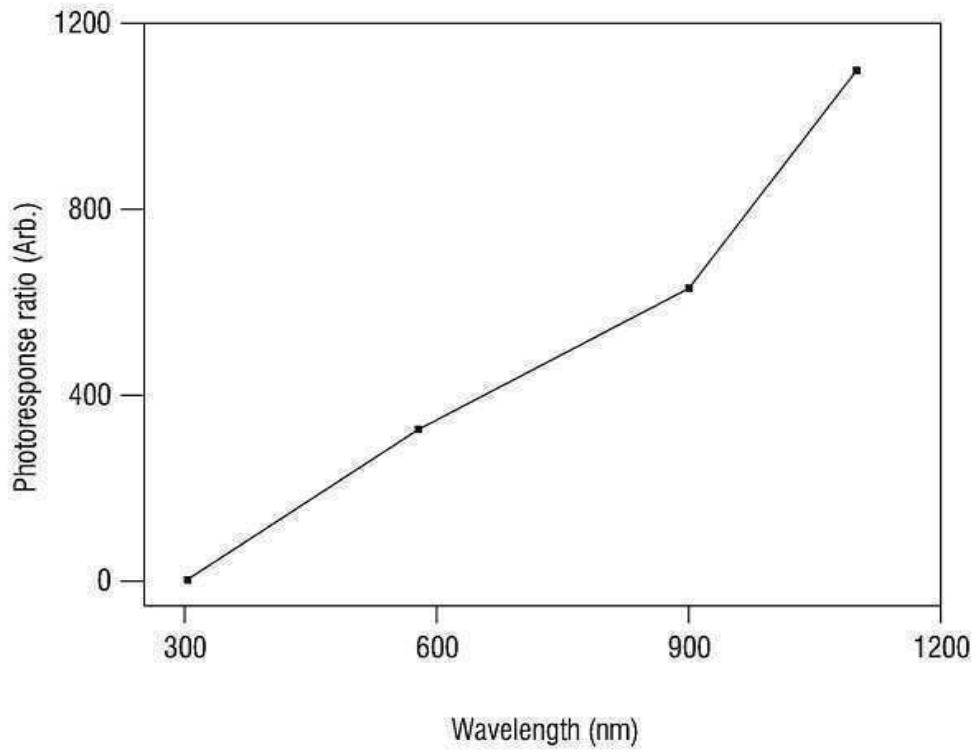
도면25



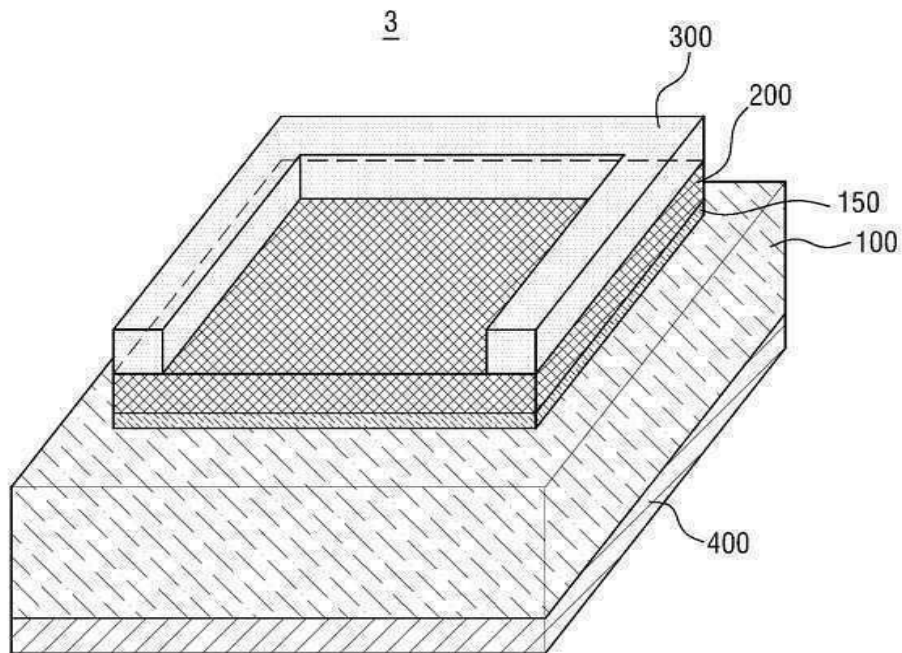
도면26



도면27



도면28



도면29

