

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호

(43) 국제공개일
2023년 12월 28일 (28.12.2023) WIPO | PCT

WO 2023/249347 A1

(51) 국제특허분류:
H01L 31/108 (2006.01) A61B 5/00 (2006.01)
H01L 31/0224 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2023/008441

(22) 국제출원일: 2023년 6월 19일 (19.06.2023)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2022-0075368 2022년 6월 21일 (21.06.2022) KR

(71) 출원인: 아주대학교산학협력단 (AJOU UNIVERSITY
INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUN-
DATION) [KR/KR]; 16499 경기도 수원시 영통구
월드컵로 206, Gyeonggi-do (KR).

(72) 발명자: 서형탁 (SEO, Hyung Tak); 06544 서울특별시
서초구 신반포로 270, 106동 902호, Seoul (KR).
쿠마르모히트 (KUMAR, Mohit); 16499 경기도 수원시
영통구 월드컵로 206, Gyeonggi-do (KR).

(74) 대리인: 남건필 등 (NAM, Gun Pil et al.); 07299
서울특별시 영등포구 경인로 775, 에이스하이테크시티
2동 508호, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의
국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의
역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, CV, GH, GM,
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

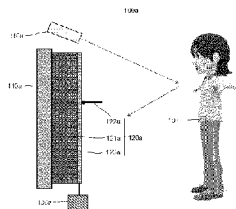
공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(54) Title: OPTICAL SENSOR USING FLEXOELECTRICITY, AND BIO-DIAGNOSIS DEVICE INCLUDING SAME

(54) 발명의 명칭: 변전 효과를 이용한 광센서 및 이를 구비하는 바이오 진단 장치

[도 1a]



(57) Abstract: An optical sensor for detecting the presence or movement of a target is disclosed. The optical sensor may comprise: a light source for emitting light toward a target; a sensing element for receiving light reflected by the target or light transmitted through the target to generate a photocurrent; and a current measurement instrument for measuring the photocurrent. The sensing element may include: a dielectric thin film formed of a dielectric material having a centrosymmetric crystal structure and a fundamental bandgap corresponding to a wavelength in the visible or ultraviolet light region; an electrode disposed on one surface of the dielectric thin film, formed of a transparent conductive material allowing light in the infrared or visible light region to penetrate therethrough, and electrically connected to the current measurement instrument; and a local force applicator for applying local force to the surface of the dielectric thin film to cause local non-uniform strain within the dielectric thin film.

(57) 요약서: 목적물의 존재 또는 이동을 감지하는 광센서가 개시된다. 광센서는 목적물 방향으로 광을 조사하는 광원; 목적물에 의해 반사된 광 또는 목적물을 투과한 광을 수신하여 광전류를 생성하는 센싱소자; 및 광전류를 측정하는 전류측정기를 구비할 수 있다. 그리고 센싱소자는 중심대칭성 결정 구조를 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성된 유전체 박막; 유전체 박막의 일면에 배치되고, 적외선 또는 가시광선 영역의 광을 투과시키는 투명 전도성 물질로 형성되며, 전류측정기에 전기적으로 연결된 전극; 및 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막 내부에 국부적인 불균일 스트레인을 야기시키는 국부적 힘 인가기;를 구비할 수 있다.



WO 2023/249347 A1

명세서

발명의 명칭: 변전 효과를 이용한 광센서 및 이를 구비하는 바이오 진단 장치

기술분야

- [1] 본 발명은 반도체와 같은 유전체를 이용하여 광을 감지할 수 있는 광센서 및 이를 구비하는 바이오 진단 장치에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 중심 대칭성의 유전체를 가로지르는 공간 반전 대칭의 파괴는 스트레인 경사도 때문에 우선 방향을 따라 자발 전기 분극 필드를 유도하고, 이는 변전효과로 알려져 있다. 이러한 변전효과를 이용할 경우, 제로 바이어스 조건 하에서 광전류를 생성할 수 있을 것으로 기대된다.
- [3] 하지만, 변전효과를 이용한 광센서에 대해서는 여전히 밴드갭의 조정 등과 같은 기초적인 사항에 대해서만 보고되고 있어서, 보다 깊이 있는 연구가 필요하다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [4] 본 발명의 일 목적은 유전체 박막에 국부적인 스트레인을 야기하여 이의 밴드갭을 조정함으로써 현저하게 향상된 성능으로 광을 감지할 수 있는 광센서를 제공하는 것이다.
- [5] 본 발명의 다른 목적은 상기 광센서를 구비하는 바이오 진단 장치를 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

- [6] 본 발명의 실시예에 따른 광센서는 목적물의 존재 또는 이동을 감지할 수 있고, 상기 목적물 방향으로 광을 조사하는 광원; 상기 목적물에 의해 반사된 광 또는 상기 목적물을 투과한 광을 수신하여 광전류를 생성하는 센싱소자; 및 상기 광전류를 측정하는 전류측정기를 포함하고, 상기 센싱소자는, 중심대칭성 결정 구조를 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성된 유전체 박막; 상기 유전체 박막의 일면 상에 배치되고, 적외선 또는 가시광선 영역의 광을 투과시키는 투명 전도성 물질로 형성되며, 상기 전류측정기에 전기적으로 연결된 전극; 및 상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막 내부에 국부적인 불균일 스트레인을 야기시키는 국부적 힘 인가기;를 포함할 수 있다.
- [7] 일 실시예에 있어서, 상기 광원은 적외선 파장을 포함하는 광을 조사하고, 상기 스트레인이 야기된 유전체 박막은 상기 근본 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 광을 흡수하여 상기 광전류를 생성할 수 있다.

- [8] 일 실시예에 있어서, 상기 유전체 박막은 1 내지 3 eV의 근본 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성될 수 있다.
- [9] 일 실시예에 있어서, 상기 국부적 힘 인가기는 침단이 구형 또는 반구형 형상을 갖는 포인트 팁을 포함할 수 있다.
- [10] 일 실시예에 있어서, 상기 전극은 전도성 금속 나노 와이어 전극, 메쉬 구조의 전도성 금속 전극, 전도성 탄소 소재 전극, 투명 전도성 산화물 전극 또는 투명 전도성 고분자 전극을 포함하고, 상기 전극과 상기 유전체 박막의 계면에는 쇼트키 배리어가 형성될 수 있다.
- [11] 일 실시예에 있어서, 상기 전극은 상기 유전체 박막의 표면 일부를 노출시키는 개구부를 포함하고, 상기 국부적 힘 인가기는 상기 개구부를 통해 상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가할 수 있다.
- [12] 본 발명의 실시예에 따른 광센서는, 중심대칭성 결정 구조를 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성된 유전체 박막; 상기 유전체 박막의 일면 상에 배치되고, 적외선 영역의 광을 투과할 수 있는 투명 전도성 물질로 형성된 전극; 및 상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막 내부에 국부적인 불균일 스트레인을 야기시키는 국부적 힘 인가기;를 구비하는 센싱소자; 상기 센싱소자 방향으로 광을 조사하는 광원; 및 상기 전극에 전기적으로 연결되고, 상기 광에 의해 상기 유전체 박막에 형성된 광전류를 측정하는 전류측정기;를 포함할 수 있다.
- [13] 일 실시예에 있어서, 상기 유전체 박막은 1 내지 3 eV의 근본 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성될 수 있다.
- [14] 일 실시예에 있어서, 상기 광원은 적외선 파장을 포함하는 광을 조사하고, 상기 스트레인이 야기된 유전체 박막은 상기 근본 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 상기 적외선 파장의 광을 흡수하여 상기 광전류를 생성할 수 있다.
- [15] 본 발명의 실시예에 따른 바이오 진단 장치는 인체 또는 동물의 건강 상태를 진단할 수 있고, 상기 인체 또는 동물 방향으로 광을 조사하는 광원; 각각 상기 인체 또는 동물에 의해 반사된 광 또는 상기 인체 또는 동물을 투과한 광을 수신하여 광전류를 생성하는 복수의 센싱소자들의 어레이; 및 상기 센싱소자들에 의해 생성된 광전류들을 측정하는 전류측정기를 포함하고, 상기 센싱소자 각각은, 중심대칭성 결정 구조를 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성된 유전체 박막; 상기 유전체 박막의 일면 상에 배치되고, 적외선 또는 가시광선 영역의 광을 투과시키는 투명 전도성 물질로 형성되며, 상기 전류측정기에 전기적으로 연결된 전극; 및 상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막 내부에 국부적인 불균일 스트레인을 야기시키는 국부적 힘 인가기;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [16] 본 발명의 광센서 및 바이오 진단장치에 따르면, 상기 국부적인 힘 인가기를 통해 상기 유전체 박막에 국부적인 스트레인을 유도함으로써 생성된 변전효과 분극 필드를 통해 상기 유전체 박막의 밴드갭 및 상기 유전체 박막과 상기 전극 사이의 쇼트키 베리어를 조절할 수 있고, 그 결과 외부 전력의 사용 없이도 목적물을 실시간 및 고감도로 감지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [17] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 광센서들을 설명하기 위한 도면들이다.
- [18] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 광센서를 설명하기 위한 도면이다.
- [19] 도 3은 반구형 첨단을 갖는 포인트 팁을 이용한 Hertzian contact theory에 의해 계산된 xz 평면을 따른 실리콘 내의 정성적 스트레인 분포('도 3a'), 인가된 힘에 따른 밴드갭 조정('도 3b'), 다양한 인가 힘에 대해 측정된 I-V 곡선('도 3c') 및 인가힘에 따른 순방향 전류 및 역방향 전류의 변화 그래프('도 3d')를 나타낸다.
- [20] 도 4는 Au-코팅 프로브(직경=120 μ m)를 사용하여 4 μ N의 고정된 힘을 인가한 상태에서, 암조건 및 서로 다른 강도를 갖는 광(λ =940nm) 조사 조건 하에서 수집된 I-V 곡선('도 4a'), 광 강도에 따른 광전류의 변화를 나타내는 그래프('도 4b'), 셀프 바이어스(0V) 및 고정된 광 강도(0.2 mWcm⁻²) 조건 하에서 다양한 인가 힘에 대해 측정된 파장에 따른 광전류의 변화 그래프('도 4c', '도 4d') 및 셀프 바이어스 그리고 Au-코팅 프로브를 이용한 고정된 힘의 인가 조건 하에서 다른 조사 강도를 갖는 펄스 광(λ =1620nm)을 조사한 경우에 시간에 따른 광전류의 변화 그래프('도 4e')를 나타낸다.
- [21] 도 5는 광 조사 조건 하에서 0.1 V의 주기를 갖고 +0.1/-0.1 V로부터 +0.4/-0.4 V 까지 팁전압(V_{tip})을 변화시킴에 의해 수집된 전류 맵('도 5a'), V_{tip} =0 및 암 조건 하에서 수집된 소자의 전류 맵('도 5b'), 셀프 바이어스 및 연속된 백색광의 조사 조건 하에서 수집된 전류 맵('도 5c'), 고정된 인가 힘 및 펄스 광 조사(P =2 mWcm⁻²) 조건 하에서 cAFM 팁(직경=35nm)을 사용하여 고정된 위치로부터 수집된 소자의 셀프 바이어스 순간 광응답 그래프('도 5d'), 힘 의존적인 광전류 특성을 나타내는 그래프('e') 및 인가된 힘에 따른 광전류 크기의 변화를 측정한 그래프('f')를 나타낸다.
- [22] 도 6은 P =2 mWcm⁻²의 고정된 광 조사에 대해 인가된 포인트 힘에 대한 소자의 감도(S)의 변화를 나타내는 그래프('도 6a') 및 고정된 4 μ N의 힘에 대해 조사 광의 강도에 따른 응답도(R) 및 감지도(D)의 변화를 나타내는 그래프('도 6b')를 나타낸다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [23] 이하, 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대

해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.

- [24] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [25] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [26] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [27]
- [28] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 광센서들을 설명하기 위한 도면들이다.
- [29] 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 광센서(100a, 100b)는 광원(110a, 110b), 센싱소자(120a, 120b) 및 전류측정기(130a, 130b)를 포함할 수 있다.
- [30] 상기 광원(110a, 110b)은 감지하고자 하는 목적물(10)에 적외선 파장을 포함하는 광을 조사할 수 있다. 예를 들면, 상기 광원(110a, 110b)은 약 1100 내지 1700 nm의 적외선 파장을 포함하는 광을 상기 목적물(10) 방향으로 조사할 수 있다. 상기 광원(110a, 110b)은 연속적인 광을 조사하거나 펄스 광을 조사할 수 있다.
- [31] 상기 센싱소자(120a, 120b)는 상기 목적물(10)에 의해 반사된 광(도 1a 참조) 또는 상기 목적물(10)을 투과한 광(도 1b)을 수신하여 광전류를 생성할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 센싱소자(120a, 120b)는 유전체 박막(121a, 121b), 국부적 힘 인가기(122a, 122b) 및 전극(123a, 123b)을 포함할 수 있다.

- [32] 상기 유전체 박막(121a, 121b)은 중심대칭성을 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성될 수 있다. 예를 들면, 상기 유전체 박막(121a, 121b)은 약 1 내지 3 eV의 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성될 수 있다.
- [33] 상기 국부적 힘 인가기(122a, 122b)는 상기 유전체 박막(121a, 121b)의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 불균일 스트레인을 야기할 수 있다. 상기 유전체 박막(121a, 121b)의 표면에 국부적인 힘을 인가할 수 있다면, 상기 국부적 힘 인가기(122a, 122b)의 형상 및 구조는 특별히 제한되지 않는다. 예를 들면, 상기 국부적 힘 인가기(122a, 122b)는 상기 유전체 박막(121a, 121b)을 가압하는 침단이 구형 또는 반구형 형상을 갖는 포인트 팁을 포함할 수 있다.
- [34] 상기 국부적인 힘 인가기(122a, 122b)에 의해 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 경사도를 갖는 불균일 스트레인이 야기된 경우, 중심 대칭성의 파괴로 인해 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 변전효과 분극 필드가 유도될 수 있다. 예를 들면, 상기 국부적인 힘 인가기(122a, 122b)에 의해 인가된 힘의 영향은 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 지엽적으로 잔존하지 않지만, 이는 긴 영역에 걸쳐 공간 대칭성을 파괴하고, 이로 인해 전자기적 재배열이 발생되며, 이는 상기 유전체 박막(121a, 121b)의 밴드갭을 변화시킬 수 있다. 즉, 상기 국부적인 힘 인가기(122a, 122b)에 의해 인가된 지엽적인 포인트 힘은 상기 유전체 박막(121a, 121b) 내에 긴 영역 분포 변전효과 분극 필드를 생성하는 동시에 유효 밴드갭을 감소시킬 수 있다. 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 변전효과 분극 필드를 생성되고 유효 밴드갭이 감소된 경우, 유도된 분극 필드는 금속-유전체 계면에서 뿐만 아니라 유전체 내에서 사용 가능한 자유 캐리어를 재분포시켜 계면에서의 밴드 배열 변화를 야기할 수 있고, 감소된 유효 밴드갭으로 인해 금속-유전체 사이의 유효 쇼트키 베리어(높이 및 폭 모두)가 변화하여 전체적인 전하 전송을 조절할 수 있다.
- [35] 일 실시예로, 상기 유전체 박막(121a, 121b)이 약 1.12 eV의 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 단결정 실리콘으로 형성된 경우, 상기 국부적인 힘 인가기(122a, 122b)에 의해 야기된 국부적 스트레인에 의해 상기 실리콘 박막의 밴드갭은 약 0.5 eV까지 감소될 수 있다.
- [36] 상기 전극(123a, 123b)은 상기 유전체 박막(121a, 121b)의 일면 상에 배치될 수 있고, 상기 목적물(10)로부터 반사되거나 상기 목적물(10)을 투과한 광이 투과할 수 있는 투명 전도성 물질로 형성될 수 있다. 일 실시예로, 상기 전극(123a, 123b)은 전도성 금속 나노 와이어 전극, 메쉬 구조의 전도성 금속 전극, 전도성 탄소 소재 전극, 투명 전도성 산화물 전극, 투명 전도성 고분자 전극 등을 포함할 수 있다.
- [37] 한편, 상기 국부적인 힘 인가기(122a, 122b)는 상기 전극(123a, 123b)을 가압함으로써 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 국부적인 스트레인을 야기할 수도 있고, 상기 전극(123a, 123b)에 상기 유전체 박막(121a, 121b)의 표면 일부를 노출시키는

개구부를 형성한 후, 상기 개구부를 통해 상기 유전체 박막(121a, 121b)의 표면을 직접 가압함으로써 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 국부적인 스트레인을 야기할 수도 있다.

[38] 상기 국부적인 힘 인가(122a, 122b)에 의해 스트레인이 발생된 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 상기 목적물(10)로부터 반사되거나 상기 목적물(10)을 투과한 광이 입사되는 경우, 상기 유전체 박막(121a, 121b)은 밴드갭의 감소로 인해 더 넓은 파장 대역의 포톤을 흡수하여 전자-정공 쌍을 생성할 수 있고, 상기 전극(123a, 123b)과 상기 유전체 박막(121a, 121b) 사이의 유효 쇼트키 베리어의 높이 및 폭의 조정에 의해 상기 전자-정공 쌍의 전자 및 정공은 급격히 분리되어 보다 민감하고 광전류를 생성할 수 있다.

[39] 한편, 상기 유전체 박막(121a, 121b)은 기판(140a, 140b)에 의해 지지될 수 있다. 상기 유전체 박막(121a, 121b)을 지지할 수 있다면, 상기 기판(140a, 140b)의 구조 및 재료는 특별히 제한되지 않는다.

[40] 상기 전류측정기(130a, 130b)는 상기 전극(123a, 123b)에 전기적으로 연결되어 상기 유전체 박막(121a, 121b)에 의해 생성된 광전류를 측정함으로써, 상기 목적물(10)의 존재 또는 내부 상태 등을 감지할 수 있다. 상기 유전체 박막(121a, 121b)으로부터 생성된 광전류를 측정할 수 있다면, 상기 전류측정기(130a, 130b)의 구조는 특별히 제한되지 않는다.

[41]

[42] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 광센서를 설명하기 위한 도면이다.

[43] 도 2를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 광센서(200)는 광원(210), 센싱 소자(220) 및 전류측정기(230)를 포함할 수 있다.

[44] 본 실시예의 광센서(200)의 경우, 상기 광원(210)이 상기 센싱 소자(220)의 전극(223) 또는 유전체 박막(222) 방향으로 광을 조사한다는 것을 제외하고는, 도 1a 및 도 1b를 참조하여 설명한 광센서(100a, 100b)와 실질적으로 동일하므로, 이하에서는 중복된 상세한 설명은 생략한다.

[45] 한편, 본 발명에 따른 광센서(100a, 100b, 200)는 별도의 광원을 구비하지 않고, 태양광이나 생활 조명으로부터 생성된 광을 이용하여 목적물이나 적외선을 감지할 수도 있다.

[46]

[47] 본 발명의 광센서들에 따르면, 상기 국부적인 힘 인가(122a, 122b)를 통해 상기 유전체 박막에 국부적인 스트레인을 유도함으로써 생성된 변전효과 분극 필드를 통해 상기 유전체 박막의 밴드갭 및 상기 유전체 박막과 상기 전극 사이의 쇼트키 베리어를 조절할 수 있고, 그 결과 외부 전력의 사용 없이도 목적물을 실시간 및 고감도로 감지할 수 있다.

[48] 본 발명의 광센서들은 사물이나 사람의 존재 또는 이동을 감지하는 감지 장치 또는 복수의 센싱소자 셀들을 배열하여 인체 내부의 상태를 진단하는 바이오 진단 장치 등에 적용될 수 있다.

[49]

[50] 이하 본 발명의 구체적인 실시예에 대해 상술한다. 다만, 하기 실시예는 본 발명의 일부 실시 형태에 불과한 것으로서, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[51]

[52] [실시예]

[53] 상업적으로 획득 가능한 n-형 실리콘(저항=1-10 Ωcm)이 인가된 힘의 영향을 연구하기 위해 사용되었다. 파괴되는 것을 방지하기 위해 실리콘은 단단한 표면에 지지되었다. 측정 전에, 실리콘 웨이퍼는 아세톤, 이소프로필 알콜 및 증류수에 의해 연속적으로 각각 15분 동안 초음파적으로 세척되었고, 이어서 질소 가스로 건조되었다. 자연적인 산화물을 제거하기 위해, 실리콘은 완충된 HF 용액에 의해 5분 동안 에칭되었다. 벌크 힘은 Au-코팅 프로브(직경=120 μm)에 의해 인가되었다.

[54]

[55] [실험예]

[56] 도 3은 반구형 침단을 갖는 포인트 팁을 이용한 Hertzian contact theory에 의해 계산된 xz 평면을 따른 실리콘 내의 정성적 스트레인 분포('도 3a'), 인가된 힘에 따른 밴드갭 조정('도 3b'), 다양한 인가 힘에 대해 측정된 I-V 곡선('도 3c') 및 인가힘에 따른 순방향 전류 및 역방향 전류의 변화 그래프('도 3d')를 나타낸다.

[57] 도 3a에 도시된 바와 같이, 반구형 침단을 갖는 포인트 팁(직경=120 μm)을 사용하여 인가된 국부적인 힘은 긴 영역(=960 μm)에 걸쳐 분포된 불균일 스트레인을 유도함을 확인할 수 있다. 이전에 보고된 바와 같이, 스트레인의 공간 변화, 즉, 기울기는 도 3a에서 화살표에 의해 도시된 바와 같이, 변전효과 분극 필드를 유도할 수 있다. 인가된 포인트 힘의 영향은 지엽적으로 잔존하지 않지만, 이는 긴 영역에 걸쳐 공간 대칭성을 파괴하고, 이는 전자기적 재배열을 야기할 수 있다. 이러한 인가된 임 유도 전자기적 재배열은 실리콘의 유효 밴드갭을 변화시킬 것이 기대된다.

[58] 변전효과 유도 넓은 밴드 광 흡수의 개념을 설명하기 위한 도 3b에 도시된 바와 같이, 실리콘의 유효 밴드갭은 인가된 스트레인으로 인해 약 0.5 eV까지 감소될 수 있다. 지엽적인 포인트 힘은 주로 2가지 효과, 즉 긴 영역 분포 변전 분극 필드 생성 및 이로 인한 유효 밴드갭의 감소를 야기할 수 있고, 이러한 2가지 효과는 함께 작용하여 전반적인 광전 성능(optoelectronic performance)을 지배할 수 있다. 예를 들면, 유도 분극 필드는 금속-반도체 계면에서 뿐만 아니라 반도체 내부에서 사용가능한 자유 캐리어를 재분포시키고, 이는 계면에서 밴드 배열 변화를 야기할 수 있다. 또한, 스트레인-조정 밴드갭은 유효 쇼트키 배리어의 높이 및 폭을 변화시킬 수 있고, 이는 전체적인 전하 전송을 조정할 수 있다. 실제로 실리콘의 밴드갭을 변화시키기 위해 인가된 스트레인의 역할은 밀도 함수 이론에 의해 확

인될 수 있고, 실리콘의 유효 밴드갭은 인가된 스트레인에 따라 감소되었다.

- [59] Au-코팅 팁(직경=120 μm)을 사용하여 인가된 서로 다른 힘들에 대응되는 단결정 n-형 실리콘의 전류-전압(I-V) 특성을 나타내는 도 3c를 참조하면, 전하 전송은 외부 힘(즉, 스트레인)을 인가함에 의해 크게 조절할 수 있음이 명백하게 확인된다. 구체적으로, I-V 곡선은 순방향 전류가 증가하여 약 4 μN 의 임계 힘에서 역방향 전류보다 더 커지는 비대칭성 거동을 보여준다. 소자는 5 μN 이상의 힘이 인가된 경우에는 전형적인 정류 거동을 나타내었다.
- [60] 도 3d에 도시된 바와 같이, +1.0 V(순방향) 및 -1.0 V(역방향)에서의 최대 전류에 있어서, 순방향 전류는 인가된 힘이 증가함에 따라 점진적으로 증가함에 반해 역방향 전류는 인가된 힘에 대해 변화하지 않고 유지되는 것으로 나타났고, 이는 전자기적 재배열 메커니즘은 인가된 힘에 의해 가능함을 확인시켜 준다.
- [61] 인가 힘이 증가함에 따라 관찰된 I-V 곡선의 지배 메커니즘은 복잡하다. 접촉 면적, 유효 밴드갭의 변화, 변전 포텐셜의 생성, 표면 포텐셜의 지엽적인 힘 유도 생성 등과 같은 다양한 인자들이 I-V 곡선의 변화에 기여할 수 있다. 따라서, 이러한 효과와 지배적인 역할의 추출 사이의 연관성을 이해하기 위해 깊이 있는 연구가 필요하다고 생각한다. I-V 곡선에서의 변화는 단지 접촉 면적에서의 변화에 의해서만 야기되는 것은 아니고, 변전효과와 같은 몇 가지 다른 요인들이 전하 전송에 기여할 수 있다.
- [62] 변전효과 분극은 실리콘 내부 및 계면 장벽에서의 캐리어 분포 그리고 이로 인한 실리콘에서의 전자기적 전송을 유효하게 조절할 수 있음이 보고된 바 있다. 실제로, 인가된 힘이 증가함에 따라, 유도된 변전효과 분극은 정공을 끌어당기는 반면, 전자들을 밀어내고, 그 결과 장벽 높이가 조절된다. 인가된 힘에 따라, 실리콘의 유효 밴드갭이 감소할 뿐만 아니라 강한 변전효과 분극 때문에 쇼트키 베리어 높이는 증가한다. 이러한 2가지 효과는 함께 작용하여 순방향 바이어스 조건 하에서는 전반적인 전하 전송을 조절할 수 있는 반면, 역방향 바이어스 조건 하에서는 크게 영향을 미치지 않는다. 사실 역방향 바이어스 조건에서, 전하 전송은 주로 지엽적인 베리어에 의해 지배되고, 따라서 분극의 역할은 지배적인 것이 아니다. 인가된 힘에 따른 I-V 거동 조정은 스트레인 경사도 유도 변전효과 포텐셜의 생성 때문이고, 이는 인가된 힘에 따라 그 크기가 변화하고, 그 결과 쇼트키 베리어를 조절할 수 있다.
- [63]
- [64] 도 4는 Au-코팅 프로브(직경=120 μm)를 사용하여 4 μN 의 고정된 힘을 인가한 상태에서, 압조건 및 서로 다른 강도를 갖는 광($\lambda=940\text{nm}$) 조사 조건 하에서 수집된 I-V 곡선('도 4a'), 광 강도에 따른 광전류의 변화를 나타내는 그래프('도 4b'), 셀프 바이어스(0V) 및 고정된 광 강도(0.2 mWcm^{-2}) 조건 하에서 다양한 인가 힘에 대해 측정된 파장에 따른 광전류의 변화 그래프('도 4c', '도 4d') 및 셀프 바이어스 그리고 Au-코팅 프로브를 이용한 고정된 힘의 인가 조건 하에서 다른 조사 강도

를 갖는 펄스 광($\lambda=1620\text{nm}$)을 조사한 경우에 시간에 따른 광전류의 변화 그래프('도 4e')를 나타낸다.

- [65] 도 4a 및 도 4b에 도시된 바와 같이, 셀프 바이어스(0 V) 조건 하에서, 약 8.5 μA (즉, 0V에서 전류의 상방 쉬프트)의 단락 회로 전류(I_{sh}) 및 약 0.37 V(즉, I-V 곡선에서 원점으로부터 전압 최소값의 쉬프트)의 개방 회로 전압이 광조사($P=2\text{ mWcm}^{-2}$) 조건 하에서 기록되었고, 이는 광전 효과의 존재를 나타낸다. 따라서, Au-팁/Si 기하 구조는 광 조사에 잘 응답하고, 광 흡수에 의해 전자-정공 쌍을 생성할 수 있음을 확인할 수 있다. 광전류 스위칭 비율(I_{sh}/I_{dark})(I_{dark} 는 약 $5.8 \times 10^{-11}\text{ A}$ 의 암전류임)는 2 mWcm^{-2} 강도의 광 조사 조건 하에서 약 10^5 에 도달하였다. 0 V에서의 광전류($I_{ph}=I_{light}-I_{dark}$)는 광 강도에 따라 점진적으로 증가하였고, 이는 광에 의해 생성된 전자-정공 쌍들의 밀도가 포톤 흡수와 선형적으로 관련이 있음을 나타낸다.
- [66] 추가적으로, 광 강도에 따른 I_{ph} 변화를 이용하여 하기 수식1로 표현되는 선형 동역학 영역(LDR)을 평가한 하였다.
- [67] [수식1]
- [68]
$$\text{LDR} = \log[I_{ph}/I_{dark}]$$
- [69] 평가 결과, LDR은 103 dB이었고, 이는 광조사에 대한 우수한 감도를 나타낸다. 또한, 이러한 변화는 $I_{ph} \propto P^\alpha$ (α 는 캐리어 재결합 프로세스를 지배하는 것과 관련된 지수임)와 같은 힘의 법칙(power law)에 의해 피팅되었다. 기본적으로, α 값이 1에 가까운 경우는 밴드-밴드 재결합을 나타내고, 2에 가까운 경우는 결함 관련 Shockley-Read-Hall(SRH) 재결합 프로세스를 나타낸다. 본 실시예에서는 1에 가까운 α 값(약 0.97)이 추출되었고, 이는 본 실시예에서 SRH 프로세스가 지배적이지 않다는 것을 확인시켜 준다.
- [70] 또한, $1\mu\text{N}$ 로부터 $8\mu\text{N}$ 까지의 인가 힘이 변화함에 따른, 0 V 및 고정된 조사 강도를 갖는 다른 파장들($\lambda=300\sim 1700\text{ nm}$)에 따른 I_{ph} 의 변화를 나타내는 도 4의 c, d에 도시된 바와 같이, 자외선($\lambda=300\text{nm}$)으로부터 단파장 적외선($\lambda=1700\text{nm}$)까지의 넓은 밴드의 광 조사에 대해 I_{ph} 가 나타났고, 이는 실리콘의 근본 밴드갭($E_g=1.12\text{ eV}$)을 훨씬 넘어서는 것이다.
- [71] 광전류(I_{ph})의 크기는 인가된 힘에 현저하게 의존하였다. 구체적으로, $\lambda=1620\text{ nm}$ 에서 I_{ph} 는 인가된 힘이 $1\mu\text{N}$ 로부터 $8\mu\text{N}$ 까지 증가함에 따라 0.45 nA로부터 120 nA까지 증가하였다. 실리콘의 밴드갭 및 인가된 힘에 의한 이의 조정 이상으로의 이러한 이례적인 I_{ph} 가 먼저 관찰되었으나, 이는 결정 및 중심대칭성 Si 또는 인가된 힘의 접촉 면적에서의 증가에 의해 설명되지 않는다. 그러나 확실히, 0 V 바이어스에서, $\lambda \geq 100\text{ nm}$ 에 대한 주목할만한 I_{ph} 는 광 흡수 유도 전자-정공 쌍의 생성 및 접합에 의한 그들의 급격한 분리 때문이고, $\lambda=1100\text{ nm}$ 에 대한 인가된 힘에 따른 I_{ph} 및 이의 조정은 유효 밴드갭의 변화 때문이다.

- [72] 포인트 힘 유도 밴드갭 조정의 실험적 증거를 발견하기 위해, 포인트 힘 및 벌크 Au 전극들의 기하 구조를 가지고 저항의 온도 의존적 변화를 독립적으로 측정할 결과, 포인트 힘이 인가된 Si의 유효 밴드갭은 0.4 eV에 가까운 것으로 측정되었고, 이는 인가된 힘에 따른 밴드갭의 변화가 현저함을 나타낸다. 이러한 점에서, 주목할만한 적외선 광응답은 인가된 스트레인 때문인 것으로 평가된다. 한편, 인가된 힘은 지엽적인 위치에서 유효 밴드갭을 감소시킬 뿐만 아니라 $\lambda \geq 1100$ nm를 가진 포톤을 흡수하는 유효 면적을 증가시키고, 그 결과 I_{ph} 는 인가된 힘에 따라 광대역 파장의 광조사에서 현저하게 향상될 수 있다.
- [73] 도 4e에 도시된 바와 같이, 재현 가능한 거동을 확인하기 위해, 0V 바이어스에서 다양한 강도($P=0 \sim 2$ mWcm⁻²)를 갖는 펄스 광($\lambda=1620$ nm) 조사 조건 하에서 순간적인 광응답($I-t$)이 측정되었다. 파장 의존적인 스펙트럼으로부터 기대된 바와 같이, 어떠한 외부 포텐셜 없이 $\lambda=1620$ nm에서 우수한 광응답이 나타났고, 이는 전자-정공 쌍의 생성을 확인시켜 준다. 그러나 종래의 직류 광전류(I_{dc})와 달리, 라이트-온(light-on) 조건 동안 추가적인 피크가 나타났고, 이는 교류 광전류(I_{ac}) 또한 생성됨을 나타낸다. 관찰된 직류 광전류(I_{dc})는 전형적인 광전 효과 때문이나, Si와 같은 중심대칭성 물질에 대한 추가적인 피크들은 교류 전류 광전 효과를 불리하는 새로운 종류의 영향 때문이고, 이는 물질의 접합/계면에서의 주기적인 광조사로 나타난다. 실제로 광조사 조건에서의 급격한 변화로 인한 과시 페르미 레벨의 빠른 스플리팅 및 재배열이 이러한 피크들의 주요 근원이고, 바꿔 말하면, 2개의 전극 사이의 포텐셜 차이를 유지하기 위한 외부 회로에서의 전자를 역방향 및 순방향으로 진동시킴으로써 상기 피크들이 발생된다. 한편, I_{ac} 및 I_{dc} 크기는 광 강도에 따라 변화하였으나, 유사한 광 조사 조건 하에서 I_{ac} 피크의 크기($=2.8$ μ A)는 I_{dc} ($=2.1$ μ A)보다 현저하게 더 높았다.
- [74] 고속으로 소자를 동작시킴에 의해 광전류 상승 시간(τ_r , 광전류가 피크의 10%로부터 90%까지 증가하는데 요구되는 시간) 및 하강 시간(τ_f , 광전류가 90%로부터 10%까지 감소하는데 요구되는 시간)을 측정한 결과, 각각 100 μ s 및 316 μ s이었다. 또한, 하기 수식 2를 이용하여 평가된 3dB에서의 소자의 컷오프 주파수(f_{3dB})는 3.5 kHz이었다.
- [75] [수식 2]
- [76] $f_{3dB} = 0.35/\tau_r$
- [77] 이러한 현저하게 높은 응답 시간은 소자가 높은 데이터 속도로 동작하는 것을 가능하게 한다. 또한, 광전류 생성 및 이의 포인트-to-포인트 변화의 재생 가능성이 랜덤하게 선택된 위치들(측정 팁을 쉬프트시킴에 의해)로부터의 데이터 수집에 의해 체크한 결과, 하기 수식 3으로부터 산출된 표준편차(σ)는 2.2%이었다. 이러한 좁고 중심화된 분산은 본 발명의 구조가 높은 재생 가능한 성능을 보여줌의 확실하게 확인시켜 준다.
- [78] [수식 3]

[79] $\sigma = [(I_{ph} - I_{ph(mean)})/n]^{1/2}$

[80] 수식 3에서, n 은 측정 수를 나타내고, $I_{ph(mean)}$ 은 모든 측정에 대한 평균 광전류를 나타낸다.

[81] 또한, 암(dark) 및 $\lambda=1620$ nm의 광 조사 조건 하에서 I-V 곡선들을 측정한 결과, 셸프 바이어스 조건 하에서 약 0.15 V의 빌트인(built-in) 포텐셜 및 약 0.75 nA의 광전류의 출현을 보여주었고, 이는 빌트인 포텐셜의 존재를 나타낸다. 변전효과로 인한 빌트인 포텐셜을 이해하기 위해, 광전류가 다른 팁 바이어스(V_{tip})로 맵핑되었다. 상기의 측정에서, 전류는 최상부(top)로부터 최하부(bottom)까지의 연속적인 팁 스캐닝 동안 수집되었고, 연속적인 백색광의 조사(2 mWcm^{-2}) 조건 하에서 V_{tip} 은 +0.1/-0.1 V로부터 +0.4/-0.4 V까지 0.1 V의 간격으로 변화하였다.

[82] 이러한 cAFM 맵들은 빌트인 포텐셜이 광전류가 제거된($V_{tip}=-0.4$ V에 대응되는 전류 맵 참조) V_{tip} 의 값인 0.4V에 가깝고, 이는 벌크 측정(도 4a 참조)과 부합하다. 이러한 관찰들은 추가적으로 광전류는 나노스케일($=0.63$ nm, 즉, AFM 이미지의 픽셀 사이즈)에서 공간적으로 변화하고, 따라서 높은 공간 해상도를 제공하며, 심지어 나노스케일로 정확하게 소자를 개발하는 것을 가능하게 함을 나타낸다.

[83] 변전 효과 및 광전 조정성의 동역학에 대한 깊은 고찰을 얻기 위해, 제어된 기계적 힘이 AFM 팁(직경=30 nm)에 의해 인가되었다. *priori*, the artifacts like, 표면 전하, 양자 터널링 또는 마찰전기 유도 전류 생성은 고정된 인가 힘(3 nN), 0 V의 V_{tip} , 암 조건(AFM에서 사용된 레이저 오프 조건을 포함함) 하에서 전류 맵을 수집함에 의해 제거되었다.

[84]

[85] 도 5는 광 조사 조건 하에서 0.1 V의 주기를 갖고 +0.1/-0.1 V로부터 +0.4/-0.4 V까지 팁전압(V_{tip})을 변화시킴에 의해 수집된 전류 맵('도 5a'), $V_{tip}=0$ 및 암 조건 하에서 수집된 소자의 전류 맵('도 5b'), 셸프 바이어스 및 연속된 백색광의 조사 조건 하에서 수집된 전류 맵('도 5c'), 고정된 인가 힘 및 펄스 광 조사($P=2 \text{ mWcm}^{-2}$) 조건 하에서 cAFM 팁(직경=35nm)을 사용하여 고정된 위치로부터 수집된 소자의 셸프 바이어스 순간 광응답 그래프('도 5d'), 힘 의존적인 광전류 특성을 나타내는 그래프('도 5e') 및 인가된 힘에 따른 광전류 크기의 변화를 측정한 그래프('도 5f')를 나타낸다.

[86] 도 5a, 도 5b 및 도 5c를 참조하면, $V_{tip}=0$ 및 암 조건 하에서 어떠한 전류 신호도 관찰되지 않았고, 이는 *priori*, the artifacts like, 표면 전하, 양자 터널링 또는 마찰전기 유도 전류 생성 등의 인자들은 전하 전송에서 지배적인 역할을 하는 것은 아님을 나타낸다. 반면, 일정한 백색광 조사(2 mWcm^{-2}) 조건 하 $V_{tip}=0$ V에서 독특하고 명백한 전류가 나타났고, 이는 광 흡수 유도 전자-정공 쌍의 생성 및 분리를 확인시켜 준다.(도 5c 참조) 실제로, AFM 팁에 의해 인가된 포인트 힘은 스트레인 경사도를 생성함에 의해 반도체 내부의 대칭성을 파괴하고, 이는 변전효과

포텐셜 및 이로 인한 0 V에서의 전류를 야기할 수 있다. 따라서, 광전류의 포텐셜 기원은 변전효과 분극 필드인 것으로 판단된다.

- [87] 다른 증거로서, 도 5d에 도시된 바와 같이, 펄스 광 조사($P=0.6 \text{ mWcm}^{-2}$)의 조건 하에서 정량적인 광전류가 cAFM 프로브를 사용하여 고정된 위치에서 측정되었다. 흥미롭게도, 나노사이즈에서 순간적인 광응답(I-t) 측정으로부터, 전류를 급격하게 증가되어 $V_{\text{tip}}=0\text{V}$ 에서 약 0.06 nA의 최대값에 도달하였고, 이는 셀프 바이어스 조건 하에서 광전류가 생성됨을 확인시켜 준다. 또한, 순간적인 광전류의 생성은 조사 강도에 고도로 민감하였고, 이는 나노스케일 전류도 광 흡수에 의존함을 확인시켜 준다. 실제로, 변전효과 분극 때문에, 광에 의해 생성된 전자-정공 쌍은 긴급하게 분리되어 광전류를 생성하였다. cAFM 팁을 이용한 이러한 순간적인 광전류는 본 발명이 밀리세컨드(ms)의 초고속 응답을 가지고, 수십 나노미터까지 감소된 소자 사이즈에 적용되어 고해상도 구현할 수 있음을 명확하게 보여준다.
- [88] 도 5e에 도시된 바와 같이, 변전효과 유도 광전류에 대한 추가적으로 직접 증거를 제공하기 위해, cAFM 팁을 사용하여 제어된 힘이 고정된 포인트에 인가되었고, 암 및 연속적인 백색광 조사($P=2\text{mWcm}^{-2}$)의 조건 하에서 동시적인 광전류가 $V_{\text{tip}}=0 \text{ V}$ 에서 측정되었다. 기대된 바와 같이, 암 조건 하에서, 최대 힘이 인가되었음에도 전류 신호는 노이즈 레벨로 유지되었다. 반면, 광 조사 조건 하에서 광전류가 나타났고, 광전류의 크기는 인가된 힘의 증가/감소에 1:1 응답을 보여주었다.(도 5e의 light 곡선 참조)
- [89] 인가된 힘의 함수로서 평균 광전류에서의 변화가 도 5의 f에 도시되어 있고, 이는 나노스케일에서 광응답의 조정을 제공할 수 있음을 보여준다. 인가된 힘에 따른 광전류 크기에서의 변화는 인가된 스트레인 조건 하에서 감소된 밴드갭을 갖는 광 흡수의 향상에 기초하여 설명될 수 있다. 실제로, 밴드 구조는 변전효과 분극의 생성과 함께 인가된 스트레인으로 조절될 수 있고, 그 결과 소자의 전체적인 광전 성능이 효과적으로 조절될 수 있다. 광전류 생성이 인가된 스트레인에 의존하는 것으로 가정하면, 위의 결과는 스트레인 경사도 유도 밴드갭 조절이 광전 성능에 결정적인 효과를 가짐을 나타낸다. 이러한 점에서, 팁-유도 다른 효과들은 배제할 수 있다. 예를 들면, 인가된 힘에 따른 광전류의 변화는 가역적이고, 따라서 V_{tip} 이 0V로 사용되었기에 기대된 바와 같이, 어떠한 전기화학적 프로세스의 연관성을 배제시킬 수 있다.
- [90] 한편, 인가된 포인트 힘 동안 인가된 스트레인을 계산하기 위해 힘-변위 곡선을 사용하였고, 힘의 인가 전후의 surface topography 측정에 의해 팁은 어떠한 영구적인 표면 손상을 야기하지 않았음이 확인되었다. 이러한 결과들은 전하 전송이 나노크기의 AFM 팁에서 조차 순수하게 기계적인 힘에 의해 조절될 수 있음을 확인시켜 준다.

[91]

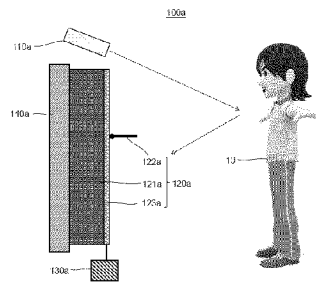
- [92] *기본적인 밴드갭을 넘어선 포톤 감지를 위한 본 발명의 타당성을 증명하기 위해, 하기 수식 4의 비율로 정의되는 소자의 감도(S)가 $\lambda=1620$ nm에 대해 계산되었다.
- [93] [수식 4]
- [94] $S = (I_{ph} - I_{dark}) / I_{dark} \times 100\%$
- [95]
- [96] 도 6은 $P=2 \text{ mWcm}^{-2}$ 의 고정된 광 조사에 대해 인가된 포인트 힘에 대한 소자의 감도(S)의 변화를 나타내는 그래프(‘도 6a’) 및 고정된 $4 \mu\text{N}$ 의 힘에 대해 조사 광의 강도에 따른 응답도(R) 및 감지도(D)의 변화를 나타내는 그래프(‘도 6b’)를 나타낸다.
- [97] 도 6a에 도시된 바와 같이, S는 넓은 영역에서 조절될 수 있고, $P=2 \text{ mWcm}^{-2}$ 에 대해 $2.5 \times 10^8 \%$ 만큼 높은 것으로 발견되었다. 이러한 극도로 높은 감도는 본 발명의 소자를 이용하여 결과를 정확하게 수집될 수 있음을 나타낸다.
- [98] 제안된 광전 소자의 성능을 결정하기 위한 다른 임계 파라미터들은 응답도(R) 및 감지도(D)이다. 암 전류에서의 주요 기여자는 쇼트 노이즈 때문이라고 가정하면, D는 하기 수식 5로서 계산될 수 있다.
- [99] [수식 5]
- [100] $D = R / \sqrt{2qI_{dark}}$ (q는 전기적 전하를 나타냄)
- [101] 수식 5에서, R은 I_{ph}/PA (P는 광의 조사 강도를 나타내고, A는 유효 조사 면적 ($1.13 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$)을 나타냄)로 정의될 수 있다. $I_{dark} = 1.2 \times 10^{-12} \text{ A}$ (즉, I-t 측정 동안 라이트 오프 조건 동안 측정된 평균 광전류), $P = 2 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 등과 같은 적절한 파라미터들의 치환 이후, 셀프 바이어스 조건(0V) 하에서 측정된 R 및 D의 값들은 $\lambda=1620 \text{ nm}$ 에서 96 mAW^{-1} 및 $1.54 \times 10^{14} \text{ Jones}$ 에 각각 도달하였고, 이는 본 발명의 우수한 타당성을 나타낸다. 실제로, 이러한 결과들은 본 발명이 나노 스케일로부터 마이크로 스케일까지 적용될 수 있고, 그 결과 InGaAs, InP 및 다른 물질 등과 같은 현재 사용되는 비싼 물질과 관련된 주요 이슈를 변전효과 적용에 의해 해소할 수 있음을 증명한다.
- [102] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

청구범위

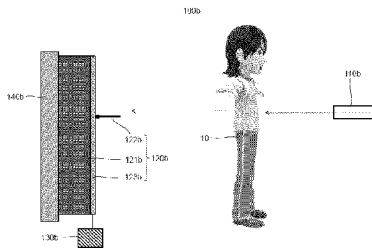
- [청구항 1] 목적물의 존재 또는 이동을 감지하는 광센서에 있어서,
 상기 목적물 방향으로 광을 조사하는 광원;
 상기 목적물에 의해 반사된 광 또는 상기 목적물을 투과한 광을 수신하여
 광전류를 생성하는 센싱소자; 및
 상기 광전류를 측정하는 전류측정기를 포함하고,
 상기 센싱소자는,
 중심대칭성 결정 구조를 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응
 되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성된 유
 전체 박막;
 상기 유전체 박막의 일면 상에 배치되고, 적외선 또는 가시광선 영역의 광
 을 투과시키는 투명 전도성 물질로 형성되며, 상기 전류측정기에 전기적
 으로 연결된 전극; 및
 상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막 내
 부에 국부적인 불균일 스트레인을 야기시키는 국부적 힘 인가기;를 포함
 하는 것을 특징으로 하는, 광센서.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 광원은 적외선 파장을 포함하는 광을 조사하고,
 상기 스트레인이 야기된 유전체 박막은 상기 근본 밴드갭보다 작은 에너
 지를 갖는 광을 흡수하여 상기 광전류를 생성하는 것을 특징으로 하는, 광
 센서.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
 상기 유전체 박막은 1 내지 3 eV의 근본 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형
 성된 것을 특징으로 하는, 광센서.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
 상기 국부적 힘 인가기는 침단이 구형 또는 반구형 형상을 갖는 포인트 팁
 을 포함하는 것을 특징으로 하는, 광센서.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
 상기 전극은 전도성 금속 나노 와이어 전극, 메쉬 구조의 전도성 금속 전
 극, 전도성 탄소 소재 전극, 투명 전도성 산화물 전극 또는 투명 전도성 고
 분자 전극을 포함하고,
 상기 전극과 상기 유전체 박막의 계면에는 쇼트키 배리어가 형성된 것을
 특징으로 하는, 광센서.
- [청구항 6] 제5항에 있어서,
 상기 전극은 상기 유전체 박막의 표면 일부를 노출시키는 개구부를 포함
 하고,

- 상기 국부적 힘 인가기는 상기 개구부를 통해 상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하는 것을 특징으로 하는, 광센서.
- [청구항 7] 중심대칭성 결정 구조를 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성된 유전체 박막; 상기 유전체 박막의 일면 상에 배치되고, 적외선 영역의 광을 투과할 수 있는 투명 전도성 물질로 형성된 전극; 및 상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막 내부에 국부적인 불균일 스트레인을 야기시키는 국부적 힘 인가기;을 구비하는 센싱소자; 상기 센싱소자 방향으로 광을 조사하는 광원; 및 상기 전극에 전기적으로 연결되고, 상기 광에 의해 상기 유전체 박막에 형성된 광전류를 측정하는 전류측정기;를 포함하는, 광센서.
- [청구항 8] 제7항에 있어서,
상기 유전체 박막은 1 내지 3 eV의 근본 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성된 것을 특징으로 하는, 광센서.
- [청구항 9] 제7항에 있어서,
상기 광원은 적외선 파장을 포함하는 광을 조사하고,
상기 스트레인이 야기된 유전체 박막은 상기 근본 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 상기 적외선 파장의 광을 흡수하여 상기 광전류를 생성하는 것을 특징으로 하는, 광센서.
- [청구항 10] 인체 또는 동물의 건강 상태를 진단하는 바이오 진단 장치에 있어서,
상기 인체 또는 동물 방향으로 광을 조사하는 광원;
각각 상기 인체 또는 동물에 의해 반사된 광 또는 상기 인체 또는 동물을 투과한 광을 수신하여 광전류를 생성하는 복수의 센싱소자들의 어레이; 및
상기 센싱소자들에 의해 생성된 광전류들을 측정하는 전류측정기를 포함하고,
상기 센싱소자 각각은,
중심대칭성 결정 구조를 갖고, 가시광선 또는 자외선 영역의 파장에 대응되는 근본 밴드갭(fundamental bandgap)을 갖는 유전체 물질로 형성된 유전체 박막;
상기 유전체 박막의 일면 상에 배치되고, 적외선 또는 가시광선 영역의 광을 투과시키는 투명 전도성 물질로 형성되며, 상기 전류측정기에 전기적으로 연결된 전극; 및
상기 유전체 박막의 표면에 국부적인 힘을 인가하여 상기 유전체 박막 내부에 국부적인 불균일 스트레인을 야기시키는 국부적 힘 인가기;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 바이오 진단 장치.

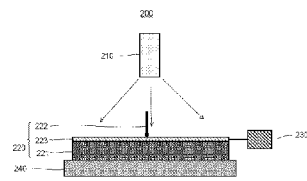
[도 1a]



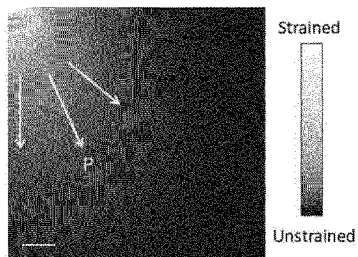
[도 1b]



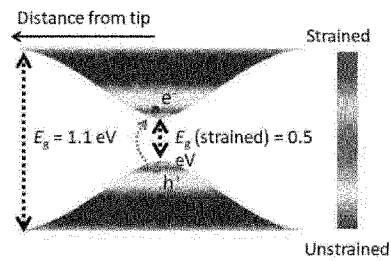
[도 2]



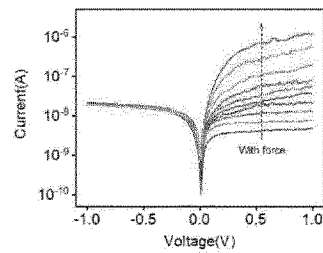
[도 3a]



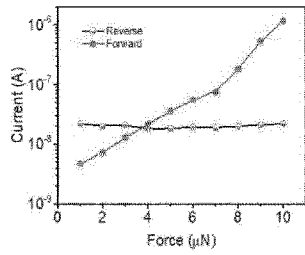
[도 3b]



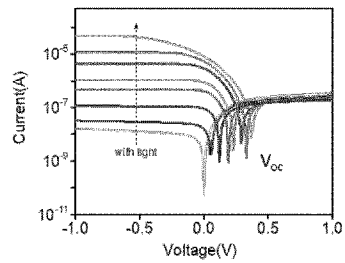
[도 3c]



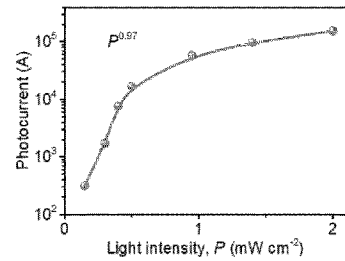
[도3d]



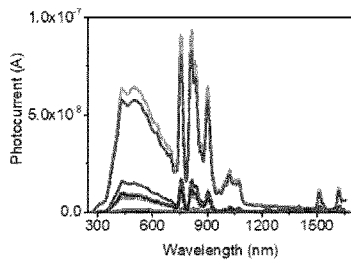
[도4a]



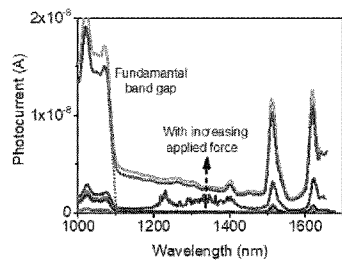
[도4b]



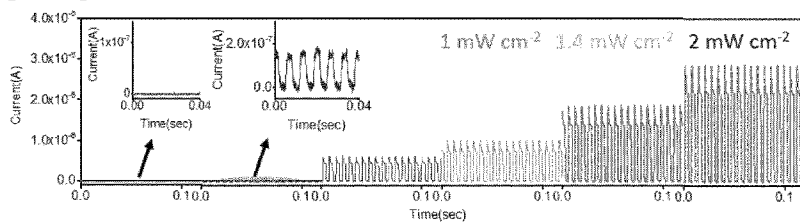
[도4c]



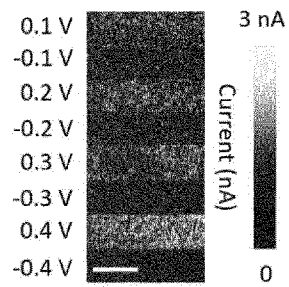
[도4d]



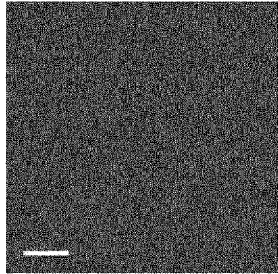
[도4e]



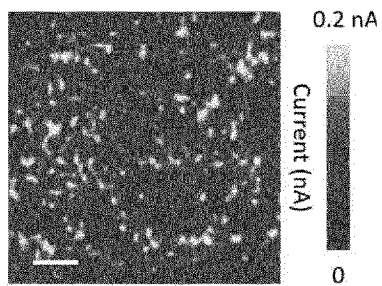
[도5a]



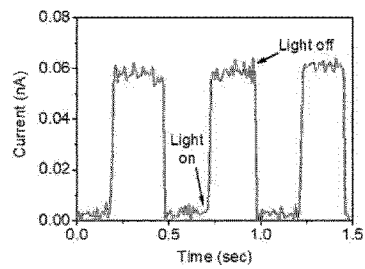
[도5b]



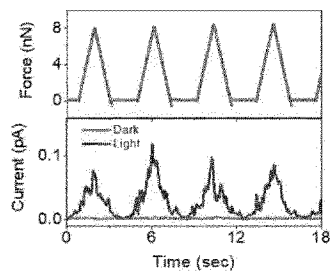
[도5c]



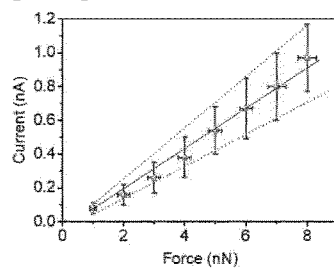
[도5d]



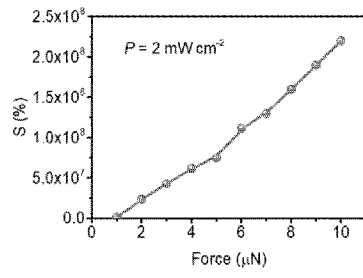
[도5e]



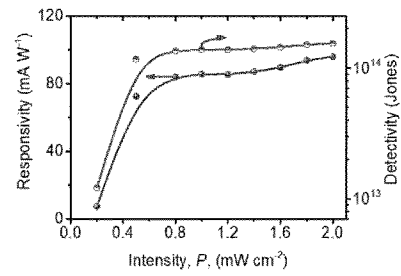
[도5f]



[도6a]



[도6b]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2023/008441

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 31/108(2006.01)i; H01L 31/0224(2006.01)i; A61B 5/00(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L 31/108(2006.01); A61B 5/02(2006.01); G01N 21/27(2006.01); G01S 11/12(2006.01); G01S 17/46(2006.01);
H01L 31/109(2006.01); H01L 31/18(2006.01); H01S 3/00(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 감지(detection), 광센서(optical sensor), 광전류(photocurrent), 근본 밴드갭
(fundamental bandgap), 유전체 박막(dielectric thin film), 불균일 스트레인(nonuniform strain)**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2016-214512 A (TOSHIBA CORP.) 22 December 2016 (2016-12-22) See paragraphs [0008]-[0021], [0034], [0051], [0070]-[0071] and [0090]; and figure 1.	1-10
Y	JP 2010-010357 A (FUJIKURA LTD. et al.) 14 January 2010 (2010-01-14) See paragraphs [0009]-[0010], [0014] and [0028].	1-10
Y	ZHANG, Bowen et al. Flexoelectricity-Enhanced Photovoltaic Effect in Self-Polarized Flexible PZT Nanowire Array Devices. ACS NANO. 2022, 16, 09 May 2022, pp. 7834-7847. [Retrieved on 05 September 2023]. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.2c00450>. See pages 7835, 7837 and 7843-7844; and figure 8.	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 September 2023

Date of mailing of the international search report

22 September 2023

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2023/008441

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KUMAR, Mohit et al. Flexoelectric Effect: Controllable, Self-Powered, and High-Performance Short-Wavelength Infrared Photodetector Driven by Coupled Flexoelectricity and Strain Effect. small methods. 14 July 2021, pp. 1-8. [Retrieved on 05 September 2023]. Retrieved from <://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smt.202100342>, doi: <10.1002/smt.202100342>. See pages 2-4 and 6; and figures 1-2. * This document is a document declaring exceptions to lack of novelty in an earlier application that serves as a basis for claiming priority of the present international application.	1-10
A	KR 10-2022-0057331 A (KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 May 2022 (2022-05-09) See paragraphs [0019]-[0026]; and figures 1-3.	1-10
A	KR 10-2020-0088319 A (TRINAMIX GMBH) 22 July 2020 (2020-07-22) See paragraphs [0372]-[0427]; and figures 1-2.	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2023/008441

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2016-214512	A	22 December 2016	US	2016-0343775	A1	24 November 2016
				US	9812509	B2	07 November 2017
JP	2010-010357	A	14 January 2010	TW	201009306	A	01 March 2010
				WO	2009-157512	A1	30 December 2009
KR	10-2022-0057331	A	09 May 2022	KR	10-2550335	B1	04 July 2023
				WO	2022-092362	A1	05 May 2022
KR	10-2020-0088319	A	22 July 2020	CN	111587384	A	25 August 2020
				EP	3710860	A1	23 September 2020
				JP	2021-503603	A	12 February 2021
				JP	7254799	B2	10 April 2023
				US	11143736	B2	12 October 2021
				US	2020-0348385	A1	05 November 2020
				WO	2019-096986	A1	23 May 2019

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H01L 31/108(2006.01)i; H01L 31/0224(2006.01)i; A61B 5/00(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H01L 31/108(2006.01); A61B 5/02(2006.01); G01N 21/27(2006.01); G01S 11/12(2006.01); G01S 17/46(2006.01); H01L 31/109(2006.01); H01L 31/18(2006.01); H01S 3/00(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 감지(detection), 광센서(optical sensor), 광전류(photocurrent), 근본 밴드 갭(fundamental bandgap), 유전체 박막(dielectric thin film), 불균일 스트레인(nonuniform strain)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	JP 2016-214512 A (TOSHIBA CORP.) 2016.12.22 단락 [0008]-[0021], [0034], [0051], [0070]-[0071], [0090]; 및 도면 1	1-10
Y	JP 2010-010357 A (FUJIKURA LTD. 등) 2010.01.14 단락 [0009]-[0010], [0014], [0028]	1-10
Y	BOWEN ZHANG 등, Flexoelectricity-Enhanced Photovoltaic Effect in Self-Polarized Flexible PZT Nanowire Array Devices, ACS NANO 2022, 16, 2022.05.09, 페이지 7834-7847 [검색일: 2023-09-05], 출처: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.2c00450> 페이지 7835, 7837, 7843-7844; 및 도면 8	1-10
X	MOHIT KUMAR 등, Flexoelectric Effect: Controllable, Self-Powered, and High-Performance Short-Wavelength Infrared Photodetector Driven by Coupled Flexoelectricity and Strain Effect, small methods, 2021.07.14, pp. 1-8 [검색일: 2023-09-05], 출처: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smt.d.202100342>, doi: <10.1002/smt.d.202100342> 페이지 2-4, 6; 및 도면 1-2 ※ 위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원에서 '공지에외주장'된 문헌임.	1-10
☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: "A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 "D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 "E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 "L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 "O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 "P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 "T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 "X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. "Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. "&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2023년09월21일(21.09.2023)		국제조사보고서 발송일 2023년09월22일(22.09.2023)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 변성철 전화번호 +82-42-481-8262

C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-2022-0057331 A (한국과학기술원) 2022.05.09 단락 [0019]-[0026]; 및 도면 1-3	1-10
A	KR 10-2020-0088319 A (트라나미엑스 게엠베하) 2020.07.22 단락 [0372]-[0427]; 및 도면 1-2	1-10

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2016-214512 A	2016/12/22	US 2016-0343775 A1	2016/11/24
		US 9812509 B2	2017/11/07
JP 2010-010357 A	2010/01/14	TW 201009306 A	2010/03/01
		WO 2009-157512 A1	2009/12/30
KR 10-2022-0057331 A	2022/05/09	KR 10-2550335 B1	2023/07/04
		WO 2022-092362 A1	2022/05/05
KR 10-2020-0088319 A	2020/07/22	CN 111587384 A	2020/08/25
		EP 3710860 A1	2020/09/23
		JP 2021-503603 A	2021/02/12
		JP 7254799 B2	2023/04/10
		US 11143736 B2	2021/10/12
		US 2020-0348385 A1	2020/11/05
		WO 2019-096986 A1	2019/05/23