(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0116735
(43) 공개일자 2024년07월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 11/25 (2006.01) *G01B 11/22* (2006.01)
H10K 39/30 (2023.01) *B82Y 20/00* (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01B 11/2513 (2013.01)
G01B 11/22 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7018186
(22) 출원일자(국제) 2022년11월30일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년05월30일
(86) 국제출원번호 PCT/US2022/080635
(87) 국제공개번호 WO 2023/102412
국제공개일자 2023년06월08일
(30) 우선권주장
63/284,846 2021년12월01일 미국(US)

(71) 출원인
스웰 비전 시스템즈 인크.
미국 27709 노스 캐롤라이나 더럼 이스트 콘월리스 로드 3201
(72) 발명자
클렘, 에단 제이.디.
미국 27516 노스 캐롤라이나 채플 힐 리지우드 로드 2317
그레고리, 크리스토퍼 윌리엄
미국 27516 노스 캐롤라이나 채플 힐 볼튼 플레이스 111
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 김연송, 백만기

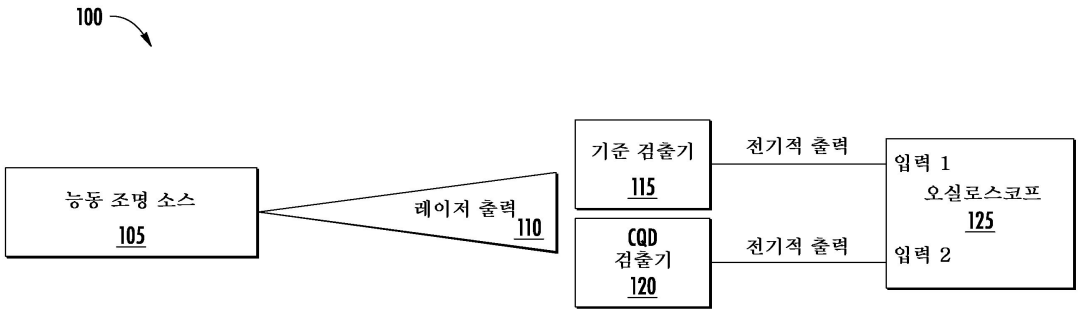
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 **고속 콜로이드 양자점 광검출기를 사용하는 광학 깊이 감지 시스템**

(57) 요 약

능동 조명 소스; 및 콜로이드 양자점 광검출기를 포함하는 광학 깊이 감지 시스템이 제공된다. 콜로이드 양자점들을 광 감지 요소들로서 갖는 콜로이드 양자점 광검출기 및 시스템은 5.0 ns 미만의 상승 시간들 및 10.0 ns 미만의 하강 시간들을 갖는다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
H10K 39/30 (2023.02)
B82Y 20/00 (2013.01)
(72) 발명자
힐튼, 제이알., 제프리 알란
미국 27703 노스 캐롤라이나 더햄 프로스펙트 파크 웨이 3329
프로시다, 카르멘
미국 27713 노스 캐롤라이나 더햄 아론 서클 820
본드, 마이클
미국 27560 노스 캐롤라이나 모리스빌 그레이스 파크 드라이브 6205
테세마, 테워드로스
미국 27704 노스 캐롤라이나 더햄 로즈버드 레인 120

명 세 서

청구범위

청구항 1

광학 깊이 감지 시스템으로서,

능동 조명 소스; 및

콜로이드 양자점 광검출기(colloidal quantum dot photodetector)

를 포함하고, 상기 콜로이드 양자점 광검출기는 광 감지 요소들로서 콜로이드 양자점들을 가지고, 상기 시스템은 5.0 ns 미만의 상승 시간들 및 10.0 ns 미만의 하강 시간들을 가지는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 능동 조명 소스는 레이저 또는 발광 다이오드(light emitting diode)(LED) 중 하나인, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 시스템은 상기 콜로이드 양자점 광검출기에 의해 검출된 상기 능동 조명 소스의 측정된 복귀 반사(measured return reflection)에 기초하여 거리들을 측정하는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 능동 조명 소스는 근적외선(near infrared)(NIR) 또는 단파 적외선(shortwave infrared)(SWIR) 스펙트럼 영역들에서 광자들을 생성하는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 시스템은 낮은 바이어스 전압들에서 동작되고, 상기 낮은 바이어스 전압들은 인가된 역방향 바이어스가 0 mV 내지 1000 mV인, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 시스템은 능동 냉각 없이 동작되는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 시스템은 10 ns 미만의 10%에서 90%로의 상승/하강 시간들을 나타내는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 시스템은 100 MHz보다 큰 대역폭을 나타내는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 시스템은 900 nm 내지 2500 m 범위의 파장을 갖는 광에 응답하여 동작하는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 콜로이드 양자점 광검출기는 높은 프레임 레이트들, 고해상도 감지, 및 고체 상태 시스템들을 가능하게 하기 위한 검출기들의 단일 요소, 선형 어레이, 또는 2차원 어레이를 포함하는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 시스템은 2개의 인접한 콜로이드 양자점 층 사이에 형성된 p-n 접합 또는 콜로이드 양자점 층과 풀러렌(fullerene) 층 사이에 형성된 p-n 접합을 포함하는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 p-n 접합은 적어도 하나의 콜로이드 양자점 재료를 포함하는, 광학 깊이 감지 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 시스템의 전하 수송 특성들은 확산 프로세스들에 의해 지배되고 50 nm 미만의 공핍 폭들을 통합하는, 광학 깊이 감지 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] **우선권 주장**

[0002] 본 출원은 2021년 12월 1일자로 출원되고 발명의 명칭이 "고속 콜로이드 양자점 광검출기들을 사용하는 광학 깊이 감지 시스템들(Optical Depth Sensing Systems Using High Speed Colloidal Quantum Dot Photodetectors)"인 미국 가출원 제63/284,846호의 이익 및 그에 대한 우선권을 주장하며, 그 내용들은 그 전체가 제시된 것처럼 본 명세서에 참조로 포함된다.

[0003] **기술분야**

[0004] 본 발명의 개념은 일반적으로 광검출기에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 콜로이드 양자 광검출기 및 이를 포함하는 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 시스템으로부터 그리고 장면 내에서 물체들의 3차원 구조 및 거리를 결정하기 위해 능동 광학 소스들 및 광학 검출기들을 이용하는 깊이 감지 시스템들은 산업, 과학, 소비자, 자동차 및 보안 시장들에서의 응용들에서 유용하다. 이러한 시스템들을 구축하기 위한 종래의 접근법들의 상당한 단점은 근적외선(near-infrared)(NIR) 및 단파 적외선(short wave infrared)(SWIR) 스펙트럼 영역들에서 고속 검출을 수행할 수 있는 스케일러블 검출기 구조의 부족이다. NIR 및 SWIR 스펙트럼 대역에서 오늘날 통상적으로 사용되는 광검출기는 전형적으로 규소(silicon)(Si) 기반 광검출기, 게르마늄(germanium)(Ge) 기반 광검출기, 인듐 갈륨 비화물(indium gallium arsenide)(InGaAs) 광검출기, 수은 카드뮴 텔루라이드(mercury cadmium telluride)(HgCdTe) 검출기, 및 인듐 안티몬화물(indium antimonide)(InSb) 검출기로 구성된다. 이러한 재료 시스템들 모두는 일반적으로, 예를 들어, 그들의 노이즈 성능, 비용 구조 및 제조성, 스펙트럼 응답 범위 또는 이들의 일부 조합에서 단점들을 겪는다. 따라서, 개선된 시스템이 요구된다.

발명의 내용

[0006] 본 발명 개념의 일부 실시예들은 능동 조명 소스; 및 콜로이드 양자점 광검출기를 포함하는 광학 깊이 감지 시스템을 제공한다. 콜로이드 양자점을 광 감지 요소로서 갖는 콜로이드 양자점 광검출기 및 시스템은 5.0 ns 미만의 상승 시간 및 10.0 ns 미만의 하강 시간을 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 콜로이드 양자점 광검출기 응답 시간 측정에 사용되는 시스템을 예시하는 블록도이다.

도 2는 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따라 도 1에 도시된 펄스 레이저 소스로 조명되는 바와 같은 콜로이드 양자점 광다이오드 및 InGaAs 광다이오드 기준 검출기의 출력을 측정할 때 오실로스코프 디스플레이의 예시적인 스크린샷이다.

도 3은 본 발명 개념의 일부 실시예에 따른 추가적인 측정 통계와 함께 평균 상승/하강 시간을 보고하는 도 1의 오실로스코프에 의해 기록된 측정 데이터를 나타내는 표이다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따른 콜로이드 양자점 검출기 광학 깊이 측정 시스템의 시연을 위해 사용되는 예시적인 셋업을 예시하는 도면들이다.

도 5a 및 도 5b는 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따른 위치 1(5a) 및 위치 2(5b)에서 콜로이드 양자점 및 기준 검출기 전기 출력들을 촬영한 오실로스코프 스크린샷들이다.

도 6은 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따른 콜로이드 양자점 센서 스택을 예시하는 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 본 발명의 개념은 본 발명의 개념의 실시예들이 도시되는 첨부 도면들을 참조하여 이하에서 더 완전히 설명될 것이다. 그러나, 본 발명의 개념은 많은 대안적인 형태들로 구현될 수 있고, 본 명세서에 제시된 실시예들로 제한되는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0009] 따라서, 본 발명의 개념은 다양한 수정 및 대안적인 형태가 가능하지만, 그 특정 실시예가 도면에 예로서 도시되어 있고 본 명세서에서 상세히 설명될 것이다. 그러나, 본 발명의 개념을 개시된 특정 형태들로 제한하려는 의도는 없지만, 반대로, 본 발명의 개념은 청구항들에 의해 정의된 바와 같은 본 발명의 개념의 사상 및 범위 내에 속하는 모든 수정들, 등가물들, 및 대안들을 커버하는 것임을 이해해야 한다. 유사한 번호들은 도면들의 설명 전반에 걸쳐 유사한 요소들을 지칭한다.

[0010] 본 명세서에 사용된 용어는 단지 특정한 실시예를 기재하기 위한 것이며, 본 발명의 개념을 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 단수 형태들("a", "an" 및 "the")은, 문맥이 명확하게 달리 지시하지 않는 한, 복수 형태들도 포함하는 것으로 의도된다. 용어들 "포함한다(comprises)", "포함하는(comprising)", "포함한다(includes)" 및/또는 "포함하는(including)"은, 본 명세서에서 사용될 때, 언급된 특징들, 정수들, 단계들, 동작들, 요소들, 및/또는 컴포넌트들의 존재를 특정하지만, 하나 이상의 다른 특징들, 정수들, 단계들, 동작들, 요소들, 컴포넌트들, 및/또는 이들의 그룹들의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다는 것이 추가로 이해될 것이다. 더욱이, 요소가 다른 요소에 "응답하는" 또는 "연결되는" 것으로 지칭될 때, 그것은 다른 요소에 직접 응답하거나 연결될 수 있거나, 또는 개재되는 요소들이 존재할 수 있다. 대조적으로, 요소가 다른 요소에 "직접 응답하는" 또는 "직접 연결되는" 것으로 언급될 때, 개재되는 요소들이 존재하지 않는다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "및/또는"이라는 용어는 연관된 열거된 항목들 중 하나 이상의 임의의 그리고 모든 조합들을 포함하고 "/"로서 축약될 수 있다.

[0011] 달리 정의되지 않는 한, 본 명세서에 사용된 모든 용어 (기술적 및 과학적 용어 포함)는 본 발명의 개념이 속하는 관련 기술분야의 통상의 기술자에 의해 통상적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 본 명세서에서 사용되는 용어들은 본 명세서 및 관련 기술의 맥락에서의 그들의 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하고, 본 명세서에서 명시적으로 그렇게 정의되지 않는 한 이상화된 또는 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않을 것이라는 점이 추가로 이해될 것이다.

[0012] 제1, 제2 등의 용어들이 다양한 요소들을 설명하기 위해 본 명세서에서 사용될 수 있지만, 이러한 요소들은 이러한 용어들에 의해 제한되지 않아야 한다는 점이 이해될 것이다. 이러한 용어들은 하나의 요소를 다른 요소와 구별하기 위해서만 사용된다. 예를 들어, 본 개시내용의 교시로부터 벗어나지 않고, 제1 요소는 제2 요소로 지

칭될 수 있고, 유사하게, 제2 요소는 제1 요소로 지칭될 수 있다. 도면들 중 일부는 통신의 주요 방향을 보여주기 위해 통신 경로들 상에 화살표들을 포함하지만, 통신은 도시된 화살표들과 반대 방향으로 발생할 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0013] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "광전자 디바이스(optoelectronic device)"라는 용어는 일반적으로 광학-전기 트랜스듀서 또는 전기-광학 트랜스듀서로서 작용하는 임의의 디바이스를 지칭한다. 따라서, "광전자 디바이스"라는 용어는, 예를 들어, 광전지(photovoltaic)(PV) 디바이스(예를 들어, 태양 전지), 광검출기, 광기전 전지(thermovoltaic cell), 또는 발광 다이오드들(light-emitting diodes) (LED) 및 레이저 다이오드들(laser diode)(LD)와 같은 전계발광(EL)(electroluminescent) 디바이스들을 지칭할 수 있다. 일반적인 의미에서, EL 디바이스들은 PV 및 광검출기 디바이스들의 역으로 작동한다. 전자들 및 정공들은 인가된 바이어스 전압의 영향 하에서 각각의 전극들로부터 반도체 영역 내로 주입된다. 반도체 층들 중 하나는 광-흡수 특성보다는 그의 발광 특성을 위해 선택된다. 주입된 전자들 및 정공들의 복사 재결합은 이 층에서 광 방출을 야기한다. 층 두께들 및 다른 파라미터들이 EL 디바이스의 상이한 목표를 달성하기 위해 적응되어야 하지만, PV 및 광검출기 디바이스들에서 이용되는 많은 동일한 타입들의 재료들이 EL 디바이스들에서 마찬가지로 이용될 수 있다.

[0014] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "양자점" 또는 "QD"는 양자 와이어들(단지 2차원에서의 양자 구속), 양자 우물들(단지 1차원에서의 양자 구속), 및 벌크 반도체들(구속 없음)과 구별되는 바와 같이, 3개의 공간 차원 모두에서 엑시톤이 구속된 반도체 나노결정 재료를 지칭한다. 또한, 양자점의 많은 광학적, 전기적 및 화학적 특성은 그의 크기에 크게 의존할 수 있고, 따라서 이러한 특성들은 그의 크기를 제어함으로써 수정되거나 조정될 수 있다. 양자점은 일반적으로 입자로서 특징화될 수 있으며, 그의 형상은 구형, 타원형, 또는 다른 형상일 수 있다. 양자점의 "크기"는 그 형상의 치수 특성 또는 그 형상의 근사치를 지칭할 수 있고, 따라서 직경, 장축, 주 길이(predominant length) 등일 수 있다. 양자점의 크기는 대략 몇 나노미터, 즉 일반적으로는 1.0-1000 nm 범위이지만, 보다 전형적으로는 1.0-100 nm, 1.0-20 nm 또는 1-10 nm 범위이다. 복수의 양자점 또는 양자점들의 앙상블에서, 양자점들은 평균 크기를 갖는 것으로 특징지어질 수 있다. 복수의 양자점의 크기 분포는 단분산(monodisperse)일 수도 있고, 아닐 수도 있다. 양자점은 코어-셸 구성을 가질 수 있으며, 여기서 코어 및 주변 셸은 별개의 조성을 가질 수 있다. 양자점은 또한 그의 외부 표면에 부착된 리간드들을 포함할 수 있거나 또는 특정 목적을 위해 다른 화학적 모이어티들로 기능화될 수 있다.

[0015] 본 개시내용의 목적들을 위해, 인접한 스펙트럼 범위들 또는 대역들은 어느 정도 서로 중첩되는 것으로 간주될 수 있다는 이해와 함께 전자기 복사의 스펙트럼 범위들 또는 대역들은 일반적으로 다음과 같이 취해진다: 자외선(UV) 복사는 약 10-400 nm의 범위 내에 속하는 것으로 간주될 수 있지만, (진공을 초과하는) 실제 응용들에서는 범위가 약 200-400 nm이다. 가시광선 복사는 약 380-760 nm의 범위 내에 속하는 것으로 간주될 수 있다. 적외선(IR) 복사는 약 750-100,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로 간주될 수 있다. IR 복사는 또한 하위 범위의 관점에서 고려될 수 있으며, 그 예는 다음과 같다. 단파 적외선(SWIR) 복사는 약 1,000-3,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로 간주될 수 있다. 중파 적외선(MWIR) 복사는 약 3,000-5,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로 간주될 수 있다. 장거리 적외선(LWIR) 복사는 약 8,000-12,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로 간주될 수 있다.

[0016] 아래에 논의되는 바와 같이, 양자점 광다이오드(QDP) 기술은 저비용 나노기술-가능 광검출기들을 제공하도록 구현된다. 일부 구현들에서, 광검출기들은 약 250-2400 nm 범위의 스펙트럼 영역에 걸쳐 있는 감도로 광을 효율적으로 검출하도록 구성될 수 있다. 따라서, QD 광검출기들은 입사 자외선(UV), 가시 및/또는 적외선(IR) 전자기 복사로부터 이미지들을 생성할 수 있는 다중스펙트럼 디바이스로서 구성될 수 있다. 일부 구현들에서, 감도의 스펙트럼 범위는 아래로는 X-선 에너지들까지 및/또는 위로는 2400 nm보다 더 긴 IR 파장들까지 확장될 수 있다. 본 명세서에 교시된 바와 같은 광검출기는 비용 효과적이고, 대면적 어레이로 확장가능하며, 가요성 기판에 적용가능하다.

[0017] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "암전류"는 입사 조명이 없을 때 광전 디바이스에서 흐르는 잔류 전류를 지칭한다. 물리학 및 전자 공학에서, 암전류는 광자들이 디바이스에 진입하고 있지 않을 때에도 광전자 증배관, 광다이오드, 또는 전하 결합 디바이스와 같은 감광 디바이스들을 통해 흐르는 비교적 작은 전류이다. 암전류는 일반적으로 외부 복사가 검출기에 진입하고 있지 않을 때 검출기에서 생성된 전하들로 구성된다. 이는 비광학 디바이스들에서 역방향 바이어스 누설 전류로서 지칭될 수 있고, 모든 다이오드들에 존재한다. 물리적으로, 소스 상에서 암전류는 디바이스의 공핍 영역 내의 전자들 및 정공들의 무작위 생성으로 인한 것이다.

[0018] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "풀러렌(fullerene)"은 버크민스터풀러렌 C_n뿐만 아니라 다른 형태의

분자 탄소, 예컨대 C_{70}, C_{84}, 및 유사한 케이지-유사(cage-like) 탄소 구조를 지칭하고, 보다 일반적으로 20 내지 수백개의 탄소 원자 범위일 수 있고, 즉 C_n이며, 여기서 n은 20 이상이다. 풀러렌은 예를 들어, 풀러렌의 용해도 또는 분산성을 개선시키거나 전기적 특성을 개질시키는 것과 같은 특정 목적을 위해 원하는 대로 기능화되거나 화학적으로 개질될 수 있다. 용어 "풀러렌"은 또한 내면체 풀러렌을 지칭할 수 있으며, 여기서 비-탄소 원자 또는 원자 클러스터가 탄소 케이지 내에 봉입된다. 용어 "풀러렌"은 또한 풀러렌 유도체를 지칭할 수 있다. 풀러렌 유도체의 몇몇 비제한적 예는 [6,6]-페닐-C_{61}-부티르산 메틸 에스테르(PCBM) 및 페닐-C_{61}-부티르산 콜레스트릴 에스테르(PCBCR)이다. 용어 "풀러렌"은 또한 이전에 언급된 형태의 풀러렌들의 혼합물들을 지칭할 수 있다.

[0019] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "p-n 접합"은 반도체 내부의 2개의 반도체 재료 타입들, 즉 p-타입과 n-타입 사이의 계면 또는 경계를 지칭한다. p-타입 반도체에서, 다수 캐리어들은 정공들이고, 소수 캐리어들은 전자들이다. n-타입 반도체에서, 전자는 다수 캐리어이고, 정공은 소수 캐리어이다. 붕소, 인듐 또는 갈륨과 같은 3가 원자들 중 임의의 것으로 도핑된 게르마늄 또는 실리콘과 같은 반도체들은 p-타입 반도체들일 수 있다. 인, 비소, 안티몬, 비스무트 및 그와 유사한 것은 n-타입 반도체들을 생산하는 데 사용된다.

[0020] 위에서 논의된 바와 같이, 시스템으로부터 그리고 장면 내에서 물체들의 3차원 구조 및 거리를 결정하기 위해 능동 광학 소스들 및 광학 검출기들을 이용하는 깊이 감지 시스템들은 산업, 과학, 소비자, 자동차 및 보안 시장들에서의 응용들에서 유용하다. 이러한 시스템들을 구축하기 위한 종래의 접근법들의 상당한 단점은 근적외선(NIR) 및 단파 적외선(SWIR) 스펙트럼 영역들에서 고속 검출을 수행할 수 있는 스케일러블 검출기 구조의 부족이다. NIR 및 SWIR 스펙트럼 대역에서 오늘날 통상적으로 사용되는 광검출기는 전형적으로 규소(Si)-기반 광검출기, 게르마늄(Ge)-기반 광검출기, 인듐 갈륨 비화물(InGaAs) 광검출기, 수은 카드뮴 텔루라이드(HgCdTe) 검출기, 및 인듐 안티몬화물(InSb) 검출기로 구성된다. 이러한 재료 시스템들 모두는 일반적으로, 예를 들어, 그들의 노이즈 성능, 비용 구조 및 제조성, 스펙트럼 응답 범위 또는 이들의 일부 조합에서 단점들을 겪는다.

[0021] 따라서, 본 발명 개념의 일부 실시예들은 광 감지 요소 또는 요소들로서 콜로이드 양자점들에 기초한 고속 광검출기를 포함하는 광학 깊이 감지 시스템을 제공한다. 본 명세서의 실시예들에 따른 깊이 감지 시스템들은 NIR 또는 SWIR 스펙트럼 영역에서 광자들을 생성하기 위해 레이저 또는 발광 다이오드(LED)와 같은 능동 광자 소스를 이용한다.

[0022] 콜로이드 양자점 재료들을 사용하여 다른 검출기 구조들이 구축되었지만, 이들 검출기 중 어느 것도 정확한 비행 시간(time-of-flight)(ToF) 깊이 감지에 필요한 대역폭 및 응답 시간을 입증하지 못하였다. 또한, 이용가능한 검출기 구조들 중 어느 것도 직접 모드 비행 시간 측정들을 사용하는 광학 깊이 감지 시스템의 시간의 시연에 사용되지 않았다.

[0023] 본 명세서에서 논의되는 바와 같이, 콜로이드 양자점 광검출기 구조는 능동 조명 소스와 결합되어 광학 깊이 감지 시스템을 생성한다. 능동 조명 소스는 예를 들어 레이저 또는 LED일 수 있다. 시스템은 콜로이드 양자점 고속 검출기에 의해 검출된 바와 같은 능동 광학 소스의 측정된 복귀 반사에 기초하여 거리들을 측정한다. 그것은 다수의 구성들로 동작될 수 있다. 예시적인 구성들이 아래에 논의된다:

[0024] 제1 예로서, 시스템은 반사된 광학 펄스의 진폭, 시간, 주파수, 및 관련 특성들의 정확한 검출 및 측정을 이용하는 직접 비행 시간 구성에서 동작될 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 비행 시간(ToF)은 광학 펄스가 광학 소스로부터 물체로 그리고 다시 광학 소스와 함께 위치되는 광검출기로 이동하는 데 걸리는 왕복 시간의 측정을 지칭한다. 이 시간 정보는 이후 ToF 시스템으로부터 물체의 거리를 결정하기 위해 광속과 함께 사용될 수 있다.

[0025] 제2 예로서, 시스템은 방출된 광학 신호의 위상과 비교할 때 반사된 광학 신호의 위상 시프트의 측정 및 검출에 의존하는 간접 비행 시간 구성에서 동작될 수 있다.

[0026] 또한, 시스템은 방출된 광학 신호의 주파수와 비교하여 반사된 광학 시스템의 주파수 시프트의 측정 및 검출을 사용하여 동작될 수 있다.

[0027] 마지막으로, 시스템은 구조화된 광 깊이 감지 시스템으로서 일반적으로 알려진 것에서 레이저 도트들의 그리드와 같은 방출된 광학 패턴들의 어레이의 측정 및 검출에 기초하여 동작될 수 있다. 본 발명 개념의 실시예들은

이러한 예들로 제한되지 않는다는 것을 이해할 것이다.

[0028] 위에서 논의된 모든 구성들에서, 이러한 깊이/거리 측정 시스템들은 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따른 고속 콜로이드 양자점 광검출기를 사용하여 시스템을 구축함에 있어서 발견되는 이점들로부터 이익을 얻을 수 있다.

[0029] 본 명세서에서 논의되는 콜로이드 양자점 광다이오드 구조는 산업, 소비자, 및 자동차 시스템들에서의 광학 깊이 감지 솔루션들에 일반적으로 요구되는 충분한 대역폭, 응답 시간, 열 동작 제한들, 제조성, 및 비용 확장성을 제공할 수 있다.

[0030] 본 명세서에서 논의된 콜로이드 양자점 광다이오드 구조는 이전 작업에 비해 그 기술적 및 상업적 이점들을 발생시키는 정의 특성들을 갖는다. 예를 들어, 이러한 특성들은 확산 지배 전하 수송 특성들로 동작하는 p-n 광다이오드 구조의 설계 및 제조를 포함한다. 예를 들어, 그것은 길이가 50 nm 내지 250 nm인 확산 수송 영역과 함께, 예를 들어, 50 nm 미만의 두께의 작은 공핍 영역을 갖도록 설계되고 구축될 수 있다.

[0031] 또한, 그것은 낮은 바이어스 전압들, 예를 들어, 0 mV 내지 1000 mV의 인가된 바이어스에서 동작될 수 있다. 이러한 낮은 동작 바이어스는 콜로이드 양자점 광검출기들을 구축하기 위한 다른 접근법들과 비교하여 우수한 시간적 응답 및 암 노이즈(dark noise) 성능으로 이어진다. 구체적으로, 이는 5.0 ns 미만의 상승 시간 및 10.0 ns 미만의 하강 시간을 나타낸다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, "상승 시간"은 신호가 그의 전체 스케일 값의 10%에서 90%로 상승하는 데 걸리는 시간의 길이를 지칭한다. 유사하게, 본 명세서에 사용되는 바와 같이 "하강 시간"은 신호가 그의 전체 스케일 값의 90%에서 10%로 하강하는 데 걸리는 시간의 길이를 지칭한다.

[0032] 본 명세서에서 논의된 콜로이드 양자점 광다이오드의 암전류 특성은 또한 통상적인 디바이스들보다 우수하다. 암전류는 시스템에 존재하는 배경 노이즈의 양에 크게 기여하기 때문에, 낮은 암전류는 광학 깊이 감지 시스템들에 대한 이점을 가진다. 결과적으로, 암전류는 감지 시스템의 설계 및 성능에 강하게 영향을 미친다. 예를 들어, 검출기 암전류는 검출기의 암 노이즈를 극복하기에 충분한 광학 전력을 생성하기 위해 시스템 내의 광학 소스에 대한 요건들을 배치할 수 있다. 여기서 시연된 콜로이드 양자점 광다이오드는 25℃에서 $50nA/cm^2$미만의 암전류를 갖는다. 이들 암전류는 검출기가 광검출 동작 동안 동작되는 것과 동일한 인가된 바이어스 전압에서 측정된다. 다시 말해서, 광검출 동작 동안 외부적으로 인가된 바이어스 전압은 암 신호 측정 동안 이용되는 외부적으로 인가되는 바이어스 전압과 동일한 값이다.

[0033] 일부 실시예들에서, 콜로이드 양자점 고속 광다이오드 검출기 구조는 광-생성된 전하 캐리어들을 외부 회로 내로 추출하는 것이 바이어스 전압의 인가를 요구하지 않는 광전지 접합으로서 설계된다. 이것은 내부적으로 생성된 전기장들 및 전하 캐리어 확산 구배들이 광-생성된 전하들의 추출에 충분하기 때문이다. 이러한 콜로이드 양자점 기반 광전지 p-n 접합은 전형적으로 다른 타입의 콜로이드 양자점 광검출기에서 볼 수 있는 매우 긴 시간 신호 과도, 즉 신호 감쇠 시간을 피하는 이점을 갖는다. 이는 이러한 깊이 감지 시스템에서 측정된 극도로 빠른 광학 응답 시간들에 대한 주요 기여 인자들 중 하나이다.

[0034] 이제 도 1을 참조하면, 광학 깊이 감지 시스템에서 콜로이드 양자점 광검출기들을 사용하는 시스템을 예시하는 블록도가 있다. 도 1에 예시된 바와 같이, 시스템은 능동 조명 소스(105), 기준 검출기(115), 콜로이드 양자점들을 포함하는 고속 광검출기(120) 및 오실로스코프(125)를 포함한다. 능동 조명 소스(105)는, 예를 들어, 레이저 또는 LED일 수 있다. 도 1에서, 능동 조명 소스는 Nd: 네오디뮴 도핑된 이트륨 알루미늄 가넷(YAG) 펄스 레이저이다. 예시된 바와 같이, Nd:YAG 레이저는 레이저 출력(110)을 생성하고, 예를 들어, 도 1에 예시된 실시예들에서 기준 검출기(115)로서 사용되는 InGaAs 광다이오드 및 콜로이드 양자점 광다이오드 검출기(120)를 조명하기 위해 공기를 통해 이동하는 일련의 레이저 펄스들을 방출한다. 예시된 실시예들에서, Nd:YAG 레이저(105)는 3.0-5.0 ns 반치전폭 펄스 폭(full-width half-maximum pulse width)을 갖고 5 Hz 반복 레이트 및 1064 nm 파장에서 동작하도록 구성된다. 콜로이드 양자점 광다이오드는 0.2 mm x 0.2 mm 정사각형 검출기이며, 그의 전기 출력은 도시된 바와 같이 오실로스코프(125), 예를 들어, 애질런트(Agilent) 부품 번호 MSO8104A에 연결된다. InGaAs 기준 광다이오드(115)는 0.15 mm 직경 검출기, 예를 들어, Thorlabs 부품 번호 FGA015이고, 그 전기 출력은 또한 도시된 바와 같이 오실로스코프(125)에 연결되고 오실로스코프 측정들을 위한 트리거 소스로서 사용된다.

[0035] 콜로이드 양자점 광다이오드(120)는 SWIR 비전 시스템 광다이오드, 예를 들어, 200 um x 200 um일 수 있지만, 이에 제한되지 않는다. 또한, 디바이스들 사이의 커넥터들은 본 발명 개념의 범위로부터 벗어나지 않고 동축 케이블들일 수 있다.

[0036] 도 1의 시스템(100)은 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따른 콜로이드 양자점 검출기 기반 광학 깊이 센서 시스템의 기능성을 입증하기 위해 제공된다. 도시된 바와 같이, 레이저 펄스(110)의 상승 및 하강 시간 특성을 측정하기 위해 콜로이드 양자점 광다이오드(120)가 사용되었다. 도 1의 시스템으로부터 수집된 데이터는 이제 도 2 및 도 3과 관련하여 논의될 것이다.

[0037] 특히, 도 2는 본 명세서에서 논의되는 실시예들에 따른 콜로이드 양자점 광다이오드 및 InGaAs 광다이오드 기준 검출기의 출력을 예시하는 오실로스코프 디스플레이의 스크린샷이다. 이 측정 동안 오실로스코프는 기준 검출기 및 콜로이드 양자점 검출기에 대해 10%-90% 상승 시간 및 90%-10% 하강 시간을 측정하도록 구성되었다. 추가의 측정 통계와 함께 평균 상승/하강 시간이 도 3에 예시되어 있다. 이 측정 데이터는 오실로스코프에 의해 보고되었다. 이는 콜로이드 양자점 검출기가 1.01 ns의 평균 상승 시간 및 2.79 ns의 평균 하강 시간을 가졌음을 보여준다. 상승 및 하강 시간은 모두 InGaAs 기준 검출기를 사용하여 측정된 것보다 짧았다. 콜로이드 양자점 검출기를 사용한 5 ns 미만의 상승 및 하강 시간들의 측정은 본 발명 개념의 실시예들이 깊이 감지 시스템들에 필요한 시간 응답 특성들을 갖는다는 것을 보여준다.

[0038] 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따른 콜로이드 양자점 검출기 광학 깊이 측정 시스템의 시연을 수행하기 위해, 예시적인 시스템이 도 4a 및 도 4b에 예시되어 있다. 예시된 바와 같이, 시스템은 능동 조명 소스(405), 예를 들어, 레이저 또는 LED; 기준 검출기(415) 및 콜로이드 양자점 검출기(420)를 포함한다. 이 시스템은 백색 플라스틱(430)의 조각을 조명하는 데 사용된다. 이러한 2-부분 측정에서, 레이저 펄스(도 4a에서 투과된 레이저 펄스)를 이용하여 백색의 불투명 플라스틱(430)의 조각을 조명하였다. 이어서, 플라스틱(430)으로부터 반사된 레이저 펄스(도 4a에서 반사된 레이저 펄스) 및 반사된 광은 기준 검출기(415) 및 콜로이드 양자점 검출기(420) 둘 다에 의해 검출된다. 검출기들(415 및 420) 둘 다의 전기 출력들은 오실로스코프(도시되지 않음 - 도 1의 125 참조)에 의해 측정되었다. 이 측정에 사용된 검출기들(415 및 420) 및 오실로스코프(125)는 도 1과 관련하여 논의된 것들과 유사하였다.

[0039] 도 4a에 예시된 바와 같이, 측정의 부분에서, 기준 검출기(415) 및 콜로이드 양자점 검출기(420)는 반사성 백색 플라스틱 표면(420)으로부터 동일한 거리에 나란히 배치되었다. 도 4b에 예시된 바와 같이, 이 측정의 부분 2에서 콜로이드 양자점 검출기(420)는 기준 검출기 위치(415)로부터 28 cm만큼 이동되었다. 이는 광학 펄스(반사된 레이저 펄스)가 콜로이드 양자점 검출기(420)에 의해 검출되기 전에 이동할 28 cm 경로-길이 차이를 초래하였다.

[0040] 도 5a 및 도 5b는 위치 1(도 4a) 및 위치 2(도 4b)에서의 콜로이드 양자점 및 기준 검출기 전기 출력의 스크린샷들이다. 위치 1(도 4a)에서 검출기들은 나란히 배치되었다. 위치 2에서 검출기들은 28 cm 떨어져 있다. 두 검출기 출력의 상승 에지에서의 50% 신호 수준 사이의 시간 차이를 두 검출기 위치에 대해 오실로스코프를 사용하여 측정하였다. 두 측정 사이의 도착 시간 차이의 변화는 0.94 ns였다. 광 펄스가 자유 공간을 통해 이동해야 하는 거리가 두 측정 사이에 28 cm 증가했기 때문에 이러한 펄스 도달 시간의 0.94 ns 이동이 발생했다.

[0041] 이하의 식은 도 5a 및 도 5b에서 측정된 펄스 도달 시간의 0.94 ns 변화로부터 발생하는 광학 경로 길이의 변화를 추정하기 위한 계산을 나타낸다.

[0042] $d = ct$ 식 (1)

[0043] 여기서 d는 거리의 변화이고, c는 광속이고, t는 시간의 변화이다. 값들을 대입하면:

[0044] $d = 2.997E8\ m/s * 0.94E-9\ s$

[0045] $d = 0.282\ m$

[0046] $d = 28.2\ cm$

[0047] 따라서, 공기 중의 광의 속도를 사용하여, 0.94 ns에서 광학 펄스가 28.2 cm를 이동할 것으로 예상되는 것을 계산할 수 있다. 이는 28 cm의 광학 경로 길이의 측정된 변화에 잘 대응한다. 따라서, 이러한 측정들은 콜로이드 양자점 검출기들을 갖는 광학 깊이 감지 시스템이 비행 시간 3차원(3D) 깊이 감지에서 거리를 측정하도록 구현될 수 있다는 것을 예시한다.

[0048] 이제 도 6을 참조하여, 본 발명 개념의 일부 실시예들에 따라 사용될 수 있는 예시적인 콜로이드 양자점 센서 스택이 논의될 것이다. 콜로이드 양자점 센서 스택(600)은 금속 픽셀 전자장치(650)를 갖는 실리콘 판독 집적 회로(640)를 포함한다. 콜로이드 양자점 광다이오드(660)는 전자장치(650) 상에 제공되고 봉합재(670)는 광다이오드(660) 상에 제공된다. 예시적인 구조들은 공동 양도된 미국 특허 공개 제2021/0288195호 및 제

2022/0231244호에 제공되며, 그 내용들은 그 전체가 제시된 것처럼 본 명세서에 참조로 포함된다. 콜로이드 양자점 광검출기는 본 발명의 개념의 범주로부터 벗어나지 않으면서 임의의 콜로이드 양자점 광검출기일 수 있다.

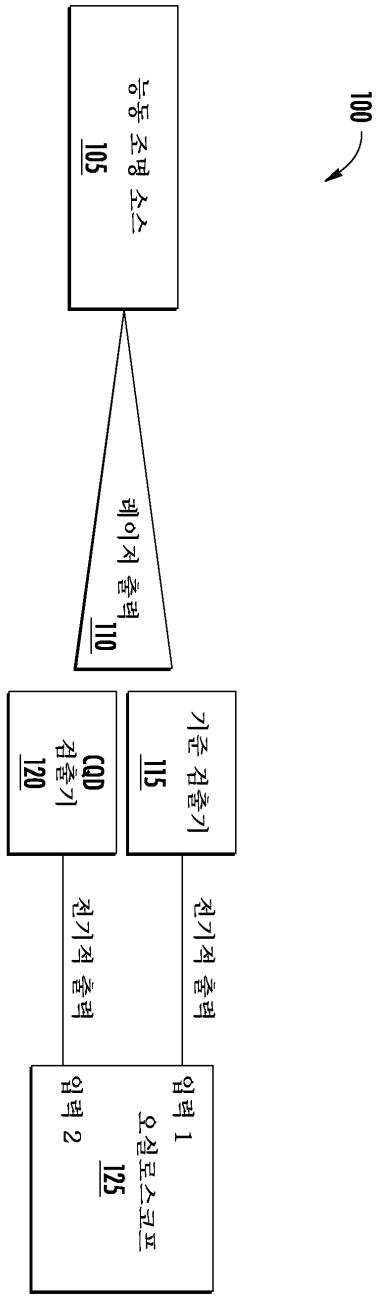
[0049] 따라서, 본 발명 개념의 일부 실시예들은 콜로이드 양자점 광학 흡수체를 사용하여 만들어지고; 능동 냉각 없이 동작하고; 10 ns 미만의 10%-90% 상승/하강 시간을 나타내며; 100 MHz 초과의 대역폭(BW)을 갖고; 900 nm 내지 2500 m 범위의 파장들을 갖는 광에 응답하여 동작하고; 스캐닝 또는 스피닝 또는 다른 기계적 이동에 대한 필요성 없이 높은 프레임 레이트들, 고해상도 감지, 및 고체 상태 시스템들을 가능하게 하기 위한 검출기들의 단일 요소, 선형 어레이, 또는 2차원 어레이일 수 있고; 2개의 인접한 콜로이드 양자점 층 사이에 형성된 p-n 접합 또는 콜로이드 양자점 층과 폴러렌 층 사이에 형성된 p-n 접합을 사용하여 제조되고; 적어도 하나의 콜로이드 양자점 재료를 사용하여 형성된 p-n 접합을 사용하여 제조되며, 여기서 전하 수송 특성은 확산 프로세스에 의해 지배되고 50 nm 미만의 공핍 폭을 포함하는, 깊이 감지를 위해 구축된 광검출기 구조를 제공한다.

[0050] 위에서 간략하게 논의된 바와 같이, 본 발명 개념의 일부 실시예들은 광학 깊이 감지, 레인징, 제스처 인식, 얼굴 매핑, LIDAR 및/또는 다른 3차원(3D) 깊이 감지 시스템들을 위한 감광 요소로서 사용될 수 있는 고속 콜로이드 양자점 광다이오드 구조를 제공한다.

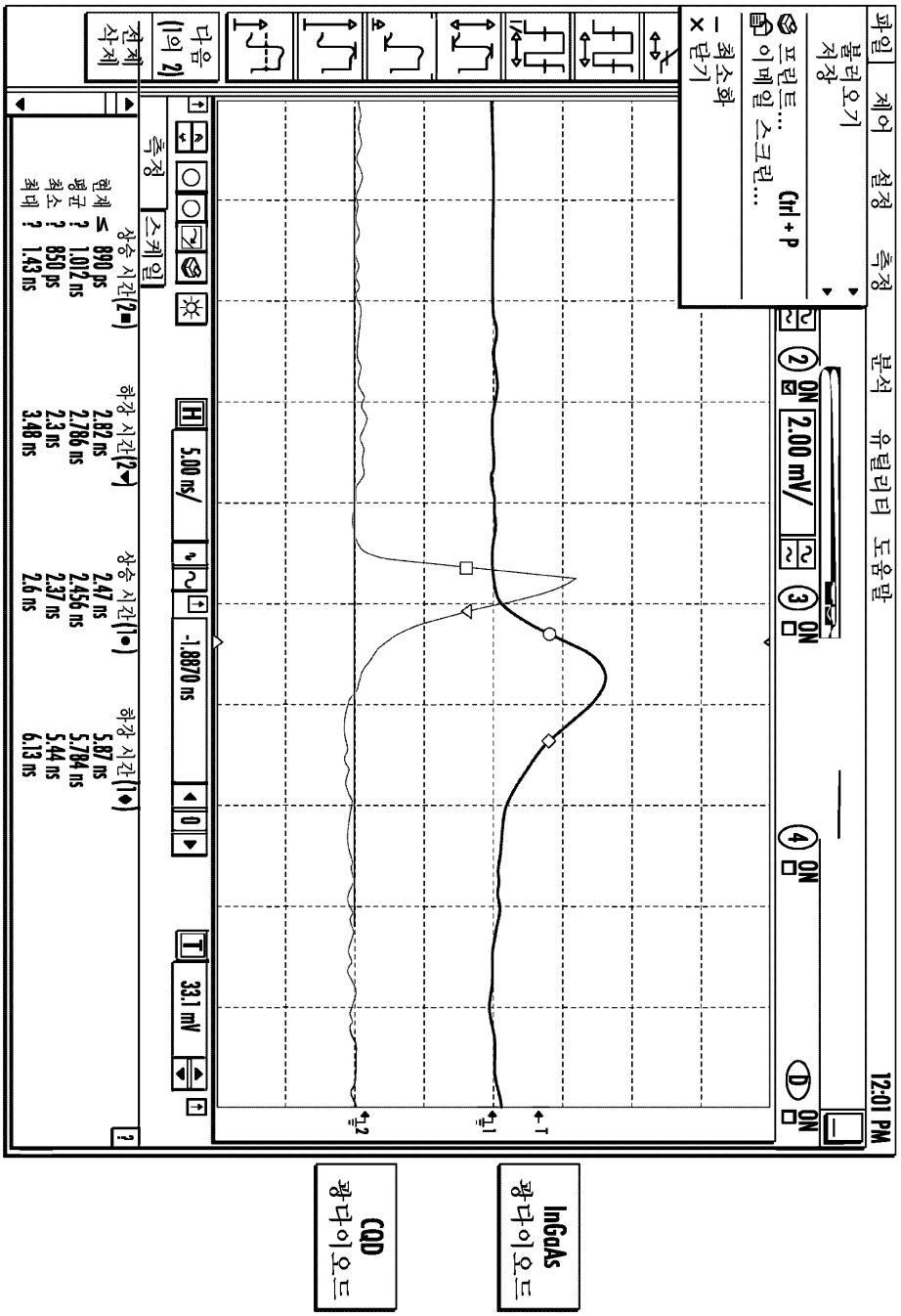
[0051] 도면들 및 명세서에서, 본 발명의 개념의 예시적인 실시예들이 개시되었다. 그러나, 본 발명 개념의 원리들로부터 실질적으로 벗어나지 않고 이러한 실시예들에 대해 많은 변형들 및 수정들이 이루어질 수 있다. 따라서, 특정 용어들이 사용되지만, 이들은 제한의 목적들이 아니라 일반적이고 설명적인 의미로만 사용되며, 본 발명의 개념의 범위는 다음의 청구항들에 의해 정의된다.

도면

도면1


100
능동 조명 소스
105
레이저 출력
110
기준 검출기
115
CQD
검출기
120
전기적 출력
전기적 출력
입력 1
입력 2
오실로스코프
125

도면2


파일
제어
설정
측정
분석
유틸리티
도움말
불러오기
저장
프린트... Ctrl + P
이메일 스크린...
최소화
닫기
12:01 PM
2.00 mV/
5.00 ns/
-1.8870 ns
33.1 mV
다음 (1의 2)
전체 삭제
측정
스케일
상승 시간(2)
하강 시간(2)
상승 시간(1)
하강 시간(1)
현재 ≤ 890 ps 2.82 ns 2.47 ns 5.87 ns
평균 ? 1.012 ns 2.786 ns 2.456 ns 5.784 ns
최소 ? 850 ps 2.3 ns 2.37 ns 5.44 ns
최대 ? 1.43 ns 3.48 ns 2.6 ns 6.13 ns
InGaAs 광다이오드
CQD 광다이오드

애질런트 오실로스코프를 사용한 10%-90% 상승/하강 시간 측정 데이터

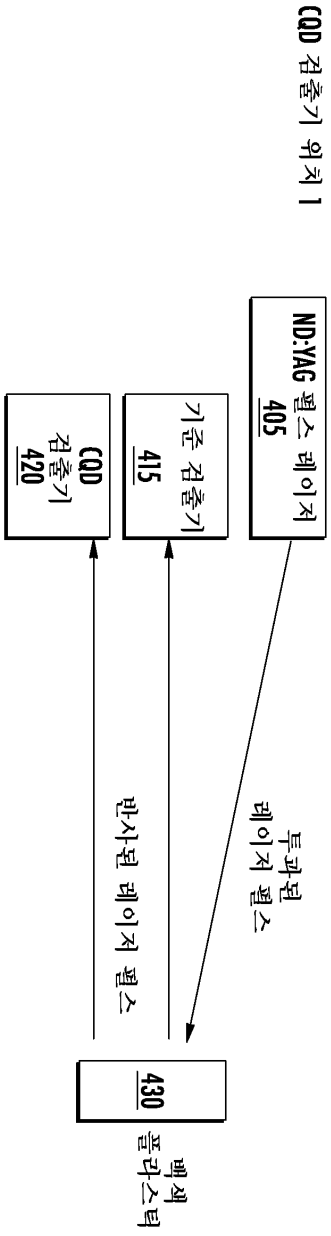
	CQD 광다이오드		InGaAs 광다이오드	
	상승 시간(2)	하강 시간(2)	상승 시간(1)	하강 시간(1)
현재	890 ps	2.82 ns	2.47 ns	5.87 ns
평균	1.012 ns	2.786 ns	2.456 ns	5.784 ns
최소	850 ps	2.3 ns	2.37 ns	5.44 ns
최대	1.43 ns	3.48 ns	2.6 ns	6.13 ns
범위	570 ps	1.21 ns	220 ps	690 ps
표준 편차	115 ps	163 ps	29 ps	84 ps
측정 수	680	680	680	680
엣지 디렉토리	상승	하강	상승	하강

CQD 광다이오드 평균 상승 시간: 1.0 ns

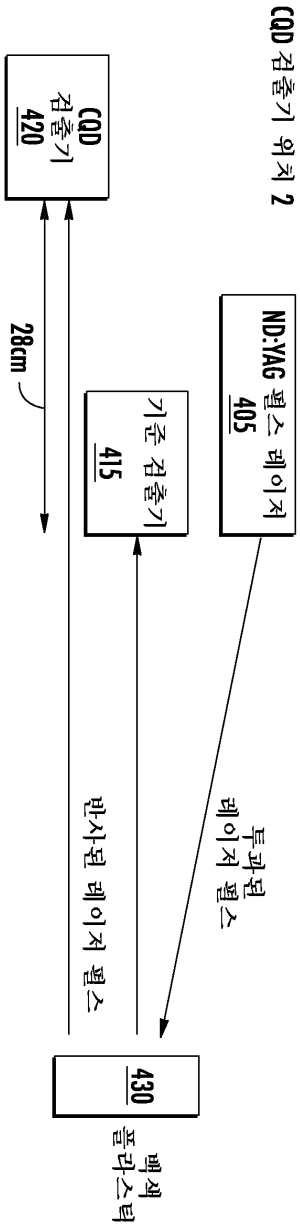
CQD 광다이오드 평균 하강 시간: 2.8 ns

도면3

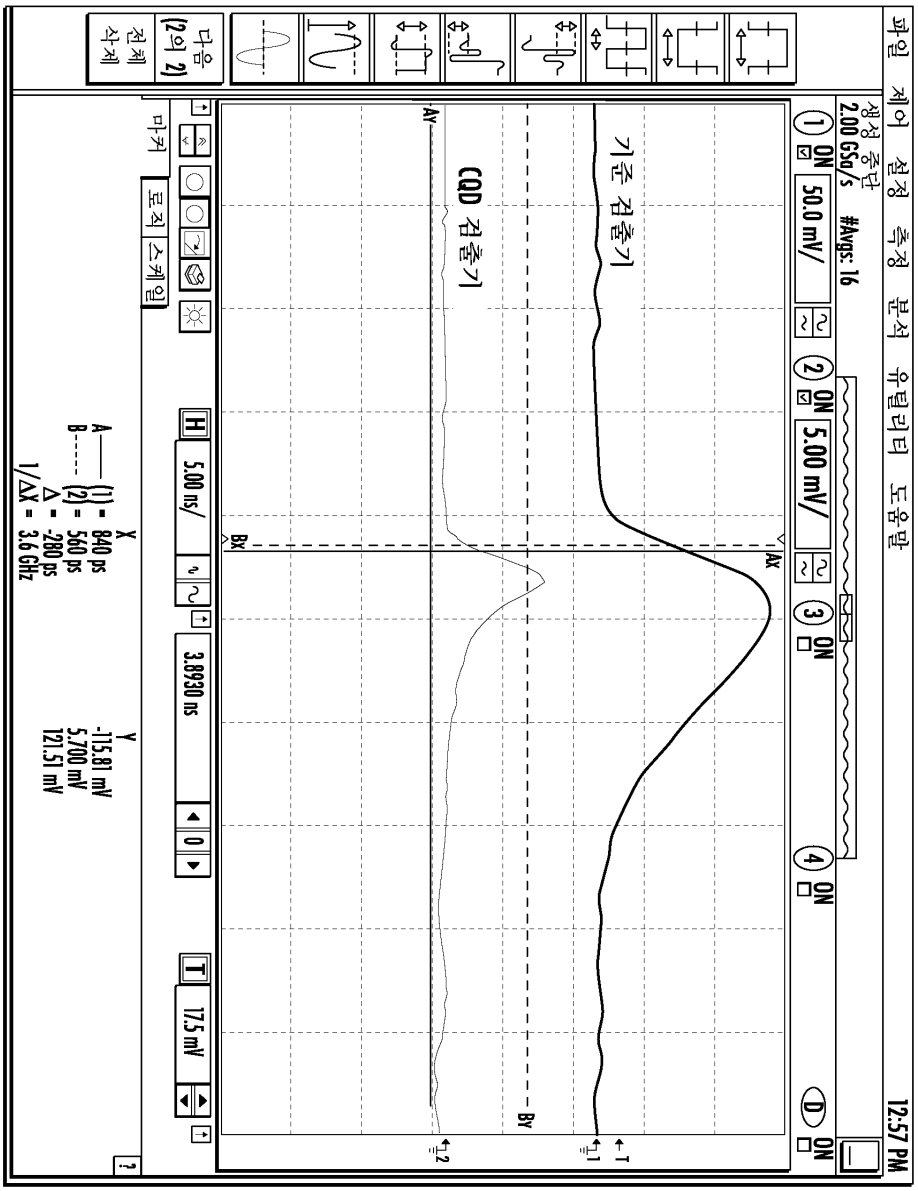
도면4a


CQD 검출기 위치 1
ND:YAG 펄스 레이저
405
기준 검출기
415
CQD
검출기
420
투과된
레이저 펄스
반사된 레이저 펄스
430
백색
플라스틱

도면4b

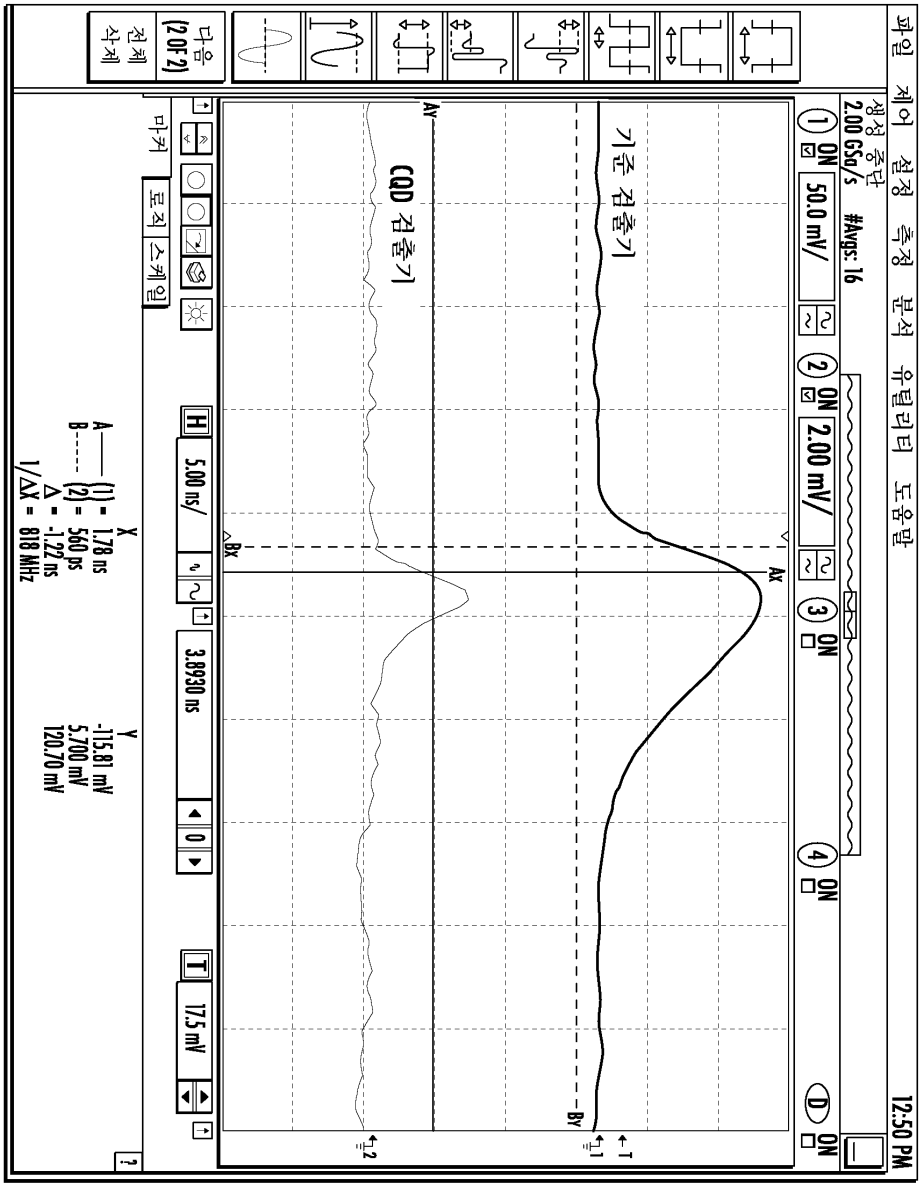

CQD 검출기 위치 2
CQD
검출기
420
28cm
ND:YAG 펄스 레이저
405
기준 검출기
415
투과된
레이저 펄스
반사된 레이저 펄스
430
백색
폴리스틱

도면5a



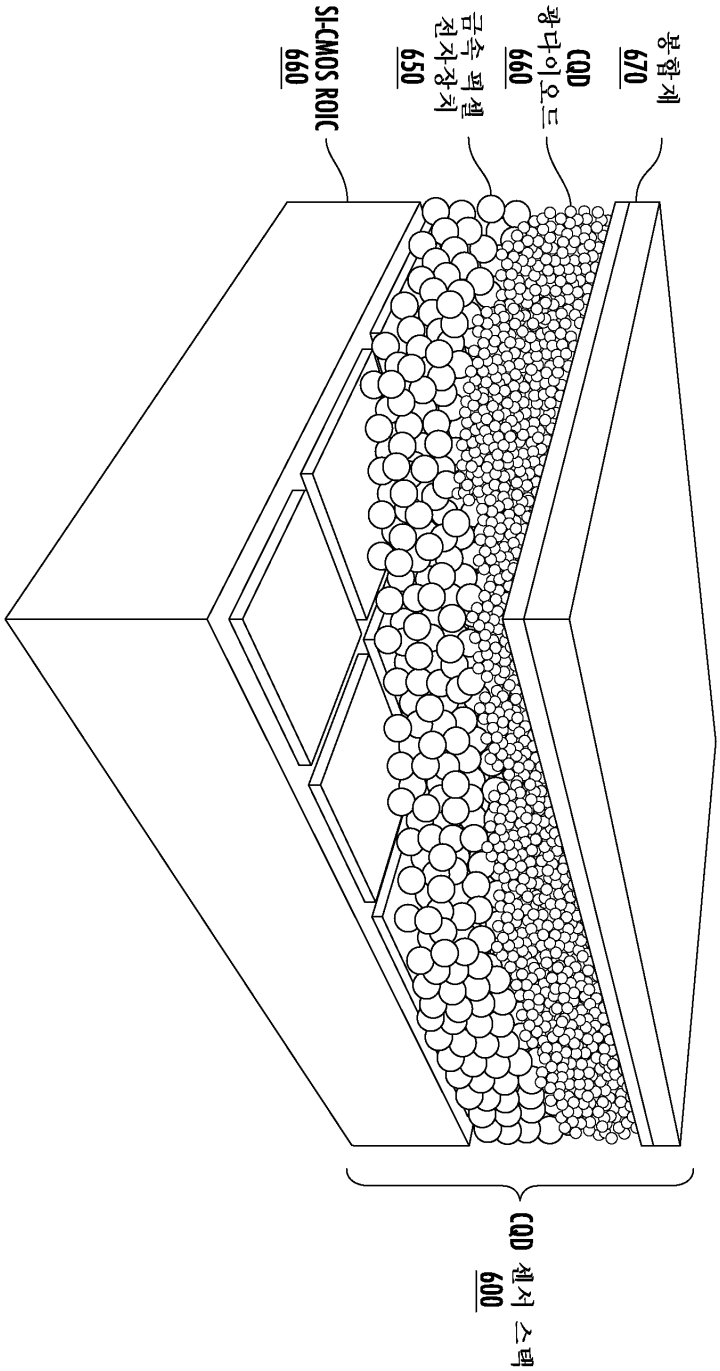
위치 1에서 CQD 검출기로 측정한 데이터

도면5b



위치 2에서 CQD 검출기로 측정한 데이터

도면6


봉합재
670
CQD
광다이오드
660
금속 픽셀
전자장치
650
SI-CMOS ROIC
660
CQD 센서 스택
600