(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0107363
(43) 공개일자 2023년07월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 5/18 (2006.01) *H01L 31/0224* (2006.01)
H01L 31/0232 (2014.01) *H01L 31/0352* (2006.01)
H01L 31/101 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 5/1819 (2013.01)
H01L 31/0224 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7021172
(22) 출원일자(국제) 2021년11월22일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년06월22일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/060315
(87) 국제공개번호 WO 2022/115373
국제공개일자 2022년06월02일
(30) 우선권주장
63/117,548 2020년11월24일 미국(US)

(71) 출원인
스웰 비전 시스템즈 인크.
미국 27709 노스 캐롤라이나 더럼 이스트 콘월리스 로드 3201
(72) 발명자
하인즈, 션
캐나다 케이1에이치 5티5 온타리오 오타와 데블린 크레센트 1803
클렘, 에단 제이.디.
미국 27517 노스 캐롤라이나 채플 힐 세인트 토마스 드라이브 102
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 김연송, 백만기

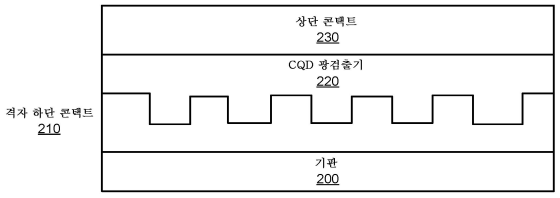
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **집적된 광학 격자 커플러를 갖는 광검출기들 및 관련 방법들**

(57) 요 약

집적된 디바이스가 제공되고, 이는 기판; 기판 상의 CQD 광검출기; 및 기판 상의 집적된 광학 격자 콘택트를 포함한다. 집적된 광학 격자 콘택트는 전도성 격자 콘택트이고 기판과 광검출기 사이에 제공된다. 집적된 디바이스는 광검출기 상의 상단 콘택트를 추가로 포함한다.

대 표 도 - 도2a



(52) CPC특허분류
H01L 31/02327 (2013.01)
H01L 31/035218 (2013.01)
H01L 31/101 (2013.01)
(72) 발명자
그레고리, 크리스토퍼 윌리엄
미국 27516 노스 캐롤라이나 채플 힐 볼튼 플레이스 111
힐튼, 제프리 알란, 주니어
미국 27703 노스 캐롤라이나 더럼 프로스펙트 파크웨이 3329
하메스, 그렉 알란
미국 27614 노스 캐롤라이나 롤리 독 아놀드 드라이브 11817

명 세 서

청구범위

청구항 1

비-QWIP(quantum well infrared photodetector) 디바이스로서, 상기 디바이스는 집적된 광학 격자 커플러를 포함하는 디바이스.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 집적된 광학 격자 커플러는 상기 디바이스의 상단 표면, 상기 디바이스의 하단 표면 상에 또는 상기 디바이스의 중간 부분에서 상기 디바이스의 상기 상단 표면과 상기 하단 표면 사이에 배치되는 디바이스.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 광학 격자 커플러는 전도성 재료를 포함하는 디바이스.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 광학 격자 커플러는 금속을 포함하는 디바이스.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 금속 광학 격자 커플러는 포스트들의 패턴화된 어레이를 포함하는 디바이스.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 집적된 광학 격자 커플러의 형상은 주기적, 랜덤, 포스트 형상, 필러 형상이고, 홀들을 포함하고, 그리드들을 포함하고, 및/또는 리세스된 그리드들을 포함하는 디바이스.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 비-QWIP 디바이스는 CQD(colloidal quantum dot) 광검출기 디바이스를 포함하는 디바이스.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 집적된 광학 격자 커플러를 포함하는 상기 디바이스는 집적된 광학 커플러들이 없는 디바이스들에 비해 다크 노이즈를 증가시키지 않고 증가된 광학 양자 효율을 갖는 디바이스.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 양자 효율은 집적된 광학 커플러를 갖는 디바이스들에서 적어도 50 퍼센트만큼 증가하는 디바이스.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 집적된 광학 격자 커플러는 약 800 nm 내지 약 2500 nm의 파장들과 함께 사용하기 위한 것인 디바이스.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 디바이스는 수직 입사로 광을 커플링하는 비-QWIP 재료들을 포함하는 디바이스.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 비-QWIP 재료들은 InGaAs, Si 및 CQD 중 적어도 하나를 포함하는 디바이스.

청구항 13

집적된 디바이스로서,

기판;

상기 기판 상의 CQD 광검출기; 및

상기 기판 상의 집적된 광학 격자 콘택트를 포함하는 디바이스.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 집적된 광학 격자 콘택트는 전도성 격자 콘택트이고 상기 기판과 상기 광검출기 사이에 제공되고, 상기 집적된 디바이스는 상기 광검출기 상의 상단 콘택트를 추가로 포함하는 디바이스.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 전도성 격자 콘택트는 주기적 패턴 및 랜덤 패턴 중 하나를 제공하도록 패턴화되는 디바이스.

청구항 16

제14항에 있어서, 상기 전도성 격자 콘택트는 포스트들의 패턴화된 어레이를 포함하는 디바이스.

청구항 17

제13항에 있어서, 상기 디바이스는 비-QWIP 디바이스인 디바이스.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 디바이스는 수직 입사로 광을 커플링하는 비-QWIP 재료들을 포함하는 디바이스.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 비-QWIP 재료들은 InGaAs, Si 및 CQD 중 적어도 하나를 포함하는 디바이스.

청구항 20

제13항에 있어서, 상기 집적된 광학 격자 콘택트의 존재는 상기 광검출기 내부의 광학 경로 길이 및 광학 흡수를 증가시키는 디바이스.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] <우선권의 주장>

[0002] 본 출원은, 그 내용이 그 전체에서 제시되는 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 원용되는, *Optical Grating Couplers for Colloidal Quantum Dot Photodetectors*라는 명칭으로 2020년 11월 24일 출원된 미국 임시 출원 제63/117,548호에 대한 우선권을 주장한다.

[0003] <기술분야>

[0004] 본 발명의 개념은 일반적으로 광학 격자 커플러들 및 콜로이드 양자점 광검출기들에 관한 것으로, 더 구체적으로는, 콜로이드 양자점 광검출기들 내부의 광학 경로 길이 및 광학 흡수를 증가시킬 목적으로 콜로이드 양자 광검출기들의 구조에 집적되는 격자 커플러들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] FPA들(focal-plane arrays)은 렌즈의 초점면에 있는 광-감지 픽셀들의 어레이로 구성되는 이미지 감지 디바이스들이다. FPA들은 이미징 목적들, 예를 들어, 사진들 또는 비디오 이미지를 촬영하기 위해 가장 일반적으로 사용되지만, 분광법, LIDAR(light detection and ranging), 및 파면 감지와 같은 비-이미징 목적들을 위해 또한

사용될 수 있다.

[0006] 가시 및 적외선 파장들에서, FPA는 다양한 이미징 디바이스 타입들을 지칭할 수 있지만, 일반적인 사용에서 이것은 적외선 스펙트럼에서 민감한 2차원 디바이스들을 지칭한다. 다른 스펙트럼들에 민감한 디바이스들은, 가시 스펙트럼에서 CCD(charge-coupled device) 및 CMOS 이미지 센서와 같은, 다른 용어들로 보통 지칭된다. FPA들은 특정 파장들에서 광자들을 검출하는 것 및 다음으로 각각의 픽셀에서 검출되는 광자들의 수와 관련하여 전하, 전압, 또는 저항을 생성하는 것에 의해 동작한다. 다음으로 이러한 전하, 전압, 또는 저항은 측정되고, 디지털화되고, 광자들을 방출한 물체, 장면, 또는 현상의 이미지을 구성하기 위해 사용된다. 초점면 어레이들의 2개의 기본 타입들: 선형 및 영역이 있다. 선형 초점면 어레이들은 픽셀들의 단일 라인으로 구성된다. 영역 초점면 어레이들은 픽셀들의 행들 및 열들로 구성된다.

[0007] CQD(colloidal quantum dot) 광검출기들은 광자들을 흡수하고 광을 검출하기 위해 반도체 재료의 작은 입자들의 앙상블로 조성되는 박막들을 사용하는 광검출기이다. 격자 커플러들은 일반적으로 사용되는 광학 엘리먼트이며, 칩 상의 위치들 내외로 광을 커플링하기 위한 집적된 광학기기들에서 사용될 수 있다. 격자 커플러들은 QWIP(Quantum Well Infrared Photodetectors)로부터 만들어지는 적외선-감지 FPA들에서 이전에 사용되어 왔다. 이들은 그렇지 않으면 이미징 시스템들에서 발견되는 수직-입사 광자들을 효과적으로 흡수하는 것이 불가능할 양자 우물 구조 내로 수직-입사 광을 커플링하는 것에 의해 QWIP 디바이스들에서의 이미징을 가능하게 한다.

발명의 내용

[0008] 본 발명의 개념의 일부 실시예들은 집적된 광학 격자 커플러를 포함하는 비-QWIP(quantum well infrared photodetector) 디바이스를 제공한다.

[0009] 추가 실시예들에서, 집적된 광학 격자 커플러는 디바이스의 상단 표면, 디바이스의 하단 표면 상에 또는 디바이스의 중간 부분에서 디바이스의 상단 표면과 하단 표면 사이에 배치될 수 있다.

[0010] 여전히 추가 실시예들에서, 광학 격자 커플러는 전도성 재료를 포함할 수 있다.

[0011] 일부 실시예들에서, 광학 격자 커플러는 금속을 포함할 수 있다.

[0012] 추가 실시예들에서, 금속 광학 격자 커플러는 포스트들의 패턴화된 어레이를 포함할 수 있다.

[0013] 여전히 추가 실시예들에서, 집적된 광학 격자 커플러의 형상은 주기적, 랜덤, 포스트 형상, 필러 형상이고, 홀들을 포함하고, 그리드들을 포함하고, 및/또는 리세스된 그리드들을 포함할 수 있다.

[0014] 일부 실시예들에서, 비-QWIP 디바이스는 CQD(colloidal quantum dot) 광검출기 디바이스를 포함한다.

[0015] 추가 실시예들에서, 집적된 광학 격자 커플러를 포함하는 디바이스는 집적된 광학 커플러들이 없는 디바이스들에 비해 다크 노이즈를 증가시키지 않고 증가된 광학 양자 효율을 가질 수 있다.

[0016] 여전히 추가 실시예들에서, 양자 효율은 집적된 광학 커플러를 갖는 디바이스들에서 적어도 50 퍼센트만큼 증가할 수 있다.

[0017] 일부 실시예들에서, 집적된 광학 격자 커플러는 약 1000 nm 내지 약 3000 am의 짧은 파장들과 함께 사용하기 위한 것이다.

[0018] 추가 실시예들에서, 디바이스는 수직 입사로 광을 커플링하는 비-QWIP 재료들을 포함할 수 있다.

[0019] 여전히 추가 실시예들에서, 비-QWIP 재료들은 InGaAs, Si 및 CQD 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 개념의 일부 실시예들은 집적된 디바이스를 제공하고, 이는 기판; 기판 상의 CQD 광검출기; 및 기판 상의 집적된 광학 격자 콘택트를 포함한다.

[0021] 추가 실시예들에서, 집적된 광학 격자 콘택트는 전도성 격자 콘택트일 수 있고 기판과 광검출기 사이에 제공될 수 있다. 집적된 디바이스는 광검출기 상의 상단 콘택트를 추가로 포함할 수 있다.

[0022] 여전히 추가 실시예들에서, 전도성 격자 콘택트는 주기적 패턴 및 랜덤 패턴 중 하나를 제공하도록 패턴화될 수 있다.

[0023] 일부 실시예들에서, 전도성 격자 콘택트는 포스트들의 패턴화된 어레이를 포함할 수 있다.

[0024] 추가 실시예들에서, 디바이스는 비-QWIP 디바이스일 수 있다.

[0025] 여전히 추가 실시예들에서, 디바이스는 수직 입사로 광을 커플링하는 비-QWIP 재료들을 포함할 수 있다.

[0026] 일부 실시예들에서, 비-QWIP 재료들은 InGaAs, Si 및 CQD 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0027] 추가 실시예들에서, 집적된 광학 격자 콘택트의 존재는 광검출기 내부의 광학 경로 길이 및 광학 흡수를 증가시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1a 및 도 1b는 QWIP들(quantum well infrared photodetectors)에 대한 랜덤 및 코히어런트 격자 커플러를 각각 예시하는 도면들이다.

도 2a 및 도 2b는, 각각, 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른, 비-QWIP 광검출기들과 함께 사용하기 위한 FPA(Focal-plane array) 격자 커플러의 단면 및 포스트들을 도시하는 상면도를 예시하는 도면들이다.

도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 CQD(Colloidal quantum dot) 광검출기를 구축하기 위해 사용되는 광학 격자 커플러들의 예들의 SEM(scanning electron microscope) 이미지들이다.

도 4는, 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른, 집적된 광학 격자 커플러들과 함께 그리고 광학 격자 커플러가 없이 제조되는 CQD 광검출기들의 성능을 비교하는 스펙트럼 양자 효율을 예시하는 이미지이다.

도 5는 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 복수의 상이한 광학 격자 구조들에 대한 EQE(external quantum efficiency) 대 파장(nm)을 예시하는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 복수의 상이한 QE 구조들에 대한 EQE 대 파장(nm)을 예시하는 그래프이다.

도 7a 및 7b는 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 디바이스들의 제조에서의 처리 단계들을 예시하는 단면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 본 발명의 개념의 실시예들이 도시되는 첨부 도면들을 참조하여 본 발명의 개념이 이하 보다 완전히 설명될 것이다. 그러나, 이러한 발명의 개념들은, 많은 대체 형태들로 구현될 수 있고, 본 명세서에서 제시되는 실시예들에 제한되는 것으로서 해석되어서는 안 된다.

[0030] 따라서, 본 발명의 개념은 다양한 수정들 및 대안적인 형태들이 가능하지만, 그 구체적인 실시예들은 도면들에서 예로서 도시되고 본 명세서에 상세히 설명될 것이다. 그러나, 본 발명의 개념을 개시된 특정 형태들로 제한하려는 의도는 없지만, 반대로, 발명의 개념은 청구항들에 의해 정의된 바와 같은 발명의 개념의 사상 및 범위 내에 속은 모든 수정들, 등가물들, 및 대안들을 커버한다는 점이 이해되어야 한다. 비슷한 번호들은 도면들의 설명 전반에 걸쳐 비슷한 엘리먼트들을 지칭한다.

[0031] 본 명세서에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위한 목적일 뿐이며, 본 발명의 개념들을 제한하려고 의도되는 것이 아니다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 단수 형태들("a", "an" 및 "the")은 맥락이 달리 분명히 표시하지 않는 한, 복수 형태들을 마찬가지로 포함하도록 의도된다. 용어들("comprises", "comprising", "includes" 및/또는 "including")은 본 명세서에서 사용될 때, 진술된 특징들, 정수들, 단계들, 동작들, 엘리먼트들, 및/또는 컴포넌트들의 존재를 명시하지만, 하나 이상의 다른 특징, 정수들, 단계들, 동작들, 엘리먼트들, 컴포넌트들, 및/또는 그 그룹들의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다는 점이 추가로 이해될 것이다. 또한, 엘리먼트가 다른 엘리먼트에 "응답하는(responsive)" 또는 "연결되는(connected)" 것으로서 참조될 때, 이것은 다른 엘리먼트에 대해 직접 응답하는 또는 연결되는 것일 수 있거나, 또는 개재하는 엘리먼트들이 존재할 수 있다. 이와 대비하여, 한 엘리먼트가 다른 엘리먼트에 "직접 응답하는 "(directly responsive) 또는 "직접 연결되는 "(directly connected) 것으로서 참조될 때, 개재하는 엘리먼트는 존재하지 않는다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "및/또는(and/or)"은 연관된 나열된 항목들 중 하나 이상의 임의의 또는 모든 조합을 포함하며, "/"로서 축약될 수 있다.

[0032] 달리 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어들(기술적 및 과학적 용어들을 포함함)은 본 발명의 개념이 속하는 관련 기술분야의 통상의 기술자에 의해 일반적으로 이해되는 바와 동일한 의미를 갖는다. 본 명

세서에서 사용되는 용어들은 본 명세서와 관련 분야의 맥락에서 그들의 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하고, 본 명세서에서 명시적으로 그렇게 정의하지 않는 이상 이상화된 또는 너무 형식적인 의미로 해석되지 않는다는 점이 추가로 이해될 것이다.

[0033] 제1, 제2 등의 용어들이 본 명세서에서 다양한 엘리먼트들을 설명하기 위해 사용될 수 있지만, 이러한 엘리먼트들은 이러한 용어들에 의해 제한되어서는 안 된다는 점이 이해될 것이다. 이러한 용어들은 하나의 엘리먼트를 다른 엘리먼트와 구별하기 위해서만 단지 사용된다. 예를 들어, 본 개시내용의 교시로부터 벗어나지 않고, 제1 엘리먼트는 제2 엘리먼트라고 지칭될 수 있고, 유사하게, 제2 엘리먼트는 제1 엘리먼트라고 지칭될 수 있다. 도면들 중 일부는 통신의 주요 방향을 도시하기 위해 통신 경로들 상에 화살표들을 포함하고 있지만, 통신은 도시되는 화살표들과 반대 방향으로 발생할 수 있다는 점이 이해되어야 한다.

[0034] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "광전자 디바이스(optoelectronic device)"는 광학-전기 트랜스듀서 또는 전기-광학 트랜스듀서로서 작용하는 임의의 디바이스를 일반적으로 지칭한다. 따라서, 용어 "광전자 디바이스(optoelectronic device)"는, 예를 들어, PV(photovoltaic) 디바이스(예를 들어, 태양 전지), 광검출기, 열 전지, 또는 LED들(light-emitting diodes) 및 LD들(laser diodes)과 같은 EL(electroluminescent) 디바이스들 지칭할 수 있다. 일반적인 의미에서, EL 디바이스들은 PV 및 광검출기 디바이스들의 역으로 동작한다. 인가된 바이어스 전압의 영향 하에서 각각의 전극들로부터 반도체 영역 내로 전자들 및 정공들이 주입된다. 광-흡수 특성들이 아니라 그 발광 특성들을 위해 반도체 층들 중 하나가 선택된다. 주입 전자들과 정공들의 방사성 재조합은 이러한 층에서의 광 방출을 야기한다. 비록 EL 디바이스의 상이한 목표를 달성하기 위해 층 두께들 및 다른 파라미터들이 적응되어야 하지만, PV 및 광검출기 디바이스들에서 이용되는 동일한 타입들의 재료들 중 많은 것이 EL 디바이스들에서 마찬가지로 이용될 수 있다.

[0035] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "양자점(quantum dot)" 또는 "QD"는 여기자들이 양자 와이어들(단지 2개의 차원들에서의 양자 구속), 양자 우물들(단지 하나의 차원에서의 양자 구속), 및 벌크 반도체들(구속되지 않음)로부터 구별된 바와 같이, 모든 3개의 공간적 차원들에서 구속되는 반도체 나노결정 재료를 지칭한다. 또한, 양자점의 많은 광학적, 전기적 및 화학적 특성은 그 크기에 크게 의존할 수 있고, 따라서 이러한 특성은 그 크기를 제어하는 것에 의해 수정되거나 또는 조정될 수 있다. 양자점은 일반적으로 입자로서 특징화될 수 있고, 입자의 형상은 회전타원형, 타원형, 또는 다른 형상일 수 있다. 양자점의 "크기(size)"는 그 형상의 치수 특성 또는 그 형상의 근사화를 지칭할 수 있고, 따라서 직경, 장축, 우세 길이 등일 수 있다. 양자점의 크기는 나노미터 정도, 즉, 일반적으로 1.0 내지 1000 nm의 범위, 그러나 보다 전형적으로는 1.0 내지 100 nm, 1.0 내지 20 nm 또는 1 내지 10 nm의 범위이다. 복수의 양자점들 또는 양자점들의 앙상블에서, 양자점은 평균 크기를 갖는 것으로서 특징화될 수 있다. 복수의 양자점들의 크기 분포는 단분산일 수 있거나 또는 그렇지 않을 수 있다. 양자점은 코어-쉘 구성을 가질 수 있고, 코어 및 주위의 쉘은 별개의 조성들을 가질 수 있다. 양자점은 그 외부 표면에 부착된 리간드를 또한 포함할 수 있거나, 또는 구체적인 목적을 위해 다른 화학적 모이어티들로 기능화될 수 있다.

[0036] 플라즈마 합성은 양자점들, 특히 공유 결합들을 갖는 것들의 생산을 위한 가장 대중적인 기체상 접근법들 중 하나로 진화했다. 예를 들어, Si(silicon) 및 Ge(germanium) 양자점들은 비열 플라즈마를 사용하여 합성되었다. 양자점들의 크기, 형상, 표면 및 조성은 모두 비열 플라즈마에서 제어될 수 있다. 양자점들에 대해 상당히 어려운 것으로 보이는 도핑이 또한 플라즈마 합성에서 실현되었다. 플라즈마에 의해 합성되는 양자점들은 보통, 표면 수정이 수행될 수 있는, 분말의 형태이다. 이러한 것은 유기 용매들 또는 물, 즉, CQD(colloidal quantum dots)에서의 양자점들의 우수한 분산으로 이어질 수 있다. 콜로이드 양자점들의 용액 합성이 또한 이러한 재료들을 생산하기 위한 일반적인 방법이다. 이러한 접근법에서, 유기 용매들 및 가용성 무기 전구체들을 사용하는 용액-기반 합성 방법이 특정 CQD 조성 및 크기 분포에 의해 특징화되는 CQD 재료들의 페인트-유사 현탁액을 생산하기 위해 사용된다. 다음으로, 이러한 현탁액은, CQD 용매를 제거하는 스핀 코팅 또는 스프레이 코팅과 같은, 퇴적 프로세스들을 통해 CQD 필름들을 생산하기 위해 사용되어, CQD 재료의 고체 필름을 남긴다. 본 발명의 개념의 실시예들은 아래에 논의되는 바와 같이 CQD 필름들을 사용한다.

[0037] 본 개시내용의 목적들을 위해, 인접한 스펙트럼 범위들 또는 대역들은 어느 정도 서로 중첩되는 것으로 고려될 수 있다는 이해와 함께, 전자기 방사선의 스펙트럼 범위들 또는 대역들은 일반적으로 다음과 같이 취해진다: (진공 위의) 실제 애플리케이션들에서 이러한 범위는 약 200 내지 400 nm이지만, UV(ultra-violate) 방사선은 약 10 내지 400 nm의 범위 내에 속하는 것으로 고려될 수 있다. 가시 방사선은 약 380 내지 760 nm의 범위 내에 속하는 것으로서 고려될 수 있다. IR(infrared) 방사선은 약 750 내지 100,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로서 고려될 수 있다. IR 방사선은 또한 하위-범위의 관점에서 고려될 수 있으며, 그 예들은 다음과 같다.

SWIR(short wave infrared) 방사선은 약 1,000 내지 3,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로서 고려될 수 있다. MWIR(medium wave infrared) 방사선은 약 3,000 내지 5,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로서 고려될 수 있다. LWIR(long range infrared) 방사선은 약 8,000 내지 12,000 nm의 범위 내에 속하는 것으로서 고려될 수 있다.

[0038] 아래에 논의되는 바와 같이, 저비용 나노기술-가능 광검출기들을 제공하기 위해 QDP(quantum dot photodiode) 기술이 구현된다. 일부 구현들에서, 광검출기들은 약 250 내지 2400 nm 범위의 스펙트럼 영역에 걸치는 감도로 광을 효율적으로 검출하도록 구성될 수 있다. 따라서, 광검출기들은 입사 UV(ultraviolet), 가시 및/또는 IR(infrared) 전자기 방사선으로부터 이미지들을 생산할 수 있는 멀티스펙트럼 디바이스로서 구성될 수 있다. 일부 구현들에서, 감도의 스펙트럼 범위는 X-선 에너지들까지 및/또는 2400 nm보다 긴 IR 파장들까지 연장될 수 있다. 본 명세서에 교시되는 바와 같은 광검출기들은 비용 효과적이고, 대면적 어레이들로 확장가능하고, 가요성 기판들에 적용가능하다.

[0039] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, QE("quantum efficiency")는, 최적의 효율이 100%인, 측정된 전자들에 대한 입사 광자들의 비율을 지칭한다. QWIP들(quantum well infrared photodetectors)의 경우, 방사선의 전계 벡터가 QW 층 평면들에 수직인 성분을 갖는 경우에만 단지 흡수가 일어나고, 이는 이러한 평면들에 대한 입사각이 0과 상이할 것을 필요로 한다. CQD 검출기들의 경우에, 광학 흡수는 이러한 동일한 수직 전계 벡터 요건을 갖지 않고, 대신에 광자의 전계 벡터의 임의의 편광 또는 배향에 대해 발생한다.

[0040] "다크 전류(dark current)"는 입사 조명이 없을 때 광전 디바이스에 흐르는 잔류 전류를 지칭한다. 물리학 및 전자 공학에서, 다크 전류는 광자가 디바이스에 들어가지 않을 때에도 광전자 증배관, 포토다이오드 또는 전하-결합 디바이스 같은 감광 디바이스들을 통해 흐르는 비교적 작은 전류이다. 다크 전류는 일반적으로 외부 방사선이 검출기에 들어가지 않을 때 검출기에서 발생되는 전하들로 구성된다. 이것은 비-광학 디바이스들에서 역방향 바이어스 누설 전류라고 지칭될 수 있고, 모든 다이오드들에서 존재한다. 물리적으로, 온 소스 다크 전류는 디바이스의 공핍 영역 내의 전자들 및 정공들의 랜덤 생성으로 인한 것이다.

[0041] QWIP들(quantum well infrared photodetectors)은 광자들을 흡수하기 위해 양자 우물들에서 전자 부대역간 전이들을 사용하는 적외선 광검출기들이다. 환언하면, 반도체에서의 대역간(가전자 대역 대 전도 대역) 흡수에 의존하는 PV(photovoltaic) 또는 광전도성(PC) 검출기와 달리, QWIP는 전도/가전자 대역 내의 양자 우물에서의 양자화된 에너지 상태 사이의 광의 부대역간 흡수에 의존한다.

[0042] 위에서 논의된 바와 같이, QWIP들과 함께 사용하기 위해 FPA(Focal-plane array) 격자 커플러들이 이전에 개발되었다. FPA 격자 커플러들은, 양자 선택 규칙들을 통해, 광을 수직 입사 각도들로 QWIP들에 커플링하는 것의 불능으로 인해 QWIP들이 이미징을 허용하도록 특별히 설계되었다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "수직(normal)"은 직각으로 또는 직각(90도)에 실질적으로 가깝게 표면과 교차하는 광을 지칭한다.

[0043] QWIP FPA 격자 커플러들은 중적외선 내지 원적외선 파장에서의 사용을 위해 개발되었지만, 더 짧은 파장들에서의 사용을 위해 개발되지는 않았다. 더 짧은 파장들에 대한 FPA 격자 커플러들의 개발의 결여는 QWIP 자체의 재료에서의 고유한 물리적 제약들로 인한 것일 수 있으며, 이는 설계를 중적외선 및 그 너머, 즉, 3.5 미크론 초과로 제한할 수 있다. 또한, InGaAs(Indium Gallium Arsenide), Si(silicon) 등과 같은, 비-QWIP 재료들은 일반적으로 격자 커플러의 사용을 요구하지 않으며 그 이유는 이러한 재료들이, 위에서 논의된 바와 같은 QWIP 재료들과 달리, 렌즈를 통해 그리고 수직 입사로 광을 더 효율적으로 흡수하기 때문이다.

[0044] 광검출기 재료의 두께와 직접 관련하여 다크 전류와 QE 사이의 광검출기 센서 재료들에 대한 기본적인 절충이 있다. 특히, 재료의 두께를 변경하는 것, 즉, 재료를 더 두껍게 또는 더 얇게 만드는 것은, 하나의 속성을 다른 것의 희생으로 개선한다. 따라서, 본 발명의 개념의 일부 실시예들은 QE와 다크 전류 사이의 절충을 개선하고 QE와 다크 전류 양자 모두를 최적화한 광센서를 제공하는 비-QWIP FPA(광센서) 재료들과 함께 사용하기 위한 격자 커플러를 제공한다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 비-QWIP 광센서 재료들은 광을 수직 입사로 커플링하는 재료들을 지칭한다. 이러한 비-QWIP 광센서 재료들은, 예를 들어, InGaAs, Si, CQD 등을 포함할 수 있다.

[0045] 본 발명의 개념의 실시예들은 QE를 희생하지 않고 감소된 다크 전류를 갖는 저-광 이미저들을 제공할 수 있다. 유사하게, CQD(colloidal quantum dot) 필름 광검출기들에는, 다크 전류를 희생하지 않고, 증가된 QE가 제공될 수 있다. CQD 필름 광검출기들과 관련하여, 더 두꺼운 센서들을 만드는 것은 수백 나노미터 두께들을 넘어서는 어려운 도전과제인 것으로 입증되었다. CQD 광검출기는, 예를 들어, 공동 양도된, *Colloidal Quantum Dot (CQD) Photodetectors and Related Devices*라는 명칭으로 2021년 3월 12일에 출원된 미국 특허 출원 일련 번호

제17/199,971호(대리인 문서 번호 190823-00008); *Quantum Dot-Fullerene Junction Optoelectronic Devices*라는 명칭의 미국 특허 제8,729,528호; 및 *Quantum Dot-Fullerene Junction Based Photodetectors*라는 명칭의 미국 특허 제8,742,398호에서 논의되고, 그 내용들은 그 전체가 제시된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 원용된다. 그러나, 본 발명의 개념의 실시예들은 이러한 구성에 제한되지 않는다는 점이 이해될 것이다.

[0046] QE와 다크 전류 사이의 절충을 해결하기 위해, 종래의 디바이스들은 반사-방지 코팅 공진 구조들, 후방 반사기 구조들을 갖는 반사-방지 코팅, 및 도파관 구조들의 사용을 이용하였다. 그러나, 개선된 방법들이 요망된다. 본 명세서에서 논의되는 일부 실시예들에 따른 FPA 격자 커플러들은 비-QWIP FPA 센서 재료 내로 개선된 광 커플링을 제공하는 것에 의해 종래의 디바이스들에서 발견되는 것보다 우수한 다크 전류 및 양자 효율 절충에 대한 강화를 제공한다. 비-QWIP FPA 재료의 예는 CQD 재료들이다.

[0047] 본 명세서에서 논의되는 실시예들에 따른 FPA 격자 커플러들은 QE와 다크 전류 사이의 개선된 관계로부터 이익을 얻을 수 있는 임의의 디바이스에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 개념의 실시예들은 필요에 따라 더 양호한 QE 또는 다크 전류 성능으로부터 직접 초래되는 더 양호한 SNR(signal to noise ratio)을 갖는 이미징으로부터 이익을 얻는 애플리케이션들에서 사용될 수 있다.

[0048] 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 본 발명의 개념의 실시예들에 따른 격자는 랜덤(도 1a) 또는 주기적(도 1b)일 수 있고, 구체적인 파장 또는 파장들의 범위에서 강화된 광학 커플링 효율을 제공하도록 설계될 수 있다.

[0049] 이제 도 2a 및 도 2b를 참조하여, 비-QWIP 광검출기들과 함께 사용하기 위한 예시적인 FPA 격자 커플러가 이제 논의될 것이다. 도 2a에 예시되는 디바이스에 대해, CQD 광검출기 디바이스의 일부로서 주기적 격자 구조가 제조된다. CQD 디바이스는, 다이오드 층 스택의 일부로서, 금속 층과 같은, 전도성 콘택트(격자 하단 콘택트(210))를 이용한다. 콘택트(210)가 금속인 것으로서 논의되지만, 본 발명의 개념의 실시예들은 이에 제한되지 않는다는 점이 이해될 것이다. 본 발명의 개념의 범위를 벗어나지 않고 다른 전도성 재료들이 사용될 수 있다. 전도성 콘택트(210)는 기판(200) 상에 제공된다. 이러한 전도성 콘택트(210)는 도 2a에서의 단면에 예시되는 포스트들(230)(도 2b)의 패턴화된 어레이를 포함하도록 제조될 수 있다. 완전한 검출기를 형성하기 위해 사용되는 재료들의 나머지 층들은 도 2a에 예시되는 바와 같이 패턴화된 전도성 콘택트(210) 상에 제공, 예를 들어, 퇴적될 수 있다. 예를 들어, 도 2a에서, CQD 광검출기(220)가 전도성 콘택트(210) 상에 제공되고 상단 콘택트(230)가 CQD 광검출기(220) 상에 제공된다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "광검출기(photodetector)"는 광전도체, 즉, 광에 응답하여 변경되는 전도체/저항기, 또는 포토다이오드, 즉, 광에 응답하여 변경되는 다이오드를 지칭한다는 점이 이해될 것이다. 완성된 구조는 집적된 광학 격자가 있는 광검출기이다. 격자의 광학적 특성들은 주기적 구조의 물리적 치수들 및 다이오드 스택에서의 다른 층들의 광학적 특성들에 의해 결정될 수 있다. 이러한 광학적 특성들은, 예를 들어, 굴절률, 흡수 계수, 층들의 두께, 격자 구조의 형상 및 피치를 포함한다. 하나의 이러한 구조의 예들은 도 2b에 예시되는 격자 포스트들(230) 및 픽셀(240)을 도시한다.

[0050] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 기판(200)은, 예를 들어, Si, 유리, 폴리머, 세라믹 또는 금속 재료, 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 일부 실시예들에서, 기판은 구체적인 애플리케이션 요건들로부터 결정될 수 있다. 예를 들어, FPA에서, 기판은 전형적으로 CMOS(complementary metal-oxide semiconductor) 회로를 포함하는 Si 웨이퍼일 것이다.

[0051] 도 3a 내지 도 3c 및 도 4는 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 콜로이드 CQD(Colloidal Quantum Dot) 광검출기를 구축하기 위해 사용되는 광학 격자 커플러들의 예들의 SEM(scanning electron microscope) 이미지들이다. 도 3a 내지 4에 도시되는 구조들은 본 발명의 개념의 성능 이점을 입증하기 위해 제조되었다. 이들 구조는 도 2의 층(200)에 대응하는 금속 구조들이다. 완성된 CQD 광센서들은 이러한 격자 커플러 구조들을 사용하여 생산되었고 그들의 스펙트럼 양자 효율 성능은 집적된 광학 격자 커플링을 포함하지 않은 CQD 광센서들에 비교되었다. 이러한 데이터는, 예를 들어, 도 5에 도시되어 있다. 광학 격자 커플러들의 다른 예들은 주기적 구조들의 상이한 형상들을 이용한다. 이러한 대체 격자 형상들은 관련 기술분야에서의 기술자들에게 친숙할 것이다. 이러한 구조들은 포스트들, 필러들, 홀들, 그리드들, 리세스된 그리드들, 이들의 조합들 등을 포함한다. 본 발명의 개념의 실시예들은 집적된 광학 격자 구조 없이 제조되는 CQD 광검출기들에 비교하여 다크 노이즈를 증가시키지 않고 CQD 광검출기들의 광학 양자 효율을 증가시키기 위해 CQD 광검출기들과 함께 격자 커플러들을 사용한다.

[0052] 도 5는 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 복수의 상이한 광학 격자 구조들에 대한 EQE(external quantum efficiency) 대 파장(nm)을 예시하는 그래프이다. 특히, 도 5는 구체적인 디바이스(2120-05) 상의 5개의 상이한 광학 격자 구조들로부터 수집되는 스펙트럼 QE를 예시한다. L1 1mm (1)은 광학 격자 구조를 포함하지 않는

다. 이러한 광검출기들 모두는 동일한 또는 유사한 기판 상에 함께 제조되었고 모두 동일한 양의 CQD 반도체 재료를 포함하고 검출기들 모두는 유사한 레벨들의 다크 전류를 가졌다. 예를 들어, 1550 nm의 파장에서, 광학 격자 구조가 있는 CQD 광검출기(도 5에서 곡선 5로 표시됨)는 대략 18%의 양자 효율을 가졌고, 광학 격자 구조가 없는 CQD 광검출기(도 5에서 곡선 1로 표시됨)는 대략 9%의 양자 효율을 가졌다는 점이 도 5로부터 명백하다. 이러한 데이터는 광학 격자 구조와 CQD 광검출기의 조합이 격자 구조가 없는 것에 비해 CQD 검출기 성능의 실질적인 증가를 제공한다는 것을 입증한다.

[0053] 도 6은 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 복수의 상이한 광학 격자 구조들에 대한 EQE 대 파장(nm)을 예시하는 그래프이다. 스펙트럼 QE는 구체적인 디바이스(2117-03)상의 5개의 상이한 광학 격자 구조들로부터 수집되었다. 이러한 디바이스(2117-03)는 대략 940 nm의 제1 여기자 전이를 갖는 CQD로 제조되었다. 2117-03 L1 1mm은 광학 격자 구조를 포함하지 않는다. 도 6에 예시되는 바와 같이, 구조 P2(6)는 (다른 구조들에 비교하여) 940 nm에서 가장 높은 QE를 갖는다. 이러한 것은 도 5와 관련하여 논의되는 디바이스(2120-05)로부터의 발견들과 대응한다.

[0054] 스펙트럼 응답이 도 6에 도시되는 광검출기들은 모두 유사한 레벨들의 다크 전류 및 다크 노이즈를 갖는다. 도 6에 도시되는 데이터는 집적된 광학 격자 커플러가 있는 CQD 광검출기가 광학 밴드갭들의 범위가 있는 CQD들에 대해 QE 강화 및 성능 이점들을 제공할 수 있다는 점을 입증한다.

[0055] 위에서 간략하게 논의된 바와 같이, 본 발명의 개념의 일부 실시예들은 강화된 다크 전류 대 QE 비율을 초래하는 비-QWIP FPA(focal plane array) 센서 재료들과 함께 사용하기 위한 격자 커플러들을 제공한다.

[0056] 본 발명의 개념의 이상화된 실시예들의 개략도들인 단면도들을 참조하여 본 발명의 개념의 실시예들이 본 명세서에 설명된다. 이와 같이, 예를 들어, 제조 기술들 및/또는 공차들의 결과로서 예시들의 형상들로부터 변형들을 예상할 수 있다. 따라서, 본 발명의 개념들의 실시예들은, 본 명세서에서 예시된 영역들의 특정한 형상들로 제한되는 것으로 해석되어서는 안되고, 예를 들어, 제조시에 발생하는 형상들에서의 편차들을 포함하는 것으로 해석되어야 개념 한다. 예를 들어, 직사각형으로 예시된 주입 영역은 전형적으로 주입 영역에서 비-주입 영역으로의 이분적 변화가 아니라 그 에지에서 둥근 또는 만곡된 특징 및/또는 주입 농도 구배를 갖게 될 것이다. 마찬가지로, 주입에 의해 형성되는 매립 영역은, 주입이 일어나는 표면과 매립 영역 사이의 영역에서의 일부 주입을 초래할 수 있다. 따라서, 도면들에 예시된 영역들은 사실상 개략적이고, 이들의 형상들은 디바이스의 영역의 실제 형상을 예시하도록 의도된 것이 아니며, 본 발명의 개념의 범위를 제한하도록 의도되지 않는다.

[0057] 또한, 본 명세서에서는 "하부(lower)" 또는 "하단(bottom)" 및 "상부(upper)" 또는 "상단(top)"과 같은 상대적인 용어들이 도면에 예시되는 바와 같이 다른 엘리먼트에 대한 하나의 엘리먼트의 관계를 설명하기 위해 사용될 수 있다. 상대적인 용어들은 도면들에 도시되는 배향 외에도 디바이스의 상이한 배향들을 포괄하도록 의도된다는 점이 이해될 것이다. 예를 들어, 도면들에서의 디바이스가 뒤집히면, 다른 엘리먼트들의 "하부(lower)" 측 상에 있는 것으로서 설명되는 엘리먼트들은 다음으로 다른 엘리먼트들의 "상부(upper)" 측들 상에 배향될 것이다. 따라서, 예시적인 용어 "하부(lower)"는 도면의 특정한 배향에 따라, "하부(lower)" 및 "상부(upper)"의 배향 양자 모두를 포함할 수 있다. 유사하게, 도면들 중 하나에서의 디바이스가 뒤집히면, 다음으로 다른 엘리먼트들의 "아래(below)" 또는 "밑(beneath)"으로서 설명되는 엘리먼트들은 다른 엘리먼트들 "위(above)"에 배향될 것이다. 따라서, "아래(below)" 또는 "밑(beneath)"이라는 예시적인 용어들은 위 및 아래의 배향 양자 모두를 포괄할 수 있다.

[0058] 또한, 광검출기의 다양한 층들, 단면들 및 영역들이 p-형 및/또는 n-형인 것으로서 논의될 수 있지만, 많은 디바이스들에서 이러한 전도성 타입들이 디바이스의 기능성에 영향을 미치지 않고 스위칭될 수 있다는 점이 관련 기술분야에서의 기술자들에 의해 이해된다. 원소, 영역 또는 층이 "n-형"으로서 지칭되면, 이러한 것은 원소, 층 또는 영역이 n-형 도펀트, 예를 들어, Si, Ge(germanium) 또는 산소로 특정 농도로 도핑되었다는 점을 의미한다. 원소 영역 또는 층이 "p-형"으로서 지칭되면, 이러한 것은 원소, 영역 또는 층이 p-형 도펀트, 예를 들어, Mg(magnesium), Be(Beryllium), Zn(Zinc), Ca(Calcium) 또는 C(Carbon)로 도핑되었다는 점을 의미한다. 일부 실시예들에서, 원소, 영역 또는 층은 "p^+" 또는 "n^+"로서 논의될 수 있으며, 이는 디바이스에서의 다른 p-형 또는 n-형 원소들, 영역들 또는 층들보다 높은 도핑 농도를 갖는 p-형 또는 n-형 원소, 영역 또는 층을 지칭한다. 마지막으로, 영역들은 에피택셜 영역들, 주입 영역들 등인 것으로서 논의될 수 있다. 이러한 영역들은 동일한 재료를 포함할 수 있지만, 형성의 다양한 방법들로부터 초래되는 층은 상이한 특성들이 있는 영역들을 생산할 수 있다. 환언하면, 에피택셜 성장 영역은 동일한 재료의 주입 또는 퇴적 영역과는 상이한 특성들을 가질 수 있다.

[0059] 위에서 논의된 바와 같이, 본 발명의 개념의 일부 실시예들은 강화된 다크 전류 대 QE 비율을 초래하는 비-QWIP FPA(focal plane array) 센서 재료들과 함께 사용하기 위한 격자 커플러들을 제공한다. 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 격자 커플러 포토다이오드 구조의 설계는 분석적 분석에 기초하고, 경험적 결과, 측정된 CQD 필름 전하 수송 특성들, 및 확장가능 제조 기술들의 요건들을 사용하여 최적화된다.

[0060] CQD 층 또는 층들, 또는 다른 광자-흡수 반도체 층들(예를 들어, 층들(220 및 720) 내에 포함됨)은 광학 흡수를 최대화하도록 설계되지 않고 대신에 반도체 재료의 전하 수송 특성들에 기초하여 최적화된다. 또한, 본 명세서에서 논의되는 집적된 격자 구조는 측벽들 또는 측벽 반사를 요구하지 않으며, 대신에 센서의 광학적으로 활성 영역에 걸쳐 연속적이도록 구축된다. 이러한 광학 격자 구조는 성능 강화를 달성하기 위해 공진 캐비티의 제조를 요구하지 않는다.

[0061] 따라서, 본 발명의 개념의 일부 실시예들은, CQD 층 또는 층들의 흡수체 재료가 광활성 영역에서 연속적이고, 구조가 측벽을 갖지 않으며, 광학 격자 구조의 픽셀화(pixilation)가 없는 집적된 격자 커플러를 갖는 CQD 검출기를 제공한다. 격자 커플러는 반사 공진 없이 동작하며, 구조는 약 50 내지 약 200 nm 범위의 CQD 광학 흡수체 층 두께에 최적화되도록 설계된다.

[0062] 이제 도 7a 내지 도 7b의 단면들을 참조하여, 본 발명의 개념의 일부 실시예들에 따른 광학 격자 커플러를 포함하는 광검출기의 제조시의 처리 단계들이 논의된다. 이러한 도면들은 본 명세서에서 논의되는 실시예들에 따른 방법들의 일부 실시예들만을 단지 예시할 뿐이고, 따라서 본 발명의 개념의 실시예들은 이러한 구성으로 제한되지 않는다는 점이 이해될 것이다.

[0063] 먼저 도 7a를 참조하면, 격자 커플러 구조(710)가 기판(700) 상에 형성된다. 위에서 논의된 바와 같이, 기판은 본 발명의 개념의 범위를 벗어나지 않는, 예를 들어, Si, 유리, 폴리머, 세라믹, 또는 금속 재료일 수 있다. 일부 실시예들에서, 기판은 Si(silicon) IC 웨이퍼일 수 있다. 본 명세서에서 논의되는 격자 구조(710)는 비-픽셀화될 수 있고 측벽을 포함하지 않는다. 그러나, 이러한 격자 구조는 본 발명의 개념으로부터 벗어나지 않고 일부 실시예들에서 픽셀화되거나 및/또는 측벽을 포함할 수 있다는 점이 이해될 것이다.

[0064] 특히, 격자 커플러 구조(710)를 형성하기 위해, 산화물/유전체 재료가 기판(700) 상에 제공될 수 있다. 일부 실시예들에서, 산화물/유전체 재료가 기판(700) 상에 퇴적될 수 있지만, 그러나, 본 발명의 개념의 실시예들이 이러한 구성으로 제한되지 않는다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 산화물/유전체 층은 기판(700) 상에 성장될 수 있다. 일단 산화물/유전체 층이 기판(700) 상에 형성되면, 산화물/유전체 층은, 예를 들어, UV(ultraviolet) 리소그래피를 사용하여 패턴화될 수 있다. 다음으로, 건식 또는 습식 에칭 프로세스를 사용하여, 예를 들어, 도 7a에 도시되는 바와 같은 주기적 구조들의 연속 패턴을 형성할 수 있다. 위에서 논의된 바와 같이, 이러한 패턴은 도 7a에 도시되는 주기적 구조로 제한되지 않고, 본 발명의 개념의 범위로부터 벗어나지 않고 랜덤 구조들이 또한 사용될 수 있다. 일단 패턴화가 완료되고 나면, 픽셀 패드, 예를 들어, 금속 픽셀 패드가 퇴적되고 패턴화된 산화물/유전체 상에 패턴화되어 격자 커플러 구조(710)를 완성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 패턴화되지 않은 픽셀 금속이 평면 산화물 상에 퇴적될 수 있고, 다음으로, 재료는, 예를 들어, UV 리소그래피 및 건식 또는 습식 에칭 프로세스를 사용하여 격자 구조 내에 에칭될 수 있다.

[0065] 도 7a에 도시되지는 않았지만, 일부 실시예들에서는 도 7a에 도시되는 구조 상에 선택적인 전하 수송 층이 퇴적될 수 있다. 이러한 선택적 전하 수송 층은, 예를 들어, 스핀 코팅, 스프레이 코팅, 딥 코팅, 블레이드 캐스팅, 및/또는 물리적 기상 증착 기술들을 사용하여 센서 또는 웨이퍼 표면에 걸쳐 퇴적될 수 있다.

[0066] 이제 도 7b를 참조하면, 예를 들어, 스핀 코팅, 스프레이 코팅, 딥 코팅, 또는 블레이드 캐스팅을 사용하여 도 7a의 구조 상에 CQD들의 연속 층(720)이 퇴적될 수 있다. 일부 실시예들에서, CQD 층의 두께를 약 150 nm 미만으로 유지하기 위해 CQD 층 두께 제어기가 사용될 수 있다. 구체적인 두께는 CQD 박막 내의 공칭 전하 수송 거리가 되도록 선택될 수 있다. CQD 층은 포토다이오드 구조의 활성 영역 내에 측벽들을 포함할 수 있거나 또는 그렇지 않을 수 있다.

[0067] 특히, n-형 또는 p-형 CQD들 또는 풀러렌의 연속 층이 도 7a의 구조체 상에 퇴적되어, CQD 층(720)과 이전 층(층(710)) 사이에 pn 접합을 형성할 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 용어 "풀러렌(fullerene)"은 벅민스터풀러렌 C_n 뿐만 아니라, C_{70}, C_{84} 및 유사한 케이지-유사 탄소 구조들과 같은, 다른 형태들의 분자 탄소를 지칭하며, 보다 일반적으로 20 내지 수백개의 탄소 원자들의 범위일 수 있고, 여기서 C_n은 20 이상이다. 풀러렌은, 예를 들어, 용해도 또는 분산성을 개선하거나 또는 풀러렌의 전기적 특성을 수정하는 것과 같은 구체적인 목적을 위해 요망되는 바와 같이 기능화되거나 또는 화학적으로 수정될 수 있다. 용어 "풀러렌(fullerene)"은

또한 비-탄소 원자 또는 원자 클러스터가 탄소 케이지 내에 둘러싸인 내부면체 풀러렌을 지칭할 수 있다. 용어 "풀러렌(fullerene)"은 풀러렌 유도체들을 또한 지칭할 수 있다. 풀러렌 유도체들의 몇몇 비-제한적인 예들은 [6,6]-페닐-C_{61}-부티르산 메틸 에스테르(PCBM) 및 페닐-C_{61}-부티르산 콜레스트릴 에스테르(PCBCR)이다. 용어 "풀러렌(fullerene)"은 이전에 언급된 형태들의 풀러렌들의 혼합물들을 또한 지칭할 수 있다.

[0068] p-형 반도체/CQD에서, 다수 캐리어들은 정공들이고, 소수 캐리어들은 전자들이다. n-형 반도체/CQD에서는, 전자들이 다수 캐리어들이고, 정공들이 소수 캐리어들이다. 붕소, 인듐 또는 갈륨과 비슷한 3가 원자들 중 임의의 것으로 도핑되는 게르마늄 또는 실리콘과 비슷한 반도체들은 p-형 반도체들일 수 있다. 인, 비소, 안티몬, 비스무트 등이 n-형 반도체들을 생산하기 위해 사용된다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "p-n 접합(p-n junction)"은, 반도체 내부의 2개의 반도체 재료 타입들, 즉, p-형과 n-형 사이의 계면 또는 경계를 지칭한다. CQD 층(720)의 두께는 일부 실시예들에서 150 nm 미만일 수 있다.

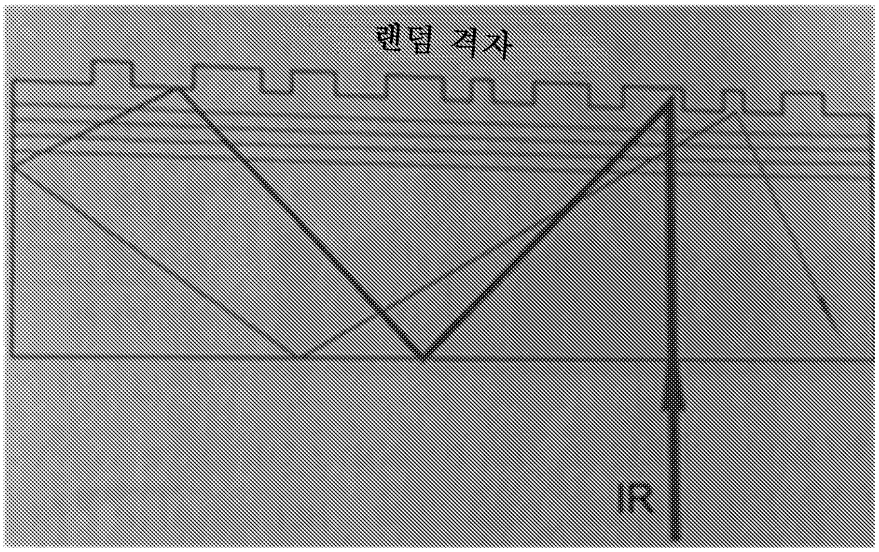
[0069] 도 7b에 도시되지는 않았지만, 선택적인 전하 수송 층이 CQD 층(720) 상에 제공될 수 있다. 상단 콘택트 재료(720), 예를 들어, ITO(Indium Tin Oxide) 또는 AZO(Alluminum Zinc Oxide)가, 완전한 다이오드 스택, 예를 들어, CQD 층(720) 또는 선택적인 전하 수송 층 상에 제공될 수 있다. 전극(720)의 다른 예들은 TCO들(transparent conductive oxides), 투명 금속들, 및 투명 전도성 폴리머들을 포함하지만, 이들로 제한되지 않는다. TCO들은, 예를 들어, TO(tin oxide), ITO(indium tin oxide), ZnO(zinc oxide), ZIO(zinc indium oxide), ZITO(zinc indium tin oxide), GIO(gallium indium oxide), 및 전술한 것의 추가 합금 또는 유도체들을 포함할 수 있다. 주석 산화물은 F(fluorine)로 또한 도핑될 수 있다. ZnO는 Ga(gallium) 및/또는 Al(aluminum)과 같은 III족 원소로 도핑될 수 있고, 따라서 보다 일반적으로 $Zn_x Al_y Ga_z O$로서 화학량론적으로 표현될 수 있고, 여기서 x+y+z=1, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$이다. 비-산화물 박막 반도체들 뿐만 아니라 다른 금속 산화물들이 적합할 수 있다. 금속들의 경우, 다양한 금속(예를 들어, 은, 금, 백금, 티타늄, 리튬, 알루미늄, 마그네슘, 구리, 니켈 등), 금속-포함 합금(텅스텐과 같은 접착-촉진 층이 있는 또는 없는, 다층 또는 둘 이상의 상이한 금속을 포함함), 또는 금속-포함 화합물이, 금속 전극(720)이 투명할 만큼 충분히 얇은 한, 즉 "투명한 두께(transparent thickness)"를 갖는 한, 전극(720)으로서 이용될 수 있다. 포토다이오드가 IR 범위에서 민감할 것이 요망되면, 다음으로 전극(720)은 IR 파장에 충분히 투명해야 한다. 전극(720)은 전형적으로, 예를 들어, CVD(chemical vapor deposition), MOCVD(metalorganic CVD), RF(radio-frequency) 또는 마그네트론 스퍼터링, MBE(molecular beam epitaxy), 이온 빔 에피택시, 레이저 MBE, PLD(pulsed laser deposition) 등과 같은, 진공 퇴적 기술에 의해 아래에 있는 표면 상에 제조된다. 조성에 따라, 열 증발 또는 승화와 같은 다른 퇴적 기술들이 적합할 수 있다. 전도성 폴리머는 충분히 투명하다면 전극(720)으로서 대안적으로 이용될 수 있으며, 용액-기반 프로세스, 스핀 코팅, 딥 코팅, 스프레이 코팅 등에 의해 퇴적될 수 있다. 투명 전도성 폴리머의 하나의 비-제한적인 예는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜):폴리스티렌술포네이트(PEDOT:PSS) 및 그 화학적 관계자들 및 유도체들이다. 다음으로 캡슐화 층들이 구조를 완성하기 위해 퇴적될 수 있다.

[0070] 위에서 논의된 바와 같이, 도 7a 및 도 7b는 단지 예를 들어, 제공된다. 본 발명의 개념의 범위를 벗어나지 않고, 층들이 스택에서 상이하게 배치될 수 있고 및/또는 추가적인 층들이 존재할 수 있다.

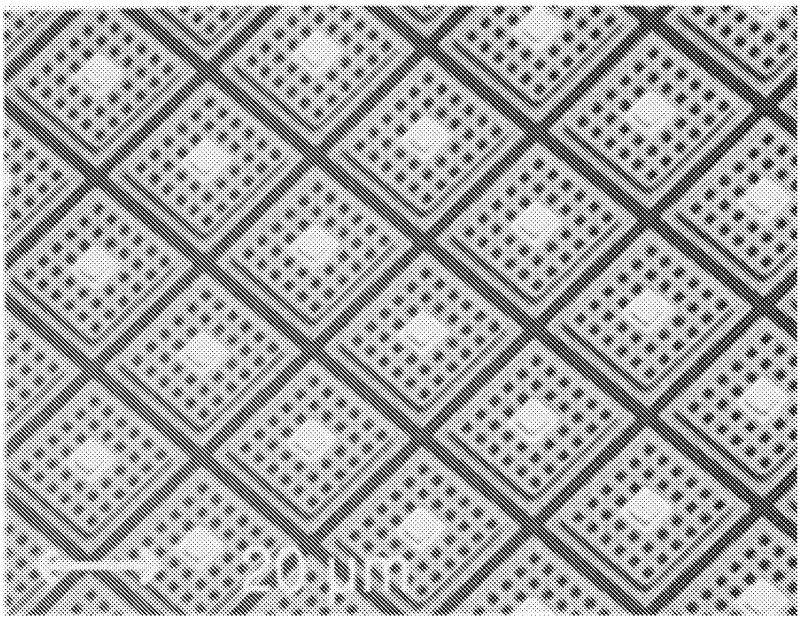
[0071] 도면들 및 명세서에서, 본 발명의 개념의 예시적인 실시예들이 개시되었다. 그러나, 많은 변형들 및 수정들이 본 발명의 개념들의 원리들로부터 실질적으로 벗어나지 않고 이러한 실시예들에 대해 이루어질 수 있다. 따라서, 구체적인 용어들이 사용되지만, 이들은 제한의 목적이 아니라 일반적이고 설명적인 의미로만 단지 사용되며, 본 발명의 개념의 범위는 이하의 청구항들에 의해 정의된다.

도면

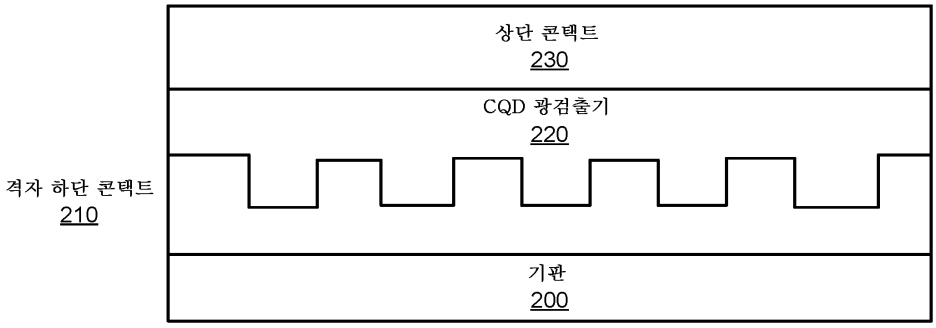
도면1a



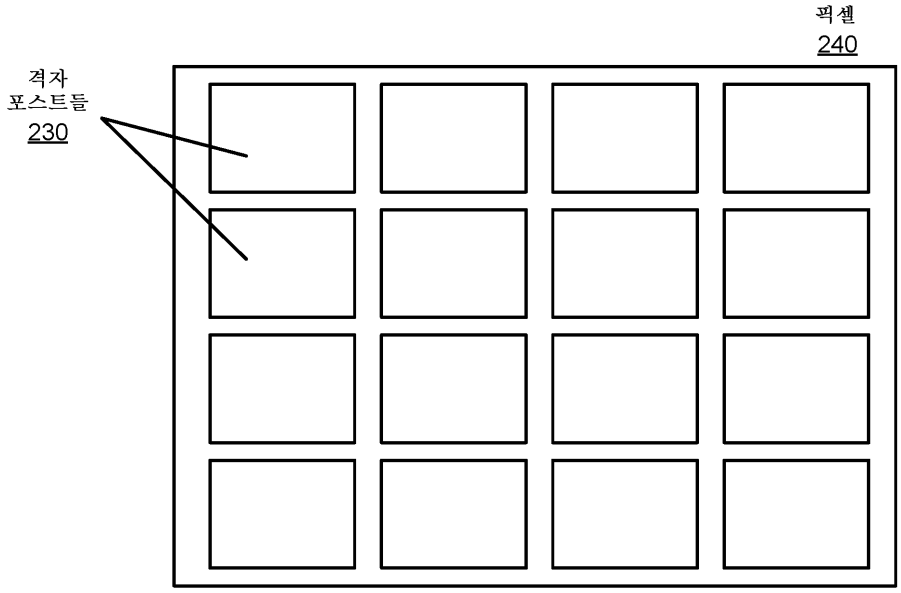
도면1b



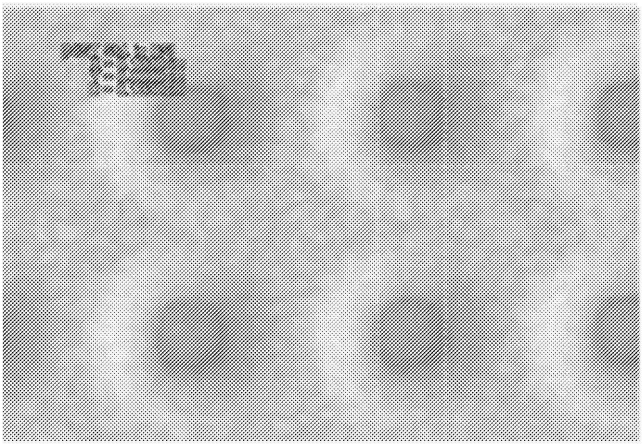
도면2a



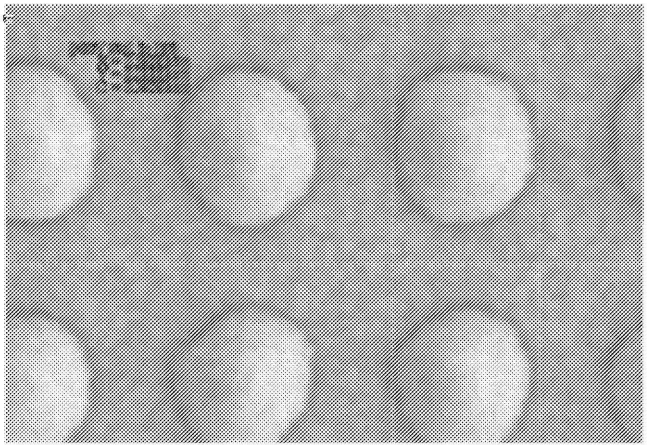
도면2b



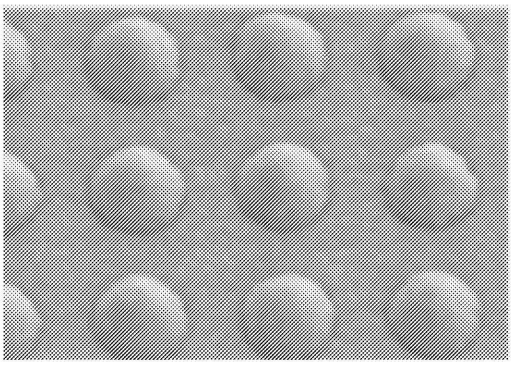
도면3a



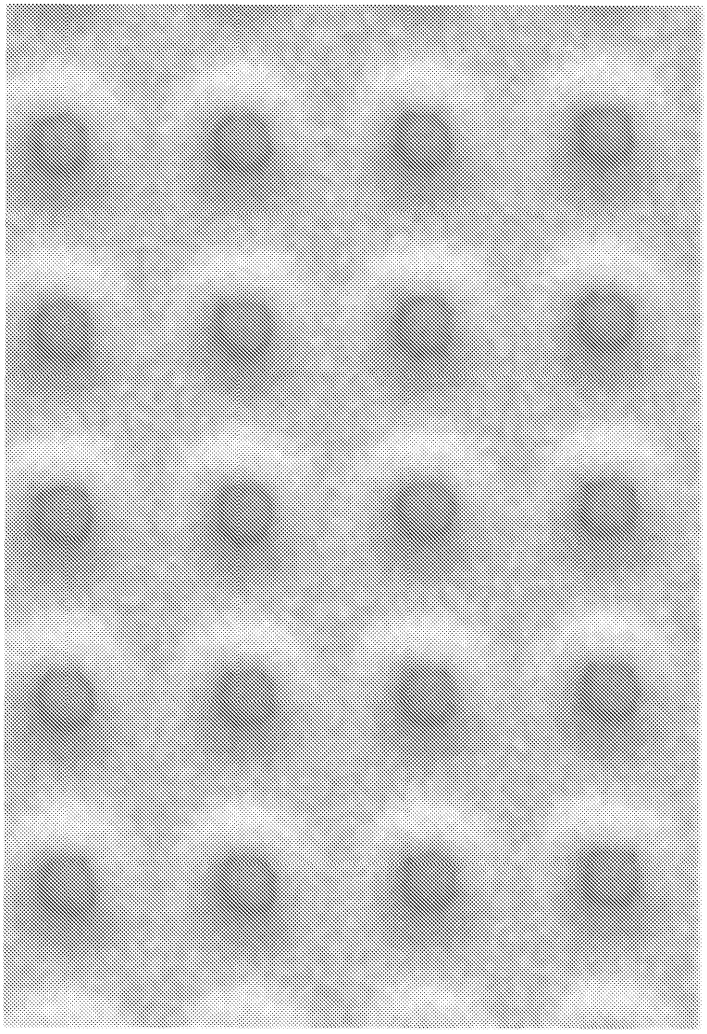
도면3b



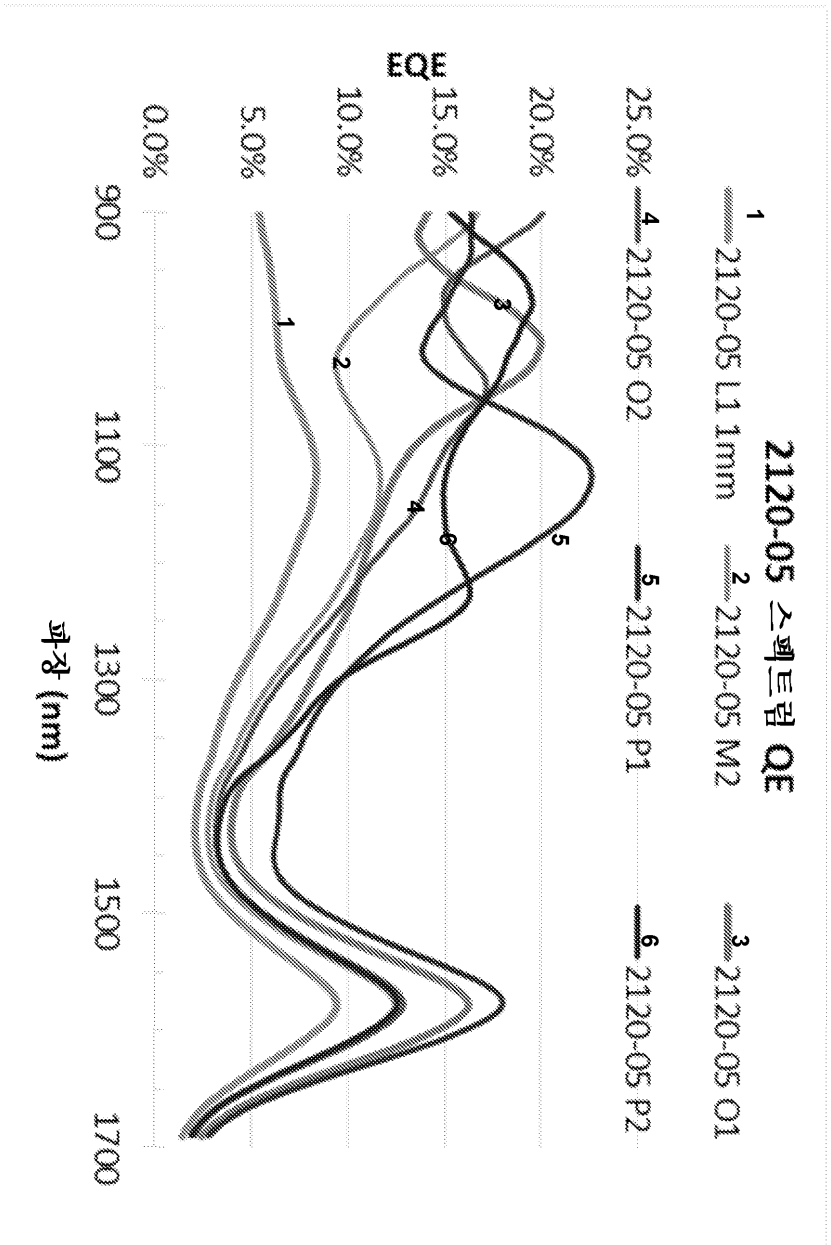
도면3c



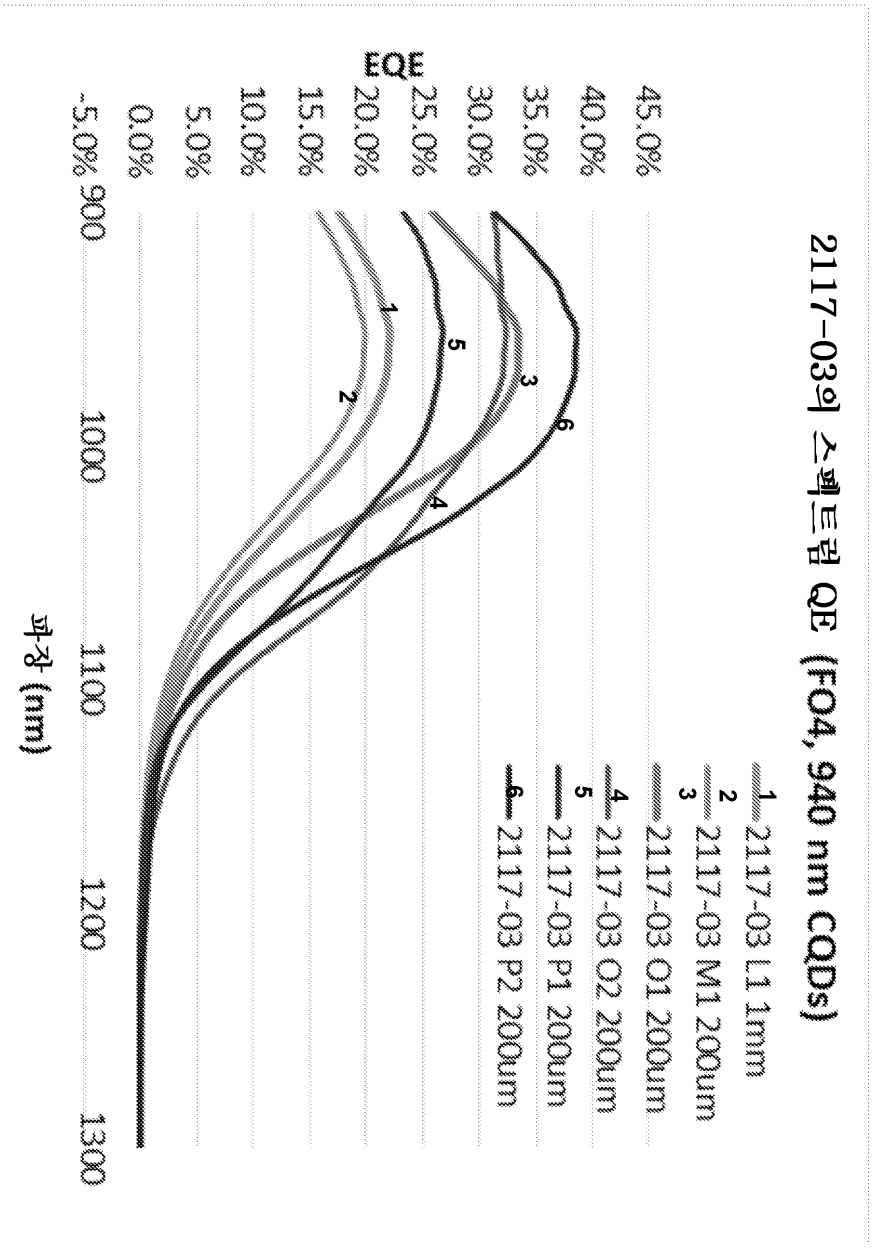
도면4



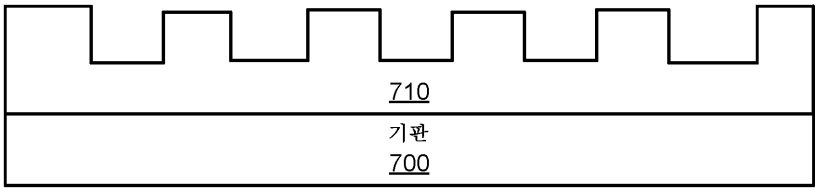
도면5


2120-05 스펙트럼 QE
1 2120-05 L1 1mm
2 2120-05 M2
3 2120-05 O1
4 2120-05 O2
5 2120-05 P1
6 2120-05 P2
EQE
25.0%
20.0%
15.0%
10.0%
5.0%
0.0%
900
1100
1300
1500
1700
파장 (nm)

도면6


2117-03의 스펙트럼 QE (FO4, 940 nm CQDs)
1 2117-03 L1 1mm
2 2117-03 M1 200um
3 2117-03 O1 200um
4 2117-03 O2 200um
5 2117-03 P1 200um
6 2117-03 P2 200um
EQE
45.0%
40.0%
35.0%
30.0%
25.0%
20.0%
15.0%
10.0%
5.0%
0.0%
-5.0%
900
1000
1100
1200
1300
파장 (nm)

도면7a


710
기판
700

도면7b

