



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월27일
(11) 등록번호 10-2711235
(24) 등록일자 2024년09월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/107 (2024.01) G01S 17/931 (2020.01)
G01S 7/481 (2006.01) H01L 31/02 (2006.01)
H01L 31/0224 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/107 (2024.01)
G01S 17/931 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2022-0077706
(22) 출원일자 2022년06월24일
심사청구일자 2022년07월11일
(65) 공개번호 10-2024-0000916
(43) 공개일자 2024년01월03일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020220069125 A*

(73) 특허권자
주식회사 트루픽셀
대전광역시 유성구 대학로163번길 23, 303호 (궁동)
(72) 발명자
이명재
서울특별시 성북구 화랑로14길 5(하월곡동)
이인호
서울특별시 성북구 화랑로14길 5(하월곡동)
(74) 대리인
특허법인주연케이알피

(57) 요약

(57) 요약

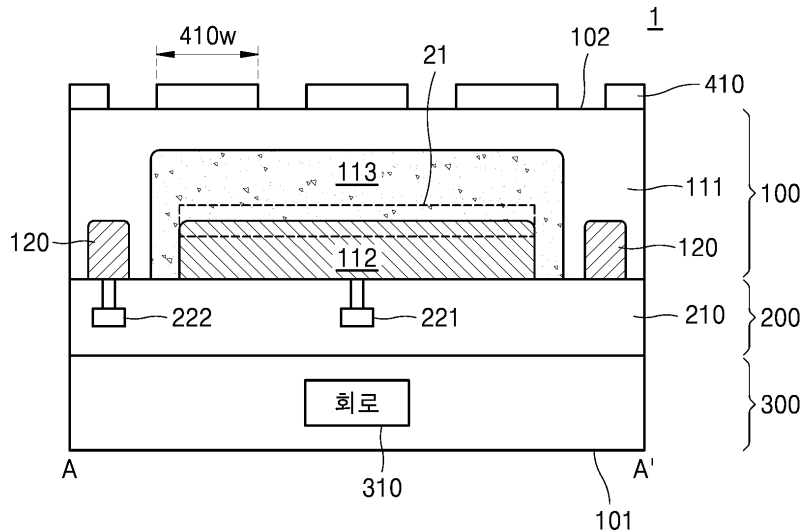
(54) 발명의 명칭 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치

심사관 : 허영한

(57) 요약

단일 광자 검출 소자는 서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기관, 및 제2 면 상에 제공되는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들을 포함하되, 기관은, 제1 면에 인접하게 제공되는 고농도 도핑 영역, 고농도 도핑 영역과 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되는 기관 영역, 및 기관 영역과 고농도 도핑 영역 사이에 제공되는 제1 웰을 포함하되, 제1 웰은 제1 도전형을 갖고, 고농도 도핑 영역은 제1 도전형과 다른 제2 도전형을 갖는다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01S 7/4816 (2013.01)
H01L 31/02027 (2013.01)
H01L 31/022466 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP2020170812 A*
 JP2017045802 A*
 KR1020100014101 A
 JP2021072347 A
 JP2020537816 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711135050
과제번호	2021M3D1A2046731
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	나노·소재기술개발(R&D)
연구과제명	SWIR 라이더를 위한 후면조사 SPAD 센서 및 2차원 나노소재와의 융복합
기여율	1/1
과제수행기관명	한국과학기술연구원
연구기간	2021.04.26 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기관; 및

상기 제2 면 상에 제공되고 검출하고자 하는 입사광의 파장보다 작은 폭을 갖고, 상기 입사 광을 흡수하여 여기된 전하를 상기 제2 면으로 주입시키는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들;을 포함하되,

상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 상기 제2 면이 노출되어, 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들은 각각 상기 제2 면으로 둘러싸이며,

상기 기관은, 상기 제1 면에 인접하게 제공되고 제2 도전형을 갖는 고농도 도핑 영역, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되고 상기 제2 도전형과 다른 제1 도전형을 갖는 기관 영역, 및 상기 기관 영역과 상기 고농도 도핑 영역 사이에 제공되고 상기 제1 도전형을 갖는 제1 웰을 포함하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들이 격자 형태로 배열되는 단일 광자 검출 소자.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 입사광은 상기 기관의 밴드 갭보다 작은 에너지를 가지며,

상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들로부터 상기 제2 면으로 주입된 상기 여기된 전하로 상기 입사광을 검출하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 입사광은 단파장 적외선인 것을 특징으로 하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 5

서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기관; 및

상기 제2 면 상에 제공되고 검출하고자 하는 입사광의 파장보다 작은 폭을 갖고, 상기 입사 광을 흡수하여 여기된 전하를 상기 제2 면으로 주입시키는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들;을 포함하되,

상기 제2 면은 복수의 오목한 부분들 및 상기 복수의 오목한 부분들 사이에 제공되는 연결 부분을 포함하되,

상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들은 상기 복수의 오목한 부분들 상에 각각 제공되며,

상기 기관은, 상기 제1 면에 인접하게 제공되고 제2 도전형을 갖는 고농도 도핑 영역, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되고 상기 제2 도전형과 다른 제1 도전형을 갖는 기관 영역, 및 상기 기관 영역과 상기 고농도 도핑 영역 사이에 제공되고 상기 제1 도전형을 갖는 제1 웰을 포함하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 상기 제2 면이 노출되어 각각 상기 제2 면으로 둘러싸인 단일 광자

검출 소자.

청구항 7

제 5 항에 있어서,
상기 연결 부분 상에 제공되는 연결막;을 더 포함하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 8

제 7 항에 있어서,
상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들과 상기 연결 막은 연결되어 단일 구조체를 형성하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 9

제 1 항에 있어서,
상기 플라즈모닉 나노 패턴들과 상기 제2 면 사이에 제공되는 중간층;을 더 포함하되,
상기 중간층은 절연막, 산화물박막, 및 이차원물질막 중 적어도 하나를 포함하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 10

제 1 항에 있어서,
상기 플라즈모닉 나노 패턴들 상에 제공되는 투명 전극;을 더 포함하되,
상기 투명 전극은 상기 플라즈모닉 나노 패턴들을 전기적으로 연결하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 11

제 1 항에 있어서,
상기 플라즈모닉 나노 패턴들 상에 제공되는 추가층;을 더 포함하되,
상기 추가층은 상기 플라즈모닉 나노 패턴들의 흡광 특성을 개선하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 12

제 1 항에 있어서,
상기 플라즈모닉 나노 패턴들 중 적어도 하나에 전압이 인가되는 단일 광자 검출 소자.

청구항 13

제 1 항에 있어서,
상기 제1 면 상에 제공되는 연결층; 및
상기 연결층에 대해 상기 기관의 반대편에 제공되는 제어층;을 포함하되,
상기 제어층은 회로를 포함하고,
상기 연결층은, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 회로를 전기적으로 연결하는 제1 도전 라인 및 상기 기관 영역과 상기 회로를 전기적으로 연결하는 제2 도전 라인을 포함하고,
상기 회로는 퀘칭 회로(quenching circuit) 및 픽셀 회로를 포함하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 14

제 1 항에 있어서,
상기 고농도 도핑 영역 및 상기 제1 웰 사이에 제공되는 제2 웰;을 더 포함하되,
상기 제2 웰은 상기 제2 도전형을 갖고,

상기 제2 웰의 도핑 농도는 상기 고농도 도핑 영역의 도핑 농도보다 낮은 단일 광자 검출 소자.

청구항 15

제 1 항에 있어서,
 상기 고농도 도핑 영역의 측면에 제공되는 콘택 영역;을 더 포함하되,
 상기 콘택 영역은 상기 제1 도전형을 갖는 단일 광자 검출 소자.

청구항 16

제 1 항에 있어서,
 상기 제1 웰의 측면을 따라 제공되는 가드링;을 더 포함하되,
 상기 가드링은 상기 제2 도전형을 갖는 단일 광자 검출 소자.

청구항 17

제 1 항에 있어서,
 상기 고농도 도핑 영역의 폭은 상기 제1 웰의 폭보다 큰 단일 광자 검출 소자.

청구항 18

제 1 항에 있어서,
 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들에서 여기된 전하들의 상기 기관에 대한 전하 주입 특성을 조절하기 위해,
 상기 기관은 상기 제2 면에 인접한 추가 도핑 영역을 포함하는 단일 광자 검출 소자.

청구항 19

단일 광자 검출 소자 및 광 방출 장치를 포함하는 전자 장치에 있어서,
 상기 광 방출 장치에서 방출된 광이 피사체에 반사되어 돌아오는 입사 광을 검출하는 상기 단일 광자 검출 소자는:

서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기관; 및
 상기 제2 면 상에 제공되고 상기 입사광의 파장보다 작은 폭을 갖고, 상기 입사광을 흡수하여 여기된 전하를 상기 제2 면으로 주입시키는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들;을 포함하되, 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 상기 제2 면이 노출되어 각각 상기 제2 면으로 둘러싸이며,
 상기 기관은, 상기 제1 면에 인접하게 제공되고 제2 도전형을 갖는 고농도 도핑 영역, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되고 상기 제2 도전형과 다른 제1 도전형을 갖는 기관 영역, 및 상기 기관 영역과 상기 고농도 도핑 영역 사이에 제공되고 상기 제1 도전형을 갖는 제1 웰을 포함하는 전자 장치.

청구항 20

광 방출 장치 및 광 방출 장치에서 방출된 광이 피사체에 반사되어 돌아오는 입사 광을 검출하는 단일 광자 검출 소자를 포함하고 상기 광 방출 장치의 송신 신호와 상기 단일 광자 검출 소자의 검출 신호 사이의 시간 차 정보를 이용해 피사체의 거리를 측정하는 라이다 장치에 있어서,
 상기 단일 광자 검출 소자는:

서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기관; 및
 상기 제2 면 상에 제공되고 상기 입사광의 파장보다 작은 폭을 갖고, 상기 입사광을 흡수하여 여기된 전하를 상기 제2 면으로 주입시키는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들;을 포함하되,
 상기 기관은, 상기 제1 면에 인접하게 제공되고 제2 도전형을 갖는 고농도 도핑 영역, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되고 상기 제2 도전형과 다른 제1 도전형을 갖는 기관 영역,

및 상기 기관 영역과 상기 고농도 도핑 영역 사이에 제공되고 상기 제1 도전형을 갖는 제1 웰을 포함하되,
상기 입사광은 상기 기관의 밴드 갭보다 작은 에너지를 가지며, 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들로부터 제2 면으로 주입된 상기 여기된 전하로 상기 입사광을 검출하는 라이다 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 아발란치 포토다이오드(avalanche photodiode, APD)는 아발란치 증배(avalanche multiplication)로 인한 높은 첫 단계 이득을 제공하기 위해 높은 바이어스 전압이 pn 접합부에 인가되는 고체 상태(solid-state) 광 검출기이다. 전자를 방출하기에 충분한 에너지를 가진 입사 광자가 포토다이오드에 도달하면 전자-정공쌍(electron-hole pair, EHP)이 생성된다. 높은 전기장은 광 생성(photo-generated) 전자를 (+) 쪽으로 빠르게 가속한다. 가속된 전자에 의한 충격 이온화(impact ionization)에 의해 추가의 전자-정공 쌍들이 연달아 생성된다. 상기 과정을 통해 생성된 전자들은 모두 양극 쪽으로 가속된다. 광 생성 정공은 (-) 쪽으로 빠르게 가속되며 광 생성 전자와 동일한 현상을 일으킨다. 이러한 프로세스는 출력 전류 펄스 및 광 생성 전자의 아발란치 증배로 이어지는 과정을 반복한다. 따라서 APD는 광전자증배관(photomultiplier tubes)과 유사하게 동작하는 반도체 기반의 소자이다. 선형 모드 APD는 바이어스 전압을 제어하여 이득을 설정하고 선형 모드에서 수십~수천의 이득을 얻을 수 있는 효과적인 증폭기이다.

[0003] 단일 광자 아발란치 다이오드(single photon avalanche diode, SPAD)는 가이거(Geiger) 모드에서 동작하도록 pn 접합부가 그 항복 전압 이상으로 바이어싱되는 APD로서, 단일 입사 광자가 진행중인 아발란치 현상을 트리거(trigger)하며 매우 큰 전류를 발생시킬 수 있고, 이에 따라 퀸칭(quenching) 저항 혹은 회로 등과 함께 쉽게 측정 가능한 펄스 신호를 얻을 수 있다. 즉, SPAD는 낮은 광도(light intensity)에서 충분하지 않을 수 있는 선형 모드 APD와 비교하여 매우 큰 이득을 통해 이를 큰 펄스 신호로 생성하는 장치로 동작한다. 아발란치를 트리거한 후에, 아발란치 프로세스를 퀸칭하기 위해 항복 전압 이하로 바이어스 전압을 감소시키도록 퀸칭 저항 혹은 퀸칭 회로(quenching resistor or quenching circuit)가 사용된다. 퀸칭 후 또 다른 광자의 검출을 위해 SPAD가 리셋되도록 바이어스 전압이 항복 전압 이상으로 다시 상승된다. 상기 과정은 SPAD의 재-바이어싱으로 지칭될 수 있다.

[0004] SPAD는 퀸칭 저항 혹은 퀸칭 회로를 비롯하여 리차지(recharge) 회로, 메모리, 게이트 회로, 카운터, 시간-디지털 변환기(time-to-digital converter) 등과 함께 구성될 수 있고, SPAD 픽셀은 반도체 기반이기 때문에 수월하게 어레이로 구성할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 해결하고자 하는 과제는 반도체 기관을 구성하는 물질의 밴드갭보다 낮은 에너지를 갖는 광자를 감지할 수 있는 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치를 제공하는 것에 있다.

[0006] 해결하고자 하는 과제는 단파장 적외선을 감지할 수 있는 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치를 제공하는 것에 있다.

[0007] 해결하고자 하는 과제는 보다 우수한 근적외선 효율을 갖는 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치를 제공하는 것에 있다.

[0008] 다만, 해결하고자 하는 과제는 상기 개시에 한정되지 않는다.

과제의 해결 수단

[0009] 일 측면에 있어서, 서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기관; 및 상기 제2 면 상에 제공되는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들;을 포함하되, 상기 기관은, 상기 제1 면에 인접하게 제공되는 고농도 도핑 영역, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되는 기관 영역, 및 상기 기관 영역과

상기 고농도 도핑 영역 사이에 제공되는 제1 웰을 포함하되, 상기 제1 웰은 제1 도전형을 갖고, 상기 고농도 도핑 영역은 상기 제1 도전형과 다른 제2 도전형을 갖는 단일 광자 검출 소자가 제공될 수 있다.

- [0010] 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 상기 제2 면이 노출될 수 있다.
- [0011] 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들은 상기 제2 면으로부터 돌출될 수 있다.
- [0012] 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들의 폭은 수 나노미터(nm) 내지 수 마이크로미터(μm)일 수 있다.
- [0013] 상기 제2 면은 복수의 오목한 부분들 및 상기 복수의 오목한 부분들 사이에 제공되는 연결 부분을 포함하되, 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들은 상기 복수의 오목한 부분들 상에 각각 제공될 수 있다.
- [0014] 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들은 상기 복수의 오목한 부분을 컨포멀하게 덮을 수 있다.
- [0015] 상기 연결 부분 상에 제공되는 연결막;을 더 포함하되, 상기 연결막은 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들을 연결할 수 있다.
- [0016] 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들과 상기 연결 막은 단일 구조체를 형성할 수 있다.
- [0017] 상기 플라즈모닉 나노 패턴들과 상기 제2 면 사이에 제공되는 중간층;을 더 포함하되, 상기 중간층은 절연막, 산화물박막, 및 이차원물질막 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 플라즈모닉 나노 패턴들 상에 제공되는 투명 전극;을 더 포함하되, 상기 투명 전극은 상기 플라즈모닉 나노 패턴들을 전기적으로 연결할 수 있다.
- [0019] 상기 플라즈모닉 나노 패턴들 상에 제공되는 추가층;을 더 포함하되, 상기 추가층은 상기 플라즈모닉 나노 패턴들의 흡광 특성을 개선할 수 있다.
- [0020] 상기 플라즈모닉 나노 패턴들 중 적어도 하나에 전압이 인가될 수 있다.
- [0021] 상기 제1 면 상에 제공되는 연결층; 및 상기 연결층에 대해 상기 기판의 반대편에 제공되는 제어층;을 포함하되, 상기 제어층은 회로를 포함하고, 상기 연결층은, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 회로를 전기적으로 연결하는 제1 도전 라인 및 상기 기판 영역과 상기 회로를 전기적으로 연결하는 제2 도전 라인을 포함하고, 상기 회로는 퀘칭 회로(quenching circuit) 및 픽셀 회로를 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 고농도 도핑 영역 및 상기 제1 웰 사이에 제공되는 제2 웰;을 더 포함하되, 상기 제2 웰은 상기 제2 도전형을 갖고, 상기 제2 웰의 도핑 농도는 상기 고농도 도핑 영역의 도핑 농도보다 낮을 수 있다.
- [0023] 상기 고농도 도핑 영역의 측면 상에 제공되는 콘택 영역;을 더 포함하되, 상기 콘택 영역은 상기 제1 도전형을 가질 수 있다.
- [0024] 상기 제1 웰의 측면 상에 제공되는 가드링;을 더 포함하되, 상기 가드링은 상기 제2 도전형을 가질 수 있다.
- [0025] 상기 고농도 도핑 영역은 상기 제1 웰에 의해 상기 기판 영역으로부터 이격될 수 있다.
- [0026] 상기 고농도 도핑 영역의 폭은 상기 제1 웰의 폭보다 클 수 있다.
- [0027] 상기 기판은 상기 제2 면에 인접한 추가 도핑 영역을 포함하되, 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들에서 여겨진 전하들의 상기 기판에 대한 전하 주입 특성은 상기 추가 도핑 영역에 따라 조절될 수 있다.
- [0028] 일 측면에 있어서, 단일 광자 검출 소자를 포함하는 전자 장치에 있어서, 상기 단일 광자 검출 소자는: 서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기판; 및 상기 제2 면 상에 제공되는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들;을 포함하되, 상기 기판은, 상기 제1 면에 인접하게 제공되는 고농도 도핑 영역, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되는 기판 영역, 및 상기 기판 영역과 상기 고농도 도핑 영역 사이에 제공되는 제1 웰을 포함하되, 상기 제1 웰은 제1 도전형을 갖고, 상기 고농도 도핑 영역은 상기 제1 도전형과 다른 제2 도전형을 갖는 전자 장치가 제공될 수 있다.
- [0029] 일 측면에 있어서, 전자 장치를 포함하는 라이더 장치에 있어서, 상기 전자 장치는 단일 광자 검출 소자를 포함하고, 상기 단일 광자 검출 소자는: 서로 반대편에 배치되는 제1 면 및 제2 면을 갖는 기판; 및 상기 제2 면 상에 제공되는 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들;을 포함하되, 상기 기판은, 상기 제1 면에 인접하게 제공되는 고농도 도핑 영역, 상기 고농도 도핑 영역과 상기 복수의 플라즈모닉 나노 패턴들 사이에 제공되는 기판 영역, 및 상기 기판 영역과 상기 고농도 도핑 영역 사이에 제공되는 제1 웰을 포함하되, 상기 제1 웰은 제1 도전형을 갖

고, 상기 고농도 도핑 영역은 상기 제1 도전형과 다른 제2 도전형을 갖는 라이다 장치가 제공될 수 있다.

발명의 효과

- [0030] 본 개시는 반도체 기판을 구성하는 물질의 밴드갭보다 낮은 에너지를 갖는 광자를 감지할 수 있는 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치를 제공할 수 있다.
- [0031] 본 개시는 단과장 적외선을 감지할 수 있는 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치를 제공할 수 있다.
- [0032] 본 개시는 보다 우수한 근적외선 효율을 갖는 단일 광자 검출 소자, 전자 장치, 및 라이다 장치를 제공할 수 있다.
- [0033] 다만, 발명의 효과는 상기 개시에 한정되지 않는다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 평면도이다. 도 2는 도 1의 단일 광자 검출 소자의 A-A' 선을 따른 단면도이다.
- 도 3은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 평면도이다. 도 4는 도 3의 B-B' 선을 따르는 단면도이다.
- 도 5는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 6은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 7은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 8은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 9는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 10은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 11은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 12는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 13은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 14는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 15는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 16은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 17은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 18은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 3의 B-B' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 19는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 3의 B-B' 선에 대응하는 단면도이다.
- 도 20은 예시적인 실시예에 따른 전자 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- 도 21 및 도 22는 예시적인 실시예에 따른 라이다(LiDAR) 장치를 차량에 적용한 경우를 보여주는 개념도들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 개시의 실시예들에 대해 상세히 설명하기로 한다. 이하의 도면들에서 동일한 참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되어 있을 수 있다. 한편, 이하에 설명되는 실시예는 단지 예시적인 것에 불과하며, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다.
- [0036] 이하에서, "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위에 있는 것도 포함할 수 있다.

- [0037] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0038] 또한, 명세서에 기재된 "...부" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미한다.
- [0039] 이하에서, 'a, b, 및 c 중 적어도 하나'는 '오직 a', '오직 b', '오직 c', 'a와 b', 'a와 c', 'b와 c', 또는 'a, b, 및 c'를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0041] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 평면도이다. 도 2는 도 1의 단일 광자 검출 소자의 A-A' 선을 따른 단면도이다.
- [0042] 도 1을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(1)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(1)는 단일 광자 아발란치 다이오드(SPAD)를 포함할 수 있다. 일 예에서, 단일 광자 아발란치 다이오드(SPAD)는 게이저 모드 아발란치 다이오드(Geiger-mode APD, G-APD)로 지칭될 수 있다.
- [0043] 단일 광자 검출 소자(1)는 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 기판(100)은 반도체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 기판(100)은 실리콘(Si) 기판일 수 있다. 일 예에서, 기판은 에피택시 성장(Epitaxy Growth) 공정에 의해 형성되는 에피택시 층(Epitaxy Layer)일 수 있다. 기판(100)은 서로 반대편에 배치되는 제1 면(101) 및 제2 면(102)을 가질 수 있다. 예를 들어, 제1 면(101) 및 제2 면(102)은 평면일 수 있다.
- [0044] 기판(100)은 기판 영역(111), 고농도 도핑 영역(112), 제1 웰(113), 및 콘택 영역(120)을 포함할 수 있다. 기판 영역(111), 고농도 도핑 영역(112), 제1 웰(113), 및 콘택 영역(120)은 기판(100)에서 서로 다른 도전형 또는 서로 다른 도핑 농도를 갖는 영역들일 수 있다. 기판 영역(111)은 기판(100)에서 고농도 도핑 영역(112), 제1 웰(113), 및 콘택 영역(120)을 제외한 나머지 영역을 지칭할 수 있다. 기판 영역(111)은 제1 도전형을 가질 수 있다. 예를 들어, 기판 영역(111)의 도전형은 n형 또는 p형일 수 있다. 기판 영역(111)의 도전형이 n형인 경우, 기판 영역(111)은 5족 원소(예를 들어, 인(P), 비소(As), 안티몬(Sb) 등), 6족, 또는 7족 원소를 불순물로 포함할 수 있다. 기판 영역(111)의 도전형이 p형인 경우, 기판 영역(111)은 3족 원소(예를 들어, 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등) 또는 2족 원소를 불순물로 포함할 수 있다. 이하에서, 도전형이 n형인 영역은 기판(100)에 5족 원소(예를 들어, 인(P), 비소(As), 안티몬(Sb) 등), 6족, 또는 7족 원소가 불순물로 주입되어 형성될 수 있고, 도전형이 p형인 영역은 기판(100)에 3족 원소(예를 들어, 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등) 또는 2족 원소가 불순물로 주입되어 형성될 수 있다. 일 예에서, 불순물은 기판(100)을 형성하는 에피택시 성장 공정에서 인-시츄(in-situ)로 제공될 수 있다. 예를 들어, 기판 영역(111)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.
- [0045] 고농도 도핑 영역(112)은 제1 면(101)부터 일정 깊이까지 형성될 수 있다. 고농도 도핑 영역(112)은 제1 도전형과 다른 제2 도전형을 가질 수 있다. 제1 도전형이 n형인 경우, 고농도 도핑 영역(112)의 도전형은 p형일 수 있다. 제1 도전형이 p형인 경우, 고농도 도핑 영역(112)의 도전형은 n형일 수 있다. 고농도 도핑 영역(112)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.
- [0046] 제1 웰(113)은 고농도 도핑 영역(112)과 기판 영역(111) 사이에 제공될 수 있다. 고농도 도핑 영역(112)과 기판 영역(111)은 제1 웰(113)에 의해 서로 이격될 수 있다. 제1 웰(113)은 고농도 도핑 영역(112)의 기판 영역(111)을 향하는 면을 덮을 수 있다. 제1 웰(113)은 제1 면(101)의 다른 부분을 차지할 수 있다. 제1 면(101) 상에서 제1 웰(113)은 고농도 도핑 영역(112)을 둘러쌀 수 있다. 제1 면(101)을 바라보는 관점에서 제1 웰(113)은 고리 형상을 갖고, 고농도 도핑 영역(112)은 제1 웰(113)의 내측 테두리 안에 제공될 수 있다. 제1 웰(113)은 제1 도전형을 가질 수 있다. 제1 웰(113)의 도핑 농도는 기판 영역(111)의 도핑 농도보다 높고, 고농도 도핑 영역(112)의 도핑 농도보다 낮을 수 있다. 예를 들어, 제1 웰(113)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.
- [0047] 제1 웰(113)과 고농도 도핑 영역(112)의 계면에 인접한 영역에 메인 공핍 영역(21)이 형성될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(1)에 역 바이어스가 인가되는 경우, 메인 공핍 영역(21)에 강한 전기장이 인가될 수 있다. 예를 들어, 단일 광자 검출 소자(1)가 단일 광자 아발란치 다이오드(SPAD)로서 동작하는 경우, 전기장의 최대 세기는 약 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6 \text{ V/cm}$ 일 수 있다. 메인 공핍 영역(21)의 전기장에 의해 전자가 증배될 수 있으므로, 메인 공핍

영역(21)은 증배 영역(Multiplication Region)으로 지칭될 수 있다.

- [0048] 기관 영역(111) 상에 콘택 영역(120)이 제공될 수 있다. 콘택 영역(120)은 단일 광자 검출 소자(1) 외부의 회로와 전기적으로 연결될 수 있다. 예를 들어, 콘택 영역(120)을 통해 단일 광자 검출 소자(1) 외부의 회로로부터 기관 영역(111)에 전압이 인가될 수 있다. 콘택 영역(120)은 제1 웰(113)의 측면 상에 제공될 수 있다. 콘택 영역(120)은 제1 웰(113)을 둘러쌀 수 있다. 예를 들어, 제1 면(101)을 바라보는 관점에서, 콘택 영역(120)은 제1 웰(113)의 측면을 따라 연장하는 고리 형상을 가질 수 있다. 콘택 영역(120)은 제1 웰(113)으로부터 이격될 수 있다. 콘택 영역(120)과 제1 웰(113) 사이의 영역으로 기관 영역(111)이 연장할 수 있다. 예를 들어, 콘택 영역(120)과 제1 웰(113) 사이의 영역은 기관 영역(111)으로 채워질 수 있다. 콘택 영역(120)은 제1 도전형을 가질 수 있다. 콘택 영역(120)의 도핑 농도는 기관 영역(111)의 도핑 농도보다 높을 수 있다. 예를 들어, 콘택 영역(120)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.
- [0049] 기관(100)의 제1 면(101) 상에 연결층(200)이 제공될 수 있다. 연결층(200)은 절연층(210), 제1 도전 라인(221), 및 제2 도전 라인(222)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 절연층(210)은 실리콘 산화물(예를 들어, SiO_2), 실리콘 질화물(예를 들어, SiN), 실리콘 산질화물(예를 들어, SiON), 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [0050] 제1 도전 라인(221) 및 제2 도전 라인(222)은 고농도 도핑 영역(112) 및 콘택 영역(120)에 각각 전기적으로 연결될 수 있다. 제1 및 제2 도전 라인들(221, 222)은 전기 전도성 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제2 도전 라인들(221, 222)은 구리(Cu)를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 도전 라인들(221, 222)은 제1 면(101)에 교차하는 방향 또는 제1 면(101)에 수평한 방향을 따라 연장하는 복수의 부분들을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 도전 라인들(221, 222)은 고농도 도핑 영역(112) 및 콘택 영역(120)을 제어층(300)의 회로(310)와 전기적으로 연결할 수 있다. 제1 도전 라인(221) 및 제2 도전 라인(222) 중 하나는 단일 광자 검출 소자(1)에 바이어스를 인가할 수 있고, 다른 하나는 검출 신호를 추출할 수 있다. 예를 들어, 제1 도전 라인(221)은 고농도 도핑 영역(112)으로부터 전기적 신호를 추출하고, 제2 도전 라인(222)은 콘택 영역(120)에 바이어스 전압을 인가할 수 있다. 다른 예에서, 제2 도전 라인(222)은 콘택 영역(120)으로부터 전기적 신호를 추출하고, 제1 도전 라인(221)은 고농도 도핑 영역(112)에 바이어스 전압을 인가할 수 있다.
- [0051] 연결층(200)에 대해 기관(100)의 반대편에 제어층(300)이 제공될 수 있다. 제어층(300)은 회로(310)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제어층(300)은 회로(310)가 형성된 집일 수 있다. 회로(310)는 제1 도전 라인(221) 및 제2 도전 라인(222)에 전기적으로 연결될 수 있다. 회로(310)는 필요에 따른 다양한 전자 소자들을 포함할 수 있다. 단일 광자 검출 소자(1)가 단일 광자 아발란치 다이오드(SPAD)를 포함하는 경우, 회로(310)는 퀸칭 저항(quenching resistor)(또는 퀸칭 회로(quenching circuit)) 및 픽셀 회로를 포함할 수 있다. 퀸칭 저항(또는 퀸칭 회로)은 아발란치 효과를 중단시키고 단일 광자 아발란치 다이오드(SPAD)가 또 다른 광자를 검출할 수 있도록 할 수 있다. 픽셀 회로는 리셋 혹은 리차지(recharge) 회로, 메모리, 증폭회로, 카운터, 게이트 회로, 시간-디지털 변환기(time-to-digital converter) 등으로 구성될 수 있다. 또한 회로(310)는 DC-DC 컨버터(DC-to-DC converter) 및 기타 전원 관리 직접 회로(power management integrated circuit)를 포함할 수 있다. 회로(310)는 단일 광자 검출 소자(1)로 신호를 전송하거나, 단일 광자 검출 소자(1)로부터 신호를 수신할 수 있다. 회로(310)가 제어층(300) 내에 제공되는 것이 도시되었으나, 이는 예시적인 것이다. 다른 예에서, 회로(310)는 기관(100)에 위치할 수 있다.
- [0052] 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 기관(100)의 제2 면(102) 상에 제공될 수 있다. 도 1에 도시된 것과 같이, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 제2 면(102)에 평행한 방향을 따라 격자 형태로 배열될 수 있다. 다만, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 배열 형태는 한정적인 것이 아니며, 필요에 따라 정해질 수 있다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410) 사이의 간격은 수 나노미터(nm) 내지 수 마이크로미터(μm) 일 수 있다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 각각은 단일 광자 검출 소자(1)가 검출하고자 하는 광의 파장보다 작은 폭(410w)을 가질 수 있다. 예를 들어, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 각각의 폭(410w)은 수 나노미터(nm) 내지 수 마이크로미터(μm)일 수 있다. 일 예에서, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 초박형 금속 박막(ultrathin metal film)일 수 있다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 각각의 두께는 필요에 따라 정해질 수 있다. 예를 들어, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 두께가 얇을수록 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 핫 전하들이 기관(100)으로 이동하는 특성인 전하주입 특성이 향상될 수 있으나, 두께가 얇아짐에 따라 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 흡광도 및 플라즈몬 특성이 영향을 받을 수 있고, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 자체 품질(예를 들어, 순도, 결정성, 그레인 사이즈, 표면 조도 등)이 낮아질 수 있다. 따라서, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 두께는 다양한 요건들을 고려하여 결정될 수 있다. 예를 들어, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 두께는 수 나노미터(nm) 내지 수 마이크로미터(μm)일 수 있다. 플라즈모

닉 나노 패턴들(410)은 플라즈몬을 여기할 수 있도록 높은 자유전하밀도를 갖는 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 금속(예를 들어, 금(Au), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 또는 TiN) 또는 금속과 유사한 자유전하밀도를 갖는 물질을 포함할 수 있다. 일 예에서, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 원자층 증착 공정(atomic layer deposition, ALD)을 이용하여 형성될 수 있다.

[0053] 기판(100)은 기판(100)을 구성하는 반도체 물질의 밴드 갭보다 작은 에너지를 갖는 광을 흡수할 수 없다. 예를 들어, 실리콘의 밴드 갭 에너지는 1.12 eV이므로, 기판(100)에 형성된 단일 광자 검출 소자는 근적외선(Near-Infrared, NIR)을 검출할 수 있으나, 그보다 긴 파장(예를 들어, 1300 나노미터(nm) 이상의 파장)을 갖는 적외선들(예를 들어, 단파장 적외선(Short-Wavelength Infrared, SWIR), 중파장 적외선(Mid-Wavelength Infrared, MWIR), 및 장파장 적외선(Long-Wavelength Infrared, LWIR)은 검출할 수 없다.

[0054] 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 기판(100)과 쇼트키 정션(Schottky junction)을 형성할 수 있다. 이에 따라, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 기판(100) 사이에 쇼트키 배리어(Schottky barrier)가 형성될 수 있다. 쇼트키 배리어의 크기는 기판(100)의 밴드 갭보다 작다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에 광이 조사될 경우, 플라즈모닉 나노 패턴들(410) 내의 전자들(electrons) 또는 홀들(holes)이 들뜬 상태를 가질 수 있다. 들뜬 상태를 갖는 전자들 중 쇼트키 배리어보다 큰 에너지를 갖는 전자들은 핫 전자들(hot electrons) 또는 핫 홀들(hot holes)일 수 있다. 핫 전자들 또는 핫 홀들은 쇼트키 배리어를 넘어 기판(100)으로 이동할 수 있다. 핫 전자들 또는 핫 홀들이 기판(100)으로 이동 또는 주입됨에 따라 기판(100) 내에서 광 전류가 형성될 수 있다. 일 예에서, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에서 여기된 핫 전자들 또는 핫 홀들의 주입 특성(즉, 전하 주입 특성)을 조절하기 위해서, 기판(100)의 제2 면(102)에 인접한 영역이 추가적으로 도핑될 수 있다.

[0055] 핫 전자들 또는 핫 홀들을 다수 형성하기 위해선 플라즈모닉 나노 패턴들(410)이 높은 흡광률을 가질 것이 요구된다. 본 개시는 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 표면들에서 플라즈몬(plasmon)을 발생시켜 흡광률을 높일 수 있다. 예를 들어, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에 단파장 적외선이 입사하는 경우, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 기판(100)에 접하는 표면들에 전하들(전자들 또는 홀들)의 집단적인 진동인 플라즈몬(plasmon)이 생성될 수 있다. 진동하는 전하들 중 일부 전하들은 쇼트키 배리어보다 큰 에너지를 갖는 핫 전자들(핫 전자들 또는 핫 홀들)이 될 수 있다. 핫 전자들은 쇼트키 배리어를 넘어 기판(100)으로 이동할 수 있다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 기판(100)의 제2 면(102)에 접하므로, 핫 전자들은 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에서 기판(100)의 제2 면(102)으로 이동할 수 있다. 쇼트키 배리어를 넘어 기판(100)으로 주입된 핫 전자들은 기판(100) 내에 인가된 전기장에 의해 고농도 도핑 영역(112)으로 이동할 수 있다. 쇼트키 배리어를 넘어 기판(100)으로 주입된 핫 전자들은 메인 공핍 영역(21)(즉, 증배 영역)에서 대량의 전하를 생성할 수 있다. 회로(310)는 대량의 전하를 측정할 수 있다. 이와 같은 과정으로, 단파장 적외선이 검출될 수 있다.

[0056] 위에서 단일 광자 검출 소자(1)가 단파장 적외선을 검출하는 것이 설명되었으나, 이는 예시적인 것이다. 단일 광자 검출 소자(1)는 기판(100)을 구성하는 반도체 물질의 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 광을 검출할 수 있다. 예를 들어, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)이 근적외선, 중파장 적외선 또는 장파장 적외선을 흡수할 수 있는 기하구조 파라미터들(예를 들어, 주기, 폭, 및 두께)을 가질 경우, 단일 광자 검출 소자(1)는 근적외선, 중파장 적외선 또는 장파장 적외선을 검출할 수 있다. 나아가, 위에서 기판(100)이 실리콘(Si)을 포함하는 것으로 설명되었으나, 이는 예시적인 것이다. 기판(100)이 실리콘이 아닌 다른 반도체(예를 들어, III-V족 화합물 반도체 기판)인 경우에도, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 기하구조 파라미터들(예를 들어, 주기, 폭, 및 두께)이 조절되어, 단일 광자 검출 소자(1)가 기판(100)을 구성하는 반도체(예를 들어, III-V족 화합물 반도체)의 밴드 갭보다 작은 에너지를 갖는 광을 검출할 수 있다.

[0057] 따라서, 본 개시는 기판(100)을 구성하는 반도체의 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 광을 검출할 수 있는 단일 광자 검출 소자(1)를 제공할 수 있다.

[0059] 도 3은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 평면도이다. 도 4는 도 3의 B-B'선을 따르는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0060] 도 3 및 도 4를 참조하면, 단일 광자 검출 소자(2)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(2)는 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 층(420)을 포함할 수 있다. 기판(100)의 제2 면(102)은 오목한 부분들(103) 및 연결 부분(104)을 가질 수 있다. 오목한 부분들(103)은 제1 면(101)에 평행한 방향을 따라 배열될 수 있다. 오목한 부분들(103)의 배열 형태는 한정적인 것이 아니며, 필요에 따라 정해될 수 있다. 오목한 부분들(103) 사이의 간격은 수 나노미터(nm) 내지 수 마이크로미터(μm) 일 수 있다. 오목한 부분들(103)의 각각은

단일 광자 검출 소자(2)가 검출하고자 하는 광의 파장보다 작은 폭(103w)을 가질 수 있다. 예를 들어, 오목한 부분들(103)의 각각의 폭(103w)은 수십 나노미터(nm) 내지 수 마이크로미터(μm)일 수 있다. 연결 부분(104)은 오목한 부분들(103) 사이에 제공되어, 오목한 부분들(103)을 연결할 수 있다.

[0061] 플라즈모닉 나노 층(420)은 제2 면(102) 상에 제공될 수 있다. 플라즈모닉 나노 층(420)은 오목한 부분들(103) 및 연결 부분(104)을 덮을 수 있다. 오목한 부분들(103)을 덮는 플라즈모닉 나노 층(420)은 오목막들로 지칭될 수 있고, 연결 부분(104)을 덮는 플라즈모닉 나노 층(420)은 연결막으로 지칭될 수 있다. 플라즈모닉 나노 층(420)은 제2 면(102)을 따라 연장할 수 있다. 예를 들어, 오목막들 및 연결막은 각각 오목한 부분들(103) 및 연결 부분을 컨포멀하게 덮을 수 있다. 일 예에서, 플라즈모닉 나노 층(420)은 초박형 금속 박막(ultrathin metal film)일 수 있다. 일 예에서, 플라즈모닉 나노 층(420)은 원자층 증착 공정(atomic layer deposition, ALD)을 이용하여 형성될 수 있다.

[0062] 플라즈모닉 나노 층(420)은 플라즈몬을 여기할 수 있도록 높은 자유전자밀도를 갖는 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 플라즈모닉 나노 층(420)은 금속(예를 들어, 금(Au), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 또는 TiN) 또는 금속과 유사한 자유전자밀도를 갖는 물질을 포함할 수 있다. 플라즈모닉 나노 층(420)에 단파장 적외선이 입사하는 경우, 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 같이, 플라즈모닉 나노 층(420)의 오목한 부분들(103)에 접하는 표면들에 전자들의 집단적인 진동인 플라즈몬이 생성되고, 핫 전자들(예를 들어, 핫 전자들 또는 핫 홀들)이 플라즈모닉 나노 층(420)과 기관(100)(즉, 실리콘(Si) 기관) 사이의 쇼트키 배리어(Schottky barrier)를 넘어 기관(100)으로 이동 또는 주입되어 검출될 수 있다. 이에 따라, 단파장 적외선이 검출될 수 있다.

[0063] 위에서 단일 광자 검출 소자(2)가 단파장 적외선을 검출하는 것이 설명되었으나, 이는 예시적인 것이다. 다른 예에서, 플라즈모닉 나노 층(420)이 근적외선, 중파장 적외선 또는 장파장 적외선을 흡수할 수 있는 사이즈를 가질 경우, 단일 광자 검출 소자(2)는 근적외선, 중파장 적외선, 또는 장파장 적외선을 검출할 수 있다. 즉, 본 개시는 기관(100)을 구성하는 반도체의 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 광을 검출할 수 있는 단일 광자 검출 소자(2)를 제공할 수 있다.

[0065] 도 5는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것 및 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0066] 도 5를 참조하면, 단일 광자 검출 소자(3)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(3)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0067] 기관(100)은 기관 영역(111), 제1 웰(113), 제1 콘택 영역(121), 제1 완화 영역(131), 고농도 도핑 영역(112), 및 제2 콘택 영역(122)을 포함할 수 있다. 기관 영역(111), 제1 웰(113), 제1 콘택 영역(121), 제1 완화 영역(131), 고농도 도핑 영역(112), 및 제2 콘택 영역(122)은 기관(100)에서 서로 다른 도전형 또는 서로 다른 도핑 농도를 갖는 영역들일 수 있다. 기관 영역(111)은 기관(100)에서 제1 웰(113), 제1 콘택 영역(121), 제1 완화 영역(131), 고농도 도핑 영역(112), 및 제2 콘택 영역(122)을 제외한 나머지 영역을 지칭할 수 있다. 일 예에서, 제1 웰(113), 제1 콘택 영역(121), 제1 완화 영역(131), 고농도 도핑 영역(112), 제2 콘택 영역(122), 및 제2 콘택 영역(122)은 기관(100)에 불순물이 주입되어 형성될 수 있다. 기관 영역(111)은 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 기관 영역(111)과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0068] 제1 웰(113)은 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 달리, 제2 도전형을 가질 수 있다. 제1 웰(113)의 도핑 농도는 후술되는 제2 콘택 영역(122)의 도핑 농도보다 낮을 수 있다. 예를 들어, 제1 웰(113)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다. 메인 공핍 영역(21)은 제1 웰(113)과 기관 영역(111)의 계면에 생성될 수 있다.

[0069] 고농도 도핑 영역(112)은 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 달리, 제1 도전형을 가질 수 있다. 고농도 도핑 영역(112)의 도핑 농도는 기관 영역(111)의 도핑 농도보다 높을 수 있다. 예를 들어, 고농도 도핑 영역(112)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.

[0070] 기관 영역(111) 상에 제1 콘택 영역(121)이 제공될 수 있다. 제1 콘택 영역(121)은 단일 광자 검출 소자(3) 외부의 회로와 전기적으로 연결될 수 있다. 예를 들어, 제1 콘택 영역(121)을 통해 단일 광자 검출 소자(3) 외부의 회로로부터 기관 영역(111)에 전압이 인가될 수 있다. 제1 콘택 영역(121)은 제1 웰(113)의 측면 상에 제공될 수 있다. 제1 콘택 영역(121)은 제1 웰(113)을 둘러쌀 수 있다. 예를 들어, 제1 콘택 영역(121)은 제1 웰

(113)의 측면을 따라 연장하는 고리 형상을 가질 수 있다. 제1 콘택 영역(121)은 제1 웰(113)으로부터 이격될 수 있다. 제1 콘택 영역(121)과 제1 웰(113) 사이의 영역으로 기관 영역(111)이 연장할 수 있다. 예를 들어, 제1 콘택 영역(121)과 제1 웰(113) 사이의 영역은 기관 영역(111)으로 채워질 수 있다. 제1 콘택 영역(121)은 제1 도전형을 가질 수 있다. 제1 콘택 영역(121)의 도핑 농도는 기관 영역(111)의 도핑 농도보다 높을 수 있다. 예를 들어, 제1 콘택 영역(121)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.

[0071] 제1 콘택 영역(121)과 기관 영역(111) 사이에 제1 완화 영역(131)이 제공될 수 있다. 제1 완화 영역(131)은 제1 콘택 영역(121) 및 기관 영역(111)에 전기적으로 연결될 수 있다. 제1 완화 영역(131)은 제1 콘택 영역(121)과 기관 영역(111)의 차이를 완화할 수 있다. 제1 완화 영역(131)은 제1 웰(113)의 측면 상에 제공될 수 있다. 제1 완화 영역(131)은 제1 웰(113)을 둘러쌀 수 있다. 예를 들어, 제1 완화 영역(131)은 제1 웰(113)의 측면의 연장 방향을 따라 연장하는 고리 형상을 가질 수 있다. 제1 콘택 영역(121)과 제1 완화 영역(131)은 제1 면(101)에서 제2 면(102)을 향하는 방향을 따라 배열될 수 있다. 제1 완화 영역(131)의 측면들이 제1 콘택 영역(121)의 측면들과 공면을 이루는 것으로 도시되었으나, 이는 예시적인 것이다. 다른 예에서, 제1 콘택 영역(121)은 제1 완화 영역(131)의 측면들 상으로 연장될 수 있다. 제1 완화 영역(131)은 제1 웰(113)로부터 이격될 수 있다. 제1 완화 영역(131)과 제1 웰(113) 사이의 영역으로 기관 영역(111)이 연장할 수 있다. 예를 들어, 제1 완화 영역(131)과 제1 웰(113) 사이의 영역은 기관 영역(111)으로 채워질 수 있다. 일 예에서, 제1 완화 영역(131)과 제2 면(102) 사이의 거리는 제1 웰(113)과 제2 면(102) 사이의 거리보다 가까울 수 있다. 제1 완화 영역(131)은 제1 도전형을 가질 수 있다. 제1 완화 영역(131)의 도핑 농도는 제1 콘택 영역(121)의 도핑 농도보다 낮고, 기관 영역(111)의 도핑 농도보다 높을 수 있다. 예를 들어, 제1 완화 영역(131)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.

[0072] 고농도 도핑 영역(112)과 제1 웰(113)의 계면에 인접한 영역에 서브 공핍 영역(22)이 형성될 수 있다. 서브 공핍 영역(22)은 단일 광자 검출 소자(3) 내에서 광자에 의해 생성된 전자-정공쌍 외의 다른 전자 혹은 정공이 메인 공핍 영역(21)에 제공되는 것을 감소 또는 실질적으로 방지할 수 있다. 예를 들어, 단일 광자 검출 소자(3) 내에서 광자에 의해 생성된 전자-정공쌍 외의 다른 전자 혹은 정공은 서브 공핍 영역(22)에 인접하는 단일 광자 검출 소자(3)의 표면(예를 들어, 제1 면(101))의 결함에 의해 생성되는 것일 수 있다. 서브 공핍 영역(22)은 단일 광자 검출 소자(3)의 표면 결함에 의한 전자 혹은 정공들이 메인 공핍 영역(21)으로 이동하는 것을 감소 또는 실질적으로 방지할 수 있다.

[0073] 제1 웰(113) 상에 제2 콘택 영역(122)이 제공될 수 있다. 제2 콘택 영역(122)은 제어층(300)의 회로(310)와 전기적으로 연결될 수 있다. 예를 들어, 단일 광자 검출 소자(3)가 단일 광자 아발란치 다이오드(SPAD)인 경우, 제2 콘택 영역(122)을 통해 단일 광자 검출 소자(3)는 켈칭 저항(또는 켈칭 회로) 및 기타 픽셀 회로에 전기적으로 연결될 수 있다. 제2 콘택 영역(122)은 고농도 도핑 영역(112)의 측면 상에 제공될 수 있다. 제2 콘택 영역(122)은 고농도 도핑 영역(112)과 제1 웰(113) 사이에 제공될 수 있다. 예를 들어, 제2 콘택 영역(122)은 제1 면(101) 상에서 고농도 도핑 영역(112)의 측면을 따라 연장하는 고리 형상을 가질 수 있다. 제2 콘택 영역(122)은 고농도 도핑 영역(112) 및 제1 웰(113)과 접할 수 있다. 제2 콘택 영역(122)은 제2 도전형을 가질 수 있다. 제2 콘택 영역(122)의 도핑 농도는 제1 웰(113)의 도핑 농도보다 높을 수 있다. 예를 들어, 제2 콘택 영역(122)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.

[0074] 단일 광자 검출 소자(3)의 표면 결함에 의해 생성되는 전자 또는 정공들은 메인 공핍 영역(21)에서 증배되어 노이즈 신호를 발생시키는 요인이 될 수 있다. 본 개시의 서브 공핍 영역(22)은 단일 광자 검출 소자(3)의 제1 표면(101)에서 표면 결함에 의해 생성되는 전자 혹은 정공들이 메인 공핍 영역(21)으로 이동하는 것을 감소 또는 실질적으로 방지할 수 있다. 이에 따라, 작은 노이즈를 갖는 단일 광자 검출 소자(3)가 제공될 수 있다.

[0075] 다른 예에서, 단일 광자 검출 소자(3)는 도 4에 도시된 것과 같이, 오목한 부분들(103) 및 연결 부분(104)을 갖는 제2 면(102) 및 플라즈모닉 나노 층(420)을 포함할 수 있다.

[0077] 도 6은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0078] 도 6을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(4)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(4)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 5를 참조하여 설명된 것과 달리, 기관(100)은 가드링(141)을 더 포함할 수 있다.

- [0079] 가드링(141)은 제1 웰(113)의 측면 상에 제공될 수 있다. 가드링(141)은 제1 웰(113)의 모퉁이에 전계가 집중되는 것을 완화하여, 조기항복현상(early breakdown)을 방지할 수 있다. 조기항복현상은 메인 공핍 영역(21)에 충분한 크기의 전기장이 인가되기 전에 제1 웰(113)의 모퉁이에서 먼저 항복현상이 발생하는 것으로, 제1 웰(113)의 모퉁이에 전계가 집중됨에 따라 발생한다. 가드링(141)은 단일 광자 검출 소자(4)의 항복 특성을 개선할 수 있다. 제1 면(101) 상에서 가드링(141)은 제1 웰(113)을 둘러쌀 수 있다. 예를 들어, 가드링(141)은 제1 웰(113)의 측면을 따라 연장하는 고리 형상을 가질 수 있다. 가드링(141)은 제1 웰(113)보다 제2 면(102)에 가까운 위치까지 형성될 수 있다. 가드링(141)과 제2 면(102) 사이의 거리는 제1 웰(113)과 제2 면(102) 사이의 거리보다 작을 수 있다. 가드링(141)은 제1 웰(113)에 직접 접할 수 있다. 가드링(141)은 제1 콘택 영역(122) 및 제1 완화 영역(131)으로부터 이격될 수 있다. 가드링(141)과 제1 완화 영역(131) 사이의 영역 및 가드링(141)과 제1 콘택 영역(122) 사이의 영역으로 기관 영역(111)이 연장할 수 있다. 예를 들어, 가드링(141)과 제1 완화 영역(131) 사이의 영역 및 가드링(141)과 제1 콘택 영역(122) 사이의 영역은 기관 영역(111)으로 채워질 수 있다. 가드링(141)은 제1 콘택 영역(122) 및 제1 완화 영역(131)으로부터 이격되는 것으로 한정되지 않는다. 다른 예에서, 가드링(141)은 제1 콘택 영역(122) 및 제1 완화 영역(131)에 직접 접할 수 있다. 가드링(141)은 제2 도전형을 가질 수 있다. 가드링(141)의 도핑 농도는 제1 웰(113)의 도핑 농도보다 낮을 수 있다. 예를 들어, 가드링(141)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.
- [0080] 본 개시는 작은 노이즈 및 개선된 항복 특성을 갖는 단일 광자 검출 소자(4)를 제공할 수 있다.
- [0082] 도 7은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 6을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0083] 도 7을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(5)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(5)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 6을 참조하여 설명된 것과 달리, 제2 콘택 영역(122)은 가드링(141)과 연결층(200) 사이에 제공될 수 있다. 제1 면(101) 상에서 제2 콘택 영역(122)은 제1 웰(113)을 둘러쌀 수 있다. 예를 들어, 제2 콘택 영역(122)은 제1 웰(113)의 측면을 따라 연장하는 고리 형상을 가질 수 있다. 제2 콘택 영역(122)의 측면은 이에 인접하는 가드링(141)의 측면과 공면을 이루는 것으로 도시되었으나, 이는 예시적인 것이다. 다른 예에서, 제2 콘택 영역(122)의 측면은 가드링(141)에 의해 덮일 수 있다. 제2 콘택 영역(122)은 고농도 도핑 영역(112)으로부터 이격될 수 있다. 제2 콘택 영역(122)과 고농도 도핑 영역(112) 사이에 제1 웰(113)이 제공될 수 있다. 다른 예에서, 고농도 도핑 영역(112)은 제2 콘택 영역(122)과 접하도록 연장할 수 있다.
- [0084] 제2 콘택 영역(122)이 가드링(141) 상에 배치됨에 따라, 고농도 도핑 영역(112)은 도 6을 참조하여 설명된 것보다 넓은 영역에 제공될 수 있다. 이에 따라, 서브 공핍 영역(22)은 도 6을 참조하여 설명된 것보다 넓게 형성될 수 있다.
- [0085] 본 개시는 작은 노이즈 및 개선된 항복 특성을 갖는 단일 광자 검출 소자(5)를 제공할 수 있다.
- [0087] 도 8은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0088] 도 8을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(6)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(6)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 5를 참조하여 설명된 것과 달리, 기관(100)은 제2 웰(114)을 더 포함할 수 있다. 제2 웰(114)은 제1 웰(113)을 사이에 두고 고농도 도핑 영역(112)의 반대편에 제공될 수 있다. 제2 웰(114)은 제1 웰(113)의 제2 면(102)을 향하는 표면 상에 제공될 수 있다. 제2 웰(114)은 제1 도전형을 가질 수 있다. 예를 들어, 제2 웰(114)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다. 제2 웰(114)과 제1 웰(113)의 계면에 인접한 영역에 메인 공핍 영역(21)이 형성될 수 있다.
- [0090] 도 9는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0091] 도 9를 참조하면, 단일 광자 검출 소자(7)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(7)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 5를 참조하여 설명된 것과 달리, 기관(100)은 제2 콘택 영역(122)을 포함하지 않을 수 있다.
- [0092] 고농도 도핑 영역(112)의 폭은 제1 웰(113)의 폭보다 클 수 있다. 고농도 도핑 영역(112) 및 제1 웰(113)의 폭은 제1 면(101)에 평행한 방향을 따르는 고농도 도핑 영역(112) 및 제1 웰(113)의 크기일 수 있다. 고농도 도핑

영역(112)은 제1 웰(113)의 측면으로부터 돌출될 수 있다. 고농도 도핑 영역(112)은 기관 영역(111)과 접할 수 있다.

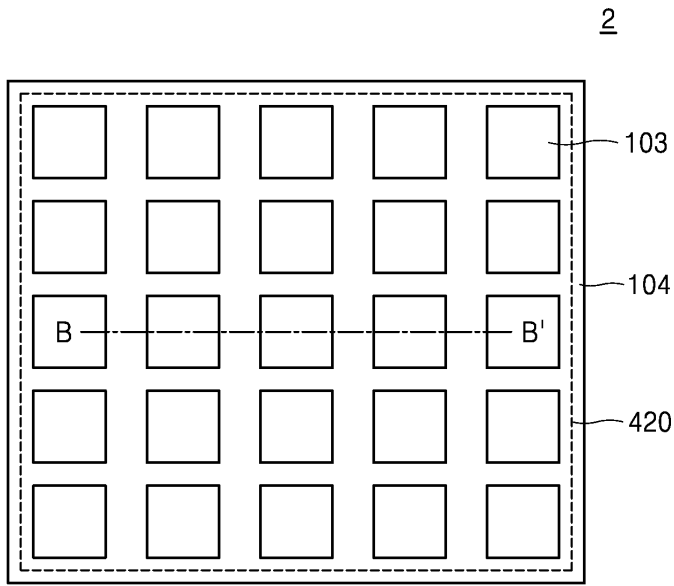
- [0094] 도 10은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 9를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0095] 도 10을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(8)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(8)은 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 9를 참조하여 설명된 것과 달리, 기관(100)은 제2 완화 영역(132)을 더 포함할 수 있다.
- [0096] 제2 완화 영역(132)은 제1 완화 영역(131)과 기관 영역(111) 사이에 제공될 수 있다. 제2 완화 영역(132)은 제1 완화 영역(131)에 대해 제1 콘택 영역(121)의 반대편에 제공될 수 있다. 제2 완화 영역(132)은 제1 완화 영역(131)의 제2 면(102)을 향하는 표면 상에 제공될 수 있다. 제2 완화 영역(132)은 제1 도전형을 가질 수 있다. 제2 완화 영역(132)은 제1 완화 영역(131)과 유사한 범위의 도핑 농도를 가질 수 있다. 예를 들어, 제2 완화 영역(132)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.
- [0097] 제1 완화 영역(131) 및 제2 완화 영역(132)이 이용되는 경우, 기관 영역(111)에 균일한 바이어스 전압이 인가될 수 있다. 복수 개의 단일 광자 검출 소자들(8)이 서로 인접하게 배치되는 경우, 제1 완화 영역(131) 및 제2 완화 영역(132)에 의해 인접한 단일 광자 검출 소자들(8) 사이의 크로스토크(crosstalk)가 방지될 수 있다.
- [0099] 도 11은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 9를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0100] 도 11을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(9)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(9)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 9를 참조하여 설명된 것과 달리, 단일 광자 검출 소자(9)는 가드링(141)을 더 포함할 수 있다.
- [0101] 가드링(141)은 제1 웰(113)의 측면 상에 제공될 수 있다. 가드링(141)은 고농도 도핑 영역(112)의 모퉁이에 전계가 집중되는 것을 완화하여, 조기항복현상을 방지할 수 있다. 조기항복현상은 메인 공핍 영역(21)에 충분한 크기의 전기장이 인가되기 전에 고농도 도핑 영역(112)의 모퉁이에서 먼저 항복현상이 발생하는 것으로, 고농도 도핑 영역(112)의 모퉁이에 전계가 집중됨에 따라 발생한다. 가드링(141)은 단일 광자 검출 소자(9)의 항복 특성을 개선할 수 있다. 제1 면(101) 상에서 가드링(141)은 제1 웰(113)을 둘러쌀 수 있다. 예를 들어, 가드링(141)은 제1 웰(113)의 측면을 따라 연장하는 고리 형상을 가질 수 있다. 가드링(141)은 제1 웰(113)에 직접 접할 수 있다. 가드링(141)은 제1 콘택 영역(121) 및 제1 완화 영역(131)으로부터 이격될 수 있다. 다만, 이는 예시적인 것이다. 다른 예에서, 가드링(141)은 제1 콘택 영역(121) 및 제1 완화 영역(131)에 직접 접할 수 있다. 가드링(141)은 제2 도전형을 가질 수 있다. 가드링(141)의 도핑 농도는 고농도 도핑 영역(112)의 도핑 농도보다 낮을 수 있다. 예를 들어, 가드링(141)의 도핑 농도는 약 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다.
- [0102] 가드링(141)과 제1 완화 영역(131) 사이의 영역 및 가드링(141)과 제1 콘택 영역(121) 사이의 영역으로 기관 영역(111)이 연장할 수 있다. 예를 들어, 가드링(141)과 제1 완화 영역(131) 사이의 영역 및 가드링(141)과 제1 콘택 영역(121) 사이의 영역은 기관 영역(111)으로 채워질 수 있다.
- [0104] 도 12는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 10을 참조하여 설명된 것 및 도 11을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0105] 도 12를 참조하면, 단일 광자 검출 소자(10)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(10)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 10을 참조하여 설명된 것과 달리, 단일 광자 검출 소자(10)는 가드링(141)을 더 포함할 수 있다. 가드링(141)은 도 11을 참조하여 설명된 가드링(141)과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0107] 도 13은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0108] 도 13을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(11)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(11)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 5를 참조하여 설명된 것과 달리, 기관 영역(111)의 도핑 농도는 제1 면(101)에 가까울수록 낮아지는 구배를 가질 수 있다.

- [0109] 제1 도전형 영역(115)은 기판 영역(111)과 연결층(200) 사이에 제공될 수 있다. 제1 도전형 영역(115)이 제1 완화 영역(131)과 제1 웰(113) 사이 및 제1 콘택 영역(121)과 제1 웰(113) 사이에 제공되는 것으로 도시되어 있으나, 이는 예시적인 것이다. 제1 도전형 영역(115)은 제2 도전형을 가질 수 있다. 제1 도전형 영역(115)은 균일한 도핑 농도를 갖거나, 제1 면(101)에 가까울수록 커지는 도핑 농도를 가질 수 있다. 제1 도전형 영역(115)의 도핑 농도는 제1 웰(113)의 도핑 농도보다 작을 수 있다.
- [0111] 도 14는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 8을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0112] 도 14를 참조하면, 단일 광자 검출 소자(12)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(12)는 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 도 8를 참조하여 설명된 것과 달리, 고농도 도핑 영역(112)은 제1 웰(113)의 도전형과 동일한 제2 도전형을 가질 수 있다. 제1 도전 라인(221)은 고농도 도핑 영역(112)에 전기적으로 연결될 수 있다. 제2 콘택 영역(122)은 제공되지 않을 수 있다.
- [0114] 도 15는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0115] 도 15를 참조하면, 단일 광자 검출 소자(13)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(13)는 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 플라즈모닉 나노 패턴들(410), 및 중간층(500)을 포함할 수 있다. 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 각각 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0116] 중간층(500)은 기판(100)과 플라즈모닉 나노 패턴들(410) 사이에 제공될 수 있다. 중간층(500)은 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 기판(100) 사이의 전하 주입 특성을 향상시킬 수 있다. 일 예에서, 중간층(500)은 광전하가 플라즈모닉 나노 패턴들(410)로부터 기판(100)으로 터널링할 수 있도록 수 nm 두께를 갖는 절연층을 포함할 수 있다. 일 예에서, 중간층(500)은 광전하가 플라즈모닉 나노 패턴들(410)로부터 기판(100)에 주입되는 효율을 증가시키도록 이차원물질막 및/또는 산화물박막을 포함할 수 있다. 일 예에서, 중간층(500)은 광학적 측면에서 흡광 효과를 개선 또는 변조하기 위한 막을 포함할 수 있다.
- [0118] 도 16은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0119] 도 16을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(14)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(14)는 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 포함할 수 있다. 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 각각 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0120] 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 전극으로 이용될 수 있다. 예를 들어, 회로(310)는 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 전기적인 연결 경로(EP)에 의해 전기적으로 연결되어, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에 전압을 인가할 수 있다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에 인가되는 전압은 필요에 따라 결정될 수 있다. 일 예에서, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에 인가되는 전압의 크기는 콘택 영역(120)에 인가되는 전압의 크기와 다를 수 있다. 다른 예에서, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에 인가되는 전압의 크기는 콘택 영역(120)에 인가되는 전압의 크기와 실질적으로 동일할 수 있다. 전기적인 연결 경로(EP)는 필요에 따라 구성될 수 있다. 하나의 플라즈모닉 나노 패턴(410)이 회로(310)와 전기적으로 연결된 것으로 도시되었으나, 이는 예시적인 것이다. 다른 예에서, 둘 이상의 플라즈모닉 나노 패턴들(410)이 회로(310)와 전기적으로 연결될 수 있다.
- [0121] 플라즈모닉 나노 패턴들(410) 및 콘택 영역(120)을 통해 기판 영역(111)에 전압이 인가되고, 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 기판(100) 사이의 쇼트키 정션의 전기적 주입 특성이 조절될 수 있다.
- [0122] 다른 예에서, 도 16에 도시된 것과 달리, 단일 광자 검출 소자(14)는 콘택 영역(120) 및 제2 도전 라인(222)을 포함하지 않을 수 있다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 기판(100) 사이의 쇼트키 정션의 전기적 주입 특성을 조절하기 위한 전압은 콘택 영역(120)을 통해 기판 영역(111)에 인가될 수 있다.
- [0124] 도 17은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 1의 A-A'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 16을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0125] 도 17을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(15)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(15)는 기판(100), 연결층(200), 제어층(300), 플라즈모닉 나노 패턴들(410), 및 추가층(430)을 포함할 수 있다. 기판(100), 연결층

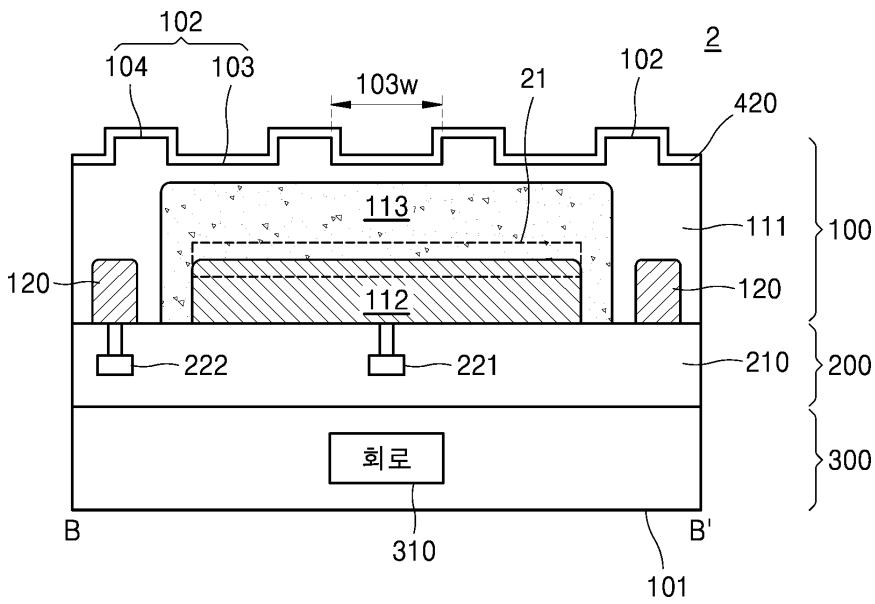
(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 각각 도 16을 참조하여 설명된 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 패턴들(410)과 실질적으로 동일할 수 있다. 추가층(430)은 플라즈모닉 나노 패턴들(410) 상에 제공될 수 있다. 플라즈모닉 나노 패턴들(410)은 추가층(430)과 기관(100) 사이에 배치될 수 있다.

- [0126] 일 예에서, 추가층(430)은 투명 전극(예를 들어, ITO)을 포함할 수 있다. 투명 전극에 의해 플라즈모닉 나노 패턴들(410)을 서로 전기적으로 연결될 수 있다. 이에 따라, 회로(310)와 전기적으로 연결된 어느 하나의 플라즈모닉 나노 패턴(410)에 전압이 인가되는 경우, 다른 플라즈모닉 나노 패턴들(410)에도 전압이 인가될 수 있다.
- [0127] 다른 예에서, 추가층(430)은 플라즈모닉 나노 패턴들(410)의 흡광 특성을 개선 또는 변조하기 위한 층일 수 있다.
- [0129] 도 18은 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 3의 B-B'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0130] 도 18을 참조하면, 단일 광자 검출 소자(16)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(16)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 층(420)을 포함할 수 있다. 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 층(420)은 각각 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 층(420)과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0131] 플라즈모닉 나노 층(420)은 전극으로 이용될 수 있다. 예를 들어, 회로(310)는 플라즈모닉 나노 층(420)과 전기적인 연결 경로(EP)에 의해 전기적으로 연결되어, 플라즈모닉 나노 층(420)에 전압을 인가할 수 있다. 플라즈모닉 나노 층(420)에 인가되는 전압은 필요에 따라 결정될 수 있다. 일 예에서, 플라즈모닉 나노 층(420)에 인가되는 전압의 크기는 콘택 영역(120)에 인가되는 전압의 크기와 다를 수 있다. 다른 예에서, 플라즈모닉 나노 층(420)에 인가되는 전압의 크기는 콘택 영역(120)에 인가되는 전압의 크기와 실질적으로 동일할 수 있다. 전기적인 연결 경로(EP)는 필요에 따라 구성될 수 있다. 플라즈모닉 나노 층(420) 및 콘택 영역(120)을 통해 기관 영역(111)에 전압이 인가되고, 플라즈모닉 나노 층(420)과 기관(100) 사이의 쇼트키 정션의 전기적 주입 특성이 조절될 수 있다.
- [0132] 다른 예에서, 도 18에 도시된 것과 달리, 단일 광자 검출 소자(16)는 콘택 영역(120) 및 제2 도전 라인(222)을 포함하지 않을 수 있다. 플라즈모닉 나노 층(420)과 기관(100) 사이의 쇼트키 정션의 전기적 주입 특성을 조절하기 위한 전압은 콘택 영역(120)을 통해 기관 영역(111)에 인가될 수 있다.
- [0134] 도 19는 예시적인 실시예에 따른 단일 광자 검출 소자의 도 3의 B-B'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 18을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [0135] 도 19를 참조하면, 단일 광자 검출 소자(17)가 제공될 수 있다. 단일 광자 검출 소자(17)는 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 플라즈모닉 나노 층(420), 및 추가층(430)을 포함할 수 있다. 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 층(420)은 각각 도 18을 참조하여 설명된 기관(100), 연결층(200), 제어층(300), 및 플라즈모닉 나노 층(420)과 실질적으로 동일할 수 있다. 추가층(430)은 플라즈모닉 나노 층(420) 상에 제공될 수 있다. 플라즈모닉 나노 층(420)은 추가층(430)과 기관(100) 사이에 배치될 수 있다.
- [0136] 일 예에서, 추가층(430)은 투명 전극(예를 들어, ITO)을 포함할 수 있다. 다른 예에서, 추가층(430)은 플라즈모닉 나노 층(420)의 흡광 특성을 개선 또는 변조하기 위한 층일 수 있다.
- [0138] 도 20은 예시적인 실시예에 따른 전자 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0139] 도 20을 참조하면, 전자 장치(1000)가 제공될 수 있다. 전자 장치(1000)는 피사체(미도시)를 향해 광을 조사하고, 피사체에 의해 반사되어 전자 장치(1000)로 돌아오는 광을 감지할 수 있다. 전자 장치(1000)는 빔 스티어링 장치(1010)를 포함할 수 있다. 빔 스티어링 장치(1010)는 전자 장치(1000) 외부로 방출되는 광의 조사 방향을 조절할 수 있다. 빔 스티어링 장치(1010)는 기계식 또는 비기계식(반도체식) 빔 스티어링 장치일 수 있다. 전자 장치(1000)는 빔 스티어링 장치(1010) 내에 광원부를 포함하거나, 빔 스티어링 장치(1010)와 별도로 구비된 광원부를 포함할 수 있다. 빔 스티어링 장치(1010)는 스캐닝(scanning) 방식의 광 방출 장치일 수 있다. 다만, 전자 장치(1000)의 광 방출 장치는 빔 스티어링 장치(1010)에 한정되는 것은 아니다. 다른 예에서, 전자 장치(1000)는 빔 스티어링 장치(1010) 대신 또는 빔 스티어링 장치(1010)와 함께 플래시(flash) 방식의 광 방출 장치를 포함할 수 있다. 플래시 방식의 광 방출 장치는 스캐닝 과정없이 시야각(field of view)을 모두 포함하는 영역에 한 번에 광을 조사할 수 있다.

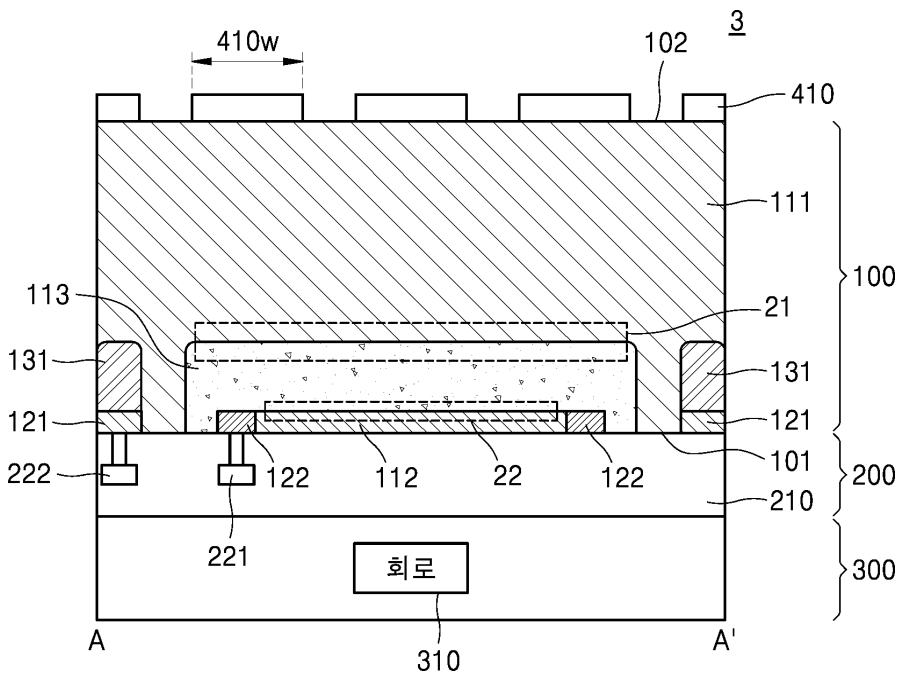
도면3



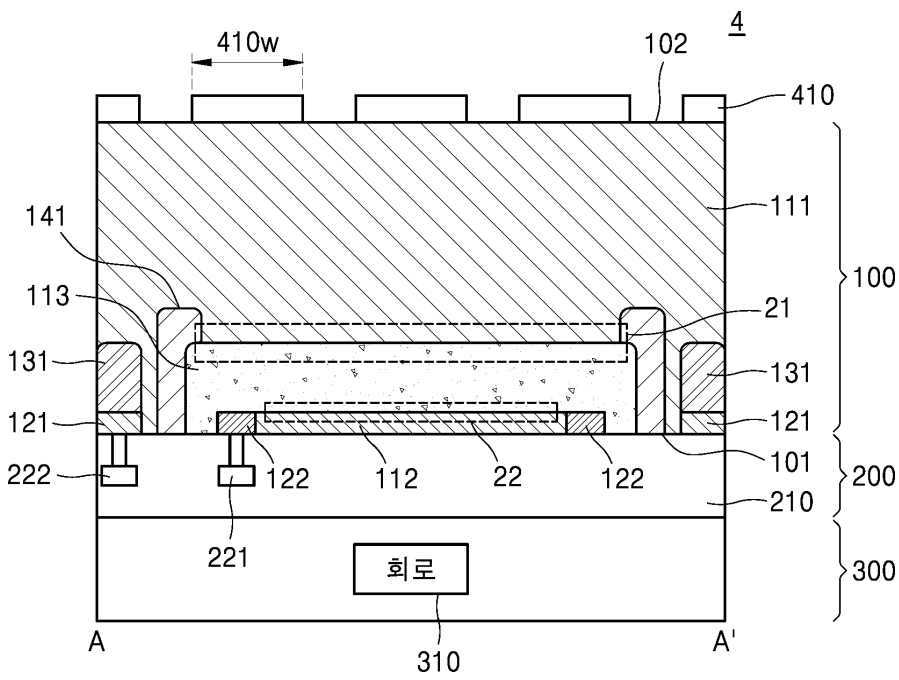
도면4



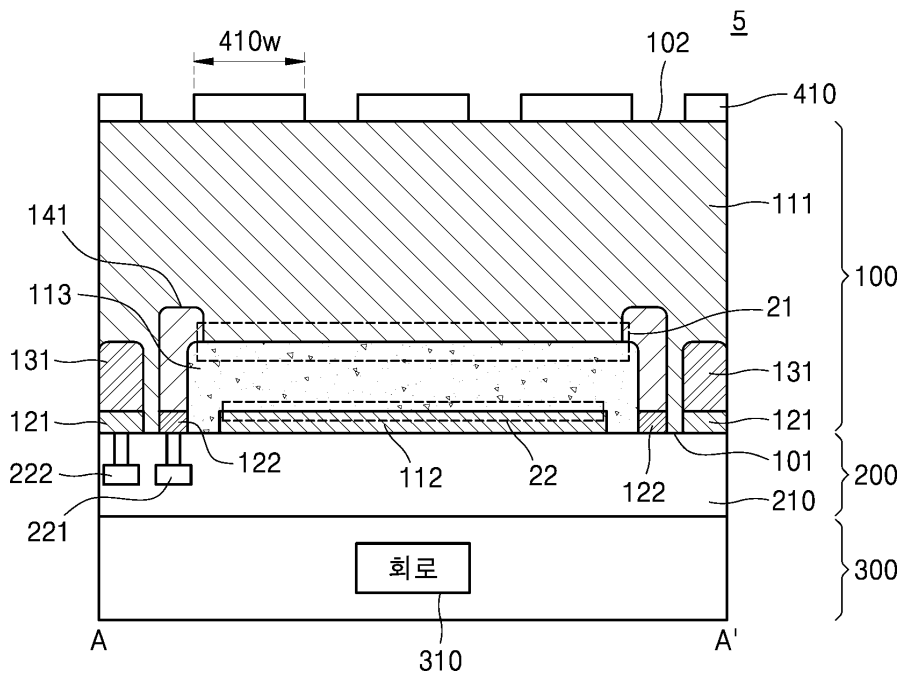
도면5



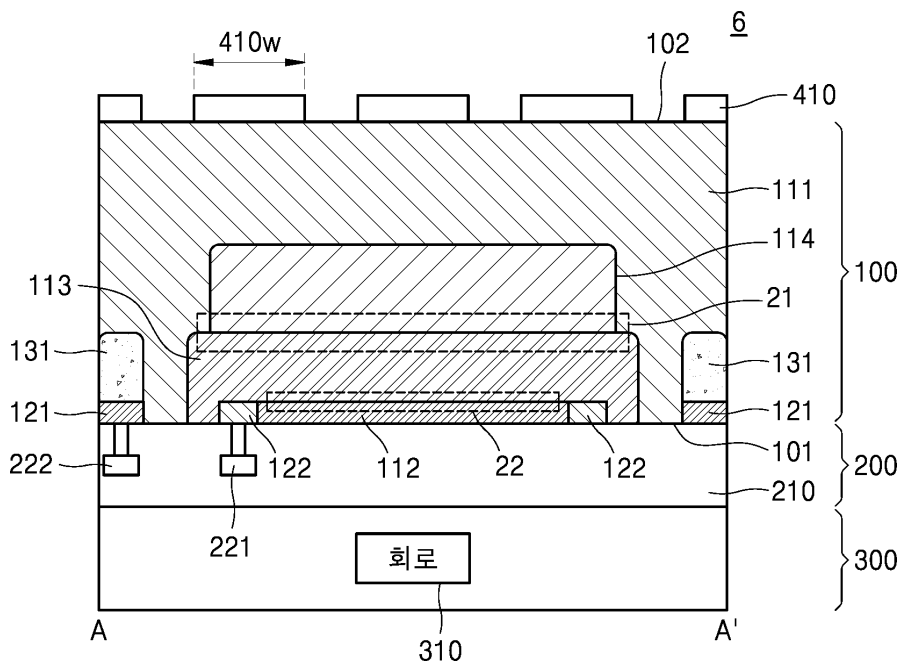
도면6



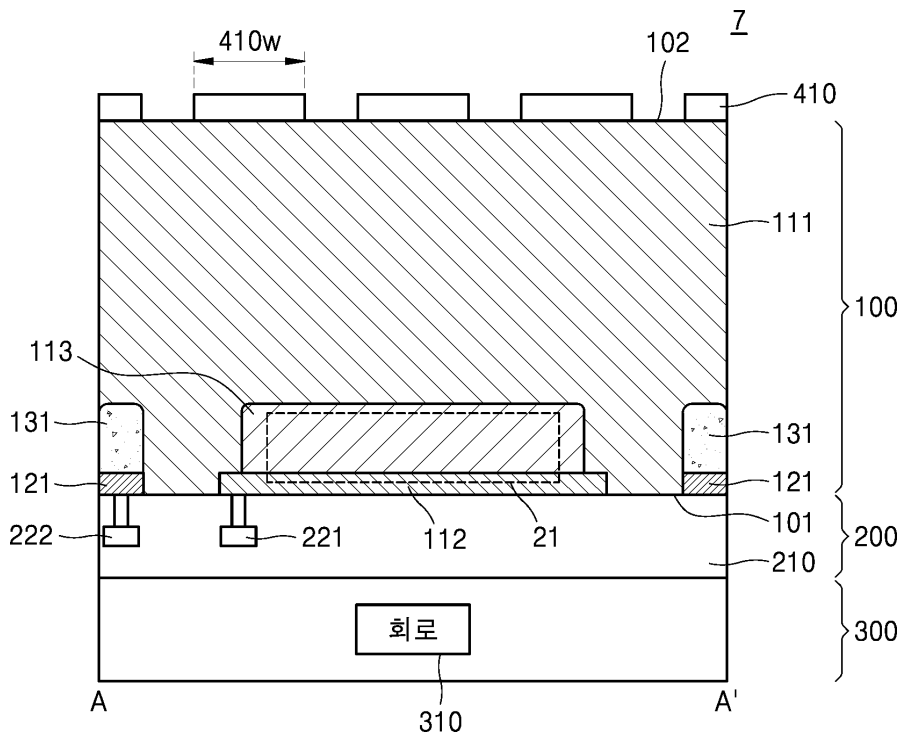
도면7



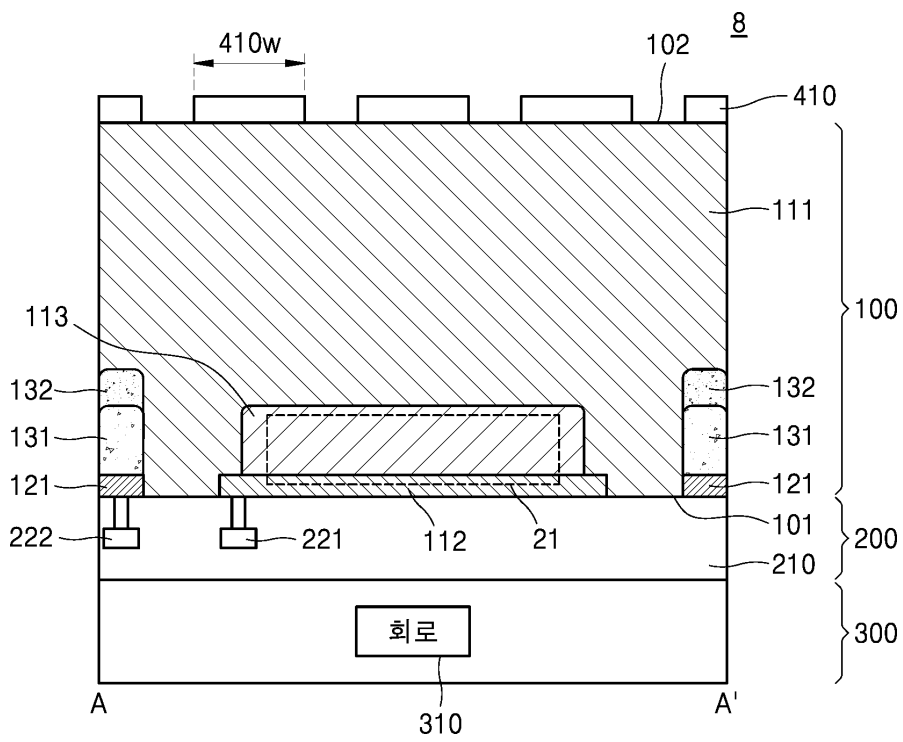
도면8



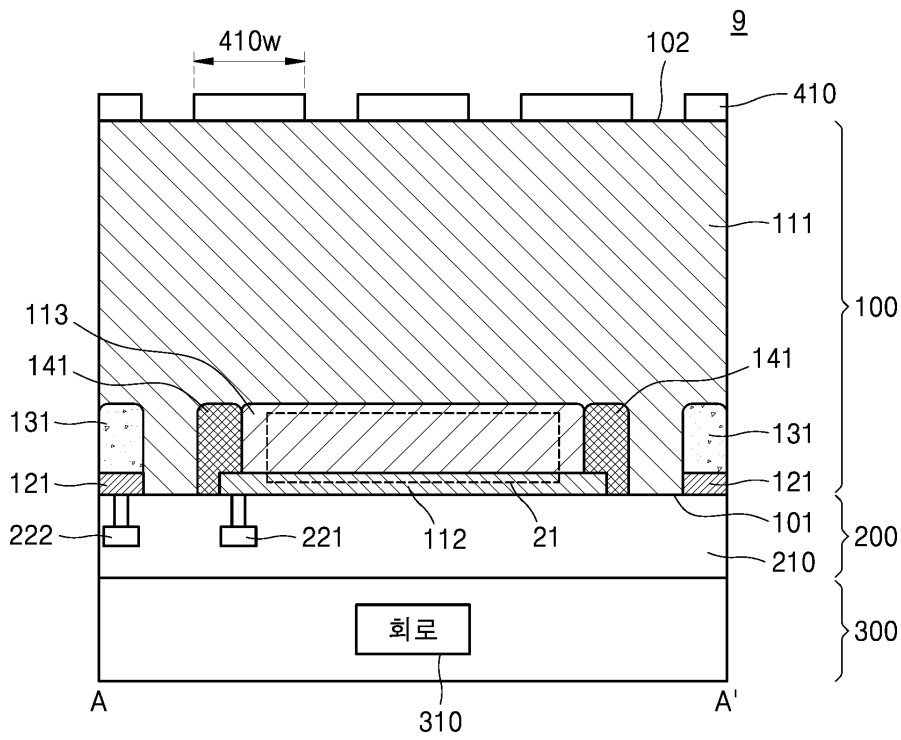
도면9



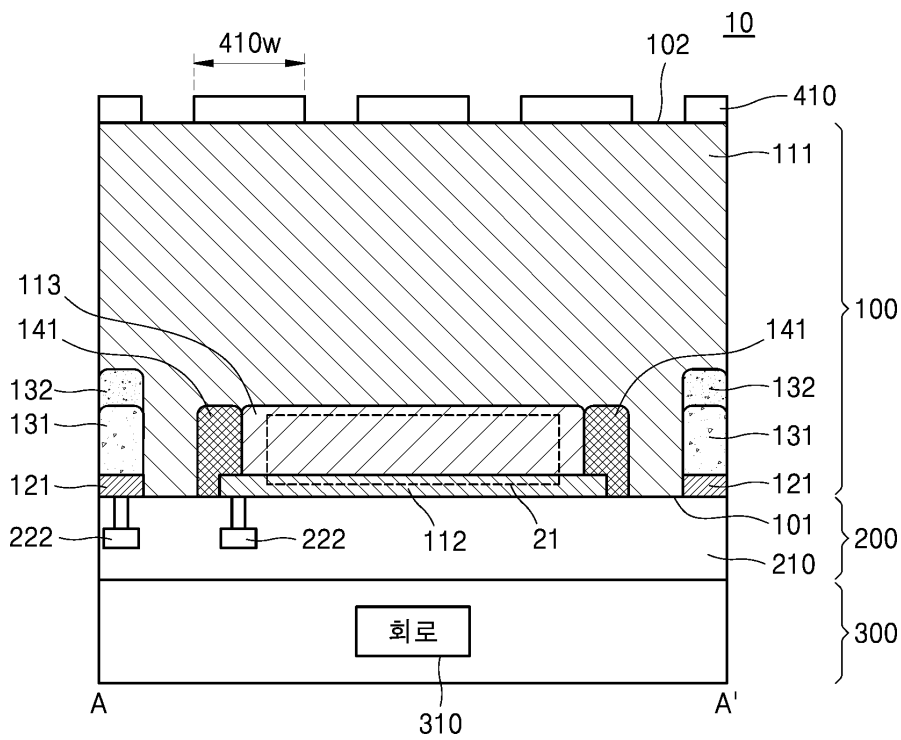
도면10



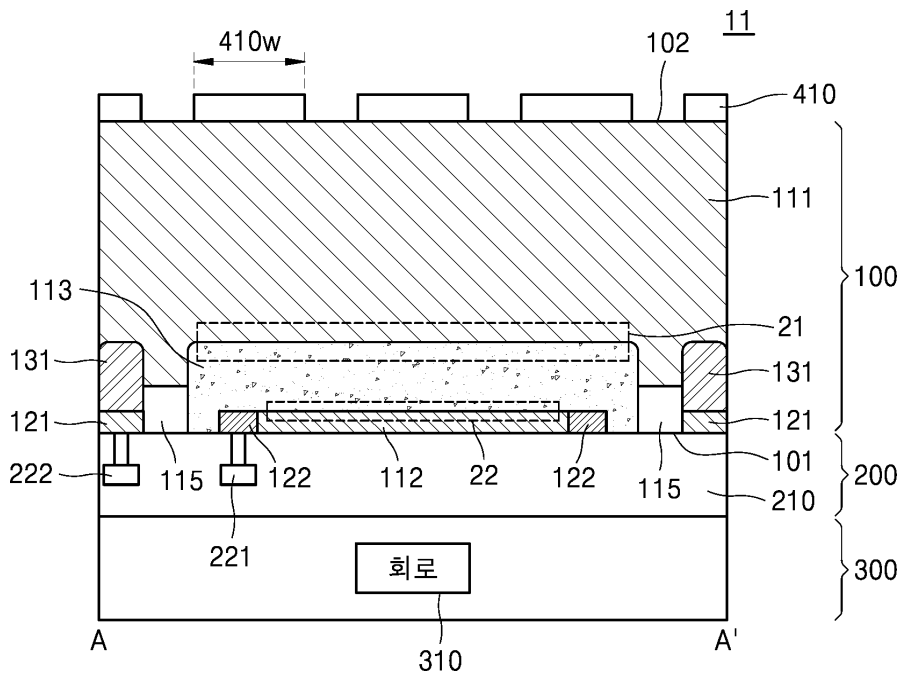
도면11



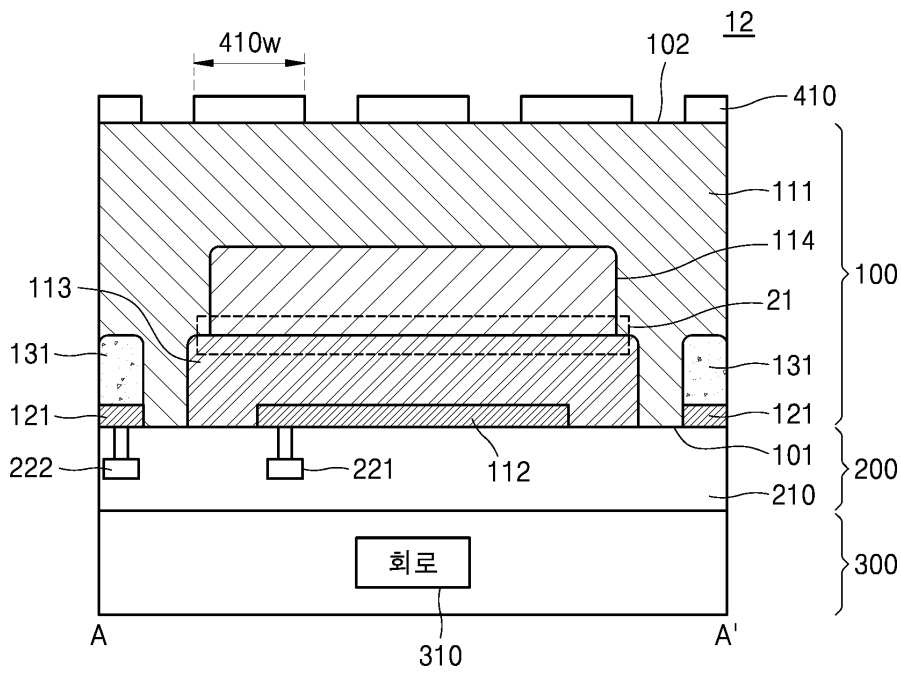
도면12



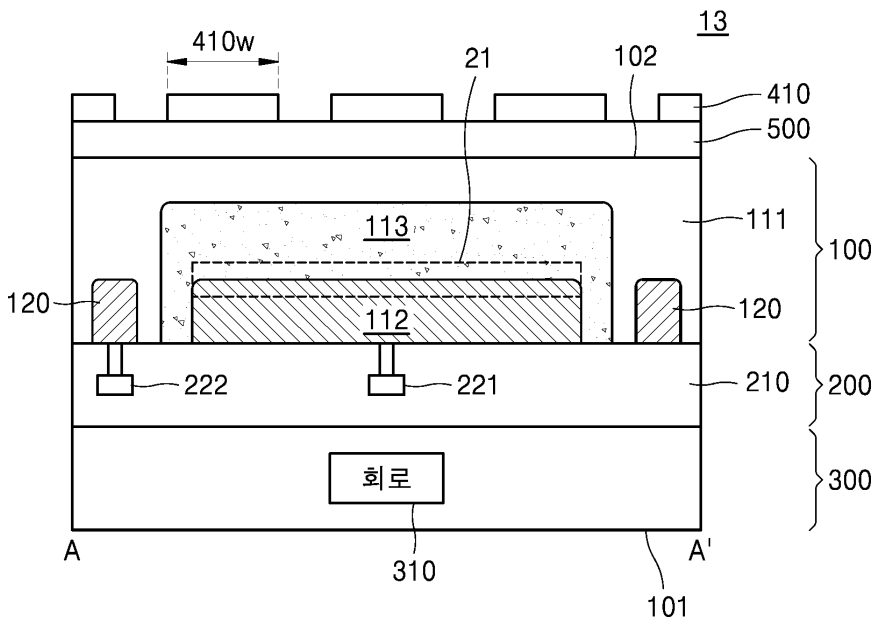
도면13



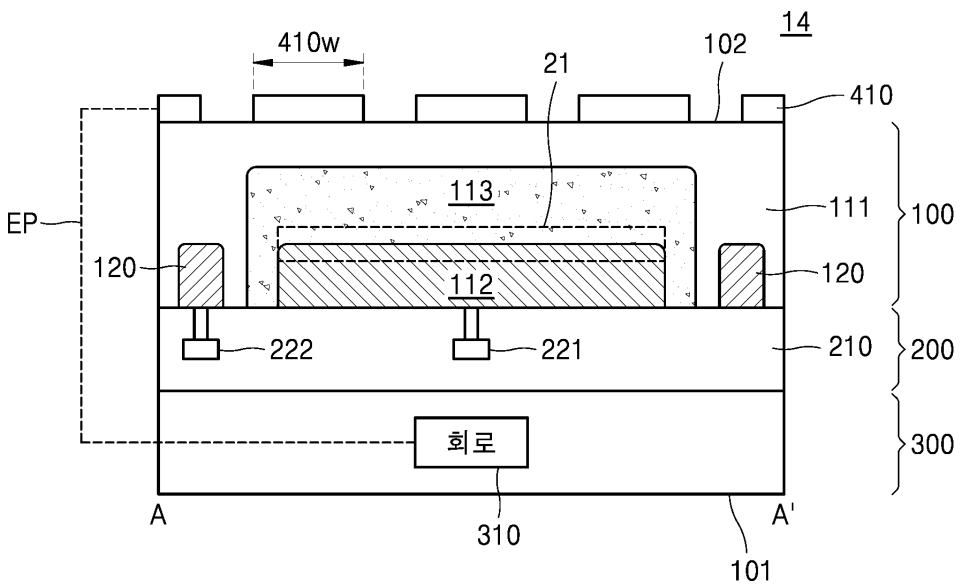
도면14



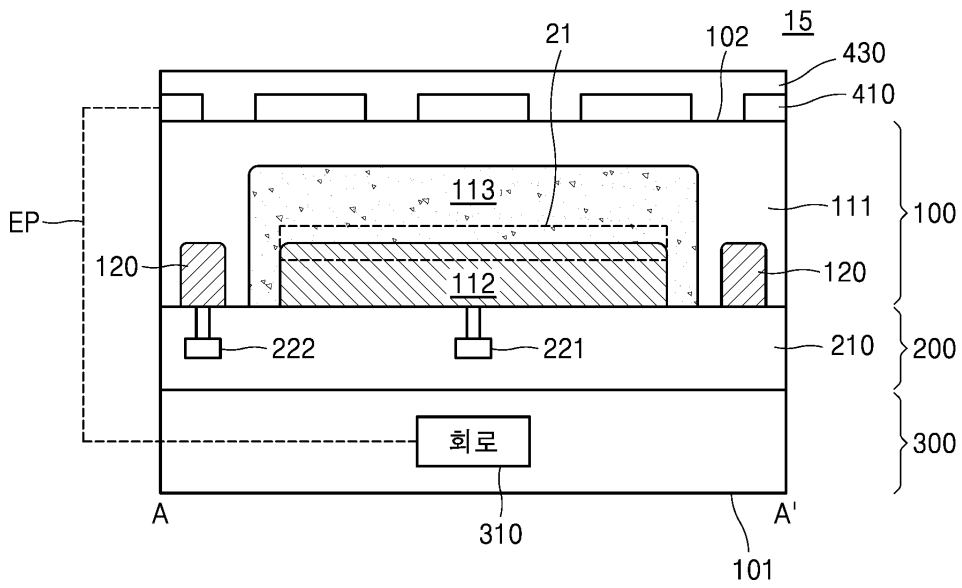
도면15



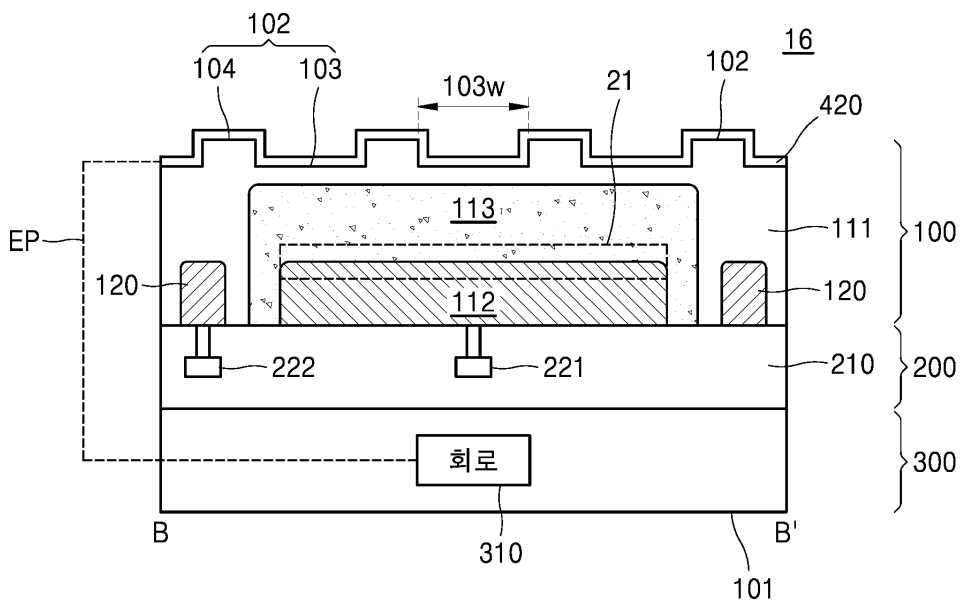
도면16



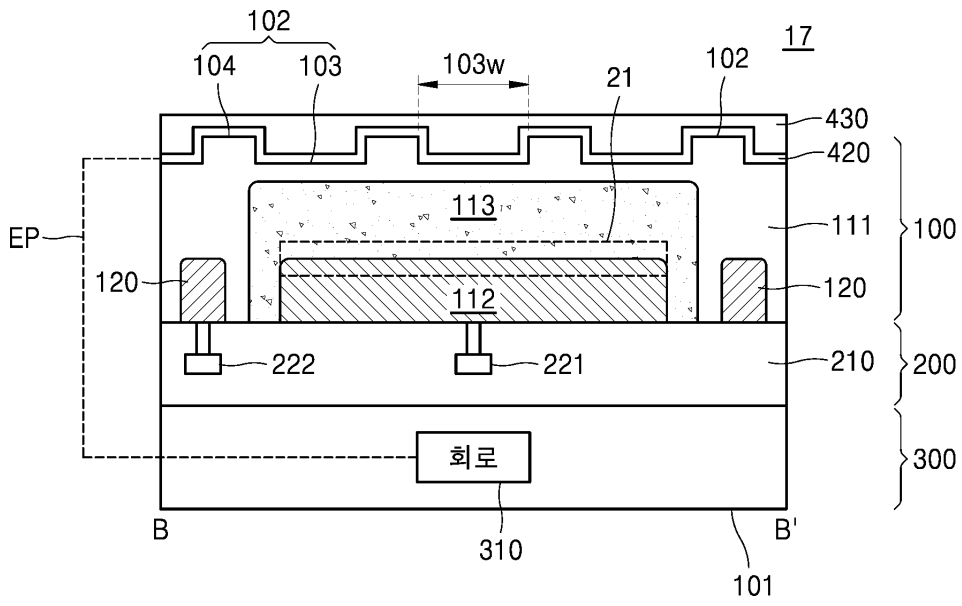
도면17



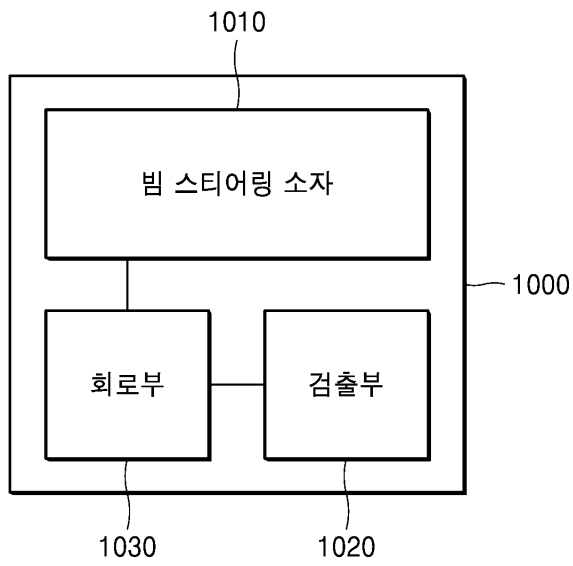
도면18



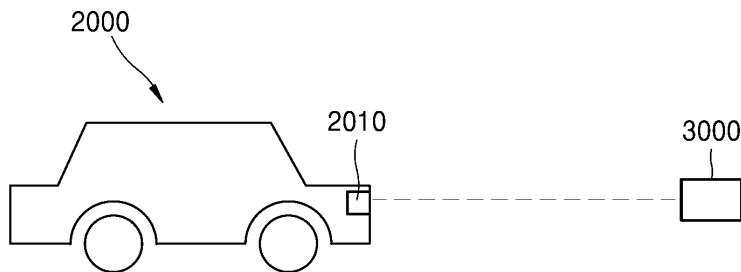
도면19



도면20



도면21



도면22

