



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년12월16일

(11) 등록번호 10-2743737

(24) 등록일자 2024년12월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 1/02 (2006.01) **G01J 1/08** (2006.01)
G01J 1/44 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01J 1/0295 (2013.01)
G01J 1/0252 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-7024912
(22) 출원일자(국제) 2017년01월30일
심사청구일자 2022년01월28일
(85) 번역문제출일자 2018년08월29일
(65) 공개번호 10-2019-0016482
(43) 공개일자 2019년02월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/015683
(87) 국제공개번호 WO 2017/132691
국제공개일자 2017년08월03일
(30) 우선권주장
62/289,004 2016년01월29일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20080218612 A1
US20150316473 A1

(73) 특허권자
아우스터, 인크.
미국 94110 캘리포니아주 샌 프란시스코 트리트
애비뉴 350
(72) 발명자
파칼라, 안구스
미국 94107 캘리포니아주 샌프란시스코 클라라 스트리트 268
프릭틀, 마크
미국 94107 캘리포니아주 샌프란시스코 클라라 스트리트 268
(74) 대리인
백만기, 양영준, 김연송

전체 청구항 수 : 총 24 항

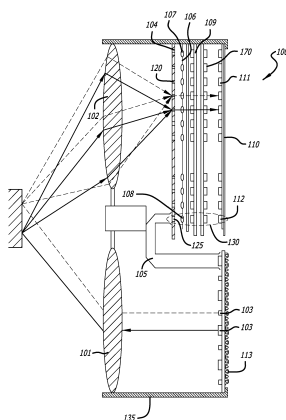
심사관 : 신동혁

(54) 발명의 명칭 광학 거리 센서를 캘리브레이션하기 위한 시스템들 및 방법들

(57) 요약

애퍼처 층, 렌즈 층, 광학 필터, 픽셀 층 및 레귤레이터를 포함하는 캘리브레이션 시스템이 제공된다. 애퍼처 층은 캘리브레이션 애퍼처를 정의한다. 렌즈 층은 캘리브레이션 애퍼처와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 캘리브레이션 렌즈를 포함한다. 광학 필터는 애퍼처 층 맞은편에서 렌즈 층에 인접한다. 픽셀층은 렌즈 층 맞은편에서 광학 필터에 인접하고, 캘리브레이션 렌즈와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 캘리브레이션 픽셀을 포함한다. 캘리브레이션 픽셀은 파라미터의 함수로서 광의 과장 대역을 출력하는 조명 소스의 광 전력을 검출한다. 레귤레이터는 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광 전력에 기초하여 조명 소스의 파라미터를 변경한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01J 1/08 (2013.01)

G01J 1/44 (2013.01)

G01J 2001/086 (2013.01)

G01J 2001/442 (2013.01)

G01J 2001/444 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

광학 시스템으로서,

벌크 수신기 광학기, 복수의 감지 애퍼처들을 포함하는 애퍼처 층, 복수의 감지 렌즈들을 포함하는 렌즈 층 및 복수의 감지 픽셀들을 포함하는 픽셀 층을 포함하는 감지 회로

를 포함하고,

상기 애퍼처 층, 상기 렌즈 층 및 상기 픽셀 층은 복수의 감지 회로들을 형성하도록 배치되고, 상기 복수의 감지 회로들 중의 각각의 감지 회로는 상기 광학 시스템의 외부 필드에서 임계 거리를 넘는 개별적이고 중첩되지 않는 시계(field of view)를 정의하고, 상기 복수의 감지 애퍼처들 중의 감지 애퍼처, 상기 복수의 감지 렌즈들 중의 감지 렌즈 및 상기 복수의 감지 픽셀들 중의 감지 픽셀을 포함하는, 광학 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 각각의 감지 픽셀은 단일 샘플링 기간 내에서 상기 감지 픽셀에 입사하는 광자들의 카운트에 대응하는 신호 또는 신호들의 스트림을 출력하도록 구성되고,

상기 광학 시스템은 프로세서 및 컴퓨터 판독 가능 매체를 추가로 포함하고, 상기 프로세서는 상기 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 명령어들을 실행하여, 각각의 감지 픽셀에 대한 시계들의 알려진 포지션들과 함께 입사 광자 카운트들 및 광자 타이밍 정보를 상기 광학 시스템의 외부 필드의 가상 3차원 표현으로 변환하도록 구성되는, 광학 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 광학 시스템은 상기 광학 시스템의 외부 필드 내의 공간 또는 볼륨의 2차원 또는 3차원 거리 데이터를 수집하는 정적 이미지 센서로서 기능하도록 구성되는, 광학 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 광학 시스템은, 감지 애퍼처들의 열에 평행한 축을 중심으로 회전될 때, 상기 광학 시스템에 의해 점유되는 볼륨의 3차원 거리 데이터를 수집하는 이미지 센서로서 기능하도록 구성되는, 광학 시스템.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 각각의 감지 회로 내의 상기 감지 픽셀은 복수의 단일-광자 애벌란치 다이오드 검출기(single-photon avalanche diode detector)(SPAD)들을 포함하는, 광학 시스템.

청구항 6

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 시스템은 벌크 송신기 광학기 및 조명 소스를 포함하는 출력 회로를 추가로 포함하고,

상기 조명 소스는 복수의 이미터들을 포함하고, 상기 복수의 이미터들 중의 각각의 이미터는 동작 파장에서의 개별 조명 빔을 상기 벌크 송신기 광학기를 통해 상기 광학 시스템의 외부 필드로 투사시키도록 구성되고,

각각의 감지 회로는 상기 벌크 수신기 광학기와 상기 감지 픽셀 사이에 위치결정되는 광학 필터를 추가로 포함하고, 상기 광학 필터는 상기 동작 파장을 포함하는 광의 파장 대역을 통과시키면서 상기 대역 외부의 광을 차단시키도록 구성되는, 광학 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 조명 소스는 복수의 레이저들을 포함하는, 광학 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 복수의 레이저들은 단일 칩 상에 제조되고, 온도의 함수로서 동일한 출력 파장 특성들을 나타내는, 광학 시스템.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 복수의 레이저들은 감지 애퍼처 피치 거리와 동일한 이미터 피치 거리에 의해 특징지어지는 어레이로 배치되는, 광학 시스템.

청구항 10

제6항에 있어서, 상기 조명 소스는 광학 이미터들의 모놀리식 수직 캐비티 표면 발광 레이저(vertical cavity surface emitting laser)(VCSEL) 어레이를 포함하는, 광학 시스템.

청구항 11

제6항에 있어서, 상기 벌크 수신기 광학기 및 상기 벌크 송신기 광학기는 평면 내에서 서로로부터 측 방향으로(laterally) 오프셋되어 배치되는, 광학 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 조명 소스에 열적으로 커플링된 온도 센서를 추가로 포함하는, 광학 시스템.

청구항 13

제6항에 있어서, 상기 조명 소스에 동작 가능하게 커플링되고, 상기 조명 소스의 온도를 변경하도록 구성된 온도 레귤레이터를 추가로 포함하는, 광학 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 감지 회로는 상기 애퍼처 층 중의 캘리브레이션 애퍼처, 상기 캘리브레이션 애퍼처와 정렬된 캘리브레이션 렌즈, 상기 캘리브레이션 렌즈와 정렬된 캘리브레이션 픽셀, 및 광학 필터를 포함하는 캘리브레이션 회로를 추가로 포함하고,

상기 조명 소스는 상기 광학 시스템의 전방 필드에 광의 제1 부분을 투사시키고, 상기 캘리브레이션 회로의 캘리브레이션 픽셀에 광의 제2 부분을 투사시키도록 구성되고,

상기 온도 레귤레이터는 상기 캘리브레이션 회로의 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광 전력에 기초하여 상기 복수의 이미터들의 온도를 변경하도록 구성되는, 광학 시스템.

청구항 15

거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템으로서,

벌크 송신기 광학기 및 조명 소스를 포함하는 출력 회로 - 상기 조명 소스는 복수의 레이저들을 포함하고, 상기 복수의 레이저들 중의 각각의 레이저는 동작 파장에서의 개별 조명 빔을 상기 벌크 송신기 광학기를 통해 상기 광학 시스템의 외부 필드로 투사시키도록 구성됨 -; 및

벌크 수신기 광학기, 복수의 감지 애퍼처들을 포함하는 애퍼처 층, 복수의 감지 렌즈들을 포함하는 렌즈 층, 복수의 감지 픽셀들을 포함하는 픽셀 층 및 상기 벌크 수신기 광학기와 상기 복수의 감지 픽셀들 사이에 위치결정되는 광학 필터 층을 포함하는 감지 회로 - 상기 광학 필터 층은 상기 동작 파장을 포함하는 광의 파장 대역을 통과시키면서 상기 대역 외부의 광을 차단하도록 구성됨 -

를 포함하고,

상기 애퍼처 층, 상기 렌즈 층, 상기 광학 필터 층 및 상기 픽셀 층은 복수의 감지 회로들을 형성하도록 배치되고, 상기 복수의 감지 회로들 중의 각각의 감지 회로는 상기 광학 시스템의 외부 필드에서 임계 거리를 넘는 개별적이고 중첩되지 않는 시계를 정의하고, 상기 복수의 감지 애퍼처들 중의 감지 애퍼처, 상기 복수의 감지 렌

즈들 중의 감지 렌즈, 상기 광학 필터 층 중의 광학 필터 및 상기 복수의 감지 픽셀들 중의 감지 픽셀을 포함하는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 조명 소스에 동작 가능하게 커플링되고, 상기 조명 소스의 온도를 변경하도록 구성된 온도 레귤레이터를 추가로 포함하는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 감지 회로는 상기 애퍼처 층 중의 캘리브레이션 애퍼처, 상기 캘리브레이션 애퍼처와 정렬된 캘리브레이션 렌즈, 상기 캘리브레이션 렌즈와 정렬된 캘리브레이션 픽셀, 및 상기 광학 필터 층 중의 광학 필터를 포함하는 캘리브레이션 회로를 추가로 포함하고,

상기 조명 소스는 상기 광학 시스템의 전방 필드에 광의 제1 부분을 투사시키고, 상기 캘리브레이션 회로의 캘리브레이션 픽셀에 광의 제2 부분을 투사시키도록 구성되고,

상기 온도 레귤레이터는 상기 캘리브레이션 회로의 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광 전력에 기초하여 상기 복수의 레이저들의 온도를 변경하도록 구성되는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 18

제15항에 있어서, 각각의 감지 픽셀은 단일 샘플링 기간 내에서 상기 감지 픽셀에 입사하는 광자들의 카운트에 대응하는 신호 또는 신호들의 스트림을 출력하도록 구성되고,

상기 광학 시스템은 프로세서 및 컴퓨터 판독 가능 매체를 추가로 포함하고, 상기 프로세서는 상기 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 명령어들을 실행하여, 각각의 감지 픽셀에 대한 시계들의 알려진 포지션들과 함께 입사 광자 카운트들 및 광자 타이밍 정보를 상기 광학 시스템의 외부 필드의 가상 3차원 표현으로 변환하도록 구성되는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 복수의 레이저들은 단일 칩 상에 제조되고, 온도의 함수로서 동일한 출력 파장 특성들을 나타내는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 20

제15항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 각각의 감지 회로 내의 상기 감지 픽셀은 복수의 단일-광자 애벌란시 다이오드 검출기(SPAD)들을 포함하고, 상기 조명 소스는 광학 이미터들의 모놀리식 수직 캐비티 표면 발광 레이저(VCSEL) 어레이를 포함하는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 21

거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템으로서,

벌크 수신기 광학기, 복수의 애퍼처들을 포함하는 애퍼처 층, 복수의 렌즈들을 포함하는 렌즈 층, 복수의 픽셀들을 포함하는 픽셀 층, 및 상기 벌크 수신기 광학기와 상기 픽셀 층 사이에 위치결정되는 광학 필터 층을 포함하는 감지 회로 - 상기 감지 회로는 복수의 감지 회로들 및 적어도 하나의 캘리브레이션 회로를 추가로 포함하고, 상기 복수의 감지 회로들 중의 각각의 감지 회로 및 상기 적어도 하나의 캘리브레이션 회로는 상기 복수의 애퍼처들 중의 애퍼처, 상기 복수의 렌즈들 중의 렌즈, 상기 광학 필터 층 중의 필터 및 상기 복수의 픽셀들 중의 픽셀을 포함함 -; 및

벌크 송신기 광학기 및 조명 소스를 포함하는 출력 회로 - 상기 조명 소스는, 온도의 함수로서 동작 파장에서 광을 출력하고, 상기 벌크 송신기 광학기를 통해 광의 제1 부분을 상기 광학 시스템의 전방 필드로 투사시키고, 상기 광의 제2 부분을 상기 적어도 하나의 캘리브레이션 회로의 픽셀로 투사시키도록 구성된 복수의 광학 이미터들을 포함함 -; 및

상기 캘리브레이션 회로의 픽셀에 의해 검출되는 광 전력에 기초하여 상기 복수의 광학 이미터들의 온도를 변경

하도록 구성된 온도 레귤레이터

를 포함하는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 온도 레귤레이터는 상기 조명 소스의 듀티 사이클을 변경하는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 23

제21항에 있어서, 상기 복수의 감지 회로들 중의 각각의 감지 회로에 대해, 상기 감지 회로 내의 렌즈는 상기 감지 회로 내의 애퍼처와 정렬되고, 상기 감지 회로 내의 픽셀은 상기 감지 회로 내의 렌즈와 정렬되고,

상기 복수의 감지 회로들 중의 각각의 감지 회로는 상기 광학 시스템의 외부 필드에서 임계 거리를 넘는 개별적이고 중첩되지 않는 시계를 정의하는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 24

제21항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조명 소스로부터 상기 적어도 하나의 캘리브레이션 회로의 픽셀로 연장되는 광학 바이패스를 추가로 포함하는, 거리 측정들을 수행하기 위한 광학 시스템.

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] <관련 출원들에 대한 상호 참조>

[0002] 본 출원은 2016년 1월 29일에 출원된 미국 가출원 제62/289,004호의 이익을 주장한다.

[0003] <기술 분야>

[0004] 본 개시내용은 일반적으로 광학 센서들 분야에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 광학 센서들 분야에서 광학 거리 센서를 캘리브레이트하기 위한 새롭고 유용한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

도면의 간단한 설명

[0005] 도 1은 본 명세서의 제1 실시예에 따른 시스템의 개략도이다.

도 2a는 본 명세서의 제2 실시예에 따른 개략도이다.

도 2b, 도 2c 및 도 2d는 본 명세서의 제2 실시예의 그래프도들이다.

도 3a 및 도 3b는 본 명세서의 제3 실시예에 따른 개략도들이다.

도 4는 본 명세서의 제4 실시예에 따른 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0006] 본 발명의 실시예들에 대한 다음의 설명은 본 발명을 이들 실시예들로 제한하려고 의도된 것이 아니라, 본 기술 분야의 통상의 기술자가 본 발명을 제작하고 사용할 수 있게 하기 위한 것이다. 본 명세서에서 설명되는 변형예들, 구성들, 구현들, 예시적인 구현들 및 예들은 임의적이며, 이들이 설명하는 변형예들, 구성들, 구현들, 예시적인 구현들 및 예들에 제한되지 않는다. 본 명세서에서 설명되는 발명은 이들 변형예들, 구성들, 구현들, 예시적인 구현들 및 예들에 대한 임의의 및 모든 치환들을 포함할 수 있다.

[0007] 1. 시스템

[0008] 도 1에 도시된 바와 같이, 일 실시예에서, (예를 들어, 광학 거리 센서를 캘리브레이션하기 위한) 캘리브레이션 시스템(100)은 발크 송신 광학기(101) 및 발크 수신 광학기(102)를 포함한다. 시스템(100)은 또한, 발크 송신 광학기 뒤에 오프셋되어 있고, 온도의 함수로서 광의 파장을 출력하도록 구성된 조명 소스(103); 발크 수신 광학기 뒤에 배치되고, 감지 애퍼처(120) 및 캘리브레이션 애퍼처(125)를 정의하는 애퍼처 층(104); 발크 송신 광학기 뒤에 있는 조명 소스로부터 캘리브레이션 애퍼처로 연장되는 광학 바이패스(105); 발크 수신 광학기 맞은편에서 애퍼처 층에 인접한 렌즈 층(106) - 렌즈 층(106)은 감지 애퍼처와 실질적으로 축 방향으로(axially)으로 정렬된 감지 렌즈(107)를 포함하고, 캘리브레이션 애퍼처와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 캘리브레이션 렌즈(108)를 포함함 -; 애퍼처 층 맞은편에서 렌즈 층에 인접한 광학 필터(109); 렌즈 층 맞은편에서 광학 필터에 인접한 픽셀 층(110) - 픽셀 층(110)은 감지 렌즈와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 감지 픽셀(111)을 포함하고, 캘리브레이션 렌즈와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 캘리브레이션 픽셀(112)을 포함함 -; 및 조명 소스에 커플링되고, 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광 전력에 기초하여 조명 소스의 온도를 변경하도록 구성된 온도 레귤레이터(113)를 포함한다. 도 1의 실시예에서, 시스템(100)은 또한 광 검출기들 상으로 광을 가이드하도록 구성된 확산기(170)를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 확산기는 광을 광 검출기들 상에 수렴시키도록 배치된 임의의 수렴 렌즈 층에 포함될 수 있다. 수렴 렌즈 층은 광학 필터와 광 검출기 사이에 배치될 수 있다. 수렴 렌즈 층은 또한 마이크로 렌즈, 복수의 마이크로 렌즈들, 확산기 또는 광 검출기들 상으로 광을 가이드할 수 있는 임의의 다른 엘리먼트를 포함할 수 있다. 또한, 도 1의 실시예에서, 시스템(100)은 하우징(135)에 수용될 수 있다. 상기 실시예에서는 다양한 층들이 다른 층에 인접한 것으로 설명되었지만, 더 적거나 추가적인 층들이 포함될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 임의의 2개의 층 사이에 추가적인 애퍼처 층들이 포함될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0009] 도 3a에 도시된 바와 같이, 시스템(300)은 시스템(100)의 변형예의 실시예로서, 시스템(300)은 발크 송신 광학기(301); 발크 수신 광학기(302); 발크 송신 광학기 뒤에 오프셋되어 있고, 온도의 함수로서 광의 파장을 출력하도록 구성된 조명 소스; 제1 캘리브레이션 애퍼처 및 제2 캘리브레이션 애퍼처를 정의하는 애퍼처 층(304); 발크 송신 광학기 뒤에 있는 조명 소스로부터 제1 캘리브레이션 애퍼처 및 제2 캘리브레이션 애퍼처로 연장되는 광학 바이패스(305); 광학 바이패스 맞은편에서 애퍼처 층에 인접한 렌즈 층(306) - 렌즈 층(306)은 제1 캘리브레이션 애퍼처와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 제1 캘리브레이션 렌즈를 포함하고, 제2 캘리브레이션 애퍼처로부터 축 방향으로 오프셋되어 있는 제2 캘리브레이션 렌즈를 포함함 -; 애퍼처 층 맞은편에서 렌즈 층에 인접한 광학 필터(309); 렌즈 층 맞은편에서 광학 필터에 인접한 픽셀 층 - 픽셀 층은 제1 캘리브레이션 렌즈와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 제1 캘리브레이션 픽셀을 포함하고, 제2 애퍼처 및 제2 캘리브레이션 렌즈를 통해 연장되는 광선과 정렬된 제2 캘리브레이션 픽셀을 포함함 -; 및 조명 소스에 커플링되고, 제1 캘리브레이션 픽셀 및 제2 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광 전력에 기초하여 조명 소스의 온도를 변경하도록 구성된 온도 레귤레이터(313)를 포함할 수 있다. 시스템(300)은 또한 조명 소스(303)에 더하여 제2 조명 소스(350)를 포함할 수 있다.

[0010] 2. 애플리케이션들

[0011] 일 실시예에서, 시스템(100)은, 감지 애퍼처들의 열에 평행한 축을 중심으로 회전될 때, 시스템(100)에 의해 점유되는 볼륨의 3차원 거리 데이터를 수집하는 이미지 센서로서 기능한다. 유사하게, 시스템(100)은, 시스템(100)의 시계(field of view) 내의 공간 또는 볼륨의 2차원 또는 3차원 거리 데이터를 수집하는 정적 이미지 센서로서 기능할 수 있다. 일반적으로, 시스템(100)은 볼륨을 스캔하여 3차원 거리 데이터를 수집할 수 있고, 3차원 거리 데이터는 그 후 예를 들어, 조명 소스로부터의 조명 빔의 송신과 감지 픽셀 상에 입사되는 - 조명 소스로부터 발생했을 가능성이 있는 - 광자들의 검출 사이에 기록된 시간들에 기초하여, 위상-기반 측정 기술들에 기초하여, 또는 다른 거리 측정 기술에 기초하여, 볼륨의 가상 3차원 표현으로 재구성될 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 시스템(100)은 조명 소스, 캘리브레이션 회로(130) 및 감지 회로를 포함한다. 감지 회로는 대응하는 감지 픽셀에 광의 상대적으로 좁은 파장 대역(예를 들어, 단일 타겟 파장 ± 0.25 나노미터)만을 통과시키도록 협력하는 감지 애퍼처, 감지 렌즈 및 광학 필터를 포함한다. 감지 회로는 상대적으로 좁은 파장 대역에서만 광을 검출하도록 구성되기 때문에, 시스템(100)은 이 상대적으로 좁은 파장 대역 내에서 광을 출력하도록 조명 소스를 튜닝할 수 있다. 조명 소스는 파장을 중심으로 하는 분포 패턴으로 광의 좁은 파장 대역을 출력할 수 있다. 광원의 중심 주파수는 조명 소스의 온도(선호 모드)를 변화시킴으로써 변동될 수 있지만, 대안적으로는 소스의 듀티 사이클을 변화시킴으로써, 피에조 효과(piezo effect)를 사용함으로써 또는 임의의 다른 사용 가능한 수단에 의해 수행될 수 있다. 캘리브레이션 회로는 조명 소스에 의해 출력되는 광의 중심 파장을

관리하기 위해 - 조명 소스에 열적으로 커플링된 - 레귤레이터에 의해 소스 온도를 능동적으로 제어할 수 있다. 특히, 캘리브레이션 회로는 시스템(100)과 같은 임의의 수신기 시스템의 에너지 효율(즉, 감지 회로에 의해 판독되는 광 대 조명 소스에 의해 출력되는 광의 비)을 실질적으로 최대화시키기 위해 조명 소스에 의해 출력되는 광의 중심 파장을 감지 회로에 의해 통과되고 검출되는 중심 파장에 매치시킬 수 있다.

[0013] 감지 회로 내의 광학 필터는 입사광의 함수로서 광을 통과 및 제거(reject)시킬 수 있으나, 제조 결함(manufacturing defect)들이 애퍼처 층과 렌즈 층 사이에 측 방향(lateral) 및/또는 길이 방향(longitudinal) 오프셋을 생성하여, 감지 애퍼처와 감지 렌즈가 측 방향으로 정렬되지 않게 하고, 감지 렌즈로부터의 광 출력이 광학 필터에 수직이 아닌 각도로 광학 필터에 도달하게 할 수 있다. 따라서, 제조 동안의 애퍼처 층과 렌즈 층 사이의 오정렬로 인해, 도 2b에 도시된 바와 같이, 광학 필터가 통과시키도록 구성되는 공칭 파장(즉, 90°로 광학 필터 상에 입사되는 광에 대해 광학 필터가 통과시키는 중심 파장) 이외의 광의 중심 파장을 통과시키고 검출하는 감지 회로를 산출할 수 있다. 또한, 애퍼처 층들과 렌즈 층들 사이의 이러한 오정렬은 시스템(100)의 유닛마다 균일하지 않을 수 있는데, 예를 들어, 주변 온도 및/또는 압력으로 인해 시스템(100)의 단일 유닛 내에서 시간에 따라 변동될 수 있다. 유사하게, 조명 소스들(예를 들어, 바 다이오드 레이저들)은 제조 결함들로 인해 조명 소스들의 단일 배치(batch) 내에서도 상이한 출력 특성들(예를 들어, 특정 동작 온도에서의 중심 또는 1차 출력 파장의 변동들)을 나타낼 수 있다.

[0014] 따라서, 조명 소스-특정 중심 출력 파장 대 애퍼처 층 및 렌즈 층 스택에 대한 온도 모델 및 경험적으로-결정되는 타겟 중심 파장을 구현하는 대신에, 시스템(100)은 - 감지 회로와 유사한 - 캘리브레이션 회로를 포함할 수 있고, 캘리브레이션 회로에 의해 검출되는 광에 기초하여 온도 레귤레이터의 출력을 능동적으로 변경할 수 있다. 특히, 캘리브레이션 회로는, 감지 애퍼처와 동일한 애퍼처 층 내에 통합된 캘리브레이션 애퍼처를 포함할 수 있고; 감지 렌즈와 동일한 렌즈 층 내에 통합된 캘리브레이션 렌즈를 포함할 수 있고; 감지 회로와 광학 필터(예를 들어, 광학 필터 층)를 공유할 수 있고; 감지 회로와 동일한 픽셀 층 내에 통합된 캘리브레이션 픽셀을 포함할 수 있다. 따라서, 캘리브레이션 회로는 감지 회로에서 발생하는 제조 결함들을 모방하여, 캘리브레이션 회로를 통해 피크 입사광을 달성하도록 조명 소스를 튜닝하면 조명 소스를 감지 회로에 대해 튜닝하는 것과 유사하게 한다. 특히, 시스템(100)의 유닛은 온도 레귤레이터를 능동적으로 조작하여 동작 전반에 걸쳐 캘리브레이션 픽셀에서의 단위 시간당 피크 입사 광자 카운트를 유지함으로써, 조명 광학기의 출력을 캘리브레이션 회로 및 감지 회로 모두에 매치시키고, 시스템(100)의 유닛들의 질량에 공통인 폐쇄형-루프 피드백 모델에 의해 시스템(100)의 유닛에서 제조 결함들의 실질적으로 고유한 스택들을 자동적으로 보상한다.

[0015] 일반적으로, 조명 소스의 출력 파장이 캘리브레이션 회로의 벌크 피크-전력 파장에 매치될 때, 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 피크 입사 광자 카운트가 발생할 수 있다. 캘리브레이션 회로와 감지 회로는 공통 광학 필터를 공유하고, 공통 애퍼처 층에 의해 정의되는 애퍼처들을 포함하고, 공통 렌즈 층에 렌즈들을 포함하며, 애퍼처들과 렌즈들 사이의 공통 측 방향 및 길이 방향 오프셋들에 종속된다. 따라서, 감지 회로의 벌크 피크-전력 파장은 캘리브레이션 회로의 벌크 피크-전력 파장과 실질적으로 동일하다. 동작 동안에 시스템(100)의 효율을 증가시키기 위해(또는 실질적으로 최대화시키기 위해), 시스템(100)은 캘리브레이션 픽셀에서 단위 시간당 피크 입사 광자 카운트를 달성하도록 조명 소스의 출력 파장을 튜닝함으로써 조명 소스를 감지 회로에 고유하게 캘리브레이트할 수 있다. 예를 들어, 조명 소스는 조명 소스의 온도에 비례하여 변동되는 중심 파장에서 광을 출력할 수 있고, 시스템(100)은 조명 소스에 커플링된 온도 레귤레이터의 열 플럭스를 능동적으로 조작함으로써 조명 소스의 중심 출력 파장을 제어할 수 있다. 동작 전반에 걸쳐, 시스템(100)은 캘리브레이션 픽셀로부터 판독되는 입사 광자 카운트들에 기초하여 온도 레귤레이터의 출력 - 따라서, 조명 소스의 중심 출력 파장 - 을 능동적으로 제어하기 위해 폐쇄형-루프 피드백 기술들을 구현하여, 조명 소스가 내부 온도, 주위 온도, 주위 압력 등의 변화들에도 불구하고 시간이 지남에 따라 감지 회로에 변함없이 튜닝되게 할 수 있다.

[0016] 도 2a에 도시된 바와 같이, 일 실시예에서, 시스템(200)은 다수의 캘리브레이션 회로들을 포함할 수 있다. 시스템(200)은 벌크 송신 광학기(201), 벌크 수신 광학기(202), 광학 필터(209), 감지 애퍼처(220), 감지 렌즈(207), 감지 픽셀(211), 조명 소스들(203 및 250) 및 광학 바이패스(205)를 포함할 수 있다. 이들 컴포넌트들은 도 1과 관련하여 위에서 설명된 컴포넌트들과 유사하게 구성될 수 있다. 이 변형예에서, 각각의 캘리브레이션 애퍼처 및 캘리브레이션 렌즈(예를 들어, 캘리브레이션 애퍼처들(225) 및 캘리브레이션 렌즈들(208), 또는 개별적으로는 캘리브레이션 애퍼처들(225-1, 225-2, 225-3, 225-4) 및 캘리브레이션 렌즈들(208-1, 208-2, 208-3, 208-4))는 세트에서 고유한 거리(예를 들어, 거리 d_0 , d_1 , d_2 , d_3 등)만큼 오프셋되어, 세트에서 캘리브레이션 렌즈가 고유한 공칭 각도(예를 들어, 각도 α_0 , α_1 , α_2 , α_3 등)로 광학 필터를 향해 광을 출력하게 할 수 있다. 예를 들어, 시스템(100)은 고유한 오프셋 거리들로 어셈블링된 제1 캘리브레이션 애퍼처 및 렌즈 세

트, 제2 캘리브레이션 애퍼처 및 렌즈 세트, 제3 캘리브레이션 애퍼처 및 렌즈 세트 및 제4 캘리브레이션 애퍼처 및 렌즈 세트를 포함하여, 제1, 제2, 제3 및 제4 캘리브레이션 렌즈가, 도 2a 및 도 2c에 도시된 바와 같이, 광학 필터에 대해 각각 0° , 1° , 2° 및 3° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하게 할 수 있다. 따라서, 일 실시예에서, 캘리브레이션 애퍼처들은 캘리브레이션 렌즈들로부터 오프셋될 수 있다. 물론, 다른 실시예들에서, 임의의 수의 캘리브레이션 회로들(예를 들어, 캘리브레이션 애퍼처, 렌즈, 픽셀의 세트)이 시스템에 포함될 수 있다. 이 변형예에서, 시스템(200)은 샘플링 기간 동안에 캘리브레이션 픽셀들(212)(개별적으로는 캘리브레이션 픽셀들(212-1, 212-2, 212-3, 212-4)) 각각으로부터 입사 광자 카운트들(또는 연속 입사 광자들 사이의 시간 등)을 판독하고, 이 입사 광자 카운트들의 세트에 기초하여, 조명 소스의 중심 출력 파장이 샘플링 기간 동안에 캘리브레이션 회로에 의해 판독되는(따라서, 감지 회로에 의해 판독되는) 중심 파장보다 크지 또는 작음을 결정하고, 그 후 - 온도 레귤레이터를 통해 - 조명 소스의 온도를 증가시키거나 감소시켜, 그에 따라 조명 소스에 의해 출력되고 캘리브레이션 회로에 의해 판독되는 중심 파장들의 정렬을 개선시킨다.

[0017] 3. 감지 회로

[0018] 도 1 및 도 4에 도시된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 시스템(100)(및 시스템(400))의 감지 회로는, 벌크 수신 광학기(예를 들어, 102 및 402); 벌크 수신 광학기의 뒤에 배치되고, 감지 애퍼처 및 캘리브레이션 애퍼처를 정의하는 애퍼처 층; 벌크 수신 광학기 맞은편에서 애퍼처 층에 인접하고, 감지 애퍼처와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 감지 렌즈를 정의하는 렌즈 층(예를 들어, 107 및 407); 애퍼처 층 맞은편에서 렌즈 층에 인접한 광학 필터(예를 들어, 109 및 409); 및 렌즈 층 맞은편에서 광학 필터에 인접하고, 감지 렌즈와 실질적으로 축 방향으로 정렬된 감지 픽셀을 포함하는 픽셀 층(예를 들어, 111 및 411)을 포함할 수 있다. 일반적으로, 벌크 수신 광학기, 감지 애퍼처, 감지 렌즈, 광학 필터 및 감지 픽셀은 협력하여 광(예를 들어, 주변 광 및 조명 소스에 의해 출력되는 광)을 수집하고, 광을 시준(collimate)하고, 조명 소스의 중심 출력 파장을 포함하는 좁은 파장 대역 외부의 모든 광을 제거하고, 감지 픽셀에 도달하는 광을 검출한다. 따라서, 시스템(100)(예를 들어, 시스템(100) 내의 프로세서)은 입사 광자 카운트, 입사 광자들 사이의 시간, 조명 빔 출력 시간에 대한 입사 광자 시간 등을 감지 회로의 시계 내의 표면의 포지션으로 변환할 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 시스템(100)과 유사하게, 시스템(400)은 또한 벌크 수신 광학기(401), 조명 소스들(403 및 450), 광학 바이패스(405), 레귤레이터(413) 및 캘리브레이션 회로(430)를 포함할 수 있다. 이들 컴포넌트들은 도 1의 시스템(100)과 관련하여 설명된 것들과 유사하게 구성될 수 있다. 도 4에도 도시된 바와 같이, 시스템(400)은 애퍼처 피치 거리(440)를 포함할 수 있다.

[0019] 일 구현에서, 벌크 수신 광학기는 시스템(100) 외부로부터의 입사 광선들을 시스템(100) 내의 초점 평면을 향해 투사시키도록 기능한다. 예를 들어, 벌크 수신 광학기는 수렴 렌즈를 정의할 수 있고, 광학 필터에 의해 통과되는 수직 광선들의 중심 파장(즉, 시스템(100)의 공칭 동작 파장)에서 또는 그 부근에서 총 벌크 초점 거리(focal length)를 산출하도록 협력하는(도 1 및 도 4에 도시된) 하나 이상의 양면 볼록 렌즈 및/또는 평면 볼록 렌즈와 같은 다수의 렌즈들을 포함할 수 있다. 애퍼처 층은, 초점 평면과 일치하고(즉, 벌크 초점 거리 뒤에 있는 벌크 수신 광학기로부터 오프셋됨) 감지 애퍼처를 정의하는 상대적으로 얇은 불투명 구조체, 및 감지 애퍼처 주위의 정지 영역을 포함한다. 애퍼처 층의 정지 영역은 입사 광선들을 제거(예를 들어, 차단, 흡수, 반사)하고, 감지 애퍼처는 입사 광선들을 감지 렌즈를 향해 통과시킨다. 예를 들어, 애퍼처 층은 감지 회로의 시계의 기하학적 선택성을 최대화하기 위해 회절-제한 직경에 근접하는 직경의 감지 애퍼처를 정의할 수 있다.

[0020] 이 구현에서, 감지 렌즈는 감지 초점 거리를 특징으로 하며, 감지 초점 거리만큼 초점 평면으로부터 오프셋되고, 감지 애퍼처에 의해 통과되는 광선들을 시준하고, 시준된 광선들을 광학 필터로 통과시킨다. 예를 들어, 감지 렌즈는 벌크 수신 광학기의 광선 원추(ray cone)와 실질적으로 매치되는 광선 원추를 특징으로 하는 수렴 렌즈를 포함할 수 있고, 벌크 수신 광학기의 애퍼처를 유지하고 감지 애퍼처에 의해 통과되는 광을 시준시키도록 상대적으로 짧은 감지 초점 거리만큼 벌크 수신 광학기의 초점 평면으로부터 오프셋될 수 있다. 광학 필터는 감지 렌즈로부터 - 파장들의 스펙트럼에서 - 시준된 광을 수신하고, 감지 픽셀에 광의 상대적으로 좁은 파장 대역(예를 들어, 동작 파장 ± 0.25 나노미터)을 통과시키고, 이 좁은 파장 대역 외부의 광을 차단한다. 예를 들어, 광학 필터는 좁은 광학 대역 통과 필터를 포함할 수 있다.

[0021] 예를 들어, 조명 소스는 900nm의 공칭 파장에서(주로) 광을 출력할 수 있고, 광학 필터는 899.95nm와 900.05nm 사이에서(90° 의 각도로 광학 필터 상에 입사하는) 광을 통과시키도록 구성되고 이 대역 외부에서(90° 의 각도로 광학 필터 상에 입사하는) 실질적으로 모든 광을 차단하도록 구성된 평면형 광학 대역 통과 필터를 정의할 수 있다. 감지 픽셀은 광학 필터에 의해 통과되는 광(즉, "광자들")을 수신하고, 이들 입사 광자들을 검출하고, 검출된 광자들의 수 또는 레이트에 대응하는 신호를 출력하는 기능을 한다. 예를 들어, 감지 픽셀은

단일-광자 애벌란시 다이오드 검출기(single-photon avalanche diode detector)("SPAD")들의 어레이를 포함할 수 있고, 감지 픽셀은 지속기간 내의 단일 샘플링 기간 피코초, 나노초, 마이크로초 또는 밀리초 내에서 픽셀에 입사하는 광자들의 카운트에 대응하는 단일 신호 또는 신호들의 스트림을 출력할 수 있다.

[0022] 일 변형예에서는, 도 3a 및 도 3b에 도시된 바와 같이, 시스템(300)은 다수의 감지 애퍼처, 감지 렌즈 및 감지 픽셀 세트들을 포함하는 다수의 감지 회로들(340)(또는 개별적으로는, 340-1, 340-2, 340-3 및 340-4)을 포함한다. 예를 들어, 시스템(300)은, 단일 벌크 수신 광학기 뒤에 배치되고 벌크 수신 광학기의 전방 필드의 개별(즉, 시스템(100)으로부터 임계 거리를 넘어 중첩되지 않는) 시계를 정의하는 오프셋 감지 애퍼처들(320)(개별적으로는, 320-1, 320-2 등)의 열을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 감지 애퍼처들(320) 각각은 대응하는 감지 렌즈와 각각 정렬된다. 시스템(300)은 또한, 동작 파장에서 개별 조명 빔들을 각각의 감지 애퍼처에 의해 정의되는 시계로 투사시키는 조명 소스; 대응하는 감지 애퍼처들에 의해 통과된 광선들을 시준하는 감지 렌즈들의 열; 감지 렌즈들의 열에 걸쳐 있고, 광의 상대적으로 좁은 파장 대역을 선택적으로 통과시키는 광학 필터; 및 입사 광자들을 카운팅하거나 또는 연속 입사 광자들 사이의 시간들을 기록하는 등에 의해 입사 광자들을 검출하는 감지 픽셀들의 세트를 포함할 수 있다. 이 예에서, 시스템(100)은 - 시스템(100)으로부터의 거리 범위 전역에서의 사이즈 및 기하학적 형상이 - 감지 애퍼처들의 시계와 실질적으로 매치되는 조명 패턴에 따라 시스템(100)의 전방 필드에 조명 빔들을 선택적으로 투사시킬 수 있다. 특히, 조명 소스는 실질적으로 대응하는 감지 픽셀들의 시계들 내에 있는 시스템(100)의 전방 필드의 표면들만을 조명할 수 있어, 조명 소스를 통해 시스템(100)에 의해 출력되는 전력이 감지 픽셀들이 감지할 수 없는 필드의 표면들을 조명하는 것에 의해 최소로 사용되게 한다. 따라서, 시스템(100)은 특히 조명 소스의 중심 출력 파장이 감지 회로에 의해 관측되는 중심 파장에 매치될 때, 상대적으로 높은 비율의 출력 신호(즉, 조명 빔 전력) 대 입력 신호(즉, 픽셀 어레이에 입사되는 통과된 광자들)를 달성할 수 있다.

[0023] 다른 변형예에서, 시스템(100)은 감지 회로들(즉, 감지 애퍼처, 감지 렌즈 및 감지 픽셀 세트들)의 2차원 그리드 어레이를 포함하고, 샘플링 기간당 시스템(100)에 의해 점유되는 볼륨을 2차원으로 이미징하도록 구성된다. 이 변형예에서, 시스템(100)은 감지 픽셀들의 2차원 그리드 전역에서 1차원 거리 데이터(예를 들어, 샘플링 기간 내의 입사 광자들의 카운트들, 및/또는 필드의 알려진 시계들에 대응하는 감지 픽셀들 상에 입사하는 연속적인 광자들 사이의 시간들)를 수집할 수 있고, 시스템(100)은 이들 1차원 거리 데이터를 각각의 감지 픽셀에 대한 시계들의 알려진 포지션들과 병합하여, 시스템(100)의 전방 필드의 가상 3차원 표현을 재구성할 수 있다. 예를 들어, 애퍼처 층은 300 μ m의 애퍼처 피치 거리만큼 수직 방향 및 측 방향으로 오프셋된 200 μ m 직경의 감지 애퍼처들의 24x24 그리드 어레이를 정의할 수 있고, 렌즈 층은 300 μ m의 렌즈 피치 거리만큼 수직 방향 및 측 방향으로 오프셋된 감지 렌즈들의 24x24 그리드 어레이를 포함할 수 있다. 이 예에서, 픽셀 층은 300 μ m 정방형의 감지 픽셀들의 24x24 그리드 어레이를 포함할 수 있고, 여기서 각각의 감지 픽셀은 9개의 100 μ m 정방형의 SPAD들의 3x3 정방형 어레이를 포함한다.

[0024] 일 구현에서, 벌크 수신 광학기, 애퍼처 층, 렌즈 층, 광학 필터 및 확산기는 제조된 다음, 픽셀 층과 정렬되어 그 위에 마운팅된다. 일례에서, 광학 필터는 용융된 실리카 기판을 코팅함으로써 제조된다. 그 후, 광학 필터 위에 광활성 광학 폴리머가 퇴적되고, 광활성 광학 폴리머 위에 렌즈 형태들의 어레이를 정의하는 렌즈 몰드가 배치되고, 광학 필터 전역에서 광활성 광학 폴리머를 렌즈들의 패턴으로 경화시키기 위해 UV 광원이 활성화된다. 포토리소그래피 기술들을 통해 광학 필터 전역에서 스탠드오프들이 유사하게 몰딩되거나 형성된다. 애퍼처 층은 유리 웨이퍼를 선택적으로 금속화하고 이 금속 층에 애퍼처들을 에칭함으로써 개별적으로 제조되고, 그 후 유리 웨이퍼가 이들 스탠드오프들에 본딩되거나 다른 방식으로 마운팅된다. 이 예에서, 어셈블리는 후속하여 반전되고, 렌즈 층 맞은편에서 광학 필터 전역에 제2 세트의 스탠드오프들이 유사하게 제조된다. 픽셀 층(예를 들어, 개별 이미지 센서)이 제2 세트의 스탠드오프들과 정렬되어 이에 본딩되고, 애퍼처 층 위에 벌크 수신 광학기가 유사하게 마운팅되어, 감지 회로 스택을 완성한다.

[0025] 대안적으로, 벌크 수신 광학기, 애퍼처 층, 렌즈 층 및 광학 필터는 포토 리소그래피 및 웨이퍼-레벨 본딩 기술들을 통해 - 감지 픽셀을 포함하는 - 다이싱되지 않은 반도체 웨이퍼 상에 직접 제조될 수 있다. 그러나, 벌크 수신 광학기, 애퍼처 층, 렌즈 층, 광학 필터 및 픽셀 층은 임의의 다른 방식으로 임의의 다른 방법 또는 기술에 의해 제조 및 어셈블링될 수 있다.

[0026] 4. 출력 회로

[0027] 도 1에 도시된 바와 같이, 시스템(100)은 벌크 송신 광학기 및 조명 소스를 포함하는 출력 회로를 포함한다. 일 구현에서, 벌크 송신 광학기는, 재료, 기하학적 구조(예를 들어, 초점 거리), 열 분리 등에서 벌크 수신 광

학과와 실질적으로 동일하고; 벌크 수신 광학과 인접하고 이로부터 측 방향 및/또는 수직 방향으로 오프셋되어 있다. 구현에서, 조명 소스는 벌크 송신 광학기 뒤에 배치된 광학 이미터들의 모놀리식 VCSEL 어레이를 포함한다. 일례에서, 조명 소스는 감지 애퍼처 피치 거리와 실질적으로 동일한 이미터 피치 거리를 특징으로 하는 광학 이미터들의 열을 정의하는 바 다이오드 레이저를 포함할 수 있고; 바 다이오드 레이저가 동일한 칩 상에 제조된 광학 이미터들을 포함하기 때문에, 광학 이미터들은 온도의 함수로서 실질적으로 유사한 출력 파장 특성들을 나타낼 수 있다. 이 예에서, 각각의 광학 이미터는 애퍼처 층 내의 대응하는 감지 애퍼처의 직경과 실질적으로 동일한(또는 이보다 약간 큰) 초기 직경의 조명 빔을 출력할 수 있고; 조명 소스는 벌크 송신 광학기의 초점 평면을 따라 배치되어, 벌크 송신 광학기로부터 필드로 투사되는 각각의 조명 빔이 교차하고, 도 4에 도시된 바와 같이, 시스템(400)(예를 들어, 시스템(100)의 변형예)으로부터 임의의 거리에서 대응하는 감지 회로의 시계와 실질적으로 동일한 사이즈 및 기하학적 구조를 가질 수 있다. 따라서, 조명 소스와 벌크 송신 광학기는 감지 회로들의 시계들 외부의 공간에서 상대적으로 최소의 전력이 사용되는 조명 표면들에 의해 실질적으로 모든 출력 전력을 감지 회로들의 시계들로 투사시키도록 협력할 수 있다.

[0028] 5. 캘리브레이션 회로

[0029] 도 1에 도시된 바와 같이, 시스템(100)은 광학 바이패스(105), 애퍼처 층(104) 내에 정의된 캘리브레이션 애퍼처(125), 렌즈 층(106)에 통합된 캘리브레이션 렌즈(108), 감지 회로(예를 들어, 감지 애퍼처(120), 감지 렌즈(107), 감지 픽셀(111))와 공유되는 광학 필터(109), 및 픽셀 층(110)에 통합된 캘리브레이션 픽셀(112)을 포함하는 캘리브레이션 회로를 추가로 포함한다. 일반적으로, 광학 바이패스(105)는 조명 소스(103)에 의해 출력되는 일부 광선들을 캘리브레이션 애퍼처(125)로 보내는 기능을 하고; 감지 회로 내의 감지 애퍼처(120), 감지 렌즈(107) 및 광학 필터(109)와 마찬가지로, 캘리브레이션 회로 내의 캘리브레이션 애퍼처(125), 캘리브레이션 렌즈(108) 및 광학 필터(109)는 광학 바이패스로부터 수신된 광의 실질적으로 좁은 파장 대역을 캘리브레이션 픽셀에 통과시킨다. 샘플링 기간 내에 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 입사 광자들의 수, 입사 광자들의 주파수 또는 입사광 전력 등에 기초하여, 시스템(100)은 조명 소스(103)의 중심(또는 1차) 출력 파장이 캘리브레이션 회로(130)의 유효 중심(또는 1차) 동작 파장에 매치되는지 여부 및/또는 어느 정도로 매치되는지를 결정할 수 있고, 시스템(100)은 그에 따라 온도 레귤레이터의 출력을 변경하여 조명 소스의 출력 파장을 캘리브레이션 회로(130)의 유효 동작 파장으로 시프트시킬 수 있다.

[0030] 캘리브레이션 애퍼처(125), 캘리브레이션 렌즈(108) 및 캘리브레이션 픽셀(112)이 감지 애퍼처(120), 감지 렌즈(107) 및 감지 픽셀(111)과 동일한 애퍼처 층(104), 렌즈 층(106) 및 픽셀 층(110)에 통합되기 때문에, 그리고 캘리브레이션 회로(130)와 감지 회로(예를 들어, 감지 애퍼처(120), 감지 렌즈(107), 감지 픽셀(111))가 동일한 광학 필터(109)를 공유하기 때문에, 캘리브레이션 회로(130)는 실질적으로 동일한 제조 결함들(예를 들어, 정렬 결함들)을 공유할 수 있고, 따라서 실질적으로 동일한 유효 동작 파장들을 나타낼 수 있다. 또한, 광학 바이패스는 감지 채널의 시계를 조명하는 것과 동일한 조명 소스로부터의 일부 광을 통과시키기 때문에, 조명 소스의 출력 파장을 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장에 매치시키도록 온도 레귤레이터를 조작하면 조명 소스의 출력 파장을 감지 회로의 유효 동작 파장에도 매치시켜서, 이에 의해 시스템(100)의 전력 효율을 증가시킨다.

[0031] 그러므로, 위에서 설명된 방법들 및 기술들 등에 따라, 캘리브레이션 애퍼처는 감지 애퍼처와 실질적으로 동일한 시간에 실질적으로 동일한 포지션 정확도로 애퍼처 층에 형성될 수 있고; 캘리브레이션 렌즈는 감지 렌즈와 실질적으로 동일한 시간에 실질적으로 동일한 포지션 정확도로 렌즈 층에 형성될 수 있고; 캘리브레이션 픽셀은 감지 픽셀과 실질적으로 동일한 시간에 실질적으로 동일한 포지션 정확도로 픽셀 층에 통합될 수 있다. 광학 필터는 또한 캘리브레이션 회로 및 감지 회로에 걸친 특이 또는 단일 구조를 정의할 수 있고, 애퍼처 층, 렌즈 층, 광학 필터 및 픽셀 층 - 캘리브레이션 회로 및 감지 회로 모두 포함 - 은 위에서 설명된 바와 같이 어셈블링될 수 있다.

[0032] 일 구현에서, 도 1 및 도 4에 도시된 바와 같이, 벌크 송신 광학기는 벌크 수신 광학과 평면 내에서 이로부터 측 방향으로 오프셋되어 배치되고, 광학 바이패스는 벌크 송신 광학기 뒤에 있는 조명 소스의 일 단부로부터의 광을 벌크 수신 광학기 뒤에 있는 인접 영역으로, 그리고 캘리브레이션 애퍼처로 "사이펀(siphon)으로 옮긴다". 예를 들어, 조명 소스가 다수의 광학 이미터들을 갖는 바 다이오드 레이저를 포함하는 상술된 구현에서, 광학 바이패스는 바 다이오드 레이저 상의 일 단부의 이미터로부터 연장되고 벌크 수신 광학기 뒤에 있는 캘리브레이션 애퍼처 위에서 종결되는 광 파이프 또는 광 도파관을 포함할 수 있다. 그러나, 광학 바이패스는 임의의 다른 구조를 포함할 수 있고, 조명 소스로부터 캘리브레이션 회로로 광을 전달하는 임의의 다른 방식으로 기능할 수 있다.

[0033] 6. 캘리브레이션

[0034] 도 2a의 실시예에서, 시스템(200)은 조명 소스에 커플링되고 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광 전력에 기초하여 조명 소스의 온도를 변경하도록 구성된 온도 레귤레이터(213)를 추가로 포함한다. 일반적으로, 시동 시에 및/또는 동작 동안에, 시스템(200)은 샘플링 기간 내에서 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 입사 광자들의 수, 입사 광자들의 주파수 또는 입사광 전력 등을 판독할 수 있고, 캘리브레이션 픽셀의 출력에 기초하여, 온도 레귤레이터의 출력 - 따라서, 조명 소스의 온도 및 중심(또는 1차) 출력 파장 - 을 변경하기 위해 폐쇄형-루프 피드백 제어 기술들을 구현할 수 있다.

[0035] 일 구현에서, 시스템(200)은 조명 소스에 열적으로 커플링된 온도 센서(230)를 추가로 포함한다. 이 구현에서, 시동 시에, 시스템(200)은, 온도 레귤레이터의 듀티 사이클(예를 들어, 열 출력)을 상승시키고, 낮은 동작 온도(예를 들어, 80℃)에서 조명 소스를 유지하기 위해 폐쇄형-루프 피드백 제어들을 구현하고; 조명 소스가 낮은 동작 온도에서 유지되는 동안에 샘플링 기간에 걸쳐 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트(또는 입사 광자들의 주파수 등)를 저장한다. 그 다음, 시스템(200)은 조명 소스에서 낮은 동작 온도로부터 높은 동작 온도(예를 들어, 85℃)로 개별 온도 스텝들(예를 들어, 0.5℃ 스텝들)을 달성하도록 온도 레귤레이터의 듀티 사이클을 점진적으로 상승시키고; 동작 온도 범위 내의 각각의 온도 스텝에서 샘플링 기간에 걸쳐 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트를 저장한다. (시스템(200)은 또한 온도 스텝당 다수의 샘플링 기간들에 걸쳐 캘리브레이션 픽셀로부터 입사 광자 카운트들을 판독하고, 온도 스텝에 대한 중간 또는 평균 광자 카운트를 기록할 수 있다). 이 구현에서, 시스템(200)은 온도 스텝들의 세트 전역에서 캘리브레이션 픽셀로부터 판독된 피크 입사 광자 카운트를 식별하고, 조명 소스의 대응하는 온도를 초기 타겟 동작 온도로서 설정하고, 초기 타겟 동작 온도를 달성하도록 온도 레귤레이터의 듀티 사이클을 조정할 수 있다.

[0036] 상기 구현에서, 계속되는 동작 전반에 걸쳐, 시스템은, 캘리브레이션 픽셀로부터 입사 광자 카운트들을 판독하고; 예를 들어, 임계 분산(예를 들어, 5%)을 넘는 것과 같이, 캘리브레이션 픽셀에 의해 판독되는 입사 광자 카운트에서의 변동들을 검출하고; 그에 따라 온도 레귤레이터의 출력을 변경할 수 있다. 시스템은 또한, 대응하는 샘플링 기간들에서 온도 센서로부터 조명 소스의 온도를 판독하고; 조명 광학기의 온도 변화들에 기초한 캘리브레이션 픽셀 상의 입사 광자 카운트의 변화들에 응답하여, 온도 레귤레이터의 듀티 사이클을 증가시킬지 또는 감소시킬지를 결정할 수 있다. 예를 들어, 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 2개 이상의 샘플링 기간 전역에서 강해지고, 온도 센서가 조명 소스의 온도 또한 강해되었다고 나타내는 경우, 시스템은 온도 레귤레이터의 열 출력을 증가시키고, 구성 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 증가함에 따라, 조명 소스의 온도들을 저장할 수 있다. 조명 소스의 온도를 증가시킴에 따라, 입사 광자 카운트가 피크 값에 도달하고 나서 감소하기 시작할 때, 시스템은 온도 상승 동안에 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록된 피크 입사 광자 카운트에 대응하는 조명 소스의 새로운 타겟 동작 온도를 식별한 후, 이 새로운 타겟 동작 온도를 달성하도록 온도 레귤레이터의 출력을 감소시킬 수 있다.

[0037] 다른 예에서, 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 2개 이상의 샘플링 기간에 걸쳐 강해지고, 온도 센서가 조명 소스의 온도가 샘플링 기간들에 걸쳐 증가되었다고 나타내는 경우, 시스템은 온도 레귤레이터의 열 출력을 감소시키고, 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 증가함에 따라, 조명 소스의 온도들을 저장한다. 조명 소스의 온도를 감소시킴에 따라, 기록된 입사 광자 카운트가 피크 값에 도달하고 나서 감소하기 시작할 때, 시스템은 온도 강하 동안에 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록된 피크 입사 광자 카운트에 대응하는 새로운 타겟 동작 온도를 식별하고, 이 새로운 타겟 동작 온도를 달성하도록 온도 레귤레이터의 출력을 증가시킬 수 있다.

[0038] 또 다른 예에서, 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 2개 이상의 샘플링 기간에 걸쳐 임계 변동을 넘어 강해되지만, 샘플링 기간들에 걸쳐 조명 소스에서 실질적인 온도 변화가 검출되지 않는 경우, 시스템은 조명 소스의 온도에서 1-스텝 증가를 달성하도록 온도 레귤레이터의 열 출력을 상승시킬 수 있다. 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 조명 소스의 온도 증가에 응답하여 증가하는 경우, 시스템은, 입사 광자가 강해되기 시작할 때까지 온도 레귤레이터의 출력을 계속해서 증가시키고, 이 온도 상승 동안에 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록된 새로운 피크 입사 광자 카운트에 대응하는 새로운 (더 높은) 타겟 동작 온도를 결정하고; 상기 예에서와 같이, 이 새로운 타겟 동작 온도를 달성하도록 온도 레귤레이터의 출력을 감소시킬 수 있다. 그러나, 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 조명 소스의 온도 증가에 응답하여 감소하는 경우, 시스템은 온도 레귤레이터의 열 출력을 하강시킬 수 있다. 조명 소스의 온도를 감소시킴에 따라, 입사 광자 카운트가 증가하고 나서 감소하기 시작하는 경우, 시스템은, 이 온도 강하 동안에 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록된 피크 입사 광자 카운트에 대응하는 새로운(더 낮은) 타겟 동작 온도를 결정하고; 상기 예에서와

같이, 이 새로운 타겟 동작 온도를 달성하도록 온도 레귤레이터의 출력을 증가시킬 수 있다.

[0039] 따라서, 시스템은, 단일 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광자들의 수(또는 광자들의 주파수, 연속적인 광자들 사이의 시간 등)에 기초하여, 감지 회로의 유효 동작 파장에 실질적으로 매치되는 조명 소스의 중심(또는 1차) 출력 파장에 대응하는 온도에서 조명 소스를 유지하는 온도 레귤레이터의 출력을 달성하기 위해 폐쇄형-루프 피드백 기술들을 구현할 수 있다.

[0040] 다른 구현들에서, 시스템은, 레이저의 내부 패브리-페로(Fabry-Perot) 캐비티 두께를 MEMS 액추에이터 또는 캐비티 내의 압전 막 등을 통해 능동적으로 튜닝함으로써; MEMS 액추에이터들 등에 의해 수직 외부-캐비티 표면-발광 레이저(vertical external-cavity surface-emitting laser)("VECSEL")의 외부 캐비티 길이를 능동적으로 튜닝함으로써, 조명 소스의 출력 파장을 변동시킬 수 있다. 또 다른 구현들에서, 시스템은, 예를 들어, MEMS 집벌 액추에이터에 의해 필터를 회전시키는 것과 같은 각도 튜닝 등에 의해, 수신기 회로 내의 필터의 중심 파장을 능동적으로 튜닝함으로써, 수신기 회로의 송신 파장(예를 들어, 통과 대역 중심 파장)을 변동시킬 수 있다. 물론, 일부 실시예들에서, 시스템은 수신기 회로의 송신 파장을 변동시키는 것에 더하여, 위에서 논의된 바와 같이 조명 소스의 출력 파장을 변동시킬 수 있다. 상기 구현들에서, 시스템은, 본 명세서에서 설명된 바와 같이, 조명 소스 및/또는 수신기 회로의 출력 파장을 능동적으로 그리고 동적으로 튜닝하기 위해 폐쇄형-루프 방법들 및 기술들을 구현할 수 있다.

[0041] 7. 확장된 1차원 캘리브레이션 회로

[0042] 시스템의 하나의 변형예가 시스템(300)으로서 도 3a 및 도 3b에 예시되어 있다. 이 실시예에서, 시스템(300)은 330-0, 330-1, 330-2, 330-3과 같이 조명 광학기당 (예를 들어, 4개의) 캘리브레이션 회로들의 세트를 포함한다. 이 변형예에서는, 위에서 설명된 방법들 및 기술들 등에 따라, 캘리브레이션 회로들의 세트 내의 캘리브레이션 애퍼처들(예를 들어, 325-0, 325-1 등)은 감지 애퍼처와 실질적으로 동일한 시간에 실질적으로 동일한 포지션 정확하게 애퍼처 층에 형성될 수 있고; 캘리브레이션 회로들의 세트 내의 캘리브레이션 렌즈들은 감지 렌즈와 실질적으로 동일한 시간에 실질적으로 동일한 포지션 정확하게 렌즈 층에 형성될 수 있고; 캘리브레이션 회로들의 세트 내의 캘리브레이션 픽셀들은 감지 픽셀과 실질적으로 동일한 시간에 실질적으로 동일한 포지션 정확하게 픽셀 층에 통합될 수 있다. 광학 필터는 또한 캘리브레이션 회로들의 세트 및 감지 회로에 걸친 특이 또는 단일 구조를 정의할 수 있고, 애퍼처 층, 렌즈 층, 광학 필터 및 픽셀 층 - 캘리브레이션 회로 및 감지 회로 모두 포함 - 은 위에서 설명된 바와 같이 어셈블링될 수 있다. 또한, 이 변형예에서는, 도 3a 및 도 3b에 도시된 바와 같이, 광학 바이패스는 조명 소스로부터의 광을 캘리브레이션 회로들의 세트 내의 각각의 캘리브레이션 애퍼처로 사이편으로 옮길 수 있다.

[0043] 이 변형예에서, 캘리브레이션 렌즈들은, 애퍼처 층이 렌즈 층 위에 어셈블링될 때, 캘리브레이션 애퍼처를 선택하고, 캘리브레이션 렌즈 쌍들이 축 방향 및/또는 길이 방향으로 오프셋되도록 렌즈 층에 위치결정될 수 있다. 따라서, 캘리브레이션 회로들의 세트 내의 특정 캘리브레이션 렌즈가 어셈블리 내에서 그 쌍으로 된 캘리브레이션 애퍼처로부터 의도적으로 오프셋되기 때문에, 특정 캘리브레이션 렌즈는 - 애퍼처로부터 수신된 - 광을 대응하는 축에서 벗어난 각도로 광학 필터를 향해 통과시킬 수 있다. 도 2a 및 도 2c에 도시된 바와 같이, 4개의 캘리브레이션 회로를 포함하는 공칭 어셈블리(즉, 제1 캘리브레이션 애퍼처 및 제1 캘리브레이션 렌즈가 축 방향으로 정렬되는 어셈블리)의 일례에서, 제1 캘리브레이션 렌즈는 광학 필터에 대한 법선으로부터 0°의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하도록 제1 애퍼처와 축 방향으로 정렬될 수 있고; 제2 캘리브레이션 렌즈는 광학 필터에 대한 법선으로부터 1°의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하기 위해 제1 거리만큼 제2 애퍼처로부터 축 방향으로 오프셋될 수 있고; 제3 캘리브레이션 렌즈는 광학 필터에 대한 법선으로부터 2°의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하기 위해 제1 거리보다 큰 제2 거리만큼 제3 애퍼처로부터 축 방향으로 오프셋될 수 있고; 제4 캘리브레이션 렌즈는 광학 필터에 대한 법선으로부터 3°의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하기 위해 제2 거리보다 큰 제3 거리만큼 제4 애퍼처로부터 축 방향으로 오프셋될 수 있다.

[0044] 이 변형예에서, 시스템은 광학 거리 센서를 캘리브레이트하기 위한 방법을 실행할 수 있으며, 본 방법은, 제1 캘리브레이션 애퍼처와 축 방향으로 정렬된 제1 캘리브레이션 렌즈와 축 방향으로 정렬된 제1 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광자들의 제1 광자 카운트를 계산하는 단계; 제1 오프셋 거리만큼 제2 캘리브레이션 애퍼처로부터 축 방향으로 오프셋된 제2 캘리브레이션 렌즈로부터 축 방향으로 오프셋된 제2 캘리브레이션 픽셀에 의해 검출되는 광자들의 제2 광자 카운트를 계산하는 단계; 제1 광자 카운트 및 제2 광자 카운트를 조명 소스에서 타겟 온도 변화로 변환하는 단계; 및 타겟 온도 변화에 따라 조명 소스에 커플링된 온도 레귤레이터를 작동시키는 단계를 포함한다.

[0045]

특히, 도 2c에 도시된 바와 같이, 동작 동안에, 시스템은 각각의 캘리브레이션 픽셀로부터 입사 광자 카운트들(또는 연속 입사 광자들 사이의 시간들 등)을 관측하고, 캘리브레이션 픽셀들로부터 관측된 입사 광자 카운트들의 패턴에 기초하여, 샘플링 기간 동안에 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장과 조명 소스의 중심(또는 1차) 출력 파장 사이의 차이를 특징지은 후, 그에 따라 온도 레귤레이터의 출력을 유지, 증가 또는 감소시킬 수 있다. 일 구현에서, 제1 캘리브레이션 회로가 시스템의 다른 캘리브레이션 회로들에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들보다 많은 입사 광자들을 기록하는 경우, 시스템은 조명 소스의 중심 출력 파장이 제1 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장에 매치되거나 또는 이보다 큰 것으로 결정할 수 있다. 그 다음, 시스템은, 제1 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트(또는 입사 광자 주파수 등)가 현재 임계값보다 작은 경우, 제4 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트가 현재 임계값보다 작은 경우, 또는 제1 캘리브레이션 픽셀에 의해 관측되는 입사 광자 카운트와 제2 캘리브레이션 픽셀에 의해 관측되는 입사 광자 카운트 사이의 차이 또는 비가 미리 설정된 임계값보다 작은 경우 등의 경우, 조명 소스의 출력 파장이 너무 작은 것으로 결정하고, 그에 따라 온도 레귤레이터의 열 출력을 감소시킴으로써, 조명 소스의 출력 파장을 감소시킬 수 있다. 그러나, 이 구현에서, 제2 캘리브레이션 회로가 제1 캘리브레이션 회로를 포함하여 시스템의 다른 캘리브레이션 회로들에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들보다 많은 입사 광자 카운트를 기록하는 경우, 시스템은 조명 소스의 중심 출력 파장이 제1 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장보다 작은 것으로 결정하고, 그에 따라 제1 레이트로 온도 레귤레이터의 열 출력을 증가시킴으로써, 조명 소스의 출력 파장을 증가시킬 수 있다. 또한, 이 구현에서, 제3 캘리브레이션 회로가 제1 및 제2 캘리브레이션 회로를 포함하여 시스템의 다른 캘리브레이션 회로들에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들보다 많은 입사 광자 카운트를 기록하는 경우, 시스템은 조명 소스의 중심 출력 파장이 다시 제1 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장보다 작은 것으로 결정하고, 그에 따라 제1 레이트보다 큰 제2 레이트로 온도 레귤레이터의 열 출력을 증가시킴으로써, 조명 소스의 출력 파장을 보다 빠르게 증가시킬 수 있다. 따라서, 시스템은, 동작 전반에 걸쳐 캘리브레이션 픽셀들에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들에 기초하여, 실질적으로 실시간으로 온도 레귤레이터의 출력을 능동적으로 조정할 수 있다.

[0046]

대안적으로, 시스템은 광자 카운트 템플릿들(또는 룩업 테이블들 등)의 세트를 국부적으로 저장할 수 있으며, 여기서 각각의 광자 카운트 템플릿은 감지 회로의 유효 동작 파장과 조명 소스의 중심(또는 1차) 출력 파장 사이의 특정 절대차 또는 상대차에서 캘리브레이션 회로들의 세트에 대한 절대적인 또는 상대적인 입사 광자 카운트 값들을 포함한다. 따라서, 시스템은 샘플링 기간 동안에 캘리브레이션 픽셀들의 세트에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들의 세트를 광자 카운트 템플릿들의 세트 내의 특정 광자 카운트 템플릿에 매치시키기 위해 템플릿 매치 기술들을 구현한 후, 그에 따라 매치된 광자 카운트 템플릿과 연관된 열 출력 변화 타겟 등에 기초하여, 조명 소스의 열 출력을 변경할 수 있다. 그러나, 시스템은 샘플링 기간 동안에 캘리브레이션 회로들의 세트에 의해 관측되는 입사 광자 카운트들을 조명 소스에 대한 새로운 열 출력 타겟으로 변환시키기 위해 임의의 다른 방법 또는 기술을 구현할 수 있다. 시스템은 조명 소스의 중심 출력 파장과 감지 회로의 유효 동작 파장 사이의 정렬을 유지하기 위해 동작 전반에 걸쳐 각각의 샘플링 기간(또는 연속 샘플링 기간들의 각각의 세트)동안 이 프로세스를 반복할 수 있다.

[0047]

8. 확장된 캘리브레이션 회로의 결합 보상

[0048]

광학 필터에서 상이한 광 출력 각도들을 실현하는 4개의 캘리브레이션 회로를 포함하는 시스템의 다른 예에서는, 렌즈 층이 제조 결함들 또는 제조 한계들로 인해 애퍼처 층과 오정렬될 수 있어, 도 2d에 도시된 바와 같이, 제1 캘리브레이션 렌즈는 제1 거리만큼 제1 애퍼처로부터 오프셋되고, 그에 따라 광학 필터에 대한 법선으로부터 -1° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하게 하고; 제2 캘리브레이션 렌즈는 제2 애퍼처와 실질적으로 축 방향으로 정렬되고, 따라서 광학 필터에 대한 법선으로부터 0° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하게 하고; 제3 캘리브레이션 렌즈는 제1 거리만큼 제3 애퍼처로부터 축 방향으로 오프셋되고, 따라서 광학 필터에 대한 법선으로부터 1° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하게 하고; 제4 캘리브레이션 렌즈는 제1 거리보다 큰 제2 거리만큼 제4 애퍼처로부터 축 방향으로 오프셋되고, 광학 필터에 대한 법선으로부터 2° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하게 할 수 있다. 이 예에서, 시스템은 단위 시간당 제1 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트(또는 입사 광자 주파수 등)를 실질적으로 최대화하기 위해 조명 소스의 열 출력을 조정하도록 위에서 설명된 방법들 및 기술들을 구현할 수 있다. 위에서 설명된 바와 같이, 제1 및 제3 캘리브레이션 회로가 제2 및 제4 캘리브레이션 회로에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들보다 큰 실질적으로 유사한 입사 광자 카운트들을 기록하는 경우, 도 2d에 도시된 바와 같이, 시스템은 조명 소스의 중심 출력 파장이 제1 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장에 매치되거나 또는 이보다 큰 것으로 결정할 수 있다. 그 후, 시스템은, 제1 캘리브레이션 픽셀에 의해 기록되는 입사 광자 카운트(또는 입사 광자 주파수 등)가 현재의 임계값보다

작은 경우, 또는 제1 캘리브레이션 픽셀에 의해 판독되는 입사 광자 카운트와 제2 캘리브레이션 픽셀에 의해 판독되는 입사 광자 카운트 사이의 차이(또는 비)가 미리 설정된 임계값보다 작은 경우 등에는, 조명 소스의 출력 파장이 너무 작은 것으로 결정하고, 그에 따라 온도 레귤레이터의 열 출력을 감소시킴으로써, 조명 소스의 출력 파장을 감소시킬 수 있다. 그러나, 이 구현에서, 제4 캘리브레이션 회로가 시스템의 다른 캘리브레이션 회로들에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들보다 많은 입사 광자 카운트를 기록하는 경우, 도 2d에 도시된 바와 같이, 시스템은 조명 소스의 중심 출력 파장이 제1 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장보다 작은 것으로 결정할 수 있고, 그에 따라 온도 레귤레이터의 열 출력을 증가시킴으로써, 조명 소스의 출력 파장을 증가시킬 수 있다. 대안적으로, 위에서 설명된 바와 같이, 시스템은 샘플링 기간 동안에 캘리브레이션 픽셀들의 세트에 의해 기록되는 입사 광자 카운트들을 광자 카운트 템플릿에 매치시키기 위해 템플릿 매치 기술들을 구현하고, 이에 따라 온도 레귤레이터의 열 출력을 변경할 수 있다.

[0049] 렌즈 층이 애퍼처 층과 오정렬되는 유사한 예에서, 제1 캘리브레이션 렌즈는 제1 거리만큼 제1 애퍼처로부터 오프셋되고, 따라서 광학 필터에 대한 법선으로부터 -0.5° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하고; 제2 캘리브레이션 렌즈는 제1 거리만큼 제2 애퍼처로부터 오프셋되고, 따라서 광학 필터에 대한 법선으로부터 0.5° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하고; 제3 캘리브레이션 렌즈는 제1 거리보다 큰 제2 거리만큼 제3 애퍼처로부터 측 방향으로 오프셋되고, 따라서 광학 필터에 대한 법선으로부터 1.5° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력하고; 제4 캘리브레이션 렌즈는 제2 거리보다 큰 제3 거리만큼 제4 애퍼처로부터 측 방향으로 오프셋되고, 따라서 광학 필터에 대한 법선으로부터 2.5° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 출력한다.

[0050] 다른 예에서, 시스템은 (예를 들어, 동작 범위 전역에서 조명 소스의 온도를 변동시키는 것에 의해) 출력 파장들의 범위 전역에서 조명 소스를 스캔함으로써; 스캔 동안에 조명 소스의 다양한 출력 파장들에 대해(또는 스캔 동안에 조명 소스의 각각의 개별 온도에서) 캘리브레이션 템플릿 내의 캘리브레이션 픽셀들의 세트 전역에서 단위 시간당 입사 광자 카운트들을 기록함으로써; 스캔 동안에 조명 소스의 다양한 출력 파장에 대해 감지 픽셀들 전역에서 단위 시간당 입사 광자 카운트들을 기록함으로써; 감지 픽셀들 전역에서 단위 시간당 가장 높은 입사 광자 카운트들을 산출하는 특정 조명 소스 파장(또는 온도)을 식별함으로써; 및 타겟 캘리브레이션 템플릿으로서 스캔으로부터 - 특정 조명 소스 파장에 대응하는 - 특정 캘리브레이션 템플릿을 설정함으로써, 초기 캘리브레이션을 수행한다. 나중에, 동작 동안에, 시스템은 캘리브레이션 픽셀들의 세트 전역에서의 단위 시간당 입사 광자 카운트들을 타겟 캘리브레이션 템플릿에 매치시키기 위해 (예를 들어, 조명 소스의 온도를 변동시킴으로써) 조명 소스의 출력 파장을 변동시킬 수 있다.

[0051] 그러나, 캘리브레이션 애퍼처들 및 캘리브레이션 렌즈들은 임의의 다른 스키마에 따라 명목상 오프셋될 수 있고, 제조 결함들, 제조 한계들 등으로 인해 임의의 다른 방식으로 오프셋될 수 있다. 시스템은 또한 캘리브레이션 회로 - 따라서, 감지 회로 - 와 조명 소스의 유효 동작 파장 사이의 정렬을 특징짓고, 그에 따라 온도 레귤레이터의 열 출력을 변경하기 위해 임의의 다른 방법 또는 기술을 구현할 수 있다.

[0052] 9. 확장된 2차원 캘리브레이션 회로

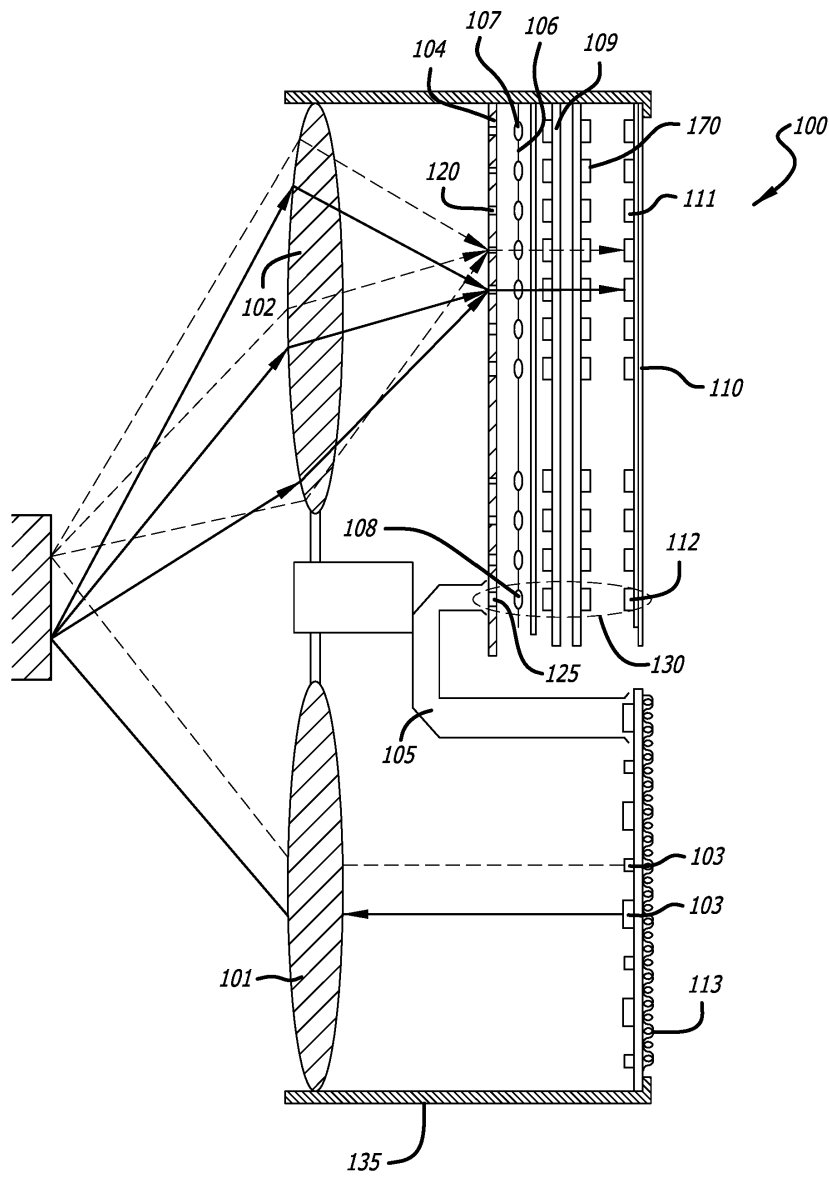
[0053] 다른 구현에서, 시스템은 다수의 축들을 따라 배치된 캘리브레이션 회로들을 포함한다. 예를 들어, 시스템은, 원점 포지션에 배치되고, 공칭 시스템 어셈블리에서 0° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 통과시키도록 구성된 제1 캘리브레이션 회로; 제1 캘리브레이션 회로로부터 측 방향으로 오프셋되고(예를 들어, X축을 따라 오프셋되고), 공칭 시스템 어셈블리에서 1° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 통과시키도록 구성된 제2 캘리브레이션 회로; 제2 캘리브레이션 회로로부터 측 방향으로 오프셋되고, 공칭 시스템 어셈블리에서 2° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 통과시키도록 구성된 제3 캘리브레이션 회로; 제1 캘리브레이션 회로로부터 길이 방향으로 오프셋되고(예를 들어, Y축을 따라 오프셋되고), 공칭 시스템 어셈블리에서 1° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 통과시키도록 구성된 제4 캘리브레이션 회로; 및 제3 캘리브레이션 회로로부터 길이 방향으로 오프셋되고, 공칭 시스템 어셈블리에서 2° 의 각도로 광학 필터를 향해 광을 통과시키도록 구성된 제5 캘리브레이션 회로를 포함할 수 있다. 따라서, 이 캘리브레이션 회로들의 2차원 어레이는 애퍼처 층에 대한 렌즈 층의 측 방향 오프셋 및 길이 방향 오프셋 모두를 나타내는 입사 광자 데이터를 수집할 수 있고, 시스템은, 조명 소스의 중심 출력 파장을 감지 회로의 유효 동작 파장에 정렬시키기 위해, 위에서 설명된 방법들 및 기술들 등에 따라, 5개의 캘리브레이션 픽셀 전역에서 기록되는 입사 광자 카운트 사이의 절대차 또는 상대차에 기초하여 온도 레귤레이터의 열 출력을 변경함으로써, 애퍼처 층에 대한 렌즈 층의 측 방향 오프셋 및 길이 방향 오프셋 모두를 보상할 수 있다.

[0054] 10. 다수의 조명 소스들

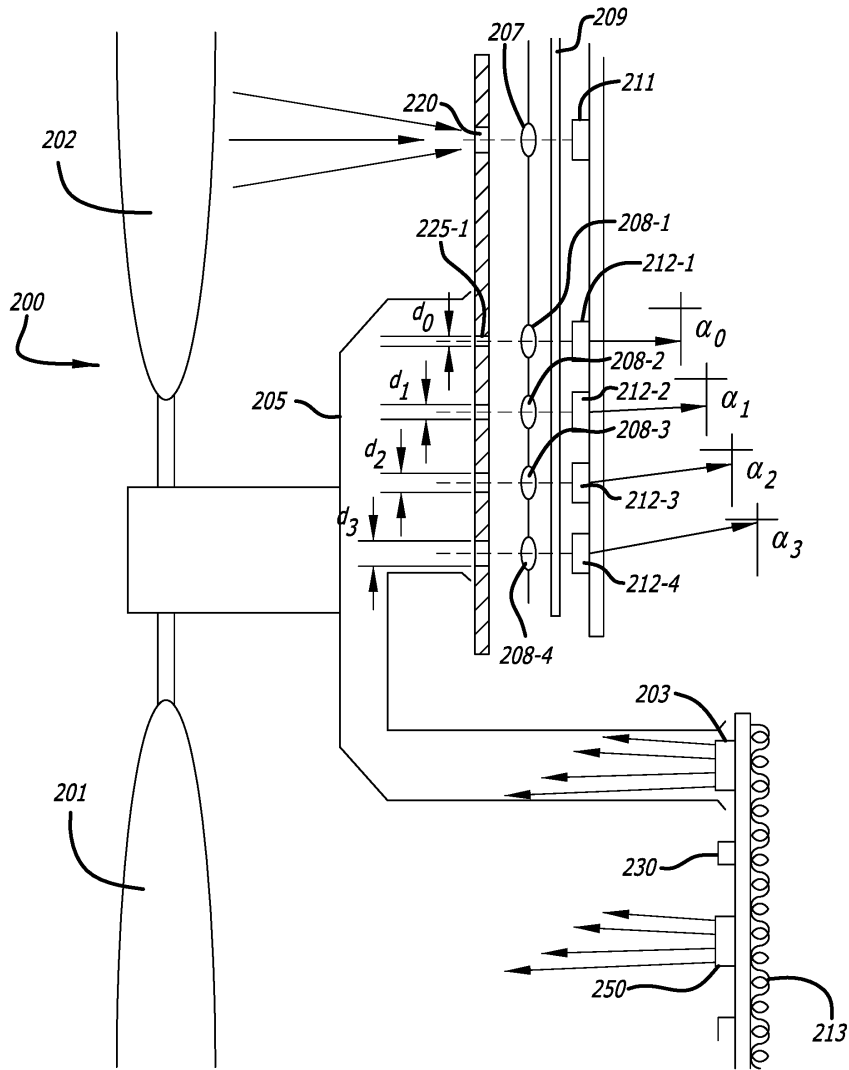
- [0055] 일 변형예에서, 시스템은 다수의 개별 조명 소스들을 추가로 포함한다. 이 변형예에서, 각각의 조명 소스는, 하나의 개별 벌크 송신 광학기; 애퍼처 층, 렌즈 층, 광학 필터 및 픽셀 층에 통합된 캘리브레이션 회로(또는 캘리브레이션 회로들의 세트); 및 조명 소스와 대응하는 캘리브레이션 회로(들)의 캘리브레이션 애퍼처(들) 사이에 삽입된 광학 바이패스와 쌍을 이룬다. 예를 들어, 시스템은, 벌크 수신 광학기의 대향하는 길이 방향 측면들 상의 제1 벌크 송신 광학기 및 제2 벌크 송신 광학기; 제1 벌크 송신 광학기 뒤에 있는 제1 조명 광학기; 및 제2 벌크 송신 광학기 뒤에 있는 제2 조명 광학기를 포함할 수 있다. 이 예에서, 각각의 조명 소스 및 그것의 대응하는 벌크 송신 광학기는 시스템 내의 대응하는 감지 회로들의 시계로 조명 빔들의 세트를 투사시킴으로써, 단일의 유사한 조명 소스를 갖는 시스템에 비해 감지 회로들의 시계당 2배의 조명 전력을 달성할 수 있다.
- [0056] 그러나, 이 변형예에서, 시스템의 다양한 조명 소스들은, 특정 동작 온도에 대한 상이한 중심 출력 파장들 및/또는 동작 온도의 변화당 중심 출력 파장의 상이한 변화들과 같이, 동작 동안에 그들의 출력들에서의 차이들을 나타낼 수 있다. 따라서, 시스템은 조명 소스당 개별 광학 바이패스 및 캘리브레이션 회로(들)를 포함할 수 있다. 특히, 상기 예에서, 시스템은, 제1 조명 소스로부터 애퍼처 층의 제1 길이 방향 측면 위의 제1 캘리브레이션 애퍼처로 연장되는 제1 광학 바이패스; 제2 조명 소스로부터 애퍼처 층의 제1 측면에 대향하는 애퍼처 층의 제2 길이 방향 측면 위의 제2 캘리브레이션 애퍼처로 연장되는 제2 광학 바이패스; 제1 조명 소스에 열적으로 커플링된 제1 온도 레귤레이터; 및 제2 조명 소스에 열적으로 커플링되고, 제1 온도 레귤레이터와 독립적으로 제어되는 제2 온도 레귤레이터를 포함할 수 있다. 따라서, 시스템은 제1 조명 소스의 중심 출력 파장을 제2 조명 소스와 독립적으로 그 대응하는 캘리브레이션 회로의 유효 동작 파장에 매치시키기 위해 상기 방법들 및 기술들을 구현할 수 있고, 그 반대로 마찬가지이다.
- [0057] 그러나, 이 변형예에서, 시스템은, 감지 회로들에 의해 정의되는 시계들을 조명하고 각각의 조명 소스의 출력 파장을 감지 회로들의 유효 동작 파장에 매치시키기 위해, 임의의 다른 수 및 구성의 조명 소스들, 벌크 송신 광학기들, 광학 바이패스들, 온도 레귤레이터들 및 캘리브레이션 회로들을 포함할 수 있다.
- [0058] 본 명세서에서 설명된 시스템들 및 방법들은 컴퓨터 판독 가능 명령어들을 저장하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 수용하도록 구성된 머신으로서 적어도 부분적으로 구체화 및/또는 구현될 수 있다. 명령어들은 애플리케이션, 애플릿, 호스트, 서버, 네트워크, 웹사이트, 통신 서비스, 통신 인터페이스, 사용자 컴퓨터 또는 모바일 디바이스의 하드웨어/펌웨어/소프트웨어 엘리먼트들, 손목밴드, 스마트폰 또는 그 임의의 적절한 조합과 통합된 컴퓨터 실행 가능 컴포넌트들에 의해 실행될 수 있다. 실시예의 다른 시스템들 및 방법들이 컴퓨터 판독 가능 명령어들을 저장하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 수용하도록 구성된 머신으로서 적어도 부분적으로 구체화 및/또는 구현될 수 있다. 명령어들은 위에서 설명된 타입의 장치들 및 네트워크들과 통합된 컴퓨터 실행 가능 컴포넌트들에 의해 통합된 컴퓨터 실행 가능 컴포넌트들에 의해 실행될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 RAM들, ROM들, 플래시 메모리, EEPROM들, 광학 디바이스들(CD 또는 DVD), 하드 드라이브들, 플로피 드라이브들 또는 임의의 적절한 디바이스와 같은 임의의 적절한 컴퓨터 판독 가능 매체 상에 저장될 수 있다. 컴퓨터 실행 가능 컴포넌트는 프로세서일 수 있고, 임의의 적절한 전용 하드웨어 디바이스가 (대안적으로 또는 추가적으로) 명령어들을 실행할 수 있다.
- [0059] 본 기술분야의 통상의 기술자가 이전의 상세한 설명으로부터 그리고 도면들 및 청구범위로부터 인식하는 바와 같이, 이하의 청구범위에서 정의되는 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서, 본 발명의 실시예들에 대한 변경들 및 변화들이 이루어질 수 있다.

도면

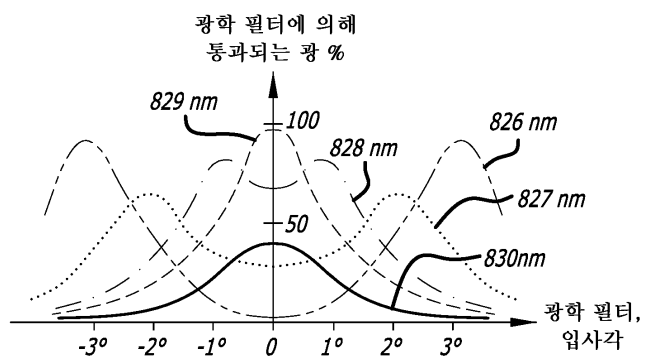
도면1



도면2a



도면2b



도면2c

광학 필터
 λ_{nom} : 829 nm
 d_0 : ~0 μ m
 d_1 : +10 μ m
 d_2 : +20 μ m
 d_3 : +30 μ m

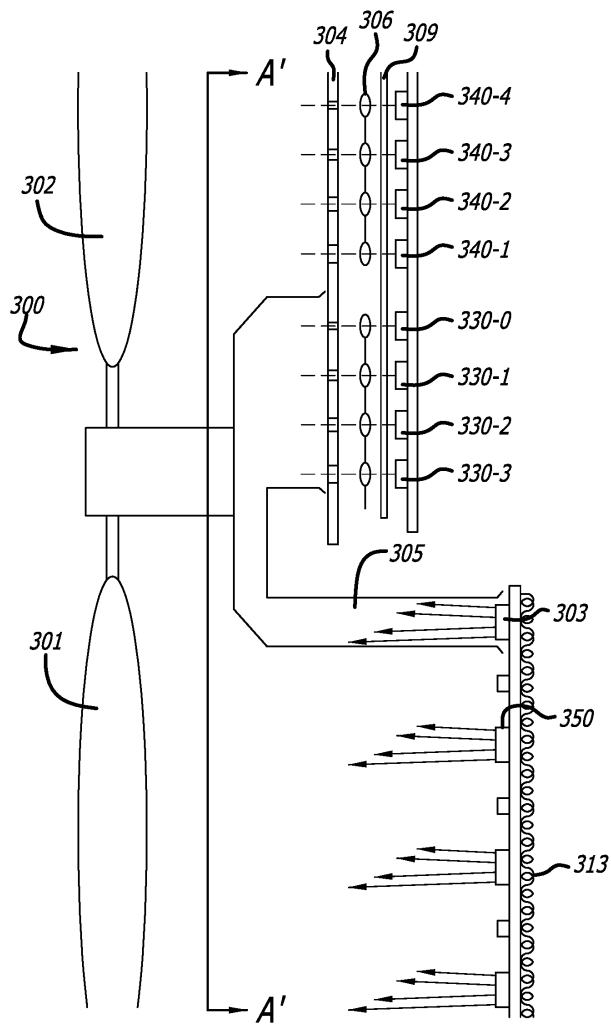
레이저 온도	레이저 출력 λ (nm)	입사 광자 카운트(최대의 %)				TR 전력 증가
		캘리브레이션 회로 1 ($d_0 = 0^\circ$)	캘리브레이션 회로 2 ($d_1 = 1^\circ$)	캘리브레이션 회로 3 ($d_2 = 2^\circ$)	캘리브레이션 회로 4 ($d_3 = 3^\circ$)	
T1	827	40	60	100	30	<div> <div>↑</div> <div>TR 전력 증가</div> <div>↓</div> <div>TR 전력 감소</div> </div>
T2	828	90	100	30	0	
T3	829	100	90	30	5	
T4	830	50	45	15	0	
T5	831	10	5	0	0	

도면2d

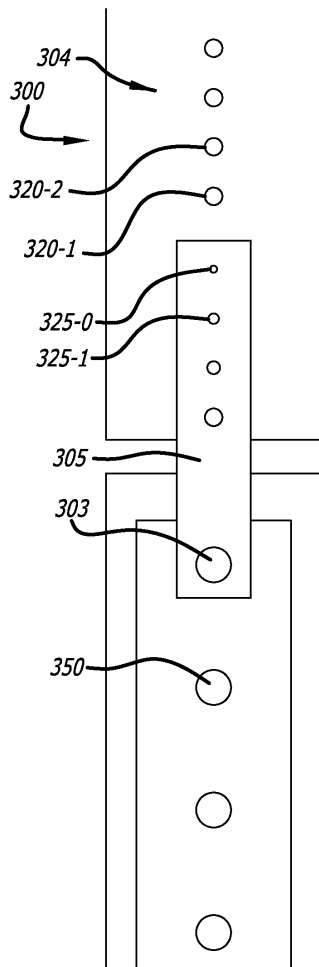
광학 필터
 λ_{nom} : 829 nm
 d_0 : -10 μ m
 d_1 : ~0 μ m
 d_2 : +10 μ m
 d_3 : +20 μ m

레이저 온도	레이저 출력 λ (nm)	입사 광자 카운트(최대의 %)				TR 전력 증가
		캘리브레이션 회로 1 ($d_0 = -1^\circ$)	캘리브레이션 회로 2 ($d_1 = 0^\circ$)	캘리브레이션 회로 3 ($d_2 = 1^\circ$)	캘리브레이션 회로 4 ($d_3 = 2^\circ$)	
T0	826	15	5	15	60	<div> <div>↑</div> <div>TR 전력 증가</div> <div>↓</div> <div>TR 전력 감소</div> </div>
T1	827	70	45	70	100	
T2	828	100	90	100	45	
T3	829	90	100	90	15	
T4	830	45	50	45	0	

도면3a



도면3b



도면4

