(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월27일
(11) 등록번호 10-2413166
(24) 등록일자 2022년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 17/93 (2020.01) *G05D 1/02* (2020.01)
H01S 3/23 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 17/93 (2013.01)
G05D 1/0242 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-7030512
(22) 출원일자(국제) 2017년04월05일
심사청구일자 2020년03월30일
(85) 번역문제출일자 2018년10월22일
(65) 공개번호 10-2018-0128447
(43) 공개일자 2018년12월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/026109
(87) 국제공개번호 WO 2017/184336
국제공개일자 2017년10월26일
(30) 우선권주장
62/326,576 2016년04월22일 미국(US)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150045735 A*
JP2007214564 A*
US20080074640 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
옵시스 테크 엘티디
이스라엘, 5885849 홀론, 하록밈 스트리트 26, 아즈리엘리 센터 홀론, 빌딩 에이, 8층
(72) 발명자
도노반, 마크 제이.
미국, 캘리포니아 94040, 마운틴 뷰, 포드햄 웨이 1517
(74) 대리인
문용호, 오종한

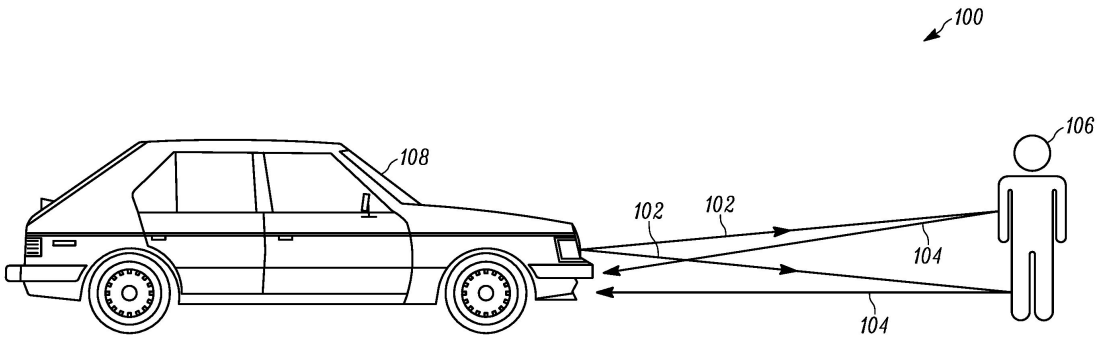
전체 청구항 수 : 총 61 항 심사관 : 임일순

(54) 발명의 명칭 **다파장 LIDAR 시스템**

(57) 요 약

다파장 LIDAR 시스템은 제1 파장을 갖는 제1 광 빔을 생성하는 제1 레이저 소스와 제2 파장을 갖는 제2 광 빔을 생성하는 제2 레이저 소스를 포함한다. 광학 소자는 타겟면에 제1 광 빔을 투영하여 제1 빔 프로파일을 형성하고 타겟면에 제2 광 빔을 투영하여 제2 빔 프로파일을 형성한다. 광학 수신기는 타겟면에서 수신된 제1 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 제1 파장 신호를 생성하고 제2 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 제2 파장 신호를 생성한다. 제어기는 제1 및 제2 파장 신호로부터 측정 지점 클라우드를 생성하고, 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 타겟면에서의 제1 및 제2 빔 프로파일의 상대 위치에 의존한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
H01S 3/23 (2013.01)

(30) 우선권주장
62/396,295 2016년09월19일 미국(US)
15/456,789 2017년03월13일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

다파장(multi-wavelength) LIDAR 시스템으로서,

a) 제1 파장을 갖는 제1 광 빔을 생성하는 제1 레이저 소스 및 제2 파장을 갖는 제2 광 빔을 생성하는 제2 레이저 소스;

b) 상기 제1 및 제2 광 빔을 수신하도록 위치설정되고, 제1 경로에 상기 제1 광 빔을 투영하여 타겟면에 제1 빔 프로파일을 형성하고, 상기 제1 경로와 평행하고 상기 제1 경로로부터 이격된 제2 경로에 상기 제2 광 빔을 투영하여 상기 타겟면에 제2 빔 프로파일을 형성함으로써, 상기 타겟면의 차원에서 상기 제1 빔 프로파일의 중앙과 상기 제2 빔 프로파일의 중앙 사이에 오프셋이 발생하는 파장 결합기;

c) 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제1 빔 프로파일의 일부 및 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제2 빔 프로파일의 일부를 수신하도록 위치설정되고, 수신된 상기 제1 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 제1 파장 신호를 제1 출력에서 생성하고, 상기 제2 빔 프로파일의 상기 타겟면에서 반사된 일부에 대응하는 제2 파장 신호를 제2 출력에서 생성하는 광학 수신기; 및

d) 상기 광학 수신기의 상기 제1 및 제2 출력에 전기적으로 접속된 제1 입력을 갖는 제어기를 포함하고, 상기 제어기는 상기 광학 수신기에 의해 생성된 상기 제1 및 제2 파장 신호로부터 측정 지점 클라우드를 생성하고, 상기 차원에서 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능(angular resolution)은 상기 오프셋에 의존하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 레이저 소스 중 적어도 하나는 통합형 렌즈릿(integrated lenslet)을 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 레이저 소스 중 적어도 하나는 펄스형 레이저 소스를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 제1 및 제2 레이저 소스는 제1 펄스폭을 갖는 제1 펄스형 광 빔 및 제2 펄스폭을 갖는 제2 펄스형 광 빔을 각각 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 제1 및 제2 레이저 소스는 제1 시그니처(signature)를 갖는 제1 고차 광 빔 및 제2 시그니처를 갖는 제2 고차 광 빔을 각각 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 제1 및 제2 레이저 소스는 제1 펄스 주파수를 갖는 제1 펄스형 광 빔 및 제2 펄스 주파수를 갖는 제2 펄스형 광 빔을 각각 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 레이저 소스 중 적어도 하나는 편광형 광 빔을 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 빔 프로파일은 상기 타겟면 상에서 공간적으로 중첩되어, 상기 측정 지점 클

라우드의 각도 분해능을 증가시키는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 각도 분해능은 제1 각도 분해능 및 제2 각도 분해능을 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 측정 지점 클라우드의 시야는 제1 시야 및 제2 시야를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 파장 결합기는 자유 공간 광학 소자를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 파장 결합기는 파장 멀티플렉서를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 파장 결합기는 회절 광학 소자를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서, 렌즈를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 파장 결합기는 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능이 상기 타겟면으로부터 상기 파장 결합기까지의 미리 정해진 거리에서 0.4도 미만이도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 18

제1항에 있어서, 투영 소자를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 19

제1항에 있어서, 상기 광학 수신기는 상기 제1 파장을 갖는 광을 검출하는 제1 수신기 및 상기 제2 파장을 갖는 광을 검출하는 제2 수신기를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 20

제1항에 있어서, 교정, 성능, 및 신뢰성 감시 중 적어도 하나를 제공하는 성능 모니터를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 성능 모니터는 광출력 모니터를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 22

제20항에 있어서, 상기 성능 모니터는 파장 모니터를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 23

제1항에 있어서, 온도 모니터를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 24

제23항에 있어서, 열 제어 장치를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 25

제1항에 있어서, 상기 수신기의 제1 및 제2 출력은 동일한 출력인 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 26

다파장 LIDAR 시스템으로서,

a) 제1 파장을 갖는 제1 복수의 광 빔을 생성하도록, 제1 행에 위치설정되는 제1 복수의 레이저 이미터;

b) 제2 파장을 갖는 제2 복수의 광 빔을 생성하도록, 제2 행에 위치설정되는 제2 복수의 레이저 이미터;

c) 상기 제1 및 제2 복수의 광 빔을 수신하도록 위치설정되고, 제1 복수의 광 경로로 상기 제1 복수의 광 빔을 투영하여 타겟면에 제1 복수의 빔 프로파일을 형성하고, 제2 복수의 광 경로로 상기 제2 복수의 광 빔을 투영하여 상기 타겟면에 제2 복수의 빔 프로파일을 형성함으로써, 상기 타겟면의 차원에서 적어도 하나의 상기 제1 복수의 빔 프로파일의 위치와 적어도 하나의 상기 제2 복수의 빔 프로파일의 위치 사이에 오프셋이 발생하는 광학 소자;

d) 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제1 복수의 빔 프로파일의 일부 및 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제2 복수의 빔 프로파일의 일부를 수신하도록 위치설정되고, 수신된 상기 제1 복수의 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 제1 복수의 파장 신호를 제1 출력에서 생성하고, 상기 제2 복수의 빔 프로파일의 상기 타겟면에서 반사된 일부에 대응하는 제2 복수의 파장 신호를 제2 출력에서 생성하는 광학 수신기; 및

e) 상기 광학 수신기의 상기 제1 및 제2 출력에 전기적으로 접속된 제1 입력을 갖는 갖는 제어기를 포함하고, 상기 제어기는 상기 광학 수신기에 의해 생성된 상기 제1 및 제2 복수의 파장 신호로부터 측정 지점 클라우드를 생성하고, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 상기 타겟면의 상기 차원에서 상기 오프셋에 의존하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 27

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터 중 적어도 하나는 통합형 렌즈릿을 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 28

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터 중 적어도 하나는 2차원 어레이를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 29

제26항에 있어서, 단일 레이저 이미터에 에너지가 공급될 수 있도록 상기 제1 복수의 레이저 이미터 중 적어도 일부의 레이저 이미터의 애노드는 제1 금속 접촉부에 전기적으로 접속되고, 상기 제1 복수의 레이저 이미터 중 적어도 일부의 레이저 이미터의 캐소드는 제2 금속 접촉부에 전기적으로 접속되는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 30

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터 중 적어도 하나는 곡선형 기판 상에 위치설정된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 31

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터 중 적어도 하나는 펄스형 레이저 소스를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 32

제31항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터는 제1 펄스폭을 갖는 제1 복수의 펄스형 광 빔 및 제2

펄스폭을 갖는 제2 복수의 펄스형 광 빔을 각각 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 33

제31항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터는 제1 시그니처를 갖는 제1 복수의 고차 광 빔 및 제2 시그니처를 갖는 제2 복수의 고차 광 빔을 각각 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 34

제31항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터는 제1 펄스 주파수를 갖는 제1 복수의 펄스형 광 빔 및 제2 펄스 주파수를 갖는 제2 복수의 펄스형 광 빔을 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 35

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터 중 적어도 하나는 복수의 편광형 광 빔을 생성하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 36

제26항에 있어서, 상기 제1 복수의 빔 프로파일 중 적어도 하나는 상기 타겟면 상에서 상기 제2 복수의 빔 프로파일 중 적어도 하나의 공간적으로 중첩하여, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능을 증가시키는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 37

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 상기 제1 복수의 광 경로 중 적어도 하나가 상기 제2 복수의 광 경로 중 적어도 하나와 동일하도록 상기 제1 및 제2 복수의 광 빔을 투영하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 38

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 상기 제1 및 제2 복수의 광 경로가 상이한 광 경로이도록 상기 제1 및 제2 복수의 광 빔을 투영하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 39

제26항에 있어서, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 제1 분해능 및 제2 분해능을 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 40

제26항에 있어서, 상기 측정 지점 클라우드의 시야는 제1 시야 및 제2 시야를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 41

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터는 상기 측정 지점 클라우드가 제1 밀도를 갖는 제1 측정 지점 클라우드 및 제2 밀도를 갖는 제2 측정 지점 클라우드를 포함하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 42

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 자유 공간 광학 소자를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 43

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 파장 멀티플렉서를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 44

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 회절 광학 소자를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 45

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 렌즈를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 46

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능이 상기 타겟면으로부터 상기 광학 소자까지의 미리 정해진 거리에서 0.4도 미만이도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 47

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 복수의 광학 소자를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 48

제26항에 있어서, 상기 광학 소자는 상기 제1 파장을 갖는 광을 검출하는 제1 수신기 및 상기 제2 파장을 갖는 광을 검출하는 제2 수신기를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 49

제26항에 있어서, 교정, 성능, 및 신뢰성 감시 중 적어도 하나를 제공하는 성능 모니터를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 50

제49항에 있어서, 상기 성능 모니터는 광출력 모니터를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 51

제49항에 있어서, 상기 성능 모니터는 파장 모니터를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 52

제26항에 있어서, 온도 모니터를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 53

제52항에 있어서, 열 제어 장치를 더 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 54

제26항에 있어서, 상기 수신기의 제1 및 제2 출력은 동일한 출력인 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 55

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터 중 적어도 하나는 통합형 레이저 드라이버를 포함하는 기판 상에 형성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 56

제26항에 있어서, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 적어도 한 치수에서 가변되는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 57

제26항에 있어서, 상기 제1 및 제2 복수의 레이저 이미터 중 적어도 하나는 VCSEL 어레이를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 58

다파장 LIDAR 시스템으로서,

a) 복수의 레이저 이미터로서, 상기 복수의 레이저 이미터의 각각이 복수의 광 빔 중 하나를 생성하고, 상기 복수의 광 빔 중 적어도 두 개는 상이한 파장을 갖는, 복수의 레이저 이미터;

b) 상기 복수의 광 빔을 수신하도록 위치설정되고, 상기 복수의 광 빔을 복수의 경로에 투영하여 타겟면에 복수의 빔 프로파일을 형성하는 광학 소자로서, 상기 복수의 빔 프로파일 중 적어도 두 개의 빔 프로파일이 상이한

파장을 갖는, 광학 소자;

c) 상기 타겟면에서 반사되는 상기 복수의 빔 프로파일의 일부를 수신하도록 위치설정되고, 수신된 상기 복수의 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 복수의 신호를 복수의 출력에서 생성하는 광학 수신기로서, 상기 복수의 신호 중 적어도 두 개가 상기 상이한 파장에 대응하는, 광학 수신기; 및

d) 상기 광학 수신기의 상기 복수의 출력에 전기적으로 접속된 복수의 입력을 갖는 제어기를 포함하고,

상기 제어기는 상기 광학 수신기에 의해 생성된 상기 복수의 신호로부터 측정 지점 클라우드를 생성하고, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 상기 상이한 파장을 갖는 상기 적어도 두 개의 빔 프로파일의 상대 위치에 의존하는, 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 59

제58항에 있어서, 상기 복수의 레이저 이미터는 상기 복수의 광 빔의 각각이 상이한 파장을 갖도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 60

제58항에 있어서, 상기 복수의 레이저 이미터는 상기 복수의 광 빔의 각각의 파장이 각각의 광 빔의 방사상 위치의 함수로서 변하도록 구성된 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 61

제60항에 있어서, 상기 광학 소자에 의해 투영되는 상기 복수의 경로는 복수의 평행 경로를 포함하는 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 62

제1항에 있어서, 상기 광학 수신기는, 수신된 상기 제1 빔 프로파일의 반사된 일부에 상응하는 상기 제1 파장 신호를 생성하고, 동시에 상기 제2 빔 프로파일의 상기 타겟면에서 반사된 일부에 상응하는 상기 제2 파장 신호를 생성하는, 다파장 LIDAR 시스템.

청구항 63

제1항에 있어서, 상기 광학 수신기는, 수신된 상기 제1 빔 프로파일의 반사된 일부에 상응하는 상기 제1 파장 신호를 생성하고, 다른 시점에 상기 제2 빔 프로파일의 상기 타겟면에서 반사된 일부에 상응하는 상기 제2 파장 신호를 생성하는, 다파장 LIDAR 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 교시는 광을 반사 및/또는 산란하는 다양한 대상 또는 타겟에 대한 거리를 측정하는 광 검출 및 측거 시스템(LIDAR)에 관한 것이다.

[0002] 본원에서 사용되는 식별 항목은 조직적인 목적을 위한 것일 뿐이며, 본원에 기재된 주제를 어떠한 식으로든 한정하는 것으로서 해석해서는 안 된다.

[0003] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0004] 본원은 "Multi-Wavelength Lidar System"이라는 명칭으로 2016년 4월 22일에 가출원된 미국 가특허출원번호 제62/326,576호 및 "WDM Lidar System"이라는 명칭으로 2016년 9월 19일 가출원된 미국 가특허출원번호 제62/396,295호의 정규 출원이다. 미국 가특허출원번호 제62/326,576호와 미국 가특허출원번호 제62/396,295호의 전문은 본원에 참고로 원용된다.

배 경 기 술

[0005] 자율 주행(자가 운전) 및 반자율 주행 자동차는 주변 대상을 검출하고 위치를 파악하기 위한 레이더, 화상 인식 카메라, 및 소나(sonar) 등의 상이한 센서와 기술들의 조합을 사용한다. 이들 센서는 충돌 경고, 자동 비상 제

동, 차선 이탈 경고, 차선 유지 보조, 적응형 순항 제어, 및 조종 주행을 포함한 운전자 안전을 많이 개선할 수 있다. 이러한 센서 기술들 중에서, 광 검출 및 측거(light detection and ranging; LIDAR) 시스템은 대상 거리의 실시간 측정을 가능하게 하는 가장 중요한 기술들 중 하나이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 교시의 목적은 광을 반사 및/또는 산란하는 다양한 대상 또는 타겟에 대한 거리를 측정하는 광 검출 및 측거 시스템(LIDAR)을 제공하는 데 있다.

[0007] 본 교시의 다른 목적은 다파장의 광을 유리하게 사용하여 성능을 개선하고 또한 종래 기술의 LIDAR 시스템에 비해 크기, 비용, 및 복잡성을 감소시킬 수 있는 LIDAR 시스템을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 교시의 실시예에 따른 LIDAR 시스템은 a) 제1 파장을 갖는 제1 광 빔을 생성하는 제1 레이저 소스 및 제2 파장을 갖는 제2 광 빔을 생성하는 제2 레이저 소스; b) 상기 제1 및 제2 광 빔을 수신하도록 위치설정되고, 제1 경로로 상기 제1 광 빔을 투영하여 타겟면에 제1 빔 프로파일을 형성하고, 제2 경로로 상기 제2 광 빔을 투영하여 상기 타겟면에 제2 빔 프로파일을 형성하는 광학 소자; c) 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제1 빔 프로파일의 일부 및 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제2 빔 프로파일의 일부를 수신하도록 위치설정되고, 수신된 상기 제1 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 제1 파장 신호를 제1 출력에서 생성하고, 상기 제2 빔 프로파일의 상기 타겟면에서 반사된 일부에 대응하는 제2 파장 신호를 제2 출력에서 생성하는 광학 수신기; 및 d) 상기 광학 수신기의 제1 및 제2 출력에 전기적으로 접속된 제1 입력을 갖는 제어기를 포함하고, 상기 제어기는 상기 광학 수신기에 의해 생성된 상기 제1 및 제2 파장 신호로부터 측정 지점 클라우드를 생성하고, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능(angular resolution)은 상기 타겟면에서의 제1 및 제2 빔 프로파일의 상대 위치에 의존할 수 있다.

[0009] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 교시의 다른 실시예에 따른 LIDAR 시스템은 a) 제1 파장을 갖는 제1 복수의 광 빔을 생성하는 제1 복수의 레이저 이미터 및 제2 파장을 갖는 제2 복수의 광 빔을 생성하는 제2 복수의 레이저 이미터; b) 상기 제1 및 제2 복수의 광 빔을 수신하도록 위치설정되고, 제1 복수의 경로로 상기 복수의 제1 광 빔을 투영하여 타겟면에 제1 복수의 빔 프로파일을 형성하고, 제2 복수의 경로로 상기 제2 복수의 광 빔을 투영하여 상기 타겟면에 제2 복수의 빔 프로파일을 형성하는 광학 소자; c) 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제1 복수의 빔 프로파일의 일부 및 상기 타겟면에서 반사되는 상기 제2 복수의 빔 프로파일의 일부를 수신하도록 위치설정되고, 수신된 상기 제1 복수의 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 복수의 제1 파장 신호를 제1 출력에서 생성하고, 상기 제2 복수의 빔 프로파일의 상기 타겟면에서 반사된 일부에 대응하는 제2 복수의 파장 신호를 제2 출력에서 생성하는 광학 수신기; 및 d) 상기 광학 수신기의 제1 및 제2 출력에 전기적으로 접속된 제1 입력을 갖는 갖는 제어기를 포함하고, 상기 제어기는 상기 광학 수신기에 의해 생성된 상기 제1 및 제2 복수의 파장 신호로부터 측정 지점 클라우드를 생성하고, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 상기 타겟면에서 상기 제1 복수의 빔 프로파일 중 적어도 하나 및 상기 제2 복수의 빔 프로파일 중 적어도 하나의 상대 위치에 의존할 수 있다.

[0010] 또한, 상기한 목적을 달성하기 위한 본 교시의 또 다른 실시예에 따른 LIDAR 시스템은 a) 복수의 레이저 이미터로서, 상기 복수의 레이저 이미터의 각각이 복수의 광 빔 중 하나를 생성하고, 상기 복수의 광 빔 중 적어도 두 개는 상이한 파장을 갖는, 복수의 레이저 이미터; b) 상기 복수의 광 빔을 수신하도록 위치설정되고, 상기 복수의 광 빔을 복수의 경로에 투영하여 타겟면에 복수의 빔 프로파일을 형성하는 광학 소자로서, 상기 복수의 빔 프로파일 중 적어도 두 개의 빔 프로파일이 상이한 파장을 갖는, 광학 소자; c) 상기 타겟면에서 반사되는 상기 복수의 빔 프로파일의 일부를 수신하도록 위치설정되고, 수신된 상기 복수의 빔 프로파일의 반사된 일부에 대응하는 복수의 신호를 복수의 출력에서 생성하는 광학 수신기로서, 상기 복수의 신호 중 적어도 두 개가 상기 상이한 파장에 대응하는, 광학 수신기; 및 d) 상기 광학 수신기의 상기 복수의 출력에 전기적으로 접속된 복수의 입력을 갖는 제어기를 포함하고, 상기 제어기는 상기 광학 수신기에 의해 생성된 상기 복수의 신호로부터 측정 지점 클라우드를 생성하고, 상기 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 상기 상이한 파장을 갖는 상기 적어도 두 개의 빔 프로파일의 상대 위치에 의존할 수 있다.

발명의 효과

[0011] 본 교시의 실시예에 따른 다파장 LIDAR 시스템은 상대적으로 빠른 리프레시 속도를 제공하고, LIDAR 측거와는 다른 기능을 수행할 수 있으며, 광학 성능 감시가 가능할 수 있다.

[0012] 또한, 본 교시의 실시예에 따른 다파장 LIDAR 시스템은 다양한 광학 소스로부터의 간섭에 내성이거나 면역될 수 있으며, 개선된 시스템 정밀도 및/또는 수신기와 처리 전자 장치에 대한 감소된 요건을 가질 수 있다.

[0013] 또한, 본 교시의 실시예에 따른 다파장 LIDAR 시스템은 시스템 내의 가동 렌즈 시스템 또는 다른 가동 부품의 사용을 요구하지 않고서 3D 지점별 맵핑에 대한 상대적으로 높은 세분성이 달성될 수 있으며, 개선된 레이저 바이어스 알고리즘, 레이저 수명 신뢰성 개선, 및 전체 시스템 성능 감시에 대한 피드백을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 바람직하고 예시적인 실시예들에 따른 본 발명의 교시는, 본 발명의 추가 이점과 함께, 첨부 도면과 관련하여 취해진 다음에 따르는 상세한 설명에서 더욱 상세하게 설명한다. 통상의 기술자는, 이하에서 설명하는 도면들이 단지 예시를 위한 것임을 이해할 것이다. 도면들은 반드시 축척대로 된 것은 아니며, 대신 일반적으로 교시의 원리를 예시하는 데 중점을 둔 것이다. 도면들은 어떠한 식으로든 출원인의 교시 범위를 한정하려는 것이 아니다.

도 1은 차량에 구현된 본 교시의 LIDAR 시스템의 동작을 도시한다.

도 2는 자동차의 주변을 위한 전형적인 LIDAR 감지 시스템의 2차원 시야 및 범위 요건을 나타내는 개략도를 도시한다.

도 3은 본 교시의 다중 모듈 LIDAR 센서 시스템의 일 실시예를 도시한다.

도 4는 본 교시의 LIDAR 센서 시스템의 일 실시예에 대한 수평 각도 분해능(angular resolution)을 거리의 함수로서 나타내는 표를 도시한다.

도 5는 Velodyne LiDAR™ 시스템의 광고된 성능을 나타내는 표이다.

도 6은 본 교시의 LIDAR 시스템의 일 실시예의 성능 사양을 나타내는 표이다.

도 7은 본 교시의 2개의 레이저를 사용하는 다파장 LIDAR 시스템의 일 실시예를 도시한다.

도 8은 본 교시의 2개의 레이저와 파장 결합기를 사용하는 다파장 LIDAR 시스템을 위한 조명기의 일 실시예를 도시한다.

도 9는 본 교시의 상이한 파장에 대하여 다중 수신기를 사용하는 수신기의 일 실시예를 도시한다.

도 10은 본 교시에 따른 다파장 LIDAR 시스템에 대한 간단한 코딩 기법의 일 실시예를 도시한다.

도 11은 21개의 개별적인 애퍼처에 의해 형성된 클러스터를 포함하는 종래 기술의 클러스터 VCSEL 장치를 도시한다.

도 12a는 개별적으로 배열된 다수의 클러스터 VCSEL 장치를 포함하는 칩을 도시한다.

도 12b는 바(bar)로 배열된 다수의 클러스터 VCSEL 장치를 포함하는 칩을 도시한다.

도 12c는 본 교시의 다수의 클러스터 VCSEL 장치를 포함하는 칩의 애노드 금속 접촉 패드의 평면도이다.

도 12d는 도 12c에 도시된 다수의 클러스터 VCSEL 장치를 포함하는 칩의 캐소드 금속 접촉 패드의 저면도를 도시한다.

도 13은 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템을 위한 다중 이미터(multi-emitter) 레이저 소스의 일 실시예를 도시한다.

도 14는 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템을 위한 조명기의 일 실시예의 단면도를 도시한다.

도 15a는 본 교시의 단일 파장 2D 다중 이미터 레이저 소스 조명의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드(measurement point cloud)를 도시한다.

도 15b는 본 교시의 2파장 2D 다중 이미터 레이저 소스 조명의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드를 도시한다.

도 16은 본 교시의 다른 2파장 LIDAR의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드를 도시한다.

도 17은 본 교시의 3파장 LIDAR의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드를 도시한다.

도 18은 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템을 위한 조명기의 일 실시예를 도시한다.

도 19는 도 18의 조명기 실시예로 생성될 수 있는 측정 지점 클라우드를 도시한다.

도 20은 본 교시의 다파장 LIDAR 구성에서 2개의 다중 이미터 소스를 사용하여 생성된 측정 지점 클라우드의 일 실시예를 도시한다.

도 21은 다파장 LIDAR의 일 실시예에 의해 생성된 측정 지점 클라우드를 도시하며, 전체 시야를 가로지르는 하나의 파장에서의 측정 지점의 밀도는 본 교시에 따른 제2 파장의 절반이다.

도 22는 본 교시의 4개 파장을 이용하는 다파장 LIDAR의 측정 지점 클라우드의 일 실시예를 도시한다.

도 23a는 본 교시에 따른 각도 분해능이 특정 방향으로 변하는 다파장 LIDAR의 일 실시예에 대한 VCSEL 어레이 레이아웃을 도시한다.

도 23b는 본 교시에 따라 다양한 각도 분해능을 갖는 다파장 LIDAR의 일 실시예에 의해 생성된 측정 지점 클라우드를 도시한다.

도 24a는 본 교시의 다중 모드 다중 이미터 VCSEL 레이저 소스의 일 실시예를 도시한다.

도 24b는 도 24a의 다중 모드 다중 이미터 VCSEL 레이저 소스의 투영된 빔 프로파일의 단면을 도시한다.

도 24c는 도 24a의 다중 모드 다중 이미터 VCSEL 레이저 소스에 대한 투영 각도를 도시한다.

도 25는 본 교시에 따라 VCSEL 장치에 근접하여 위치하는 온도를 측정하는 데 사용되는 장치를 포함하는 VCSEL 어레이의 일 실시예를 도시한다.

도 26은 본 교시에 따라 VCSEL 어레이 온도를 제어하기 위한 능동 열 제어 장치를 포함하는 VCSEL 어레이의 일 실시예를 도시한다.

도 27은 본 교시에 따라 VCSEL들을 가열 및 냉각하기 위한 열전 냉각기(TEC)를 포함하는 온도 제어형 VCSEL 어레이의 일 실시예를 도시한다.

도 28a는 본 교시의 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 일 실시예의 평면도를 도시한다.

도 28b는 도 28a의 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 실시예의 측면도를 도시한다.

도 28c는 도 28a의 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 실시예의 저면도를 도시한다.

도 29는 본 교시의 다파장 LIDAR를 위한 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 다른 일 실시예를 도시한다.

도 30은 본 교시의 다파장 LIDAR를 위한 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 일 실시예의 시스템 블록도를 도시한다.

도 31은 본 교시의 다중-소자 다파장 LIDAR 시스템을 위한 다파장 광 전력 모니터의 일 실시예를 도시한다.

도 32는 본 교시에 따라 상이한 파장을 방출하는 레이저 애퍼처를 포함하는 VCSEL 클러스터 레이아웃의 일 실시예를 도시한다.

도 33은 도 32의 VCSEL 클러스터 레이아웃을 포함하는 조명기의 일 실시예를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 첨부 도면에 도시된 바와 같은 예시적인 실시예를 참조하여 본 교시를 더욱 상세히 설명한다. 본 발명의 교시가 다양한 실시예와 예에 관련하여 설명되고 있지만, 본 교시가 이러한 실시예로 한정되는 것은 아니다. 반대로, 본 교시는 통상의 기술자에게 자명한 바와 같이 다양한 대안, 수정, 및 균등물을 포함한다. 본원의 교시에 접근하는 통상의 기술자는, 본원에서 설명하는 본 개시 내용의 범위 내에 있는 추가 구현, 수정, 실시예, 및

다른 사용 분야도 인식할 것이다.

[0016] 명세서에서 "일 실시예" 또는 "실시예"라고 언급하는 것은, 해당 실시예와 관련하여 설명되는 특정한 형태, 구조 또는 특성이 본 교시의 적어도 하나의 실시예에 포함됨을 의미한다. 명세서의 다양한 곳에서 보이는 "일 실시예에서"라는 문구는, 반드시 동일한 실시예를 지칭하는 것은 아니다.

[0017] 본 교시의 방법의 개별 단계들은 그 교시가 작용가능한 한 임의의 순서 및/또는 동시에 수행될 수 있음을 이해해야 한다. 또한, 본 교시의 장치 및 방법은 교시가 작용가능한 한 설명되는 실시예들 중 임의의 개수 또는 모두를 포함할 수 있음을 이해해야 한다.

[0018] 본 교시는 광을 반사 및/또는 산란하는 다양한 대상 또는 타겟에 대한 거리를 측정하는 광 검출 및 측거 시스템(LIDAR)에 관한 것이다. 특히, 본 교시는 다파장의 광을 유리하게 사용하여 성능을 개선하고 또한 종래 기술의 LIDAR 시스템에 비해 크기, 비용, 및 복잡성을 감소시킬 수 있는 LIDAR 시스템에 관한 것이다.

[0019] 본 교시의 시스템은 단일 이미터 및/또는 다중 이미터를 포함하는 광원을 사용할 수 있다. 예를 들어, 단일 소자 VCSEL 또는 단일 에지 방출 레이저 장치를 사용하는 광원은 단일 이미터로 간주된다. 하나 이상의 기판 상에 배열된 다수의 VCSEL 소자 또는 다수의 에지 방출 레이저 소스를 사용하는 광원은 다수의 이미터 소스로 간주된다. 다소자(multi-element) 이미터는 1차원 어레이와 2차원 어레이를 포함하는 다양한 어레이 구성으로 구성될 수 있다. 이하의 설명에서는, 단일 이미터 소스 및/또는 다중 이미터 레이저 소스를 갖는 다양한 실시예를 언급한다. 그러나, 통상의 기술자에게는, 본 교시의 LIDAR 시스템의 구체적인 실시예들의 특징이 단일 이미터 및/또는 다중 이미터 레이저 소스로 한정되는 것으로 간주해서는 안 되며, 오히려 본 교시에 부합하는 바와 같이 단일 이미터 및/또는 다중 이미터 레이저 소스 모두에 적용되는 것으로 더욱 광범위하게 해석된다는 점이 명백할 것이다.

[0020] 도 1은 차량에 구현된 본 교시의 LIDAR 시스템(100)의 동작을 도시한다. LIDAR 시스템(100)은 광원에 의해 생성된 광 빔(102)을 타겟 장면을 향하여 투영하는, 조명기라고도 하는 레이저 프로젝터, 및 그 타겟 장면에 있는 사람(106)으로서 도시된 대상을 반사하는 광(104)을 수신하는 수신기를 포함한다. 또한, LIDAR 시스템은 전형적으로, 반사광으로부터 대상(106)에 대한 거리 정보를 연산하는 제어기, 및 원하는 범위와 시야(FOV) 내의 정적 패턴일 수 있는 광의 특정 패턴을 스캐닝하거나 제공할 수 있는 소자도 포함한다. 수신기와 제어기는 수신된 신호 광을 LIDAR 시스템 범위와 FOV 내에 있는 주변 환경의 지점별 3차원 지도를 나타내는 측정값으로 변환하는 데 사용된다. 다양한 실시예에서, 제어기는 특정 응용분야에 따라 단순한 전기 회로 또는 보다 복잡한 프로세서일 수 있다.

[0021] 조명기를 형성하는 레이저 소스 및 광 빔 투영 수단과 수신기는 차량(108)의 전방 측에 위치될 수 있다. 사람(106) 및/또는 자동차 또는 조명 기둥 등의 다른 대상은 소스로부터 반사되는 광을 다시 수신기에 제공하고, 그 대상에 대한 범위 또는 거리가 결정된다. 당업계에 공지된 바와 같이, LIDAR 수신기는 광원으로부터 방출되는 광 펄스의 비행시간 측정값에 기초하여 범위 정보를 계산한다. 또한, 특정 범위에 연관된 타겟면에 장면을 조명하고 소스와 및 프로젝터 시스템의 특정 설계에 기초하는 광 빔 프로파일에 관하여 알려져 있는 정보가 반사면에 관한 위치 정보를 결정하는 데 사용되어 완전한 x,y,z, 또는 장면의 3차원 픽처를 생성하게 된다. 다시 말하면, 주변 환경의 지점별 3D 맵은 LIDAR 시스템의 시야 내에서 소스에서 수신기까지의 조명을 반사하는 모든 표면으로부터의 위치 정보를 나타내는 측정 데이터의 모음을 나타낸다. 이러한 방식으로, LIDAR 시스템의 시야에서 물체의 3D 표현을 취득한다. 지점별 3D 데이터 맵은 측정 지점 클라우드라고도 할 수 있다.

[0022] 도 2는 자동차(202)에 대한 전형적인 주변 감지 LIDAR 시스템(200)의 2차원 시야와 범위 요건을 나타내는 개략도를 도시한다. 예를 들어, 적응형 순항 제어 기능은 "서라운드 뷰" 시야와 범위(206)를 보는 측면에 비해 좁은 시야를 갖지만, 긴 거리 범위 요건을 갖는 시야와 범위(204)를 요구할 수 있다. 일반적으로, 자동차의 센서 기능들은 LIDAR, 레이더, 카메라, 및 초음파 센서의 조합에 의해 가능해질 수 있다. 주변 환경에 대한 정보를 생성하는 이들 센서 데이터의 조합을 종종 "센서 융합"이라고 한다.

[0023] 본 교시는 자율 주행 또는 자가 운전, 또는 운전자 보조형 차량에 대해 LIDAR이 널리 사용되는 자동차의 맥락에서 LIDAR 시스템을 설명하고 있지만, 실시예들이 임의의 차량에 적용될 수 있다는 점을 이해해야 한다. 다른 유형의 차량에는, 로봇, 트랙터, 트럭, 비행기, 무인 항공기, 보트, 선박 등이 포함될 수 있다. 본 교시는 다양한 정지형 응용분야에도 적용가능하다. 예를 들어, 고밀도 대도시 지역에서는, 차량과 보행자 모두의 교통량을 감시하도록 LIDAR를 사용할 수 있다. LIDAR 시스템의 비용이 시간이 지남에 따라 감소됨에 따라 다른 많은 응용분야에 LIDAR가 배치되는 것을 기대할 수 있다.

[0024] 도 3은 본 교시의 자동차(302)용 센서 시스템(300)을 도시한다. 이 도면에는 2D 웨지에 의해 예시된 다양한 범위와 FOV로 동작하는 6개의 개별 LIDAR 모듈(304)이 있다. LIDAR 모듈들(304) 중 4개는 주로 측면도이고, 각각은 대략 120도의 범위와 FOV(306)를 갖는다. 전방 모듈은 가장 좁은 FOV와 최장 거리 범위를 갖는 범위와 FOV(308)로 도시되어 있다.

[0025] 자동차 감지를 위한 종래 기술의 일부 LIDAR 시스템 설계는, LIDAR 시스템이 충돌을 피하기 위한 적절한 시간을 제공하도록 30m의 거리에서 차의 전방에 있는 보행자를 해결할 수 있어야 한다는 것을 개시한다. 보행자 단면은 약 280mm이므로, LIDAR 시스템에 필요한 각도 분해능은 약 0.5 도일 필요가 있다. 예를 들어, "Vertical Cavity Surface Emitting Laser(VCSEL) Array Laser Scanner"라는 명칭의 미국특허번호 제7,544,945호를 참조한다.

[0026] 그러나, 본 교시의 한 특징은, 자동차 응용분야가 훨씬 높은 각도 분해능을 요구할 수 있다는 인식이며, 이러한 각도 분해능은 일부 응용분야에 있어서 0.5도보다 훨씬 작다. 각도 분해능이 높을수록, 소정의 형태의 화상 식별이 가능할 수 있다. 예를 들어, 더 높은 분해능은, 센서 시스템이 보행자와 조명 기둥을 또는 2대의 오토바이와 자동차를 구별할 수 있게 한다. 이처럼, 100m 범위에서 0.1도의 각도 분해능의 타겟 사양이 필요할 수 있다. 각도 분해능은 거리가 짧을수록 작을 수 있다.

[0027] 도 4는 본 교시의 LIDAR 센서 시스템의 일 실시예에 대하여 수평 각도 분해능을 거리의 함수로서 제공하는 표(400)를 도시한다. 표(400)에 제시된 데이터는 측정된 물리적 거리가 중요한 파라미터임을 나타내고 있다.

[0028] 미래의 차량은 완전한 360도 FOV를 커버하도록 다수의 저비용 LIDAR 센서를 채택할 것이다. 또한, 차량의 전방에서 직접 보는 LIDAR 거리 요건에 비해 측면보기와 사각지대에 대하여 상이한 LIDAR 거리 요건이 있을 수 있는 것으로 보인다. 회전하지 않는 솔리드 스테이트 LIDAR 시스템의 경우에는, FOV가 180도 미만이어야 한다고 이해된다. 예를 들어, Innoviz Technologies에 의해 제조된 종래 기술의 LIDAR 시스템은 0.1도 각도 분해능과 결합된 100도의 수평(H) × 25도의 수직(V) FOV를 광고한다. Quanergy Systems에 의해 제조된 종래 기술의 LIDAR 시스템은 0.1도 미만의 각도 분해능을 갖는 120도 수평 FOV를 광고한다. Quanergy Systems의 LIDAR는 광학 위상 어레이를 송신기로서 사용하며, 이것은 레이저 펄스가 어레이를 통해 투영될 때 레이저 펄스의 위상을 시프트함으로써 광 펄스를 조향할 수 있다. 위상 어레이를 사용하는 한 가지 단점은, 타겟의 조명 패턴에 영향을 줄 수 있는 사이드 로브(side lobe)가 존재한다는 점이다. 본 교시의 솔리드 스테이트 레이저 소스 LIDAR 시스템은 위상 어레이 방안에 연관된 사이드 로브를 생성하지 않는다. 단일 파장의 광을 사용하는 종래 기술 시스템의 또 다른 한계 사항은 광속이다. 200미터에 대한 이동 시간은 0.67 마이크로초이어서, 오버헤드에 따라, 레이저를 약 1마이크로초마다 발사하도록 LIDAR 시스템을 제한한다. 레이저 펄스 속도는 전형적으로 검출기의 FOV 내에서 이러한 1MHz 속도보다 빠르지 않아서, 시스템은 모호성 없이 각 측정 지점에 대한 리턴 펄스를 식별할 수 있다.

[0029] 일부 LIDAR 시스템은 조명기의 다수의 레이저를 이용하여 각도 분해능, 리프레시 속도, 및 FOV와 같은 시스템 성능을 개선하는 데 일조한다. 그러나, Velodyne LiDAR™ 시스템에 의해 제조된 것과 같은 종래 기술의 다중 레이저 소스 컴팩트 LIDAR 시스템은 32개의 레이저를 사용하는 단일 유닛으로 임의의 정밀한 각도 분해능, 넓은 FOV, 및 빠른 리프레시 속도를 달성할 수 없다.

[0030] 도 5는 Velodyne에 의해 시판되고 있는 LiDAR™ 시스템의 광고된 성능을 나타내는 표(500)를 도시한다. 이러한 Velodyne 시스템은 회전하기 때문에 360도의 수평 시야를 갖는다. 수직 방향에 있어서, 32개의 레이저는 1.25도의 균일한 각도 분해능으로 광고된 40도의 시야를 제공하도록 배열된다. 회전 시스템에서는, 전체 시야를 회전 속도로만 리프레시할 수 있어야 한다. 또한, 모든 32개의 레이저는 하나의 수직선으로 배열되어, 시스템이 회전하지 않을 때 본질적으로 단일 수평 방향을 가리키고 있다. 이러한 시스템은 전형적으로 ~0.16도의 각도 분해능을 제공하도록 10Hz의 회전 속도로 동작한다. 회전 속도가 느릴수록 더욱 미세한 각도 분해능을 달성할 수는 있지만, 리프레시 속도가 희생된다. 회전 시스템이 한 회전을 완료하는 데 걸리는 시간에 대상이 크게 이동하는 경우, 차량은 대상을 피하거나 대략 대상 주위로 조향할 만큼 빠르게 반응하지 못할 수 있다. 더욱 빠른 속도로 시야를 리프레시할 수 있도록 어느 방향으로든 언제라도 볼 수 있는 시스템이 바람직하다. 실제로, 다수의 회전하는 LIDAR 시스템이 하나의 자동차에 사용되었는데, 일부 경우에는 4개의 LIDAR 시스템이 사용되어, 적절한 리프레시 속도와 미세 각도 분해능으로 360도 전체 서라운드 뷰를 제공할 수 있다.

[0031] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 한 가지 특징은 상대적으로 빠른 리프레시 속도를 제공한다. 리프레시 속도를 프레임 속도라고도 한다. 본 교시의 일부 실시예들은, 적어도 30Hz의 전형적인 저비용 CMOS 카메라 시스템의 리프레시 속도와 동일하고 잠재적으로 1kHz만큼 빠른 시스템 리프레시 속도를 제공한다. 빠른 리프레시 속도가 중

요한 이유를 이해하기 위해, 자동차가 시속 100km로 주행하는 것을 고려해 본다. 이러한 조건에서, 자동차는 0.1초 만에 약 3미터 이동한다. 따라서, 리프레시 속도가 10Hz에 불과하면, 자동차의 전방에 있는 대상이 그 시간에 크게 이동하여, 분해능이 크게 떨어진다. 한 프레임에 4,096개의 레이저가 측정되고 1마이크로초의 펄스 지속기간을 갖는 4개의 파장을 이용하는 본 교시의 LIDAR 시스템의 경우, 단일 시스템에 대한 리프레시 속도는 1kHz이다. 완전한 360도 시야를 커버하기 위해 다수의 시스템을 사용하는 경우, 리프레시 속도는 여전히 1kHz이다. 이것은 측정마다 단일 펄스를 가정한 것이다. 측정당 다수의 펄스가 필요한 경우, 리프레시 속도는 느려진다.

[0032] 도 6은 본 교시의 LIDAR 시스템의 다양한 파라미터에 연관된 사양을 제공하는 표(600)를 도시한다. 표(600)의 시스템 사양은 다중 이미터 2D VCSEL 어레이 소스를 이용하는 솔리드 스테이트 시스템을 나타낸 것이다. 이 사양을 달성하려면, 4,096개의 개별 레이저가 필요하다. 이는, 예를 들어, 수직 방향으로 32개의 레이저의 어레이를 사용하고 수평 방향으로 128개의 레이저의 어레이를 사용함으로써 달성될 수 있다. 4파장 시스템에서는, 각 파장마다 32×32 어레이가 필요하다. 레이저들이 250마이크로미터 피치 상에 있는 실시예에서, 32×32 레이저의 어레이는 8mm×8mm 풋프린트를 갖는다. 더욱 적은 비용을 위한 다른 구성에서는, 더욱 작은 어레이가 사용될 수 있다. 이러한 구성에서, 시스템은 4mm×4mm 풋프린트를 갖는 어레이를 달성하도록 더욱 적은 개수의 레이저를 사용할 수 있다. 시스템 사양은 추가 레이저로 개선될 것이다. 미래에는 4mm×4mm 풋프린트에서 32×32 어레이를 가능하게 하는 125마이크로미터 피치로 레이저를 취득할 수 있을 것으로 기대한다.

[0033] 본 교시의 LIDAR 시스템을 위한 125㎤ 미만인 모듈 크기, 및/또는 한 변에 2.5인치 치수 미만의 모듈을 실현하는 것이 바람직하다. 일부 실시예에서는, 모듈이 조명기와 수신기를 동일한 모듈에 포함한다. 일부 실시예에서는, 조명기와 수신기를 위한 별도의 모듈이 있다.

[0034] 본 교시의 한 특징은, 조명기가 개별적으로 구별되는 파장들을 갖는 광 빔들을 방출하는 레이저들을 포함한다는 것이다. 도 7은 본 교시에 따라 2개의 레이저를 사용하는 다파장 LIDAR 시스템(700)의 일 실시예를 도시한다. 제1 레이저(702)는 제1 파장에서 동작하고, 제2 레이저(704)는 제2 파장에서 동작한다. 레이저는 LIDAR 시스템의 FOV와 범위에 걸쳐 다양한 타겟면에 빔 프로파일을 형성하는 데 사용되는 광학 투영 소자의 일부를 형성하는 집적된 또는 별도의 시준 광학 장치(도시하지 않음)를 포함할 수 있다. 조명기(706)는 또한, 특정 빔 프로파일을 타겟면(710)에 형성하도록 광 빔을 추가로 성형(shape) 및 투영하는 광학 장치(708)를 포함할 수 있다. 다양한 실시예에서, 다양한 유형의 광학 장치를 사용하여 예를 들어, 렌즈, 회절 광학 장치, 프리즘, 박막 파장 감응 장치, 및 부분 반사 미러 중 하나 이상을 포함하는 투영 소자를 형성할 수 있다.

[0035] 수신기(712)는 LIDAR 시스템의 FOV와 범위 내의 다양한 타겟면(710)에 있는 대상의 표면으로부터 반사되는 광을 수신한다. 수신기(712)는 소스(702, 704)에 의해 방출되는 2개의 파장과 광을 구별할 수 있다. 이처럼, 각 파장으로부터 반사되는 조명은 개별적으로 처리된다. 제어기(714)는 수신된 광을 처리하는 데 사용된다. 제어기(714)는 출력(716)에서 LIDAR 데이터를 제공한다. 제어기(714)의 복잡성은 LIDAR 시스템의 구체적인 실시예에 의존한다. 제어기(714)는 레이저 소스들(702, 704)을 제어하는 데 사용될 수 있다. 다양한 실시예에서, 제어기(714)는 전기 회로, 전자 칩, 마이크로프로세서, 또는 컴퓨터 중 임의의 것 또는 모두를 포함할 수 있다. 도 7에 도시된 실시예에 N개 파장의 레이저를 추가하는 것은 간단하다. 일부 실시예에서는, 광을 시준하고 원하는 FOV를 제공하는 추가 광학 소자가 있다.

[0036] 투영 소자는, 본원에서 레이저 빔 또는 다수의 레이저 빔을 특정 방향으로 시준하거나 성형 및 투영하는 소자로서 설명된다. 투영 소자는 광 빔의 경로에 위치하는 하나 이상의 광학 장치를 포함할 수 있다. 이들 장치와 해당 장치의 위치는 레이저 소스로부터 방출되는 빔 또는 빔들의 초기 형상 및 경로와 함께, 공간의 특정 지점에서의 빔 형상 및/또는 빔 위치의 조합인 원하는 빔 프로파일을 생성한다.

[0037] 일부 실시예에서, 추가 광학 장치는 레이저 소스로부터 광 빔을 투영하는 데 사용된다. 도 8은 본 교시의 2개의 단일 이미터 레이저(802, 804)와 파장 결합기(806)를 사용하는 다파장 LIDAR 시스템을 위한 조명기(800)의 일 실시예를 도시한다. 상이한 파장을 갖는 2개의 레이저 소스(802, 804)는 2개의 경로 상에 2개의 광 빔(808, 810)을 생성한다. 파장 결합기(806)는 빔을 2개의 평행 경로(812, 814) 상으로 결합하는 데 사용된다. 일부 실시예에서, 도 8에 도시된 바와 같이, 평행 경로들은 오프셋되어 있다. 일부 실시예에서, 평행 경로들은 완전히 중첩한다. 일부 실시예에서, 파장 결합기(806) 이후의 경로들은 반드시 평행할 필요는 없지만, LIDAR 시스템의 FOV와 범위 내의 타겟면에 원하는 빔 프로파일을 생성하도록 배열된다. 파장 결합기(806)를 사용함으로써, 시스템의 물리적 레이아웃 및 LIDAR에 의해 생성되는 연관된 빔 프로파일 모두에 있어서 추가 유연성이 가능해진다.

[0038] 본 교시의 한 특징은 컴팩트 시스템에서 상이한 LIDAR FOV, 범위, 및/또는 분해능을 생성하도록 상이한 파장을

사용하는 능력이다. 2개 이상의 파장에서의 광 빔은 투영 소자를 형성하는 동일한 광학 장치들 중 적어도 일부를 공유할 수 있지만, 각 파장에서 여전히 상이한 범위 및/또는 FOV 및/또는 분해능을 나타내는 측정 지점 클라우드를 초래하는 상이한 빔 프로파일을 구현할 수 있다. 예를 들어, 신호 파장을 사용하는 종래 기술의 LIDAR 시스템의 한가지 문제점은, 100미터 범위에 도달하는 데 요구되는 발사력(launch power)이 너무 커서, 가까운 근접 반사(예를 들어, 수 미터)에 대해서는 수신기가 포화 상태로 된다는 점이다. 이것은 이러한 종래 기술의 LIDAR 시스템이 가까운 대상을 보지 못함을 의미한다. 이러한 문제점은, 제1 파장은 100미터 범위에 사용되지만, 제2 파장은 가까운 근접 측정만을 위한 저 전력을 갖는 2파장 시스템에 의해 해결될 수 있다. 2파장을 사용함으로써, 평행 동작 기능 때문에 측정이 동시에 이루어질 수 있다. 2개보다 많은 파장으로의 확장은 간단하다.

[0039] 본 교시의 또 다른 특징은 추가 파장을 갖는 레이저를 추가하여 LIDAR 측거와는 다른 기능을 수행할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 추가 레이저를 추가하여 LIDAR 시스템 내의 광학 장치들의 배향을 측정할 수 있다. 추가 파장에서의 이들 소스로부터의 광은 광 빔을 투영하고 및/또는 광 빔을 복제하거나 스캐닝하는 소자의 각도 측정을 제공하는 유일한 목적을 수행할 수 있다. 일부 실시예에서, MEM 장치는 빔을 투영하는 데 사용되며, 미러 위치의 직접 피드백을 갖는 것이 중요할 수 있다. 적절한 수신기 측정 시스템과 결합된 다른 레이저는 미러 위치의 직접적 각도 측정을 제공할 수 있다. 상술한 실시예들의 자연스러운 확장은, 각각의 경우에 동일한 파장의 복수의 레이저 즉, 각 파장의 단일 레이저 대신 각 파장의 레이저들의 1D 어레이 또는 2D 어레이를 사용하는 것이다.

[0040] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 일부 실시예는, 상이한 파장의 광을 독립적으로 각각 검출하는 다수의 수신기를 포함하는 수신기를 사용한다. 도 9는 본 교시의 상이한 파장들에 대하여 다수의 수신기(902)를 사용하는 수신기(900)의 일 실시예를 도시한다. 본 실시예에서, LIDAR 시스템의 범위와 FOV에서 타겟면에 있는 대상으로부터 반사된 반사광(904)은 2개 이상의 수신기(902)에 의해 검출된다. 각 수신기(902)는 단일 파장을 검출할 수 있다. 수신기에 대하여 본 실시예를 사용하는 다파장 LIDAR 시스템은, 각 파장으로부터의 펄스 신호가 시간적으로 중첩되는 상이한 레이저 파장들의 동시 동작을 가능하게 할 수 있다.

[0041] LIDAR 시스템의 실제 구현시, 전자 장치의 속도 및 다양한 부품의 광전 대역폭에는 물리적 한계가 있다. 레이저 파장들이 개별적으로 동시에 검출될 수 있는 다파장 LIDAR 구현은 물리적 한계의 영향을 상당히 감소시킬 수 있다. 그 결과, 전반적인 고 성능 LIDAR 시스템을 얻게 된다.

[0042] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 한 특징은 광학 성능 감시를 모듈에 포함시키는 것이다. LIDAR 모듈 내의 광학 성능 감시는 여러 가지 이유로 중요할 수 있다. 예를 들어 조명기 조립체 내에 광출력(optical power) 감시를 통합함으로써, 교정(calibration), 성능, 및 신뢰성 감시를 개선할 수 있다. 레이저는 사용시간 동안 열화되므로, 광이 외부 대상으로부터 반사된 후 수신되는 광 신호에만 의존하기보다는 광이 프로젝터로부터 출광하므로, 프로젝터 조립체 자체 내의 레이저 출력 전력을 감시하는 것이 유용할 수 있다. 또한, VCSEL 레이저 근방의 온도를 감시하는 것이 신뢰성과 성능을 개선하는 데 유용할 수 있다. 온도와 출력의 감시는 진단뿐만 아니라 시스템의 성능 및/또는 수명을 개선하도록 동작 중에 레이저를 제어하는 데에도 사용될 수 있다.

[0043] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 성능 감시의 일부 실시예는 광출력 감시를 사용한다. 송신기로부터의 레이저 출력 전력을 감시하고 이를 예상되는 기준값과 비교함으로써 레이저 자체 또는 광-기계 조립체로부터의 광 송신기의 성능 저하를 검출할 수 있다는 것은 잘 알려져 있다. 예를 들어, "System and Method for Monitoring Optical Subsystem Performance in Cloud LIDAR Systems"이라는 명칭의 미국 특허출원공개공보 US20160025842 A1은 클라우드 측정을 위해 설계된 LIDAR 시스템에 대한 레이저 출력 전력을 감시하는 이점을 설명한다. 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 실시예에서 광출력 감시를 사용하는 것은, 이러한 종래 시스템을 개선하여 다파장 LIDAR 동작의 다른 특징뿐만 아니라 더욱 우수한 각도 분해능도 제공할 수 있다.

[0044] 본 교시의 전력 감시 소자들은 조명기 내의 광학 장치들로부터 반사되는 광을 감시한다. 조명기 내에서 검출된 반사광은 또한, 수동 감시 목적뿐만 아니라 레이저 전류 바이어스의 추가 제어를 제공하는 데에도 사용될 수 있다. 레이저 다이오드는 동작 바이어스 전류의 범위를 갖는다. 많은 레이저 시스템에서, 레이저는 반드시 LIDAR 응용분야를 위한 것은 아니며, 모니터 다이오드로부터 수신되는 포토다이오드 전류가 바이어스 제어 루프에 대한 입력으로서 사용되는 폐루프 방식으로 동작된다. 입사 전력의 대략적 선형 함수인 모니터 포토다이오드 전류의 일정한 값을 감시하고 유지함으로써, 시스템은 온도 또는 기계적 시프트와 같은 시스템 안정성의 변화에 반응할 수 있고, 개선된 출력 전력 안정성을 유지할 수 있다. 또한, 레이저 바이어스의 이러한 감시 및 제어는 시스템 레벨에서의 광출력의 손실 없이 레이저의 수명 동안 레이저의 소정량의 열화를 수용할 수 있다.

[0045] 본 교시의 LIDAR 시스템에 대한 성능 모니터의 일부 실시예는 광의 하나 이상의 파라미터를 감시한다. 조명기에서 검출된 반사광은 레이저 파장, 광출력, 펄스 타이밍, 및 펄스 주파수에 대하여 감시될 수 있다. 파장은 단순히 포토다이오드가 아닌 수신기를 포함하는 전력 모니터를 사용하여 검출될 수 있지만, 대신에 광출력과 파장의 검출을 가능하게 하는 더욱 복잡한 광학 장치 세트인 수신기를 포함하는 전력 모니터를 사용하여 검출될 수 있다. 다수의 파장이 사용되는 LIDAR 설계에서는 특히, 파장이 절대값에 근접한 경우, 시스템 파라미터가 의도한 바와 같이 되는 것을 보장하도록 파라미터의 절대값 또는 상대값을 감시하는 것이 바람직할 수 있다. 레이저의 절대 파장 또는 상이한 파장의 레이저들 간의 상대 오프셋을 감시하는 다양한 방법이 당업계에 공지되어 있다. 예를 들어, 에탈론 기반(etalon-based) 장치를 파장 모니터로서 사용할 수 있다.

[0046] 다파장 전력 감시는 또한, 결함이 레이저 열화 또는 광학 성능의 시프트로 인한 것인지 여부를 검출하기 위한 시스템 견고성을 개선한다. 다파장 전력 감시는 또한, 파장들의 한 세트가 실패할 경우 여분성을 제공한다. 파장들의 한 세트의 동작에 있어서 부분적 또는 완전한 실패는, 각 파장에 대한 광학 감시가 독립적이라면 파장들의 다른 세트를 사용하는 시스템의 부분 동작 능력을 여전히 가능하게 한다.

[0047] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 또 다른 특징은, 이들 시스템이 다양한 광학 소스로부터의 간섭에 내성이거나 면역될 수 있다는 점이다. 일부 LIDAR 시스템은 상대적으로 간단한 레이저 포인터, 또는 LIDAR 시스템으로부터 방출되는 신호를 기록한 후 재생하는 방법과 결합된 레이저 범위 파인더 기술을 사용하여 재밍되거나 속을 수 있다는 것은 잘 알려져 있다. 이는 해커가 다른 자동차, 보행자, 또는 심지어 벽의 가짜 화상을 만들 수 있다면 자동차와 운전자의 안전에 대하여 잠재적으로 큰 위험을 나타낸다.

[0048] 또한, 더 많은 LIDAR 시스템이 사용됨에 따라, 다른 차량이나 고정된 교통 감시에 기인하는지에 상관없이 다른 LIDAR 시스템의 간섭에 면역인 시스템을 갖는 것이 점점 더 중요해지고 있다. 다양한 실시예에서, 펄스 신호의 암호화가 포함될 수 있다. 그러나, 암호화가 없더라도, 본 교시에 따른 다파장 시스템은 암호화된 펄스의 사용 유무에 관계없이 수신된 데이터가 파장에 기초하여 진짜임을 확인할 수 있다. 예를 들어, 본 교시의 다파장 LIDAR 구성의 일부 실시예는 한 파장이 "재밍"되면, 동작을 계속하도록 다른 파장이 여전히 이용가능하도록 각 파장의 독립적 사용을 가능하게 한다. 이러한 시스템은 잠재적 보안 위험을 확인할 수 있고, 및/또는 의도하지 않은 시스템 간섭에 대한 제어된 대응을 가능하게 한다. 따라서, 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템은 향상된 보안을 제공하고, 단일 파장 LIDAR에 비해 블라인딩, 재밍, 재생, 중계, 및 스푸핑 공격을 방지한다.

[0049] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 또 다른 특징은, 개선된 시스템 정밀도 및/또는 수신기와 처리 전자 장치에 대한 감소된 요건이다. 이러한 이점들은 다수의 파장을 사용하여 달성될 수 있다. 자동차 LIDAR 시스템에 필요한 샘플링 속도를 고려해 본다. 시속 100킬로미터(kph)로 이동하는 자동차는 밀리초당 약 28밀리미터(mm/msec)로 이동한다. 2대의 차량이 서로 접근하면, 상대 거리는 그 속도의 2배 즉, 56mm/ms의 비율로 감소한다. 각 측정 지점마다 50mm(~2인치)의 거리 정밀도를 갖는 전체 시야에 걸쳐 정밀한 시스템에 대해서는, 그 시간 동안 완전한 FOV를 스캐닝할 수 있어야 한다.

[0050] 간략하도록, 구체적인 원하는 3D 지점별 측정 위치와 일대일로 대응하는 1,000개의 레이저 클러스터를 사용하는 다중 소스 LIDAR 시스템을 가정해 본다. 전체 FOV에 걸친 위치 정밀도를 위해서는, 상술한 바와 같이, 1밀리초마다 1,000개의 레이저 모두를 스캐닝해야 한다. 한 번에 하나의 레이저만 동작하고 감지할 수 있는 단일 파장 시스템의 경우, 이는 해당 측정 지점에 대한 위치 정보를 획득하기 위해 레이저당 단 1마이크로초 밖에 없음을 의미한다. 상이한 파장의 레이저를 동시에 동작시킬 수 있는 다파장 LIDAR 시스템에서는, 레이저당 허용되는 시간은 두 배로 되고, 측정 지점당 2μsec를 가질 수 있다. 이러한 추가 시간은 성능 및/또는 신뢰성을 하나 이상의 방식으로 개선하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 추가 시간을 사용하여 예컨대, 추가 샘플과 평균화를 취함으로써 신호 무결성을 개선할 수 있다. 추가 시간은 또한, 전자 장치에 필요한 데이터 속도를 감소시키는 데 사용될 수 있다. 또한, 추가 시간은 보다 견고한 코딩 기법을 구현하는 데 사용될 수 있다.

[0051] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 또 다른 특징은 레이저 펄스의 상위 레벨 변조 및 코딩을 사용하는 것이다. 이러한 변조 및 코딩은 수신기의 광자 효율을 개선하고, 신호를 암호화하고, 및/또는 간섭에 대한 내성을 증가시키는 데 사용되는 광 신호에 대한 다수의 공지된 상위 계층 코딩 기술의 형태를 취할 수 있다. 간단한 이진 온/오프 펄스를 전송하는 대신 고차 변조를 통합함으로써, 코딩/암호화 구현을 가능하게 할 수 있다. 코딩/암호화는 보안 위험 및 다른 레이저 시스템으로부터의 간섭을 감소시킬 수 있으므로 바람직하다. 구현될 수 있는 공지된 상위 계층 변조 및 코딩 기법은 예를 들어, 펄스 위치 변조, 위상 변조, 서브캐리어 주파수 변조를 포함하는 주파수 변조, 진폭 변조, 편광 변조, 확산 스펙트럼 등을 포함한다.

[0052] 도 10은 본 교시에 따른 다파장 LIDAR에 대한 간단한 코딩 기법(1000)의 일 실시예를 도시한다. 상부 그래프

(1002)는 간단한 비암호화된 이진 펄스 광출력을 시간 함수로서 제시한다. 대부분의 LIDAR 시스템은 1 마이크로초(μsec)의 펄스당 전체 윈도우를 가지고 있으므로, 펄스 폭의 길이가 전형적으로 30 내지 200 나노초(nsec)이다.

[0053] 하부 그래프(1004)는 간단한 진폭 기반 코딩 기법을 도시하며, 여기에서는 펄스를 4개의 가능한 레벨을 각각 갖는 6개의 섹션으로 세분화하였다. 제1 섹션은 최대 전력으로 고정될 수 있고, TOF 측정의 타이밍 및 나머지 펄스의 기준 신호 진폭을 설정하는 데 사용될 수 있다. 그러나, 마지막 5개 섹션은 4개의 가능한 진폭 레벨을 갖는 신호 레벨로 가변될 수 있다. 이에 따라, 설명되는 펄스는 1,024개의 고유한 펄스 형상을 제공하게 된다. 따라서, 1000개 레이저 LIDAR 시스템의 각 레이저는 자신의 고유한 펄스 형상 또는 고유하게 코딩된 시그니처를 가질 수 있다. 각 레이저가 자신의 고유하게 코딩된 시그니처를 갖춤으로써, 수신기 전자 장치가 신호를 복호하고 신호를 발사한 레이저를 정확히 식별할 수 있다. 보안은 각 레이저의 고유하게 코딩된 서명을 통해, 그리고 주어진 레이저 펄스에 대해 예상되는 고유하게 코딩된 시그니처를 수신된 실제 펄스와 매칭하고 비교하는 관점에서 수신기와 송신기 간의 루프를 폐쇄할 수 있음으로써 개선된다.

[0054] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 또 다른 특징은 병렬 처리의 사용이다. 레이저 펄스를 코딩/암호화하기 위해 고차 변조를 추가하려면, 고속 전자 장치와 더욱 복잡한 신호 처리 방법이 필요하다. 레이저 드라이버, 레이저, 및 물리적 상호 접속부로 구성된 완전한 레이저 회로의 광전(O/E) 대역폭은 고차 변조 대역폭을 수용할 수 있을 만큼 충분히 커야 한다.

[0055] 수신기 대역폭은 제약일 수 있다. 더욱 양호한 광 커플링을 위해 또는 수신기에 의해 더욱 많은 광을 캡처하기 위해서는, 수신기 포토다이오드(들)의 애퍼처(즉 감광 영역)가 커야 한다. 그러나, 개선된 대역폭과 주파수 응답을 위해서는, 보다 작은 애퍼처 크기를 갖는 것이 바람직하다. 이처럼, 절충이 가능하다. 다파장을 사용함으로써 측정 지점을 병렬 처리하는 데 도움이 될 수 있으므로, 이는 전자 장치, 대역폭, 및 수신기 설계에 대한 시스템 제약을 감소시키는 데 일조하도록 사용될 수 있는 추가 시간을 효과적으로 생성할 수 있다. 예를 들어, 도 10을 참조하면, 상승 시간과 하강 시간이 없는 광 펄스 형상이 도시된다. 실제 시스템은 광 신호에 대해 유한한 상승 및 하강 시간을 가지며, 이러한 시간이 충분히 길다면 진폭 변조를 열화시킨다. 본원에서 설명하는 일부 실시예는 코딩/암호화를 지원하는 수신기의 광전 RF 성능의 전반적인 최적화를 가능하게 한다.

[0056] 단일 파장 LIDAR 시스템에서 또는 다수의 독립적인 파장에 의존하지 않는 LIDAR 시스템에서는, 수신기가 동일한 파장의 다수의 레이저로부터의 광을 구별할 수 없기 때문에 전형적으로 한 번에 하나의 레이저만이 바이어싱된다. 예를 들어, 다파장 통신 응용분야에서는, 하나보다 많은 파장을 갖는 시스템이 하나보다 많은 레이저의 동시 동작, 소위 병렬 동작을 가능하게 한다는 것이 알려져 있다. 유사하게, 상이한 파장을 사용하는 LIDAR 시스템은 더욱 느린 데이터 속도에서 펄스의 코딩/암호화를 가능하게 할 수 있다. 그 결과 저속 및 저가의 부품을 사용할 수 있게 되고 더욱 강력한 암호화가 가능해진다. 이것은 구체적으로 수신기가 상이한 파장의 광을 동시에 측정하도록 설계될 수 있기 때문에 가능하다. 다파장 시스템을 위한 수신기는 예를 들어, 한 파장으로부터만 광을 수신하도록 각각 필터링된 2개의 개별적인 포토다이오드 소자를 가질 수 있다.

[0057] 최초 자가 운전 차량을 비롯한 자동차 응용분야의 초기 LIDAR 시스템은, 회전하는 미러로부터 반사되는 단일 고출력 레이저를 사용하며, 반사된 레이저 빔을 사용하여 환경을 스캐닝한다. 회전 미러를 사용하는 LIDAR 시스템은 복잡성을 증가시켰으므로, 가동 부품에 있어서 잠재적인 기계적 신뢰성 문제가 있다. 회전 미러의 사용을 피하기 위해, 하나의 레이저를 복수의 레이저로 교체하는 LIDAR 시스템이 제안되었다. 예를 들어, "Distance Measurrng Apparatus"라는 명칭의 미국특허번호 제5,552,893호를 참조한다. 복수의 레이저를 사용함으로써, 스캐닝을 수행하기 위해 더이상 회전 미러를 이용할 필요가 없다. 복수의 레이저는 소정의 방식으로, 기계적으로, 또는 광학적으로 그룹으로서 시프트될 수 있고, 또는 개별 레이저의 개수가 환경의 지점별 맵핑의 원하는 세분성과 일대일 관계를 갖도록 충분할 수 있다. 일반적으로, 더욱 양호한 기계적 신뢰성을 위해 가동 부품이 없는 "솔리드 스테이트" 시스템을 갖는 것이 매우 바람직하지만, 일대일 맵핑을 가질 만큼 충분히 많은 복수의 레이저를 갖는 것에 연관된 상당한 비용과 복잡성이 존재한다.

[0058] 본 교시의 LIDAR 시스템의 일부 양태에서는 수직 캐비티 표면 방출 레이저(VCSEL) 어레이를 사용하여 복수의 레이저를 제공한다. VCSEL 어레이는 원형 빔 발산을 제공하고, 단일 기판 상에 제조될 수 있으며, 높은 광전 효율, 및 저 비용 등의 많은 바람직한 특징을 갖는다.

[0059] 전술한 바와 같이, 일부 추정에서는, 충돌을 피할 수 있는 적절한 시간을 제공하기 위해, LIDAR 시스템이 30m 거리에서 차량의 전방에서 걷는 보행자를 해결할 수 있어야 함을 나타낸다. 보행자 단면은 대략 280mm이므로, LIDAR 시스템에 필요한 각도 분해능은 ~0.5도이야 한다. 복수의 레이저가 레이저와 환경의 3D 지점별 맵핑 간의

일대일 맵핑을 갖기 위해 요구되는 레이저의 개수는 시스템 FOV를 각도 분해능 요건으로 나눔으로써 계산된다. 전형적인 LIDAR 시스템은 20도 FOV를 가질 수 있으며, 이는 각도 분해능 요건을 충족시켜 30미터에 있는 보행자를 해결하도록 40개의 레이저를 포함할 수 있다. 이 계산은 2D 정보를 생성하는 한 방향에만 해당한다는 점에 주목한다. 수직 방향에 대해서도 유사한 계산이 필요하다. 시스템이 수평 및 수직 모두 20도 FOV를 갖는다면, 1,600개의 레이저가 필요하다. 1,600개의 개별 레이저를 사용하는 시스템은 동작 복잡성, 조립, 및 비용에 대한 중대한 과제를 제시한다. 알려진 LIDAR 시스템은 적은 개수의 레이저를 사용하는 것을 개시하지만, 보이스 코일, 압전 트랜스듀서, 스텝퍼 모터, 형상 기억 변환기, 및 진동 모터와 같은 다양한 장치를 사용하여 필요한 분해능을 달성하도록 레이저들을 그룹으로서 시프트하는 것을 개시한다. 예를 들어, "Vertical Cavity Surface Emitting Laser(VCSEL) Array Laser Scanner"라는 명칭의 미국특허번호 제7,544,945호를 참조한다.

[0060] 일부 알려진 LIDAR 시스템은 VCSEL 어레이를 가동 렌즈 시스템과 함께 사용하여 빔을 시프트한다. 렌즈가 이동함에 따라, 각각의 레이저 빔은 다른 방향으로 향하게 된다. 시야의 완전한 맵핑은 렌즈 시스템의 적절한 이동과 함께 각각의 레이저를 선택적으로 전기적으로 바이어싱함으로써 달성된다. VCSEL 어레이는 복수의 개별 VCSEL 칩으로부터 또는 VCSEL 칩들의 서브어레이로부터 형성될 수 있다. 가동 렌즈는 압전 트랜스듀서 또는 다른 기계적 수단에 의해 기동될 수 있다. 예를 들어, "Scanning Apparatus and Associated Methods"라는 명칭의 미국특허번호 제6,680,788호를 참조한다.

[0061] 본 교시에 따른 LIDAR 시스템의 일부 실시예는 하나보다 많은 레이저 파장을 갖는 레이저를 갖는 복수의 반도체 레이저를 사용한다. 본원에서 설명하는 특정 실시예들은, 단일 레이저 파장 시스템에 비해 3D 지점별 맵핑을 위한 상대적으로 높은 세분성을 갖는 LIDAR 시스템을 가능하게 하도록 상이한 파장의 반도체 레이저를 사용하는 것을 포함한다. 본 교시의 한 특징은 LIDAR 시스템 내의 가동 렌즈 시스템 또는 다른 가동 부품의 사용을 요구하지 않고서 3D 지점별 맵핑에 대한 상대적으로 높은 세분성이 달성될 수 있다는 것이다.

[0062] 다수의 레이저 파장을 사용하는 본 교시에 따른 LIDAR 시스템의 실시예는 전체 시스템에 대해 컴팩트한 기계적 크기를 유지하면서 하나의 레이저 파장만을 사용하는 시스템에 비해 세분성 또는 각도 분해능을 현저히 개선할 수 있다. 전술한 바와 같이, 자동차 LIDAR 시스템은 30m 떨어져 있는 보행자를 고 정밀도로 검출할 수 있도록 FOV를 가로지르는 각 측정 지점에 대해 0.5도 미만의 세분성을 갖는 것이 매우 바람직하다. 완벽하게 시준 된 광 빔은 발산 각도가 0인 광 빔이지만, 실제 시스템에서는 방출되는 레이저 광 빔의 특성 및 광학 장치와 기계적 조립체의 완벽한 상태로부터의 편차로 인해 완벽하게 시준되는 광 빔의 실현되지 못하는 것을 이해할 것이다.

[0063] 복수의 레이저를 갖는 LIDAR 시스템에서 레이저 빔을 시준하기 위한 2개의 일반적인 방법이 있다. 첫 번째 방법에서는, 각각의 개별 레이저로부터의 광을 해당 전용 렌즈 또는 렌즈 시스템에 의해 개별적으로 시준한다. 두 번째 방법에서는, 공유 광학 시스템을 사용하여 다수의 레이저 빔을 시준한다.

[0064] 또 다른 종래 기술의 LIDAR 시스템은 곡선 기판 상에 위치하는 레이저들을 포함하고, 각 레이저에 대해 개별 렌즈를 사용한다. 예를 들어, "Low Cost Small Size LIDAR for Automotive"라는 명칭의 미국 특허출원공개공보 제2015/0219764호를 참조한다. 이 특허출원은 독립적으로 설정될 수 있는 시준과 FOV를 갖는 시스템을 설명한다. 즉, 시준의 정도는 원하는 FOV와 관계없이 각 레이저에 대하여 사용되는 광학 장치들의 개별 세트에 의해 제어될 수 있다. 그러나, 시준에는 물리적 한계가 있다. VCSEL 장치는 유한한 빔 직경 및 유한 발산 각도를 갖는다. 0.2의 개구수(NA)를 갖는 전형적인 850nm VCSEL 장치의 경우, 발산도가 0.5도 미만인 빔을 생성하기 위해서는 초점 길이(및 물리적 직경)가 수 mm인 굴절 광학 장치가 필요하다. 개별 렌즈의 직경은 인접하는 레이저들 간의 간격을 물리적으로 제한한다. 복수의 레이저로부터의 광의 시준에 사용되는 개별 렌즈 시스템은 물리적으로 개별적인 요소들이라기보다는 어레이의 형태일 수 있다는 점에 주목해야 한다. 그러나, 인접하는 레이저들의 간격에 대한 한계는 여전히 요인이 될 것이다.

[0065] 일부 종래 기술의 LIDAR 시스템은 각 VCSEL 장치 위에 형성된 복수의 마이크로렌즈와 일대일로 결합된 기판 상의 패턴으로 배열된 복수의 VCSEL을 사용한다. 예를 들어, "Laser Arrays for Variable Optical Properties"라는 명칭의 미국 특허출원공개공보 US2015/0340841 A1호를 참조한다. 각 렌즈는 VCSEL 장치로부터의 레이저 빔의 투영 각도를 시준 및 설정한다. 포인팅 각도는 VCSEL 중심 축으로부터 기본 렌즈 축을 오프셋함으로써 달성될 수 있다. 일부 알려진 LIDAR 시준 시스템의 VCSEL은 하면 후측 조명형이며, 렌즈는 기판의 VCSEL 애퍼처와는 반대면에 있다. 이러한 VCSEL에서, 기판은 VCSEL의 파장에 대하여 투명해야 한다. 상면 조명형 VCSEL을 사용하고 VCSEL 애퍼처와 동일한 면 상에 렌즈를 형성하는 것도 가능하다.

[0066] 다중 이미터 VCSEL을 사용하는 일부 종래 기술의 LIDAR 시스템은 수백 미크론(microns) 정도의 VCSEL 소자의 간

격과 렌즈를 갖는 컴팩트한 디자인을 갖는다. 이러한 시스템은 본질적으로 VCSEL 어레이 칩과 동일한 기계적 스케일로 광학 시스템을 제공한다. 그러나, 이들 시스템에는, 개별 장치로부터의 발산이 임의적으로 낮을 수 없기 때문에 작은 각도 분해능을 달성할 수 없다는 점을 비롯하여 상당한 결함이 있다. 이러한 시스템은 렌즈의 크기 및 곡률에 의해 성능에 제약을 받게 된다. 이러한 시스템에서, 발산은 특히, 렌즈 및 방출 VCSEL 애퍼처가 오프셋되는 장치에 대하여 임의로 작게 설정될 수 없다. 빔 직경과 발산은 선형적으로 관련된다.

[0067] 검사를 통해, 이 시스템의 배율이 작고, 레이저 빔 직경이 이러한 렌즈 시스템에 의해서는 크게 확장될 수 없음을 알고 있다. 이러한 방안이 0.5도 미만의 발산을 갖기 위해서는, VCSEL 장치 자체의 개구수가 처음에는 작아야 하며, 850nm 상면 조명 VCSEL에 대한 전형적인 0.2NA보다 훨씬 낮아야 한다. VCSEL 장치를 위해 본질적으로 작은 개구수를 요구하면, VCSEL 출력 전력과 파장에 영향을 줌으로써 이 방안의 실용성을 제한할 수 있다. 또한, 동일한 렌즈가 시준 및 투영 각도의 설정에 사용되므로, 렌즈의 반경이 원하는 투영 각도에 의존함에 따라 렌즈 설계에 추가 제약을 가하게 되고, 이는 시준을 위한 최적의 반경과 동일한 반경이 아닐 수 있다.

[0068] 단일 파장에서 복수의 레이저를 포함하는 종래 기술의 LIDAR 시스템에서 발견되는 제2 시준 방법은 공유 광학 시스템을 사용하여 다수의 레이저를 시준하는 것이다. 이들 시스템 중 일부에서는, 단일의 큰 렌즈를 사용하여 각 VCSEL 장치의 투영 각도를 시준하고 설정한다. 단일 렌즈 대신, 시준용 공유 렌즈 시스템의 기본 개념을 변경하지 않고 2개 이상의 렌즈를 사용할 수 있다는 점에 주목해야 한다. 시준과 투영 각도 모두에 대하여 공유 광학 장치를 사용하는 한 양태는, 렌즈의 중심축에 대한 VCSEL 장치의 측방향 위치와 투영된 레이저 빔의 지향 각도 간에 직접적인 맵핑이 있다는 것이다. 동일하거나 유사한 파장의 2개의 VCSEL 레이저 간의 측방향 거리는 공유 렌즈 시스템에 의해 생성되는 투영 각도들의 차에 대응한다.

[0069] 또한, VCSEL 장치는 이상적인 점 광원이 아니지만 대신에 유한한 측방향 크기를 갖고 있으므로, 전체 광학 시스템의 FOV를 또한 축소하지 않으면서 광학 장치에 의해 감소될 수 없는 추가 발산이 있다. 또한, 동일하거나 유사한 파장을 갖는 레이저들을 사용하는 공유 광학 장치 방안은, 기타 파라미터들 중에서 VCSEL의 유한 크기, 시준된 빔의 발산, VCSEL 장치의 개수, 및 FOV에 따라, 3D 측정 스팬에서의 빔 오버랩 또는 갭을 초래할 수 있다.

[0070] 본 교시의 LIDAR 시스템의 한 특징은 이들 장치에 의해 제공되는 더욱 높은 광출력과 큰 직경의 클러스터를 이용하도록 방출 애퍼처들의 클러스터를 갖는 VCSEL 칩을 사용하는 것이다. 본원에 설명한 바와 같이, VCSEL 장치는 이상적인 점 광원은 아니지만, 대신에 유한한 측방향 치수를 갖는다. 또한, LIDAR 조명에 사용되는 고전력 상면 방출 VCSEL 레이저는 전형적으로 필요한 고전력 출력에 도달하도록 다수의 발광 애퍼처를 사용한다. 이러한 다수의 애퍼처는 클러스터 또는 그룹을 형성하며, 이상적으로는 필요한 광전 효율을 계속 유지하면서 물리적으로 가능한 한 가깝게 위치한다.

[0071] 도 11은 21개의 개별 애퍼처(1104)에 의해 형성된 클러스터(1102)를 포함하는 종래 기술의 클러스터 VCSEL 장치(1100)의 도면을 도시한다. 21개의 개별 발광 애퍼처(1104)는 클러스터(1102)를 형성한다. VCSEL 클러스터(1102) 내의 VCSEL 애퍼처들(1104)은 전기적으로 병렬로 접속되므로, 함께 바이어싱되어야 한다. 클러스터 VCSEL 장치(1100)로부터의 필요한 출력 전력은 각각의 시스템 설계마다 다르지만, 전체 LIDAR 시스템이 허용가능한 신호대 잡음비를 충족시키도록 일반적으로, 펄스 동작 동안 1W의 피크 광출력을 초과한다. 예를 들어, "High Power Top Emitting Vertical Cavity Surface Emitting Laser"라는 명칭의 미국특허번호 제8,247,252호를 참조한다.

[0072] 광학 시스템의 설계에 있어서, 몇몇 중요한 파라미터는 클러스터 VCSEL 칩의 측방향 크기(치수), 및 개별 VCSEL 애퍼처(1104)의 개구수와 결합된 VCSEL 클러스터(1102)의 직경이다. 이들 파라미터는 시준용 렌즈 요건을 결정한다. VCSEL 클러스터(1102)의 측방향 치수가 클수록, 시준에 필요한 초점 길이가 길어진다. 큰 측방향 치수는 일반적으로 물리적으로 더욱 큰 광학 시스템을 초래한다.

[0073] 본 교시에 따른 LIDAR 시스템에서 VCSEL 장치를 사용하는 한 특징은 단일 칩 상에 다수의 클러스터 VCSEL 장치를 갖는 능력이다. 도 12a는 다수의 클러스터 VCSEL 장치(1202)를 포함하는 어레이(1200)를 도시한다. 도 12a는 2차원 어레이로 된 25개의 클러스터 VCSEL 장치(1202)를 도시한다. 어레이는 개별적으로 바이어싱될 수 있는 25개의 개별 클러스터 VCSEL 장치(1202)에 대한 접촉부들(1204)로 형성된다.

[0074] 도 12b는 다수의 클러스터 VCSEL 장치(1252)를 포함하는 어레이(1250)를 도시한다. 도 12b는 어레이가 5개의 바를 형성하는 접촉부(1254)와 접속된 5개의 클러스터 VCSEL 장치(1252)를 포함하도록 배열되고, 각 바가 5개의 클러스터 VCSEL 장치(1252)를 포함하는 것을 도시한다. 단일 모놀리식 2D VCSEL 어레이도 제조될 수 있다는 것은 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

[0075] 도 12c는 2D 모놀리식 VCSEL 어레이에 다수의 클러스터 VCSEL 장치(1274)를 포함하는 칩(1272)의 애노드 금속 접촉 패드(1270)의 평면도를 도시한다. 도 12c에 도시된 칩은 상면 조명 VCSEL 어레이이다. 단일 열에 있는 모든 VCSEL의 모든 애노드는 단일 금속 접촉부와 함께 접속된다.

[0076] 도 12d는 도 12c에 도시된 다수의 클러스터 VCSEL 장치를 포함하는 칩(1272)의 캐소드 금속 접촉 패드(1276)의 저면도를 도시한다. 단일 행의 모든 캐소드는 단일 금속 접촉부와 함께 접속된다. 이러한 금속화 패턴에 의해, 각각의 행과 열을 원하는 바이어스 레벨로 바이어싱함으로써 개별 VCSEL 장치(1274)(도 12c)가 동작될 수 있다. 5행 5열을 갖는 이러한 특정 실시예에서는, VCSEL 장치들(1274)이 개별적으로 접속되는 경우 25개의 전기 접속부에 비해 10개의 전기 접속부만이 요구된다. 통상의 기술자는, 이것이 다수의 가능한 전기적 어드레싱 구성 중 하나이며, 본 교시가 이미터에 대한 특정한 행과 열의 기하학적 구조로 한정되지 않는다는 것을 인식할 것이다. 전기적 접속부의 개수가 감소되는 이러한 이점은, 2D VCSEL 어레이의 크기가 증가함에 따라 더욱 커진다. 일반적으로, 레이저 이미터들의 한 그룹의 애노드들이 하나의 접촉부에 접속되고 레이저 이미터들의 제2 그룹의 캐소드들이 제2 접촉부에 접속되는 경우, 레이저 이미터들의 제1 그룹과 제2 그룹 모두에 속하는 그러한 개별 레이저들만이 즉, 애노드와 캐소드가 접속된 레이저들만이, 제1 및 제2 접촉부가 적절히 바이어싱될 때 에너지를 공급받는다. 레이저 이미터들의 한 그룹의 애노드들에 접속된 한 접촉부 및 레이저 이미터들의 제2 그룹의 캐노드들에 접속된 제2 접촉부를 사용하여, 접속 구성에 따라, 특정한 바이어스 조건에 대하여 한 레이저 이미터 또는 레이저 이미터들의 그룹들에 에너지를 공급할 수 있다.

[0077] 종래 기술의 LIDAR 시스템은 LIDAR 시스템의 각도 분해능을 개선할 수 있도록 상이한 레이저 파장을 이용하지 않는다. 본 교시의 LIDAR 시스템의 한 특징은 저가의 컴팩트한 광학 설계에 있어서 더욱 정밀한 각도 분해능과 성능이 가능해지도록 다수의 레이저 파장을 사용하는 것이다. 또한, 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템은 본원에서 설명하는 바와 같이 개선된 보안 및 병렬화에 대한 간단한 경로를 제공한다.

[0078] 본 교시의 LIDAR 시스템의 한 특징은 공유 렌즈 시스템을 사용하여 원하는 시야에 걸쳐 레이저 빔을 시준 및 투영하는 LIDAR 시스템에 다파장 레이저 소스를 사용하는 것이다. 도 13은 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템을 위한 다소자 이미터 레이저 소스(1300)의 일 실시예를 도시한다. 클러스터 VCSEL 장치(1302)를 포함하는 복수의 레이저는 모두 공통면(1304) 상에 위치한다. 해당 면은 도시된 바와 같이 평평하거나 곡선일 수 있다.

[0079] 도 13은 수직 방향으로 균일하게 인터리빙된 2개의 상이한 VCSEL 파장을 갖는 다소자 이미터 레이저 소스(1300)를 도시한다. 도 13에 도시된 실시예는 하나의 공통 기판(1304)을 도시하고 있지만, 다수의 기판이 또한 사용될 수 있음은 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 6개의 VCSEL 바(1306, 1308)가 있다. 바(1306)의 클러스터 VCSEL 장치들(1302)은 하나의 공통 파장으로 방출한다. 이들은 도면에서 "VCSEL λ1"로 표시된 바(1306)이다. 어두운 바(1308)의 클러스터 VCSEL 장치들(1302)은 상이한 파장으로 방출한다. 바(1308)는 도면에서 "VCSEL λ2"로 표시되어 있다. 총 30개의 클러스터 VCSEL 장치(1302)가 도시되어 있다.

[0080] 도 13의 다소자 이미터 레이저 소스(1300)와 관련하여 사용되는 조명기는 원하는 시야에 걸쳐 빔의 시준과 투영 모두에 대하여 공유 렌즈 시스템을 사용한다. 도 14는 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템을 위한 조명기(1400)의 일 실시예의 단면도를 도시한다. 조명기(1400)는 다중 이미터 레이저 소스(1402), 및 파장 멀티플렉서(1406)와 렌즈(1408)를 포함하는 투영 소자(1404)를 포함한다. 투영 소자(1404)는 레이저 소스(1402)로부터 방출되는 레이저 빔(1410, 1412)을 투영하는 데 사용된다. 다중 이미터 레이저 소스(1402)를 위한 이미터는 VCSEL 기판(1414) 상에 배치된다. 도 14는 상이한 파장의 2개의 VCSEL 바로부터의 광이 시스템을 통해 어떻게 이동하는지를 예시한다. 명료하도록, 2개의 VCSEL 이미터로부터의 레이저 빔들(1410, 1412)만이 광선 추적된다.

[0081] 도 14에서, 투영 소자(1404)는 2개의 광학 장치(1406, 1408)를 포함한다. 제1 광학 장치는 하나의 광 경로로부터 두 개의 파장 중 하나의 파장의 레이저 빔(1410)을 다른 광 경로 상에 있는 두 개의 파장 중 나머지 하나의 파장의 레이저 빔(1412)과 공통 광 경로 상으로 결합하도록 기능하는 파장 감응 광학 장치인 파장 멀티플렉서(1406)이다. 일부 실시예에서, 파장 멀티플렉서는 제2 파장이 방해받지 않고 통과하게 하면서 한 파장의 광 경로를 실질적으로 시프트하도록 설계된 회절 광학 장치를 포함한다. 회절 광학 소자는 당업계에 잘 알려져 있으며, 레이저의 정밀한 빔 조향 및 빔 성형을 제공하는 데 사용될 수 있다. 또한, 회절 광학 소자는 파장 선택성일 수 있다. 다른 실시예에서는, 프리즘과 같은 굴절 광학 장치들의 어레이가 사용된다. 제2 장치는 LIDAR 시스템의 타겟면에서 빔 형상과 빔 위치의 원하는 패턴을 형성하도록 레이저 빔(1410, 1412)을 추가로 투영하고 성형하는 데 사용되는 렌즈(1408)이다.

[0082] 조명기에 의해 타겟면에 형성된 빔 프로파일로부터의 광은 그 타겟면 내의 대상의 표면으로부터 반사된다. LIDAR 시스템의 타겟면은 완전한 범위와 FOV에 걸쳐 동작하는 가상 참조 지점이다. LIDAR 모듈로부터 다양한 거

리에 있는 많은 다른 타겟면이 존재하여, 시스템이 LIDAR 시스템에 의해 조사되는 시야와 범위에 있는 대상의 3차원 표현을 생성할 수 있다.

[0083] 타겟면에서 광 빔 프로파일에 의해 조명되는 대상의 표면에서 반사되는 광의 일부는 수신기로 향하게 된다. 수신기는 광을 검출하여, 수신된 광 신호를 전기 신호로 변환한다. 광원과 수신기에 접속된 제어기는 수신된 신호를 측정 지점 클라우드로 변환한다. 측정 지점 클라우드에서의 지점들의 각도 분해능은, 이하에서 더 설명하는 바와 같이 타겟면에서의 빔 프로파일의 상대 위치에 의존한다. 통상의 기술자에게는, 도 14에 도시된 조명기(1400)의 실시예의 다른 많은 변형이 존재한다는 점이 자명할 것이다. 예를 들어, VCSEL 레이저는 평평하거나 곡선형인 공통면에 위치할 수 있다. 또한, 도 14의 실시예의 원리를 변경하지 않고, VCSEL이 곡선형이거나 평평한 중심면으로부터 소정의 편차가 허용될 수 있다는 점도 자명할 것이다.

[0084] 도 15a는 본 교시의 단일 파장 2D 레이저 소스 조명의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드(1500)를 도시한다. 측정 지점들(1504)의 수직 간격(1502) 간에 표현된 거리는 수직 각도 분해능을 결정하고, 지점 클라우드 상의 지점들의 수평 간격(1506)은 지점 클라우드의 수평 각도 분해능을 결정한다.

[0085] 도 15b는 본 교시의 2파장 2D 레이저 소스 조명의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드(1550)를 도시한다. λ1을 갖는 VCSEL에 대응하는 측정 지점은 원(1552)으로서 표시되고, λ2를 갖는 VCSEL을 갖는 측정 지점은 삼각형(1554)으로서 도시된다. 이러한 측정 지점 클라우드를, λ1에서 수신된 반사로부터 유도되는 지점 클라우드 및 λ2에서 수신된 반사로부터 유도되는 지점 클라우드를 포함하는 합성 지점 클라우드로서 간주하는 것이 유용하다.

[0086] 도 15b에 도시된 측정 지점 클라우드(1550)는, 도 14의 조명기 구성과 함께 도 13에 도시된 상이한 파장의 VCSEL 이미터들의 패턴을 갖는 다중 이미터 레이저 소스를 사용하여 실현될 수 있다. 조명기에 의해 타겟면에서 생성되는 광 빔으로부터의 광의 일부는 대상의 표면에 의해 반사되고, 특정 파장의 광을 검출할 수 있는 하나 이상의 광 수신기에 입사한다. 이에 따라 형성되는 측정 지점 클라우드(1550)는 상이한 파장에 있는 상이한 빔 프로파일들로부터의 광을 나타내는 지점들을 포함한다.

[0087] 도 13 내지 도 15를 참조하면, 상이한 파장의 VCSEL 바들(1306, 1308)은 수직 방향으로 레이저 소스의 상이한 행들을 점유하고, 상이한 행의 개별 VCSEL 장치들(1302)은 자신들의 중심이 수평 방향으로 오프셋된다. 상이한 파장 바 내의 이미터로부터의 광 빔은, 광 빔 위치가 타겟면에서 수직 방향으로 약간 오프셋되도록 투영 소자(1404)에 의해 투영된다. 이로 인해 측정 지점 클라우드에서 오프셋(1556)이 발생한다. 인접하는 바들의 VCSEL의 중앙 위치에서의 오프셋은, 투영 소자의 설계와 함께, 각 파장을 나타내는 측정 지점이 오프셋 수직선을 따라 수평으로 인터리빙되게 한다. 주어진 치수에서의 측정의 각도 분해능은 타겟면에서의 치수로 광 빔의 위치와 직접적으로 관련된 해당 치수의 지점의 오프셋에 직접적으로 관련된다.

[0088] 도 15a와 도 15b를 함께 참조하면, 2파장 솔루션을 사용하는 것에 연관된 성능 트레이드오프는 분명하다. 도 15b의 실시예에서, 한 파장의 광 빔은 실질적으로 방해받지 않고 진행하지만, 제2 파장의 광 빔은 제1 파장의 광 빔과 실질적으로 한 방향으로 중첩되도록 의도적으로 위치가 시프트된다. 도 15b에 도시된 각 파장의 광 빔의 위치에서의 오프셋(1556)은 파장 멀티플렉서의 설계에 기초하여 조정될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 이는 도 14의 파장 멀티플렉서(1406)의 적절한 설계를 필요로 한다. 다양한 실시예에서, 투영 소자의 다양한 장치는 2개 파장에서 레이저의 빔을 위치시키는 데 사용된다. 이러한 동일한 장치들 또는 다른 장치들은 타겟면에서의 빔 형상과 빔 위치를 변경할 수 있다.

[0089] 도 15a의 단일 파장 실시예에 비해, 도 15b의 실시예는 시스템의 전체적인 물리적 크기를 비교적 일정하게 유지하면서 각도 분해능을 수직 방향으로 절반으로 희생하면서, 바람직한 방향으로 이 경우 수평 방향으로 각도 분해능을 두 배로 한다. 일부 응용분야에서는, 예를 들어, 시스템이 보행자가 아니라 겨우 100㎜ 단면의 기둥이나 나무를 구별해야 하는 경우, 한 방향으로 더욱 세밀한 분해능이 바람직하거나 필요할 수 있다. 30m에서는, 0.15도 미만의 각도 분해능이 필요하다. 기둥과 나무는 키가 크지만 좁기 때문에, 수직 방향으로 더욱 넓은 각도 분해능을 희생하면서 수평 방향으로 아주 작은 각도 분해능을 갖는 것이 매우 바람직할 수 있다. 일부 실시예에서, 측정 지점 클라우드의 각도 분해능은 타겟면으로부터 광 투영 소자까지의 소정의 거리에서 0.4도 미만이다.

[0090] 도 16은 본 교시의 2파장 LIDAR의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드(1600)를 도시한다. 본 실시예에서는, 수직 방향으로 어떠한 분해능도 포기하지 않았지만, 각도 분해능을 2배로 하여 단일 라인(1602)을 추가할 수 있었다. FOV 내의 라인(1602)의 이러한 한 수직 위치에서는 수평 방향으로 두 배의 각도 분해능을 갖는다. 또한,

중심 위치에서는 VCSEL 파장들의 한 세트가 동작하지 않는 경우 여분성이 있다는 점에 주목해야 한다. 멀티플렉서의 복잡성을 희생하는 대신 단일 라인(1602)과 같은 다수의 라인이 추가될 수 있다.

[0091] 도 17은 본 교시의 3파장 LIDAR의 일 실시예에 대한 측정 지점 클라우드(1700)를 도시한다. 본 실시예에서, 측정 지점 클라우드는 3개의 파장에 대하여 타겟면에서의 빔 위치를 조정함으로써 생성된다. 이 측정 지점 클라우드에 의해 제공되는 시야와 분해능은 레이저 소스와 투영 소자에 의해 제공되는 빔 프로파일의 상세에 의존한다. 일부 실시예에서, 프로파일은 렌즈릿(lenslet))을 사용하여 레이저 이미터를 시준함으로써 제공된다. 일부 실시예에서, 렌즈릿은 VCSEL 장치와 통합된다. 다수의 파장에서의 시준된 빔은 타겟을 향하는 공통 방향을 따라 상이한 파장의 빔을 투영하는 파장 감응 소자를 지향하고 위치설정된다. 파장 감응 소자의 적절한 설계와 VCSEL의 물리적 레이아웃을 통해, 측정 지점 클라우드(1700)에 나타난 바와 같이 수직 방향으로 다시 약 1/3의 분해능을 희생하면서 한 방향으로 3배의 각도 분해능을 갖는 시스템을 생성할 수 있다. 3개의 파장의 각각으로부터의 광이 독립적으로 수신되기 때문에, 각 측정 지점에 의해 표현되는 위치는 부분적으로 또는 완전히 중첩될 수 있어서, 측정 지점 클라우드의 분해능을 증가시키고 및/또는 여분성 측정 지점을 제공할 수 있다. 도 17의 실시예에서, 측정 지점 클라우드(1700)의 증가된 분해능은 수평 방향으로 제공된다. 다양한 실시예에서, 더욱 높은 각도 분해능의 방향은 또한, 변경될 수 있어서, VCSEL 장치의 레이아웃 및 파장 멀티플렉서의 특정 설계에 따라 수직 또는 심지어 대각선으로 될 수 있다.

[0092] 본 교시의 한 특징은, 상이한 파장에서 동작하는 다소자 이미터 또는 단일 소자 이미터인 광원이 동일한 면 상에 위치될 필요가 없고, 그 면이 3차원적으로 상이한 공간 면을 따라 배향될 수 있다는 점이다. 예를 들어, 면은 직교하는 두 평면 상에 있을 수 있다. 일부 실시예에서는, 상이한 파장을 갖는 적어도 2개의 그룹의 레이저로 구성된 복수의 면 발광 레이저를 사용한다. 또한, 3차원 공간을 사용하고, 레이저들의 각 그룹은 반드시 직교하는 것은 아닌 평평하거나 곡선형인 2개 이상의 면에 배향된다. 본 실시예에서, 패키징과 광학적 정렬 복잡성은 레이저들이 공통면 상에 함께 위치하는 실시예에 비해 증가하지만, 어떠한 절충 없이도 직교 방향 모두에 있어서 전체 시야를 가로질러 분해능 각도를 증가시킬 수 있다. 이는 하나보다 많은 파장에 연관된 모든 기능에 대한 완전한 액세스 및 더욱 높은 정밀도를 제공한다. 즉, 다파장 동작의 동시 동작, 여분성, 보안, 및 다른 특징을 실현할 수 있다.

[0093] 도 18은 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템을 위한 조명기(1800)의 일 실시예를 도시한다. 본 실시예에서는, 상이한 파장을 갖는 레이저들의 적어도 2개의 그룹(VCSEL λ1(1802)과 VCSEL λ2(1804))으로 구성된 복수의 면 발광 레이저를 사용한다. 또한, 3차원 공간을 사용하고 및 VCSEL λ1(1802)과 VCSEL λ2(1804))는 직교하는 2개의 면에 배향된다. 빔들은 제2 파장을 반사하면서 한 파장을 통과시키는 파장 멀티플렉서(1806)의 사용에 의해 결합된다.

[0094] 도 18은 2개의 상이한 파장을 갖는 2세트의 레이저(VCSEL λ1(1802) 및 VCSEL λ2(1804))로부터의 광을 결합하는 본질적인 원리를 도시한다. 한 파장의 이미터들의 한 세트(VCSEL λ1(1802))는 공통면 상에 있다. 상이한 파장의 이미터들의 제2 세트(VCSEL λ2(1804))는 직교 배향된 제2 면 상에 있다. 파장 멀티플렉서(1806)는 예를 들어, 제1 파장을 편향되지 않게 통과시킬 수 있으면서 제2 파장은 45도로 편향되게 하며 그 출력 빔들이 결합되는 박막 필터를 사용함으로써 실현될 수 있다. 간략하도록, 삼각형 단면의 2개의 동일한 프리즘에 의해 형성된 큐브 형상의 멀티플렉서(1806)를 도시하였는데, 여기서 파장을 반사 또는 통과시키는 박막 필터는 단면의 2개의 삼각형 프리즘이 접하는 큐브의 중심면에 위치한다.

[0095] VCSEL λ1(1802)과 VCSEL λ2(1804)의 2개 기판의 위치는 파장 멀티플렉서(1806)에 대해 측방향으로 시프트될 수 있어서, 2개 빔의 바람직한 오버랩 또는 인터리빙을 생성할 수 있다. 도 19는 도 18의 조명기 실시예로 생성될 수 있는 측정 지점 클라우드(1900)를 도시한다.

[0096] 본 교시의 한 특징은 각 파장이 상이한 각도 분해능을 갖는 다파장 LIDAR 시스템을 제공하는 것이다. 상이한 파장의 빔 프로파일들은 상이한 동작 범위가 가능하도록 상당히 다를 수 있다. 이러한 실시예에서는, 다파장을 개별적으로 검출할 수 있는 수신기를 가지고 있다는 사실을 이용한다.

[0097] 도 20은 본 교시의 다파장 LIDAR 구성에서 2개의 다소자 이미터 소스를 사용하여 생성된 측정 지점 클라우드(2000)의 일 실시예를 도시한다. 제1 파장으로부터 생성된 측정 지점 클라우드(2000)의 지점(2002) 및 제2 파장으로부터 생성된 지점(2004)으로부터 알 수 있는 바와 같이, 각 파장은 수직축에서 상이한 각도 분해능을 갖는다. 따라서, 2개의 파장에 대한 측정 지점 클라우드의 수직 분해능은 실질적으로 다르며, 이 경우에는 2의 인자에 의해 달라진다.

[0098] 도 20의 실시예에서는, 라인(2006)에서 2개의 파장의 오버랩 영역이 또한 존재하며, 이에 따라 그 위치에서 더욱 높은 각도 분해능을 초래한다. 이러한 설계는 단일 파장 설계에 비해 특정 분해능을 실현하도록 적은 VCSEL 레이저들에 의존하기 때문에 더욱 낮은 비용과 복잡성을 가능하게 한다. 일부 특정 응용분야의 경우에는, 수직 FOV에서 더욱 희박한 3D 측정이 허용될 수 있다. 이러한 일례는, 수직 높이가 차량보다 높을 때이다. 도 20에 도시된 실시예에서, 각도 분해능의 변화는 기판(들) 상의 VCSEL 장치들의 비대칭 레이아웃으로부터 생성된다.

[0099] 도 21은 다파장 LIDAR의 일 실시예에 의해 생성된 측정 지점 클라우드(2100)를 도시하며, 여기서 전체 시야를 걸친 한 파장으로부터의 측정 지점(2102)의 밀도는 본 교시에 따른 제2 파장의 측정 지점(2104)의 밀도의 절반이다. 이 구성은 제2 파장이 제1 파장과는 다른 방식으로 사용되는 경우에 바람직하다. 예를 들어, 2개의 파장이 서로 다른 거리 범위에 사용되도록 되어 있다면, 각도 분해능은 상이할 수 있다. 이는 도 4의 표에 도시되어 있다. 각도 분해능의 차이가 있는 다른 이유는, 더욱 빠른 전체 스캐닝, 또는 개선된 보안, 또는 단순한 부분적 여분성을 위해 제2 파장을 사용하는 것을 포함할 수 있다.

[0100] 본 교시의 LIDAR 시스템의 한 특징은 추가 파장이 쉽게 부가될 수 있다는 점이다. 추가 파장 및 더욱 복잡한 파장 멀티플렉서를 사용하면, 더 많은 측정 지점을 추가할 수 있다. 도 22는 본 교시의 측정 지점 클라우드(2200)의 일 실시예를 도시한다. 지점 클라우드는 4개의 서로 다른 파장에 의해 제공되는 측정 지점을 나타낸다. 각 파장에 연관된 지점은 3D 측정 지점 클라우드에서 상이한 형상으로서 도시된다.

[0101] 본 교시의 한 특징은 생성된 3D 지점 클라우드가 상이한 방향을 따라 상이한 각도 분해능을 갖도록 광학 시스템이 구성될 수 있다는 점이다. VCSEL 어레이 내의 소자들의 간격, 시준, 및 투영 소자 내의 결합 장치들을 포함하는 광학 구성은 요구되는 곳에서 밀도를 최대화하고 요구되지 않는 곳에서는 밀도를 최소화하는 주어진 방향으로 각도 분해능을 변경하도록 이루어진다. 일부 실시예에서, VCSEL 장치들은 밀도가 수평 및 수직 방향으로 실질적으로 일정하지만, 각 방향에 있어서 반드시 동일할 필요는 없는 규칙적인 균일한 패턴으로 배치된다. 이러한 구성은 패키지에 대한 VCSEL 장치의 조립 및 전기적 접속을 용이하게 하기 위해 비교적 균일한 레이아웃을 갖는 것이 바람직하므로, 제조 프로세스를 보조할 수 있다.

[0102] 도 23a는 본 교시에 따라 특정 방향으로 각도 분해능이 변하는 다파장 LIDAR의 일 실시예를 위한 VCSEL 어레이 레이아웃을 도시한다. 기판은 간격이 각 방향으로 일정하지만, 두 개의 방향 간에는 상이한 규칙적인 패턴으로 배열된 25개의 VCSEL 레이저(2302)를 포함한다. 수평 방향에 있어서, 각 VCSEL 장치(2302)는 장치들 간의 균일한 간격(X 2304)으로 오프셋되고 수직 방향으로는 장치들 간의 균일한 간격(Y 2306)으로 오프셋된다. 따라서, VCSEL 레이저 어레이는 x 방향으로 균일한 간격 및 y 방향으로 균일한 간격을 갖지만, 이러한 2개의 간격이 동일하지는 않다.

[0103] 도 23b는 본 교시에 따라 다양한 각도 분해능을 갖는 다파장 LIDAR의 일 실시예에 의해 생성된 측정 지점 클라우드(2350)를 도시한다. 광학 시스템에 의해 생성될 수 있는 비균일한 3D 지점 클라우드는 도 23a의 균일한 VCSEL 구조를 형성한다. 도 23b의 실시예에서, 투영된 측정 지점들의 간격은 수평 및 수직 방향 모두에 있어서 가변하며, 더 이상 균일하지 않다. 수직 방향에 있어서, 장치들의 하부 2개 행에 대한 간격은 u(2352)이고, 각 행은 추가 간격 u(2352)만큼 증가하여, 상부에서 4u(2354)로 된다. 수평 방향으로는, 중심축을 중심으로 하면서 인접하는 2개 열에 대한 간격이 p(2556)이고, 이어서 간격 2p(2358)로 증가되는 대칭 패턴이 있다. 본 실시예의 한 특징은 주어진 시야에 대해 전체 VCSEL의 개수를 감소시키는 것이다. 이러한 구성은 비교적 저 비용을 가지며, 원하는 FOV의 일부에만 높은 각도 정밀도를 필요로 하는 응용분야에 유용하다. 통상의 기술자는 본 교시에 따라 다른 많은 패턴이 LIDAR 시스템에 의해 생성될 수 있다는 것을 이해할 것이다.

[0104] 본 교시의 LIDAR 시스템의 일부 실시예는, VCSEL 레이저들이 상이한 FOV를 갖는 하나 이상의 상이한 광학 설계와 함께 사용되도록 설계된 별도의 조립체에 배치되는 모듈형 설계를 갖는다. 이들 실시예에서는, 단일의 VCSEL 레이저 조립체만이 다수의 자동차 및/또는 응용분야의 요구를 해결하도록 제조될 필요가 있다. 타겟 사용과 비용이 다른 상이한 차량들은 LIDAR 시스템의 개수, 및 시스템 범위와 FOV에 대해 다양한 요건을 갖는 것을 이해할 수 있다. 따라서, 본 교시의 LIDAR 시스템의 일 양태는 모듈형 LIDAR 시스템을 구성하는 것이다. 이러한 모듈형 시스템에서, 모듈형 VCSEL 조립체로의 통신 및 데이터 전송은 디지털일 수 있으며, 모든 아날로그 처리는 모듈형 유닛 내에서 발생할 수 있다.

[0105] 도 23a 및 도 23b와 관련하여 설명한 바와 같이 본 교시에 따라 상이한 방향으로 가변하는 각도 분해능은 사용되는 파장의 개수와 무관하다는 점을 이해할 것이다. 단일 파장 LIDAR 시스템조차도, 상이한 방향으로 분해능을 가변함으로써 유익해질 수 있다.

[0106] 조명기의 투영 소자는 원하는 빔 프로파일 및 타겟면에서의 위치를 달성하도록 광학 장치들의 다양한 조합으로 구성될 수 있다. 본 발명에 따른 다파장 LIDAR 시스템에서는, 하나의 광학 장치가 상이한 파장들을 결합하는 파장 멀티플렉서로서 사용된다. 파장 멀티플렉서는 빔 경로 또는 빔 방향이 파장의 함수로서 수정되게 할 수 있다. 공지된 다양한 파장 멀티플렉서 장치가 사용될 수 있다. 예를 들어, 박막 필터는 한 파장을 통과시키면서 다른 파장을 반사하도록 사용될 수 있다. 또한, 회절 광학 장치가 사용될 수 있다. 사용된 레이저가 선형으로 편광되는 경우, 편광 감응 광학 장치도 사용될 수 있다. 각 파장이 선형으로 편광되는 2파장 LIDAR 시스템(한 편광이 다른 파장에 직교함)의 경우, 파장 멀티플렉서는 편광 빔 스플리터일 수 있다. 파장이 추가된 LIDAR 시스템의 경우, 파장 판을 사용하여 편광 상태를 조작하고 편광을 기반으로 광을 반사 또는 통과시키면, 편광 빔 스플리터를 사용하여 적합한 파장 멀티플렉서를 생성할 수 있다.

[0107] 특정한 일부 실시예에서, 공간 영역은 빔들을 결합하는 데 충분하다. 다중 모드 VCSEL의 경우, 빔 결합은 공통 멀티플렉서 없이 자유 공간에서 수행될 수 있다. 빔들을 결합하는 데 사용되는 이러한 자유 공간 영역을 자유 공간 광학 소자라고 한다. 도 24a 내지 도 24c는 이러한 자유 공간 결합기를 도시한다. 도 24a는 본 교시의 다중 모드 멀티 이미터 VCSEL 레이저 소스 조명기(2400)의 일 실시예를 도시한다. 5개의 레이저 이미터(2406)를 갖는 2개의 VCSEL 어레이(2402, 2404)가 각각 도시되어 있다. 어레이(2402, 2404)는 명목상 단일 평면에 배치되지만, 이것이 요구되지는 않는다. 어레이들은 서로 오프셋되거나 비스듬할 수 있다. 별도의 렌즈 시스템(2408, 2410)은 투영 각도를 설정하도록 각 VCSEL 어레이(2402, 2404)와 함께 사용된다. 실제로, 어레이들(2402, 2404)은 겨우 약 10㎜만큼 떨어져 있다.

[0108] 동작시, 2개의 어레이로부터의 빔은 매우 짧은 거리 내에서(<100㎜) 도 24b에 도시된 바와 같이 완전히 인터리빙된다. 도 24b는 도 24a의 다중 모드 멀티 이미터 VCSEL 레이저 소스의 투영된 빔 프로파일(2430)의 단면을 도시한다. 어레이들(2402, 2404)로부터의 광 빔들(2432, 2434)은 완전히 인터리빙된다. 렌즈들(2408, 2410)을 적절하게 위치설정함으로써, 균일한 간격을 생성하도록 각 어레이로부터의 투영 각도가 조절될 수 있다. 도 24c는 도 24a의 다중 모드 멀티 이미터 VCSEL 레이저 소스에 대한 투영 각도를 도시한다. 도시된 빔 투영 각도(2450)는 최대(2452), 중앙값(2454), 및 최소(2456) 빔 투영 각도만을 포함한다. 각 어레이로부터의 해당 레이저는 10㎜ 떨어지도록 배치되고, 레이저 빔은 1미터 거리까지 투영된 것으로 도시되어 있다.

[0109] 따라서, 자유 공간의 영역은 LIDAR 시스템의 시야와 범위 내의 타겟면에 레이저 빔의 원하는 프로파일을 생성하도록 투영 소자 내에서 사용될 수 있다. 자유 공간을 사용하여 투영되는 상이한 파장의 다중 이미터 레이저 빔들이 (예를 들어, 도 15b에 도시한 바와 같이) 인접 지점들의 3D 측정 지점 클라우드를 생성하는 방식으로 정렬될 수 있거나, 특정 지점들이 필요에 따라 부분적으로 또는 완전히 중첩되어 형성될 수 있다는 것은, 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

[0110] 본 교시의 LIDAR 시스템의 또 다른 특징은, 온도 모니터를 VCSEL 장치에 근접하게 통합하는 것이다. 레이저는 온도에 감응한다. 레이저 장치의 신뢰성은 레이저에 대한 바이어스를 온도 함수로서 제어함으로써 개선될 수 있다. 예를 들어, 특정한 고정 값의 광출력에 요구되는 바이어스가 저온에서 더욱 낮다는 점은 잘 알려져 있다. 본 교시에 따른 일부 LIDAR 시스템은 개선된 레이저 바이어스 알고리즘, 레이저 수명 신뢰성 개선, 및 전체 시스템 성능 감시에 대한 피드백을 제공하도록 온도 모니터를 송신기에 통합한다.

[0111] 도 25는 본 교시에 따라 VCSEL 장치에 근접하게 위치하는 온도를 측정하는 데 사용되는 장치를 포함하는 VCSEL 어레이(2500)의 일 실시예를 도시한다. 2개의 온도 센서(2502, 2504)는 단일 공통 기판(2506) 상에 배치된다. 본 교시의 LIDAR 시스템의 다양한 실시예에서는, 하나 이상의 온도 센서가 사용될 수 있다. 하나의 온도 센서는 기판(2506)에 걸친 온도 구배가 작고 및/또는 충분히 예측되는 경우에 적합할 수 있다. 예를 들어, 온도 센서는 서미스터일 수 있다. 서미스터는 온도에 의존하는 저항을 갖는 것으로 당업계에 잘 알려져 있다. 서미스터를 통해 신호를 전달하고, 전류/전압을 측정함으로써 서미스터의 동작 저항과 온도를 계산할 수 있다.

[0112] 본 교시에 따른 일부 LIDAR 시스템은 제조 중에 다양한 성능 측정을 위해 온도 모니터를 통합하고 교정하는 것이 바람직하다. 교정이란, 장치의 레이저 바이어스, 온도, 및 출력 전력의 특성화, 및 적절한 마진을 갖는 필요한 성능 사양을 충족시키도록 레이저 바이어스 및 출력 전력을 온도 함수로서 후속 조정하는 것을 의미한다. 종종, 이 프로세스는 제조 중에 수행된다. 교정 프로세스 동안 취득되는 레이저 바이어스 및 광출력과 같은 성능 파라미터들도, 시스템 메모리에 참고로 온도 함수로서 저장될 수 있다.

[0113] LIDAR 시스템의 동작 동안, 실제 온도는 감시될 수 있고 레이저 바이어스를 설정하기 위한 룩업 테이블로서 메모리에 저장된 값과 함께 사용될 수 있다. 대안으로, 광출력 모니터와 함께, 동작 중 출력 전력, 레이저 바이어스, 및 온도의 실제 값을 기준값과 비교하여, 잠재적 신뢰성 문제를 나타낼 수 있는 시스템의 심각한 변화 또는

열화를 식별할 수 있다. 이에 따라, 다양한 구현예에서, 이러한 변화를 검출하는 LIDAR 시스템은 잠재적 서비스 또는 수리가 필요한 자동차에 대한 전체 감시 시스템과 통신할 수 있다.

[0114] 온도 센서(들)(2502, 2504)는 또한, VCSEL 레이저 장치(2508)가 의도된 동작 범위를 벗어나는 때를 검출하는 데 사용될 수 있다. 자동차는 외부에서 잠재적으로는 극단적인 기상 조건에서 동작하므로, VCSEL 레이저 장치(2508)의 온도를 소정의 정밀도로 아는 것이 시스템의 신뢰성 및 안전성에 있어서 중요할 수 있다. 이에 따라, 온도가 동작 범위를 벗어나는 때를 검출할 수 있는 시스템은, 주변 조건이 동작 기준을 충족시킬 때까지 동작을 방지하는 것과 같은 소정의 액션을 취할 수 있다.

[0115] 도 26은 본 교시에 따라 VCSEL 어레이(2600) 온도를 제어하는 데 사용되는 능동 열 제어 장치(2602, 2604)를 포함하는 VCSEL 어레이(2600)의 일 실시예를 도시한다. 능동 열 제어 장치(2602, 2604)는 VCSEL 온도를 조절하고 이러한 온도를 허용가능한 동작 범위 내에 두도록 사용된다. 능동 열 제어 장치를 통합하는 것은, LIDAR 시스템의 넓은 동작 온도 범위를 제공하는 데 사용될 수 있으므로 때때로 바람직하다. 국부화된 능동 열 제어 장치(2602, 2604)는 VCSEL 어레이(2600)의 기판(2606) 상에 함께 위치하며, 원하는 열 효율을 달성하는 방식으로 구성된다. 열 제어 장치(2602, 2604)는 가열 저항 소자일 수 있다. 그러나, 가열 저항 소자만을 사용하는 시스템은 가열을 행할 수는 있지만 VCSEL을 냉각시킬 수는 없다. 대안으로, 열전기 냉각기(TEC)를 가열 및 냉각 모두를 행할 수 있는 능동 열 제어 장치로 사용할 수 있다.

[0116] VCSEL 기판(2606)은 가열 저항기일 수 있는 열 제어 장치(2602, 2604) 및 여러 개의 서미스터(2608, 2610)를 포함한다. 서미스터(2608, 2610)는 기판을 통해 레이저와 열적으로 결합되고, 온도를 감시하도록 레이저에 비교적 근접하게 위치한다. 시스템은 필요에 따라 가열 저항기를 통해 전류를 통과시켜 서미스터에 의해 측정되는 온도를 원하는 온도 범위에 둔다.

[0117] 도 27은 본 교시에 따라 VCSEL(2704)을 가열 및 냉각하기 위한 열전기 냉각기(TEC)(2702)를 포함하는 온도 제어형 VCSEL 어레이(2700)의 단면을 도시한다. VCSEL(2704)에 근접하여 서미스터(2706)를 갖는 것 이외에도, 서미스터(2708)는 베이스 온도를 측정하기 위해 TEC(2702)의 베이스에도 배치될 수 있다.

[0118] 본 교시의 LIDAR 시스템의 또 다른 특징은 레이저 드라이버와 VCSEL 레이저가 동일한 기판 상에 배치되고 원하는 RF 성능을 위해 최적화된 고도로 집적된 레이저 드라이버와 VCSEL 조립체를 사용하는 것이다. 도 28a 내지 도 28c는 본 교시의 다파장 LIDAR를 위한 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 일 실시예를 도시한다. 도 28a는 본 교시의 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 일 실시예의 평면도(2800)를 도시한다. 도 28b는 도 28a의 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 실시예의 측면도(2830)를 도시한다. 도 28c는 도 28a의 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체의 실시예의 저면도(2850)를 도시한다.

[0119] 도 28a 내지 도 28c를 참조하면, VCSEL(2802)의 어레이는 기판(2804)의 일면 상에 배치된다. 드라이버 칩(2806)은 반대면 상에 배치된다. 다층 기판(2804)은 레이저 드라이버 신호를 드라이버(2806)로부터 VCSEL(2802)의 어레이 내의 레이저로 라우팅하는 데 사용될 수 있다. 다층 기판(2804)은 인쇄 회로 기판, 세라믹 기일 수 있고, 또는 가요성 다층 회로 상에 있을 수 있다. 통상의 기술자는 다른 기판 물질도 사용될 수 있다는 것을 이해할 것이다.

[0120] 도 29는 본 교시에 따른 다파장 LIDAR 시스템을 위한 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체(2900)의 다른 일 실시예를 도시한다. 레이저 드라이버들(2902)은 동일한 기판(2904) 상에 그리고 VCSEL 어레이(2906)와 동일한 면 상에 배치된다. 9개의 쿼드 레이저 IC를 갖는 조립체(2900)는 VCSEL 어레이(2906) 내의 36개의 VCSEL 레이저에 대한 기판 상에 위치설정된다.

[0121] 도 30은 본 교시의 다파장 LIDAR를 위한 컴팩트 VCSEL 레이저 드라이버 조립체(3000)의 일 실시예의 시스템 블록도를 도시한다. 본 실시예에서, 펄스 생성 체인(3002)은 VCSEL 조립체(3004)의 동일한 캐리어 상에 국부적으로 생성된다. 펄스 생성 체인(3002)은 펄스 제어기(3006), 메모리(3008), 펄스 패턴 생성기(3010), 및 레이저 드라이버(3012)를 포함한다. 레이저 드라이버(3012)는 도시된 바와 같이 VCSEL 레이저(3014)에 접속된다. 일부 실시예에서, 레이저 드라이버는 다수의 VCSEL 레이저를 구동하는 데 사용되는 공통 접촉부에 접속된다. 일부 실시예에서, 펄스 형상은 로컬 메모리에 저장될 수 있고 또는 제어기와 패턴 생성기의 조합에 의해 생성될 수 있다.

[0122] 시스템 프로세서(3016)는 디지털 입력/출력 접속부(3018)를 통해 접속된다. 시스템 프로세서(3016)는 레이저를 발사하도록 명령하고 얼마나 오랫동안 발사하는지를 제어하는 명령어들의 세트를 생성한다. 이들 명령어는 패턴 유형을 결정한다. 그러나, 레이저의 패턴 생성과 바이어싱은 VCSEL 조립체 상에서 국부적으로 행해진다. 레이저

드라이버 펄스 패턴을 VCSEL 조립체 상에 국부적으로 생성함으로써, 전체 LIDAR 시스템에 필요한 인터페이스가 크게 단순화된다. 일부 실시예에서, 펄스 제어기(3006), 메모리(3008), 펄스 패턴 생성기(3010), 및 레이저 드라이버(3012) 기능은 모두 단일 IC 패키지 내에 포함된다. 다양한 실시예에서, VCSEL 장치는 밀폐식 또는 비밀폐식으로 패키징될 수 있다.

[0123] 도 31은 본 교시의 다소자 다파장 LIDAR 시스템을 위한 다파장 광출력 모니터의 일 실시예를 도시한다. 이러한 다소자 다파장 LIDAR 시스템은 도 14와 관련하여 설명한 다파장 LIDAR 시스템에서와 동일한 조명기 투영 소자를 이용하지만, 광출력 감시를 가능하게 하는 추가 요소를 갖는다. 부분 미러(3102)는 복수의 레이저(3106)로부터의 광 빔이 반사되는 광학 시스템의 지점에서 광 빔(3104)의 일부를 반사한다. 일부 실시예에서, 부분 미러(3102)의 배치는 광학 시스템의 단일 지점에 있다. 다른 실시예에서, 반사광은 다수의 반사 소자를 사용하는 시스템의 하나보다 많은 지점에서 샘플링된다. 다수의 반사 소자는 부분 미러일 수 있다. 다수 반사 소자는 또한 빔을 투영할 수 있다.

[0124] 반사광은 한 파장의 광에만 각각 감응하는 모니터 광검출기들(3108, 3310)의 한 세트로 향한다. 모니터 광검출기(3108, 3110)는 단순히 개별적인 광대역 포토다이오드의 전방에 위치설정된 노치 필터일 수 있다. 본 교시의 다파장 LIDAR의 일 양태는, 상이한 파장의 레이저들을 동시에 독립적으로 동작시키는 능력이다. 이는 2개의 파장의 광출력을 독립적으로 감시하게 할 수 있으므로, 시스템 능력을 개선한다.

[0125] 전형적으로, 빔이 크게 중첩되는 광학 시스템 내의 위치가 존재한다. 도 31의 감시되는 LIDAR 조명기에서, 중첩은 광학 장치(3112) 뒤에서 발생한다. 투명 윈도우(3114) 상에 장착된 반사 소자와 부분 미러(3102)는 이러한 중첩 위치에 위치설정될 수 있다. 윈도우(3114)는 편리한 장착면을 형성하며, 실질적으로 광을 통과시키는 임의의 기계적 구조로 대체될 수 있다. 반사 소자와 부분 미러(3102)는 전체 광출력의 전형적으로 5% 미만인 광의 일부를 반사한다. 반사 소자와 부분 미러(3102)는 윈도우(31, 14)의 어느 한 면 상에 장착될 수 있다. 또한, 이러한 반사 소자와 부분 미러(3102)는 2개의 방향으로 상이한 파장의 광을 반사하는 것으로 도시되어 있다. 별도의 검출기들(3108, 3110)은 사용되는 각 파장으로부터의 광을 검출하고 감시하도록 사용된다. 또한, 반사 소자와 부분 미러(3102)가 한 방향으로 양측 파장으로부터의 광을 반사하는 한편, 그 광이 별도의 포토다이오드와 적절한 파장 필터링을 사용하여 별도로 샘플링되는 경우가 있을 수 있다.

[0126] 조명기 내에서 검출되는 반사광은 또한, 레이저 전류 바이어스의 추가 제어를 제공하는 데 사용될 수 있다. 레이저 다이오드는 동작 바이어스 전류의 범위를 갖는다. LIDAR 시스템을 포함한 레이저 시스템은 모니터 다이오드로부터 수신되는 포토다이오드 전류가 바이어스 제어 루프에 대한 입력으로서 기능하는 폐루프 방식으로 동작하는 경우가 종종 있다. LIDAR 시스템은 온도 또는 기계적 시프트와 같은 시스템 안정성의 변화에 반응할 수 있고, 입사 파워(incident power)의 대략 선형 함수인 모니터 포토다이오드 전류의 일정한 값을 감시하고 유지함으로써 개선된 출력 전력 안정성을 유지할 수 있다. 또한, 레이저 바이어스의 이러한 감시와 제어는 시스템 레벨에서 광출력의 손실 없이 레이저의 수명 동안 레이저의 일부 열화를 수용할 수 있다.

[0127] 다파장 전력 감시는 또한, 결함이 레이저 열화 또는 광학 성능의 시프트로 인해 발생했는지 여부를 검출하기 위한 시스템 견고성을 개선한다. 다파장 전력 감시는 파장들의 한 세트가 실패하는 경우 여분성을 제공한다. 파장들의 한 세트의 동작에서의 부분적 또는 완전한 실패는, 각 파장에 대한 광학적 감시가 독립적인 경우에 파장들의 다른 세트를 사용하는 시스템의 부분 작동 능력을 여전히 가능하게 한다.

[0128] 본 교시의 또 다른 양태는 광학적 감시를 수행하는 LIDAR 시스템이다. 일부 실시예에서, 각 검출기(3108, 3110)에서 수신되는 광은 레이저 파장, 광출력, 펄스 타이밍, 및 펄스 주파수와 같은 파라미터들에 대하여 감시된다. 이들 실시예에서, 수신기는 도 31에 도시된 바와 같이 단순히 포토다이오드 검출기가 아니라, 광출력과 파장의 검출을 허용하는 광학 장치도 포함한다. 다수의 파장이 사용되는 LIDAR 설계에서, 특히 파장이 절대값에 근접한 경우, 시스템 파라미터들이 의도한 바와 같음을 보장하도록 파라미터의 절대값 또는 상대값을 감시하는 것이 바람직할 수 있다. 레이저의 절대 파장 또는 상이한 파장의 레이저들 간의 상대 오프셋을 감시하는 다양한 방법은 당업계에 알려져 있다. 이러한 방법들 중 일부는 에탈론 기반 감시 장치를 사용한다.

[0129] 본 교시의 다파장 LIDAR 시스템의 또 다른 특징은, 어레이 내에 위치설정된 레이저의 파장 차이가 시준을 개선하는 데 사용될 수 있다는 것이다. 실제로, VCSEL 장치의 웨이퍼는 공칭 파장이 전체 웨이퍼에 걸쳐 공통되도록 종종 제조되고, 단일 VCSEL 클러스터에 의해 커버되는 바와 같이 웨이퍼의 작은 부분 내의 파장들의 분포는 매우 작으며, 1nm 미만일 수 있다. 공칭 VCSEL 파장은 VCSEL 설계 방안과 채택되는 제조 방법에 따라 일부 경우에 웨이퍼를 가로질러 시프트되지 않을 수도 있다. 그러나, 상이한 파장이 상이한 애퍼처에 대하여 타겟으로 될 수 있게 하는 일부 VCSEL 제조 방법이 있다. 이러한 VCSEL에서는, 파장에 감응하는 광학 장치와 함께 파장 시프트

를 사용하여, 파장에 감응하지 않는 광학 장치로 달성될 수 있는 시준보다 양호한 시준을 제공할 수 있다.

[0130] 도 32는 본 교시에 따라 상이한 파장을 방출하는 레이저 애퍼처를 포함하는 VCSEL 클러스터 레이아웃(3200)의 일 실시예를 도시한다. VCSEL 클러스터 레이아웃(3200)은 13개의 VCSEL 애퍼처(3202)를 포함한다. 이러한 VCSEL 클러스터 레이아웃(3200)은 방법을 더 잘 설명하도록 단순화를 위해 선택되었지만, 실제로는 밀도가 높고 균일하게 채워진 VCSEL 클러스터를 사용할 수 있다. 본 실시예에서는, 클러스터 내의 개별 VCSEL 애퍼처(3202)의 파장이 반경 위치에 기초하여 시프트된다. 그리고, 특정 반경을 따라 VCSEL 애퍼처(3202)에 의해 방출되는 파장은 모든 각도에 대해 일정하다. 도 32에서, 각 VCSEL 애퍼처(3202)는 중심 VCSEL 애퍼처로부터의 위치를 나타내는 번호로 라벨링된다.

[0131] 도 33은 도 32의 VCSEL 클러스터 레이아웃을 포함하는 조명기의 일 실시예를 도시한다. VCSEL 클러스터(3302)는 본 교시에 따라 파장 감응형 광학 장치(3304)와 함께 위치설정된다. VCSEL 클러스터(3302)는 도 32와 관련하여 설명한 바와 같이 방사상으로 가변하는 파장을 갖는다. 이 경우, 파장 감응형 광학 장치(3304)는 광 빔(3306)을 광 빔의 파장에 의존하는 양만큼 편향시키도록 작용한다. 광학 장치(3304)에 의해 투영되는 광 빔(3306)의 경로는 평행 경로들의 세트이다. 따라서, 광학 장치(3304)의 편향은 클러스터의 모든 애퍼처가 동일한 파장인 경우 달성될 수 있는 더욱 작은 직경의 시준 빔을 초래한다. 일부 실시예에서, 파장 감응형 광학 장치는 광의 입력 빔의 편향 크기가 그 광의 파장에 의존하도록 제조된 회절 광학 장치이다.

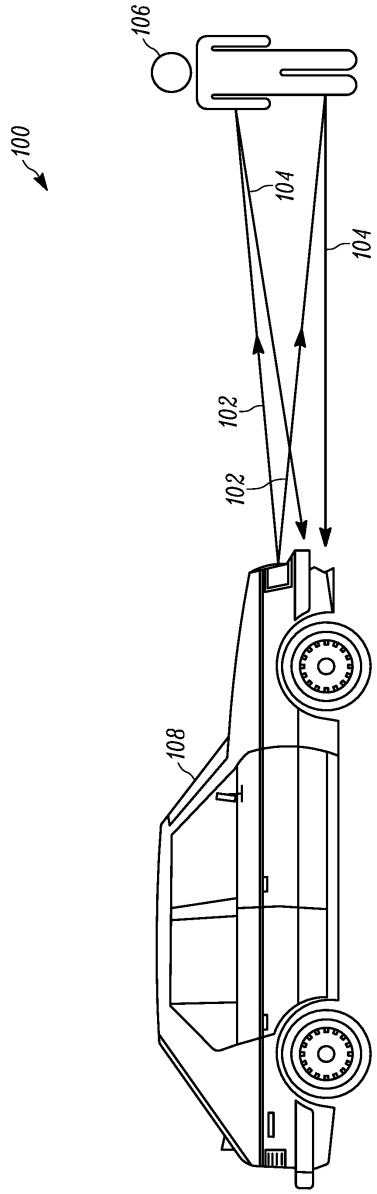
[0132] 일부 실시예에서는, 클러스터 내의 특정 파장이 원하는 파장이 되도록 VCSEL 구조가 구성되고 VCSEL이 제조된다. 일부 실시 예에서, VCSEL 클러스터 내의 파장은, 그 구조를 가로질러 온도 구배를 갖도록 구성된 VCSEL 클러스터를 사용하여 방사상 위치의 함수로서 변경된다. 전형적인 VCSEL 레이저는 0.1㎚/℃의 파장 온도 계수로 온도에 감응한다. 방사상 방향으로 가변하는 온도 구배를 갖는 구조를 갖는 VCSEL 클러스터는 또한, 장치들 모두가 모두 일정한 온도에서 동일한 파장을 방출하더라도 클러스터를 가로질러 VCSEL 파장이 시프트되게 한다.

[0133] 균등물

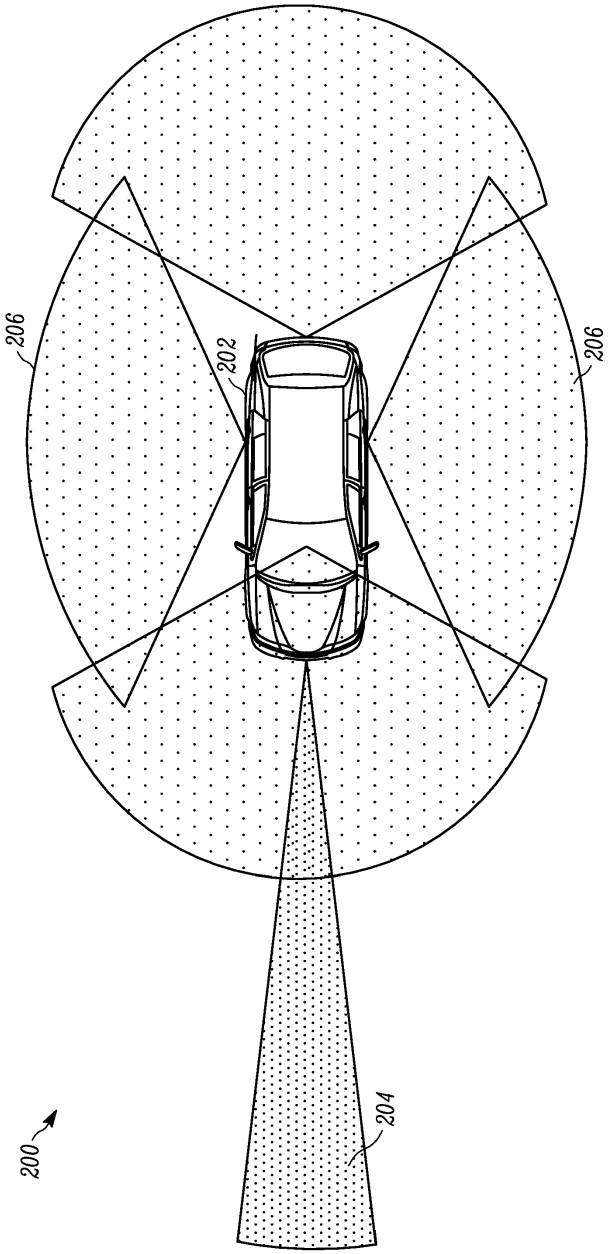
[0134] 출원인의 교시를 다양한 실시예와 관련하여 설명하였지만, 출원인의 교시가 이러한 실시예들에 한정되도록 의도한 것은 아니다. 반대로, 본 출원인의 교시는 통상의 기술자가 알 수 있는 바와 같이, 본 교시의 사상과 범위를 벗어나지 않고서 이루어질 수 있는 다양한 대안, 변경, 및 균등물을 포함한다.

도면

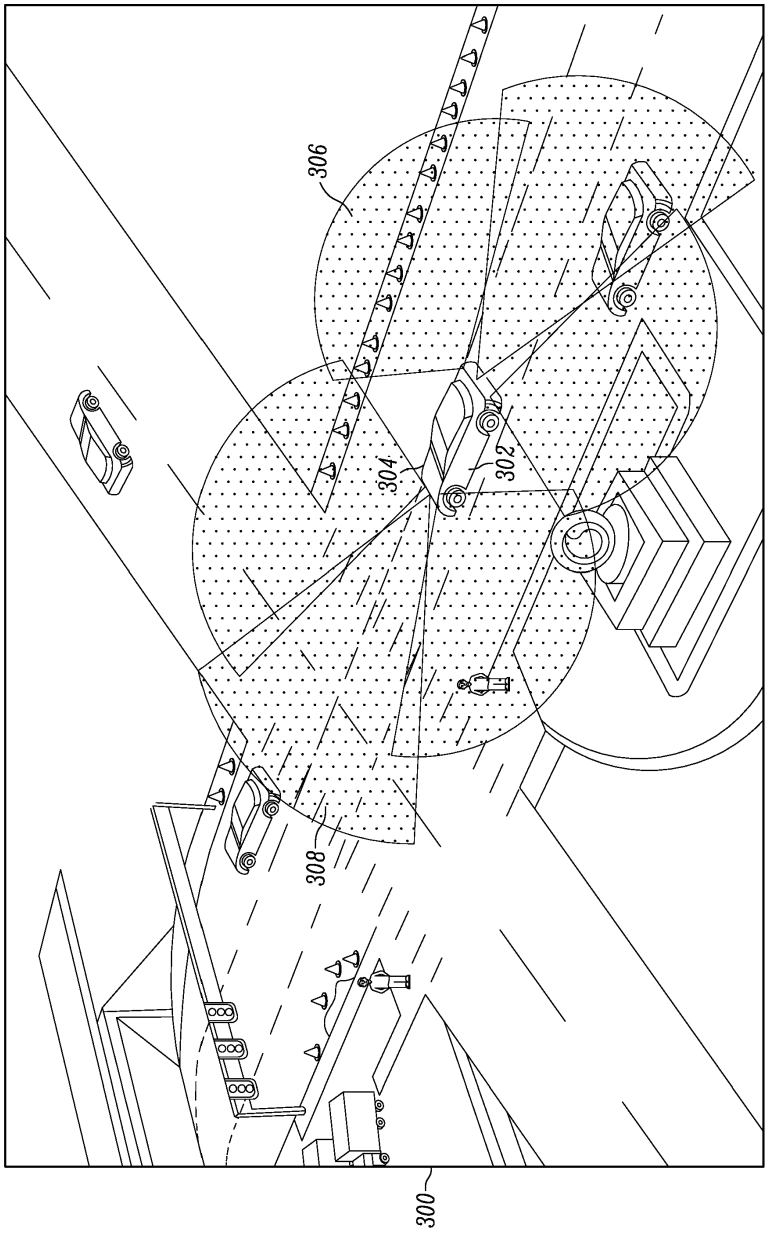
도면1



도면2



도면3



도면4

400

	수평 각도 분해능
거리	0.175미터의 스텝 크기
40 m	0.25 도
70 m	0.143 도
100 m	0.1 도

도면5

	16-레이저	32-레이저
수직 FOV	+15 to -15 (30 도)	+10.67 to -30.67 (40 도)
수직 각도 분해능	1.875 도	1.25 도
단일 펄스 반복률	2.44 usec	1.44 usec
(초당) 총 수직 시퀀스 속도	55.296 usec	46.1 usec
등가 샘플 속도	289,351 Hz (~300 kHz)	694,143 Hz (~700 kHz)
공칭 회전 속도	600 rpm (10 Hz)	600 rpm (10 Hz)
공칭 수평 각도 분해능	0.199 도	0.166 도

종래 기술

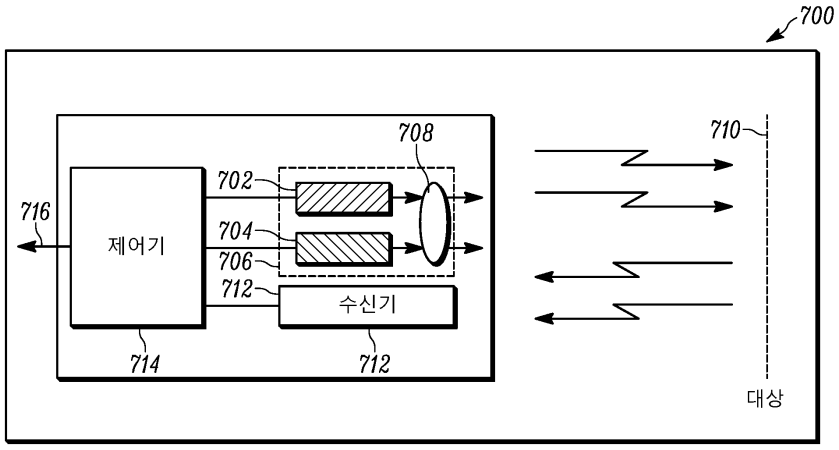
500

도면6

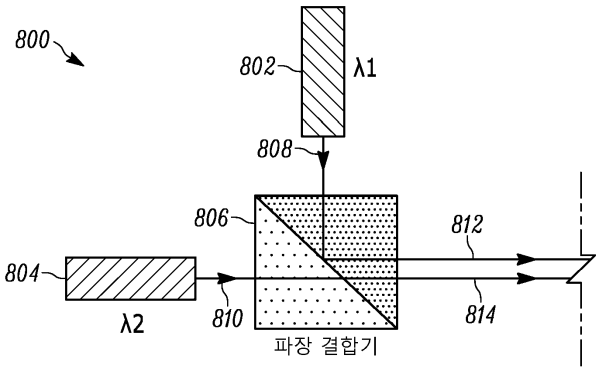
600

파라미터	사양
거리 범위	최대 100m
FOV (V/H)	22.5° / 분 22.5°
각도 분해능 (V/H)	0.7° / 0.18°
파장 범위	808nm 내지 1064nm
눈 안전도	클래스 1

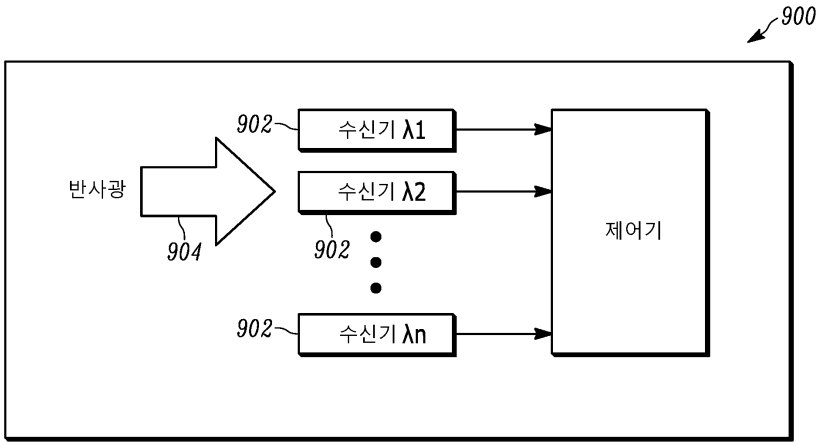
도면7


700
708
710
716
제어기
702
704
706
712
수신기
714
712
대상

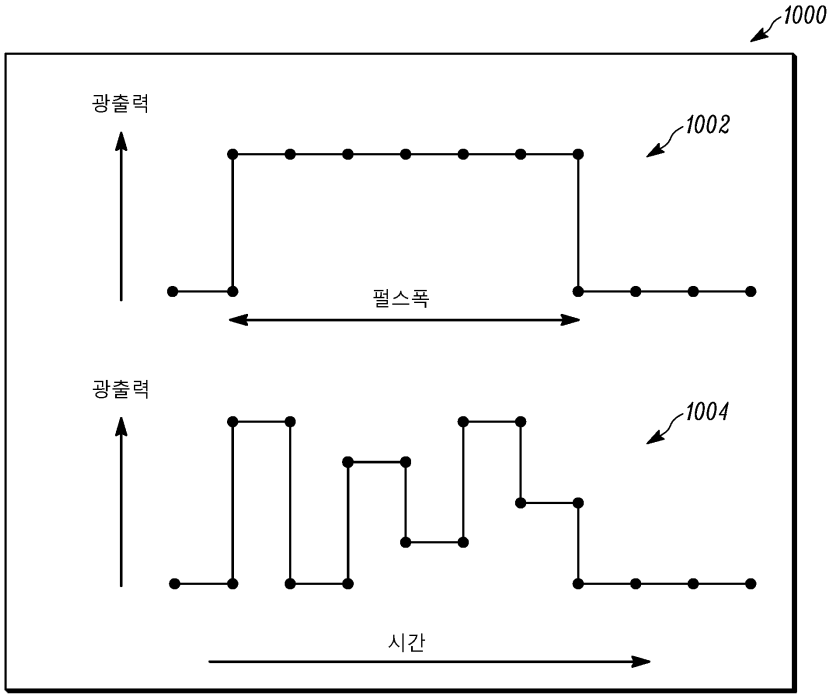
도면8


800
802
λ1
808
806
812
804
λ2
810
814
파장 결합기

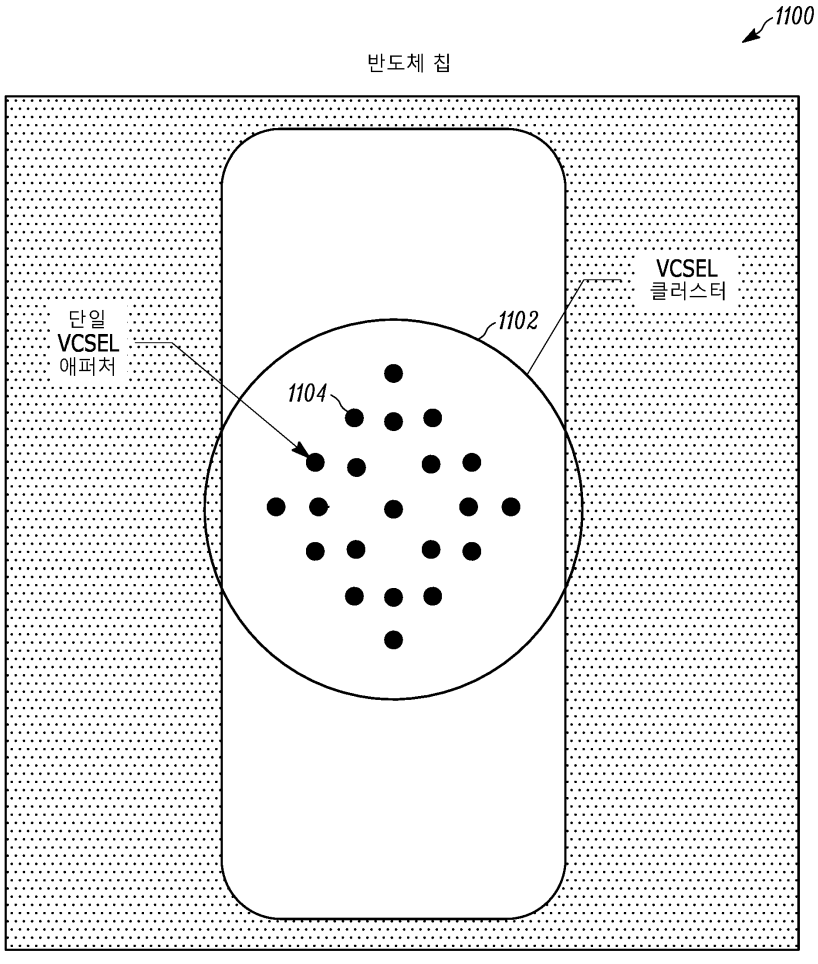
도면9


900
902
수신기 λ1
반사광
수신기 λ2
제어기
904
902
902
수신기 λn

도면10

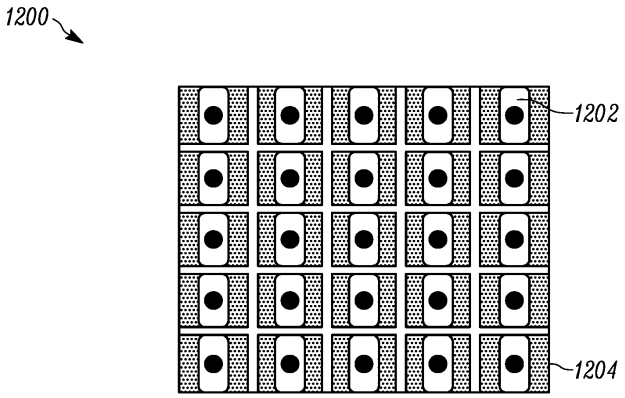


도면11

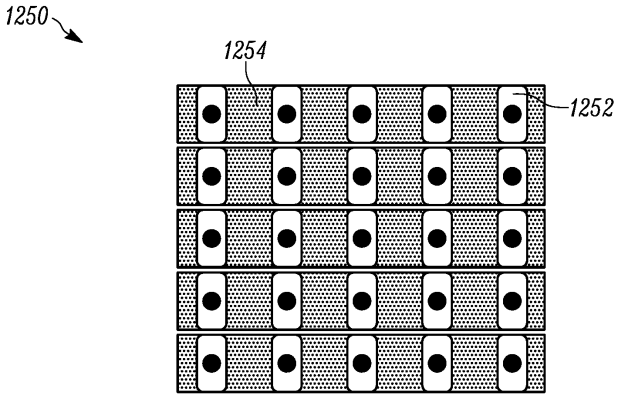


종래 기술

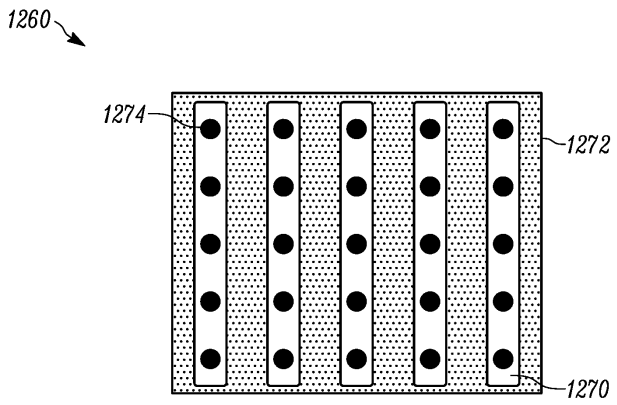
도면12a



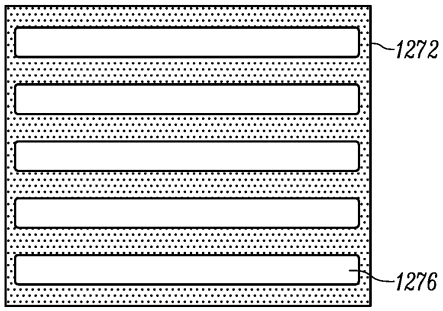
도면12b



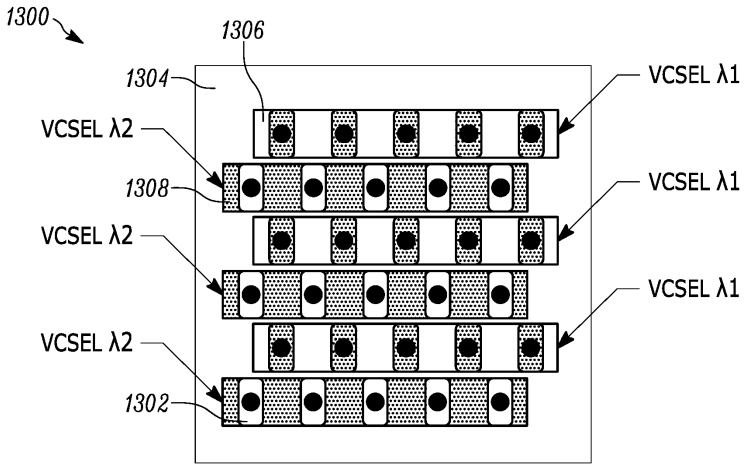
도면12c



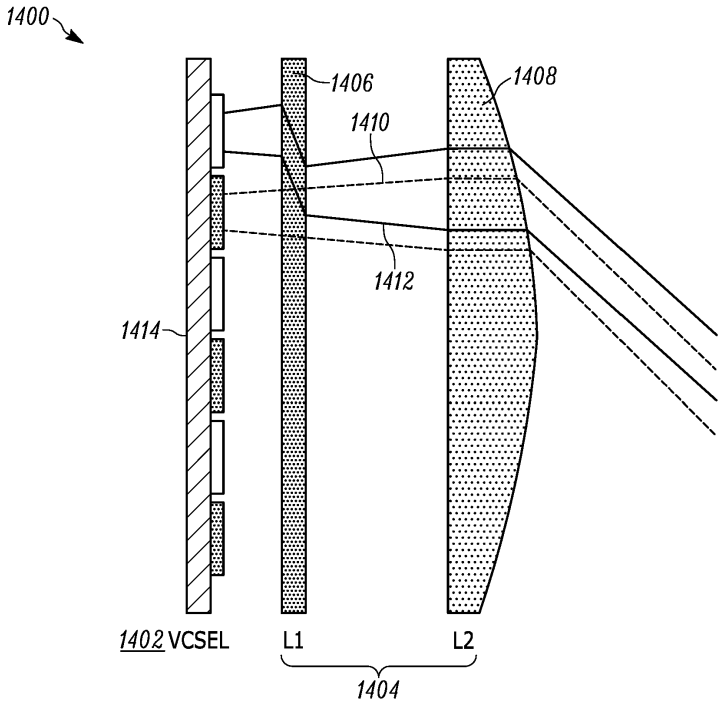
도면12d



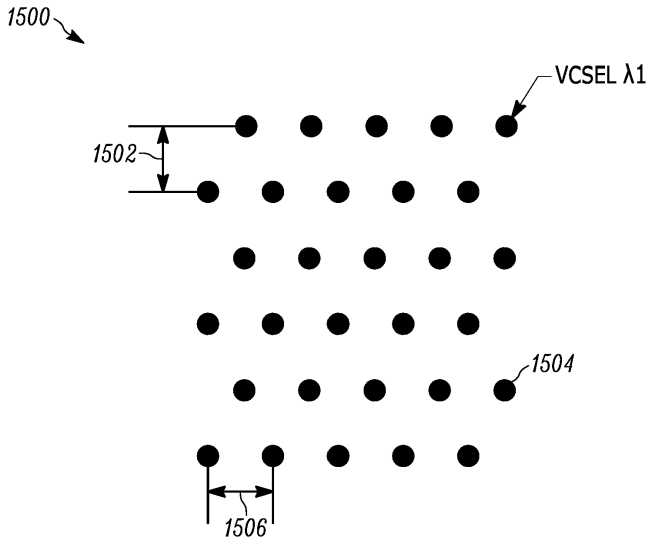
도면13



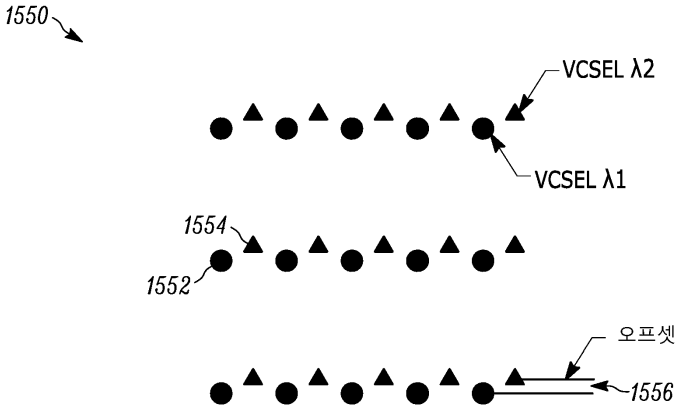
도면14



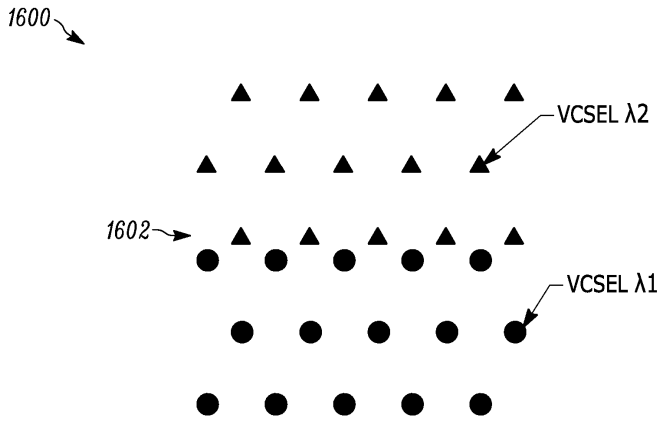
도면15a



도면15b

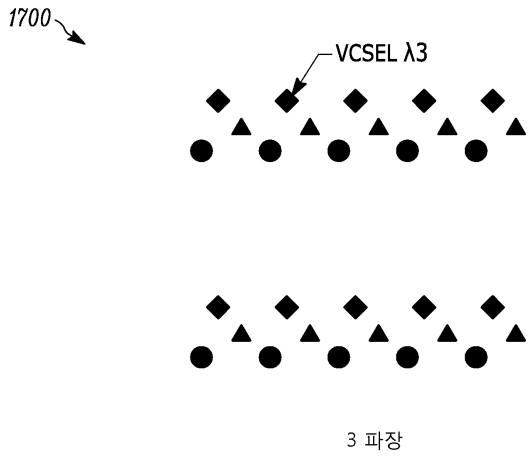


도면16

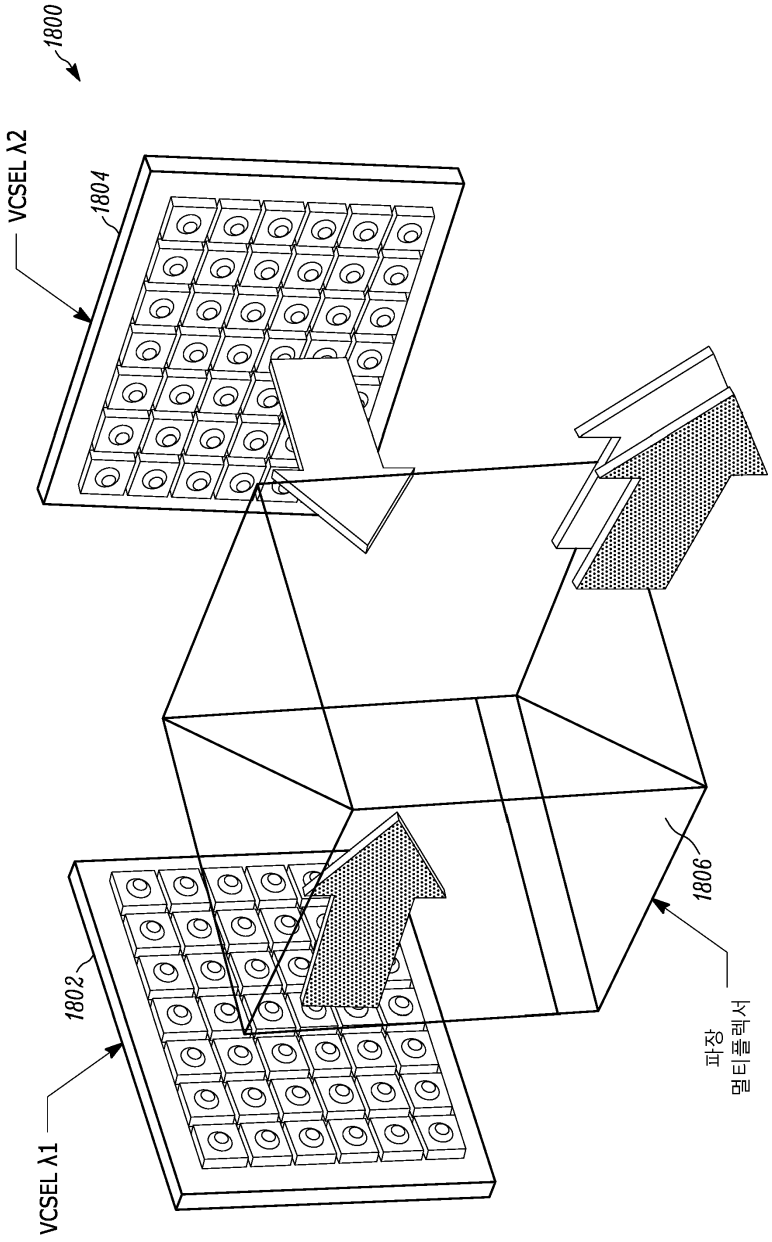


2 파장

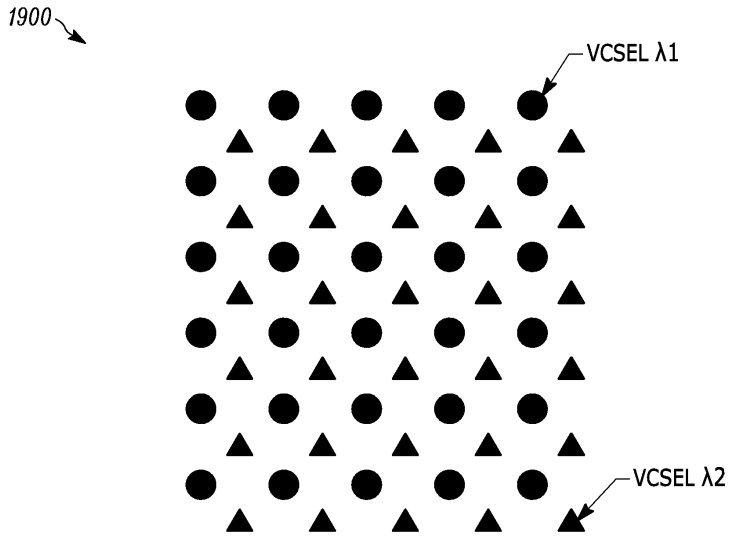
도면17


1700
VCSEL λ3
3 파장

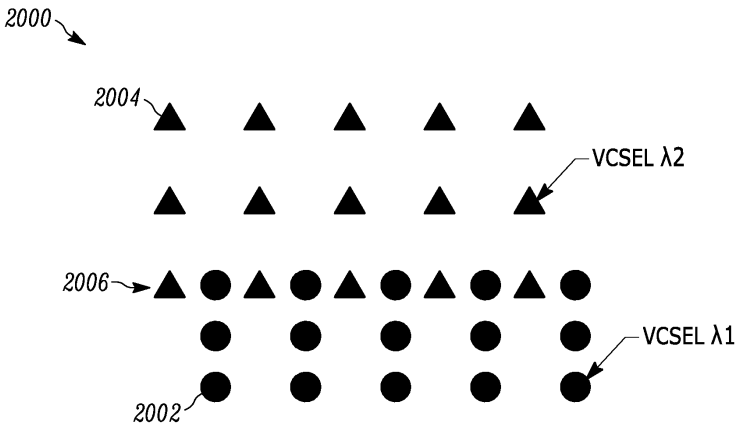
도면18


1800
VCSEL λ2
1804
1802
VCSEL λ1
1806
파장
멀티플렉서

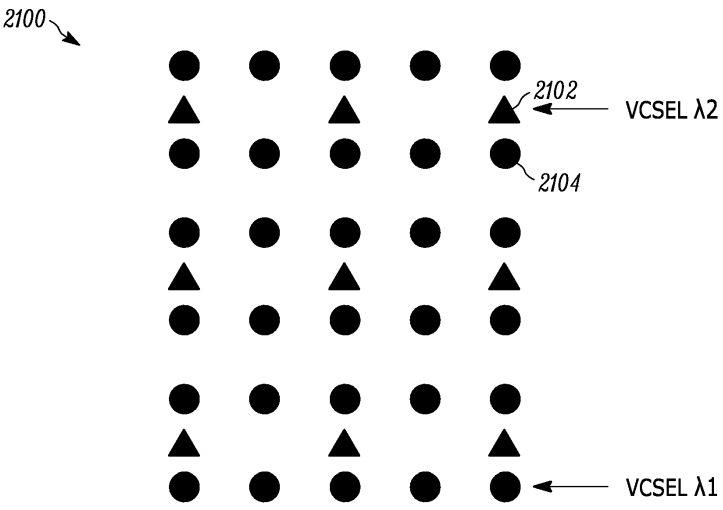
도면19



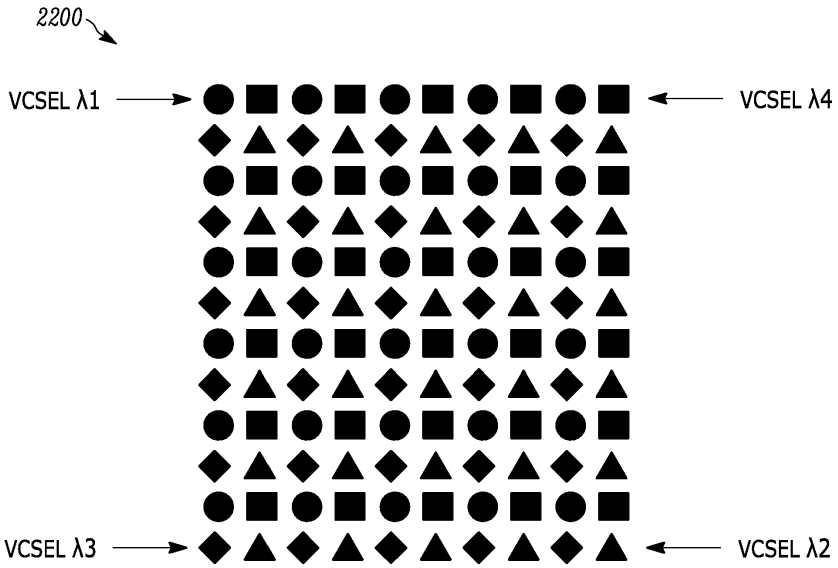
도면20



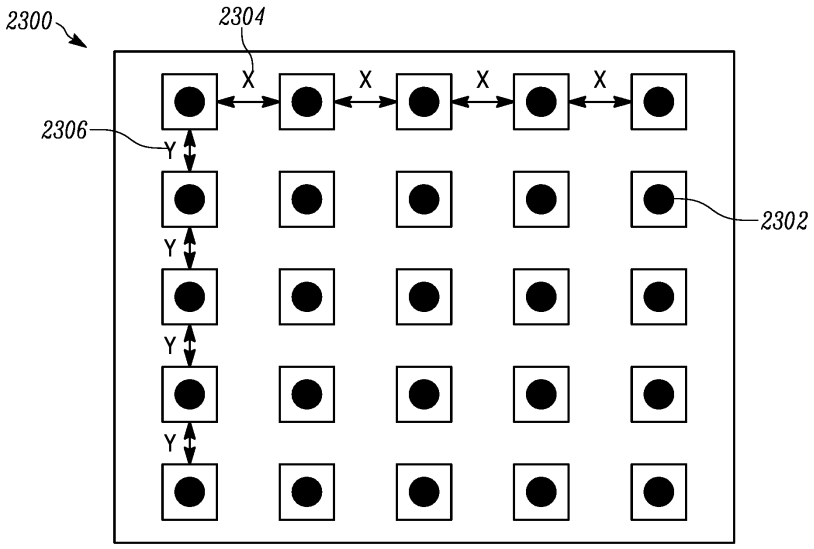
도면21



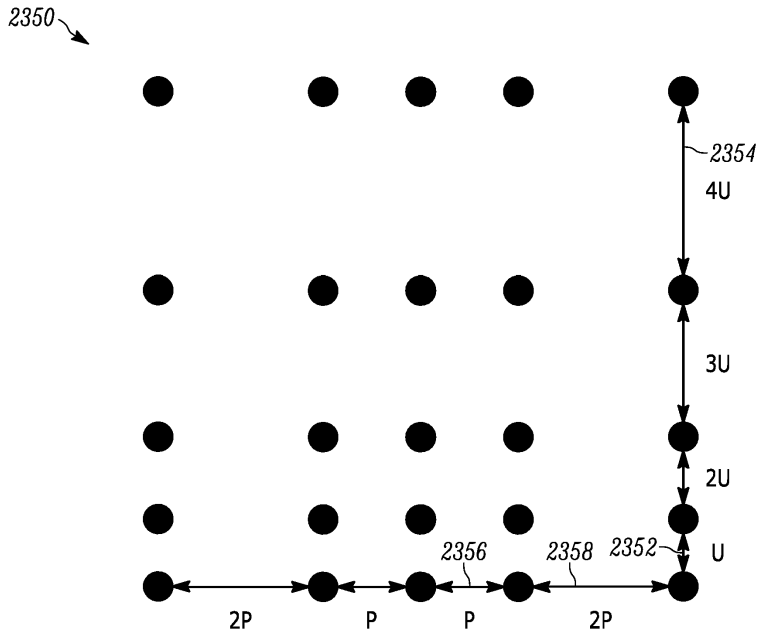
도면22


2200
VCSEL λ1
VCSEL λ4
VCSEL λ3
VCSEL λ2

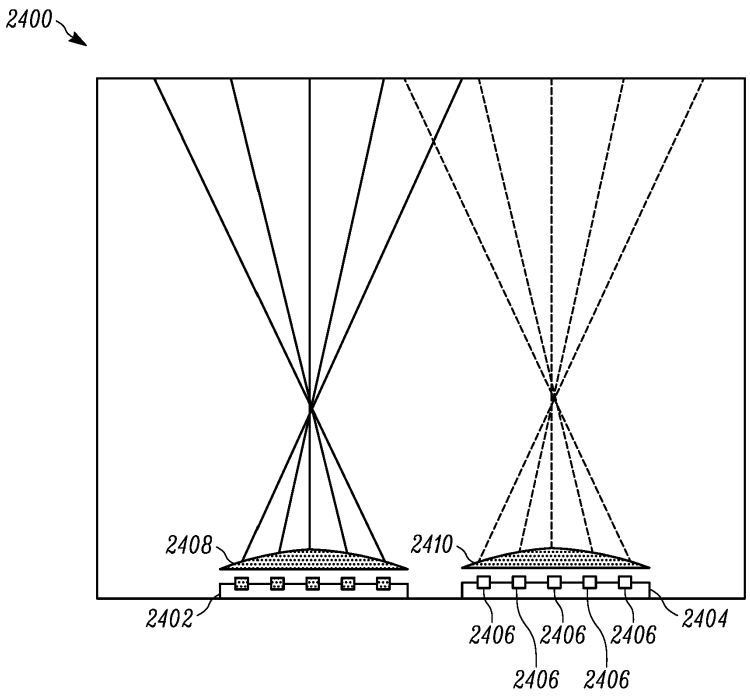
도면23a


2300
2304
2306
X
X
X
X
Y
Y
Y
Y
2302

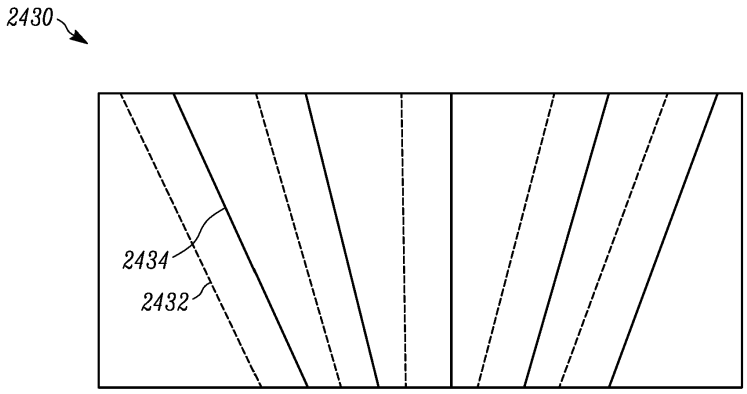
도면23b


2350
2354
4U
3U
2U
U
2356
2358
2352
2P
P
P
2P

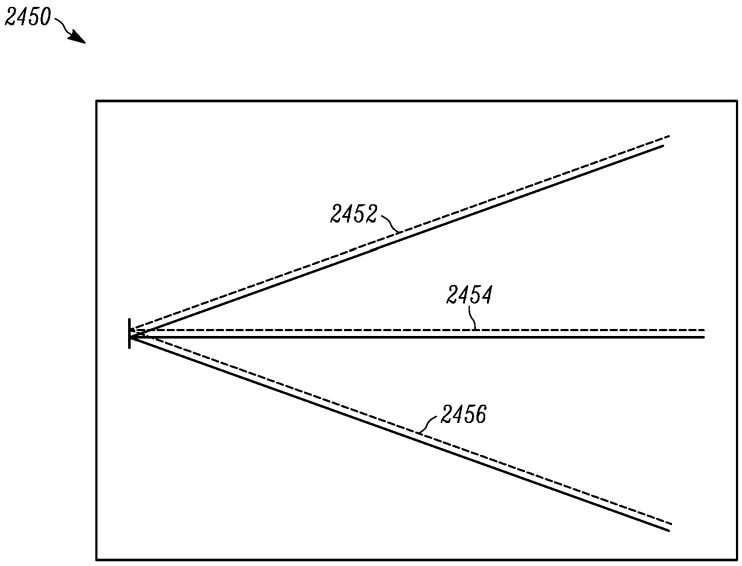
도면24a


2400
2408
2410
2402
2404
2406
2406
2406
2406
2406

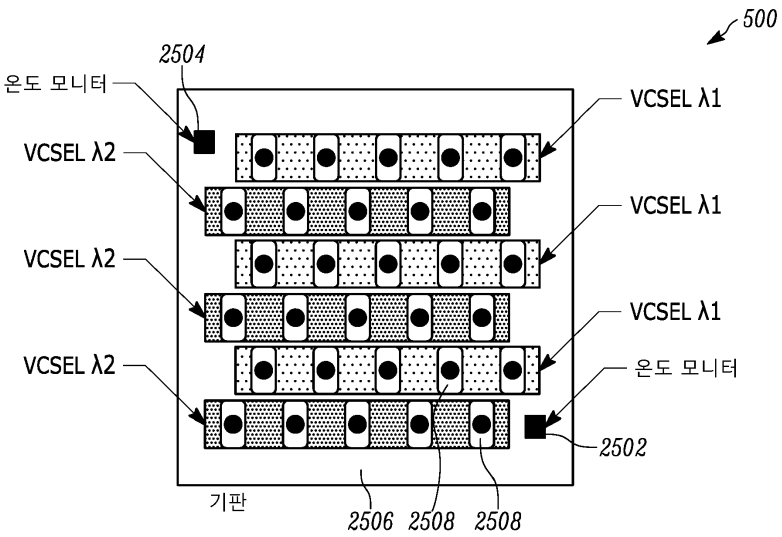
도면24b



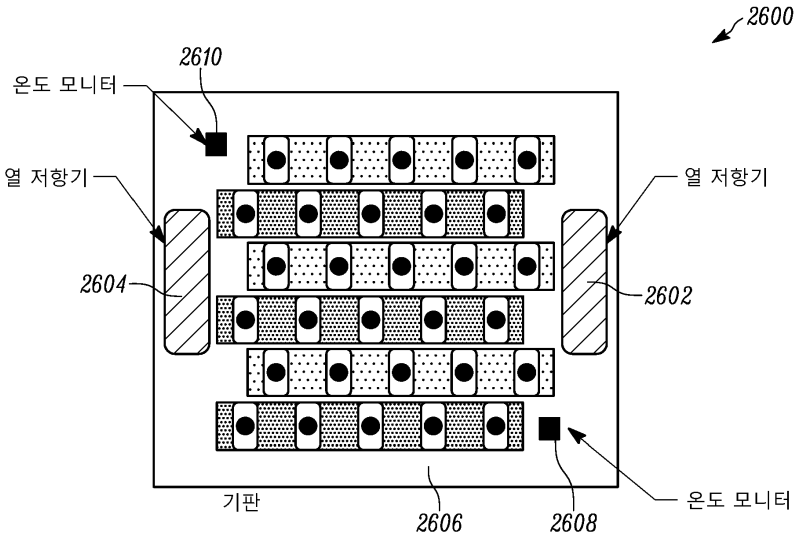
도면24c



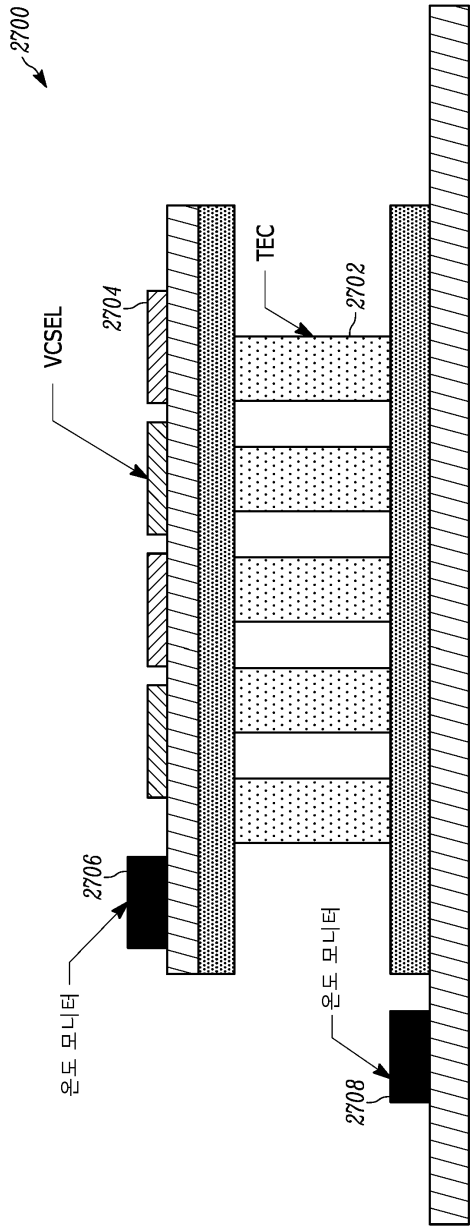
도면25



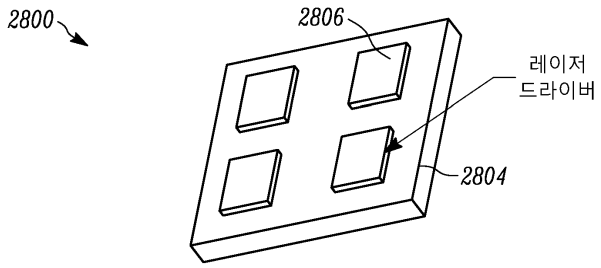
도면26



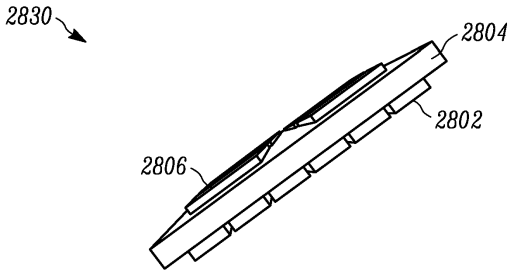
도면27


2700
TEC
2702
2704
VCSEL
2706
온도 모니터
온도 모니터
2708

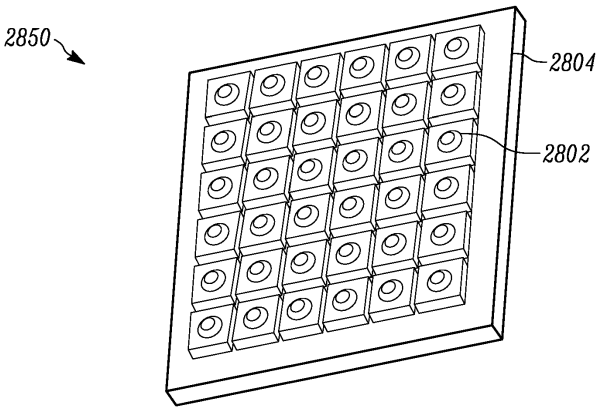
도면28a


2800
2806
레이저
드라이버
2804

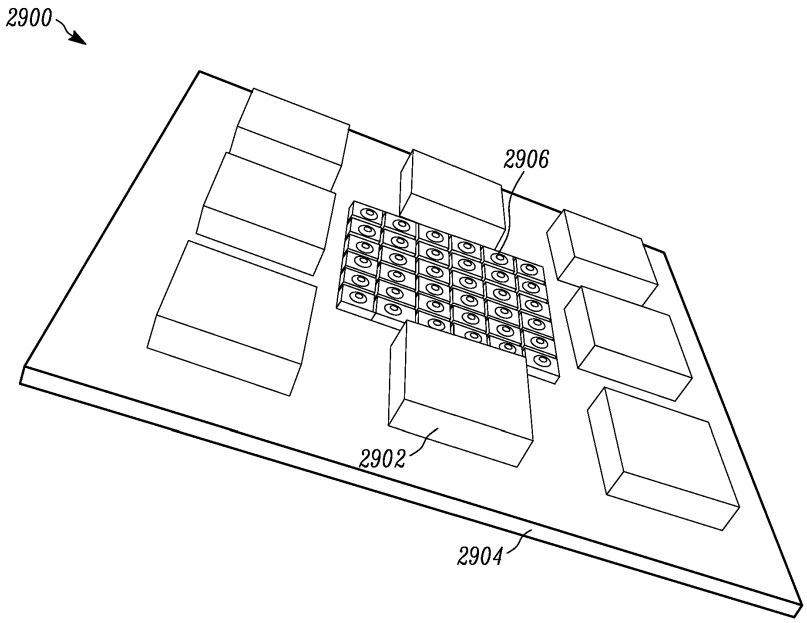
도면28b



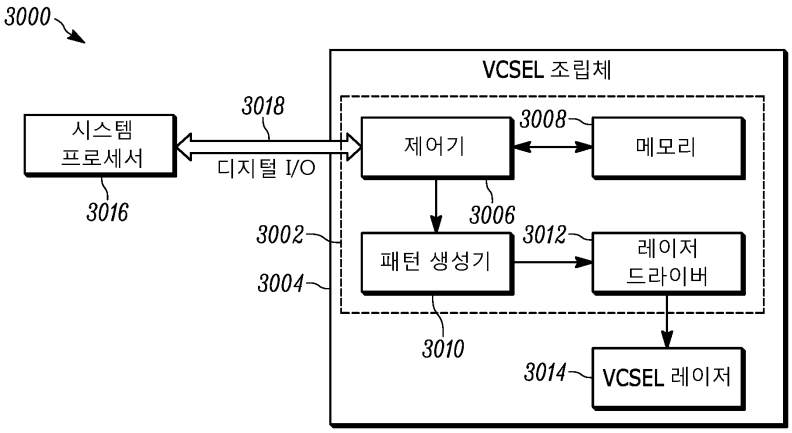
도면28c



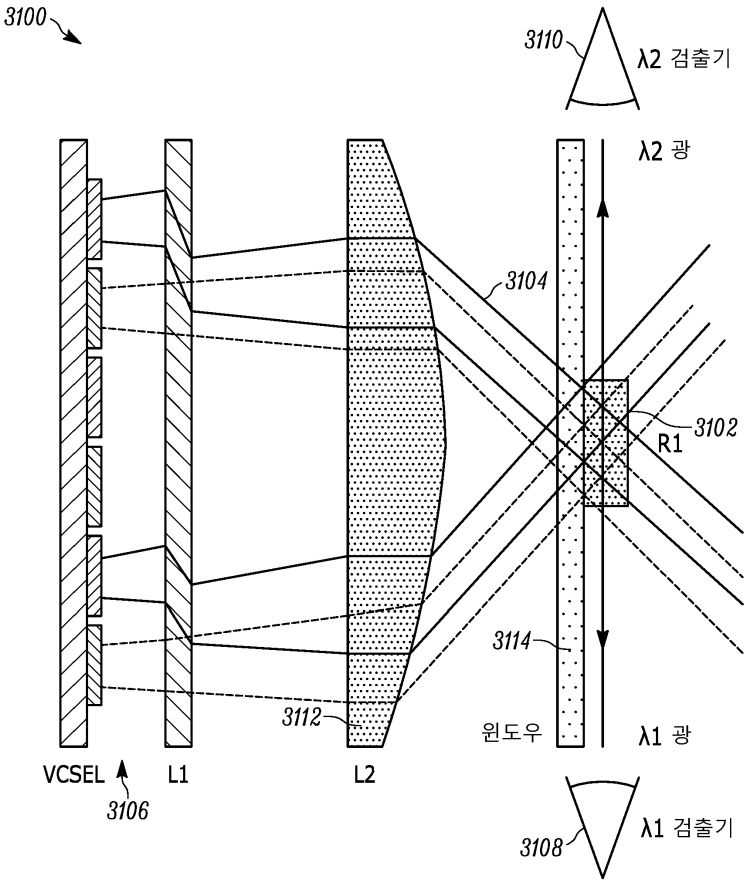
도면29



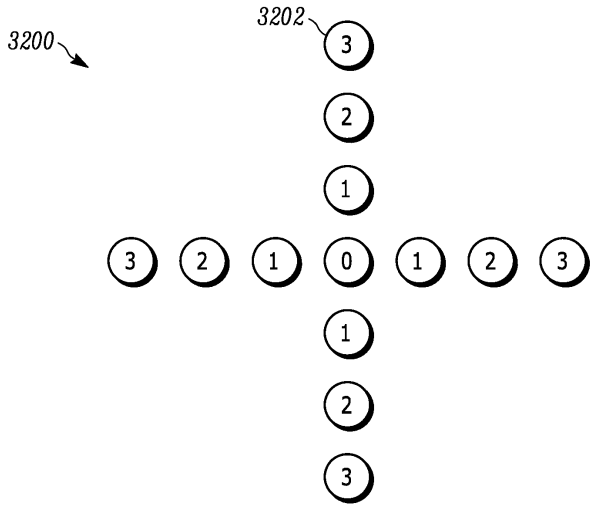
도면30


3000
VCSEL 조립체
시스템
프로세서
3016
3018
디지털 I/O
제어기
3008
메모리
3006
3002
패턴 생성기
3004
3012
레이저
드라이버
3010
3014
VCSEL 레이저

도면31


3100
3110
λ2 검출기
λ2 광
3104
3102
R1
3114
윈도우
λ1 광
3112
VCSEL
3106
L1
L2
3108
λ1 검출기

도면32



도면33

