



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개실용신안공보(U)

(11) 공개번호 20-2019-0002012
(43) 공개일자 2019년08월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/481 (2006.01) G01S 17/10 (2006.01)
G01S 7/484 (2006.01) G01S 7/486 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 7/4814 (2013.01)
G01S 17/10 (2013.01)
(21) 출원번호 20-2019-7000040
(22) 출원일자(국제) 2017년12월13일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2019년06월13일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2017/082564
(87) 국제공개번호 WO 2018/108981
국제공개일자 2018년06월21일
(30) 우선권주장
15/377,289 2016년12월13일 미국(US)
15/383,328 2016년12월19일 미국(US)

(71) 출원인
센스엘 테크놀로지스 엘티디.
아일랜드 코크 카운티 코크 코크 에어포트 비즈니스
스 파크 에비뉴 6000 빌딩 6800
(72) 고안자
그네치 살바토레
아일랜드 코크 아파트 3 파인 스트리트 13
잭슨 존 칼튼
아일랜드 피24 알744 카운티 코크 코브 1 클로인
테라스
(74) 대리인
유미특허법인

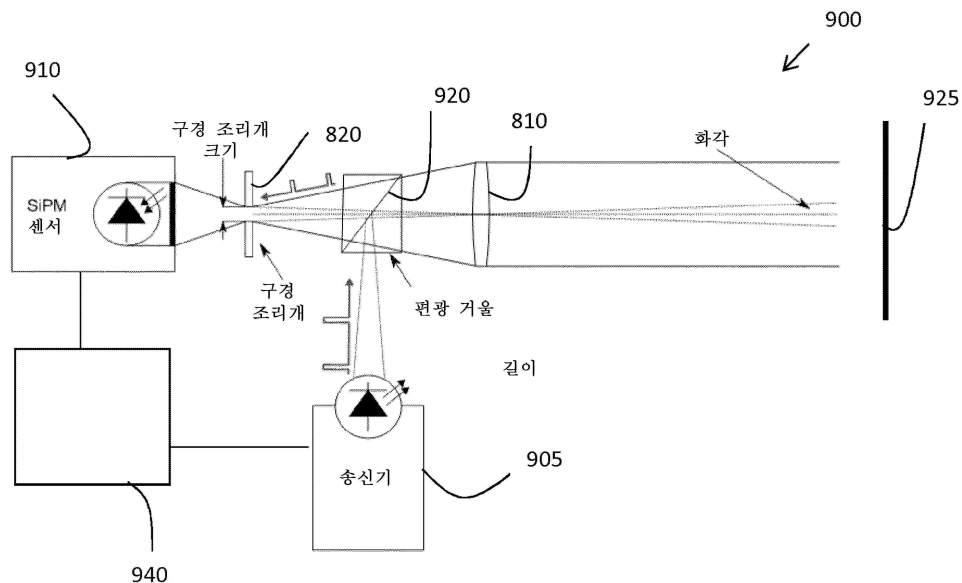
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 고안의 명칭 LiDAR 장치

(57) 요약

LiDAR 장치가 기술되었다. 본 장치는 레이저 펄스를 방출하기 위한 아이 세이프 레이저 소스를 포함한다. SiPM 검출기는 검출된 반사 광자를 위해 제공되고; 광학계 또한 제공된다. 아이-세이프 레이저 소스는 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도에 선택적으로 매칭되는 폭을 갖도록 구성된다.

대표도 - 도9



(52) CPC특허분류

G01S 7/4816 (2013.01)

G01S 7/484 (2013.01)

G01S 7/4863 (2013.01)

G01S 7/4865 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

LiDAR 장치로서,

레이저 펄스를 방출하는 아이 세이프 레이저 소스(eye safe laser source);

검출된 반사 광자에 대한 가이거 모드 검출기(Geiger mode detector); 및

광학계를 포함하고,

상기 아이 세이프 레이저 소스는 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도에 선택적으로 매칭되는 폭을 갖도록 구성되는,

LiDAR 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 레이저 펄스의 평균 전력은 AnsiZ136 및 IEC60825 표준 중 적어도 하나에 설정된 아이 세이프 표준을 충족시키도록 고정되는,

LiDAR 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 아이 세이프 레이저 소스는 미리 결정된 평균 전력을 달성하기 위해 펄스 폭을 변화시키도록 구성되는,

LiDAR 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 아이 세이프 레이저 소스는 상기 레이저 펄스의 펄스 폭을 감소시킴으로써 동일한 미리 결정된 평균 전력으로 더 높은 레이저 피크 전력을 인가하도록 구성되는,

LiDAR 장치.

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 아이 세이프 레이저 소스는 상기 레이저 펄스의 펄스 폭을 증가시킴으로써 동일한 미리 결정된 평균 전력으로 더 낮은 레이저 피크 전력을 인가하도록 구성되는,

LiDAR 장치.

청구항 6

제3항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 레이저 피크 전력은
$$P_{peak} = \frac{P_{avg}}{T_{pw} \times PRR}$$
 을 사용하여 계산되고,

여기서, P_{avg} 는 레이저 펄스의 평균 전력이고, T_{pw} 는 펄스 폭이며, PRR 은 반복률(repetition rate)인,

LiDAR 장치.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 아이 세이프 레이저 소스는 방출된 레이저 펄스가 원하는 검출 분해능과 매칭되는 폭을 가지도록 구성되어, 검출되는 모든 방출 광자가 원하는 범위 정확도에 기여하게 되는,

LiDAR 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

원하는 레이저 펄스 폭은 $t = \frac{\Delta d * 2}{c}$ 을 사용하여 계산되고,

여기서, Δd 는 원하는 범위 정확도이고, c 는 광의 속도이며, t 는 레이저 펄스 폭인,

LiDAR 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

10cm의 원하는 범위 정확도에 대해, 레이저 펄스 폭은 667ps로 설정되는,

LiDAR 장치.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 가이거 모드 검출기는 단일 광자 센서인,

LiDAR 장치.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 가이거 모드 검출기는 단일 광자 애벌랜치 포토 다이오드(Single photon Avalanche Photodiode, SPAD) 센서의 합산된 어레이로 형성되는,

LiDAR 장치.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도에 매칭되는 폭을 갖도록 상기 아이 세이프 레이저 소스를 제어하기 위해 아이 세이프 레이저와 협력 가능한 제어기를 더 포함하는,

LiDAR 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제어기는 원하는 범위 정확도를 설정하도록 프로그램 가능한,

LiDAR 장치.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 레이저 펄스 폭은 1ns보다 작은,
LiDAR 장치.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 광학계는 수신 렌즈를 포함하는,
LiDAR 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,
상기 광학계는 송신 렌즈를 포함하는,
LiDAR 장치.

청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 광학계는 단일 렌즈가 송신 및 수신을 위해 이용되도록 빔 스플리터를 포함하는,
LiDAR 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,
상기 빔 스플리터는 상기 단일 렌즈 및 상기 가이저 모드 검출기의 중간에 위치된 편광 거울을 포함하는,
LiDAR 장치.

청구항 19

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,
구경 조리개(aperture stop)는 상기 가이저 모드 검출기 및 상기 광학계의 중간에 위치되는,
LiDAR 장치.

청구항 20

제1항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 구경 조리개는 상기 광학계의 초점에 위치되는,
LiDAR 장치.

청구항 21

제20항에 있어서,
상기 구경 조리개는 SiPM 검출기의 활성 면적의 크기에 기반하여 필요한 화각(angle of view)과 매칭되는 치수를 갖는,
LiDAR 장치.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 화각은 1도 보다 작은,

LiDAR 장치.

청구항 23

제19항에 있어서,

상기 구경 조리개는 SiPM 검출기의 총 활성 면적에 걸쳐 상기 광학계에 의해 수집된 광을 산란시키는,

LiDAR 장치.

청구항 24

제21항에 있어서,

주어진 초점 길이 f 에 대해, 상기 초점 상에 위치되고 길이 L 을 갖는 SiPM 검출기의 화각 $\theta_{x,y}$ 은

$$\theta_{x,y} = 2 \times \text{atan}\left(\frac{L_{x,y}/2}{f}\right)$$

으로 주어지고,

여기서, 수신 렌즈의 초점 길이는 f 이고, 센서 수평 및 수직 길이는 L_x, L_y 이며, 센서 화각은 $\theta_{x,y}$ 인,

LiDAR 장치.

청구항 25

제21항에 있어서,

상기 구경 조리개는 $P_{x,y} = 2 \times f \times \tan\left(\frac{\theta_{x,y}}{2}\right)$ 에 따라 필요한 화각과 매칭하기 위한 치수를 가지며,

여기서, 수신 렌즈의 초점 길이는 f 이고, 센서 화각은 $\theta_{x,y}$ 이며, 구경 조리개 크기는 $P_{x,y}$ 인,

LiDAR 장치.

고안의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 LiDAR 장치에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 배타적이지는 않지만 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도에 매칭되는 폭을 갖도록 구성된 아이 세이프(eye safe) 레이저 소스를 포함하는 LiDAR 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 실리콘 광전자 배증관(Silicon Photomultiplier, SiPM)은 단일 광자 감도의 고성능 고체 상태 센서이다. 이 센서는 집적된 퀀치 저항기(quench resistor)를 가지는 밀집 포장된 단일 광자 애벌랜치 포토 다이오드(Single Photon Avalanche Photodiode, SPAD) 센서의 합산된 어레이로 형성되며, ~30 V의 바이어스 전압에서 높은 게인($\sim 1 \times 10^6$), 높은 검출 효율(> 50%), 및 빠른 타이밍(서브-ns 상승 시간)이 모두 달성된 소형 센서를 구현할 수 있다.

[0003] 전형적인 최첨단 ToF LiDAR 시스템은 펄스되거나 연속적인 조명을 사용한다. 후자는 사인과 신호로 표현될 수 있는 연속적으로 시변하는 신호를 사용한다. 목표의 범위를 검출하기 위해, 신호를 획득하고, 나가는 신호와 들어오는 신호 사이의 임의의 위상 각도 천이를 결정하는 것을 필요로 한다. 이러한 천이는 소스로부터 목표까지의 거리를 계산하는데 사용된다. 동작의 본질 상, 사인과 신호의 피크와 트로쓰(troth)를 검출할 필요가 있다. 모든 검출된 광자가 목표 거리의 결정에 사용되는 것은 아니기 때문에, 신호의 피크와 트로쓰를 모두 검출해야 하는 요구 사항은 광자를 낭비한다. 이는 높은 광 전력, 잠재적으로는 낮은 반사율의 목표의 장거리 검출

을 위해 사용되는 눈아이 세이프 신호 소스(non-eye-safe signal source)를 필요로 한다.

[0004] 따라서, 종래 기술의 단점 중 적어도 일부를 처리하는 가이거 모드 검출기(Geiger mode detector)를 이용하는 LiDAR 시스템을 제공할 필요가 있다.

고안의 내용

[0005] 이에 따라, 본 발명은

[0006] 레이저 펄스를 방출하는 아이 세이프 레이저 소스;

[0007] 검출된 반사 광자에 대한 가이거 모드 검출기; 및

[0008] 광학계를 포함하고,

[0009] 상기 아이 세이프 레이저 소스는 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도에 선택적으로 매칭되는 폭을 갖도록 구성되는, LiDAR 장치에 관한 것이다.

[0010] 일 양태에서, 레이저 펄스의 평균 전력은 아이 세이프 제약을 만족시키도록 고정된다.

[0011] 또 다른 양태에서, 아이 세이프 레이저 소스는 미리 결정된 평균 전력을 달성하기 위해 펄스 폭을 변화시키도록 구성된다.

[0012] 또 다른 양태에서, 아이 세이프 레이저 소스는 레이저 펄스의 펄스 폭을 감소시킴으로써 동일한 미리 결정된 평균 전력으로 더 높은 레이저 피크 전력을 인가하도록 구성된다.

[0013] 또 다른 양태에서, 아이 세이프 레이저 소스는 레이저 펄스의 펄스 폭을 증가시킴으로써 동일한 미리 결정된 평균 전력으로 더 낮은 레이저 피크 전력을 인가하도록 구성된다.

[0014] 예시적인 양태에서, 레이저 피크 전력은 식:

$$P_{peak} = \frac{P_{avg}}{T_{pw} \times PRR}$$

[0015] 을 사용하여 계산되고,

[0016] 여기서:

[0017] P_{avg} 는 레이저 펄스의 평균 전력;

[0018] T_{pw} 는 펄스 폭;

[0019] PRR 은 반복률(repetition rate)이다.

[0020] 또 다른 양태에서, 아이 세이프 레이저 소스는 방출된 레이저 펄스가 원하는 검출 분해능과 매칭되는 폭을 가지도록 구성되어, 검출되는 모든 방출 광자가 범위 정확도에 기여하게 된다.

[0021] 또 다른 양태에서, 필요한 레이저 펄스 폭은 원하는 범위 정확도로부터 식:

$$t = \frac{\Delta d * 2}{c}$$

[0022] 을 사용하여 계산되고,

[0023] 여기서:

[0024] Δd 는 원하는 범위 정확도;

[0025] c 는 광의 속도;

[0026] t 는 필요한 레이저 펄스 폭이다.

[0027] 또 다른 양태에서, 10cm의 원하는 범위 정확도에 대해, 레이저 펄스 폭은 667 피코 초(picoseconds)로

설정된다.

[0030] 일 양태에서, 가이거 모드 검출기는 단일 광자 센서이다.

[0031] 또 다른 양태에서, 가이거 모드 검출기는 단일 광자 애벌랜치 포토 다이오드(Single photon Avalanche Photodiode, SPAD) 센서의 합산된 어레이로 형성된다.

[0032] 예시적인 장치에서, 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도에 매칭되는 폭을 갖도록 아이 세이프 레이저를 제어하기 위해 아이 세이프 레이저와 협력 가능한 제어가 구비된다.

[0033] 또 다른 양태에서, 제어기는 원하는 범위 정확도를 설정하도록 프로그램 가능하다.

[0034] 일 양태에서, 레이저 펄스의 폭은 1 나노 초(nanosecond)보다 작다.

[0035] 추가의 양태에서, 광학계는 수신 렌즈(receive lens)를 포함한다.

[0036] 또 다른 양태에서, 광학계는 송신 렌즈(transmit lens)를 포함한다.

[0037] 예시적인 장치에서, 광학계는 단일 렌즈가 송신 렌즈 및 수신 렌즈로서 이용되도록 빔 스플릿터를 포함한다.

[0038] 일 양태에서, 빔 스플릿터는 단일 렌즈 및 SiPM 검출기의 중간에 위치한 편광 거울을 포함한다.

[0039] 추가의 양태에서, 구경 조리개(aperture stop)는 가이거 모드 검출기 및 광학계의 중간에 위치된다.

[0040] 일 양태에서, 구경 조리개는 광학계의 초점에 위치된다.

[0041] 또 다른 양태에서, 구경 조리개는 가이거 모드 검출기의 활성 면적의 크기에 기반하여 필요한 화각(angle of view)과 매칭되는 치수를 갖는다.

[0042] 추가의 양태에서, 화각은 1도 보다 작다.

[0043] 예시적인 양태에서, 구경 조리개는 가이거 모드 검출기의 총 활성 면적에 걸쳐 광학계에 의해 수집된 광을 산란시킨다.

[0044] 일 양태에서, 주어진 초점 길이 f 에 대해, 초점 상에 위치되고 길이 L 을 갖는 가이거 모드 검출기의 화각 θ 은

$$\theta_{x,y} = 2 \times \text{atan}\left(\frac{L_{x,y}/2}{f}\right)$$

[0045] 으로 주어지고,

[0047] 여기서:

[0048] 수신 렌즈의 초점 길이 : f

[0049] 센서 수평 및 수직 길이 : L_x, L_y

[0050] 센서 화각 : $\theta_{x,y}$.

[0051] 또 다른 양태에서, 구경 조리개는 필요한 화각과 매칭하기 위한 치수를

$$P_{x,y} = 2 \times f \times \tan\left(\frac{\theta_{x,y}}{2}\right)$$

[0053] 에 따라 가지며,

[0054] 여기서:

[0055] 수신 렌즈의 초점 길이 : f

[0056] 센서 화각 : $\theta_{x,y}$

- [0057] 구경 조리개 크기 : $P_{x,y}$.
- [0058] 일 양태에서, 제어기는 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도에 매칭되는 폭을 갖도록 아이 세이프 레이저 소스를 제어하기 위해 아이 세이프 레이저 소스와 협력 가능하다.
- [0059] 이들 및 다른 특징들은 본 교시의 이해를 돕기 위해 제공되는 이하의 도면을 참조하여 더 잘 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0060] 본 교시는 첨부된 도면을 참조하여 이하에서 기술될 것이다.
- 도 1은 실리콘 광전자 배증관의 예시적인 구조를 도시한다.
- 도 2는 예시적인 실리콘 광전자 배증관의 개략적인 회로도이다.
- 도 3은 직접적인 ToF 범위 측정을 위한 예시적인 기술을 도시한다.
- 도 4는 예시적인 ToF 범위 측정 시스템을 도시한다.
- 도 5는 도 4의 ToF 범위 측정 시스템을 사용하여 생성된 히스토그램을 도시한다.
- 도 6은 SiPM 검출기가 통합된 예시적인 LiDAR 장치를 도시한다.
- 도 6a는 도 6의 LiDAR 장치를 상세하게 도시한다.
- 도 7은 본 발명의 교시에 따른 LiDAR 장치를 상세하게 도시한다.
- 도 8은 본 발명의 교시에 따른 LiDAR 장치를 상세하게 도시한다.
- 도 9는 또한 본 발명의 교시에 따른 또 다른 LiDAR 장치를 도시한다.
- 도 10은 종래 기술의 LiDAR 시스템의 레이저 펄스 폭 다이어그램을 도시한다.
- 도 11은 본 발명의 교시에 따른 LiDAR 장치의 레이저 펄스 폭 다이어그램을 도시한다.

교안을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0061] 본 발명은 이제 가이저 모드 검출기 기술을 이용하는 예시적인 LiDAR 장치를 참조하여 기술될 것이다. 예시적인 LiDAR 시스템은 교시의 이해를 돕기 위해 제공되는 것이며, 어떠한 방식으로든 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다는 것이 이해될 것이다. 또한, 임의의 한 도면을 참조하여 기술된 회로 요소 또는 구성 요소는 본 발명의 교시의 사상을 벗어나지 않으면서 다른 도면 또는 다른 등가 회로 요소의 회로 요소 또는 구성 요소와 상호 교환될 수 있다. 설명의 간략화 및 명료화를 위해, 적절한 것으로 고려되는 경우에 대응하거나 유사한 요소를 나타내기 위해 도면들 사이에서 참조 부호가 반복될 수 있다는 것을 이해할 것이다.
- [0062] 처음에 도 1을 참조하면, 가이저 모드 포토 다이오드의 어레이를 포함하는 실리콘 광전자 배증관(100)이 도시된다. 도시된 바와 같이, 퀀치 저항기는 애벌랜치 전류를 제한하는데 사용될 수 있는 각각의 포토 다이오드에 인접하여 구비된다. 포토 다이오드는 알루미늄 또는 유사한 전도성 트랙킹(conductive tracking)에 의해 공통 바이어싱(common biasing) 및 접지 전극에 전기적으로 연결된다. 다이오드의 양단에 바이어스 전압을 인가하기 위해 포토 다이오드의 어레이의 애노드가 공통 접지 전극에 연결되고 어레이의 캐소드가 전류 제한 저항기를 통해 공통 바이어스 전극에 연결되는 종래의 실리콘 광전자 배증관(200)에 대한 개략적인 회로가 도 2에 도시되어 있다. 실리콘 광전자 배증관(100)은 본 발명의 교시에 따라 가이저 모드 검출기로서 사용될 수 있다. 단일 광자 애벌랜치 다이오드(single-photon avalanche diodes, SPAD) 또는 그와 유사한 것과 같은 다른 가이저 모드 검출기가 이용될 수 있기 때문에 본 발명의 교시를 예시적인 실시예에서 기술된 예시적인 가이저 모드 검출기로 한정하려는 의도는 아니다.
- [0063] 실리콘 광전자 배증관(100)은 작고, 전기적과 광학적으로 절연된 가이저 모드 포토 다이오드(215)의 고밀도 어레이를 통합한다. 각각의 포토 다이오드(215)는 퀀치 저항기(220)에 직렬로 결합된다. 각각의 포토 다이오드(215)는 마이크로 셀이라 불린다. 마이크로 셀의 개수는 전형적으로 mm^2 당 100 내지 3000 개이다. 그 후, 모든 마이크로 셀의 신호가 합산되어서 SiPM(200)의 출력을 형성한다. 단순화된 전기 회로가 도 2의 개념을 설명하기 위해 제공된다. 각 마이크로 셀은 동일하고 독립적으로 광자를 검출한다. 이들 각각의 개별적인 2진수 검출기로부터의 방전 전류의 합은 유사한 아날로그 출력을 형성하기 위해 결합되기 때문에, 입사 광자 플럭스의

크기에 대한 정보를 제공할 수 있다.

[0064] 각 마이크로 셀은 마이크로 셀이 가이거 항복을 겪을 때마다 매우 균일하고 양자화된 전하량을 생성한다. 마이크로 셀(및 따라서 검출기)의 이득은 전자의 전하에 대한 출력 전하의 비율로 정의된다. 출력 전하는 과전압 및 마이크로 셀 커패시턴스로부터 계산될 수 있다.

$$G = \frac{C \cdot \Delta V}{q}$$

[0065]

[0066] G는 마이크로 셀의 이득이고,

[0067] C는 마이크로 셀의 커패시턴스이며,

[0068] ΔV 는 과전압이고,

[0069] q는 전자의 전하이다.

[0070] LiDAR는 모바일 범위 검색, 자동차 고급 운전 보조 시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS), 제스처 인식, 및 3D 매핑과 같은 어플리케이션에 점차 더 많이 채용되고 있는 다방면 기술이다. SiPM 센서와 같은 가이거 모드 검출기를 채용하는 것은, 특히나 모바일 및 대량 생산 제품의 경우에 애벌랜치 포토 다이오드(avalanche photodiode, APD), PIN 다이오드, 및 광전자 배증관 튜브(photomultiplier tube, PMT)와 같은 대안적인 센서 기술에 비해 많은 이점을 가진다. 직접 ToF 범위 측정 시스템에 전형적으로 사용되는 기본 구성 요소는 도 3에 도시되어 있다. 직접 ToF 기술에서, 주기적인 레이저 펄스(305)가 목표(307)에 지향된다. 목표(307)는 레이저 광자를 산란 및 반사시키고, 광자 중 일부는 검출기(315) 쪽으로 다시 반사된다. 검출기(315)는 검출된 레이저 광자 (및 노이즈로 인해 일부 검출된 광자)를 전기 신호로 변환하고, 이후 그 전기 신호는 타임 전자 장치(325)에 의해 타임 스탬핑(timestamped)된다.

[0071] 전파 시간, t는 이하의 식으로부터 목표까지의 거리 D를 계산하는데 사용될 수 있다.

$$D = c \Delta t / 2 \quad \text{식 1}$$

[0073] 여기서, c= 광의 속도;

[0074] Δt = 비행 시간.

[0075] 검출기(315)는 되돌아온 레이저 광자를 노이즈(주변 광)으로부터 구별해야만 한다. 레이저 펄스 당 적어도 하나의 타임 스탬프가 캡처된다. 이를 단일-샷(single-shot) 측정이라고 한다. 검출된 레이저 펄스의 타이밍이 높은 정밀도 및 정확도로 추출될 수 있는 범위 측정치를 생성하기 위해 많은 단일샷 측정치로부터의 데이터가 결합되는 경우 신호 대 노이즈 비율이 상당히 개선될 수 있다.

[0076] 이제 도 4를 참조하면, 감지 면적(405)을 정의하는 단일 광자 애벌랜치 포토 다이오드(SPAD)의 어레이를 포함하는 예시적인 SiPM 센서(400)가 도시되어 있다. 보정 광학계를 제공하기 위해 렌즈(410)가 제공된다. 렌즈 시스템의 주어진 초점 길이 f에 대해, 초점 길이에 위치되고 길이 L을 가지는 센서의 화각은

$$\theta_{x,y} = 2 \times \text{atan} \left(\frac{L_{x,y}/2}{f} \right) \quad \text{식 2}$$

[0078] 에 의해 주어지고,

[0079] 여기서,

[0080] f는 수신 렌즈의 초점 길이이고,

[0081] L_x , L_y 는 센서 수평 및 수직 길이이며,

[0082] $\theta_{x,y}$ 는 SiPM 검출기 화각이다.

[0083] 즉, 짧은 초점 길이가 사용되는 경우 큰 센서는 큰 화각을 갖는다는 것을 의미한다. 렌즈 조리개가 넓어지면, 되돌아온 레이저 광자의 개수는 일정하게 유지되는 반면 더 많은 주변 광자가 검출된다. SiPM(400)은 도 5의

히스토그램 윈도우의 시작에서의 큰 오버슛으로부터 명백한 바와 같이 포화되는 경향이 있다. 센서(400)가 포화되는 경우, 레이저 광자는 SiPM(400)에 의해 더이상 검출될 수 없으며, 신호 검출율을 낮추고 전체적인 SNR_H를 낮추는 것을 유도한다.

[0084] 도 6은 송신 렌즈(604)를 통해 주기적인 레이저 펄스(607)를 송신하기 위해 레이저 소스(605)를 포함하는 예시적인 LiDAR 시스템(600)을 도시한다. 목표(608)는 레이저 광자(612)를 수신 렌즈(610)를 통해 산란 및 반사시키고, 일부 광자는 SiPM 센서(615)를 향해 다시 반사된다. SiPM 센서(615)는 노이즈로 인해 검출된 레이저 광자 및 일부 검출된 광자를 전기 신호로 변환하고, 이후 전기 신호는 타이밍 전자 장치에 의해 타임스탬핑된다. SiPM 센서(610)가 포화점에 도달하는 것을 피하기 위해, 초점 길이는 비교적 길게 유지될 필요가 있다. 렌즈 시스템의 주어진 초점 길이 f 에 대해, 초점에 위치되고 길이 L 을 가지는 SiPM 센서(615)의 화각 θ 은 식 2에 의해 주어진다. 따라서, 큰 센서는 도 6a에 도시된 바와 같이 짧은 초점 길이가 사용되는 경우 큰 화각을 필요로 한다. 수십도 정도, 최대 90°+까지의 넓은 화각(AoV)은 레이저가 전형적으로 각도 분해능을 위해 장면을 스캔하는 동안 검출기가 장면을 응시하는 최첨단 LiDAR 센서에서 사용된다. 이 센서는 전형적으로 주변 광 차단이 강한 PIN 및 애벌랜치 다이오드에 기반한다. 그러나, 신호 대 노이즈 비율 SNR은 노이즈 레벨이 LiDAR 시스템의 정확도를 제한하는 수신기 AoV에 의해 설정되기 때문에 넓은 화각에 의해 큰 영향을 받는다. 더욱이, 이들 디바이스는 되돌아온 광자의 개수가 단일 광자 검출 효율을 필요로 하는 장거리 범위 검출 LiDAR에 적합하지 않다.

[0085] 좁은 화각인 SPAD 또는 SiPM 센서를 사용하는 SiPM 검출기는 단일 광자 검출 효율 요건을 만족시킨다. 좁은 AoV 센서, 즉 <1도는 보다 큰 총 AoV를 커버하거나 어레이로 배열되도록 스캐닝 시스템에서 단일 포인트 센서로서 사용될 수 있다. 그러나, SPAD/SiPM 센서는 센서의 필요한 복구/재충전 프로세스로 인한 제한된 동적 범위로 인해 어려움을 겪는다. SiPM의 마이크로 셀에서의 모든 광 검출에서, 애벌랜치 프로세스는, 예를 들어 광전류를 방전하고 다이오드를 항복 영역 밖으로 가져오는 저항기를 통해 퀸치될(quenched) 필요가 있다. 그 후, 수동 또는 능동 재충전 프로세스가 다음 광 검출을 위해 준비된 초기 조건을 복원하는 다이오드 바이어스 전압을 복원하기 시작한다. 퀸칭 및 재충전 프로세스가 발생하는 시간은 일반적으로 데드 타임(dead time) 또는 회복 시간이라고 한다. 다이오드의 바이어스 조건이 가이거 모드의 외부에 있기 때문에 이 시간 윈도우에서 더 이상의 검출은 일어날 수 없다. SiPM에서 마이크로 셀이 데드 타임 윈도우에 진입하는 경우, 다른 마이크로 셀은 여전히 광자를 검출할 수 있다. 따라서, 마이크로 셀의 개수는 센서의 광자 동적 범위를 한정하여 단위 시간당 더 많은 개수의 광자가 검출될 수 있도록 한다. 데드 타임으로 인해 어떠한 마이크로 셀도 가능하지 않은 경우, SiPM은 포화 영역에 있다고 한다. SiPM(마이크로셀) 내의 많은 개수의 다이오드는 검출기의 연관된 유닛을 억제하는 회복 프로세스를 보완하는데 필요하다. 큰 SiPM은 높은 동적 범위를 제공한다. 도 6a에 도시되고 식 2에서와 같이 수신된 초점 길이와 SiPM의 크기는 함께 화각을 설정한다.

[0086] SiPM 검출기는 검출기 데드 타임으로 인해 높은 주변 광 조건에서의 포화 상태로 인해 어려움을 겪는다. 본 개시는 원하지 않은 노이즈, 즉, 비간섭성 주변 광을 수집하는 것을 피하기 위해 SiPM 검출기의 화각(AoV)을 제한함으로써 이 문제를 해결한다. 큰 센서에 대한 좁은 화각은 단일-렌즈 광학계 시스템에서 긴 초점 길이를 필요로 한다. 이러한 초점 길이는 사용 가능한 공간이 10cm 또는 그보다 작은 소형 환경에서 작동해야 하는 LiDAR 시스템에는 적합하지 않다. 본 해결책은 수신기 렌즈와 AoV를 제한하는 구경 조리개 요소를 가지는 가이거 모드 검출기로서 작동하는 SiPM 센서를 쌍으로 묶고, 초점 길이 요구 사항을 감소시켜서 SiPM 센서를 소형 환경에서 작동하는 LiDAR 시스템에 통합되는 것을 허용한다. 구경 조리개 요소는 넓은 화각으로부터 오는 광을 차단하고, 초점 길이 렌즈 배치의 검출 효율성에 효과적으로 도달하도록 수집된 광을 SiPM의 전체 면적에 분산시킨다.

[0087] 이제 도 7을 참조하면, 본 발명의 교시에 따라 LiDAR 장치에 통합될 수 있는 예시적인 SiPM 센서(700)가 도시되어 있다. SiPM 센서(700)는 감지 면적(705)을 정의하는 단일 광자 애벌랜치 포토 다이오드(SPAD)의 어레이를 포함한다. 렌즈(710)는 보정 광학계를 제공하기 위해 제공된다. 구경 조리개(715)는 렌즈(710)와 감지 면적(705)의 중간에 제공되는데, 이는 더 큰 각도로부터 오는 광을 차단하고 수집된 광을 감지 면적(705)으로 산란시켜 더 긴 초점 길이의 필요성을 극복한다. 조리개는, 이를 통한 광의 투과(transmission)를 촉진시키는 개구부 또는 구멍이다. 광학 장치의 초점 길이 및 조리개는 이미지 평면에서 초점에 도달하는 복수의 광선의 원추각을 결정한다. 조리개는 광선을 시준하고 이는 화질에 매우 중요하다. 조리개가 좁으면, 고도로 시준된 광선이 입사하여 이미지 평면에 날카로운 초점을 초래한다. 그러나, 조리개가 넓으면, 시준되지 않은 광선이 특정 거리로부터 도달하는 특정 광선에 대한 날카로운 초점을 제한하는 조리개를 통해 입사된다. 따라서, 넓은 조리

개는 특정 거리의 물체에 대한 선명한 이미지를 초래한다. 들어오는 광선의 양은 또한 조리개의 크기에 의해 결정된다. 광학 장치는 광선 뭉치를 제한하는 요소를 가질 수 있다. 광학계에서, 이들 요소는 광학 장치에 의해 입사되는 광을 제한하는데 사용된다. 이러한 요소는 일반적으로 구경(stops)이라고 한다. 구경 조리개는 이미지 지점에서 광선 원추각과 밝기를 설정하는 구경이다. 구경 조리개(715)의 결과로서 SiPM(700)의 광학계의 초점 길이는 SiPM(400)의 광학계의 초점 길이보다 현저히 작을 수 있다.

[0088] 주어진 정확도 및 범위 측정 정확도에 필요한 동적 범위를 유지하면서 화각을 감소시키기 위해, 큰 센서는 전형적으로 도 6a에 도시된 바와 같이 긴 초점 길이 렌즈 조리개와 쌍을 이룬다. 그러나, 긴 초점 길이 ~10+ cm는 최대 길이가 전형적으로 ~10cm 이하인 소형 시스템에 적합하지 않다. 소형 LiDAR 시스템을 필요로 하는 어플리케이션은 자율 자동차, 고급 운전 보조 시스템(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS), 및 3D 이미징을 포함한다. 본 해결책은 SPAD/SiPM 기술에 대한 이점을 이용하는 LiDAR 장치(800)를 제공하며, 구경 조리개 요소(820)를 통합함으로써 소형 환경에 수용하기에 적합하다. 구경 조리개 요소(820)는 센서(815)와 짧은 초점 길이 렌즈(810) 사이에 위치된다. 구경 조리개(820)는 두 가지 주요 기능을 갖는다. 첫째로, 구경 조리개는 원래의 넓은 각도로부터 들어오는 광을 차단하는데 사용된다. 구경 조리개의 크기는 센서 면적의 크기와 초점 길이에 기반한다. 두번째로, 구경 조리개는 큰 센서로 인해 사용 가능한 동적 범위를 활용하기 위해 수집된 광을 센서의 총 활성 면적에 산란시킨다.

[0089] 구경 조리개의 치수 및 위치는 센서 면적의 크기 및 수신 렌즈의 원하는 시야각과 초점 길이와 관련된다. 치수 $P_{x,y}$ 는 이하에 따라 필요한 화각과 매치될 수 있다:

$$P_{x,y} = 2 \times f \times \tan\left(\frac{\theta_{x,y}}{2}\right) \quad \text{식 3}$$

[0090]

[0091] 센서가 총 활성 면적의 광의 산란을 보장하기 위해 특정 거리에 배치되는 동안:

$$x = f \times \frac{L_x}{D_{lens}} \quad \text{식 4}$$

[0092]

[0093] 여기서: f는 수신 렌즈의 초점 길이;

[0094] $\theta_{x,y}$ 는 센서 화각;

[0095] $P_{x,y}$ 는 구경 조리개 치수;

[0096] D_{lens} 는 수신 렌즈의 직경.

[0097] 광은 센서 활성 면적에 걸쳐 균일하게 분산될 수 있으나, 시스템이 단일 포인트 센서이므로 이미징 기능은 필요하지 않다. 주어진 식은 이론적인 최대값을 나타내며, 예시로서 제공되는 것임을 유의한다. 공차를 고려하기 위해 거리를 조정해야 할 필요가 있을 수 있다.

[0098] 도 9를 참조하면, 본 발명의 교시에 따른 예시적인 LiDAR 장치(900)가 도시되어 있다. LiDAR 장치(900)는 LiDAR 장치(800)와 실질적으로 유사하며, 유사한 요소는 유사한 참조 번호로 표시된다. 주된 차이점은, LiDAR 장치(900)가 송신기(905) 및 수신기(910)를 위한 공유된 광학계를 포함한다는 것이다. 렌즈(810)와 구경 조리개(820)의 중간에는 편광 거울(920)에 의해 제공된 빔 스플리터가 제공된다. 편광 거울은 장면에 레이저 빔을 반사시키고, 반사된 광을 SiPM 센서(910) 상으로 향하게 한다.

[0099] 구경 조리개를 이용함으로써, 1mm^2 또는 그 이상의 크기의 큰 센서 면적을 이용하면서 LiDAR 시스템(800, 900)이 짧은 초점 길이를 가질 수 있게 한다는 것이 통상의 기술자에 의해 인식될 것이다. 본 발명의 LiDAR 장치는 짧은 초점 길이를 갖는 광학 시스템을 이용하기 때문에, LiDAR 시스템이 검출기와 수신기 광학계 사이의 길이가 10cm 이하인 소형 환경에 통합되는 것을 허용한다. 이하의 표는 본 발명에 따른 LiDAR 장치의 구성 요소에 대한 예시적인 치수를 제공한다. 예시적인 치수는 단지 예시로서 제공되는 것이며, 본 발명의 교시를 제공된 예시적인 치수로 제한하려는 것은 아니다.

표 1

[0100]

SiPM 센서의 활성 면적	SiPM 센서로부터 구경 조리개까지의 거리	화각	구경 조리개 치수
1mm ²	0.197mm	0.1°	87.3μm
3mm ²	0.59mm	0.5°	436μm
6mm ²	1.18mm	1°	873μm
5cm의 초점 길이를 가지는 1 인치 렌즈에 대한 예시			

[0101]

LiDAR 장치(900)는 알려진 시간에 레이저 펄스가 송신기(905)를 빠져나가도록 전파 시간(ToF) LiDAR 시스템으로서 동작할 수 있다. 레이저 펄스가 목표(925)를 타격한 후에, 반사된 광은 수신기(910)로 되돌아온다. 목표(925)가 거울과 같은 표면을 갖는다면, 정반사는 입사각과 동일한 각도로 광자를 반사할 것이다. 이는 수신기(910)에서 목표에 의해 반사 광자의 최대 개수가 검출되도록 하는 것을 초래한다. 입사각에 상관없이 입사 경로를 따라 광을 다시 반사하는 역반사체(retroreflector)로부터의 광을 검출하기 위해 표준 애벌랜치 포토 다이오드(APD) 센서가 이용될 수 있다. 그러나, 실제 세계의 대부분의 표면은 비경면(non-specular) 목표이며, 입사광을 직접 반사하지 않는다. 이러한 비경면 표면은 전형적으로 램버트식 표면(Lambertian surface)으로 나타낼 수 있다. 램버트식 표면이 유한한 화각(AoV)을 갖는 수신기에 의해 관찰되는 경우, 수신된 광자의 양은 관찰되는 각도에서 불변하고, 광자는 2π 입체호도법 표면(steradian surface)에 분산된다. 램버트식 반사기의 순영향은 되돌아온 광자의 개수가 $1/\text{거리}^2$ 에 비례한다는 것이다. 또한, 송신된 광자의 개수는 아이-세이프 한계에 의해 제한된다. 되돌아온 광자의 개수의 $1/\text{거리}^2$ 감소와 단순히 소스 전력을 증가시키는 것은 불능이기 때문에, 검출된 모든 광자가 LiDAR 시스템(900)의 전체 정확도에 기여하는 것이 바람직하다.

[0102]

전형적인 최첨단 ToF LiDAR 시스템은 펄스 또는 연속 조명을 사용한다. 후자는 사인과 신호로 표현될 수 있는 연속적으로 시변하는 신호를 사용한다. 목표의 범위를 검출하기 위해서는, 신호를 획득하고 나가는 신호와 들어오는 신호 사이의 임의의 위상 각도를 결정하는 것이 필요하다. 이러한 천이는 소스에서 목표까지의 거리를 계산하는데 사용된다. 동작의 본질 상, 사인과 신호의 피크와 트로스를 검출할 필요가 있다. 모든 검출된 광자가 목표 거리의 결정에 사용되는 것은 아니기 때문에, 신호의 피크와 트로스를 모두 검출해야 하는 요구 사항은 광자를 낭비하는 것이다. 이는 낮은 반사율 목표의 장거리 검출을 위해 높은 광학 전력, 잠재적으로는 아이-세이프하지 않은 신호 소스가 사용될 것을 요구한다.

[0103]

ToF LiDAR의 또 다른 방법으로 펄스 신호 소스를 사용하고, 신호 소스가 켜진 시간과 펄스가 수신기에서 검출된 시간 사이의 직접 전파 시간을 검출하는 것이 있다. 직접 및 간접 ToF LiDAR 시스템 간의 중요한 차이점은 직접 ToF 시스템은 목표까지의 거리를 정확하게 결정하기 위해 먼저 검출된 광자만 필요로 한다는 것이다. 이러한 차이점을 이용하면 직접 ToF LiDAR 시스템이 더 적은 개수의 되돌아온 광자를 사용하여 목표 거리를 정확하게 결정하도록 할 수 있다. 따라서, 동일한 거리에서 목표 범위 측정을 제공하기 위해 직접 ToF 시스템은 연속 조명 시스템보다 낮은 펄스 소스를 사용할 수 있다.

[0104]

펄스의 폭은 장거리 LiDAR 시스템에 대해 두 가지 주요 암시를 가지고 있다. 첫째로, 레이저 펄스 폭은 검출기의 대역폭과 매칭되어야만 한다. 선형 포토 다이오드 기반의 최첨단 LiDAR 시스템은 대역폭이 제한되어 있으며, 되돌아온 신호를 충분히 캡처하기 위해 4 나노초 이상의 펄스 폭을 필요로 한다. 장거리 저 반사율 목표를 사용하는 것과 같이 수신된 펄스의 강도가 낮아지는 경우, 펄스 폭 또한 센서의 정확도에서 지배적인 요인이 된다. 펄스의 검출은 레이저 펄스 내의 임의의 시점에서 유발될 수 있다. 따라서, 긴 펄스는 측정의 정확도를 떨어뜨리는 것으로 번역된다.

[0105]

SPAD/SiPM과 같은 고 대역폭 센서는 동작의 비선형 모드와 낮은 상승 시간으로 인해 더 낮은 펄스 폭에서 작동할 수 있다. 저전력 광 소스가 사용될 수 있도록 목표 범위 정확도에 대한 펄스 폭을 계산하는 것이 유용하다. 광이 광의 속도 c , 또는 299,792,458 m/s로 이동하고, 목표와 LiDAR 시스템 사이의 거리가 d 라고 주어지면, d 는

$$d = \frac{\Delta t * c}{2}$$

[0106]

식 5

[0107]

에 따라 결정될 수 있고, Δt 는 목표를 향한 광 소스의 인가와 수신기에서 목표로부터의 되돌아온 광의 수신 사이의 시간차이다.

[0108] 이 방정식은 광 소스의 인가와 수신기에서 검출된 되돌아온 것 사이의 시간차 또는 t 를 결정하기 위해 다시 쓰여질 수 있다. 이는 다음의 공식:

$$t = \frac{\Delta d * 2}{c} \quad \text{식 6}$$

[0110] 으로 나타낼 수 있으며, 여기서 Δd 는 필요한 범위 정확도이다. 따라서, 10cm의 원하는 범위 정확도에 대해, 예를 들어 667ps의 레이저 펄스 폭이 바람직하다.

[0111] 펄스의 감소는 동일한 평균 전력을 유지하면서 더 높은 피크 전력을 달성할 수 있게 해주며, 아이-세이프 계산에 대단히 중요하다. 도 10을 참조하면, 레이저 펄스의 평균 전력은 그것의 반복률 PRR, 펄스 폭 T_{pw} 및 피크 전력 P_{peak} 으로부터 계산될 수 있다:

$$P_{avg} = P_{peak} \times \frac{T_{pw}}{T_p} = P_{peak} \times T_{pw} \times PRR \quad \text{식 7}$$

[0113] 아이-세이프 한계로 인한 평균 전력을 고정하면, 피크 전력은

$$P_{peak} = \frac{P_{avg}}{T_{pw} \times PRR} \quad \text{식 8}$$

[0115] 와 같이 계산될 수 있다.

[0116] 따라서, 도 11에서와 같이 펄스 폭을 낮춤으로써 동일한 평균 전력으로 높은 레이저 피크 전력이 달성될 수 있다.

[0117] 본 개시는 레이저 펄스를 방출하기 위한 아이 세이프 레이저 소스(900)를 포함하는 LiDAR 장치(800)를 기술한다. SiPM 검출기(910)는 목표(925)로부터 반사 광자를 검출한다. 렌즈(810)는 광학계를 제공한다. 제어기(940)는 방출된 레이저 펄스가 원하는 범위 정확도와 선택적으로 매칭되는 폭을 갖도록 아이-세이프 레이저 소스(900)를 제어하기 위해 아이-세이프 레이저(900)와 협력 가능하다. 제어기(940)는 레이저 펄스의 평균 전력이 아이 세이프 제한을 충족시키도록 고정되도록 레이저 소스를 제어한다. 레이저 소스 아이-세이프 제한 사항은, 예를 들어 미국 국립 표준 협회(American National Standards Institute, Ansi) Z136 시리즈 또는 국제 표준 IEC60825에 자세히 기술되어 있다. 따라서, 레이저 소스(905)는 Ansi Z136 또는 IEC60825 표준과 호환 가능하다고 본다. 레이저 펄스의 평균 전력은 적어도 하나의 Ansi Z136 및 IEC60825 표준에서 설정된 아이-세이프 표준을 충족시키도록 고정될 수 있다. 이는 본 발명의 교시를 예시로서 제공되는 예시적인 아이 세이프 표준으로 제한하려는 것은 아니다.

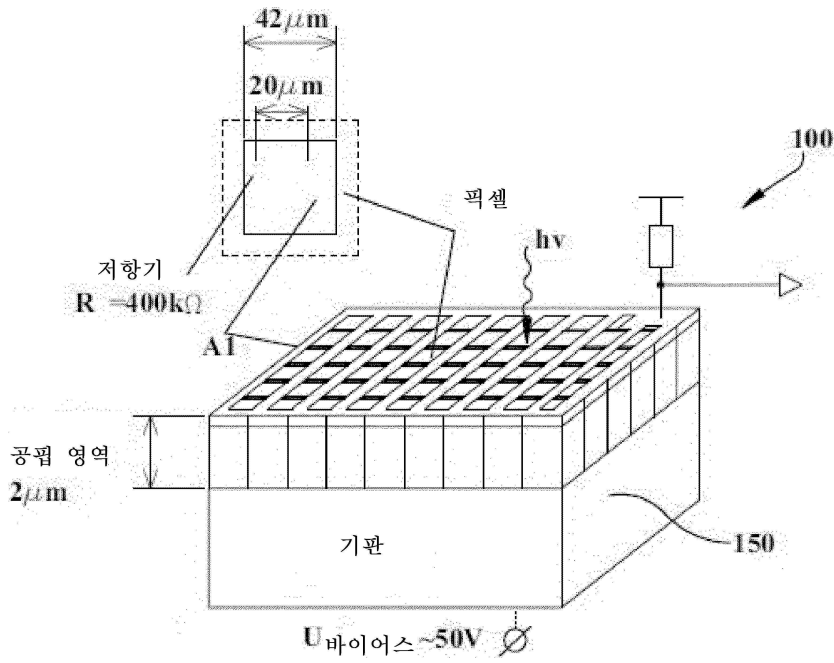
[0118] 제어기(940)는 미리 결정된 평균 전력을 달성하기 위해 아이-세이프 레이저 소스가 펄스 폭을 변화시키도록 구성되는 레이저 소스를 제어하도록 동작 가능하다. 예를 들어, 아이-세이프 레이저 소스는 레이저 펄스의 폭을 감소시킴으로써 동일한 미리 결정된 평균 전력으로 더 높은 레이저 피크 전력을 인가한다. 대안적으로, 아이-세이프 레이저 소스는 레이저 펄스의 폭을 증가시킴으로써 동일한 미리 결정된 평균 전력으로 더 낮은 레이저 피크 전력을 인가한다. 아이-세이프 레이저 소스는 방출된 레이저 펄스가 검출된 모든 방출 광자가 원하는 범위 정확도에 기여하도록 원하는 검출 분해능에 매칭되는 폭을 갖도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 10cm의 원하는 범위 정확도에 대해 레이저 펄스 폭은 667ps로 설정된다. 제어기(940)는 원하는 범위 정확도를 설정하기 위해 프로그램 가능하다. 예시적인 실시예에서, 레이저 펄스의 폭은 1ns 보다 작다.

[0119] 통상의 기술자는 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서 상술한 실시예들에 대한 다양한 변형이 이루어질 수 있다는 것을 이해할 것이다. 이러한 방식으로, 본 발명의 교시는 첨부된 청구 범위에 비추어 필요하다고 판단되는 경우에만 제한된다는 것을 이해할 것이다. 반도체 광전자 배증관이라는 용어는 실리콘 광전자 배증관[SiPM], 마이크로 픽셀 광자 카운터[MPPC], 마이크로픽셀 애벌랜치 포토 다이오드[MAPD]와 같은 임의의 고체 상태 광전자 배증관 디바이스를 포함하나 이에 국한되지는 않는다.

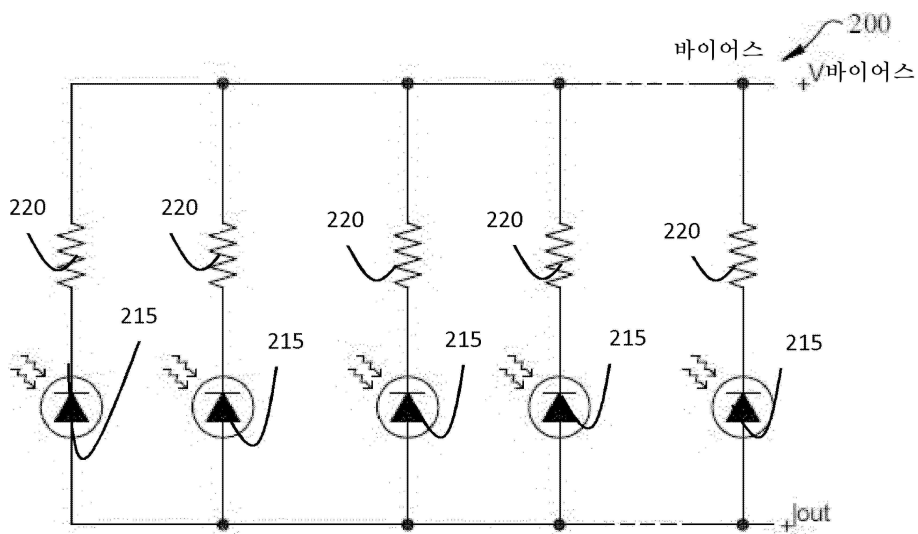
[0120] 이와 유사하게, 본원에서 사용되는 경우에 포함하는/포함하다는 언급된 특징, 정수(integer), 단계, 또는 구성 요소의 존재를 특정하기 위해서 사용되지만 하나 이상의 추가 특징, 정수, 단계, 구성 요소, 또는 그들의 집합의 존재 또는 추가를 배제하는 것은 아니다.

도면

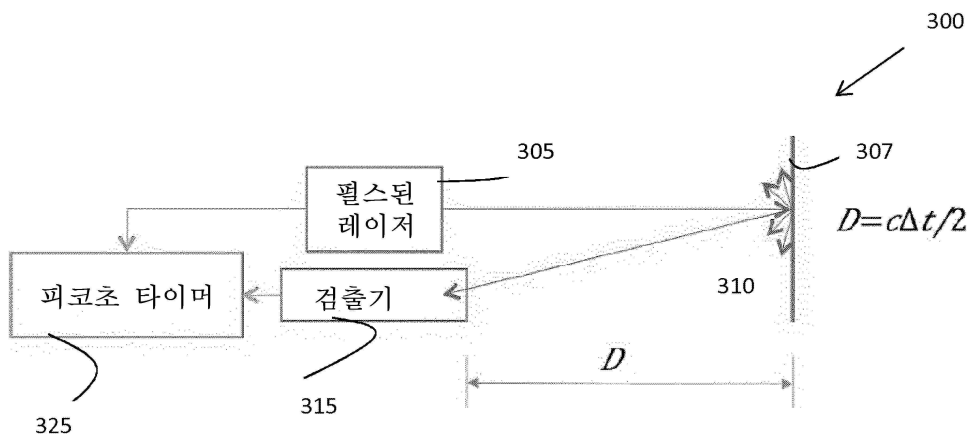
도면1



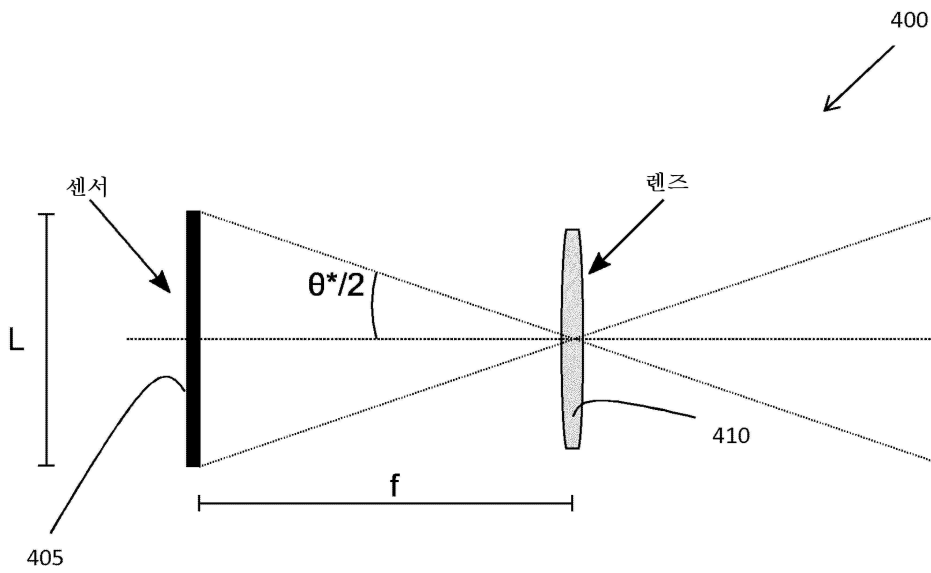
도면2



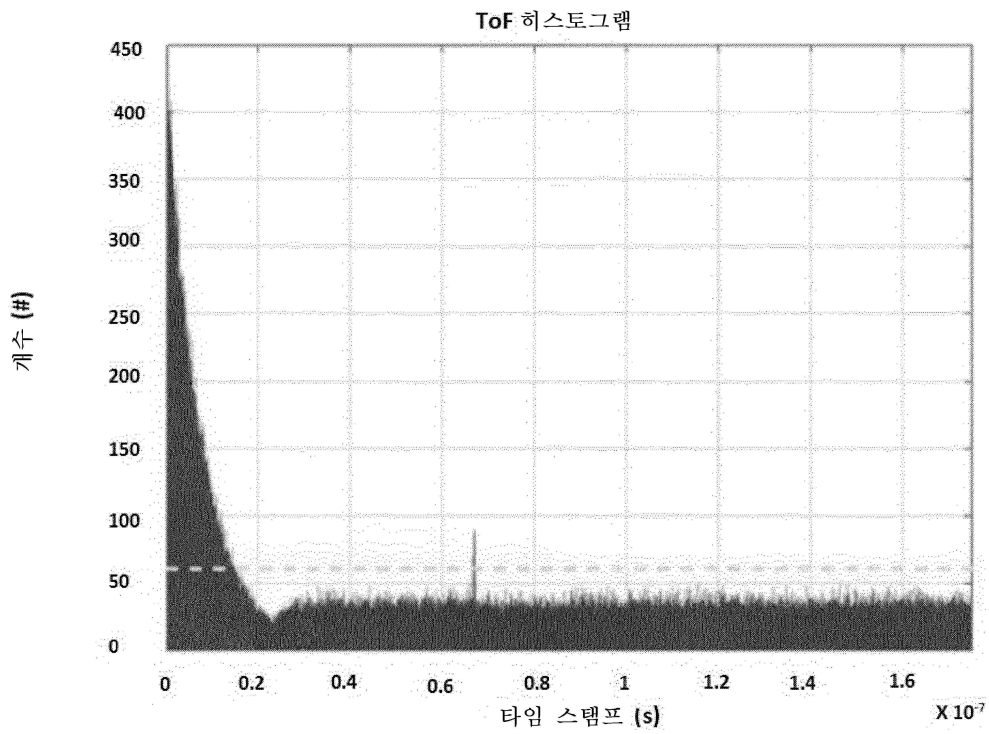
도면3



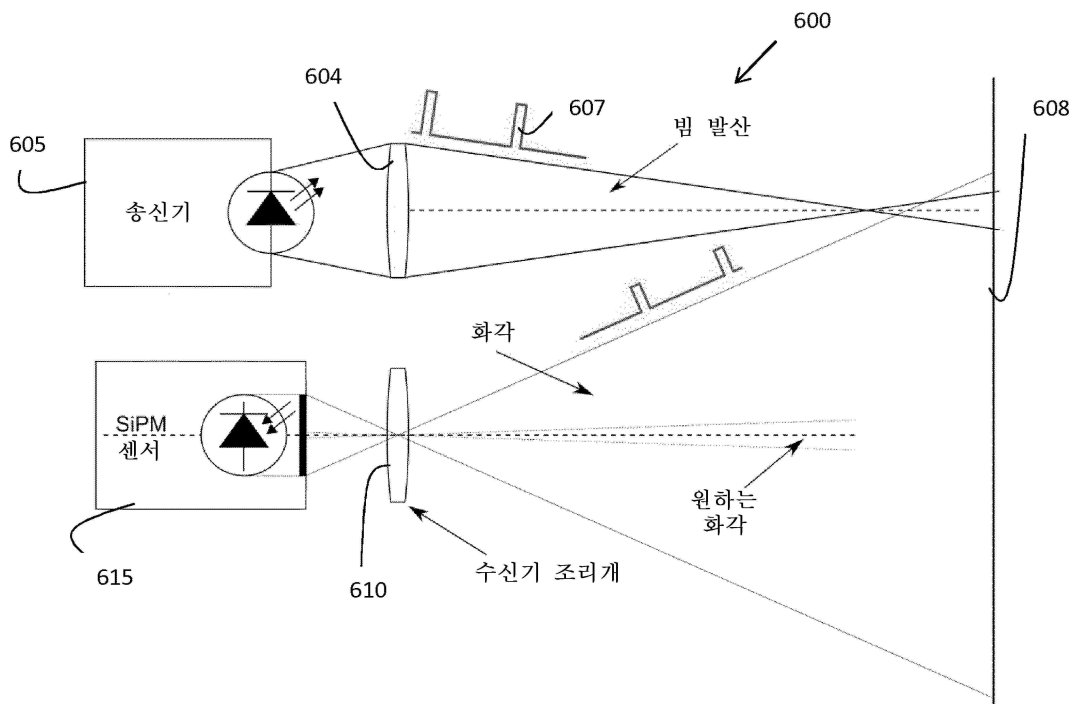
도면4



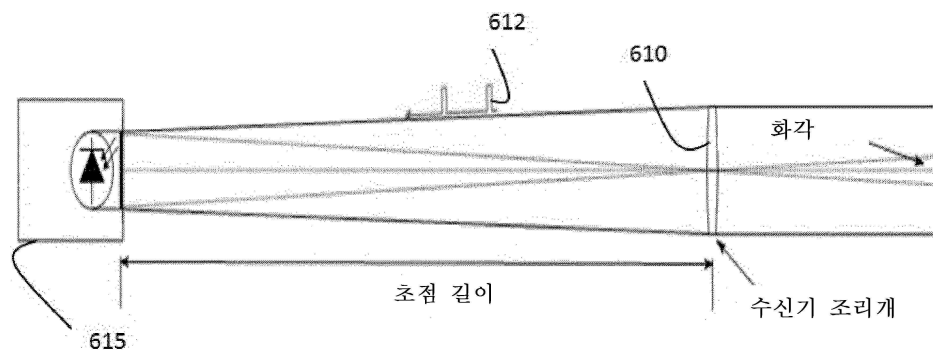
도면5



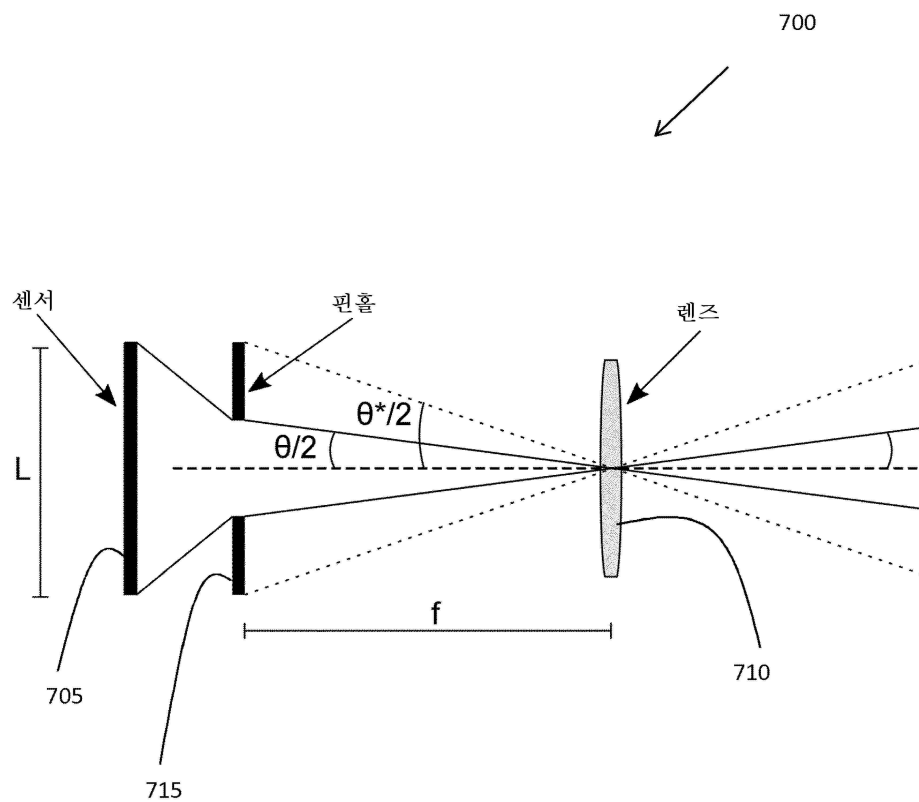
도면6



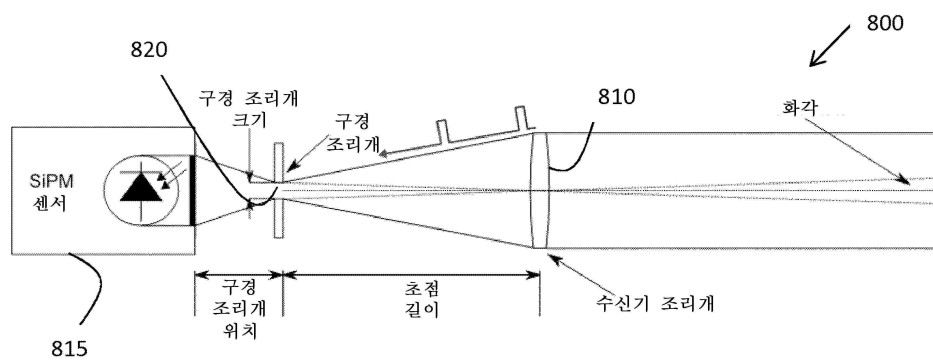
도면6a



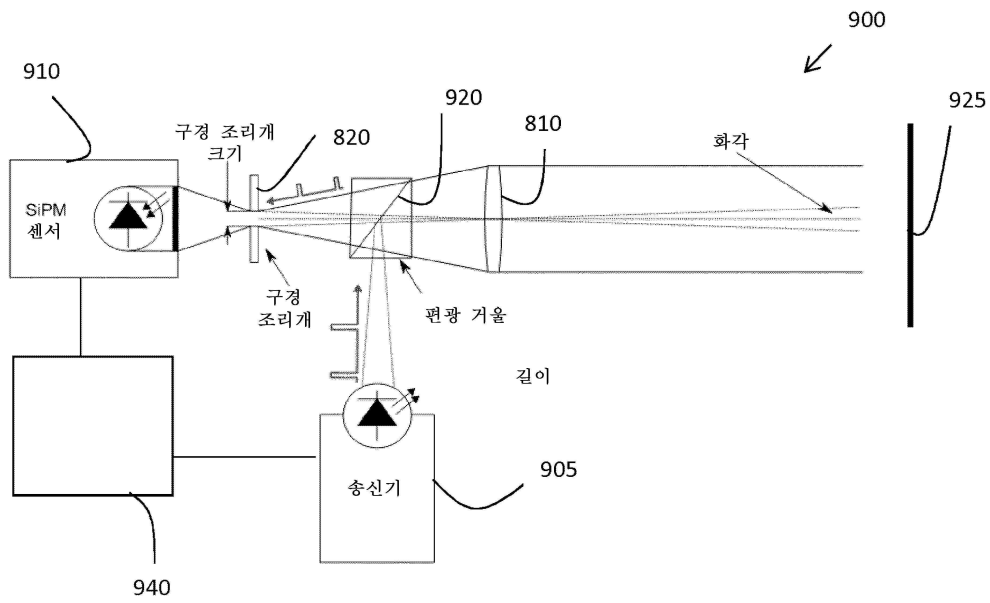
도면7



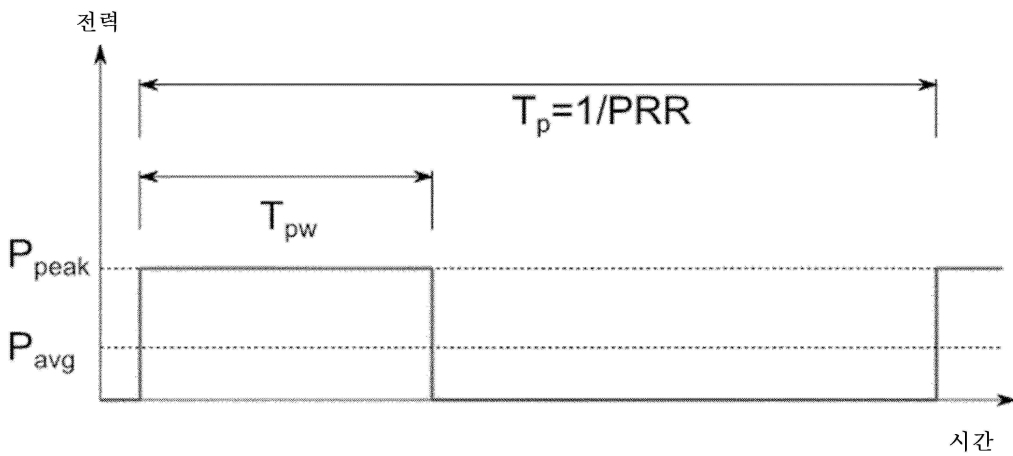
도면8



도면9



도면10



도면11

