



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0043496
(43) 공개일자 2024년04월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04N 25/74 (2023.01) H01L 31/02 (2006.01)
H01L 31/107 (2024.01)
(52) CPC특허분류
H04N 25/745 (2023.01)
H01L 31/02027 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0122648
(22) 출원일자 2022년09월27일
심사청구일자 2022년09월27일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
채영철
서울특별시 마포구 백범로 152, 201동 1301호
박병철
서울특별시 서대문구 북아현로1길 50, 205동 1003호
(74) 대리인
특허법인시공

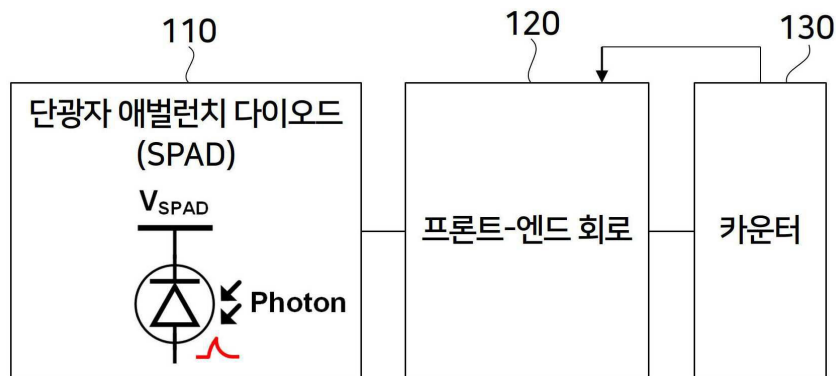
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서 및 이의 구동 방법

(57) 요약

본 개시의 일 실시예에 따르면, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서는 사전 결정된 노출 시간 동안 수용되는 복수의 포톤 각각에 대응하는 복수의 펄스를 생성하는 단광자 애벌런치 다이오드(SPAD, Single Photon Avalanche Diode), 복수의 펄스 중 노출 시간 내 일부 시간 동안 수신된 펄스 세트를 수신하는 프론트-엔드 회로 및 펄스 세트 내 펄스의 개수를 카운팅하는 카운터를 포함하고, 일부 시간의 종점은 펄스 세트 내 펄스의 개수를 카운팅한 카운터의 오버플로우 시점에 기초할 수 있다.

대표도 - 도1



*SPAD : Single-Photon Avalanche Diode

100

(52) CPC특허분류

H01L 31/107 (2024.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711138026
과제번호	KMDF_PR_20200901_0048-03
부처명	다부처
과제관리(전문)기관명	(재단)범부처전주기의료기기연구개발사업단
연구사업명	범부처전주기의료기기연구개발사업(R&D)(과기정통부, 복지부, 산업부)
연구과제명	(참여2)Global Shutter 기반의 20 x 20cm 대면적 Hybrid X선 동영상 검출기 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

사전 결정된 노출 시간 동안 수용되는 복수의 포톤 각각에 대응하는 복수의 펄스를 생성하는 단광자 애벌런치 다이오드(SPAD; Single Photon Avalanche Diode);

상기 복수의 펄스 중 상기 노출 시간 내 일부 시간 동안 수신된 펄스 세트를 수신하는 프론트-엔드 회로; 및
상기 펄스 세트 내 펄스의 개수를 카운팅하는 카운터

를 포함하고,

상기 일부 시간의 종점은 상기 펄스 세트 내 펄스의 개수를 카운팅한 상기 카운터의 오버플로우 시점에 기초하는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 카운터는 상기 오버플로우 시점 이후의 상기 노출 시간 동안 상기 프론트-엔드 회로를 통해 획득된 복수의 클락 펄스의 개수를 카운팅하는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 노출 시간에 대한 상기 복수의 클락 펄스 각각의 시점들은 로그(log) 함수, 리니어(linear) 함수 또는 스퀘어-루트(square-root) 함수 중 적어도 하나의 형상을 포함하도록 구성되는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 오버플로우 시점 이후부터 상기 프론트-엔드 회로에 복수의 클락 펄스를 제공하는 글로벌 클락을 더 포함하는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 글로벌 클락이 상기 노출 시간 동안 생성한 전체 클락 펄스들의 개수는 상기 일부 시간 동안 수신된 상기 펄스 세트 내 펄스의 개수와 동일하게 구성되는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 오버플로우 시점 이전에 상기 글로벌 클락에 의해 생성된 제1 클락 펄스 및 상기 오버플로우 시점 이후에

상기 글로벌 클락에 의해 생성된 제2 클락 펄스를 이용하여 상기 노출 시간 동안 상기 단광자 애벌런치 다이오드에 수용된 복수의 포톤의 총 개수를 산출하는 프로세서

를 더 포함하는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 글로벌 클락과 연관된 룩업 테이블을 이용하여 상기 총 개수를 산출하는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 카운터는 N비트의 카운터를 포함하고,

상기 N비트 중 하나의 비트의 값은 상기 오버플로우 시점과 연관되고, 상기 N비트 중 상기 하나의 비트를 제외한 나머지 복수의 비트는 상기 복수의 펄스를 카운팅한 값과 연관되는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서.

청구항 9

단광자 애벌런치 다이오드에 의해 사전 결정된 노출 시간 중 적어도 일부 시간동안 복수의 포톤을 수용하는 단계;

상기 단광자 애벌런치 다이오드에 의해 상기 복수의 포톤 각각에 대응하는 복수의 펄스를 생성하는 단계;

프론트-엔드 회로에 의해 상기 복수의 펄스를 수신하는 단계; 및

카운터에 의해 상기 복수의 펄스를 카운팅하는 단계

를 포함하고,

상기 적어도 일부 시간의 종점은 상기 복수의 펄스를 카운팅한 상기 카운터의 오버플로우 시점에 기초하도록 구성되는, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서 구동 방법.

청구항 10

제9항에 따른 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서 구동 방법을 실행시키도록 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서 및 이의 구동 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 단광자 애벌런치 다이오드(SPAD; Single-Photon Avalanche Diode)는 포톤 수준의 미미한 빛 신호를 감지하는 센싱 기술이다. 특히, 단광자 애벌런치 다이오드는 입사한 하나의 포톤을 증폭시키는 애벌런치 증배를 이용한

기 때문에 감도가 매우 높아 어두운 곳을 촬영하는 데에도 매우 용이하다.

[0004] 한편, 이러한 단광자 애벌런치 다이오드에서 포톤에서는 포톤에 의해 생성된 트리거 펄스를 카운팅하는 동작이 요구된다. 그러나, 많은 수의 포톤을 카운팅하기 위해서는 많은 비트수의 카운터를 사용하는 경우, 회로의 규모가 커져 소비 전력이 증가하는 문제가 발생한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 개시에서는 상술한 문제를 해결하기 위하여 카운터의 오버플로우 시점을 이용하여 전체 펄스들(즉, 전체 포톤들)의 수를 추정하는 방식으로 소비 전력을 감소시키는 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서가 제공된다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서는 사전 결정된 노출 시간 동안 수용되는 복수의 포톤 각각에 대응하는 복수의 펄스를 생성하는 단광자 애벌런치 다이오드(SPAD, Single Photon Avalanche Diode), 복수의 펄스 중 노출 시간 내 일부 시간 동안 수신된 펄스 세트를 수신하는 프론트-엔드 회로 및 펄스 세트 내 펄스의 개수를 카운팅하는 카운터를 포함하고, 일부 시간의 종점은 펄스 세트 내 펄스의 개수를 카운팅한 카운터의 오버플로우 시점에 기초할 수 있다.

[0009] 일 실시예에 따르면, 카운터는 오버플로우 시점 이후의 노출 시간 동안 프론트-엔드 회로를 통해 획득된 복수의 클락 펄스의 개수를 카운팅할 수 있다.

[0010] 일 실시예에 따르면, 노출 시간에 대한 복수의 클락 펄스 각각의 시점들은 로그(log) 함수, 리니어(linear) 함수 또는 스퀘어-루트(square-root) 함수 중 적어도 하나의 형상을 포함하도록 구성될 수 있다.

[0011] 일 실시예에 따르면, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서는 오버플로우 시점 이후부터 프론트-엔드 회로에 복수의 클락 펄스를 제공하는 글로벌 클락을 더 포함할 수 있다.

[0012] 일 실시예에 따르면, 글로벌 클락이 노출 시간 동안 생성한 전체 클락 펄스들의 개수는 일부 시간 동안 수신된 펄스 세트 내 펄스의 개수와 동일하게 구성될 수 있다.

[0013] 일 실시예에 따르면, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서는 오버플로우 시점 이전에 글로벌 클락에 의해 생성된 제1 클락 펄스 및 오버플로우 시점 이후에 글로벌 클락에 의해 생성된 제2 클락 펄스를 이용하여 노출 시간 동안 단광자 애벌런치 다이오드에 수용된 복수의 포톤의 총 개수를 산출하는 프로세서를 더 포함할 수 있다.

[0014] 일 실시예에 따르면, 프로세서는 글로벌 클락과 연관된 룩업 테이블을 이용하여 총 개수를 산출할 수 있다.

[0015] 일 실시예에 따르면, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서는 카운터는 N비트의 카운터를 포함하고, N비트 중 하나의 비트의 값은 오버플로우 시점과 연관되고, N비트 중 하나의 비트를 제외한 나머지 복수의 비트는 복수의 펄스를 카운팅한 값과 연관될 수 있다.

[0016] 본 개시의 다른 실시예에 따르면, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서 구동 방법은 단광자 애벌런치 다이오드에 의해 사전 결정된 노출 시간 중 적어도 일부 시간동안 복수의 포톤을 수용하는 단계, 단광자 애벌런치 다이오드에 의해 복수의 포톤 각각에 대응하는 복수의 펄스를 생성하는 단계, 프론트-엔드 회로에 의해 복수의 펄스를 수신하는 단계 및 카운터에 의해 복수의 펄스를 카운팅하는 단계를 포함하고, 적어도 일부 시간의 종점은 복수의 펄스를 카운팅한 카운터의 오버플로우 시점에 기초하도록 구성될 수 있다.

[0017] 본 개시의 또 다른 실시예에 따르면, 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서 구동 방법을 실행시키도록 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록된 컴퓨터 프로그램이 제공될 수 있다.

발명의 효과

- [0019] 본 개시의 일부 실시예에 따르면 단광자 애벌런치에 수용되는 전체 포톤들 중 일부만을 카운팅하고, 카운터의 오버 플로우 시점을 활용하여 전체 포톤들의 수를 추정하는 방식을 통해 카운터에 의해 소비되는 전력을 대폭 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 개시의 일 실시예에 따른 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서의 구성을 나타내는 블록도이다.
- 도 2는 본 개시의 일 실시예에 따른 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서에 수용된 전체 포톤들의 수를 산출하는 방법을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 3은 본 개시의 일 실시예에 따른 프론트-엔드 회로에 클락 펄스(들)를 제공하기 위하여 마련된 글로벌 클락의 클락 펄스들을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하, 본 개시의 실시를 위한 구체적인 내용을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 다만, 이하의 설명에서는 본 개시의 요지를 불필요하게 흐릴 우려가 있는 경우, 널리 알려진 기능이나 구성에 관한 구체적 설명은 생략하기로 한다.
- [0023] 첨부된 도면에서, 동일하거나 대응하는 구성요소에는 동일한 참조부호가 부여되어 있다. 또한, 이하의 실시예들의 설명에 있어서, 동일하거나 대응되는 구성요소를 중복하여 기술하는 것이 생략될 수 있다. 그러나 구성요소에 관한 기술이 생략되어도, 그러한 구성요소가 어떤 실시예에 포함되지 않는 것으로 의도되지는 않는다.
- [0024] 개시된 실시예의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 개시는 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 개시가 완전하도록 하고, 본 개시가 통상의 기술자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것일 뿐이다.
- [0025] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 개시된 실시예에 대해 구체적으로 설명하기로 한다. 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 개시에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 관련 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 관례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 개시에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 개시의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.
- [0026] 본 명세서에서의 단수의 표현은 문맥상 명백하게 단수인 것으로 특정하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한, 복수의 표현은 문맥상 명백하게 복수인 것으로 특정하지 않는 한, 단수의 표현을 포함한다. 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 '포함'한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다.
- [0027] 도 1은 본 개시의 일 실시예에 따른 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서(100)의 구성을 나타내는 블록도이다. 간단하게, 이미지 센서(100)는 외부로부터 복수의 포톤(Photon)을 수용하고, 수용된 복수의 포톤(Photon)의 수를 카운팅하는 방식으로 이미지를 생성할 수 있다. 이 때, 이미지 센서(100)는 포톤(들)을 카운팅하는 데에 상당한 양의 전력을 소모할 수 있다. 이를 위해, 본 개시에서는 미리 결정된 개수 까지만 포톤을 카운팅 하고, 해당 카운팅이 끝나는 시점에 대한 정보를 이용하여 수용된 전체 포톤들의 수를 추정하는 방식으로 소비 전력을 절감하는 이미지 센서(100)가 제공된다. 도시된 바와 같이, 이미지 센서(100)는 단광자 애벌런치 다이오드(110), 프론트-엔드 회로(120) 및 카운터(130) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0028] 단광자 애벌런치 다이오드(110)는 외부로부터 복수의 포톤을 수용하고, 수용된 복수의 포톤 각각에 대응하는 복수의 펄스를 생성할 수 있다. 예를 들어, 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 N개의(여기서, N은 자연수)이 수용되는 경우, 단광자 애벌런치 다이오드(110)는 N개의 펄스를 생성할 수 있다. 그리고 나서, 생성된 복수의 펄스

는 프론트-엔드 회로로 전송될 수 있다.

- [0029] 단광자 애벌런치 다이오드(110)는 사전 결정된 노출 시간 동안 외부로부터 복수의 포톤을 수용하고, 수용된 복수의 포톤 각각에 대응하는 복수의 펄스를 생성할 수 있다. 예를 들어, 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 0[ms]부터 16[ms]까지 N 개의(여기서, N 은 자연수)이 수용된 경우, 단광자 애벌런치 다이오드(110)는 N 개의 펄스를 생성할 수 있다. 그리고 나서, 생성된 복수의 펄스의 적어도 일부는 프론트-엔드 회로로 전송될 수 있다.
- [0030] 프론트-엔드 회로(120)는 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 의해 생성된 복수의 펄스를 수신할 수 있다. 이 경우, 복수의 펄스는 노출 시간 동안 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 수용된 복수의 펄스를 지칭할 수 있다. 예를 들어, 프론트-엔드 회로(120)는 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 0[ms]부터 16[ms]까지 N 개의(여기서, N 은 자연수) 포톤이 수용된 경우, 단광자 애벌런치 다이오드(110)로부터 N 개의 펄스를 수신할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 프론트-엔드 회로(120)는 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 의해 생성된 복수의 펄스 중 적어도 일부의 펄스를 수신할 수 있다. 예를 들어, 프론트-엔드 회로(120)는 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 0[ms]부터 16[ms]까지 N 개의(여기서, N 은 자연수)이 수용된 경우, 0[ms]부터 T_{OF} [ms](여기서, $T_{OF} < 16$)까지 수용된 N_{OF} 개(여기서, $N_{OF} < N$)의 펄스를 수신할 수 있다. 다른 예를 들어, 프론트-엔드 회로(120)는 단광자 애벌런치 다이오드(110)에 0[ms]부터 16[ms]까지 N 개의(여기서, N 은 자연수)이 수용된 경우, T_{OF1} [ms]부터 T_{OF2} [ms](여기서, $0 < T_{OF1} < T_{OF2} \leq 16$)까지 수용된 N_{OF} 개(여기서, $N_{OF} < N$)의 펄스를 수신할 수 있다.
- [0031] 프론트-엔드 회로(120)는 외부 장치(예를 들어, 글로벌 클락)에서 생성된 복수의 클락 펄스를 수신할 수 있다. 이 경우, 복수의 클락 펄스는 노출 시간 동안 생성된 복수의 클락 펄스를 지칭할 수 있다. 예를 들어, 프론트-엔드 회로(120)는 0[ms]부터 16[ms]까지 M 개의 클락 펄스를 수신할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 프론트-엔드 회로(120)는 전체 노출 시간 중 일부 시간 동안 생성된 복수의 클락 펄스를 수신할 수 있다. 예를 들어, 프론트-엔드 회로(120)는 0[ms]부터 16[ms]까지의 노출 시간 중 T_{OF} [ms] 이후 부터 16[ms] 사이에 생성된 클락 펄스를 수신할 수 있다. 다른 예를 들어, 프론트-엔드 회로(120)는 0[ms]부터 16[ms]까지의 노출 시간 중 0[ms] 부터 T_{OF} [ms] 사이에 생성된 클락 펄스를 수신할 수 있다.
- [0032] 프론트-엔드 회로(120)는 카운터(130)로부터 수신된 신호에 응답하여, 외부 장치에서 생성된 복수의 클락 펄스를 수신하는 것을 개시할 수 있다. 이 경우, 카운터(130)로부터 수신된 신호는 카운터(130)가 오버플로우되는 것에 응답하여 생성된 신호를 지칭할 수 있다. 보다 상세하게, 카운터(130)로부터 수신된 신호는 프론트-엔드 회로(120)를 통해 단광자 애벌런치 다이오드(110)로부터 수신된 복수의 펄스를 카운팅 중인 카운터(130)가 오버플로우되는 것에 응답하여 프론트-엔드 회로(120)로 전송한 신호를 지칭할 수 있다. 예를 들어, 노출 시간이 0[ms]부터 16[ms]까지인 경우, N 비트의 카운터(130)는 0[ms]부터 $N-1$ 개의 비트를 이용하여 프론트-엔드 회로(120)를 통해 단광자 애벌런치 다이오드(110)로부터 수신된 $2^{(N-1)}$ 개의 펄스를 카운팅한 후 오버플로우될 수 있다. 이 경우, 카운터(130)의 N 비트 중 카운팅에 이용되지 않은 나머지 하나의 비트에 오버플로우를 나타내는 값이 입력되고, 이에 응답하여 카운터(130)는 T_{OF} [ms]에 프론트-엔드 회로(120)로 신호를 전송할 수 있다. 그리고 나서, 프론트-엔드 회로(120)는 카운터(130)로부터 수신된 신호에 응답하여, 단광자 애벌런치 다이오드(110)로부터 펄스를 수신하는 것을 중단하고, 외부 장치로부터 클락 펄스를 수신하는 것을 개시할 수 있다. 즉, 프론트-엔드 회로(120)는 0[ms]부터 T_{OF} [ms] 이전까지 단광자 애벌런치 다이오드(110)로부터 복수의 펄스를 수신하고, T_{OF} [ms] 이후부터 16[ms]까지 외부 장치로부터 복수의 클락 펄스를 수신할 수 있다.
- [0033] 카운터(130)는 프론트-엔드 회로(120)에 입력되는 펄스(들)의 개수를 카운팅할 수 있다. 예를 들어, 카운터(130)는 0[ms]부터 T_{OF} [ms] 이전까지 단광자 애벌런치 다이오드(110)로부터 프론트-엔드 회로(120)에 입력된 복수의 펄스의 펄스 개수를 카운팅할 수 있다. 추가적 또는 대안적 예시로서, 카운터(130)는 T_{OF} [ms] 이후부터 16[ms]까지 프론트-엔드 회로(120)에 입력된 복수의 클락 펄스의 개수를 카운팅할 수 있다.
- [0034] 한편, 도 1에는 도시되지 않았으나 이미지 센서(100)는 상술한 클락 펄스를 생성하는 글로벌 클락(미도시)를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 글로벌 클락이 노출 시간 동안 생성한 전체 클락 펄스들의 개수는, N 비트의 카운터(130)(이 때, 카운터(130)의 $N-1$ 개의 비트만이 카운팅에 사용됨)가 오버플로우 되기 직전까지(즉, 상술한 예시에서 T_{OF} [ms] 이전까지) 카운팅한 복수의 펄스의 개수와 동일할 수 있다. 즉, N 비트의 카운터(130)가 사용되는 경우 글로벌 클락이 노출 시간 동안 생성한 전체 클락 펄스들의 개수는 $2^{(N-1)}$ 개로 사전에 설정될 수 있다. 이에

관한 상세한 설명은 도 3에 후술된다.

[0035] 또한, 도 1에서는 설명의 편의를 위하여 이미지 센서(100)에 하나의 단광자 애벌런치 다이오드(110)가 포함되는 것으로 도시되었으나 이에 한정되지 않는다. 즉, 이미지 센서(100)는 복수의 단광자 애벌런치 다이오드를 포함할 수 있다. 예를 들어, 프런트-엔드 회로(120)는 복수의 픽셀 각각에 배치된 복수의 단광자 애벌런치 다이오드와 연결될 수 있다.

[0036] 도 2는 본 개시의 일 실시예에 따른 단광자 애벌런치 다이오드 기반의 이미지 센서(예: 이미지 센서(100))에 수용된 전체 포톤들의 수를 산출하는 방법을 설명하기 위한 그래프(200)이다. 여기서, 단광자 애벌런치 다이오드(예: 단광자 애벌런치 다이오드(110)) 및/또는 글로벌 클락에 의해 생성된 펄스를 카운팅하기 위하여 마련된 카운터(예: 카운터(130))는 N비트로 구성되며, N-1비트 만이 카운팅에 이용되는 것으로 가정한다. 또한, 도 2의 T_{OF} 는 카운터가 단광자 애벌런치 다이오드로부터 수신되는 복수의 펄스를 카운팅한 결과 오버플로우된 시점을 나타낸다.

[0037] 도 1에서 상술한 바와 같이 카운터는 소비 전력을 절약하기 위하여 0 부터 T_{OF} 사이의 시간 동안 단광자 애벌런치 다이오드에 의해 생성된 $2^{(N-1)}$ 개의 펄스만을 카운팅하게 된다. 이 경우, 이미지 센서가 광원에 노출되는 시간 T_{EXP} 는 사전에 결정된 값을 가지므로, 하기 수학적 식 1에 따라 이미지 센서가 노출 시간동안 수용한 전체 포톤들의 수(N_{PH})를 산출할 수 있다. 이 경우, N_{PH}/N_{OF} 만큼 포톤(들)을 카운팅하는 전력을 절약할 수 있게 된다. 다만, 수학적 식 1을 이용하여 전체 포톤들의 수(N_{PH})를 산출하기 위해서는 우선 카운터가 오버플로우 된 시점을 나타내는 T_{OF} 를 알아야 한다. T_{OF} 를 추정하는 방법은 도 3에 후술된다.

수학적 식 1

[0038]
$$N_{PH} = N_{OF} * (T_{EXP}/T_{OF})$$

[0039] 도 3은 본 개시의 일 실시예에 따른 프런트-엔드 회로에 클락 펄스(들)를 제공하기 위하여 마련된 글로벌 클락의 클락 펄스들을 나타내는 그래프(300)이다. 마찬가지로, 단광자 애벌런치 다이오드(예: 단광자 애벌런치 다이오드(110)) 및/또는 글로벌 클락에 의해 생성된 펄스를 카운팅하기 위하여 마련된 카운터(예: 카운터(130))는 N비트로 구성되며, N-1비트 만이 카운팅에 이용되는 것으로 가정한다. 또한, T_{OF} 및 T_{EXP} 는 도 2의 T_{OF} 및 T_{EXP} 와 같이 각각 카운터가 오버플로우된 시점 및 단광자 애벌런치 다이오드가 광원에 노출되는 시간을 나타낸다.

[0040] 도 1에서 상술한 바와 같이, 노출 시간 동안 생성된 전체 클락 펄스들의 개수(M)는 0부터 T_{OF} 사이에 단광자 애벌런치 다이오드에 의해 생성된 복수의 펄스들의 개수(즉, $2^{(N-1)}$ 개)와 동일하게 설정된다. 또한, 전체 클락 펄스들 각각의 시점(timing)들은 노출 시간에 대하여 로그(log) 함수, 리니어(linear) 함수 또는 스퀘어-루트(square-root) 함수 중 적어도 하나의 함수를 포함하도록 설정된다. 예를 들어, 0부터 T_{OF} 사이의 클락 펄스들은 리니어 함수 형태로 제공되고, T_{OF} 부터 T_{EXP} 사이의 클락 펄스들은 로그 함수 형태로 제공될 수 있다. 즉, 전체 클락 펄스들 각각의 시점은 선택된 함수의 형상에 기초하여 사전 결정된 값을 갖게 된다. 이에 따라, T_{OF} 이후 가장 먼저 발생한 클락 펄스의 순번(여기서, n+1) 및 시점(T_{n+1})을 이용하여 T_{OF} 이전 가장 늦게 발생한 클락 펄스의 시점(T_n)을 산출할 수 있다. 이 때, 카운터의 오버플로우는 T_n 과 T_{n+1} 사이의 시점에 발생하므로, T_{OF} 는 하기 수학적 식 2와 같이 $N_{OF} * (T_{EXP}/T_n)$ 과 $N_{OF} * (T_{EXP}/T_{n+1})$ 사이의 임의의 값으로 추정될 수 있다.

수학적 식 2

[0041]
$$N_{PH} = N_{OF} * \left(\frac{T_{EXP}}{T_n} \right) \sim N_{OF} * \left(\frac{T_{EXP}}{T_{n+1}} \right)$$

[0042] 본 개시의 앞선 설명은 통상의 기술자들이 본 개시를 행하거나 이용하는 것을 가능하게 하기 위해 제공된다. 본 개시의 다양한 수정예들이 통상의 기술자들에게 쉽게 자명할 것이고, 본원에 정의된 일반적인 원리들은 본

개시의 취지 또는 범위를 벗어나지 않으면서 다양한 변형예들에 적용될 수도 있다. 따라서, 본 개시는 본원에 설명된 예들에 제한되도록 의도된 것이 아니고, 본원에 개시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의의 범위가 부여되도록 의도된다.

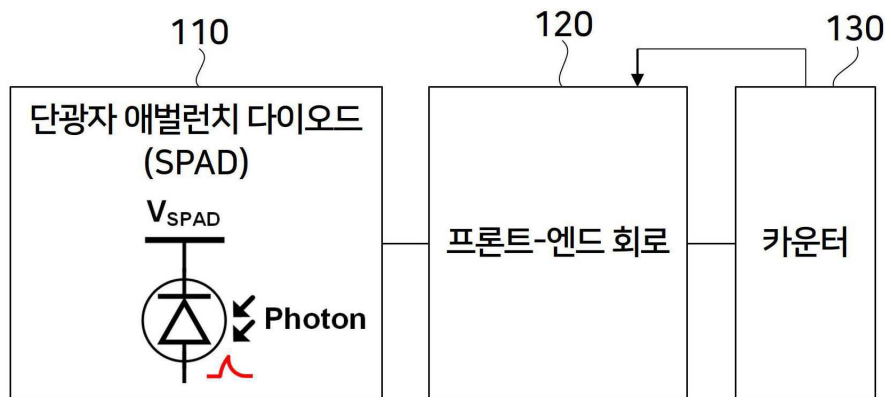
[0043] 본 명세서에서는 본 개시가 일부 실시예들과 관련하여 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자가 이해할 수 있는 본 개시의 범위를 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변형 및 변경이 이루어질 수 있다는 점을 알아야 할 것이다. 또한, 그러한 변형 및 변경은 본 명세서에서 첨부된 특허청구의 범위 내에 속하는 것으로 생각되어야 한다.

부호의 설명

[0045] 100: 이미지 센서
110: 단광자 애벌런치 다이오드
120: 프론트-엔드 회로
130: 카운터

도면

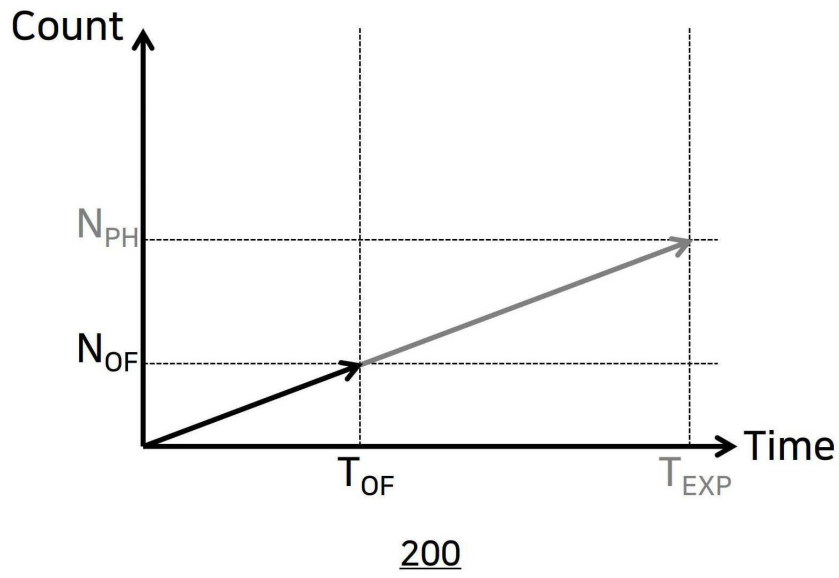
도면1



*SPAD : Single-Photon Avalanche Diode

100

도면2



도면3

