



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월13일

(11) 등록번호 10-2178409

(24) 등록일자 2020년11월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01J 1/46 (2006.01) G01J 1/02 (2006.01)

G01J 1/44 (2006.01) H01L 31/105 (2006.01)

H01L 31/107 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01J 1/46 (2013.01)

G01J 1/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0105014

(22) 출원일자 2019년08월27일

심사청구일자 2019년08월27일

(56) 선행기술조사문헌

JP2004511149 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 10 항

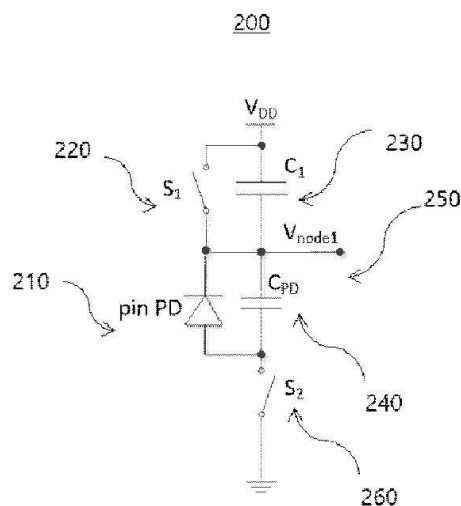
심사관 : 조지은

(54) 발명의 명칭 단광자 검출 장치

(57) 요약

실시예들 중에서, 단광자 검출 장치는 광 다이오드, 제1 및 제2 노드들을 통해 상기 광 다이오드와 연결된 광 검출 커패시터를 포함하는 제1 커패시터부, 상기 제1 노드에서 직렬로 연결되고 제3 노드를 사이에 배치한 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들을 포함하는 제2 커패시터부 및 상기 제3 노드와 연결되어 상기 광 다이오드의 광 검출에 따른 전원을 출력하는 광 검출 전원 출력부를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 31/105 (2013.01)

H01L 31/107 (2013.01)

G01J 2001/4466 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP5523317 B2

JP2003518355 A

KR1020070070467 A

KR100328781 B1

CN100347858 C

KR1020160145568 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711093455

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원

연구사업명 전자정보디바이스산업원천기술개발(R&D)

연구과제명 고속 응답/고속 스위칭 DC-DC Converter 설계 기술개발

기 여 율 1/3

과제수행기관명 서강대학교산학협력단

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345293825

부처명 교육부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(교육부)(R&D)

연구과제명 모바일 초음파 스캐너용 대량신속처리 다채널 아날로그-디지털 변환 기술 개발

기 여 율 1/3

과제수행기관명 서강대학교

연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711093078

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 정보통신기획평가원

연구사업명 정보통신기술인력양성(R&D)

연구과제명 인공지능 서비스 실현을 위한 지능형 반도체 설계 핵심기술 개발

기 여 율 1/3

과제수행기관명 서강대학교산학협력단

연구기간 2019.03.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

광 다이오드;

제1 및 제2 노드들을 통해 상기 광 다이오드와 연결된 광 검출 커패시터를 포함하는 제1 커패시터부;

상기 제1 노드에서 직렬로 연결되고 제3 노드를 사이에 배치한 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들을 포함하는 제2 커패시터부; 및

상기 제3 노드와 연결되어 상기 광 다이오드의 광 검출에 따른 전원을 출력하는 광 검출 전원 출력부를 포함하는 단광자 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

일단에서 상기 제1 노드 및 상기 제1 직렬 연결 커패시터 사이에 연결된 제1 스위치를 포함하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

일단에서 상기 제1 노드에서 상기 제1 직렬 연결 커패시터의 일단과 연결되고 다른 일단에서 상기 제3 노드에서 상기 제1 직렬 연결 커패시터의 다른 일단과 연결된 가변 커패시터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

상기 제3 노드에서 상기 제1 직렬 연결 커패시터의 다른 일단 및 상기 가변 커패시터의 다른 일단을 연결한 게이트를 포함하는 스위칭 소자를 통해 상기 광 전원부를 연결하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

상기 일단에서 상기 제1 노드 및 상기 제3 노드 사이에 연결되고 정상 동작 과정 중에 단회지는 제2 스위치를 포함하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

상기 일단에서 상기 제2 노드 및 접지 노드 사이에 연결된 제3 스위치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

초기화 과정에서 상기 제1 및 제3 스위치들을 닫아서 상기 광 다이오드와 상기 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들을 초기화 하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

상기 초기화 과정이 지난 후에 상기 제1 및 제3 스위치들을 열어서 동작 대기를 유지하고, 상기 광 다이오드에서 발생된 광 전하를 상기 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들에 축적시키는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 제2 커패시터부는

상기 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들 각각의 정전용량을 필요에 따라 최소로 설정하거나 또는 가변하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 광 검출 전원 출력부는

상기 제3 노드와 연결된 소스 팔로워 소자를 포함하는 것을 특징으로 하는 단광자 검출 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 단광자 검출 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 저전압 기반으로 동작되는 광 다이오드를 통해 광을 검출할 수 있는 단광자 검출 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 애벌란치 포토다이오드(Avalanche photodiode: APD)는 애벌란치 증배(avalanche multiplication)로 인한 높은 첫 단계 이득을 제공하기 위해 높은 바이어스 전압이 p-n 접합부에 인가되는 고체 상태(solid-state) 광 검출기이다. 전자를 방출하기에 충분한 에너지를 가진 입사 광자가 포토다이오드에 도달하면 애벌란치 증배가 이루어진다. 높은 전기장은 광 생성(photo-generated) 전자를 (+) 쪽으로 빠르게 가속하지만, 양극에 도달하기 전에 중간의 도핑된 재료와 충돌하여 추가의 전자를 방출하고, 그 다음에 이러한 전자 모두가 양극 쪽으로 가속된다. 이러한 프로세스는 출력 전류 펄스 및 광 생성 전자의 애벌란치 증배로 이어지는 과정을 반복한다. 따라서 APD는 광전자증배관(photomultiplier tubes)과 유사한 반도체이다. 선형 모드 APD는 바이어스 전압을 제어하여 이득을 설정하고 선형 모드에서 수백개의 이득 계수를 얻을 수 있는 효과적인 단일 스테이지 선형 증폭기이다.

[0004] 단일-광자 애벌란치 다이오드(SPAD)는 가이거(Geiger) 모드에서 동작하도록 p-n 접합부가 이의 항복 전압 이상으로 바이어스되는 APD로서, 단일 입사 광자가 진행중인 애벌란치 항복을 트리거(trigger)하며 이에 따라 쉽게 측정가능한 전류 펄스를 트리거한다. 즉, SPAD는 전류 펄스가 낮은 광도(light intensity)에서 매우 낮을 수 있는 선형 모드 APD와 비교하여 큰 전류 펄스를 생성하는 트리거 장치로 동작한다. SPAD의 트리거링 후에, 애벌란치 프로세스를 켜기하기 위해 항복 전압 이하로 바이어스 전압을 감소시키도록 켜기 회로(quenching circuit)가

사용된다. 일단 켜지면 또 다른 광자(SPAD를 재-바이어싱하는 것으로 알려짐)의 검출을 위해 SPAD를 리셋하도록 바이어스 전압이 항복 전압 이상으로 다시 상승된다.

[0005] APD 및 SPAD는 고체 상태 소자이며 다양한 CMOS 기술을 사용하여 구성될 수 있고, 광전자증배관과 같은 다른 광자 카운팅 장치와 비교할 때 매우 작은 능동(active) 영역을 가지고 있다. 재료 및 구조의 적절한 선택을 통해 SPAD의 과장 감도를 가시광선 및/또는 근적외선 범위로 제어할 수 있다. 펄스를 카운트하거나 및/또는 서브-나노/피코 초 정확도로 광자가 도달하는 시간을 측정하기 위한 부가 회로와 결합된 SPAD를 사용하여, 초저 광 이미징 또는 고감도 시간-분해 이미징(time-resolved imaging) 애플리케이션을 위한 센서를 생성할 수 있다. 예를 들어, SPAD 어레이의 잠재적인 애플리케이션 중 하나는 3차원(3D) 플래시 LIDAR 카메라로서, 이는 높은 거리 분해능(resolution)과 높은 프레임 속도를 가진 초고감도 장치를 제공할 잠재력이 있기 때문이다. SPAD 어레이는 또한 생물학/의료 이미징 애플리케이션, 적응형 광학 애플리케이션, 및 천체물리학 애플리케이션과 같이, 높은 프레임에서 단일 광전 감도(photo sensitivity)를 요구하는 다른 애플리케이션에서도 사용할 수 있는 잠재력을 갖고 있다.

[0006] 3D 비행 시간(Time of Flight: TOF) 카메라로도 알려진 3차원 플래시 LIDAR 시스템은 단기(short duration) 레이저 펄스(즉, 레이저 플래시)로 타겟을 조사(irradiate)하기 위한 레이저 소스를 사용한다. 광자는 물체로부터 센서 위로 다시 산란되며, 그 도착 시간은 비행 시간과 이에 따른 물체까지의 거리를 결정하는데 사용된다. 첫 번째 3D TOF 카메라는 시야를 점진적으로 스캔하기 위해 회전 또는 스캐닝 엘리먼트(들)을 구비한 레이저 거리 측정기(laser range finder)를 포함하는 스캐닝 레이저 시스템으로 구성되었다. 이러한 스캐닝 시스템은 단일 방향에서 비행 시간 정보를 수집하는 효과적인 단일 픽셀 장치로서, 감지 엘리먼트의 지시 방향을 점진적으로 이동시키는 3D 이미지를 형성하였다. 보다 최근에는 스캐닝 시스템보다 더 빠른 장면 캡처를 달성하고 기계적 마모, 진동, 및/또는 모션 블러(motion blur)와 같은 스캐닝 시스템의 문제를 방지하기 위해, 선형 모드 APD(픽셀)의 2차원 어레이를 사용하는 스캐너 없는(즉, 스타어링(staring)) 3D 플래시 LIDAR 시스템이 개발되었다. 트리거링 후에 APD를 신속하게 리셋함으로써 각 픽셀은 레이저 펄스로부터 각각이 서로 다른 거리에 대응하는 다수의 광자를 수신하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 방식으로, 타겟 장면의 3D 포인트 클라우드(cloud)가 신속하게 생성될 수 있다.

[0007] 3D 플래시 LIDAR 시스템의 SPAD 어레이는 스캐닝 레이저 시스템 또는 스캐너 없는 APD 기반 시스템보다 높은 거리 분해능과 높은 프레임 속도로 더 높은 광 감도를 달성할 잠재력을 갖고 있다. 그러나, SPAD 어레이로 높은 공간 분해능을 달성하는 것은 어렵다는 것이 입증되었고 대부분의 SPAD 어레이는 상대적으로 적은 수의 픽셀(예, 6x8, 32x32)만을 사용하는 실험적인 것이다. 특히 SPAD는 매우 높은 전압을 필요로 하며, 효율적인 SPAD 구조의 설계는 어려운 문제이다. 또한 각각의 SPAD는 인접하는 켜짐 회로 및 트리거링 검출(즉, 도달시간) 회로를 필요로 하며, 이 모두는 SPAD를 즉시 둘러싸는 기판 상의 추가 공간을 차지한다.

[0008] 따라서, 고밀도 SPAD 어레이의 구성을 허용하는 개선을 제공하거나, 적어도 현재의 SPAD 어레이 시스템에 대한 유용한 대안을 제공할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2018-0027527호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 일 실시예는 저전압을 인가하는 광 다이오드를 통해 효율적으로 광을 검출할 수 있는 단광자 검출 장치를 제공하고자 한다.

[0012] 본 발명의 일 실시예는 PIN 구조의 광 다이오드에서 검출되는 미약한 전하 신호를 작은 커패시터 양단에 걸리게 함으로써 큰 전압신호로 변환할 수 있는 단광자 검출 장치를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 실시예들 중에서, 단광자 검출 장치는 광 다이오드, 제1 및 제2 노드들을 통해 상기 광 다이오드와 연결된 광 검출 커패시터를 포함하는 제1 커패시터부, 상기 제1 노드에서 직렬로 연결되고 제3 노드를 사이에 배치한 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들을 포함하는 제2 커패시터부 및 상기 제3 노드와 연결되어 상기 광 다이오드의 광 검출에 따른 전원을 출력하는 광 검출 전원 출력부를 포함한다.
- [0015] 상기 제2 커패시터부는 일단에서 상기 제1 노드 및 상기 제1 직렬 연결 커패시터(Cp1) 사이에 연결된 제1 스위치를 포함할 수 있다. 상기 제2 커패시터부는 일단에서 상기 제1 노드에서 상기 제1 직렬 연결 커패시터의 일단과 연결되고 다른 일단에서 상기 제3 노드에서 상기 제1 직렬 연결 커패시터의 다른 일단과 연결된 가변 커패시터를 더 포함할 수 있다. 상기 제2 커패시터부는 상기 제3 노드에서 상기 제1 직렬 연결 커패시터의 다른 일단 및 상기 가변 커패시터의 다른 일단을 연결한 게이트를 포함하는 스위칭 소자를 통해 상기 광 전원부를 연결할 수 있다.
- [0016] 상기 제2 커패시터부는 상기 일단에서 상기 제1 노드 및 상기 제3 노드 사이에 연결되고 정상 동작 과정 중에 단락되는 제2 스위치를 포함할 수 있다. 상기 제2 커패시터부는 상기 일단에서 상기 제2 노드 및 접지 노드 사이에 연결된 제3 스위치를 더 포함할 수 있다. 상기 제2 커패시터부는 초기화 과정에서 상기 제1 및 제3 스위치들을 닫아서 상기 광 다이오드와 상기 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들을 초기화 할 수 있다. 상기 제2 커패시터부는 상기 초기화 과정이 지난 후에 상기 제1 및 제3 스위치들을 열어서 동작 대기를 유지하고, 상기 광 다이오드에서 발생된 광 전하를 상기 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들에 축적시킬 수 있다. 상기 제2 커패시터부는 상기 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들 각각의 정전용량을 필요에 따라 최소로 설정하거나 또는 가변하도록 설정할 수 있다.
- [0017] 상기 광 검출 전원 출력부는 상기 제3 노드와 연결된 소스 팔로워 소자를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0019] 개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 단광자 검출 장치는 저전압을 인가하는 광 다이오드를 통해 효율적으로 광을 검출할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 단광자 검출 장치는 PIN 구조의 광 다이오드에서 검출되는 미약한 전하 신호를 작은 크기의 제2 커패시터부에 있는 커패시터에 걸리게 함으로써 큰 전압신호로 변화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 제1 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.
- 도 2는 제2 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.
- 도 3은 제3 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.
- 도 4는 제4 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.
- 도 5는 제5 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 발명에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 본 발명의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0025] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.
- [0026] "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해

권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0027] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0028] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0029] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.

[0030]

[0031] 이하, 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0032] 도 1은 제1 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.

[0033] 도 1을 참조하면, 단광자 검출회로(100)는 광 다이오드(110), 스위치(S1)(120), 제1 커패시터(C1)(130), 제2 커패시터(Cpd)(140) 및 광 검출 전원 출력 노드(Vnode1)(150)를 포함한다.

[0034] 광 다이오드(110)는 PIN 구조로 구성될 수 있고, 광이 흡수되면 광 전류(Iph)에 의한 광전하(Qph)가 발생된다. 광 전하(Qph)는 다음의 [수학식 1]과 같이 산출될 수 있다.

[0035] [수학식 1]

[0036]
$$Q_{PH} = \int I_{PH} dt$$

[0037]

[0038] 제1 커패시터(C1)(130)는 광 다이오드(PD)(110)와 연결되고 스위치(S1)(120)가 닫히지면 광 다이오드(110)를 충전시키고, 제1 커패시터(130)는 방전된다. 결과적으로, 제1 커패시터(130)의 양단 사이의 초기 전압은 0 V로 설정된다.

[0039] 제2 커패시터(Cpd)(140)는 광 전원 출력 노드(Vnode1)에서 제1 커패시터(C1)(130)와 직렬 연결되어 광 다이오드(110)의 광 검출을 용이하게 할 수 있고, 제1 커패시터(C1)(130)의 크기는 제2 커패시터(Cpd)(140)의 크기보다 상대적으로 적을 수 있다.

[0040] 스위치(S1)(120)는 초기 전압이 설정되면 개방되어 광 다이오드(110)를 플로팅 시키고, 광 다이오드(110)의 광 검출로 인해 발생하는 광 전하(Qph)에 따라 광 전원 출력 노드(Vnode1)에 광 전하 생성 이전과 이후 다음의 [수학식 2]와 같은 전압 차이(ΔV)가 발생된다.

[0041] [수학식 2]

[0042]
$$\Delta V = \frac{Q_{PH}}{C_1 + C_{PD}}$$

[0043] 여기에서, Cpd는 광 다이오드(110) 양단의 커패시턴스에 해당한다.

[0044]

[0045] 도 2는 제2 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.

[0046] 도 2를 참조하면, 단광자 검출회로(200)는 광 다이오드(210), 제1 스위치(S1)(220), 제1 커패시터(C1)(230), 제2 커패시터(Cpd)(240), 광 검출 전원 출력 노드(Vnode1)(250) 및 제2 스위치(S2)(260)를 포함한다.

- [0047] 도 2는 도 1의 단광자 검출회로와 유사하므로, 다른 부분을 중심으로 설명한다.
- [0048] 제1 커패시터(C1)(230)는 광 다이오드(PD)(210)와 연결되고 제1 스위치(S1)(220) 및 제2 스위치(S2)(260)가 닫히면 광 다이오드(110)를 충전시키고, 제1 커패시터(230)는 방전된다. 결과적으로, 제1 커패시터(230)의 양단 사이의 초기 전압은 0 V로 설정된다.
- [0049] 제2 커패시터(Cpd)(240)는 광 전원 출력 노드(Vnode1)에서 제1 커패시터(C1)(230)와 직렬 연결되어 광 다이오드(110)의 광 검출을 용이하게 할 수 있고, 제1 커패시터(C1)(230)의 정전용량은 제2 커패시터(Cpd)(240)의 정전용량보다 상대적으로 적을 수 있다.
- [0050] 제1 스위치(S1)(220) 및 제2 스위치(S2)(260)는 초기 전압이 설정되면 개방되어 광 다이오드(110)를 플로팅시켜 광 다이오드(210)를 동작 대기 상태로 유지시킨다.
- [0051] 광 다이오드(210)는 광을 흡수하고 광 전하를 생성시키면 광 검출 전원 출력 노드(Vnode1)(250)에서 발생된 광 전하 생성 이전과 이후의 전압 차이(ΔV)는 다음의 [수학식 3]와 같이 산출된다.
- [0052] [수학식 3]
- $$\Delta V = \frac{Q_{PH}}{C_1}$$
- [0053]
- [0054]
- [0055] 전압 차이(ΔV)는 제1 커패시터(C1)(230)가 작은 경우 큰 전압 차이를 생성할 수 있게 할 수 있다.
- [0056] 광 다이오드(PD)(210)는 초기 충전 후 플로팅되면 전압 차이(ΔV)의 증가에 따라 양단의 전압을 감소시킬 수 있으나, 전압 차이(ΔV)가 작은 경우 큰 문제를 일으키지 않는다. 만일 전압 차이(ΔV)가 커서 광 다이오드(210)의 동작에 문제가 되는 경우에는 단 광자 검출회로(200)를 초기화 (즉, S1과 S2를 닫아서 PD와 C1을 초기 상태로 전환한 후 S1과 S2를 열어서 동작 대기 상태 유지)한 후 사용할 수 있다.
- [0057]
- [0058] 도 3은 제3 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.
- [0059] 도 3을 참조하면, 단광자 검출회로(300)는 광 다이오드(PD)(310), 제1 커패시터부(301), 제2 커패시터부(302) 및 광 검출 전원 출력부(303)를 포함한다.
- [0060] 광 다이오드(PD)(310)는 PIN 구조로 구성될 수 있고, 광 검출을 통해 발생된 광 전하를 제1 및 제2 커패시터부들(301, 302)를 거쳐 광 검출 전원 출력부(303)에 전달한다.
- [0061] 제1 커패시터부(301)는 광 검출 커패시터(Cpd)(320)를 포함하고, 광 검출 커패시터(Cpd)(320)는 제1 및 노드들(N1, N2)을 통해 광 다이오드(PD)(310)와 연결된다. 광 검출 커패시터(Cpd)(320)의 정전용량은 제2 커패시터부(302)에 있는 적어도 하나의 커패시터(Cp1, Cp2)(350a, 350b) 각각의 정전용량보다 상대적으로 클 수 있다.
- [0062] 제2 커패시터부(302) 제1 내지 제3 스위치들(S1~S3)(330a~330c)과 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(350a, 350b)을 포함한다. 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(350a, 350b)은 제1 내지 제2 스위치들(S1~S2)(330a~330b)를 통해 제1 노드(N1)에서 직렬로 연결된다. 또한, 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(350a, 350b)은 제3 노드(N3)를 중심으로 배치될 수 있다.
- [0063] 제1 스위치(S1)(330a)는 일단에서 제1 노드(N1) 및 제1 직렬 연결 커패시터(Cp1)(350a) 사이에 연결된다. 제2 스위치(S2)(330b)는 일단에서 제1 노드(N1) 및 제3 노드(N3) 사이에 연결되고 정상 동작 과정 중에 닫혀진다. 제3 스위치(S3)(330c)는 일단에서 제2 노드(N2) 및 접지 노드 사이에 연결된다. 여기에서, 스위치 개폐로 초기화 및 동작과정을 설명하면 다음과 같다.
- [0064] 제2 스위치(S2)(330b)는 동작 과정에서 지속적으로 연결된 상태를 유지할 수 있다. 단광자 검출회로(300)는 제1 및 제3 스위치들(S1, S3)을 닫아서 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)과 광 다이오드(PD)를 초기화하고, 제1 및 제3 스위치들(S1, S3)을 열어서 동작 대기를 수행한다. 이러한 동작 대기 과정에서, 광 다이오드(PD)가 빛에 의한 전하(QPH)를 발생시키면, 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)은 전하(QPH)를 축적하게 되고, 노드(Vnode)에서 $QPH/(Cp1 + Cp2)$ 만큼의 전압 변화가 발생한다. 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)의 값이 충분히 작을 때, 작은 전하 값에 대하여 노드(Vnode) 전압을 충분히 발생시켜 단광자(single photon detection)에

사용한다. 단광자에 의한 전하(QPH)의 크기는 전자의 전하량에 해당하는 1.6×10^{-19} C으로 극히 작으나, 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)의 크기가 1 fF 정도로 조절하면, 0.16 mV 정도의 신호가 발생하므로 이를 증폭하여 단광자 검출에 이용할 수 있다.

- [0065] 광 검출 전원 출력부(303)는 제3 노드(N3)와 연결되어 광 다이오드(PD)(310)의 광 검출에 따른 전원을 출력한다. 광 검출 전원 출력부(303)는 제1 및 제3 스위치들(S1, S3)(330a, 330c)을 통해 광 다이오드(PD)(310)를 초기화 한 후 광 다이오드(PD)가 빛에 의한 전하(QPH)를 발생시키면 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)(350a, 350b)의 전압 변화를 통해 광 검출을 수행할 수 있다.
- [0067] 도 4는 제4 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.
- [0068] 도 4를 참조하면, 단광자 검출회로(400)는 광 다이오드(PD)(410), 제1 커패시터부(401), 제2 커패시터부(402) 및 광 검출 전원 출력부(403)를 포함한다.
- [0069] 광 다이오드(PD)(410)는 PIN 구조로 구성될 수 있고, 광 검출을 통해 발생된 광 전하를 제1 및 제2 커패시터부들(401, 402)를 거쳐 광 검출 전원 출력부(403)에 전달한다.
- [0070] 제1 커패시터부(401)는 광 검출 커패시터(Cpd)(420)를 포함하고, 광 검출 커패시터(Cpd)(420)는 제1 및 노드들(N1, N2)을 통해 광 다이오드(PD)(410)와 연결된다. 광 검출 커패시터(Cpd)(420)의 정전용량은 제2 커패시터부(402)에 있는 적어도 하나의 커패시터(Cp1, Cp2)(450a, 450b) 각각의 정전용량보다 상대적으로 클 수 있다.
- [0071] 제2 커패시터부(402) 제1 내지 제3 스위치들(S1~S3)(430a~430c)과 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(450a, 450b)을 포함한다. 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(450a, 450b)은 제1 내지 제2 스위치들(S1~S2)(430a~430b)를 통해 제1 노드(N1)에서 직렬로 연결된다. 또한, 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(450a, 450b)은 제3 노드(N3)를 중심으로 배치될 수 있다.
- [0072] 제1 스위치(S1)(430a)는 일단에서 제1 노드(N1) 및 제1 직렬 연결 커패시터(Cp1)(450a) 사이에 연결된다. 제2 스위치(S2)(430b)는 일단에서 제1 노드(N1) 및 제3 노드(N3) 사이에 연결되고 정상 동작 과정 중에 닫혀진다. 제3 스위치(S3)(430c)는 일단에서 제2 노드(N2) 및 접지 노드 사이에 연결된다. 여기에서, 스위치 개폐로 초기화 및 동작과정은 도 3과 실질적으로 동일하므로, 이에 관한 설명은 생략한다.
- [0073] 광 검출 전원 출력부(403)는 제3 노드(N3)와 연결되어 광 다이오드(PD)(410)의 광 검출에 따른 전원을 출력한다. 광 검출 전원 출력부(303)는 제1 및 제3 스위치들(S1, S3)(430a, 430c)을 통해 광 다이오드(PD)(410)를 초기화 한 후 광 다이오드(PD)가 빛에 의한 전하(QPH)를 발생시키면 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)(450a, 450b)의 전압 변화를 통해 광 검출을 수행할 수 있다. 일 실시예에서, 광 검출 전원 출력부(403)는 증폭기의 입력단을 nMOSFET(470)으로 구성한 소스 팔로워를 쓰는 회로로 적용할 수 있다. nMOSFET(470)의 입력 커패시턴스는 미세공정의 경우 1 fF 정도의 극히 작은 값을 가져 광 다이오드(PD)(410)의 입력에 대하여 의미 있는 전압변화를 생성한다. 일 실시예에서, nMOSFET(470)의 게이트단은 일정한 전압(예를 들어, VDD)으로 초기화된 후, 광 다이오드(PD)(410)에서 발생한 전하량에 따라 생성된 Vnode 전압의 변화를 증폭할 수 있다.
- [0075] 도 5는 제5 단광자 검출회로를 나타내는 회로도이다.
- [0076] 도 5를 참조하면, 단광자 검출회로(500)는 광 다이오드(PD)(510), 제1 커패시터부(501), 제2 커패시터부(502) 및 광 검출 전원 출력부(503)를 포함한다.
- [0077] 광 다이오드(PD)(510)는 PIN 구조로 구성될 수 있고, 광 검출을 통해 발생된 광 전하를 제1 및 제2 커패시터부들(501, 502)를 거쳐 광 검출 전원 출력부(503)에 전달한다.
- [0078] 제1 커패시터부(501)는 광 검출 커패시터(Cpd)(520)를 포함하고, 광 검출 커패시터(Cpd)(520)는 제1 및 노드들(N1, N2)을 통해 광 다이오드(PD)(510)와 연결된다. 광 검출 커패시터(Cpd)(520)의 정전용량은 제2 커패시터부(502)에 있는 적어도 하나의 커패시터(Cp1, Cp2)(550a, 550b) 각각의 정전용량보다 상대적으로 클 수 있다.
- [0079] 제2 커패시터부(502)는 제1 내지 제3 스위치들(S1~S3)(530a~530c), 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(550a, 550b), 가변 커패시터(570) 및 스위칭 소자(580)를 포함한다. 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(550a, 550b)은 제1 내지 제2 스위치들(S1~S2)(530a~530b)를 통해 제1 노드(N1)에서 직렬로 연결된다. 또한, 제1 및 제2 직렬 연결 커패시터들(Cp1, Cp2)(550a, 550b)은 제3 노드(N3)를 중심으로 배치될 수 있다.

- [0080] 가변 커패시터(570)는 일단에서 제1 노드(N1)에서 제1 직렬 연결 커패시터(550a)의 일단과 연결되고, 다른 일단에서 제3 노드(N3)에서 제1 직렬 연결 커패시터(550a)의 다른 일단과 연결될 수 있다.
- [0081] 스위칭 소자(580)(예를 들어, nMOSFET)의 게이트는 제3 노드(N3)에서 제1 직렬 연결 커패시터(550a)의 다른 일단 및 가변 커패시터(570)의 다른 일단을 연결한다. 스위칭 소자(580)의 소스는 제1 노드(N1)에서 제1 직렬 연결 커패시터(550a)의 일단 및 가변 커패시터(570)의 일단을 연결하고, 드레인은 제2 직렬 커패시터(Cp2)(550b)의 접지 연결단을 연결할 수 있다.
- [0082] 제1 스위치(S1)(430a)는 일단에서 제1 노드(N1) 및 제1 직렬 연결 커패시터(Cp1)(550a) 사이에 연결된다. 제2 스위치(S2)(530b)는 일단에서 제1 노드(N1) 및 제3 노드(N3) 사이에 연결되고 정상 동작 과정 중에 닫혀진다. 제3 스위치(S3)(430c)는 일단에서 제2 노드(N2) 및 접지 노드 사이에 연결된다. 단광자 검출회로(300)는 제1 및 제3 스위치들(S1, S3)을 닫아서 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2) 및 가변 커패시터(CV)와 광 다이오드(PD)를 초기화하고, 제1 및 제3 스위치들(S1, S3)을 열어서 동작 대기를 수행한다. 이러한 동작 대기 과정에서, 광 다이오드(PD)가 빛에 의한 전하(QPH)를 발생시키면, 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)과 가변 커패시터(CV)은 전하(QPH)를 축적하게 되고, 노드(Vnode)에서 $QPH/(Cp1 + Cp2 + CV)$ 만큼의 전압 변화가 발생한다. 가변 커패시터(570)는 광자 입사에 따라 전압 변화를 줄일 필요가 있을 때 연결되어, 게인(전압변화/광 전하의 비율)을 조절하는데 사용된다.
- [0084] 광 검출 전원 출력부(503)는 제3 노드(N3)와 연결되어 광 다이오드(PD)(510)의 광 검출에 따른 전원을 출력한다. 광 검출 전원 출력부(503)는 제1 및 제3 스위치들(S1, S3)(530a, 530c)을 통해 광 다이오드(PD)(510)를 초기화 한 후 광 다이오드(PD)가 빛에 의한 전하(QPH)를 발생시키면 제1 및 제2 직렬 커패시터들(Cp1, Cp2)(550a, 550b)의 전압 변화를 통해 광 검출을 수행할 수 있다. 일 실시예에서, 광 검출 전원 출력부(503)는 증폭기의 입력단을 nMOSFET(580)으로 구성된 소스 팔로워를 쓰는 회로로 적용할 수 있다. nMOSFET(480)의 입력 커패시턴스는 미세공정의 경우 1 fF 정도의 극히 작은 값을 가져 광 다이오드(PD)(510)의 입력에 대하여 의미 있는 전압변화를 생성한다. 일 실시예에서, nMOSFET(580)의 게이트단은 일정한 전압(예를 들어, VDD)으로 초기화된 후, 광 다이오드(PD)(510)에서 발생한 전하량에 따라 생성된 Vnode 전압의 변화를 증폭할 수 있다.
- [0086] 본 발명의 일 실시예에 따른 단광자 검출 장치(100, 200, 300, 400, 500)는 단광자 및 미세광자를 검출할 수 있는 회로를 포함하고, 광자 검출의 정밀도를 하나의 광자까지 높일 수 있다. 기존의 단광자 검출은 SPAD(Single Photon Avalanche Photodiode)로 구성하여 단광자 입력에 대해 여러 개의 전자정공쌍으로 증폭할 수 있는 애벌런치 광 검출기(avalanche photodiode)와 증폭기를 포함하는데, 애벌런치 광 검출기는 고전압을 인가해야 한다. 이로 인해, 애벌런치 광 검출기의 특성은 인가전압 및 온도 변화에 따라 많이 바뀌게 되어 까다로운 동작조건을 맞춰야 한다. 또한, 애벌런치 광 검출기는 고전압으로 인가된 애벌런치 광 검출기에서 주기적으로 발생하는 암전류를 일반 광신호와 분리하는 것이 불가능하여 잘못된 광 입사 신호를 발생시킬 수 있다.
- [0087] 기존의 기술과 다르게, 본 발명의 일 실시예에 따른 단광자 검출 장치(100, 200, 300, 400, 500)는 저전압을 인가하는 PIN 구조의 광 다이오드를 이용하고, 작은 전하 신호를 작은 커패시터의 양단에 걸리게 함으로써 큰 전압신호로 변환하는 방법을 이용할 수 있다. 단광자 및 미세광자 검출 기능은 실리콘 광증폭기(Si Photomultiplier), LIDAR(Light Detection and Ranging), PET (Positron Emission Tomography)등 다양한 분야에서 사용될 수 있다.
- [0088] PIN 구조의 광 다이오드는 증폭 특성이 없이 입력된 광자 한 개에 대하여 한 개 이하의 전자정공쌍을 생성하고 이중 전자만(+) 전극으로 이동하여 포집한다. 광자 1 개에 해당하는 전자 1 개의 전하를 이용하여 충분히 큰 전압을 발생하기 위해서는 해당 전자가 작은 커패시턴스에 충전이 되어야 한다 ($V=Q/C$). 하지만 면적이 큰 PIN 구조의 광 다이오드의 경우 스스로 큰 커패시턴스(약 pF 단위)를 가지고 있어서 Q/C 식에 의하여 Q는 작고 C는 큰 상태이므로, 한 개의 전자만으로는 충분한 전압의 생성이 어렵다.
- [0089] 이와 같은 어려움을 해결하고자 도2 내지 도5와 같은 회로를 구성한다. 1 개의 커패시터와 PIN 구조의 광 다이오드를 직렬로 연결한 후 초기화 하고 (C1의 양단 전압은 0 V, pin PD의 양단 전압은 VDD), PIN 구조의 광 다이오드의 접지쪽 연결을 열면(open), PIN 구조의 광 다이오드로부터 발생된 전자 전하(-q)가 들어가면 C1으로 들어간다. C1의 양단에 q만큼의 양전하가 모이게 되어, C1이 작은 상태에서 q/C1만큼의 상대적으로 큰 전압이 발생하게 되고, 이를 증폭하여 단광자 검출에 사용한다.
- [0090] 이를 위해, 작은 크기의 C1가 구현될 수 있고, C1는 Vnode 에서 VDD 및 접지로 연결된 모든 커패시터의 총합에

해당하는 값이므로, C1를 작게 하기 위하여 nMOSFET을 소스 팔로워로 연결된 회로를 사용할 수 있다.

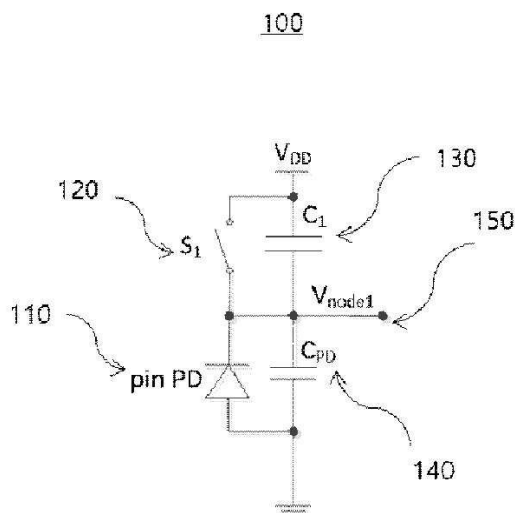
[0092] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

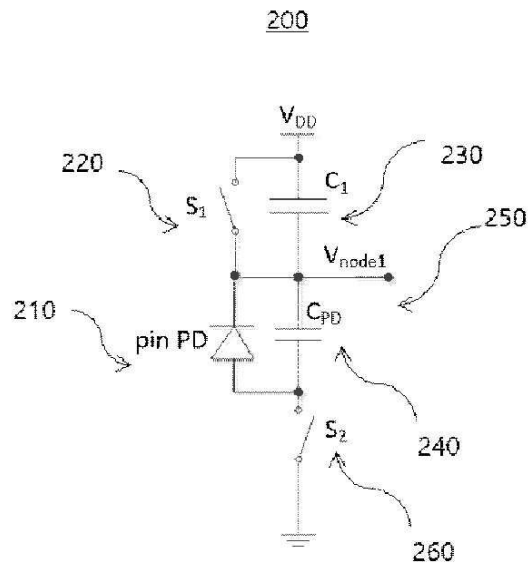
[0094] 100 : 단광자 검출회로 110 : 광 다이오드(110)
 120 : 스위치 130 : 제1 커패시터
 140 : 제2 커패시터 150 : 광 검출 전원 출력 노드
 200 : 단광자 검출회로 210 : 광 다이오드
 220 : 제1 스위치 230 : 제1 커패시터(C1)
 240 : 제2 커패시터 250 : 광 검출 전원 출력 노드
 260 : 제2 스위치
 300 : 단광자 검출회로 310 : 광 다이오드
 301 : 제1 커패시터부 302 : 제2 커패시터부
 303 : 광 검출 전원 출력부
 400 : 단광자 검출회로 410 : 광 다이오드
 401 : 제1 커패시터부 402 : 제2 커패시터부
 403 : 광 검출 전원 출력부
 500 : 단광자 검출회로 510 : 광 다이오드
 501 : 제1 커패시터부 502 : 제2 커패시터부
 503 : 광 검출 전원 출력부

도면

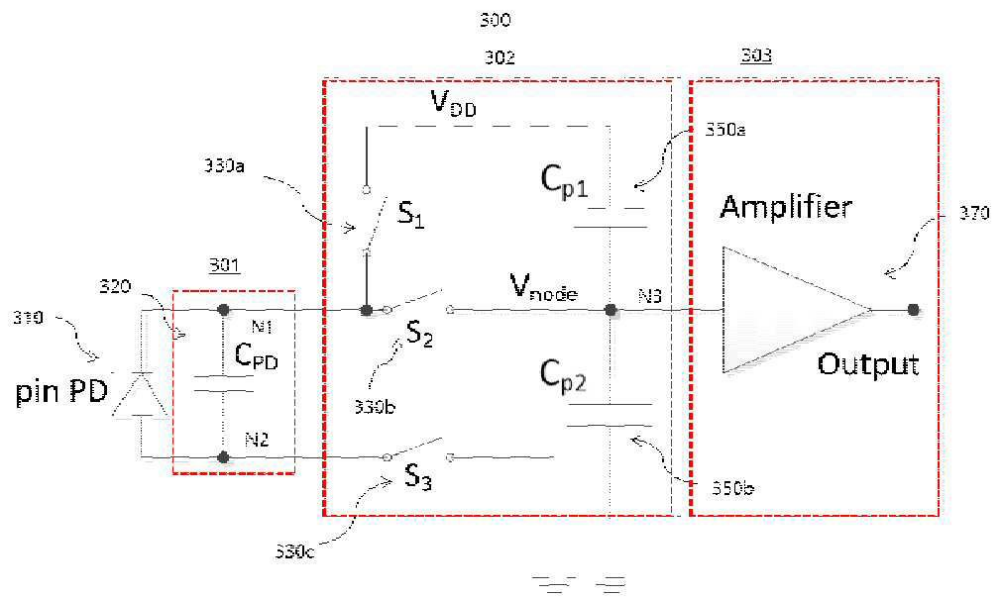
도면1



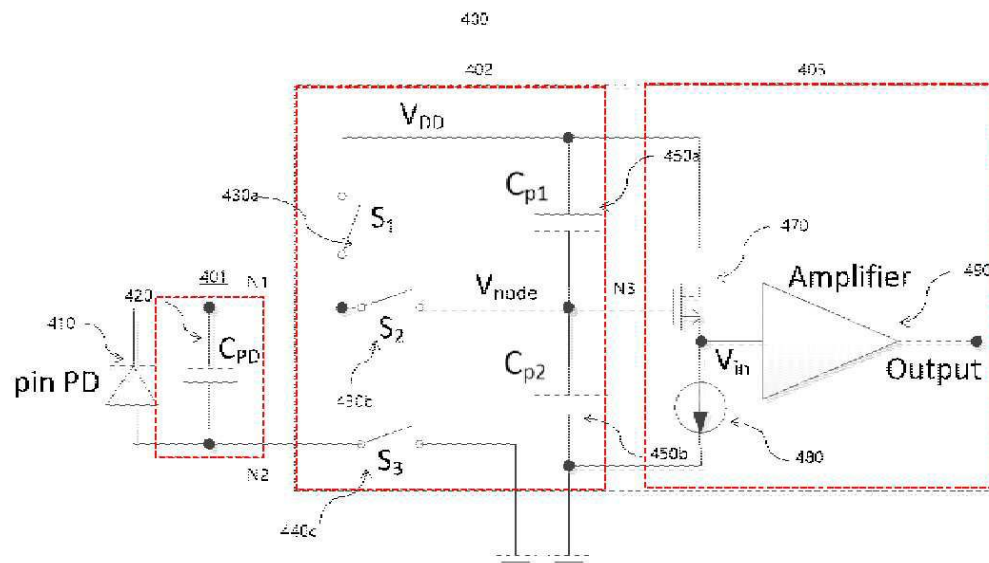
도면2



도면3



도면4



도면5

