



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년04월20일
(11) 등록번호 10-2523462
(24) 등록일자 2023년04월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 49/02 (2006.01) H01J 49/30 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 49/025 (2013.01)
H01J 49/30 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7012809(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2017년05월12일
심사청구일자 2022년04월18일
- (85) 번역문제출일자 2022년04월18일
- (65) 공개번호 10-2022-0054450
- (43) 공개일자 2022년05월02일
- (62) 원출원 특허 10-2019-7036883
원출원일자(국제) 2017년05월12일
심사청구일자 2020년05월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/032447
- (87) 국제공개번호 WO 2018/208318
국제공개일자 2018년11월15일
- (56) 선행기술조사문헌
JP2009080124 A*
JP2016024941 A*
JP61248345 A*
WO2017042293 A1*

- (73) 특허권자
노바 메주어링 인스트루먼트 인크.
미국, 캘리포니아 95051, 산타 클라라, 오그메드 빌리지 드라이브 3090
- (72) 발명자
베비스 크리스토퍼 에프.
미국, 95030 캘리포니아, 로스 개토스, 칼리지 애비뉴 81
리우 영먼 엘런
미국, 94087 캘리포니아, 서니베일, 릴릭 드라이브 1105
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
강명구, 박윤원

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 이별섭

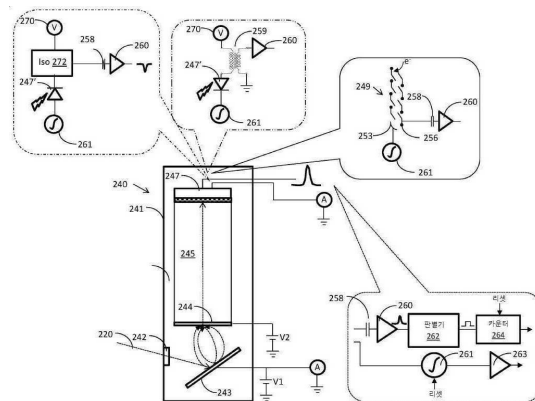
(54) 발명의 명칭 질량 분석계 검출기 및 이를 이용한 시스템 및 방법

(57) 요약

2차 이온 질량 분석계용 이온 검출기가 개시된다. 상기 검출기는 제 1 전위에 결합되고 이온 입사시 전자를 방출하도록 구성된 전자 방출 플레이트; 상기 제 1 전위와는 다른 제 2 전위에 결합된 신틸레이터 - 상기 신틸레이터는 상기 전자 방출 플레이트와 대면하는 전면과, 후면을 가지며, 상기 신틸레이터는 전면에서 전자의 입사시

(뒷면에 계속)

대표도



후면으로부터 광자를 방출하도록 구성됨; 신틸레이터의 후면에 결합되고 신틸레이터의 후면으로부터 방출된 광자의 흐름을 제한하는 도파관; 및 상기 도파관에 결합되고 상기 도파관으로부터의 광자의 입사에 대응하는 전기 신호를 출력하도록 구성된 출력을 갖는 고상 포토멀티플라이어 (solid-state photomultiplier)를 포함한다. SIMS 시스템은 질량 분석기의 초점 평면 위에 배열된 이동가능한 복수의 이러한 검출기를 포함한다.

(72) 발명자

리드 데이빗 앨런

미국, 94002 캘리포니아, 벨몬트, 세인트 제임스
로드 2743

체페츠 엘리

이스라엘, 52514 라맛 간, 맥도널드 스트리트 8아

헝가튼 아밋

이스라엘, 5233453 라맛 간, 하사 모쉬 스트리트 81

카디쉬비치 알렉산더

이스라엘, 텔 아비브, 카플란 스트리트 7

명세서

청구범위

청구항 1

2차 이온 질량 분석계로서,
 1차 이온 빔을 제공하는 이온 소스;
 1차 이온 빔에 의해 샘플로부터 스퍼터링 된 2차 이온을 수집하는 2차 이온 추출기;
 2차 이온 추출기로부터 2차 이온을 수용하고 2차 이온 빔을 형성하는 빔 형성 광학계;
 초점면 상에 궤도를 형성하는 질량 분석기;
 초점면을 따라 이동가능하게 위치된 복수의 이온 검출기를 포함하되,
 상기 이온 검출기들 각각은 :
 2차 이온의 충돌시 전자를 방출하도록 구성된 제 1 섹션;
 전자의 충돌시 광자를 방출하도록 구성된 제 2 섹션;
 광자 충돌시 전기 신호를 방출하도록 구성된 제 3 섹션; 및
 일단은 제 2 섹션에 그리고 타단은 제 3 섹션에 결합되고 광자의 궤적을 제한하는 도파관을 포함하며,
 각각의 검출기의 제 3 섹션은 공통 바이어스 입력 라인 및 공통 출력 라인을 갖는 복수의 애벌랜치 포토다이오드를 포함하며,
 상기 공통 바이어스 입력 라인에 결합되고 개별 이벤트 카운트 출력을 제공하도록 구성된 디지털 이벤트 카운터; 및
 공통 출력 라인에 결합되고 디지털 이벤트 카운터로부터 개별 이벤트 카운트 출력과 동시에 통합된 아날로그 출력을 제공하도록 구성된 아날로그 적분기를 더욱 포함하며,
 상기 2차 이온 질량 분석계가 교정 계수(calibration factor)를 생성하기 위해 상기 개별 이벤트 카운트 출력과 상기 통합된 아날로그 출력을 사용하는, 2차 이온 질량 분석계.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 원하는 질량 대 전하 비의 대역 내의 2차 이온 만이 통과하도록 구성된 분광계를 더 포함하는 2차 이온 질량 분석계.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,
 제 1 섹션은 제 1 전위에 결합되고 이온 입사시 전자를 방출하도록 구성된 전자 방출 플레이트를 포함하고;
 제 2 섹션은 제 1 전위와는 다른 제 2 전위에 연결된 신틸레이터를 포함하고, 신틸레이터는 전자 방출 플레이트를 향하는 전면과, 후면을 가지며, 신틸레이터는 전면에 전자의 입사시 후면으로부터 광자를 방출하도록 구성되는, 2차 이온 질량 분석계.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 디지털 이벤트 카운터는 커패시터 또는 변압기를 통해 상기 공통 바이어스 입력 라인에 결합되는 2차 이온 질량 분석계.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 제 3 섹션은, 상기 도파관에 결합되고 상기 도파관으로부터의 광자의 입사에 대응하는 전기 신호를 출력하도록 구성된 출력을 갖는, 고상 포토멀티플라이어를 포함하는 2차 이온 질량 분석계.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 제 3 섹션은 전자 멀티플라이어를 포함하고, 상기 제 3 섹션은 상기 전자 멀티플라이어의 다이노드에 연결되고 개별 이벤트 카운트 출력을 제공하도록 구성된 디지털 이벤트 카운터; 및 상기 전자 멀티플라이어의 컬렉터에 결합되고 상기 디지털 이벤트 카운터로부터 개별 이벤트 카운트 출력과 동시에 통합된 아날로그 출력을 제공하도록 구성된 아날로그 적분기를 더 포함하는 2차 이온 질량 분석계.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 2차 이온 질량 분석계의 분야에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 개선된 질량 분석계 검출기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2차 이온 질량 분석법(SIMS)은 집속된 1차 이온 빔으로 샘플의 표면을 스퍼터링하여 샘플로부터 탈출하는 2차 이온을 수집 및 분석함으로써 샘플의 조성을 분석하는 데 사용되는 기술이다. 따라서, 샘플의 원소, 동위 원소 또는 분자 조성을 결정하기 위해, 이러한 2차 이온에 대한 질량/전하 비가 질량 분석기를 이용한 공간적 분리에 의해 간접적으로 측정된다. 2차 이온은 패러데이 컵(Faraday cup) 또는 전자 멀티플라이어(electron multiplier)의 두 가지 방법 중 하나를 사용하여 감지된다. 패러데이 컵은 금속 컵을 때리는 이온 전류를 측정하며 때로는 고전류 2차 이온 신호에 사용된다. 전자 멀티플라이어에서, 단일 이온의 충격은 전자 캐스케이드(electron cascade)에서 시작하여 전자들의 펄스가 직접 기록된다. 전자 멀티플라이어는 일련의 개별 다이노드, 채널 전자 멀티플라이어 또는 마이크로채널 판을 포함할 수 있다.

[0003] 일반적으로, 질량 분석계는 카운팅 모드 및 아날로그 모드의 두 가지 방식으로 작동한다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 디지털 모드는 검출기의 특성에 따라 약 1×10^6 이온/초까지 유효하다. 아날로그 모드는 약 1×10^8 이온/초 이상에서 유효하다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 제 1 문제는 1×10^6 이온/초 내지 약 1×10^8 이온/초 사이에 검출 갭이 있다는 것이며, 이는 디지털 모드가 개별 이벤트들을 분리시키기에는 전류가 너무 높고, 도달하는 이온을 추정하기 위한 관독을 제공하기에는 전류가 불충분하기 때문이다. 도 1a에서 나타나지 않는 다른 문제는 디지털 모드와 아날로그 모드 사이의 상관 관계가 정확하지 않고 반복적이지 않다는 점이다. 따라서 디지털 모드와 아날로그 모드 사이를 전환할 때 관독에서 인공적인 "점프"를 얻는다. 이러한 문제는 다음을 통해 보다 완벽하게 이해할 수 있다.

[0004] 펄스 카운팅 모드에서, 각각의 개별 입자는 검출기 출력 신호에서 "이벤트"를 생성하는 것으로 가정되며, 이는 식별 및 카운팅될 수 있다. 펄스 카운팅 모드는 각각의 들어오는 입자가 단일의 검출된 이벤트를 생성한다고 가정하기 때문에 본질적으로 정량화되는 장점을 갖는다(이러한 경우에, 펄스 높이, 총 전하, 등과 같은 정량적 성질에 대해 각각의 이벤트를 특성화하려 시도하지 않음에 주목하는 것이 중요함). 펄스 카운팅 모드의 두 가지 한계는 적절한 식별을 위해, (1) 들어오는 각 입자(또는 적어도 충분한 비율의 입자들)가 검출 임계치를 넘는 이벤트를 생성해야 하고, (2) 펄스 형상 및 길이가 주어졌을 때, 독립적으로 검출될 수 있도록 임의의 2개의 입자를 분리와 함께 도달해야 한다는 점이다. 따라서, 펄스 카운팅 모드는 비교적 낮은 이온 도달률의 검출로 제한된다. 이온 도달률은 포아송 공정에 의해 기술되는 것으로 가정되고, 신틸레이터에서 변환 다이노드 및 광자상의 전자의 생성이 또한 통계적 공정에 의해 기술된다.

[0005] 이온 펄스가 독립적으로 검출가능하도록 시간적으로 충분히 분리되는 형태로 평균 이온 도달률이 결정될 수 있지만, 이온 도달률의 분포는 이 경우에 소정의 비율이 시간상 너무 가까이 발생함을 나타낸다. 이러한 이유로,

카운팅을 사용할 수 있는 최대 이온 도달률은 펄스 적층으로 인해 얼마 정도의 비율의 이벤트를 놓칠 수 있는지의 사양을 포함하여야 한다. 이 비율은 일부 이벤트의 미-검출에도 불구하고 진실한 카운트의 유효한 통계적 추정을 이룰수 있도록 하여야 한다.

[0006] 아날로그 모드와 관련하여, SIMS 기기는 일반적으로 전류가 이온의 도달 속도에 비례하는 패러데이 컵 방식을 사용한다. 그러나, 약 1x10s/초 이하의 속도에서, 전류가 측정하기에는 너무 낮다. 아날로그 모드에서 전자 멀티플라이어를 사용하는 것은 정확하지 않다. 이것은 신틸레이터에서 다이노드, 채널 벽 및/또는 광자 방출에서의 2차 전자 방출 통계에 기인한다. 이러한 단기 변형 외에도 변환 다이노드의 표면 상태, 신틸레이터의 노화, PMT 광 음극 및 다이노드 등의 변화로 인한 장기 변형도 있다. 이러한 이유 및 기타 이유로 인해 아날로그 모드에서 작동하는 경우 유입 이온 당 퍼센트 평균 펄스 면적을 정확하게 알지 않는 한, 유입 이온 플럭스를 측정하기 위해 일 수집의 모든 펄스 아래 통합 영역을 사용하는 것이 불가능하다. 이러한 이유로, 전자 멀티플라이어를 사용하여, 다이노드, 신틸레이터 및 검출기의 특성에 의해 결정되는 특정 값 이상의 이온 도달률의 정확한 측정은 불가능하다.

[0007] 따라서, 들어오는 이온의 분리를 가능하게 하기 위해 보다 빠른 검출 속도를 갖는 개선된 검출기가 필요하다. 들어오는 이온 당 평균 펄스 면적을 교정하여 이온 도달률에 대한 정확한 아날로그 모드 측정을 가능하게 하는 방법도 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 다음의 요약은 본 발명의 일부 측면 및 특징의 기본적인 이해를 제공하기 위해 포함된다. 이 요약은 본 발명의 포괄적인 개요가 아니며, 따라서 본 발명의 핵심 또는 중요한 요소를 식별하거나 본 발명의 범위를 설명하기 위한 것이 아니다. 그 유일한 목적은 본 발명의 일부 개념을하기 위해 제시되는 보다 상세한 설명의 서두로서 간략화된 형태로 제시하는 것이다.

[0009] 본 발명의 양태는 질량 분석에 사용하기 위한 개선된 이온 검출기를 제공한다. 개선된 검출기는 상승 및 감쇠 시간이 빠르므로 디지털 모드에서 검출 이벤트를 더 잘 분리할 수 있다. 검출기는 또한 신호 대 잡음비를 개선하여 검출 성능을 향상시킨다.

[0010] 발명의 양태에 따르면, SIMS 용 이온 검출기가 제공되며, 상기 이온 검출기는, 제 1 전위에 결합되고 이온 입사 시 전자를 방출하도록 구성된 전자 방출 플레이트; 상기 제 1 전위와는 다른 제 2 전위에 결합된 신틸레이터 - 상기 신틸레이터는 상기 전자 방출 플레이트와 대면하는 전면, 및 후면을 가지며, 상기 신틸레이터는 전면에서 전자의 입사시 후면으로부터 광자를 방출하도록 구성됨; 신틸레이터의 후면에 결합되고 신틸레이터의 후면으로부터 방출된 광자의 흐름을 제한하는 도파관; 및 상기 도파관에 결합되고 상기 도파관으로부터의 광자의 입사에 대응하는 전기 신호를 출력하도록 구성된 출력을 갖는 고상 포토멀티플라이어(solid-state photomultiplier)를 포함한다. 고상 포토멀티플라이어는 실리콘 포토멀티플라이어 또는 단일 전기 신호를 제공하기 위해 함께 결합된 출력을 갖는 애벌랜치 포토다이오드 어레이일 수 있다. 도파관은 광자를 고상 포토멀티플라이어로 향하게 하는 반사 표면을 가질 수 있다. 고상 포토멀티플라이어는 도파관의 후면에 결합될 수 있다.

[0011] 다양한 실시예에서, 여러 검출기가 공간적으로 분리되어 제공되어 여러 종이 동시에 검출될 수 있다. 개시된 실시예에서, 검출기는 이동 가능하며, 검출기의 공간적 위치에 의해 동일한 검출기가 상이한 중을 검출하는데 사용될 수 있다. 따라서, 재료 조성이 미리 공지되어있을 때, 예를 들어 반도체 웨이퍼상의 다양한 재료 층들에서, 검출기들은 그 샘플로부터 예상되는 중들을 검출하기 위해 공간적으로 배열될 수 있다. 그런 다음 각 검출기의 계수를 사용하여 샘플이 예상 농도 및 깊이, 예를 들어 예상 도핑 레벨에서 예상 중을 가지고 있는지 확인할 수 있다. 유사하게, 상이한 검출기로부터의 계수는 상이한 물질의 2 개의 층 사이의 계면의 조성을 연구하는데 사용될 수 있다.

[0012] 따라서, 개시된 양태들에 따르면, 1차 이온 빔을 제공하는 이온 소스; 1차 이온 빔에 의해 샘플로부터 스퍼터링된 2차 이온을 수집하는 2차 이온 추출기; 2차 이온 추출기로부터 2차 이온을 수송하고 2차 이온 빔을 형성하는 빔 형성 광학계; 초점면 상에 궤도를 형성하는 질량 분석기; 초점면을 따라 이동 가능하게 위치된 복수의 이온

검출기를 포함하는 제 2 이온 질량 분석 시스템이 제공되며, 상기 이온 검출기들 각각은, 2차 이온의 충돌시 전자를 방출하도록 구성된 제 1 섹션; 전자 충돌시 광자를 방출하도록 구성된 제 2 섹션; 광자 충돌시 전기 신호를 방출하도록 구성된 제 3 섹션; 및 일 단부가 상기 제 2 섹션에 연결되고 타 단부가 상기 제 3 섹션에 연결되는 도파관을 포함한다.

[0013] 다양한 실시 양태에서, 2차 이온 질량 분석계는 원하는 질량 대 전하 비의 대역 내의 2차 이온 만이 통과하도록 구성된 분광계를 추가로 포함할 수 있다. 질량 분석기는 분광계; 복수의 쿼드러폴(quadrupoles); 적어도 하나의 헥사 폴; 및 메인 자석을 포함할 수 있다. 제 1 섹션은, 제 1 전위에 결합되고 이온 입사시 전자를 방출하도록 구성된, 전자 방출 플레이트를 포함할 수 있다. 제 2 섹션은 제 1 전위와는 다른 제 2 전위에 연결된 신틸레이터를 포함할 수 있고, 신틸레이터는 전자 방출 플레이트와 대면하는 전면, 및 후면을 가지며, 신틸레이터는 전면에서 전자의 입사시 후면으로부터 광자를 방출하도록 구성된다. 제 3 섹션은 도파관에 결합되고 도파관으로부터 광자의 입사에 대응하는 전기 신호를 출력하도록 구성된 출력을 갖는 고상 포토멀티플라이어를 포함할 수 있다.

[0014] 개시된 양상들은 또한 카운팅 모드 및 아날로그 모드가 동시에 동작할 수 있는 시스템을 제공한다. 개시된 실시예에 따르면, 검출기로부터 2 개의 신호가 얻어지며, 이들 둘다는 동일한 검출 이벤트와 상관된다. 두 신호는 두 개의 채널에 적용된다. 한 채널에는 카운팅 모드 감지에 최적화된 전자 장치가 포함되고 다른 채널에는 아날로그 모드 감지에 최적화된 전자 장치가 포함된다. 두 개의 신호는 동일한 감지 이벤트와 상관되어 있지만 별도로 생성되므로 두 채널을 동시에 작동할 수 있다.

[0015] 개시된 실시예는 SIMS 장치의 포토멀티플라이어에서 카운팅 모드 및 아날로그 모드를 동시에 동작시키는 방법을 제공한다. 이 방법은 제 1 신호 라인을 포토멀티플라이어에 결합하는 단계; 상기 제 1 신호 라인으로부터 입력을 수신하고 상기 입력에 대응하는 개별 이벤트 카운트 출력을 제공하도록 디지털 이벤트 카운터를 구성하는 단계; 상기 제 1 신호 라인과 독립적으로 제 2 신호 라인을 상기 포토멀티플라이어에 결합하는 단계; 제 2 신호 라인으로부터 입력을 수신하고 디지털 이벤트 카운터로부터 개별 이벤트 카운트 출력과 동시에 통합된 아날로그 출력을 제공하도록 아날로그 적분기를 구성하는 단계를 포함한다. 제 1 신호 라인을 포토멀티플라이어에 결합시키는 단계는 제 1 신호 라인을 포토멀티플라이어의 바이어스 입력 라인에 결합시키는 단계를 포함할 수 있고, 제 2 신호 라인을 결합시키는 단계는 제 2 신호 라인을 포토멀티플라이어의 출력 라인에 결합시키는 단계를 포함할 수 있다. 제 1 신호 라인을 포토멀티플라이어에 결합시키는 단계는 제 1 신호 라인을 포토멀티플라이어의 다이노드에 결합하는 단계를 포함할 수 있는 한편, 제 2 신호 라인을 결합시키는 단계는 제 2 신호 라인을 포토멀티플라이어의 컬렉터에 결합하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 다른 양태에 따르면, 아날로그 및 디지털 모드의 동시 신호를 이용하는 교정 방법이 제공된다. 구체적으로, 이온 도달률은 일부 방식에 의해 원하는 영역 내에 있도록 생성된다. 그런 다음 펄스 카운트 모드를 사용하여 여러 펄스를 생성하는 동시에, 아날로그 신호를 통합하여 모든 펄스에서 총 면적을 생성한다. 두 채널의 신호는 교정에 사용된다. 예를 들어, 일 실시예에서, 신호는 카운팅 모드와 아날로그 모드 사이를 전환할 때 적용될 스케일링 팩터를 생성하는데 사용된다. 다른 예에서, 적분 펄스 면적은 펄스 수로 나뉘어 펄스 당 평균 면적을 렌더링하고, 이는 캘리브레이션 팩터로 사용한다.

도면의 간단한 설명

[0017] 본 명세서에 포함되어 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부 도면은 본 발명의 실시예를 예시하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 원리를 설명하고 설명하는 역할을한다. 도면은 예시적인 실시예의 주요 특징을 개략적으로 도시하도록 의도된다. 도면은 실제 실시예의 모든 특징 또는 도시된 요소의 상대적인 치수를 나타내도록 의도된 것은 아니며, 축척대로 도시되지는 않았다.

도 1a는 종래 기술에 따른 디지털 및 아날로그 검출 체제의 개략적인 예시이다.

도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 검출기의 개략도이고, 도 2a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 이온 검출기의 개략도이고, 개시된 임의의 실시예에서 구현될 수 있는 다른 특징을 도시한 것이다.

도 2b는 개시된 실시예에 따른, 아이솔레이터를 사용하는 회로의 개략도이다.

도 2c 및 2d는 개시된 실시예에 따른, 아이솔레이터를 사용하는 회로의 개략도이다.

도 2e는 개시된 실시예에 따른 복제기를 사용하는 회로의 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 검출 방식의 개략도이다.

도 4는 이온 스퍼터링이 크레이터의 예지 및 중앙에서 다른 스퍼터링 속도를 갖는 크레이터를 야기하는 상태를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 다양한 실시예가 이제 도면을 참조하여 설명될 것이다. 각각의 실시예는 하나 이상의 특징 또는 요소를 참조하여 설명될 수 있지만, 각각의 설명된 특징 및/또는 요소는 다른 실시예의 다른 특징 및/또는 요소와 함께 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 즉, 특징 및 요소는 다양한 실시예 사이에서 상호 교환 가능하고 /하거나 부가적일 수 있다.
- [0019] 도 1b는 일 실시예의 구성을 개략적으로 도시한다. 샘플의 재료 조성을 결정하기 위해 샘플(100)을 검사해야 한다. 이온 소스(110)는 샘플로부터 2차 이온을 방출하기 위해 샘플(100)에 충돌하도록 집속된 이온 빔(115)을 생성하는데 사용된다. 추출 및 빔 성형 광학 요소(117)는 하전된 2차 이온을 수집하고, 검출 섹션(130)으로 전달되는 2차 이온 빔(120)을 형성한다. 검출 섹션(130)은 2차 이온(120)의 궤적을 변화시키는 질량 분석기(135)를 포함한다. 상이한 이온들이 상이한 질량/전하 비를 가지기 때문에, 그 궤적에 대한 질량 분석기의 효과가 상이하며, 따라서, 상이한 이온들이 상이한 공간 궤적 경로(그 중 3개가 도시됨)를 가정한다. 복수의 검출기(140)는 검출부(130) 내부의 상이한 공간 위치에 위치되어, 각각의 검출기는 특정 질량 대 전하 비의 이온을 차단하도록 위치된다. 각각의 검출기(140)에는 상이한 질량의 이온을 검출하기 위해 각각의 검출기(140)의 공간 위치가 변경될 수 있도록 기계화된 위치 결정 수단이 제공된다.
- [0020] 도 2는 일 실시예에 따른 검출기(240)의 실시예를 개략적으로 도시한다. 도 2의 검출기(240)는 고상 포토멀티플라이어와 결합된 신틸레이터로서, 빠르게 도달하는 이온의 분리를 가능하게 하기 위해 빠른 감쇠 시간을 갖는다는 점에서, 향상된 동적 범위 및 빠른 신호 응답 시간을 제공한다. 이와 같이, 검출기는 이온 스트림을 전자 스트림으로 변환한 다음, 전자 스트림을 광자 스트림으로 변환하고, 최종적으로 광자 스트림을 전기 신호로 변환한다.
- [0021] 2차 이온은 윈도우(242)를 통해 인클로저(241)로 들어가, 전자 방출 플레이트(243)에 부딪힌다. 전자 방출 플레이트는 전위 VI에 의해 바이어싱 됨으로써, 이온에 부딪히면 전자를 방출한다. 전자는 다양한 방향으로 방출되지만, 신틸레이터 판(244)에 전위 V2를 인가함으로써, 전자가 신틸레이터 판(244)에 집속된다. 전자가 신틸레이터 판(244)의 전면에 부딪히면, 신틸레이터 판(244)은 후면으로부터 광자를 방출한다. 관형 도파관(245)은 신틸레이터 판(244)에 광학적으로 결합되며, 필요에 따라 다양한 단면 형상, 예를 들어 직사각형 또는 정사각형 단면을 가질 수 있다. 도파관(245)은 광 전도성 투명 재료로 만들어 질 수 있다. 광자들은 도파관(245) 내에서 이동하고 내부 전반사에 의해 도파관 내부에 갇혀있다. 도 2의 실시예에서, 도파관(245)은 (예를 들어, 전체 내부 반사에 의해) 광자를 고상 포토멀티플라이어(247)로 향하게 하는 반사 표면(246)(프리즘 형성)을 갖는다. 고상 포토멀티플라이어(247)는 고상 포토멀티플라이어를 때리는 광자에 대응하는 전기 신호를 생성한다. 이러한 실시예에서, 고상 포토멀티플라이어(247)는 실리콘 포토멀티플라이어(SiPM으로도 지칭 됨)일 수 있고 애벌랜치 포토다이오드(APD)의 어레이를 포함할 수 있다. 포토다이오드로부터의 신호는 도 2에 개략적으로 도시된 바와 같이, 도착 광자를 검출할 때 예리한 펄스(251)를 갖는 단일 출력 신호를 제공하도록 합산될 수 있다. 고상 포토멀티플라이어(247)의 출력은 검출기(240)의 공간적 위치에 따라, 특정 종의 이온의 도달에 대응하는, 펄스를 카운팅하는데 사용될 수 있다.
- [0022] 도 2a는 다른 실시예에 따른 검출기(240)의 실시예를 개략적으로 도시한다. 도 2a의 실시예의 요소는 도파관(245)이 프리즘을 형성하는 반사 표면을 갖지 않는다는 점을 제외하고는 도 2의 요소와 유사하다. 오히려, 고상 포토멀티플라이어(247)는 도파관(245)의 후면에 직접 부착된다. 그 외에, 도 2 및 도 2a의 검출기는 동일하다.
- [0023] 도 2a는 또한 검출 신호의 수집과 관련된 다양한 특징을 도시한다. 이들 특징 중 임의의 하나는 도 2의 실시예 또는 본 명세서에 개시된 임의의 다른 실시예에서 동일한 방식으로 구현될 수 있다.
- [0024] 도 2a에 도시된 제 1 특징은 카운팅 및 아날로그 모드의 동시 동작이다. 이것은 점선으로 표시된 부분 안에 표시된 요소를 참조하여 먼저 설명될 것이다. 종래 기술에서, 시스템은 카운팅 모드(이온 도달 속도가 개별적인 도착 이벤트의 구별을 가능하게 하기에 충분히 낮은 경우) 또는 아날로그 모드(도달 속도가 너무 커서 분리가 불가능한 경우)에서 작동된다. 종래 기술에서 두 모드가 동시에 동작할 수 없는 또 다른 이유는 신호가 너무 약해서 두 채널로 분리될 수 없기 때문이다. 본질적으로, 출력 신호는 전자 전류로 이루어지므로, 그 신호를 2 개의 채널로 분할하면 각 채널이 검출기에 의해 원래 출력된 것보다 적은 전자(즉, 더 낮은 전류)를 가질 것임을

의미한다. 결과적으로, 도달률이 낮을 때, 검출 신호는 전자가 불충분하여 두 채널 사이에서 공유할 수 없다.

[0025] 그러나, 여기에 개시된 실시예는 두 모드가 동시에 동작할 수 있는 시스템을 가능하게 한다. 도 2a를 다시 참조하면, 점선 콜아웃은 검출기로부터 2 개의 신호가 얻어지고 2 개의 채널로 공급되는 일 실시예를 도시한다. 상단 채널은 카운팅 모드 채널이고 하단 채널은 아날로그 채널이다. 2 개의 출력 신호는 동일한 검출 이벤트와 상관되어, 양쪽 채널이 동시에 동일한 증폭된 이온 플러스를 검출한다. 상단 채널에서, 신호는 커패시터(258)에 의해 조절되고, 증폭기(260)에 의해 증폭되고, 증폭된 신호는 판별기(262)에 입력되고, 이는 증폭기(260)로부터의 입력에 대응하는 디지털 신호를 출력한다. 디지털 신호는 카운터(264)에 입력되어 검출 이벤트를 계산한다. 리셋 신호는 카운팅의 리셋을 가능하게 한다. 하단/아날로그 채널에서, 검출기로부터의 신호는 적분기(261)에 의해 적분된 후 증폭기(263)에 의해 증폭된다. 적분기는 재설정 신호에 의해 재설정될 수 있다. 이 두 채널은 동시에 또는 한 번에 하나씩 작동할 수 있다.

[0026] 상술한 바와 같이, 검출기의 출력 신호는 일반적으로 카운팅 모드와 아날로그 모드를 동시에 작동 시키기에는 불충분하다. 다음의 설명은 이 문제를 극복하는 다양한 실시예들을 상세히 설명한다. 본 명세서에 상세히 설명된 솔루션은 본 명세서에 개시된 본 발명의 검출기 또는 종래의 검출기와 함께 구현될 수 있다.

[0027] 제 1 예는 도 2a의 점선 콜아웃에 도시되어있다. 점선 콜아웃에서 APD(247')는 고상 포토멀티플라이어(247)를 개략적으로 나타낸다. APD(247')는 아이솔레이터(272)를 통해 전압 전위(270)에 의해 바이어스된다. 제 1 출력은 전압 전위(270)로부터 APD(247')로 이어지는 바이어스 라인에 연결된다. 이러한 제 1 출력 라인은 카운팅 모드 채널로 연결된다. 한편, APD(247')의 출력으로부터 제 2 출력 신호가 얻어진다. 제 2 출력 라인은 아날로그 모드 채널로 연결된다. 검출 이벤트가 발생하면, 전류는 APD(247')의 출력에서 흘러나와, 감지를 위해 아날로그 채널로 보내질 것이다. 동시에, 바이어스 라인의 전압 강하가 발생하며, 이는 카운트 모드 채널에 의해 감지된다. 이 구성으로, 두 채널이 동일한 출력 신호를 공유할 필요는 없지만, 두 채널은 동일한 이벤트를 동시에 감지한다.

[0028] 도 2a의 것과 유사한 다른 구성이 도 2b에 도시되어있다. APD(247')는 고상 포토멀티플라이어(247)를 개략적으로 나타낸다. APD(247')는 전압 전위(270)에 의해 바이어스되고 복제기(273)에 연결된다. 복제기(273)로부터의 신호는 도 2a의 점선 콜아웃의 실시예에서와 같이 커패시터(258) 및 증폭기(260)를 갖는 채널로 출력된다. 다른 라인은 고 이득 적분기(261')에 의해 적분된 신호를 갖도록 연결되는 반면, 제 3 라인은 저 이득 적분기(261'')에 의해 적분된 신호를 갖도록 연결된다.

[0029] 대안적인 구성이 2 개의 점선 콜아웃에 예시되어있다. 카운팅 채널의 라인이 전압 전위(270)로부터 바이어스 라인에 직접 연결되지 않고 변압기(259)를 통해 그에 연결되는 점을 제외하고는, 배치는 점선 아웃의 배치와 유사하다. 그 외에는 두 배열이 동일하다.

[0030] 아이솔레이터를 사용하는 회로의 예는 도 2c-2d에 도시되어있다. 이들 실시예에서, 펄스 및 아날로그 신호 경로는 고상 포토멀티플라이어(247)의 대향 단부에서 시작되고, 구체적으로, 펄스 신호 경로는 포토다이오드의 음극 측에 연결되는 반면, 아날로그 신호 경로는 포토다이오드의 양극 측에 연결된다. 두 회로에서, 고상 포토멀티플라이어(247)의 동작 전압은 연산 증폭기(254)(반전 구성으로 연결되어 있으므로, 연산 증폭기의 반전 입력은 포토다이오드의 양극에 결합됨)의 가상 접지에 대해 트랜지스터(248)에 의해 조절된다. 도 2c에 도시된 회로에 대해, 연산 증폭기(254)는 아날로그 신호를 제공하고 (광전류에 의해 야기된) 상부 저항기(257)에서의 전압 강하는 펄스 신호가 된다. 도 2d의 회로에서, 저항기에서의 전압 강하 대신에 전류 펄스가 펄스 변압기(259)를 통해 전송된다.

[0031] 다시 말해서, 도 2c의 실시예는 포토다이오드를 갖는 이온 검출기를 위한 아이솔레이터 회로를 제공하며, 상기 포토다이오드의 음극에 방출되고 저항에 연결된 컬렉터를 갖는 바이어스 트랜지스터; 상기 컬렉터와 상기 저항 사이에 연결된 펄스 신호 경로; 상기 포토다이오드의 양극에 결합된 아날로그 경로를 포함하며, 상기 아날로그 경로는 상기 포토다이오드의 양극에 결합된 하나의 입력, 접지에 결합된 제 2 입력, 및 포토다이오드의 광자 감지에 대응하여 아날로그 신호 응답을 제공하는 출력에 포함하는 연산 증폭기(op-amp)를 포함한다. 도 2c의 실시예에서, 연산 증폭기는 반전 구성에서 포토다이오드의 양극에 결합되고, 연산 증폭기의 반전 입력은 포토다이오드의 양극에 결합된다. 또한, 피드백 저항은 연산 증폭기의 반전 입력과 출력 사이에 연결된다.

[0032] 도 2d의 실시예는 포토다이오드를 갖는 이온 검출기를 위한 아이솔레이터 회로를 제공하며, 포토다이오드의 음극에 연결된 에미터와 저항에 연결된 컬렉터를 갖는 바이어스 트랜지스터; 상기 컬렉터와 상기 트랜지스터 사이에 연결된 펄스 신호 경로; 상기 포토다이오드의 양극에 결합된 아날로그 경로를 포함하며, 상기 아날로그 경로

는 상기 포토다이오드의 양극에 결합된 하나의 입력, 접지에 결합된 제 2 입력, 및 포토다이오드가 광자를 감지함에 대응하여 아날로그 신호 응답을 제공하는 출력을 갖는 연산 증폭기를 포함한다. 도 2d의 실시예에서, 펄스 신호 경로는 포토다이오드의 음극과 저항기 사이에 결합된 입력측 및 포토다이오드가 광자를 감지함에 대응하여 디지털 펄스 응답을 제공하는 출력측을 갖는 변압기를 포함한다. 아날로그 신호 경로에서, 연산 증폭기는 반전 구성으로 포토다이오드의 양극에 연결되며, 연산 증폭기의 반전 입력은 포토다이오드의 양극에 연결된다. 또한, 피드백 저항은 연산 증폭기의 출력과 반전 입력 사이에 연결된다.

[0033] 도 2e는 일 실시예에 따른 다수의 출력 신호를 제공하기 위한 복제기 회로의 예를 도시한다. 이 실시예에서, 모든 출력 신호는 포토다이오드의 양극 측에 연결된다. 도 2e의 실시예에서, 캐스케이드된 트랜지스터는 R1, R2 및 R3을 통해 전류를 구동하고; 트랜지스터는 모두 동일한 베이스-에미터 전압 강하를 유지하므로 전류는 $R_f/R_x * (SiPM \text{ 전류})$ 이다. 이 예에서, 저항 R1은 펄스 출력에 큰 이득을 제공하기 위해 상대적으로 낮은 값으로 설정될 것이다. 따라서, 도 2e의 실시예는 포토다이오드를 갖는 이온 검출기를 위한 복제기 회로를 제공하며, 상기 포토다이오드의 음극에 연결되는 에미터 및 저항에 연결된 컬렉터를 갖는 바이어스 트랜지스터; 기준 저항기를 통해, 선택적으로, 포토다이오드의 양극에 연결된 양극 및 기준 저항기에 연결된 음극을 가진 다이오드를 따라, 접지에 연결되는 포토다이오드의 양극, 포토다이오드의 양극과 저항기 사이에 위치하는 탭에 공통으로 연결되는 제 1, 2, 3, 트랜지스터의 베이스; 제 1, 2, 3 저항기에 공통으로 연결되는, 저항기와 접지 사이에 위치하는 제 2 탭을 포함하되, 상기 제 1 저항기는 제 1 트랜지스터의 에미터에 연결되고, 제 2 저항기는 제 2 트랜지스터의 에미터에 연결되며, 제 3 저항기는 제 3 트랜지스터의 에미터에 연결되고, 펄스 신호 경로는 상기 제 1 트랜지스터의 컬렉터에 연결되고; 제 1 아날로그 신호 경로는 제 2 트랜지스터의 컬렉터에 연결되고, 제 2 아날로그 신호 경로는 제 3 트랜지스터의 컬렉터에 연결된다.

[0034] 나타낸 바와 같이, 이 특징은 개시된 검출기의 사용에 제한되지 않고, 포토멀티플라이어, 채널 전자 멀티플라이어 등과 같은 다른 검출기를 사용하는 시스템에서도 구현될 수 있다. 예는 실선 콜아웃에서 예시된다. 예시된 실시예에서, 전자 멀티플라이어(249)가 검출기로서 사용된다(전자 멀티플라이어(249)는 포토멀티플라이어 또는 다른 종래의 센서의 일부일 수 있다). 전자는 제 1 다이노드를 치고, 컬렉터(253)에 닿을 때까지 하나의 다이노드에서 다음 다이노드로 전자의 캐스케이드를 생성한다. 컬렉터(253)의 출력은 아날로그 채널에 연결된다. 반대로, 마지막 다이노드(256)는 탭핑되어 카운팅 채널에 연결된다. 결과적으로, 2 개의 출력 신호는 다시 동일한 검출 이벤트와 상관되지만, 2 개의 채널이 동일한 신호를 공유할 필요가 없도록 시스템의 상이한 요소로부터 생성된다.

[0035] 도 2a의 실시예에서, 교정 및 측정 모두에 사용될 수 있는 선택적인 제 2 아날로그 출력 라인이 제공된다. DC 전위(VI)를 전자 방출 플레이트(243)으로 이끄는 선은 탭핑되어 전류계, 예를 들어 전류 계측기, 가령, 전류계 또는 아날로그 채널, 예컨대 점선으로 표시된 것과 같이 아날로그 채널로 유도된다. 이 측정은 도착 이온에 해당하는 직접 아날로그 측정을 제공한다. 전자 방출 플레이트로 이어지는 선으로부터의 전류 측정과 검출기의 출력 선 사이의 상관 관계가 있어야 하며, 따라서, 두 출력 모두 검출기의 변환 효율을 연구하고 따라서 검출기의 디지털 카운트 출력을 교정하는 데 사용될 수 있다.

[0036] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 검출 방식의 개략도이다. 도 3에 도시된 검출 섹션(330)은 검출과 직접 관련된 요소만을 포함하고, 검출 섹션(330)의 상류에 삽입되어 이와 연계하여 동작되어야 하는, 추출, 전하 보상 및 필터링과 관련된 요소를 생략한다. 이온 빔(320)이 추출, 전하 보상 및 필터링 요소를 통과하면, 검출 섹션(330)으로 들어가서 빔 성형 튜브(331)를 통과한다. 빔 성형 튜브(331)는 자기 렌즈 또는 정전 렌즈, 예를 들어 사중 극자 렌즈(quadrupole lenses)일 수 있는 복수의 렌즈(332)를 포함할 수 있다. 이 특정 실시예에서, 사중 극자 렌즈는 빔을 성형하고 초점을 맞추기 위해 사용된다. 빔 성형 튜브(331)의 출구에는 핵사 폴(333)이 제공되어 빔에 높은 차수의 광학 보정을 제공한다. 선택적으로, 슬릿(333')은 빔의 변두리에서 이온을 걸러 내기 위해 핵사 폴(333)의 상류에 제공될 수 있다. 대안 적으로 또는 추가적으로, 다른 슬릿이 핵사 폴(333)의 하류에 제공될 수 있다.

[0037] 성형된 이온 빔은 빔 성형 튜브(331)를 빠져 나가서 질량 대 전하 비에 따라 이온을 분리하는 질량 분석기(335)로 진입한다. 질량 분석기(335)는 분광계(336)를 포함하고, 그 뒤에 쿼드러폴(332), 핵사 폴(333) 및 메인 자석(338)이 뒤 따른다. 일반적으로, 추출 및 빔 형성 요소는 추출될 수 있는 모든 하전 입자에 작용하지만, 모두가 특정 분석에 관심있는 것은 아니다. 따라서, 분광계(336)는 원하는 질량-대-전하 비율 대역의 선택이 쿼드러폴(332)을 통과할 수 있게 하는 선택된 전압 전위로 통전된다. 쿼드러폴(332) 및 핵사 폴(333)은 메인 자석(338)과 함께 초점면(360) 상으로 빔을 포커싱한다(도 3의 점선). 검출기(340)는 질량 분석기 초점면(360) 상에 공간적으로 배치된다. 이온이 핵사 폴(333)을 빠져 나감에 따라, 각각의 이온이 초점면(360)상의 상이한 지점에

도달하도록 각각의 개별 이온의 질량 대 전하 비에 따라 궤적이 변화된다. 검출기(340)는 초점면(360)과 평행한 트랙(339) 상에 이동 가능하게 장착된다. 각각의 검출기(340)의 위치를 개별적으로 제어하기 위해 기계화된 제어부(350)가 포함될 수 있다. 따라서, 다수의 검출기(340)는 분광계(336)에 의해 선택된 대역 내에서 각각의 이온 질량 대 전하 비에 따라 예상 이온을 검출하기 위해 초점면(360)을 따라 공간적으로 위치될 수 있다. 각각의 검출기(340)는 여기에 개시된 실시예 중 임의의 것에 따라 구현될 수 있다.

[0038] 레스터-스캔 2차 이온 질량 분석계에서, 1차 이온 빔은 관심 샘플로부터 재료를 스퍼터링하기 위해 사용된다. 재료가 스퍼터링됨에 따라, 2차 이온이 검출되어 샘플의 재료 조성을 결정한다. 1차 이온 빔은 샘플을 스캔할 때, 샘플의 재료가 스퍼터링되어 샘플에 크레이터를 만든다. 그러나, 각각의 레스터 스캔의 에지에서의 스퍼터링은 균일하지 않기 때문에, 레스터 스캔의 에지와 관련된 데이터는 폐기된다. 도 4는 전체 샘플을 테스트하는데 필요한 많은 스캔 라인 중 하나의 라인 스캔을 보여주는 측면도이다. 샘플에서 1차 빔을 스캔하면 샘플에서 재료가 스퍼터링되어 크레이터가 생성된다. 크레이터의 상대적으로 평평한 바닥은 샘플의 재료 구성을 결정하기 위해 데이터가 수집되는 영역이다. 그러나 일반적으로 경사가 있는 영역으로 정의된 크레이터의 가장자리에서 샘플링이 정확하지 않아 데이터가 삭제된다.

[0039] 도 4는 이온 스퍼터링이 크레이터의 에지 및 중앙에서 스퍼터링 속도가 상이한 크레이터를 야기하는 상태를 도시한다. 도 4에서, 샘플(400)은 관심 영역(470)에 걸쳐 1차 이온 빔(415)을 스캐닝함으로써 분석된다. 평면도에서 화살표로 도시된 바와 같이, 빔이 레스터 스캔되고, 샘플(400)의 재료 구성이 스퍼터링되어 날라가기 때문에 크레이터가 생성된다. 크레이터의 가장자리(472)에서 2차 이온의 스퍼터링 속도 및 궤적은 크레이터의 평평한 바닥 영역(474)과 다르다. 따라서, 종래 기술에서는 에지(472)로부터의 데이터가 폐기되었다.

[0040] 일 실시예에서, 채널들 중 하나는 1차 빔이 크레이터의 바닥 영역(474)에 걸쳐 스캐닝하는 동안 측정을 수행하기 위해 사용된다. 예를 들어, 이온 카운트가 펄스 카운트 모드를 사용하기에 너무 높은 경우, 1차 빔이 크레이터의 바닥 영역(474)을 스캔하는 동안 아날로그 모드가 측정에 사용된다. 한편, 1차 빔이 크레이터의 가장자리(472)에서 스캔하는 시간 동안, 데이터는 질량 분석법 측정에 사용되지 않는다. 대신, 펄스 카운팅 채널과 아날로그 모드 채널의 동시 데이터는 펄스 카운팅 채널과 관련하여 아날로그 채널을 교정하는 데 사용된다.

[0041] 다른 실시예에서, 1차 빔이 크레이터의 바닥을 스캔하는 시간 동안 질량 분석법 측정을 수행하는 데 하나의 채널이 사용된다. 동시에, 다른 채널에서 얻은 데이터가 해당 채널의 데이터를 개선하는 데 사용된다. 또한 1차 빔이 크레이터 가장자리를 스캔할 때, 펄스 카운팅 채널을 사용하여 아날로그 채널을 보정한다. 예를 들어, 스케일링 계수는 두 채널의 출력 간의 차이로부터 계산될 수 있다.

[0042] 일 실시예에서, 충분한 수의 이온 이벤트가 아날로그 채널에 통합되고 펄스 카운팅 채널에서 계산되어 사양 내에서 그리고 검출에 관련된 통계적 프로세스가 본질적으로 정지되는 시간 동안 그리고 평균 전류/이온을 사양 내에서 결정하기 위해 충분한 수의 이온 이벤트가 아날로그 채널에서 통합되고 펄스 카운팅 채널에서 카운팅되도록, 획득 중 충분한 시간 주기 동안, 그리고, 안전하게 펄스 카운팅 영역 내에 있을 때(예를 들어, 약 107 이온/초 미만)의 시간 주기에서 이러한 교정이 수행된다. 이 방법에 따르면, 스캐닝주기가 설정되고 샘플의 균일한 영역에 걸쳐 빔이 스캐닝된다. 아날로그 채널과 카운팅 모드 채널이 동시에 작동하도록 활성화된다. 스캐닝 기간이 끝나면 빔의 스캐닝이 중단되고 아날로그 채널 및 카운팅 모드 채널의 출력이 교정 계수를 생성하는 데 사용된다. 이 동작은 동일하거나 상이한 이온 유량을 사용하여 여러 번 반복될 수 있다.

[0043] 이 방법은 펄스 카운트를 하기에는 너무 높은 이온 플럭스가 측정될 필요가 있을 때(또는 측정해야 할 때) 유용하다. 문제는 펄스 카운팅이 가능한 영역에서 아날로그 모드가 필요한 각 검출기에서 충분한 이중 샘플링을 보장하는 것이다. 일부 실시예들에 따르면, 레스터 스캔 동안 그리고 획득을 방해하지 않고 아날로그 모드가 필요한 각각의 검출기에서 적절한 이온 도달율이 생성된다.

[0044] 일 실시예에 따르면, 스캔 프레임의 전자 게이팅 영역은 이 접근법을 구현하기 위한 실행 가능한 수단을 제공하는다. 첫 번째 N회의 스캔 동안 각 검출기의 이온 플럭스 측정은 이 보정이 안전한 펄스 카운팅 영역 내에 있어야 하는 각 검출기에서의 도달물을 야기하는 단일 감쇠 계수를 결정하는 데 사용될 수 있다. 이 감쇠 계수는 프레임의 전자적으로 게이트된 부분 동안 개구상의 빔을 편향 시키거나 디 포커싱하는 것과 같은 2차 이온 광학계의 일부 수단, 및 아날로그 및 펄스 카운팅 채널 모두에서 수집된 데이터에 의해 달성될 수 있다. 이동 평균이 있는 이 데이터는 펄스 당 평균 전류를 추적하고 교정하는 데 사용되며, 이는 프레임의 측정 세그먼트 동안 아날로그 신호를 교정된 이온 도달률로 변환하는 데 사용된다.

[0045] 감쇠 계수는 공지된 이온 도달률을 달성하기에 충분히 정확하게 알려질 필요는 없음에 유의해야 한다. 펄스 카

운팅 및 아날로그 출력이 모두 가능한 영역 내에 있는 이온 도달률이 달성될 수 있을 정도로 충분히 알려져 있으면 된다. 어쨌든, 목표는 알려진 이온 도달 속도를 만드는 것이 아니라, 아날로그 출력을 교정하기 위해 아날로그 신호와 함께 사용될 수 있는 측정 가능한 이온 도달률을 만드는 것이다. 게이팅 주기는 1차 빔이 크레이터의 가장자리를 스캔하는 시간/횟수와 일치할 수 있다.

[0046] 상기 설명에서, 도 2a의 콜아웃의 아날로그 채널이 참조된다. 그러나, 대안 적으로, 전자 방출 플레이트(243)로의 탭이 아날로그 채널로서 사용될 수 있다. 더욱이, 도 2a에서 콜아웃의 아날로그 채널을 사용할 때, 전자 방출 플레이트(243)의 탭은 아날로그 채널을 더 교정하기 위해 사용될 수 있다.

[0047] 일 실시 예에 따르면, 2차 이온 질량 분광법을 수행하기 위한 시스템이 제공되며, 상기 시스템은 1차 이온 빔; 샘플 위에서 1차 이온 빔을 스캐닝하는 광학 장치; 샘플로부터 나오는 2차 이온을 검출하고 검출 신호를 생성하는 검출기; 제 1 및 제 2 채널에 연결된 제 1 검출 신호 라인 및 제 2 검출 신호 라인을 포포함하며, 상기 제 1 채널은 이온 카운팅 출력을 제공하도록 구성된 요소를 포함하고, 제 2 채널은 통합 전류 신호를 제공하도록 구성된 요소를 포함한다. 시스템은 제 1 및 제 2 채널로부터 신호를 수신하고 1차 빔이 스캔의 중앙 부분에 있을 때 측정 데이터를 생성하고 빔이 스캔의 가장자리에 있을 때 제 1 및 제 2 채널을 서로에 대해 보정하도록 프로그래밍된 제어기를 더 포함 할 수 있다.

[0048] 다른 실시 예에 따르면, 카운팅 모드 및 아날로그 모드를 갖는 2차 이온 질량 분석계를 작동시키는 방법이 제공되며, 상기 방법은, 상기 샘플로부터 2차 이온을 스퍼터링하기 위해 샘플 위에서 1차 이온 빔을 스캐닝하는 단계; 샘플로부터 2차 이온을 수집하고 동시에 제 1 검출 신호 및 제 2 검출 신호를 생성하는 단계; 제 1 검출 신호를 이온 카운팅 채널에 적용하는 단계; 제 2 검출 신호를 이온 아날로그 채널에 인가하는 단계; 및 아날로그 채널 및 펄스 카운팅 채널의 출력으로부터 캘리브레이션 팩터를 생성하는 단계를 포함한다. 제 1 검출 신호는 검출기에 연결된 바이어스 라인으로부터 생성 될 수 있는 한편, 제 2 검출 신호는 검출기의 출력으로부터 생성 될 수 있다. 전자 멀티플라이어가 검출기로서 사용될 때, 제 1 검출 신호는 다이노드에 탭핑된 라인으로부터 생성 될 수 있는 한편, 제 2 검출 신호는 컬렉터의 출력으로부터 생성 될 수 있다.

[0049] 또한, 2차 이온 질량 분석법을 수행하기위한 방법이 제공되며, 상기 방법은: 샘플로부터 2차 이온을 스퍼터링하는 단계; 2차 이온을 수집하고 2차 이온 빔을 형성하는 단계; 2차 이온 빔을 질량 분석기를 통과시켜 초점면 상에 정렬된 다수의 2차 이온 궤적을 형성하는 단계; 질량 대 전하 비에 따라 예상된 2차 이온 궤적에서 초점면 상에 복수의 검출기를 배치하는 단계; 각각의 검출기에서: 수신 된 2차 이온에 대응하는 전자의 흐름을 생성하는 단계; 전자의 흐름에 대응하는 광자의 흐름을 생성하는 단계; 및 광자 흐름에 대응하는 전류 흐름을 생성하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 도파관의 내부에서 광자의 흐름을 수송하는 단계를 더 포함 할 수 있다. 광자의 흐름에 대응하는 전류의 흐름을 생성하는 것은 광자의 흐름을 고상 포토멀티플라이어로 보내는 것을 포함 할 수 있다. 상기 방법은 전류 흐름을 태핑하고 태핑에 걸쳐 적분하는 단계를 더 포함 할 수 있다. 이 방법은 전자의 흐름을 태핑하고, 태핑에 대해 전류를 측정하는 단계를 더 포함 할 수 있다.

[0050] 본 명세서에 기술 된 프로세스 및 기술은 본질적으로 임의의 특정 장치와 관련되지 않으며 임의의 적절한 구성 요소 조합에 의해 구현 될 수 있음을 이해해야한다. 또한, 본 명세서에 기재된 교시에 따라 다양한 유형의 범용 장치가 사용될 수 있다. 본 발명은 모든면에서 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 의도 된 특정 예와 관련하여 설명되었다. 당업자는 많은 다른 조합이 본 발명을 실시하는데 적합 할 것임을 이해할 것이다.

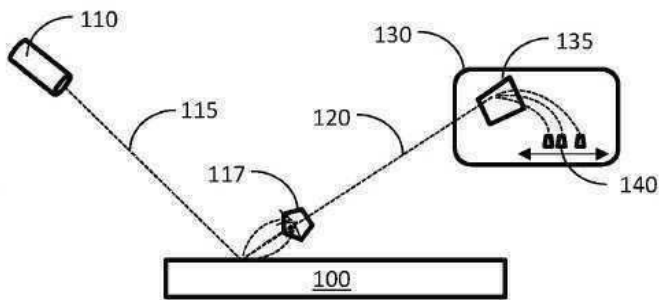
[0051] 또한, 본 발명의 다른 구현은 여기에 개시된 본 발명의 명세서 및 실시를 고려하여 당업자에게 명백 할 것이다. 설명 된 실시 예의 다양한 양태 및 / 또는 구성 요소는 단독으로 또는 임의의 조합으로 사용될 수 있다. 본 명세서 및 실시 예는 단지 예시적인 것으로 간주되며, 본 발명의 진정한 범위 및 사상은 하기 청구 범위에 의해 지시된다.

도면

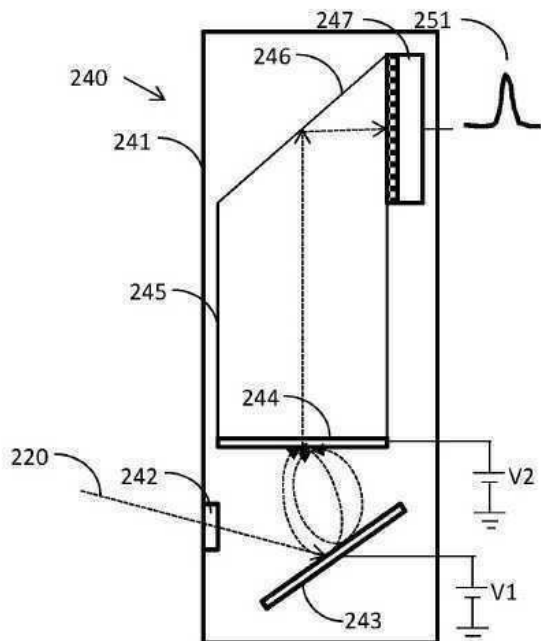
도면1a



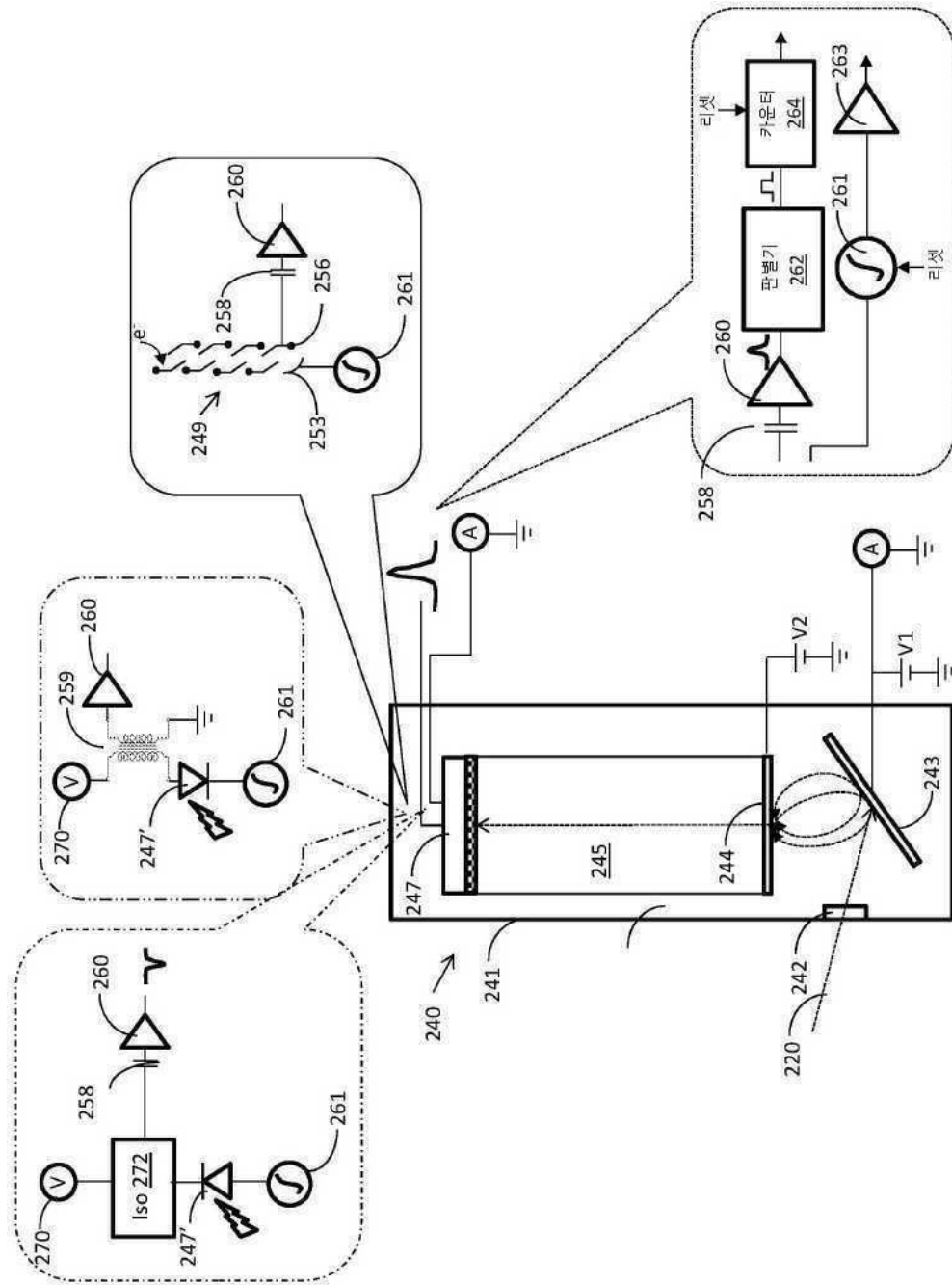
도면1b



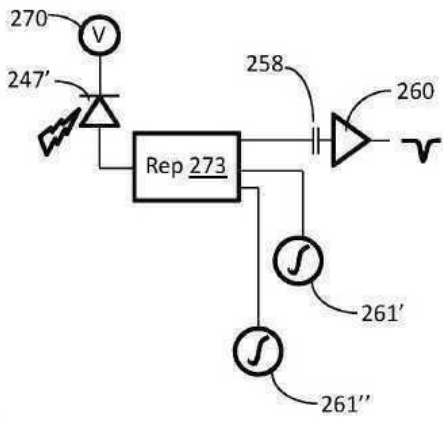
도면2



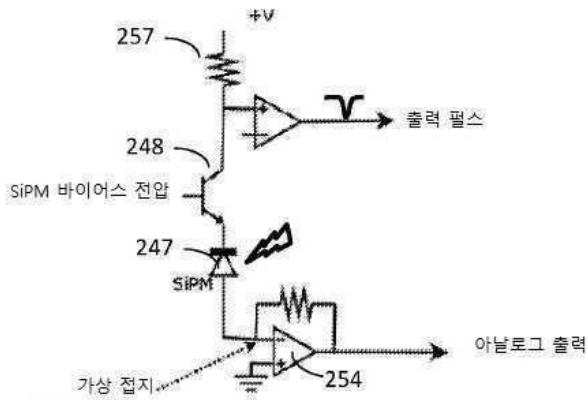
도면2a



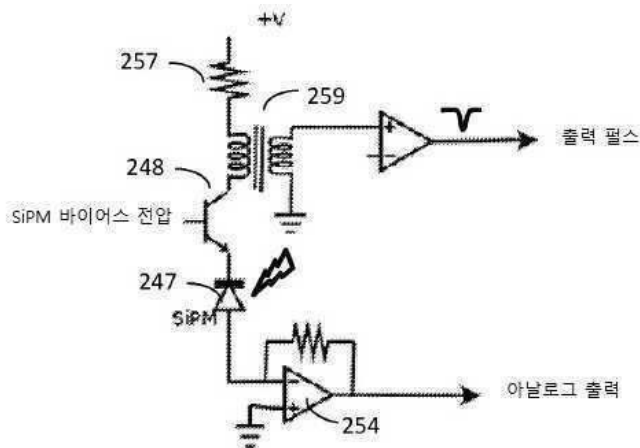
도면2b



도면2c



도면2d



도면4

