(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0060291
(43) 공개일자 2025년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 49/06 (2006.01) *H01J 49/42* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 49/062 (2013.01)
H01J 49/421 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7011496
(22) 출원일자(국제) 2023년09월08일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2025년04월08일
(86) 국제출원번호 PCT/US2023/073710
(87) 국제공개번호 WO 2024/054960
국제공개일자 2024년03월14일
(30) 우선권주장
63/405,004 2022년09월09일 미국(US)

(71) 출원인
더 트러스티즈 오브 인디애나 유니버시티
미국 인디애나 47405 블루밍턴 인디애나 애비뉴 107 에스
워터스 테크놀로지스 코포레이션
미국 매사추세츠주 01757 밀포드 메이플 스트리트 34
(72) 발명자
자롤드 마틴 에프
미국 47405 인디애나 블루밍턴 이스트 블루버드 레인 3750
사야시트 페이톤
미국 47408 인디애나 블루밍턴 이스트 롱뷰 애비뉴 3405 아파트먼트 15
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태홍, 김진희

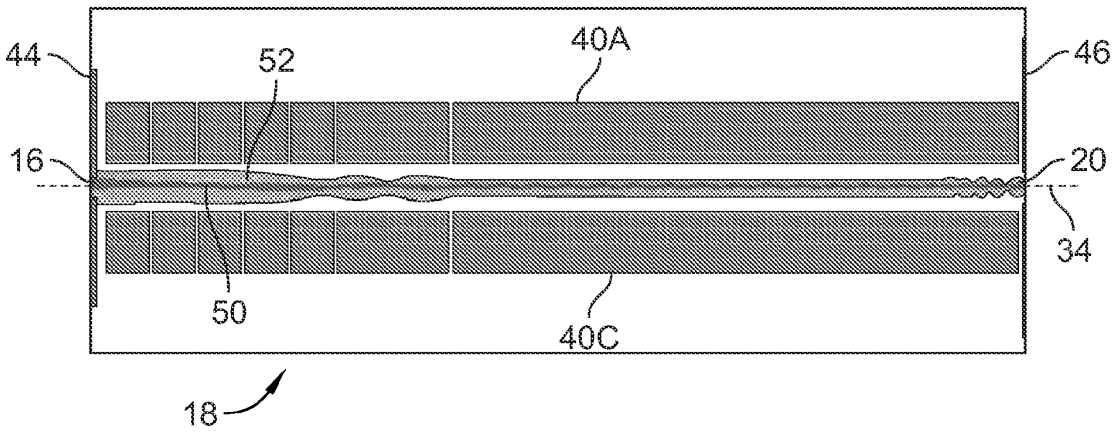
전체 청구항 수 : 총 37 항

(54) 발명의 명칭 **하류 분석으로부터 배출된 하전 입자의 누락을 감소시키기 위해 다극 디바이스를 제어하는 방법**

(57) 요 약

디바이스의 일단부의 입자 유입구로부터 반대 단부의 입자 유출구로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 로드를 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법이 제공된다. AC 전압 소스는 주파수, 피크 진폭 및 파형 형상을 갖는 AC 전압을 하전 입자 전달 디바이스에 인가하도록 제어되고, 그러한 조건 하에서 하전 입자 세트가 디바이스를 통과하게 된다. 이어서, AC 전압 소스는 AC의 주파수, 피크 진폭, 및 형상 중, 적어도 하나를 변경하도록 제어되고, 이어서 그러한 조건 하에서 또다른 하전 입자 세트가 하전 입자 전달 디바이스를 통과하게 된다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
H01J 49/427 (2013.01)
(72) 발명자
자일스 케빈
영국 에스케이6 7에이치엘 그레이터 맨체스터 마플 릿지 로드 17
브루톤 데이비드
영국 씨더블유12 2지티 체셔 콩글턴 홈스테드 드라이브 30

명 세 서

청구범위

청구항 1

다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드(elongated rod)를 갖는 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법에 있어서,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에, 제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는, AC 전압을 인가하도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계;

상기 제1 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 상기 제1 진폭에서의 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 상기 제1 파형 형상으로 설정된 AC 전압의 파형 형상을 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 하전 입자 세트를 통과시키는 단계;

상기 AC 전압의 주파수를 상기 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 상기 AC 전압의 파형 형상을 상기 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 및

상기 제2 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 상기 제2 진폭에서의 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 상기 제2 파형 형상을 갖는 상기 AC 전압의 파형 형상 중, 하나를 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키는 단계

를 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 AC 전압의 주파수를 상기 제2 주파수로 변경하거나, 또는 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제2 진폭으로 변경하도록 상기 AC 소스를 제어하기 전에,

(i) 상기 인가된 AC 전압의 주파수를 상기 제2 주파수를 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진(advance)시키거나, 또는 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제2 진폭을 향해 상기 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여,

(ii) 상기 증진된 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 및 상기 증진된 진폭에서의 상기 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 및

(iii) 상기 증진된 주파수가 상기 제2 주파수에 도달하거나, 또는 상기 증진된 진폭이 상기 제2 진폭에 도달할 때까지 (i) 및 (ii)를 실행하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 증진된 주파수가 상기 제2 주파수에 도달하거나, 또는 상기 증진된 진폭이 상기 제2 진폭에 도달한 후에,

(iv) 상기 인가된 AC 전압의 주파수를 상기 제1 주파수를 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제1 진폭을 향해 다시 상기 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여,

(v) 상기 증진된 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 및 상기 증진된 진폭에서의 상기 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 및

(vi) 상기 증진된 주파수가 상기 제1 주파수에 도달하거나, 또는 상기 피크 진폭이 상기 제1 진폭에 도달할 때까지 (iv) 및 (v)를 실행하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

선택된 횟수로, (i) 내지 (iii)을 실행하고, 후속하여 (iv) 내지 (vi)를 실행하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 5

제2항에 있어서,

선택된 시구간 내에 (iii)을 완료하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

선택된 시구간 내에 (vi)를 완료하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 7

제3항 또는 제4항에 있어서,

선택된 시구간 내에 (i) 내지 (iii) 및 (iv) 내지 (vi)의 각각의 실행을 완료하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계는 상기 AC 전압의 주파수를 변경하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함하고, 상기 방법은,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비(mass-to-charge ratio)의 함수로서 상기 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 주파수를 선택하는 단계; 및

상기 베이스 주파수가 상기 제1 주파수와 상기 제2 주파수 사이에 있거나, 상기 베이스 주파수가 상기 제1 주파수이거나, 또는 상기 베이스 주파수가 상기 제2 주파수이도록, 상기 제1 주파수 및 상기 제2 주파수를 선택하는 단계 - 상기 제2 주파수는 상기 제1 주파수보다 큼 -

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 9

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계는 상기 AC 전압의 피크 진폭을 변경하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함하고, 상기 방법은,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비의 함수로서 상기 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 피크 진폭을 선택하는 단계; 및

상기 베이스 피크 진폭이 상기 제1 진폭과 상기 제2 진폭 사이에 있거나, 상기 베이스 피크 진폭이 상기 제1 진폭이거나, 또는 상기 베이스 피크 진폭이 상기 제2 진폭이도록, 상기 제1 진폭 및 상기 제2 진폭을 선택하는 단계 - 상기 제2 진폭은 제1 진폭보다 큼 -

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 가이드로서 동작하도록 상기 AC 전압만 상기 로드에 인가되는 것인, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 11

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터로서 동작하도록, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 DC 전압을 또한 인가하도록 DC 전압 소스를 제어하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터를 통과하도록 질량 대 전하 비의 대응하는 범위를 한정하는 DC 전압의 크기를 선택하는 단계; 및

상기 질량 대 전하 비의 대응하는 범위 내의 질량 대 전하 비를 갖는 하전 입자만 상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터를 통과하도록 상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터의 로드에 상기 선택된 크기를 갖는 DC 전압을 인가하도록 상기 DC 전압 소스를 제어하는 단계

를 더 포함하는, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법.

청구항 13

하전 입자의 소스에 의해 생성되는 하전 입자를 분석하는 방법에 있어서,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 상기 하전 입자 유입구에서 상기 생성된 하전 입자를 수용하는 단계;

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 따른 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 단계;

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과하는 각각의 하전 입자 세트에 대해, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 상기 하전 입자 유출구에서 배출되는 각자의 하전 입자 세트 내의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 적어도 하나의 하전 입자 분석기로 측정하는 단계; 및

상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해 상기 각자의 하전 입자 세트 모두에서 상기 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 단계

를 포함하는, 하전 입자를 분석하는 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과하는 각각의 하전 입자 세트에 대해, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 상기 하전 입자 유출구에서 배출되는 각자의 하전 입자 세트 내의 하전 입자의 전하 크기를 상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기로 측정하는 단계; 및

상기 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 각자의 하전 입자 세트 모두에서 상기 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 단계

를 더 포함하는, 하전 입자를 분석하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 상기 결과적인 전하 크기 세트로부터, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하는 단계

를 더 포함하는, 하전 입자를 분석하는 방법.

청구항 16

샘플을 분석하는 방법에 있어서,

상기 샘플로부터 하전 입자를 생성하도록 하전 입자 소스를 제어하는 단계;

다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드를 갖는 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유입구에서 상기 생성된 하전 입자를 수용하는 단계;

제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는 AC 전압을 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 인가하기 위해 AC 전압 소스를 제어하는 단계;

상기 제1 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 상기 제1 진폭에서의 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 상기 제1 파형 형상을 갖는 상기 인가된 AC 전압의 파형 형상을 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 상기 생성된 하전 입자 세트를 통과시키는 단계;

적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계;

상기 AC 전압의 주파수를 상기 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 상기 AC 전압의 파형 형상을 상기 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계;

상기 제2 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 상기 제2 진폭에서의 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 상기 제2 파형 형상을 갖는 상기 인가된 AC 전압의 파형 형상 중, 하나를 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키는 단계;

적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계; 및

상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해 상기 하전 입자 세트 및 상기 또다른 하전 입자 세트에서의 상기 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 단계

를 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 하전 입자 세트에서의 상기 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 단계;

상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 단계; 및

상기 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 상기 하전 입자 세트 및 상기 또다른 하전 입자 세트에서의 상기 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 단계

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 상기 결과적인 전하 크기 세트로부터, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하는 단계

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 19

제16항 또는 제17항에 있어서, 상기 AC 전압의 주파수를 상기 제2 주파수로 변경하거나, 또는 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제2 진폭으로 변경하도록 상기 AC 소스를 제어하기 전에,

(i) 상기 인가된 AC 전압의 주파수를 상기 제2 주파수를 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제2 진폭을 향해 상기 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여,

(ii) 상기 증진된 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 및 상기 증진된 진폭에서의 상기 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 후속하여,

(iii) 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 새로운 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계; 및

(iv) 상기 증진된 주파수가 상기 제2 주파수에 도달하거나, 또는 상기 증진된 진폭이 상기 제2 진폭에 도달할 때까지 (i) 내지 (iii)를 실행하는 단계

를 더 포함하고,

상기 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 것은, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해, 상기 하전 입자 세트에서의, 상기 또다른 하전 입자 세트에서의, 그리고 상기 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 것을 포함하는 것인, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, (iii)는 상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 상기 새로운 하전 입자 세트에서의 상기 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 것을 더 포함하고,

상기 측정된 전하 크기를 평균화하는 것은, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 상기 하전 입자 세트에서의, 상기 또다른 하전 입자 세트에서의, 그리고 상기 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 것을 포함하는 것인, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 21

제19항 또는 제20항에 있어서, 상기 증진된 주파수가 상기 제2 주파수에 도달하거나, 또는 상기 증진된 진폭이 상기 제2 진폭에 도달한 후에,

(v) 상기 인가된 AC 전압의 주파수를 상기 제1 주파수를 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제1 진폭을 향해 다시 상기 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여,

(vi) 상기 증진된 주파수에서의 상기 인가된 AC 전압의 주파수, 및 상기 증진된 진폭에서의 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계;

(vii) 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 새로운 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계; 및

(viii) 상기 증진된 주파수가 상기 제1 주파수에 도달하거나, 또는 상기 증진된 진폭이 상기 제1 진폭에 도달할 때까지 (v) 내지 (vii)를 실행하는 단계

를 더 포함하고,

상기 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 것은, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해, 상기 하전 입자 세트에서의, 상기 또다른 하전 입자 세트에서의, 상기 새로운 하전 입자 세트 모두에서의, 그리고 상기 또다른 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평

균화하는 것을 포함하는 것인, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, (vii)는 상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 상기 또다른 새로운 하전 입자 세트에서의 상기 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 것을 더 포함하고,

상기 측정된 전하 크기를 평균화하는 것은, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 상기 하전 입자 세트에서의, 상기 또다른 하전 입자 세트에서의, 상기 새로운 하전 입자 세트 모두에서의, 그리고 상기 또다른 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 것을 포함하는 것인, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 23

제21항 또는 제22항에 있어서,

선택된 횟수로, (i) 내지 (iv)을 실행하고, 후속하여 (v) 내지 (viii)를 실행하는 단계

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 상기 결과적인 전하 크기 세트로부터, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하는 단계

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 25

제21항에 있어서,

선택된 시구간 내에, (i) 내지 (iv) 및 (v) 내지 (vii)의 각각의 실행을 완료하는 단계

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 26

제16항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계는 상기 AC 전압의 주파수를 변경하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함하고, 상기 방법은,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비(mass-to-charge ratio)의 함수로서 상기 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 주파수를 선택하는 단계; 및

상기 베이스 주파수가 상기 제1 주파수와 상기 제2 주파수 사이에 있거나, 상기 베이스 주파수가 상기 제1 주파수이거나, 또는 상기 베이스 주파수가 상기 제2 주파수이도록, 상기 제1 주파수 및 상기 제2 주파수를 선택하는 단계 - 상기 제2 주파수는 상기 제1 주파수보다 큼 -

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 27

제16항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계는 상기 AC 전압의 피크 진폭을 변경하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함하고, 상기 방법은,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비의 함수로서 상기 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 피크 진폭을 선택하는 단계, 및

상기 베이스 피크 진폭이 상기 제1 진폭과 상기 제2 진폭 사이에 있거나, 상기 베이스 피크 진폭이 상기 제1 진폭이거나, 또는 상기 베이스 피크 진폭이 상기 제2 진폭이도록, 상기 제1 진폭 및 상기 제2 진폭을 선택하는 단계 - 상기 제2 진폭은 제1 진폭보다 큼 -

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 28

제16항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 가이드로서 동작하도록 상기 AC 전압만 상기 로드에 인가되는 것인, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 29

제16항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터로서 동작하도록, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 DC 전압을 또한 인가하도록 DC 전압 소스를 제어하는 단계

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 30

제29항에 있어서,

상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터를 통과하도록 질량 대 전하 비의 대응하는 범위를 한정하는 DC 전압의 크기를 선택하는 단계; 및

상기 질량 대 전하 비의 대응하는 범위 내의 질량 대 전하 비를 갖는 하전 입자만 상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터를 통과하도록 상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터의 로드에 상기 선택된 크기를 갖는 DC 전압을 인가하도록 상기 DC 전압 소스를 제어하는 단계

를 더 포함하는, 샘플을 분석하는 방법.

청구항 31

하전 입자 분석 기구에 있어서,

샘플로부터 하전 입자를 생성하도록 구성된 전하 입자 소스;

상기 생성된 하전 입자를 수용하는 하전 입자 유입구를 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스 - 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스는 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드를 갖고, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스는 그를 통해 상기 생성된 하전 입자의 적어도 일부를 전달하도록 구성됨 - ;

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 동작가능하게 커플링되고, AC 전압을 생성하여 상기 로드에 인가하도록 구성된 AC 전압 소스;

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출된 후에 하전 입자를 수용하도록 구성된 하전 입자 유입구를 갖는 적어도 하나의 하전 입자 분석기;

상기 AC 전압 소스에 동작가능하게 커플링된 적어도 하나의 프로세서; 및

명령어들이 저장된 적어도 하나의 메모리 디바이스

를 포함하고,

상기 명령어들은, 상기 적어도 하나의 프로세서에 의해, (i) 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에, 제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는, AC 전압을 인가하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 상기 생성된 하전 입자 세트를 통과시키고, (ii) 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출된 후에 상기 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하도록 상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, (iii) 상기 AC 전압의 주파수를 상기 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 상기 AC 전압의 파형 형상을 상기 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키고, (iv) 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구

에서 배출되는 상기 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하도록 상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, (v) 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해 상기 하전 입자 세트 및 상기 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하도록 실행가능한 것인, 하전 입자 분석 기구.

청구항 32

제31항에 있어서, 상기 메모리에 저장된 명령어들은, 상기 적어도 하나의 프로세서에 의해, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하도록 상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하도록 상기 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하도록 상기 하전 입자 세트 및 상기 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함하는 것인, 하전 입자 분석 기구.

청구항 33

제32항에 있어서, 상기 메모리에 저장된 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, 상기 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 상기 결과적인 전하 크기 세트로부터, 상기 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함하는 것인, 하전 입자 분석 기구.

청구항 34

다극 하전 입자 전달 기구에 있어서,

하전 입자를 수용하도록 구성된 하전 입자 유입구를 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스 - 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스는 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드를 갖고, 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스는 그를 통해 상기 생성된 하전 입자의 적어도 일부를 전달하도록 구성됨 - ;

상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 동작가능하게 커플링되고, AC 전압을 생성하여 상기 로드에 인가하도록 구성된 AC 전압 소스;

적어도 하나의 프로세서; 및

명령어들이 저장된 적어도 하나의 메모리 디바이스

를 포함하고,

상기 명령어들은, 상기 적어도 하나의 프로세서에 의해, (i) 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스에, 제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는, AC 전압을 인가하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 하전 입자 세트를 통과시키고, (ii) 상기 AC 전압의 주파수를 상기 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 상기 AC 전압의 파형 형상을 상기 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록 상기 AC 전압 소스를 제어하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키도록 실행가능한 것인, 다극 하전 입자 전달 기구.

청구항 35

제34항에 있어서, 상기 적어도 하나의 메모리에 저장된 명령어들은, 상기 적어도 하나의 프로세서에 의해, 상기 AC 전압의 주파수를 상기 제2 주파수로 변경하거나, 또는 상기 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제2 진폭으로 변경하도록 상기 AC 소스를 제어하기 전에, (iii) 상기 인가된 AC 전압의 주파수를 상기 제2 주파수를 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제2 진폭을 향해 상기 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록, 상기 AC 전압 소스를 제어하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 새로운 하전 입자 세트를 통과시키고, (iv) 상기 증진된 주파수가 상기 제2 주파수에 도달하거나, 또는 상기 증진된 진폭이 상기 제2 진폭에 도달할 때까지 (iii)을 실행하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함하는 것인, 다극 하전 입자 전달 기구.

청구항 36

제35항에 있어서, 상기 적어도 하나의 메모리에 저장된 명령어들은, 상기 적어도 하나의 프로세서에 의해, 상기 증진된 주파수가 상기 제2 주파수에 도달하거나, 또는 상기 증진된 진폭이 상기 제2 진폭에 도달한 후에, (v) 상기 인가된 AC 전압의 주파수를 상기 제1 주파수를 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 상기 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 상기 제1 진폭을 향해 다시 상기 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록 상기 AC 전압 소스를 제어하여, 상기 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 새로운 하전 입자 세트를 통과시키고, (vi) 상기 증진된 주파수가 상기 제1 주파수에 도달할 때까지 (v)를 실행하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함하는 것인, 다극 하전 입자 전달 기구.

청구항 37

제36항에 있어서, 상기 적어도 하나의 메모리에 저장된 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, 선택된 횟수로, (iii) 내지 (iv)을 실행하고, 후속하여 (v) 내지 (vi)를 실행하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함하는 것인, 다극 하전 입자 전달 기구.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원의 상호 참조

[0002] 본 출원은 2022년 9월 9일자로 출원된 미국 가특허 출원 제63/405,004호의 이익 및 우선권을 주장하며, 그 개시 내용은 그 전체가 참조에 의해 본 명세서에 통합된다.

[0003] 정부 권리

[0004] 본 발명은 국립 보건 기관에 의해 수여된 GM131100 하에서 정부 지원으로 이루어졌다. 미국 정부는 본 발명에 대한 특정 권리를 보유한다.

[0005] 본 개시는 개괄적으로, 하나 이상의 하전 입자 특성의 분석 이전에, 또는 그 일부로서 하전 입자를 안내 또는 필터링하기 위해 하나 이상의 다극 하전 입자 전달 디바이스를 활용하는 하전 입자 분석 기구 및 시스템에 관한 것이고, 보다 구체적으로 하전 입자 분석 기구 또는 시스템의 하류 컴포넌트에 의한 분석으로부터 배출된(exiting) 하전 입자의 누락을 감소시키기 위해 하나 이상의 그러한 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0006] 사중극, 헥사폴 및 옥토폴과 같은 다극 디바이스는 통상적으로, 넓은 범위의 질량 대 전하 비를 갖는 하전 입자를 안내하기 위해, 또는 하류 컴포넌트로 단지 감소된 범위의 질량 대 전하 비를 갖는 하전 입자만을 전달하기 위해 하전 입자를 필터링하기 위해 하전 입자 분석 시스템에서 사용된다. 전하 입자 분석 시스템의 하류 컴포넌트에 의한 분석으로부터 배출된 하전 입자의 의도치 않은 누락을 방지하거나 또는 적어도 감소시키는 방식으로 그러한 다극 디바이스를 제어하는 것이 바람직하다.

발명의 내용

[0007] 본 개시는 첨부된 청구범위에 인용되는 특징들 중의 하나 이상 및/또는 뒤따르는 특징들 중의 하나 이상과 이들의 조합들을 포함할 수 있다. 제1 양태에서, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드(elongated rod)를 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 방법이 제공된다. 방법은, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에, 제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는, AC 전압을 인가하도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 제1 주파수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 제1 진폭에서의 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 AC 전압의 파형 형상을 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; AC 전압의 주파수를 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, AC 전압의 피크 진폭을 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 AC 전압의 파형 형상을 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록, AC 전압 소스를 제어하는 단계; 및 제2 주파

수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 제2 진폭에서의 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 제2 파형 형상을 갖는 AC 전압의 파형 형상 중, 하나를 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 제2 양태는 제1 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, AC 전압의 주파수를 제2 주파수로 변경하거나, 또는 AC 전압의 피크 진폭을 제2 진폭으로 변경하도록 AC 소스를 제어하기 전에, (i) 인가된 AC 전압의 주파수를 제2 주파수를 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진(advance)시키거나, 또는 AC 전압의 피크 진폭을 제2 진폭을 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록, AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여, (ii) 증진된 주파수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 및 증진된 진폭에서의 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 및 (iii) 증진된 주파수가 제2 주파수에 도달하거나, 또는 증진된 진폭이 제2 진폭에 도달할 때까지 (i) 및 (ii)를 실행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0009] 제3 양태는 제2 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 증진된 주파수가 제2 주파수에 도달하거나, 또는 증진된 진폭이 제2 진폭에 도달한 후에, (iv) 인가된 AC 전압의 주파수를 제1 주파수를 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 AC 전압의 피크 진폭을 제1 진폭을 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여, (v) 증진된 주파수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 및 증진된 진폭에서의 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 및 (vi) 증진된 주파수가 제1 주파수에 도달하거나, 또는 피크 진폭이 제1 진폭에 도달할 때까지 (iv) 및 (v)를 실행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0010] 제4 양태는 제3 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 선택된 횟수로, (i) 내지 (iii)을 실행하고, 후속하여 (iv) 내지 (vi)를 실행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0011] 제5 양태는 제2 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 선택된 시구간 내에 (iii)을 완료하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0012] 제6 양태는 제3 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 선택된 시구간 내에 (vi)를 완료하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 제7 양태는 제3 양태 또는 제4 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 선택된 시구간 내에 (i) 내지 (iii) 및 (iv) 내지 (vi)의 각각의 실행을 완료하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 제8 양태는 제1 양태 내지 제7 양태 중 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, AC 전압 소스를 제어하는 단계는 AC 전압의 주파수를 변경하도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 방법은, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비(mass-to-charge ratio)의 함수로서 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 주파수를 선택하는 단계; 및 베이스 주파수가 제1 주파수와 제2 주파수 사이에 있거나, 베이스 주파수가 제1 주파수이거나, 또는 베이스 주파수가 제2 주파수이도록, 제1 주파수 및 제2 주파수를 선택하는 단계 - 제2 주파수는 상기 제1 주파수보다 큼 - 를 더 포함할 수 있다.

[0015] 제9 양태는 제1 양태 내지 제7 양태 중 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, AC 전압 소스를 제어하는 단계는 AC 전압의 피크 진폭을 변경하도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 방법은, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비의 함수로서 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 피크 진폭을 선택하는 단계; 및 베이스 피크 진폭이 제1 진폭과 제2 진폭 사이에 있거나, 베이스 피크 진폭이 제1 진폭이거나, 또는 베이스 피크 진폭이 제2 진폭이도록, 제1 진폭 및 상기 제2 진폭을 선택하는 단계 - 제2 진폭은 제1 진폭보다 큼 - 를 더 포함할 수 있다.

[0016] 제10 양태는 제1 양태 내지 제9 양태 중 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 가이드로서 동작하도록 AC 전압만 로드에 인가된다.

[0017] 제11 양태는 제1 양태 내지 제9 양태 중의 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터로서 동작하도록, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 DC 전압을 또한 인가하도록 DC 전압 소스를 제어하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 제12 양태는 제11 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 다극 하전 입자 질량 대 전하비 필터를 통과하도록 질량 대 전하 비의 대응하는 범위를 한정하는 DC 전압의 크기를 선택하는 단계; 및 질량 대 전하비의 대응하는 범위 내의 질량 대 전하비를 갖는 하전 입자만 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터를 통과하도록 상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터의 로드에 선택된 크기를 갖는 DC 전압을 인가하도록 DC 전압 소스를 제어하는 단계

를 더 포함할 수 있다.

[0019] 제13 양태에서, 하전 입자의 소스에 의해 생성되는 하전 입자를 분석하는 방법이 제공된다. 상기 방법은, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유입구에서 생성된 하전 입자를 수용하는 단계; 제1 양태 내지 제12 양태 중 임의의 양태에 따른 다극 하전 입자 전달 디바이스를 제어하는 단계; 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과하는 각각의 하전 입자 세트에 대해, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 각자의 하전 입자 세트 내의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 적어도 하나의 하전 입자 분석기로 측정하는 단계; 및 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해 각자의 하전 입자 세트 모두에서 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 제14 양태는 제13 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과하는 각각의 하전 입자 세트에 대해, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 각자의 하전 입자 세트 내의 하전 입자의 전하 크기를 적어도 하나의 하전 입자 분석기로 측정하는 단계; 및 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 각자의 하전 입자 세트 모두에서 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0021] 제15 양태는 제14 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 결과적인 전하 크기 세트로부터, 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0022] 제16 양태에서, 샘플을 분석하기 위한 방법이 제공된다. 방법은, 샘플로부터 하전 입자를 생성하도록 하전 입자 소스를 제어하는 단계; 다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드를 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유입구에서 생성된 하전 입자를 수용하는 단계; 제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는 AC 전압을 상기 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 인가하기 위해 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 제1 주파수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 제1 진폭에서의 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 제1 파형 형상을 갖는 인가된 AC 전압의 파형 형상을 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 생성된 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계; AC 전압의 주파수를 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, AC 전압의 피크 진폭을 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 AC 전압의 파형 형상을 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록, AC 전압 소스를 제어하는 단계; 제2 주파수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 제2 진폭에서의 인가된 AC 전압의 피크 진폭, 및 제2 파형 형상을 갖는 인가된 AC 전압의 파형 형상 중, 하나를 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계; 및 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해 하전 입자 세트 및 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 단계를 포함할 수 있다.

[0023] 제17 양태는 제16 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 단계; 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 단계; 및 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 하전 입자 세트 및 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0024] 제18 양태는 제17 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 결과적인 전하 크기 세트로부터, 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0025] 제19 양태는 제16 양태 또는 제17 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, AC 전압의 주파수를 제2 주파수로 변경하거나, 또는 AC 전압의 피크 진폭을 제2 진폭으로 변경하도록 AC 소스를 제어하기 전에, (i) 인가된 AC 전압의 주파수를 제2 주파수를 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 제2 진폭을 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록, AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여, (ii) 증진된 주파수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 및 증진된 진폭에서의 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; 후속하여, (iii) 적어도 하나의 하전 입

자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 새로운 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계; 및 (iv) 증진된 주파수가 제2 주파수에 도달하거나, 또는 증진된 진폭이 제2 진폭에 도달할 때까지 (i) 내지 (iii)를 실행하는 단계를 더 포함할 수 있고, 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 것은, 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해, 하전 입자 세트에서의, 또다른 하전 입자 세트에서의, 그리고 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 것을 포함한다.

[0026] 제20 양태는 제19 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, (iii)는 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 새로운 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 것을 더 포함하고, 측정된 전하 크기를 평균화하는 것은, 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 하전 입자 세트에서의, 또다른 하전 입자 세트에서의, 그리고 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 것을 포함한다.

[0027] 제21 양태는 제19 양태 또는 제20 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 증진된 주파수가 제2 주파수에 도달하거나, 또는 증진된 진폭이 제2 진폭에 도달한 후에, (v) 인가된 AC 전압의 주파수를 제1 주파수를 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 제1 진폭을 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계; 후속하여, (vi) 증진된 주파수에서의 인가된 AC 전압의 주파수, 및 증진된 진폭에서의 인가된 AC 전압의 피크 진폭 중, 하나를 이용하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 새로운 하전 입자 세트를 통과시키는 단계; (vii) 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 새로운 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하는 단계; 및 (viii) 증진된 주파수가 제1 주파수에 도달하거나, 또는 증진된 진폭이 제1 진폭에 도달할 때까지 (v) 내지 (vii)를 실행하는 단계를 더 포함하고, 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 것은, 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해, 하전 입자 세트에서의, 또다른 하전 입자 세트에서의, 새로운 하전 입자 세트 모두에서의, 그리고 또다른 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하는 것을 포함한다.

[0028] 제22 양태는 제21 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, (vii)는 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 사용하여, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 새로운 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하는 것을 더 포함하고, 측정된 전하 크기를 평균화하는 것은, 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해, 하전 입자 세트에서의, 또다른 하전 입자 세트에서의, 새로운 하전 입자 세트 모두에서의, 그리고 또다른 새로운 하전 입자 세트 모두에서의 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하는 것을 포함한다.

[0029] 제23 양태는 제21 양태 또는 제22 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 선택된 횟수로, (i) 내지 (iv)을 실행하고, 후속하여 (v) 내지 (viii)를 실행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0030] 제24 양태는 제23 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 결과적인 전하 크기 세트로부터, 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0031] 제25 양태는 제21 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 선택된 시구간 내에, (i) 내지 (iv) 및 (v) 내지 (vii)의 각각의 실행을 완료하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0032] 제26 양태는 제16 양태 내지 제25 양태 중 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, AC 전압 소스를 제어하는 단계는 AC 전압의 주파수를 변경하도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함하고, 상기 방법은, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비(mass-to-charge ratio)의 함수로서 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 주파수를 선택하는 단계; 및 베이스 주파수가 제1 주파수와 제2 주파수 사이에 있거나, 베이스 주파수가 제1 주파수이거나, 또는 베이스 주파수가 제2 주파수이도록, 제1 주파수 및 제2 주파수를 선택하는 단계 - 제2 주파수는 상기 제1 주파수보다 큼 - 를 더 포함한다.

[0033] 제27 양태는 제16 양태 내지 제25 양태 중 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, AC 전압 소스를 제어하는 단계는 AC 전압의 피크 진폭을 변경하도록 AC 전압 소스를 제어하는 단계를 포함하고, 상기 방법은, 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통과할 하전 입자의 질량 대 전하 비의 함수로서 AC 전압 소스에 의해 생성되는 AC 전압의 베이스 피크 진폭을 선택하는 단계; 및 베이스 피크 진폭이 제1 진폭과 제2 진폭 사이에 있거나, 베이스 피크 진폭이 제1 진폭이거나, 또는 베이스 피크 진폭이 제2 진폭이도록, 제1 진폭 및 상기 제2 진폭을 선택하는 단계 - 제2 진폭은 제1 진폭보다 큼 - 를 더 포함한다.

[0034] 제28 양태는 제16 양태 내지 제27 양태 중 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 가이드로서 동작하도록 AC 전압만 로드에 인가된다.

[0035] 제29 양태는 제16 양태 내지 제27 양태 중의 임의의 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 다극 하전 입자 전달 디바이스가 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터로서 동작하도록, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 DC 전압을 또한 인가하도록 DC 전압 소스를 제어하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0036] 제30 양태는 제29 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 다극 하전 입자 질량 대 전하비 필터를 통과하도록 질량 대 전하 비의 대응하는 범위를 한정하는 DC 전압의 크기를 선택하는 단계; 및 질량 대 전하비의 대응하는 범위 내의 질량 대 전하비를 갖는 하전 입자만 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터를 통과하도록 상기 다극 하전 입자 질량 대 전하 비 필터의 로드에 선택된 크기를 갖는 DC 전압을 인가하도록 DC 전압 소스를 제어하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0037] 제31 양태에서, 하전 입자 분석 기구는, 샘플로부터 하전 입자를 생성하도록 구성된 전하 입자 소스; 생성된 하전 입자를 수용하는 하전 입자 유입구를 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스 - 다극 하전 입자 전달 디바이스는 다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드를 갖고, 다극 하전 입자 전달 디바이스는 그를 통해 생성된 하전 입자의 적어도 일부를 전달하도록 구성됨 - ; 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 동작가능하게 커플링되고, AC 전압을 생성하여 로드에 인가하도록 구성된 AC 전압 소스; 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출된 후에 하전 입자를 수용하도록 구성된 하전 입자 유입구를 갖는 적어도 하나의 하전 입자 분석기; AC 전압 소스에 동작가능하게 커플링된 적어도 하나의 프로세서; 및 명령어들이 저장된 적어도 하나의 메모리 디바이스를 포함하고, 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, (i) 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에, 제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는, AC 전압을 인가하도록 AC 전압 소스를 제어하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 생성된 하전 입자 세트를 통과시키고, (ii) 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출된 후에 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하도록 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, (iii) AC 전압의 주파수를 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, AC 전압의 피크 진폭을 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 AC 전압의 파형 형상을 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록 AC 전압 소스를 제어하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키고, (iv) 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 질량 대 전하 비를 측정하도록 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, (v) 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 대 전하 비 세트를 생성하기 위해 하전 입자 세트 및 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 측정된 질량 대 전하 비를 평균화하도록 실행가능하다.

[0038] 제32 양태는 제31 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 메모리에 저장된 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하도록 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, 다극 하전 입자 전달 디바이스의 하전 입자 유출구에서 배출되는 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 전하 크기를 측정하도록 적어도 하나의 하전 입자 분석기를 제어하고, 생성된 하전 입자의 결과적인 전하 크기 세트를 생성하기 위해 하전 입자 세트 및 또다른 하전 입자 세트에서의 하전 입자의 측정된 전하 크기를 평균화하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함할 수 있다.

[0039] 제33 양태는 제32 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 메모리에 저장된 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, 결과적인 질량 대 전하 비 세트 및 결과적인 전하 크기 세트로부터, 생성된 하전 입자의 결과적인 질량 세트를 결정하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함할 수 있다.

[0040] 제34 양태에서, 다극 하전 입자 전달 기구는, 하전 입자를 수용하도록 구성된 하전 입자 유입구를 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스 - 다극 하전 입자 전달 디바이스는 다극 하전 입자 전달 디바이스의 일단부의 하전 입자 유입구로부터 다극 하전 입자 전달 디바이스의 반대 단부의 하전 입자 유출구까지 다극 하전 입자 전달 디바이스를 통해 축 방향으로 연장되는 중심축을 중심으로 반경 방향으로 이격된 짝수의 세장형 로드를 갖고, 다극 하전 입자 전달 디바이스는 그를 통해 상기 생성된 하전 입자의 적어도 일부를 전달하도록 구성됨 - ; 다극 하전 입자 전달 디바이스의 로드에 동작가능하게 커플링되고, AC 전압을 생성하여 로드에 인가하도록 구성된 AC 전압 소스; 적어도 하나의 프로세서; 및 명령어들이 저장된 적어도 하나의 메모리 디바이스를 포함하고, 명령어들은,

적어도 하나의 프로세서에 의해, (i) 다극 하전 입자 전달 디바이스에, 제1 주파수로 설정된 주파수, 제1 진폭으로 설정된 피크 진폭, 및 제1 파형 형상으로 설정된 파형 형상을 갖는, AC 전압을 인가하도록 AC 전압 소스를 제어하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 하전 입자 세트를 통과시키고, (ii) AC 전압의 주파수를 제1 주파수와는 상이한 제2 주파수로 변경하거나, AC 전압의 피크 진폭을 제1 진폭과는 상이한 제2 진폭으로 변경하거나, 또는 AC 전압의 파형 형상을 제1 파형 형상과는 상이한 제2 파형 형상으로 변경하도록 AC 전압 소스를 제어하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 하전 입자 세트를 통과시키도록 실행가능한다.

[0041] 제35 양태는 제34 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 적어도 하나의 메모리에 저장된 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, AC 전압의 주파수를 상기 제2 주파수로 변경하거나, 또는 AC 전압의 피크 진폭을 제2 진폭으로 변경하도록 AC 소스를 제어하기 전에, (iii) 인가된 AC 전압의 주파수를 제2 주파수를 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 제2 진폭을 향해 제1 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록, AC 전압 소스를 제어하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 새로운 하전 입자 세트를 통과시키고, (iv) 증진된 주파수가 제2 주파수에 도달하거나, 또는 증진된 진폭이 제2 진폭에 도달할 때까지 (iii)을 실행하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함할 수 있다.

[0042] 제36 양태는 제35 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 적어도 하나의 메모리에 저장된 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, 증진된 주파수가 제2 주파수에 도달하거나, 또는 증진된 진폭이 제2 진폭에 도달한 후에, (v) 인가된 AC 전압의 주파수를 제1 주파수를 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키거나, 또는 인가된 AC 전압의 피크 진폭을 제1 진폭을 향해 다시 제2 선택된 스텝 크기만큼 증진시키도록 AC 전압 소스를 제어하여, 하전 입자 전달 디바이스를 통해 또다른 새로운 하전 입자 세트를 통과시키고, (vi) 증진된 주파수가 제1 주파수에 도달할 때까지 (v)를 실행하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함할 수 있다.

[0043] 제37 양태는 제36 양태의 특징들을 포함할 수 있으며, 적어도 하나의 메모리에 저장된 명령어들은, 적어도 하나의 프로세서에 의해, 선택된 횟수로, (iii) 내지 (iv)을 실행하고, 후속하여 (v) 내지 (vi)를 실행하도록 실행가능한 명령어들을 더 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0044] 도 1은 하전 입자 가이드 또는 질량 대 전하 필터로서 동작하는 다극 디바이스를 포함하는 하전 입자 분석 기구 또는 시스템의 단순화된 도면이다.

도 2는 시변 전압 소스에 의해 또는 선택적으로 AC 전압 소스와 DC 전압 소스의 조합에 의해 동작가능하게 제어되도록 구성된 사중극 디바이스 형태의 도 1의 다극 디바이스의 실시예의 단순화된 사시도이다.

도 3은 도 1의 단면선 3-3을 따라 본 바와 같은 도 1 및 도 2의 다극 디바이스의 단면도로서, 단일 주파수 시변 전압 소스에 의해 제어되는 다극 디바이스를 갖는, 각각 동일한 질량을 갖지만 상이한 개수의 전하를 갖는 2세트의 하전 입자의 디바이스 내부 및 유출구에서의 각도 편차를 예시한다.

도 4는 단일 주파수 시변 전압 소스에 의해 제어되는 다극 디바이스를 갖는, 동일한 질량을 갖지만 상이한 개수의 전하의 범위를 갖는 하전 입자의 도 2의 다극 디바이스의 유출구에서의 각도 편차의 플롯이다.

도 5는 그 유출구에서 배출되는 하전 입자의 각도 편차의 영향을 회피하거나 적어도 감소시키기 위한, 도 1 및 도 2의 다극 디바이스를 제어하는 방법의 실시예에 대한 단순화된 흐름도이다.

도 6은 도 5에 예시된 프로세스의 예시적인 구현예를 도시하는, 도 1 및 도 2의 전압 소스(V2)의 AC 출력 전압의 주파수 대 시간의 플롯이다.

도 7a는 단일 주파수에서 AC 전압을 생성하도록 제어되는 다극 디바이스의 시변 전압 소스를 갖는, 도 1 및 도 2의 다극 도구를 통과하는 예시적인 하전 입자 세트의 질량 대 전하 비 스펙트럼의 플롯이다.

도 7b는 도 5에서 예로서 예시된 방법에 따른 주파수 범위를 통해 AC 전압을 스위핑하도록 제어되는 다극 디바이스의 시변 전압 소스를 갖지만, 도 1 및 도 2의 다극 기구를 통과하는 도 7a의 동일한 예시적인 전하 입자 세트의 질량 대 전하 비 스펙트럼의 플롯이다.

도 8a는 도 7a와 동일한 단일 주파수로 AC 전압을 생성하도록 제어되는 다극 디바이스의 시변 전압 소스를 갖는, 도 1 및 도 2의 다극 기구를 통과한 도 7a 및 도 7b와 동일한 예시적인 하전 입자 세트의 질량 및 전하의 플롯이다.

도 8b는 도 5에 예시된 방법에 따른 도 7b와 동일한 주파수 범위를 통해 AC 전압을 스위핑하도록 제어되는 다극

디바이스의 시변 전압 소스를 갖지만, 도 1 및 도 2의 다극 기구를 통과하는 도 7a 내지 도 8a의 동일한 예시적인 전하 입자 세트의 질량 대 전하 비 스펙트럼의 플롯이다.

도 9는 그 유출구에서 배출되는 하전 입자의 각도 편차의 영향을 회피하거나 적어도 감소시키기 위한, 도 1 및 도 2의 다극 디바이스를 제어하는 방법의 또다른 실시예에 대한 단순화된 흐름도이다.

도 10a는 단일 주파수 및 단일 피크 진폭에서 AC 전압을 생성하도록 제어되는 다극 디바이스의 시변 전압 소스를 갖는, 도 1 및 도 2의 다극 도구를 통과하는 예시적인 하전 입자 세트의 질량 대 전하 비 스펙트럼의 플롯이다.

도 10b는 도 9에서 예로서 예시된 방법에 따른 피크 진폭 범위를 통해 AC 전압을 스위핑하도록 제어되는 다극 디바이스의 시변 전압 소스를 갖지만, 도 1 및 도 2의 다극 기구를 통과하는 도 10a의 동일한 예시적인 전하 입자 세트의 질량 대 전하 비 스펙트럼의 플롯이다.

도 11a는 도 10a와 동일한 단일 주파수 및 동일한 피크 진폭으로 AC 전압을 생성하도록 제어되는 다극 디바이스의 시변 전압 소스를 갖는, 도 1 및 도 2의 다극 기구를 통과한 도 10a 및 도 10b와 동일한 예시적인 하전 입자 세트의 질량 및 전하의 플롯이다.

도 11b는 도 9에서 예로서 예시된 방법에 따른 도 10b와 동일한 피크 진폭 범위를 통해 AC 전압을 스위핑하도록 제어되는 다극 디바이스의 시변 전압 소스를 갖지만, 도 1 및 도 2의 다극 기구를 통과하는 도 10a 내지 도 11a의 동일한 예시적인 전하 입자 세트의 질량 대 전하 비 스펙트럼의 플롯이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0045] 본 개시의 원리에 대한 이해를 촉진하기 위한 목적으로, 이제 첨부 도면에 도시된 다수의 예시적인 실시예를 참조할 것이며, 이를 설명하기 위해 특정 언어가 사용될 것이다.

[0046] 본 개시는, 예를 들어 하전 입자 분석 기구 또는 시스템에서, 하전 입자 분석 기구 또는 시스템의 하나 이상의 하류 컴포넌트에 의한 분석으로부터 다극 디바이스에서 배출된 하전 입자의 의도하지 않은 생략을 방지하거나 또는 적어도 감소시키는 방식으로 다극 디바이스를 제어하기 위한 하나 이상의 방법에 관한 것이다.

[0047] 이제 도 1을 참조하면, 하전 입자 분석 기구 또는 시스템(10)의 실시예가 도시된다. 예시된 실시예에서, 시스템(10)은 하전 입자 유출구(14)를 구비하는 하전 입자 소스(12), 하전 입자 소스(12)의 하전 입자 유출구(14)에서 배출된 하전 입자를 수용하도록 구성되는, 하전 입자 유입구(16)를 구비하는 다극 하전 입자 전달 디바이스(18), 및 하전 입자 유출구(20), 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)의 하전 입자 유출구(20)에서 배출된 하전 입자를 수용하도록 구성된 하전 입자 유입구(22)를 구비하는 적어도 하나의 하전 입자 분석기(24)를 포함한다. 도 1에는 도시하지 않았지만, 하전 입자 분석기(들)(24)는, 이하 설명된 바와 같이 하전 입자 분석 이전에, 예컨대 하전 입자를 집중시키거나 조종하도록 그리고/또는 하전 입자의 하나 이상의 서브세트를 선택하도록, 하전 입자를 처리하도록 구성되는, 하나 이상의 하전 입자 처리 기구 및/또는 스테이지를 하전 입자 유입구(22)에 포함할 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0048] 기구 또는 시스템(10)은 또한 예시적으로, 각각 적어도 하나의 프로세서(26)와 하전 입자 소스(12), 다극 디바이스(18) 및 하전 입자 분석기(들)(V24) 중의 개별적인 하나 사이에 동작가능하게 커플링되는, 다수의 전압 소스, 예컨대 V1-V3를 포함한다. 적어도 하나의 프로세서(26)는 통상적인 것일 수 있고, 단일 프로세서 또는 다중 프로세서를 포함할 수 있고, 여기서 "프로세서"라는 용어는 본 문서의 목적을 위해, 전압 소스의 동작을 제어하도록 프로그램되고/되거나 수동으로 제어되도록 구성되는 의사 결정 회로를 의미한다. 일부 실시예에서, 의사 결정 회로는 통상적인 마이크로프로세서 또는 마이크로컨트롤러, 및 전압 소스의 동작을 제어하기 위해 마이크로프로세서 또는 마이크로컨트롤러에 의해 실행가능한 명령어들이 저장된 메모리 유닛(28)일 수 있거나 또는 이를 포함할 수 있다. 대안적인 실시예에서, 의사 결정 회로는, 전압 소스의 동작을 제어하도록 설계되거나 또는 달리 구성되는 애플리케이션 특정 디지털 및/또는 아날로그 회로일 수 있거나 또는 이를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 종래의 주변 디바이스(36)는 프로세서(들)(26)에 동작가능하게 커플링될 수 있다. 그러한 하나 이상의 주변 디바이스의 예로는 키보드, 키패드, 포인트 앤 클릭 디바이스, 마이크로폰 등과 같은 하나 이상의 정보 입력 디바이스, 프린터, 디스플레이 모니터 등과 같은 하나 이상의 정보 출력 디바이스, 및/또는 하나 이상의 데이터 및/또는 명령어 저장 디바이스를 포함할 수 있고, 이에 국한되지 않는다.

[0049] 예시된 실시예에서, 전압 소스(V1)의 신호 입력의 J개가 프로세서(26)의 대응하는 신호 출력에 전기적으로 연결되고, V1의 전압 출력의 K개가 하전 입자 소스(12)의 각자의 전압 입력에 전기적으로 연결되고, 여기서 J 및 K

는 각각 임의의 양의 정수일 수 있다. 전압 소스(V1)는, 하전 입자를 생성하기 위해 프로세서(26)에 의한 하전 입자(12)의 제어를 위해 하전 입자 소스(12)에 각자의 전압을 인가하기 위해 프로세서(26)에 의해 제어가능한 임의의 개수의 DC 및/또는 AC(즉, 시간 및 진폭 변수) 소스를 포함할 수 있다. 전압 소스(V2)의 신호 입력의 M개가 프로세서(26)의 대응하는 신호 출력에 전기적으로 연결되고, V2의 전압 출력의 N개가 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)의 각자의 전압 입력에 전기적으로 연결되며, 여기서 M 및 N은 각각 임의의 양의 정수일 수 있다. 전압 소스(V2)는 하전 입자 소스(12)에 의해 생성되는 하전 입자를 하전 입자 분석기(들)(24) 내로 안내하거나, 또는 필터링 및 안내하기 위해, 프로세서(26)에 의한 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)의 제어를 위해 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)에 각자의 전압을 인가하도록 프로세서(26)에 의해 제어될 수 있는 임의의 개수의 DC 및/또는 AC(즉, 시간 및 진폭 변수) 소스를 포함할 수 있다. 전압 소스(V3)의 신호 입력의 P개가 프로세서(26)의 대응하는 신호 출력에 전기적으로 연결되고, V3의 전압 출력의 Q개가 하전 입자 분석기(들)(24)의 각자의 전압 입력에 전기적으로 연결되고, 여기서 P 및 Q는 각각 임의의 양의 정수일 수 있다. 전압 소스(V3)는 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)에 의해 전달되는 하전 입자를 처리하기 위해 프로세서(26)에 의한 하전 입자 분석기(들)(24)의 제어를 위해 하전 입자 분석기(들)(24)에 각자의 전압을 인가하도록 프로세서(26)에 의해 제어될 수 있는 임의의 개수의 DC 및/또는 AC(즉, 시간 및 진폭 변수) 소스를 포함할 수 있다.

[0050] 기구 또는 시스템(10)의 일부 실시예에서, 하전 입자 분석기(들)(24)는 도 1에 파선으로 도시한 바와 같이 적어도 하나의 하전 입자 검출기(32)를 포함할 수 있다. 일부 그러한 실시예에서, 적어도 하나의 하전 입자 검출기(32)는, 적어도 하나의 신호 경로(30)를 통해 하전 입자 분석기(들)(24)에 전기적으로 커플링되는 입력을 구비하는 적어도 하나의 하전 입자 검출기를 포함할 수 있고/있거나 적어도 하나의 하전 입자 검출기(32)는 하전 입자의 도착을 검출하기 위해 하전 입자 분석기(들)(24)에 대해 위치된 적어도 하나의 하전 입자 검출기를 포함할 수 있다. 전자의 경우에, 하전 입자 검출기(들)(32)는, 예를 들어 하나 이상의 통상적인 전하 민감성 프리앰프이거나 이를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않고, 후자의 경우에 하전 입자 검출기(들)(32)는, 예를 들어 통상적인 마이크로채널 플레이트 검출기 또는 이들의 등가물이거나 이를 포함할 수 있지만, 이에 한정되지 않는다. 임의의 경우에, 적어도 하나의 하전 입자 검출기(32)를 포함하는 실시예에서, 적어도 하나의 하전 입자 검출기(32)의 적어도 하나의 신호 출력은, 적어도 하나의 프로세서(26)의 적어도 하나의 각자의 입력에 전기적으로 커플링된다. 프로세서(26)는, 예컨대 메모리(28)에 저장된 명령어들의 실행을 통해, 하나 이상의 하전 입자 특성을 결정하기 위해 적어도 하나의 하전 입자 검출기(32)에 의해 생성되는 전하 검출 신호를 처리하도록, 그리고 일부 실시예에서, 결정된 하나 이상의 하전 입자 특성을 포함하는 적어도 하나의 스펙트럼을 그래픽 표시 및/또는 분석을 위해 생성하도록 예시적으로 구성된다.

[0051] 도 1의 예에 의해 도시된 바와 같이, 스테이지(12, 18, 24)는 중앙의 종방향 축(34)이, 기구 또는 시스템(10) 내의 각각의 각자의 하전 입자 유입구 및 유출구를 통해 연장되며, 그를 통해 그 주위에 하전 입자가 기구 또는 시스템(12)의 다양한 스테이지 내로 그를 통해 이동하도록 서로 예시적으로 정렬되지만, 대안적인 실시예에서, 스테이지(12, 18, 24) 중 하나 이상의 스테이지가 스테이지(12, 18, 24)의 다른 스테이지들과 그렇게 정렬되지 않을 수 있지만, 그러한 실시예에서, 하나 이상의 종래의 하전 입자 안내 또는 조향 장치가 스테이지(12, 18)에서 배출되어 하전 입자를 다음 스테이지(18, 24)의 하전 입자 유입구(16, 22)로 유도하기 위해 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예시된 실시예에서, 다극 디바이스(18)의 하전 입자 유출구(20)는 하전 입자 분석기(24)의 하전 입자 유입구(22)로부터 또는 하전 입자 분석기(24)의 다중 스테이지 실시예의 제1 하전 입자 처리 스테이지의 하전 입자 유입구(22)로부터 거리(D)만큼 이격된다.

[0052] 하전 입자 소스(12)는 예시적으로 샘플로부터 하전 입자(즉, 이온)를 생성하는 임의의 종래의 디바이스 또는 장치를 포함할 수 있다. 하나의 예시적인 예로서, 어떠한 식으로든 제한하는 것으로 간주되지 않아야 하며, 하전 입자 소스(12)는 용액, 기체 또는 고체 형태의 샘플로부터 하전 입자를 생성하도록 구성되는, 통상적인 전기 분사 이온화 소스, 매트릭스 보조 레이저 탈착 이온화(matrix-assisted laser desorption ionization: MALDI) 소스 또는 다른 종래의 기구 또는 디바이스일 수 있거나 이들을 포함할 수 있다. 이온이 생성되는 샘플은 임의의 생물학적 및/또는 기타 재료일 수 있거나 이들을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 하전 입자 소스(12)는 하나 이상의 분자 특성에 따라 하전 입자의 전하 상태를 분리, 수집, 필터링, 단편화 및/또는 정규화 또는 시프팅하기 위한 하나 이상의 디바이스 및/또는 기구를 더 포함할 수 있다. 하전 입자 소스(12)에 포함되거나 하전 입자 소스(12)의 일부로서 포함될 수 있는 그러한 추가적 디바이스 또는 기구의 일례로서, 질량 분광기가 하전 입자 소스(12)의 하전 입자 출구(14)로부터 배출되기 전에, 생성된 하전 입자를 질량 대 전하 비에 따라 분리하기 위해 구현될 수 있다. 그러한 질량 분광기는 예를 들어, 이에 국한되는 것은 아니지만, 비행 시간(time-of-flight: TOF) 질량 분광기, 리플렉트론 질량 분광기, 푸리에 변환 이온 사이클로트론 공명(Fourier transform ion cyclotron resonance; FTICR) 질량 분광기, 사중극 질량 분광기, 삼중 사중극 질량 분광기, 자기 섹터 질

량 분광기 등을 포함하는, 임의의 통상적인 설계일 수 있다.

[0053] 하전 입자 분석기(들)(24)는 예시적으로, 하나 이상의 분자 특성에 따라 하전 입자의 전하 상태를 분리, 수집, 필터링, 단편화 및/또는 정규화 또는 시프팅하도록 그리고/또는 하전 입자의 하나 이상의 분자 특성 및/또는 전하 특성을 측정하도록 구성되는, 임의의 통상적인 디바이스 또는 종래의 순차적 조합을 포함할 수 있다. 하나의 예시적인 실시예에서, 하전 입자 분석기(들)(24)는 질량 대 전하 비에 따라 하전 입자들을 분리하고 검출하도록 구성되는, 적어도 하나의 통상적인 질량 분광기 또는 질량 분석기를 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 하전 입자 분석 디바이스(들)(24)는 이온 이동성에 따라 하전 입자를 분리하고 검출하도록 구성되는, 적어도 하나의 이동성 디바이스를 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 하전 입자 분석 디바이스(들)(24)는 (하전 입자 질량이 그로부터 직접적으로 결정될 수 있는) 하전 입자의 질량 대 전하 비 및 전하 크기를 동시에 측정하도록 구성되는, 적어도 하나의 정전 선형 이온 트랩(electrostatic linear ion trap; ELIT) 및/또는 오비트랩(orbitrap)을 포함할 수 있다. 그러한 실시예에서, 적어도 하나의 하전 입자 검출기(32)는 상기에 간략하게 설명된 바와 같은, 하나 이상의 전하 검출 증폭기 및/또는 전하 민감성 프리앰프일 수 있거나 이들을 포함할 수 있다. 당업자는 하전 입자 분석기(들)(24)일 수 있거나 이에 포함될 수 있는 통상적인 디바이스 또는 기구의 다른 예들을 인식할 것이며, 그리고 그러한 다른 예들이 본 개시의 범위 이내에 속하는 것으로 의도된다는 것이 이해할 것이다. 앞서 언급한 예 중 어느 것도 어떤 식으로든 제한적인 것으로 간주되어서는 안 된다는 점을 더욱 이해해야 한다.

[0054] 전압 소스(V2)이 단지 AC 전압 소스만을 포함하는(또는 전압 소스(V2)의 AC 전압 소스만이 활성화되는) 실시예에서, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 하전 입자 소스(12)과 하전 입자 분석기(들)(24) 사이에서 하전 입자를 안내하도록 동작할 것이다(즉, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)가 다극 하전 입자 가이드로서 동작하도록). 전압 소스(V2)가 AC 전압 소스 및 DC 전압 소스를 포함하고, 그러한 소스 양자 모두가 활성화되는 실시예에서, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 하전 입자 소스(12)에 의해 생성되는 하전 입자를 수용하고, (종래의 방식으로 DC 전압의 크기에 의해 결정되는 바와 같이) 수용된 하전 입자의 질량 대 전하 비에 기초하여 수용된 하전 입자를 필터링하고, DC 전압 소스에 의해 인가되는 DC 전압의 크기에 의해 결정되는 질량 대 전하 비의 특정 범위 이내의 질량 대 전하 비를 갖는 수용된 하전 입자의 서브세트를 송신하도록(즉, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)가 다극 하전 입자 질량 대 전하 필터로서 동작하도록) 구성될 것이다. 임의의 경우에, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 통상적으로 세장형 로드의 형태의, 임의의 짝수의 극을 구비할 수 있다. 전형적인 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 4개의 극, 6개의 극 또는 8개의 극을 포함할 수 있지만, 더 많은 짝수의 극을 갖는 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)가 대안적으로 사용될 수 있다. 4개의 극 또는 로드의 경우에, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 전형적으로 사중극 디바이스로서 지칭되며, 6개의 극 또는 로드의 경우에, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 전형적으로 헥사폴 디바이스로서 지칭되며, 8개의 극 또는 막대의 경우에, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 전형적으로 팔중극(octopole) 디바이스로서 지칭된다. 극, 예컨대 세장형 로드는 일반적인 예들이 원형, 정사각형 또는 직사각형, 및 쌍곡형인 임의의 단면 형상 또는 윤곽을 가질 수 있다.

[0055] 이제 도 2를 참조하면, 통상적인 사중극 하전 입자 가이드 또는 질량 대 충전 필터(18)의 형태로 구현되는 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)의 예시적인 실시예가 도시된다. 예시된 실시예에서, 사중극 디바이스(18)는 예시적으로, 하전 입자 유입구(16)가 로드(40A 내지 40D)의 하나의 축 방향 단부에 정의되고 하전 입자 유입구(20)가 로드(40A 내지 40D)의 반대 축 방향 단부에 정의되도록, 서로 평행하게 배치되며 중심의 종방향 축(34)을 중심으로 동심원으로 배열되고, 그로부터 반경 방향으로 이격되는, 4개의 세장형 전기 전도성 로드(40A, 40B, 40C 및 40D)를 포함한다. 하전 입자는 그에 따라 하전 입자 유입구(16)에 진입하고, 사중극 디바이스(18)를 통해 축방향으로 이동하며 하전 입자 유출구(20)를 통해 배출된다. 일부 실시예에서, 도 3에 예시된 바와 같이, 하전 입자 유입구(16)는 유입구 플레이트 또는 그리드(44)를 통해 정의되는 개구부에 의해 정의될 수 있으며, 하전 입자 유출구(20)는 유출구 플레이트 또는 그리드(46)를 통해 정의되는 개구부에 의해 정의될 수 있다. 로드(40A, 40B, 40C 및 40D)는 일반적으로 원형의 단면을 갖는 것으로 도 2에 예로서 예시되었지만, 로드(40A 내지 40D)가 대안적으로 임의의 소망의 단면 형상 또는 프로파일을 가질 수 있으며, 그의 일부 비제한적인 예들이 상기 설명된다.

[0056] 실시예는 또한, 전압 소스(V2)의 도 2에 도시된다. 예시된 실시예에서, 전압 소스(V2)는, 프로세서(26)의 각자의 출력에 커플링되는 입력(M1)을 구비하는 AC 전압 소스(48), 2개의 대향하는 로드(40B, 40D)에 전기적으로 커플링되는 하나의 출력(N1), 및 나머지 2개의 대향하는 로드(40A, 40C)에 전기적으로 커플링되는 다른 출력(N2)을 포함한다. 임의의 짝수의 극 또는 로드를 구비하는 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)의 일반적인 경우에,

AC 전압 소스(48)(및 전압 소스(V2))의 N1 및 N2 출력은 반경 방향으로 교호하는 방식으로, 즉 전압 출력이 디바이스(18)에 대해 반경 방향으로 N1, N2, N1, N2 등이 연결되도록, 다양한 극 또는 로드에 연결될 것이다.

[0057] 일부 실시예에서, AC 소스(48)는 무선 주파수(radio frequency; RF) 범위의 주기적 AC 전압을 생성하도록 구성되지만, 대안적인 실시예에서 AC 소스(48)는 대안적으로 또는 추가적으로 RF 범위 외부의 주파수 범위의 AC 전압을 생성하도록 구성될 수 있다. 임의의 경우에, AC 전압 소스(48)은 프로세서(26)에 의해, AC 전압 소스(48) 내로 통합된 하나 이상의 프로세서에 의해 제어되고/되거나 그 허용가능하거나 프로그램된 주파수 범위 내의 소망의 주파수에서, 임의의 소망의 형상으로, 허용가능하거나 프로그램된 진폭 범위 내의 임의의 소망의 피크 진폭으로, 임의의 소망의 듀티 사이클로 AC 전압을 생성하도록 수동으로 제어되도록 예시적으로 구성된다. 예시적인 파형 형상은, 이에 국한되는 것은 아니지만, 사인파, 사각파, 삼각파, 톱니파(예컨대, 각 톱니 삼각형의 빗변은 톱니 펄스의 상승 에지를 나타냄), 역톱니파(예컨대, 각 톱니파의 빗변은 톱니 펄스의 하강 에지를 나타냄) 등을 포함할 수 있지만, AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 파형 형상이 다른 형상을 가질 수 있다는 것이 이해될 것이다. 그러한 다른 형상의 예로는, 예를 들어, 상기 예시적인 파형 형상 중 임의의 하나 또는 조합 중 2개 이상을 조합함에 의해 획득되는 파형 형상, AC 소스(48)에 의해 생성되는 베이스 AC 전압의 주파수 도메인 표현(예를 들어, 푸리에 시리즈 표현)의 다양한 조화 주파수 및/또는 기본 주파수의 특정 조합을 선택함에 의해 획득되는 파형 형상, 및/또는 종래의 임의 파형 발생기(arbitrary waveform generator; AWG)의 형태로 제공되는 AC 소스(48)의 다양한 경로점을 프로그램함에 의해 획득되는 임의의 파형 형상을 포함할 수 있지만, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0058] 일부 실시예에서, 도 2의 파선 도면에 의해 예시되는 바와 같이, 전압 소스(V2)는 프로세서(26)의 각자의 출력에 커플링되는 입력(M2)을 구비하는 DC 전압 소스(49), 2개의 대향하는 로드(40A, 40C)에 전기적으로 커플링되는 하나의 출력, 및 나머지 2개의 대향한 로드(40B, 40D)에 전기적으로 커플링되는 다른 출력을 더 포함하여, 예컨대, DC 전압 소스(49)의 양극 단자(+)가 AC 전압 소스(48)의 N2 출력에 연결되고 DC 전압 소스(49)의 음극 또는 접지 단자가 AC 전압 소스(48)의 N1 출력에 연결되게 할 수 있다. 이를 포함하는 실시예에서, DC 전압 소스(49)는 프로세서(26)에 의해, DC 전압 소스(49) 내에 통합되는 하나 이상의 프로세서에 의해 제어되도록, 그리고/또는 그의 허용가능한 또는 프로그램된 진폭 범위 내의 임의의 소망의는 진폭에서 DC 전압을 생성하도록 수동으로 제어되도록 예시적으로 구성된다.

[0059] DC 전압 소스(49)를 포함하지 않는 전압 소스(V2)의 실시예에서, 결과의 디바이스(18)는 통상적으로 "RF 전용 다극 가이드"로서 지칭되며, 인가된 RF(AC) 전압에 의해, 도 3 및 도 4에 대해 더욱 상세하게 설명될 바와 같이, 중심축(34)을 따라 그 주위에 디바이스(18)를 통해 하전 입자를 안내하는 다극 하전 입자 가이드로서 작동가능하다. DC 전압 소스(49)를 포함하는 실시예에서, 결과의 디바이스(18)는 통상적으로 "다극 질량 대 전하 필터"로 지칭되거나, 단축된 버전에서는 "다극 질량 필터"로 지칭되며, 임의의 경우에, 인가된 RF(AC) 전압 및 인가된 DC 전압에 의해, 단지 선택된 질량 대 전하 비 범위 이내의 질량 대 전하 비를 갖는 하전 입자들의 서브세트만을 디바이스를 통해 안내하도록 동작가능하고, 디바이스(18)에서 배출될 수 있는 하전 입자의 선택된 질량 대 전하 비 범위는 DC 전압 소스(49)에 의해 생성되는 DC 전압의 크기에 의해 정의된다. 이러한 범위 외부의 질량 대 전하 비를 갖는 하전 입자는 로드(40A 내지 40D) 상에서 로드(40A 내지 40D)에 의해 중화된다. 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)가 도 2의 예에 의해 예시된 바와 같은 4개의 로드를 포함하는 실시예에서, 전자의 디바이스(18)는 통상적으로 "RF 전용 사중극 가이드"로 지칭되며, 그리고 후자의 디바이스는 통상적으로 "사극자 질량 대 전하 필터" 또는 "사극자 질량 필터"로 지칭된다.

[0060] 도 1에 도시하며 방금 설명된 기구 또는 시스템(10)은, 하전 입자 소스(12) 이전의, 하전 입자 소스(12)와 다극 하전 입자 전달 디바이스(18) 사이에, 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)와 하전 입자 분석기(들)(24) 사이에, 다수의 스테이지 또는 기구를 구비하는 하전 입자 분석기 및/또는 후속하는 하전 입자 분석기(들)(24)의 적어도 2개의 스테이지 또는 기구 사이에, 하나 이상의 추가적인 하전 입자 처리 컴포넌트 또는 스테이지를 포함할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 기구 또는 시스템(10)은 대안적으로 또는 추가적으로, 스테이지(12, 18, 24) 중 어느 것 이전에, 이들 사이에, 이들의 일부 또는 뒤따르는, 임의의 개수의 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)를 포함할 수 있으며, 그러한 다극 하전 입자 전달 디바이스(18)는 이하에 설명된 바와 같이 제어될 수 있다는 것이 추가로 이해될 것이다.

[0061] 이제 도 3을 참조하면, 도 2의 사중극 디바이스(18)의 단면도가 도시되며, 사중극 디바이스(18)는 RF 전용 사중극 하전 입자 가이드로서 구성된다(즉, 전압 소스(V2)가 무선 주파수 범위에서 AC 전압을 생성하도록 구성되거나 프로그램된 AC 소스(48)만을 포함하도록). RF 전용 사중극 가이드(18)의 동작에서, RF 전용 사중극 가이드(18) 내에서 중앙에, 즉 중심축(34)을 향해 그 주위에 하전 입자를 집중시키는 전위 웰 U(r)이 다음 방정식을

사용하여 표현될 수 있다:

[0062] $$U(r) = \frac{n^2z^2e^2V^2}{(4mr_o^2\omega^2)(r/r_o)^{2n-2}}$$

[0063] 이 방정식에서, n은 로드 쌍의 개수를 나타내고(예를 들어, 도 2 및 도 3에 도시된 디바이스(18)에서 n = 2), z는 전하의 개수이고, e는 쿨롱(coulomb)에서 전자의 전하이고, V는 인가된 RF 전압의 피크 진폭이고, m은 하전 입자의 질량이며, r은 중심축(35)으로부터의 하전 입자의 거리이고, r_o는 사중극 디바이스(18)의 내접 반경이며, ω는 각 주파수이다. 이러한 방정식으로부터, RF 전압의 피크 진폭(V)이 증가함에 따라, 더 높은 m/z 값을 갖는 하전 입자가 중심축(34)에 집중될 수 있지만, 낮은 m/z 컷오프가 상승되는 것을 알 수 있다. 낮은 질량 대 전하 비(m/z) 컷오프 미만의 하전 입자는 RF 컴포넌트에 의한 공진으로 인해 손실되는 반면, m/z 값이 높은 m/z 임계값 이상인 하전 입자는 효과적으로 집중될 수 없다.

[0064] 이상적으로, 낮은 m/z 컷오프와 높은 m/z 임계값 사이의 전술한 m/z 값의 범위 이내에서, 도 2 및 도 3의 RF 전용 사중극(18)를 통과하는 하전 입자에 대한 투과 효율; 즉, RF 전용 사중극(18)를 통해 전달되는 하전 입자의 개수와 RF 전용 사중극(18)에 진입하는 하전 입자의 개수의 비는 하전 입자의 질량 대 전하 비(m/z)와 독립적이어야 한다. 이것이 대체로 사실이지만, 사중극(18)에서 배출된 하전 입자의 궤적은 m/z 의존적이며, 그러한 궤적들의 차이는 사중극(18)로부터 하전 입자 분석기(들)(24)로의 하전 입자의 전달 효율에, 즉, RF 전용 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)에서 배출된 하전 입자의 개수와 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 유입구(22)로 진입하는 하전 입자의 개수의 비에 악영향을 미칠 수 있다. 동일한 m/z의 하전 입자에 대한 거동의 유사성으로 인해, 특정 m/z 범위 또는 하전 입자 대역은 다른 것보다 덜 효과적으로 전달되어, 사중극(18)과 하전 입자 분석기(들)(24) 사이의 그러한 m/z 범위 또는 대역에서 하전 입자가 손실될 가능성이 있으며, 그로 인해 하전 입자 분석기(들)(24)에서 그에 의해 획득된 스펙트럼에 인공 산물이 발생한다. 또한, 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)와 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 유입구 사이의 하전 입자의 그러한 궤적 관련 손실의 가능성과 심각성은 사중극(18)의 히전 입자 유출구(20)와 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 입력(22) 사이의 거리(D)에 따라 증가한다(예컨대, 도 1 참조).

[0065] 하전 입자는 사중극(18)을 축방향으로 횡단하는 반면, 즉, 하전 입자 유입구(16)로 진입하고 하전 입자 유출구(20)에서 배출되는 반면, 전압 소스(V2)에 의해 사중극(18)에 인가되는 AC 전압의 시변 특성의 결과로서, 중심의 세로축(34)을 중심으로 방사형 방향으로 진동한다. 인가된 AC 전압이 예컨대 사인파 RF 전압인 실시예에서, 하전 입자가 하전 하전 입자 유입구(16)로부터 하전 입자 유출구(20)를 향해 그리고 그를 통해 사중극(18)을 따라 축방향으로 이동할 때, 중심 종방향 축(34)을 중심으로 반경 방향으로 사인파형 패턴으로 하전 입자가 이동한다. 임의의 경우에, 그러한 RF 제한의 결과로서, 하전 입자는 소위 "노드"에서 하전 입자 유출구(20)에서 배출될 수 있고, 이는 중심 종방향 축(34)에서 정의되고, 소위 "안티-노드"에서 정의되며, 이는 중심 종방향 축(34)으로부터 가장 먼 방사 거리로 정의되며, 즉 하전 입자가 사중극(18)에서 배출되는 하전 입자 유출구(20)의 개구부의 말단 벽(들) 또는 에지(들)에 의해 정의되며, 이는 노드와 안티-노드 사이의 임의의 지점에서, 인가된 RF 전압의 적어도 하나의 파라미터의 함수이다. 이러한 현상은 "노딩(noding)"으로 지칭되며, 하전 입자이 하전 입자 유출구(20)로부터 멀어지게 이동할 때, 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)에서 배출된 하전 입자 중의 적어도 일부의 중심 종방향 축(34)으로부터의 각도 편차를 야기한다.

[0066] 도 3의 예시적인 사중극(18)에서, 사인파형의 형태에서 전압 소스(V2)에 의해 생성되는 RF 전압을 갖는 2개의 상이한 전하를 갖는 2.7 MDa 하전 입자에 대한 궤도가 도시되어 있다. 하전 입자(50)는 예를 들어(도 3의 어두운 패턴), 750개의 전하를 구비하며, 하전 입자(52)(도 3의 더 밝은 패턴)는 500개의 전하를 구비한다. 예에 의해 도시된 바와 같이, 도 3에서, 하전 입자(50)(750개의 전하를 갖는)은 중심 축(34) 상에 그 주위에 더욱 밀접하게 집중되는 반면, 하전 입자(52)는 덜 그러하며 노드와 안티-노드 사이의 반경 방향 거리에서 하전 입자 유출구(20)에서 배출되고, 그로 인해 하전 입자(52)가 사중극에서 배출되고 하전 입자 분석기(들)(24)을 향해 계속될 때, 하전 입자(52)가 중심축(34)으로부터 각도 방향으로 분산되게 한다. 도 3에 예시된 바와 같이, 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)에서의 하전 입자(52)의 각도 편차는, 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)와 하전 입자 분석기(들)(24)(예를 들어, 도 1 참조)의 하전 입자 입력부(22) 사이의 거리(D)에 의해 악화되고, 그 결과, 하전 입자 분석기(들)(24)에 도달하는 하전 입자(52)는 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 유입구(22)에 진입하기에는 너무 넓게 분산될 수 있다. 따라서, 중심 종방향 축(34)을 중심으로 조밀하게 집중된 하전 입자(50)의 대부분 또는 전부가 거리(D)를 이동하여 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 유입구(22)에 진입할 것인 반면, 하전 입자(52)의 일부 또는 전부가 노드와 안티-노드 사이의 반경 거리에서 사중극(20)의 하전

입자 유출구(16)에서 배출되지 않을 수 있다.

[0067] 동일한 m/z의 하전 입자가 유사하게 거동함에 따라, 다른 하위 모집단의 하전 입자의 일부 또는 전부, 즉 하전 입자(52)와 동일한 또는 거의 동일한 m/z를 갖는 하전 입자가 마찬가지로 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 유입구(22) 내로 전달되지 않을 수 있다. 도 4를 참조하면, 예를 들어, 도 3에 예시된 2.7 MDa 하전 입자의 전하 상태에 대한 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)에서의 하전 입자의 각도 발산에 대한 플롯(54)이 도시된다. 플롯(54)은 500 내지 1000개의 전하 사이에서 매 10개의 전하 상태에 대한 50개의 하전 입자의 각도 발산을 예시한다. 각각의 하전 입자는 이러한 예에서 동일한 질량, 2.7 MDa를 보유하며, 그에 따라 전하 상태의 차이는 대응하여 상이한 m/z 값을 야기한다. 도 4에 도시한 상이한 전하 상태는 눈에 띄게 상이한 포커싱 레벨을 가지며, 하전 입자는 대략 750개의 전하가 가장 집중되고, 하전 입자는 대략 1000개의 전하가 가장 각도로(most angularly) 분산된다. 따라서, 전술한 바와 같은 노딩의 영향으로 인해, 도 1에 도시한 기구 또는 시스템(10)에서, 도 4에 도시한 극단적인 전하 상태에서 또는 그 근처의 하전 입자 중 적어도 일부는 하전 입자 분석기(들)(24) 내로 전달되지 않는 반면, 전부는 아니지만, 도 4에 도시한 전하 상태의 중심 근처의 하전 입자의 하전 입자의 대부분은 하전 입자 분석기(들)(24)로 전달될 것이다.

[0068] 도 2 및 도 3에 예시한 바와 같은 RF 전용 사중극(18)을 도 1에 예시한 기구 또는 시스템(10)과 같은 기구 또는 시스템에서 사용하는 것은 통상적으로 전압 구배 및 주파수, 예컨대 RF 사인파를 결정하는 것을 수반하며, 이는 관심있는 하전 입자, 예컨대 선택된 질량 범위 및/또는 질량 대 전하 비 이내의 하전 입자의 전달을 극대화하고, 이어서, 기구 또는 시스템(10)의 동작 지속시간 동안 이러한 설정을 일정하게 유지하여 샘플의 스펙트럼을 생성한다. 이러한 통상적인 기법은 일반적으로, 작은 크기 내지 중간 크기의 m/z 범위 내의 하전 입자를 분석할 때 잘 작동하지만, 상기 설명된 노딩 효과로 인해 더 큰 m/z 범위의 하전 입자를 분석할 때 실패할 수 있다. 도 7a 및 도 8a를 참조하면, 예를 들어 m/z 스펙트럼(130)(도 7a) 및 질량 및 전하 산란 플롯(질량 및 하전 분포가 서로 중첩됨) 스펙트럼(150)(도 8a)이 도시되어 있고, 여기서 사중극(18)가 대략 450 kHz의 주파수에서 사인파 RF 전압 소스(V2)에 의해 구동되는 RF 전용 사중극로서 동작하여 대략 2.83 MDa의 공지의 질량을 갖는 플라스미드 pBR322 벡터의 샘플을 분석하는 도 1의 기구(10)가 사용되었다. 플롯(130, 150) 각각은 상기 정의되고 설명된 바와 같은, 사중극 노딩의 영향을 입증한다. 도 8a에 도시된 바와 같이, 예를 들어, 사중극(18)에서의 노딩의 효과는, 제1 세트(152)가 대략 1.3 내지 2 MDa 사이에서 연장되고 제2 세트(154)가 대략 2.6 내지 2.9 MDa 사이에서 연장되는, 여러개의 별개의 점 자국의 2세트(152, 154)의 형태로 볼 수 있다. 도 8a에 도시한 여러개의 별개의 점 자국은, 하전 입자의 별개의 하위 모집단을 나타내는 것으로 보이지만, RF 전용 사중극(18)에서의 의도하지 않은 m/z 선택으로 인한 것이다. 각각의 세트(152, 154) 내의 각각의 점 자국은 예시적으로, 상이한 각자의 m/z 범위 내의 하전 입자의 상이한 하위 모집단을 나타내며, 각각의 세트(152, 154) 내의 인접한 점 자국 사이의 블랭크 영역은 각자의 m/z 범위 내의 하전 입자를 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 유입구(22)로 효과적으로 전달하기 위해 사중극(18)의 실패를 나타낸다. pBR322 벡터에 가능한 전하의 매우 큰 확산으로 인해, 노딩 효과는 특히 도 8a에서 두드러지며, 도 7a의 m/z 플롯(130)에서 관찰되는 다수의 상이한 피크에 의해 더욱 확증된다.

[0069] 사극자(18)의, 그리고 상기 설명된 임의의 다극 디바이스의 노드 효과는 상기 설명된 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 주파수에 의존하는 것으로 확인되었다. 즉, 중심 종방향 축(34)에 대해, 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)로부터의 특정 m/z를 갖는 하전 입자의 배출 지점은 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 주파수의 함수이다. 따라서, 사인파 RF 소스로서 구현되는 AC 소스(48)와 더불어, 예를 들어, 질량 대 전하 비(m/z)를 갖는 하전 입자는, 사중극(18)의 노드에서, 즉, 중심 종방향 축(34)에서 그에 따라, RF 주파수(F1)에서, 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)에서 배출될 수 있지만, 상기 정의한 바와 같이, 안티-노드에서 상이한 RF 주파수(F2)에서 사중극(18)의 하전 입자 유출구 (20)에서 배출될 수 있고, 노드와 노드(34)를 중심으로 방사형으로 정의된 임의의 안티-노드 사이의 모든 지점에서 F1 또는 F2 이외의 RF 주파수에서 사중극(18)의 하전 입자 유출구 (20)에서 배출될 수 있다. 이러한 현상은 사중극(18)의 AC 전압 소스(48)를 동작시켜 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)로부터 하전 입자의 대응하는 m/z-종속 배출 궤적을 노드(34)와 안티-노드(들) 사이에서 그를 따라 시프트하기 위해 상이한 주파수에서 AC 전압을 생성한 후, 하류 하전 입자 분석기(들)(24)에서 획득된 하전 입자 검출 데이터를 평균화함으로써 노딩 효과를 제거하거나 적어도 크게 감소시키는 데 예시적으로 활용될 수 있다. 이 기술은 예시적으로 도 7a 및 도 8b에 예시로 도시되고 상기 설명한 바와 같이 사중극(18)과 하전 입자 분석기(들)(24) 사이의 하전 입자 전달 효율의 손실을 모든 m/z 모집단에 걸쳐 분산시킴으로써, 그 결과 관심 m/z 범위에 걸쳐 하전 입자의 보다 균일한 검출을 가져오고, 따라서 예컨대 상기 설명한 도 7a의 m/z 플롯(130)과 같은 m/z 스펙트럼에서 관찰되는 외부 피크와 도 8a의 질량 및 전하 산점도(15

0)와 같은 질량 및 전하 산점도 스펙트럼의 별개의 점 자국을 제거하거나 적어도 크게 감소시킨다.

[0070] 이제 도 5를 참조하면, 후속적으로 획득되는 하전 입자 측정 데이터에 대한 임의의 다극 디바이스(18)의 노딩 효과를 제거하거나 적어도 감소시키기 위해 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)를 상이한 주파수로 동작시키는 예시적인 프로세스(100)에 대한 흐름도가 도시된다. 하나의 실시예에서, 프로세스(100)는, 이하에 설명될 바와 같이 도 1의 전압 소스(V2)를 제어하기 위해 메모리 디바이스(28) 내에 저장되고 프로세서(들)(26)에 의해 실행 가능한 명령어들의 형태로 구현된다. 일부 대안적인 실시예에서, 프로세스(100)는 전체적으로 또는 부분적으로, 하나 이상의 다른 프로세서에 의해 그리고/또는 전압 소스(V2)의 온-보드 회로부에 의해 구현될 수 있다. 일부 대안적인 실시예에서, 프로세스(100)는 전체적으로 또는 부분적으로, 프로세서(들)(26)의 적어도 일부를 형성하는 하드웨어에 의해 그리고/또는 오프-보드 회로부에 의해 구현될 수 있다. 임의의 경우에, 프로세스(100)는 프로세스(들)(26)에 의해 실행가능한 명령어들의 형태로 메모리 유닛(28) 내에 저장되는 것으로 설명될 것이며, 프로세스(100)는 대안적으로 임의의 통상적인 방식으로 구현 및/또는 실행될 수 있다는 것이 이해된다. 프로세스(100)는, 대안적인 실시예에서 다극 디바이스(18)가 상기 설명된 바와 같은 임의의 개수(2개 이상)의 극 쌍을 가질 수 있다는 것이 이해될 것이지만, 사중극 디바이스(18)의 맥락에서 이하에 추가로 설명될 것이다.

[0071] 프로세스(100)는 예시적으로, 전압 소스(V2)에 의해 사중극(18)에 인가될 AC 전압을 정의하는, 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)의 다양한 설정들이 선택되는 단계(102)에서 시작한다. 일부 실시예에서, 설정들은 프로세서(들)(26)에 동작가능하게 커플링되는 하나 이상의 주변 디바이스(36)에 포함되는 하나 이상의 입력 디바이스를 사용한 수동 선택을 통해 단계(102)에서 선택될 수 있지만, 대안적인 실시예에서 설정들 중의 적어도 일부는 전압 소스(V2) 상에서 수동으로 선택될 수 있거나 전압 소스(V2)가 설정들 중의 하나 이상을 구축하도록 프로그램되도록 구성될 수 있다. 임의의 경우에, 설정들은 예시적으로, AC 전압의 피크 진폭(P), AC 전압의 초기 주파수(IF), AC 전압이 변경될 AC 전압의 주파수 범위를 정의하는 주파수 엔드포인트(F1, F2), AC 전압의 주파수가 그를 통해 증가 및/또는 감소될 값을 정의하는 단계 크기(S), AC 전압의 형상에 대응하는 파형 형상(WS), 하나의 주파수 변화 기간의 지속시간에 대응하는 주파수 변화 기간(CP), 및 총 주파수 변화 지속시간에 대응하는 주파수 변화 지속 시간(CD)을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다. 일부 실시예에서, AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 파형 형상은, 사인파형일 수 있으며, 그리고 대안적인 실시예에서, AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압은 임의의 파형 형상을 가질 수 있다. 예시된 실시예에서, 출력(N1, N2)(도 2 참조)를 통해 사중극(18)에 인가되는 AC 전압은 예시적으로 50% 듀티 사이클을 갖지만, 대안적인 실시예에서 AC 전압의 듀티 사이클은 임의의 값을 가질 수 있고 듀티 사이클은 단계(102)에서 선택가능한 설정에 포함될 수 있다. 일부 실시예에서, 피크 진폭(P) 및 초기 주파수(IF)는 관심있는 하전 입자(m/z) 값의 범위(또는 하전 입자 질량 및/또는 전하 값의 범위)에 기초하여 통상적인 방식으로 선택될 수 있으며, 그 후 주파수 엔드포인트(F1, F2)는 초기 주파수(IF) 아래 및/또는 위의 주파수가 되도록 선택될 수 있다. 일부 실시예에서, 초기 주파수는 IF - F1 = F2 - IF가 되도록 중심 주파수로서 역할을 할 수 있지만, 다른 실시예에서 F1은 IF 아래의 임의의 주파수일 수 있고 F2는 IF 위의 임의의 주파수일 수 있다, 즉 F1 ≤ IF ≤ F2가 된다. 다른 실시예에서, 초기 주파수(IF)는 F1 또는 F2로서 역할을 할 수 있다, 즉 AC 전압 소스(48)의 주파수(F)가 IF와 F2 사이에서 또는 F1과 IF 사이에서 변할 수 있도록 한다.

[0072] 도 5에 도시한 프로세스(100)의 실시예에서, 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)는 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 주파수를 2개의 엔드포인트 주파수(F1 및 F2) 사이에서 전후로 스위핑함으로써 상이한 주파수에서 동작된다. 이러한 주파수 스위핑 프로파일(120)의 일례가 도 6에 도시되어 있으며, 초기(또는 기본) 주파수(IF)(122)가 450 kHz이고 440 kHz(F1)와 460 kHz(F2) 사이에서 1kHz의 스텝 크기(S)로 스위핑되는 삼각형 파형 형상이며, F1에서 F2로의 전체 스위핑과 F2에서 다시 F1로의 전체 스위핑 사이의 변경 기간(CP)은 120초이고, AC 전압이 F1과 F2 사이를 스위핑한 다음 F2에서 다시 F1로 스위핑되는 변경 지속시간은 600초(예컨대, 총 5회 스위핑)이다. 도 6에 도시되고 방금 설명한 AC 소스(48)의 설정은 단지 예시로 제공되며 이러한 설정 중 하나 이상의 값은 다른 실시예에서 다를 수 있음을 이해할 수 있다. 일부 대안적인 실시예에서, AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압은 단지 저주파수로부터 고주파수로 1회 이상 스위핑될 수 있거나, 또는 단지 고주파수로부터 저주파로 1회 이상 스위핑될 수 있다. 다른 대안적인 실시예에서, 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)는, 임의의 소망의 패턴에 따라 또는 무작위로 2개의 상이한 주파수 엔드포인트 사이에서 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 주파수를 변경함으로써 상이한 주파수에서 동작될 수 있다. 임의의 경우에, AC 전압 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 주파수는, (2개의 상이한 주파수의 합계에 대해) 한 번 또는 임의의 횟수, 임의의 소망의 파형 형상을 갖는 주파수 스위프 프로파일에 의해, 변경될 수 있다.

[0073] 사극자(18)가 상술한 바와 같이 질량 대 충전 필터로서 동작될 수 있는 일부 실시예에서, 전압 소스(V2)는 DC

소스(49)를 포함할 수 있고 프로세스(100)는 프로세스(100)가 단계(102)로부터 전진하는 단계(104)(점선 표현으로 표시됨)를 포함할 수 있다. 단계(104)를 포함하는 실시예에서, 전압 소스(V2)의 DC 소스(49)의 설정이, 예컨대 주변 디바이스(들)(36)에 포함되는 입력 디바이스를 통해 또는 DC 소스(49)의 수동 또는 프로그램된 제어를 통해, 전압 소스(V2)에 의해 사중극(18)에 인가될 DC 전압의 크기를 정의하도록 선택된다. 임의의 경우에, 프로세서(들)(26)은 선택된 DC 전압을 사중극(18)에 인가하도록 DC 소스(49)를 제어하기 위해 단계(104)에서 예시적으로 동작가능하다. 대안적인 실시예에서, DC 전압 공급부(49)는 선택된 DC 전압을 사중극(18)에 인가하기 위해 수동으로 또는 다른 프로세서 또는 다른 회로부에 의해 제어될 수 있다.

[0074] 단계(104)를 포함하는 실시예에서, 프로세스(100)는 단계(104)로부터 단계(106)로 진행하고, 단계(104)를 포함하지 않는 실시예에서 프로세스(100)는 단계(102)로부터 단계(106)로 진행한다. 임의의 경우에, 프로세서(들)(100)는 단계(102)에서 선택된 AC 소스(48)의 설정에 따라, AC 전압 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 주파수(F)를 F1 내지 F2 사이에서 변경하도록 전압 소스(V2)를 제어하기 위해 단계(106)에서 예시적으로 동작가능하다. AC 소스(48)의 설정이 도 6에 예시된 것과 상응하는 실시예에서, 프로세서(들)(26)는 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압을 440 kHz 내지 460 kHz 사이에서, 그리고 이어서 460 kHz에서 다시 440 kHz로, 대략 0.32 kHz의 단계 크기 및 120 초의 스위핑 주기로 총 5회 스위핑하도록 V2를 제어하기 위해 단계(106)에서 동작가능하다.

[0075] 단계(106)에서 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 주파수(F)의 각 단계에 대해, 하전 입자 분석기(들)(24)는 다극(MP) 디바이스(18)에서 배출된 대응하는 하전 입자를 분석하기 위해 단계(108)에서 동작가능하고, 프로세서(들)(26)는 하전 입자 분석기(들)(24)에 의한, 그러한 분석의 결과, 즉 하전 입자 검출 데이터를 기록하기 위해 단계(108)에서 동작가능하다. 선택된 변화 지속시간(CD)의 끝에서, 프로세스(100)는 단계(110)로 진행하며, 여기서 프로세스(들)(26)는 선택된 변화 지속시간(CD) 동안에 AC 소스(48)의 각 주파수 단계에서 기록되는 하전 입자 검출 데이터를 평균화하도록 동작가능하고, 단계(112)에서, 프로세서(들)(26)는, 예컨대 프린터 및/또는 시각적 디스플레이 모니터를 통해, 평균 하전 입자 검출 데이터의 스펙트럼을 발생 및 생성하도록 동작가능하다.

[0076] 이제 도 7b 및 도 8b를 참조하면, 예시적인 m/z 스펙트럼(140)(도 7b) 및 대응하는 예시적인 질량 및 전하 산점도 스펙트럼(160)(도 8b)이 도시되고, 여기서 도 1의 기구(10)가 사용되었고, 사중극(18)이 사인파 RF 전압 소스(V2)에 의해 구동되고 도 5(단계(104) 생략)의 예시에 의해 도시된 프로세스(100)에 따라 제어되는 RF 전용 사중극으로서 동작하여 도 6의 예시에 의해 도시된 바와 같이 440 kHz와 460 kHz의 주파수 엔드포인트 사이를 앞뒤로 스위핑하여, 상기 설명한 도 7a 및 도 8a의 스펙트럼(130 및 150)을 생성하는 플라스미드 pBR322 벡터의 동일한 샘플을 분석하였다.

[0077] 도 7b 및 도 8b의 플롯(140, 160)은 개별적으로 도 7a 및 도 8a의 플롯(130, 150)과 비교하여, 도 5에 도시된 프로세스(100)를 사용하여 도 7a 및 도 8a에 도시된 사중극 노딩 효과가 제거되거나 거의 제거된다는 것을 예시적으로 보여준다. 도 7b에 도시된 바와 같이, 예를 들어, m/z 스펙트럼(140)은 도 7a에서 누락된 하전 입자 하위 모집단이 이제 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)로부터 하전 입자 분석기(들)(24)의 하전 입자 유입구(22)로 전달되고, 도 7a의 m/z 스펙트럼(130)에 도시된 갭을 채우고 있기 때문에 단일의 넓은 피크를 보여준다. 마찬가지로, 도 8b의 전하 지점의 2개 세트(162, 164)는 각각 도 8a에 도시된 바와 같이 여러개의 별개의 점 자국 및 그들 사이의 블랭크 영역 없이 단일 전하 그룹으로서 나타난다. 따라서, 도 5에 예시로 도시된 프로세스(100)를 사용하는 것과 같이 사중극(18)의 로드에 인가되는 RF 전압의 주파수를 변화시킴으로써, 사중극 노딩의 효과가 제거하거나 적어도 완화될 수 있으며, 그 결과 생성된 스펙트럼의 정확도가 향상된다.

[0078] 상기 설명한 바와 같이 사중극(18)(또는 다른 다극 기구)의 하전 입자 유출구(20)에서 배출된 하전 입자의 궤적의 차이는 또한 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 피크 진폭에 의존한다. 즉, 중심 종방향 축(34)에 대해 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)로부터의 특정 m/z를 갖는 하전 입자의 배출 지점은 또한, 상기 제공되는 전위 웰 방정식으로부터 명백한 바와 같은, AC 소스(48)의 피크 진폭의 함수이다. 따라서, 상기 설명한 노딩 효과는 대안적으로, 노드(34)와 안티-노드(들) 사이에서 그에 따라 사중극(18)(또는 다른 다극 디바이스)의 하전 입자 유출구(20)로부터 하전 입자의 m/z 종속적 배출 지점을 시프트하기 위해 고정된, 즉 일정한 주파수에서, 그러나 상이한 피크 진폭에서 AC 전압 소스(48)를 동작시키고, 이어서 상기 설명한 주파수 가변 접근법과 유사하게 하류 하전 입자 분석기(들)(24)에 의해 획득된 하전 입자 검출 데이터를 평균화함으로써, 제거되거나 적어도 크게 감소될 수 있다.

[0079] 이와 관련하여, 획득된 하전 입자 측정 데이터에 대한 임의의 다극 디바이스(18)의 노딩 효과를 제거하거나 적

어도 감소시키기 위해 상이한 피크 진폭에서 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)를 동작시키는 예시적인 프로세스(100')의 흐름도가 도 9에 도시되어 있다. 프로세스(100')는, 많은 관점에서, 도 5에 도시되고 이상에 설명된 프로세스(100)와 동일하며, 그에 따라 유사한 단계들이 유사한 참조 번호들로 식별되며, 그러한 유사한 단계의 실행이 상기 설명된 바와 같이 진행될 것이라는 것이 이해된다. 하나의 실시예에서, 프로세스(100')는, 이하에 설명될 바와 같이 도 1의 전압 소스(V2)를 제어하기 위해 메모리 디바이스(28) 내에 저장되고 프로세서(들)(26)에 의해 실행 가능한 명령어들의 형태로 구현된다. 일부 대안적인 실시예에서, 프로세스(100')는 전체적으로 또는 부분적으로, 하나 이상의 다른 프로세서에 의해 그리고/또는 전압 소스(V2)의 온-보드 회로부에 의해 구현될 수 있다. 일부 대안적인 실시예에서, 프로세스(100')는 전체적으로 또는 부분적으로, 프로세서(들)(26)의 적어도 일부를 형성하는 하드웨어에 의해 그리고/또는 오프-보드 회로부에 의해 구현될 수 있다. 임의의 경우에, 프로세스(100')는 프로세스(들)(26)에 의해 실행가능한 명령어들의 형태로 메모리 유닛(28) 내에 저장되는 것으로 설명될 것이며, 프로세스(100')는 대안적으로 임의의 통상적인 방식으로 구현 및/또는 실행될 수 있다는 것이 이해된다. 프로세스(100')는, 대안적인 실시예에서 다극 디바이스(18)가 상기 설명된 바와 같은 임의의 개수(2개 이상)의 극 쌍을 가질 수 있다는 것이 이해될 것이지만, 사중극 디바이스(18)의 맥락에서 이하에 추가로 설명될 것이다.

[0080] 프로세스(100')는, 프로세스(100')의 단계(102')가 프로세스(100)의 단계(102)를 대체한다는 점에서 상기 설명된 프로세스(100)와는 예시적으로 상이하다. 단계(102')에서, 단계(102)에서와 같이, 전압 소스(V2)에 의해 사중극(18)에 인가될 AC 전압을 정의하는 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)의 다양한 설정이 선택된다. 일부 실시예에서, 설정들은 프로세서(들)(26)에 동작가능하게 커플링되는 하나 이상의 주변 디바이스(36)에 포함되는 하나 이상의 입력 디바이스를 사용한 수동 선택을 통해 단계(102)에서 선택될 수 있지만, 대안적인 실시예에서 설정들 중의 적어도 일부는 전압 소스(V2) 상에서 수동으로 선택될 수 있거나 전압 소스(V2)가 설정들 중의 하나 이상을 구축하도록 프로그램되도록 구성될 수 있다. 임의의 경우에, 단계(102')에서 선택되는 여러 설정은, 상기 설명된 바와 같은, 단계 크기(S), 파형 형상(WS), 변화 기간(CP) 및 변화 지속시간(CD)과 같은, 단계(102')의 설정과 공통적이다. 추가로, 프로세스(100)에 대해 상기 설명한 바와 같이, AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 듀티 사이클은 임의의 소망의 값, 예컨대 50%로 설정될 수 있지만, 대안적인 실시예에서 AC 전압의 듀티 사이클은 임의의 값을 가질 수 있고 듀티 사이클이 단계(102')에서 선택가능한 설정에 포함될 수 있다.

[0081] 설정이 동작 주파수(F), 초기 피크 진폭(IA), 및 피크 진폭 엔드포인트(A1, A2)를 포함한다는 점에서 단계(102')는 단계(102)와 상이하다. 동작 주파수(F)는 예시적으로, 예컨대 관심있는 하전 입자 m/z 값의 범위(또는 하전 입자 질량 및/또는 전하 값의 범위)에 기초하여 상기 설명된 바와 같이 선택되는 초기 주파수(IF)이지만, 대안적인 실시예에서 동작 주파수(F)는 IF 이외의 주파수로 설정될 수 있다. 일부 실시예에서, 초기 피크 진폭(IA)은 또한, 예컨대 관심있는 하전 입자(m/z) 값의 범위(또는 하전 입자 질량 및/또는 전하 값의 범위)에 기초하여 통상적인 방식으로 선택될 수 있으며, 그 후 피크 진폭 엔드포인트(A1, A2)는 초기 피크 진폭(IA) 아래 및/또는 위의 피크 진폭이 되도록 선택될 수 있다. 일부 실시예에서, 초기 피크 진폭은 IA - A1 = A2 - IA가 되도록 중심 진폭 또는 중간점 진폭로서 역할을 할 수 있지만, 다른 실시예에서 A1은 IA 아래의 임의의 피크 진폭일 수 있고 A2는 IA 위의 임의의 피크 진폭일 수 있다, 즉 A1 ≤ IA ≤ A2가 된다. 다른 실시예에서, 초기 피크 진폭(IA)은 A1 또는 A2로서 역할을 할 수 있다, 즉 AC 전압 소스(48)의 피크 진폭(A)이 IA와 A2 사이에서 또는 A1과 IA 사이에서 변할 수 있도록 한다.

[0082] 프로세스(100')의 일부 실시예는 상기 설명한 바와 같은 단계(104)를 포함할 수 있다. 단계(104)를 포함하는 프로세스(100')의 실시예에서, 프로세스(100')는 단계(104)로부터 단계(106')로 진행하고, 단계(104)를 포함하지 않는 실시예에서 프로세스(100')는 단계(102)로부터 단계(106')로 진행한다. 임의의 경우에, 단계(106')는, 단계(102')에서 선택된 AC 소스(48)의 설정에 따라 AC 전압 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 피크 진폭(A)을 A1과 A2 사이에서 변경하도록 전압 소스(V2)를 제어하기 위해 단계(106')에서 예시적으로 동작가능하다는 점에서, 상기 설명된 프로세스(100)의 단계(106)와 예시적으로 상이하다. 어떤 식으로든 제한하는 것으로 간주되지 않아야 하는 하나의 예시적인 실시예에서, 프로세서(들)(26)은 단계(106')에서, V2를 제어하여 38 0kHz, 230 V의 피크-투-피크 사인파로서 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압을 구축하고, 이어서, 예를 들어 도 6을 참조하여 상기 설명된 바와 같은 동일한 스텝 크기, 스위핑 기간 및 총 스위핑 횟수를 사용하여 230 V의 피크-투-피크 파형에 인가되는 보충적 0 내지 47 V, 10 Hz의 삼각형 파형을 사용하여 그 사이에서 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압을 스위핑하도록 동작가능하지만, 다른 단계 크기, 스위핑 기간, 및/또는 총 실행 횟수가 대안적으로 사용될 수 있다. 방금 설명한 AC 소스(48)의 설정은 단지 예시로 제공되며 이러한 설정 중 하나 이상의 값은 다른 실시예에서 다를 수 있음을 이해할 수 있다. 일부 대안적인 실시예에서, AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압은 단지 낮은 보충 전압으로부터 높은 보충 전압으로 1회 이상 스위핑될 수 있거나, 또는 단지 높은

보충 전압으로부터 낮은 보충 전압으로만 1회 이상 스위핑될 수 있다. 다른 대안적인 실시예에서, 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)는, 임의의 소망의 패턴에 따라 또는 무작위로 2개의 상이한 피크 진폭 엔드포인트 사이에서 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 피크 진폭을 변경함으로써 상이한 피크 진폭에서 동작될 수 있다. 임의의 경우에, AC 전압 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 피크 진폭은, (2개의 상이한 피크 진폭의 합계에 대해) 1회 또는 임의의 횟수만큼 변경될 수 있다. 단계(106')에 이어서, 프로세스(100')는 도 5에 대해 상기 설명된 바와 같은 단계(108 내지 112)를 더 포함한다.

[0083] 도 10a 및 도 11a를 참조하면, 상기 설명된 노딩 효과는 도 7a 내지 도 8b에서 사용되는 것과 상이한 샘플로 다시 입증된다. 도 10a 및 도 11a의 예시적인 플롯에서, 예시적인 m/z 스펙트럼(230)(도 10a) 및 예시적인 질량 및 전하 산란 플롯(질량 및 하전 분포가 서로 중첩됨) 스펙트럼(250)(도 11a)이 도시되어 있고, 여기서 도 1의 도구(10)가 사용되었으며, 사중극(18)가 대략 380 kHz의 주파수에서 사인파 RF 전압 소스(V2)에 의해 구동되는 RF 전용 사극자로서 동작하여 약 0.33 MDa의 군집된 공지의 단량체 질량과 약 0.65 MDa의 군집된 공지의 이합체 질량을 갖는 글루타메이트 탈수소효소("GDH")의 샘플을 분석한다. 도 7a 및 도 8a의 플롯(130, 150)과 마찬가지로, 도 10a 및 도 11a의 플롯(230, 250)은 상기 설명되고 정의된 바와 같은, 사중극 노딩의 효과를 입증한다. 도 10a에 도시된 바와 같이, 예를 들어, 사중극(18)에서의 노딩의 효과는, m/z 스펙트럼(230)의 단량체 전하 상태 분포(232) 및 이량체 전하 상태 분포(234)에서의 왜곡 형태로 볼 수 있다. 마찬가지로, 도 11a의 질량 및 전하 산점도에서, 특정 전하 상태의 광범위한 소멸은 단량체 충전 상태 분포(252)와 이량체 충전 상태 분포(254) 양자 모두에서 명확하게 볼 수 있다. 상기 설명된 GDH 샘플에 있어서, 이량체 충전 상태 분포(234, 254)에서의 왜곡이 특히 두드러진다.

[0084] 이제 도 10b 및 도 11b를 참조하면, 예시적인 m/z 스펙트럼(240)(도 10b) 및 대응하는 예시적인 질량 및 전하 산점도 스펙트럼(260)(도 11b)이 도시되고, 여기서 도 1의 기구(10)가 사용되었고, 사중극(18)이 사인파 RF 전압 소스(V2)에 의해 구동되고 도 9(단계(104) 생략)의 예시에 의해 도시된 프로세스(100')에 따라 제어되는 RF 전용 사중극으로서 동작하여 상기 설명된 바와 같이 0 V와 47 V의 피크 진폭 엔드포인트 사이를 앞뒤로 스위핑하여, 상기 설명한 도 10a 및 도 11a의 스펙트럼(230 및 250)을 생성하는 GDH의 동일한 샘플을 분석하였다.

[0085] 도 10b 및 도 11b의 플롯(240, 260)은 각각 도 10a 및 도 11a의 플롯(230, 250)과 비교하여 도 9에 도시한 프로세스(100')를 이용하여 도 10a 및 도 11a에 도시한 사중극 노딩 효과의 제거 또는 거의 제거를 예시적으로 보여준다. 도 10b에 도시된 바와 같이, 예를 들어, m/z 스펙트럼(240)은 (도 10a의 플롯(230)과 비교하여) 단량체(242) 및 이량체(244)에 대한 전하 상태의 예상되는 분포와 더욱 유사하며, 도 11b의 질량 및 전하 산점도(260)의 단량체 전하 상태 분포(262) 및 이량체 전하 상태 분포(264)는 도 11a의 플롯(250)에 비해 더욱 조밀하게 채워진다. 따라서, 도 9에 예시로 도시된 프로세스(100')를 사용하는 것과 같이 사중극(18)의 로드에 인가되는 RF 전압의 피크 진폭을 변화시킴으로써, 사중극 노딩의 효과가 제거하거나 적어도 완화될 수 있으며, 그 결과 생성된 스펙트럼의 정확도가 향상된다.

[0086] 상기 설명한 바와 같이 사중극(18)(또는 다른 다극 기구)의 하전 입자 유출구(20)에서 배출된 하전 입자의 궤적의 차이는 또한 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 파형 형상에 의존한다. 즉, 중심 종방향 축(34)에 대해, 사중극(18)의 하전 입자 유출구(20)로부터의 특정 m/z를 갖는 하전 입자의 배출 지점은 또한 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 파형 형상의 함수이다. 따라서, 상기 설명한 노딩 효과는 대안적으로, 노드(34)와 안티-노드(들) 사이에서 그에 따라 사중극(18)(또는 다른 다극 디바이스)의 하전 입자 유출구(20)로부터 하전 입자의 m/z 종속적 배출 지점을 시프트하기 위해 고정된, 즉 일정한 주파수에서, 고정된, 즉 일정한 피크 전압에서, 그러나 상이한 파형 형상으로 AC 전압 소스(48)를 동작시키고, 이어서 상기 설명한 주파수 가변 접근법과 유사하게 하류 하전 입자 분석기(들)(24)에 의해 획득된 하전 입자 검출 데이터를 평균화함으로써, 제거되거나 적어도 크게 감소될 수 있다.

[0087] 이와 관련하여, 도 5에 예시로 도시된 프로세스(100) 또는 도 9에 예시로 도시된 프로세스(100')는, 획득된 하전 입자 측정 데이터에 대한 임의의 다극 디바이스(18)의 노딩 효과를 제거하거나 적어도 감소시키기 위해, 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)을 제어하여 상이한 파형 모양으로 동작하도록 수정될 수 있다. 수정된 프로세스(100')에서, 여러 단계가 상기 설명된 바와 같은 프로세스(100, 100')의 단계와 동일할 수 있고, 그러한 유사한 단계의 실행은 상기 설명된 바와 같이 진행될 것이다.

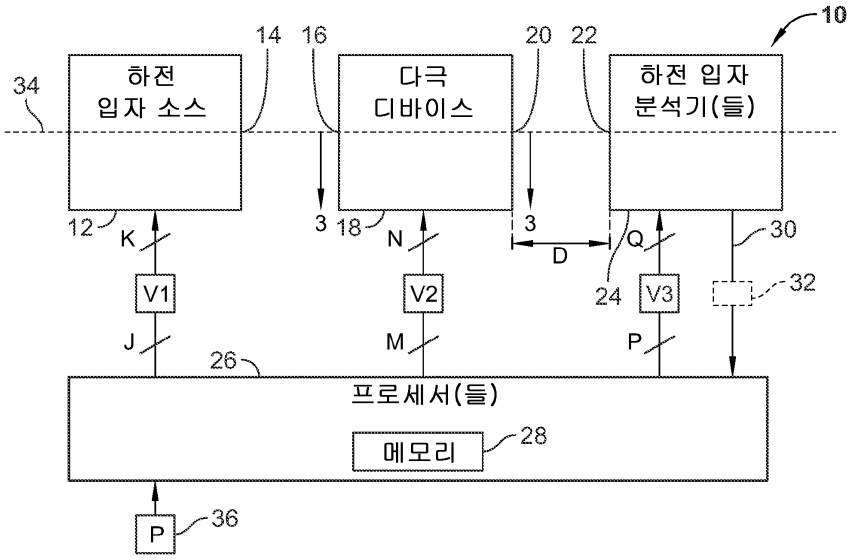
[0088] 수정된 프로세스(100, 100')는, 단계(102, 102')에서 전압 소스(V2)에 의해 사중극(18)에 인가될 AC 전압을 정의하는 전압 소스(V2)의 AC 소스(48)의 다양한 설정이 선택되지만, 주파수 또는 피크 진폭은 특정되지 않는다는 점에서, 상기 설명된 프로세스(100, 100')와 예시적으로 상이하다. 수정된 프로세스(100, 100')는, 단계(106,

106')에서 AC 전압의 주파수 또는 피크 진폭을 변경하는 것이 아니라, V2의 AC 소스(48)에 의해 생성되는 AC 전압의 파형 형상(WS)을 변경하도록 동작한다는 점에서, 상기 설명된 프로세스(100, 100')와 예시적으로 더욱 상이하다. 수정된 프로세스(100, 100')의 하나의 실시예에서, AC 소스(48)는 2개 이상의 상이한 파형 형상의 파형을 생성할 수 있고, 그 일부 실시예가 도 2의 설명과 관련하여 상기 설명된다. 그러한 실시예에서, 수정된 단계(106, 106')는 각각 상이한 파형 형상을 갖는 파형 형상을 2회 이상 변경함으로써 수행될 수 있다. 수정된 프로세스(106, 106')의 일부 대안적인 실시예에서, AC 소스(48)는 상기 설명된 바와 같은 통상적인 임의 파형 발생기(arbitrary waveform generator; AWG)일 수 있으며, 그러한 실시예들에서, 수정된 단계(106, 106')는 파형 변형의 선택된 단계 크기(S)를 사용하여 선택된 변화 기간(CP)에 걸쳐 하나의 파형 형상으로부터 다음 파형 형상으로 점진적으로 변화함으로써 수행될 수 있다. 그러한 실시예에서, 파형 형상은 총 변화 기간(CD)에 걸쳐 2개의 또는 상이한 파형 형상 사이에서 점진적으로 변경될 수 있다.

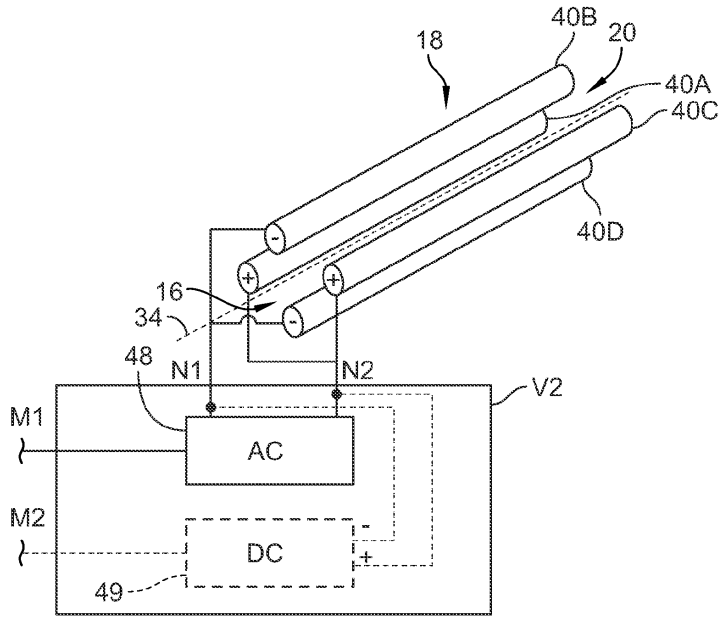
[0089] 본 개시는 상기 도면 및 설명에서 상세하게 예시되고 설명되었지만, 이는 제한적인 성격이 아닌 설명적인 것으로 간주되어야 하며, 단지 설명적인 실시예만을 보여주고 설명하였으며, 본 개시의 사상 내에 포함되는 모든 변경 및 수정은 보호되어야 함을 이해해야 한다. 예컨대, 3개의 상이한 프로세스(100, 100') 및 수정된 프로세스(100, 100')가 AC 전압 소스(48)에 의해 생성된 AC 전압을 다른 방식으로 각각 수정하여 노딩 효과를 제거하거나 적어도 크게 감소시키기 위해 설명되어 있지만, 이러한 프로세스의 임의의 조합이 결합되어 AC 전압 소스(48)에 의해 생성된 AC 전압을 제어하기 위한 추가 수정된 프로세스를 생성하고, 예를 들어, 주파수와 피크 전압을 모두 변경하거나, 주파수 및 파형 형상 모두 변경하거나, 피크 전압 및 파형 형상을 모두 변경하거나, 그리고/또는 주파수, 피크 전압 및 파형 형상 각각을 변경할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

도면

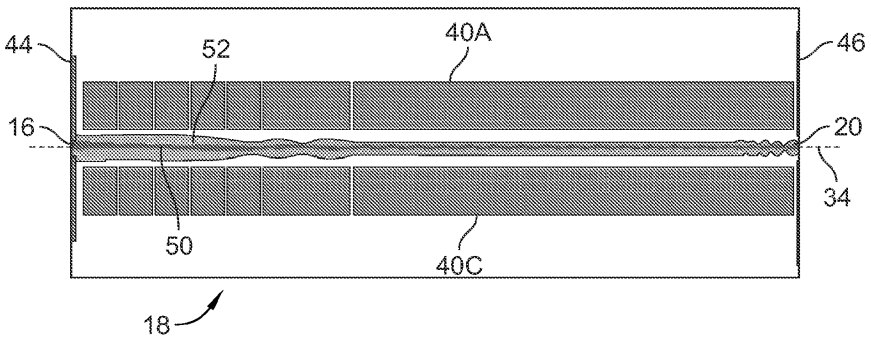
도면1



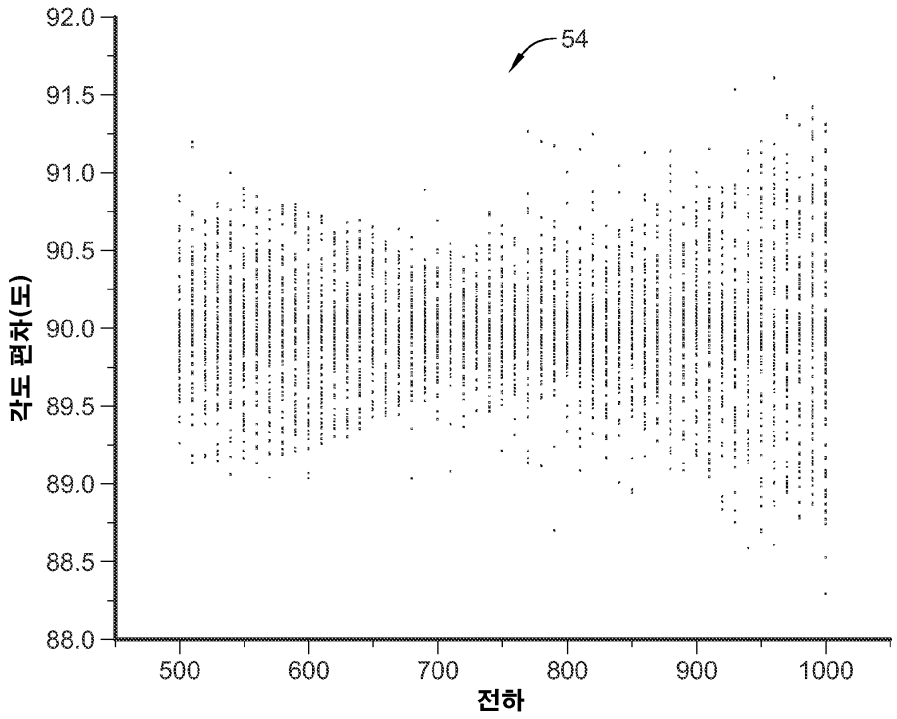
도면2


18
40B
20
40A
40C
40D
16
34
48
N1
N2
V2
M1
AC
M2
DC
49

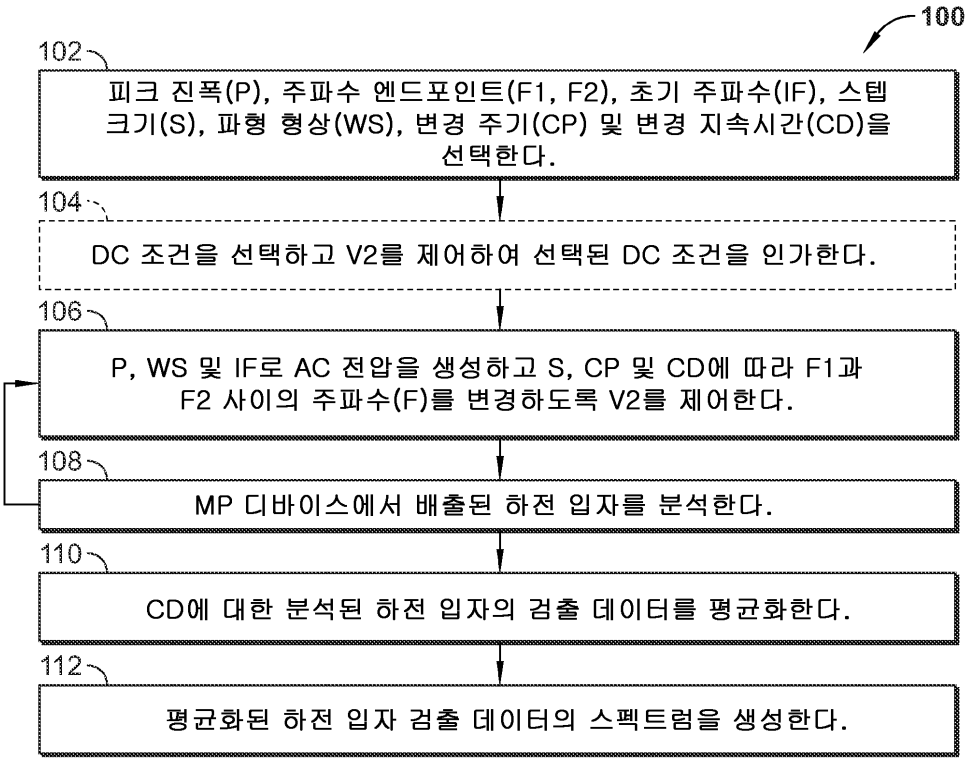
도면3


44
52
40A
46
16
20
34
50
40C
18

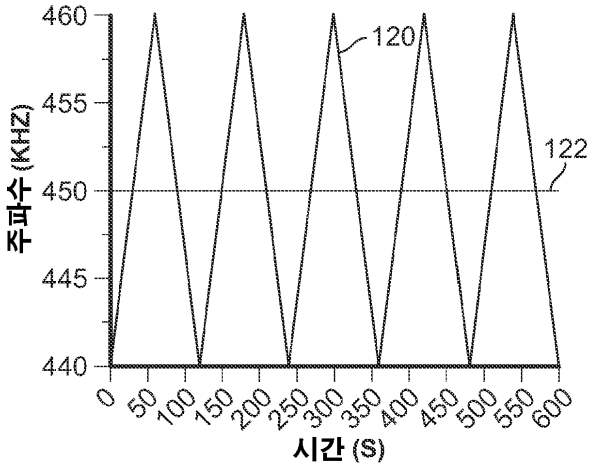
도면4


54
92.0
91.5
91.0
90.5
90.0
89.5
89.0
88.5
88.0
각도 편차(도)
500
600
700
800
900
1000
전하

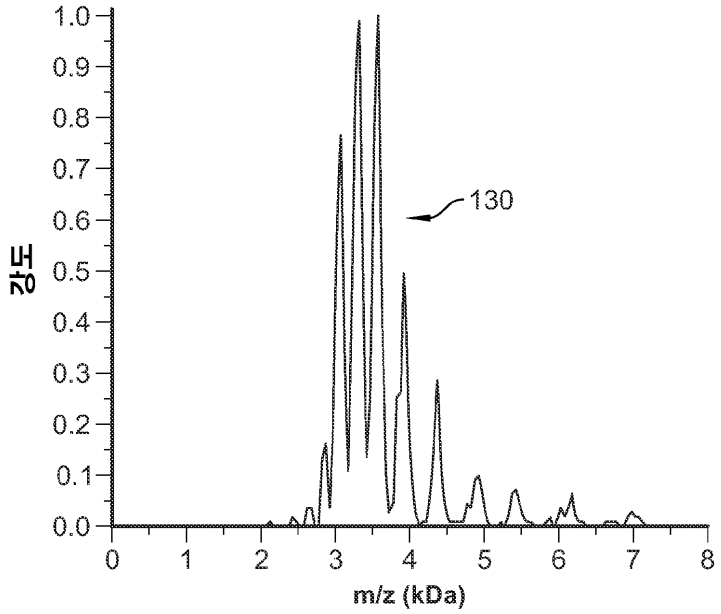
도면5


100
102
피크 진폭(P), 주파수 엔드포인트(F1, F2), 초기 주파수(IF), 스텝 크기(S), 파형 형상(WS), 변경 주기(CP) 및 변경 지속시간(CD)을 선택한다.
104
DC 조건을 선택하고 V2를 제어하여 선택된 DC 조건을 인가한다.
106
P, WS 및 IF로 AC 전압을 생성하고 S, CP 및 CD에 따라 F1과 F2 사이의 주파수(F)를 변경하도록 V2를 제어한다.
108
MP 디바이스에서 배출된 하전 입자를 분석한다.
110
CD에 대한 분석된 하전 입자의 검출 데이터를 평균화한다.
112
평균화된 하전 입자 검출 데이터의 스펙트럼을 생성한다.

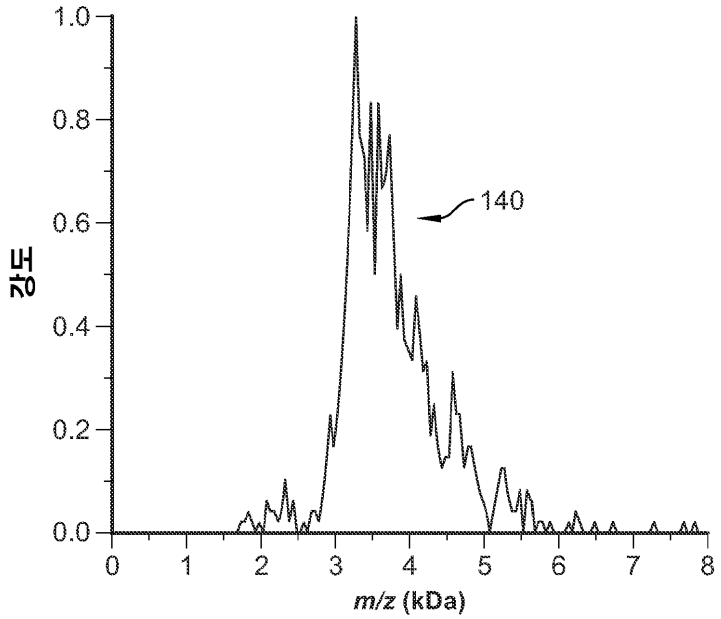
도면6


460
455
450
445
440
주파수 (KHZ)
120
122
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
시간 (S)

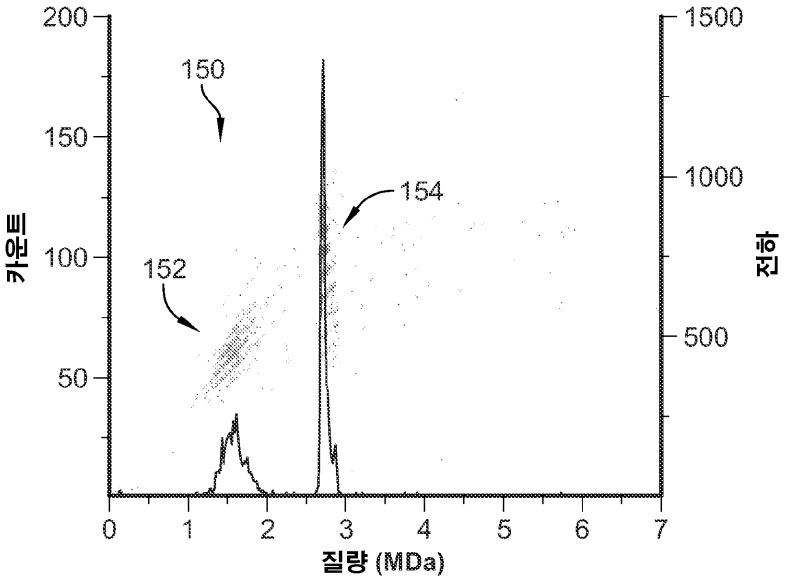
도면7a


1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
강도
130
0
1
2
3
4
5
6
7
8
m/z (kDa)

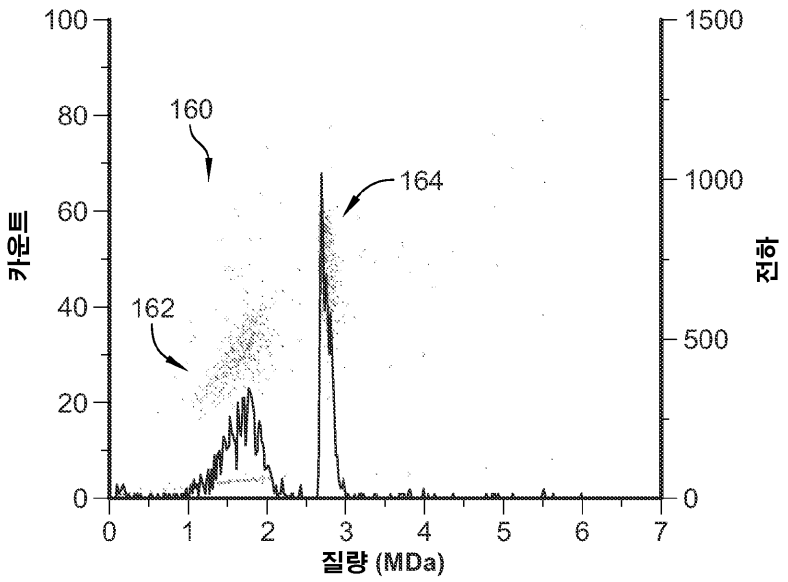
도면7b


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
강도
140
0
1
2
3
4
5
6
7
8
m/z (kDa)

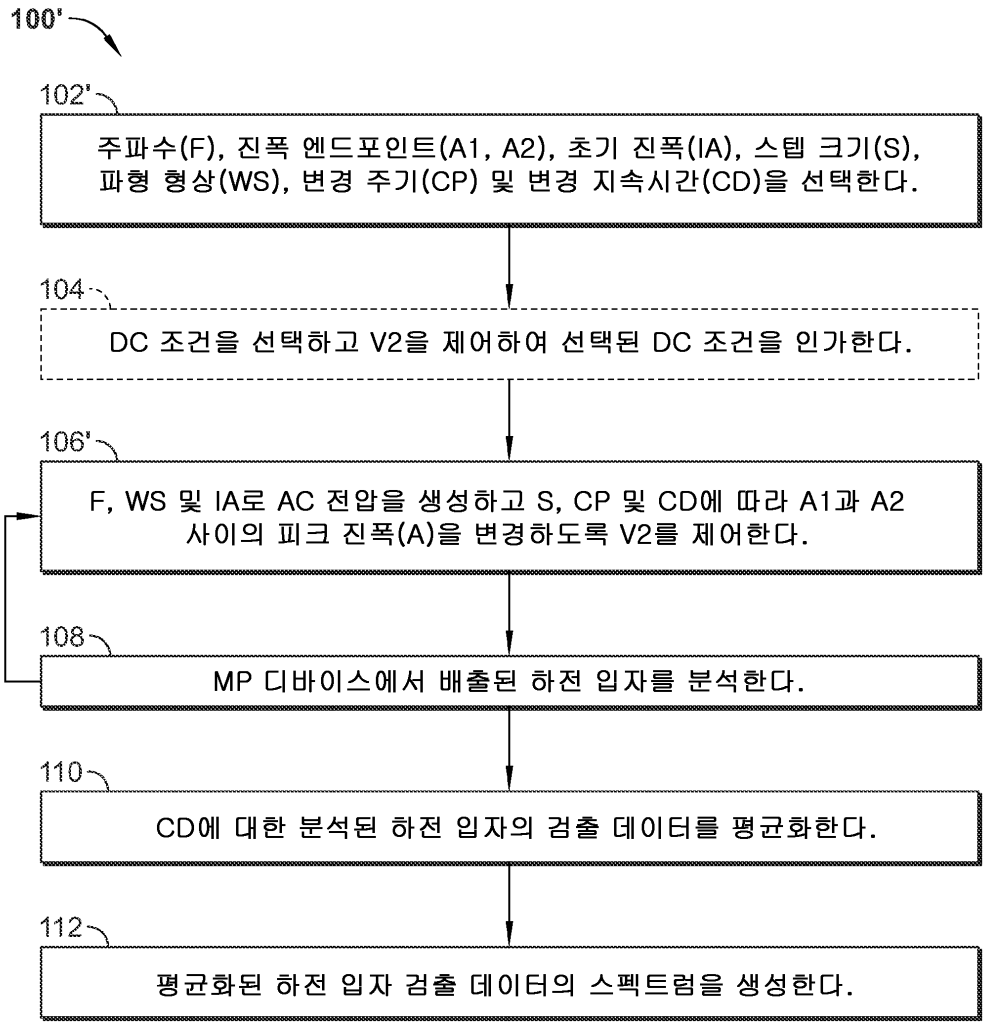
도면8a


200
150
100
50
카운트
150
154
152
1500
1000
500
전하
0
1
2
3
4
5
6
7
질량 (MDa)

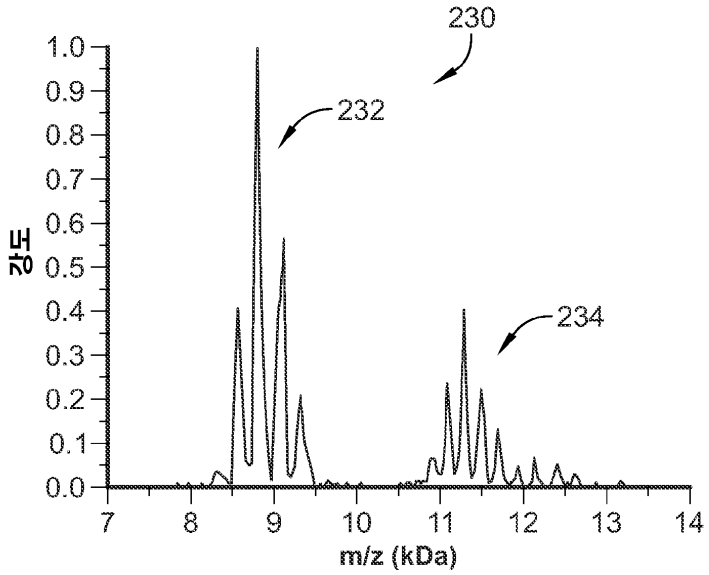
도면8b


100
80
60
40
20
0
카운트
160
164
162
1500
1000
500
0
전하
0
1
2
3
4
5
6
7
질량 (MDa)

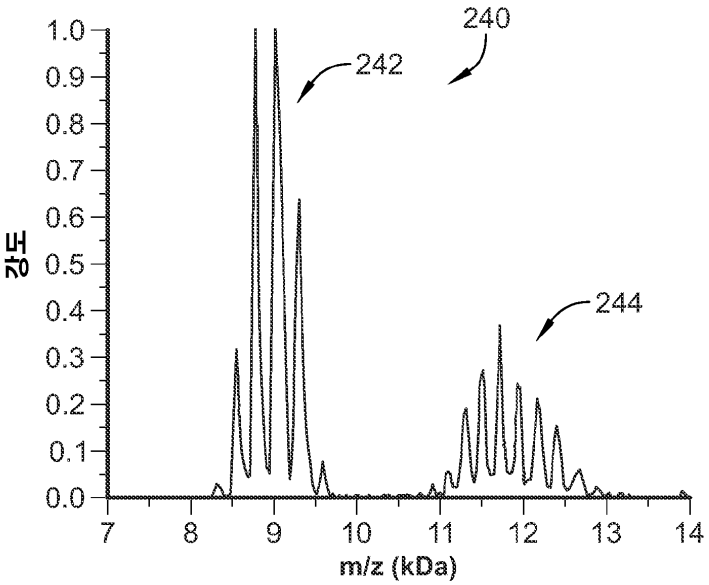
도면9


100'
102'
주파수(F), 진폭 엔드포인트(A1, A2), 초기 진폭(IA), 스텝 크기(S), 파형 형상(WS), 변경 주기(CP) 및 변경 지속시간(CD)을 선택한다.
104
DC 조건을 선택하고 V2을 제어하여 선택된 DC 조건을 인가한다.
106'
F, WS 및 IA로 AC 전압을 생성하고 S, CP 및 CD에 따라 A1과 A2 사이의 피크 진폭(A)을 변경하도록 V2를 제어한다.
108
MP 디바이스에서 배출된 하전 입자를 분석한다.
110
CD에 대한 분석된 하전 입자의 검출 데이터를 평균화한다.
112
평균화된 하전 입자 검출 데이터의 스펙트럼을 생성한다.

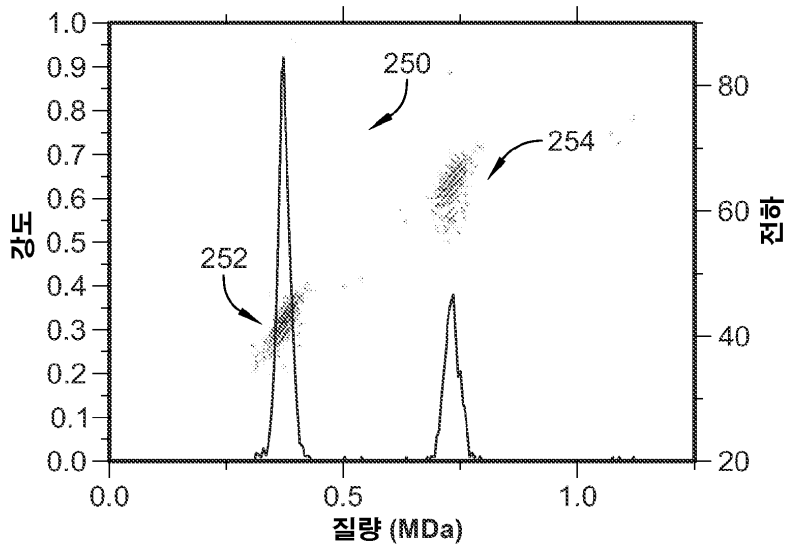
도면10a


230
232
234
강도
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
7
8
9
10
11
12
13
14
m/z (kDa)

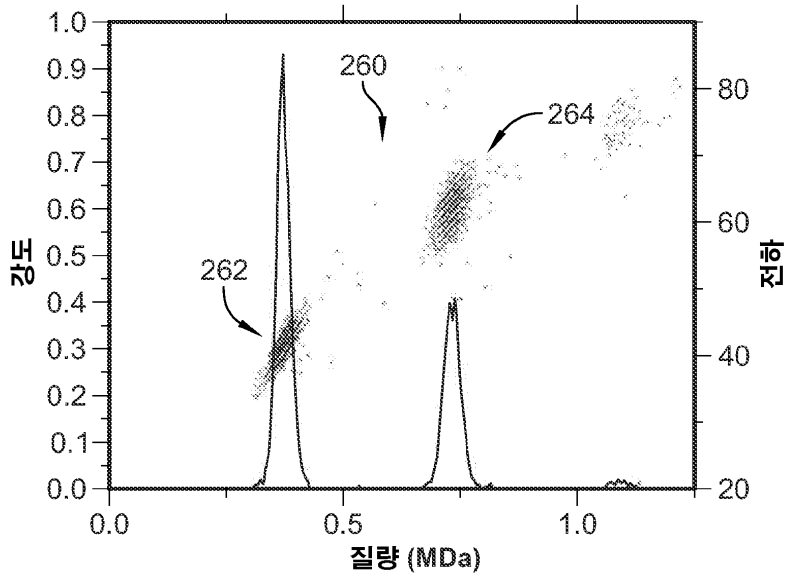
도면10b


240
242
244
강도
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
7
8
9
10
11
12
13
14
m/z (kDa)

도면11a


250
254
252
강도
전하
질량 (MDa)
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
80
60
40
20
0.0
0.5
1.0

도면11b


260
264
262
강도
전하
질량 (MDa)
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
80
60
40
20
0.0
0.5
1.0