

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7210536号  
(P7210536)

(45)発行日 令和5年1月23日(2023.1.23)

(24)登録日 令和5年1月13日(2023.1.13)

(51)国際特許分類	F I	
H 0 1 J 49/14 (2006.01)	H 0 1 J 49/14	
G 0 1 N 27/62 (2021.01)	G 0 1 N 27/62	C
H 0 1 J 49/04 (2006.01)	G 0 1 N 27/62	E
H 0 1 J 49/06 (2006.01)	H 0 1 J 49/04	
H 0 1 J 49/24 (2006.01)	H 0 1 J 49/06	

請求項の数 7 (全22頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2020-502522(P2020-502522)	(73)特許権者	509329888
(86)(22)出願日	平成30年3月29日(2018.3.29)		パーキンエルマー ヘルス サイエンス
(65)公表番号	特表2020-513154(P2020-513154 A)		インコーポレイテッド
(43)公表日	令和2年4月30日(2020.4.30)		PERKINELMER HEALTH
(86)国際出願番号	PCT/US2018/025221		SCIENCES INC.
(87)国際公開番号	WO2018/187162		アメリカ合衆国 0 2 4 5 1 - 1 4 5 7
(87)国際公開日	平成30年10月11日(2018.10.11)		マサチューセッツ州 ウォルサム ウィン
審査請求日	令和1年12月26日(2019.12.26)	(74)代理人	ター ストリート 9 4 0
審判番号	不服2021-10840(P2021-10840/J 1)	(74)代理人	100105957
審判請求日	令和3年8月13日(2021.8.13)		弁理士 恩田 誠
(31)優先権主張番号	62/480,738	(74)代理人	100068755
(32)優先日	平成29年4月3日(2017.4.3)		弁理士 恩田 博宣
(33)優先権主張国・地域又は機関		(74)代理人	100142907
	最終頁に続く		弁理士 本田 淳
		(72)発明者	ウェルキー、デイビッド ジー.
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電子イオン化源からのイオンの移動

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

イオン源と、

衝突冷却チャンバと、

質量分析計とを備えるシステムにおいて、

前記衝突冷却チャンバは前記イオン源から入口を通してイオンを受け取り、受け取ったイオンのうちの少なくともいくつかを前記衝突冷却チャンバから押し出すように構成されており、前記質量分析計は質量分析のために前記衝突冷却チャンバからイオンを受け取るように構成されており、

前記イオン源は、

前記システムの動作中に、電子の流れを発生させるように構成されている電子源と、

前記システムの動作中に、少なくとも1つの被験物質を輸送するように構成されているサンプル導入アセンブリと、

イオン容積部ハウジングと、

一体的な引き出し電極と、

前記イオン容積部ハウジングと前記引き出し電極との間に形成されるとともに第1の入力ポート、第2の入力ポートおよび出口ポートを有するイオン化チャンバとを含んでおり、

前記第1の入力ポートは、前記システムの動作中に、前記電子の流れを前記電子源から受け取るように構成されており、

前記第2の入力ポートは、前記システムの動作中に、前記少なくとも1つの被験物質を

前記サンプル導入アセンブリから受け取るように構成されており、前記第1の入力ポートと前記第2の入力ポートとによって、被験物質イオンが、前記イオン化チャンバのイオン化領域内で前記少なくとも1つの被験物質と前記電子との相互作用によって生成され、前記第1の入力ポートと前記第2の入力ポートとによって、前記被験物質イオンは、イオンビーム軸に沿って前記出口ポートを通過して前記イオン化チャンバを出て、

前記イオン源は、前記システムの動作中に、第1の電位が印加されるように構成されており、前記第1の電位は前記イオン源に備わるリペラー電極、または前記イオン容積部ハウジングのうちの少なくとも1つに印加され、

前記衝突冷却チャンバの前記入口を兼ねている前記引き出し電極は前記イオン源の前記出口ポートを画定するとともに、前記イオン化領域と前記出口ポートとの間の前記イオン化チャンバの部分としてのアパーチャを画定し、前記引き出し電極は前記イオン源内に前記イオン源の一部として一体化され、

前記引き出し電極は、前記システムの動作中に、一定の電位が印加されて、前記イオン源から前記被験物質イオンを収集し、受け取るように構成され、

前記引き出し電極は、前記アパーチャを画定するように前記イオン化領域に面する表面を含み、前記表面は、より小さい基部とより大きい基部とを有する円錐台の側面を画定し、前記より小さい基部は、前記出口ポートに近接しているかまたは前記出口ポートと一致し、前記アパーチャの断面における直径は、前記イオンビーム軸の上流から下流に単調に減少する部分を含み、

前記システムの動作中に、前記引き出し電極と、前記リペラー電極または前記イオン容積部ハウジングのうちの少なくとも1つとに印加される電圧から生じる、前記イオン化チャンバ内の電界は、前記イオン化領域から前記出口ポートを通して前記衝突冷却チャンバへと前記被験物質イオンの焦点を合わせるとともに加速させるように働く、システム。

#### 【請求項2】

前記円錐台の側面は、面と面とが当接する少なくとも2つのディスクによって形成され、前記少なくとも2つのディスクは、前記イオンビーム軸に対して同心である前記アパーチャを有し、前記アパーチャのサイズは、前記イオン化領域に最も近い前記ディスクから、前記イオン化領域から最も離れた前記ディスクまでそれぞれ単調に減少する、請求項1に記載のシステム。

#### 【請求項3】

前記電子源は、前記システムの動作中に、前記イオン化チャンバ内で第1の横断方向に電子ビームを発生させるように構成されており、前記第1の横断方向は前記イオンビーム軸に対して直交し、

前記イオン化チャンバは、前記システムの動作中に、前記電子ビームの方向に対して平行であるとともに前記電子ビームと一致する方向に磁場を発生させるように構成されている磁場発生器を備える、請求項1に記載のシステム。

#### 【請求項4】

前記磁場発生器は、少なくとも2つの永久磁石を備える、請求項3に記載のシステム。

#### 【請求項5】

前記少なくとも2つの永久磁石は、前記電子ビームの前記方向に対して平行であるとともに前記電子ビームと一致する前記方向に位置合わせされる、請求項4に記載のシステム。

#### 【請求項6】

前記質量分析計は、

四重極マスフィルタ、

衝突チャンバによって隔てられる2つの四重極マスフィルタの組み合わせ、

四重極マスフィルタ、衝突チャンバおよび飛行時間型質量分析計の組み合わせ、

飛行時間型質量分析計、

三次元イオントラップ、または

二次元イオントラップ、

のうちの少なくとも1つを備える、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 7】**

前記サンプル導入アセンブリは、ガスクロマトグラフィーカラムの出口部分を備える、請求項 1 に記載のシステム。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本開示は、質量分析システムに関し、より詳細には、イオンをイオン源から質量分析計に移動させることに関する。

**【背景技術】****【0002】**

ガスクロマトグラフィー/質量分析 (GC/MS) は、ガスクロマトグラフィーおよび質量分析の特徴を組み合わせることで試験サンプル中の異なる物質を同定する分析方法である。

いくつかの GC/MS 機器においては、イオンは、電子イオン化 (EI) によって EI 源において生成され、次に、試験のために下流の質量分析計 (例えば、四重極マスフィルタ) に移動される。いくつかの場合において、直流 (DC) 電極レンズを使用して、イオンの焦点を、下流の真空ステージに、および、質量分析計の入口に合わせ、イオンの収集を改善することができる。

**【発明の概要】****【0003】**

本開示は、質量分析機器の文脈において、イオンを、イオン源 (例えば、電子イオン化 (EI) イオン源) から下流の質量分析計の入口に効率的に移動させるシステムおよび技法を特徴とする。

**【0004】**

GC/MS 機器においては、サンプルが、(例えば、サンプル構成要素を、カラム内のそれらの相対的な滞留に基づいて分離するキャピラリーカラムを使用して) ガスクロマトグラフによって分離される。カラムから溶出したサンプル構成要素は、イオン化され、イオン化されたサンプル構成要素は、質量分析装置によって分析される。

**【0005】**

イオンは、イオン源 (例えば、電子イオン化 (EI) イオン源、化学イオン化 (CI: chemical ionization) イオン源など) によって生成され、次に、下流の質量分析計 (例えば、四重極マスフィルタ) に移動されることができる。

**【0006】**

いくつかの場合においては、直流 (DC) 電極レンズを使用して、イオン源を出るイオンを、(例えば、イオンの焦点を、下流の真空ステージおよび質量分析計の入口に合わせることによって) 質量分析計の入口に送達することができる。概して、質量分析計の透過は、より細かい焦点合わせと入口におけるイオンのより低い角拡散との両方または一方によって改善する。しかし、DC レンズの、良好なイオンビーム焦点特性を送達する能力は、多くの場合に、イオン源を出るイオンの角エネルギーおよび運動エネルギーの広がりによって、そのような静電レンズにおける固有の収差特性によって、ならびに、イオン源と質量分析計の入口との間の領域におけるバックグラウンドのガス分子との衝突に起因するイオンの散乱によって、制限される。これらの制限は、さらに、イオンの焦点が質量分析計の入口において合わせられる程度を制限する可能性があり、その結果、分析性能を制限する。

**【0007】**

一例として、いくつかの場合においては、イオンは、イオン源内の広範な初期の空間分布を伴って生成され、イオンの運動エネルギーおよび引き出し角度の広範な分布を伴ってイオン源を出る。この分布は、DC レンズの、良好なイオンビーム焦点特性を送達する能力を制限する可能性がある。いくつかの場合においては、質量分析計の入口に送達されるイオンの位相空間分布は、質量分析計の分析性能 (例えば、感度および質量分解度など) を損なうほど十分に広範である可能性がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 8 】

したがって、開示されるシステムは、いくつかの実施態様においては、イオンをイオン源から質量分析計の入口まで移動させるためにDC静電レンズを使用するのではなく、1つまたは複数のRFオンリーイオンガイドを組み込み、イオンを、イオン源の出口から質量分析計の入口まで直接的に移動させることができる。

## 【 0 0 0 9 】

1つの態様においては、イオン源真空ステージにおける比較的高いバックグラウンドのガス圧力の結果として、イオンの衝突冷却が生じ、これは、質量分析計の入口における、イオンの運動エネルギーの分布と、径方向位置の分布と、半径方向の速度分布の幅の低減とを容易にし、それによって、質量分析計の性能を改善する。

10

## 【 0 0 1 0 】

別の態様においては、運動エネルギーならびに空間角度および引き出し角度の実質的により大きい分布を有するイオンの引き出しおよび効率的な移動は、衝突冷却によるこれらの分布の上述したその後の低減によって、可能となる。したがって、電子衝突イオン源は、サンプル分子がイオン化され、引き出され、はるかに大きいイオン化容積部から効果的かつ効率的に移動されるように構成することができ、結果として感度が改善される。

## 【 0 0 1 1 】

さらに別の態様においては、イオン化容積部内に電界の輪郭が確立され、それによって、イオン化容積部内のさらに大きい空間分布のイオンを、RFイオンガイド入口に引き出すことができる。

20

## 【 0 0 1 2 】

さらに別の態様においては、イオン源の出口と質量分析計の入口との間のRFイオンガイドにおいて軸方向の電界が与えられるため、衝突冷却の結果として、イオン源から質量分析計の入口へのイオン輸送の遅延が生じない。

## 【 0 0 1 3 】

さらに、イオン源領域と質量分析計領域との間の真空ステージの仕切りが、RFアパーチャを組み込んでいてもよい。そのようなアパーチャは、狭い径方向位置と、DC電圧を有する従来のステージ間アパーチャよりも良好な速度分布とを維持することができる。

## 【 0 0 1 4 】

別の態様においては、装置は、(1)イオンと中性ガス分子との間の衝突が誘発される加圧チャンバと、(2)冷却チャンバの軸に沿う径方向の疑似ポテンシャル井戸を発生させる1つまたは複数のRFオンリーイオンガイドと、(3)冷却チャンバの出口に向かう、径方向内方への流れ場の成分と軸方向の流れ場の成分とを有する冷却チャンバ内のガス流を提供するガス流ガイドと、(4)冷却チャンバの長さの少なくとも一部に沿って延在する軸方向の電界を提供する補助的な電極アセンブリと、(5)冷却チャンバの入口端および出口端にそれぞれ位置決めされる入口電極および出口電極と、を含むことができる。

30

## 【 0 0 1 5 】

動作中に、イオンは、冷却チャンバの入口にある電極アセンブリによってチャンバ内に引き出されることができる。ガス流は、軸上へのイオンの収束を助け、下流のRFオンリーイオンガイドに向かって移動させることができる。イオンは、イオンガイドを通過して進むときに、径方向の疑似電位ポテンシャル井戸も受け、中性ガス分子との衝突を受け、これは、径方向寸法におけるイオンの運動エネルギーおよび空間分布をさらに低減する。その一方で、補助的な電極アセンブリによって発生される軸方向の電界は、チャンバの出口に向かって移動するイオンの軸方向の運動エネルギーを維持することができる。チャンバの出口において、イオンは、電極アセンブリによって押し出され、質量分析計の入口に送達される。いくつかの場合においては、出口に位置決めされる電極アセンブリは、RF電界を組み込み、イオンビームの径方向のコンパクトさを維持することができる。

40

## 【 0 0 1 6 】

本明細書において記載される実施態様のうちの1つまたは複数は、(例えば、従来のDC静電レンズの構成を使用する質量分析計の性能に比して)質量分析計の性能を改善する

50

ことができる。

【0017】

一態様においては、システムは、イオン源および質量分析計を含む。イオン源は、システムの動作中に、電子の流れを発生させるように構成されている電子源と、システムの動作中に、少なくとも1つの被験物質を輸送するように構成されているサンプル導入アセンブリと、第1の入力ポート、第2の入力ポートおよび出口ポートを有するイオン化チャンバと、を含む。第1の入力ポートは、システムの動作中に、電子の流れを電子源から受け取るように構成されている。第2の入力ポートは、システムの動作中に、少なくとも1つの被験物質をサンプル導入アセンブリから受け取るように構成されており、それによって、被験物質イオンが、イオン化チャンバのイオン化領域内で少なくとも1つの被験物質と電子との相互作用によって生成され、それによって、被験物質イオンは、イオンビーム軸に沿って出口ポート(図3A中の「318」)を通してイオン化チャンバを出る。イオン化チャンバは、システムの動作中に、それぞれの独立して制御される電圧が印加されるように構成されている少なくとも2つのチャンバ電極を含む。少なくとも2つのチャンバ電極は、出口ポートを画定する出口電極を含む。出口電極は、システムの動作中に、出口電極電圧が印加されるように構成されている。出口電極は、イオン化領域に面する上流の表面を含み、上流の表面は、より小さい基部とより大きい基部とを有する実質的に円錐台の形状を画定し、より小さい基部は、出口ポートに近接しているかまたは出口ポートと一致する。システムの動作中に、出口電極と電極のうちの少なくとも1つの他方とに印加される電圧から生じる、イオン化チャンバ内の電界は、イオン化領域から出口ポートを通して被験物質イオンの焦点を合わせるとともに加速させるように働く。

10

20

【0018】

この態様の実施態様は、以下の特徴のうちの1つまたは複数を含んでもよい。

いくつかの実施態様においては、実質的に円錐台の形状は、面と面とが当接する少なくとも2つのディスクによって形成することができる。少なくとも2つのディスクは、イオンビーム軸に対して同心であるアパーチャを有することができ、アパーチャのサイズは、イオン化領域に最も近いディスクから、イオン化領域から最も離れたディスクまでそれぞれ単調に減少する。

【0019】

いくつかの実施態様においては、電子ビーム発生器は、システムの動作中に、イオン源チャンバ内で第1の横断方向に電子ビームを発生させるように構成することができ、第1の横断方向はイオンビーム軸に対して直交する。イオン源チャンバは、システムの動作中に、電子ビームの方向に対して平行であるとともに電子ビームと一致する方向に磁場を発生させるように構成されている磁場発生器を含むことができる。

30

【0020】

いくつかの実施態様においては、磁場発生器は、少なくとも2つの永久磁石を含むことができる。

いくつかの実施態様においては、少なくとも2つの永久磁石は、電子ビームの方向に対して平行な方向に位置合わせすることができる。

【0021】

いくつかの実施態様においては、少なくとも2つのチャンバ電極は、電界を発生させ、サンプルイオンを、上記イオン出口ポートを通して空間的に焦点を合わせるように構成することができる。

40

【0022】

いくつかの実施態様においては、質量分析計は、四重極マスフィルタ、衝突チャンバによって隔てられる2つの四重極マスフィルタの組み合わせ、四重極マスフィルタ、衝突チャンバおよび飛行時間型質量分析計の組み合わせ、飛行時間型質量分析計、三次元イオントラップ、または二次元イオントラップ、のうちの少なくとも1つを含むことができる。

【0023】

いくつかの実施態様においては、サンプル導入アセンブリは、ガスクロマトグラフィー

50

カラムの出口部分を含むことができる。

概して、別の態様においては、システムは、電子イオン化イオン源および質量分析計を含む。電子イオン源は、システムの動作中に、サンプル分子から、イオンビーム軸に沿って延在するイオンのビームを生成するように構成されている。システムは、ガスマニホールドと電界発生器とを備える衝突冷却チャンバも含む。冷却チャンバは、冷却チャンバのそれぞれの対向端に入口アパーチャと出口アパーチャとを画定し、冷却チャンバの入口アパーチャは、イオンビーム軸と軸方向に位置合わせする。冷却チャンバは、システムの動作中に、電界発生器を使用して、冷却チャンバ内で高周波 (RF: radio frequency) 電界を発生させるとともに、ガスマニホールドを通して衝突ガスを受け取って冷却チャンバを加圧するように構成されている。

10

【0024】

この態様の実施態様は、以下の特徴のうちの1つまたは複数を含んでもよい。

いくつかの実施態様においては、電界発生器は、システムの動作中に、冷却チャンバの長さの少なくとも一部に沿って延在する軸方向の電界を発生させるようにさらに構成することができる。

【0025】

いくつかの実施態様においては、冷却チャンバは、システムの動作中に、0.13 Pa ~ 13.33 Pa (1 mTorr ~ 100 mTorr) の圧力の衝突ガスで加圧されるように構成することができる。

【0026】

いくつかの実施態様においては、冷却チャンバは、システムの動作中に、イオン源チャンバから第2の入口アパーチャを通してイオンを受け取り、受け取ったイオンのうちの少なくともいくらかの運動エネルギーを低下させ、受け取ったイオンのうちの少なくともいくらかを、冷却チャンバから第2の出口チャンバを通して押し出すように構成されている。

20

【0027】

いくつかの実施態様においては、受け取ったイオンのうちの少なくともいくらかの運動エネルギーを低下させることは、受け取ったイオンと冷却ガスの分子との間の1つまたは複数の衝突を誘発することを含むことができる。

【0028】

いくつかの実施態様においては、電界発生器は、冷却チャンバの長さの少なくとも一部に沿って延在する複数の伝導ロッドを含むことができる。ロッドは、冷却チャンバ内に軸対称に配置することができる。

30

【0029】

いくつかの実施態様においては、冷却チャンバの出口アパーチャは、冷却チャンバの出口軸の周りに軸対称に配置される複数の出口アパーチャ電極を含むことができる。複数の出口アパーチャ電極は、システムの動作中に、RFおよびDCオフセット電圧が印加されるように構成することができる。

【0030】

いくつかの実施態様においては、質量分析計は、システムの動作中に、質量分析のために冷却チャンバからイオンを受け取るように構成することができる。

40

いくつかの実施態様においては、質量分析計は、四重極マスフィルタ、衝突チャンバによって隔てられる2つの四重極マスフィルタの組み合わせ、四重極マスフィルタ、衝突チャンバおよび飛行時間型質量分析計の組み合わせ、飛行時間型質量分析計、三次元イオントラップ、または二次元イオントラップ、のうちの少なくとも1つを含むことができる。

【0031】

いくつかの実施態様においては、システムは、ガスクロマトグラフをさらに含むことができる。イオン源チャンバは、システムの動作中に、ガスクロマトグラフから流れ出るサンプルを受け取るように構成することができる。

【0032】

いくつかの実施態様においては、システムは、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、

50

質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つに通信可能に結合される制御モジュールをさらに含むことができる。制御モジュールは、システムの動作中に、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つの動作を調節するように構成することができる。

【0033】

いくつかの実施態様においては、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つの動作を調節することは、ガスクロマトグラフからイオン源チャンバへのサンプル粒子の移動を調節することを含むことができる。

10

【0034】

いくつかの実施態様においては、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つの動作を調節することは、イオン源チャンバによるサンプル粒子のうちの少なくともいくつかのイオン化を調節することを含むことができる。

【0035】

いくつかの実施態様においては、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つの動作を調節することは、1つまたは複数の電極のそれぞれの電位を調節することを含むことができる。

20

【0036】

いくつかの実施態様においては、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つの動作を調節することは、電界発生器による冷却チャンバ内のRF電界の発生を調節することを含むことができる。

【0037】

いくつかの実施態様においては、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つの動作を調節することは、ガスマニホールドを通した冷却チャンバ内への不活性ガスの移動を調節することを含むことができる。

30

【0038】

いくつかの実施態様においては、イオン源、冷却チャンバ、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つの動作を調節することは、イオン化されたサンプル粒子のフィルタリングを調節することを含むことができる。

【0039】

概して、別の態様においては、システムはイオン源チャンバを含む。イオン源チャンバは、第1の入力ポート、第2の入力ポート、第1の出口ポート、および、第1の出口ポートに近接する1つまたは複数のチャンバ電極を含む。イオン源チャンバは、動作中に、第1の入口ポートを通して被験物質を受け取り、第2の入口ポートを通して電子の流れを受け取り、イオン源チャンバ内のイオン化領域において、被験物質と電子との相互作用によって被験物質イオンを発生させ、1つまたは複数のチャンバ電極を使用して、被験物質イオンの焦点を合わせるとともに、イオンビーム軸に沿って出口ポートを通してイオン源チャンバから加速させるように構成されている。1つまたは複数の電極は、イオンビーム軸に沿って電極アパーチャを画定する。電極アパーチャは、イオンビーム軸に沿ってイオン化領域から第1の出口ポートへの方向に単調に減少する断面積を有する。

40

【0040】

この態様の実施態様は、以下の特徴のうちの1つまたは複数を含んでもよい。

いくつかの実施態様においては、システムは、冷却チャンバをさらに含むことができる。冷却チャンバは、ガスマニホールド、電界発生器、および、冷却チャンバの第1の端に

50

ある第3の入力ポートを含むことができる。第3の入力ポートは、イオンビーム軸と軸方向に位置合わせすることができる。冷却チャンバは、冷却チャンバの第2の端にある第2の出口ポートも含むことができる。冷却チャンバは、システムの動作中に、電界発生器を使用して冷却チャンバ内で高周波(RF)電界を発生させるとともに、ガスマニホールドを通して衝突ガスを受け取り、冷却チャンバを加圧するように構成することができる。

【0041】

概して、別の態様においては、システムは、システムの動作中に、サンプル分子を複数のイオンに変えるとともに、イオンを、イオン化容積部からイオン源の出口ポートを通して送達するように構成されているイオン源を含む。システムは、ガスマニホールドと、ガス流ガイドと、少なくとも1つのRFオンリーイオンガイドと、軸方向電界電極アセンブリと、入口電極アセンブリと、出口電極アセンブリと、を含む衝突冷却チャンバも含む。システムは質量分析計も含む。

10

【0042】

この態様の実施態様は、以下の特徴のうちの1つまたは複数を含んでもよい。

いくつかの実施態様においては、イオン源は、電子衝突(EI)イオン化源または化学イオン化(CI)源のうちの少なくとも一方を含むことができる。

【0043】

いくつかの実施態様においては、軸方向電界電極アセンブリは、システムの動作中に、冷却チャンバの長さの少なくとも一部に沿って延在する軸方向の電界を発生させるように構成されている。

20

【0044】

いくつかの実施態様においては、冷却チャンバは、システムの動作中に、ガスマニホールドを介して衝突ガスで加圧されるように構成することができる。

いくつかの実施態様においては、ガス流ガイドは、冷却チャンバの入口に位置決めすることができ、システムの動作中に、冷却チャンバの入口アパーチャと同心の円錐の導管を形成するように構成することができる。導管を通るガス流は、イオンを径方向に集中させるとともに、イオンを下流に向かって移動させることができる。ガス流の速度およびガスの温度は、コントローラを介して調整可能とすることができる。

【0045】

いくつかの実施態様においては、RFオンリーイオンガイドは、冷却チャンバの長さの少なくとも一部に沿って延在するとともに冷却チャンバ内に軸対称に配置される複数の伝導性の円柱状電極を含むことができる。

30

【0046】

いくつかの実施態様においては、入口電極アセンブリは、システムの動作中に、イオン源からイオンを集めて受け取るように構成することができる。入口電極アセンブリは、イオン源内に一部として一体化することができる。

【0047】

いくつかの実施態様においては、出口電極アセンブリは、システムの動作中に、イオンのうちの少なくともいくらかを冷却チャンバから押し出すように構成することができる。出口電極アセンブリは、RFおよびDCオフセット電圧が印加される少なくとも4つのサブユニットにさらに方位角によって分割されることができる。

40

【0048】

いくつかの実施態様においては、質量分析計は、システムの動作中に、質量分析のために、冷却チャンバからイオンを受け取るように構成することができる。

いくつかの実施態様においては、質量分析計は、四重極マスフィルタ、衝突チャンバによって隔てられる2つの四重極マスフィルタの組み合わせ、四重極マスフィルタ、衝突チャンバおよび飛行時間型質量分析計の組み合わせ、飛行時間型質量分析計、三次元イオントラップ、または二次元イオントラップ、のうちの少なくとも1つを含むことができる。

【0049】

いくつかの実施態様においては、システムは、イオン源、冷却チャンバ、ガス流コント

50

ローラ、ガスマニホールド、質量分析計、質量分析計検出システム、ガスクロマトグラフ、または移動デバイス、のうちの少なくとも1つに通信可能に結合されるとともにそれを調節する制御モジュールをさらに含むことができる。

【0050】

1つまたは複数の実施形態の詳細は、添付の図面および以下の説明に記載される。他の特徴利点は、説明および図面から、ならびに、特許請求の範囲から明らかとなる。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】例示的なガスクロマトグラフィー/質量分析(GC/MS)システムの概略を示すブロック図。

10

【図2】例示的なガスクロマトグラフィー/質量分析/質量分析(GC/MS/MS)システムの概略を示すブロック図。

【図3A】例示的なイオン源の断面図。

【図3B】例示的なイオン源の断面図。

【図4】例示的なイオン源、および例示的なイオン移動チャンバの一部の断面図。

【図5】別の例示的なイオン源、および例示的なイオンチャンバの一部の断面図。

【図6】例示的なイオン源の断面図。

【図7】図4において示されている例示的なイオン源および例示的なイオン移動チャンバ、ならびに、例示的な四重極マスフィルタの一部の断面図。

【図8】例示的なイオン源、例示的なイオン移動チャンバ、および例示的な四重極マスフィルタの断面図。

20

【図9】別の例示的なイオン源、別の例示的なイオン移動チャンバ、および別の例示的な四重極マスフィルタの断面図。

【発明を実施するための形態】

【0052】

例示的なガスクロマトグラフィー/質量分析(GC/MS)システム100の簡略化された概略図が、図1において示されている。システム100は、ガスクロマトグラフ102、イオン源104、イオン移動チャンバ106、四重極マスフィルタ108、イオン検出器110および制御モジュール112を含む。

【0053】

30

システム100の動作中に、サンプルは、ガスクロマトグラフ102の注入ポート114に注入され、キャピラリーカラム116に入る。サンプル構成要素は、ヘリウムガスの流れの助けによって、カラム116を通過して、および、加熱された炉118を通過して流れる。サンプル構成要素は、カラム116におけるそれらの相対的な滞留に従って分離される。例えば、サンプル構成要素の分離は、カラムの寸法(例えば、長さ、直径、フィルム厚)、および、その位相特性に応じて変わることができる。サンプル中の異なる分子間の化学特性の違い、および、カラムの固定相に対するそれらの相対的な親和性は、サンプルがカラムの長さを進むときに分子の分離を促す。

【0054】

カラム116の出口部分120は、カラム116の出口端124がイオン源104内に位置付けられるように、加熱された移動構成要素122内を通過する。サンプル構成要素は、カラム116内で分離されると、出口端124からイオン源104内に連続的に溶出する。

40

【0055】

いくつかの場合においては、イオン源104は、電子イオン化イオン源とすることができる。例えば、図1において示されているように、イオン源104は、イオン源104のイオン容積部128を通して電子ビーム126を発生させることができ、溶出する構成要素の一部を、電子ビーム126中の電子との相互作用によってイオン化させる。電子イオン化イオン源が図1において示されているが、他のイオン源も可能である。例えば、いくつかの場合においては、イオン源104は、化学イオン化イオン源とすることができる。

【0056】

50

イオン源 104 は、引き出し電極 134、および/または、リペラー電極（図示せず）、および/または、イオン容積部ハウジングに電圧を印加することによって、イオン容積部 128 内で電界も発生させる（図面では、等電位の輪郭 130 によって示されている）。イオン容積部 128 内で形成されるサンプルイオンは、電界に反応し、イオン源 104 から加速されて出て、引き出し電極 134 内のアパーチャ 132 を通る。

【0057】

サンプルイオンは、引き出し電極のアパーチャ 132 を通して引き出され、イオン移動チャンバ 106 によって四重極マスフィルタ 108 の入口まで移動される。

四重極マスフィルタ 108 のイオン透過率および分解能は、四重極マスフィルタ 108 に入るサンプルイオンのビームの特性に応じて変わる（例えば、径方向位置、角度、および、比較的度は低いが、サンプルイオンが四重極マスフィルタ 108 に入るときのサンプルイオンの運動エネルギー）。これらのイオンビームの特性は、さらに、システムにおいて使用される任意のイオン移動の光学系（例えば、DC 電極レンズ）の焦点合わせ特性の制約と併せて、イオン源のイオン化効率および排出特性によって制限される。

【0058】

これらの特性を改善するために、いくつかの場合においては、イオン移動チャンバ 106 は、イオン移動チャンバ 106 内で高周波（RF）電界を発生させるイオンガイド 136 を含むことができる。いくつかの場合においては、イオン移動チャンバ 106 は、軸方向の電界も発生させることができる（すなわち、サンプルイオンビームの進行経路の方向に沿って延在する電界）。イオン移動チャンバ 106 は、ガスで加圧されることもできる。イオン源を出るサンプルイオンは、イオン移動チャンバ 106 内を通り、RF 電界によって抑制され、イオンガイド 136 の長さを横切るときにイオンガイド軸 138 を中心に振動する。ガス分子との衝突がサンプルイオンの運動エネルギーを消散させ、結果として、それらの径方向への偏位および運動エネルギーを低下させ、それによって、サンプルイオンは、イオン移動チャンバ 106 の出口端 140 に達すると、改善されたビーム特性（例えば、径方向位置および角度のばらつきが少なく、運動エネルギーがより小さい）を伴って四重極マスフィルタ 108 の入口内に焦点を合わせられることができ、従来の静電光学系の場合よりも、マスフィルタによるより高いイオン透過および分解能またはより高いイオン透過もしくは分解能を可能にする。これは、例えば、イオン源 104 から生成されるような、初期の広範な空間的および角度のイオン分布に関してイオン透過率を改善するため、同様に有利であるものとすることができる。

【0059】

イオン移動チャンバ 106 の出口 140 において焦点を合わせられたイオンビームは、サンプルイオンの質量分析のために、四重極マスフィルタ 108 の入口に注入される。四重極マスフィルタは、サンプルイオンを（例えば、それらの質量電荷比（ $m/z$ ）に基づいて）分解する。一例として、四重極マスフィルタ 108 は、 $2 \times 2$  形態で配置される 4 つの平行な導電性ロッドを含むことができ、この場合、それぞれの対向するロッドの対は、電気的に一緒に接続される。DC オフセット電圧を伴う RF 電圧が、ロッドの 1 つの対と他の対との間に印加される。サンプルイオンがロッド間の四重極を下に進むと、特定の質量電荷比のイオンのみが、電圧の所与の比に関して検出器に達する。他のイオンは、不安定な軌道を有し、ロッドと衝突する。これは、特定の  $m/z$  を有するイオンの選択を可能にする。

【0060】

質量分解されたイオンは、四重極マスフィルタ 108 の出口端を通過して出て、次に、イオン検出器 110 によって検出される。イオン検出器 110 からの出力信号が、制御モジュール 112 によって処理され、ここで、透過された  $m/z$  のイオンの信号強度が記録される。

【0061】

システム 100 は、システム 100 の種々のステージを真空状態にする真空圧送システム 142 も含む。例えば、真空圧送システム 142 は、イオン源 104、イオン移動チャ

10

20

30

40

50

ンバ106、四重極マスフィルタ108、および/または、イオン検出器110とガス連通することができ、内部に閉じ込められる漂遊粒子を除去するように構成することができる。

#### 【0062】

制御モジュール112は、イオン検出器からの出力信号を処理することに加えて、システム100の他の構成要素のうちいくつかまたはすべての動作を制御することもできる。例えば、いくつかの場合においては、制御モジュール112は、イオン源104、イオン移動チャンバ106、四重極マスフィルタ108、イオン検出器110、および/または、真空圧送システム142に通信可能に結合され、命令もしくはコマンドを提供してそれぞれの構成要素の性能を調節することができる。いくつかの場合においては、制御モジュール112は、少なくとも一部は、1つまたは複数のコンピューティングデバイス（例えば、パーソナルコンピュータ、スマートフォン、タブレットコンピュータ、サーバコンピュータなどの、1つまたは複数のマイクロプロセッサをそれぞれ有する1つまたは複数の電子処理デバイス）を使用してインプリメントされることができる。

10

#### 【0063】

単一の四重極構造（すなわち、GC/MSシステム）が図1において示されているが、これは例示的な例に過ぎない。例えば、図1において示されている単一の四重極マスフィルタ108の代わりに、任意の他の質量分析装置の構造を用いることができ、結果として、単一の四重極マスフィルタ構造に関して上記に記載したように、感度およびマスディスクリミネーションが改善される。いくつかの場合においては、システムは、複数の四重極構造を有することができる。一例として、図2は、例示的なガスクロマトグラフィー/質量分析/質量分析（GC/MS/MS）システム200（すなわち、二重の四重極構造）の簡略化された概略図である。システム200は、ガスクロマトグラフ202、イオン源204、2つのイオン移動チャンバ206aおよび206b、2つの四重極マスフィルタ208aおよび208b、イオン検出器210ならびに制御モジュール212を含む。

20

#### 【0064】

概して、イオン源204は、図1において示されているイオン源104と同様に機能することができる。例えば、システム200の動作中に、サンプルは、ガスクロマトグラフ202の注入ポート214に注入され、キャピラリーカラム216に入る。サンプル構成要素は、ヘリウムガスの流れの助けによって、カラム216を通過して、および、加熱された炉218を通過して流れる。サンプル構成要素は、カラム216におけるそれらの相対的な滞留に従って分離される。

30

#### 【0065】

同様に、カラム216の出口部分220は、カラム216の出口端224がイオン源204内に位置付けられるように、加熱された移動構成要素222内を通過する。サンプル構成要素は、カラム216内で分離されると、出口端224からイオン源204内に連続的に溶出する。

#### 【0066】

上記のように、いくつかの場合においては、イオン源204は、電子イオン化イオン源とすることができる。例えば、図2において示されているように、イオン源204は、イオン源204のイオン容積部228を通して電子ビーム226を発生させることができ、溶出する構成要素の一部を、電子ビーム226中の電子との相互作用によってイオン化させる。

40

#### 【0067】

さらに、イオン源204は、引き出し電極234、および/または、リペラー電極（図示せず）、および/または、イオン容積部ハウジングに電圧を印加することによって、イオン容積部228内で電界も発生させる（図面では、等電位の輪郭230によって示されている）。イオン容積部228内で形成されるサンプルイオンは、電界に反応し、イオン源204から加速されて出て、引き出し電極234内のアパーチャ232を通過する。

#### 【0068】

50

同様に、サンプルイオンは、引き出し電極のアーチャ 232 を通して引き出され、イオン移動チャンバ 206 a によって四重極マスフィルタ 208 a の入口まで移動される。イオン移動チャンバ 206 a は、イオン移動チャンバ 106 に関して上記で記載したのと同様に、イオンガイド 236 a (例えば、RF オンリーイオンガイド) および衝突ガスを含み、引き出し電極のアーチャ 232 からのイオンの焦点を四重極マスフィルタ 208 a に合わせる。

**【0069】**

イオン移動チャンバ 206 a の出口 240 において焦点が合わせられたイオンビームは、四重極マスフィルタ 208 a の入口に注入され、質量によって分解される。四重極マスフィルタ 208 a によって選択された質量分解イオン(すなわち、「プリカーサ」イオン)は、加速されて第 2 のイオン移動チャンバ 206 b 内に入る。

10

**【0070】**

第 2 のイオン移動チャンバ 206 b は、図 1 において示されているイオン移動チャンバ 106 と同様に機能することができる。例えば、第 2 のイオン移動チャンバ 206 b は、イオン移動チャンバ 206 a において RF 電界を発生させるイオンガイド 236 を含むことができる。いくつかの場合においては、イオン移動チャンバ 206 b は、軸方向の電界も発生させることができる(すなわち、サンプルイオンビームの進行経路の方向に沿って延在する電界)。イオン移動チャンバ 206 b は、ガスで加圧されることもできる。四重極マスフィルタ 208 a を出るサンプルイオンは、イオン移動チャンバ 206 b 内を通り、RF 電界によって抑制され、イオンガイド 236 の長さを横切るときにイオンガイド軸 238 を中心に振動する。ガス分子との衝突がサンプルイオンの運動エネルギーを消散させ、結果として、それらの径方向への偏位および運動エネルギーを低下させ、それによって、サンプルイオンは、イオン移動チャンバ 206 b の出口端 246 に達すると、改善されたビーム特性を伴って第 2 の四重極マスフィルタ 208 b の入口内に焦点を合わせられることができる。さらに、衝突セルにおけるガス分子とのエネルギー衝突は、プリカーサイオンをフラグメントイオンにフラグメント化させる。

20

**【0071】**

フラグメントイオンは、次に、第 2 の四重極マスフィルタ 208 b によって質量分解され、次に、イオン検出器 210 によって検出される。イオン検出器 210 からの出力信号が、制御モジュール 212 によって処理され、ここで、信号強度が、イオン質量の関数として記録される。

30

**【0072】**

同様に、システム 200 は、システム 200 の種々のステージを真空状態にする真空圧送システム 242 も含む。例えば、真空圧送システム 242 は、イオン源 204、イオン移動チャンバ 206 a および 206 b、四重極マスフィルタ 208 a および 208 b、ならびに/または、イオン検出器 210 とガス連通することができ、内部に閉じ込められる漂遊粒子を除去するように構成することができる。

**【0073】**

制御モジュール 212 は、イオン検出器からの出力信号を処理することに加えて、システム 200 の他の構成要素のうちの一つかまたはすべての動作を制御することもできる。例えば、いくつかの場合においては、制御モジュール 212 は、イオン源 204、イオン移動チャンバ 206 a および 206 b、四重極マスフィルタ 208 a および 208 b、イオン検出器 210、ならびに/または、真空圧送システム 242 に通信可能に結合され、命令もしくはコマンドを提供してそれぞれの構成要素の性能を調節することができる。いくつかの場合においては、制御モジュール 212 は、少なくとも一部は、1 つまたは複数のコンピューティングデバイス(例えば、パーソナルコンピュータ、スマートフォン、タブレットコンピュータ、サーバコンピュータなどの、1 つまたは複数のマイクロプロセッサをそれぞれ有する 1 つまたは複数の電子処理デバイス)を使用してインプリメントされる。

40

**【0074】**

50

図3 Aは、イオン源300の簡略化された概略図を示している。イオン源300は、例えば、図1および図2に示されているイオン源として使用することができる。

図3 Aにおいて示されているように、イオン源300は、入力ポート302 aおよび302 b、リペラー304、引き出し電極306ならびに引き出し電極のアパーチャ308を含む。

【0075】

イオン源300の動作中に、イオン源300は、入力ポート302 aを通して被験物質（例えば、GCカラムからの溶出したサンプル構成要素）を受け取る。

イオン源300は、（例えば、電流が流れるワイヤーフィラメント316を加熱することによる熱イオン放出によって）電子ビーム312も発生させ、電子ビーム312を、入力ポート302 bからイオン化チャンバ310内に方向付ける。電子ビーム312中の電子は、フィラメント316とイオン化チャンバ310ハウジングとの間に印加される電位差によって、フィラメント316からイオン化チャンバ310内に加速される。いくつかの場合においては、この電位差は、約70 Vとすることができる。いくつかの場合においては、この電位差は、5 V ~ 150 Vに調整することができる。電子ビーム312によって、被験物質分子の一部が、電子ビーム312中の電子との相互作用によりイオン化される。

【0076】

さらに、イオン源300は、電圧を、引き出し電極306および/またはリペラー電極304および/またはイオン容積部ハウジング320に印加することによって、イオン化チャンバ310内で電界を発生させる（図面では、等電位の輪郭314によって示されている）。イオン化チャンバ310内で形成されるイオン化された被験物質は、電界に反応し、加速されて引き出し電極のアパーチャ308を通してイオン源300を出る。

【0077】

図3 Bにおいて示されているように、（リペラー304および/または引き出し電極306および/またはイオン化チャンバハウジングに印加される電位によって誘発される）電界は、イオン化された被験物質の焦点を合わせ、イオン化された被験物質を加速させて、引き出し電極のアパーチャ132を通してイオン源300から出す。イオン化された被験物質のシミュレーションされた経路が、軌道315として示されている。

【0078】

例示的な印加される電位を上記で記載したが、これらは例示的な例に過ぎない。実際には、異なる電位をリペラー304および引き出し電極306の両方または一方に印加し、イオン源300のイオンビームの焦点合わせおよびイオン加速特性を調整することができる。概して、リペラー電極304と、引き出し電極306と、イオン化容積部ハウジングとの間に印加される電圧差は、イオン化容積部に面するこれらの電極の表面の寸法および形状に応じて変わる。いくつかの場合においては、これらの差は、数分の1ボルトから数十ボルトの範囲であってもよい。しかし、それらの実際の値は、下流のRFイオンガイドに入るイオンに最適である運動エネルギーに応じて変わる。これは、それらの運動エネルギーが、イオン化容積部におけるイオン化の時点での電位と、後続の下流のイオンガイドDCオフセット電圧との差に応じて変わるためである。他方で、RFイオンガイドのDCオフセット電圧は、イオンガイド出口におけるイオンの電位に影響を与え、イオンは、イオン移動チャンバ内で衝突冷却されている。このイオンガイドオフセット電圧と下流のマスフィルタとの間の差が、次に、イオンが下流のマスフィルタ内に方向付けられるときに、イオンの運動エネルギーを決定する。いくつかの場合においては、イオン源電極に印加される電圧は、-50 V ~ +50 Vとすることができる。

【0079】

さらに、引き出し電極306の形状も、イオン源300のイオンビームの焦点合わせおよびイオン加速特性を調整するために異なるものとしてすることができる。例えば、図4は、例示的なイオン源400、および例示的なイオン移動チャンバ450の一部の簡略化された断面図を示している。イオン源400およびイオンチャンバ450は、例えば、図1お

10

20

30

40

50

よび図 2 において示されているイオン源およびイオン移動チャンバとして使用することができる。イオン源 400 は、概ね円筒形のチャンバ 402、および、チャンバ 402 の遠位端に位置決めされる引き出し電極 404 を画定する。この例においては、引き出し電極 404 は、チャンバ 402 の軸方向の延在に沿って（例えば、イオンビーム軸または中心軸 406 に沿って）概ね環状の断面を有し、アパーチャ 408 を画定する。さらに、アパーチャ 408 の断面の直径は、チャンバ 402 の中央に最も近い引き出し電極 404 の部分から、チャンバ 402 の遠位端 410 まで単調に減少する。したがって、引き出し電極 404 の内側面 412 は、円錐台形状を画定する（例えば、アパーチャ 408 は円錐台形である）。

#### 【0080】

引き出し電極 404 の例示的な形状が図 4 において示されているが、これは例示的な例に過ぎない。実際には、引き出し電極 404 の 1 つまたは複数の寸法を、イオン源 300 のイオンビームの焦点合わせおよびイオン加速特性を調整するために変えることができる。例えば、いくつかの場合においては、引き出し電極 404 の軸方向長さ 422 は、0.5 mm ~ 10 mm とすることができる。別の例として、引き出し電極 404 の直径 414 は、0.5 mm ~ 5 mm とすることができる。別の例として、円錐角 416（すなわち、中心軸 406 と内側面 412）との間の角度は、60 度 ~ 150 度とすることができる。別の例として、最小の環状の厚さ 418 は、0.5 mm ~ 2 mm とすることができる。別の例として、最大の環状の厚さ 420 は、1 mm ~ 3 mm とすることができる。実際には、実施態様に応じて、他の寸法も可能である。

#### 【0081】

図 4 において示されている例では、イオン源 400 は、単一の一体的な引き出し電極 404 を含む。しかし、これは必ずしもそうでなくてもよい。いくつかの実施態様においては、イオン源は、出口アパーチャをまとめて画定する複数の引き出し電極を含むことができる。例えば、図 5 は、別の例示的なイオン源 500、および例示的なイオンチャンバ 550 の一部の簡略化された断面図を示している。イオン源 500 およびイオンチャンバ 550 は、例えば、図 1 および図 2 において示されているイオン源として使用することができる。上記のように、イオン源 500 は、概ね円筒形のチャンバ 502 を画定する。

#### 【0082】

しかし、この例においては、イオン源 500 は、複数の引き出し電極 504 a ~ c を含む。それぞれの引き出し電極 504 a ~ c は、それぞれのアパーチャ 506 a ~ c をそれぞれ画定する、環状またはディスク状の形状である。アパーチャ 506 a ~ c は、同心円状であり、出口アパーチャ 508 をまとめて画定する。アパーチャ 508 の断面の直径は、引き出し電極 504 a（すなわち、チャンバ 502 の中央に最も近い引き出し電極）から、引き出し電極 506 c（すなわち、チャンバ 502 の遠位端 510 上の引き出し電極）まで単調に低減する。したがって、アパーチャ 506 a ~ c は、概ね円錐台の形状（例えば、階段状の円錐台形状）を画定する。

#### 【0083】

電位を、それぞれの引き出し電極 504 a ~ c に印加することができる。いくつかの場合においては、同じ電位をそれぞれの引き出し電極 504 a ~ c に印加することができる。いくつかの場合においては、異なる電位を、引き出し電極 504 a ~ c のうちのいくつかまたはすべてに印加することができる。例えば、いくつかの場合においては、いずれかの電極 504 a ~ c に印加される電圧は、-100 V ~ +100 V の範囲とすることができる。

#### 【0084】

さらに、引き出し電極 504 a ~ c のそれぞれの寸法は、イオン源 500 のイオンビームの焦点合わせおよびイオン加速特性を調整するために変えることができる。例えば、いくつかの場合においては、それぞれの引き出し電極 504 a ~ c の軸方向長さは、0.5 mm ~ 3.0 mm とすることができる。別の例として、それぞれの引き出し電極 504 a ~ c の直径は、1 mm ~ 10 mm とすることができる。別の例として、それぞれの引き出

10

20

30

40

50

し電極 504 a ~ c の内径は、0.5 mm ~ 5.0 mm とすることができる。別の例として、最小の環状の厚さ（例えば、最も中央の引き出し電極 504 a の環状の厚さ）は、0.5 mm ~ 5.0 mm とすることができる。別の例として、最大の環状の厚さ（例えば、端 510 に最も近い引き出し電極 504 c の環状の厚さ）は、0.5 mm ~ 5.0 mm とすることができる。実際には、実施態様に応じて、他の寸法も可能である。

【0085】

さらに、図 5 においては 3 つの引き出し電極 504 a ~ c が示されているが、これも例示的な例に過ぎない。実際には、イオン源は、任意の数の引き出し電極（例えば、1 つ、2 つ、3 つ、4 つ、5 つまたはそれ以上）を含むことができる。同様に、それぞれの引き出し電極に印加される電位、および、それぞれの引き出し電極の寸法は、イオン源に異なるイオンビームの焦点合わせおよびイオン加速特性を与えるために、異なるものとしてすることができる。

10

【0086】

いくつかの場合においては、イオン源は、電子ビームの方向に対して平行であるとともに電子ビームに一致する方向に磁場を発生させるように構成されている磁場発生器を含むことができる。これは、例えば、電子ビームの電子を、電子ビームの方向を中心として螺旋方向に進行させ、それによって、イオンチャンバ内のそれぞれの電子の経路を延長するとともに、それぞれの電子が被験物質と相互作用して該被験物質をイオン化させる可能性を高めるため、有用であるものとしてすることができる。

【0087】

一例として、図 6 は、イオン源 600 の簡略化された断面図を示している。イオン源 600 は、例えば、図 1 および図 2 において示されているイオン源として使用することができる。

20

【0088】

図 6 において示されているように、イオン源 600 は、入力ポート 602 a および 602 b、リペラー 604 ならびに引き出し電極 606 を含む。

イオン源 300 の動作中に、イオン源 600 は、入力ポート 602 a を通して被験物質（例えば、GC カラムからの溶出したサンプル構成要素）を受け取る。被験物質は、リペラー 604 によって推進されてイオン化チャンバ 608 に入る。

【0089】

イオン源 300 は、（例えば、電流が流れるワイヤーフィラメントを加熱することによって）電子ビーム 610 も発生させ、電子ビーム 610 を、入力ポート 602 b からイオン化チャンバ 608 内に方向付ける。イオン源は、電子ビーム 610 の両端に位置決めされるとともに電子ビームの方向に対して平行な方向に位置合わせされる 2 つの永久磁石 612 a および 612 b も含む。これは、（磁場のベクトル 614 によって表される）イオンチャンバ 612 内の磁場を発生させる。

30

【0090】

図 7 は、図 4 において示されている例示的なイオン源 400 および例示的なイオン移動チャンバ 450、ならびに、例示的な四重極マスフィルタ 700 の一部の簡略化された断面図を示している。イオン源 400、イオン移動チャンバ 450 および四重極マスフィルタ 700 は、例えば、図 1 および図 2 において示されているイオン源、イオン移動チャンバおよび四重極マスフィルタとして使用することができる。図 7 において示されているように、イオンチャンバ 450 は、概ね円筒形の内側チャンバ 702 を画定する。イオンチャンバ 450 は、内側チャンバ 702 の長さに沿って延在するイオンガイド 704 も含む。図 7 において示されている例では、イオンガイド 704 は、イオンガイド軸 708 を囲む 2 × 2 形態で配置される 4 つの平行な導電性ロッド 706 a ~ d を含み、この場合、それぞれの対向するロッドの対（例えば、706 a および 706 d、ならびに 706 b および 706 c）は、電気的に一緒に接続される。図 7 において示されている断面図によると、ロッド 706 b および 706 c は断面で示されており、ロッド 706 d は示されていない。それぞれのロッドの対間に RF 電圧が印加され、内側チャンバ 702 において RF 電

40

50

界を発生させる。イオン源 400 を出るサンプルイオンは、イオン移動チャンバ 450 の内側チャンバ 702 内を通り、RF 電界によって抑制され、内側チャンバ 702 およびイオンガイド 704 の長さを横切るときにイオンガイド軸 708 を中心に振動する。イオンガイド 704 の RF 電界は、イオンガイド軸 708 に沿う径方向の疑似ポテンシャル井戸を誘発する。

【0091】

導電性ロッド 706 a ~ d は、イオンガイド軸 708 からそれぞれ等距離にあり、イオンガイド軸 708 を中心として径方向に分散される（例えば、イオンガイド軸 708 に対して、間に 90° の角度の距離を置いて位置決めされる）。それぞれの伝導ロッド 706 a ~ d およびイオンガイド軸 708 間の距離は、変えることができる。例えば、伝導ロッドの中心までのイオンガイド軸 708 との間の径方向の距離 710 は、1 mm ~ 10 mm することができる。

10

【0092】

伝導ロッド 706 a ~ d の寸法も変えることができる。例えば、それぞれの伝導ロッド 706 a ~ d の長さ 712 は、10 mm ~ 200 mm とすることができる。別の例として、それぞれの伝導ロッド 706 a ~ d の直径 714 は、1 mm ~ 10 mm とすることができる。

【0093】

実際には、実施態様に応じて、他の寸法も可能である。

それぞれの対向するロッドの対に印加される RF 電圧も変えることができる。例えば、いくつかの場合においては、10 V ~ 1000 V 超の RF の電圧を使用することができる。

20

【0094】

いくつかの場合においては、イオンガイド 704 は、イオン移動チャンバ 450 の軸方向端のいずれかに位置決めされる付加的な電極も含むことができる。例えば、図 7 において示されているように、イオンガイド 704 は、イオンガイド軸 708 を囲んで配置される 4 つの付加的な電極である導電性電極 716 a ~ d を含み、この場合、それぞれの対向するロッドの対（例えば、716 a および 716 d、ならびに 716 b および 716 c）は、電氣的に一緒に接続される。図 7 において示されている断面図によると、電極 716 b および 716 c は断面で示されており、電極 716 d は示されていない。いくつかの場合においては、電極のそれぞれは、対応する伝導ロッドと軸方向に位置合わせされ、対応する伝導ロッドに電氣的に接続されることができる。例えば、電極 716 a は、ロッド 702 a と軸方向に位置合わせされるとともにロッド 702 a に電氣的に接続されることができ、電極 716 b は、ロッド 702 b と軸方向に位置合わせされるとともにロッド 702 b に電氣的に接続されることができ、電極 716 c は、ロッド 702 c と軸方向に位置合わせされるとともにロッド 702 c に電氣的に接続されることができ、電極 716 d は、ロッド 702 d と軸方向に位置合わせされるとともにロッド 702 d に電氣的に接続されることができる。これは、例えば、イオンガイド 704 が内側チャンバ 702 内でより一貫した RF 電界を発生させることを可能にし、それによって、イオン移動チャンバ 450 の焦点合わせ特性の性能を改善するため、有利であるものとするすることができる。

30

【0095】

いくつかの場合においては、イオン移動チャンバ 450 は、サンプルイオンを、イオン移動チャンバ 450 を通して軸方向にさらに押しやる軸方向の電界（すなわち、イオンガイド軸 708 に沿うサンプルイオンビームの進行経路の方向に沿って延在する電界）も発生させることができる。これは、例えば、イオン移動チャンバ 450 内の衝突が、イオン移動チャンバ 450 を通した四重極マスフィルタ内へのイオンの輸送を大幅に遅延させないことを確実にする上で、有用であるものとするすることができる。

40

【0096】

いくつかの場合においては、イオン移動チャンバ 450 は、ガスで加圧することもできる。例えば、図 7 において示されているように、イオン移動チャンバ 450 は、内側チャンバ 702 が加圧されるように、ガス源（例えば、ガスタンク）からガスを受け取るため

50

のガスマニホールド 718 (例えば、入力ポートまたはアパーチャ)を含むことができる。ガス圧は、内側チャンバ 702 内で変えることができる。例えば、内側チャンバ 702 内のガス圧は、およそ  $0.13 \text{ Pa} \sim 13.33 \text{ Pa}$  ( $1 \text{ mTorr} \sim 100 \text{ mTorr}$ ) とすることができる。窒素、アルゴン、ヘリウムなどの種々のガスを使用して内側チャンバ 702 を加圧することができる。

#### 【0097】

上記で記載したように、サンプルイオンとガス分子との衝突がサンプルイオンの運動エネルギーを消散させ、結果として、サンプルイオンの径方向への偏位および運動エネルギーを低下させる。したがって、サンプルイオンは、イオン移動チャンバ 450 の出口端 720 に達すると、改善されたビーム特性を伴って、四重極マスフィルタ 700 の入口内に焦点を合わせられることができる。

10

#### 【0098】

一例として、図 8 は、例示的なイオン源 800、例示的なイオン移動チャンバ 810 および例示的な四重極マスフィルタ 820 の簡略化された断面図を示している。イオン源 800、イオン移動チャンバ 810 および四重極マスフィルタ 820 は、例えば、図 1 および図 2 において示されているイオン源、イオン移動チャンバおよび四重極マスフィルタとして使用することができる。イオン化された被験物質のシミュレーションされた経路が、経路 802 として示されている。図 8 において示されているように、イオン源 800 は、被験物質 (例えば、GC カラムからの溶出したサンプル構成要素) を受け取り、受け取った粒子をイオン化させる。イオン化された被験物質は、イオン源 800 内で焦点を合わせられ、加速されてイオン移動チャンバ 810 内に入る。イオン移動チャンバ 810 は、イオン化された被験物質の焦点をさらに合わせ、(イオン移動チャンバ 810 内で加圧されるガスの衝突に起因して) イオン化された被験物質の運動エネルギーを低下させる。続いて、イオン化された被験物質は、さらなる処理のためにマスフィルタ 820 内に注入される。

20

#### 【0099】

いくつかの場合においては、ガス分子は、ガスの方向性のある流れをイオン移動チャンバ内で誘発するように、イオン移動チャンバ内に方向性を有して注入されることことができる。これは、例えば、そのような方向性のあるガス流がない場合よりも、サンプルイオンの径方向への偏位および運動エネルギーをより迅速に低下させるとともに、軸方向の電界の存在下または非存在下で、イオンが進行中に衝突冷却を受けるときの、軸に沿ったイオンの連続的な移動を促進することができるため、有利であるものとするところである。一例として、ガス分子は、ガスの流れが、イオン移動チャンバの入口からイオン移動チャンバの出口の方向に、イオン移動チャンバの延在の軸に沿って延在するように、注入することができる。

30

#### 【0100】

一例として、図 9 は、例示的なイオン源 900、例示的なイオン移動チャンバ 910 および例示的な四重極マスフィルタ 920 の簡略化された断面図を示している。イオン源 900、イオン移動チャンバ 910 および四重極マスフィルタ 920 は、例えば、図 1 および図 2 において示されているイオン源、イオン移動チャンバおよび四重極マスフィルタとして使用することができる。図 9 において示されているように、(点線 902 によって表されている) ガス分子は、(例えば、ガスダクトまたは導管 904 を介して) イオン移動チャンバ 910 内に方向性を有して注入される。ガス分子は、(例えば、イオン移動チャンバ 910 の延在軸 906 に沿う軸方向に) イオン移動チャンバ 910 を横切って流れ、方向性のあるガスジェットを形成する。このガスジェットは、イオン移動チャンバ 910 を通してサンプルイオンを推進する。

40

#### 【0101】

いくつかの場合においては、ガス分子は、イオン移動チャンバ内に方向性を有して注入されることができ、それによって、結果として生じるガスジェットは、サンプルイオンに対して、軸方向の力および(例えば、軸方向の力に対して直交する)径方向の力の双方を

50

与える。例えば、図9において示されているように、イオン移動チャンバは、ガス分子の焦点を径方向に合わせて幅狭の流れにする焦点合わせまたは収束構造908（例えば、バップルまたはフランジ）を含むことができる。これは、例えば、サンプルイオンをさらにコンパクトにするとともに、サンプルイオンの径方向の偏位をさらに低下させるために有用であるものとすることができる。

【0102】

複数の実施形態を記載した。それにもかかわらず、本発明の主旨および範囲から逸脱することなく、種々の変更を行ってもよいことが理解されるだろう。したがって、他の実施形態が特許請求の範囲の範囲内にある。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

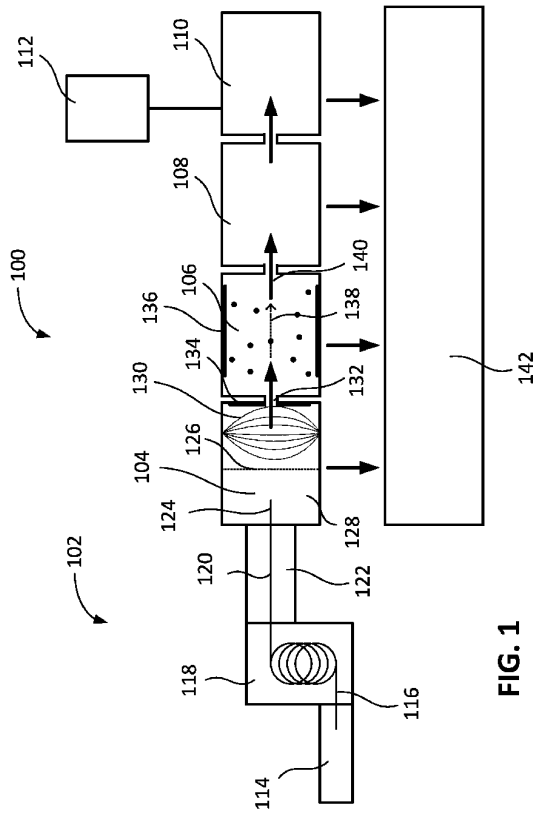


FIG. 1

【図 2】

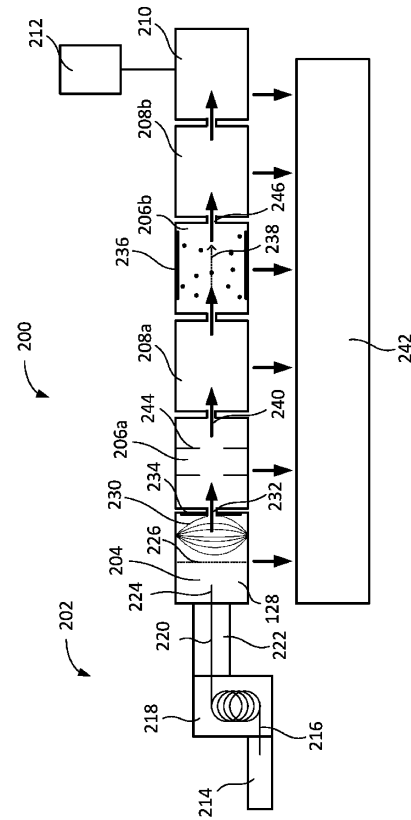


FIG. 2

【図 3 A】

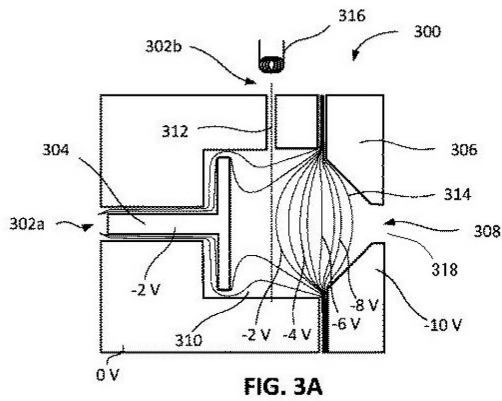


FIG. 3A

【図 3 B】

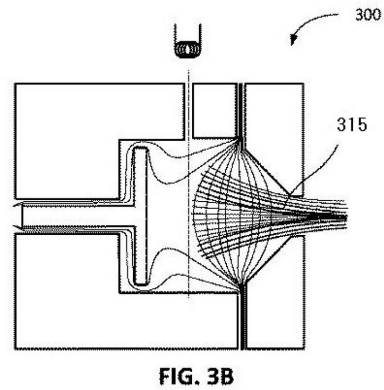


FIG. 3B

10

20

30

40

50

【 図 4 】

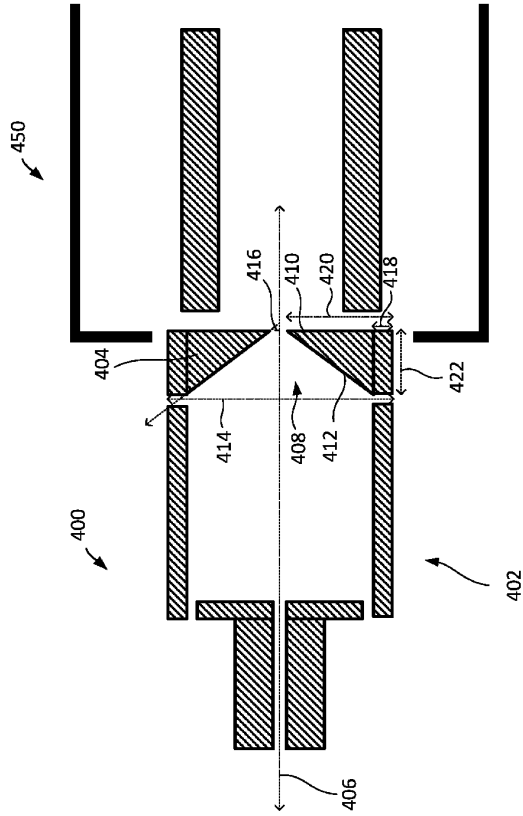


FIG. 4

【 図 5 】

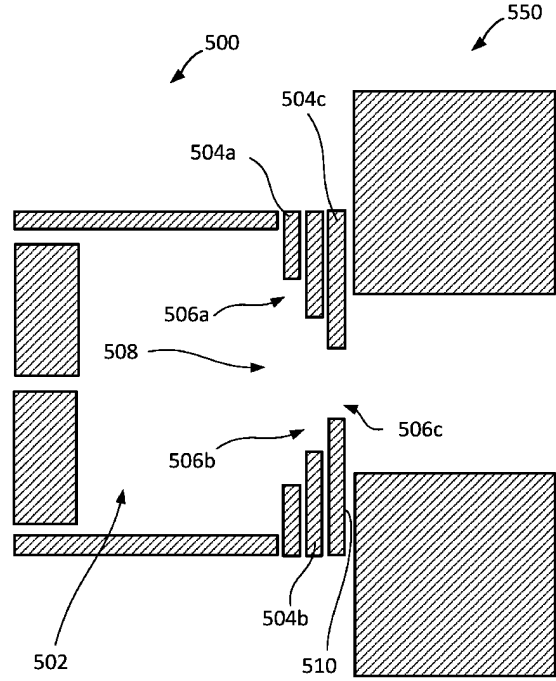


FIG. 5

【 図 6 】

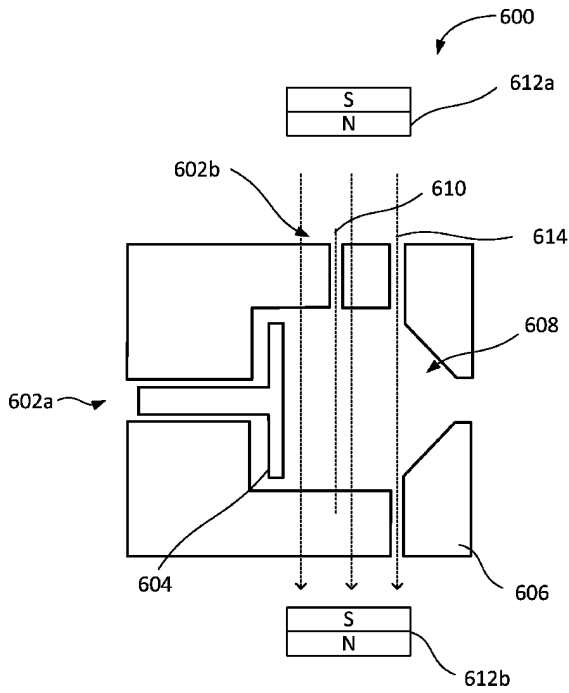


FIG. 6

【 図 7 】

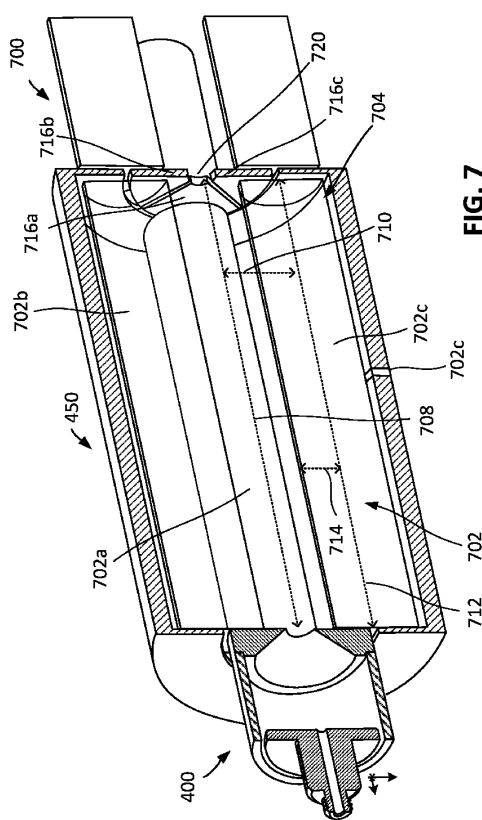


FIG. 7

10

20

30

40

50

【 8 】

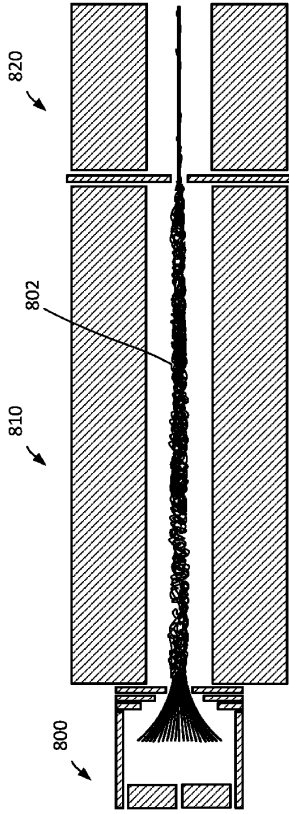


FIG. 8

【 9 】

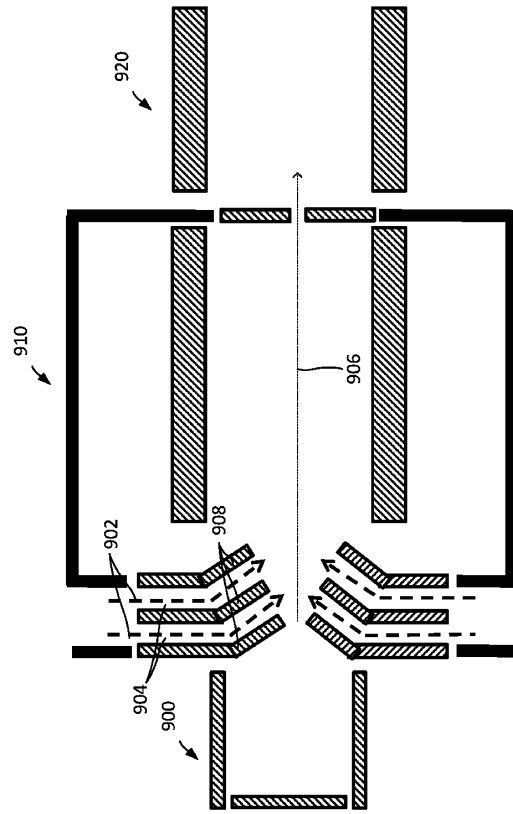


FIG. 9

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

## (51)国際特許分類

F I

H 0 1 J	49/26	(2006.01)	H 0 1 J	49/24
H 0 1 J	49/40	(2006.01)	H 0 1 J	49/26
H 0 1 J	49/42	(2006.01)	H 0 1 J	49/40
			H 0 1 J	49/42

米国(US)

アメリカ合衆国 0 6 6 1 1 コネチカット州 トランブル パーラー ロック ロード 1 1

## (72)発明者

チェン、トン

アメリカ合衆国 0 6 4 8 4 コネチカット州 シェルトン パロット ドライブ 1 0 0 アパートメント 9 1 3

合議体

審判長 山村 浩

審判官 松川 直樹

審判官 加々美 一恵

## (56)参考文献

特表 2 0 0 8 - 5 3 9 5 4 9 ( J P , A )

米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 1 9 3 3 1 8 ( U S , A 1 )

米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 2 0 9 8 1 4 ( U S , A 1 )

米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 2 8 4 7 4 1 ( U S , A 1 )

米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 2 6 1 5 7 0 ( U S , A 1 )

## (58)調査した分野

(Int.Cl., D B 名)

H01J49/00-49/48