

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5215671号
(P5215671)

(45) 発行日 平成25年6月19日(2013.6.19)

(24) 登録日 平成25年3月8日(2013.3.8)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 J 49/42 (2006.01)	HO 1 J 49/42
HO 1 J 49/06 (2006.01)	HO 1 J 49/06
HO 1 J 49/26 (2006.01)	HO 1 J 49/26
GO 1 N 27/62 (2006.01)	GO 1 N 27/62 E

請求項の数 21 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2007-554650 (P2007-554650)	(73) 特許権者	504142097 マイクロマス ユーケー リミテッド イギリス、エム23 9エルズイー、マン チェスター、ウィゼンショー、フローツ ロード
(86) (22) 出願日	平成18年2月14日(2006.2.14)	(74) 代理人	110000040 特許業務法人池内・佐藤アンドパートナーズ
(65) 公表番号	特表2008-530748 (P2008-530748A)	(72) 発明者	ジャイルズ、ケビン イギリス、エスケー6 5デーダブリュ チェシャー、ストックポート、マーブル ブリッジ、ボニントン ライズ 19
(43) 公表日	平成20年8月7日(2008.8.7)	審査官	石田 佳久
(86) 国際出願番号	PCT/GB2006/000504		
(87) 国際公開番号	W02006/085110		
(87) 国際公開日	平成18年8月17日(2006.8.17)		
審査請求日	平成21年2月4日(2009.2.4)		
(31) 優先権主張番号	0503010.1		
(32) 優先日	平成17年2月14日(2005.2.14)		
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		
(31) 優先権主張番号	60/657,792		
(32) 優先日	平成17年3月2日(2005.3.2)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 質量分析計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

- 1つ以上の第1の電極と、
- 1つ以上の第2の電極と、

使用時にイオンが走行する概してまたは実質的に平面に配置され、前記1つ以上の第1の電極と前記1つ以上の第2の電極との間に配置される1つ以上の層の中間電極であって、当該中間電極の各層は2つの長手方向電極を含む中間電極と、

前記1つ以上の第1の電極、および/または前記1つ以上の層の中間電極、および/または前記1つ以上の第2の電極に非対称電圧波形を印加するように配置および適合される第1の電圧手段とを含む装置であって、

前記装置が、前記中間電極にACまたはRF電圧を供給し、その結果、イオンが使用時の前記長手方向電極の間に閉じ込められるよう構成される装置。

【請求項2】

前記装置は、(i)高電界非対称波形イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ、(ii)イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ、(iii)気相電気泳動装置、(iv)微分型イオン移動度セパレータ、スペクトロメータ、または装置、(v)電界非対称性イオン移動度スペクトロメトリ(「FAIMS」)装置、(vi)気相イオンセパレータまたはスペクトロメータ、(vii)イオンを移動度に従って分離する装置、および(viii)電界強度を用いてイオン移動度の差または変化に従ってイオンを分離する装置からなる群から選択される請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記非対称電圧波形は、第 1 のピーク振幅を有する少なくとも第 1 の電圧成分 V_{high} と第 2 のピーク振幅を有する少なくとも第 2 の電圧成分 V_{low} を含み、前記第 1 のピーク振幅は、前記第 2 のピーク振幅とは実質的に異なる請求項 1 または 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記第 1 の電圧成分は、第 1 の期間 T_{high} の間印加されるかまたは存在し、前記第 2 の電圧成分は、第 2 の期間 T_{low} の間印加されるかまたは存在する請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記 1 つ以上の第 1 の電極、および/または前記 1 つ以上の層の中間電極、および/または前記 1 つ以上の第 2 の電極に DC 補償電圧を印加するように配置および適合される第 2 の電圧手段をさらに含む請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の装置。

10

【請求項 6】

前記 1 つ以上の第 1 の電極は、少なくとも 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、または 20 より多い電極を有する第 1 のアレイの電極を含む請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の装置。

【請求項 7】

少なくともいくつかのイオンを前記装置の軸方向長さの少なくとも一部をとおよび/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1 つ以上の電圧もしくは電位または 1 つ以上の電圧もしくは電位波形を、前記第 1 のアレイの電極に印加するように配置および適合されるさらなる電圧手段をさらに含む請求項 6 に記載の装置。

20

【請求項 8】

前記 1 つ以上の第 2 の電極は、少なくとも 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、または 20 より多い電極を有する第 2 のアレイの第 2 の電極を含む請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の装置。

【請求項 9】

少なくともいくつかのイオンを前記装置の軸方向長さの少なくとも一部をとおよび/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1 つ以上の電圧もしくは電位または 1 つ以上の電圧もしくは電位波形を、前記第 2 のアレイの電極に印加するように配置および適合されるさらなる電圧手段をさらに含む請求項 8 に記載の装置。

30

【請求項 10】

前記長手方向電極の少なくともいくつかまたは全ては、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および (xxi) > 20 mm からなる群から選択される間隔だけ、前記装置の幅方向に中心と中心とが離れている請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の装置。

40

【請求項 11】

1 つの層の前記 2 つの長手方向電極は、実質的に同一平面上にある請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載の装置。

【請求項 12】

1 つの層の前記 2 つの長手方向電極には、使用時に、二相または多相の AC または RF 電圧または信号の実質的に同一の相が供給される請求項 1 ~ 11 のいずれかに記載の装置。

【請求項 13】

隣接または近接層の前記長手方向電極には、使用時に、二相または多相の AC または R

50

F電圧または信号の実質的に反対または異なる相が供給される請求項1～12のいずれかに記載の装置。

【請求項14】

前記中間電極の層の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、互いに実質的に平行に配置される請求項1～13のいずれかに記載の装置。

【請求項15】

前記装置は、使用時に、(i) < 0.0001 mbar、(ii) < 0.001 mbar、(iii) < 0.01 mbar、(iv) < 0.1 mbar、(v) < 1 mbar、(vi) < 10 mbar、(vii) < 100 mbar、および(viii) < 1000 mbarからなる群から選択される圧力に維持される請求項1～14のいずれかに記載の装置。

10

【請求項16】

前記装置は、実質的に連続したイオンビームをパルス状または不連続のイオンビームへと変換するように配置および適合される請求項1～15のいずれかに記載の装置。

【請求項17】

前記中間電極は、平面電極、平板電極またはメッシュ電極を含む請求項1～16のいずれかに記載の装置。

【請求項18】

前記長手方向電極が、前記装置の長手方向に伸びる長さを有し、かつ、前記長手方向電極が、前記装置の幅方向に中心と中心の間隔を有する請求項1～17のいずれかに記載の装置。

20

【請求項19】

請求項1～18のいずれかに記載の1つ以上の装置を含む質量分析計。

【請求項20】

1つ以上の第1の電極と、1つ以上の第2の電極と、イオンが走行する概してまたは実質的に平面に配置され前記1つ以上の第1の電極と前記1つ以上の第2の電極との間に配置される1つ以上の層の中間電極であって、当該中間電極の各層は2つの長手方向電極を含む中間電極とを含む装置であって、前記中間電極にACまたはRF電圧を供給し、その結果、イオンが前記長手方向電極の間に閉じ込められる装置を準備する工程と、

30

前記1つ以上の第1の電極、および/または前記1つ以上の層の中間電極、および/または前記1つ以上の第2の電極に非対称電圧波形を印加する工程とを含むイオン分離方法。

【請求項21】

請求項20に記載の方法を含む質量分析方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電界強度の関数としてのイオン移動度の差に従ってイオンを分離する装置に関する。また、本発明は、質量分析計、電界強度の関数としてのイオン移動度の差に従ったイオン分離方法、および質量分析方法に関する。好適な実施形態は、スタックアレイの電極を含む非対称電界イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータに関する。イオンは、ACまたはRF電圧をスタックアレイの電極に印加することによって、上記装置内に保持される。

40

【背景技術】

【0002】

電界Eの影響下におけるガス内のイオンの移動度Kは、イオンが電界から得るエネルギーが熱エネルギーと比較して無視できる条件下において、印加される電界から独立していると考えられる。このような条件は、印加される電界Eの強度の、ガスの中性ガス数密度

50

Nに対する比率が比較的低い場合に満足される。しかし、電界の強度が増加する場合、または中性ガス数密度が減少する場合、イオンの移動度は、電界強度の中性ガス数密度に対する比率 E/N に依存することが観察され得る。イオンの移動度は、以下のような依存を有するものとして観察される。

【0003】

【数1】

$$K\left(\frac{E}{N}\right) = K_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{E}{N} \right) \right] \quad (1)$$

10

【0004】

式中、 K_0 は、比率 E/N が比較的低い場合のイオンの移動度であり、 (E/N) は、印加される電界の強度が増加するのに伴うイオンの移動度の依存を表す関数である。

【0005】

イオンの移動度の電界強度に対する依存に関する知識によって、『質量分析およびイオンプロセス国際誌』（128号、1993年、143～148頁）（非特許文献1）に開示されるように、ブルヤコフ（Buryakov）らによる第1の微分型イオン移動度（differential ion mobility）分析器の開発が促進された。ブルヤコフによって開発された微分型イオン移動度分析器は、低および高強度電界下で、イオンの移動度における差に従って、イオンを分離することによって動作した。

20

【0006】

図1Aおよび図1Bは、ブルヤコフらによって開発された当該装置を概略的に示す。当該装置は、一对の平行電極2aおよび2bを含んでいた。ガスフロー5が、2つの電極2aと2bとの間を通過するように構成され、分離しようとするイオンは、ガスフロー5に同伴するように構成された。非対称電位差または電圧波形3が、電極2aと2bとの間に維持されるように構成された。

【0007】

電極に印加された非対称電位差または電圧波形3を、図2に示す。非対称電位差または電圧波形3は、比較的短い期間 T_{high} の比較的高い正の電圧 V_{high} 、および後に続く比較的長い期間 T_{low} の比較的低い負の電圧 V_{low} を含んでいた。非対称電位差または電圧波形3は、積 $V_{high} \times T_{high}$ と積 $V_{low} \times T_{low}$ とが等しくなるように構成された。よって、電界が比較的低い際のイオンの移動度が、電界が比較的高い際のものと同であった場合、装置を通るイオンの平均軌道は、電極2aおよび2bと実質的に平行を保つことが予想される。従って、イオンは、図1Aに示すように当該装置を通過して前方移送されることが予想される。

30

【0008】

イオンの移動度が電界強度とともに変動する場合、イオンは電極2aおよび2bの一方または他方へ向かってドリフトすることが予想される。従って、イオンは、電極2aおよび2bの一方に当たることによって、最終的にはシステムに失われ得る。図1Bは、この状況を示す。しかし、DC補償電圧4を電極2aおよび2bの一方に印加することによって、電極2aおよび2bの一方へ向かうイオンのドリフトが補償可能となる。DC補償電圧4を適切に設定することによって、特定のイオン移動度を有するイオンが装置によって前方移送され、一方他のイオンが電極2aおよび2bの一方へ向かうようにドリフトしてシステムに失われるような構成が可能となる。

40

【0009】

大気圧におけるイオン拡散速度は大気圧を下回る圧力における速度よりも低いため、公知の微分型イオン移動度分析器は、当該分析器内にイオンを閉じ込めず、大気圧において動作する。これによって、イオン移動度分析器を通過する際のイオンの損失が最小化される。ガス圧力が大気中より低い圧力へと低減される場合、イオン拡散は重要な損失機構となり、イオン移動度分析器は許容できない程のイオンの損失という問題を抱えることとな

50

る。

【非特許文献1】Buryakovら、International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes 128, 1993, pp 143-148.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

公知のイオン移動度分析器の不利な点は、大気圧で動作する必要があるために、高電界移動性の効果の観察を可能とする非対称電圧波形が生成可能となるように高い十分なピーク振幅を有する非対称波形を提供するのに、高電圧RF発生装置が必要となる点にある。

【0011】

従って、改良されたイオン移動度分析器を提供することが望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の一局面によると、

1つ以上の第1の電極と、

1つ以上の第2の電極と、

使用時にイオンが走行する概してまたは実質的に平面に配置され、1つ以上の第1の電極と1つ以上の第2の電極との間に配置される1つ以上の層の中間電極と、

1つ以上の第1の電極、および/または1つ以上の層の中間電極、および/または1つ以上の第2の電極に非対称電圧波形を印加するように配置および適合される第1の電圧手段とを含む装置が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

好ましくは、上記装置は、(i)高電界非対称波形イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ、(ii)イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ、(iii)気相電気泳動装置、(iv)微分型イオン移動度セパレータ、スペクトロメータ、または装置、(v)電界非対称性イオン移動度スペクトロメトリ(「FAIMS」)装置、(vi)気相イオンセパレータまたはスペクトロメータ、(vii)イオンを移動度に従って分離する装置、および(viii)電界強度を用いてイオン移動度の差または変化に従ってイオンを分離する装置からなる群から選択される。

【0014】

好ましくは、非対称電圧波形は、第1のピーク振幅を有する少なくとも第1の電圧成分 V_{high} および第2のピーク振幅を有する少なくとも第2の電圧成分 V_{low} を含み、第1のピーク振幅は、第2のピーク振幅とは実質的に異なる。第1のピーク振幅は、正もしくは負であってもよく、かつ/または第2のピーク振幅は、正もしくは負であってもよい。好ましくは、第1のピーク振幅および/または第2のピーク振幅は、(i) $-1000V$ 、(ii) $-900 \sim -800V$ 、(iii) $-800 \sim -700V$ 、(iv) $-700 \sim -600V$ 、(v) $-600 \sim -500V$ 、(vi) $-500 \sim -400V$ 、(vii) $-400 \sim -300V$ 、(viii) $-300 \sim -200V$ 、(ix) $-200 \sim -100V$ 、(x) $-100 \sim -90V$ 、(xi) $-90 \sim -80V$ 、(xii) $-80 \sim -70V$ 、(xiii) $-70 \sim -60V$ 、(xiv) $-60 \sim -50V$ 、(xv) $-50 \sim -40V$ 、(xvi) $-40 \sim -30V$ 、(xvii) $-30 \sim -20V$ 、(xviii) $-20 \sim -10V$ 、(xix) $-10 \sim 0V$ 、(xx) $0 \sim 10V$ 、(xxi) $10 \sim 20V$ 、(xxii) $20 \sim 30V$ 、(xxiii) $30 \sim 40V$ 、(xiv) $40 \sim 50V$ 、(xxv) $50 \sim 60V$ 、(xxvi) $60 \sim 70V$ 、(xxvii) $70 \sim 80V$ 、(xxviii) $80 \sim 90V$ 、(xxix) $90 \sim 100V$ 、(xxx) $100 \sim 200V$ 、(xxxi) $200 \sim 300V$ 、(xxxii) $300 \sim 400V$ 、(xxxiii) $400 \sim 500V$ 、(xxxiv) $500 \sim 600V$ 、(xxxv) $600 \sim 700V$ 、(xxxvi) $700 \sim 800V$ 、(xxxvii) $800 \sim 900V$ 、(xxxviii) $900 \sim 1000V$ 、および $(xxxix) > 1000V$ からなる

10

20

30

40

50

群から選択される。

【0015】

好ましくは、第1の電圧成分は、第1の期間 T_{high} の間印加されるかまたは存在し、第2の電圧成分は、第2の期間 T_{low} の間印加されるかまたは存在する。第1の期間 T_{high} は、第2の期間 T_{low} よりも短い、長い、または実質的に同一であってもよい。

【0016】

好ましくは、第1の期間 T_{high} および/または第2の期間 T_{low} は、(i) < 0.1 μ s、(ii) 0.1 ~ 0.5 μ s、(iii) 0.5 ~ 1 μ s、(iv) 1 ~ 2 μ s、(v) 2 ~ 3 μ s、(vi) 3 ~ 4 μ s、(vii) 4 ~ 5 μ s、(viii) 5 ~ 6 μ s、(ix) 6 ~ 7 μ s、(x) 7 ~ 8 μ s、(xi) 8 ~ 9 μ s、(xii) 9 ~ 10 μ s、(xiii) 10 ~ 11 μ s、(xiv) 11 ~ 12 μ s、(xv) 12 ~ 13 μ s、(xvi) 13 ~ 14 μ s、(xvii) 14 ~ 15 μ s、(xviii) 15 ~ 16 μ s、(xix) 16 ~ 17 μ s、(xx) 17 ~ 18 μ s、(xxi) 18 ~ 19 μ s、(xxii) 19 ~ 20 μ s、および(xxxiii) > 20 μ sからなる群から選択される。

【0017】

一実施形態によると、非対称電圧波形は、(i) 矩形、(ii) 非矩形、(iii) 曲線状、(iv) 規則的、(v) 不規則的、(vi) 段階的、(vii) 鋸歯状、および(viii) 正弦波状からなる群から選択される波形を含む。

【0018】

好適な実施形態によると、好ましくは、上記装置は、1つ以上の第1の電極、および/または1つ以上の層の中間電極、および/または1つ以上の第2の電極にDC補償電圧を印加するように配置および適合される第2の電圧手段をさらに含む。好ましくは、DC補償電圧は、(i) < -1000V、(ii) -900 ~ -800V、(iii) -800 ~ -700V、(iv) -700 ~ -600V、(v) -600 ~ -500V、(vi) -500 ~ -400V、(vii) -400 ~ -300V、(viii) -300 ~ -200V、(ix) -200 ~ -100V、(x) -100 ~ -90V、(xi) -90 ~ -80V、(xii) -80 ~ -70V、(xiii) -70 ~ -60V、(xiv) -60 ~ -50V、(xv) -50 ~ -40V、(xvi) -40 ~ -30V、(xvii) -30 ~ -20V、(xviii) -20 ~ -10V、(xix) -10 ~ 0V、(xx) 0 ~ 10V、(xxi) 10 ~ 20V、(xxii) 20 ~ 30V、(xxiii) 30 ~ 40V、(xiv) 40 ~ 50V、(xxv) 50 ~ 60V、(xxvi) 60 ~ 70V、(xxvii) 70 ~ 80V、(xxviii) 80 ~ 90V、(xxix) 90 ~ 100V、(xxx) 100 ~ 200V、(xxxi) 200 ~ 300V、(xxxii) 300 ~ 400V、(xxxiii) 400 ~ 500V、(xxxiv) 500 ~ 600V、(xxxv) 600 ~ 700V、(xxxvi) 700 ~ 800V、(xxxvii) 800 ~ 900V、(xxxviii) 900 ~ 1000V、および(xxxxix) > 1000Vからなる群から選択される。

【0019】

好ましくは、動作モードにおいて、第2の電圧手段は、1つ以上の第1の電極、および/または1つ以上の層の中間電極、および/または1つ以上の第2の電極に印加されるDC補償電圧を、掃引、変動、漸進的に変動、または切り替えるように配置および適合される。第2の電圧手段は、概してまたは実質的に段階的、直線的、規則的、不規則的、周期的、または非周期的にDC補償電圧を、掃引、変動、漸進的に変動、または切り替えるように配置および適合されてもよい。

【0020】

好ましくは、上記装置は、使用時に上記装置を流れるガス流を提供するように構成される手段をさらに含み、少なくともいくつかのイオンは、ガス流に同伴することによって上記装置を通して軸方向に前方移送されるように構成される。

【0021】

好適な実施形態によると、1つ以上の第1の電極は、第1のアレイの電極を含む。好ましくは、第1のアレイの電極は少なくとも2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、または20より多い電極を含む。

【0022】

好ましくは、上記装置は、少なくともいくつかのイオンを上記装置の軸方向長さの少なくとも一部を通しておよび/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1つ以上の電圧もしくは電位または1つ以上の電圧もしくは電位波形を、第1のアレイの電極に印加するように配置および適合されるさらなる電圧手段をさらに含む。

10

【0023】

好ましくは、さらなる電圧手段は、少なくともいくつかのイオンを、上記装置の軸方向長さの少なくとも一部、または少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、もしくは100%を通してかつ/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1つ以上の過渡DC電圧もしくは電位または1つ以上の過渡DC電圧もしくは電位波形を第1のアレイの電極に印加するように配置および適合される。

【0024】

さらなる電圧手段は、少なくともいくつかのイオンを、上記装置の軸方向長さの少なくとも一部、または少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、もしくは100%を通してかつ/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1つ以上の実質的に一定のDC電圧または電位を第1のアレイの電極に印加するように配置および適合されてもよい。

20

【0025】

さらなる電圧手段は、少なくともいくつかのイオンを、上記装置の軸方向長さの少なくとも一部、または少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、もしくは100%を通してかつ/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、2つ以上の位相シフトACまたはRF電圧を第1のアレイの電極に印加するように配置および適合されてもよい。

30

【0026】

第1のアレイの電極は、(i)プリント回路基板、プリント配線基板、もしくはエッチングされた配線基板、(ii)非導電性基板上に塗布もしくは積層された複数の導電性トレース、(iii)基板上に配置された複数の銅もしくは金属電極、(iv)スクリーン印刷された、写真製版された、エッチングされた、もしくはミル加工されたプリント回路基板、(v)フェノール樹脂を含浸した紙基板上に配置された複数の電極、(vi)エポキシ樹脂を含浸したガラス繊維マット上に配置された複数の電極、(vii)プラスチック基板上に配置された複数の電極、または(viii)基板上に配置された複数の電極を含んでいてもよい。

40

【0027】

好ましくは、第1の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、

50

(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および (xxi) > 20 mm からなる群から選択される軸方向の中心と中心との間隔を有する。

【0028】

好ましくは、第1の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および (xxi) > 20 mm からなる群から選択される軸方向長さを有する。

10

【0029】

好ましくは、第1の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および (xxi) > 20 mm からなる群から選択される幅を有する。

20

【0030】

好ましくは、第1の電極は、(i) < 0.01 mm、(ii) 0.01 ~ 0.1 mm、(iii) 0.1 ~ 0.2 mm、(iv) 0.2 ~ 0.3 mm、(v) 0.3 ~ 0.4 mm、(vi) 0.4 ~ 0.5 mm、(vii) 0.5 ~ 0.6 mm、(viii) 0.6 ~ 0.7 mm、(ix) 0.7 ~ 0.8 mm、(x) 0.8 ~ 0.9 mm、(xi) 0.9 ~ 1.0 mm、(xii) 1 ~ 2 mm、(xiii) 2 ~ 3 mm、(xiv) 3 ~ 4 mm、(xv) 4 ~ 5 mm、および (xvi) > 5 mm からなる群から選択される厚さを有する。

30

【0031】

一実施形態によると、第1の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、使用時に、中間電極の少なくともいくつかまたは全ての間または平均電圧または電位に対して、第1のバイアスDC電圧または電位にバイアスされる。好ましくは、第1のDCバイアス電圧または電位は、(i) < -10 V、(ii) -9 ~ -8 V、(iii) -8 ~ -7 V、(iv) -7 ~ -6 V、(v) -6 ~ -5 V、(vi) -5 ~ -4 V、(vii) -4 ~ -3 V、(viii) -3 ~ -2 V、(ix) -2 ~ -1 V、(x) -1 ~ 0 V、(xi) 0 ~ 1 V、(xii) 1 ~ 2 V、(xiii) 2 ~ 3 V、(xiv) 3 ~ 4 V、(xv) 4 ~ 5 V、(xvi) 5 ~ 6 V、(xvii) 6 ~ 7 V、(xviii) 7 ~ 8 V、(xix) 8 ~ 9 V、(xx) 9 ~ 10 V、および (xxi) > 10 V からなる群から選択される。

40

【0032】

1つ以上の第1の電極には、動作モードにおいて、(i) DCのみの電圧、(ii) ACもしくはRFのみの電圧、または (iii) DC電圧およびACもしくはRF電圧のいずれかが供給されてもよい。

【0033】

50

好ましくは、1つ以上の第2の電極は、第2のアレイの第2の電極を含む。好ましくは、第2のアレイの電極は少なくとも2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、または20より多い電極を含む。

【0034】

好適な実施形態によると、好ましくは、上記装置は、少なくともいくつかのイオンを上記装置の軸方向長さの少なくとも一部をとおよび/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1つ以上の電圧もしくは電位または1つ以上の電圧もしくは電位波形を、第2のアレイの電極に印加するように配置および適合されるさらなる電圧手段をさらに含む。

【0035】

さらなる電圧手段は、少なくともいくつかのイオンを、上記装置の軸方向長さの少なくとも一部、または少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、もしくは100%をとおよび/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1つ以上の過渡DC電圧もしくは電位または1つ以上の過渡DC電圧もしくは電位波形を第2のアレイの電極に印加するように配置および適合される。

【0036】

一実施形態によると、さらなる電圧手段は、少なくともいくつかのイオンを、上記装置の軸方向長さの少なくとも一部、または少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、もしくは100%をとおよび/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、1つ以上の実質的に一定のDC電圧または電位を第2のアレイの電極に印加するように配置および適合される。

【0037】

一実施形態によると、さらなる電圧手段は、少なくともいくつかのイオンを、上記装置の軸方向長さの少なくとも一部、または少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、もしくは100%をとおよび/または当該部分に沿って駆り立て、推進、押し込み、または加速するために、2つ以上の位相シフトACまたはRF電圧を第2のアレイの電極に印加するように配置および適合される。

【0038】

好ましくは、第2のアレイの電極は、(i)プリント回路基板、プリント配線基板、もしくはエッチングされた配線基板、(ii)非導電性基板上に塗布もしくは積層された複数の導電性トレース、(iii)基板上に配置された複数の銅もしくは金属電極、(iv)スクリーン印刷された、写真製版された、エッチングされた、もしくはミル加工されたプリント回路基板、(v)フェノール樹脂を含浸した紙基板上に配置された複数の電極、(vi)エポキシ樹脂を含浸したガラス繊維マット上に配置された複数の電極、(vii)プラスチック基板上に配置された複数の電極、または(viii)基板上に配置された複数の電極を含む。

【0039】

好ましくは、第2の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および(xxi) > 20 mmからなる群から選択される軸

10

20

30

40

50

方向の中心と中心との間隔を有する。

【0040】

好ましくは、第2の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および(xxi) > 20 mmからなる群から選択される軸方向長さを有する。

10

【0041】

好ましくは、第2の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および(xxi) > 20 mmからなる群から選択される幅を有する。

20

【0042】

好ましくは、第2の電極は、(i) < 0.01 mm、(ii) 0.01 ~ 0.1 mm、(iii) 0.1 ~ 0.2 mm、(iv) 0.2 ~ 0.3 mm、(v) 0.3 ~ 0.4 mm、(vi) 0.4 ~ 0.5 mm、(vii) 0.5 ~ 0.6 mm、(viii) 0.6 ~ 0.7 mm、(ix) 0.7 ~ 0.8 mm、(x) 0.8 ~ 0.9 mm、(xi) 0.9 ~ 1.0 mm、(xii) 1 ~ 2 mm、(xiii) 2 ~ 3 mm、(xiv) 3 ~ 4 mm、(xv) 4 ~ 5 mm、および(xvi) > 5 mmからなる群から選択される厚さを有する。

30

【0043】

一実施形態によると、第2の電極の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、使用時に、中間電極の少なくともいくつかまたは全ての間接または平均電圧または電位に対して、第2のバイアスDC電圧または電位にバイアスされる。好ましくは、第2のDCバイアス電圧または電位は、(i) < -10 V、(ii) -9 ~ -8 V、(iii) -8 ~ -7 V、(iv) -7 ~ -6 V、(v) -6 ~ -5 V、(vi) -5 ~ -4 V、(vii) -4 ~ -3 V、(viii) -3 ~ -2 V、(ix) -2 ~ -1 V、(x) -1 ~ 0 V、(xi) 0 ~ 1 V、(xii) 1 ~ 2 V、(xiii) 2 ~ 3 V、(xiv) 3 ~ 4 V、(xv) 4 ~ 5 V、(xvi) 5 ~ 6 V、(xvii) 6 ~ 7 V、(xviii) 7 ~ 8 V、(xix) 8 ~ 9 V、(xx) 9 ~ 10 V、および(xxi) > 10 Vからなる群から選択される。

40

【0044】

好ましくは、1つ以上の第2の電極には、動作モードにおいて、(i) DCのみの電圧、(ii) ACもしくはRFのみの電圧、または(iii) DC電圧およびACもしくはRF電圧のいずれかが供給される。

【0045】

好ましくは、1つ以上の層の中間電極は、1つ以上の層の平面、平板、またはメッシュ電極を含む。好ましくは、中間電極の各層は、1、2、または2つより多い長手方向電極

50

を含む。

【0046】

好ましくは、長手方向電極の少なくともいくつかまたは全ては、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および (xxi) > 20 mm からなる群から選択される間隔だけ、上記装置の幅方向に中心と中心とが離れている。

10

【0047】

好ましくは、長手方向電極の少なくともいくつかまたは全ては、(i) < 10 mm、(ii) 10 ~ 20 mm、(iii) 20 ~ 30 mm、(iv) 30 ~ 40 mm、(v) 40 ~ 50 mm、(vi) 50 ~ 60 mm、(vii) 60 ~ 70 mm、(viii) 70 ~ 80 mm、(ix) 80 ~ 90 mm、(x) 90 ~ 100 mm、(xi) 100 ~ 110 mm、(xii) 110 ~ 120 mm、(xiii) 120 ~ 130 mm、(xiv) 130 ~ 140 mm、(xv) 140 ~ 150 mm、(xvi) 150 ~ 160 mm、(xvii) 160 ~ 170 mm、(xviii) 170 ~ 180 mm、(xix) 180 ~ 190 mm、(xx) 190 ~ 200 mm、および (xxi) > 200 mm からなる群から選択される軸方向長さを有する。

20

【0048】

好ましくは、長手方向電極の少なくともいくつかまたは全ては、(i) < 1 mm、(ii) 1 ~ 2 mm、(iii) 2 ~ 3 mm、(iv) 3 ~ 4 mm、(v) 4 ~ 5 mm、(vi) 5 ~ 6 mm、(vii) 6 ~ 7 mm、(viii) 7 ~ 8 mm、(ix) 8 ~ 9 mm、(x) 9 ~ 10 mm、(xi) 10 ~ 11 mm、(xii) 11 ~ 12 mm、(xiii) 12 ~ 13 mm、(xiv) 13 ~ 14 mm、(xv) 14 ~ 15 mm、(xvi) 15 ~ 16 mm、(xvii) 16 ~ 17 mm、(xviii) 17 ~ 18 mm、(xix) 18 ~ 19 mm、(xx) 19 ~ 20 mm、および (xxi) > 20 mm からなる群から選択される幅を有する。

30

【0049】

好ましくは、長手方向電極の少なくともいくつかまたは全ては、(i) < 0.01 mm、(ii) 0.01 ~ 0.1 mm、(iii) 0.1 ~ 0.2 mm、(iv) 0.2 ~ 0.3 mm、(v) 0.3 ~ 0.4 mm、(vi) 0.4 ~ 0.5 mm、(vii) 0.5 ~ 0.6 mm、(viii) 0.6 ~ 0.7 mm、(ix) 0.7 ~ 0.8 mm、(x) 0.8 ~ 0.9 mm、(xi) 0.9 ~ 1.0 mm、(xii) 1 ~ 2 mm、(xiii) 2 ~ 3 mm、(xiv) 3 ~ 4 mm、(xv) 4 ~ 5 mm、および (xvi) > 5 mm からなる群から選択される厚さを有する。

【0050】

好ましくは、1つの層の2つ以上の長手方向電極は、実質的に同一平面上にある。好ましくは、1つの層の2つ以上の長手方向電極には、使用時に、二相または多相のACまたはRF電圧または信号の実質的に同一の相が供給される。

40

【0051】

好ましくは、隣接または近接層の長手方向電極には、使用時に、二相または多相のACまたはRF電圧または信号の実質的に反対または異なる相が供給される。

【0052】

好ましくは、使用時に長手方向電極に供給されるACまたはRF電圧または信号は、(i) < 100 kHz、(ii) 100 ~ 200 kHz、(iii) 200 ~ 300 kHz、(iv) 300 ~ 400 kHz、(v) 400 ~ 500 kHz、(vi) 0.5 ~ 1.0 MHz、(vii) 1.0 ~ 1.5 MHz、(viii) 1.5 ~ 2.0 MHz、(ix) 2.0 ~ 2.5 MHz、(x) 2.5 ~ 3.0 MHz、(xi) 3.0 ~ 3.5 MHz

50

z、(xii) 3.5 ~ 4.0 MHz、(xiii) 4.0 ~ 4.5 MHz、(xiv) 4.5 ~ 5.0 MHz、(xv) 5.0 ~ 5.5 MHz、(xvi) 5.5 ~ 6.0 MHz、(xvii) 6.0 ~ 6.5 MHz、(xviii) 6.5 ~ 7.0 MHz、(xix) 7.0 ~ 7.5 MHz、(xx) 7.5 ~ 8.0 MHz、(xxi) 8.0 ~ 8.5 MHz、(xxii) 8.5 ~ 9.0 MHz、(xxiii) 9.0 ~ 9.5 MHz、(xxiv) 9.5 ~ 10.0 MHz、および (xxv) > 10.0 MHz からなる群から選択される周波数を有する。

【0053】

好ましくは、使用時に長手方向電極に供給される AC または RF 電圧または信号の振幅は、(i) < 50 V ピーク・トゥ・ピーク、(ii) 50 ~ 100 V ピーク・トゥ・ピーク、(iii) 100 ~ 150 V ピーク・トゥ・ピーク、(iv) 150 ~ 200 V ピーク・トゥ・ピーク、(v) 200 ~ 250 V ピーク・トゥ・ピーク、(vi) 250 ~ 300 V ピーク・トゥ・ピーク、(vii) 300 ~ 350 V ピーク・トゥ・ピーク、(viii) 350 ~ 400 V ピーク・トゥ・ピーク、(ix) 400 ~ 450 V ピーク・トゥ・ピーク、(x) 450 ~ 500 V ピーク・トゥ・ピーク、および (xi) > 500 V ピーク・トゥ・ピークからなる群から選択される。

10

【0054】

好ましくは、中間電極の少なくとも 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または 100% には、AC または RF 電圧または信号が供給される。

20

【0055】

好ましくは、中間電極の層の少なくとも 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または 100% は、互いに実質的に平行に配置される。

【0056】

好ましくは、中間電極の層の少なくとも 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または 100% は、実質的に平面または平坦であり、上記装置は、電極の面において湾曲している。

30

【0057】

好ましくは、中間電極の層の少なくとも 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または 100% は、電極が軸方向長さに沿って湾曲するように、実質的に非平面または非平坦である。

【0058】

好ましくは、中間電極の層の少なくとも 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または 100% は、互いに実質的に等距離に配置される。

【0059】

好ましくは、中間電極の層の少なくとも 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または 100% は、(i) 5 mm またはそれ未満、(ii) 4.5 mm またはそれ未満、(iii) 4 mm またはそれ未満、(iv) 3.5 mm またはそれ未満、(v) 3 mm またはそれ未満、(vi) 2.5 mm またはそれ未満、(vii) 2 mm またはそれ未満、(viii) 1.5 mm またはそれ未満、(ix) 1 mm またはそれ未満、(x) 0.8 mm またはそれ未満、(xi) 0.6 mm またはそれ未満、(xii) 0.4 mm またはそれ未満、(xiii) 0.2 mm またはそれ未満、(xiv) 0.1 mm またはそれ未満、および (xv) 0.25 mm またはそれ未満からなる群から選択される距離だけ、互いに間隔をあけて配置される。

40

50

【 0 0 6 0 】

好ましくは、上記装置は、実質的に直線状、非直線状、規則的、不規則的、または曲線状のイオンガイド領域を有する。

【 0 0 6 1 】

上記装置は、第1の軸に沿ったイオンを受け取る入射口と、第2の軸に沿った上記装置からイオンが出てくる出射口とを有し、第2の軸は第1の軸と角度 θ を形成し、 θ は (i) $< 10^\circ$ 、(i i) $10 \sim 20^\circ$ 、(i i i) $20 \sim 30^\circ$ 、(i v) $30 \sim 40^\circ$ 、(v) $40 \sim 50^\circ$ 、(v i) $50 \sim 60^\circ$ 、(v i i) $60 \sim 70^\circ$ 、(v i i i) $70 \sim 80^\circ$ 、(i x) $80 \sim 90^\circ$ 、(x) $90 \sim 100^\circ$ 、(x i) $100 \sim 110^\circ$ 、(x i i) $110 \sim 120^\circ$ 、(x i i i) $120 \sim 130^\circ$ 、(x i v) $130 \sim 140^\circ$ 、(x v) $140 \sim 150^\circ$ 、(x v i) $150 \sim 160^\circ$ 、(x v i i) $160 \sim 170^\circ$ 、(x v i i i) $170 \sim 180^\circ$ 、および (x i x) 180° からなる群から選択される範囲にあってもよい。

10

【 0 0 6 2 】

好ましくは、上記装置は、上記装置のイオン入射口と上記装置のイオン出射口との間に配置されるイオンガイド領域を含み、イオンガイド領域は、実質的に直線状、非直線状、規則的、不規則的、曲線状、「S」字形状、または1、2、もしくは2つより多い屈曲点を有する。

【 0 0 6 3 】

上記装置は、イオンを受け取る1、2、3、または3より多い別々の入射口と、上記装置からイオンが出てくる1、2、3、または3より多い別々の出射口とを有していてもよい。

20

【 0 0 6 4 】

好ましくは、上記装置は、第1の断面プロファイルおよび第1の断面積を有する入射口と、第2の断面プロファイルおよび第2の断面積を有する出射口とを有する。第1の断面プロファイルは第2の断面プロファイルと異なってもよく、かつ/または第1の断面積は第2の断面積と異なってもよい。

【 0 0 6 5 】

第1の断面プロファイルおよび/または第2の断面プロファイルは、実質的に円形、長円形、長方形、または正方形の断面を有していてもよい。

30

【 0 0 6 6 】

上記装置は、(i) 実質的に円形、正方形、長方形、または楕円形の断面プロファイルを有するイオン光学的構成体、(i i) 実質的に円形または楕円形の断面プロファイルを有する四重極質量フィルタ/分析器、(i i i) 実質的に正方形または長方形の断面プロファイルを有する直交加速飛行時間質量分析器、(i v) 実質的に長方形の断面プロファイルを有する扇形磁場分析器、(v) 実質的に円形または楕円形の断面プロファイルを有するフーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴(「FTICR」)質量分析器、(v i) 実質的に円形または楕円形の断面プロファイルを有する2D(直線)四重極イオントラップ、および(v i i) 実質的に円形または楕円形の断面プロファイルを有する3D(ポール)四重極イオントラップからなる群から選択されるイオン光学的構成体に連結されるように配置および適合されてもよい。

40

【 0 0 6 7 】

上記装置は、入射口と出射口との間に配置されるイオンガイド領域を含み、イオンガイド領域は、(i) イオンガイド領域の長さに沿ってサイズおよび/もしくは形状が変動する、または(i i) サイズが漸進的に先細りまたは拡大する幅および/もしくは高さを有していてもよい。

【 0 0 6 8 】

好ましくは、上記装置は、使用時に、(i) $> 0.0001 \text{ mbar}$ 、(i i) $> 0.001 \text{ mbar}$ 、(i i i) $> 0.01 \text{ mbar}$ 、(i v) $> 0.1 \text{ mbar}$ 、(v) $> 1 \text{ mbar}$ 、(v i) $> 10 \text{ mbar}$ 、(v i i) $> 100 \text{ mbar}$ 、(v i i i) > 1

50

0 0 0 m b a r、(i x) 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 1 m b a r、(x) 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 1 m b a r、(x i) 0 . 0 1 ~ 0 . 1 m b a r、(x i i) 0 . 1 ~ 1 m b a r、(x i i i) 1 ~ 1 0 m b a r、(x i v) 1 0 ~ 1 0 0 m b a r、および(x v) 1 0 0 ~ 1 0 0 0 m b a r からなる群から選択される圧力に維持される。

【 0 0 6 9 】

好ましくは、上記装置は、使用時に、(i) < 0 . 0 0 0 1 m b a r、(i i) < 0 . 0 0 1 m b a r、(i i i) < 0 . 0 1 m b a r、(i v) < 0 . 1 m b a r、(v) < 1 m b a r、(v i) < 1 0 m b a r、(v i i) < 1 0 0 m b a r、および(v i i i) < 1 0 0 0 m b a r からなる群から選択される圧力に維持される。

【 0 0 7 0 】

上記装置は、実質的に連続したイオンビームを受け取るように配置および適合されてもよく、イオンを複数のイオンパケットまたは集合体として放出または排出するように配置および適合される。

【 0 0 7 1 】

上記装置は、実質的に連続したイオンビームをパルス状または不連続のイオンビームへと変換するように配置および適合されてもよい。

【 0 0 7 2 】

動作モードにおいて、上記装置は、イオンガイドとして動作し、イオンの移動度に従ってイオンを分離することなく前方移送するように構成されてもよい。

【 0 0 7 3 】

動作モードにおいて、上記装置は、衝突、フラグメンテーション、または反応装置として動作するように構成されてもよい。

【 0 0 7 4 】

衝突、フラグメンテーション、または反応装置は、衝突誘起解離(「C I D」)衝突またはフラグメンテーション装置を含んでいてもよい。

【 0 0 7 5 】

衝突、フラグメンテーション、または反応装置は、(i) 表面誘起解離(「S I D」)フラグメンテーション装置、(i i) 電子移動解離フラグメンテーション装置、(i i i) 電子捕獲解離フラグメンテーション装置、(i v) 電子衝突または衝撃解離フラグメンテーション装置、(v) 光誘起解離(「P I D」)フラグメンテーション装置、(v i) レーザー誘起解離フラグメンテーション装置、(v i i) 赤外放射誘起解離装置、(v i i i) 紫外放射誘起解離装置、(i x) ノズル-スキマ間インターフェースフラグメンテーション装置、(x) イオン源フラグメンテーション装置、(x i) イオン源衝突誘起解離フラグメンテーション装置、(x i i) 熱または温度源フラグメンテーション装置、(x i i i) 電場誘起フラグメンテーション装置、(x i v) 磁場誘起フラグメンテーション装置、(x v) 酵素消化または酵素分解フラグメンテーション装置、(x v i) イオン-イオン反応フラグメンテーション装置、(x v i i) イオン-分子反応フラグメンテーション装置、(x v i i i) イオン-原子反応フラグメンテーション装置、(x i x) イオン-メタステーブルイオン反応フラグメンテーション装置、(x x) イオン-メタステーブル分子反応フラグメンテーション装置、(x x i) イオン-メタステーブル原子反応フラグメンテーション装置、(x x i i) イオンを反応させて付加または生成イオンを形成するイオン-イオン反応装置、(x x i i i) イオンを反応させて付加または生成イオンを形成するイオン-分子反応装置、(x x i v) イオンを反応させて付加または生成イオンを形成するイオン-原子反応装置、(x x v) イオンを反応させて付加または生成イオンを形成するイオン-メタステーブルイオン反応装置、(x x v i) イオンを反応させて付加または生成イオンを形成するイオン-メタステーブル分子反応装置、および(x x v i i) イオンを反応させて付加または生成イオンを形成するイオン-メタステーブル原子反応装置からなる群から選択されてもよい。

【 0 0 7 6 】

好ましくは、上記装置は、中間電極の1つ以上の層間に散在または介在する複数の絶縁

10

20

30

40

50

層をさらに含む。

【0077】

好ましくは、中間電極の1つ以上の層の少なくとも5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、または100%は、絶縁層上に配置または堆積される。

【0078】

本発明の他の一局面によると、上記した1つ以上の装置を含む質量分析計が提供される。

【0079】

好ましくは、質量分析計は、イオン源をさらに含む。好ましくは、イオン源は、(i) エレクトロスプレーイオン化(「ESI」)イオン源、(ii) 大気圧光イオン化(「APPI」)イオン源、(iii) 大気圧化学イオン化(「APCI」)イオン源、(iv) マトリックス支援レーザー脱離イオン化(「MALDI」)イオン源、(v) レーザー脱離イオン化(「LDI」)イオン源、(vi) 大気圧イオン化(「API」)イオン源、(vii) シリコン上脱離イオン化(「DIOS」)イオン源、(viii) 電子衝撃(「EI」)イオン源、(ix) 化学イオン化(「CI」)イオン源、(x) 電界イオン化(「FI」)イオン源、(xi) 電界脱離(「FD」)イオン源、(xii) 誘導結合プラズマ(「ICP」)イオン源、(xiii) 高速原子衝撃(「FAB」)イオン源、(xiv) 液体二次イオン質量分析(「LSIMS」)イオン源、(xv) 脱離エレクトロスプレーイオン化(「DESI」)イオン源、(xvi) ニッケル63放射性イオン源、(xvii) 大気圧マトリックス支援レーザー脱離イオン化イオン源、および(xviii) 熱スプレーイオン源からなる群から選択される。

【0080】

イオン源は、パルス化または連続イオン源を含んでいてもよい。

【0081】

好ましくは、質量分析計は、上記装置の下流に配置される質量分析器をさらに含んでいてもよい。好ましくは、質量分析器は、(i) 四重極質量分析器、(ii) 2Dまたは直線四重極質量分析器、(iii) ポールまたは3D四重極質量分析器、(iv) ペニングトラップ質量分析器、(v) イオントラップ質量分析器、(vi) 扇形磁場質量分析器、(vii) イオンサイクロトロン共鳴(「ICR」)質量分析器、(viii) フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴(「FTICR」)質量分析器、(ix) 静電またはオービトラップ質量分析器、(x) フーリエ変換静電またはオービトラップ質量分析器、(xi) フーリエ変換質量分析器、(xii) 飛行時間質量分析器、(xiii) 軸方向加速飛行時間質量分析器、および(xiv) 直交加速飛行時間質量分析器からなる群から選択される。

【0082】

好ましくは、質量分析計は、上記装置の上流および/または下流に配置される1つ以上の質量もしくは質量電荷比フィルタおよび/または質量分析器をさらに含む。好ましくは、1つ以上の質量もしくは質量電荷比フィルタおよび/または質量分析器は、(i) 四重極質量フィルタまたは分析器、(ii) ウィーンフィルタ、(iii) 扇形磁場質量フィルタまたは分析器、(iv) 速度フィルタ、(v) イオンゲート、および(vi) 直交加速飛行時間質量分析器からなる群から選択される。

【0083】

本発明の他の一局面によると、

1つ以上の第1の電極と、1つ以上の第2の電極と、イオンが走行する概してまたは実質的に平面に配置され1つ以上の第1の電極と1つ以上の第2の電極との間に配置される1つ以上の層の中間電極とを含む装置を準備する工程と、

1つ以上の第1の電極、および/または1つ以上の層の中間電極、および/または1つ以上の第2の電極に非対称電圧波形を印加する工程とを含むイオン分離方法が提供される

10

20

30

40

50

。

【0084】

本発明の他の一局面によると、上記したイオン分離方法を含む質量分析方法が提供される。

【0085】

本発明の他の一局面によると、

1つ以上の第1の電極と、

1つ以上の第2の電極と、

1つ以上の第1の電極および/または1つ以上の第2の電極に非対称電圧波形を印加するように配置および適合される第1の電圧手段とを含み、

使用時に、(i) < 0.0001 mbar、(ii) 0.0001 ~ 0.001 mbar、(iii) 0.001 ~ 0.01 mbar、(iv) 0.01 ~ 0.1 mbar、(v) 0.1 ~ 1 mbar、(vi) 1 ~ 10 mbar、および(vii) 10 ~ 100 mbar からなる群から選択される圧力に維持されるように配置および適合される装置が提供される。

10

【0086】

本発明の他の一局面によると、上記した装置を含む質量分析計が提供される。

【0087】

本発明の他の一局面によると、

1つ以上の第1の電極と1つ以上の第2の電極とを含む装置を準備する工程と、

1つ以上の第1の電極および/または1つ以上の第2の電極に非対称電圧波形を印加する工程と、

上記装置を、(i) < 0.0001 mbar、(ii) 0.0001 ~ 0.001 mbar、(iii) 0.001 ~ 0.01 mbar、(iv) 0.01 ~ 0.1 mbar、(v) 0.1 ~ 1 mbar、(vi) 1 ~ 10 mbar、および(vii) 10 ~ 100 mbar からなる群から選択される圧力に維持する工程とを含むイオン分離方法が提供される。

20

【0088】

本発明の他の一局面によると、上記した方法を含む質量分析方法が提供される。

【0089】

好適な実施形態は、非対称電圧波形が好ましくは装置の1つ以上の電極に印加される装置に関する。印加された非対称電圧は、好ましくは、比較的高いおよび低い強度の電界下でイオンの移動度の差に従ってイオンを分離するように構成される。当該好適な装置は常圧を下回る圧力において有利に動作可能であり、好ましくは電極の少なくとも1つに印加される非対称電圧波形を生成するために、比較的低い電圧のRF発生装置を用いることが可能となる。

30

【0090】

一実施形態によると、上記装置は、 10^{-2} ~ 100 mbar の範囲にある圧力において動作し得る。特に好適な実施形態によると、上記装置は、 10^{-1} ~ 10 mbar の範囲にある圧力において動作し得る。

40

【0091】

一実施形態によると、RF発生装置は、最大またはピーク振幅が < 100 V (または > -100 V) である電圧波形を好ましくは提供する比較的低い電圧のRF発生装置を含んでいてもよい。

【0092】

イオンは、好ましくは、不均質なACまたはRF電界によって当該好適な装置内に半径方向に閉じ込められる。不均質なACまたはRF電界は、好ましくは、イオンが半径方向に当該好適な装置内に閉じ込められるようにACまたはRF電圧を中間電極の少なくともいくつかに印加することによって得られる。

【0093】

50

以下に、本発明の種々の実施形態を、説明のためのみに与えられる他の構成とともに、添付の図面を参照してあくまで例として説明する。

【0094】

図1Aは、イオンの移動度が電界強度から実質的に独立しており、図2に示す非対称電圧波形が上側電極に印加される場合の、公知の微分型イオン移動度セパレータを通るイオンの軌道を示し、図1Bは、印加される電界の強度に対してイオンの移動度が依存しており、図2に示す非対称電圧波形が上側電極に印加される場合の、公知の微分型イオン移動度セパレータを通るイオンの軌道を示す。

【0095】

図2は、積 $V_{high} \times T_{high}$ と積 $V_{low} \times T_{low}$ とが実質的に等しくなるように構成される非対称電圧波形の形態を示す。

10

【0096】

図3は、本発明の一実施形態にかかる微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータを示す。

【0097】

図4は、当該好適な装置を通過するイオンの軌道に対する種々の電界条件の効果をモデル化するのに用いられた微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータの形状寸法を示す。

【0098】

図5は、当該好適な装置がイオンガイドのみの動作モードで動作した際の、装置の長さ

20

に沿ったイオンの軌道の図を示す。

【0099】

図6は、当該好適な装置がイオンガイドのみの動作モードで動作した際の、装置を通るイオンの軌道の正面図を示す。

【0100】

図7は、比較的低い振幅の非対称電圧波形が当該好適な装置の上側電極に印加された際に、イオンの軌道がただ緩やかに調節される様子を示す。

【0101】

図8は、高電圧の非対称電圧波形が当該好適な装置の上側電極に印加された際に、当該好適な装置を通過するイオンの軌道が強く調節される様子を示す。

30

【0102】

図9は、上側電極へ向かうイオンの微分移動度誘起ドリフト (differential mobility induced drift) を補償するために、DC補償電圧を当該好適な装置の下側電極に印加することによる、イオンの軌道への効果を示す。

【0103】

図10は、DC補償電圧が下側電極に印加される場合のイオンの軌道への効果であり、上側電極へ向かうイオンの微分移動度誘起ドリフトを過剰補償する効果を示す。

【0104】

図11は、図8を参照して説明された実施形態に関して説明されたものと同じの電界条件を受けるが、より大きい断面積を有するものとしてモデル化されたイオンの軌道を示す。

40

【0105】

図12は、図9を参照して説明された実施形態において印加されたDC補償電圧と同じの大きさのDC補償電圧が下側電極に印加された場合に、上側電極に向かうイオンの軌道が十分に補償されないことを示す。

【0106】

図13は、図10を参照して説明された実施形態において印加されたのと同じの大きさのDC補償電圧を下側電極に印加することによって、イオンの軌道がどのように変更または補償され得るかを示す。

【0107】

50

図14は、複数の軸方向にセグメント化された上側および下側電極が提供される好適な実施形態にかかる装置であって、イオンが当該好適な装置に沿ってかつ当該装置を通して駆り立てられるように、電圧勾配または経時変動する電圧プロファイルを装置の軸方向長さに沿って維持可能にする装置を示す。

【0108】

図15は、イオンを当該好適な装置に沿ってかつ当該装置を通して駆り立てるために、軸方向にセグメント化された上側および下側電極に漸進的に印加される過渡DC電圧または電位を示す。

【0109】

ここで、本発明の好適な実施形態にかかる微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ6を、図3を参照して説明する。微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ6は、好ましくは上側電極7a、下側電極7b、および中間電極8の1つ以上の層を含む。上側電極7aおよび/または下側電極は、好ましくは平面、平板、またはメッシュ電極を含む。中間電極8は、好ましくは上側電極7aと下側電極7bとの間に水平に配置される。中間電極8は、好ましくは1つ以上の平面、平板、またはメッシュ電極を含む。好ましくは、中間電極8の層は、使用時にイオンが走行する好ましくは概してまたは実質的に平面に当該層が位置するように、配置される。

【0110】

好適な実施形態によると、電極の各中間層は、好ましくは2つの長手方向電極を含む。2つの長手方向電極は、イオンガイド領域が好ましくは長手方向電極間に配置または形成されるように、好ましくは水平にまたは他の形態で互いから離れている。

【0111】

ある中間層における2つの長手方向電極には、好ましくはACまたはRF電圧9の同一の相が供給される。近接または垂直に隣接する中間層における長手方向電極には、好ましくはACまたはRF電圧9の反対の相が供給される。ACまたはRF電圧9を中間または長手方向電極8に印加することによって、好ましくはイオンが水平半径方向（またはx方向）に疑似ポテンシャル井戸内に閉じ込められる。好ましくは中間電極8に印加されるACまたはRF電圧9は、好ましくは正弦波状の波形を有する。しかし、他の実施形態によると、ACまたはRF電圧は、非正弦波状の波形を有していてもよい。

【0112】

好適な実施形態によると、DC電圧および/またはACもしくはRF電圧は、イオンを垂直半径方向（またはy方向）に好適な装置6内に閉じ込めるために、好ましくは上側電極7aおよび/または下側電極7bに印加される。

【0113】

軸方向（またはz方向）におけるイオン運動は、ACまたはRF電圧の中間電極8への印加、ならびにDC電圧および/またはACもしくはRF電圧の上側および下側電極7aおよび7bへの印加によって、好ましくは実質的に妨げられず影響を受けない。

【0114】

好適な装置6は、ACまたはRF電圧が中間電極に印加され、DC電圧および/またはACもしくはRF電圧が上側および下側電極7aおよび7bに印加されるイオンガイドのみの動作モードで動作可能である。好適な装置6をイオンガイドのみの動作モードで動作させると、非対称電圧波形は上側電極7aおよび下側電極7bのいずれにも印加されない。

【0115】

好適な装置6をイオンガイドのみの動作モードで動作させると、装置6はイオンガイドとして作用し、好ましくは、バックグラウンド中性ガスの存在下またはこのようなガスが存在しない状態で、イオンを移送する。好適な装置6は、拡散による損失を最小化しながら、常圧を下回る圧力においてイオンガイドのみの動作モードで有利に動作可能である。

【0116】

好適な実施形態によると、装置6は、好ましくは、装置6が微分型イオン移動度セパレ

10

20

30

40

50

ータまたはスペクトロメータとして動作する動作モードで動作する。本実施形態によると、好ましくは、高電界強度におけるイオンの移動度とは異なる低電界強度におけるイオン移動度をイオンが有する結果として、装置 6 内でイオンが分離するように構成される。

【 0 1 1 7 】

好適な実施形態によると、非対称電圧波形は、好ましくは上側電極 7 a または下側電極 7 b のいずれかに印加される。一実施形態によると、非対称電圧波形は、好ましくは上側電極 7 a に印加される。これによって、非対称電位差が、好ましくは上側電極 7 a と下側電極 7 b との間に維持される。

【 0 1 1 8 】

好ましくは上側電極 7 a に印加される非対称電圧波形は、好ましくは、図 2 に示す非対称電圧波形と実質的に同様である。すなわち、積 $V_{high} \times T_{high}$ と積 $V_{low} \times T_{low}$ とが等しくなるように構成される。しかし、他の実施形態によると、好ましくは上側電極 7 a に印加される非対称電圧波形は、非矩形または曲線状の波形を有していてもよい。

【 0 1 1 9 】

微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ 6 は、好ましくは常圧を下回るガス圧力に維持される。イオンは、好ましくは、好適な装置 6 に沿ってかつ当該装置を通過する際に、装置 6 内で垂直半径方向（または y 方向）に分離する。好適な装置 6 の特有の利点は、電界強度 E の中性ガス数密度 N に対する比較的高い比率を得るために維持することが要求される上側電極 7 a と下側電極 7 b との間の電位または電圧差が、圧力に比例して減少する点にある。従って、好適な装置 6 が比較的低い圧力で動作可能である一方、より高位のイオン移動度の効果が観察可能である。

【 0 1 2 0 】

常圧において動作する公知の微分型イオン移動度分析器は、典型的には、高および低電界強度でイオンの移動度の差に従ってイオンを分離するために、1 cm あたり数十キロボルトまでの電界強度を必要とする。しかし、好適な実施形態によると、好適な装置 6 は、常圧を下回る圧力またはミリバールの圧力において動作可能である。その結果、好ましくは装置 6 に印加される非対称電圧波形は、1 cm あたり数十ボルトの範囲にある大幅に低い電界強度を有することができる。これらは比較的低い振幅の電圧波形であるにも関わらず、高および低電界下において、イオン移動度の差に従ってイオンを十分に分離可能である。

【 0 1 2 1 】

好適な装置 6 の他の利点は、好ましくは上側電極 7 a および / または下側電極 7 b および / または中間電極 8 に印加される電圧を急速に変化または変更できる点にある。その結果、好適な装置 6 は、効果的に即座に動作モードを変化させるように構成することができる。従って、好適な装置 6 は、ある動作モードでの動作から別の動作モードでの動作へと切り替え可能である。例えば、好適な装置 6 は、非対称電圧波形が上側電極 7 a に印加される動作モードでの動作から、例えば、対称電圧波形が上側電極 7 a および / または下側電極 7 b に印加される動作モードでの動作へと切り替えられることができる。

【 0 1 2 2 】

ある動作モードにおいて、非対称 AC または RF 電圧波形を上側電極 7 a に印加する代わりに、静的または DC 電圧を上側電極 7 a および / または下側電極 7 b に印加してもよい。この動作モードにおいて、装置 6 は、好ましくは、イオンが好ましくは電界強度の関数としてのイオン移動度の差に従って実質的に分離することなく前方移送されるように構成されるイオンガイドの動作で動作するように構成され得る。

【 0 1 2 3 】

他の実施形態によると、非対称電圧波形は、付加的または代替的に長手方向電極または中間電極 8 に印加されてもよい。この特定の実施形態によると、非対称電圧波形は、装置 6 内の電界が、好ましくは、いずれの特定の時点においても上側電極 7 a と下側電極 7 b との間の距離の少なくとも一部または実質的に全てにわたり実質的に一定、均一、または

10

20

30

40

50

均質に構成されるように、装置 6 の中間電極 8 に印加されるように構成されてもよい。これは、非対称電圧波形を上側電極 7 a のみに印加することにより装置 6 に不均質な電界が提供される好適な実施形態とは対照的である。

【 0 1 2 4 】

上記実施形態に従い、実質的に均質な非対称電界が好適な装置 6 内に維持される場合、好ましくは長手方向または中間電極 8 に印加される非対称電圧波形の振幅は、上側電極 7 a と下側電極 7 b との間またはこれに関係した特定の電極の相対位置に応じて調整してもよい。

【 0 1 2 5 】

好適な微分型イオン移動度装置 6 を通る軸方向または z 方向のイオン運動は、好ましくは y 方向である移動度分離の方向と、好ましくは直交する。好ましくは、イオンは、好ましくは好適な装置 6 を通過するように構成される中性ガスフロー 10 に含有されることにより、好適な装置を通過して移送される。

10

【 0 1 2 6 】

電界強度の関数としての移動度の差に従ってイオンを分離するために、非対称電界または電圧波形を上側電極 7 a に印加する効果を、SIMION (RTM) ソフトウェアパッケージを用いてモデル化した。種々の異なる条件下でイオンの軌道をモデル化するのに用いられた微分型イオン移動度スペクトロメータまたはセパレータ 6 の特定の形状寸法を、図 4 に示す。微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータ 6 は、上側電極 7 a 、下側電極 7 b 、および電極 8 の 4 つの中間層を含むものとしてモデル化された。電極 8 の 4 つの中間層は、上側電極 7 a と下側電極 7 b との間に設けられた。電極の各中間層は、2 つの長手方向電極を含んでいた。長手方向電極は、x 方向における電極幅よりも、軸方向または z 方向における寸法の方が長かった。

20

【 0 1 2 7 】

上側電極 7 a 、下側電極 7 b 、および全ての中間電極 8 は、0.5 mm 厚 (y 方向) であるものとしてモデル化された。上側電極 7 a 、下側電極 7 b 、および全ての中間電極 8 は、中心と中心との間隔が 1.5 mm であるように構成されるものとしてモデル化された。上側電極 7 a と下側電極 7 b との間の面間隔 y_1 は、7.0 mm となるように構成された。各中間層 8 における長手方向電極は、9.8 mm の距離 x_1 だけ離れるように構成された。

30

【 0 1 2 8 】

式 1 で説明したイオンの移動度の電界強度に対する依存の効果を、SIMION (RTM) モデルに書き込まれたユーザプログラムに組み込んだ。ロック (Lock) およびダイア (Dyer) の手法に続いて、剛体球 (hard sphere) およびランジュバン衝突断面の両方をシミュレーションの各ステップで計算した。2 つの衝突断面のうち大きい方を、衝突計算における相互作用断面として用いた。

【 0 1 2 9 】

ランジュバン衝突断面 (イオン誘起二重極相互作用に基づく) は、低電界強度において最大となるが、イオン速度の増加 (すなわち電界の増加) に伴い、剛体球衝突断面から独立した速度を下回るようになるまで減少する。低電界 (ランジュバン効果が支配的である) におけるイオンのドリフト速度は、電界 E に比例する。しかし、高電界強度において、ドリフト速度は $E^{0.5}$ (剛体球が支配的である) に比例し、正味ドリフト (net drift) は上側電極 7 a または下側電極 7 b へ向かうようになる。

40

【 0 1 3 0 】

図 5 は、質量電荷比 500 を有するイオンが図 4 に示す装置 6 を通過するものとしてモデル化されたものの、装置 6 がイオンガイドのみの動作モードで動作するように構成されたシミュレーションの結果を示す。この動作モードによると、非対称電圧波形は上側電極 7 a に印加されないため、イオンは、電界強度を用いてイオン移動度の差に従って分離するようには構成されなかった。

【 0 1 3 1 】

50

行われた種々のシミュレーションにおいて、中間電極 8 は、周波数が 1 MHz かつ振幅が 200 V ピーク - ピークの RF 電圧が供給されるものとしてモデル化された。イオンガイドのみの動作モードにおいて、上側電極 7 a および下側電極 7 b は両方とも、0 V DC に維持されるものとしてモデル化された。

【 0 1 3 2 】

さらに、好適な装置 6 は、シミュレーションガス圧力 1 mbar のアルゴン (350 m / s の熱運動速度、 1.64×10^{-3} の分極率) を受けるものとしてモデル化された。イオン・ニュートラル剛体球相互作用断面は、 200 \AA^2 であるものとしてモデル化され、中性ガスバルクフロー速度は 50 m / s であると仮定された。

【 0 1 3 3 】

イオンガイドのみの動作モードで動作する好適な装置 6 の軸方向長さに沿ったイオンの軌道 11 を、図 5 に示す。図 6 は、同一のイオンの軌道を、好適な装置 6 の長さ方向に見る形態、すなわち z 方向に見た形態で示す。図 5 および図 6 から分かるように、イオンは、好適な装置 6 の長さに沿ってかつ当該長さを通して効果的に搬送される。

【 0 1 3 4 】

次に、非対称電圧波形を上側電極 7 a に印加する効果をモデル化した。SIMION (RTM) ユーザプログラムを用いて、 $10 \times V$ の高電界電圧が上側電極 7 に期間 T の間印加されるものとしてモデル化されるように、非対称電圧波形を上側電極 7 a に印加する効果をモデル化した。次いで、 $-V$ の低電界電圧は、上側電極 7 a に期間 $10 \times T$ の間印加されるものとしてモデル化された。下側電極は、その間、0 V に維持されるものとしてモデル化された。

【 0 1 3 5 】

図 7 は、パラメータ V が 1 V という比較的低い値に設定され、パラメータ T が $1 \mu s$ に設定されたシミュレーションの結果を示す。これによって、 $10 V$ のみの高電界電圧が上側電極 7 a に期間 $1 \mu s$ の間印加され、次いで、 $-1 V$ のみの低電界電圧が上側電極 7 a に期間 $10 \mu s$ の間印加されることとなった。その他のシミュレーションパラメータは、図 5 および図 6 を参照して上記に説明されたシミュレーションにおいて用いられたものと同一のままとした。

【 0 1 3 6 】

図 7 に示されるように、比較的低い振幅の非対称波形を上側電極 7 a に印加することにより、イオンの軌道 11 に比較的小さいまたは小幅な程度の調節のみを生じさせる効果もたらされた。イオンが上側電極 7 a または下側電極 7 b のいずれにも特に強い逸脱を示さなかったことも明らかである。

【 0 1 3 7 】

図 8 は、パラメータ V が 7 V へと増加するように電圧を増加させたシミュレーションの結果を示す。パラメータ T は、 $1 \mu s$ のまま一定とした。これによって、 $70 V$ の高電界電圧が上側電極 7 a に期間 $1 \mu s$ の間印加され、 $-7 V$ の低電界電圧が上側電極 7 a に期間 $10 \mu s$ の間印加されることとなった。その他のシミュレーションパラメータは、図 7 を参照して上記に説明されたシミュレーションにおいて用いられたものと同一のままとした。

【 0 1 3 8 】

図 8 から明らかのように、非対称波形の振幅が増加されると、上側電極 7 a へ向かうイオンの著しいドリフトが観察された。これは、低電界強度条件 ($-7 V$) 下で比較的大きいイオン移動度を有するイオンによってもたらされるものである。すなわち、イオンは、印加された非対称波形のより長い低電界部分の間に、より大幅に影響される。

【 0 1 3 9 】

以下に記載するように、上側電極 7 a または下側電極 7 b のいずれかへ向かうイオンの正味または結果ドリフト (resultant drift) は、例えば、補償 DC 電圧を下側電極 7 b に印加することによって補償可能である。

【 0 1 4 0 】

10

20

30

40

50

図9は、図8を参照して上記に説明されたシミュレーションにおいて印加されたものと同じの非対称波形が好適な装置6の上側電極7aに印加され、さらに-1.5Vの補償DC電圧が下側電極7bに印加されたシミュレーションの結果を示す。印加されたDC補償電圧は、上側電極7aへ向かうイオンの正味ドリフトを効果的に打ち消す効果を有することが分かる。従って、イオンが、好適な装置6に沿ってかつ当該装置を通して前方移送される様子が観察される。

【0141】

図10は、下側電極7bに印加された補償DC電圧が-1.5Vから-2.0Vへと増加されたシミュレーションの結果を示す。図10から明らかなように、印加されたDC電圧は、上側電極7aへ向かうイオンの正味ドリフトを過剰補正または過剰補償する効果を有する。実際、印加されたDC電圧は、イオンを反対の下側電極7bへ向けてドリフトさせ、最終的には下側電極7bに衝突させる。

10

【0142】

図11は、シミュレーションモデルにおいて用いられた剛体球相互作用断面が200から300²へと増加されたシミュレーションの結果を示す。図8~図10を参照して上記に説明されたシミュレーションと同様に、パラメータVは7Vに維持され、パラメータTは1 μ sに維持された。非対称波形が上側電極7aに印加され、下側電極7bは0VDCに維持された。

【0143】

図11を図8と比較すると分かるように、相互作用断面が大きいとイオンの高電界移動度が減少するため、より大きい断面を有するイオンはより小さい断面を有するイオンよりも早く上側電極7aに衝突する。

20

【0144】

図12は、図9を参照して上記に説明されたシミュレーションと実質的に同様に-1.5VDCのDC補償電圧が下側電極7bに印加された以外は、図11を参照して説明され示されたシミュレーションと同一の条件下でのシミュレーションの結果を示す。しかし、図12から明らかなように、-1.5VのDC補償電圧は、上側電極7aへ向かうイオンのドリフトを補償するのに不十分であり、従って、イオンが上側電極7aに衝突するのを防ぐのに不十分であった。

【0145】

図13は、下側電極7bに印加されたDC補償電圧が-1.5Vから-2Vへと増加されたシミュレーションの結果を示す。図13から明らかなように、DC補償電圧を-2Vへと増加することにより、上側電極7aへ向かうイオンの正味ドリフトが十分に補償され、イオンは好適な装置6に沿ってかつ当該装置を通して通過し、前方移送される。

30

【0146】

本発明の一実施形態によると、イオン移動度スペクトルは、好ましくは下側電極7bに印加されるDC補償電圧を掃引または漸進的に変動することによって得ることが可能である。また、特定の所望の移動度を有するイオンのみが好適な装置6によって前方移送されるように下側電極7bに印加されるDC補償電圧を実質的に一定のままとしてもよい。

【0147】

好ましくは好適な装置6内かつ当該装置を流れるガスは、差動式ポンプを用いた真空化工程によりガスをフローを流入させることによって提供されてもよい。また、好適な装置6内のガス圧力を適切なレベルまで上昇させるために、好適な装置6をハウジングまたは覆いで囲み、当該ハウジングまたは覆いにガスを供給してもよい。当該ハウジングまたは覆いは、質量分析計の別々の構成体を形成してもよく、真空ポンプ室に含まれるかまたは内包されてもよい。

40

【0148】

好適な装置6に入射するイオンは、好ましくはイオン源からもたらされ、好ましくはガスをフローに同伴する。また、イオンは、真空内で生成されてもよく、かつ/または真空室から好適な装置6へ入射してもよい。

50

【0149】

好適な装置6を含む質量分析計は、好ましくは、エレクトロスプレー、大気圧化学イオン化、大気圧光イオン化、MALDI、誘導結合プラズマ、電子衝撃、または化学イオン化イオン源を含む。他の実施形態によると、他のイオン源が代わりに提供されてもよい。

【0150】

好適な装置6を出射したイオンは、イオン検出器によって直接検出されてもよい。また、好適な装置6を出射したイオンは、イオン検出器による検出の前に、さらに分析されてもよい。例えば、本発明の一実施形態によると、好適な装置6を出射したイオンに、質量分析、タンデム質量分析、またはさらなるイオン移動度スペクトロメトリー測定（あるいはこれらの種々の組み合わせ）を行うようにしてもよい。

10

【0151】

好ましくは上側および/または下側電極7a, 7bに印加される非対称波形は、好ましくは矩形波形を有する。しかし、他の実施形態によると、非対称波形は、矩形以外の波形を有していてもよい。例えば、波形は曲線状であってもよい。

【0152】

好適な装置6を軸方向（すなわち、移動度分離と直交する方向）に通るイオンの搬送は、ガスフロー速度が保たれるという仮定して、図3～図13を参照して上記に示され説明された実施形態においてモデル化された。

【0153】

他の実施形態によると、イオンを好適な装置6の軸方向に沿って駆動、押し込み、推進、または駆り立てるために、ガスフローを用いて主としてイオンを軸方向に好適な装置6を通してかつ当該装置に沿って継続的に移動させる代わりに、1つ以上の軸方向電界が付加的または代替的に用いられてもよい。ここで、そのような実施形態を、図14を参照してより詳細に記載する。

20

【0154】

本実施形態によると、好適な装置6の上側電極および/または下側電極は、図14に示すように上側電極が上側電極12a～12eのアレイを含むように軸方向にセグメント化されてもよい。同様に、下側電極が、下側電極13a～13eのアレイを含んでいてもよい。上側電極12a～12eのアレイおよび下側電極13a～13eのアレイにおける個々の電極は、好ましくは互いに電気的に絶縁されている。図14に示す装置6は、上側電極12a～12eのアレイ、長手方向電極の4つの中間層8、および下側電極13a～13eのアレイを含む。

30

【0155】

一実施形態によると、一定の直線的または非直線的電圧勾配が、好ましくは好適な装置6の軸方向長さの少なくとも一部に沿って提供または当該部位に沿って維持されてもよい。

【0156】

他の実施形態によると、1つ以上の過渡DC電圧もしくは電位または1つ以上のDC電圧もしくは電位波形を第1のアレイ電極12a～12eおよび/または第2のアレイの電極13a～13eに印加することによって、好適な装置6の軸方向長さの少なくとも一部に沿って、イオンが軸方向に駆動、推進、または駆り立てられてもよい。1つ以上の過渡DC電圧もしくは電位または1つ以上のDC電圧もしくは電位波形は、好ましくは上側電極12a～12eのアレイおよび/または下側電極13a～13eのアレイに漸進的に印加される。1つ以上の過渡DC電圧または電位を上側電極12a～12eのアレイおよび/または下側電極13a～13eのアレイに印加することによって、好ましくは電界が生成され、イオンは、好ましくは、当該電界を進むか、または当該電界によって好適な装置6の長さに沿って推進もしくは駆り立てられる。

40

【0157】

図15は、7つの上側電極12a～12gのアレイ、電極の4つの中間層8、および7つの下側電極13a～13gのアレイを含む他の実施形態を示す。過渡DC電圧または電

50

位は、まず第 1 の時間において第 1 の上側および下側電極対 1 2 a および 1 3 a に印加されることが示される。後続の第 2 の時間において、過渡 DC 電圧は、第 1 の上側および下側電極 1 2 a および 1 3 a の下流に位置する第 2 の上側および下側電極対 1 2 b および 1 3 b に印加される。続いて、過渡 DC 電圧は、後続の電極対、例えば、第 3 の上側および下側電極対 1 2 c および 1 3 c、次いで第 4 の上側および下側電極対 1 2 d および 1 3 d、次いで第 5 の上側および下側電極対 1 2 e および 1 3 e、次いで第 6 の上側および下側電極対 1 2 f および 1 3 f に漸進的に印加され、最後に第 7 の上側および下側電極対 1 2 g および 1 3 g に印加される。

【 0 1 5 8 】

1 つ以上の過渡 DC 電圧もしくは電位または 1 つ以上の過渡 DC 電圧もしくは電位波形を上側電極 1 2 a ~ 1 2 g のアレイおよび下側電極 1 3 a ~ 1 3 g のアレイに印加することによって、好ましくは一連の軸方向ポテンシャル井戸が好適な装置 6 内に形成または生成されることとなる。次いで、軸方向ポテンシャル井戸は、好ましくは好適な装置 6 の軸方向長さに沿って平行移動または移動する。1 つ以上の過渡 DC 電圧もしくは電位または 1 つ以上の過渡 DC 電圧もしくは電位波形を印加することによって、好ましくは、好適な装置内、ひいては直交印加される非対称電界の効果を受ける領域内のイオンの滞留時間を注意深く制御することが可能となる。これは、本好適な実施形態の特に有利な特徴であり、イオン移動度分離の程度を注意深く制御することを可能にする。

10

【 0 1 5 9 】

本発明の一実施形態によると、1 つ以上の軸方向ポテンシャル井戸が、好ましくは好適な装置 6 の長さに沿って平行移動する速度は変更可能であり、一時的に停止することさえ可能である。

20

【 0 1 6 0 】

好適な装置 6 内のイオン搬送容量は、好ましくは実質的に長方形の断面を有する。しかし、イオン搬送容量が実質的に非長方形の断面形状を有していてもよい本発明の他の実施形態も考えられる。例えば、イオン搬送容量の断面形状が、好適な装置 6 の軸方向長さに沿って変動するようにしてもよい。

【 0 1 6 1 】

好適な実施形態によると、好適な装置 6 内のイオン閉じ込め容量は、好ましくは直線状である。しかし、他の実施形態によると、好適な装置 6 は、非直線状または蛇行状のイオンガイド経路または領域を有していてもよい。非直線状または蛇行状のイオンガイド経路または領域は、ある軸方向全長を有する好適な装置 6 に対して、搬送容量の全長を増加させるため、そして、例えばイオンの微分分離を向上させるために設けられてもよい。

30

【 0 1 6 2 】

本発明を好適な実施形態を参照して記載したが、添付の特許請求の範囲に記載の本発明の範囲から逸脱することなく、上記した個々の実施形態を形態および詳細において種々に変更し得ることが当業者に理解される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 6 3 】

【 図 1 A 】 図 1 A は、イオンの移動度が電界強度から実質的に独立しており、図 2 に示す非対称電圧波形が上側電極に印加される場合の、公知の微分型イオン移動度セパレータを通るイオンの軌道を示す。

40

【 図 1 B 】 図 1 B は、印加される電界の強度に対してイオンの移動度が依存しており、図 2 に示す非対称電圧波形が上側電極に印加される場合の、公知の微分型イオン移動度セパレータを通るイオンの軌道を示す。

【 図 2 】 図 2 は、積 $V_{high} \times T_{high}$ と積 $V_{low} \times T_{low}$ とが実質的に等しくなるように構成される非対称電圧波形の形態を示す。

【 図 3 】 図 3 は、本発明の一実施形態にかかる微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータを示す。

【 図 4 】 図 4 は、当該好適な装置を通過するイオンの軌道に対する種々の電界条件の効果

50

をモデル化するのに用いられた微分型イオン移動度セパレータまたはスペクトロメータの形状寸法を示す。

【図5】図5は、当該好適な装置がイオンガイドのみの動作モードで動作した際の、装置の長さに沿ったイオンの軌道の図を示す。

【図6】図6は、当該好適な装置がイオンガイドのみの動作モードで動作した際の、装置を通るイオンの軌道の正面図を示す。

【図7】図7は、比較的低い振幅の非対称電圧波形が当該好適な装置の上側電極に印加された際に、イオンの軌道がただ緩やかに調節される様子を示す。

【図8】図8は、高電圧の非対称電圧波形が当該好適な装置の上側電極に印加された際に、当該好適な装置を通過するイオンの軌道が強く調節される様子を示す。

【図9】図9は、上側電極へ向かうイオンの微分移動度誘起ドリフトを補償するために、DC補償電圧を当該好適な装置の下側電極に印加することによる、イオンの軌道への効果を示す。

【図10】図10は、DC補償電圧が下側電極に印加される場合のイオンの軌道への効果であり、上側電極へ向かうイオンの微分移動度誘起ドリフトを過剰補償する効果を示す。

【図11】図11は、図8を参照して説明された実施形態に関して説明されたものと同じの電界条件を受けるが、より大きい断面積を有するものとしてモデル化されたイオンの軌道を示す。

【図12】図12は、図9を参照して説明された実施形態において印加されたDC補償電圧と同一の大きさのDC補償電圧が下側電極に印加された場合に、上側電極に向かうイオンの軌道が十分に補償されないことを示す。

【図13】図13は、図10を参照して説明された実施形態において印加されたのと同じの大きさのDC補償電圧を下側電極に印加することによって、イオンの軌道がどのように変更または補償され得るかを示す。

【図14】図14は、複数の軸方向にセグメント化された上側および下側電極が提供される好適な実施形態にかかる装置であって、イオンが当該好適な装置に沿ってかつ当該装置を通過して駆り立てられるように、電圧勾配または経時変動する電圧プロファイルを装置の軸方向長さに沿って維持可能にする装置を示す。

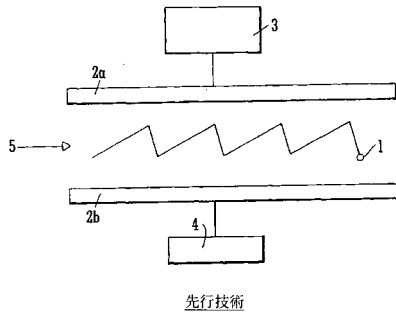
【図15】図15は、イオンを当該好適な装置に沿ってかつ当該装置を通過して駆り立てるために、軸方向にセグメント化された上側および下側電極に漸進的に印加される過渡DC電圧または電位を示す。

10

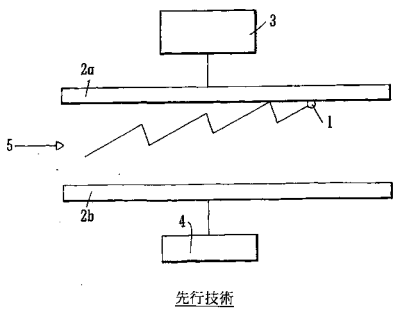
20

30

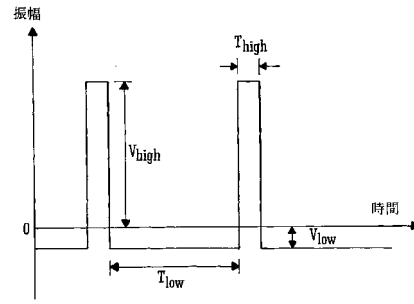
【図1A】



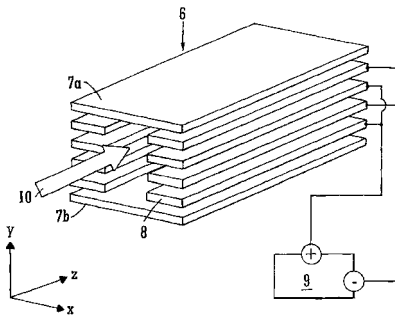
【図1B】



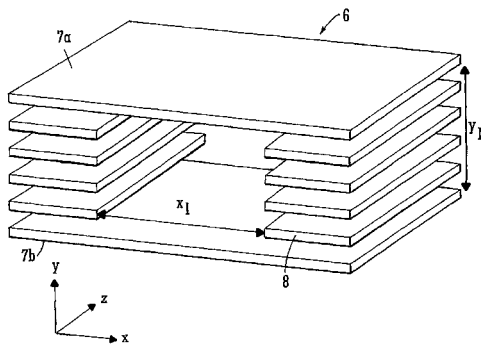
【図2】



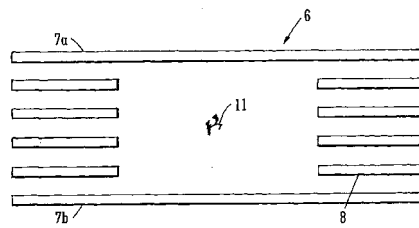
【図3】



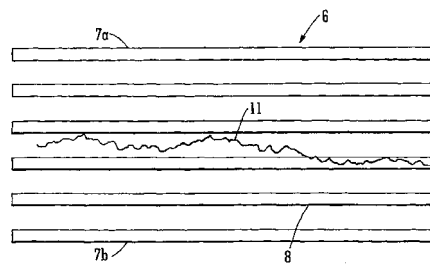
【図4】



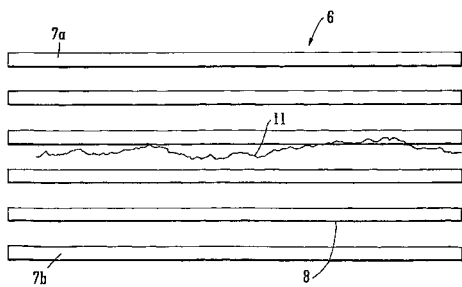
【図6】



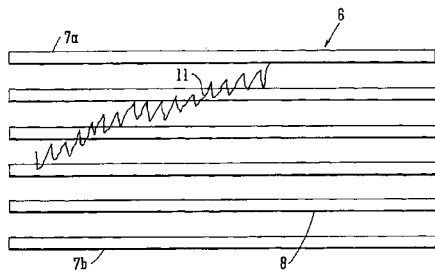
【図7】



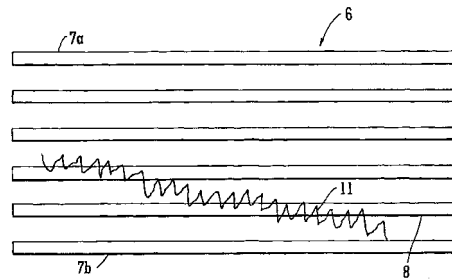
【図5】



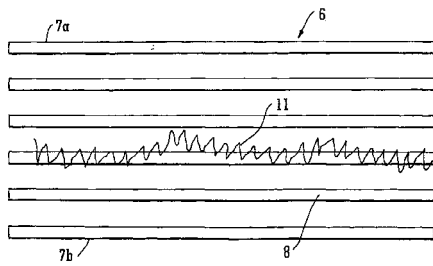
【図 8】



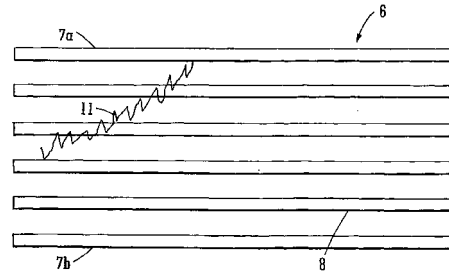
【図 10】



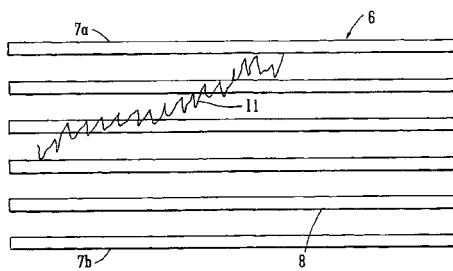
【図 9】



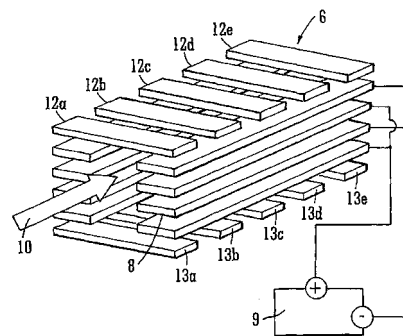
【図 11】



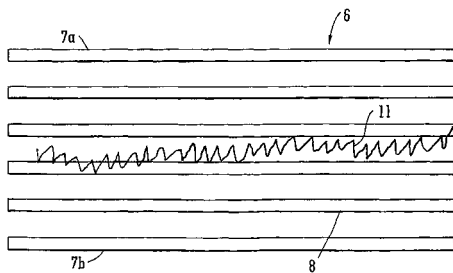
【図 12】



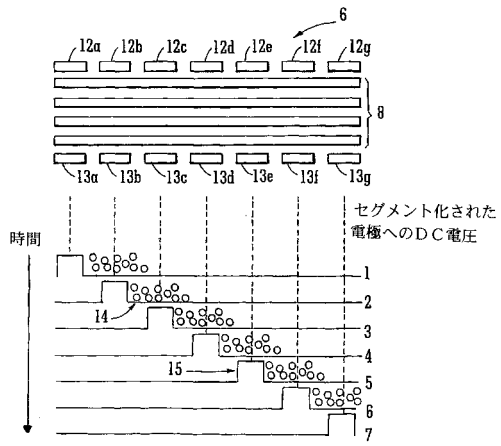
【図 14】



【図 13】



【図15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特表2003-514349(JP,A)
特表2004-529467(JP,A)
特表2005-512274(JP,A)
特表2007-524964(JP,A)
特表2008-522377(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 49/40 - 49/42
G01N 27/62
H01J 49/06
H01J 49/26