

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6905587号
(P6905587)

(45) 発行日 令和3年7月21日(2021.7.21)

(24) 登録日 令和3年6月29日(2021.6.29)

(51) Int. Cl. F I
HO 1 J 49/42 (2006.01) HO 1 J 49/42

請求項の数 22 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2019-513032 (P2019-513032)	(73) 特許権者	510300991
(86) (22) 出願日	平成29年6月28日 (2017.6.28)		バトル メモリアル インスティテュート
(65) 公表番号	特表2019-530148 (P2019-530148A)		アメリカ合衆国 ワシントン 99352
(43) 公表日	令和1年10月17日 (2019.10.17)		, リッチランド, バテル プールバー
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/039770		ド 902, ピーオー ボックス 99
(87) 国際公開番号	W02018/048494	(74) 代理人	100127926
(87) 国際公開日	平成30年3月15日 (2018.3.15)		弁理士 結田 純次
審査請求日	令和2年6月1日 (2020.6.1)	(74) 代理人	100140132
(31) 優先権主張番号	15/260,046		弁理士 竹林 則幸
(32) 優先日	平成28年9月8日 (2016.9.8)	(72) 発明者	ヤヒア・エム・イブラヒム
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		アメリカ合衆国ワシントン州99352.
			リッチランド. ピー・オー・ボックス99
			9. バテル・メモリアル・インスティテュ
			ート
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 同一または異なる極性のイオンを操作する装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

装置であって：

長手イオン伝播方向に対して第1の閉じ込め方向に内方横方向に、閉じ込め容積の閉じ込め容積部分内で第1の対の対向電極配置間に受け入れられるイオンを閉じ込めるように構成される第1の対の対向電極配置であって、第1の対の各対向電極配置がRF電極配置を含み、該RF電極配置は、第1の対の対向電極配置のRF電極配置の隣接するRF電極間で交流位相を有するRF電圧を受け、第1の対の対向電極配置間に受け入れられるイオンを閉じ込めるように構成される、第1の対の対向電極配置と；

該第1の対の対向電極配置とは別個であり、第1の閉じ込め方向を補完する第2の閉じ込め方向に内方横方向に、閉じ込め容積内で第2の対の対向電極配置間に受け入れられるイオンを閉じ込めるように構成される第2の対の対向電極配置であって、第2の対の各対向電極配置がRF電極配置を含み、該RF電極配置は、第2の対の対向電極配置のRF電極配置の隣接するRF電極間で交流位相を有するRF電圧を受けるように構成される、第2の対の対向電極配置と；

第1の対の対向電極配置の隣接するRF電極間に位置し、イオン伝播方向に長手方向列に延びる複数の進行波電極を含む、第1の進行波電極配置であって、該進行波電極は、可変DC電圧を受け、閉じ込め容積内のイオンの移動を操作するように構成される対応する進行波を生成するように構成される、第1の進行波電極配置と；

を含む、

前記装置。

【請求項 2】

第 1 および第 2 のイオン閉じ込め方向は、イオン伝播方向に対して相互に直交する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

第 1 および第 2 の対の対向電極配置は、逆極性のイオンを閉じ込めるように構成される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

第 1 および第 2 の対の対向電極配置は、受け入れられる異なる極性のイオンを、イオン伝播方向に対して横方向に、閉じ込め容積部分内でオーバーラップしないイオン群に分離させるように構成される、請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 5】

第 2 の対の対向電極配置の各 R F 電極配置の R F 電極は、第 2 の閉じ込め方向に積み重ねられ、該第 2 の対の対向電極配置の R F 電極は、イオン伝播方向に長手方向に延び、第 2 の閉じ込め方向に受け入れられるイオンの閉じ込めをもたらす、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

積み重ねられた各 R F 電極は、第 2 の閉じ込め方向に横方向に延びる 1 つまたはそれ以上の実質的に平坦な面を含む、請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

R F 電極は、ワイヤ電極である、請求項 5 に記載の装置。

20

【請求項 8】

第 2 の対の対向電極配置の少なくとも 2 つの R F 電極の一部は、異なる量だけ閉じ込め容積部分内へと延び、閉じ込め容積部分の非矩形閉じ込め断面をもたらす、請求項 5 に装置。

【請求項 9】

第 2 の対の各対向電極配置は、第 2 の閉じ込め方向に閉じ込め容積内に受け入れられるイオンを閉じ込めるように構成される第 2 の進行波電極配置を含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 10】

各第 2 の進行波電極配置は、イオン伝播方向に長手方向に延び第 2 の閉じ込め方向に互いに間隔を置いて配置された複数の進行波電極を含み、該複数の進行波電極は、可変 DC 電圧を受け、第 2 の閉じ込め方向に内方に閉じ込め容積内にイオンを閉じ込めるように対応する進行波を生成するように構成される、請求項 9 に記載の装置。

30

【請求項 11】

第 2 の進行波電極配置は、イオン伝播方向に対して第 1 の対の対向電極配置の閉じ込め容積部分に横方向に隣接する閉じ込め容積の延長閉じ込め容積部分内に受け入れられるイオンを閉じ込めるように構成される、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 12】

第 2 の対の対向電極配置の R F 電極は、イオン伝播方向に長手方向に延び、第 2 の閉じ込め方向に互いに間隔を置いて配置される、請求項 10 に記載の装置。

40

【請求項 13】

第 2 の対の対向電極配置の進行波電極は、第 2 の対の対向電極配置の隣接する R F 電極間に位置する、請求項 12 に記載の装置。

【請求項 14】

第 1 および第 2 の対の対向電極配置は、閉じ込め容積部分と延長閉じ込め容積部分とを含む無電極ギャップを画成する 1 対の対向面上に位置する、請求項 12 に記載の装置。

【請求項 15】

閉じ込め容積は、第 1 のイオン導管を画成し、装置は、第 1 のイオン導管とは別に横方向に間隔を置いて配置された第 2 のイオン導管をさらに含み、該第 2 のイオン導管は、複

50

数の電極配置を含み、該第2のイオン導管の電極配置のうちの少なくとも1つは、第1のイオン導管の第1または第2の対の対向電極配置の対向電極配置である、請求項1に記載の装置。

【請求項16】

隣接するRF電極間の交流位相は、180度位相外れである、請求項1に記載の装置。

【請求項17】

閉じ込め容積は、湾曲状またはテーパ状である、請求項1に記載の装置。

【請求項18】

方法であって：

イオンを、第1の対の対向電極配置間に画成される閉じ込め容積中に受け入れることであって、第1の対の各対向電極配置が、第1のRF電極配置と、第1のRF電極配置の隣接するRF電極間に位置する第1の進行波電極配置とを含み、該第1の進行波電極は、長手方向のイオン伝播方向に対して、長手方向列に延びる、前記受け入れることと；

受け入れられるイオンを、第1の進行波電極配置の進行波電極により、可変DC電圧の受け入れに応答して、長手方向のイオン伝播方向に沿って動かすことと；

第1のRF電極配置のRF電極により、第1のRF電圧の受け入れに応答して、第1のRF場をもたらすことと；

第1のRF場により、第1の対の対向電極配置間に、イオンの長手方向の伝播方向に対して、第1の横方向内方に閉じ込め容積内に受け入れられるイオンを閉じ込めることと；

第2の対の対向電極配置の第2のRF電極配置のRF電極により、第2のRF電圧の受け入れに応答して、第2のRF場をもたらすことと；

第2のRF場により、第1の内方向を補完するイオンの長手方向の伝播方向に対して、第2の横方向内方に閉じ込め容積内にイオンを閉じ込めることと；
を含む、前記方法。

【請求項19】

各第2のRF電極配置のRF電極は、交流位相を有するRF電圧を受け取るように構成される積層体の隣接するRF電極を有する積層体を形成し、該各第2のRF電極配置の各RF電極は、閉じ込め容積に沿って長手方向に延びる、請求項18に記載の方法。

【請求項20】

第1の対の対向電極配置は、閉じ込め容積の中央閉じ込め容積部分の両端に間隔を置いて配置され；

第2の対の対向電極配置は、中央閉じ込め容積部分に隣接する閉じ込め容積の延長閉じ込め領域の両端に間隔を置いて配置され；

第1の対の対向電極配置の第1の電極配置と、第2の対の対向電極配置の第1の電極配置とは、第1の共通表面に関連付けられ；

第1の対の対向電極配置の第2の電極配置と、第2の対の対向電極配置の第2の電極配置とは、第2の共通表面に関連付けられる；

請求項18に記載の方法。

【請求項21】

第2の対の対向電極配置は、第2のRF電極配置のRF電極間に交互に配置された第2の進行波電極配置を含み、受け入れられるイオンを第2の横方向内方に閉じ込めることは、第2の進行波電極配置の進行波電極への可変DC電圧の受け入れに応答して、第2の横方向内方に延長閉じ込め領域に受け入れられるイオンを閉じ込めることを含む、請求項20に記載の方法。

【請求項22】

受け入れられ閉じ込められるイオンは、逆極性を有する、請求項18に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

連邦政府支援の通知

10

20

30

40

50

本発明は、連邦政府エネルギー省により授与された協定DE - AC05 - 76RL01830の政府支援により行われた。政府は発明に対して一定の権利を持つ。

【0002】

関連出願の相互参照

本出願は、参照によりその全体が本明細書に組み入れる、2016年9月8日出願の米国特許出願第15/260,046号の利得を主張するものである。

【0003】

本分野は、イオン操作装置に関する。

【背景技術】

【0004】

イオン操作技術は、材料検出および材料分析、ならびに組成物形成に関する新しい適用の発見を可能にし、たとえば質量分析に関する、ますます有用な工具および器具の作成を促進した。しかし、同一または異なる極性のイオンを操作することに関する問題は残っている。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

開示の技術の一態様によれば、装置は、長手イオン伝播方向に対して第1の閉じ込め方向に内方横方向に、閉じ込め容積の閉じ込め容積部分内で第1の対の対向電極配置間にイオンを閉じ込めるように位置する第1の対の対向電極配置であって、第1の対の各対向電極配置がRF電極配置を含み、RF電極配置は、第1の対の対向電極配置間にイオン閉じ込めをもたらすように第1の対の対向電極配置のRF電極配置のなかの隣接するRF電極間で交流位相を有する非バイアスRF電圧を受けるように位置する、第1の対の対向電極配置と、第1の対の対向電極配置とは別個であり、第1の閉じ込め方向を補完する第2の閉じ込め方向に内方横方向に、閉じ込め容積内で第2の対の対向電極配置間にイオンを閉じ込めるように位置する第2の対の対向電極配置であって、第2の対の各対向電極配置がRF電極配置を含み、RF電極配置は、第2の対の対向電極配置のRF電極配置のなかの隣接するRF電極間で交流位相を有する非バイアスRF電圧を受けるように位置する、第2の対の対向電極配置と、を含む。

【0006】

開示の技術のいくつかの典型的な実施形態では、第2の対の対向電極配置の各RF電極配置のRF電極は、第2の閉じ込め方向に対して横方向に積み重ねられ、第2の対の対向電極配置のRF電極は、閉じ込め容積に沿って長手方向に延び第2の閉じ込め方向におけるイオンの閉じ込めをもたらす。開示の技術のさらなる典型的な実施形態では、第2の対の各対向電極配置は、第2の閉じ込め方向に閉じ込め容積内にイオンを閉じ込めるように位置する進行波電極配置を含む。

【0007】

開示の技術の他の態様によれば、方法は、イオンを、長手イオン伝播方向に沿って移動させるように閉じ込め容積に受け入れることと、非バイアスRF場をもたらす第1の対向電極配置を用いて、第1の対向電極配置間に第1の横方向内方に閉じ込め容積内にイオンを閉じ込めることと、非バイアスRF場をもたらすように位置するRF電極を含む第2の対向電極配置を用いて、第1の内方向を補完する第2の横方向内方に閉じ込め容積内にイオンを閉じ込めることと、を含む。

【0008】

開示の技術のいくつかの典型的な方法実施形態では、第2の内方向にイオンを閉じ込めることは、非バイアスRF場をもたらすように、第2の対向電極配置の一对の対向配置のRF電極に非バイアスRF電圧をもたらすことを含み、各対向配置は、積層体のなかの隣接し合うRF電極が交流位相を有する積層体を形成し、各RF電極は、第2の内方向におけるイオンの閉じ込めをもたらすように閉じ込め容積に沿って長手方向に延びる。開示の技術のさらなる典型的な方法実施形態では、第2の内方向におけるイオンの閉じ込めは、

10

20

30

40

50

閉じ込め容積の延長閉じ込め領域内に非バイアス R F 場および第 1 の内方向でのイオン閉じ込めをもたらすように、第 2 の対向電極配置の一对の対向電極配置の R F 電極に非バイアス R F 電圧をもたらすことを含み、さらに、延長閉じ込め領域内において第 2 の内方向にイオンを閉じ込めるように対応する進行波をもたらし、一对の対向電極配置の R F 電極間に交互に配置された一对の対向電極配置の進行波電極に可変 D C 電圧をもたらすことを含む。

【 0 0 0 9 】

開示の技術のさらなる一態様によれば、装置は、イオン伝播方向に対して直交する第 1 の閉じ込め方向に内方に、閉じ込め容積の閉じ込め容積部分内で第 1 の対の対向電極配置間にイオンを閉じ込めるように位置する第 1 の対の対向電極配置であって、第 1 の対の各対向電極配置が R F 電極配置を含み、R F 電極配置は、第 1 の対の対向電極配置間にイオン閉じ込めをもたらすように第 1 の対の対向電極配置の R F 電極配置のなかの隣接する R F 電極間で交流位相を有する非バイアス R F 電圧を受けるように位置する、第 1 の対の対向電極配置と、第 1 の対の対向電極配置とは別個であり、第 1 の閉じ込め方向およびイオン伝播方向に対して相互に直交する第 2 の閉じ込め方向に内方に、閉じ込め容積内で第 2 の対の対向電極配置間にイオンを閉じ込めるように位置する第 2 の対の対向電極配置であって、第 2 の対の各対向電極配置が R F 電極配置を含み、R F 電極配置は、第 2 の対の対向電極配置の R F 電極配置のなかの隣接する R F 電極間で交流位相を有する非バイアス R F 電圧を受けるように位置する、第 2 の対の対向電極配置と、イオン伝播方向に沿ってイオンを移動させるように可変 D C 電圧を受け対応する進行波を生成するように、第 1 の対の対向電極配置のなかの隣接する R F 電極間に位置し、イオン伝播方向に対して平行な列に延びる複数の進行波電極を含む、進行波電極配置と、を含み、ここで、第 1 および第 2 の対の対向電極配置は、逆極性のイオンを閉じ込めるように位置する。

【 0 0 1 0 】

本発明のおよび上記その他の目的、特徴、および利点は、添付の図面を参照して以下の詳細な説明からより明らかになるであろう。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 1 】

【 図 1 A 】 例示的なイオン操作装置の等角斜視図である。

【 図 1 B 】 図 1 A のイオン操作装置の端面図である。

【 図 2 A 】 異なる極性のイオンを操作する例示的なイオン操作装置の上面図である。

【 図 2 B 】 図 2 A のイオン操作装置例の端面図である。

【 図 3 A 】 異なる極性のイオンを操作する他の例示的なイオン操作装置の上断面図である。

【 図 3 B 】 図 3 A のイオン操作装置例の端面図である。

【 図 4 】 非矩形断面を有する他のイオン操作装置の一例の図である。

【 図 5 】 多数のイオン導管を有する他のイオン操作装置の一例の図である。

【 図 6 A 】 他の例示的なイオン操作装置の等角斜視図である。

【 図 6 B 】 図 6 A のイオン操作装置例の上面図である。

【 図 6 C 】 図 6 A のイオン操作装置例の端面図である。

【 図 7 】 異なる極性のイオンを操作する他の例示的なイオン操作装置の上断面図である。

【 図 8 】 イオン操作装置のさらなる例の端面図である。

【 図 9 】 イオン操作装置のさらなる例の端面図である。

【 図 1 0 】 イオン操作装置のさらなる例の端面図である。

【 図 1 1 】 他の例示的なイオン操作装置の端面図である。

【 図 1 2 】 他の例示的なイオン操作装置の上面図である。

【 図 1 3 】 他の例示的なイオン操作装置の上面図である。

【 図 1 4 】 開示の技術による例示的な方法の流れ図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 2 】

本出願および特許請求の範囲で使用される場合、単数形の「a」、「an」および「the」は、明示しない限り複数も含む。さらに、用語「含む (includes)」は、「含有する (comprises)」を意味する。さらに、用語「連結された」は、連結されたアイテム間の中間要素の存在を排除しない。

【0013】

本明細書に記載のシステム、装置、および方法は、いかなる形でも限定と解釈されるべきではない。代わりに、本開示は、単独で、また互いに対する様々な組み合わせおよびより下位組み合わせで、開示されている様々な実施形態のすべての新奇かつ非自明な特徴および態様を対象とする。開示のシステム、方法、および装置は、いかなる特定の態様もしくは構成またはこれらの組み合わせにも限定されるものではなく、開示のシステム、方法、および装置は、いかなる1つもしくはそれ以上の特定の利点が存在することも、または問題が解決されることも必要とするものではない。任意の動作理論は、説明を助長するが、開示のシステム、方法および装置は、そのような動作理論に限定されない。

10

【0014】

説明の便宜上、開示のいくつかの方法の動作について特定の順序で説明するが、後述する特有の言語によって特定の順序付けが必要とされない限り、この説明方法は並べ替えを包含することを理解されたい。たとえば、場合によっては、順次説明する動作を並べ替えることができ、または同時に実行することができる。さらに、話を簡単にするために、添付の図面は、開示されているシステム、方法、および装置を他のシステム、方法、および装置とともに使用することができる様々な形態を示さないことがある。加えて、本説明では、開示されている方法について説明するために、「作製する (produce)」および「もたらす (provide)」のような用語を使用することがある。これらの用語は、実行される実際の動作を高いレベルで抽象化したものである。これらの用語に対応する実際の動作は、特定の実装形態に応じて変わり、当業者には容易に認識することができる。いくつかの例では、値、手順、または装置は、「最低」、「最良」、「最小」などと言及される。そのような描写は、多くの使用される機能的代替案から選択することができることを示すためのものであり、そのような選択は、他の選択よりも、より良い、より小さいまたはそうでなくてより好ましい必要はないと理解されよう。

20

【0015】

いくつかの例は、イオン移動またはイオン閉じ込めに対応するように概括されたもう1つの長手方向および横方向に関して説明されている。方向は、典型的には、イオン移動、トラッピングおよび閉じ込めに適用され、様々な形状、サイズおよび構成の1つまたはそれ以上の容積を画成するように配置される1つまたはそれ以上の電極によって生成される電場によってもたらされる。方向は、単一パス、多数パス、双方向移動、内方移動、外方移動、または移動の範囲に対応することができる。実際のイオン移動パスは、変化し、電極配置および対応する電極によって生成される電場の様々な特性、ならびに閉じ込め容積に受け入れられるイオンの位置、極性、移動または他の特性に応じて決まる。本明細書で言及される方向は、概括されており、実際の特定の粒子の動きは、典型的には、生成された電場、および電場と関連して伝播するイオンの電気移動度に相当する。

30

【0016】

開示される技術は、損失を最小限に抑えたまたは無損失でイオンを操作するように、電場を用いて、電場により画成される経路、トラップ、導管およびスイッチを生み出すことを含む、イオンを操作するデバイス、装置および方法を対象とする。いくつかの実施形態では、互いに離れて位置する1つまたはそれ以上の表面上に位置する電極アレイ間にもたらされる容積内で、イオン分離、輸送、パス切り替えおよびトラッピングの複雑な順序の実施が可能になる。いくつかの例では、イオン閉じ込め場は、バイアスされていない無線周波数 (RF) 電場によってもたらされる。さらなる例では、イオン閉じ込め場は、バイアスされていないRF電場および進行波電場によってもたらされる。典型例では、逆極性のイオンが、RF電場またはRFおよび進行波電場を用いて移動、トラップまたは操作される。RF電場は、典型的には、イオンが電極に接近することを阻止し閉じ込めをもたら

40

50

す交流RF場配置を形成するように、隣接するRF電極によって生成されるRF電場が典型的には約180°位相外れであるように、印加される。閉じ込めは、ある(たとえば、約0.001トル未満から約1000トルまでの)圧力の範囲にわたって、かつ、イオンに関連のある有用で広範囲の調節可能な質量/電荷数(m/z)にわたってもたらされる。いくつかの例では、イオンは、質量分光分析による分析のため、または質量分光計を用いて操作され、ここでは、たとえば m/z が20から約5,000超であるといったような有用な m/z 範囲にわたってイオンを容易に操作するのに、約0.1トル未満から約50トルまでの圧力が使用できる。いくつかの例では、イオン閉じ込め容積中には、ガスまたは反応物が含まれる。RF電極および進行波電極からなる配置は、電極配置間の容積またはギャップ内におけるイオントラップおよび/または導管の作成を可能にする対応する電位を受け、それによって同一または異なる極性のイオンの無損失または実質的に無損失の収納および/または移動が、静的または重畳するDC電位の印加のないことも含めて、達成される。たとえば、無損失操作は、対応するイオン閉じ込め容積内に注入されたイオンの0.1%、1%または5%未満の損失を含むことがある。

【0017】

進行波は、典型的には、1つまたはそれ以上の列に配置された複数の電極にDC電位を動的に印加することによって生み出される。進行波電極セットは、直列に位置する進行波電極の1つまたはそれ以上の列によって形成される。DC電位が進行波電極列のなかの隣接する電極間で変化すると、DC電位の時間依存変化に基づいた速度で、進行波が形成される。変化する進行波特性は、イオン閉じ込めの生成、無損失輸送およびイオン分離を含む、異なるイオン移動度を有するイオンの様々な動きに影響を与え、それを操作することができる。いくつかの例では、進行波と関連して、イオンは、複数時間など延長した持続時間の間、イオン閉じ込め容積内に無損失に閉じ込められる。1つのそのような特性は、イオン分離を可能にするように、進行波とともに移動するまたはそれに乗って進むより高い移動度を有するイオン、および進行波の上で転がり進行波に遅れるより低い移動度を有するイオンについての、進行波速度である。他のそのような特性は、進行波の振幅であり、進行波の振幅を相応に増加させることでより低いイオン移動度のイオンを輸送することができる。進行波振幅は、典型的には、イオン移動度特性および所望のイオン操作に基づいて、0Vよりも大きく、30Vまで、50Vまで、80Vまで、100Vまで、またはそれを上回る範囲内で選択される。進行波速度は、典型的には、イオン移動度特性および所望のイオン操作に基づいて、5m/s未満、20m/s未満、50m/s未満、100m/s未満、200m/s未満、または500m/s未満の範囲内で選択される。進行波周波数は、典型的には、10kHz~200kHzの間で選択される。

【0018】

図1Aおよび図1Bは、入口アパーチャ104からイオン閉じ込め容積106にイオン102を受け入れ、入口アパーチャ104から出口アパーチャ105にイオン102を輸送することを含む、イオン102を伝播、分離、トラップおよび/または移動させるように位置するイオン操作装置100の一例を示している。イオン閉じ込め容積106は、全体的に、第1の対の対向電極配置108a、108bと、第2の対の対向電極配置110a、110bとの間に画成される。イオン伝播軸112は、イオン閉じ込め容積106に沿って延び、イオン102についての略長手伝播方向を示す。いくつかの例では、イオン102は、逆極性を有し、入口アパーチャ104から出口アパーチャ105へとイオン閉じ込め容積106を通して移動する。典型例では、対向電極配置108a、108bは、鏡映構造を有し、対向電極配置110a、110bは、鏡映構造を有し、それによってイオン閉じ込め容積を通るイオン伝播軸に対して直交する対称閉じ込め領域が形成される。さらなる例では、電極配置、または電極配置の諸部分は、同一でない、または鏡映になっていない。

【0019】

典型例では、対向電極配置108a、108bは、電極114の配置をそれぞれ含む。電極114は、イオン閉じ込め容積106の長さに沿って延び、同一または異なる極性の

10

20

30

40

50

イオンの閉じ込めをもたらすように、DC電圧でバイアスされない典型的には100kHz～100MHzの周波数範囲内の1つまたはそれ以上のRF電圧を受けるように位置する。電極114は、電極114のうちの隣接し合う電極によって受けられるRF電圧が互いに約180°位相外れであるように、交互にRF電圧を受けるように配置される。RF電圧が印加されると、電極114は、対向電極配置108a、108b間のイオン閉じ込め容積106内に、イオン伝播軸112すなわち図示の対向電極配置108の平行構造内側のイオン閉じ込め容積106を通る長手方向パスに対して略直交する、もしくは垂直な内方向115に横方向に、イオン102を移動させ、閉じ込める。電極114によって受けられるRF電圧は、時間の経過とともに、または隣接する電極114間で、たとえば周波数および振幅に関して、異なってよい。

10

【0020】

対向電極配置108a、108bは、さらに、隣接する電極114間に位置する1つまたはそれ以上の進行波電極配置116をそれぞれ含む。いくつかの例では、進行波電極配置116は、隣接する電極114間に交互に位置する。さらなる例では、2つ以上の進行波電極配置116が、隣接する電極114間に位置し、追加的な例では、2つ以上の電極114が、隣接する進行波電極配置116間に位置する。進行波電極配置116は、イオン閉じ込め容積106の長さまたは長さの一部分に沿って延び別個の経時変化DC電圧を受けるように位置する、複数の電極セグメントのような一連の電極117をそれぞれ含むことができる。DC電圧は、選択された進行波電極配置116に沿って進行波を生成するように、経時的に変化する。進行波は、イオン伝播軸112の方向またはイオン閉じ込め容積106の長手方向範囲の方向などの進行波の方向に関連するイオン閉じ込め容積106内のイオン102の移動、正味の移動、分離またはトラッピングを生じさせる。いくつかの例では、波速度または振幅などの進行波特性は、異なる進行波電極配置116間で異なる。

20

【0021】

典型例では、対向電極配置110a、110bは、複数の電極118をそれぞれ含む。各電極118は、イオン閉じ込め容積106の長さに沿って互いに平行に延び、電極積層体を形成するように内方向115に平行な方向に互いに間隔を置いて配置される。複数の電極118のそれぞれは、同一または異なる極性のイオンの閉じ込めをもたらすように、DC電圧でバイアスされないたとえば100kHz～100MHzの範囲内にあるようなRF電圧を受けるように位置する。複数の電極118はそれぞれ、複数の電極118のなかの隣接し合う電極によって受けられるRF電圧が互いに約180°位相外れであるように、交互にRF電圧を受ける。電極118によって受けられるRF電圧は、電極114によって受けられるもと同一である必要はなく、多くの例で同一でなく、たとえば周波数および振幅に関して、経時的にまたは隣接する電極118間で異なってもよい。RF電圧が印加されると、電極118は、内方向115を補完または支援する内方向119において横方向にイオン閉じ込め容積106内にイオン102を移動させ、閉じ込める。典型例では、内方向119は、イオン伝播軸112および内方向115に対して略直交する。電極118は、(たとえば内方向119に対して平行な)横方向に延びる幅を有することができる、したがって電極118は、実質的に平坦である。いくつかの実施形態では、イオン伝播軸112は、湾曲または屈曲している。さらなる例では、横方向内方115、119は、互いに、またはイオン伝播軸112に対して直交しない。電極118によって生成されるRF場は、適当なイオン閉じ込めをもたらすように十分な電場侵入を有する。

30

40

【0022】

図2Aおよび図2Bは、イオン202を操作し、3つのイオンセット204a～204cにして閉じ込め容積206内に閉じ込める、イオン操作装置200の典型例を示している。閉じ込め容積206は、第1の対の対向電極配置208a、208b間に画成される。第1の対の対向電極配置208a、208bは、閉じ込め容積206内へと延びるRF電場をもたらすRF電極210を含む。RF電極210は、隣接するRF電極210間で(たとえば、180°)位相がずれている。第1の対の対向電極配置208a、208b

50

は、さらに、複数の進行波電極セット212を含む。進行波電極セット212は、図2Aの全体的に上もしくは下またはその両方に向かうイオン伝播方向214に沿った、イオン202の移動、分離またはトラップのために位置する進行波電極213を含む。たとえば、イオン202は、開口端からイオン閉じ込め容積に挿入され、横方向および/または長手方向に分けられまたは広げられて閉じ込め容積206内で複数のイオン群にされる。

【0023】

閉じ込め容積206は、さらに、第2の対の対向電極配置216a、216b間に画成される。対向電極配置216a、216bは、図2Bに示されるように鉛直方向に延びイオン伝播方向214に対して略直交する第1の方向において互いに間隔を置いて配置される複数のRF電極218を有するそれぞれの電極積層体を形成する。RF電極218は、閉じ込め容積206内へと延びる電場を生成し、少なくともRF電極218から遠ざかり閉じ込め容積206内へと入る第2の方向において閉じ込め容積206内におけるイオンの横方向の閉じ込めを支援するまたはもたらすように、隣接するRF電極218間において位相シフトされる。RF電極218によってもたらされる閉じ込めは、全体的に、閉じ込め容積206からのイオン202の脱出を阻止する、またはRF電極218および対応する表面に対するイオン202の接触を阻止することを支援するように、RF電極210によってもたらされる横方向閉じ込めを補完する。典型例では、第2の方向は、積層体のRF電極218がその方向に間隔を置いて配置される第1の方向に対して略直交し、かつ、イオン伝播方向214に対して直交する。

【0024】

進行波の振幅に相当する、0V~20Vの間の非対称な進行波電圧が、進行波電極セット212に印加される。100m/sの進行波速度は、進行波電極セット212内の隣接する進行波電極213間で進行波電圧を変えることによって生成される。進行波の持続時間は、1つまたはそれ以上の隣接する進行波電極213が、同一または異なる電圧を有することができるように変えることができる。各イオンセット204a~204cは、622のm/zを有するが、イオンセット204a、204cのイオン202は、正極性を有し、イオンセット204bのイオン202は、負極性を有する。イオンセット204a~204cのイオン202を閉じ込め容積206内に閉じ込めるように、150VのRF電圧がRF電極210、218に印加される。負帯電イオン204bは、全体的に、閉じ込め容積206の中央領域に閉じ込められ、正帯電イオン204a、204cは、全体的に、中央領域に隣接する側方領域に閉じ込められる。いくつかの例では、側方領域は、中央領域にオーバーラップすることができ、したがって異なる極性のイオンは閉じ込め容積206内で分離されオーバーラップした状態になることができ、他の例では、側方領域は、中央領域から離れることができ、したがって異なる極性のイオンは閉じ込め容積206内で分離されオーバーラップしない。

【0025】

図3Aおよび図3Bは、イオン操作装置200と実質的に類似の電極配置を有するイオン操作装置300を示している。一对の対向電極配置302a、302bは、イオン操作装置300の閉じ込め容積310内に伝播するイオン308の閉じ込めのために伝播方向306に沿って延びるRF電極304を含み、さらに、やはりまた伝播方向306に沿って延びる進行波電極セット314を形成する進行波電極312を含む。他の対の対向電極配置316a、316bは、やはりまた伝播方向306に沿って延びるRF電極318を含む。RF電極304、318は、閉じ込め容積310内においてイオン308を横方向に閉じ込めイオン308の無損失操作をもたらすように、閉じ込め容積310内へと延びるRF電場をもたらす。伝播方向306は、閉じ込め容積310内の中央に位置する軸に対応するように図示されているが、イオン308は、その軸自体の方に閉じ込められるわけではないと理解されよう。図示のように、イオン308は、622のm/zを有し、3つの別個のイオンセット320a~320cを含む。ここで、イオンセット320a、320cは、負極性を有し、イオンセット320bは、正極性を有する。イオン308を閉じ込め容積310内に移動させるように、-10V~10Vの間で変更される対称的な進

10

20

30

40

50

行波電圧が進行波電極セット314の進行波電極312に印加される。負帯電イオンセット320aおよび正帯電イオンセット320bは、全体的に、対称的に位置する隣り合った側方領域に閉じ込められ、負帯電イオンセット320cのイオン308は、イオンセット320aの反対の側方領域内に伝播する。(たとえば)対称から非対称への進行波電圧の変化は、共通の閉じ込め容積内に伝播する逆極性のイオン間での異なる分離を生じさせることができる。

【0026】

図4は、イオン操作装置400の一例の端面図である。イオン操作装置400は、対向する一对の電極配置402a、402bを含む。対向する一对の電極配置402a、402bは、複数のRF電極404と、複数のRF電極404のなかの隣接するRF電極間に介在する複数の進行波電極配置406とそれぞれ含む。イオン操作装置400は、さらに、一对の電極配置402に隣接して位置し、互いに隣り合って位置し間隔を置いて配置される複数のRF電極410をそれぞれ含む、他の対向する一对の電極配置408a、408bを含む。対の対向電極配置402、408は、イオン閉じ込め領域412を画成するように位置する。イオン閉じ込め容積は、全体的に、やはりまた図4の平面内へと延びる電極404、410として形成される。イオン閉じ込め領域412は、イオン操作装置400の異なる例の間で、または同じ装置400内で、矩形および非矩形の形状を含む様々な形状を有することができる。たとえば、異なるRF電極410が、異なる量だけ閉じ込め領域内へと延びることができる。いくつかの例では、イオン閉じ込め領域412内へと向かうRF電極410の範囲は、先細、拡大、湾曲、合流(merging)または他の形状のイオン閉じ込め容積を形成するように、長さによって異なる。

【0027】

図5は、別個のイオン導管を画成する2つのイオン閉じ込め領域502、504を含む、例示的なイオン操作装置500の端面図である。第1の対の対向電極配置506a、506b、および第2の対の対向電極配置508a、508bは、イオン閉じ込め領域502を囲繞し、画成する。第3の対の対向電極配置510a、510b、および第4の対の対向電極配置512a、512bは、イオン閉じ込め領域504を囲繞し、画成する。それぞれの例において、電極配置508b、512aの電極の一部またはすべては、イオン閉じ込め領域502、504が共通の電極境界を共有するように、共通のものである。対の対向電極配置506、510の電極は、閉じ込められるイオンの伝播の方向に沿って、図5の平面内へと延びるRF電極514を含む。隣接し合うRF電極514は、典型的には、たとえば約180°の位相外れ関係を有する。進行波電極516は、隣接するRF電極514間に位置し、イオン導管内に伝播するイオンの移動および閉じ込めをもたらす。対の対向電極配置508、512の電極は、RF電極518を含む。RF電極518は、やはりまた、典型的には、隣接するRF電極518間に位相外れ関係を有する。いくつかの例では、隣接し合うイオン導管は、イオン閉じ込め領域の他の側部が共通の電極境界を共有するように配置してもよい。たとえば、電極配置506a、510bの電極は、共通の境界を形成し図5の平面内においてイオン閉じ込め領域502に隣り合ってイオン閉じ込め領域504を配置するように、共通のものであってよい。

【0028】

図6A~図6Cは、閉じ込め容積602内にイオンを閉じ込めるように位置するイオン操作装置600の他の例を示している。第1の対の対向電極セット604a、604bは、閉じ込め容積602の2つの対向する境界線605a、605bを画成するように配置される。各電極セット604a、604bは、閉じ込め容積602の対向端部610、612間に延びる、複数の進行波電極セット606と、RF電極608とを含む。RF電極608は、第1の対の電極セット604間、たとえば対向する端部610、612間の長手イオン移動方向に略直交する第1の横方向閉じ込め方向に、イオン閉じ込めをもたらす。進行波電極セット606は、たとえば、端部610から端部612、端部612から端部610、閉じ込め容積602内でのトラップになるように端部610、612のうち的一方から、閉じ込め容積602内で分離されて異なるイオン群となるように端部610、

10

20

30

40

50

612のうち的一方からなど、対向する端部610、612間にある閉じ込め容積602内でイオン移動をもたらす進行波電場を生成するように、各進行波電極セット606の進行波電極614間にDC進行波電圧をもたらす。

【0029】

第2の対の対向電極セット616a、616bは、第1の横方向閉じ込め方向を補完する第2の横方向閉じ込め方向において、2つの対向する境界線617a、617b間の閉じ込め容積602内にイオンの閉じ込めをもたらすように配置される。いくつかの例では、第2の閉じ込め方向は、第1の閉じ込め方向およびイオン移動方向に対して相互に直交してよい。さらなる例では、追加の横方向閉じ込め方向が、第1および第2の横方向閉じ込め方向を補完する。電極セット616aは、中央閉じ込め容積部分622に隣接する閉じ込め容積部分620の両端に間隔を置いて配置される一対の対向電極配置618a、618bを含む。各対向電極配置618a、618bは、対向する端部610、612間に延びる、複数のRF電極624と、複数の進行波電極626とを含む。RF電極624は、イオンを対向電極配置618から遠ざかるように閉じ込め容積部分620内で移動させ、進行波電極626は、イオンを閉じ込め容積境界線617aから遠ざかり中央閉じ込め容積部分622の方に向かう第2の横方向イオン閉じ込め方向に移動させるまたは閉じ込めるように位置する。

10

【0030】

電極セット616bは、中央閉じ込め容積部分622に隣接する閉じ込め容積部分630の両端に間隔を置いて配置され、複数のRF電極632および複数の進行波電極634をそれぞれ含む、同様の対の対向電極配置628a、628bを含む。RF電極632は、イオンを対向電極配置628から遠ざかるように閉じ込め容積部分622内で移動させ、進行波電極634は、イオンを閉じ込め容積境界線617bから遠ざかり中央閉じ込め容積部分622の方に向かう第2の横方向イオン閉じ込め方向に移動させるように位置する。それぞれの例において、対向電極配置616a、616bは、電極配置604a、618a、628aの電極が第1の共通表面に関連付けられ、電極配置604b、618b、628bの電極が第1の共通表面から間隔を置いた第2の共通表面に関連付けられるように、対向電極配置604a、604bから隣接して延びる。たとえば、第1および第2の共通表面は、電極配置がそれぞれの表面上に形成された、プリント回路板とすることができる。いくつかの例では、ピーク・トゥ・ピーク(peak-to-peak)電圧、波速度、持続時間などを含む進行波特性は、進行波電極626および進行波電極セット606について同じである。追加的な例では、進行波特性は、進行波電極626、634間を含め、異なってよい。電極608に関連したRF場特性は、RF電極624、632によって生じるRF場特性と同じまたは異なってよい。

20

30

【0031】

図7は、例示的なイオン操作装置700の上面図であり、イオン操作装置700は、ともに閉じ込め容積704内に閉じ込められる、正極性を有する第1のセットのイオン(黒)702と、第1のセットのイオン702と比べて、負極性を有する第2のセットのイオン(濃い灰色)703とを含む。閉じ込め容積704は、第1の電極セット706と、第1の電極セット706と対向してそこから間隔を置いて配置された第2の電極セットとの間に画成される。第2の電極セットは、閉じ込め容積704内に閉じ込められた第1および第2のセットのイオン702、703の図示のために省略してある。典型例では、第2の電極セットは、第1の電極セット706の実質的な鏡映コピー(mirror copy)である。

40

【0032】

第1の電極セット706は、一連に延びる複数の進行波電極710をそれぞれ含む複数の進行波電極セット708を含む。進行波電極710は、進行波速度、振幅、周波数、波高持続期間など、所定の進行波特性の一連の進行波電極710に沿って移動する進行波電場に対応する別個の可変DC電圧を受けるように位置する。進行波電極セット708に関連する進行波特性は、典型的には、進波電極710の列の方向に沿った第1および第2の

50

セットのイオン702、703の分離、トラッピングまたは移動に対応する。複数のRF電極712は、進行波電極セット708間に介在し、第1および第2のセットのイオン702、703が第1の電極セット706に衝突することを阻止する、または別のやり方で閉じ込め容積704（たとえば、RF電極712と進行波電極710との間）から脱出することを阻止する。

【0033】

第1の電極セット706は、さらに、進行波電極セット708およびRF電極712と類似の、イオン操作装置700に沿って延びる複数の進行波電極716をそれぞれ含む一対の対向進行波電極セット714a、714bを含む。対向進行波電極セット714a、714bは、直交してなど、進行波電極セット708の長さに沿って向けられる第1および第2のセットのイオン702、703の全体的な移動方向に対して異なる方向に移動する進行波電場に対応する別個の可変DC電圧を受けるように位置する。第1の電極セット706は、さらに、複数のRF電極716を含む。複数のRF電極716は、RF電極716および対向進行波電極セット714a、714bへの第1および第2のセットのイオン702、703の伝播を阻止する。進行波電極セット714a、714bによって形成される進行波の特性は、RF電極712によってもたらされる閉じ込めを補完する閉じ込め容積704内における第1および第2のセットのイオン702、703の横方向閉じ込めまたは保護をもたらすように選択される。

【0034】

図示の例では、第1および第2のセットのイオン702、703は、閉じ込め容積704の側方領域716a、716b内へと延びる。RF電極716は、対応する側方領域716a、716b内におけるRF電極716および進行波電極セット714a、714bの方に向かうイオンの移動を阻止する。イオン伝播パスに沿って第1および第2のセットのイオン702、703を移動させる進行波電極セット708に対応する進行波特性は、100m/sの進行波速度、および ± 15 Vの対称振幅を含む。閉じ込め容積704内における第1および第2のセットのイオン702、703の閉じ込めをもたらす対向進行波電極セット714a、714bに対応する進行波特性は、30m/sの進行波速度、および ± 20 Vの対称振幅を含む。

【0035】

図8は、ハウジング部材部材810、812のそれぞれの内面806、808上に位置する一対の対向電極配置802、804を含む例示的なイオン操作装置800の投入端を示している。対向電極配置802、804の電極または電極セットは、図8の平面内へと延び、対向電極配置802、804間に画成されるイオン閉じ込め容積814内に伝播するイオンを閉じ込めるように位置する。各対向電極配置802、804は、図8の平面内へとイオン閉じ込め容積814内にイオンを移動させるように位置する複数の進行波電極セット816と、矢印820によって全体的に示される内方横方向における移動によってイオン閉じ込め容積814内においてイオンを閉じ込めるように位置する一対の対向進行波電極セット818a、818bとを含む。各対向電極配置802、804は、さらに、内面806、808から遠ざかる内方横方向にイオンを閉じ込める複数のRF電極822を含む。図示のように、RF電極によってもたらされる閉じ込めの内方横方向は、矢印820によって示される内方横方向に対して略直交するが、閉じ込め方向は、電極配置の形状、対応する電場強度、イオン特性（たとえば、移動度、極性、 m/z など）、閉じ込め容積の形状などに基づいて変更できると理解されよう。

【0036】

図9は、他の例示的なイオン操作装置900を端部から見た図である。イオン操作装置900は、たとえば円形断面として図示される複数のワイヤ電極906をそれぞれ含む、一対の対向電極配置902、904を含む。ワイヤ電極906は、対向電極配置902、904間に画成される内側イオン閉じ込め容積908内に伝播するイオンの閉じ込めをもたらすように位置するRF電極と、イオン閉じ込め容積908内に伝播するイオンの閉じ込めまたはイオン閉じ込め容積908内のイオンの移動をもたらすように位置する複数の

10

20

30

40

50

進行波電極セットとを含むことができる。図10は、他の例示的なイオン操作装置1000を端部から見た図である。第1の対の対向電極配置1002、1004は、複数のワイヤ電極をそれぞれ含みイオン閉じ込め容積1008の両端に位置する複数の進行波ワイヤ電極セット1006を含む。第1の対の対向電極配置1002、1004は、さらに、隣接する進行波電極セット1006間に交互に位置し第1の対の対向電極配置1002、1004間のイオンの閉じ込めをもたらす、複数のRFワイヤ電極1010を含む。第2の対の対向電極配置1012、1014は、第2の対の対向電極配置1012、1014間のイオン閉じ込め容積1008内にイオン閉じ込めをもたらすように位置する複数の隣接し合うRFワイヤ電極1016を含む。

【0037】

図11には、例示的なイオン操作装置1100が示されており、イオン操作装置1100は、図11の平面内へと延び閉じ込め容積1106の両端に間隔を置いて配置される一対の対向湾曲電極配置1102、1104を含む。いくつかの例では、対向湾曲電極配置1102、1104は、進行波電圧を受け閉じ込め容積1106内に閉じ込められたイオンを図11の平面内へとまたはそこから外に移動させるように位置する複数の進行波電極セット1108を含む。隣同士で交流位相であるRF電極1110は、典型的には、閉じ込め容積1106内のイオンがRF電極1110および進行波電極セット1108に接触またはその近くに到達することを阻止し、閉じ込め容積1106内にイオンを閉じ込めるために、隣接する進行波電極セット1108間に介在される。

【0038】

各対向湾曲電極配置1102、1104は、進行波電極セット1108およびRF電極1110に隣接して位置する、対向する対の電極配置1112、1114を含む。いくつかの実施形態では、対向する対の電極配置1112、1114は、RF電極1110によってもたらされる閉じ込めを補完するように、進行波電極セット1108間の閉じ込め容積1106内へとイオンを内方に向けるように位置する一対の対向進行波電極セット1116を含む。対向する対の電極配置1112、1114は、さらに、複数のRF電極1118を含む。複数のRF電極配置1118は、RF電極1110と類似または同じであってもよく、対向進行波電極セット1116の進行波電極間に交互に位置する。追加的な実施形態では、対向する対の電極配置1112、1114は、進行波電極セット1116の進行波電極の平面内に複数のRF電極1118を含む。さらなる実施形態では、RF電極の端積層部1120は、イオンが閉じ込め容積1106から脱出することをさらに阻止するように位置する。典型例では、隣接し合うRF電極は、180°位相外れである。

【0039】

図12にあるイオン操作装置1200の一例は、第2のテーパ状電極配置に対向する第1のテーパ状電極配置1202を含む。第2のテーパ状電極配置は、示されている装置1200の上面図では、明確化のため省略してある。イオンが内部で分離、トラップまたは移動されるイオン閉じ込め容積は、第1のテーパ状電極配置1202と、第2のテーパ状電極配置との間に画成される。典型例では、第2のテーパ状電極配置は、実質的に、第1のテーパ状電極配置1202の鏡映構造である。テーパ状電極配置1202は、列の長さに沿って先細りし電極列の長さ方向に対応する方向にイオン閉じ込め容積内においてイオン移動を引き起こす進行波電極1206の列を有する複数の進行波電極配置1204を含む。テーパ状電極配置1202は、さらに、たとえば進行波電極配置1208aについては図12の左から右、進行波電極配置1208bについては右から左である、略内側方向のイオン移動を引き起こすそれぞれの進行波電極1210の列を有する一対の対向進行波電極配置1208a、1208bを含む。複数の介在RF電極1212は、イオンが第1のテーパ状電極配置1202および第2のテーパ状電極配置に接触することを阻止するように位置する。

【0040】

図13は、例示的なイオン操作装置1300を示しており、イオン操作装置1300は、湾曲軸1303に沿って延びるイオン閉じ込め容積を形成するように、第1の湾曲電極

10

20

30

40

50

配置 1302 と、第 1 の湾曲電極配置 1302 に対向しそれから間隔を置いて配置される第 2 の湾曲電極配置（図示せず）とを含む。複数の湾曲進行波電極列 1304 は、イオン閉じ込め容積の湾曲形状に沿ったイオンの移動を引き起こすように DC 進行波電圧を受けるように位置する進行波電極 1306 を含む。いくつかの例では、進行波電極 1306 は、区分的（piece-wise）湾曲形状を形成する線形セグメントであってよい。複数の RF 電極 1308 は、隣接する進行波電極列 1304 間に位置する。いくつかの例では、対向する一对の進行波電極セット 1310a、1310b は、イオン閉じ込め容積内におけるイオンの閉じ込め、分離またはトラッピングをもたらすように、湾曲軸 1303 の接線に対して略垂直または直交する内方横方向にイオンを向けるように位置する。複数の RF 電極 1312 は、進行波電極セット 1310a、1310b の電極間に位置し、イオンが、RF 電極 1312、電極セット 1310a、1310b、または対応する表面であって上に RF 電極 1312 および電極セット 1310a、1310b が取り付けられる、形成される、または別のやり方で位置する対応する表面に接触することを阻止するように、RF 電圧を受けるように位置する。いくつかの例では、RF 電極 1312 の端積層部は、たとえば湾曲軸 1303 に対して略直交する内方横方向におけるイオン閉じ込め容積内におけるイオンの追加の閉じ込めをもたらすように、縁電極 1313a、1313b から平面内へとまたはそこから外に延びることができる。RF 電極 1312 の端積層部があるさらなる例では、進行波電極セット 1310a、1310b は省略することができる。

【0041】

図 14 の流れ図は、同一または異なるイオン極性のイオンを含むイオンを操作するための例示的な方法 1400 を示している。方法段階（method act）1402 では、長手イオン伝播方向に対して、イオンの通過輸送（through transport）、分離、トラッピングなどを含むイオンの移動のために閉じ込め容積内にイオンを受ける。方法段階 1404 では、非バイアス RF 場をもたらす第 1 の対向電極配置を用いて、イオンを、第 1 の対向電極配置間の第 1 の横方向内方に閉じ込め容積内に閉じ込める。いくつかの例では、第 1 の内方向は、イオン伝播方向に対して直交する、または垂直である。方法段階 1406 では、非バイアス RF 場をもたらすように位置する RF 電極を含む第 2 の対向電極配置を用いて、イオンを、第 1 の横方向内方を補完する第 2 の内方横方向に閉じ込める。イオンは、イオンの無損失伝播のための第 1 の電極配置と第 2 の電極配置との間のイオン閉じ込め容積内において、閉じ込められたイオンになる。特定の例では、閉じ込めの第 2 の内方向は、イオン伝播方向および第 1 の内方向に対して相互に直交する。

【0042】

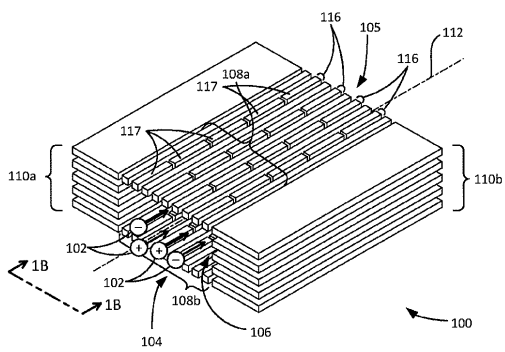
典型例では、第 2 の内方向におけるイオンの閉じ込めは、非バイアス RF 場をもたらすように、第 2 の対向電極配置の一对の対向配置の RF 電極に非バイアス RF 電圧をもたらすことを含む。各対向配置は、積層体のなかの隣接し合う RF 電極が交流位相を有する、積層体を形成する。各 RF 電極は、第 2 の内方向におけるイオンの閉じ込めをもたらすように、イオン伝播方向に沿って延びる。他の典型例では、第 2 の内方向におけるイオンの閉じ込めは、閉じ込め容積の延長閉じ込め領域内に、非バイアス RF 場および第 1 の内方向でのイオン閉じ込めをもたらすように、第 2 の対向電極配置の一对の対向電極配置の RF 電極に非バイアス RF 電圧をもたらすことを含み、さらに、延長閉じ込め領域において第 2 の内方向にイオンを移動させるように対応する進行波を生成するように、一对の対向電極配置の RF 電極間に交互に配置される一对の対向電極配置の進行波電極に可変 DC 電圧をもたらすことを含む。

【0043】

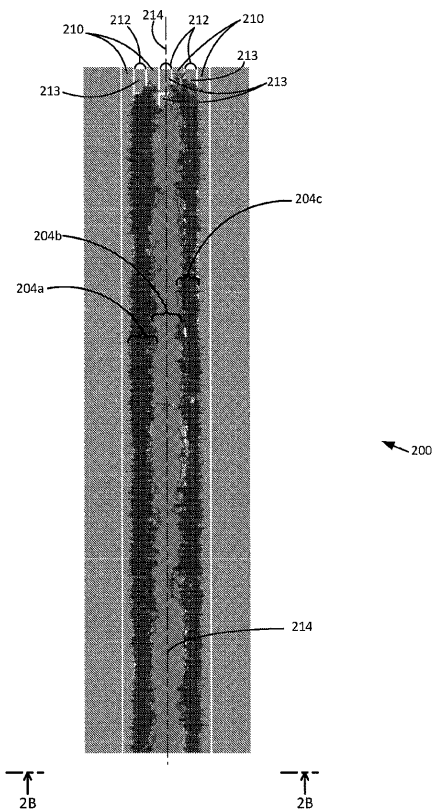
本開示の技術の原理を適用することができる多くの可能な実施形態の観点から、例示の実施形態は、典型的な例に過ぎず、本開示の範囲を限定するものと解釈されるべきではないことを認識されたい。これらの説明で特に対応された代替例は、単に例示に過ぎず、本明細書に記載の実施形態に対するすべての可能な代替例を構成するものではない。たとえば、本明細書に記載のシステムの様々な構成要素は、機能において、および使用において

組み合わせることができる。したがって、添付の特許請求の範囲および趣旨の範囲に入るすべての特許請求する。

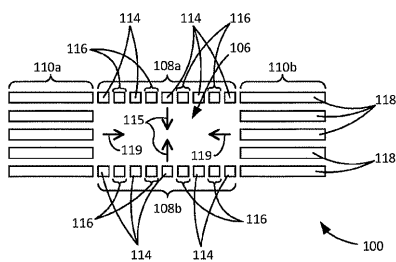
【図 1 A】



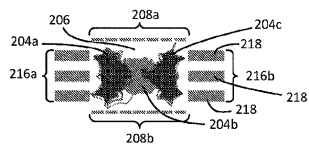
【図 2 A】



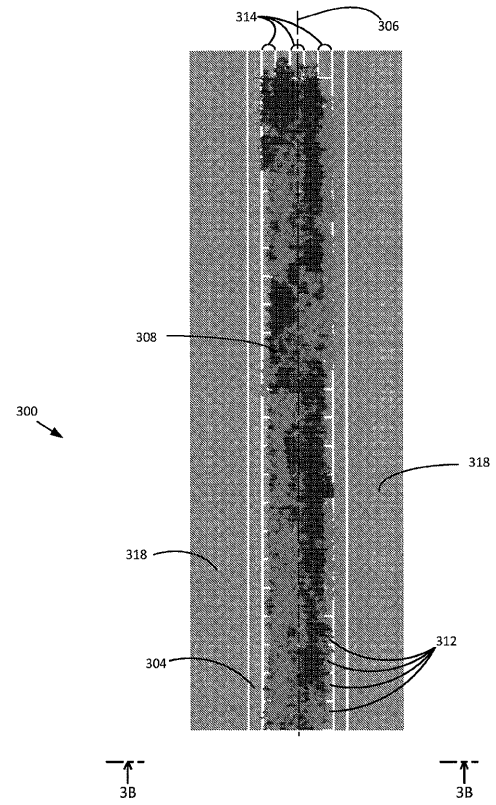
【図 1 B】



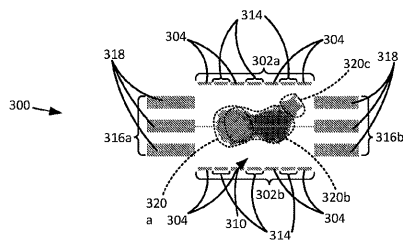
【 図 2 B 】



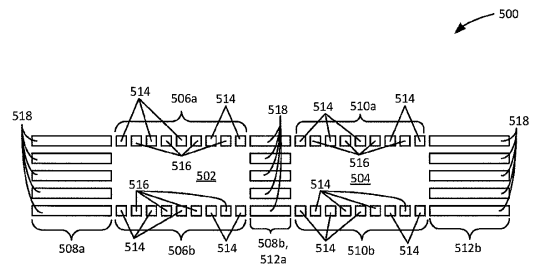
【 図 3 A 】



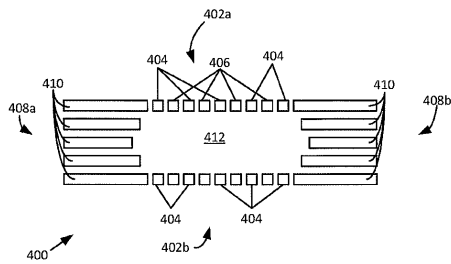
【 図 3 B 】



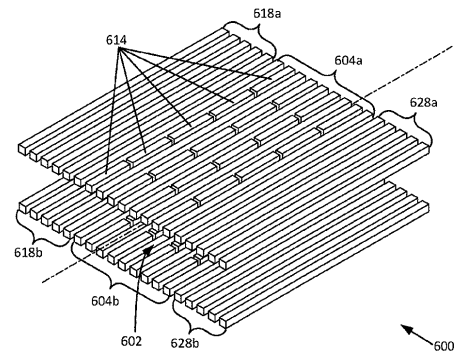
【 図 5 】



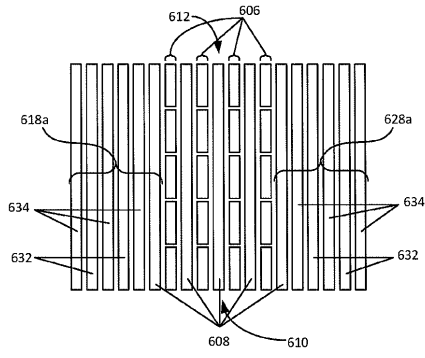
【 図 4 】



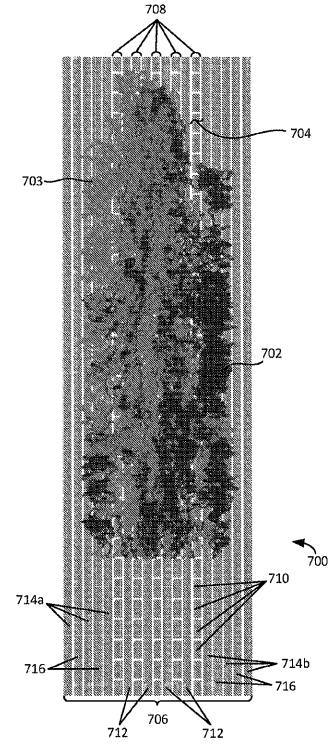
【 図 6 A 】



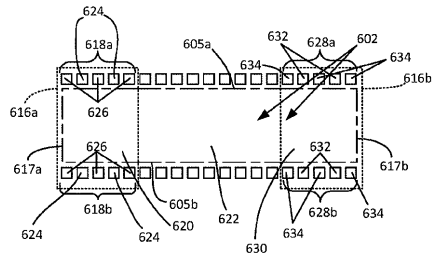
【図6B】



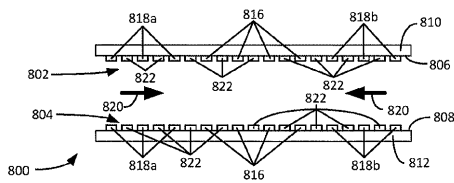
【図7】



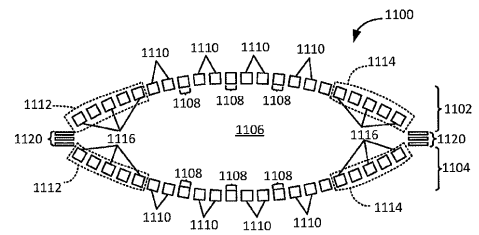
【図6C】



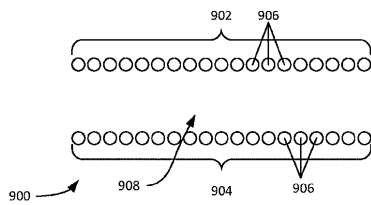
【図8】



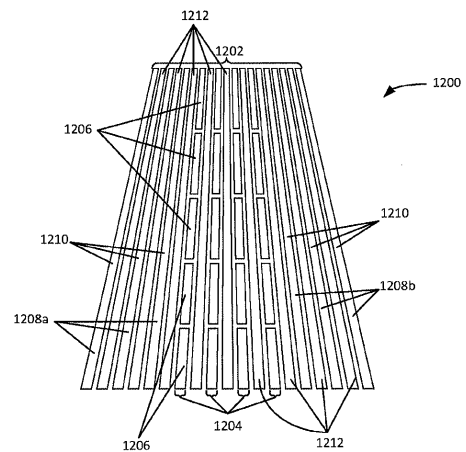
【図11】



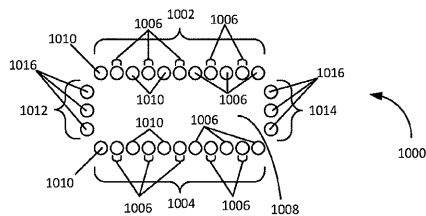
【図9】



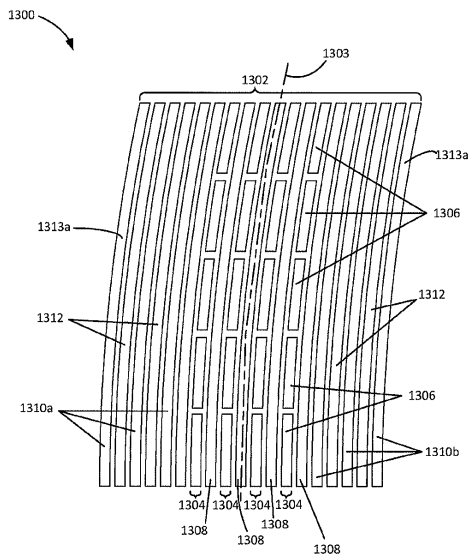
【図12】



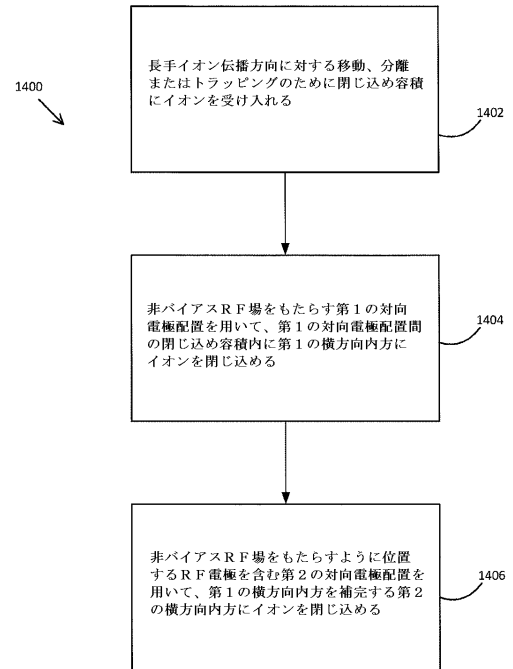
【図10】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 リチャード・ディ・スミス
アメリカ合衆国ワシントン州99352・リッチランド・ピー・オー・ボックス999・パテル・
メモリアル・インスティテュート

審査官 中尾 太郎

(56)参考文献 国際公開第2016/034125(WO, A1)
特表2018-503931(JP, A)
特表2008-522377(JP, A)
米国特許出願公開第2009/0173880(US, A1)
特表2016-514896(JP, A)
米国特許出願公開第2014/0299766(US, A1)
米国特許出願公開第2014/0246582(US, A1)
特表2015-509588(JP, A)
米国特許出願公開第2016/0084799(US, A1)
特表2015-507334(JP, A)
特表2009-538501(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01J 49/42