

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4677099号
(P4677099)

(45) 発行日 平成23年4月27日 (2011. 4. 27)

(24) 登録日 平成23年2月4日 (2011. 2. 4)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 J 49/30 (2006. 01)

H O 1 J 49/30

H O 1 J 37/317 (2006. 01)

H O 1 J 37/317

Z

H O 1 J 49/20 (2006. 01)

H O 1 J 49/20

請求項の数 20 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願2000-555277 (P2000-555277)
(86) (22) 出願日 平成11年6月15日 (1999. 6. 15)
(65) 公表番号 特表2002-518809 (P2002-518809A)
(43) 公表日 平成14年6月25日 (2002. 6. 25)
(86) 国際出願番号 PCT/GB1999/001879
(87) 国際公開番号 W01999/066535
(87) 国際公開日 平成11年12月23日 (1999. 12. 23)
審査請求日 平成18年6月8日 (2006. 6. 8)
(31) 優先権主張番号 9813327.5
(32) 優先日 平成10年6月19日 (1998. 6. 19)
(33) 優先権主張国 英国 (GB)

前置審査

(73) 特許権者 500579305
スプリオン リミテッド
イギリス国, ケイティー8 9ディーエヌ
サリー, イースト モルジー, パレス
ロード 49エイ, ホーリー ハウス
(74) 代理人 100083839
弁理士 石川 泰男
(72) 発明者 アイトケン, デレック
イギリス国, ケイティー8 9ディーエヌ
サリー, イースト モルジー, パレス
ロード 49エイ, ホーリー ハウス

審査官 松岡 智也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子に関する装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

イオンの質量、エネルギー及び帯電状態を含むイオンパラメータの値に依存して前記イオンに作用する装置であり、

配列された複数の細長い磁極 (311) であり、前記複数の細長い磁極の配列の伸張方向 (350) に長手方向が延び、装置の構成要素を配置するための基準をもたらず仮想基準表面 (320) を有する磁極であって、前記仮想基準表面が、配列された前記磁極の前記方向 (350) に延び、そして、仮想基準表面の各側部に位置する少なくとも1つの磁極を有する前記複数の細長い磁極の配列を通過するところの磁極と；

イオンのビーム (314) を提供する手段であって、イオンの前記ビームは、前記磁極の配列の磁界 (312) 内に提供され、前記ビームが、前記ビームを横切る所定の位置において、前記ビームの初期伝播方向と実質的に同一の方向を有し、そして、前記ビームの初期伝播方向と実質的に同一の方向と直交する細長い断面を有しており、前記ビームの前記細長い断面が、前記仮想基準表面上の方向又はこれと平行な方向に延びており、前記ビームの前記初期伝播方向と実質的に同一の方向が、前記仮想基準表面上又はこれと実質的に平行であり、且つ、前記細長い磁極の配列の伸張方向 (350) 以外の方向にある状態で、前記複数の細長い磁極の配列における前記磁極が、前記細長い磁極の配列の前記伸張方向と直交する平面において、前記細長い磁極の配列内を移動するイオンのパラメータに依存する分散をもたらず幾何学的配列構成を有しているところの手段と；

パラメータに依存する分散によって、前記ビームから必要なイオンを選択する解像手段

10

20

(3 3 2、3 3 3) と
を備える装置において、

前記複数の細長い磁極の配列における前記磁極 (3 1 1) が、細長い磁極の前記配列の伸張方向 (3 5 0) と直交する平面内において、前記仮想基準表面 (3 2 0) と直交する平面における、パラメータに依存する集束作用をもたらす構成を有しており、前記平面は、すべての位置におけるビームのイオンが、パラメータに依存する集束領域中におけるビームのイオンの移動方向に沿って移動する方向を含み、そして、前記パラメータの異なる複数の値に依存して、前記ビームの異なるイオンのパラメータに依存する集束によってイオンの選択をもたらす、

前記複数の細長い磁極 (3 1 1) の配列における前記磁極は、前記仮想基準表面を横切る磁界方向を有する磁界の少なくとも 1 つの拡張横断磁界領域 (3 1 2) を、仮想基準表面の各々の側において物理的に対向する極間にもたらし、磁界の前記少なくとも 1 つの拡張横断磁界領域 (3 1 2) は、配列における個々の対向する極に対応して設けられた入口及び出口領域 (3 1 2 C、3 1 2 B) であって、磁界の拡張横断磁界領域 (3 1 2) をもたらす磁極の複数の境界にそれぞれ連続するところの入口及び出口領域 (3 1 2 C、3 1 2 B) を有しており、前記入口及び出口領域 (3 1 2 C、3 1 2 B、1 4 5 A、1 4 5 B) は、前記仮想基準表面と直交する平面において湾曲した湾曲磁界をもたらす、前記磁極の領域は、磁極の配列の伸張方向と平行であり、

磁界の前記少なくとも 1 つの拡張横断磁界領域 (3 1 2) 及び前記入口及び出口領域 (3 1 2 C、3 1 2 B) は、複数の前記磁極の配列の磁界内に進入し、又は、そこで生じ、そして、前記仮想基準表面上の方向又はこれと平行な方向の移動方向をもって、前記拡張横断磁界領域 (3 1 2) 内を移動するビームのイオン (3 1 4) が、磁界の前記拡張横断磁界領域 (3 1 2) によって付与された、前記移動方向への湾曲運動を行い、そして、少なくとも 1 つの出口又は入口領域 (3 1 2 C、3 1 2 B) の前記湾曲磁界を、前記入口又は出口領域に対する垂線に対して所定の角度で通過して、前記仮想基準表面と直交する平面において、パラメータに依存する集束作用をもたらすように構成されており、

前記解像手段 (3 3 2、3 3 3) が、前記仮想基準表面に対して直交する平面における異なる集束点 (8 8 A、8 8 B、8 8 C、1 0 8、1 2 8 A、1 2 8 B) での、ビームの異なるイオンの集束による、パラメータに依存する分散によって、前記パラメータの異なる数値に依存して、前記ビームから必要なイオンを選択するように設けられ、前記仮想基準表面は、集束点におけるイオンの移動方向を含んでいる
ことを特徴とする装置。

【請求項 2】

前記仮想基準表面は平面であり、そして、前記仮想基準表面 (3 2 0) の一方の側にある磁極 (3 1 1) の前記構成が、前記仮想基準表面の他方の側の構成に対して、幾何学的対称性を有しており、そして、出口及び入口領域によってもたらされる磁界が、複数の磁極の配列の伸張方向と直交する平面において湾曲する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記拡張横断磁界領域における磁界が、不均一であり、そして同時に、前記仮想基準表面に対して直交する平面において湾曲する湾曲磁界 (8 9 A) を有している、請求項 1 又は 2 に記載の装置。

【請求項 4】

配列された前記磁極の前記伸張方向 (3 5 0) が、直線である、請求項 1 から 3 の何れか 1 つに記載の装置。

【請求項 5】

配列された前記磁極の前記伸張方向 (3 5 0) が、前記仮想基準表面において、円に沿っている、請求項 1 から 3 の何れか 1 つに記載の装置。

【請求項 6】

前記解像手段が、望ましくないイオンを除去するための 1 つ以上のバリヤ (1 0 9、1 1 1、1 1 4、1 1 5、1 1 6、3 3 2) を有している、請求項 1 から 5 の何れか 1 つに

10

20

30

40

50

記載の装置。

【請求項 7】

前記 1 つ以上のバリヤ (1 1 1、3 3 2) が、仮想基準表面 (3 2 0) に位置している、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記解像手段が、前記イオンのビーム (3 1 4) 中の望ましいイオンの集束点 (3 3 1) において、前記仮想基準表面に設けられた複数のバリヤ間に、分析アパーチャを有している、請求項 1 から 7 の何れか 1 つに記載の装置。

【請求項 9】

磁界の初期拡張横断磁界領域 (1 4 9 A) 及び磁界の最終拡張横断磁界領域 (1 4 9 C) を少なくとも含む少なくとも 2 つの拡張横断磁界領域であって、2 つ以上の横断磁界領域が設けられ、拡張横断磁界の少なくとも 1 つの中間領域を含み、そして、イオン (1 4 0) を、前記初期拡張横断磁界領域内に侵入させ、又は、そこで生じさせるように、イオンのビーム (3 1 4) を提供するための手段 (3 1 3) が設けられているところの少なくとも 2 つの横断磁界領域を備え、

10

前記細長い磁極の配列は、前記伸張方向と直交する平面内において、磁界の初期拡張横断磁界領域 (1 4 9 A) 内を移動するビームのイオンの移動の方向に、パラメータに依存する湾曲運動をもたらす構成を有しており、前記イオンは、配列の伸張方向に対する垂線に対して所定の角度で、磁界の前記初期拡張横断磁界領域を出て、配列の何れかの中間拡張横断磁界領域 (1 4 9 B) を通過し、そして、磁界の前記最終拡張横断磁界領域 (1 4 9 C) 内に移動し、連続する複数の前記拡張横断磁界領域の極性が交互に入れ替わっている、請求項 1 から 8 の何れか 1 つに記載の装置。

20

【請求項 10】

前記磁極の形状、サイズ及び位置に関する物理的幾何学特性、及び、配列された複数の磁極におけるあらゆる位置での磁界 (3 1 2) の強さが、前記仮想基準表面に直角で、そして、配列の伸張方向と平行な対称性を有する平面に対して実質的に対称である、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 11】

配列された前記磁極が、4 つの磁極を有する四極子 (7 3、7 4) を含んでおり、前記四極子は、前記仮想基準表面の各々の側に配置された 2 つの磁極と、対称性を有する前記平面の各々の側に配置された 2 つの磁極とを有している、請求項 9 又は 10 に記載の装置。

30

【請求項 12】

前記仮想基準表面に直角で、そして、前記複数の細長い磁極の配列の伸張方向と平行な複数の面に設けられた複数の伝達制限構造体 (1 1 4、1 1 5、1 1 6) を含み、前記伝達制限構造体は、クロスオーバに集束したイオンが、分析アパーチャの各々の側で、前記仮想基準表面 (1 1 1) 内に設けられた複数のバリヤの範囲を越えて伝達されるのを防止する、請求項 1 から 11 の何れか 1 つに記載の装置。

【請求項 13】

40

ビームの細長い横断面方向の軸に沿って整合された導電性ワイヤ又は細片であって、イオンビームをインタセプトして、このようにインタセプトされたイオンビーム (1 1 1、1 1 4、1 1 5、1 1 6) を除去し、又は、前記イオンビーム (1 1 9) の動作に影響を与える導電性ワイヤ又は細片であって、前記イオンとの接触により劣化が生じるところの導電性ワイヤ又は細片と、

前記導電性ワイヤ又は細片をその細長い軸の方向に移動させて、前記イオンとの接触によって劣化した部分を交換するための手段とを含む、請求項 1 から 12 の何れか 1 つに記載の装置。

【請求項 14】

前記イオンビーム (1 1 1、1 1 4、1 1 5、1 1 6) をインタセプトし又は前記イオ

50

ンビーム(119)の動作に影響を与えるために用いられる導電性ワイヤ又は細片と、前記導電性ワイヤ又は細片を引っ張ってそれを直線状に維持する手段とを含む、請求項4に記載の装置。

【請求項15】

イオンのビームが、少なくとも1つのクロスオーバ(128A、138A、138B)に集束するように、細長い磁極の前記配列が構成されており、そして、必要なイオンのクロスオーバの位置が、細長い磁極の前記配列の磁界内に置かれるように選択されて、必要なイオンの更なる集束作用が、配列の磁界の作用により、前記クロスオーバの点よりも後ろで生ずる、請求項1から14の何れか1つに記載の装置。

【請求項16】

イオンの複数のビームを提供するための複数の手段と、パラメータに依存する集束をもたらす、そして、それぞれが所定の間隔をあけて配置された平行な複数の仮想基準表面(320)を有し、各々が、複数の細長い磁極の隣り合う配列と共通磁気回路の少なくとも1部を共用する複数の解像手段による、ビーム中のイオンの選択をもたらすための複数の細長い磁極の配列とを備える、請求項1から15の何れか1つに記載の装置。

【請求項17】

イオンの質量、エネルギー及び帯電状態を含むイオンパラメータの値に依存して、前記イオンに作用する方法であり、

配列された複数の細長い磁極(311)の磁界(312)内にイオンのビーム(314)を提供するステップであって、前記磁極は、配列された複数の細長い磁極の伸張方向に長手方向が延びており、配列された複数の細長い前記磁極は、前記方法の複数のステップのための基準をもたらす仮想基準表面を有しており、前記仮想基準表面は、配列の伸張方向(350)に延び、そして、前記仮想基準表面の各側部に位置する少なくとも1つの磁極を有する配列された複数の細長い磁極を通過するところのステップと；

前記磁極の配列の磁界(312)内において、イオン(314)を、前記仮想基準表面上の方向又はこれと平行であり、且つ、磁極(311)の配列の伸張方向(350)以外の方向に向けるステップであって、前記ビームが、前記ビームを横切る所定の位置に、前記ビームの初期伝播方向と実質的に同一の方向を有し、そして、前記初期伝播方向と実質的に同一の方向と直交するビームの細長い断面を有しており、前記細長い断面が、前記仮想基準表面上の方向又はこれと平行な方向に延びているところのステップと；

配列された複数の細長い磁極の前記伸張方向と直交する平面において、配列された複数の細長い磁極における磁極の構成によって生じた磁界によって、パラメータに依存する、イオンの分散を生じさせるステップと；

パラメータに依存する前記分散によって、パラメータに依存する、イオンの選択をもたらすステップと

を含む方法において、

異なるイオンのための前記パラメータの異なる数値に依存して、ビームの異なるイオンを集束させることによって、前記仮想基準表面と直交する平面において、パラメータに依存する、ビームのイオンの集束作用をもたらすステップを含み、

パラメータに依存する前記集束作用は、

前記仮想基準表面を横切る磁界の方向を有する磁界の少なくとも1つの拡張横断磁界領域(312)を、配列された細長い磁極の仮想基準表面の各々の側において物理的に対向する磁極(311)間にもたらすステップであって、磁界の前記少なくとも1つの拡張横断磁界領域(312)は、配列された複数の細長い磁極における個々の対向する極に対応して設けられた入口及び出口領域(312C、312B)であって、磁界の拡張横断磁界領域(312)にそれぞれ連続するところの入口及び出口領域(312C、312B)を有しており、前記入口及び出口領域(312C、312B)は、前記仮想基準表面(320)と直交する平面において湾曲した湾曲磁界をもたらすところのステップと；

配列された複数の細長い磁極における配列の磁界内に進入し、又は、そこで生じ、そし

10

20

30

40

50

て、前記仮想基準表面上の方向又はこれと平行な方向の移動方向をもって、前記少なくとも1つの拡張横断磁界領域(312)内を移動するビームのイオン(314)に、前記拡張横断磁界領域(312)によって付与された湾曲運動を行なわせるステップと；

前記イオンの方向付けを行なって、これが少なくとも1つの出口又は入口領域(312C、312B)の前記湾曲磁界を、前記入口又は出口領域に対する垂線に対して所定の角度で通過して、イオンの前記ビームに関する、パラメータに依存する集束作用を、前記仮想基準表面と直交する平面においてもたらすステップと

によって生じる

ことを特徴とする方法。

【請求項18】

前記拡張横断磁界領域が、磁界の初期横断磁界領域(149A)及び磁界の最終横断磁界領域(149C)を少なくとも含む少なくとも2つの横断磁界領域を有しており、2つ以上の横断磁界領域が設けられ、少なくとも1つの中間領域を含むところの方法であって、

前記初期横断磁界領域内に侵入し、又は、そこで生じるイオンのビームを提供するステップと、

前記初期横断磁界領域(149A)内を移動するイオンに、パラメータに依存する湾曲運動を付与するステップであって、前記イオンは、配列の伸張方向に対する垂線に対して所定の角度で、前記横断磁界領域を出て、配列の何れかの中間横断磁界領域(149B)を通過し、そして、磁界の前記最終横断磁界領域(149C)内に移動するところのステップと、

極性が交互に入れ替わる連続する複数の前記拡張横断磁界領域によって、前記イオンに作用を付与するステップと

を含む、請求項17に記載の方法。

【請求項19】

前記仮想基準表面に対して直交する平面における異なる集束点(88A、88B、88C、108、128A、128B)での、ビームの異なるイオンの集束による、パラメータに依存する分散によって、前記パラメータの異なる数値に依存して、前記ビームから必要なイオンを選択するステップを含む、請求項17に記載の方法。

【請求項20】

イオンのビームを、少なくとも1つのクロスオーバ(128A、138A、138B)に集束させるステップであって、必要なイオンのクロスオーバの位置が、配列された複数の細長い磁極の磁界内に置かれるところのステップと、

必要なイオンの更なる集束作用が、配列された複数の細長い磁極の磁界の作用により、前記クロスオーバの点よりも後ろで生じさせるステップと

を含む、請求項17に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の分野)

本発明は荷電粒子に作用する装置および方法に関する。本発明はより特定的には、これに限られないが、磁界を用いて、荷電粒子ビーム、または荷電粒子ビームの連続体を質量(及びエネルギー)に依存して収束させ、これによって質量分析された荷電粒子、典型的には正イオンの非常に大きいビーム電流が、公称のビーム方向を含む平面上で質量分散平面上に対して直角な粒子電流分布になんら大きい変化をもたらすことなく複数スロット供給源から抽出し、また、伝達されることができるようになる荷電粒子収束システムに関する。より特定的には、1連の均一なリボン状イオンビームを複数のスロットイオン供給源から抽出して、質量分析して、このリボン状ビームの均一性と形状を妨害することなく高いビーム純度を達成することが可能である。他の態様における本発明は：光学素子に類似した素子をシステムの1部として用いて、特定の要件と状況に対して最適な性能を達成する手段と；連続して形成されると好ましくない結果をもたらしかねないシステムから伝達されな

10

20

30

40

50

い粒子質量を除去する手段と；発生した大電流が半導体ウエハ又は平坦パネルディスプレイ基板上で表面帯電問題を引き起こさないように防止する手段と；本発明を成功裏に適用するために必要なイオン供給源と抽出条件を達成する手段と；に関する。

【 0 0 0 2 】

本明細書の最後に、その内容を参照してここに組み込む、本発明の理解の支援となる本発明中で引用される参考文献のリストが記載されている。

【 0 0 0 3 】

(背景技術)

イオンはイオン供給源 [1] から抽出されて磁気で分析されて、質量分離を達成し [2] 、これによって、重要な商業例である半導体ウエハ、太陽電池及び平坦パネルディスプレイの素材となる様々な基板に注入する際に用いることができる高純度で方向付けされたイオン (通常は正イオン) のビームを発生する。既存の技術では、1つのイオンビームの発生と分析にだけシステムを使用するように制限し、その1つのイオンビームのサイズ (及びビーム電流) にかかなりの制限がある「従来型の質量分離」光学 [3] と言われる、分析システムが圧倒的に用いられている。

【 0 0 0 4 】

US - A - 4 5 7 8 5 8 9 号では、リボン状ビームがそのリボン状ビームを発生するスロットに対して直角な平面上での分散によって分析される、荷電粒子から成る質量分析済みリボン状ビームを発生する従来型の装置が最初に記載されている。この後に、リボン状ビームがそのリボン状ビームを発生するスロットに対して平行な平面上での分散によって質量分析されるその先行特許が記載されている。この第1の周知のシステムをここで、本明細書の図 1 a ~ 1 c を参照して簡単に説明し、それに次いで、第2の形態を有する周知の装置を本明細書の図 1 d ~ 1 e を参照して説明する。

【 0 0 0 5 】

図 1 a に、従来型の質量分離器の分散平面 (すなわち、イオンビームが、その (質量) × (エネルギー) の積と帯電状態に従って多くの方向に分散する平面) を示す。このイオンビームはイオン発生源 [4] から円形ビームとして抽出することが可能であるが、大ビーム電流が必要とされる場合には、その大電流は通常は長尺のスロット (この文脈では、アスペクト比で一般的に 1 0 : 1 以上) から抽出されることになっている。イオン発生源 1 1 は、イオン発生源アパーチャ 1 2 (円形又は長尺のスロット) から電気的にバイアスされた抽出電極 1 3 を用いて抽出して、一般的にイオン発生源抽出領域から発散するイオンビーム 1 4 (これは抽出電圧によって決まるエネルギーを有している) を形成するイオンを発生する。次に、このイオンビームは、図 1 b の側面図にも示すように分析磁石 1 5 の両極間を通過するが、この場合、このビームは平行なりボン状ビーム 1 4 A である。この磁石は2つの機能、すなわち、質量分散を達成する機能と解像スロット 1 6 で質量分析ができるようにビームを収束させる機能を有している。少し低いイオン質量 (大きい角度で偏向される) も少し高い質量 (小さい角度で偏向される) も伝達されないように解像スリットを介して収束させる必要がある。この分析技法では、複数のイオンビーム (図 1 a の分散平面上で見た場合) を用いることは不可能であり、抽出スロット平面上でのビームのサイズは磁石の極のギャップのサイズによって制限される。この磁石のサイズ、したがってそのコストは、さらにその消費電力 (電磁石のそれ) は重要な商業的考慮要件である。この状況を改善するために用いられてきた1つの技法を図 1 c に示す。磁石極のギャップ中にビームのクロスオーバを有する長尺の抽出スロット (「リボン状平面」と呼ばれる) の軸を含む平面上で集中リボン状ビームを発生する湾曲抽出形状 [5] を用いると、特定のサイズを有する極ギャップを介してしか伝達されないビームのサイズを増大させる。この場合には一般的であるが、平行ビームを必要とする場合、平行ビームを発生するリボン状平面上で収束する光学素子 1 7 (例えば湾曲電極加速システム [5]) が解像スリットの背後に必要となる。再度図 1 a を参照すると、通常は少ない (典型的には 1 ~ 3 度の半角) である分散平面上での発散はイオン注入においては容認されるかも知れないが；もし容認不可能であれば、分散平面上における光学素子 1 8 を用いて、平行ビームを目標 1 9 に到

10

20

30

40

50

達する前に作成すればよい。光学素子 17 と 18 は互いに分離していてもよいし 1 つの光学素子に一体化してもよい。

【0006】

従来型の質量分離光学系で課せられる電流制限を克服するために、本発明者による（US - A - 4, 578, 589 号に記載の）以前の発明 [6] では、分散平面上に（又はこれに平行に）長尺のイオン発生スロットを置くことによって改善している。これによって、分析磁石で必要とされるスロットの長さや極ギャップ間における実行上の相関関係が取り除かれ、また、1 連の長尺スロットからのビームを分析することが可能となった。図 1 d に、長尺スロット 22 と抽出電極 23 を介してイオン発生源 21 から離れて、分析磁石 25 に入る（分散平面上の）平行ビーム 24 P を有するこのようなシステムの分散平面を示すが、ここで、見かけ上の物体の位置は無限遠にある。このスロットの長さは、解像スリット 26 の（イオンビームシステムの残余の部分の各容認性から見ての）容認可能な発散度と磁石の出口から解像スリットに至る最大の容認可能長によって制限されるだけである。互いの上に積み重ねられた複数のスロットは分散平面上で同じ形状を見る。図 1 e に、長尺のスロットの軸に沿った側面図を示すが、ビームラインは図示しやすいように 1 つの平面に折り曲げられていない。発散ビーム 24 D はイオン発生源 21 から離れるところが表示されているが、その取り出しアパーチャ 22 とビームが抽出電極 23 を形成している。ビームは、（その特定の進入角度となるように）集中レンズ 27 A を発生する（有用な集中又は発散収束 [7] を達成するためのよく知られた技法）角度付き進入分析磁界に進入するが、それによってビームの発散がかなり減少し、次に角度付き退出領域 25 B と 27 B により収束し、理想としては、ほぼ平行なビームとなる。図 1 f に、3 つの取り出しアパーチャ 22 からの複数の（3 つ）ビームレットのビーム 24 M の発生源から磁石までの図を示す。抽出領域における各ビームレットの方向は、分析磁石を最適に伝達するように選ばれる。

【0007】

上記の 2 つの質量分析技法は、全体的なシステム設計に関する周知の関連の先行技術を代表している。他の関連先行技術には、既述の角度付き進入収束 [7] や、磁石多重極収束などがある。

【0008】

磁石多重極収束は加速器ビームライン [8] では一般的に用いられているが、四極子レンズが最も一般的に用いられている。このレンズを図 2 に示す。z 軸 30（x 軸と y 軸に対して垂直）の方向に走行するビームは、2 つの収束平面 y z 31 と x z 32 の作用を受ける。磁化の方向と z 軸に沿ったビーム方向と粒子充電極性によって、これらの平面の内の一方は発散レンズとなり、他方は集中レンズとなる。2 つの四極子レンズを磁極性が交番するように組み合わせて用いると、双方の平面上における全体的な収束は集中的なものとなる [9]。この先行技術によるこれらのレンズの重要な使用法の側面は、荷電粒子の伝搬の一般的な方向はレンズの軸 30 の z 方向に沿っており、円対称のビームであるという点である。

【0009】

あらゆる既存の先行技術の制限は、高ビーム電流を発生する操作に伴う高いコストであり、この状況は、低エネルギーイオンビームに対する需要が増すに連れてますます厳しいものとなってきている。低エネルギーの必要性のため、結果としてのビーム電流損失を伴う抽出電流を低下させる [10] ことになるが、ここでは、本発明者の以前の特許 [6] で述べた「加速 / 減速」抽出又は、抽出の後並びに磁気分析の前もしくは後におけるビームの分離減速方法 [11] が用いられている。これらの技法は、空間電荷問題による制限と、ビーム中の電流密度を最大化して全体的なビーム電流を最大化しようとするることによるビームの収差と、による制限を受ける。

【0010】

これらの問題は、全く分析をしないことによって又は、イオン発生源の取り出しスロットの長さを制限しない又はスロットの数を制限しない分析形状を考案することによって克服

10

20

30

40

50

することができる。一般的な結論としては、第1のオプション（質量分析無し）は、ビーム純度に関する要件があまりに厳しすぎるため集積回路技術の場合実行不可能である。基本的に要望性よりコストという観点から、平坦パネルディスプレイ注入の場合には実現可能であると考えられている。

【0011】

このビーム電流制限に対する理想的な解決策は、イオン発生源の取り出しスロットの数や長さに関係なく用いることが可能な質量分析技法である。

【0012】

第1の主要な態様では本発明によれば、荷電粒子の質量及び／又はエネルギー及び／又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存してこの荷電粒子に作用する装置が提供されるが、この装置は：自身の配列の伸張方向で長手方向に延長する細長磁極から成る配列、すなわち、この磁極の配列の伸張方向に延長し、自身の各側部上にある少なくとも1つの磁極がこの配列を通過している基準表面を含む配列と；磁極配列の磁界に進入する又はこの磁界から発生する荷電粒子を提供する手段であり、この磁極が、基準平面に平行な又は実質的に平行で磁極配列の伸張方向以外の運動方向を有する磁極配列中で移動している荷電粒子に対するパラメータ依存する方向変化を与えるような前記の伸張方向に直角な平面上における構成を有している、前記手段と；を備え、これによって、パラメータに依存して荷電粒子を選択することが、基準平面に対して横断方向の平面上におけるパラメータに依存した分散によって達成される。

【0013】

また、本発明のこの態様によれば、荷電粒子の質量及び／又はエネルギー及び／又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存してこの荷電粒子に作用する装置が提供されるが、この装置は：配列の長手方向軸方向で長手方向に延長する細長磁極から成る配列、すなわち、この長手方向軸を含む又はこれと実質的に平行で、自身の各側部上にある少なくとも1つの磁極が配列を通過する基準平面を有する配列と；前記の長手方向軸から空間置きされた位置で磁極配列の磁界に進入する又はこの磁界から発する荷電粒子を提供する手段であり、この磁極が、基準平面と平行な又は実質的に平行で磁極配列の前記の長手方向軸の方向以外の移動方向で磁極配列中で移動する荷電粒子に対するパラメータに依存した方向変化を与えるような前記長手方向軸に直角な平面上の構成を有する、前記手段と；を備え、これによって、パラメータに依存した荷電粒子の選択が、基準表面に対して横断方向の平面上でのパラメータに依存した分散によって達成される。

【0014】

本発明のこの態様と他の全ての態様に関連して、本発明の特徴を本発明による装置に関して本書に記載する場合、このような特徴もまた、本発明による方法に関連して与えられるものであり、また、このような方法もこの特徴に関連して与えられることを理解すべきである。

【0015】

また、本発明の特徴を様々な態様に関連して記載することが望ましい又は必須である場合、本発明による態様のこれらの特徴の内のどの1つ以上も、その特徴以外の1つ以上のあらゆる特徴と組み合わせて本発明に従って与えられることを理解すべきである。

【0016】

特に、本発明の第1の態様と関連して、荷電粒子の質量及び／又はエネルギー及び／又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存してこの荷電粒子の作用する本発明による方法がまた提供されるが、本方法は：配列の伸張方向で長手方向に延長する細長磁極の配列、すなわち、この配列の伸張方向に延長し、自身の側部にある少なくとも1つの磁極がこの配列を通過する基準表面を有する配列を提供するステップと；この磁極配列の磁界に進入する又はここで発生する荷電粒子を提供するステップと；この基準表面上又はこれと実質的に平行で磁極配列の前記の伸張方向以外の移動方向で磁極配列中で荷電粒子を移動させるステップと；前記の伸張方向に直角な平面上にある磁極構成によって発生した磁界によって荷電粒子の運動をパラメータに依存して方向変化させるステップと；前記の基準表

面に対して横断方向の平面上でのパラメータ依存した分散によって荷電粒子をパラメータに依存して選択するステップと；
を含んでいる。

【 0 0 1 7 】

この基準表面は、磁極の配列を通過する仮想表面から成り、また、本発明の特徴を説明するという目的のために定められていることを理解すべきである。前記の基準表面は物理的な物体の表面に限られない。本発明の全ての態様において、細長磁極の配列は、この磁極配列の前記の伸張方向を定める長手方向軸を有するのが望ましい。この配列の前記の長手方向軸は基準表面に含まれたり、又は、基準表面から空間置きされたりこれと平行であったりする。

10

【 0 0 1 8 】

本態様では本発明の多くの変更例が提供される。磁極配列中を移動する荷電粒子は磁極配列を通過する荷電粒子のビームから成ったり、また、磁気粒子が磁極配列内のある領域中で発生したりする。このパラメータ依存式選択の最も一般的な使用法は、例えば、選択されたイオンビームをイオン注入のために発生する質量分析、すなわち質量分光計や質量分離器で使用するものである。

【 0 0 1 9 】

磁極配列の長手方向軸は、直線の長手方向軸であったり湾曲した長手方向軸であったりする。例えば、細長磁極は直線でも湾曲していてもよい。この長手方向軸は円の全て、又は1部、又は他の曲線を構成したりする。同様に、基準表面は平面、すなわち平坦表面であったり、代替例では、例えば部分的に球形もしくは円筒形の表面などの湾曲した表面であったりする。

20

【 0 0 2 0 】

この長手方向軸に直角な平面上にある磁極構成は、基準表面の両側で幾何学的対称性を有する、すなわち、極の磁氣的方位が対称的であろうがなかろうが、物理的構成部品の対称性は基準表面の周りの対称性である。このような場合、基準表面は、配列の幾何学的対称性を成す基準表面を形成する。

【 0 0 2 1 】

特定の好ましい形態では、磁極の配列は、荷電磁気粒子が磁界による湾曲運動を課せられて通過する拡張された磁界領域が、荷電粒子のビームの収束及び／又は発散、また、基準表面に対して横断方向の前記の平面上における荷電粒子のパラメータ依存の発散のための湾曲した磁界を提供する進入領域及び退出領域と共に両極間に提供されるような配列となっている。パラメータ依存発散とは、異なったパラメータを有する粒子には、磁極配列によって発生する運動方向の変化も異なるということである。本発明による実施形態で最も一般的なことは、ビームの粒子が磁極配列の効果によって収束し、パラメータ依存発散によって粒子のビームがビームの一般的な伝搬方向に沿った様々な焦点に収束するように配置されているという点である。このような配置においては、1つ以上のバリヤを提供して、1つ以上の分析アパーチャを特定のビーム中の所望の種の焦点に提供するのが望ましく、この1つ以上のバリヤがビームの一般的な伝搬方向に沿って整合されるのが望ましい。

30

【 0 0 2 2 】

特定の好ましい形態では、磁極の配列が、基準表面上又はこれと実質的に平行な運動方向で運動している荷電粒子が磁界による湾曲運動を課せられる拡張された磁界領域が、基準表面に直角な平面上で湾曲した湾曲磁界を提供する、この湾曲磁界を通過する荷電粒子のビームを自身に対して垂直の角度で収束させたり発散させたりする進入領域及び退出領域と共に両極間に提供されるような配置となっている。1部の実施形態では、この拡張領域もまた、基準表面に対して直角な平面上で湾曲した湾曲磁界を有している。

40

【 0 0 2 3 】

本発明による実施形態では一般的に、複数磁極配列すなわち多重極とも呼ばれる磁極の配列は、長手方向軸（対称軸であったりする）に対して直角の平面上に分配された磁極から成る配列を含み、その形状は収束要件に適した形状であって、この収束要件で決まる距離

50

だけ離れた磁石の直線又は湾曲した軸方向に沿って延長したものであり、これらの極のこの形状と強度はこの多重極軸に適合している。したがって、多重極を含む平面上には発散はない。公称のビーム方向が軸に沿っている従来の方法で多重極を用いる場合、この極配置は通常は、円の弧の周りに分配された極性が交番する極の内の1つである。本発明の好ましい形態では、自身同士間に幾何学的対称性を有する平面を有する2つの直線状又は湾曲した線に1連の極が配置された形状は、この幾何学的対称性の平面上で公称のビーム方向を有する最も一般的な形状（この形状には限られないが）である。この幾何学的対称平面上にある両極は磁化の方向が類似しているか又は反対方向であり、このためレンズ作用が全く異なった種類のものとなっている。この多重極レンズ作用の最も単純な形態は、ビームが自身を通過する際に偏向（角度付き進入／退出フリンジフィールド収束）するように類似の磁化方向と自身同士間に拡張した磁界領域を有する双極子である。この先行技術では、その発散平面は可変強度双極子（くさび形磁石）の幾何学的対称平面にあり；本発明によるこの態様の好ましい実施形態では、双極子はその長さで適合した特性を有しているため、この平面上では発散はない。

10

【0024】

磁極は電磁氣的に生産することが可能であり、また永久磁石とすることもできる。

【0025】

本発明の好ましい形態における重要な態様は、それが質量に依存し、また、ビーム分析の方法として用いられることである。「質量依存」という用語は、真の状況を簡略化して述べたものである。荷電粒子の経路は、質量だけではなく粒子のエネルギーと帯電状態にも依存する。イオン発生源から抽出されたイオンビームは、イオン種の加速電圧と帯電状態で決まるエネルギーを有している。

20

【0026】

本発明によれば、第2の主要な態様では、荷電粒子のビームの粒子を、粒子の質量及び／又はエネルギー及び／又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存して選択する装置が提供されるが、この装置は自身の伸張方向で長手方向に延長する細長磁極から成る配列、すなわち、伸張方向に延長し、自身の各側部にある少なくとも1つの磁極がこの配列を通過する基準表面を有する配列を備え；これらの磁極は、基準表面上又はこれと実質的に平行で磁極配列の伸張方向以外の一般的な伝搬方向で磁極配列を通過する荷電粒子ビーム又は荷電粒子ビームの連続体をパラメータに依存して収束させるような前記の伸張方向に直角な平面上における構成を有しており；前記の基準表面が磁極配列に関して幾何学的対称性を有する表面であり、磁極配列の構成が、幾何学的に対称な表面に対して直角な平面上におけるパラメータ依存の分散と収束を用いることによって分析を達成するような構成である；ことを特徴とする。

30

【0027】

この幾何学的に対称な表面は、荷電粒子ビームの一般的な伝搬方向の直線であるのが望ましいが、この方向に対して直角な平面上で湾曲していてもよい。

【0028】

第3の主要な態様では本発明によれば、粒子の質量及び／又はエネルギー及び／又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存して荷電粒子ビームの粒子の選択をする装置が提供されるが、本装置は、配列の伸張方向で長手方向に延長する細長磁極の配列、すなわち配列の伸張方向で長手方向に延長し、基準表面の各側部上の少なくとも1つの磁極が配列を通過する基準表面を有する配列を備え、磁極が、磁極配列の長手方向以外で基準平面上又は事実上それに平行な方向に磁極配列内を運動する荷電粒子にパラメータ依存の方向変化を与えるような構成を前記伸張方向に直角な平面上に有し、この構成が、ビームの全体的方向又は伝搬方向に垂直な細長い断面を有する荷電粒子ビームの配列を通過することが可能とするような構成であり、その細長い断面がその基準平面上に又はそれに平行な方向に延びており、これによって、基準平面に対して横断方向の平面上でのパラメータ依存の分散によって荷電粒子のパラメータに依存した選択を達成することができる。

40

【0029】

50

基準平面に対して横断方向の方向に事実上延長された荷電粒子ビームの細長い断面は、通常「リボン状」ビームと呼ばれるものによって与えられる。リボン状ビームは、ビームの全体的な伝搬方向と直交する方向に湾曲することができる（湾曲ビーム）。均一なリボン状ビームは、均一リボン状ビームとしてレンズシステムを通して伝搬される。分析している磁界が長い抽出スロットの軸に平行な主成分を持たず（従ってスロットの長さとは磁極のギャップとのあいだの不調和を回避し）、分散平面が2つの極間の幾何学的対称性平面に平行ではないという点で、この形態における本発明の分散特性は従来型の質量分離器の光学系とは異なるが、分散平面がスロットと直交し得るという点では類似している。本発明のこの態様の分散平面はスロットを含む平面上には決して無く、そのために、分散平面が抽出スロットの平面上にあるという事実によって規定される他の従来型解析技術とは異なる。

10

【0030】

第4の主要な態様では本発明によれば、粒子の質量及び/又はエネルギー及び/又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存して荷電粒子に作用する装置が提供されるが、その装置は、配列の長手方向に延長する細長磁極の配列、すなわち、長手方向軸を含み、基準表面に直角な共通の磁化方向を有する両極を有する基準表面の各側部上にある等しい数の磁極が配列を通過する基準表面を有す配列を備え、この磁極配列は、荷電粒子が磁界によって課せられた湾曲運動で通過する磁界の拡張領域を、基準表面に対して横断方向の平面上で荷電粒子のパラメータ依存分散を与える湾曲磁界となる進入領域と退出領域と共に両極間に提供するような配列であり、磁極配列は磁界の初期拡張領域、1つ以上の中間領域、及び磁界の最終拡張領域を有し、装置は、初期拡張領域内へ入る又はそこから発する荷電粒子を生成する手段を持ち、磁極は、基準表面上又は実質的にこれと平行で、しかも磁極配列の伸張方向とは異なった運動方向で初期拡張磁界領域から移動、これによってこの拡張領域から配列の長手方向軸に垂直な角度で退出し、配列の中間領域を通過し、最終領域とは反対の磁極性を有する最終拡張磁界中に移動する荷電粒子に対してパラメータ依存の方向変化をもたらすような構成を前記伸張方向に直角な平面上に有し、これによって、荷電粒子のパラメータに依存した選択を、基準平面を横切る平面上でのパラメータ依存分散によって達成することが可能となる。

20

【0031】

粒子が均一磁界の初期拡張領域から発する場合、本発明のこの態様の重要な特徴は、荷電粒子ビームの一般的方向が磁界の拡張領域を通過する際に連続的に変化し、また多重極領域を通過する際にはより少ない程度に変化することである。従ってビームに対する単数の「一般的方向」という概念は全体として適切ではない。（後述するような）フリッジフィールド内への角度を成す進入が集中収束又は発散収束にとって必要な条件であるのと同様に、「極配列の直線的又は湾曲した軸から垂線までのある角度で」ビームが極配列を通過するという条件は、強い収束にとって必要な条件である。ビームは連続的に方向を変化させているというだけの理由で、なんらかの弱い2次収束がビームに対してさえも起こりうる。

30

【0032】

ビームに対する「伝搬の一般的方向」という概念は、ビームが磁界の無い空間内から発する場合には適切である。従ってこの第4の態様によれば、荷電粒子は粒子ビームとして例えば初期拡張領域内に進入することができる、又は粒子は磁界の初期拡張領域内で発生することができる。また最終拡張領域内で運動する粒子は、その領域を離れてそれから他の構成部品に移動することができる、又は例えば最終領域内の目標へのイオン注入のために、その粒子は最終拡張領域内で用いることができる。

40

【0033】

極の第1のセット（進入極）間の拡張磁界領域の重要性は、それが強い収束を作るのに必要なマルチプル磁極配列を通して進行する方向を作り出して（この拡張磁界領域に進入するビームが初めはこの進行方向を有していないと仮定すれば）、マルチプル領域内の磁界の強度とともに（特定の質量、エネルギー及び帯電状態を有する荷電粒子に対する）レンズ

50

の作用の強度を決定することにある。退出拡張磁界は、ビームが磁界領域を離れるときにその角度を決定する。

【0034】

本発明の第4の態様に用いられる好ましい特徴は、磁界の初期拡張領域及び最終拡張領域が基準平面に直交する平面に関して実質的に対称であるということである。この平面は初期拡張領域及び最終拡張領域から等距離の位置にあることが望ましい。

【0035】

質量分析システムに進入する均一で平行なリボン状ビームは同じ方向へ進行する均一で平行な分析済みビームとして離れるので、この特別の場合は重要である。進入及び退出磁界が等しいという条件は、等しい磁束を意味する、あるいは望ましい特殊の場合には磁束密度の分布及び形状が等しい（退出磁界は進入磁界の鏡像である）ことを意味する。後者の条件によって、複雑な極形状と極の磁性体をほとんど飽和させる磁界とを用いることが可能となり、またシステムに固有の対称性のためにパラレルイン/パラレルアウトの特性を維持することが可能になる。この磁界配置は本来的に均衡しており、このことは多くの実際的な長所を有する。

【0036】

本発明の主態様は、質量分析の機能だけでなく、エネルギー分析及び帯電状態分析の機能をも含んでいる。粒子の初期帯電状態は所与の加速電圧に対するエネルギーを決定する。帯電状態は（例えば中性ガス分子との相互作用によって）伝達中に変化し得るが、単一の帯電状態から中性への変化は、イオンにとっては特に重要である。これによって、引き続き静電加速の後にビーム内での多くの異なった粒子エネルギーに導かれる。例えば低エネルギーの半導体注入に対しては、ビームの減速が望ましい。ビーム中のいかなる中性粒子も減速されないの、ビーム中の高エネルギーイオン不純物は極めて好ましくない。次の等式に従えば、磁気分析は質量、エネルギー及び帯電状態に対して感度がよい：

$$R = 143.95 \frac{SQR(MV/e)}{B}$$

ここでRは磁界内のイオンの円運動の半径であり、Bはガウスでの磁束密度であり、Mは原子量単位でのイオン質量であり、Vは加速電圧であり、eは帯電状態である。

【0037】

従って加速段又は減速段の前後で多重極レンズを用いることによって、（特に加速又は減速前の）望ましくない帯電状態又は（特に加速又は減速後の）望ましくないエネルギーを有するイオンを濾過して除去することが可能となる。

【0038】

第5の主要な態様では本発明によれば、粒子の質量及び/又はエネルギー及び/又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存して荷電粒子に作用する装置が提供されるが、この装置は、配列の長手方向に延長する4つの細長磁極の配列、すなわち、長手方向軸を含み、基準表面の各側部にある2つの磁極が配列を通過する基準表面を有し、磁極が、基準表面に直角な磁化方向を有する第1の対の両極間に実質的に均一な磁界から成る第1の拡張領域と、反対の磁化方向を有する他方の2つの磁極同士間に実質的に均一な磁界から成る第2の拡張領域と、を与えるような構成を前記長手方向軸に直角な平面上に有し、これら2セットの磁極間の領域が四極子磁界領域を形成し、磁極が、磁極配列の長手方向軸の方向以外でかつ基準平面上の又はそれに実質的に平行な方向に磁極配列内で運動する荷電粒子に対してパラメータ依存の方向変化を与えるような構成を前記長手方向軸に直角な平面上に有し、荷電粒子は第1の磁界中のパラメータ依存の湾曲軌跡と、四極子磁界領域に達しない高曲率軌跡と、四極子磁界領域を通過する低曲率軌跡と、四極子磁界領域中をそれに沿って通過する特定のパラメータに依存する軌跡と、を移動し、これによって、四極子の軸上に収集手段を置くことによって荷電粒子のパラメータに依存した収集が達成可能となる。

【0039】

第5の態様は、質量分離又は質量分光測定のために特定の質量種を収集する非常に高い解像度を有する技法である。それは、ビームが四極子に軸に沿って進行する際のその不確実

な光学のために、イオン注入のためのビーム形成には適していない。それはイオンビームシステムの部分（又は全て）であり得、そのレンズはイオンビームを分析してそれを目標に送出するために用いられるが、このレンズを通過するビームの内容を分析する付加的機能を有している。

【0040】

ビームが多重極「から偏向する」という状況が起こり得る。このような状況は、進入極の方向が磁化の方向と類似しており、またビームが偏光方向を変える多重極内の磁界方向になる前に、特定の質量、エネルギー及び帯電状態のビームを多重極軸に平行に変化させるのに十分なほど進入極の磁界が強くまた広い場合に当てはまる。極端な場合、ビームは多重極軸方向に沿って進行するという状況になりかねない。ビームが多重極領域内にある間に
10
なんらかの質量依存の収束を経ながら、質量のごくわずかの増大によってビームは多重極領域内へ伝達され、またわずかの減少によって多重極領域への粒子の接近及びそれからの離反が引き起こされる。

【0041】

第6の主要な態様では本発明によれば、粒子の質量及び／又はエネルギー及び／又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存して荷電粒子に作用する装置が提供されるが、この装置は、配列の長手方向に延長する4つの細長磁極の配列、すなわち、磁極配列の伸張方向に延長し、基準表面の各側部にある少なくとも1つの磁極が配列を通過する基準表面を有し、磁極配列は、荷電粒子が磁界によって課せられた湾曲運動で通過する磁界の拡張領域を、基準表面に対して横断方向の平面上で荷電粒子のパラメータ依存分散を与える湾曲磁
20
界となる進入領域と退出領域と共に両極間に提供するような磁極であり、磁極は、基準表面に対して直角の磁化方向を有する2つの磁極間に拡張磁界領域を与える構成を前記伸張方向に直角な平面上に有し、磁極は、磁極配列の長手方向以外で基準平面上又は事実上それに平行な方向に磁極配列内を運動する荷電粒子にパラメータ依存の方向変化を与えるような構成を前記伸張方向に直角な平面上に有し、ビーム又は複数のビームが、拡張磁界のパラメータ依存湾曲軌跡と、拡張領域内の高曲率軌跡と、拡張磁界領域を通過する低極率軌跡と、を移動し、これによって高曲率ビーム軌跡の反射及び低曲率ビーム軌跡の伝達又は収集によってパラメータ依存のビームの分離が可能となり、拡張磁界領域は選択的反射鏡として作用する。

【0042】

この態様の最も有用な応用例は、ビームをある角度、例えば45度で多重極拡張領域に進入させ、それを90度の反射角で反射させて取り出す場合である。これはある値以下の質量を反射し、それ以上の質量を伝達又は収集する。ビームの形状が許せば、反射ビームの質量依存収束を用いて分析を行うことが可能である。反射の応用例のためには、多重極は双極子（又は四極子）であるだけでよい。

【0043】

上記の態様で説明された光学系によって、必要な特性を有する目標へ送出することができる質量分析済みビームを達成するために必要な質量依存特性が与えられる。本発明を利用するために必要な技法には、望ましくない質量種の除去及び必要とされる光学系を伴ったビームの形成が含まれる。本発明は単一の多重極レンズ構造体として説明されており；最
40
適な特性を達成するために用いることができるレンズの数と同様に、多重極内の極の数は重要な要件である。

【0044】

磁極の配列は、非垂直な方向で配列に進入するイオン注入ビームに作用するように置かれ、引き続き実質的に水平な目標へイオンを注入するために、そのビームを偏向させてその領域から実質的に垂直な方向へ退出させるように配置されるのが好ましい。この配置によって、例えば水平な又は事実上水平なコンベヤ上で移動する水平な又はおおよそ水平な目標内へのイオン注入のための特定の使用法が見出される。その場合、垂直な又はほぼ垂直な粒子ビームによる注入が望ましい。これが首尾よく配置されれば通常は、目標の移動するコンベヤベルトの上に直接置かれた、垂直ビーム発生用の構成部品を提供する必要があ
50

る。このことはウェハ上に落ちてそれを汚染するという粒子の短所を引き起こす。本発明の実施形態によって、水平な又はほぼ水平な平面上で注入ビームが発生し、また必要な角度でビームが反射又は偏向されて事実上垂直に現れることが可能になる。

【0045】

第7の主要な態様では本発明によれば、粒子の質量及び/又はエネルギー及び/又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存して荷電粒子ビームの粒子の選択をする装置が提供されるが、この装置は、配列の長手方向に拡張する細長磁極の配列すなわち、磁極配列の伸張方向に延長し、基準表面の各側部にある少なくとも1つの磁極が配列を通過する基準表面を有し、磁極が、基準表面上又はこれと実質的に平行で、しかも磁極配列の伸張方向とは異なった一般的伝搬方向で磁極配列を通過する荷電粒子ビーム又はビームの連続体をパラメータに依存して収束させるような構成を前記伸張方向に直角な平面上で有し、この磁極の構成が、パラメータに依存する位置をクロスオーバに収束させるような構成であり、また、そのクロスオーバに位置するアパーチャを通る必要な種の粒子伝達を可能にする解像構造体が提供される。

10

【0046】

本発明のこの態様は、幾何学的対称性平面に平行であるが、必ずしもそれに沿わない全体的伝搬方向を有し、また必ずしも幾何学的対称性平面上ではない位置でクロスオーバ(収束)に達するビームの一般的な場合をカバーする。

【0047】

本発明の第7の主態様で用いるための好ましい特徴によれば、その基準平面は磁極配列に関して幾何学的に対称な面であり、解像構造体のアパーチャはその幾何学的対称性平面上に配置される。

20

【0048】

この態様は、発生源抽出領域から分散するビームが、レンズ構造体(中心平面)の対称性平面と一致する又は見かけ上無限遠の目標の位置から来る平行ビーム(必ずしも中心平面に関して対称でない、又は重要な実用的実施形態ではその一面に対して完全に対称である)と一致する全体的伝搬方向と見なされる対称軸を有するような重要な実用的実施形態をカバーする。クロスオーバ(収束)はレンズ平面上で起こる。これら2つの形状は、ビームの中央に解像構造体を有し、従ってビームの中央部分は無くなっている。従ってその構造体は、これらの構造体を真っ直ぐに保持する張力技術によってできるだけ薄くする必要がある。電極としての解像構造体の存在は、それがゼロ(接地)電位の中央領域を生成して、(空間電荷を減少させるために)抽出領域内のビームの中央への2次電子の注入を可能にするので、高パービアンス(高い空間電荷)のビームにとっては好都合である(本発明の態様を参照)。一般に空間電荷が本発明では問題にならないことに注意することは重要である。その理由は、レンズ領域内には電界が存在せずまた本発明では比較的低い電流密度のビームを用いることができるので、ビームは中性化された空間電荷だからである。これは、発生源から目標へ伝達されるビームのサイズ及び数に対する制限が欠如していることによる。

30

【0049】

解像構造体は、通常はスリットであるアパーチャを通過するビームの伝達を可能にし、また解像構造体に沿った他の位置にクロスオーバを有する全てのビームを取り除く。非常に高い質量のビームは、レンズ平面に沿ってかなりの距離のクロスオーバを有するか、又は全くクロスオーバを持たない(抽出領域から発散するビームは発散したままであるか、又は限定された場合には平行になる)。これらの非常に高い質量のビームは、必要とされる質量のビームの伝達を妨げることなしに取り除かれなければならない。

40

【0050】

好ましい特徴に従えば、解像構造体によって妨げられる範囲を超えて軌跡を進む粒子の伝達を妨げるために、解像構造体を通過する収束ビームの全体的伝搬方向を横切る平面上に位置する伝達制限構造体が提供される。

【0051】

50

この技法は、第2のアーチャーを通過できる発散高質量ビームを取り除くようには見えない。第2アーチャーに関連した解像構造体の形状が正しく選択されていれば、高質量ビームの完全な除去が達成できるように思われる。ある状況下では、特にビームが細い（低発散である）場合には、解像構造体なしに第2の伝達制限アーチャーが用いられる。例えば細いスリットを用いて、それを通して収束していない粗悪なビームを除去し、また引き続く質量分析に役立つ、不所望ビームの最大発散の低減によって、さらに先のレンズに伝達されるビームの質を改善する。

【0052】

解像構造体の一部が、発生源の方向へビームの中央の軸に沿ってレンズ進入領域から離れた磁界の無い領域内へ延長できることが述べられたが、そこでは空間電荷の電位をビームの中央で低下させながら2次電子をビームの中央を通して抽出領域の方向に伝達できる。これによって、低エネルギーの注入には特に重要な、高パービアンスの（高い空間電荷の）ビームの発散が低減される。

10

【0053】

第8の主要な態様では本発明によれば、全体的な粒子の抽出方向を横切る方向に延びた細長荷電粒子発生源から正の荷電粒子を抽出するための抽出アセンブリが提供され、その抽出アセンブリは減速領域に引き継がれる加速領域を有して荷電粒子ビームを生成するが、その光学系は抽出された荷電粒子の空間電荷によって大きく影響され；アセンブリは浮動電位又は制御された電位の導電性材料の細長素子を含んでおり、それはビームの中央部にかつ発生源領域の長手方向軸に平行に配置され、また正イオンを静電的に減速する領域内に又は磁界の無い領域内に位置しており；その配置によって、細長素子に衝突する荷電粒子によって生成された2次電子の存在と電極として作用する素子の存在とが組み合わせられて、ビーム中央部における空間電荷を減少させ、その結果有効に抽出され得るビーム電流が増大する。

20

【0054】

この態様におけるワイヤ又は細片は、特にビームの損失を最小限にするためにそれらが非常に細い場合には、引っ張って真っ直ぐに保持できる。これはスパッタリングに起因する腐食の問題を引き起こす。本発明の他の態様では、表面が特に原子又は分子イオンの形態の望ましくない荷電粒子に衝突されて、その結果望ましくない腐食、例えば表面層及びフレークの形成をもたらす。本発明のようにこれらの領域が必要なビームに非常に接近しているときは、これらの粒子によって衝突されている材料は連続的に及び好ましくは自動的に取り替えられるのが望ましい。

30

【0055】

第9の主要な態様では本発明によれば、ビームの一般的伝搬方向に垂直な細長い断面を有する荷電粒子ビームを生成する又はそれに作用する装置が提供され、そこにおいて装置はビームの長手方向軸に沿って並ぶ細長素子を含み、それは荷電粒子ビームをインタセプトし、それらを取り除き、又は別様に荷電粒子ビームの動作に影響を与えるために用いられ、従ってそれは荷電粒子との接触により劣化しやすいので、細長素子をその長手方向に移動させて、荷電粒子との接触により劣化したその部分を取り替えるための手段を備えている。この装置は移動するワイヤ又は細片を含んでおり、それらは荷電粒子ビームをインタセプトするために用いられて、それによってそれらのビームを除去し又は別様に荷電粒子ビームの動作に影響を与えて、その除去プロセスによって、破断又は無効果を来たしかねない余計な腐食が防止され、又はビーム又はシステムの他の場所で行われている全てのプロセスに望ましくない影響を及ぼしかねない表面物質形成又はフレーク形成が防止される。

40

【0056】

この態様は、ワイヤを真っ直ぐに保持するための張力印加を含むように拡張することができる。解像及び伝達スリット構成部品のような構成部品に対する張力印加はそれ自体発明的態様と見なし得るが、大きなリボン状ビームを取り扱う場合にはこれは特に重要である。

50

【 0 0 5 7 】

第 1 0 の主要な態様では本発明によれば、ビームの一般的伝搬方向に垂直な細長い断面を有する荷電粒子ビームを生成し又はそれに作用するための装置が提供され、そこで装置はビームの長手方向軸に沿って並ぶ細長素子を含んでおり、それは荷電粒子ビームをインタセプトする又は別様に荷電粒子ビームの動作に影響を与えるために用いられ、また装置は細長素子を真っ直ぐに保持するための張力印加手段を備えている。

【 0 0 5 8 】

1 つ以上のワイヤ又は 1 つ以上の細片の移動と張力印加は 1 つのさらに発明的な組み合わせである。

【 0 0 5 9 】

これまで検討されてきた本発明の重要な態様は、ビームの形成よりもむしろ分析に関連している。これらの多重極レンズは光学系の中で用いるための汎用ラインレンズであり、それらは別の光学素子内に進入させるために又は目標に送出するためにビームを収束又は平行にするために用いることができる。収束は常に質量に依存しているので、システムの解像力を増大させるための引く続く収束操作にとっては望ましい傾向が存在する。個々のレンズ / 解像スリットの組み合わせによる解像力は、形状的な要因によって変化する。

【 0 0 6 0 】

質量分析とビーム形成の組み合わせの最も簡単な例は、強い多重極レンズの使用である。レンズは例えば発散ビームを集中ビーム又は平行ビームに収束させるために用いられる。前者の場合には、クロスオーバへの収束を解像スリットにおける質量分光測定のために用いることができるが、その結果形成される分析後の発散ビームはおそらく最終的な要件ではない。ほとんどのイオン注入プロセスに対しては、理想的なビームは平行ビームである。

【 0 0 6 1 】

簡潔化のために、本発明の先行する態様で説明されたタイプの多重極レンズをここでは簡単に「ラインレンズ」と呼ぶ。

【 0 0 6 2 】

強いラインレンズは、レンズ領域内でクロスオーバが達成され、そのクロスオーバの後にビームが同じレンズ内で収束し続けるようなレンズであると見なされる。これは、単一のラインレンズを用いて分析し、それから平行に収束することが可能であることを意味する。従って前記の第 1 0 の主態様には更なる重要な特定の態様が存在する。

【 0 0 6 3 】

好ましい特徴に従えば、多重極配列内の解像スリットを通して伝達されるビームをさらに引き続いて収束させることによって必要とされる光学的特性を有するビームを生成するように、クロスオーバの位置が選択される。

【 0 0 6 4 】

最もありそうな「必要とされる光学的特性」は平行ビームである。平行ビームが目標に直接送出される場合には、これは特に有用なラインレンズ形状である。レンズを離れるビームの質は「標準の」レンズほど良好ではないが、質量分散は優れている。多重極レンズの光学系内で強いレンズを用いる場合、このことを考慮しなければならない。

【 0 0 6 5 】

2 つのタイプのラインレンズが、幾何学的対称性平面を横切る極配列の観点から次のように呼ばれる：

2 つの幾何学的に対向する極間の磁界が幾何学的対称性平面と交わるような「横断磁界」ラインレンズ。

【 0 0 6 6 】

2 つの幾何学的に対向する極間の磁界が幾何学的対称性平面に沿って進むような「軸方向磁界」ラインレンズ。

【 0 0 6 7 】

横断磁界ラインレンズは、反射条件への接近によって多重極磁界との相互作用を生じ、また強化された質量分散を引き起こすので、強いレンズである。所与の導体電力消費量に対

10

20

30

40

50

して、横断磁界レンズは一般に軸方向磁界レンズよりも非常に強い。

【 0 0 6 8 】

検討されている本発明の態様はここで、単一ラインレンズからの質量分光測定とビーム光学系の両方を含んでいる。1つ以上のレンズを用いる理由は多くある：

a) (エミッタンス [1] によって測定された) ビームの質は、達成可能な解像力 [1 2] を決定する。ビームを狭い伝達制限アパーチャを通過させることによって、又はより望ましくは伝達制限アパーチャと解像アパーチャの両方の組み合わせを通過させることによって、エミッタンスを改善できる。こうして収束の第2段は、入力ビームの改善された質と2重収束の累積効果に起因する強化された解像力を示すことができる；

b) 2レンズ光学系によって複数のクロスオーバーが可能となりその結果、イオン衝撃によって生じたかなりの量のスパッタリング物質を生成する抽出領域と第1レンズ質量分光測定領域、及び目標との間に非常に良好な「非照準線」特性が得られる。不純物に対する半導体の敏感さのために質量分光測定は必要であり、従って目標への到達から起因する他の形の汚染を防ぐためにもまた同様に厳しい予防措置を講ずることが必要である。

c) 磁気ラインレンズからの出力光学系は、引き続き加速段又は減速段の必要性によって決定される。加速は自然に集中させる収束プロセスなので、発散ビームが望ましい。高パービアンスビームの減速より、空間電荷ビームのブローアップの考慮が優先する。単結晶シリコンの注入においてチャネリング放出が重要である場合には、正確に平行なビームが必要である。この場合「標準の」レンズが好ましい。

d) イオンビームが、分析システムを通して伝達されるべき必要な種よりもかなり軽い原子又は分子種のかなりの部分を含む場合、第1レンズはこの種の除去専用の弱いレンズであることが望ましい。この結果は、そのような軽いイオンが抽出領域に反射し返されるような横断磁界ラインレンズに対してだけ重要である。

【 0 0 6 9 】

好ましい特徴に従えば、第1配列を退出するビームのパラメータ依存収束を行うように配置されたさらに1つ以上の細長磁極及び関連する解像構造体が提供され、そのために、配列構成要素の組み合わせが、スパッタリング等に起因する汚染粒子のための結合システムを通る照準線を不明瞭にする。

【 0 0 7 0 】

2つ以上のラインレンズを用いて特定の光学的要件を実現する各種の方法が存在する。一般的に、第1レンズは(目標の位置は抽出条件によって決定されるので)第1アパーチャを通る必要なビームを収束させるのに適合するように独立に制御できる必要がある。その次のレンズは独立に制御可能である必要はない。ダブルレットレンズとトリプレットレンズは、通常の電源を用いることによって電源の要件を簡単にすることができるので、必要な導体の数を低減してレンズ系の長さを短縮できる。

【 0 0 7 1 】

その後ダブルレットが続く独立した第1レンズから成る3レンズ系の使用例は、第1レンズの軸が次のダブルレットの軸と一致しないような複数レンズを用いる別の態様を導入する。この非対称の方法の長所は、ビームの中央部における解像平面の必要性を回避できるということである。空間電荷ビームのブローアップに起因する抽出発散問題が存在せずその結果極めて低発散のビームを生成するような低パービアンスのビームに対して、このことは特に重要である。最も簡単な例は第1レンズによって平行ビームに収束されたビームの場合であり；この平行ビームは偏心するダブルレットの第1レンズに入るが、そのダブルレットの倍率は、幾何学的に対称なダブルレット平面の他の面上で今度は偏心するビームと平行ビーム - クロスオーバー - 平行ビームの形状を与えるように選択される。次に、平行出力ビームを幾何学的対称性平面の第1の面に返す反復プロセスが続く。このビーム形状は良好な解像力と優れた照準線状況を与える。

【 0 0 7 2 】

第11の主要な態様では本発明によれば、粒子の質量及び/又はエネルギー及び/又は帯電状態を含む1つ以上のパラメータに依存して荷電粒子ビームの粒子の選択をする装置が提

10

20

30

40

50

供されるが、この装置は：配列の第1の長手方向に延長する細長磁極の第1の配列、すなわち、配列の第1の伸張方向で長手方向に延長する細長磁極の第1の配列であり、この配列は、第1の伸張方向で延長し、基準表面の各側部にある少なくとも2つの磁極が配列を通過する第1の基準表面を有し、磁極が、基準表面上又は実質的にこれと平行で、しかも第1の伸張方向とは異なった一般的伝搬方向で磁極配列を通過する荷電粒子ビーム又はビームの連続体をパラメータに依存して収束させるような構成を第1の伸張方向に直角な平面上に有し、前記第1の基準表面が、第1の磁極配列に関して幾何学的対称性を有する表面であり、また、磁極の構成が、第1の配列を退出する平行ビームを収束させるような構成である第1の配列と；第2の配列の第2の伸張方向で長手方向に延長する第2の細長磁極配列であり、この配列が、第2の伸張方向に延長し、各側部にある少なくとも2つの磁極が配列を通過する第2の基準表面を有し、第2の基準表面が、第2の基準表面に対して平行でまた、これから間隔置きされており、前記平行ビームが、第2の基準表面中に導入され、これからオフセットされている第1の配列から退出し、第2の配列の磁極が、第2の基準表面上又は実質的にこれと平行でしかも第2の磁極配列の第2の伸張方向とは異なった一般的伝搬方向で第2の磁極配列を通過する平行ビームをパラメータに依存して収束させるような構成を第2の伸張方向に直角な平面上に有し、前記第2の基準表面が、第2の磁極配列に関して幾何学的対称性を有する表面であり、第2の磁極配列の構成が、第2の基準表面の反対側のクロスオーバから出現するビームとのパラメータ依存したクロスオーバに収束させるような構成であり、クロスオーバの前後にあり、第2の基準表面から自身の反対側にビームに対してオフセットされて位置付けされている構成部品によって解像アパーチャを画定するクロスオーバのところに解像構造体を提供する第2の配列と；を備えている。

10

20

【0073】

別個の平行な対称性平面を有する2つ以上の複数磁極配列ラインレンズから成る装置が提供され、それらは荷電粒子ビーム又はビームの連続体又は対称性平面を横切ってかなり延長したビームを質量に応じて収束させ、それらのビームは複数磁極ラインレンズを通る対称性平面に平行な全体的伝搬方向を有し、平行ビームの第1の収束によって質量分析が可能となり、この平行ビームはそれから次のレンズの対称性平面の1面上に偏心して導入され、この対称性平面上の1つ以上のクロスオーバに収束し、またビームの対称性平面の反対側の解像構造体が提供されて、この構造体の1つ以上のアパーチャの位置でのクロスオーバを伴うビームの伝達が可能となる。

30

【0074】

この技法の1つの特徴は、解像構造体が幾何学的対称性平面の一方又は他方のどちらかの面上にあるために、解像構造体は「無限に薄く」できるということである。

【0075】

本発明の次のそして最も重要な一般的態様は、リボン状ビームは分析システムの対称性平面に沿って進むので、要求されるビーム電流を達成するのに必要な多くのビームが存在し得るという事実である。磁気回路は横断磁界レンズに対しては直列であり、軸方向磁界レンズに対しては交互の平行/逆平行の構造を有する。

【0076】

本発明の好ましい特徴に従えば、それぞれが隣接するシステムと共通の磁気回路の少なくとも一部を共有する等間隔に配置されたそれぞれの基準平面を有する複数のビームシステムが提供される。

40

【0077】

本発明のこの態様と前記の態様との組み合わせによって、利用できるビーム電流に対する実際の制限が事実上存在しないような完全に分析済みのビームラインシステムが可能となる。

【0078】

第12の主要な態様では本発明によれば、目標素子へのイオン注入又は他の反応を行うために目標領域に進入するイオンビームを生成する手段を備えている装置が提供され；そこ

50

において目標領域は多重極磁気閉じ込めによって囲まれ、そのために目標領域内で形成された荷電粒子は、目標との反応又は背景ガス又は蒸気との反応又は他のプラズマ発生手段によって保持され、またビームはカスプの平行なセットの間の又はそれを通る領域を通過することが可能となり；目標領域内に置かれた又はそこを通る又はその中で機械的に走査される目標素子の表面上の正又は負の極性の表面電荷の中性化のための目標領域内で、電氣的に中性なガスプラズマが形成され又は保持され得るような配置を有する。

【 0 0 7 9 】

本発明の前記の主態様は、非常に大きなイオンビーム電流が、表面電荷の問題を引き起こしやすい半導体ウェハ又は平坦パネルディスプレイ等の目標へ送出されることを可能にする。本発明にとって非常に重要なことは、表面荷電を防止する手段が使用できるということである。

10

【 0 0 8 0 】

第 1 3 の主要な態様では本発明によれば、粒子の全体的抽出方向に対して横断方向の方向に細長い細長荷電粒子発生源からの荷電粒子を抽出するための装置が提供され、その装置は：細長発生源の長手方向軸を含む平面の各面上に位置する電極構造体によって生成された 2 つの電界構成要素から形成された電気抽出領域を生成する手段と；電気抽出領域を細長発生源の方向に又はそれから離れる方向に移動させる手段と；抽出領域の 2 つの電界構成部品の間の相対運動を生成する手段とを含む。

【 0 0 8 1 】

本発明のこの態様は、広範囲な抽出電圧を最適化するための抽出領域の形状的な必要性に関する。これを達成する従来の方法は単に、抽出電極を高い抽出電圧で発生源領域から離れるように移送させて、過度に高い電界勾配の抽出ギャップを横切るブレイクダウンを防ぎ、また抽出電極アセンブリを低い抽出電圧で発生源に接近するように移動させて、電界を可能な限り高く維持して抽出済みビーム電流を最大化することである。この単純な電極移動は理想的ではない；理想的には抽出電極内のアパーチャの幅は、電極が発生源に近づくにつれて減少し、電極がそれから離れるにつれて増大するはずである。

20

【 0 0 8 2 】

これを達成するには 2 つの方法がある。第 1 は、抽出光学系の制御と（必要な方向以外へのビームの抽出を引き起こす意図しない小さな整合不良を補正する）ビームの整合とのために電極構造体の 2 つの独立した半分を個別に機械的に移動させる方法である。もう 1 つは、静止した電極の配列を備えて電極電位分布をこれらの電極に沿って移動させ、可変の抽出領域形状を形成して、これらの電極を横切る（すなわち、ビームの両側の）領域を変化させて整合を補正する機能を達成する方法である。

30

【 0 0 8 3 】

（発明を実施するための最良の形態）

次に本発明の実施形態を、周知の装置を図示する 1 部の図面を含む以下の添付図面を参照して例示して説明する。

【 0 0 8 4 】

上述されたように、イオン注入と粒子加速器のための従来の及びより最近の質量分析の先行技術が、図 1 a ~ 1 f に示されている。図 1 e の進入極と退出極及び図 2 の四極子レンズでの収束作用に関して述べられた傾斜境界フリンジフィールド収束は、関連する磁気収束の先行技術を表す。

40

【 0 0 8 5 】

第 1 の態様において本発明は、荷電粒子ビーム及び特にイオンビームの質量依存収束を達成できる長い（真っ直ぐな又は湾曲した軸に平行な）多重極配列を用いてイオンビームを収束するという概念に基づいている。その概念はイオンに限定されたものではなくて正又は負の極性を有する全てのタイプの荷電粒子に当てはまるが、イオンビームが当面の重要な応用例を表すので、本説明ではイオンビームに言及する。磁極配列によって形成された成形磁界を通過するイオンは、質量に依存した（またエネルギーと帯電状態にも依存した）元の経路からの偏向を経、そしてそれは、望ましくないビームをインタセプト表面で消失

50

させつつ、必要とされる質量イオンビームを選択的に伝達することによって、質量分析を達成するために用いられ得る。

【0086】

多重極領域内への進入は第1の2つの極間の空間を通してイオンビームに突き当たるので、多重極配列を、間をビームが通過する一連の双極子であると便宜的に見なせる。第1の態様の一般的な場合では、これらの双極子は特別な対称性を持たないで配置される。双極子はそれ自身多重極の最も単純な形態なので、多重極は、互いにそれらの磁界が相互作用できるほど十分接近している双極子の1つ以上のセットであると見なせる。双極子の分離が増大するにつれて相互作用は減少してゆき、ついには、それらは独立した双極子と見なすのがより適切であるという点まで達する。本発明の重要な態様は単一の双極子の動作から明らかであり、最も単純な実用的実施形態は2つの双極子又は1つの四極子から構成されるのが最もよい。

10

【0087】

本発明は全体としてまず、図3a～3fに示される単一の特定の実施形態を参照して説明される。それから本発明の基本的概念が図4a～5bを参照して説明される。そして残余の図を参照して更なる態様が説明される。

【0088】

図3aは、リボン状荷電粒子ビームの質量分光測定のための本発明の実施形態の3次元図示表現である。図3bは、分析磁石の対の2つのあいだに延びる平面で切り取った図3aの装置の平面図である。図3cは、発生源に平行な矢印Aの方向に切り取った、図3aの装置の端面図である。

20

【0089】

図3aに示すように、細長磁極311の配列は図3dに示す電磁コイル330によって付勢され、概念的磁力線312によって示されるように図の左の磁極を通して上方に及び図の右の磁極を通して下方に方向づけられた質量分析磁界を生成するように配置される。細長磁極配列は、図3bの長手方向軸350の方向に延長する。配列は図3cの320で示される基準平面を有する。

【0090】

ガスプラズマ放電発生源から生成された荷電粒子例えばホウ素イオンの実質的に平行なりボン状ビーム314の発生源313は、隣接磁極対311A、311Bの間のギャップ315の方向に向けられ、それから磁極対311C、311Dの間のギャップ316を通るように配置される。ビームは、図3cには示されているが図3aでは明瞭化のために省略されている一連の積み重ねられた発生源スロットから、この対の上方及び下方を反復して通る。

30

【0091】

磁極311Aと311Bの間の磁界は、ギャップ315の大部分にわたって磁極311A、311Bに実質的に垂直であるが、312A及び312Bで示される境界フリンジフィールドでは湾曲している。同様に磁極311C及び311D間の磁界は、ギャップ316のエッジにおいて湾曲した境界フリンジフィールドを有する。

【0092】

リボン状ビーム314は実質的に均一であるが、発生源スロット313と第1の磁極対311A、311Bとの間でわずかなビームの発散が存在する。図の中で、ビーム314の中心平面は320で示され、ビームの発散はビーム314のエッジ部分321及び322によって図示される。

40

【0093】

ビーム314がギャップ315に侵入すると、荷電粒子ビームに対する磁界312の影響によって、ビーム314は湾曲経路内に屈曲されて図3bの平面図において右方に進む。ビーム314は、磁極311A及び311Bの前面に垂直なギャップ315の進入領域に入る。これはこの実施形態に特有の条件である。その結果、湾曲進入フリンジフィールド312Aはリボン状ビーム314の中心平面320からの発散にたいして大きな影響を与

50

えないので、ビームがギャップ 3 1 5 を通って湾曲経路に屈曲されて図 3 b の右方に進むあいだ、ビーム 3 1 4 の発散 3 2 1、3 2 2 は続く。

【 0 0 9 4 】

しかしながらビーム 3 1 4 がギャップ 3 1 5 から退出するときは、ビームの斜めになった退出角度のために、湾曲境界フリンジフィールド 3 1 2 B の効果は、この例では収束レンズの効果によってビーム 3 1 4 の発散 3 2 1、3 2 2 を収束させることである。実際の実施形態では大きさ及びフィールドの強さは、ギャップ 3 1 5 から現れるビーム 3 1 4 が平行面を有するリボン状ビームになるような発散角度を有するように設定される。これはまたビーム内の粒子のエネルギー、質量及び帯電状態にも依存する。従ってビーム内の粒子の所与のエネルギー及び電荷に対して、より重い粒子はより小さな集中の効果を及ぼされ、より軽いイオンはより大きな集中の効果を及ぼされる。実際の実施形態ではパラメータは、必要な種がギャップ 3 1 5 から平行面を有するリボン状ビームとして退出するように設定される。

10

【 0 0 9 5 】

図 3 b を参照して、ギャップ 3 1 5 から退出するリボン状ビーム 3 1 4 は平面 3 2 0 の平面図に見られるように非湾曲経路をたどる。磁極 3 1 1 の 2 つのセット間のこの領域にはビームに作用する磁界が存在しないので、ビームは直線経路をたどるのである。実際は磁極 3 1 1 の 2 つのセットは互いに接近して配置されているので、ビーム部分のこの部分は実際小さいが、他の配置においては経路は必要に応じて長くできる。

【 0 0 9 6 】

20

ビームが磁極 3 1 1 の第 2 のセットに到達すると、平行リボン状ビームが第 2 ギャップ 3 1 6 に進入する傾斜角で結合された湾曲境界フリンジフィールド 3 1 2 C は、図 3 c に示すようにビームに対して収束レンズの収束効果を及ぼす。さらにギャップ 3 1 6 内の下向きの磁界の効果によって、図 3 b の平面図に見られるように中心平面 3 2 0 内ビーム 3 1 4 の運動の湾曲経路が形成される。ギャップ 3 1 6 への進入に際してのフリンジフィールドの収束効果は、進入境界だけで発生する。図 3 b の平面図に示されるビームの湾曲経路は、ギャップ 3 1 6 を通るビームの運動全体にわたって影響を受ける。

【 0 0 9 7 】

必要とされる荷電粒子の種に対して、ビーム及び分析磁石のパラメータは、平面図で見た場合、第 1 ギャップ 3 1 5 への入射における伝搬方向と同じ伝搬方向にビームが現れるように配置される。

30

【 0 0 9 8 】

しかしながら図 3 a の 3 次元図面の垂直平面で考えると図 3 c の側面図に示されるように、第 2 ギャップ 3 1 6 から現れるリボン状ビームは湾曲境界磁界の効果のために収束する。退出するビーム 3 1 4 の集中は、図 3 c の 3 3 1 で示される焦点に収束し、発生源 3 1 3 を離れる元のビーム 3 1 4 内の種が異なればその焦点も異なる。元のビーム内のより重い荷電粒子は分析磁石からより遠い距離で収束し、(同じ粒子エネルギーに対して)より軽い質量の荷電粒子は発生源により近い点で収束する。

【 0 0 9 9 】

ビーム 3 1 4 内の必要とされる種だけの最終的退出を可能にするために、必要とされる種のための質量分析アパーチャが焦点 3 3 1 において与えられている。これは 2 つの主要な形態で達成される。図 3 c に見られる形態では、磁気アセンブリ 3 1 1 から退出するビーム 3 1 4 の中心平面 3 2 0 に沿って配置された薄いバリア 3 3 2 が与えられる。アパーチャ 3 3 3 がバリア 3 3 2 内の必要とされる焦点 3 3 1 に形成されて、必要とされる種の通過を可能にする。図 3 c に示されるアパーチャ 3 3 3 は概略的であって、実際の実施形態に必要とされるよりもはるかに大きく表されている。これらの説明図 3 a ~ 3 f に示されている大きさはすべて純粋に略図的なものであって、分析装置の実際の大きさを表してはいない。退出するビーム 3 1 4 の望ましくない種は、焦点 3 3 1 よりも手前又は向こうに収束し、バリア 3 3 2 に衝突して失われる。後に例えば図 1 4 で説明するように、バリア構成部品を中心線 3 2 0 の両面に配置することによってバリアの代りの形態を提供する

40

50

ることができる。

【0100】

再び境界フリンジフィールド312A, 312B等の効果の検討に戻ると、リボン状ビームが磁極面に直角に進入する際に収束効果が発生しない理由が、説明図3e及び3fでさらに詳細に説明される。図3eは図3cのギャップ315の側面図を拡大したものである。ギャップ315への入口における概念的磁力線312Aを考えると、磁界312Aは成分312Dと312Eとを有していると考えられる。成分312Dは図3bの平面図に示されるようにリボン状ビーム314を湾曲させる効果を与える。ビームは磁界成分312Eと同じ方向に進んでいるので、成分312Eは進入するビーム314に対していかなる効果も与えない。(この説明では2次的効果は無視されているがこれについては後に詳述する。)従って進入するビーム314に対して、成分312Eによる大きな収束効果は発生しない。

10

【0101】

しかしながら、ギャップ315の退出領域においては、湾曲フリンジフィールド312Bは成分312F及び312Gを有すると考えることができる。成分312Gは、ビームの退出に際して図3bの平面図におけるビームのなんらかの湾曲に寄与する。成分312Fは今度は、磁極の境界に対して傾斜した角度で退出する退出ビームに平行ではない。こうして発散ビーム内の荷電粒子と磁界成分312Fとの間の作用によって、湾曲効果がビームに及ぼされる。この効果は平面図におけるビーム314と成分312Fとがなす角度に応じて変化し、また粒子の電荷質量とエネルギーに依存する。前記の特定の実施形態では、必要とされる種に対しては図3eのビーム314の発散領域に対する成分312Fの効果によってビームを集中させて平行面を有するリボン状ビームになるように、パラメータが選択される。ビーム314の中心平面320では磁界312Bはリボン状ビームの平面に垂直なので、成分312Fに等しい成分は存在しない。光学レンズでは、ビームのレンズ中心における部分は偏向なしに通過するだけなので、収束効果はリボン状ビームの発散領域だけで発生する。

20

【0102】

こうして図3aから3fに示される装置の概要は次のようになる。荷電粒子に作用する装置は質量分析装置の中で特別の応用例を有する。細長磁極311の配列は、配列の長手方向軸350の方向に延長しており、その配列は基準平面320を有するが、それは長手方向軸を含みまた基準平面の両側に磁極を有する配列311を通っている。荷電粒子314は、長手方向軸350から距離を置いた場所で、磁極配列のフィールドに進入し又はそこを退出する。磁極配列によって両磁極311A、311Bの間に、荷電粒子がフィールドにより強い湾曲運動を伴って通過する拡張領域とともに、垂線から進入又は退出領域までの角度でフリンジフィールドを通過する荷電粒子ビームの収束又は発散を行う湾曲フリンジフィールド312A、312Bが形成される。装置は、基準平面320を横切る平面上でのパラメータに依存した分散によって、又荷電粒子ビーム314をその全体的伝搬方向に沿った異なる焦点331において収束させることによって、ビームから必要とされる粒子種を選択する解像手段332を備えている。

30

【0103】

ここで2次効果の検討に戻ると、ビーム314の発散部分が磁界成分312Bとわずかな角度で相互作用するために、ギャップ315内へのビーム314の進入においてなんらかのわずかな屈曲が起こり得る。同様に、湾曲境界フリンジフィールド312A内においても主ビーム314のなんらかの小さな屈曲が起こり得るので、ビームは進入した直後からすぐに、平面図での成分312Eに対してある角度を成す。しかしながら退出領域での主ビームの退出角度のほうがより大きく傾斜しているために、これらの2次効果はギャップ315の退出領域で達成される収束に比べて非常に小さい。

40

【0104】

説明の目的のためのこれらの略図を検討すると、本発明の他の実施形態では、図3a~3eの単純な形態を超えた他の多くの屈曲と収束の効果が達成し得ると考えられる。例えば

50

、必要に応じてビームは磁気分析システムに傾斜した角度で進入できるし、又は傾斜した角度で退出できる。前記の実施形態では、ビームがある傾斜した平面図角度で進入すれば、それは常に同じ傾斜平面図角度で退出する。しかしながら、他の実施形態における磁界システムでは、異なる進入角度と退出角度が実現できるように別な設計をすることも可能である。同様に境界フィールドによる収束効果が、必要に応じて収束又は発散レンズの効果を発揮できるようにすることも可能である。

【0105】

最後にビームの成分によってたどられる経路を検討すると、図3bの平面図の詳細である図3fが参照される。図3fにおいて、ビームが磁気システムを通過する際の概念的ビーム成分314H及び314Lの経路が示されている。ビーム成分314Hはビーム内のより重い荷電粒子の経路を表し、成分314Lはビーム内のより軽い成分を表す。ビームのより軽い成分314Lはより重い成分314Hよりもより湾曲した経路にそって磁極間のギャップを通過するので、図3fの紙面上でビームのなんらかの分散が発生すると考えられる。その結果より軽い成分314Lに対して、リボン状ビームはより重い成分にたいしてよりも大きく横方向に変位する。しかしながら、必要とする種の通過を可能にするアパーチャを提供し、望ましくない種を取り除く手段を備える余裕が無いために、この分散は質量分析に関する限り有効な分散ではない。図3a～3fに示すシステムでは、発生する唯一の有効な分散は図3a及び3cの紙面上での、それらの図に表される分散である。ビームのスロットに垂直な平面上のこの分散だけが、質量分析のための位置分析アパーチャにとって実行可能である。

【0106】

本発明の種々の更なる実施形態及びそれらの技術的效果がここで説明される。

【0107】

図4aには、平行な磁化を伴う2つの長尺の磁極41を通るセクションと、平行な磁極の面43の間の幾何学的対称性平面（中心平面）に沿って通過するイオンビーム42と、この中心平面と直角に交差する磁界とを伴う横断的磁界双極子の最も簡単な場合を示す。進入フリンジフィールド44と退出フリンジフィールド45は湾曲した形状を持ち、それによってイオンビームがフリンジフィールドを通過する角度（及び、フィールドの方向とイオンの電荷）に依存した収束作用が生み出される。収束作用を引き起こすのは中心平面に平行なフリンジフィールド成分なので、ビームに強い収束作用を及ぼすためには、イオンビームがこの方向に対してある角度をもって進むことが必要である。図4bは、磁極面の間の中心平面を横切って通る複数のイオンビームを表す磁化方向に沿った図である。ビーム42Aは進入領域に直角に入るので集中収束は無い。それは磁界を横切る際、収束を与えるような角度で退出するように偏向される。ビーム42Bへの収束作用は進入の際は集中であり、退出の際は発散であり、また図1eのようにビーム42Cに対する収束は進入と退出の際に集中である。図1dの状況とは異なり、進入境界46と退出境界47は平行なので、中心平面上では収束又は質量分散は発生しない。図4cは構造的には双極子であるが、フィールドの形状は2重の双極子である、又は（進入境界と退出境界間の）短い磁極幅に対しては四極子である。角度をなした進入ビーム42Dに対する収束効果は一般的に集中であるが、次節で説明されるタイプの強く集中する収束を起こしながら大きく偏向する低エネルギービームに対しては、状況が複雑になる。図4eと4fは軸方向フィールドタイプの双極子を表しており、そこでは中心平面上の磁界の方向は進入及び退出境界に垂直な方向の平面に沿っている。フリンジフィールド44Bと45Bは反対の全体方向を有しており、フィールド44Cと45Cは双極子が孤立していると見なされるときは平行であるが、詳細な動作は他の磁気回路の特性によって決まる。進入境界へ垂直に進入するビームに対しては収束は一般的に弱い集中である。傾斜した進入は、ビーム軸の中心平面からのずれをもたらす。

【0108】

本発明の第2と第3の主要な態様は、これらの双極子の全ての組み合わせを用いることによって所望の全体的な収束効果を生み出す。磁極領域内の磁化は電磁的に形成することがで

きる；磁極は、この電磁的に形成された磁界を強化又は制御するためにはかなりの透磁率を有する磁性体であってもよく（また通常そうであり）、又は磁極は永久磁石であってもよい。磁化の方向は簡潔化のために図4の中で直交する方向で表されているが、それらは中間的方向を有するのが好都合である。磁極に関連する導体の配置は、磁界の形状に影響を及ぼす。

【0109】

第3の態様では多重磁極配列は長く、又ビームは中心平面を横切って延長する幅広のリボン状ビームである。

【0110】

本発明の第4の主要な態様では、進入及び退出双極子は図4aに示す横断磁界タイプであり、磁極の幅は実質的ビーム偏向をもたらすように選択される。第4の態様では、ビームは適切な手段によってこれらの横断磁界双極子間の拡張磁界領域内を出発し又はそこに導入され、多重磁極を通過して別の領域に入る。フィールドが均一な場合は、荷電粒子の経路はこれらの領域の双方において円形であり、また特定の経路は多重磁極領域を繰り返し横切りながら、特定の要求に応じて適切に収束される。多重磁極を横切る位置は1方向に偏る傾向がある；多重磁極の軸が湾曲している場合は、それは反対方向に偏向及び偏流する反対電荷を有する粒子を伴う閉じたループにすることができる。第5の態様ではビームは磁界の無い空間内を出発しまたそこで終える。

【0111】

1つの態様は大きさが同じでかつ反対の進入及び退出拡張磁界領域の重要な例であり、このタイプの2重双極子ラインレンズの例が図5a及び5bに概略的に示されている（それは幅広の四極子又は2つの分離した双極子ラインレンズであってもよい）。進入境界に対していかなる角度においても中心平面に沿ってレンズに入る平行リボン状ビームは、進入ビームに平行な平行ビームとしてレンズを離れる。従ってレンズ系はビームの形状を妨害しないので、ラインレンズに入る均一なビームはそれがレンズを通過してそれから退出する際にも均一なビームのままである。ビームは、非常に強いリボン状平面に直角な平面上で集中する収束作用を受ける。図5a及び5bは、垂直な入射角で進入境界51Aに入るライン発生源52からのリボン状ビームを示す。図6は図5aと同じ図であるが、成形電磁極53と54及び磁束線56を生成する導体コイル55を有するコンピュータモデリングされた形状について、そのビーム方向に平行な平面上で多重磁極の中心平面に直角な収束作用を表している。進入境界51Aでは、垂直な入射角のために大きな収束は無い（フリンジフィールド内でのビームの偏向に起因するわずかな発散的収束が存在するが、これは弱い2次的な効果である）；ビームは磁極53間の磁極ギャップを通過する際に偏向し、その結果境界51Bを通る傾斜した退出軌跡を生じるが、それは発散ビーム57Aを平行ビーム57Bに収束させる発散収束を与え、ビームの質量エネルギー、エネルギー及び帯電状態及び（導体55内の電流によって決定される）フィールドの強さは、こうした条件をもたらすように選択される。ビーム57Bは2つの双極子間の磁界の無い空間を真っ直ぐ進み、集中収束を受けて斜めに境界51Cへ入って集中ビーム57Cを与え、最後の境界51Dからの垂線方向への退出にはさらなる大きな収束は無い。図6における収束クロスオーバー58の位置は質量によって決まり、本発明の質量分析技法の基礎である。

【0112】

図7aは、双極子73と74間の実質的四極子磁界成分71Eと71Fとさらに4つの境界フリンジフィールド71A、71B、71C及び71Dを形成する実質的な磁界相互作用が存在するように、図5の2つの双極子を1つにすることによって形成された四極子レンズの軸にそった図である。図7abは、四極子を通過してその中で連続的に偏向されるライン発生源72からのビーム77を伴った中心平面の図である。図8は図7aと同等であるが、導電体85によって形成された反対方向の磁化を有する成形磁極83と84を有する実用的なコンピュータモデリングされた形状である。ライン発生源82からのビーム87Aは境界フリンジフィールド81A、81B、81C及び81Dを通過して、比率が10:11:12の質量に対してクロスオーバー88A、88B及び88Cへの質量依存収

10

20

30

40

50

束に至る。

【 0 1 1 3 】

レンズの倍率が大きくなるにつれて又はイオン質量が減少するにつれて、クロスオーバの位置はレンズの中央に接近し、その結果、クロスオーバがレンズ内で生じてクロスオーバの後にさらなる収束が起こるというような、後述される状況が発生する。レンズの倍率が増大するにつれて、ついにはその収束は、分散平面に見られるように無限大の倍率（ゼロ長の焦点距離）を有するようになる見える局面に達する。これは図 9 a 及び 9 b に示される状況に対応しており、そこでは図 9 b のビーム 9 7 A は伝達され、ビーム 9 7 B は四極子領域に達する前に 1 8 0 度偏向され（分散平面上で見られるように反射され）、またビームは四極子の軸にそって進むような限定的な場合がある。収集カップ 9 9 をいくらかこの軸に沿って配置して非常に高い質量選択性を獲得し、またそれを非常に高い解像度の質量分光計又は質量分離器のための理想的な形状にすることによって、本発明第 5 の態様はこれを利用する。フリンジフィールド 9 1 B、9 1 C、9 1 E 及び 9 1 F によって生成される四極子の収束は、この軸に沿ってビームを封入してカップ 9 9 における効果的な収集をもたらす。

10

【 0 1 1 4 】

第 6 の態様における本発明は、「反射された」ビームを用いて有効なイオン鏡を形成する。反射されたビームの収束は双極子についての図 1 0 a に示されており（反射状況を取り扱う場合にはこれは全て必要である）、この場合のビームは図 1 0 b に示すように、4 5 度の入射角で入り 9 0 度の「反射」の後にクロスオーバに収束される平行ビームである。より有効な状況は、平行な入力ビームが平行ビームとして反射される場合であり、それはわずかに低いレンズ倍率において起こる。反射 / 伝達の判断基準又は収集プレート 1 0 9 が、反射される最大質量を制限するために用いられる。「反射された」という用語が用いられる理由は、光学系は「入射角 = 反射角」という判断基準に従うからである。双極子からの反射は、イオン発生源と目標との間に照準線が無くてもよい場合に必要とされるような大きな角度で広いビームを偏向するために有効な技法である。進入及び退出ビームが重ならないくらいに十分狭い場合は、質量分析のために収束クロスオーバ 1 0 8 を用いることができる。

20

【 0 1 1 5 】

第 7 の態様における本発明は、構造体内のアパーチャにおいて及びそれを通して収束させることによって必要とするビームだけが伝達され他の全てのビームは遮断される構造体から成る。1 つの態様における本発明はこの構造体の特別の重要な場合であり、それは必要とされる種の中心平面におけるクロスオーバの位置にアパーチャを有する。別の態様における本発明は追加的な構造体から成り、その構造体は中心平面に沿って不都合にも長い距離にあるクロスオーバに収束するか又は全く収束しない高い質量種の伝達を妨げる。図 1 1 にこの質量分析構造体の例を示す。解像構造体 1 1 1 は、目標の位置 1 1 8 から発散するビームに作用するラインレンズ 1 1 2 の作用の結果として、必要とされるビーム 1 1 7 に対するクロスオーバ収束のための選択された位置にアパーチャを有する中心平面上の薄い構造体から成る。この構造体は発生源方向の位置 1 1 A に十分延長して、反射後に中心軸に交差する全てのビームを遮断する。解像構造体が目標の方向に延長する距離は、それに続くビームの光学系によって決まる。解像構造体が位置 1 1 1 B で止まることになっていれば、この構造体によって遮断されないビームの伝達を防止するための手段を用いなければならない。この手段は、位置 1 1 5 及び 1 1 6 におけるビームストップと組み合わされた中心平面クロスオーバ位置におけるアパーチャ 1 1 4 A を有する伝達制限構造体 1 1 4 から成り、それらの位置はいくつのビーム中心が取り除かれたかを決定して位置 1 1 1 B を超えたクロスオーバへの全てのビーム収束の伝達を防止するが、アパーチャ 1 1 4 の幅がビームストップ（1 1 5 と 1 1 6）の幅と同じであるという限定的な場合もある。これらのビームストップは、ビームが最も広くなるような位置に、すなわちレンズ 1 1 2 に、及び目標への伝達のために平行ビームを形成するのに用いられる全てのそれに続くレンズ 1 1 3 の位置に配置されるのが最も良い。アパーチャ 1 1 4 A と組み合わされたビーム

30

40

50

ストップ 115 はまた、照準線を目標の位置 118 近傍の抽出領域に限定する。

【0116】

前記の解像構造体は、高い発散度を有する高パービانس低エネルギーのビームに対して最も適している。その理由は部分的には、実質的発散（例えば 0.25° の中央半角を取り除くビームストップでは 3° の半角）を有するビームについては、ビームストップによって取り除かれるビームの部分がより少ないからである。第 8 の主要な態様における本発明は、抽出領域内のビーム中心の空間電荷の電位を低下させる手段を提供することによって、質量解像のためのビーム中心構造体の必要性を利用するが、その抽出領域では、空間電荷が低エネルギー 2 次電子の存在によって中性化される（静電界が無い多重磁極レンズ領域にわたって発生するような）ビームの形成を静電界が防止する。ワイヤ 119（又は細片）は次のようないくつかの機能を有する： -

a) それはその位置における電位を制御してビームの幾何学的軸に沿う電位に影響を与える；

b) それは、このワイヤに当たるイオンによって生じた 2 次電子がビーム中心に沿って抽出領域の方向に運動してビーム内の空間電荷を減少させることを可能にする。このワイヤはレンズ 112 の磁界領域 112A の外側にあるので、電子の移動度はそのレンズの磁界に拘束されない；

c) それは、レンズ 112 から反射し返されて直接抽出領域に入るビームの中心から（陽子等の）非常に小さな質量のイオンを取り除く（より発散した軽いイオンは十分に軸の外に反射し返されて、電位の問題を引き起こさない）。

【0117】

このワイヤは制御された電位にあるか、又はそれは浮動して、その電位は 2 次電子の効果によって決定することができる。ここで検討すべき 2 つの問題が存在する；このワイヤは腐食し（また望ましくない表面変化を被り）、またその位置は正確に制御される必要があるということである。これは第 9 の主要な態様における本発明を導入するが、それによって（解像及び伝達制限構造体等の）ワイヤ及び細片がそれらの軸方向に沿ってゆっくりと移動して、ビーム（必要とされたビームと取除かれたビームの両方）に露出された表面を連続的に満たして、（破断に至りかねない）材料の過度の除去又は表面層の過度の形成を防止する。多くのイオン注入の状況ではこれらの予防策は必要ではない；他の保守手順の時間間隔と比較した図 11 のワイヤ 119 の腐食速度は、このワイヤが継続的な形で更新されるべき必要性を決定する。他の構成部品の継続的な交換への必要性はビームの化学的性質によって決定される。構成部品の更新の必要性の 1 つの特別な例は、酸素イオンビームの場合である；原子酸素が図 11 の構成部品 114 内のアパーチャ 114A を通って伝達されれば、分子状酸素が構成部品 114 に当たり、これが金属製の構成部品と仮定すれば、酸化物の形成によって表面が帯電し、その結果ビームの劣化をきたしかねない。

【0118】

これらの更新可能な構成部品はおそらくドラム又はコイルから運ばれるが、それらが薄いフレキシブルな材料で出来ていれば最も好都合である。アパーチャに接近している解像構造体の一部は、必要とされるビームを伝達するのに必要な解像アパーチャの幅を最小化するためにできるだけ細くする必要がある。ワイヤ 119 は抽出領域に近接した小径のワイヤであれば最も効果的である。細いワイヤと細片の使用は第 10 の主要な態様における本発明につながるが、それはそれらを真っ直ぐに保持することによってそれらが要求される場所に常に正確に位置づけられるようにするために、これらの構成部品に張力印加するものである。

【0119】

1 つの態様における本発明は、質量分析だけでなくビームの形成にも関連する。一般的に、半導体材料に対するイオン注入はビームが（リボン状平面及び分散平面上で）平行ビームであることを必要とする。図 12 には、図 8 に示されるタイプの四極子レンズが「強いレンズ」のモードで用いられる場合のビーム光学系が表されている。これは、必要とされるビーム 127A が 128A におけるクロスオーバを通過し、それから必要とされるビー

10

20

30

40

50

ム 1 2 7 B が単一の四極子レンズを用いて平行ビームに収束される場合である。必要とされるビームがホウ素（質量 1 1 原子量単位）である場合、位置 1 2 8 A における収束それから質量 1 0 a m u である次により軽い質量の位置における収束は、反射するビーム 1 2 7 C 内で起こり（外側のビームだけが示されている）、質量 1 2 a m u は、解像アパーチャ位置がより明確である位置 1 2 8 B に収束する。これらの強いレンズが強化された分散を示し、また入力ビームの性質に対して著しい鈍感さを示すのは、これらの強いレンズの特徴である。

【 0 1 2 0 】

別の態様における本発明は、質量分析、複数のクロスオーバーによる強化された質量分析、（目標に付着するスパッタリングによる汚染からの）照準線の保護、及び最終的に要求される光学系へのビームの収束を達成するための 2 つ以上のレンズの使用に関連する。磁気ラインレンズを離れる最終的に要求されるビームの光学系は、それに続くビームの加速又は減速が要求されなければ、一般的には平行ビームである。

【 0 1 2 1 】

図 1 3 には、目標の位置 1 3 2 からのリボン状ビームの発散のために位置 1 3 8 A と 1 3 8 B でクロスオーバーを形成する（有益な特殊の場合に共通の中心平面を有する）2 つのレンズ 1 3 1 A と 1 3 1 B から成るシステムが示され、最終出力ビーム 1 3 7 は分散平面上で公称平行である。リボン状ビームが、発生源 1 3 2 を離れるときにリボン状平面上で均一で平行であれば、目標に到着するビームは平行である。ライン発生源が湾曲してリボン状平面上で集中又は発散ビームを形成すれば、レンズ系はその同心上で湾曲してこの形状を維持する。

【 0 1 2 2 】

2 つのレンズは同じ又は反対の磁極性を有することができる。抽出条件の変化に起因する目標位置の変化に適合できるように、第 1 のレンズは第 2 のレンズとは独立して変化し得ることが最良である。レンズが全ての導体を通る等しい電流を伴う整合する対として用いることができる状況では、また磁極性が 2 つのレンズで反対であれば、（それらは等しくて反対の電氣的極性を有するので）2 つの隣接する導体が取除かれた複レンズを形成することが可能となる。同様のことが 3 つ以上のレンズにも当てはまる。

【 0 1 2 3 】

第 1 1 の主要な態様での本発明は、中央の解像構造体が魅力的な提案でなくなるような低い発散作用の発生源抽出領域を離れる（これに限定はしないが）低バービアンスビームの取り扱いに関連する。光学系の第 1 の部分は狭い平行ビームを形成するために用いられる。ビームはそれから 1 つ以上のラインレンズから成るパラレルイン / パラレルアウトレンズ系に入るが、そこではビームは常にこれらのレンズ中心平面の一方の面上又は他方の面上にある。偏心したビームは、無限遠の位置にあるために見かけ上中心平面上にある目標位置を有するという点で平行ビームの条件は独特である。これはビームのクロスオーバーが中心平面上にあることを意味する。このような非対称のレンズの組み合わせの使用は平行ビームの条件に限定されない。

【 0 1 2 4 】

図 1 4 に、平行進入ビームから位置 1 4 8 A と 1 4 8 B のところに 2 つのクロスオーバーを発生する複ラインレンズ 1 4 1 の例を示す。解像構造体は、表面 1 4 4 が中心平面上にあると無限に薄い解像構造体を作成する構成部品 1 4 2 と 1 4 3 から成っている。この構造体中には照準線はない。このレンズシステムに入るビームは、解像構造体を有するレンズシステムからでも持たないレンズシステムからでも来ることがあり得る。

【 0 1 2 5 】

これらのラインレンズを組み合わせることができる方法の例を図 1 5 a と 1 5 b に示すが、図 1 5 a は対称性システムの例を示し、図 1 5 b は非対称性システムの例を示し、視野は抽出スロットの軸に沿っている。重要な構成部品は「強い」レンズ 1 5 1 と、「標準の」レンズ 1 5 2 と、ビームを高エネルギーに加速する後段加速システム 1 5 3 と、ビームエネルギーを減速する後段減速システム 1 5 4 と、伝達制限構造体 1 5 5 と、解像構造体 1 5

10

20

30

40

50

6と、ワイヤもしくは細片という形態を有する空間電荷電極157と、である。ビームは1つ以上のクロスオーバー158に導かれる。

【0126】

図15a(i)に、分析に必要な解像構造体156と伝達制限構造体155のアパーチャ位置にクロスオーバー158を提供し、また、目標へ伝達される平行ビーム発生する強いレンズモードで用いられる1つのレンズ151の最も簡単な場合を示す。1つのクロスオーバーを有するいかなるシステムを用いる場合はいつでも主に考慮すべきことは、発生源とクロスオーバー位置間の領域中の表面に当たる反射ビームによって引き起こされるスパッタリングされた材料の目標への伝達である。システムの詳細な形状によって、照準線状況が決まる。これは三フッ化ボロンから生成されたボロンイオンの場合には問題とはならないが、その理由は、より低いイオン質量においては深刻な不純物ビームはないからである。ジボロンやデカボロンの供給物を用いてボロンを注入すると、どんな種が必要であるかによって水素イオンやその他が反射される。これは、これまた供給物に依存した問題点であるクロスオーバーの目標側にある解像構造体からスパッタリングされる材料に関する問題がある(これらの重いイオンのほとんどは、伝達制限アパーチャを通過することはない)。スパッタリングされた材料の伝達という問題は、磁気鏡を用いてビームを90°偏向させて目標に当てれば解消する。

10

【0127】

図15a(ii)に、後段加速システム153を用いて平行ビームを生成する「通常」レンズモードで用いられる1つの磁気レンズ152を示し、図15a(iii)においては、第2の強いレンズ151が平行ビームを発生して、スパッタリングされた汚染の伝達を非常に効果的に防止する第2のクロスオーバー158Aを提供している。

20

【0128】

図15a(iv)に減速システムを示す。第1のレンズ152はビームを質量解像のためにクロスオーバー158に収束され;第2のレンズ152Aは集中ビームを後段減速システム154A中に提供し、強いレンズである第3のレンズ151は平行ビームを発生してエネルギーフィルタとして動作する。

【0129】

図15a(v)は、レンズ152と152Aを有する2磁気レンズシステムの例であるが、ここで、第2のレンズを用いて可変クロスオーバー位置158Aを後段加速システム153に対する入力として提供して、最終ビームの光学系の最適化を可能としている。

30

【0130】

図15a(vi)に、上記のビームラインの内のどのビームラインの前にも追加することが可能なレンズ段を示す。このタイプの最初のレンズは複数の機能を有することができる、すなわち:ビームを狭いスリットを介して収束させて、次の段にまで通過するビームの反射度を向上させ、また、余分のクロスオーバーを提供し、これによって質量解像度を増すことができる;可変の物体位置に対処するには独立に制御された第1のレンズが常に必要である(この位置は抽出条件の関数である);水素ビームがかなりある場合、この第1のレンズを水素除去レンズとすることによってこれらの軽いイオンの反射を防止するのが望ましい。

40

【0131】

図15b(i)に、低発散ビームが発生源から抽出され、また、中心解像構造体に対する要件が容易でない場合における非対称性システムの例を示す。第1のレンズ152は平行ビームを発生し、これが強い複レンズであるレンズ151Dに非対称的に導入され、これによって卓越した照準線特性をもたらしている。図15b(ii)に、代替例としての非対称性レイアウトを示すが、この場合、:レンズ151は強いレンズである必要はなく、レンズ152と151は1つのレンズと交換して、平行ビームを発生させてもよく、その選択は解像力と照準線の問題によって決まる。図15b(iii)と(iv)は、加速段に対する入力光学系を制御するオプションのレンズ152Aが後段加速153の前にある類似のシステムである。図15b(v)に示すシステムは、非常に大きい電流の酸素マ

50

シンには理想的であり；必要とされるビームが原子酸素である場合、分子ビームのほとんどは1つの構成部品155、すなわち伝達制限構造体に当たり、この構造体が（酸素帯電問題を防止するために）移動中の細片であったり炭素であったりするが、酸化物はガス状であり、したがって吸い出すことができる。

【0132】

別の態様における本発明は、ラインレンズシステムを組み合わせ、複数スロットのイオン発生源から平行平面上を走行している多くのリボン状ビームを質量分析して収束させる機能に関連する。この態様は、長いイオン発生源スロットを包含する平面上にビームを留めるあらゆる質量分析技法の一般的な場合をその範囲に含み、第12の態様は磁気ラインレンズという特定の場合をその範囲に含んでいる。

10

【0133】

図16に、共通磁気回路を発生する平行方向の磁化163と164を有する複数のレンズ161と161Aを用いた2レンズビームラインを複数個示す。平行平面上の1連のビーム167が平行線発生源162から発生される。

【0134】

この第12の態様における本発明は、表面帯電によって目標表面に対する破損を引き起こすことなく本発明によって利用可能とされる第ビーム電流を注入することができる必要性に関する。図17に、ビーム177がラインレンズ質量分析・収束システムビームライン171から離れて多重磁界プラズマ領域172に進入する様子を示す。フィラメント173を用いて、多重磁界領域中でガス状プラズマを発生することが可能であり、また、目標素子179（分かりやすいように1つの目標素子を図示してある）が、多重磁界領域172中に入って通過するか又は機械的に走査されて、プロセスとしてイオンビーム177中を通過することが可能である。

20

【0135】

別の態様における本発明は、ビームの走査を伴うことなく、1連の均一リボン状ビームを介して目標を単に通過することによって目標の均一注入を達成する機能に依存しているため、中程度と高程度の強度の均一なイオンビームを提供する必要性に関する。仮想の極発生源がこのような均一なビームを提供することが可能であるが、非常に高い均一性及び/又は高ビーム電流密度を求めるには、2つ（以上）の段階のプロセスでイオン化をすることによってかなりの向上を達成すればよい。図18に、ホットフィラメントアーク放電とマイクロ波発生が最も重要な技法の内の2つである、複数のメカニズム（図示せず）の内の1つによってプラズマを発生させる2つのプラズマ発生領域181を示す。領域181で発生したプラズマは、この発生技法によって形成された一次電子がイオン化イベント同士間で、この一次電子を発生する領域に近傍にプラズマが過度に集中しない程度に十分長い平均自由経路を有するに十分なほどガス圧力が低い場合には、非常に均一である。すると、この均一なプラズマは仮想極182中を延長して、イオンビーム187の抽出元であるプラズマ領域183に入り、これによって、一次電子発生手段がこの領域にあった場合に得られるよりも均一なプラズマを発生する。この技法は、一次電子発生の分布に対して均一性が敏感である圧力でプラズマを発生することを必要とする高ビーム電流密度が必要な場合には決定的に重要である。

30

40

【0136】

本発明のこの態様は、非常に均一で高電流密度のイオンビームを発生するために非常に均一な強プラズマが必要である場合には重要である。均一性と高電流密度というこの双方に対する要件のため、イオン発生源で矛盾が生じる。高電流密度という要件は、プラズマ領域中の比較的高いガス圧力で最も良好に達成することができる強プラズマからビームを抽出しなければならないことを意味し；良好な均一性という要件は、プラズマ粒子がプラズマ領域全体を自由に移動して均一なプラズマとする低圧力環境下で最も良好に達成される。最良の解決策は、比較的高い圧力の領域（ 10^{-3} torr）で最初にプラズマを発生して次にこのプラズマを仮想極を介して低圧（吸入による低圧）領域（ 10^{-4} torrであり、また、イオンビームの抽出元である）に送る。これは、極端に均一で中程度の電流密

50

路を有するビームを発生するにはよい技法であり、この場合、例えば単一段の発生源におけるフィラメントの配列から生成される局所化された発生源とは対称的に、仮想極は一次電子とプラズマを発生する均一な発生源として動作する。

【0137】

第13の態様における本発明は、均一なプラズマから均一なビームを抽出する必要性に関する。これには、正確な形状を有する抽出電極を正確に調整する必要がある。実際には、正確な固定位置付けでこれを達成することは不可能である。抽出ギャップは抽出スロットの長さとは適合していなければならないが、その理由は、ビーム電流は一般的に、抽出スロット中のプラズマ表面での電気勾配によって異なるからである（ただし、ビーム電流が発生源によって制限される場合と、空間電荷に対する考慮が抽出光学系に大きな影響を与えない場合は例外である）。ビーム軸と幾何学軸が正確に整合するように、抽出電極はリボン状ビーム抽出システムの中心対称平面と正確に整合していなければならない。また、固定位置付けでは、この要件を達成することはほとんど不可能である。

【0138】

本発明のこの態様での最も重要な問題点は、広範囲の抽出電圧にわたって最適な形状を維持することが可能でなければならないという点である。これは、固定形状抽出電極システムでは不可能である。理想的な装置としては、システムの全てのアパーチャを可変形状とすることができる機械的装置がある。抽出スロットは可変形状でもよいが、必要とされるスロット幅の公差と信頼性のあるメカニズムでこれを達成しようとする、実際上の難しさのため、それは極端に達成困難となる。したがって、本発明のこの態様は、可変形状の抽出フィールドを、抽出プロセスで必要とされる他の電極を制御することによって生成する動作を取り扱う。

【0139】

図19aに、イオン発生源の取り出し電極191と、抽出電極アセンブリ192A及び192B（加速電極又は遮蔽電極とも呼ばれる）と、減速電極アセンブリ193A及び193B（接地電極とも呼ばれるが、それは、後続のビームラインが接地電位にあるときには常に接地電位にあるからである）と、を示すが、これらがイオンビーム197をプラズマ表面191Aから発生する。従来型の抽出システムでは、電極192A、192B、193A及び193Bを含む構造体は固定形状のアセンブリである。本発明のこの態様によって、これらの構成部品の1部又は全てが個別に移動させることができる。

【0140】

電極192と193間に電圧差を設けるのは、空間電荷によるビームの中性化にとって重要な、低エネルギー電子がイオン発生源に向かって加速され、この結果ビームから失われるのを防止するための電界を提供する方法である。この電界は一般には抽出フィールドの光学系を決定するに際してほんの小さい影響力しか有しないので、電極192Aと193A、また、電極192Bと193Bとの相対的な位置を固定することが一般的には可能である。周知に装置においては、抽出電極/減速電極アセンブリ192A～193Bの位置は、取り出し電極191に対しては全体として固定されているように、取り出し電極191の平面に対して直角な方向に沿ってこれに向かったりこれから離れたりするように移動させることが可能である。しかしながら、本発明によれば、抽出電極アセンブリ192Aと減速電極193Aを、194に示す運動の集中経路に沿って、取り出し電極191に向かったりこれから離れるように移動させることができれば利点であることが理解されよう。

【0141】

図19bは、運動194の経路を達成するための、この態様の本発明を実施する装置の平面図である。本装置の側面図である図19dに示すように、取り出し電極191と、抽出電極アセンブリ192Aと、減速電極アセンブリ193A及び193Bと、は全て、図19bの紙面の平面に対して直角な方向に細長い細長部材である。電極アセンブリ192A及び192B並びに193A及び193Bは、これまた細長い抽出電極支持構造体198Aと198Bに搭載されていて、さらにその上方端と下方端が1対の傾斜ロッド196Aと196Bに取り付けられている。このロッド196AとBは、その近接した端で、自身

はシャフト 199C に搭載されているスイベルピン 199A によって支持バー 199B に
回転可能に接続されている。ロッド 196A と 196B は、その遠位端がピン 195 と接
触し、弾性片寄り手段（図示せず）によってピン 195 に向かって内側に片寄っている。
支持バー 199B はシャフト 199C に滑動可能に搭載され、これによって、支持バー 1
99B は取り出し電極 191 に向かったりこれから離れたたりして直線運動したり、また、
ピン 199D の周りを回転して回転運動したりすることができる。

【0142】

図 19b に、本発明のこの態様による多くの実際上の実施形態の内の 1 つを示す。1 対の
ピン 195（抽出電極構造体の各端に 1 つずつ）がビームライン軸と 1 直線上に取り出し
電極の背後に位置付けされている。これらのピンは発生源の上もしくは上方、また、接地
電位にある発生源の下方にあってもよい。2 つずつのロッド又はバー 196 の 2 セット（
頂部と底部）分がこれらのピンに対してバネ装着されており；抽出電極支持構造体 198
がこれらのロッドに固定されており、これによって、引っ張られた電極電極 192A 及び
193A 並びに 192 及び 193B（正確に直線状となるように引っ張られている）を搬
送しており；ロッド 196 は、繁用アセンブリ 199 上のピン 199D の周りに回転可能
な支持バー 199B 上のスイベルピン 199A に固定されている。シャフト 199C が自
身の軸に沿ったり横切ったりする移動と 199D の周りの回転運動と組み合わせられると、
広範囲にわたる機械的運動が可能となり、これによって電極アセンブリ位置を精密に調整
するうえで便利な機械的な利点となる（ビームの整合は 2 つの利用可能な技法 変位とせん断
によって実行される）。長尺の抽出システムの各端にある類似の独立式のメカニズム
によって、均一な抽出を達成するために必要な調整が与えられる。

【0143】

図 19c に、抽出フィールドの運動が電氣的に達成される他の技法を示す。この技法は、
抽出電極がイオン発生源取り出し電極に非常に近接している必要がある、非常に低いエネ
ルギを抽出する場合に特に適している。それぞれ 5 kV と 1 kV でビームを加速する、2
セットの電位分布を例として示す。この場合、電極同士間の間隔は、その間で信頼性的に
認容される 1 kV という小さい値である。ビームの整合は、1 つ以上の電極上でビームに
バイアス電位を印加することによって達成される。これらの電極は直線状になるように引
っ張られている。

【0144】

図 19d に図 19b に示す実施形態の側面図を示す。この図が示す実施形態の重要な側面
は、アセンブリ 199 の上部構成部品と下部構成部品（上方構成部品 199U と下方構成
部品 199L）を互いに独立に移動させる機能である。これによって、抽出電極アセンブ
リの上端と下端を、（抽出電極 192A と 192B の相対的な、そして分析システム
の中心平面に対する正確な位置付けに依存して）必要とされる方向で走行する均一なビー
ムを（抽出電極 192A 及び 192B とイオン発生源取り出し電極 191 間の抽出ギャッ
プに依存して）達成するために必要なまさにその位置に置くことを可能とする。抽出電極
支持構造体 198A と 198B は構成部品 198C によって支持ロッド 196 と 196B
に接続され、また、抽出電極 192A、192B、193A 及び 193B は、支持構造体
198A と 198B に搭載されている圧縮バネの使用に基づいて引っ張りシステム（図示
せず）によって直線状に維持されている。支持ロッド 196 と 196B を位置決めするピン
195 は、イオン発生源チャンバ 191B の頂部と底部に搭載されている。

【0145】

図 15a と 15b、様々な要件に対して可能なビームラインのレイアウトの 1 部を示した
。多分最も重要な即時的な応用分野は、集積回路の半導体ウエハに対する低エネルギー（5
00 eV ~ 5 keV）のボロン注入である。図 20 に、この専用の応用物のある好ましい
実施形態を示す。

【0146】

図 20 に、300 mm ウエハのイオン注入用の 5 ビーム式注入器の平面図を示す。この多
重磁界イオン発生源は、発生源プラズマを封入する実極磁石と、合計で約 500 A の電流

10

20

30

40

50

を、なんらかの便利な数の直列接続された電導体で分け合って搬送する矩形の外部断面を有するアルミ製チューブ 2 1 2 中の電導体で形成された 5 つの仮想極と、となる 1 2 mm × 3 mm 断面のネオジウム鉄ボロン永久磁石 2 1 1 を包含する 2 3 個の円形アルミ製チューブ 2 1 0 から成っている。ビームは 5 つの仮想極 2 0 3 から抽出される。これらの矩形断面チューブは、2 mm 幅の抽出スロットがこれらの仮想極電極の全長にわたって、そして特に 4 0 cm という抽出長に沿って正確に平行に保持され得るように圧縮バネによって引っ張られた状態で保持されている。発生源プラズマは、低電圧ホットフィラメント放電を用いて、又は、発生源領域 2 0 1 中でマイクロ波イオン化を利用して発生し、また、ビームは仮想極 2 0 3 を介して中心発生源領域 2 0 2 から抽出される。発生源ガス又は蒸気は、薄壁のアルミ製ボックス 2 1 3 中に含まれている。発生源の端プレートは、多重磁界封じ込めを完全なものとするための永久磁石配列を含んでいる。これらの磁石と導体は冷却剤をチューブに流し込むことによって冷却される。この構成方法によってこのタイプの大型発生源が極端に直線的に構成され、作成可能な発生源のサイズには実質的な制限がない。

10

【 0 1 4 7 】

簡単な変更例として、この発生源を、2 つの 5 ビーム式抽出システムとビームラインを発生源の両側に置いた「二重側部」型にしたものがある。

【 0 1 4 8 】

イオンビームは可変形状で引っ張られている（これで直線状に保たれる）抽出電極 2 1 4 から抽出されて磁気ラインレンズシステム中に入る。強い収束モードにある 1 つのラインレンズ 2 0 4 が平行ビームを分析して目標領域に伝達するが、この領域は、イオン発生源と類似の方法で構成された多重磁界ケージ 2 2 0（目標とのビームの相互作用やホットフィラメント放電などの他の手段によって発生可能な表面電荷中性化プラズマを封じ込めるケージ）内に含まれる制御プラズマ環境を有している。このケージの向こう側には、ビームのプロフィールをセットアップするために用いられるビームプロフィールファラデーシステム 2 2 1 があるが、抽出電極の位置は目標領域に到達するビームの均一性に影響を与える主要な変数である。このシステムの複数ビーム性は、ビーム中の不均一性が機械的公差のためにどれほど小さかろうと、放出は多重ビーム注入では全体的に平均化される傾向があるという利点を有している。3 0 0 mm ウエハホルダ 2 3 0 の略図を見れば縮尺が分かる。これらのホルダは、目標領域中を通して実極チューブ 2 3 1 間を通過して 3 0 0 m

20

30

【 0 1 4 9 】

ウエハを 1 つ以上のウエハに装着するにはかなりの時間が必要であり、また、商業的見地から見ると、これはウエハのスループット性能が失われて好ましくないことになる。入手可能なビーム電流を可能な限り効率的に用いることが可能であることが重要である。図 3 b から、分析技法によってリボン平面上でビームが変位することが分かる。正に帯電したイオンの場合、そして、第 1 のギャップにおけるフィールド方向が正の側の y 方向（上向き）であり、第 2 のギャップにおけるフィールド方向が負の側の y 方向である場合、ビームの変位は右側と言うことになる。フィールド方向を逆転すると、この変位は左側になる。このビーム変位がリボン状ビーム幅の半分を越えると、フィールドを逆転させると、ビームの軌跡が 2 つに分離する。これによって、2 つの互いに分離した目標領域が存在するシステム形状が可能となる。イオンビームをこれらの目標領域の内の一方に方向付けすると、他方の目標領域を搬出 / 再装着プロセスで用いることができる。装着プロセスの所要時間が「ビームを目標まで」の所要時間より短い場合、非常に効率的なビームの利用が可能であり、ビーム利用の損失は、フィールドの逆転後の質量選択最適化に必要な短期間だけである。

40

【 0 1 5 0 】

2 つ以上のラインレンズを有するシステムでは、最終的な変位結果を最大化又は最小化するようにビーム変位を配慮することが可能であり、3 つ以上のラインレンズを有する場合には、有用な中間変位によって 3 つ以上の位置が利用可能となる。これらのラインレンズ

50

の内の1つ以上のラインレンズの極性を逆転させて、必要な分離ビーム軌跡を達成することが可能である。

【0151】

(参照文献)

[1] イオン発生源の物理と技術、Ed. Ian G Brown、John Wiley & Sons (1989)、第3章、イオン抽出、R Keller

[2] J H Freeman、Proc. Roy. Soc. A. 311、123~130 (1969)

[3] J F Freeman、Proc. Int. Mas Spectrosc. Conf.、日本、京都 (1969)

[4] [1]の46ページを参照

[5] Aitken、イオン注入技法、Ed. H Ryssel & H Glawischning、Springer-Verlag (1982)、351ページ

[6] 米国特許第Us-A-4 578 589号

[7] H A Engle、Rev. Sci. Instr.、15、278 (1964)

[8] 電子とイオン光学系への序文、P Dahl、Academic Press (1973)、51ページ

[9] [8]の68ページを参照

[10] H Ito & N Bryan、Proc. 11th Int. Conf. Ion Impl. Tech.、米国、323ページ (1996)

[11] J Englandら、Proc. 11th Int. Conf. Ion Impl. Tech.、米国、470ページ (1996)

[12] [8]の26ページを参照

【図面の簡単な説明】

【図1a】 従来型の質量分離器光学系として周知の先行技術によるイオンビーム質量分析システムの中心平面の図である。

【図1b】 平行ビームを示す図1aの平面に沿った側面図である。

【図1c】 発生源抽出領域から離れる集中ビームを示す図1aの平面に沿った側面図である。

【図1d】 代替の先行技術のイオンビーム質量分析システムの中心平面の図である。

【図1e】 イオン発生源抽出領域から離れる1つの発散ビームを示す図1aの平面に沿った側面図である。

【図1f】 イオン発生源抽出領域から離れる3つの発散ビームを示す図1aの平面に沿った側面図である。

【図2】 荷電粒子ビームの収束用の磁気四極子の先行技術による使用法の軸に沿った、そして、ビームの伝搬方向の図である。

【図3a】 複数リボン状ビームの質量分析用の本発明による実施形態を示す3次元線図である。

【図3b】 1対の分析磁石同士間で延長する平面に沿った図3aの装置の平面図である。

【図3c】 発生源に平行な方向に沿った図3aの装置の端面図である。

【図3d】 発生源に平行な方向から見た磁気回路の詳細図である。

【図3e】 発生源に平行な方向から見た収束動作を遂行するフリンジフィールドの成分の図である。

【図3f】 平面図で見た様々な質量が描く様々な軌跡の図である。

【図4a】 双極子の中心平面上で磁界を作る双極子の粒子軌跡を示す端面図である。

【図4b】 双極子の中心平面上で磁界を作る双極子の粒子軌跡を示す平面図である。

【図4c】 双極子の中心平面上で磁界を作る双極子の粒子軌跡を示す端面図である。

【図4d】 双極子の中心軸に沿って磁界を作る双極子の粒子軌跡を示す平面図である。

【図4e】 双極子の中心軸に沿って磁界を作る双極子の粒子軌跡を示す端面図である。

- 【図 4 f】 双極子の中心軸に沿って磁界を作る双極子の粒子軌跡を示す端面図である。
- 【図 5 a】 十分離間され、磁氣的に互いに反対である双極子の対の粒子軌跡を示す端面図である。
- 【図 5 b】 十分離間され、磁氣的に互いに反対である双極子の対の粒子軌跡を示す平面図である。
- 【図 6】 十分離間され、磁氣的に反対である双極子中を通過する粒子軌跡のコンピュータで発生した端面図である。
- 【図 7 a】 四極子の配列の端面図である。
- 【図 7 b】 粒子軌跡を示す平面図である。
- 【図 8】 四極子配列を通過する 3 つの粒子軌跡のコンピュータで発生した端面図である 10
- 。
- 【図 9 a】 四極子軸の沿って走行する粒子を収集する収集手段を有する四極子配列の端面図である。
- 【図 9 b】 四極子軸の沿って走行する粒子を収集する収集手段を有する四極子配列の平面図である。
- 【図 10 a】 磁気鏡として用いられる双極子の端面図である。
- 【図 10 b】 磁気鏡として用いられる双極子の平面図である。
- 【図 11】 分散平面上で平行出力ビームを発生する 2 レンズシステムに応用される解像と伝達を制限する構造体の図である。
- 【図 12】 必要とされる種の平行退出ビームを有する強いレンズモードにおける四極子 20
レンズ中の粒子軌跡のコンピュータ発生した端面図である。
- 【図 13】 2 つのクロスオーバーと平行退出ビームを有する 2 レンズシステム中の粒子軌跡のコンピュータ発生した端面図である。
- 【図 14】 非対称性質量分析の例を示すコンピュータ発生した端面図である。
- 【図 15 a】 対称性分析を用いた複数のビームライン構成の図である。
- 【図 15 b】 非対称性分析を用いた複数のビームライン構成の図である。
- 【図 16】 複数ビーム分析の端面図である。
- 【図 17】 目標をガス状プラズマで囲むことによって目標表面の帯電を防止する多重磁界プラズマ封入システムの図である。
- 【図 18】 2 段式仮想極イオン発生源の断面図である。 30
- 【図 19 a】 相対的な抽出磁界運動の先行技術の図である。
- 【図 19 b】 相対的な抽出磁界運動の 1 つの実施形態の図である。
- 【図 19 c】 相対的な抽出磁界運動の 1 つの実施形態の図である。
- 【図 20】 本発明を実現する、1 連の荷電粒子ビームを発生して分析する装置の端面の線図である。

【図 1 A】

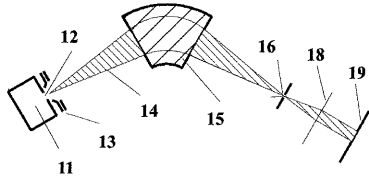


Fig.1A

【図 1 B】

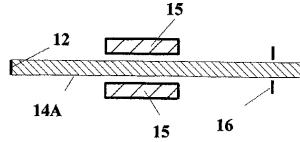


Fig.1B

【図 1 C】

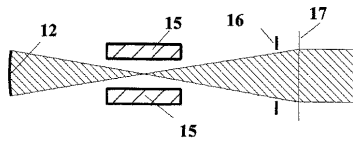
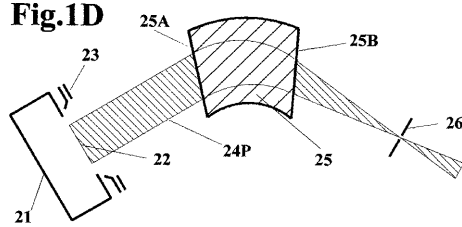


Fig.1C

【図 1 D】



【図 1 E】

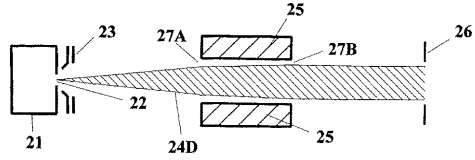


Fig.1E

【図 1 F】

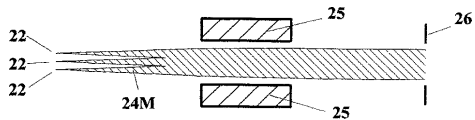


Fig.1F

【図 2】

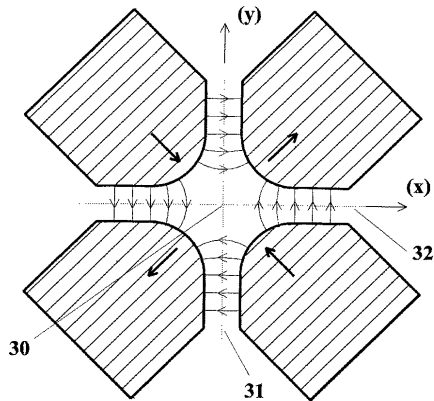


Fig.2

【図 3 A】

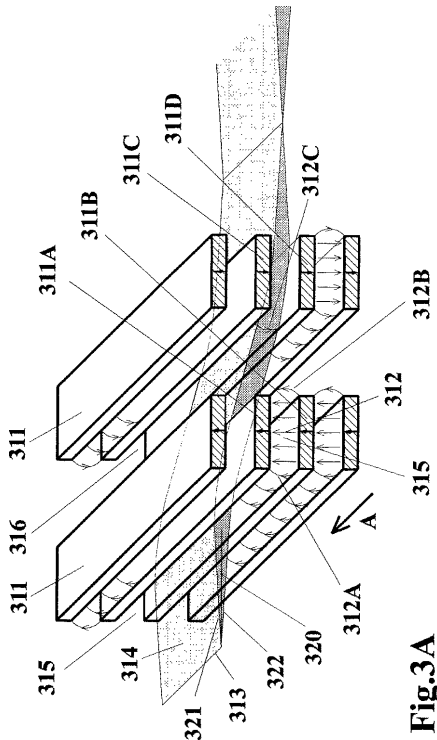


Fig.3A

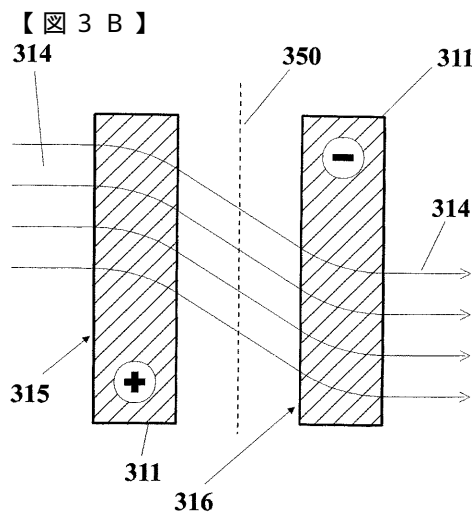


Fig.3B

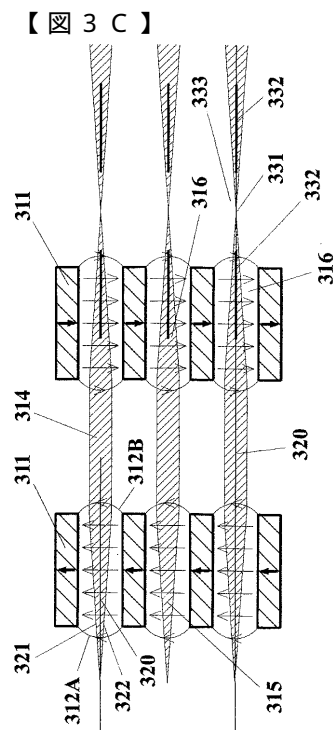


Fig.3C

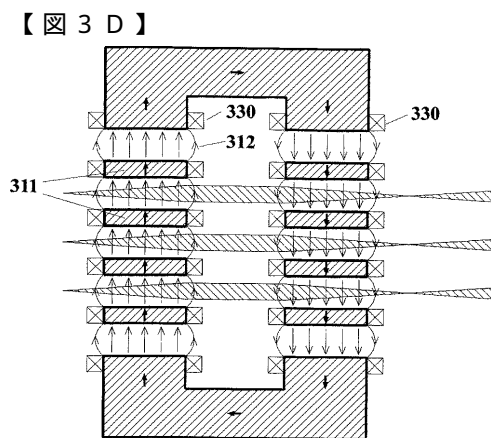


Fig.3D

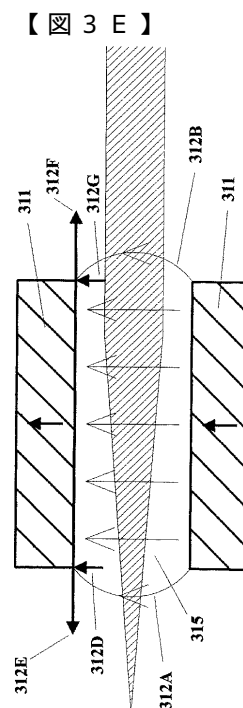


Fig.3E

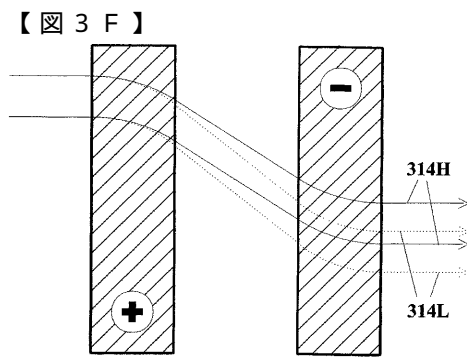


Fig.3F

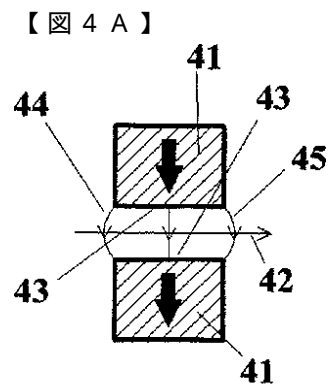


Fig.4A

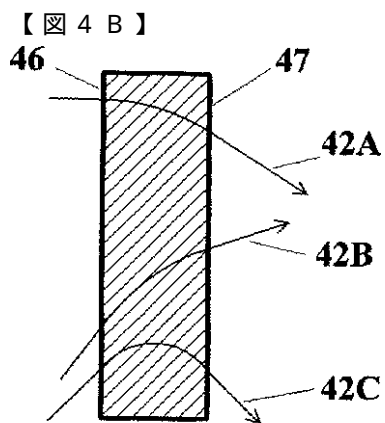


Fig.4B

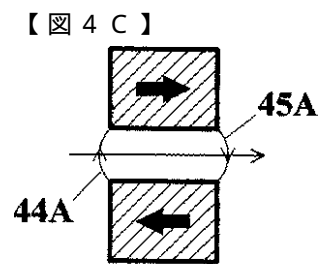


Fig.4C

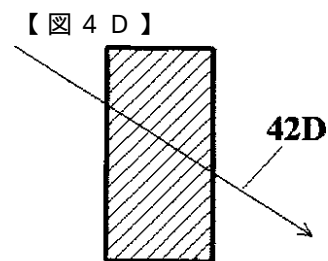


Fig.4D

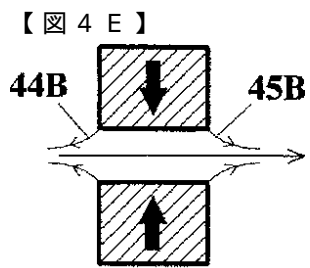


Fig.4E

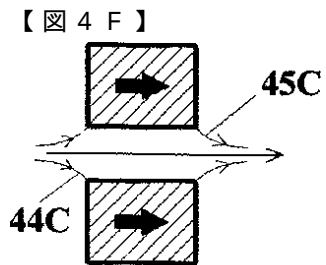


Fig.4F

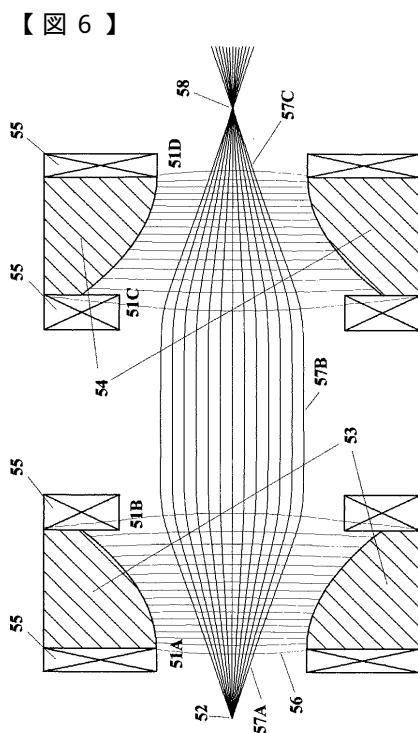


Fig.6

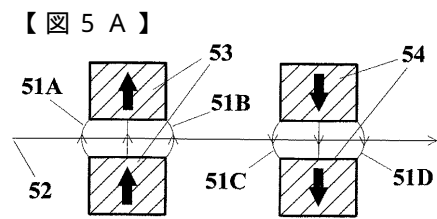


Fig.5A

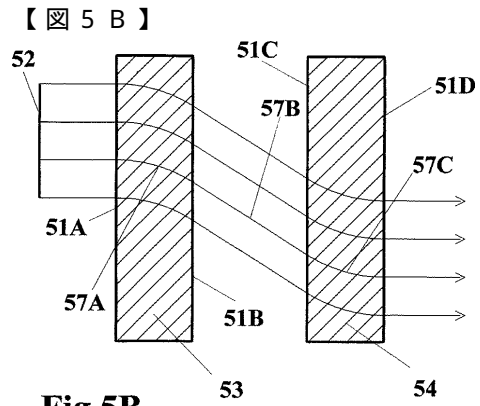


Fig.5B

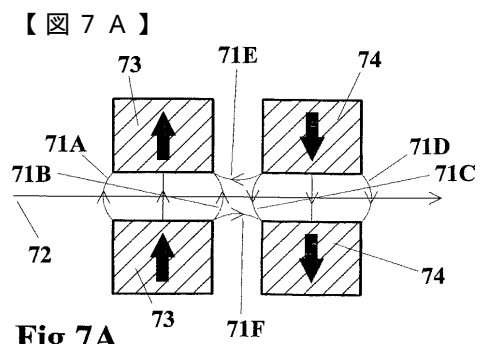


Fig.7A

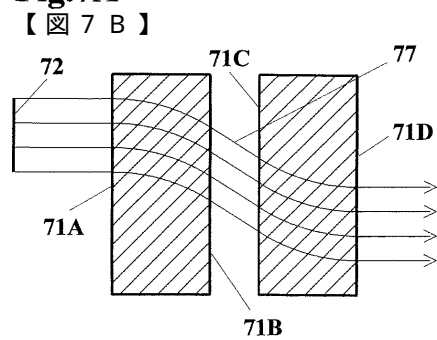


Fig.7B

【図 8】

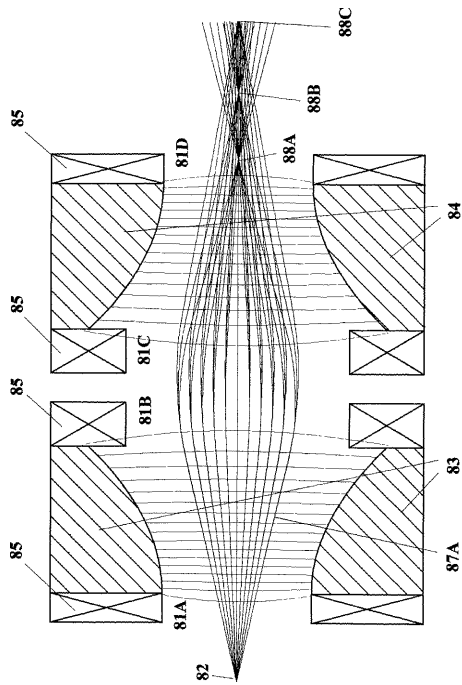


Fig.8

【図 9 A】

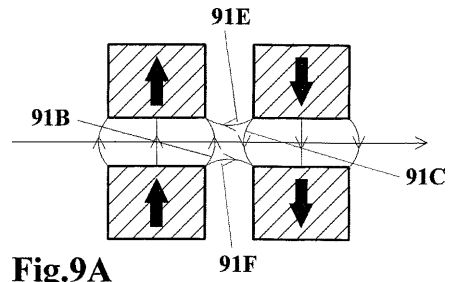


Fig.9A

【図 9 B】

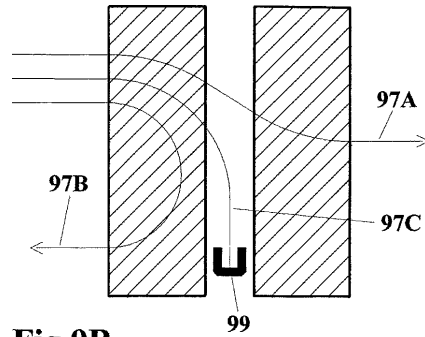


Fig.9B

【図 10 A】

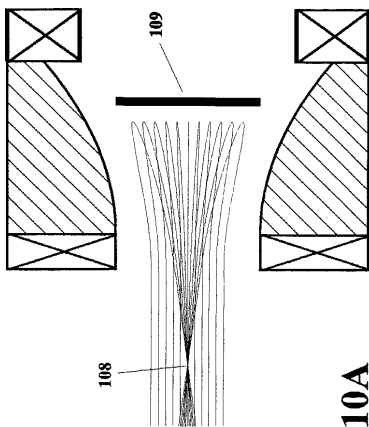


Fig.10A

【図 10 B】

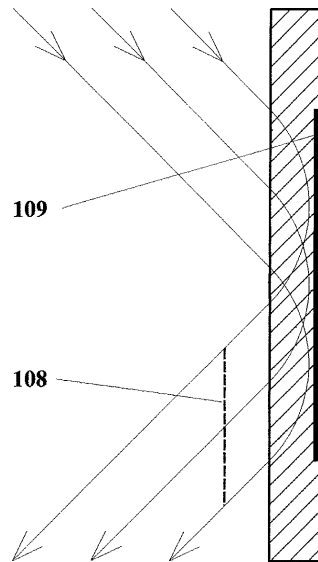


Fig.10B

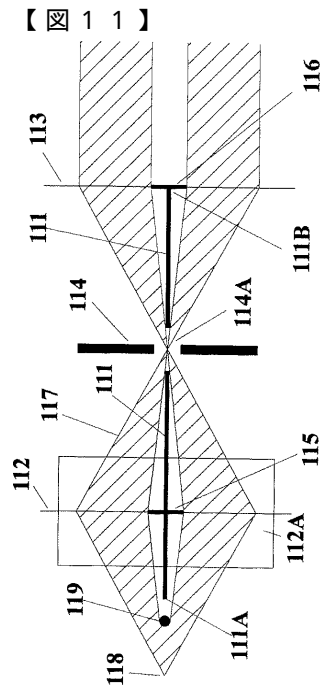


Fig.11

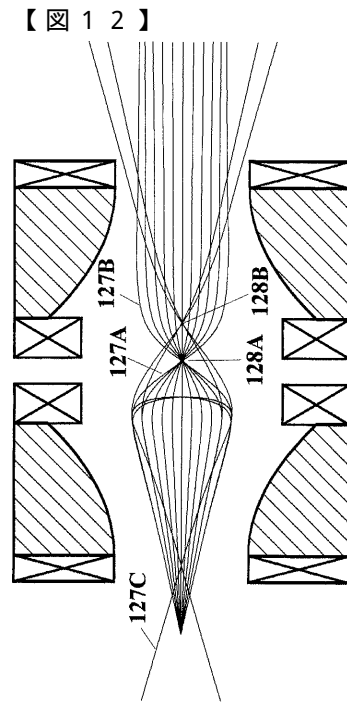


Fig.12

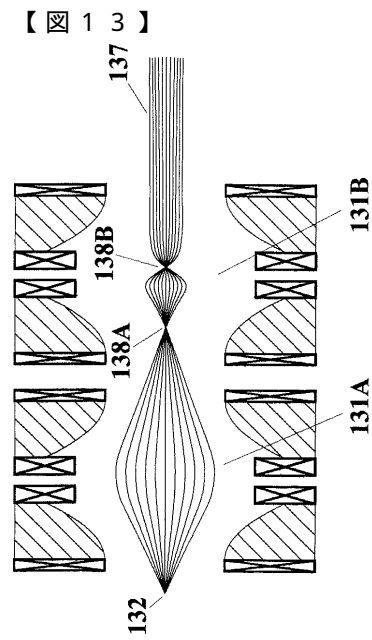


Fig.13

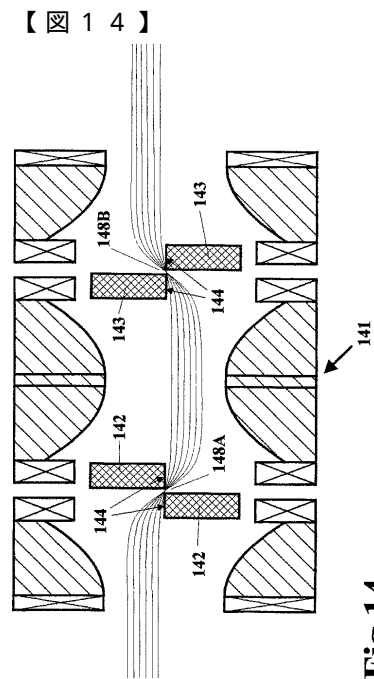


Fig.14

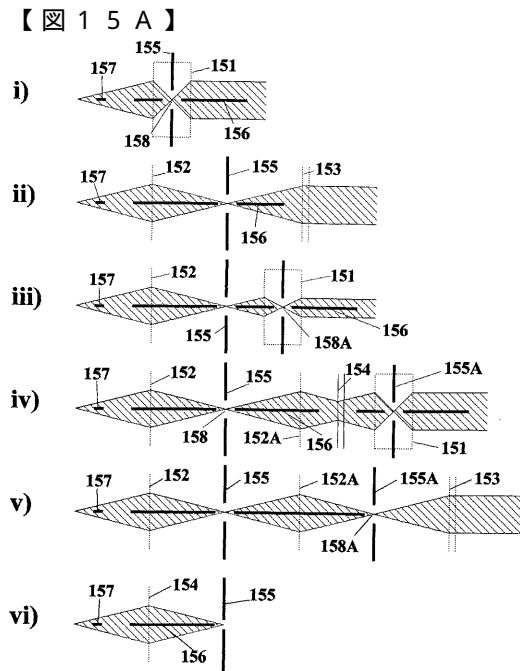


Fig.15A

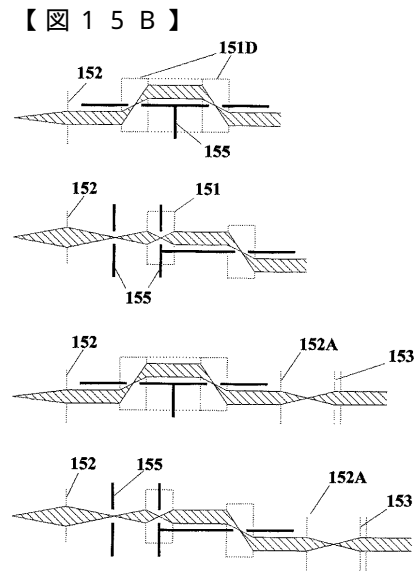


Fig.15B

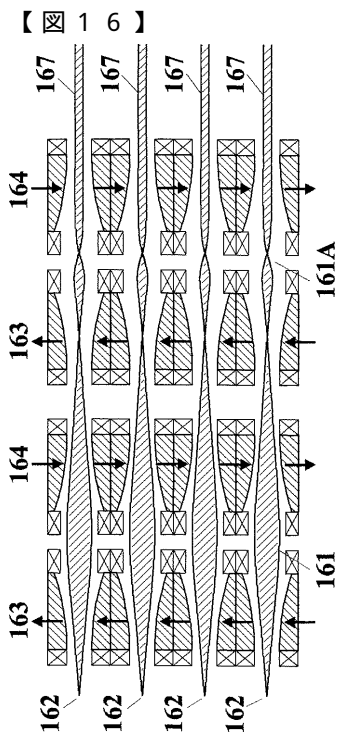


Fig.16

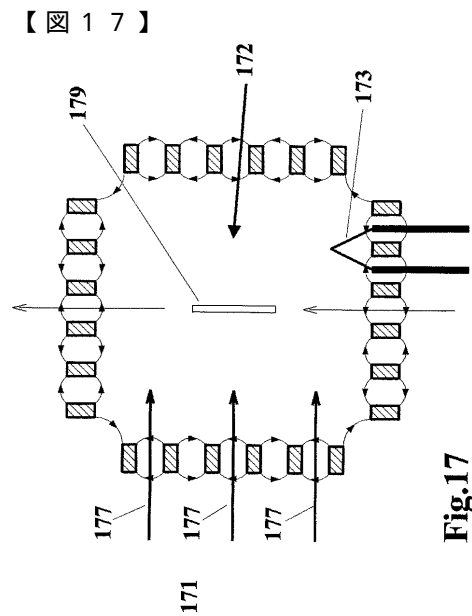
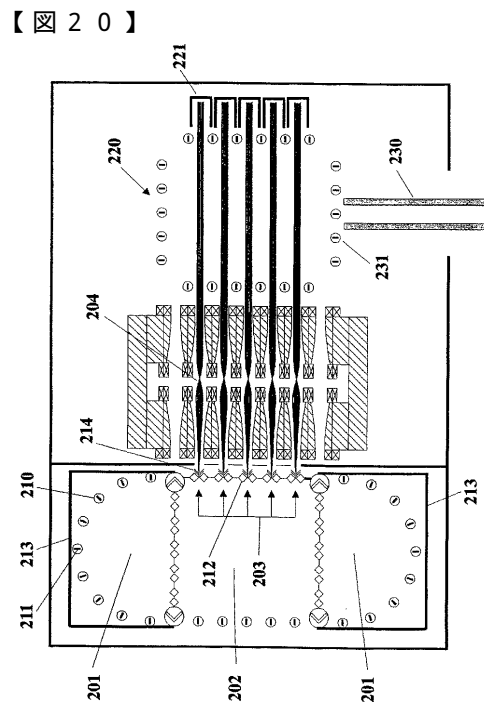
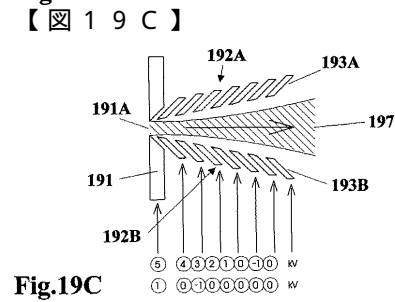
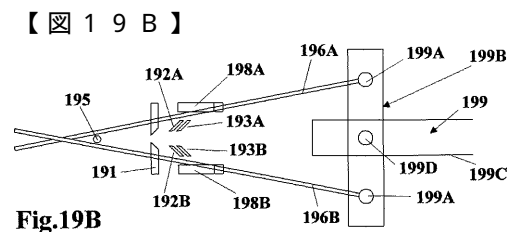
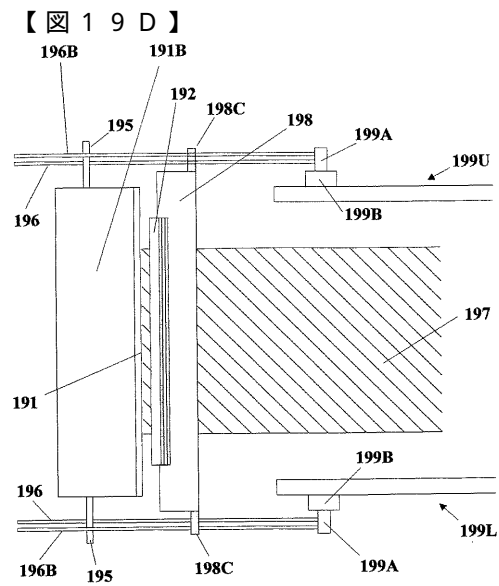
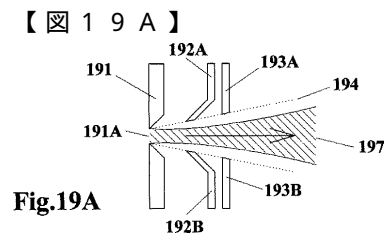
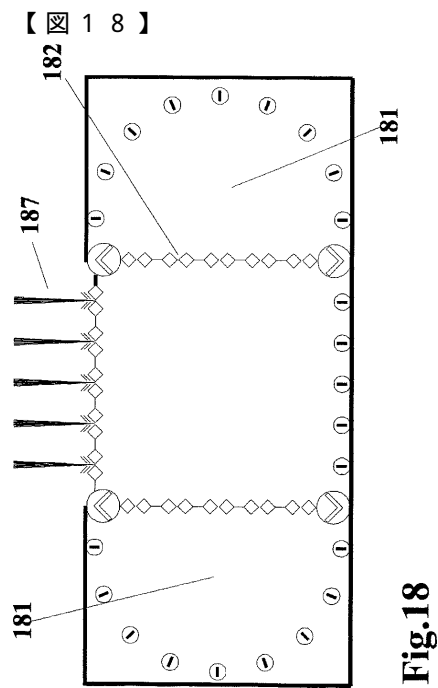


Fig.17



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09-298043(JP,A)
特開昭64-019660(JP,A)
特開平06-068837(JP,A)
特開平08-124515(JP,A)
特開平11-329316(JP,A)
特開平06-333524(JP,A)
特開平09-231937(JP,A)
特開平08-036988(JP,A)
特開昭55-161343(JP,A)
実公昭47-006365(JP,Y1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/317、37/05
C23C 14/48
H01L 21/265