(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3609711号
(P3609711)
(45)発行日　平成17年1月12日(2005.1.12)　(24)登録日　平成16年10月22日(2004.10.22)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
B01J 19/08	B01J 19/08	E
G21K 1/00	G21K 1/00	A
H01J 49/26	H01J 49/26	

請求項の数 5　(全 13 頁)

(21)出願番号	特願2000-315338(P2000-315338)
(22)出願日	平成12年10月16日(2000.10.16)
(65)公開番号	特開2001-179081(P2001-179081A)
(43)公開日	平成13年7月3日(2001.7.3)
審査請求日	平成14年1月31日(2002.1.31)
(31)優先権主張番号	456795
(32)優先日	平成11年12月8日(1999.12.8)
(33)優先権主張国	米国(US)

(73)特許権者　599041961
アルキメデス　テクノロジー　グループ，インコーポレイテッド
アメリカ合衆国カリフォルニア州サンジエゴ，オバーリン　ドライブ　５４０５，セカンド　フロア
(74)代理人　100066692
弁理士　浅村　皓
(74)代理人　100072040
弁理士　浅村　肇
(74)代理人　100094673
弁理士　林　鉐三
(74)代理人　100107467
弁理士　員見　正文

最終頁に続く

(54)【発明の名称】螺旋磁界を備えたプラズマフィルタ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

回転する多種プラズマ内の高質量粒子と低質量粒子を分離するための、螺旋磁界を備えたプラズマ質量フィルタであって、

長手方向軸線を有するほぼ円筒形の外側壁と、

前記外側壁と同軸状に位置し、前記外側壁との間にプラズマチャンバを構成するほぼ円筒形の内側壁と、

長手方向軸方向成分の磁界（B_z）を発生するための第１磁気手段と、

前記長手方向軸線方向成分の磁界（B_z）と相互作用して前記螺旋磁界を発生する、前記長手方向軸線まわりの方位角成分の磁界

（B_θ）

を発生するための第２磁気手段と、

前記プラズマチャンバ内に交差する磁界および電界を発生するよう、前記螺旋磁界にほぼ垂直であって、前記内側壁に正の電位を有し、前記外側壁にほぼゼロの電位を有する電界を発生するための手段と、

前記プラズマチャンバ内に前記回転中の多種プラズマを注入し、前記交差する磁界および電界と相互作用させ、前記プラズマチャンバから前記外側壁に前記高質量粒子を放出し、前記プラズマチャンバの通過中に前記プラズマチャンバ内に前記低質量粒子を閉じ込め、

前記高質量粒子と前記低質量粒子を分離するための手段とを備えた、螺旋磁界を備えたプラズマ質量フィルタ。
【請求項２】
前記外側壁が前記長手方向軸線から距離「ａ」にあり、前記内側壁が前記長手方向軸線から距離「ｂ」にあり、前記磁界が前記長手方向軸線方向の磁界（B_z）と、前記長手方向軸線のまわりの方位角成分の磁界

（B_θ）

を有し、前記内側壁の前記正の電位が値「V_{ctr}」を有し、前記外側壁がほぼゼロの電位を有し、更にｂが０～１の間の値（０＜ｂ＜１）を有し、前記低質量粒子が次の式

$$M_c = (ea^2(B_z^2 + B_\theta^2) / 8V_{ctr})\{1 - 1.28b^2 + 1.49b^3 - 0.56b^4\}.$$

で示されるＭよりも小さい質量を有する、請求項１記載の螺旋磁界を備えたフィルタ。
【請求項３】
回転する多種プラズマ内の高質量粒子と低質量粒子を分離するための、螺旋磁界を備えたプラズマ質量フィルタであって、
長手方向軸線を有するチャンバを囲む円筒形の壁と、
長手方向軸線方向成分の磁界（B_z）と、前記長手方向軸線まわりの方位角成分の磁界

（B_θ）

を有する螺旋磁界を前記チャンバ内に発生するための手段と、
交差する磁界および電界を発生するよう、前記螺旋磁界にほぼ垂直であって、前記長手方向軸線上に正の電位を有し、前記壁にほぼゼロの電位を有する電界を発生するための手段と、
前記プラズマチャンバ内に前記多種プラズマを注入し、前記交差する磁界および電界と相互作用させ、長手方向軸線方向速度（v_z）で該軸線方向に前記多種プラズマが前記チャンバを通過するようにこのプラズマを移動させ、前記高質量粒子を前記壁に放出し、前記プラズマチャンバの通過中に前記プラズマチャンバ内に前記低質量粒子を閉じ込め、前記高質量粒子と前記低質量粒子を分離するための手段とを備えたプラズマ質量フィルタ。
【請求項４】
前記壁が前記長手方向軸線から距離「ａ」にあり、前記長手方向軸線の電位が値「V_{ctr}」を有し、前記壁がほぼゼロの電位を有し、ｂが０から１の間の値（０＜ｂ＜１）を有し、前記低質量粒子が次の式

$$M_c = (ea^2(B_z^2 + B_\theta^2) / 8V_{ctr})\{1 - 1.28b^2 + 1.49b^3 - 0.56b^4\}.$$

で示されるM_cよりも小さい質量を有する、請求項３記載の螺旋磁界を備えたフィルタ。
【請求項５】
前記式における

（$B_z^2 + B_\theta^2$）

を変えるための手段を更に含む、請求項４記載のフィルタ。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】

本発明は一般的には、多種プラズマにおける帯電粒子をそれぞれの質量に従って分離するのに有効なシステムおよび装置に関し、より詳細には、プラズマがチャンバを横断する際にチャンバ内に低質量粒子を閉じ込めながら、プラズマチャンバから高質量粒子を放出するための、特別な構造の、交差した磁界および電界に基づき、かつ帯電粒子間の衝突が少ないことに基づくプラズマ質量フィルタに関する。本発明は特にプラズマに対し軸方向速度を発生させることにより、プラズマ質量フィルタを通過するように多種プラズマを移動させるのに有効であるが、このことに限定されるものではない。

【０００２】

【従来の技術】

プラズマ遠心分離機の一般的な原理は周知であり、よく理解されている。要約すれば、プラズマ遠心分離機は帯電粒子に力を加え、これにより粒子はそれぞれの質量に従って互いに分離される。より詳細には、プラズマ遠心分離機は交差した電界の帯電粒子に対する効果に基づくものである。公知のように交差した電界および磁界は中心に配置された長手方向軸線を中心とするそれぞれの螺旋経路にそってプラズマ内の帯電粒子が遠心分離機を通過するように帯電粒子を移動させる。これら交差した電界および磁界の作用により、帯電粒子が遠心分離機を通過する際に、当然、これら帯電粒子は種々の力を受ける。特に径方向、すなわち遠心分離機内の粒子の回転軸線に垂直な方向では、これらの力は、１）粒子の運動によって生じる遠心力F_Cと、２）電界E_rによって粒子に加わる静電力F_Eと、３）磁界B_zによって粒子に加わる磁力F_Bとに分類される。これら力の各々はそれぞれ次の数式によって表すことができる。

【０００３】

$$F_c = Mr\omega^2 \text{ 、}$$

$$F_E = eE_r \text{ 、および}$$

$$F_B = er\omega B_z .$$

【０００４】

ここで、

Ｍは粒子の質量であり、

ｒは回転軸線からの粒子の距離であり、

ωは粒子の角周波数であり、

ｅは粒子の電荷であり、

Ｅは電界強度であり、

B_zは磁界の磁束密度である。

【０００５】

プラズマ遠心分離機では磁界は径方向内側に向くと一般に認められている。言い換えれば、遠心分離機では回転軸線からの距離が増すにつれて正の電圧が増加する。これら条件下では静電力F_Eは粒子に作用する遠心力F_Cに対向し、磁力は回転方向に応じ、外側に向いた遠心力に対向したり、またはこれを助けたりする。従って、遠心力の径方向の平衡条件は次のように表記できる。

【０００６】

$$\sum F_r = 0 \quad \text{（径方向外方の正の方向）；}$$

$$F_c - F_E - F_B = 0;$$

$$Mr\omega^2 - eE_r - er\omega B_z = 0. \qquad \text{（式１）}$$

【０００７】

上記式１は２つの実際の解、すなわち正の解と負の解とを有することが理解できよう。すなわち、

【０００８】

$$\omega = \Omega / 2 \left(1 \pm \sqrt{1 + 4E_r / (rB_z\Omega)}\right)$$

【０００９】

ここで、$\Omega = eB_z / M$である。

プラズマ遠心分離機のために、遠心力F_Cが粒子の質量に従って粒子を互いに分離できるようにする遠心分離機での条件が得られるような平衡状態を求めることが目的である。遠心力は特定粒子の質量（Ｍ）に従い、粒子ごとに異なるので、このような分離が生じる。従って、粒子の質量が大きくなればなるほど質量は大きな力F_Cを受け、小さい遠心力を受ける小さい質量の粒子よりも遠心分離機の外側エッジに向かって大きく移動する。この結果、回転運動の相互軸線から外側方向に向かって小さい質量の粒子から次第に大きい質量の粒子が分布するようになる。しかしながら、周知のようにプラズマ遠心分離機は上記のようにすべての粒子を完全に分離するわけではない。

【００１０】

式１に関連してこれまで示したように、イオンを閉じ込めるよう電界Ｅを選択した時に、すべての条件に対する力のバランスを達成でき、イオンは閉じ込められた軌道に位置する。本発明のプラズマフィルタでは遠心分離機と異なり、イオンを抽出するような逆符号の電界が選択される。この結果、カットオフ値M_Cよりも大きい質量のイオンは閉じ込められない軌道上に位置することとなる。電界および磁界の強度を調節することにより、カットオフ質量M_Cを選択できる。プラズマフィルタの基本的な特徴はハミルトニアン式を使って記述できる。

総エネルギー（ポテンシャルエネルギー＋運動エネルギー）は運動の定数であり、つぎのようなハミルトニアン演算子によって表記される。

【００１１】

$$H = e\Phi + (P_r^2 + P_z^2)/(2M) + (P_\theta - e\Psi)^2/(2Mr^2)$$

【００１２】

ここで、$P_r = Mv_r$、

$P_\theta = Mrv_\theta + e\Psi$、

$P_z = Mv_z$はそれぞれモーメントのそれぞれの成分であり、$e\Phi$はポテンシャルエネルギーである。$\Psi = r^2 B_z / 2$は磁束関数に関連しており、$\Phi = V_{ctr} - \alpha\Psi$は電気ポテンシャルであり、$E = -\nabla\Phi$は当該フィルタ係数に対し０よりも大きく選択された電界であり、ハミルトニアンを次のように書き換えることができる。

【００１３】

$$H = eV_{ctr} - e\alpha r^2 B_z/2 + (P_r^2 + P_z^2)/(2M) + (P_\theta - er^2 B_z/2)^2/(2Mr^2).$$

【００１４】

ここで、P_zおよび

P_θ

の双方が運動の定数となるように、ｚ軸線に沿ってパラメータは変化しないと仮定する。

定数項のすべてを左側にグループ分けし直し、拡張すると、次のような式が得られる。
【００１５】

$$H - eV_{ctr} - P_z^2/(2M) + P_\theta\Omega/2 = P_r^2/(2M) + (P_\theta^2/(2Mr^2) + (M\Omega r^2/2)(\Omega/4 - \alpha)$$

【００１６】
ここでΩ＝ｅＢ／Ｍである。
最後の項はｒ^{2}に比例するので、Ω／４－α＜０の場合、第２の項は１／ｒ^{2}と共に減少するので、粒子が半径から出る際に左側を一定に維持するには、Ｐ$_r$^{2}を大きくしなければならない。これにより次の式によって示されるカットオフ質量よりも大きい質量体に対して閉じ込められない軌道が生じる。
【００１７】

$$M_C = e(Ba)^2/(8V_{ctr}) \quad \text{ここで}$$
$$\alpha = (V_{ctr} - \Phi)/\Psi = 2V_{ctr}/(a^2B_Z) \qquad \text{（式２）}$$

【００１８】
ここでａはチャンバの半径である。
従って、例えば陽子の質量Ｍ$_P$に正規化すると、より大きい質量体を損失軌道上に載せるのに必要な電圧を示すのに、式２を次のように書き直すことができる。
【００１９】

$$V_{ctr} > 1.2 \times 10^{-1}\,(a(m)B(\text{ｶﾞｳｽ}))^2/(M_C/M_P).$$

【００２０】
ここで、半径が１ｍであり、カットオフ質量比が１００であり、磁界が２００ガウスである装置は電圧を４８ボルトにしなければならない。
次の式によって示される簡単な力のバランス方程式を見ると、カットオフ質量に対する同じ結果を得ることができる。
【００２１】

$$\Sigma F_r = 0 \quad \text{（径方向外方の正の方向）}$$
$$F_c + F_E + F_B = 0$$
$$Mr\omega^2 + eEr - er\omega B_z = 0 \qquad \text{（式３）}$$

【００２２】
この式は電界の符号だけが式１と異なっており、次の解を有する。
【００２３】

$$\omega = \Omega/2\,(1 \pm \sqrt{1 - 4E/(rB_z\Omega)})$$

【００２４】
従って、４Ｅ／ｒＢ$_z$Ω＞１であれば、ωは虚数の根を有するので、力のバランスを得ることはできない。円筒体の半径がａであり、中心電圧がＶ$_{ctr}$であり、壁の電圧がゼロであるフィルタ装置では、カットオフ質量に対する同じ式は次のようになることが判る。
【００２５】

$$M_C = ea^2B^2/(8\,V_{ctr}).$$

【００２６】
本ケースでＢ＝Ｂ$_z$であり、帯電粒子の質量Ｍがスレッショルド値よりも大であると（Ｍ＞Ｍ$_c$）、粒子は壁に衝突するまで径方向外側に移動し続け、一方、より小さい質量の粒子は内部に閉じ込められ、装置の出口に集めることができる。種々の方法を使って壁からより大きい質量の粒子を回収することも可能である。
【００２７】
所定の装置では式３におけるＭ$_c$の値は磁界の大きさＢ、チャンバの中心の（すなわち長手方向軸線に沿った）電圧Ｖ$_{ctr}$によって決定できることに注目することが重要である。これら２つの変数は設計上の検討事項であり、制御可能である。
上記説明は特に磁界が中心の長手方向軸線に対しほぼ平行に配向し、軸方向成分Ｂ$_z$しか有しないケースに特に関するものであった。磁界が螺旋構造となっており、よって軸方向成分Ｂ$_z$と方位角成分

$$B_\theta$$

の双方を有するようなケースでは、同じ分析をすると若干異なる結果が得られる。しかしながら、同じ誘導の論理を依然として適用する。
【００２８】
カットオフ質量Ｍ$_c$に対する磁界の方位角成分

$$B_\theta$$

の作用を評価するために、次のようなハミルトニアン式を使用できる。
【００２９】

$$H = e\Phi + P_r^2/2m + (P_z - eA_z)^2/2m + (P_\theta - e\Psi)^2/2mr^2$$

【００３０】
ここでＰ$_r$、Ｐ$_z$、

$$P_\theta$$

は標準モーメント（ｃａｎｏｎｉｃａｌ　ｍｏｍｅｎｔ）のそれぞれの成分であり、Ψ＝ｒ^{2}Ｂ$_z$／２および

$$A_z = B_\theta r \ln(r)$$

は磁気ベクトルポテンシャルの成分であり、Φ＝Ｖ$_{ctr}$－αΨは電気ポテンシャルである。モーメントの方位角成分および磁気方向成分だけでなく、粒子全体のエネルギーＨが保存されることを考慮すると、モーメントの径方向成分Ｐ$_r$をｒの関数として次のように表すことができる。
【００３１】

$$4P_r^2/(eBr_o)^2 = (M/M_c)(x-1) - (1-b^2)(x-1)^2/x - b^2\ln^2 x$$

【００３２】
ここでｘ＝ｒ^{2}／ｒ$_{o}$^{2}であり、ｒ$_{o}$は粒子の初期座標であり、Ω＝ｅＢ／ｍはイオンのサイクロトロン周波数であり、

$$b = B_{\theta}(r_{o}) / B$$

であり、

$$B^{2} = B_{\theta}^{2} + B_{z}^{2}$$

である。標準的フィルタのケースのようにイオンの軌道はイオンの質量によって定められる比Ｍ／Ｍ$_{c}$に応じ、閉じ込め不能か（Ｐ$_{r}$はｒと共に単調に増加する）、または閉じ込め可能（ｒ＞ｒ$_{0}$でＰ$_{r}$＝０）とすることができる。最後の式の追加項は次の概略式によって表記できるカットオフ質量を多少増加する。
【００３３】

$$M_{c} = (ea^{2}(B_{z}^{2} + B_{\theta}^{2})/8V)(1 - 1.28b^{2} + 1.49b^{3} - 0.56b^{4}) \qquad (式４)$$

【００３４】
この式は０＜ｂ＜１のｂの全レンジにて１％よりも良好な精度を有する。比

$$B_{\theta} / B < 1$$

の場合、カットオフ質量は

$$B_{\theta}$$

に対し、従ってフィルタ内のイオンの径方向の初期位置に対し極めて敏感であるとは言えない。例えばプラズマのソースが半径０．６ａ＜ｒ＜ａおよび

$$B_{\theta}(a) / B_{z} = 0.3$$

に限定された場合、質量比が約２のイオンを分離するために許容できるカットオフ質量のばらつきは約１０％となると予想できる。
【００３５】
方位角磁界成分

$$B_{\theta}$$

を追加すると、つぎのように表すことができる軸方向速度ｖ$_{z}$を有する制御可能な軸方向のプラズマ流が生じることを指摘することも重要である。
【００３６】

$$v_{z} = E_{r}B_{\theta}/B^{2}.$$

【００３７】
Ｅ$_{r}$～ｒでは軸方向速度は平らな放射状の形状を有する。更に軸方向速度ｖ$_{z}$の大きさは磁界の方位角成分

B_θ

を発生する導線またはコイル内を流れる軸方向の電流Ｉに比例する。このような関係は次のような式で示すことができる。

【００３８】

$$v_z = 10^{-7} eI/2M_c.$$

【００３９】

従って、フィルタを通過するプラズマ流の軸方向速度v_zは

B_θ

を発生する電流Ｉを変えることによって制御できる。

【００４０】

【発明が解決しようとする課題】

上記に鑑み、本発明の目的は高質量の帯電粒子から低質量の帯電粒子を効果的に分離する螺旋磁界を有するプラズマ質量フィルタを提供することにある。本発明の別の目的はオペレータが低質量粒子と高質量粒子との間の境界を選択できるようにする可変設計パラメータを有する螺旋磁界を有するプラズマ質量フィルタを提供することにある。本発明の更に別の目的は、オペレータがフィルタによりプラズマの軸方向速度を制御できるようにする螺旋磁界を有するプラズマ質量フィルタを提供することにある。本発明の更に別の目的は、使用が容易であり、製造が比較的簡単であり、コストの点で比較的効果的な螺旋磁界を有するプラズマ質量フィルタを提供することにある。

【００４１】

【課題を解決するための手段】

本発明に係わるプラズマ質量フィルタでは、回転中の多種プラズマ内の高質量粒子から低質量粒子を分離するために衝突の少ない環境で電界と交差する螺旋磁界を発生しなければならない。より詳細には、本発明に係わるプラズマ質量フィルタは円筒形状の外側壁を含み、この外側壁は円筒形の内側壁と同軸状に配向され、この内側壁から離間し、これら２つの壁の間にプラズマチャンバを構成する。開示のため、外側壁は長手方向の共通軸線から距離「ａ」に位置し、内側壁は軸線から「ｂ」に位置する。

【００４２】

プラズマフィルタのチャンバ内で発生する螺旋磁界は軸方向成分（B_z）と方位角成分

(B_θ)

の双方を含む。より詳細には、軸方向成分（B_z）は外側壁に取り付けられた一連の磁気コイルによって発生され、同時に方位角成分

(B_θ)

はチャンバの長手方向軸線に沿って整合する直線の導線または各々が軸線と共通平面上にあり、一部が軸線に整合する複数のコイルのいずれかによって発生される。本発明のために軸方向成分（B_z）と方位角成分

(B_θ)

とは螺旋磁界を発生するように互いに相互作用する。

【００４３】

プラズマフィルタのチャンバ内部で発生される電界は螺旋磁界にほぼ垂直に配向されている。こうしてプラズマチャンバ内で交差した磁界と電界とが発生される。重要なことは電界は長手方向軸線の近くの内側壁で正のポテンシャルV_{ctr}を有し、外側壁でのポテンシャルはほぼゼロとなることである。本発明に係わるプラズマ質量フィルタが作動すると、帯電質量に対し比較的低い質量（M_1）および帯電粒子に対し比較的高い質量（M_2）の双方を含む多種プラズマがプラズマチャンバ内に注入され、交差した磁界および電界と相互作用する。$M_1 < M_c < M_z$であり、

$$M_c = e a^2 (B_z^2 + B_\theta^2) / 8 V_{ctr}$$

の場合、多種プラズマがチャンバを通過する際にプラズマチャンバから高質量粒子（M_2）が放出され、外側壁に衝突する。他方、低質量粒子（M_1）はチャンバを通過する間にプラズマチャンバ内に閉じ込められる。交差した電界および磁界とのそれぞれの相互作用により、低質量粒子はプラズマ質量フィルタにより高質量粒子から分離される。

【００４４】

本発明が意図するように、螺旋磁界はプラズマがプラズマチャンバ内をトランジットする際に多種プラズマに対し軸方向速度v_zを発生するように機能する。当然ながらこの機能は第１の場合に多種プラズマをチャンバ内に引き寄せるためのリフトオフ効果も発生する。磁界のうちの方位角成分

$$B_\theta$$

を発生する導線（コイル）を通過する電流Ｉを変えることによって軸方向成分v_zを制御することが可能である。特に式$v_z = 10^7 eI / 2M_c$に従って軸方向速度v_zを制御できる。電流Ｉは直流の約３０～４０ＫＡ（３０～４０キロアンペア）の範囲とすることが好ましい。

【００４５】

同様な参照番号が同様な部品を示す図面を参照しながら次の説明を読めば、本発明の特徴だけでなくその構造および作動の双方に関して発明自身についても最良に理解できる。

【００４６】

【発明の実施の形態】

まず図１を参照すると、ここには本発明に係わるプラズマ質量フィルタの好ましい実施例のうちの１つが示されており、全体が番号１０で示されている。図２にはプラズマ質量フィルタの別の好ましい実施例が示されており、この実施例は全体が番号１０’で示されている。重要なすべての点ではフィルタ１０とフィルタ１０’とはほぼ同じであるので、特に指摘しない限りフィルタ１０の部品とフィルタ１０’の部品とを相互に交換することが可能である。

【００４７】

図１に示されるように、フィルタ１０はこのフィルタ１０の外側壁１４を構成する開端部の円筒体１２を含む。更にこの外側壁１４は中心の長手方向軸線１６に配向され、この外側壁１４は軸線１６から径方向の距離「ａ」に位置している。更にフィルタ１０は円筒体１８を含み、この円筒体は円筒体１２の内部に位置し、長手方向軸線１６に沿って円筒体１２と同心状に整合している。図示するように、円筒体１８は外側壁１４と内側壁２０との間の領域内にプラズマチャンバ２２を構成するよう、軸線１６から径方向の距離「ｂ」に位置する内側壁２０を有する。

【００４８】

図１はフィルタ１０が複数の環状の同軸状電極を含むことも示しており、これら電極のうちの電極２４ａおよび２４ｂを代表例として示す。本発明のために電極２４ａと２４ｂと

は電界E_rを発生するよう、長手方向軸線１６に配置されている。図１にはプラズマチャンバ２２の入口端部２６に電極２４ａと２４ｂとが位置するように示されているが、電極２４ａと２４ｂとは容易なようにプラズマチャンバ２２の出口端部２８に設けることができると理解できよう。これとは別に、端部２６、２８の双方に電極２４ａと２４ｂとを位置させてもよい。更に、電極２４ａと２４ｂとは螺旋電極３０に置換できることも理解できよう（図２参照）。電極２４ａと２４ｂと同じように、端部２６、２８のいずれかまたは双方に螺旋電極３０を位置させることができる。いずれの場合においても電極２４ａおよび２４ｂ（または螺旋電極３０）の目的は、プラズマチャンバ２２内に径方向に向いた電界E_rを発生させることである。重要なことは、この電界E_rは内側壁２０での（すなわち長手方向軸線１６の近くの）正の電位V_{ctr}と外側壁１４上のほぼゼロの電位によって発生されることである。このため、E_rの向きは長手方向軸線１６とほぼ垂直な方向となる。また、電界E_rは軸線１６から径方向外側に向く。

【００４９】

図１および図２の双方は螺旋構造の磁界がフィルタ１０とフィルタ１０’の双方のプラズマチャンバ２２以内で発生されることを示している。図１および２において、螺旋パス３２はこれら磁界を示し、軸方向成分B_zと方位角成分

$$B_\theta$$

を有するように示されている。本発明によれば、フィルタ１０およびフィルタ１０’における軸方向成分B_zは複数のコイルによって発生される。これらコイルのうちの３４ａ～ｄが示されている。図示するように、コイル３４ａ～ｄは軸線１６を中心として円筒体１２の外側に取り付けられており、軸線１６とほぼ平行な軸方向成分B_zを発生する。

【００５０】

プラズマチャンバ２２内の磁界の方位角成分

$$B_\theta$$

は種々の方法で発生できる。方位角成分

$$B_\theta$$

を発生する１つの方法は、円筒体１８内部で長手方向軸線１６に沿って整合する導線３６を使用することである（図１参照）。次に、導線３６に接続された電源（図示せず）を附勢し、導線３６に電流Ｉを流し、よって方位角成分

$$B_\theta$$

を発生する。方位角成分

$$B_\theta$$

を発生する別の方法は、複数のコイルを使用する方法であり、これらコイルのうちのコイル３８ａ～ｄを示す（図２参照）。本発明の特定の実施例では、コイル３８ａ～ｄの各々を軸線１６に沿って少なくとも部分的に延長することが好ましい。図２に示されるように、コイル３８ａ～ｄの各々の平面はコイル３４ａ～ｄの各々のそれぞれの平面にほぼ垂直であり、逆に後者の平面も前者の平面にほぼ垂直である。

【００５１】

本発明のフィルタ１０またはフィルタ１０’の作動時に、内側壁２０に正の電圧V_{ctr}を発生させ、どのタイプの電極を使用するかに応じ、環状電極２４ａおよび２４ｂまたは

螺旋電極３０のいずれかによってこの正の電圧を制御する。更に、磁界のうちの軸方向成分B_zを発生するようにコイル３４ａ～ｄを附勢し、導線３６（フィルタ１０内）またはコイル３８ａ～ｄ（フィルタ１０’）内に電流Ｉを発生し、磁界のうちの方位角成分

$$B_\theta$$

を発生する。重要なことは、これら変数は上記式４を満たすように設定することである。

【００５２】

本明細書の先の説明によれば、フィルタ１０またはフィルタ１０’の構造をこれまで述べたように構成すると、入口端部２６を通してプラズマチャンバ２２内に多種プラズマ４０を導入できる。この時点で、図１および図２の双方は出口端部２８の下方の入口端部２６を示すが、プラズマチャンバ２２への入口および出口を容易に反転することも可能である。チャンバ２２内の重量効果から利点を得るために入口端部２６と出口端部２８とを反転したり、装置の中心に注入し、各端部から軽い粒子を除くことが好ましい場合もある。

【００５３】

開示のため、多種プラズマ４０は一般に異なる質量のイオン（帯電粒子）を含む。これら帯電粒子は一般に低質量の帯電粒子４２（M_1）または高質量の帯電粒子４４（M_2）のいずれかに分類できる。分離は帯電状態に対する質量に応じて決まるが、多様に帯電したイオンは低い有効質量を有するとの理解をして従来通り低質量と高質量とを用いることにする。これら分類を用いる場合、プラズマチャンバ２２内で$M_1 < M_c < M_2$の関係を設定できる。従って、多種プラズマ４０がプラズマチャンバ２２を通過するよう、フィルタ１０または１０’を通過する際に、チャンバ２２から高質量粒子４４（M_2）が放出され、入口端部２６から出口端部２８へフィルタ１０を完全に通過する前に、高質量粒子は外側壁１４内に入る。他方、低質量粒子４２（M_1）はフィルタ１０（１０’）を通過しながら、チャンバ２６内に閉じ込められ、出口端部２８から出る。従って、低質量粒子４２（M_1）は高質量粒子４４（M_2）から効果的に分離される。

【００５４】

本発明の重要な特徴は、磁界の螺旋構造により、多種プラズマ４０内の帯電粒子が力を受け、これら力によってプラズマ４０は軸方向の速度v_zでプラズマチャンバ２２を通過するように移動される。この軸方向速度は制御可能であり、式$v_z = 10^7 eI / 2M_c$に従って設定できる。v_zに対するこの式では、Ｉは導線３６（フィルタ１０）またはコイル３８ａ～ｄ（フィルタ１０’）内の電流であり、M_cは式４に示されるように決定される。Ｉは約３０～４０キロアンペアの範囲内にあることが好ましい。この制御の実際の効果は、更に処理するためにプラズマチャンバ２２内へ多種プラズマ４０をより容易に引き寄せるようにv_zを設定できることである。更に、上記のようにv_zは多種プラズマ４０の移動を助ける。より詳細にはv_zは低質量粒子４２（M_1）がプラズマチャンバ２２を通過するのを助ける。

【００５５】

これまで図面に示し、詳細に開示した螺旋磁界を有する特定のプラズマ質量フィルタは目的を完全に達成でき、先に述べたような利点を得ることができるが、このプラズマ質量フィルタは単に本発明の現在のところ好ましい実施例を示すにすぎず、添付した特許請求の範囲に記載のように、本明細書に示した構造または設計の細部だけに限定するものでないと理解すべきである。

【００５６】

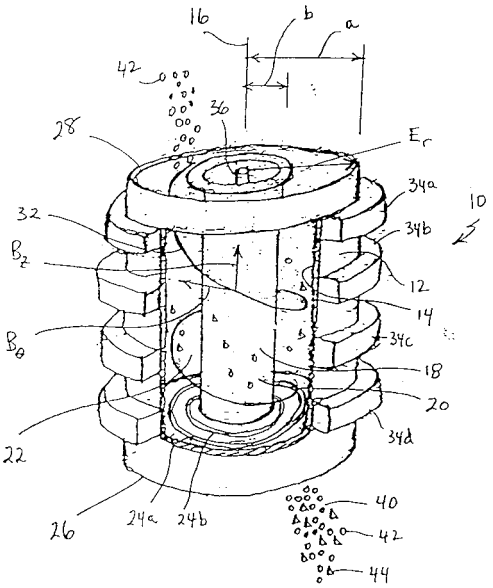
本願は、現在、米国特許庁において継続中の、１９９８年１１月１６日に米国特許庁に出願された米国特許出願第０９／１９２，９４５号である一部継続出願に基づく出願であり、この米国特許出願第０９／１９２，９４５号の内容をここに参照することにより本明細書で援用するものとする。

【図面の簡単な説明】

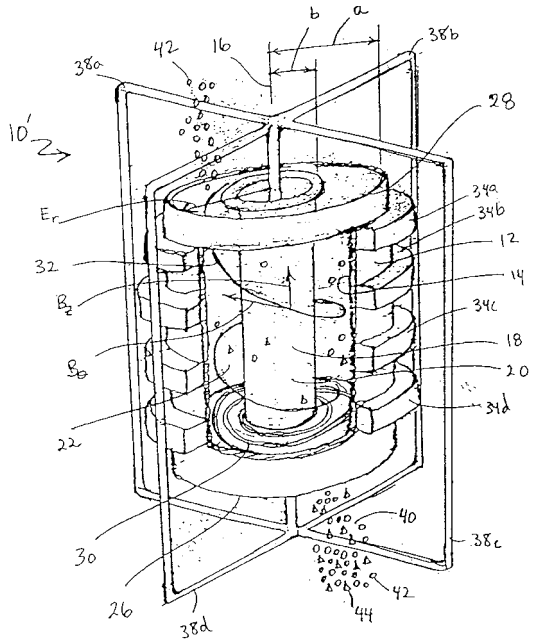
【図１】明瞭にするため、一部を破断した本発明に係わるプラズマ質量フィルタの斜視図

である。
【図２】明瞭にするため、一部を破断した本発明に係わるプラズマ質量フィルタの別の実施例の斜視図である。
【符号の説明】
１０、１０’　フィルタ
１２　開端円筒体
１４　外側壁
１６　長手方向軸線
１８　円筒体
２０　内側壁
２２　プラズマチャンバ
２４ａ、２４ｂ　電極
２６、２８　端部
３０　螺旋電極
３２　螺旋経路

【図１】



【図２】



フロントページの続き

(72)発明者　セルゲイ　プトビンスキイ
アメリカ合衆国　カリフォルニア、ラジョラ、　ラジョラ　ファームズ　ロード　９５１５
(72)発明者　リチャード　エル、フリーマン
アメリカ合衆国　カリフォルニア、デルマル、　ボクイータ　ドライブ　１３６５３
(72)発明者　チヒロ　オーカワ
アメリカ合衆国　カリフォルニア、ラジョラ、　ラジョラ　ファームズ　ロード　９５１５

審査官　豊永　茂弘

(56)参考文献　特開平７－３３５１６０（ＪＰ，Ａ）
特開平９－２７０２３４（ＪＰ，Ａ）
特開平４－１０４４４１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
B01J 19/00-19/12
H01J 49/00-49/48