

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4336780号
(P4336780)

(45) 発行日 平成21年9月30日(2009.9.30)

(24) 登録日 平成21年7月10日(2009.7.10)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 J 27/08 (2006.01) HO 1 J 27/08
 HO 1 J 37/08 (2006.01) HO 1 J 37/08

請求項の数 5 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2006-105898 (P2006-105898)	(73) 特許権者	504132272 国立大学法人京都大学
(22) 出願日	平成18年4月7日(2006.4.7)		京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(65) 公開番号	特開2007-280782 (P2007-280782A)	(73) 特許権者	302054866 日新イオン機器株式会社
(43) 公開日	平成19年10月25日(2007.10.25)		京都府京都市南区久世殿城町575番地
審査請求日	平成18年10月17日(2006.10.17)	(74) 代理人	100088661 弁理士 山本 恵二
		(72) 発明者	石川 順三 京都府京都市西京区京都大学桂 京都大学 大学院工学研究科内
		(72) 発明者	松田 耕自 京都府京都市南区久世殿城町575番地 日新イオン機器株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオン源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

一点で互いに直交する三つの軸をx軸、y軸およびz軸とすると、x軸に沿う方向にイオンビームを引き出すイオン源であって、

陽極を兼ねていて内部でプラズマを生成するための容器であって、前記イオンビームの引出し方向を前方とすると前方部が開いているプラズマ生成容器と、

前記プラズマ生成容器の後方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状に広がっていて電子を放出する熱陰極と、

前記プラズマ生成容器の前方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状をしていて前記熱陰極の一端と実質的に同電位に保たれ、電子を反射すると共に前記プラズマからイオンを引き出す多孔状の反射電極と、

前記プラズマ生成容器内であって前記反射電極の後方近傍に設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状をしていて前記プラズマ生成容器と実質的に同電位に保たれる多孔状の制御電極と、

前記反射電極の前方近傍にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状をしていて前記反射電極よりも正電位に保たれて、反射電極を通過して来るイオンを減速して通過させる多孔状の減速電極と、

前記プラズマ生成容器内に、x軸に実質的に平行な磁界を発生させる第1コイルと、

前記減速電極の前方に設けられていて、減速電極を通過して来るイオンを加速してイオンビームとして引き出す引出し電極系と、

10

20

前記引出し電極系を含む領域に、 x 軸に実質的に平行な磁界を発生させると共に、前記第1コイルと協働して、前記減速電極と引出し電極系との間の領域に、 x 軸に沿う方向においてイオンの進行方向に向けて減衰している磁界を発生させる第2コイルとを備えていることを特徴とするイオン源。

【請求項2】

前記プラズマ生成容器は、絶縁物を介して、後方部にある第1部分とその前方にある第2部分とに分けられていて、第1部分は前記熱陰極の一端と実質的に同電位に保たれ、第2部分の後方部内に、 yz 平面に実質的に平行な面状をしていて第2部分と実質的に同電位に保たれる多孔状の第2制御電極が設けられている請求項1記載のイオン源。

【請求項3】

前記熱陰極がフィラメントである請求項1または2記載のイオン源。

【請求項4】

前記熱陰極が傍熱型陰極である請求項1または2記載のイオン源。

【請求項5】

一点で互いに直交する三つの軸を x 軸、 y 軸および z 軸とすると、 x 軸に沿う方向にイオンビームを引き出すイオン源であって、

陽極を兼ねていて内部でプラズマを生成するための容器であって、前記イオンビームの引出し方向を前方とすると前方部が開いているプラズマ生成容器と、

前記プラズマ生成容器の前方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状に広がっていて、電子を放出すると共に前記プラズマからイオンを引き出す電極を兼ねる多孔状のフィラメントと、

前記プラズマ生成容器内であって前記フィラメントの後方近傍に設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状をしていて前記プラズマ生成容器と実質的に同電位に保たれる多孔状の制御電極と、

前記プラズマ生成容器の後方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状をしていて電子を反射する反射電極と、

前記フィラメントの前方近傍にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状をしていて前記フィラメントよりも正電位に保たれて、フィラメントを通過して来るイオンを減速して通過させる多孔状の減速電極と、

前記プラズマ生成容器内に、 x 軸に実質的に平行な磁界を発生させる第1コイルと、

前記減速電極の前方に設けられていて、減速電極を通過して来るイオンを加速してイオンビームとして引き出す引出し電極系と、

前記引出し電極系を含む領域に、 x 軸に実質的に平行な磁界を発生させると共に、前記第1コイルと協働して、前記減速電極と引出し電極系との間の領域に、 x 軸に沿う方向においてイオンの進行方向に向けて減衰している磁界を発生させる第2コイルとを備えていることを特徴とするイオン源。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、被照射物にイオンビームを照射してイオン注入、イオンドーピング（登録商標）等の処理を施すイオンビーム照射装置等に用いられるイオン源に関する。

【背景技術】

【0002】

生成プラズマ密度を高めるために、磁界および反射電極を用いるイオン源が従来から提案されている（例えば特許文献1参照）。

【0003】

これを図12を参照して説明すると、このイオン源は、バーナス型イオン源と呼ばれるものであり、原料ガス6が導入されるプラズマ生成容器2と、このプラズマ生成容器2内の一方側に設けられた電子放出用のU字状のフィラメント8と、プラズマ生成容器2内の他方側に設けられた電子反射用の反射電極10と、プラズマ生成容器2の前方壁面に設け

10

20

30

40

50

られたイオン引出し孔 4 とを備えている。イオン引出し孔 4 の前方近傍には、プラズマ生成容器 2 内で生成されたプラズマ 1 2 からイオンビーム 1 6 を引き出す引出し電極 1 4 が設けられている。

【 0 0 0 4 】

フィラメント 8 にはその加熱用のフィラメント電源 2 0 が接続されており、フィラメント 8 の一端とプラズマ生成容器 2 間には、フィラメント 8 を負極側にして、アーク放電用のアーク電源 2 2 が接続されている。反射電極 1 0 は、図示例のようにどこにも接続せずに浮遊電位にする場合と、フィラメント 8 の一端に接続してフィラメント電位にする場合がある。いずれの場合も、反射電極 1 0 はプラズマ生成容器 2 に対して負電位になる。反射電極 1 0 を浮遊電位にしても、反射電極 1 0 は、主にフィラメント 8 から放出されたアーク電圧相当のエネルギーの高い電子で帯電するので負電位に帯電するからである。

10

【 0 0 0 5 】

プラズマ生成容器 2 の外部には、プラズマ生成容器 2 内において、フィラメント 8 と反射電極 1 0 とを結ぶ線に沿う方向に磁界 2 4 を発生させる電磁石（図示省略）が配置されている。磁界 2 4 の向きは、図示とは逆でも良い。

【 0 0 0 6 】

このイオン源は、プラズマ 1 2 の密度を高めるために、イオンビーム 1 6 の引出し方向とは直角方向に磁界 2 4 を加えて、フィラメント 8 から放出された電子をラーマー運動によって磁力線に拘束し、かつ、負電位の反射電極 1 0 によって電子を反射して（換言すれば、押し返して。以下同様）、電子と原料ガス分子との衝突確率を高めて、プラズマ 1 2 の生成効率を高めるようにしている。

20

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 1 7 6 4 0 9 号公報（段落 0 0 1 6 - 0 0 2 1、図 1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

上記イオン源においては、アーク電源 2 2 の出力電圧および反射電極 1 0 の上記負電位によって、プラズマ生成容器 2 内に、その中央付近で電位が高く、フィラメント 8 および反射電極 1 0 付近で電位が低い電位分布が生じる。その等電位面 2 6 の概略例を図 1 2 中に示す。この電位分布によって、プラズマ生成容器 2 内に、特にイオン引出し孔 4 からフィラメント 8 付近にかけての領域に、イオンビーム 1 6 の引出し方向と交差する方向の電界 2 8 が生じる。反射電極 1 0 付近についてもほぼ同様である。

30

【 0 0 0 9 】

そのために、プラズマ 1 2 中のイオンは、イオンビーム 1 6 の進行方向とは異なる方向の運動エネルギー成分を受ける。このエネルギー成分は、イオンビーム 1 6 として引き出された後も残り、イオンビーム 1 6 の発散要因となる。即ち、イオンビーム 1 6 の平行性を低下させる要因となる。この問題は、イオンビーム 1 6 を低エネルギー（例えば 5 k e V 程度以下）で引き出す場合により顕著になる。上記進行方向と異なる方向のエネルギー成分の影響が相対的に大きくなるからである。

【 0 0 1 0 】

平行性の悪いイオンビーム 1 6 は、被照射物の処理に好ましくない結果をもたらす。例えば、被照射物の表面に半導体デバイスを形成する場合、被照射物の表面には、通常、半導体デバイスを構成する絶縁膜や導電膜等の凹凸が存在する。イオンビーム 1 6 の平行性が悪いと、この凹凸の側部に、イオンビーム 1 6 が入射しない陰の部分が生じてしまい、しかも陰の部分の大きさが被照射物の面内において互いに異なり、従って所望のイオン注入を行うことができなくなる。被照射物がより大型化およびその表面に形成される半導体デバイスがより微細化すると、この陰の問題はより深刻になる。

40

【 0 0 1 1 】

そこでこの発明は、平行性の良いイオンビームを引き出すことができるイオン源を提供することを主たる目的としている。

50

【課題を解決するための手段】

【0012】

この発明に係る第1のイオン源は、一点で互いに直交する三つの軸をx軸、y軸およびz軸とすると、x軸に沿う方向にイオンビームを引き出すイオン源であって、

陽極を兼ねていて内部でプラズマを生成するための容器であって、前記イオンビームの引出し方向を前方とすると前方部が開いているプラズマ生成容器と、

前記プラズマ生成容器の後方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状に広がっていて電子を放出する熱陰極と、

前記プラズマ生成容器の前方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状をしていて前記熱陰極の一端と実質的に同電位に保たれ、電子を反射すると共に前記プラズマからイオンを引き出す多孔状の反射電極と、

前記プラズマ生成容器内であって前記反射電極の後方近傍に設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状をしていて前記プラズマ生成容器と実質的に同電位に保たれる多孔状の制御電極と、

前記反射電極の前方近傍にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、yz平面に実質的に平行な面状をしていて前記反射電極よりも正電位に保たれて、反射電極を通過して来るイオンを減速して通過させる多孔状の減速電極と、

前記プラズマ生成容器内に、x軸に実質的に平行な磁界を発生させる第1コイルと、

前記減速電極の前方に設けられていて、減速電極を通過して来るイオンを加速してイオンビームとして引き出す引出し電極系と、

前記引出し電極系を含む領域に、x軸に実質的に平行な磁界を発生させると共に、前記第1コイルと協働して、前記減速電極と引出し電極系との間の領域に、x軸に沿う方向においてイオンの進行方向に向けて減衰している磁界を発生させる第2コイルとを備えていることを特徴としている。

【0013】

プラズマ生成容器に対して、熱陰極、反射電極、制御電極および減速電極を上記のように配置することによって、プラズマ生成容器内において発生する電界を、特にイオンの引出し口である前方部付近において発生する電界を、x軸に対して平行に近づけることができる。しかも、第1コイルによって、x軸に実質的に平行な磁界を発生させることができる。このように、電界および磁界を、x軸に対して平行に近づけることができるので、プラズマ生成容器内において、イオンビームの発散要因となる電界および磁界を減少させることができる。その結果、イオンビームの平行性を良くすることができる。

【0014】

更に、上記第1コイルおよび第2コイルが協働して、減速電極と引出し電極系との間の領域に、x軸に沿う方向においてイオンの進行方向に向けて減衰している磁界を発生させることによって、イオンが持つ磁気モーメントが保存される現象を利用して、イオンが持つ発散速度成分を減少させることができる。その結果、この理由からも、イオンビームの平行性を良くすることができる。

【0015】

前記プラズマ生成容器は、絶縁物を介して、後方部にある第1部分とその前方にある第2部分とに分けられていて、第1部分は前記熱陰極の一端と実質的に同電位に保たれ、第2部分の後方部内に、yz平面に実質的に平行な面状をしていて第2部分と実質的に同電位に保たれる多孔状の第2制御電極が設けられていても良い。

【0016】

前記熱陰極は、フィラメントでも良いし、傍熱型陰極でも良い。

【0017】

この発明に係る第2のイオン源は、一点で互いに直交する三つの軸をx軸、y軸およびz軸とすると、x軸に沿う方向にイオンビームを引き出すイオン源であって、

陽極を兼ねていて内部でプラズマを生成するための容器であって、前記イオンビームの引出し方向を前方とすると前方部が開いているプラズマ生成容器と、

前記プラズマ生成容器の前方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状に広がっていて、電子を放出すると共に前記プラズマからイオンを引き出す電極を兼ねる多孔状のフィラメントと、

前記プラズマ生成容器内であって前記フィラメントの後方近傍に設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状をしていて前記プラズマ生成容器と実質的に同電位に保たれる多孔状の制御電極と、

前記プラズマ生成容器の後方部内にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状をしていて電子を反射する反射電極と、

前記フィラメントの前方近傍にプラズマ生成容器から電氣的に絶縁して設けられていて、 yz 平面に実質的に平行な面状をしていて前記フィラメントよりも正電位に保たれて、フィラメントを通過して来るイオンを減速して通過させる多孔状の減速電極と、

前記プラズマ生成容器内に、 x 軸に実質的に平行な磁界を発生させる第1コイルと、

前記減速電極の前方に設けられていて、減速電極を通過して来るイオンを加速してイオンビームとして引き出す引出し電極系と、

前記引出し電極系を含む領域に、 x 軸に実質的に平行な磁界を発生させると共に、前記第1コイルと協働して、前記減速電極と引出し電極系との間の領域に、 x 軸に沿う方向においてイオンの進行方向に向けて減衰している磁界を発生させる第2コイルとを備えていることを特徴としている。

【0018】

この第2のイオン源も、基本的には上記第1のイオン源と同様の作用によって、イオンビームの平行性を良くすることができる。

【発明の効果】

【0019】

請求項1に記載の発明によれば、プラズマ生成容器内において発生する電界および磁界を、イオンビーム引出し方向に対して平行に近づけることができるので、イオンビームの発散要因となる電界および磁界を減少させて、イオンビームの平行性を良くすることができる。更に、イオンの進行方向に向けて減衰している磁界を発生させることによって、イオンが持つ発散速度成分を減少させることができるので、この理由からも、イオンビームの平行性を良くすることができる。上記両作用効果が相俟って、平行性の良いイオンビームを引き出すことができる。

【0020】

請求項2に記載の発明によれば、熱陰極と第2制御電極とが互いに実質的に平行に配置されることになり、熱陰極から放出される電子をイオンビーム引出し方向に対して平行に近づけることができるので、イオンビーム引出し方向と直交する方向におけるプラズマの均一性を高めることが可能になる。その結果、イオンビームの均一性を良くすることができる、という更なる効果を奏する。

【0021】

請求項5に記載の発明によれば、請求項1の上記効果と同様の効果に加えて更に次のような効果を奏する。即ち、フィラメント付近のプラズマ密度の高い領域からイオンを引き出すことができるので、しかもフィラメントから放出された電子がイオンの空間電荷を中和してイオン飽和電流が大きく取れるので、イオンひいてはイオンビームをより多く引き出すことができる。更に、フィラメントと制御電極とが互いに実質的に平行に配置されることになり、フィラメントから放出される電子をイオンビーム引出し方向に対して平行に近づけることができるので、イオンビーム引出し方向と直交する方向におけるプラズマの均一性を高めることが可能になる。その結果、イオンビームの均一性を良くすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

この明細書および図面においては、各構成要素の向き、イオンビームの進行方向等を表すために、一点で互いに直交する三つの軸、即ち x 軸、 y 軸および z 軸を用いている。こ

10

20

30

40

50

の x 軸、y 軸および z 軸は、一点で互いに直交する軸であれば良く、必ずしも図示例の方向に限られるものではない。例えば、x 軸を水平方向、垂直方向またはそれらから傾いた方向に取っても良い。

【 0 0 2 3 】

図 1 は、この発明に係るイオン源の一実施形態を示す断面図である。このイオン源は、x 軸に沿う方向にイオンビーム 9 0 を引き出すイオン源である。沿う方向とは、例えば、平行または実質的に平行な方向である。

【 0 0 2 4 】

このイオン源は、陽極を兼ねるものであって、原料ガス 3 4 が導入され、内部でプラズマ 4 0 を生成するためのプラズマ生成容器 3 0 を備えている。プラズマ生成容器 3 0 は、
10 例え、円筒状、角筒状等の筒状または箱状をしており、その前方部 3 2 が開いている。この明細書では、イオンビーム 9 0 の引出し方向を前方、その反対方向を後方と呼んでいる。このプラズマ生成容器 3 0 内、後述するイオン輸送容器 7 4 内およびイオンビーム 9 0 の経路は、図示しない真空排気装置によって真空排気される。

【 0 0 2 5 】

プラズマ生成容器 3 0 は、この実施形態では、絶縁物 6 1 を介して、後方部にある第 1 部分 3 6 とその前方にある第 2 部分 3 8 とに分けられている。但しこのように構成することは必須ではない。第 1 部分 3 6 は、後述するフィラメント 4 2 の一端に電氣的に接続されており、それと実質的に同電位に保たれる。なお、この明細書において、「実質的に同電位」には、同電位の状態も含まれている。
20

【 0 0 2 6 】

熱陰極の一例として、プラズマ生成容器 3 0 の後方部内に、絶縁物 6 0 によってプラズマ生成容器 3 0 (より具体的には、その第 1 部分 3 6) から電氣的に絶縁されており、電子を放出するフィラメント 4 2 が設けられている。フィラメント 4 2 は、例えば図 3 に示す例のように、y z 平面に実質的に平行な面状に広がっている。フィラメント 4 2 は、図 3 に示す例では、細い棒状のフィラメントを y z 平面に沿って多数回折り返した構造をしているが、細い板状のフィラメントをこれと同様に折り返した構造でも良い。あるいは、フィラメント 4 2 は、例えば図 3 のフィラメント 4 2 と同様の外形を有する平板状のもの等でも良い。

【 0 0 2 7 】

フィラメント 4 2 には、それを加熱する例えば直流のフィラメント電源 6 8 が接続されている。このフィラメント電源 6 8 の出力電圧 V_1 は、例えば、10 V ~ 15 V 程度であるが、それに限られるものではない。
30

【 0 0 2 8 】

フィラメント 4 2 の一端とプラズマ生成容器 3 0 (より具体的には、その第 2 部分 3 8) との間には、前者を負極側にして、両者 4 2、3 0 間でアーク放電を発生させる直流のアーク電源 7 0 が接続されている。このアーク電源 7 0 の出力電圧 V_2 は、例えば、40 V ~ 120 V 程度であるが、それに限られるものではない。この出力電圧 V_2 によって、フィラメント 4 2 から放出された電子を加速して原料ガス分子に衝突させて原料ガス 3 4 を電離させてプラズマ 4 0 を生成する。
40

【 0 0 2 9 】

プラズマ生成容器 3 0 の前方部 3 2 内に、絶縁物 6 2 によってプラズマ生成容器 3 0 (より具体的には、その第 2 部分 3 8) から電氣的に絶縁されており、y z 平面に実質的に平行な面状をしている多孔状の反射電極 4 8 が設けられている。多孔状というのは、例えば、多数の小孔を有する板状またはメッシュ状等の意味である。後述する他の電極も同様である。この反射電極 4 8 は、フィラメント 4 2 の一端に電氣的に接続されており、それと実質的に同電位に保たれる。この反射電極 4 8 は、プラズマ生成容器 3 0 内の電子 (主としてフィラメント 4 2 から放出された電子) を反射すると共に、多孔状をしていて、プラズマ 4 0 からイオン 5 2 を引き出す働きをする。

【 0 0 3 0 】

10

20

30

40

50

プラズマ生成容器 30 (より具体的には、その第 2 部分 38) 内であって反射電極 48 の後方近傍に、y z 平面に実質的に平行な面状をしている多孔状の制御電極 46 が設けられている。この制御電極 46 は、プラズマ生成容器 30 (より具体的には、その第 2 部分 38) に電氣的に接続されていて、それと実質的に同電位に保たれる。

【0031】

更にこの実施形態では、プラズマ生成容器 30 の第 2 部分 38 の後方部内に、y z 平面に実質的に平行な面状をしている多孔状の第 2 制御電極 44 が設けられている。この第 2 制御電極 44 は、第 2 部分 38 に電氣的に接続されていて、それと実質的に同電位に保たれる。

【0032】

反射電極 48 の前方近傍に、絶縁物 62 によってプラズマ生成容器 30 (より具体的には、その第 2 部分 38) から電氣的に絶縁されていて、y z 平面に実質的に平行な面状をしている多孔状の減速電極 50 が設けられている。この減速電極 50 は、後述する減速電源 72 によって反射電極 48 よりも正電位に保たれて、反射電極 48 を通過して来るイオン 52 を減速させて通過させる。

【0033】

減速電極 50 と反射電極 48 との間には、前者を正極側にして、減速電極 50 を反射電極 48 よりも正電位に保つ直流の減速電源 72 が接続されている。この減速電源 72 の出力電圧 V_3 は、例えば、前記出力電圧 V_2 よりも数十 V 程度高い電圧、より具体的には 70 V ~ 150 V 程度であるが、それに限られるものではない。必要とするイオン 52 のエネルギーに応じて決めれば良い。

【0034】

プラズマ生成容器 30 の外側周囲には、プラズマ生成容器 30 内に、x 軸に実質的に平行な磁界を発生させる第 1 コイル 54 が設けられている。この磁界の概略の様子を磁力線 58 で示す。磁界の向きは図示とは逆でも良い。第 1 コイル 54 は、この実施形態では、二つの互いに直列接続されたコイル 54 a、54 b を有しており、両コイル 54 a、54 b には、直流の励磁電源 56 から、上記磁界を発生させる励磁電流が供給される。両コイル 54 a、54 b は、例えば、ヘルムホルツコイルである。第 1 コイル 54 は、このようなコイル 54 a、54 b の代わりに、一つのソレノイドコイル等で構成しても良い。

【0035】

減速電極 50 の前方には、減速電極 50 を通過して来るイオン 52 を加速してイオンビーム 90 として引き出す引出し電極系 76 が設けられている。この実施形態では、減速電極 50 の前方に、イオン 52 を輸送するための、プラズマ生成容器 30 よりも大きい筒状のイオン輸送容器 74 が設けられており、このイオン輸送容器 74 の前方部に引出し電極系 76 が設けられている。減速電極 50、イオン輸送容器 74 および引出し電極系 76 の引出し電極 78 は、互いに電氣的に接続されていて実質的に同電位に保たれる。但し、このイオン輸送容器 74 を特別に設けずに、他の真空容器 (ビームライン容器等) 内でイオン 52 を輸送するようにしても良い。

【0036】

引出し電極系 76 は、この実施形態では、引出し電極 78、抑制電極 79 および接地電極 80 を有している。各電極 78 ~ 80 は、この例では多孔状の電極であるが、スリット状のイオン引出し孔を有するものでも良い。引出し電極 78 には直流の加速電源 82 から、イオンビーム 90 加速用の正の加速電圧 V_4 が印加される。抑制電極 79 には直流の抑制電源 84 から、逆流電子抑制用の負の抑制電圧 V_5 が印加される。接地電極 80 は電氣的に接地されている。電極 78、79、80 間は、絶縁物 63、64 によって電氣的に絶縁されている。但し、引出し電極系 76 の構成は、この例のものに限られるものではない。

【0037】

加速電圧 V_4 は、例えば、1 kV ~ 40 kV 程度であるが、これに限られるものではなく、必要とするイオンビーム 90 のエネルギーに応じて決めれば良い。抑制電圧 V_5 は、

10

20

30

40

50

例えば、1 kV ~ 2 kV 程度であるが、これに限られるものではない。

【0038】

引出し電極系76の外側周囲付近には、引出し電極系76を含む領域に、x軸に実質的に平行な磁界を発生させると共に、第1コイル54と協働して、減速電極50と引出し電極系76(より具体的には、その引出し電極78)との間の領域に、x軸に沿う方向においてイオン52の進行方向に向けて減衰している磁界を発生させる第2コイル86が設けられている。この第2コイル86は第1コイル54と同方向の磁界を発生させる。この磁界の概略の様子を、上記磁力線58で示している。

【0039】

第2コイル86は、この実施形態では、直流の励磁電源88a~88cによってそれぞれ励磁される三つのリング状のコイル86a~86cを有しており、各コイル86a~86cは互いに同方向の磁界を発生させる。第2コイル86は、必ずしもこの実施形態のものに限られるものではないが、上記のような磁界を発生させる観点から、複数のコイルで構成し、かつ各コイルに励磁電流を独立して供給する直流の励磁電源をそれぞれ設けるのが好ましい。

10

【0040】

このイオン源においては、前記所定の箇所を真空排気すると共に、プラズマ生成容器30内に所望の原料ガス34を導入し、かつ前記所定の箇所に電圧を印加すると、プラズマ生成容器30内でアーク放電が生じて原料ガス34が電離されてプラズマ40が生成される。そしてこのプラズマ40から、前記イオン52が引き出され、それが磁力線58に沿って引出し電極系76まで輸送され、かつ引出し電極系76によって加速されて、イオンビーム90として引き出される。

20

【0041】

このイオン源の動作時のx軸に沿う方向における電位分布の一例を図2に示す。この図において、フィラメント電源68の出力電圧 V_f は小さく、かつ説明に必要がないので無視している。後述する図5においても同様である。プラズマ生成容器30内に生成されるプラズマ40(図1参照)は、通常、プラズマ生成容器30の電位よりも若干(例えば数十V程度)高いプラズマ電位 V_p を有している。プラズマ40と近接する第2制御電極44、制御電極46および反射電極48等の近傍には、イオンシースが形成される。プラズマ生成容器30と実質的に同電位である第2制御電極44および制御電極46の近傍で電位が低下しているのはそのためである。

30

【0042】

減速電極50を通して引き出されるイオン52のエネルギーは、 $V_p - V_3$ [eV]となり、減速電源72の出力電圧 V_3 を調整することによって、このイオン52のエネルギーを非常に小さく(例えば1eV~数eV程度に)することができる。そのように小さくする理由は後述する。

【0043】

このイオン源においては、フィラメント42、第2制御電極44、制御電極46、反射電極48および減速電極50を、yz平面に実質的に平行に配置しているため、プラズマ生成容器30内等には、図2中に代表例を示すように、互いに実質的に平行かつx軸に対して実質的に直角方向の等電位面92が形成される。従って、プラズマ生成容器30内において発生する電界94を、特にイオン52の引出し口である前方部32付近において発生する電界94を、x軸に対して平行に近づけることができる。しかも、第1コイル54によって、x軸に実質的に平行な磁界を発生させることができる。このように、電界および磁界を、x軸に対して平行に近づけることができるので、プラズマ生成容器30内において、イオンビーム90の発散要因となる電界および磁界を減少させることができる。その結果、イオンビーム90の平行性を良くすることができる。これが第1の作用効果である。

40

【0044】

更に、第1コイル54および第2コイル86が協働して、減速電極50と引出し電極系

50

76 との間の領域に、x 軸に沿う方向においてイオン 52 の進行方向に向けて減衰している磁界を発生させることによって、以下に詳述するイオン 52 が持つ磁気モーメントが保存される現象を利用して、イオン 52 が持つ発散速度成分を減少させることができる。その結果、この理由からも、イオンビーム 90 の平行性を良くすることができる。これが第 2 の作用効果である。

【0045】

従って、このイオン源によれば、上記第 1 および第 2 の作用効果が相俟って、平行性の良いイオンビーム 90 を引き出すことができる。また、後述する図 11 も参照すれば分かるように、減速電極 50 から引き出されるイオン 52 を磁界によって広げて、減速電極 50 よりも大面積のイオンビーム 90 を引き出すことができる。従って、大型の被照射物にも容易に対応することができる。

10

【0046】

上記磁気モーメントの保存について詳述すると、次の非特許文献 1 および 2 にも記載されているように、磁界（磁束密度） B [T] がイオンの進行方向に変化している場合、数 1 の条件が満たされているとき、数 2 で表されるイオンの磁気モーメント μ は保存される。ここで、 M はイオンの質量数 [AMU]、 Z は荷数、 U はエネルギー [eV]、 L は系の特性長（ここでは磁界を減衰させている空間のイオン進行方向の距離）[m]、 m はイオンの質量、 v_r はイオン速度の磁界に直交する成分である。

【0047】

[数 1]

$$BL \geq 1.5 \times 10^{-4} (MU) / Z$$

20

【0048】

[数 2]

$$\mu = m v_r^2 / 2 B$$

【0049】

上記磁気モーメント μ が保存される性質を利用することによって、磁界が減衰する方向にイオンを輸送すれば、イオン速度の磁界に直交する成分 v_r が減少し、その分、磁界に平行な成分 v_x が増加する（換言すれば、 v_r が v_x に変換される）。このような性質をイオン源から引き出すイオンの平行化に用いることについては非特許文献 1 および 2 には記載されていないが、このイオン源ではこの性質に着目して、それをイオン 52 が持つ発散速度成分を減少させることに利用している。従って、イオン 52 がイオン輸送容器 74 内の減衰磁界を通過している間に、x 軸に直交する方向の速度成分 v_x 、即ち発散速度成分は減少する。

30

【0050】

[非特許文献 1]

石川順三著、アイオニクス叢書、「イオン源工学」、第一刷、アイオニクス株式会社、昭和 61 年 5 月 31 日、頁 94 - 95

[非特許文献 2]

執筆委員 高木俊宜、電気学会大学講座、「電子・イオンビーム工学」、初版、社団法人電気学会、1995 年 3 月 1 日、頁 99

40

【0051】

上記第 1 コイル 54、第 2 コイル 86 によって発生させる磁界およびその磁界中におけるイオン 52 の軌道をシミュレーションした結果の例を次に説明する。

【0052】

図 6 は、xz 平面内の磁界のベクトル図である。このベクトルをつなぐと、図 1 に示した磁力線 58 に相当するものになる。この例では、各コイル 54a、54b、86a、86b、86c の起磁力を、それぞれ、10,000 A、10,000 A、1,500 A、1,250 A、2,250 A とした。磁界は、第 1 コイル 54 を構成するコイル 54a、54b 間の領域で x 軸に実質的に平行になり、コイル 54b とコイル 86a 間の領域で発散して減衰し、コイル 86b の前後付近からコイル 86c にかけての領域で再び x 軸に実

50

質的に平行になっていることが分かる。

【 0 0 5 3 】

図 6 の例における x 軸上の磁束密度の変化を図 7 に示す。x = 0 m における磁束密度 B_0 は約 0.37 T、x = 0.1 m における磁束密度 B_1 は約 0.04 T であり、両地点間で、特に x = 0 m から x = 0.02 m 間で、磁界は急激に減衰していることが分かる。

【 0 0 5 4 】

図 6 の磁界分布の場合に、コイル 5 4 a、5 4 b の中間付近から、イオン 5 2 を初期発散角 $\theta_0 = 60$ 度で放出したときのイオン 5 2 の軌道を図 9 および図 11 に示す。このときのイオン 5 2 は、質量数 11 のホウ素イオン $^{11}B^+$ 、そのエネルギー U は 0.5 eV とした。

10

【 0 0 5 5 】

イオン 5 2 は、図 8 に示すように、点 P から初期発散角 $\theta_0 = 60$ 度で円錐状に 6 方向に (図 8 では 2 方向のみ図示) 放出した。なお、この初期発散角 $\theta_0 = 60$ 度というのは、上記減速電極 5 0 から引き出されるイオン 5 2 がそのような大きな発散角を持っているという意味ではなく、上記磁気モーメントの保存によって発散角が小さくなることを明確にするために、敢えて大きく誇張した例である。

【 0 0 5 6 】

上記の場合、上記数 1 に示す系の特性長 L を 0.02 m と見ると、質量数 M は 11、イオンのエネルギー U は 0.5 eV、荷数 Z は 1 であるから、数 1 から次式が導かれる。

【 0 0 5 7 】

[数 3]

$$B = 0.012 \text{ [T]}$$

20

【 0 0 5 8 】

また、同様に上記数 1 に示す系の特性長 L を 0.15 m と見ると、質量数 M は 11、イオンのエネルギー U は 0.5 eV、荷数 Z は 1 であるから、数 1 から次式が導かれる。

【 0 0 5 9 】

[数 4]

$$B = 0.0023 \text{ [T]}$$

【 0 0 6 0 】

図 7 に示したように、x = 0 ~ 0.15 m において磁束密度 B は十分に大きいので、この例では上記数 3 および数 4 の条件を満たしていることが分かる。この場合、仮にイオン 5 2 のエネルギー U が大きいと、数 1 の条件を満たすためには減衰領域の磁束密度 B は大きくなる。これを避けるために、この実施例のイオン源では減速電極 5 0 を設けて、イオン 5 2 を減速してそのエネルギー U を小さくするようにしている。

30

【 0 0 6 1 】

従って、このイオン源においては、上記磁気モーメント μ が保存されることになり、図 9 から分かるように、イオン 5 2 の発散角はコイル 5 4 b とコイル 8 6 a 間で急激に小さくなっている。具体的には、図 10 に示すように、初期発散角 $\theta_0 = 60$ 度であったものが、x = 0.1 m の点における発散角 θ_1 は約 17 度まで減少して、平行化されていることが分かる。実際は、上記減速電極 5 0 から引き出されるイオン 5 2 の初期発散角 θ_0 は 60 度よりも遙かに小さいので、発散角 θ_1 が 0 度に極めて近くなるように平行化される。

40

【 0 0 6 2 】

なお、図 9 に示しているイオン 5 2 は、一見すると z 軸方向に上下運動をしているかのように見えるけれどもそうではなく、イオン 5 2 は、その進行方向の軸を中心にしてラーマー直径を半径に持つ包絡円を描くように運動して、その進行方向 (磁界 B の方向) とは一定の傾きを保って螺旋軌道を取る。そのピッチは磁界に逆比例する。図 11 の場合も同様である。

【 0 0 6 3 】

図 9 では、イオン 5 2 は、第 2 コイル 8 6 を通過した後で発散しているけれども、これ

50

は図9の例では引出し電極系76に加速電圧 V_4 を印加しておらず、イオン52は0.5 eVのエネルギーしか有していないからであり、加速電圧 V_4 を印加すると例えば図11に示す例のように、イオン52はイオンビーム90としてx軸に実質的に平行に引き出される。図11は、加速電圧 V_4 を5kVにした例であり、この場合のイオンビーム90は、発散角が 1.7×10^{-3} 度まで平行化されている。これよりも低い加速電圧 V_4 でも、即ち5keVより低いエネルギーのイオンビーム90でも、平行性を非常に良くすることができる。

【0064】

また、図11からも分かるように、減速電極50から引き出されたイオン52を磁界によって広げて、減速電極50よりも大面積のイオンビーム90を引き出すことができる。従って、大型の被照射物にも容易に対応することができる。

10

【0065】

再び図1を参照して、この実施形態のように、プラズマ生成容器30を第1部分36と第2部分38とに分けて、第2部分38の後方部内に第2制御電極44を設けると、フィラメント42と第2制御電極44とが互いに実質的に平行に配置されることになり、フィラメント42から放出される電子をイオンビーム引出し方向に対して平行に近づけることができるので、イオンビーム引出し方向と直交する方向におけるプラズマ40の均一性を高めることが可能になる。その結果、イオンビーム90の均一性を良くすることができる。

【0066】

熱陰極として、フィラメント42の代わりに、yz平面に実質的に平行な例えば板状の陰極を、その背後からフィラメント等によって加熱する傍熱型陰極を用いても良い。

20

【0067】

次に、この発明に係るイオン源の他の実施形態を、図4および図5を参照して説明する。図1および図2に示した上記実施形態と同一または相当する部分には同一符号を付し、以下においては上記実施形態との相違点を主体に説明する。

【0068】

図4に示すイオン源では、プラズマ生成容器30は分割していない。このプラズマ生成容器30の前方部32内に、絶縁物62によってプラズマ生成容器30から電氣的に絶縁されていて、yz平面に実質的に平行な面状に広がっている多孔状のフィラメント42が設けられている。このフィラメント42は、例えば、図3に示した例のように、細い棒状または細い板状のフィラメントをyz平面に沿って多数回折り返した構造をしている。そのようなフィラメント42は、多数の隙間43を有しているので、これもこの明細書では多孔状の範疇に含めている。これ以外に、フィラメント42は、多数の小孔を有する平板状のもの、またはメッシュ状のもの等でも良い。

30

【0069】

このフィラメント42は、上記フィラメント電源68によって加熱されて電子を放出すると共に、多孔状をしていて上記プラズマ40から上記イオン52を引き出す働きをする。

【0070】

このフィラメント42の後方近傍および前方近傍には、上記制御電極46および減速電極50がそれぞれ設けられている。この場合、制御電極46は、フィラメント42との間でアーク放電を発生させる放電用陽極を兼ねている。減速電極50は、フィラメント42を通過して来るイオン52を減速させて通過させる。

40

【0071】

プラズマ生成容器30の後方部内に、絶縁物65によってプラズマ生成容器30から電氣的に絶縁されていて、yz平面に実質的に平行な面状をしている反射電極49が設けられている。この反射電極49は、上記反射電極48と違ってイオン52を通過させる必要はないので、単なる平板状のもの等でも良い。

【0072】

50

この反射電極 4 9 は、図 4 に示す例のように、フィラメント 4 2 の一端に接続してフィラメント電位にしても良いし、どこにも接続せずに浮遊電位にしても良い。浮遊電位にしても負電位に帯電することは前述したとおりである。いずれの場合も、この反射電極 4 9 は、プラズマ生成容器 3 0 に対して負電位になり、プラズマ生成容器 3 0 内の電子（主としてフィラメント 4 2 からの電子）を反射させる働きをする。

【 0 0 7 3 】

各種電源 6 8、7 0 等、第 1 コイル 5 4、第 2 コイル 8 6、引出し電極系 7 6 等については、上記実施形態と同様である。

【 0 0 7 4 】

この実施形態のイオン源の動作時の x 軸に沿う方向における電位分布の一例を図 5 に示す。第 2 制御電極 4 4 の部分を除いて、図 2 に示した電位分布と同様の電位分布をしている。

10

【 0 0 7 5 】

この実施形態のイオン源も、基本的には、上記実施形態のイオン源と同様の作用効果を奏する。即ち、このイオン源においては、反射電極 4 9、制御電極 4 6、フィラメント 4 2 および減速電極 5 0 を、y z 平面に実質的に平行に配置しているので、プラズマ生成容器 3 0 内には、図 5 中に代表例を示すように、互いに実質的に平行かつ x 軸に対して実質的に直角方向の等電位面 9 2 が形成される。従って、プラズマ生成容器 3 0 内において発生する電界 9 4 を、特にイオン 5 2 の引出し口である前方部 3 2 付近において発生する電界 9 4 を、x 軸に対して平行に近づけることができる。しかも、第 1 コイル 5 4 によって、x 軸に実質的に平行な磁界を発生させることができる。このように、電界および磁界を、x 軸に対して平行に近づけることができるので、プラズマ生成容器 3 0 内において、イオンビーム 9 0 の発散要因となる電界および磁界を減少させることができる。その結果、イオンビーム 9 0 の平行性を良くすることができる。これが第 1 の作用効果である。

20

【 0 0 7 6 】

更に、第 1 コイル 5 4 および第 2 コイル 8 6 が協働して、減速電極 5 0 と引出し電極系 7 6 との間の領域に、x 軸に沿う方向においてイオン 5 2 の進行方向に向けて減衰している磁界を発生させることによって、上述したイオン 5 2 が持つ磁気モーメントが保存される現象を利用して、イオン 5 2 が持つ発散速度成分を減少させることができる。その結果、この理由からも、イオンビーム 9 0 の平行性を良くすることができる。これが第 2 の作用効果である。

30

【 0 0 7 7 】

従って、このイオン源によれば、上記第 1 および第 2 の作用効果が相俟って、平行性の良いイオンビーム 9 0 を引き出すことができる。また、前述した図 1 1 も参照すれば分かるように、減速電極 5 0 から引き出されるイオン 5 2 を磁界によって広げて、減速電極 5 0 よりも大面積のイオンビーム 9 0 を引き出すことができる。従って、大型の被照射物にも容易に対応することができる。

【 0 0 7 8 】

それに加えて、この実施形態のイオン源では、次のような更なる効果を奏する。即ち、プラズマ 4 0 はフィラメント 4 2 付近で密度が高く、そのプラズマ密度の高い領域からイオン 5 2 を引き出すことができるので、しかもフィラメント 4 2 から放出された電子がイオン 5 2 の空間電荷を中和してイオン飽和電流が大きく取れるので、イオン 5 2 ひいてはイオンビーム 9 0 をより多く引き出すことができる。更に、フィラメント 4 2 と制御電極 4 6 とが互いに実質的に平行に配置されることになり、フィラメント 4 2 から放出される電子をイオンビーム引出し方向に対して平行に近づけることができるので、イオンビーム引出し方向と直交する方向におけるプラズマ 4 0 の均一性を高めることが可能になる。その結果、イオンビーム 9 0 の均一性を良くすることができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 9 】

【 図 1 】 この発明に係るイオン源の一実施形態を示す断面図である。

50

【図 2】図 1 のイオン源の動作時の x 軸に沿う方向における電位分布の一例を示す図である。

【図 3】フィラメントの一例を示す正面図である。

【図 4】この発明に係るイオン源の他の実施形態を示す断面図である。

【図 5】図 4 のイオン源の動作時の x 軸に沿う方向における電位分布の一例を示す図である。

【図 6】図 1 および図 4 のイオン源における x z 平面内の磁界のベクトルをシミュレーションした結果の一例を示す図である。

【図 7】図 6 の例における x 軸上の磁束密度の変化の様子を示す図である。

【図 8】イオンの初期発散角を示す図である。

10

【図 9】図 6 の磁界分布の場合にイオンを初期発散角 60 度で放出したときのイオンの軌道をシミュレーションした結果の一例を示す図であり、この例では引出し電極系に加速電圧は印加していない。

【図 10】図 9 の例におけるイオンの発散角の変化の様子を示す図である。

【図 11】図 6 の磁界分布の場合にイオンを初期発散角 60 度で放出したときのイオンの軌道をシミュレーションした結果の他の例を示す図であり、この例では引出し電極系に 5 kV の加速電圧を印加している。

【図 12】従来のイオン源の一例を示す断面図である。

【符号の説明】

【0080】

20

30 プラズマ生成容器

32 前方部

36 第 1 部分

38 第 2 部分

40 プラズマ

42 フィラメント (熱陰極)

44 第 2 制御電極

46 制御電極

48、49 反射電極

50 減速電極

30

52 イオン

54 第 1 コイル

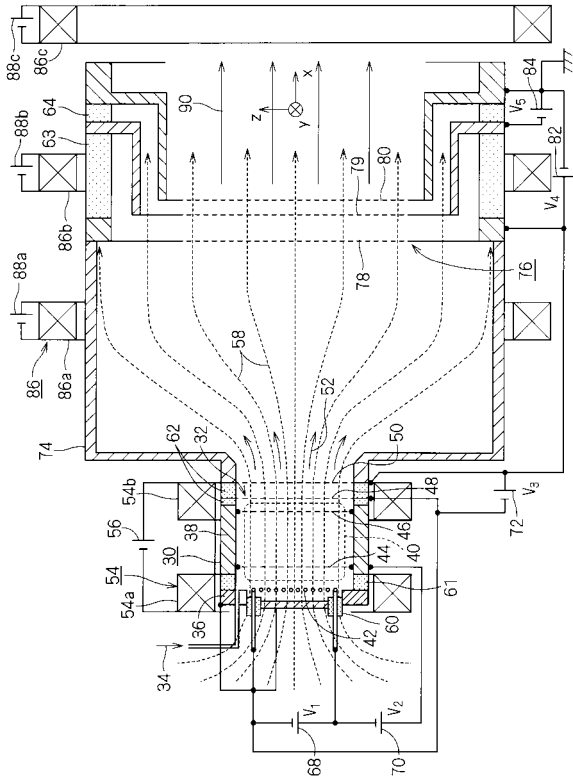
58 磁力線

76 引出し電極系

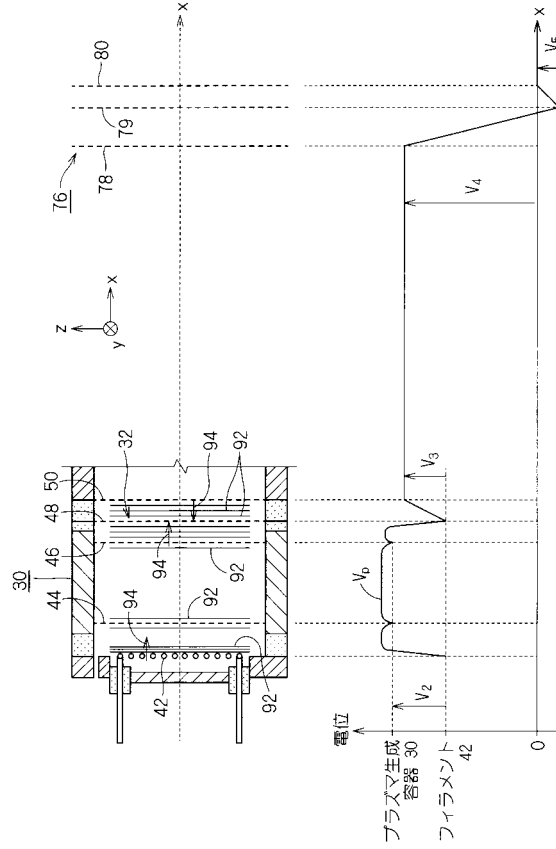
86 第 2 コイル

90 イオンビーム

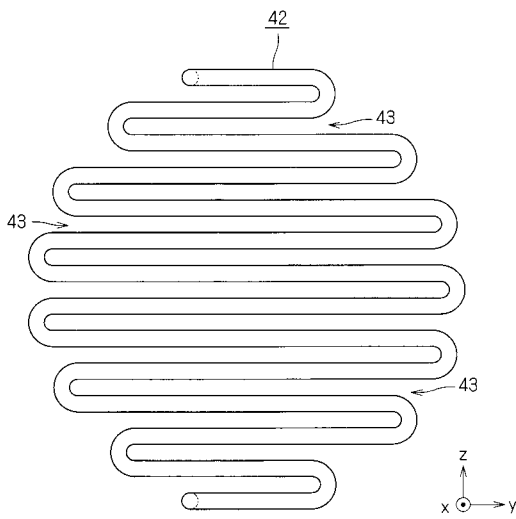
【図1】



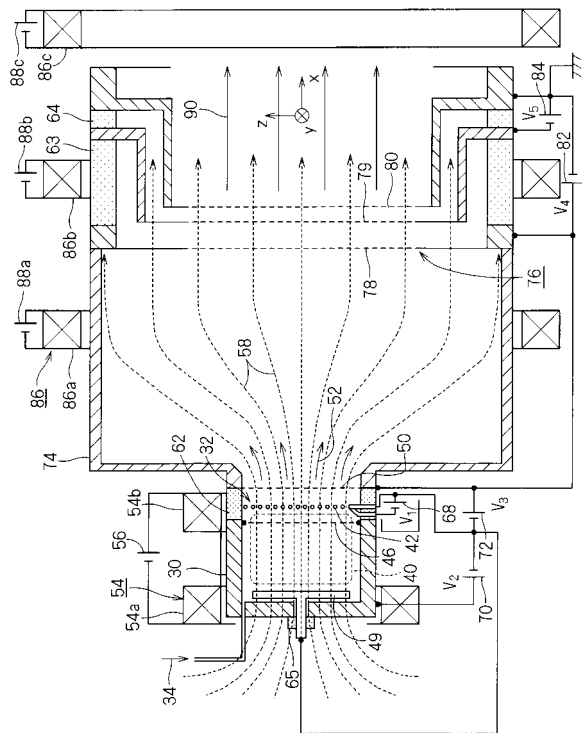
【図2】



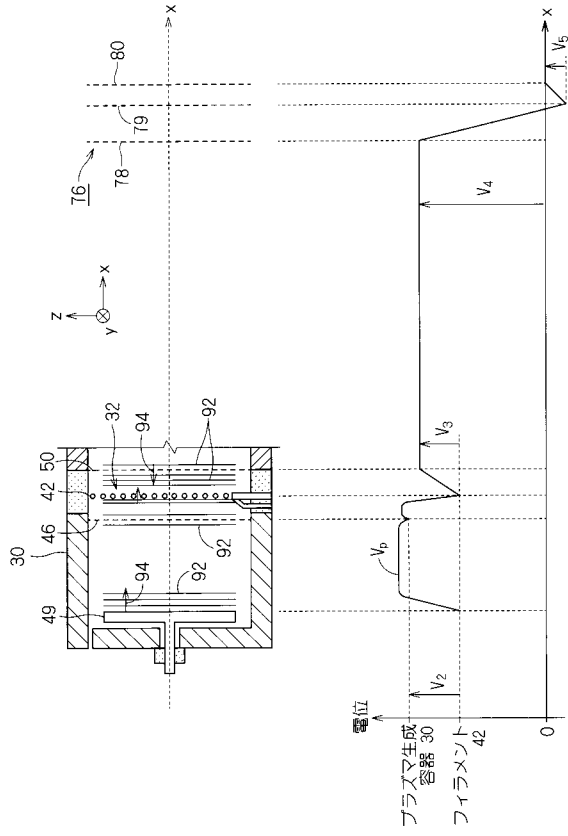
【図3】



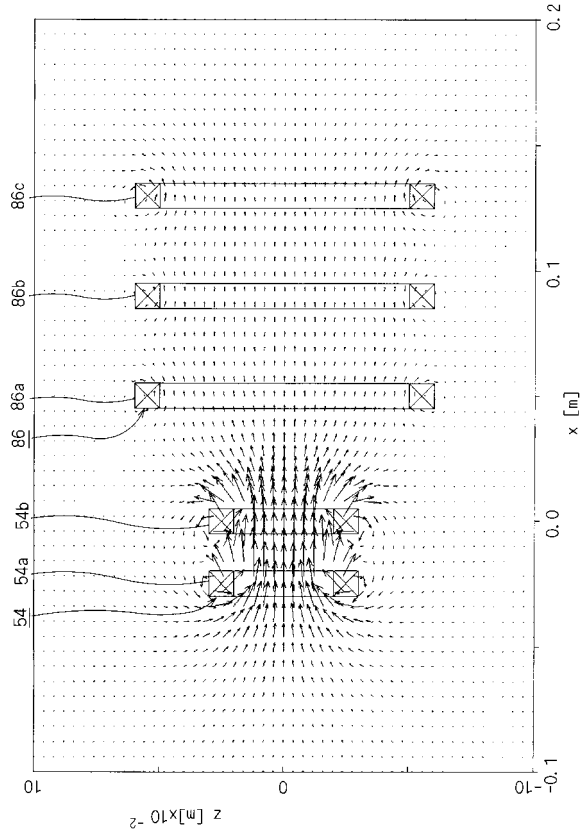
【図4】



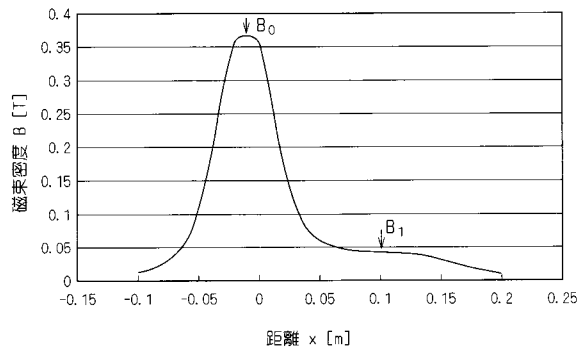
【 図 5 】



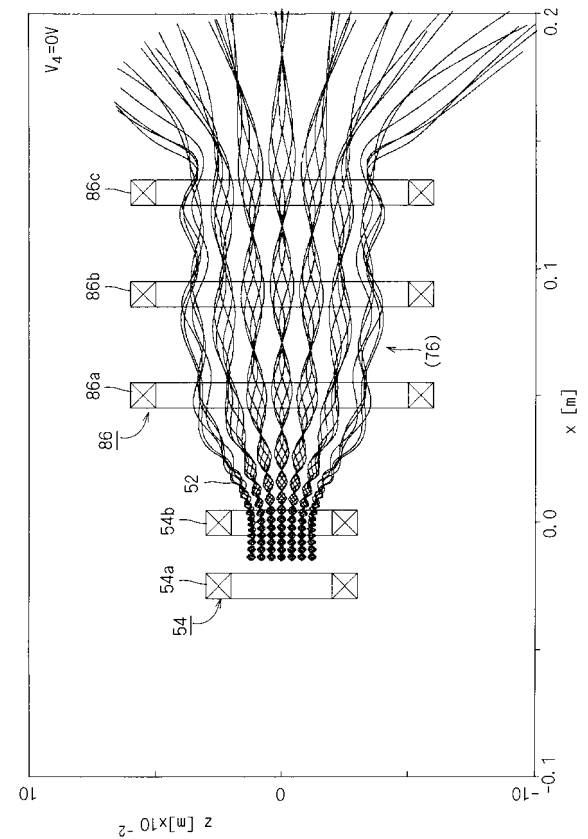
【 図 6 】



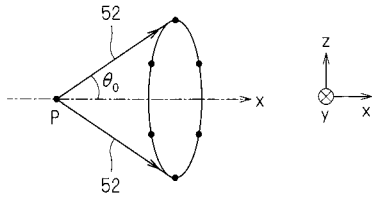
【 図 7 】



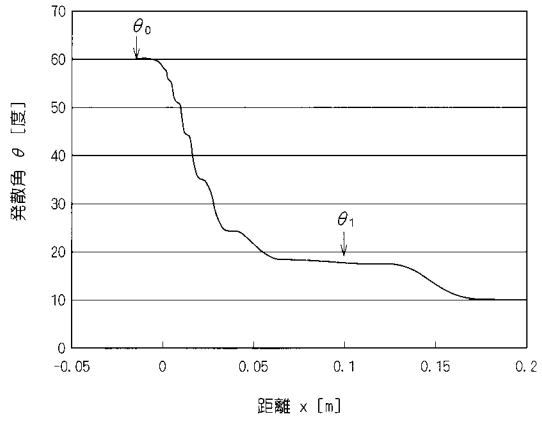
【 図 9 】



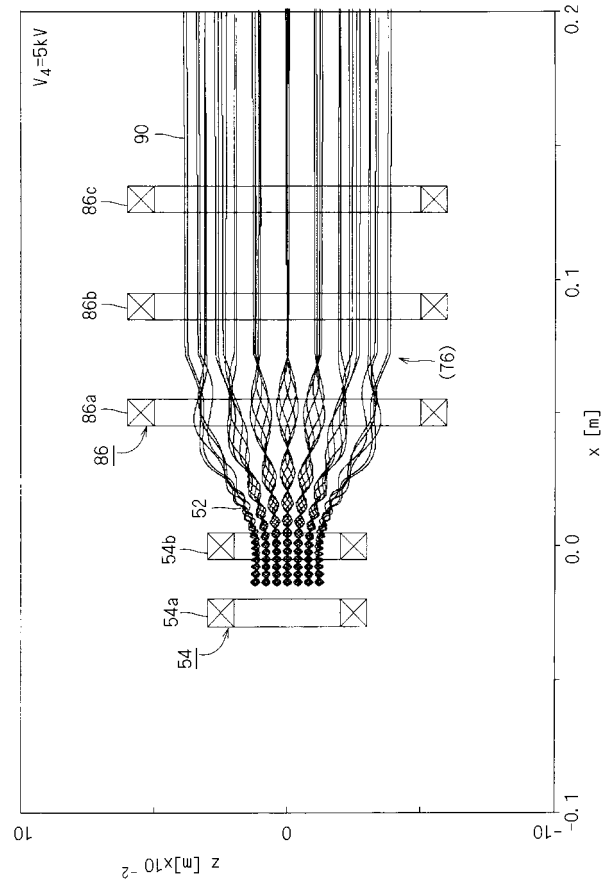
【 図 8 】



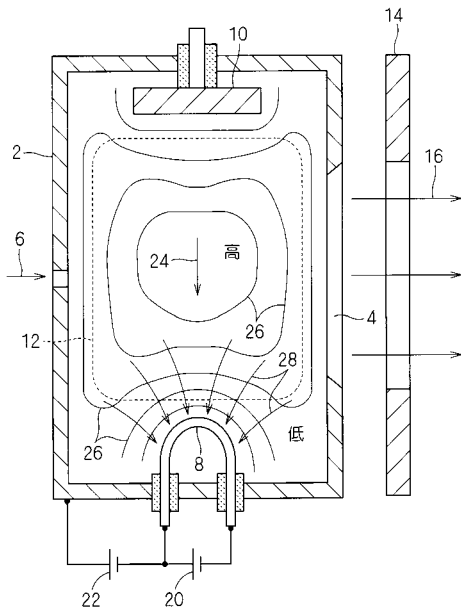
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

- (72)発明者 藤田 秀樹
京都府京都市南区久世殿城町575番地 日新イオン機器株式会社内
- (72)発明者 酒井 滋樹
京都府京都市南区久世殿城町575番地 日新イオン機器株式会社内

審査官 遠藤 直恵

- (56)参考文献 特開平03-162581(JP,A)
特開平04-137727(JP,A)
特開平04-132145(JP,A)
特開昭59-060843(JP,A)
特開平04-129200(JP,A)
特開昭60-028146(JP,A)
特開平02-199742(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01J 27/00 - 27/26