

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4771230号  
(P4771230)

(45) 発行日 平成23年9月14日(2011.9.14)

(24) 登録日 平成23年7月1日(2011.7.1)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>H05H</b>	<b>9/00</b>	<b>(2006.01)</b>	H05H 9/00 A
<b>H05H</b>	<b>1/24</b>	<b>(2006.01)</b>	H05H 1/24
<b>G21K</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G21K 1/00 A
<b>H01J</b>	<b>37/317</b>	<b>(2006.01)</b>	H01J 37/317 Z

請求項の数 2 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2007-198996 (P2007-198996)
(22) 出願日	平成19年7月31日 (2007.7.31)
(65) 公開番号	特開2009-37764 (P2009-37764A)
(43) 公開日	平成21年2月19日 (2009.2.19)
審査請求日	平成22年6月23日 (2010.6.23)

(73) 特許権者	505374783 独立行政法人日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(74) 代理人	100074631 弁理士 高田 幸彦
(72) 発明者	柏木 啓次 群馬県高崎市綿貫町1233番地 独立行政法人日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所内
(72) 発明者	岡村 昌宏 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 117 78 ロッキーポイント オークランドアベニュー 1

審査官 木下 忠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオンビーム引出加速方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

イオン源の内部で発生させたプラズマからイオンビームを引き出して線形加速器に入射し、線形加速器内に入射されたイオンビームを該線形加速器のビーム加速電極が生成する加速電場によって加速するイオンビーム引出加速方法において、

接地電位の真空容器内に絶縁状態に設置した容器状の高電圧ターミナルから筒状電極を外側に伸ばし、この筒状電極の先端を前記ビーム加速電極の開口端の位置に一致、または開口内に進入するように設置することにより、前記高電圧ターミナル内に設置したプラズマ発生ターゲットにレーザー光を照射することによって発生したプラズマを前記筒状電極によってプラズマ状態を保ったまま前記ビーム加速電極の開口端または開口内まで導き、前記ビーム加速電極が生成するビーム加速・集束空間内に直接イオンビームを引き出すことを特徴とするイオンビーム引出加速方法。

【請求項2】

内部で発生させたプラズマからイオンビームを引き出すイオン源と、前記イオン源のプラズマから引き出されたイオンビームを加速・集束するための加速・集束電場を生成するビーム加速電極を有する線形加速器とを備えたイオンビーム引出加速装置において、

前記イオン源は、接地電位の真空容器内に絶縁状態に設置した容器状の高電圧ターミナル内にプラズマ発生ターゲットを設置し、前記プラズマ発生ターゲットから発生した前記高電圧ターミナル内のプラズマを前記線形加速器のビーム加速電極まで導く筒状電極を前記高電圧ターミナルに設けて、前記筒状電極の先端位置が前記線形加速器のイオンビーム

10

20

加速・集束空間を形成するビーム加速電極の開口端の位置に一致または開口内に進入するように設置することにより、前記高電圧ターミナル内に発生したプラズマを前記筒状電極によって前記線形加速器における前記ビーム加速電極の開口端の位置に一致または開口内までプラズマ状態で導くように構成したことを特徴とするイオンビーム引出加速装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、イオン源プラズマからイオンビームを引き出して線形加速器に入射して加速するイオンビーム引出加速方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

イオンビームを加速器で加速する際には、通常、イオン源のプラズマからイオンビームを引き出して線形加速器まで輸送した後に該線形加速器に入射して加速する方法が採られている。

【0003】

しかしながら、このようなイオンビーム引出加速方法では、レーザーイオン源等をイオン源に用いた場合に得られる高強度イオンビームでは、空間電荷効果が低強度イオンビームの場合よりも大きいために、イオンビームが線形加速器内部のビーム加速電極に到達する前に拡散して損失してしまうという問題があった。

【0004】

このような空間電荷効果による拡散（損失）を軽減するために、線形加速器の直前でイオンビームを引き出す方法が提案されている。

【0005】

【特許文献1】特開2002-329600号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、線形加速器の直前でイオンビームを引き出す方法でも、線形加速器に入射されたイオンビームは、線形加速器内部においてビーム加速電極に到達するまでに空間電荷効果によって拡散し、ビーム加速電極による加速可能領域から外れる粒子が多くなり、結果的に多大なビーム損失を引き起こすことが問題となっている。

【0007】

本発明の目的は、イオン源のプラズマから引き出したイオンビームがビーム加速電極による加速・集束空間領域に入射するまでの間に空間電荷効果によって拡散して損失する問題を改善することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のイオンビーム引出加速方法は、イオン源の内部で発生させたプラズマからイオンビームを引き出して線形加速器に入射し、線形加速器内に入射されたイオンビームを該線形加速器のビーム加速電極が生成する加速電場によって加速するイオンビーム引出加速方法において、

接地電位の真空容器内に絶縁状態に設置した容器状の高電圧ターミナルから筒状電極を外側に伸ばし、この筒状電極の先端を前記ビーム加速電極の開口端の位置に一致、または開口内に進入するように設置することにより、前記高電圧ターミナル内に設置したプラズマ発生ターゲットにレーザー光を照射することによって発生したプラズマを前記筒状電極によってプラズマ状態を保ったまま前記ビーム加速電極の開口端または開口内まで導き、前記ビーム加速電極が生成するビーム加速・集束空間内に直接イオンビームを引き出すことを特徴とするものであり、

イオンビーム引出加速装置は、内部で発生させたプラズマからイオンビームを引き出すイオン源と、前記イオン源のプラズマから引き出されたイオンビームを加速・集束するた

10

20

30

40

50

めの加速・集束電場を生成するビーム加速電極を有する線形加速器とを備えたイオンビーム引出加速装置において、

前記イオン源は、接地電位の真空容器内に絶縁状態に設置した容器状の高電圧ターミナル内にプラズマ発生ターゲットを設置し、前記プラズマ発生ターゲットから発生した前記高電圧ターミナル内のプラズマを前記線形加速器のビーム加速電極まで導く筒状電極を前記高電圧ターミナルに設けて、前記筒状電極の先端位置が前記線形加速器のイオンビーム加速・集束空間を形成するビーム加速電極の開口端の位置に一致または開口内に進入するように設置することにより、前記高電圧ターミナル内に発生したプラズマを前記筒状電極によって前記線形加速器における前記ビーム加速電極の開口端の位置に一致または開口内までプラズマ状態で導くように構成したことを特徴とするものである。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明は、イオン源で生成したプラズマを筒状電極によって線形加速器内のビーム加速電極の入射側開口端までプラズマ状態を保ったまま輸送することから、従来のようにイオンビームを引き出してから加速電極に到達するまでの領域で該イオンビームが空間電荷効果により発散するという問題がなく、イオンビーム損失の問題を改善することができる。

【0010】

従って、従来よりも高い効率でイオンビームを線形加速器に入射することができ、従来よりも高強度のイオンビーム加速を実現することができる。

【0011】

また、イオン源は、接地電位の真空容器内に絶縁支持により設置した高電圧ターミナル内でプラズマを発生させ、このプラズマを筒状電極によって線形加速器内に導くように構成しているので、イオン源の周囲を電氣的に保護する防護柵などが不要となることから、装置を小型に構成することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明のイオンビーム引出加速方法は、イオン源の内部で発生させたプラズマからイオンビームを引き出して線形加速器に入射し、線形加速器内に入射されたイオンビームを該線形加速器のビーム加速電極が生成する加速電場によって加速するイオンビーム引出加速方法において、

30

接地電位の真空容器内に絶縁状態に設置した容器状の高電圧ターミナルから筒状電極を外側に伸ばし、この筒状電極の先端を前記ビーム加速電極の開口端の位置に一致、または開口内に進入するように設置することにより、前記高電圧ターミナル内に設置したプラズマ発生ターゲットにレーザー光を照射することによって発生したプラズマを前記筒状電極によってプラズマ状態を保ったまま前記ビーム加速電極の開口端または開口内まで導き、前記ビーム加速電極が生成するビーム加速・集束空間内に直接イオンビームを引き出すように行い、

また、イオンビーム引出加速装置は、内部で発生させたプラズマからイオンビームを引き出すイオン源と、前記イオン源のプラズマから引き出されたイオンビームを加速・集束するための加速・集束電場を生成するビーム加速電極を有する線形加速器とを備えたイオンビーム引出加速装置において、

40

前記イオン源は、接地電位の真空容器内に絶縁状態に設置した容器状の高電圧ターミナル内にプラズマ発生ターゲットを設置し、前記プラズマ発生ターゲットから発生した前記高電圧ターミナル内のプラズマを前記線形加速器のビーム加速電極まで導く筒状電極を前記高電圧ターミナルに設けて、前記筒状電極の先端位置が前記線形加速器のイオンビーム加速・集束空間を形成するビーム加速電極の開口端の位置に一致または開口内に進入するように設置することにより、前記高電圧ターミナル内に発生したプラズマを前記筒状電極によって前記線形加速器における前記ビーム加速電極の開口端の位置に一致または開口内までプラズマ状態で導く構成とする。

【実施例1】

50

## 【 0 0 1 3 】

本発明は、イオン源で発生したプラズマをプラズマ状態を保ったままビーム加速電極まで輸送する筒状電極を設置することにより、通常は加速器外で行うプラズマからのイオンビーム引き出しを線形加速器内のビーム加速電極先端及びその内部で行い、イオンビームを引き出した直後にビーム加速電極が生成する集束電場によって集束させて高効率のビーム入射を行うことにより、数十ミリアンペア以上の高強度のイオンビーム生成を実現するものである。

## 【 0 0 1 4 】

この実施例 1 におけるイオンビーム引出加速装置は、図 1 に示すように、レーザー発生装置 1、反射鏡 2 a, 2 b、レーザーイオン源 3 および R F Q 線形加速器（もしくはドリフトチューブ型線形加速器）4 によって構成される。

10

## 【 0 0 1 5 】

レーザーイオン源 3 は、その内部を真空状態とすることができるように構成した接地電位の真空容器 3 a 内に、碍子によって前記真空容器 3 a に対して絶縁状態に容器状の高電圧ターミナル 3 b を設置し、この高電圧ターミナル 3 b 内にレーザー集光反射鏡 3 c とプラズマ発生ターゲット 3 d を設置している。前記高電圧ターミナル 3 b は、外部の高電圧電源（図示省略）によって昇圧する。前記レーザー集光反射鏡 3 c は、中心にプラズマの通過を許容する穴を形成した反射鏡支持部材 3 e によって支持する。また、前記真空容器 3 a は該真空容器 3 a 内にレーザー光 5 を入射可能にする気密状態のレーザー光入射窓 3 a 1 を備え、高電圧ターミナル 3 b は前記真空容器 3 a のレーザー光入射窓 3 a 1 から入射したレーザー光 5 を前記レーザー集光反射鏡 3 c まで到達させるための通過穴 3 b 1 を備える。

20

## 【 0 0 1 6 】

また、このレーザーイオン源 3 は、前記プラズマ発生ターゲット 3 d から発生して前記反射鏡支持部材 3 e の穴を通過してきたプラズマをプラズマ状態を保ったままの状態の前記線形加速器 4 のビーム加速電極 4 c の位置まで輸送するための円筒形の筒状電極 3 f を真空容器 3 a の外側まで突出するように備える。

## 【 0 0 1 7 】

このレーザーイオン源 3 は、その真空容器 3 a における筒状電極 3 f の突出側を R F Q 線形加速器 4 の容器 4 a におけるビーム入射部に直に結合するようにして設置し、前記筒状電極 3 f の先端が前記 R F Q 線形加速器 4 の容器 4 a 内に挿入されるように構成する。

30

## 【 0 0 1 8 】

前記 R F Q 線形加速器 4 は、その内部にイオンビーム加速・集束空間 4 b を形成するビーム加速電極 4 c を備える。イオンビーム加速・集束空間 4 b のイオンビーム入射側を形成するビーム加速電極 4 c の開口端部 4 c 1 は、図 3 に拡大して示すように、開口端に向けて前記イオンビーム加速・集束空間 4 b の開口径を順次拡大するように形成しており、前記筒状電極 3 f の先端位置が前記イオンビーム加速・集束空間 4 b を形成する前記ビーム加速電極 4 c の開口端の位置に一致し、または開口内に進入するように構成する。

## 【 0 0 1 9 】

前記筒状電極 3 f は、その内径を大きくすることが望ましいが、この筒状電極 3 f の外径は、R F Q 線形加速器 4 におけるビーム加速電極 4 c に接近することになるので該ビーム加速電極 4 c との間に放電が起こらない程度の寸法に制限することが必要である。例えば、筒状電極 3 f の電圧を 6 0 k V、ビーム加速電極 4 c 間の電圧を 1 2 0 k V とすると、筒状電極 3 f の先端位置をビーム加速電極 4 c の開口端位置に一致させる形態では、筒状電極 3 f の外径を 8 m m に制限して、内径を 6 m m として実施することができる。

40

## 【 0 0 2 0 】

このように構成したイオンビーム引出加速装置は、レーザー発生装置 1 によって発生したレーザー光 5 を平面反射鏡 2 a, 2 b で反射させてレーザーイオン源 3 の内部に入射する。レーザーイオン源 3 に入射したレーザー光 5 は、レーザー集光反射鏡 3 c によってプラズマ発生ターゲット 3 d 上に集光する。

50

## 【0021】

プラズマ発生ターゲット3dは、集光されたレーザー光5により表面が加熱されてプラズマを発生する。プラズマ発生ターゲット3dから発生するプラズマは、発生場所から全体としてターゲット垂直方向に重心速度をもって膨張し、反射鏡支持部材3eに形成された穴を通過して筒状電極3fの先端まで到達する。プラズマ発生部から筒状電極3fの先端までは同電位であることからプラズマ状態が保たれており、空間電荷効果によるイオンの拡散は起こらない。筒状電極3fの先端には高電圧ターミナル3bに印加した電圧に基づいた電場が存在することからプラズマからビーム加速・集束空間4b内にイオンビームが引き出される。

## 【0022】

筒状電極3fの先端はRFQ線形加速器4のビーム加速電極4cの端と同じ位置にあることから、図4に示すように、筒状電極3fの先端から引き出されてRFQ線形加速器4のイオンビーム加速・集束空間4b内に入射されるイオンビーム6は、直ちにビーム加速電極4cによるビーム集束・加速電場の力を受けて集束・加速されることになる。

## 【0023】

したがって、レーザーイオン源3で発生させたプラズマがRFQ線形加速器4のビーム加速電極4cまでプラズマ状態のまま輸送されるため、空間電荷効果による拡散はなく、また、イオンビームは引き出された直後にイオンビーム加速・集束空間4bによって集束力をうけるため、従来に比べて高効率なビーム入射が実現する。

## 【0024】

因みに、図5に示すように、線形加速器4に対する筒状電極3fの進入の程度が容器4aの内側と一致する程度であると、図6に示すように、筒状電極3fの先端から容器4a内に入射するイオンビーム6は、ビーム加速電極4cによって形成されるイオンビーム加速・集束空間4bに到達するまでの間に空間電荷効果によって拡散して損失することから、ビーム加速電極4cによるイオンビーム加速・集束空間4bに入射して集束・加速される量が大幅に減少してしまうことになる。

## 【0025】

前述したように、線形加速器4におけるビーム加速電極4c間の電圧を120kV、筒状電極3fの外径を8mm、内径を6mmとし、プラズマ発生ターゲット3dにアルミニウムを使用し、線形加速器4に対する前記筒状電極3fの進入の程度を容器4aの内側と一致（突出量が0mm）させた構成、容器4aの内側から5mm突出させた構成、容器4aの内側から10mm突出させてビーム加速電極4cの端と一致する位置まで進入させた構成の3種類の装置について、前記筒状電極3fに印加する電圧を変えて線形加速器4から出力する総ての価数を含む全ビームのピーク電流値を計測した実験では、図7に示すように、筒状電極3fに印加する引出電圧を増加させると線形加速器4から出力する全ビームの電流値が増加し、60kVにおいて各実験装置で最大値となった。ここで、各実験装置における全ビームの電流値は、筒状電極3fの進入量が多いほど大きく、容器4aの内側から10mm突出させてビーム加速電極4cの端と一致する位置まで進入させた構成の装置において最も大きく（従来の突出量0mmの構成に対して約20%増加）なっており、この本発明の有用性を示している。

## 【0026】

また、この実施例におけるレーザーイオン源3は、RFQ線形加速器4の容器4aに結合した接地電位の真空容器3a内に絶縁支持により設置した高電圧ターミナル3b内でプラズマを発生させ、このプラズマを高電圧ターミナル3bと同電位の筒状電極3fによってRFQ線形加速器4内のイオンビーム加速・集束空間4bまで導いてイオンビームを入射するように構成しているため、レーザーイオン源3の周囲を電氣的に保護する防護柵などが不要となることから、装置を小型に構成することができる。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0027】

本発明のイオンビーム引出加速方法及び装置は、イオンビーム癌治療装置、イオン注入

10

20

30

40

50

装置、材料表面改質装置、物理実験用加速器等に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の実施例1を示すイオンビーム引出加速装置の外観図である。

【図2】実施例1におけるレーザーイオン源とRFQ線形加速器の縦断側面図である。

【図3】実施例1におけるレーザーイオン源とRFQ線形加速器の結合部分を拡大して示す縦断側面図である。

【図4】実施例1におけるレーザーイオン源とRFQ線形加速器の結合部分におけるイオンビームの移動状態を示す模式図である。

【図5】従来装置におけるレーザーイオン源とRFQ線形加速器の結合部分を拡大して示す縦断側面図である。

【図6】従来装置におけるレーザーイオン源とRFQ線形加速器の結合部分におけるイオンビームの移動状態を示す模式図である。

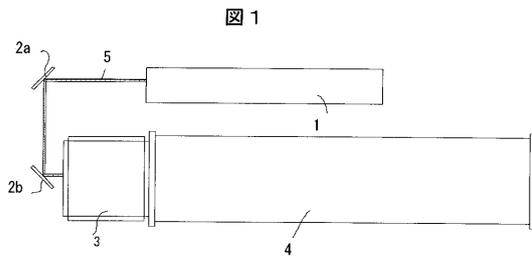
【図7】RFQ線形加速器に対する筒状電極の進入の程度と線形加速器から出力する全ビームのピーク電流値の関係を示す特性図である。

【符号の説明】

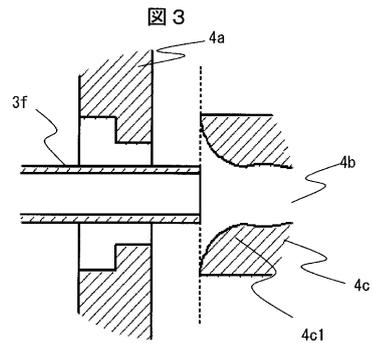
【0029】

1...レーザー発生装置、3...レーザーイオン源、3a...真空容器、3b...高電圧ターミナル、3c...レーザー集光反射鏡、3d...プラズマ発生ターゲット、3f...筒状電極、4...RFQ線形加速器、4a...容器、4b...イオンビーム加速・集束空間、4c...ビーム加速電極、4c1...開口端部、5...レーザー光、6...イオンビーム。

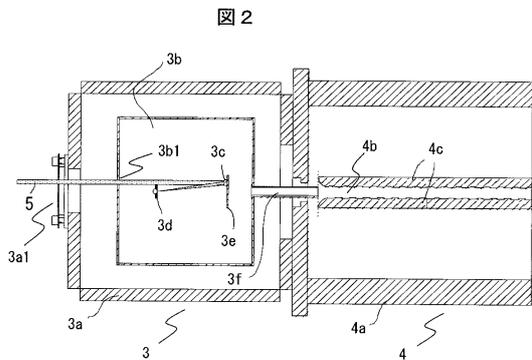
【図1】



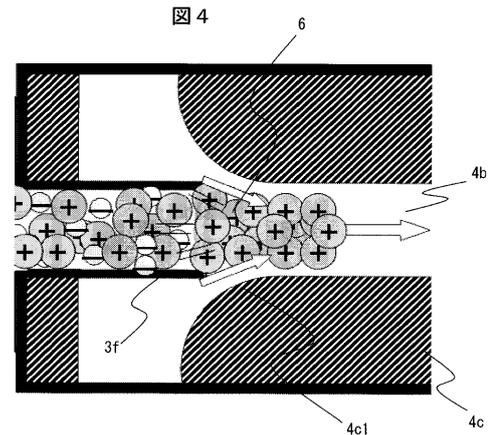
【図3】



【図2】



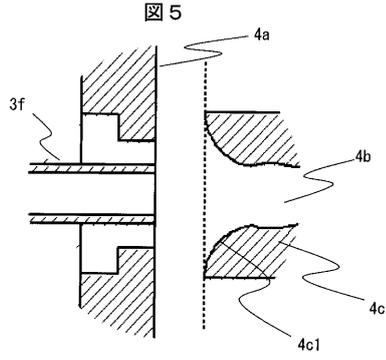
【図4】



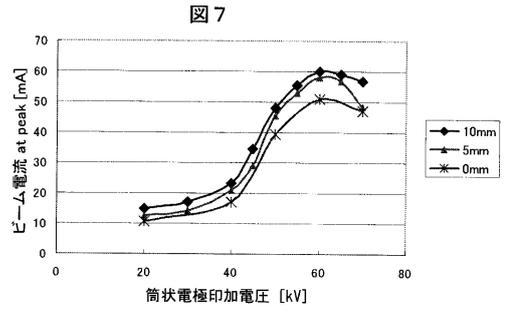
10

20

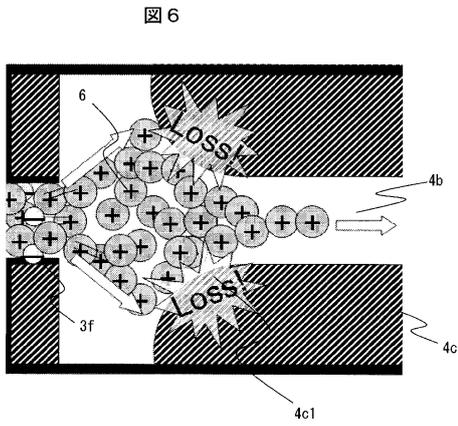
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-329600(JP,A)

特開2000-146914(JP,A)

特開平06-333698(JP,A)

服部俊幸、林崎規託、直接プラズマ入射法による大強度イオンビーム加速と応用可能性、東工大  
クロニクル、東京工業大学広報・社会連携センター、2005年 3月25日、No. 397, pp. 6  
-8

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H3/00-15/00

H01J27/00-27/26, 37/04, 37/06-37/08, 37/248, 37  
/30-37/36