

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-72271

(P2021-72271A)

(43) 公開日 令和3年5月6日(2021.5.6)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
HO 1 J 27/24 (2006.01)	HO 1 J 27/24	2 G 0 8 4
HO 1 J 37/08 (2006.01)	HO 1 J 37/08	2 G 0 8 5
HO 5 H 1/24 (2006.01)	HO 5 H 1/24	5 C 0 3 0
HO 5 H 7/08 (2006.01)	HO 5 H 7/08	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2019-200329 (P2019-200329)	(71) 出願人	504151365 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 茨城県つくば市大穂1番地1
(22) 出願日	令和1年11月1日(2019.11.1)	(74) 代理人	100093816 弁理士 中川 邦雄
		(72) 発明者	宗本 尚也 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内
		(72) 発明者	高山 健 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内
		(72) 発明者	安達 利一 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内 最終頁に続く

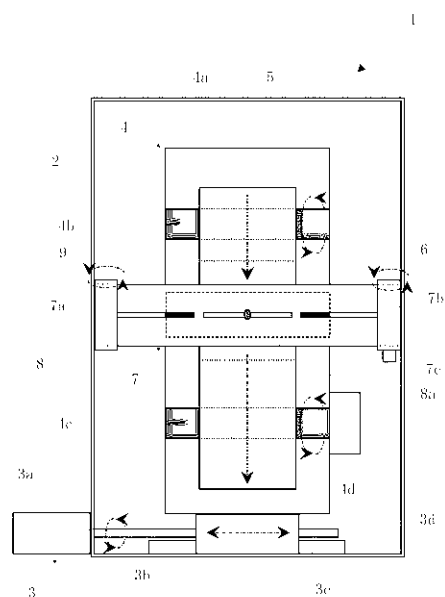
(54) 【発明の名称】 長寿命イオン源

(57) 【要約】

【課題】本発明は、ビーム加速器のレーザーアブレーションイオン源に関し、より詳しくは医療用（例えば、完全電離炭素線セラピー）に好適な長時間使用可能、長時間メンテナンスフリーな長寿命イオン源を提供する。

【解決手段】本発明は、レーザー照射される標的を収納し、前記レーザー照射で生成したアブレーションプラズマを所定の位置に輸送する引き出し機構に連通するチャンパーと、前記標的を水平方向に移動させる水平移動機構と、前記標的を垂直方向に移動させる縦送機構と、からなることを特徴とする長寿命イオン源の構成とした。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

レーザー照射される標的を収納し、前記レーザー照射で生成したアブレーションプラズマを所定の位置に輸送する引き出し機構に連通するチャンバーと、前記標的を水平方向に移動させる水平移動機構と、前記標的を垂直方向に移動させる縦送機構と、からなることを特徴とする長寿命イオン源。

## 【請求項 2】

前記標的のレーザー照射側に、レーザー通過用のスリットが穿設され、前記スリットが下流へ伝搬するアブレーションプラズマ群の形状を制御し、デブリの拡散を抑制するデブリシールドテープ及び前記デブリシールドテープを巻き取る巻取装置を備えるデブリ除去機構を配置したことを特徴とする請求項 1 に記載の長寿命イオン源。

10

## 【請求項 3】

前記標的が炭素薄膜であることを特徴とする請求項 1 に記載の長寿命イオン源。

## 【請求項 4】

前記標的の反レーザー照射側にイオン強度の安定化を図る自由回転の押さえを配置したことを特徴とする請求項 1 に記載の長寿命イオン源。

## 【請求項 5】

前記水平移動機構が、前記チャンバーに位置するレールと、前記レールをスライドするスライダート、前記スライダートを移動させる駆動軸と、前記駆動軸を動作させる第一モーターとからなり、前記スライダートの移動に伴って、前記標的が水平方向に移動可能となることを特徴とする請求項 1 に記載の長寿命イオン源。

20

## 【請求項 6】

前記縦送機構が、前記水平移動機構に取り付けた内枠と、前記内枠に回動可能に固定された未使用の前記薄膜が巻かれる第一ドラムと、使用された前記薄膜を巻き取る第二ドラムと、からなることを特徴とする請求項 1 に記載の長寿命イオン源。

30

## 【請求項 7】

前記縦送機構が、ユニット化され、一体で交換可能としたことを特徴とする請求項 6 に記載の長寿命イオン源。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ビーム加速器のレーザーアブレーションイオン源に関し、より詳しくは医療用（例えば、完全電離炭素線セラピー）に好適な長時間使用可能、長時間メンテナンスフリーな長寿命イオン源に関するものである。

40

## 【背景技術】

## 【0002】

炭素線セラピー用のイオン源として 10 GHz 近傍のマイクロ波を用いた電子サイクロトロン共鳴イオン源（特許文献 1）が使用されて来た。中性ガスとしてプロパンガスを用いれば、この周波数帯では電子エネルギーが十分ではなく 4 価程度のイオン源が生成されるが、完全電離の炭素線イオンは得られない。

## 【0003】

従来の電子サイクロトロン共鳴イオン源でも、超電導ミラー磁場を使った、大掛かりで高額の装置を用いた完全電離の炭素イオンを作る手法は提案されていたが、実現の報告は

50

ない。

【 0 0 0 4 】

4 価の炭素線を R F Q と D T L 等の入射器で 6 - 8 M e V 程度まで加速後、炭素薄膜で残る 2 個の電子を剥ぎ取り、炭素線セラピーのドライバー加速器である高周波シンクロトロンに入射する方法が取られていた。入射器を用いない炭素線セラピードライバーではこの手法は使用できない。

【 0 0 0 5 】

1 0 c m x 1 0 c m のグラファイト板や炭素薄膜を標的に用いたレーザーアブレーションイオン源にて完全電離炭素線の生成は実証されているが（非特許文献 1 ）、実際の炭素線セラピーとして使用に耐えるような長寿命はなかった。

10

【 0 0 0 6 】

重粒子線セラピーの炭素標的は最短でも 1 ヶ月を超える長寿命とメンテナンスフリーでの動作が求められる。他方、イオン源からの完全電離炭素線イオンを直接入射し、加速出来る誘導加速シンクロトロンの技術が確立している（特許文献 1 ）。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 7 - 8 4 8 1 8 （マイクロ波イオン源及びその起動方法）

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 6 - 3 1 0 0 1 3 号公報（全種イオン加速器及びその制御方法）

20

【 非特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 非特許文献 1 】 N.Munemoto,S.Takano,T.Adachi,K.Takayama et al., " Direct injection of fully stripped carbon ions into a fast cycling induction synchrotron and their capture by the barrier bucket ", Phys. Rev. Accel. and Beams 20, 080101 (2017).

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、ビーム加速器のレーザーアブレーションイオン源に関し、より詳しくは医療用（例えば、完全電離炭素線セラピー）に好適な長時間使用可能、長時間メンテナンスフリーな長寿命イオン源を提供することを目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

（ 1 ）

レーザー照射される標的を収納し、前記レーザー照射で生成したアブレーションプラズマを所定の位置に輸送する引き出し機構に連通するチャンバーと、前記標的を水平方向に移動させる水平移動機構と、前記標的を垂直方向に移動させる縦送機構と、からなることを特徴とする長寿命イオン源。

40

（ 2 ）

前記標的のレーザー照射側に、レーザー通過用のスリットが穿設され、前記スリットが下流へ伝搬するアブレーションプラズマ群の形状を制御し、デブリの拡散を抑制するデブリシールドテープ及び前記デブリシールドテープを巻き取る巻取装置を備えるデブリ除去機構を配置したことを特徴とする（ 1 ）に記載の長寿命イオン源。

（ 3 ）

前記標的が炭素薄膜であることを特徴とする（ 1 ）に記載の長寿命イオン源。

（ 4 ）

前記標的の反レーザー照射側にイオン強度の安定化を図る自由回転の押さえを配置したこ

50

とを特徴とする(1)に記載の長寿命イオン源。

(5)

前記水平移動機構が、  
前記チャンバーに位置するレールと、  
前記レールをスライドするスライダート、  
前記スライダーを移動させる駆動軸と、  
前記駆動軸を動作させる第一モーターとからなり、  
前記スライダーの移動に伴って、前記標的が水平方向に移動可能となることを特徴とする  
(1)に記載の長寿命イオン源。

(6)

前記縦送機構が、  
前記水平移動機構に取り付けた内枠と、  
前記内枠に回転可能に固定された未使用の前記薄膜が巻かれる第一ドラムと、  
使用された前記薄膜を巻き取る第二ドラムと、  
からなることを特徴とする(1)に記載の長寿命イオン源。

(7)

前記縦送機構が、ユニット化され、一体で交換可能としたことを特徴とする(6)に記載  
の長寿命イオン源。  
とした。

【発明の効果】

【0011】

本発明の長寿命イオン源は、上記構成であるので、完全電離炭素イオンを入射器不要の  
次世代炭素線セラピー、速い繰り返しのシンクロトロンに必要な完全電離炭素イオンを供  
給するレーザーアブレーションイオン源として採用できる。より詳細には、10Hz運転  
で連続2,000時間の動作に耐える、長時間使用可能、長時間メンテナンスフリーを実  
現する。本発明の長寿命イオン源では炭素薄膜とプラスチック製のデブリシールドテー  
プが消耗品であり、上記条件では、約2ヶ月毎の交換でよい。

【0012】

他の民生用長尺炭素薄膜を製造するメーカーの既存製造装置によって本発明の炭素薄膜  
の生産も可能である。炭素線セラピー施設にストックも可能であり、コスト的にも高額の  
ものではない。

【0013】

一方、既存炭素線セラピーにおいても、最上流から完全電離炭素イオンを利用すれば、  
電子剥離フォイルを通過する際に発生する炭素イオンビームエミッタンスの劣化を避ける  
ことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は、本発明の長寿命イオン源の縦断面正面模式図である。

【図2】図2は、本発明の長寿命イオン源の縦断面側面模式図である

【図3】図3は、デブリシールドテープの機能の説明図である。

【図4】図4は、本発明における炭素薄膜のレーザースポットの軌跡である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、添付の図面を参照し、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、本  
発明は下記形態例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0016】

図1~3に示すように、本発明である長寿命イオン源1は、チャンバー2と、標的を水  
平方向に移動させる水平移動機構3と、標的を垂直方向に移動させる縦送機構4と、自由  
回転の押さえ6と、デブリ除去機構7からなる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 7 】

ここでは、標的は、炭素線セラピー用の炭素薄膜 5 とした。目的、用途に応じて、各種既存の加速に利用できる元素種の標的を用いることができる。

## 【 0 0 1 8 】

チャンパー 2 は、加速に求められる真空中で、レーザー 9 が照射される標的、ここで炭素薄膜 5 を収納し、レーザー 9 の照射で生成したアブレーションプラズマ 1 1 を加速器等の所定の位置に輸送する、既存の引き出し機構 1 0 に連通する。

## 【 0 0 1 9 】

水平移動機構 3 は、チャンパー 2 に位置（固定してもよい）するレール 3 c と、レール 3 c をスライドするスライダ 3 d と、スライダ 3 d を移動させる駆動軸 3 b と、駆動軸 3 b を動作させる第一モーター 3 a とからなる。これにより、スライダ 3 d の移動に伴って、標的、ここでは縦送機構 4 の全体が水平方向（両方向）に移動可能となる。その結果、炭素薄膜 5 もスライドし、位置制御可能になる。

10

## 【 0 0 2 0 】

第一モーター 3 a としては、ステッピングモーターが例示できる。第一モーター 3 a は、加速器の運転繰り返しに同期して、縦送機構 4 を水平方向にスライドさせ、レーザー 9 が照射される炭素薄膜 5 の位置をズラし、レーザースポット 9 a の位置を制御する。駆動軸 3 b としては、ピストン軸、ネジ軸、ボールネジなどが例示できる。

## 【 0 0 2 1 】

縦送機構 4 は、水平移動機構 3 に、着脱可能に取り付けた内枠 4 a と、内枠 4 a に回転可能に固定された未使用の炭素薄膜 5 が巻かれる第一ドラム 4 b と、レーザー 9 が照査され、使用された炭素薄膜 5 を巻き取る第二ドラム 4 c とからなる。第二ドラム 4 c は、内枠 4 a に固定した第二モーター 4 d で回転させる。

20

## 【 0 0 2 2 】

第二モーター 4 d は、ステッピングモーターなどを利用し、第一モーター 3 a と同期し、移動タイミングを一定に保つとよい。また、巻取りドラム（第二ドラム 4 c ）に回転駆動を伝達し、回転させ、他方の送り出しドラム（第一ドラム 4 b ）は、炭素薄膜 5 がゆるみ、破断しないよう、適度のテンションを保つよう、回転制御（回転抵抗）機構を備える

とよい。

## 【 0 0 2 3 】

薄膜の標的、ここでは炭素薄膜 5 の反レーザー 9 の照射側に自由回転の押さえを配置している。自由回転の押さえ 6 は、標的と同一物質、またはタングステンに代表される電離しにくい素材のものを利用する。自由回転の押さえ 6 によりアブレーションプラズマの安定性を確保する。炭素薄膜の際には、自由回転の押さえ 6 は、炭素棒とするとよい。ここでは、内枠 4 a に回転可能状態で取り付ける。その結果、縦送機構 4 が、ユニット化され、一体で交換可能となる。

30

## 【 0 0 2 4 】

レーザー 9 の収束照射に伴い、炭素薄膜 5 の表面には深さ 5 0  $\mu\text{m}$ 、直径 4 0 0  $\mu\text{m}$  の円錐形の照射痕が残り、この部分の物質（炭素原子）の一部はアブレーションプラズマとなるが、他の大部分の物質はデブリジェットとなって前方方向に飛び出す。運動量保存則より、炭素薄膜 5 は反作用を 1 0 H z の周期的撃力として受け、固有振動を起こす。炭素棒の自由回転の押さえ 6 は、炭素薄膜 5 のレーザースポット 9 a の位置での振動に伴うイオンビーム強度の変動を抑える目的で、炭素薄膜 5 の反レーザー照射側の背部に配置される。摩擦が生じるようになったとき自由回転の押さえ 6 を回転させ、標的の破れを防止するとよい。

40

## 【 0 0 2 5 】

デブリ除去機構 7 は、標的のレーザー 9 の照射側に位置し、レーザー 9 の通過用のスリット 8 a が穿設され、レーザー 9 の照射後はスリット 8 a がアブレーションプラズマ群の形状を自動的に制御し、大量に発生するデブリの拡散（図 3 破線）を抑制するデブリシールドテープ 8 と、デブリシールドテープ 8 を巻き取る巻取装置を備え、チャンパー 2 に着脱

50

可能に設置される。消耗品として、デブリ除去機構 7 はユニット化され、一体的に交換するとよい。

【 0 0 2 6 】

巻取装置は、フレッシュなデブリシールドテープ 8 を巻き付け、送り出す第三ドラム 7 a と、使用済みデブリシールドテープ 8 を巻き取る第四ドラム 7 b と、第四ドラム 7 b を回転させる第三モーター 7 c とからなる。第三モーター 7 c は、加速器の運転繰り返しに同期しても、タイマー、手動で動作させ、定期的に更新する。

【 0 0 2 7 】

デブリは真空状態にあるチャンバー 2 の内部の真空悪化の原因になると共に、チャンバー 2 内に配置したレーザー 9 の収束用レンズ（図視省略）の表面汚染の原因になる。収束用レンズの表面汚染防止はビーム強度維持のために重要である。これを避けるために、レーザースポット 9 a 位置のみを残し、アブレーションプラズマ発生直後に炭素デブリを吸着するプラスチック製のデブリシールドテープ 8 で炭素薄膜 5 の他表面全体を被う。

10

【 0 0 2 8 】

図 4 に示すように、炭素薄膜（例えば、厚さ 2 0 - 5 0  $\mu\text{m}$ 、2 0 c m 幅、7 5 1 5 0 m 長）の全表面積を、イオン生成の繰り返し周波数に従って、炭素薄膜 5 表面上に収束レンズで収束したレーザーを照射する。

【 0 0 2 9 】

レーザースポット 9 a の位置は固定であるので、炭素薄膜 5 を水平・垂直方向に移動させる。フィルムカメラ同様に第一ドラム 4 b に巻かれた炭素薄膜 5 を他端の第二ドラム 4 c に不連続に巻き取り回収する。炭素薄膜 5 を含む縦送機構 4 をユニットとして、水平移動機構 3 のスライダ 3 d にマウントし、例えば、水平方向に 1 c m / s e c で連続的に移動させる。この間、第一、第二ドラム 4 b、4 c の巻き取りは停止している。正負 1 0 c m の水平方向移動を終了すると、1 ステップ（1 m m）だけ縦方向に第二ドラム 4 c による炭素薄膜 5 の巻き取りがなされ、縦送機構 4 の水平方向の移動方向は逆転する。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 3 0 】

- 1 長寿命イオン源
- 2 チャンバー
- 3 水平移動機構
- 3 a 第一モーター
- 3 b 駆動軸
- 3 c レール
- 3 d スライダ
- 4 縦送機構
- 4 a 内枠
- 4 b 第一ドラム
- 4 c 第二ドラム
- 4 d 第二モーター
- 5 炭素薄膜
- 6 自由回転の押さえ
- 7 デブリ除去機構
- 7 a 第三ドラム
- 7 b 第四ドラム
- 7 c 第三モーター
- 8 デブリシールドテープ
- 8 a スリット
- 9 レーザー
- 9 a レーザースポット
- 1 0 引き出し機構

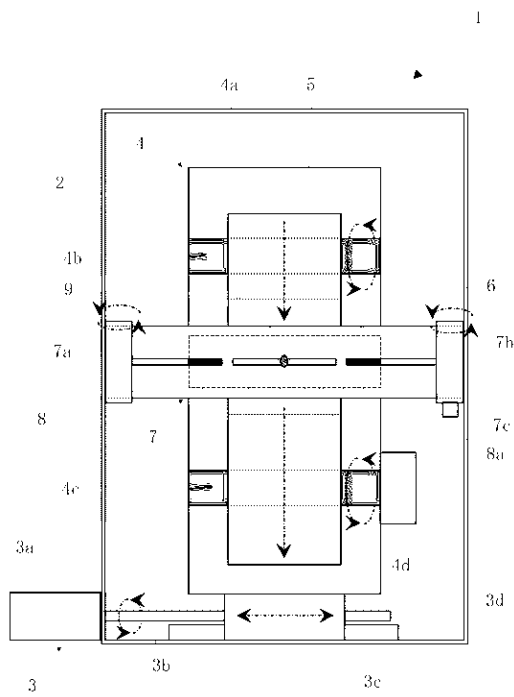
30

40

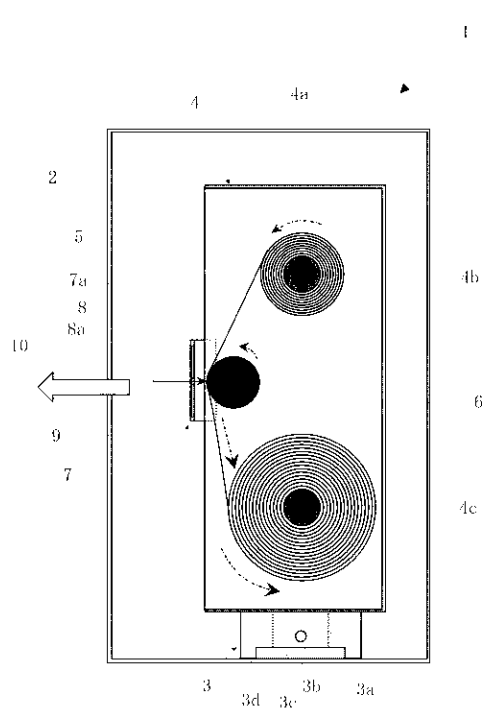
50

1 1 アブレーションプラズマ

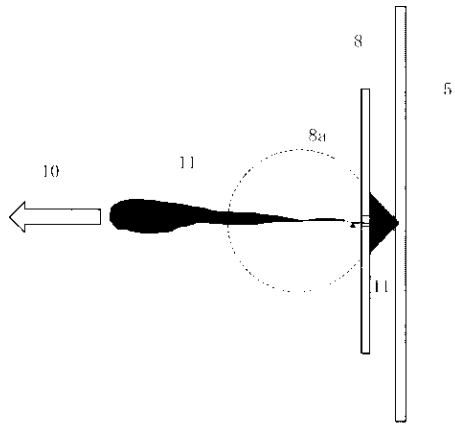
【図 1】



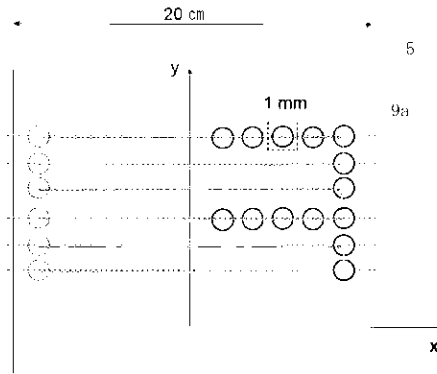
【図 2】



【 図 3 】



【 図 4 】





---

フロントページの続き

(72)発明者 堀岡 一彦

茨城県つくば市大穂 1 番地 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

(72)発明者 高野 進

茨城県つくば市大穂 1 番地 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

F ターム(参考) 2G084 AA12 AA24 BB01 BB26 CC27 CC33

2G085 BA02 BE04 EA07

5C030 DD08 DE10