

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5380693号
(P5380693)

(45) 発行日 平成26年1月8日(2014.1.8)

(24) 登録日 平成25年10月11日(2013.10.11)

(51) Int.Cl.
H05H 13/00 (2006.01)

F I
H05H 13/00

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2009-64295 (P2009-64295)	(73) 特許権者	000002107
(22) 出願日	平成21年3月17日 (2009.3.17)		住友重機械工業株式会社
(65) 公開番号	特開2010-218886 (P2010-218886A)		東京都品川区大崎二丁目1番1号
(43) 公開日	平成22年9月30日 (2010.9.30)	(73) 特許権者	510097747
審査請求日	平成23年11月28日 (2011.11.28)		独立行政法人国立がん研究センター 東京都中央区築地五丁目1番1号
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(72) 発明者	西尾 禎治
			千葉県柏市柏の葉6丁目5番1号 国立がんセンター東病院内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線照射装置及び荷電粒子線装置の制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被照射体に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射装置であって、
荷電粒子を発生させるイオン源と、
前記イオン源で発生した前記荷電粒子に加速電極により加速電圧を印加して前記荷電粒子を加速し、前記荷電粒子線を出射する加速器と、
前記加速電圧を制御する制御手段と、を備え、
前記制御手段は、前記荷電粒子線の照射状態の前記加速電圧を基準加速電圧とし、前記加速電圧を前記基準加速電圧より大きい又は小さい設定加速電圧に切り替えることで、前記荷電粒子線を非照射状態とする設定加速電圧制御手段を備える
ことを特徴とする荷電粒子線照射装置。

【請求項2】

前記設定加速電圧制御手段は、前記加速器内に設けられた電極に、前記イオン源から出射された前記荷電粒子を衝突させるように、前記設定加速電圧を制御する請求項1記載の荷電粒子線照射装置。

【請求項3】

前記設定加速電圧への切替後に、前記イオン源でのアーク放電を発生させるアーク電圧制御手段と、

アーク放電発生後に、前記加速電圧を前記基準加速電圧に切り替える前記制御手段とを更に備える請求項1又は2記載の荷電粒子線照射装置。

【請求項 4】

イオン源で荷電粒子を発生させ、発生した前記荷電粒子を加速器で加速して荷電粒子線を出射し、被照射体に前記荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射装置の制御方法であって

前記イオン源により前記荷電粒子を発生させる荷電粒子生成工程と、前記加速器の加速電極により前記荷電粒子に印加され前記荷電粒子を加速させる加速電圧を制御する制御工程と、を備え、

前記制御工程は、前記荷電粒子線の照射状態の前記加速電圧を基準加速電圧とし、前記加速電圧を前記基準加速電圧より大きい又は小さい設定加速電圧に切り替えることで、前記荷電粒子線を非照射状態とする設定加速電圧制御工程を備える

10

ことを特徴とする荷電粒子線照射装置の制御方法。

【請求項 5】

前記設定加速電圧制御工程は、前記加速器内に設けられた電極に、前記イオン源から出射された前記荷電粒子を衝突させるように、前記設定加速電圧を制御する請求項 4 記載の荷電粒子線照射装置の制御方法。

【請求項 6】

前記設定加速電圧への切替後に、前記イオン源でのアーク放電を発生させるアーク電圧制御工程と、

アーク放電発生後に、前記加速電圧を前記基準加速電圧に切り替える前記制御工程とを更に備える請求項 4 又は 5 記載の荷電粒子線照射装置の制御方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線照射装置及び荷電粒子線装置の制御方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えばサイクロトロンなどの内部イオン源を備えた加速器では、イオン源のアーク放電を ON/OFF 制御することで、ビーム（荷電粒子線）の照射状態／非照射状態の切替を行っている。また、従来、サイクロトロンのビームを遮断する装置として、例えば特許文献 1 に記載された技術がある。特許文献 1 に記載されたビーム遮断装置では、内部イオン源型サイクロトロンにおいて、内部イオン源の近傍に配置されたシャッタをビーム軌道に移動させることで、ビームを遮断する。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2002 - 25797 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

図 8 は、内部イオン源でアーク放電を発生させて立ち上げた場合のビーム電流の一例を示すグラフである。アーク放電の立ち上がりは、図 8 に示すように、不安定であるので、加速器から出射されるビームも同様に不安定となり、その結果、不均一な照射野となるおそれがある。

40

【0005】

また、上記特許文献 1 に記載の従来技術では、機械的にシャッタを開閉することで、ビームの照射状態／非照射状態の切替を行っているため、高速での切替が困難であるという問題があった。

【0006】

そこで、本発明は、荷電粒子線の照射状態／非照射状態の切替の高速化を図ると共に、出射される荷電粒子線の安定化を図ることが可能な荷電粒子線照射装置及び荷電粒子線照

50

射装置の制御方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明による荷電粒子線照射装置は、被照射体に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射装置であって、荷電粒子を発生させるイオン源と、当該イオン源で発生した荷電粒子に加速電極により加速電圧を印加して荷電粒子を加速し、荷電粒子線を出射する加速器と、加速電圧を制御する制御手段を備え、制御手段は、荷電粒子線の照射状態の加速電圧を基準加速電圧とし、加速電圧を基準加速電圧より大きい又は小さい設定加速電圧に切り替えることで、荷電粒子線を非照射状態とする設定加速電圧制御手段を備えることを特徴としている。

10

【0008】

また、本発明による荷電粒子線照射装置の制御方法は、イオン源で荷電粒子を発生させ、発生した荷電粒子を加速器で加速して荷電粒子線を出射し、被照射体に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射装置の制御方法であって、イオン源により荷電粒子を発生させる荷電粒子生成工程と、加速器の加速電極により荷電粒子に印加され荷電粒子を加速させる加速電圧を制御する制御工程を備え、制御工程は、荷電粒子線の照射状態の加速電圧を基準加速電圧とし、加速電圧を基準加速電圧より大きい又は小さい設定加速電圧に切り替えることで、荷電粒子線を非照射状態とする設定加速電圧制御工程を備えることを特徴としている。

20

【0009】

この発明では、荷電粒子線の照射状態の加速電圧を基準加速電圧とし、加速電圧を、基準加速電圧より大きい又は小さい設定加速電圧に切り替えることで、荷電粒子線の軌道を変更して、加速器内の物体に荷電粒子線を衝突させて、荷電粒子線を非照射状態とすることができる。このように、加速電圧を大きく又は小さく切り替えるだけで、非照射状態とすることができるため、荷電粒子線の照射状態 / 非照射状態の切替の高速化を図ることができる。また、イオン源のアーク放電のON/OFF制御によらず、荷電粒子の照射 / 非照射を切り替えることができるため、アーク放電の立ち上がりにおける不安定さの影響を受けることがなく、荷電粒子線の安定化を図ることができる。

【0010】

ここで、設定加速電圧制御手段は、加速器内に設けられた電極に、イオン源から出射された荷電粒子を衝突させるように、設定加速電圧を制御することが好ましい。このように、設定加速電圧を制御して、イオン源から出射された荷電粒子線を電極に衝突させることで非照射状態とする。これにより、従来から配置されている電極に、荷電粒子線を衝突させて、非照射状態とすることができる。

30

【0011】

また、設定加速電圧への切替後に、イオン源でのアーク放電を発生させ、アーク放電の発生後に、加速電圧を基準加速電圧に切り替えることが好適である。これにより、加速電圧を設定加速電圧へ変更している時間を短くすることができる。そのため、加速電極の温度低下を抑制し、荷電粒子線の安定化を図ることができる。

40

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、出射される荷電粒子線を安定化させつつ、荷電粒子線の照射状態 / 非照射状態の切替の高速化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施形態に係る荷電粒子線照射装置の一部を示す斜視図である。

【図2】図1の荷電粒子線照射装置の概略構成図である。

【図3】図2中のサイクロトロンの概略構成図である。

【図4】図3のサイクロトロンの中央付近の要部拡大図である。

50

【図5】加速電圧の切り替えのみを実施した場合の加速電圧、アーク電圧、ビーム電流の関係を示すグラフである。

【図6】アーク電圧のON/OFF制御を取り入れた場合の加速電圧、アーク電圧、ビーム電流の関係を示すグラフである。

【図7】図1の荷電粒子線照射装置の動作を説明するための図である。

【図8】アーク放電をON/OFF制御することで、荷電粒子線を照射状態とした場合のビーム電流を示すグラフである。

【図9】加速電圧とビーム電流との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、以下の説明において同一又は相当要素には同一符号を付し、重複する説明は省略する。

【0015】

本発明の実施形態に係る荷電粒子線照射装置について説明する。図1は本発明の実施形態に係る荷電粒子線照射装置の一部を示す斜視図であり、図2は図1の荷電粒子線照射装置の概略構成図である。図1に示す荷電粒子線照射装置1は、スキャニング法によるものであり、治療台11を取り囲むように設けられた回転ガントリ12に取り付けられ、該回転ガントリ12によって治療台11の回りに回転可能とされている。なお、図1には示されていないが、荷電粒子線照射装置1は、治療台11及び回転ガントリ12とは、離れた位置に加速器2を備えている。

【0016】

この荷電粒子線照射装置1は、図2に示すように、患者13の体内の腫瘍(被照射物)14に向けて荷電粒子線Rを連続照射する。具体的には、荷電粒子線照射装置1は、腫瘍14を深さ方向(Z方向)に複数層に分け、各層に設定された照射野Fにおいて照射ラインL(図7参照)に沿って荷電粒子線Rを走査速度Vで走査しながら連続照射(いわゆる、ラスタースキャニングあるいはラインスキャニング)する。つまり、荷電粒子線照射装置1は、腫瘍14に合わせた3次元の照射野を形成するため、腫瘍14を複数の層に分割してこれらの各層のそれぞれに対して平面スキャニングを行う。これにより、腫瘍14の3次元形状に合わせて荷電粒子線Rが照射されることとなる。

【0017】

荷電粒子線Rは、電荷をもった粒子を高速に加速したものであり、荷電粒子線Rとしては、例えば陽子線、重粒子(重イオン)線、電子線等が挙げられる。照射野Fは、例えば最大200mm×200mmの領域とされ、図7に示すように、ここでの照射野Fは、その外形が矩形状とされている。なお、照射野Fの形状は、種々の形状としてもよく、例えば腫瘍14の形状に沿った形状としても勿論よい。

【0018】

照射ラインLは、荷電粒子線Rを照射する予定線(仮想線)である。ここでの照射ラインLは、ラインスキャニングを例にとると、矩形波状に延在しており、具体的には、所定間隔で並設された複数の第1照射ラインL1(L11~L1n、nは整数)と、隣接する第1照射ラインL1の一端同士又は他端同士を接続する複数の第2照射ラインL2と、を含んで構成されている。

【0019】

図2に戻り、荷電粒子線照射装置1は、サイクロトロン2、収束用電磁石3a、3b、モニタ4a、4b、走査電磁石5a、5b、ファインデグレーダ8及び制御部6を備えている。

【0020】

サイクロトロン2は、荷電粒子線Rを連続的に発生させる発生源である。このサイクロトロン2で発生した荷電粒子線Rは、ビーム輸送系7によって後段の収束用電磁石3aへ輸送される。サイクロトロン2は、制御部6から出力された指令信号を受けて、荷電粒子線Rの照射状態(ON)/非照射状態(OFF)を切替可能な構成とされている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 1 】

収束用電磁石 3 a , 3 b は、荷電粒子線 R を絞って収束させるものである。収束用電磁石 3 a , 3 b は、荷電粒子線 R の照射軸（以下、単に「照射軸」という）においてサイクロトロン 2 の下流側に配置されている。

【 0 0 2 2 】

モニタ 4 a は、荷電粒子線 R のビーム位置を監視し、モニタ 4 b は、荷電粒子線 R の線量の絶対値と荷電粒子線 R の線量分布とを監視する。モニタ 4 a は、例えば照射軸において収束用電磁石 3 a , 3 b 間に配置され、モニタ 4 b は、例えば照射軸において収束用電磁石 3 b の下流側に配置されている。

【 0 0 2 3 】

走査電磁石 5 a , 5 b は、荷電粒子線 R を走査するためのものである。具体的には、印加される電流に応じて磁場を変化させることで、通過する荷電粒子線 R の照射位置を照射野において移動させる。走査電磁石 5 a は、照射野 F の X 方向（照射軸に直交する方向）に荷電粒子線 R を走査し、走査電磁石 5 b は、照射野 F の Y 方向（照射軸及び X 方向に直交する方向）に荷電粒子線 R を走査する。これらの走査電磁石 5 a , 5 b は、照射軸において収束用電磁石 3 b 及びモニタ 4 b 間に配置されている。なお、走査電磁石 5 a が Y 方向に荷電粒子線 R を走査し、走査電磁石 5 b が X 方向に荷電粒子線 R を走査する場合もある。

【 0 0 2 4 】

ファインデグレーダ 8 は、深さ方向に複数層に分割された腫瘍 1 4 の各層に荷電粒子線 R を照射するためのものである。具体的には、このファインデグレーダ 8 は、通過する荷電粒子線 R のエネルギー損失を変化させ、患者 1 3 の体内における荷電粒子線 R の到達深さを調整することで、分割された各層のうちの一の層に荷電粒子線 R の到達深さを合わせる。

【 0 0 2 5 】

制御装置（制御手段）6 は、モニタ 4 b 及び走査電磁石 5 a , 5 b に電氣的に接続されており、モニタ 4 b にて監視した荷電粒子線 R の線量の絶対値と線量分布とに基づいて、走査電磁石 5 a , 5 b の動作を制御する。制御装置 6 は、サイクロトロン 2 に電氣的に接続されており、サイクロトロン 2 の動作を制御する。制御装置 6 は、サイクロトロン 3 の加速電圧、アーク電圧を制御する。

【 0 0 2 6 】

図 3 は、図 2 中のサイクロトロンの概略構成図である。サイクロトロン 2 は、イオン化粒子（荷電粒子）を発生させるイオン源（荷電粒子発生源）2 1、高周波電源 2 2 に接続され荷電粒子を加速させる一対の加速電極 2 3 , 2 4、加速電極 2 3 , 2 4 の両側に配置された複数の対抗電極 2 5 ~ 2 8、荷電粒子の周回軌道 R 1 の両側に配置された位相スリット 3 4 を備えている。

【 0 0 2 7 】

加速電極 2 3 は、サイクロトロン 2 の中央部に配置され荷電粒子の周回軌道 R 1 を規定する中央電極 3 1 , 3 2 を有している。加速電極 2 4 はサイクロトロン 2 の中央部に配置され、荷電粒子の周回軌道 R 1 を規定する中央電極 3 3 を有している。

【 0 0 2 8 】

イオン源 2 1 で発生した荷電粒子は、加速電極 2 3 , 2 4 によって、加速電圧が印加され、通常の照射状態において、周回軌道 R 1 上を周回しながら加速される。

【 0 0 2 9 】

制御装置 6 は、荷電粒子を加速させる加速電圧を制御する制御手段として機能するものである。制御装置 6 は、加速電圧を切り替えることで、荷電粒子線 R の照射状態 / 非照射状態の制御を行う。

【 0 0 3 0 】

制御装置 6 は、照射状態の加速電圧を基準加速電圧 V (H) とし、加速電圧を基準加速電圧 V (H) より小さい設定加速電圧 V (L) に切り替えることで、荷電粒子線 R を非照

10

20

30

40

50

射状態とする。設定加速電圧 $V(L)$ としては、基準加速電圧 $V(H)$ より10 - 30%程度低い電圧が好ましい。設定加速電圧 $V(L)$ の下限は、加速空洞のマルチパクタリング条件により制限される。

【0031】

また、制御装置6は、イオン源21におけるアーク放電を発生させるためのアーク電圧を制御するアーク電圧制御手段として機能する。

【0032】

図5は、加速電圧の切り替えのみを実施した場合の加速電圧、アーク電圧、ビーム電流の関係を示すグラフである。図5では、横軸に時間の経過を示し、「 $V1$ 」は加速電圧、「 $V2$ 」はアーク電圧、「 $I1$ 」はビーム電流の変化を示している。

10

【0033】

まず、時刻 $T1$ において、制御装置6は、加速電圧 $V1$ を設定加速電圧 $V(L)$ とする。続いて、時刻 $T2$ において、イオン源21でのアーク電圧 $V2$ を発生させる。このとき、イオン源21から引き出された荷電粒子は、図4において実線で示す軌道 $R0$ に沿って運動し、中心電極32に衝突する。荷電粒子は消滅して非照射状態となる。

【0034】

次に、時刻 $T3$ において、加速電圧 $V1$ を基準加速電圧 $V(H)$ とする。このとき、イオン源21から引き出された荷電粒子は、図4において破線で示す軌道 $R1$ に沿って運動し加速され、照射状態となる。

【0035】

20

続いて、時刻 $T4$ において、加速電圧 $V1$ を設定加速電圧 $V(L)$ とする。このとき、イオン源21から引き出された荷電粒子は、図4において実線で示す軌道 $R0$ に沿って運動し、中心電極32に衝突する。荷電粒子は消滅して非照射状態となる。

【0036】

図6は、アーク電圧のON/OFF制御を取り入れた場合の加速電圧、アーク電圧、ビーム電流の関係を示すグラフである。図6では、横軸に時間の経過を示し、「 $V3$ 」は加速電圧、「 $V4$ 」はアーク電圧、「 $I2$ 」はビーム電流の変化を示している。

【0037】

まず、時刻 $T5$ において、加速電圧 $V3$ を基準加速電圧 $V(H)$ とする。続いて、時刻 $T6$ において、加速電圧 $V3$ を設定加速電圧 $V(L)$ とする。次に、時刻 $T7$ において、アーク電圧 $V4$ を発生させて非照射状態とし、時刻 $T8$ において、加速電圧 $V3$ を基準加速電圧 $V(H)$ とする。このとき、イオン源21から引き出された荷電粒子は、図4において破線で示す軌道 $R1$ に沿って運動し、加速され照射状態となる。

30

【0038】

続いて、時刻 $T9$ において、加速電圧 $V3$ を設定加速電圧 $V(L)$ とする。このとき、イオン源21から引き出された荷電粒子は、図4において実線で示す軌道 $R0$ に沿って運動し、中心電極32に衝突する。荷電粒子は消滅して非照射状態となる。

【0039】

次に、時刻 $T10$ において、アーク電圧 $V4$ をOFFとして、時刻 $T11$ において、加速電圧 $V3$ を基準加速電圧 $V(H)$ とする。

40

【0040】

次に、説明した荷電粒子線照射装置1の動作について説明する。

【0041】

荷電粒子線照射装置1では、腫瘍14を深さ方向に複数層に分割し、その一の層に設定された照射野 F に向けて荷電粒子線 R を照射する。そして、これを各層に繰り返し実施することで、腫瘍14の3次元形状に沿って荷電粒子線 R が照射されることとなる。

【0042】

荷電粒子線 R を照射する際には、制御装置6で走査電磁石5a, 5bを制御することにより、照射野 F の照射ライン L に沿って荷電粒子線 R を平行に走査する。

【0043】

50

ここで、荷電粒子線 R を照射状態とする場合、制御装置 6 は、イオン源 2 1 でアーク放電を発生させると共に、加速電圧を基準加速電圧 V (H) に制御して、荷電粒子を加速させる (制御工程) 。これにより、加速された荷電粒子がサイクロトロン 2 から照射される。

【 0 0 4 4 】

一方、荷電粒子線 R を照射状態から非照射状態へ切り替える際には、制御装置 6 は、加速電圧を基準加速電圧 V (H) から設定加速電圧 V (L) に変更する (設定加速電圧制御工程) 。これにより、イオン源 2 1 から引き出された荷電粒子は、図 4 に示すように、軌道 R 0 に沿って進み、中心電極 3 2 に衝突し、加速されなくなる。そのため、荷電粒子がサイクロトロン 2 から照射されない。

10

【 0 0 4 5 】

荷電粒子線 R を非照射状態から照射状態へ切り替える際には、制御装置 6 は、加速電圧を設定加速電圧 V (L) から基準加速電圧 V (H) に変更する。

【 0 0 4 6 】

このように本実施形態の荷電粒子線照射装置 1 によれば、荷電粒子線の照射状態の加速電圧を基準加速電圧とし、加速電圧を、基準加速電圧より小さい設定加速電圧に切り替えることで、非照射状態とする。すなわち、加速電圧を小さくして、荷電粒子線の軌道を変更し、荷電粒子線を中心電極 3 2 に衝突させて消滅させる。このように、加速電圧を小さく切り替えるだけで、非照射状態とすることができるため、荷電粒子線の照射状態 / 非照射状態の切替の高速化を図ることができる。なお、本実施形態の荷電粒子線照射装置 1 では、例えば 1 m s 以下でビーム電流の ON / OFF 制御を実行することができる。

20

【 0 0 4 7 】

本発明の荷電粒子線照射制御装置を備えた荷電粒子線装置は、荷電粒子線の照射状態 / 非照射状態の切り替え (ON / OFF 制御) を高速で行うことができるため、スキヤニング照射を行う治療装置において特に有効である。スキヤニング照射を行う場合、例えば 1 m s 以下でビームを安定させることが重要であり、1 m s 以下でビームを切り替えて安定させることで、ビームの均一性を好適に維持することができる。例えば、図 7 中の第 1 照射ライン L 1 に沿った照射では、1 ライン当たり、1 0 m s 以下の連続照射が行われる。

【 0 0 4 8 】

また、イオン源 2 1 のアーク放電の ON / OFF 制御によらず、荷電粒子の照射 / 非照射を切り替えることができるため、この切り替え時において、アーク放電の立ち上がりにおける不安定さの影響を受けることがない。これにより、荷電粒子線の照射状態への切り替え後における荷電粒子線の安定化を図ることができる。

30

【 0 0 4 9 】

また、中心電極 3 2 に荷電粒子線を衝突させて消滅させる構成であるため、従来から設定されている中心電極 3 2 を利用することで、荷電粒子線を非照射状態とすることができる。

【 0 0 5 0 】

また、加速電圧を OFF することなく、非照射状態とすることができるため、加速電極の温度が大幅に低下することがない。

40

【 0 0 5 1 】

ここで、加速電極の温度低下をさらに抑制する場合には、荷電粒子線を照射状態にする直前までイオン源アークを OFF すると共に、加速電圧を基準加速電圧 V (H) の状態にしておく。次に、加速電圧を基準加速電圧 V (H) から設定加速電圧 V (L) に切り替え後、イオン源 2 1 でのアーク放電を発生させる。次いで、アーク放電の安定後に、加速電圧を、設定加速電圧 V (L) から基準加速電圧 V (H) へ切り替える。これにより、加速電圧を設定加速電圧 V (L) に制御する時間を短縮することで、加速電極の温度低下を最小限に抑えることができ、荷電粒子線の安定化を図ることができる。

【 0 0 5 2 】

図 9 は、加速電圧とビーム電流との関係を示すグラフである。図 9 では、横軸に加速電

50

圧を示し、縦軸にビーム電流を示している。図中、「 V_{pmax} 」は、加速空洞のマルチパクティング条件の最高電圧を示し、「 $V(L)$ 」は、設定加速電圧 $V(L)$ であり、「 $V(H)$ 」は、基準加速電圧 $V(H)$ である。また、「 $V(H)_{min}$ 」は、ビーム電流が生じ始める加速電圧 $V(H)_{min}$ である。ビーム電流が生じ始める加速電圧 $V(H)_{min}$ は、個々のサイクロトロンで異なるものであり、簡単な規則性はないものである。設定加速電圧 $V(L)$ は、加速電圧 $V(H)_{min}$ より低く設定されていけばよい。また、基準加速電圧 $V(H)$ は、図9に示すように、所定の範囲を有し、1点の値ではない。

【0053】

以上、本発明をその実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態では、荷電粒子線の照射状態の加速電圧を基準加速電圧とし、加速電圧を基準加速電圧より小さい設定加速電圧に切り替えることで、荷電粒子線を非照射状態としているが、加速電圧を基準加速電圧より大きい設定加速電圧に切り替えることで、荷電粒子線を非照射状態としてもよい。

10

【0054】

図4では、加速電圧を基準加速電圧より大きい設定加速電圧に切り替えた場合の荷電粒子の軌道R2が図示されている。この場合の軌道R2は、通常の照射状態の周回軌道R1より、径方向の外側へ進み、荷電粒子は、中央電極31に衝突する。これにより、荷電粒子線を非照射状態とすることができる。

【0055】

また、上記実施形態では、中心電極32に、イオン源から出射された荷電粒子を衝突させるように、設定加速電圧を決定しているが、例えば、他の中心電極、加速電極、対抗電極、位相スリット、壁体などに、荷電粒子を衝突させて、非照射状態としてもよい。

20

【0056】

また、上記実施形態では、本発明の荷電粒子線照射装置(方法)の医療分野への適用について説明しているが、例えば、半導体ウエハ照射などの産業用の放射線照射装置など、その他の分野の荷電粒子線照射装置に本発明を適用してもよい。

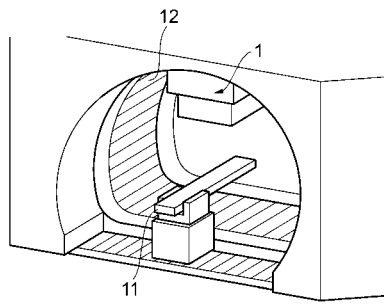
【符号の説明】

【0057】

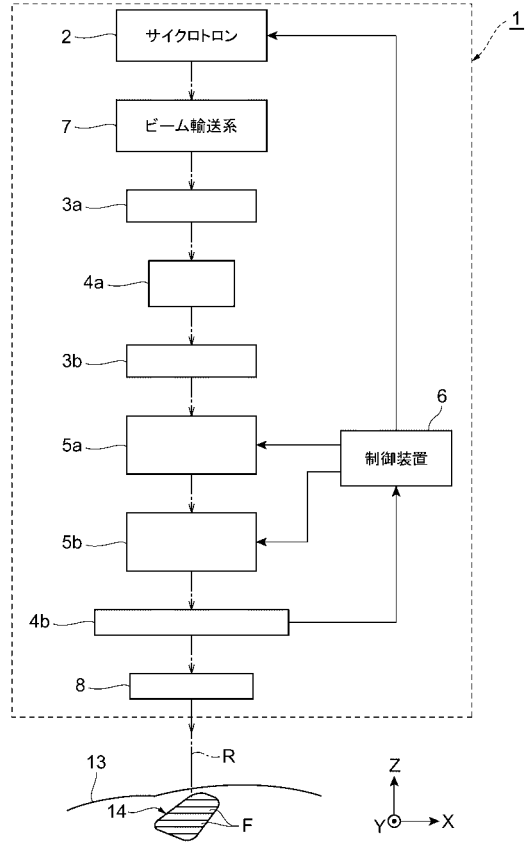
1...荷電粒子線照射装置、2...サイクロトロン(加速器)、6...制御装置(制御手段、設定加速電圧制御手段、アーク電圧制御手段)、21...イオン源、23, 24...加速電極、31~33...中心電極。

30

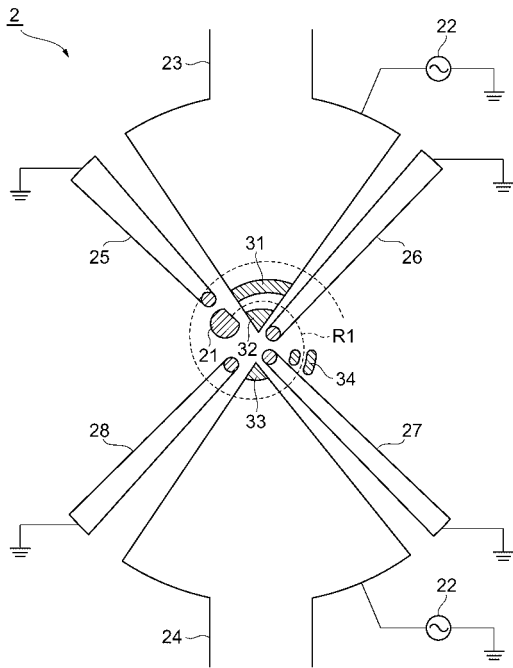
【図1】



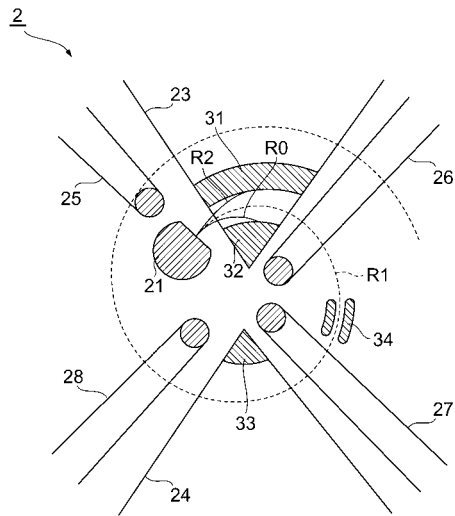
【図2】



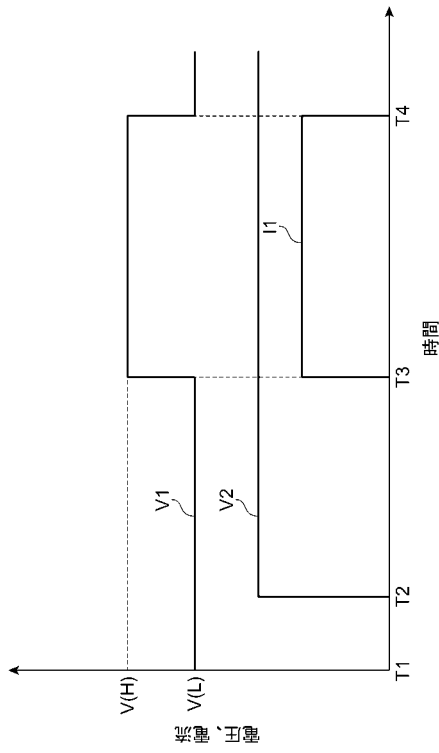
【図3】



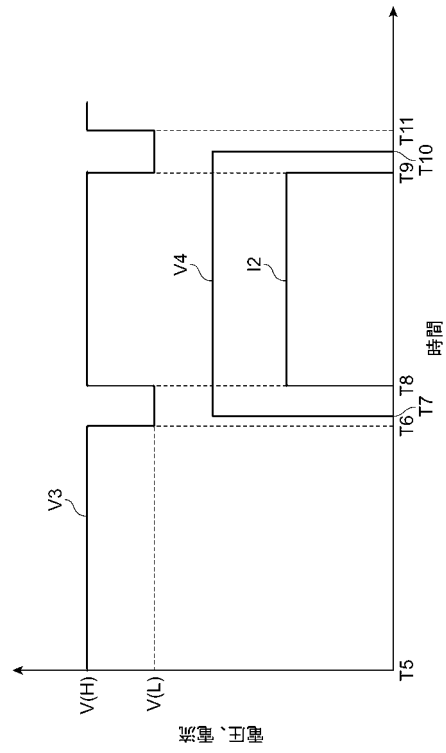
【図4】



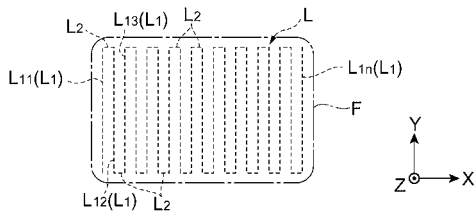
【 図 5 】



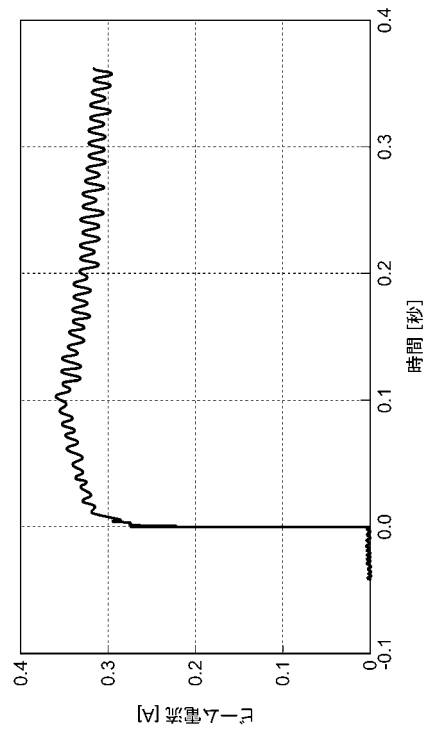
【 図 6 】



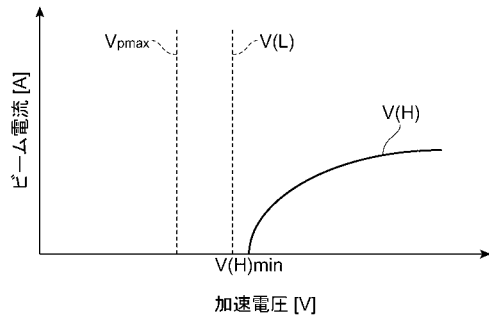
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 立川 敏樹

愛媛県新居浜市惣開町5番2号 住友重機械工業株式会社愛媛製造所内

審査官 遠藤 直恵

(56)参考文献 特開平10-028742(JP,A)

特開2004-031115(JP,A)

特開平04-174999(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 3/00-15/00