

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4362569号
(P4362569)

(45) 発行日 平成21年11月11日(2009.11.11)

(24) 登録日 平成21年8月28日(2009.8.28)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 J 37/317 (2006.01)	HO 1 J 37/317 D
GO 3 F 7/20 (2006.01)	GO 3 F 7/20 5 0 6
HO 1 J 37/04 (2006.01)	GO 3 F 7/20 5 2 1
HO 1 J 37/09 (2006.01)	HO 1 J 37/04 A
HO 1 J 37/147 (2006.01)	HO 1 J 37/09 A

請求項の数 2 (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-358919 (P2002-358919)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成14年12月11日(2002.12.11)		独立行政法人 日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2004-192931 (P2004-192931A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成16年7月8日(2004.7.8)	(74) 代理人	100089705
審査請求日	平成17年6月10日(2005.6.10)		弁理士 社本 一夫
		(74) 代理人	100140109
			弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行
		(74) 代理人	100092015
			弁理士 桜井 周矩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高精度3次元照射用ペンシル型のイオンビーム形成法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

加速器を用いて加速した悪性腫瘍及び良性腫瘍を含む局所性疾患の治療に用いられる数 MeV 以上のエネルギーを有する高エネルギーイオンを用いてビームサイズ直径 1 mm 以下のペンシル型イオンビームを形成する方法であって、

エネルギー減衰器 1、オブジェクトコリメーター 2、発散制限コリメーター 3、偏向電磁石 4、エネルギー分析スリット 5、偏向電磁石 4'、スキャンニングコイル 6 及び精密 4 連四重極電磁石 7 の順に配設した照射用ペンシル型イオンビーム形成装置を使用し、

オブジェクトコリメーター 2 の上流に設置したエネルギー減衰器 1 により、高エネルギービームのエネルギーを任意に変え、エネルギー減衰器 1、並びに前記コリメーター 2 及び 3 を透過する際に生じるビームエネルギーの運動量の拡がりを、2 台の 45° 偏向電磁石 4 及び 4' 間に設置したエネルギー分析スリット 5 で制限し、

エネルギー分析スリット通過後のビームを 4 連四重極電磁石 7 により集束させ、励磁電流の調整により試料への焦点深度とビームサイズを制御し、且つ四重極電磁石 7 の上流に設置したビームスキャンニングコイル 6 によりビームの照射位置を制御及び走査することを特徴とする、前記方法。

【請求項2】

加速器を用いて加速した悪性腫瘍及び良性腫瘍を含む局所性疾患の治療に用いられる数 MeV 以上のエネルギーを有する高エネルギーイオンを用いてビームサイズ直径 1 mm 以下のペンシル型イオンビームを形成する方法であって、

エネルギー減衰器 1、第 1 スリット 2、ビーム制限コリメーター 3、エネルギー分析電磁石 4、第 2 スリット 2、コリメータスリット 5、四重極電磁石 6、偏向電磁石 7、ビームスキャナー 8 及び 4 連四重極電磁石 9 の順に配設した照射用ペンシル型イオンビーム形成装置を使用し、

エネルギー減衰器 1 を用いて高エネルギービームのエネルギーを任意に変え、ビーム制限コリメーター 3 によりビーム中心部だけを通過させ、

このビーム制限コリメーター 3 を透過したビーム、その透過の際に発生した 2 次粒子線及び放射線をコリメータスリット 5 で制限し、エネルギー減衰器により広がったビームエネルギー幅を制限するために、更に第 1 及び第 2 スリット 2 とビーム制限コリメーター 3 とで発生した 2 次粒子線及び放射線の影響を排除するために、エネルギー分析電磁石 4 と、その前後の第 1 及び第 2 スリット 2 と、ビーム制限コリメーター 3 と、コリメータスリット 5 とから構成されたエネルギー分析システムを用いてビームを偏向させ、

さらに、エネルギー分析電磁石 4 後段のスリット 2 及び 5 で発生した散乱ビーム及び 2 次放射線の影響を偏向電磁石 7 を用いて排除し、そして

この偏向電磁石の通過ビームを 4 連四重極電磁石 9 を用いてペンシルビームを形成することを特徴とする、前記方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する利用分野】

本発明は、高精度 3 次元照射用イオンビームを形成する方法である。本発明の利用分野としては次のようなものがある。超高精度のマイクロビームによる治療において、癌やその他の局所性疾患に応用することが可能であることにより、体内の微小病変を手術することなく照射のみで治療できる。

【0002】

又、微小な領域に対してイオンビームを立体的に制御しながら高精度で照射することにより、イオンビーム植物育種に必要な突然変異の誘発を制御でき、品種改良の飛躍的な発展が期待され、農業分野への利用ができる。

【0003】

更に又、イオンの打ち込み位置を $nm \sim \mu m$ の精度で制御しながら照射する技術を材料改質や新材料創製に応用することにより、ナノ・マイクロ機械加工や高アスペクト比の微細孔などの機能性材料を創製するなど、ナノテクノロジー・材料分野で利用ができる。

【0004】

【従来の技術】

従来のイオンマイクロビーム形成装置は、精密オブジェクトコリメーターとビーム発散制限コリメーターにより、ビームを制限してから、その後数ミクロンから数十ミクロン径の小さな穴を通じてビームを通過させてマイクロビームを形成するコリメーション方式と、4 重極電磁石などの電磁氣的にビームを集束するレンズ方式がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

これまで開発されてきたいずれのマイクロビーム形成装置も、ビームを直線状に輸送する方式のみであったため、高エネルギーイオンでマイクロビームを形成するときに、両コリメーター等で発生する 2 次荷電粒子、ガンマ線、中性子線などの放射線による照射損傷の影響を排除することが困難であった。

【0006】

また、エネルギーを連続的に変えながらマイクロビームのビーム径を一定に保持あるいは任意の径を形成するとともに、同時にマイクロビームの位置を任意に変えながら照射することができなかった。又、従来のマイクロビーム形成には次の問題点が存在した。

【0007】

(1) 従来のマイクロビーム形成で使用してきたオブジェクトコリメーターやビーム発散制限コリメーターを高エネルギーイオンビームに適用するとき、コリメーター先端部に

10

20

30

40

50

おけるビームの透過や散乱によって、光学軸上の質の良いビームだけを通過させ、他のビームをカットするという機能が十分に果たせない。

【0008】

一方、ビームを透過させない程度にコリメーター材を厚くした場合、厚みは数センチメートルから数メートルとなり、実用機器として現実的でなく、かつコリメーター間隙を通過する際のコリメーターエッジ部分によるイオンの散乱によるビームサイズの拡大やエネルギー幅の増大の影響が無視できなくなる。

【0009】

(2) 高エネルギーイオンがコリメーター材を透過した多量の透過イオンに加え、コリメーター材と高エネルギーイオンとの相互作用により多量の放射線(線、中性子線、2次イオン等)が発生する。この透過イオンと発生した放射線が、イオンビームを照射する試料の放射線損傷や人体の放射線障害をもたらすなどの問題があった。

10

【0010】

(3) ペンシルビームを用いて立体的にイオンビームを照射、即ち深度を変えながら照射するためには、ビームのエネルギーを変化させながら、かつビームのサイズを一定に保持あるいは制御することが必要で、特に治療を目的とした場合、人体内部での疾患部の形状に合わせて照射深度を制御することが必須であるが、従来のマイクロビームにおいてこの技術は未だ実現していない。

【0011】

【問題を解決しようとする手段】

20

本発明の高精度3次元照射用ペンシルビームを形成する方法は、次の工程に基づいて行われる。

【0012】

(1) ペンシルビーム形成に必要な精密ビームオブジェクトコリメーター及びビーム発散制限コリメーターの間隙を通過したビームのエネルギーと、コリメーター材を透過したビームのエネルギー差を利用して、精密偏向電磁石によりエネルギー分析し、ビームを分離する。偏向電磁石でビームを偏向させることにより、コリメーター材と加速器からの入射高エネルギーイオンとの相互作用で同時に発生する放射線(2次荷電粒子、ガンマ線、中性子線等)の影響を排除する。

【0013】

30

(2) 偏向電磁石を用いてビームを偏向することにより、発生するビームの光学的な色収差を2台以上の偏向電磁石の組み合わせにより打ち消す(アクロマチックな光学系)。

【0014】

(3) ペンシルビーム形成装置のオブジェクトコリメーター又は発散制限コリメーター前にエネルギー減衰器を設置し、これによりビームのエネルギーを変える。ビームエネルギー減衰は、ビームエネルギーを制御するために厚みを調整した板状あるいは“楔”状の炭素や金属等で行う。

【0015】

エネルギー減衰器は、図1及び図2に示されるように、楔形状或いはフォイル形状をした1対の炭素、プラスチック材又は金属材から構成される。楔形状の場合、それを2方向から挿入してその位置を制御し、イオンビームが透過する部分の厚さを任意に設定する。フォイル形状の場合には、厚さの異なる数種類のフォイルをそれぞれ独立に挿入できるようにし、挿入するフォイルの組合せで全体の厚さを設定する。イオンが減衰材を透過すると、減衰材の厚さに依存して減衰材内部でエネルギーを損失するので、エネルギー減衰器通過後のイオンのエネルギーは、減衰材の厚さを制御することによって変えることができる。

40

【0016】

(4) ビームエネルギーを変えながら、ペンシルビーム径を一定に保持するため、あるいは任意のビーム径を形成するために、エネルギー減衰器によるエネルギーの減衰とリンクさせて偏向電磁石と四重極電磁石の励磁電流を精密制御する。

50

【 0 0 1 7 】

(5) ビームエネルギーを変えながら、かつペンシルビーム径を一定に保持あるいは任意のビーム径を形成制御しながら、任意位置での位置固定照射あるいは任意位置での任意幅・形状でビームを走査照射するために、電磁気的方法によるビームスキャナーと組み合わせる。

【 0 0 1 8 】

【実施例】

以下に、本発明の形成法を用いたペンシルビーム形成法の実施例を図 1 及び図 2 に基づき説明する。

【 0 0 1 9 】

(実施例 1)

図 1 に示されるように、本発明の装置は、オブジェクトコリメーター 2 と発散制限コリメーター 3 及び精密 4 連四重極電磁石 7 などの電磁石を用いて、ペンシルビームを形成する。この時、オブジェクトコリメーター 2 及び発散制限コリメーター 3、或いはどちらか一方を透過してエネルギーが減衰したイオンビーム、及びコリメーターで発生した放射線の影響を無くすために、2 台の偏向電磁石 4 でビーム輸送ラインを曲げる。

【 0 0 2 0 】

さらに、オブジェクトコリメーター 2 の上流に設置したエネルギー減衰器 1 により、ビームのエネルギーを任意に変える。エネルギー減衰器 1 及びコリメーター 2、3 を透過する際に生じるビームエネルギーの運動量の拡がり、2 台の偏向電磁石間の出入り口に設置したエネルギー分析スリット 5 で制限する。エネルギー分析システムは、2 台の 4 5 ° 偏向電磁石 4 とその中間に設置する分析スリット 5 から構成される。

【 0 0 2 1 】

エネルギー分析後のビームは電磁気的手法、例えば 4 連四重極電磁石 7 により集束させ、励磁電流の調整により焦点深度とサイズを制御する。この四重極電磁石 7 の上流に設置した電磁気的手法、例えばビームスキャニングコイル 6 等によりビームの照射位置を制御及び走査することができる。また、エネルギー減衰器 1、偏向電磁石 4、及び 4 連四重極電磁石 7 を連動運転することによりエネルギーを変えながらビームサイズを一定に保持することができる。

【 0 0 2 2 】

(実施例 2)

図 2 に示されるように、本発明の他の装置は、エネルギー減衰器 1 を用いてエネルギーを任意に変え、ビーム制限コリメーター 3 によりビーム中心部だけを通過させる。コリメーター 3 を透過したビーム、発生した 2 次粒子線及び放射線等は、コリメーター (スリット) 5 で制限する。

【 0 0 2 3 】

エネルギー減衰器 1 の使用により広がったビームエネルギー幅を制限するため、及びスリット 2、コリメーター 3 等で発生した 2 次粒子線及び放射線の影響を排除するために、エネルギー分析システムを用いてビームを偏向させる。エネルギー分析システムは、エネルギー分析電磁石 4 と前後のスリット及びコリメーター 2、3、5 から構成され、このエネルギー分析システムのエネルギー分解能は、装置全体の構成と形成するビームサイズに依存するが、例えばエネルギー幅が $E / \Delta E = 10^{-4}$ 以下であればビームサイズ $1 \mu\text{m}$ のペンシルビームを容易に形成できる。

【 0 0 2 4 】

さらに、エネルギー分析電磁石 4 後段のスリット 2、5 における散乱ビーム及び発生 2 次放射線の影響を排除するため偏向電磁石 7 を用いる。この偏向電磁石 7 の偏向角は任意で良い。偏向電磁石通過ビームを 4 連四重極電磁石 9 などの電磁石を用いて、ペンシルビームを形成する。

【 0 0 2 5 】

エネルギー分析及び偏向後のビームは、電磁気的手法、例えば、4 連四重極電磁石 9 によ

10

20

30

40

50

り集束させ、励磁電流の調整により焦点深度とサイズを制御する。この四重極電磁石の上流に設置した電磁気的手法、例えばビームスキャナー 8 等により、ビームの照射位置を制御及び走査することができる。また、エネルギー減衰器 1、エネルギー分析電磁石 4、四重極電磁石 6、偏向電磁石 7、及び 4 連四重極電磁石 9 を連動運転することによりエネルギーを変えながらビームサイズを一定に保持することができる。

【 0 0 2 6 】

なお、四重極電磁石 6 により、機器 1 ~ 5 でエネルギー分析されたイオンビームが水平方向或いは鉛直方向に発散しないように四重極電磁石 6 を用いて集束させて偏向電磁石 7 を効率よく通過させるとともに、4 連四重極電磁石 9 でのマイクロビーム形成に最適なビームを提供する役目も果たすことができる。

10

【 0 0 2 7 】

【発明の効果】

高エネルギーイオンによる 1 mm 以下のビームサイズのペンシルビーム治療技術は世界初の最先端治療技術をもたすものであり、本発明の技術による治療の対象として、これまでの悪性腫瘍に加え、頭蓋内良性腫瘍、下垂体腫瘍、傍脊髄腫瘍 AVM、神経疾患、眼疾患（老人性網膜症）などの多様な良性疾患に拡大できる。また、手術をせずに治療できることから、手術に伴う危険性を軽減させ、患者の負担を最小にする画期的治療技術として利用できる。

【 0 0 2 8 】

微小な領域に対してイオンビームを立体的に制御しながら高精度で照射する技術を確立することにより、植物育種の対象が野菜、果樹、花卉、樹木等のあらゆる品種に拡大し、劣悪環境（紫外線、乾燥、高塩類等）に強い作物や病害虫に負けない果樹、空気や土壌をきれいにする樹木など、本発明により、品種改良の飛躍的な発展が期待される。

20

【 0 0 2 9 】

イオンの打ち込み位置を nm ~ μm の精度で制御しながら照射する技術を材料改質や新材料創製に応用することにより、例えばイオンビームを用いて有機材料に高アスペクト比の微細孔を開け、内部に原子・分子を吸着する機能性物質や半導体物質を仕込むことにより、原子・分子を精密に分離する膜やナノサイズのデバイス、生体機能膜、半導体素子などの機能性材料を創製するなど、本発明により、ナノテクノロジー・材料分野での新産業創出が期待される。

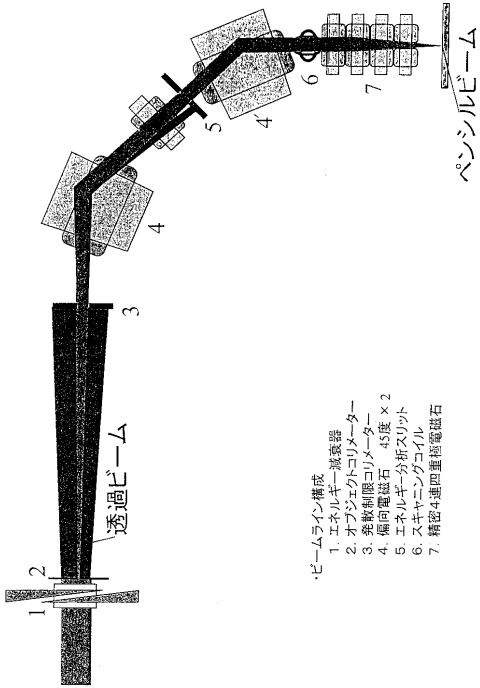
30

【図面の簡単な説明】

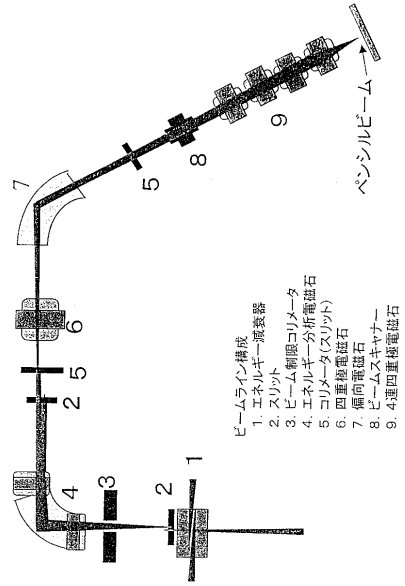
【図 1】 本発明の形成法を用いたペンシルビーム形成法を示す図である。

【図 2】 本発明の形成法を用いた他のペンシルビーム形成法を示す図である。

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
H 0 1 J	37/153	(2006.01)	H 0 1 J	37/147 D
H 0 1 L	21/027	(2006.01)	H 0 1 J	37/153 Z
			H 0 1 L	21/30 5 5 1

(74)代理人 100093713
弁理士 神田 藤博

(74)代理人 100091063
弁理士 田中 英夫

(74)代理人 100102727
弁理士 細川 伸哉

(74)代理人 100117813
弁理士 深澤 憲広

(74)代理人 100123548
弁理士 平山 晃二

(72)発明者 福田 光宏
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内

(72)発明者 神谷 富裕
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内

(72)発明者 荒川 和夫
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内

(72)発明者 西堂 雅博
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内

(72)発明者 渡辺 宏
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内

(72)発明者 中野 隆史
群馬県前橋市昭和町3 - 3 9 - 2 2 群馬大学医学部内

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 特開平0 6 - 0 7 6 7 9 3 (J P , A)
実開平0 1 - 1 2 2 2 5 4 (J P , U)
特開昭6 1 - 2 7 9 0 4 8 (J P , A)
特開平1 1 - 0 2 6 1 9 7 (J P , A)
特開平0 5 - 1 1 4 4 9 8 (J P , A)
特開平1 1 - 2 4 8 6 5 4 (J P , A)
特開平0 2 - 2 5 6 1 4 7 (J P , A)
特開昭6 1 - 1 1 4 4 5 3 (J P , A)
田中隆一ら, 原研マイクロビーム技術とその応用の現状と展望, 日新電機技報, 1 9 9 5 年, 第40巻, 第2号, 第95-102頁

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H01J 37/317
G03F 7/20
H01J 37/04
H01J 37/09
H01J 37/147
H01J 37/153

H01L 21/027