



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I604760 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 11 月 01 日

(21)申請案號：102123433

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 07 月 01 日

(51)Int. Cl. :

*H05H7/02 (2006.01)**H05H13/00 (2006.01)*

(30)優先權：2013/02/28

世界智慧財產權組織

PCT/JP2013/055407

(71)申請人：三菱電機股份有限公司(日本) MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION (JP)
日本(72)發明人：菅原賢悟 SUGAHARA, KENGO (JP)；花川和之 HANAKAWA, KAZUSHI (JP)；
岸井保人 KISHII, YASUTO (JP)；山本和男 YAMAMOTO, KAZUO (JP)

(74)代理人：洪武雄；陳昭誠

(56)參考文獻：

JP 3-34252A

JP 5-258898A

JP 5-290997A

JP 7-57898A

JP 2010-27529A

審查人員：張簡宏偉

申請專利範圍項數：12 項 圖式數：19 共 45 頁

(54)名稱

高頻加速器的製造方法、高頻加速器及圓形加速器系統

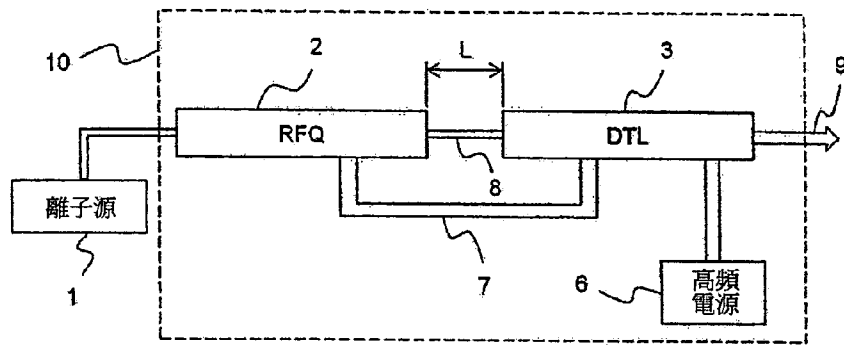
MANUFACTURING METHOD OF HIGH-FREQUENCY ACCELERATOR, HIGH-FREQUENCY
ACCELERATOR AND CIRCULAR ACCELERATOR SYSTEM

(57)摘要

本發明乃係將從第 1 段直線加速器(2)射出的帶電粒子入射至第 2 段直線加速器(3)予以加速的高頻加速器的製造方法，係含有以下步驟：設定功率分配裝置(7)供給至第 2 段直線加速器(3)的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從第 1 段直線加速器(2)出口至第 2 段直線加速器(3)入口為止的匹配段(8)的長度 L 與高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值，從而於比第 2 段直線加速器(3)的根據針對各相位的入射帶電粒子的相位接受度而決定的前述總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍還廣的總高頻功率的範圍，使帶電粒子束從第 2 段直線加速器(3)射出。

The present invention provides a manufacturing method of a high-frequency accelerator for accelerating the charged particle which emits from a first stage linear accelerator (2) to be incident to a second stage linear accelerator (3), which includes the following steps: set a value of power distribution ratio R of a high-frequency power being supplied to the second stage linear accelerator (3) by a power distribution device (7), and a value of ratio L/ω of the length L of a matching section (8) from the export of the first stage linear accelerator (2) to the entrance of the second stage linear accelerator (3) with respect to the angular frequency ω of the high-frequency power, thereby the charged particle beam emitted from the second stage linear accelerator (3) in such a range that the total high-frequency power is wider than the maximum allowable range among the total high-frequency power allowable ranges being determined according to the phase acceptance for incident charged particle for each phase in the second stage linear accelerator (3).

指定代表圖：



第1圖

符號簡單說明：

- 1 . . . 離子源
- 2 . . . 第 1 段直線加速器
- 3 . . . 第 2 段直線加速器
- 6 . . . 高頻電源
- 7 . . . 諧振型功率分配裝置
- 8 . . . 匹配段
- 9 . . . 帶電粒子束
- 10 . . . 高頻加速器
- L . . . 匹配段的長度

發明摘要

※ 申請案號：102123433

※ 申請日：102/07/01

※IPC 分類：H05H 7/02 (2006.01)
H05H 13/00 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

高頻加速器的製造方法、高頻加速器及圓形加速器
系統

MANUFACTURING METHOD OF HIGH-FREQUENCY
ACCELERATOR, HIGH-FREQUENCY ACCELERATOR
AND CIRCULAR ACCELERATOR SYSTEM

【中文】

本發明乃係將從第 1 段直線加速器(2)射出的帶電粒子入射至第 2 段直線加速器(3)予以加速的高頻加速器的製造方法，係含有以下步驟：設定功率分配裝置(7)供給至第 2 段直線加速器(3)的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從第 1 段直線加速器(2)出口至第 2 段直線加速器(3)入口為止的匹配段(8)的長度 L 與高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值，從而於比第 2 段直線加速器(3)的根據針對各相位的入射帶電粒子的相位接受度而決定的前述總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍還廣的總高頻功率的範圍，使帶電粒子束從第 2 段直線加速器(3)射出。

【英文】

The present invention provides a manufacturing method of a high-frequency accelerator for accelerating the charged particle which emits from a first stage linear accelerator (2) to be incident to a second stage linear accelerator (3), which includes the following steps: set a value of power distribution ratio R of a high-frequency power being supplied to the second stage linear accelerator (3) by a power distribution device (7), and a value of ratio L/ω of the length L of a matching section (8) from the export of the first stage linear accelerator (2) to the entrance of the second stage linear accelerator (3) with respect to the angular frequency ω of the high-frequency power, thereby the charged particle beam emitted from the second stage linear accelerator (3) in such a range that the total high-frequency power is wider than the maximum allowable range among the total high-frequency power allowable ranges being determined according to the phase acceptance for incident charged particle for each phase in the second stage linear accelerator (3).

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- 1 離子源
- 2 第 1 段直線加速器
- 3 第 2 段直線加速器
- 6 高頻電源
- 7 諧振型功率分配裝置
- 8 匹配段
- 9 帶電粒子束
- 10 高頻加速器
- L 匹配段的長度

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

本案無化學式。

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

高頻加速器的製造方法、高頻加速器及圓形加速器
系統

MANUFACTURING METHOD OF HIGH-FREQUENCY
ACCELERATOR, HIGH-FREQUENCY ACCELERATOR
AND CIRCULAR ACCELERATOR SYSTEM

【技術領域】

【0001】 本發明係有關在對腫瘤等患部照射粒子線進行治療的粒子射線裝置等中用來產生粒子射線的高頻加速器，尤其有關做為令粒子射線入射至同步加速器(synchrotron)等圓形加速器所用的人射器之高頻加速器。

【先前技術】

【0002】 在粒子射線癌治療裝置中係有使用入射器做為將粒子射線入射至圓形加速器的前段加速裝置。就入射器而言，多使用直線加速器。在離子束(ion beam)中，離子束的各粒子(離子)間的相互作用(電斥力)稱為空間電荷效應(space charge effect)。該斥力係會隨著能量的增加而趨向緩和，因而有想在將粒子入射至圓形加速器前的前段盡量予以加速之要求。

【0003】 已知例如質子的加速，適合對來自離子源的射束進行加速的直線加速器與做為二段加速而能夠造得較為小型的直線加速器兩者的構造不同。在粒子射線癌治

療裝置以外的用途，也會將複數種的直線加速器串聯在一起，以將粒子射束加速至較高能量。

【0004】 一般在對兩台使用高頻腔的加速器(高頻加速器)各自的高頻腔供給高頻時，所供給的高頻必須與射束同步。爲此，對各自的高頻腔係必須投入相同頻率的高頻，使相位同步。此外，投入至各自的高頻腔的高頻之功率及投入至兩高頻腔的高頻各自的相位係以使射束品質及穿透效率變好的方式進行設計及調整(例如下述之專利文獻 1)。

【0005】 供給至高頻加速器的高頻必須是大功率。高頻的大功率產生裝置價格昂貴，且多是使用真空管製造，因此需要進行更換，有維護費用高騰的問題。有鑒於此，若使用功率分配裝置來進行對兩台高頻腔的功率供給，功率產生裝置的個數便可減少，故而有價格低廉且可靠度提升之優點(例如下述之專利文獻 2)。

【0006】 然而，當以一台功率產生裝置實現上述構成，採用諧振型的功率分配裝置來分配高頻功率時，由於該功率分配裝置原理上的問題，會無法獨立調整供給至各腔的高頻功率的相位。此外，也比較難以對各腔進行使射束品質及穿透效率變好的功率調整。

(先前技術文獻)

(專利文獻)

【0007】

專利文獻 1：日本國特開平 3-34252 號公報

專利文獻 2：日本國特開 2010-27529 號公報

【發明內容】

(發明所欲解決之課題)

【0008】 如上述，在以串列的方式配置兩台不同方式的高頻加速器來加速帶電粒子的情形中，習知的做法是將供給至兩台高頻加速器的高頻的功率及相位分別調整至最佳化，而僅能夠在高頻的功率及相位的設計值附近的狹窄範圍來加速帶電粒子。

【0009】 然而，本發明的發明人等藉由針對相對於投入高頻功率之帶電粒子的能量及相位的變化進行究明，發現存在即使採用更廣範圍的高頻功率還是能夠加速帶電粒子的條件。

【0010】 本發明的目的在於獲得一種以串聯的方式配置第 1 段直線加速器與第 2 段直線加速器且以功率分配裝置耦接該兩台直線加速器，就算令供給的高頻功率變化，第 1 段加速器與第 2 段加速器也不會失去匹配(matching)，調整容易之高頻加速器。

(解決課題的手段)

【0011】 本發明的高頻加速器的製造方法，該高頻加速器係具備：第 1 段直線加速器，係入射從離子源射出的帶電粒子並予以加速；第 2 段直線加速器，係經由匹配段(matching section)入射從該第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束並予以加速；高頻電源，係產生供給至第 1 段直線加速器及第 2 段直線加速器的高頻功率；及功率分配裝置，係將從高頻電源供給的總高頻功率分配並供給至第 1

段直線加速器與第 2 段直線加速器；該高頻加速器的製造方法係含有以下步驟：設定功率分配裝置供給至第 2 段直線加速器的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從第 1 段直線加速器出口至第 2 段直線加速器入口為止的匹配段的長度 L 與高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值，從而於此根據針對各相位的入射帶電粒子的相位接受度 (acceptance) 而決定的前述總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍還廣的前述總高頻功率的範圍中，使帶電粒子束從第 2 段直線加速器射出。

(發明的效果)

【0012】 由於係以於產生自高頻電源的高頻功率 $P_{rf, total}$ 的廣範圍，使帶電粒子束從第 2 段直線加速器射出之方式，設定功率分配裝置供給至第 2 段直線加速器的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從第 1 段直線加速器出口至第 2 段直線加速器入口為止的匹配段的長度 L 與高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值，因此能夠獲得就算令所供給的高頻功率變化，第 1 段加速器與第 2 段加速器也不會失去匹配，調整容易之高頻加速器。結果，亦達成能夠提供一種高頻加速器，係當進一步將其做為對於圓形加速器的入射器使用時，能藉由高頻功率的調整來獲得做為入射至圓形加速器的帶電粒子束而言較佳的帶電粒子束特性之效果。

【圖式簡單說明】

【0013】

第 1 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器的概略構成之方塊(block)圖。

第 2 圖係用以說明本說明書中所使用的各參數的標記之示意圖。

第 3 圖係顯示本發明的高頻加速器中，從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束的能量特性例之圖。

第 4 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器中，做為入射至第 2 段直線加速器的帶電粒子束的要求設計值的能量特性例之圖。

第 5 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器中，以從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束的功率分配率為參數的能量特性例之圖。

第 6 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器中，入射至第 2 段直線加速器的帶電粒子束所要求之做為以功率分配率為參數的設計值的能量特性例之圖。

第 7 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器中，從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束的能量特性與入射至第 2 段直線加速器的帶電粒子束的要求能量特性兩者的匹配之圖。

第 8 圖係說明本發明實施形態 1 的高頻加速器中，做為入射至第 2 段直線加速器的帶電粒子束所要求之設計值的相位特性與設計容許範圍之圖。

第 9 圖係另一說明本發明實施形態 1 的高頻加速器中，做為入射至第 2 段直線加速器的帶電粒子束所要求之

設計值的相位特性與設計容許範圍之圖。

第 10 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器中，從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束的相位特性例之圖。

第 11 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器中，從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束到達第 2 段直線加速器入口時的相位特性例之圖。

第 12 圖係說明本發明實施形態 1 的高頻加速器中，從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束到達第 2 段直線加速器入口時的相位特性與做為入射至第 2 段直線加速器的帶電粒子束的要求設計值的相位特性的匹配之圖。

第 13 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器的動作特性與做為比較例的習知技術的高頻加速器的動作特性對照之圖。

第 14 圖係說明本發明實施形態 1 的高頻加速器的動作之概念圖。

第 15 圖係說明習知技術的高頻加速器的動作之概念圖。

第 16 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器的製造步驟之流程圖(flow chart)。

第 17 圖係顯示包含本發明實施形態 2 的高頻加速器在內的圓形加速系統(system)整體概略構成之方塊圖。

第 18 圖(a)至(c)係以相位-能量空間表示從本發明實施形態 1 的高頻加速器輸出的帶電粒子束的特性之示意圖。

第 19 圖係顯示從本發明實施形態 1 的高頻加速器輸出

的帶電粒子束的能量寬度的特性之圖。

【實施方式】

【0014】 第 1 圖係顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器 10 的概略構成之方塊圖。係令離子源 1 產生的離子(帶電粒子)入射至構成高頻加速器 10 的第 1 段直線加速器 2。經第 1 段直線加速器 2 加速的帶電粒子係入射至第 2 段直線加速器 3 獲得進一步的加速。從第 2 段直線加速器 3 射出的帶電粒子束即為從本發明實施形態 1 的高頻加速器 10 射出的帶電粒子束 9。此處，係以 RFQ(Radio Frequency Quadrupole；射頻四極)型直線加速器做為第 1 段直線加速器 2 之例、以 APF(Alternating Phase Focus；交替相位聚焦)方式 IH(Interdigital-H；指間-H)型 DTL(Drift Tube Linac；飄移管直線加速器)加速器做為第 2 段直線加速器 3 之例進行說明。另外，第 1 段加速器並不限於 RFQ 型，亦可為 RFI(Rf-Focused Interdigital；射頻聚焦指間)型。此外，第 2 段加速器並不限於 APF 方式，亦可為一般的 DTL。

【0015】 在高頻加速器 10 中，用來加速帶電粒子的高頻係以高頻電源 6 產生，供給至屬於 APF 方式 IH 型 DTL 加速器的第 2 段直線加速器 3。而供給至屬於 RFQ 型直線加速器的第 1 段直線加速器 2 的高頻則係藉由稱為諧振耦合器(resonant coupler)(諧振型功率分配裝置)的功率分配裝置 7 而與第 2 段直線加速器 3 高頻耦合從而獲得供給。

【0016】 設有匹配段(matching section)8，做為調整從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子的相位及橫方向射束

剖面 (beam profile) (縱方向為射束前進方向) 的部分，使從帶電粒子入射至第 2 段直線加速器 3 的相位成為適合屬於 APF 方式 IH 型 DTL 加速器的第 2 段直線加速器 3 之加速的相位。

【0017】 以高頻加速帶電粒子的加速器係構成為將高頻功率供給至高頻加速腔，利用高頻加速腔中產生的電場來加速帶電粒子。將高頻功率供給至高頻腔時，在高頻腔內部便會感應生成駐波形式的高頻電場。高頻電場係對應該相位而正負交變，因此設計為令該生成電場同步於帶電粒子的加速。若沒有施行使用電腦的最佳設計，便會交替承受正的電場與負的電場，所以帶電粒子會反覆加速與減速，而無法加速至高能量。依據該電場分佈設計方針的不同而存在 RFQ、DTL、RFI 等加速器種類。以下，說明 RFQ 型直線加速器、APF 方式 IH 型 DTL 型直線加速器及諧振型功率分配裝置的動作特性。

【0018】 (1)RFQ(Radio Frequency Quadrupole)型直線加速器

RFQ 型直線加速器乃係將產生自離子源的離子束予以高頻聚束 (bunching)，進行初段加速之直線加速器。係相對向配置稱為翼 (vane) 的電極對，產生高頻四重極電場。在翼上設有稱為調變部 (modulation) 的變位，藉此使帶電粒子的速度與高頻的相位同步地加速帶電粒子。在翼的外側設有腔，形成於某頻率中共振之構造。RFQ 型直線加速器乃係適合於將 50keV (千電子伏) 程度的低能量、且相位不統一

的帶電粒子加速至 MeV(兆電子伏)程度的能量之加速器。因此，乃係適合做為直接將產生自離子源的帶電粒子入射並予以加速的第 1 段加速器之加速器。

【0019】 (2) APF(Alternating Phase Focus)方式 IH (Interdigital-H)型 DTL(Drift Tube Linac)型直線加速器

所謂的 IH 型 DTL 加速器乃係具有下述構造之直線加速器：即在共振器內部上下固定有朝加速射束軸方向的稱為脊(ridge)的板，且在該些板上下交替地安裝有稱為飄移管(drift tube)的中空圓筒形導體。此外，APF 方式指的是藉由共振器內產生的高頻電場同時進行離子的加速與聚束的聚束方式。藉此，習知的直線加速器中便完全不需要進行射束聚束必需的四極電磁鐵等聚束元件，能夠實現 IH 型 DTL 直線加速器的小型化。然而，在此加速器中，因為藉由電場而既進行加速也進行聚束，所以對於入口的射束能量及入口的射束的相位非常敏感，能量、相位偏離設計值的帶電粒子就算入射也無法加速。

【0020】 (3)諧振型功率分配裝置

所謂的諧振型功率分配裝置，乃係一種將複數台加速腔以同軸管連接，藉由對同軸管的長度採取積極性設計使共振產生，使三個腔如耦合腔般動作之技術。藉由使三個腔以 $\pi/2$ 模式動作，位於兩端的加速腔有較多的高頻功率投入，諧振型功率分配裝置本身則沒有高頻功率投入，高頻功率的分配係以安裝在諧振型功率分配裝置的具有短管(stub)構造等的同軸管的長度等進行調整。若不設在 $\pi/2$

模式，則在諧振型功率分配裝置本身也會有高頻功率投入，會產生放電等。若設在 $\pi/2$ 模式，則兩端的腔會獲得兩腔間的相位差準確固定在 180° 的高頻之供給。

【0021】 習知技術中，係對兩個相異的加速器分別從兩個高頻電源供電高頻功率。在使用兩個高頻功率時，係以控制等來對合相位，因此會遭受因溫度和外部干擾造成的控制之不穩定性所致生的變動等，而使用諧振型功率分配裝置時就不會有如上述因外部干擾所造成的不穩定性。然而，會無法進行初期設置階段的相位的設定值之調整。此外，爲了變更功率分配率，必須變更安裝在諧振型分配裝置的具有短管構造等的同軸管的長度等，功率分配率之變更並不像在電源的設定面板(panel)上變更電源的投入功率般容易，所以初期設置階段的調整比較困難。

【0022】 接著，說明各加速器的射出帶電粒子束的特性、入射至屬於 APF 方式 IH 型 DTL 型直線加速器的第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子所要求之特性等。特別是說明藉由針對帶電粒子束的能量及相位相對於高頻功率的變化進行究明而發現本發明構成之過程。

【0023】 開始說明前，先針對參數的標記進行說明。E 表示帶電粒子束所含的帶電粒子的能量分布的中心能量， ϕ 表示相位分布的中心相位。此外，針對與加速器的入口有關的參數係標記下標(suffix)i，針對出口的則標記下標 o；針對與第 1 段直線加速器 2 有關的參數係標記下標 1，針對第 2 段直線加速器 3 的則標記下標 2。例如，第

1 段直線加速器 2 出口的帶電粒子束的中心能量係以 $E_{o,1}$ 表示，中心相位則以 $\phi_{o,1}$ 表示。此外，供給至第 1 段直線加速器 2 的高頻功率係以 $P_{rf,1}$ 表示，供給至第 2 段直線加速器 3 的高頻功率係以 $P_{rf,2}$ 表示。第 2 圖顯示上述標記。

【0024】 關於高頻功率，供給至兩加速器的高頻功率之和 $P_{rf,1} + P_{rf,2}$ 係成爲由高頻功率 6 供給的總高頻功率 $P_{rf,total}$ 。此處，以下式定義藉由使用諧振型功率分配裝置 7 分配給第 2 段直線加速器 3 的高頻功率的功率分配率 R 。

$$P_{rf,2} = R * P_{rf,total}$$

$$P_{rf,1} = (1-R) * P_{rf,total}$$

【0025】 本發明的高頻加速器係令從屬於 RFQ 型直線加速器的第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子，經由匹配段 8 入射至屬於 APF 方式 IH 型 DTL 型直線加速器的第 2 段直線加速器 3。從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子係形成爲前進方向的位置(相位)集中於中心值附近的束狀的團。此種束團稱爲聚射柱(bunched-beam)。入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子束中的帶電粒子之中，僅有適合第 2 段直線加速器 3 之加速的中心能量與中心相位附近的帶電粒子獲得加速。在第 2 段直線加速器 3 中，入射的帶電粒子的適合加速的中心能量與中心相位爲某值，而該值附近存在可容許範圍。僅有落入該容許範圍內的粒子獲得加速。因此，若入射的帶電粒子的能量及相位的中心值偏離，便會發生完全不會獲得第 2 段直線加速器 3 加速的狀態。此外，當入射的帶電粒子的能量及相位之分布比容許

範圍還要大範圍時，即使中心值未偏離，穿透效率仍會下降。

【0026】 上述的容許範圍在加速器的領域裡稱為接受(acceptance)。此處，將對能量的接受稱為能量接受度，將對相位的接受稱為相位接受度。這些適於加速的中心能量、中心相位、能量接受度、相位接受度係能夠藉由使用電腦的解析來求得。

【0027】 首先，針對帶電粒子的能量進行考察。匹配段 8 一般並無電場產生裝置，且磁場不作功，故無能量變化，因此帶電粒子就算通過匹配段 8，能量也不會變化。因此，從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子的能量會成為入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子的能量。第 3 圖顯示從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束的中心能量 $E_{o,1}$ 相對於供給至第 1 段直線加速器 2 的高頻功率 $P_{rf,1}$ 而變化的情形。顯示下述的特性：在第 1 段直線加速器 2 中，於某範圍的高頻功率 $P_{rf,1}$ 能夠加速帶電粒子，在該範圍中，若令 $P_{rf,1}$ 增加， $E_{o,1}$ 便會減少。另一方面，第 4 圖顯示適合屬於 APF 方式 IH 型 DTL 加速器的第 2 段直線加速器 3 之加速的帶電粒子束於入口的能量 $E_{i,2}$ 相對於供給至第 2 段直線加速器 3 的高頻功率 $P_{rf,2}$ 而變化的情形。顯示下述的特性：若令 $P_{rf,2}$ 增加，適於加速的 $E_{i,2}$ 便會減少。在第 4 圖中，以實線表示中心能量，以兩條虛線表示上述的能量接受度的界限。能量接受度以外的能量的帶電粒子皆無法加速。

【0028】 在本發明實施形態 1 的高頻加速器的構成中，供給至第 1 段直線加速器 2 及第 2 段直線加速器 3 的高頻功率係由諧振型功率分配裝置 7 分配供給，因此供給至兩加速器的高頻功率的變化的比率係相同。若令高頻電源 6 的輸出增加，則從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子的能量 $E_{0,1}$ 便會減少，適於入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子的能量 $E_{1,2}$ 的加速的能量也會減少，故若適當設計，便能夠獲得就算令高頻功率變化，仍能進行能量匹配的加速器。

【0029】 第 5 圖及第 6 圖顯示將第 3 圖及第 4 圖的橫軸改爲高頻電源 6 的輸出 $P_{rf, total}$ ，以分配給第 2 段直線加速器 3 的高頻功率的功率分配率 R 爲參數來表現特性之圖。由於分配給第 2 段直線加速器 3 的高頻功率 $P_{rf, 2}$ 爲 $R * P_{rf, total}$ ，因此若 R 大，對 $P_{rf, total}$ 來說便是比較少的那一側成爲適於加速的高頻功率。反之，若 R 小，對 $P_{rf, total}$ 來說便是比較多的那一側成爲適於加速的高頻功率。因此，若以處於 $R_1 > R_2 > R_3$ 之關係的 R 做爲參數來表示適於入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子束的能量 $E_{1,2}$ 的加速的能量之特性，則如第 6 圖所示。在第 6 圖中，以實線表示適於加速的中心能量，以兩條虛線表示能量接受度的界限。亦即，在第 6 圖中係顯示針對某 R ，兩條虛線間的範圍的能量的帶電粒子能夠獲得加速。另一方面，由於分配給第 1 段直線加速器 2 的高頻功率爲 $(1-R) * P_{rf, total}$ ，因此若 R 大，對 $P_{rf, total}$ 來說便是比較多的那一側成爲適於加速的高頻功

率。反之，若 R 小，對 $P_{rf, total}$ 來說便是比較少的那一側成爲適於加速的高頻功率。因此，若以和上述同樣的 R_1 、 R_2 、 R_3 做爲參數來表示從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束的能量特性，則如第 5 圖所示。

【0030】 第 5 圖的特性中的 $E_{o,1}$ 的變化特性之中的功率分配率 R_2 時的特性與第 6 圖的能量接受度特性中的 $E_{i,2}$ 的變化特性之中的功率分配率 R_2 時的能量接受度特性相匹配。藉由將諧振型功率分配裝置 7 的功率分配率設定爲 R_2 ，從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束的能量係於高頻電源 6 的輸出的廣範圍成爲適於入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子的能量 $E_{i,2}$ 的加速之能量。如上述，可知就適於入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子的能量 $E_{i,2}$ 的加速之能量相對於高頻功率的變化之特性、亦即能量接受度特性，與從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子的能量 $E_{o,1}$ 相對於高頻功率的變化之特性、亦即射出能量特性而言，存在兩者相匹配的功率分配率 R 。

【0031】 此處，針對上述兩特性應該要匹配到什麼程度進行說明。要令第 5 圖的特性曲線之 $E_{o,1}(P_{rf, total})$ 與第 6 圖的特性曲線、亦即能量接受度中的中心能量，於某 R 完全一致是很困難的事。只要從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束的中心能量 $E_{o,1}(P_{rf, total})$ 位在第 6 圖的能量接受度內，則從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子的全部就會獲得第 2 段直線加速器 3 加速，或是就算穿透效率下降仍會有一部分的帶電粒子獲得第 2 段直線加速器 3 加速。

第 7 圖為上述情形的示意圖。當第 5 圖中的 R_2 時的射出能量特性曲線 $E_{o,1}(P_{rf,total})$ 位於第 6 圖中的 R_2 時的能量接受度的範圍內時，形成如第 7 圖所示的關係。

【0032】 接著，針對帶電粒子的相位進行考察。要使入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子獲得加速，就帶電粒子位於第 2 段直線加速器 3 入口時的高頻相位 $\phi_{i,2}$ 而言，存在有合適的相位。若以高頻電源供給的總高頻功率 $P_{rf,total}$ 為橫軸來顯示該合適相位，則如第 8 圖所示。在第 8 圖中，以實線表示適於加速的帶電粒子束的中心相位，以兩條虛線曲線表示中心相位附近可獲得加速的容許範圍的界限、亦即相位接受度的界限。中心相位及相位接受度係能夠藉由電腦解析亦即以設計來求得。如第 8 圖所示，相位接受度的範圍係針對某相位 ϕ_d 為以 $\Delta \phi_d$ 所示的範圍。根據該相位接受度特性，可知某相位 ϕ_d 的帶電粒子束能夠在第 2 段直線加速器 3 獲得加速的高頻功率的範圍、亦即容許範圍，係為第 9 圖所示的 ΔP_b 。習知係認為能夠獲得加速的高頻功率的範圍只有該 ΔP_b 的範圍。然而，藉由本發明人等以下的解析，可知存在能夠於比 ΔP_b 的範圍更廣範圍的高頻功率的範圍在第 2 段直線加速器 3 獲得加速的條件。

【0033】 關於從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子於第 1 段直線加速器 2 出口的相位、亦即帶電粒子位於第 1 段直線加速器 2 出口時的帶電粒子的速度 $v_{o,1}$ ，令此時的高頻的相位為 $\phi_{o,1}$ 。帶電粒子的速度 $v_{o,1}$ 係能夠從 $E_{o,1}$ 簡單

轉換。令匹配段的長度亦即從第 1 段直線加速器 2 出口到第 2 段直線加速器 3 入口為止的距離為 L ，令高頻的角頻率為 ω ，則在帶電粒子於匹配段前進的期間，高頻的相位係僅前進

$$L/(\omega * v_{0.1})$$

，因此位於第 1 段直線加速器 2 出口時的高頻的相位為 $\phi_{0.1}$ 的帶電粒子到達第 2 段直線加速器 3 入口時的高頻的相位係成為

$$\phi_{0.1} + L/(\omega * v_{0.1}) \quad (1)$$

【0034】 如第 10 圖所示，第 1 段直線加速器 2 出口的帶電粒子束的相位 $\phi_{0.1}$ 係相對於高頻功率並沒有大幅度的變化。此外，當帶電粒子的速度非相對論速度時，帶電粒子的能量 E 係正比於速度 v 的平方。考慮第 10 圖與第 3 圖及第 5 圖所示的特性，以高頻電源供給的總高頻功率 $P_{rf, total}$ 為橫軸來顯示從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束到達第 2 段直線加速器 3 入口時的帶電粒子束的相位、亦即式(1)的值，則如第 11 圖所示。第 11 圖係以匹配段的長度 L 為參數，針對 $L_1 > L_2 > L_3$ 的三個 L 加以顯示。 L 愈大，相位的變化愈大，因此斜率也愈大。從式(1)可知，實際上 L/ω 會為參數，而上述的說明係假設 ω 為固定值來進行說明。

【0035】 因此，在如第 11 圖所示的以 L 為參數的特性中，較佳為選擇其特性為落入第 9 圖的相位接受度的範圍最多的 L ，如此一來，就算令高頻電源的輸出功率廣範

圍地變化，帶電粒子仍會在第 2 段直線加速器 3 獲得加速。第 12 圖為上述的情形的示意圖。第 12 圖係與第 8 圖和第 9 圖同樣示意性地顯示能夠在第 2 段直線加速器 3 獲得加速的帶電粒子束的中心相位 $\phi_{1,2}$ (細實線)與相位接受度的範圍(虛線曲線所示的範圍)，以及顯示式(1)的特性之中落入該相位接受度內最多的 L 之值的特性(粗實線)。在第 12 圖所示特性的情形中，就高頻功率而言能夠於 ΔPa 的範圍在第 1 段及第 2 段直線加速器加速帶電粒子，能夠從第 2 段直線加速器 3 射出帶電粒子束。如上述，究明了在第 1 段直線加速器 2 為 RFQ 型直線加速器而第 2 段直線加速器 3 為 APF 方式 IH 型 DTL 型直線加速器之組合的高頻加速器 10 中，藉由適當設定匹配段 8 的長度 L ，便可獲得能夠於廣範圍的高頻功率射出帶電粒子束的高頻加速器。

【0036】 另外，當從第 1 段直線加速器 2 輸出的帶電粒子束到達第 2 段直線加速器 3 入口時的相位的中心值位於第 2 段直線加速器 3 的相位接受度度之中心值，而從第 1 段直線加速器 2 輸出的帶電粒子束的相位的擴散落在相位接受度內時，穿透效率為 100%。若第 2 段直線加速器 3 入口的帶電粒子束的相位的中心值偏離，則就算相位的發散落在相位接受度內，穿透效率仍會降低。此外，若第 2 段直線加速器 3 入口的帶電粒子束的相位的中心值超出相位接受度，則不論相位的發散如何，穿透效率皆為 0%。特別是在 APF-IH 型的 DTL 中，由於相位接受度狹小，所以必須令從第 1 段直線加速器 2 輸出的帶電粒子束到達第 2

段直線加速器 3 入口時的相位的中心值接近第 2 段直線加速器 3 的相位接受度之中心值才行。

【0037】 本發明實施形態 1 的高頻加速器 10 係構成爲對第 1 段直線加速器 2 爲 RFQ 型直線加速器、第 2 段直線加速器 3 爲 APF 方式 IH 型 DTL 型直線加速器之組合的高頻加速器 10，藉由高頻分配器分配來自一台高頻電源的高頻，供給至第 1 段直線加速器 2 及第 2 段直線加速器 3 以加速帶電粒子。茲究明了在此構成的高頻加速器中，藉由適當設定高頻分配器的功率分配率 R 與第 1 段直線加速器 2 出口到第 2 段直線加速器 3 入口間亦即匹配段 8 的長度 L ，便可提供能夠於廣範圍的高頻功率射出大電流帶電粒子束的高頻加速器。但第 1 段加速器並不限於 RFQ 型，亦可爲 RFI(Rf-Focused Interdigital)型，第 2 段加速器並不限於 APF 方式，亦可爲一般的 DTL，使用該些直線加速器時同樣表現出與上述說明相同的特性。

【0038】 第 13 圖顯示本發明實施形態 1 的高頻加速器 10 的輸出特性之一例。第 13 圖係以高頻電源供給的總高頻功率 $P_{rf, total}$ 爲橫軸來顯示帶電粒子束的電流值 $I_{o,2}$ ，該 $I_{o,2}$ 相當爲從第 2 段直線加速器 3 射出的帶電粒子的單位時間射出量。實線表示從本發明實施形態 1 的高頻加速器 10 射出的 $I_{o,2}$ 的特性例，虛線表示藉由習知設計所得的 $I_{o,2}$ 的特性例。如虛線所示，習知係認爲只有於總高頻功率的狹窄範圍、亦即第 9 圖所示的第 2 段直線加速器的容許範圍 ΔP_b 程度的範圍才能適當獲得加速，難以令高頻功率的值

於廣範圍變化地獲得加速器的輸出。而依據本發明，如第 13 圖的實線所示，可知就算令總高頻功率的值於廣範圍 ΔP_a 變化仍然能夠獲得加速器的輸出。

【0039】 如上述說明，本發明的發明人等究明了藉由適當地設定分配給兩加速器的高頻功率的功率分配率與兩加速器之間的匹配段的長度，便能夠於高頻功率的廣範圍 ΔP_a 加速帶電粒子，能夠獲得就算令高頻功率變化，射出的帶電粒子束的電流值之變化仍然較少的高頻加速器。可知雖然第 9 圖所示的第 2 段直線加速器中的總高頻功率 $P_{rf, total}$ 相對於入射帶電粒子的相位之容許範圍 ΔP_b 係依相位 ϕ_d 之值而變化，但存在能夠於比 ΔP_b 的最大值還廣的範圍在第 2 段直線加速器 3 獲得加速的條件。

【0040】 利用示意圖說明上述本發明的高頻加速器的動作及習知設計的高頻加速器的動作。第 14 圖係說明本發明的高頻加速器的動作之示意圖，第 15 圖係說明習知設計的高頻加速器的動作之示意圖。在第 14 圖及 15 圖中，橫方向為帶電粒子的相位，箭頭方向為總高頻功率 $P_{rf, total}$ ，實線表示從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子的相位分布，虛線表示第 2 段直線加速器的相位接受度。如第 14 圖所示，依據本發明，令總高頻功率變化時，從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子的相位分布之變化係跟隨第 2 段直線加速器的相位接受度之變化，因此從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子的相位分布與第 2 段直線加速器的相位接受度係於整個總高頻功率的廣範圍相匹配。

【0041】 相對於此，如第 15 圖所示，在習知設計中，當係設計成從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子的相位分布與第 2 段直線加速器的相位接受度於某個總高頻功率 P_0 相匹配，此時，隨著 P_0 偏離總高頻功率，兩者的匹配會迅速錯開。因此，只有於總高頻功率 P_0 前後的狹窄功率的範圍，從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子才能在第 2 段直線加速器獲得加速。

【0042】 如上述，可知依據本發明，能夠藉由調整或設定功率分配裝置 7 供給至第 2 段直線加速器 3 的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從第 1 段直線加速器 2 出口至第 2 段直線加速器 3 入口為止的匹配段 8 的長度 L 與高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值，從而於比第 2 段直線加速器的根據針對各相位的入射帶電粒子的相位接受度而決定的總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍(指在第 9 圖令 ϕ_d 變化而決定每個 ϕ_d 的 ΔP_b 時，各 ΔP_b 內的最大值)還廣的 $P_{rf, total}$ 的範圍，來使帶電粒子束從第 2 段直線加速器射出。至於到多廣的高頻功率的範圍還能使帶電粒子束射出，係取決於第 1 段直線加速器及第 2 段直線加速器的構成等。但可知能夠於第 2 段直線加速器的根據針對各相位的入射帶電粒子的相位接受度而決定的總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍的至少兩倍以上的範圍射出帶電粒子束。

【0043】 第 16 圖中以流程圖歸納顯示上述本發明實施形態 1 的高頻加速器 10 的設計方法的步驟。首先，相對

於如第 5 圖所示的從高頻電源產生的高頻功率 $P_{rf, total}$ ，求出以功率分配裝置 7 的功率分配率 R 為參數之從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束的射出能量特性(ST1)。與步驟 ST1 同時進行，相對於如第 6 圖所示的 $P_{rf, total}$ ，求出以功率分配率 R 為參數之入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子束的能量 $E_{i,2}$ 的能量接受度特性(ST2)。接著，決定步驟 ST1 所求出的射出能量特性之中盡可能多地落入步驟 ST2 所求出的能量接受度特性的範圍之特性、亦即相匹配的功率分配率 R (ST3)。

【0044】 接著，使用在步驟 ST3 決定的功率分配率 R ，而相對於如第 10 圖所示的 $P_{rf, total}$ ，求出從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束於第 1 段直線加速器 2 出口之中心相位 $\phi_{o,1}(P_{rf, total})$ 的特性、亦即射出相位特性(ST4)。接著，使用該射出相位特性，求出如第 11 圖所示的從第 1 段直線加速器 2 射出的帶電粒子束到達第 2 段直線加速器 3 入口時的帶電粒子束的中心相位之 $\phi_{o,1}(P_{rf, total}) + (L/\omega)/v(P_{rf, total})$ 的以 L/ω 之值為參數之特性、亦即入口相位特性(ST5)。

【0045】 另一方面，使用在步驟 ST3 決定的功率分配率 R ，求出相對於 $P_{rf, total}$ 的入射至第 2 段直線加速器 3 的帶電粒子束的相位接受度特性(ST6)。接著，根據步驟 ST5 所求出的以 L/ω 之值為參數的入口相位特性之中與步驟 ST6 所求出的相位接受度特性相匹配的特性，決定 L/ω 之值(ST7)。亦即，根據於步驟 ST5 所求出的以 L/ω 之值

為參數的入口相位特性之中，比根據在步驟 ST6 所求出的相位接受度特性的範圍內針對各相位的入射帶電粒子之相位接受度特性而決定的總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍還廣的範圍、且至少是最大容許範圍兩倍以上的總高頻功率的範圍中所包含之入口相位特性來決定 L/ω 之值。

【0046】 藉由含有上述步驟的設計、調整而製造的高頻加速器，係就算令供給的高頻功率於比根據在第 9 圖所說明的根據針對各相位的入射帶電粒子的相位接受度特性而決定的總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍還廣的範圍變化，第 1 段直線加速器與第 2 段直線加速器也不會失去匹配，而能夠構成爲調整容易之高頻加速器。此外，如下述的實施形態 2 之說明，將此高頻加速器做爲連接至圓形加速器的入射器使用時，能夠構成爲能藉由高頻功率的調整來獲得做爲入射至圓形加速器的帶電粒子束而言較佳的帶電粒子束特性之高頻加速器。

【0047】 實施形態 2

第 17 圖係顯示本發明實施形態 2 的圓形加速器系統的概略構成之方塊圖。第 17 圖中的高頻加速器 10 乃係實施形態 1 中說明的高頻加速器。本實施形態 2 的圓形加速器系統乃係將從高頻加速器 10 射出的帶電粒子束入射至同步加速器等圓形加速器 5，加速至能夠爲粒子射線治療裝置等所利用之照射至照射對象的能量，並以帶電粒子束的形態射出之系統。

【0048】 使用習知的的高頻加速器時係必須經由統一帶電粒子束的帶電粒子的能量並擴大相位寬的稱為散束器(debuncher)的機器來使帶電粒子束入射至同步加速器。而只要使用本發實施形態 1 的高頻加速器 10，則射出的帶電粒子束並不需要經由散束器這類調整能量的發散與相位的發散之關係的機器，而是經由如用來令射束前進方向彎曲的偏向磁鐵、控制射束橫方向的發散的四極電磁鐵、修正射束軌道的導向(steering)電磁鐵等作用於帶電粒子束的物理量僅有磁場的射束傳輸系統 4 而入射至圓形加速器 5。

【0049】 前述已說明實施形態 1 的高頻加速器 10 的相對於高頻功率之輸出特性為第 13 圖中的實線的情形。就算令高頻功率變化，射出的帶電粒子束的電流值也不會大幅度變化，但射出的帶電粒子束的性質會變化。第 18 圖(a)至(c)係說明該變化之圖。第 18 圖(a)至(c)係以相位 ϕ 與能量 E 之空間來表現射出的帶電粒子束所包含的帶電粒子的分布之概念圖。第 18 圖(a)、(b)、(c)係顯示各個不同高頻功率 $P_{rf, total}$ 時的帶電粒子束中各個帶電粒子的分布，顯示射出的各個帶電粒子分布於各圖的橢圓內。如上述，顯示若令高頻功率變化，則射出的帶電粒子束係於 ϕ - E 空間一邊令橢圓的面積變化一邊旋轉的特性。

【0050】 第 19 圖係將如第 18 圖變化的帶電粒子的分布，以相當於能量的寬度之動量的發散的寬度 $\sqrt{|\Delta P/P_0|}$ ² (亦稱為動量譜(spectrum))之相對於高頻功率 $P_{rf, total}$ 的特性來表現之圖。如第 19 圖所示，動量譜寬係對應高頻功率的

變化而變化。

【0051】 要以同步加速器之類的圓形加速器 5 加速帶電粒子，係必須入射動量譜具有所期望小值的帶電粒子束。例如，若令適合圓形加速器 5 之加速的動量譜為第 19 圖的 Δp_i ，則如第 19 圖所示，藉由將本發明實施形態 1 的高頻加速器 10 的高頻功率設定為 P_1 或 P_2 ，便能夠從高頻加速器 10 令適合圓形加速器 5 之加速的動量譜的帶電粒子束射出。結果，使用習知技術的高頻加速器時係需要如散束器之調整能量的發散與相位的發散之關係的機器，而藉由使用本發明實施形態 1 的高頻加速器 10，能夠獲得不需要配置調整能量的發散與相位的發散之關係的機器，而以圓形加速器 5 有效率地加速從高頻加速器 10 射出的帶電粒子束之圓形加速器系統。

【0052】 另外，本發明的各實施形態係能夠在本發明的範圍內適當進行變化、省略。

【符號說明】

【0053】

- 1 離子源
- 2 第 1 段直線加速器
- 3 第 2 段直線加速器
- 4 射束傳輸系統
- 5 圓形加速器
- 6 高頻電源
- 7 諧振型功率分配裝置

8	匹配段
9	帶電粒子束
10	高頻加速器
E	能量
I	帶電粒子束的電流值
L	匹配段的長度
P	功率
R	功率分配率
v	從第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束的速度
ϕ	相位
ω	角頻率

申請專利範圍

1. 一種高頻加速器的製造方法，該高頻加速器係具備：

第 1 段直線加速器，係入射從離子源射出的帶電粒子並予以加速；

第 2 段直線加速器，係經由匹配段入射從該第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束並予以加速；

高頻電源，係產生供給至前述第 1 段直線加速器及前述第 2 段直線加速器的高頻功率；及

功率分配裝置，係將從前述高頻電源供給的總高頻功率分配並供給至前述第 1 段直線加速器與前述第 2 段直線加速器；

該高頻加速器的製造方法係含有下列步驟：

以於比前述第 2 段直線加速器的根據針對各相位的入射帶電粒子的相位接受度(acceptance)而決定的前述總高頻功率的各容許範圍之中容許範圍為最大之最大容許範圍還廣的前述總高頻功率的範圍，使帶電粒子束從前述第 2 段直線加速器射出之方式，設定前述功率分配裝置之供給至前述第 2 段直線加速器的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從前述第 1 段直線加速器之出口至前述第 2 段直線加速器之入口為止的前述匹配段的長度 L 與前述高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之高頻加速器的製造方法，更含有下列步驟：

第一步驟，係以前述 R 為參數，求出相對於前述總高頻功率之屬於從前述第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束的中心能量的特性之射出能量特性；

第二步驟，係求出相對於前述總高頻功率之入射至前述第 2 段直線加速器的帶電粒子束的以前述 R 為參數之能量接受度特性；

第三步驟，係決定前述第一步驟所求出的射出能量特性與前述第二步驟所求出的能量接受度特性相匹配的前述 R；

第四步驟，係使用在前述第三步驟決定的前述 R，求出相對於前述總高頻功率之從前述第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束於前述第 1 段直線加速器出口的中心相位 $\phi_{o,1}$ 之特性、亦即射出相位特性；

第五步驟，係在令從前述第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束的帶電粒子速度為 v 時，使用在前述第四步驟求出的前述射出相位特性，求出從前述第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束到達前述第 2 段直線加速器入口時的帶電粒子束的中心相位之 $\phi_{o,1} + (L/\omega)/v$ 的以前述 L/ω 之值為參數之特性、亦即入口相位特性；

第六步驟，係使用在前述第三步驟決定的前述 R，求出相對於前述總高頻功率之入射至前述第 2 段直線加速器的帶電粒子束之相位接受度特性；

第七步驟，係根據在前述第五步驟求出的以前述 L/ω 之值為參數的前述入口相位特性之中，比根據在前

述第六步驟求出的相位接受度特性內針對各相位的人射帶電粒子之相位接受度而決定的前述總高頻功率的各容許範圍之中容許範圍為最大之最大容許範圍還廣的前述總高頻功率的範圍中所包含之前述入口相位特性，決定前述 L/ω 之值；及

第八步驟，係將前述功率分配裝置的功率分配率 R 設定為在前述第三步驟決定的值，將前述匹配段的長度 L 設定為在前述第七步驟決定的值。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之高頻加速器的製造方法，更含有下列步驟：設定前述功率分配裝置之供給至前述第 2 段直線加速器的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從前述第 1 段直線加速器出口至前述第 2 段直線加速器入口為止的前述匹配段的長度 L 與前述高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值，從而於前述第 2 段直線加速器的根據針對各相位的人射帶電粒子的相位接受度而決定的前述總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍的兩倍以上的前述總高頻功率的範圍，使帶電粒子束從前述第 2 段直線加速器射出。
4. 如申請專利範圍第 2 項所述之高頻加速器的製造方法，其中在前述第七步驟中，係根據在前述第五步驟求出的以前述 L/ω 之值為參數的前述入口相位特性之中，比根據在前述第六步驟求出的相位接受度特性內針對各相位的人射帶電粒子之相位接受度而決定的前述總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍的至少

兩倍以上之前述總高頻功率的範圍中所包含之前述入口相位特性，決定前述 L/ω 之值。

5. 如申請專利範圍第 1 至 4 項中任一項所述之高頻加速器的製造方法，其中前述第 1 段直線加速器係 RFQ 型直線加速器，前述第 2 段直線加速器係 APF 方式 IH 型 DTL 型直線加速器。
6. 如申請專利範圍第 1 至 4 項中任一項所述之高頻加速器的製造方法，其中前述功率分配裝置係諧振型功率分配裝置。
7. 一種高頻加速器，係具備：

第 1 段直線加速器，係入射從離子源射出的帶電粒子並予以加速而以帶電粒子束的形態射出；

第 2 段直線加速器，係經由匹配段入射從該第 1 段直線加速器射出的帶電粒子束並予以加速而以帶電粒子束的形態射出；

高頻電源，係產生供給至前述第 1 段直線加速器及前述第 2 段直線加速器的高頻功率；及

功率分配裝置，係將從前述高頻電源供給的總高頻功率分配並供給至前述第 1 段直線加速器與前述第 2 段直線加速器；

其中，以於比前述第 2 段直線加速器的根據針對各相位的人射帶電粒子的相位接受度而決定的前述總高頻功率的各容許範圍之中容許範圍為最大之最大容許範圍還廣的前述總高頻功率的範圍，使帶電粒子束

- 從前述第 2 段直線加速器射出之方式，設定有前述功率分配裝置之供給至前述第 2 段直線加速器的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從前述第 1 段直線加速器出口至前述第 2 段直線加速器入口為止的前述匹配段的長度 L 與前述高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值。
8. 如申請專利範圍第 7 項所述之高頻加速器，其中前述功率分配裝置之供給至前述第 2 段直線加速器的高頻功率的功率分配率 R 之值、及從前述第 1 段直線加速器出口至前述第 2 段直線加速器入口為止的前述匹配段的長度 L 與前述高頻功率的角頻率 ω 之比 L/ω 之值係經設定成，於前述第 2 段直線加速器的根據針對各相位的人射帶電粒子的相位接受度而決定的前述總高頻功率的容許範圍之中的最大容許範圍的兩倍以上的前述總高頻功率的範圍，使帶電粒子束從前述第 2 段直線加速器射出。
 9. 如申請專利範圍第 7 項或第 8 項所述之高頻加速器，其中前述第 1 段直線加速器係 RFQ 型直線加速器，前述第 2 段直線加速器係 APF 方式 IH 型 DTL 型直線加速器。
 10. 如申請專利範圍第 7 項或第 8 項所述之高頻加速器，其中前述功率分配裝置係諧振型功率分配裝置。
 11. 一種圓形加速器系統，係具備：
申請專利範圍第 7 項所記載的高頻加速器；
射束傳輸系統，係傳輸從該高頻加速器射出的帶

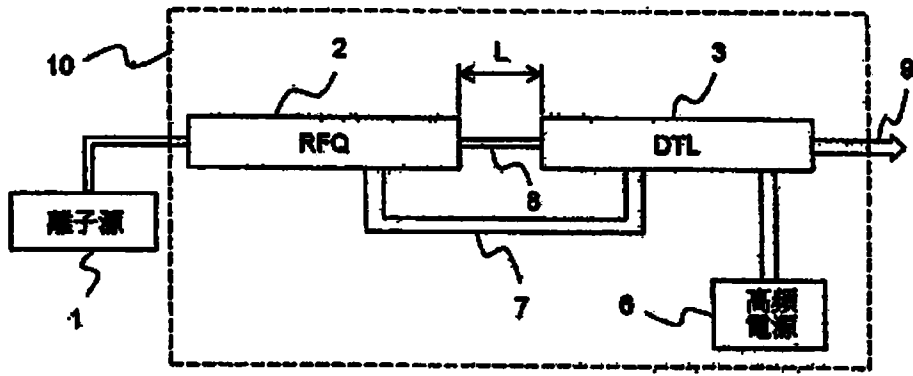
電粒子束；及

圓形加速器，係入射藉由該射束傳輸系統傳輸而來的帶電粒子束並予以加速；

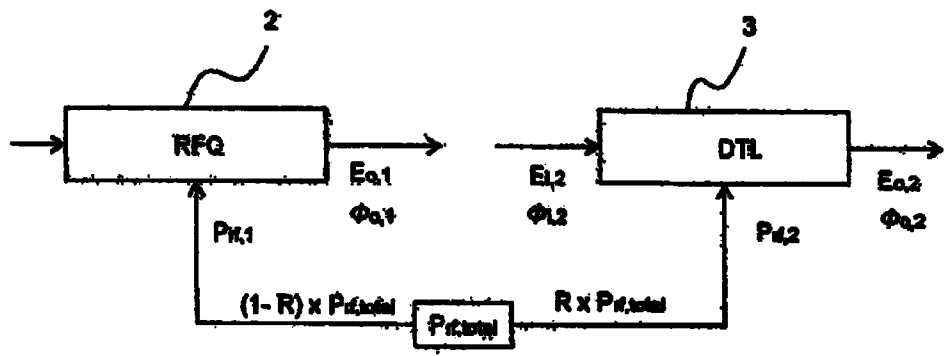
在前述射束傳輸系統中，作用於前述帶電粒子束的物理量僅有磁場。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述之圓形加速器系統，其中以使入射至前述圓形加速器的帶電粒子束的能量寬度成為入射至前述圓形加速器的帶電粒子束的設計能量寬度之方式設定前述高頻電源的高頻功率。

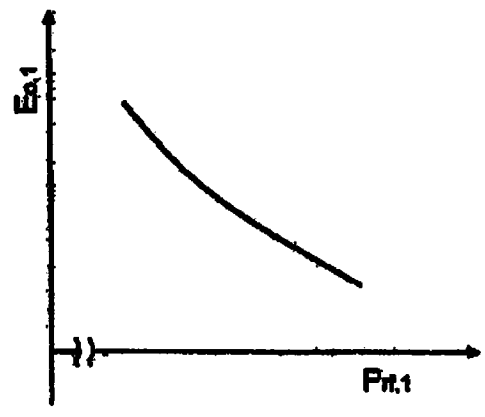
圖式



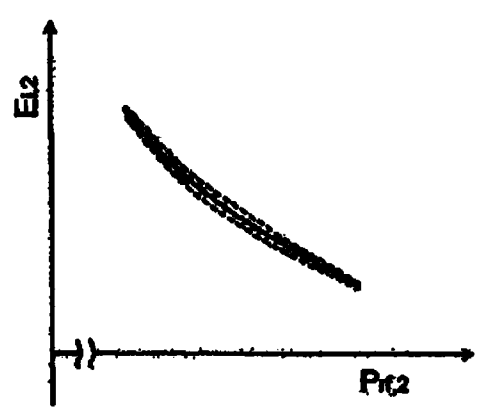
第1圖



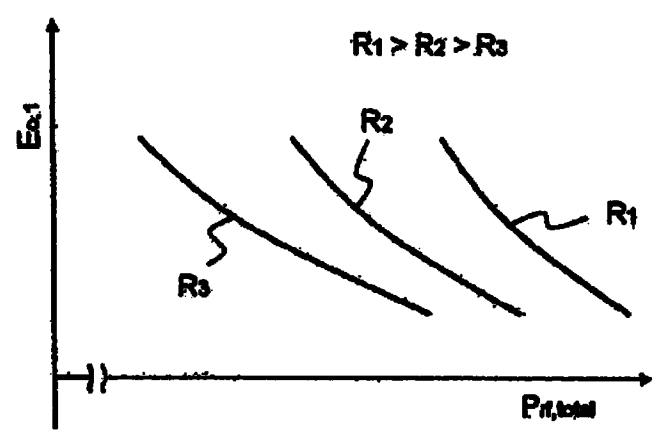
第2圖



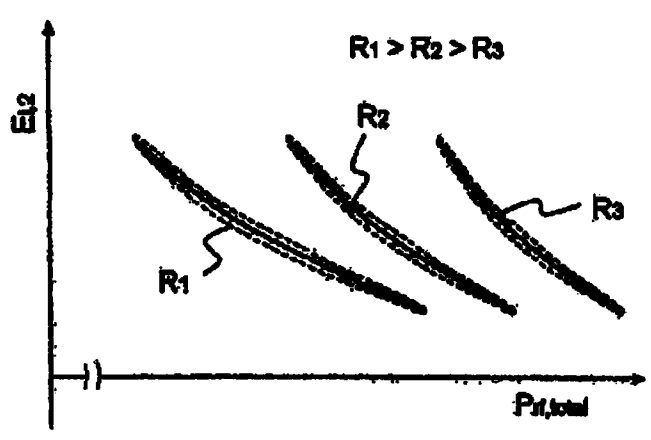
第3圖



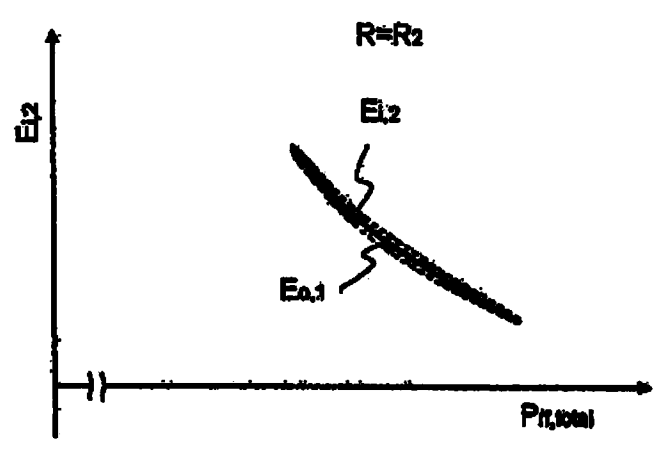
第4圖



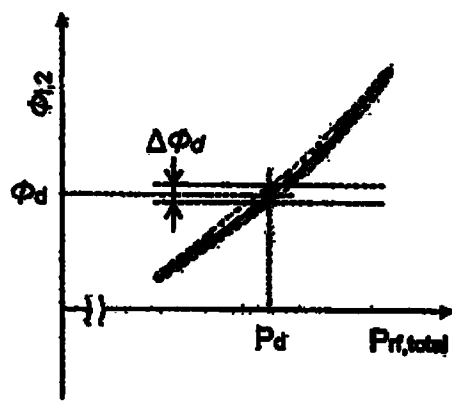
第5圖



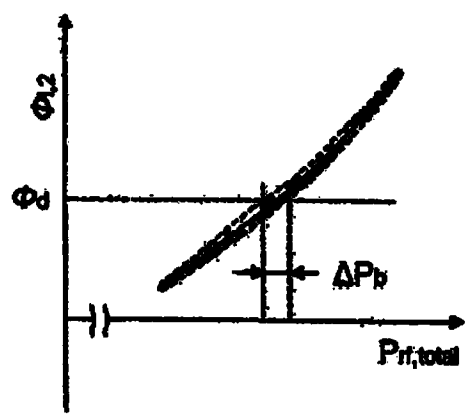
第6圖



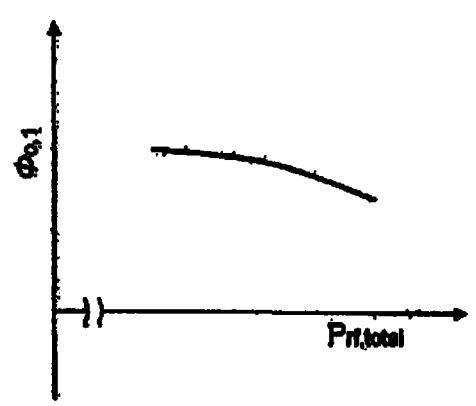
第7圖



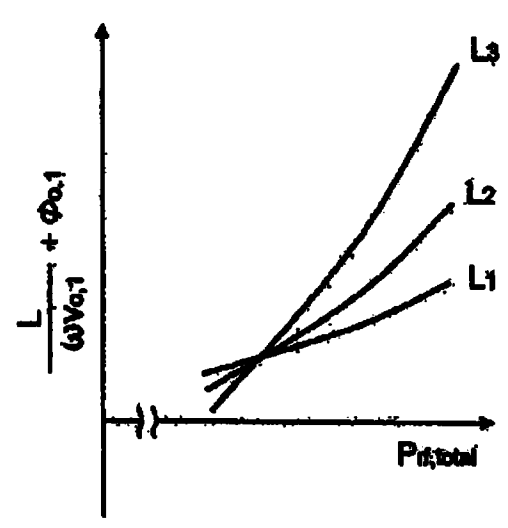
第8圖



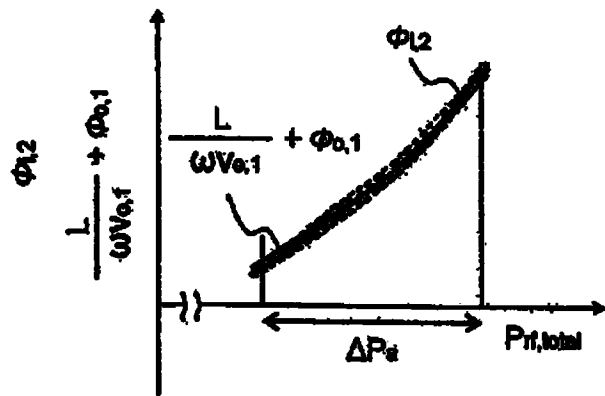
第9圖



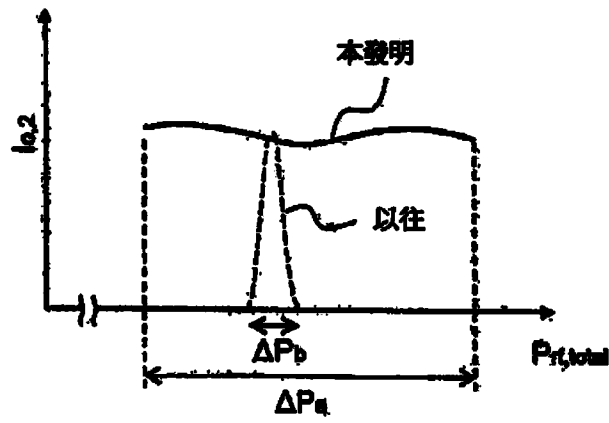
第10圖



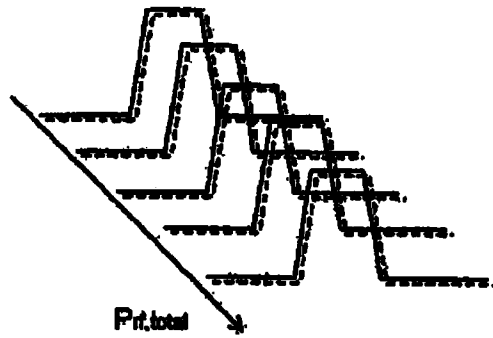
第11圖



第12圖

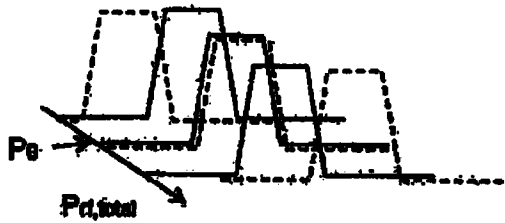


第13圖



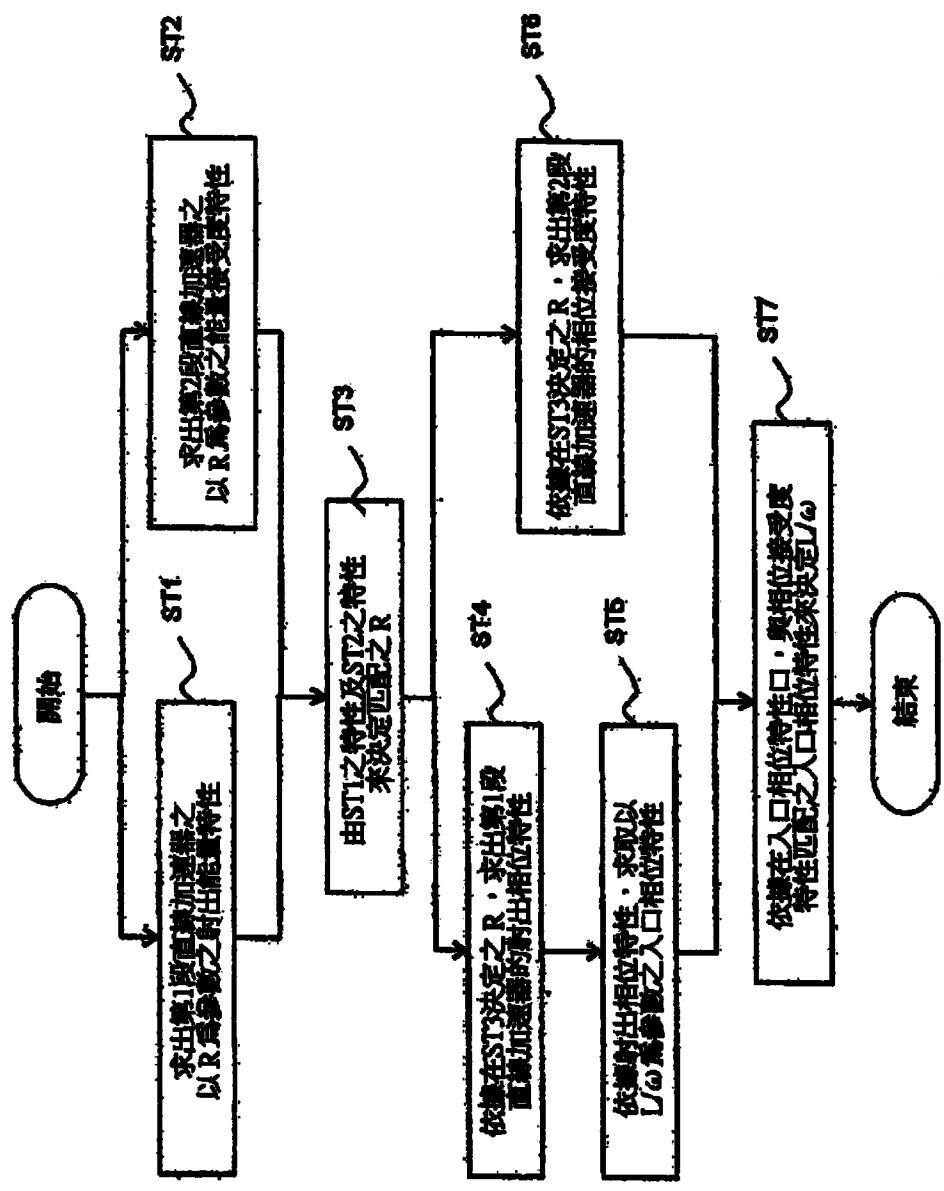
實線：從第1段直線加速器射出之帶電粒子的相位分布
 虛線：第2段直線加速器的相位接受度

第14圖

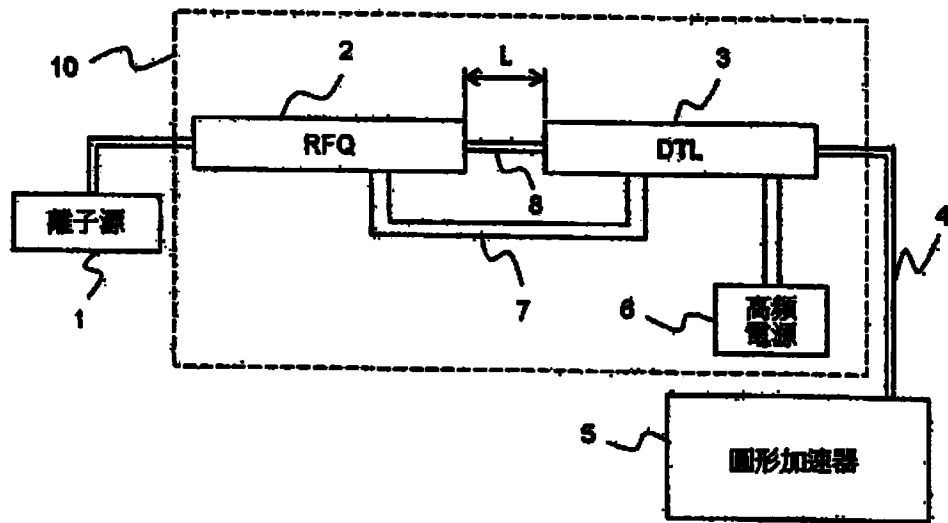


實線：從第1段直線加速器射出之帶電粒子的相位分布
 虛線：第2段直線加速器的相位接受度

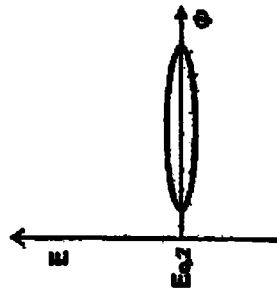
第15圖



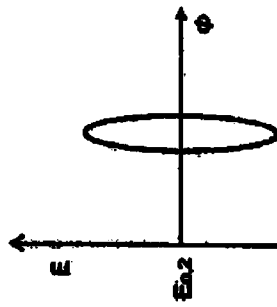
第16圖



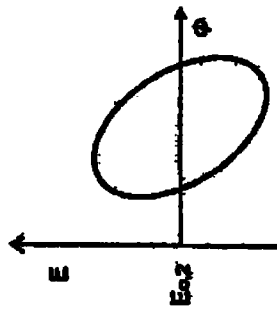
第17圖



(a)

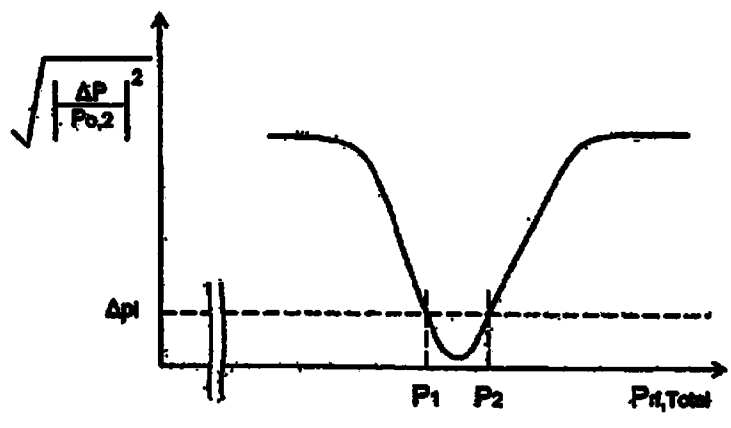


(b)



(c)

第18圖



第19圖