

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7076423号

(P7076423)

(45)発行日 令和4年5月27日(2022.5.27)

(24)登録日 令和4年5月19日(2022.5.19)

(51)国際特許分類

F I

H 0 5 H 7/12 (2006.01)

H 0 5 H 7/12

H 0 5 H 7/04 (2006.01)

H 0 5 H 7/04

H 0 5 H 7/18 (2006.01)

H 0 5 H 7/18

請求項の数 12 外国語出願 (全24頁)

(21)出願番号 特願2019-212384(P2019-212384)
(22)出願日 令和1年11月25日(2019.11.25)
(65)公開番号 特開2020-87932(P2020-87932A)
(43)公開日 令和2年6月4日(2020.6.4)
審査請求日 令和3年7月14日(2021.7.14)
(31)優先権主張番号 18208924.3
(32)優先日 平成30年11月28日(2018.11.28)
(33)優先権主張国・地域又は機関
欧州特許庁(EP)
早期審査対象出願

(73)特許権者 318004198
イオン ビーム アプリケーションズ ソ
シエテ アノニム
I o n B e a m A p p l i c a t i o
n s S . A .
ベルギー王国 1 3 4 8 ルーヴァン - ラ
- ヌーヴ , シュマン デュ シクロトロン
3
(74)代理人 110001302
特許業務法人北青山インターナショナル
(72)発明者
アブス ミシェル
ベルギー王国 1 3 4 8 ルーヴァン - ラ
- ヌーヴ , シュマン デュ シクロトロン
3 , シーノオー イオン ビーム アプリ
ケーションズ ソシエテ アノニム
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 バリオエネルギー電子加速器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

- (a) 中空の閉鎖された導体からなる共振空洞(1)であって、
・ 中心軸Zcを有する外側円筒形部分を含み、且つ外側導体セクション(1o)を形成する内側表面を有する外側壁と、
・ 前記外側壁内において取り囲まれ、且つ中心軸Zcの内側円筒形部分を含み、及び内側導体セクション(1i)を形成する外側表面を有する内側壁と
を含み、前記中心軸Zcに垂直であるミッドプレーンPmに関して対称である、共振空洞(1)と、
(b) 前記外側導体セクション上で開口している導入入口から前記ミッドプレーンPmに沿って前記中心軸Zcまで、前記共振空洞内に電子のビーム(40)を半径方向に注入するように適合された電子供給源(20)と、
(c) 前記共振空洞に結合され、且つ前記外側導体セクションから前記内側導体セクションに向かって及び前記内側導体セクションから前記外側導体セクションに向かって延在する、前記ミッドプレーンPm内の半径方向軌跡に沿って前記電子ビームの前記電子の速度を変化させるために前記外側導体セクションと前記内側導体セクションとの間で周波数(fRF)において発振する電界Eを生成するように適合されたRFシステムと、
(d) N個の磁石ユニット(30i)であって、ここで、N>1であり、且つ

$N \in \mathbb{N}$

であり、前記 N 個の磁石ユニットのそれぞれの1つは、前記ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされ、且つ空洞出口アパーチャ及び空洞入口アパーチャ(31w)によって前記共振空洞と流体連通している偏向チャンバ(31)内で磁界を生成するように適合された偏向磁石の組を含み、前記磁界は、

・追加長($L+$)を有する第1の偏向軌跡にわたり、前記ミッドプレーン P_m に沿って前記共振空洞内の第1の半径方向軌跡の端部において前記空洞出口アパーチャを通じて前記偏向チャンバ内に進入する電子ビームを偏向させることであって、前記第1の偏向軌跡は、前記空洞出口アパーチャから前記空洞入口アパーチャまで延在し、前記空洞入口アパーチャは、前記空洞出口アパーチャと同一であるか又は異なり得、前記空洞出口アパーチャ(31w)を通じて、電子ビームは、前記ミッドプレーン P_m 内の第2の半径方向軌跡に沿って前記中心軸に向かって前記共振空洞内に再導入され、前記第2の半径方向軌跡は、前記第1の半径方向軌跡と異なる、偏向させること

のために適合され、

・前記追加長($L+$)は、前記電子ビームが前記共振空洞内に再導入されると、前記RFシステムが、前記第2の半径方向軌跡に沿って前記電子ビームを加速させるための電界を印加するために同期化されるようなものである、 N 個の磁石ユニット(30i)と、

(e)前記共振空洞からターゲット(100)に向かってエネルギー W の加速された電子ビームを抽出するための出口(50)と

を含む電子加速器において、

前記 N 個の磁石ユニット(30i)の少なくとも1つは、前記対応する第1の偏向軌跡を、前記追加長($L+$)と異なり、且つ好ましくはそれよりも大きい第2の長さ($L2$)の第2の偏向軌跡に変更し、これにより、前記出口(50)から抽出される前記加速された電子ビームの前記エネルギー W の変動を許容するように適合されたバリオ磁石ユニット(306-5、306-7、306v)であり、

前記少なくとも1つのバリオ磁石ユニットは、前記中心軸 Z_c において前記第1及び第2の半径方向軌跡によって形成される角度の二等分線に平行である二等分方向に沿って前後に前記少なくとも1つのバリオ磁石ユニット(306-5、306-7、306v)を半径方向に離散的又は連続的に移動させ、且つ従って前記出口(50)から抽出される前記加速された電子ビームの前記エネルギー W を離散的又は連続的に変更するための移動手段を含み、

前記バリオ磁石ユニットが前記中心軸 Z_c から離れるにつれて、前記バリオ磁石ユニットの磁界が減少して、前記第1及び第2の半径方向軌跡の自由端部への結合が必要とされる偏向軌跡のジャイロ半径を増大させることを特徴とする電子加速器。

【請求項2】

(a)中空の閉鎖された導体からなる共振空洞(1)であって、

・中心軸 Z_c を有する外側円筒形部分を含み、且つ外側導体セクション(1o)を形成する内側表面を有する外側壁と、

・前記外側壁内において取り囲まれ、且つ中心軸 Z_c の内側円筒形部分を含み、及び内側導体セクション(1i)を形成する外側表面を有する内側壁と

を含み、前記中心軸 Z_c に垂直であるミッドプレーン P_m に関して対称である、共振空洞(1)と、

(b)前記外側導体セクション上で開口している導入入口から前記ミッドプレーン P_m に沿って前記中心軸 Z_c まで、前記共振空洞内に電子のビーム(40)を半径方向に注入するように適合された電子供給源(20)と、

(c)前記共振空洞に結合され、且つ前記外側導体セクションから前記内側導体セクションに向かって及び前記内側導体セクションから前記外側導体セクションに向かって延在す

る、前記ミッドプレーン P_m 内の半径方向軌跡に沿って前記電子ビームの前記電子の速度を変化させるために前記外側導体セクションと前記内側導体セクションとの間で周波数 (f_{RF}) において発振する電界 E を生成するように適合された RF システムと、
(d) N 個の磁石ユニット ($30i$) であって、ここで、 $N > 1$ であり、且つ

$$N \in \mathbb{N}$$

であり、前記 N 個の磁石ユニットのそれぞれの 1 つは、前記ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされ、且つ空洞出口アパーチャ及び空洞入口アパーチャ ($31w$) によって前記共振空洞と流体連通している偏向チャンバ (31) 内で磁界を生成するように適合された偏向磁石の組を含み、前記磁界は、

・追加長 ($L+$) を有する第 1 の偏向軌跡にわたり、前記ミッドプレーン P_m に沿って前記共振空洞内の第 1 の半径方向軌跡の端部において前記空洞出口アパーチャを通じて前記偏向チャンバ内に進入する電子ビームを偏向させることであって、前記第 1 の偏向軌跡は、前記空洞出口アパーチャから前記空洞入口アパーチャまで延在し、前記空洞入口アパーチャは、前記空洞出口アパーチャと同一であるか又は異なり得、前記空洞出口アパーチャ ($31w$) を通じて、電子ビームは、前記ミッドプレーン P_m 内の第 2 の半径方向軌跡に沿って前記中心軸に向かって前記共振空洞内に再導入され、前記第 2 の半径方向軌跡は、前記第 1 の半径方向軌跡と異なる、偏向させること
のために適合され、

・前記追加長 ($L+$) は、前記電子ビームが前記共振空洞内に再導入されると、前記 RF システムが、前記第 2 の半径方向軌跡に沿って前記電子ビームを加速させるための電界を印加するために同期化されるようなものである、 N 個の磁石ユニット ($30i$) と、
(e) 前記共振空洞からターゲット (100) に向かってエネルギー W の加速された電子ビームを抽出するための出口 (50) と
を含む電子加速器において、

前記 N 個の磁石ユニット ($30i$) の少なくとも 1 つは、前記対応する第 1 の偏向軌跡を、前記追加長 ($L+$) と異なり、且つ好ましくはそれよりも大きい第 2 の長さ ($L2$) の第 2 の偏向軌跡に変更し、これにより、前記出口 (50) から抽出される前記加速された電子ビームの前記エネルギー W の変動を許容するように適合されたバリオ磁石ユニット ($306-5$ 、 $306-7$ 、 $306v$) であり、

前記少なくとも 1 つのバリオ磁石ユニットは、前記中心軸 Z_c において前記第 1 及び第 2 の半径方向軌跡によって形成される角度の二等分線に平行である二等分方向に沿って前後に前記少なくとも 1 つのバリオ磁石ユニット ($306-5$ 、 $306-7$ 、 $306v$) を半径方向に離散的又は連続的に移動させ、且つ従って前記出口 (50) から抽出される前記加速された電子ビームの前記エネルギー W を離散的又は連続的に変更するための移動手段を含み、

前記少なくとも 1 つのバリオ磁石ユニットは、前記電子ビームの軌跡を偏向させるように構成された偏向器 ($30d$) を有して、前記バリオ磁石ユニットが前記中心軸 Z_c から離れても、前記第 1 及び第 2 の半径方向軌跡の自由端部への結合が必要とされる偏向軌跡のジャイロ半径を一定に維持することを特徴とする電子加速器。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の電子加速器において、前記第 2 の長さ ($L2$) は、前記電子ビームが前記共振空洞内に再導入されると、前記 RF システムが、前記第 2 の半径方向軌跡に沿って前記電子ビームを減速させるための電界を印加するために同期化されるようなものであることを特徴とする電子加速器。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の電子加速器において、前記少なくとも 1 つのバリ

10

20

30

40

50

オ磁石ユニットは、

- ・前記中心軸 Z_c から第 1 の半径方向距離に配置され、且つ追加長 L_+ の偏向軌跡に沿って前記電子ビームを偏向させるように構成されている、前記ミッドプレーン上でセンタリングされた磁石の第 1 の組 (306-7) であって、前記対応する偏向チャンバ内で磁界を生成するように有効化されるか又は生成しないように無効化され得る磁石の第 1 の組と、
 - ・前記磁石の第 1 の組と半径方向にアライメントされ、且つ前記第 1 の半径距離よりも大きい、前記中心軸 Z_c からの第 2 の半径方向距離に配置されている、前記ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされた磁石の第 2 の組 (306-5) と
- を含むことを特徴とする電子加速器。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の電子加速器において、前記磁石の第 1 及び第 2 の組 (306-7、306-5) は、

- ・両方の磁石の組に共通する単一の偏向チャンバ (31) 内において、又は
 - ・第 1 及び第 2 の偏向チャンバ (31) であって、前記第 1 の偏向チャンバは、1 つ又は 2 つのウィンドウによって前記第 2 の偏向チャンバと流体連通している、それぞれ第 1 及び第 2 の偏向チャンバに対して、
- 磁界を生成するように適合されることを特徴とする電子加速器。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の電子加速器において、前記移動手段は、前記対応する二等分方向に沿って前記少なくとも 1 つのバリオ磁石ユニット (306-5、306-7、306v) を前後に変位させるためのモーターを含むことを特徴とする電子加速器。

【請求項 7】

請求項 2 を引用する請求項 4 乃至 6 の何れか 1 項に記載の電子加速器において、前記偏向器 (30d) が、

- ・前記磁石ユニットによって環状に偏向される前に、前記第 1 の半径方向軌跡から前記空洞出口アパーチャに到達する前記電子ビームを、前記中心軸 Z_c において前記第 1 及び第 2 の半径方向軌跡によって形成される前記角度の二等分線に平行である軌跡に方向付け、及び
- ・前記共振空洞内に再導入される際、前記磁石ユニットによって課された前記環状の偏向に後続する、前記二等分線に平行な軌跡から前記空洞入口アパーチャに到達する前記電子ビームを前記第 2 の半径方向軌跡に方向付ける、ように構成されていることを特徴とする電子加速器。

【請求項 8】

請求項 3 乃至 6 の何れか 1 項に記載の電子加速器において、前記第 2 の長さ (L_2) は、前記追加長 (L_+) と、前記電界 E の波長 λ の 1 つ又は複数の半分との合計に等しい ($L_2 = (L_+) + n \cdot \lambda / 2$) であり、ここで、

$$n \in \mathbb{N}$$

である) ことを特徴とする電子加速器。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 の何れか 1 項に記載の電子加速器において、

- ・ロードトロンは、前記出口 (50) の直接上流に位置決めされる単一のバリオ磁石ユニット (306-5、306-7、306v) を含み、
 - ・ w_i は、磁石ユニット (30i) への又は磁石ユニット (30(i-1)) からの、前記共振空洞にわたる 1 つのパスにおいて電子ビームによって得られるか又は失われるエネルギーであり、ここで、
- w_i の値は、 $i = 1 \sim N$ について一定であり、且つここで、
- 前記エネルギー利得 w_i の前記値は、前記出口 (50) までの前記共振空洞にわたる前

10

20

30

40

50

記電子ビームの最後の((N + 1) 番目の) パスについて、(- w i) ~ (+ w i) に含まれ、

N は、好ましくは、6 に等しく、w i は、好ましくは、i = 1 ~ 6 について 1 M e V / パスに等しく、且つ前記最後 (7 番目) のパスについて - 1 ~ 1 M e V / パスに含まれ、前記抽出された電子ビーム (4 0 - 5 ~ 4 0 ~ 7) は、好ましくは、5 ~ 7 M e V に含まれることを特徴とする電子加速器。

【請求項 1 0】

請求項 1 乃至 9 の何れか 1 項に記載の電子加速器において、前記 N 個の磁石ユニットのそれぞれは、0 . 0 1 T ~ 1 . 3 T、好ましくは 0 . 0 2 T ~ 0 . 7 T に含まれる、前記偏向チャンパ内の磁界を形成することを特徴とする電子加速器。

10

【請求項 1 1】

請求項 1 乃至 1 0 の何れか 1 項に記載の電子加速器において、前記電子ビームは、3 0 ~ 7 0 0 k W、好ましくは 1 5 0 ~ 6 5 0 k W に含まれる平均パワーを有することを特徴とする電子加速器。

【請求項 1 2】

請求項 1 乃至 1 1 の何れか 1 項に記載の電子加速器において、前記共振空洞は、
・ 内径 R 及び中心軸 Z c の円筒形外側壁を有する第 1 の半体シェル (1 1) と、
・ 内径 R 及び中心軸 Z c の円筒形外側壁を有する第 2 の半体シェル (1 2) と、
・ 前記第 1 及び第 2 の半体シェル間で前記ミッドプレーン P m のレベルにおいて挟持された内径 R の中心リング要素 (1 3) と

20

によって形成され、

前記外側導体セクションを形成する前記表面は、前記第 1 及び第 2 の半体シェルの前記円筒形外側壁の内側表面により、且つ好ましくは第 1 及び第 2 の半体シェルの両方の前記内側表面と同一平面である前記中心リング要素の内側エッジにより形成されることを特徴とする電子加速器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、中心軸 Z c 上でセンタリングされた共振空洞を有し、且つ花びらを形成するいくつかの半径方向軌跡に沿って電子を加速させるために使用される発振電界を生成する電子加速器に関する。ロードトロン (登録商標) は、このような電子加速器の例である。本発明による電子加速器は、単一の経路に沿って異なるエネルギーの電子ビームを抽出することができる。

30

【背景技術】

【0 0 0 2】

共振空洞を有する電子加速器は、当技術分野で周知である。例えば、(特許文献 1) は、(a) 中空閉鎖導体からなる共振空洞であって、

・ 中心軸 Z c 上でセンタリングされた外側円筒形部分を含み、且つ外側導体セクションを形成する内側表面を有する外側壁と、

・ 外側壁内において取り囲まれ、且つ中心軸 Z c 上でセンタリングされた内側円筒形部分を含み、及び内側導体セクションを形成する外側表面を有する内側壁と

40

を含み、中心軸 Z c に垂直であり、且つ外側円筒形部分及び内側円筒形部分と交差するミッドプレーン P m に関して対称である、共振空洞と、

(b) ミッドプレーン P m に沿って外側導体上で開口している導入入口から中心軸 Z c まで、共振空洞内に電子ビームを半径方向に注入するように適合された電子供給源と、

(c) 共振空洞に結合され、且つ外側導体から内側導体に向かって及び内側導体から外側導体に向かって延在する、ミッドプレーン P m 内の半径方向軌跡に沿って電子ビームの電子を加速させるために外側導体と内側導体との間で周波数 (f R F) において発振する電界 E を生成するように適合された R F システムと、

(d) それぞれミッドプレーン P m 内に位置し、且つ電子供給源から電子ビーム出口まで

50

中心軸 Z_c を通過する 1 つの半径方向軌跡から異なる半径方向軌跡に偏向チャンバ内の電子ビームの軌跡を偏向させるように適合されたいくつかの電磁石を有する磁石システムを含む電子加速器について記述している。以下では、「ロードトロン」という用語は、中心軸 Z_c に垂直である平坦な軌跡にわたる、且つ中心軸 Z_c を数回にわたって通過する電子ビームを加速させるのに適した共振空洞を有する電子加速器の同義語として使用される。

【 0 0 0 3 】

図 1 (a) 及び (b) に示されるように、電子ビームの電子は、外側導体セクションと内側導体セクションとの間及び内側導体セクションと外側導体セクションとの間に R F システムによって生成された電界 E により、共振空洞の直径 (2 つの半径、 $2 R$) に沿って加速される。発振電界 E は、まず、外側導体セクションと内側導体セクションとの間の距離にわたって電子を加速させる。電界の極性は、電子が内側円筒形部分内に含まれる共振空洞の中心周辺のエリアを横断した際に変化する。この共振空洞の中心周辺のエリアは、一定速度でその軌跡を継続させる電子に対する電界からの遮蔽を提供する。次いで、電子は、内側導体セクションと外側導体セクションとの間に含まれるその軌跡のセグメント内で再度加速される。電界の極性は、電子が電磁石によって偏向された際に再度変化する。次いで、このプロセスは、電子ビームが、ロードトロンから排出されるターゲットエネルギーに到達するために必要とされる回数だけ反復される。従って、ミッドプレーン P_m 内の電子の軌跡は花の形状を有する (図 1 を参照されたい) 。従って、所与のエネルギーを有する加速された電子ビームをロードトロンから抽出することができる。

【 0 0 0 4 】

ロードトロンは、ビームライン及びビームスキャニングシステムなどの外部機器と組み合わせることができる。ロードトロンは、(例えば、医療装置の) 殺菌、ポリマーの改質、ポリマーの架橋、パルプの加工、結晶の改質、半導体の改善、ビーム支援型の化学反応、食品の低温殺菌及び保存、検出及びセキュリティ目的、廃棄材料の処理などを含む産業用途で使用する事ができる。また、適切なエネルギーの電子ビームを金属ターゲット内に打ち込むことにより、X 線を生成することもできる。X 線は、例えば、(医療用の) 放射性同位体生成などの様々な用途で使用する事ができる。必要とされる電子ビームのエネルギー及び強度は、用途に高度に依存する。一般に、 10 MeV 超のエネルギーの電子ビームは、核反応の誘発及び活性化を防止するために回避される。X 線は、ほぼ 7.5 MeV 未満のエネルギーの電子ビームから生成される。 7 MeV の電子ビームは、通常、医療装置の殺菌、表面の殺菌、ポリマーの架橋及びこれらに類似したものに非常に適する。電子ビームによる食品処理用途は、

- ・包装材料のインライン殺菌及びシード表面のインライン駆除 / 殺菌を含む、低エネルギー ($< 1 \text{ MeV}$) 、
- ・包装された果物及び野菜の植物衛生処理を含む、中程度のエネルギー ($1 \sim 8 \text{ MeV}$) 、及び
- ・包装された肉、スパイス、海産物及び食品成分の滅菌を含む、高エネルギー ($8 \sim 10 \text{ MeV}$)

に広く分割することができる。

【 0 0 0 5 】

以上から、所与の電子加速器が、抽出される電子ビームのエネルギーが望ましい用途に応じて変化することを許容する場合に有利であることを理解することができる。これは、ロードトロンに当てはまる。図 1 (a) 及び図 1 (b) を参照すると、電子ビームによる共振空洞の直径のそれぞれの横断後のエネルギーの増大 w_i が $w_i = 1 \text{ MeV}$ / パスであると仮定して、図 1 (a) 並びに図 2 (b 1) 及び図 2 (b 2) に示される共振空洞の 7 回の横断後、 7 MeV の電子ビームを抽出することができる。図 1 (b) 並びに図 2 (c 1) 及び図 2 (c 2) に示されるように、2 つの偏向チャンバ (3 0 5、3 0 6) を無効化又は除去することにより、共振空洞の横断の回数は、5 回に低減され、これにより 5 MeV の抽出された電子ビームを結果的に得ることができる。従って、ロードトロンユニットは、偏向チャンバの数を単純に操作することにより、異なるエネルギーの電子ビームを抽

出し、これにより、共振空洞にわたる「花びら」又はビームの通過の数を定義するように容易に構成することができる。

【0006】

現時点の加速器に伴う、抽出される電子ビームのエネルギーを変化させることに関する問題は、追加又は除去される偏向チャンバの数及び位置に応じて、抽出経路により、それぞれのエネルギーを有する方向が変化することである。図1(a)及び(b)に示されるように、ターゲット(100)は、第1の直線的な抽出軌跡に沿って7 MeVの抽出電子ビームを捕捉するが、同一のターゲット(100)に5 MeVが衝突しなければならない場合、5 MeVの抽出電子ビームを、ターゲットに到達するように、第2の角度を有する軌跡に沿って逸脱させなければならない。電子ビームのあらゆる逸脱は、システムを複雑化させると共にその容積を増大させ、且つ製造及び設置費用を増大させる。

10

【0007】

(特許文献1)は、抽出される電子ビームの同一の向きを維持するため、偏向チャンバの数を変更される間、その角度向きが変更され得るようなラックに取り付けられたロードトロンを提案している。この設計は、以前の加速器との比較で大きい進歩を表すが、しかしながら、ラックとの関係における加速器の向きの変更は、相当の作業であり、且つ午前における7 MeVの第1の用途から午後における5 MeVの第2の用途への変更について適合されていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0008】

【文献】欧州特許出願公開第3319403号明細書

欧州特許出願公開第3319402号明細書

【0009】

本発明は、単一の抽出経路に沿って異なるエネルギーの電子ビームを抽出する能力を有するロードトロンを提案する。抽出エネルギーの変更は、容易であり、迅速であり、且つ確実であり、これは、離散型又は連続型であり得る。この解決策は、任意のサイズ、エネルギー及びパワーのロードトロンに対して実装することが可能であり、且つ単純な変更により、既存のロードトロンユニットに対して実装することもできる。これらの利点について以下の節で更に詳細に説明する。

30

【発明の概要】

【0010】

本発明は、添付の独立請求項で定義される。好適な実施形態は、従属請求項で定義される。具体的には、本発明は、

(a) 中空の閉鎖された導体からなる共振空洞であって、

・ 中心軸Zcを有する外側円筒形部分を含み、且つ外側導体セクションを形成する内側表面を有する外側壁と、

・ 外側壁内において取り囲まれ、且つ中心軸Zcの内側円筒形部分を含み、及び内側導体セクションを形成する外側表面を有する内側壁と

を含み、中心軸Zcに垂直であるミッドプレーンPmに関して対称である、共振空洞と、

40

(b) 外側導体セクション上で開口している導入入口からミッドプレーンPmに沿って中心軸Zcまで、共振空洞内に電子のビーム(40)を半径方向に注入するように適合された電子供給源と、

(c) 共振空洞に結合され、且つ外側導体セクションから内側導体セクションに向かって及び内側導体セクションから外側導体セクションに向かって延在する、ミッドプレーンPm内の半径方向軌跡に沿って電子ビームの電子の速度を変化させるために外側導体セクションと内側導体セクションとの間で周波数(f_{RF})において発振する電界Eを生成するように適合されたRFシステムと、

(d) N個の磁石ユニットであって、ここで、N>1であり、且つ

50

$N \in \mathbb{N}$

であり、 N 個の磁石ユニットのそれぞれの1つは、ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされ、且つ空洞出口アパーチャ及び空洞入口アパーチャによって共振空洞と流体連通している偏向チャンバ内で磁界を生成するように適合された偏向磁石の組を含み、磁界は、

・追加長 $(L +)$ を有する第1の偏向軌跡にわたり、ミッドプレーン P_m に沿って共振空洞内の第1の半径方向軌跡の端部において空洞出口アパーチャを通じて偏向チャンバ内に進入する電子ビームを偏向させることであって、前記第1の偏向軌跡は、空洞出口アパーチャから空洞入口アパーチャまで延在し、空洞入口アパーチャは、空洞出口アパーチャと同一であるか又は異なり得、空洞出口アパーチャを通じて、電子ビームは、ミッドプレーン P_m 内の第2の半径方向軌跡に沿って中心軸に向かって共振空洞内に再導入され、前記第2の半径方向軌跡は、第1の半径方向軌跡と異なる、偏向させることのために適合され、

・追加長 $(L +)$ は、電子ビームが共振空洞内に再導入されると、RFシステムが、第2の半径方向軌跡に沿って電子ビームを加速させるための電界を印加するために同期化されるようなものである、 N 個の磁石ユニットと、

(e) 共振空洞からターゲットに向かってエネルギー W の加速された電子ビームを抽出するための出口と

を含む電子加速器であって、

N 個の磁石ユニットの少なくとも1つは、対応する第1の偏向軌跡を、追加長 $(L +)$ と異なり、且つ好ましくはそれよりも大きい第2の長さ (L_2) の第2の偏向軌跡に変更し、これにより、出口から抽出される加速された電子ビームのエネルギー W の変動を許容するように適合されたバリオ磁石ユニットである、電子加速器に関する。

【0011】

第2の長さ (L_2) は、好ましくは、電子ビームが共振空洞内に再導入されると、RFシステムが、第2の半径方向軌跡に沿って電子ビームを減速させるための電界を印加するために同期化されるようなものである。

【0012】

第1の実施形態では、少なくとも1つのバリオ磁石ユニットは、

・中心軸 Z_c から第1の半径距離に配置され、且つ追加長 $L +$ の偏向軌跡に沿って電子ビームを偏向させるように構成されている、ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされた磁石の第1の組であって、対応する偏向チャンバ内で磁界を生成するように有効化されるか又は生成しないように無効化され得る磁石の第1の組と、

・磁石の第1の組と半径方向にアライメントされ、且つ第1の半径方向距離よりも大きい、中心軸 Z_c からの第2の半径方向距離に配置されている、ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされた磁石の第2の組と

を含む離散型のバリオ磁石デュアルユニットである。

【0013】

磁石の第1及び第2の組は、好ましくは、

・両方の磁石の組に共通する単一の偏向チャンバ内において、又は

・第1及び第2の偏向チャンバであって、第1の偏向チャンバは、1つ又は複数のウィンドウによって第2の偏向チャンバと流体連通している、それぞれ第1及び第2の偏向チャンバに対して、

磁界を生成するように適合される。

【0014】

第2の実施形態では、少なくとも1つのバリオ磁石ユニットは、中心軸 Z_c において第1及び第2の半径方向軌跡によって形成される角度の二等分線に平行である二等分方向に沿って前後に少なくとも1つのバリオ磁石ユニットを半径方向に離散的又は連続的に移動さ

10

20

30

40

50

せ、且つ従って出口から抽出される加速された電子ビームのエネルギー W を離散的又は連続的に変更するための移動手段を含む可動型のバリオ磁石ユニットである。移動手段は、対応する二等分方向に沿って少なくとも 1 つの可動型のバリオ磁石ユニットを前後に変位させるためのモーターを含むことができる。

【 0 0 1 5 】

好ましい一実施形態では、ロードトロンは、

- ・磁石ユニットによって環状に偏向される前に、第 1 の半径方向軌跡から空洞出口アパーチャに到達する電子ビームを、中心軸 Z_c において第 1 及び第 2 の半径方向軌跡によって形成される角度の二等分線に平行である軌跡に方向付けるための、及び

- ・共振空洞内に再導入される際、磁石ユニットによって課された環状の偏向に後続する、二等分線に平行な軌跡から空洞入口アパーチャに到達する電子ビームを第 2 の半径方向軌跡に方向付けるための

偏向器を更に含むことができる。

【 0 0 1 6 】

偏向器の使用は、電子ビームのジャイロ半径と、従って磁界の大きさとを、磁石の第 1 及び第 2 の組又は可動型のバリオ磁石の何れの半径方向距離に伴っても変更する必要がないという利点を有する。

【 0 0 1 7 】

第 2 の長さ (L_2) は、好ましくは、追加長 (L_+) と、電界 E の波長 λ の 1 つ又は複数の半体との合計に等しく、即ち $L_2 = (L_+) + n \cdot \lambda / 2$ であり、ここで、

$$n \in \mathbb{N}$$

であり、且つ n は、好ましくは、1 に等しい。

【 0 0 1 8 】

ロードトロンの好ましい例は、出口の直接上流に位置決めされる単一のバリオ磁石ユニットを含む。ロードトロンは、

- ・ w_i の値が $i = 1 \sim N$ について一定であり、且つ
- ・エネルギー利得又は損失 w_i の値が、出口までの共振空洞にわたる電子ビームの最後の ($(N + 1)$ 番目の) パスについて、 $(-w_i) \sim (+w_i)$ に含まれる

ように定義される、 i 番目の磁石ユニットへの又は ($i - 1$) 番目の磁石ユニットからの、共振空洞にわたる 1 つのパスにおける電子ビームによるエネルギー利得又は損失によって特徴付けられる。

【 0 0 1 9 】

磁石の数 N は、好ましくは、6 に等しく、 w_i は、好ましくは、 $i = 1 \sim 6$ について $1 \text{ MeV} / \text{パス} \pm 0.2 \text{ MeV} / \text{パス}$ に等しく、且つ最後 (7 番目) のパスについて $-1 \sim 1 \text{ MeV} / \text{パス} \pm 0.2 \text{ MeV} / \text{パス}$ に含まれ、抽出された電子ビームは、好ましくは、 $5 \text{ MeV} \pm 0.2 \text{ MeV} \sim 7 \text{ MeV} \pm 0.2 \text{ MeV}$ に含まれる。

【 0 0 2 0 】

N 個の磁石ユニットのそれぞれは、好ましくは、 $0.01 \text{ T} \sim 1.3 \text{ T}$ 、より好ましくは $0.02 \text{ T} \sim 0.7 \text{ T}$ に含まれる、偏向チャンバ内の磁界を生成する。電子ビームは、 $30 \sim 700 \text{ kW}$ 、好ましくは $150 \sim 650 \text{ kW}$ に含まれる平均パワーを有することができる。

【 0 0 2 1 】

好適な一実施形態では、共振空洞は、

- ・内径 R 及び中心軸 Z_c の円筒形外側壁を有する第 1 の半体シェルと、
- ・内径 R 及び中心軸 Z_c の円筒形外側壁を有する第 2 の半体シェルと、
- ・第 1 及び第 2 の半体シェル間でミッドプレーン P_m のレベルにおいて挟持された内径 R の中心リング要素と

10

20

30

40

50

によって形成され、外側導体セクションを形成する表面は、第 1 及び第 2 の半体シェルの円筒形外側壁の内側表面により、且つ好ましくは第 1 及び第 2 の半体シェルの両方の内側表面と同一平面である中心リング要素の内側エッジにより形成される。

【 0 0 2 2 】

例として且つ添付の図面を参照して、本発明のこれらの及び更なる態様について更に詳細に説明することとする。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 3 】

【図 1】図 1 は、実施形態 (a) から 2 つの偏向チャンバを除去することにより、(a) 7 M e V 及び (b) 5 M e V の抽出された電子ビームを供給するように構成された従来技術の電子加速器の中心軸 Z c に対して垂直のプレーンに沿った平面断面図の 2 つの例を概略的に示す。

10

【図 2】図 2 は、(a) ロードトロンの電子ビームが辿る軌跡の R F 電界 E の振幅を距離 d の関数として示す。従来技術のロードトロンの位置の関数としての電子ビームのエネルギー W の変化は、(b 1) 7 M e V の抽出された電子ビームについて図 2 (b 1) に、且つ 5 M e V の抽出された電子ビームについて図 2 (c 1) に示されている。丸付きの数値は、それぞれ (b 2) 7 M e V 及び (c 2) 5 M e V の電子ビームを供給するように構成された従来技術のロードトロンの断面図を示す、対応する図 2 (b 2) 及び図 2 (c 2) のロードترون内における電子ビームの位置に対応する。

【図 3】図 3 は、(a) ロードترون内の電子ビームの位置 d の関数として R F 電界 E の振幅を示す。本発明によるロードترون内の位置の関数としての電子ビームのエネルギー W の変化は、(b 1) 7 M e V、(c 1) 5 M e V 及び (d 1) 6 M e V の抽出された電子ビームについて示されている。丸付きの数値は、対応する図 3 (b 2)、図 3 (b 3)、図 3 (c 2)、図 3 (c 3) 及び図 3 (d 2) のロードترون内における電子ビームの位置に対応し、図 3 (b 2) 及び図 3 (b 3) は、7 M e V において電子ビームを抽出するロードترونの 2 つの実施形態を示し、図 3 (c 2) 及び図 3 (c 3) は、5 M e V において電子ビームを抽出するロードترونの 2 つの実施形態を示し、且つ図 3 (d 2) は、6 M e V における第 2 の実施形態を示す。

20

【図 4】図 4 は、中心軸 Z c に沿った電界 E のプロファイルの表現と共に、電子加速器の中心軸 Z c に平行なプレーンに沿った断面図を概略的に示す。

30

【図 5】図 5 は、(a) ロードترونを製造するモジュールと、(b) 中心リング要素の厚さ内に形成された偏向チャンバとを示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 4 】

これらの図の縮尺は、正確ではない。

【 0 0 2 5 】

ロードترون

図 1、図 2 (b 2) 及び (c 2) 並びに図 4 は、ロードترونであって、

(a) 中空閉鎖導体からなる共振空洞 (1) と、

(b) 電子供給源 (2 0) と、

(c) 真空システム (図示せず) と、

(d) R F システム (7 0) と、

(e) 少なくとも 1 つの磁石ユニット (3 0 i) を含む磁石システムと

を含むロードترونの一例を示す。

40

【 0 0 2 6 】

共振空洞

共振空洞 (1) は、

(a) 中心軸 Z c と、

(b) 中心軸 Z c と同軸である外側円筒形部分を含み、且つ外側導体セクション (1 0)

を形成する内側表面を含む外側壁と、

50

(c) 外側壁内に封入され、及び中心軸 Z_c と同軸の内側円筒形部分を有し、且つ内側導体セクション (1 i) を形成する外側表面を含む内側壁と、

(d) 外側壁及び内側壁を結合し、これにより共振空洞を閉鎖する 2 つの底蓋 (1 1 b、1 2 b) と、

(e) 中心軸 Z_c に垂直であり、且つ内側円筒形部分及び外側円筒形部分と交差するミッドプレーン P_m と

を含む。ミッドプレーン及び中央軸の交差は、共振空洞の中心を定義する。

【0027】

共振空洞 (1) は、ミッドプレーン P_m に関して 2 つの対称部分に分割される。このミッドプレーンに関する共振空洞の対称性は、共振空洞の形状に関するものであり、例えば、RF システム (7 0) 又は真空システムを接続するための任意の開口部の存在を無視している。従って、共振空洞の内側表面は、ドーナツ形容積の形態の中空閉鎖導体を形成する。中心軸 Z_c に沿って計測された共振空洞の高さは、ほぼ $1/2$ であり、ここで、 λ は、RF 波長である。中心軸 Z_c に垂直に計測された共振空洞の直径は、偏向チャンバ内における横断を許容するために 0.72λ であり得る。

【0028】

ミッドプレーン P_m は、垂直方向であるか、水平方向であるか、又はロードトロンが安着する地面に関して任意の適切な向きを有し得る。好ましくは、これは水平又は垂直方向である。

【0029】

共振空洞 (1) は、RF システム及び真空システム (図示せず) を接続するための開口部を含むことができる。これらの開口部は、好ましくは、2 つの底蓋 (1 1 b、1 2 b) の少なくとも 1 つに生成される。

【0030】

また、外側壁は、ミッドプレーン P_m と交差するアパーチャも含む。例えば、外側壁は、共振空洞 (1) 内に電子ビーム (4 0) を導入するための導入入口開口部を含む。また、外側壁は、望ましいエネルギーに加速された電子ビーム (4 0 - 5 ~ 4 0 - 7) を共振空洞から排出するための電子ビーム出口 (5 0) も含む。また、外側壁は、共振空洞に対応する偏向チャンバ (3 1、以下を参照されたい) と流体連通させる空洞出口 / 入口アパーチャ (3 1 w) も含む。一般に、ロードトロンは、いくつかの磁石ユニットと、いくつかの空洞出口 / 入口アパーチャとを含む。

【0031】

ロードトロンは、一般に、電子ビームの電子を $1 \sim 50 \text{ MeV}$ 、好ましくは $3 \sim 20 \text{ MeV}$ 、更に好ましくは $5 \sim 10 \text{ MeV}$ であり得るエネルギーに加速させる。上述のように、大部分の産業用途では、核反応を回避するために 10 MeV 以下のエネルギーが印加される。電子は、相対論的であり、且つ 50 keV において $0.4c$ に到達し (ここで、 c は、光の速度である)、 1 MeV において約 $0.94c$ に到達し、且つ 10 MeV において $0.9988c$ に到達する。共振空洞にわたる 1 回の通過後、通常、 1 MeV のエネルギーを有する電子の速度は、実質的に一定であるものとして安全に近似することができる。

【0032】

ロードトロンは、大きい平均パワーを有し、これは、 $30 \sim 700 \text{ kW}$ 、好ましくは $150 \sim 650 \text{ kW}$ 、更に好ましくは $160 \sim 190 \text{ kW}$ に含まれ得る。例えば、IBA のロードトロンモデル TT 50 は、 $1 \sim 10 \text{ kW}$ に含まれる、最大で 10 MeV の平均パワーのエネルギーのビームを抽出することができる。TT 50 は、 0.6 m の直径の共振空洞を有し、且つ 1 MeV / パスの 1 通過当たりのエネルギー利得 w_i により、電子ビームを加速させる。 1 m の直径の共振空洞の場合、IBA のロードトロンモデル TT 100 は、最大で 40 kW のパワーにおいて、 0.83 MeV / パスの 1 通過当たりのエネルギー利得 w_i により、 $3 \sim 10 \text{ MeV}$ に含まれるエネルギーの電子ビームを抽出することができる。 2 m の直径の共振空洞の場合、TT 200 は、 $w_i = 1 \text{ MeV}$ / パスのレート及び最大で 190 kW のパワーにおいて $3 \sim 10 \text{ MeV}$ の電子ビームを抽出する。TT 1000

10

20

30

40

50

は、 $T T 200$ と同一の 2 m の直径の共振空洞を有するが、最大で 630 kW のパワーにおいて、 $w_i = 1.2\text{ MeV}$ / パスのレートで $3 \sim 7\text{ MeV}$ のビームを抽出する。

【0033】

内側壁は、直線状の半径方向軌跡（中心軸 Z_c と交差する）に沿った内側円筒形部分を通じた電子ビームの通過を可能にする、対応する空洞出口 / 入口アパーチャ（ $31w$ ）と半径方向にアライメントされた開口部を含む。

【0034】

中空閉鎖導体からなる共振空洞（ 1 ）の表面は、導電性材料から製造される。例えば、導電性材料は、金、銀、プラチナ、アルミニウムの1つであり得、好ましくは銅である。外側及び内側壁及び底蓋は、導電性材料の層によって被覆された鋼から製造することができる。

10

【0035】

共振空洞（ 1 ）は、 $0.3\text{ m} \sim 4\text{ m}$ 、好ましくは $0.4\text{ m} \sim 3\text{ m}$ 、更に好ましくは $0.5\text{ m} \sim 2\text{ m}$ の直径 $2R$ を有することができる。

【0036】

中心軸 Z_c に対して平行に計測された共振空洞（ 1 ）の高さは、 $0.3\text{ m} \sim 4\text{ m}$ 、好ましくは $0.4\text{ m} \sim 1.2\text{ m}$ 、更に好ましくは $0.5\text{ m} \sim 0.7\text{ m}$ に含まれ得る。

【0037】

ミッドプレーン P_m に平行に計測された、共振空洞（ 1 ）、電子供給源（ 20 ）、真空システム、 RF システム及び1つ又は複数の磁石ユニット（ $30i$ ）を含むロードトロンの外径は、 $1 \sim 5\text{ m}$ 、好ましくは $1.2 \sim 2.8\text{ m}$ 、更に好ましくは $1.4 \sim 1.8\text{ m}$ であり得る。中心軸 Z_c に平行に計測されたロードトロンの高さは、 $0.5 \sim 5\text{ m}$ 、好ましくは $0.6 \sim 1.5\text{ m}$ 、更に好ましくは $0.7 \sim 1.4\text{ m}$ であり得る。

20

【0038】

電子供給源、真空システム及び RF システム

電子供給源（ 20 ）は、電子ビーム（ 40 ）を生成し、且つミッドプレーン P_m に沿って導入口開口部を通じて中心軸 Z_c に向かって共振空洞内に導入するように適合される。例えば、電子供給源は、電子ガンであり得る。当業者には周知のように、電子ガンは、正確な運動エネルギーを有する狭くてコリメートされた電子ビームを生成する電気コンポーネントである。

30

【0039】

真空システムは、共振空洞（ 1 ）から空気をポンピング排出し、且つその内部に真空を生成する真空ポンプを含む。

【0040】

RF システムは、カプラを介して共振空洞（ 1 ）に結合され、通常、波長 λ の RF 信号を生成するために共振周波数 f_{RF} で発振するように設計された発振器を含み、これには、チェーンの末尾で望ましい出力パワーを実現するように1つの増幅器又は増幅器のチェーンが後続される。従って、 RF システムは、共振空洞内に共振半径方向電界 E を生成する。いかなる手段も存在しない場合とは対照的に、共振半径方向電界 E は、例えば、外側導体セクションから内側導体セクションに向かって、且つその後、内側導体セクションから空洞出口アパーチャ（ $31w$ ）に向かってミッドプレーン P_m 内に位置した軌跡に沿って電子ビーム（ 40 ）の電子を加速させるために発振する。共振半径方向電界 E は、一般に、「 TE_{001} 」タイプであり、これは、電界が横方向（「 TE 」）であり、回転対称性を有し（第1の「 0 」）、空洞の1つの半径に沿って相殺されず（第2の「 0 」）、且つ中心軸 Z に平行な方向において前記電界のハーフサイクルであることを定義する。

40

【0041】

磁石ユニット（ $30i$ ）

N 個の磁石ユニット（ $30i$ ）は、外側壁の外周の周りに分散され、且つミッドプレーン P_m 上でセンタリングされ、この場合、 $N > 1$ であり、且つ

50

$N \in \mathbb{N}$

である。N個の磁石ユニットのそれぞれの1つは、偏向チャンバ(31)内で磁界を生成するように適合された偏向磁石の組を有する。偏向チャンバは、空洞出口アパーチャ及び空洞入口アパーチャによって共振空洞(1)と流体連通しており、空洞入口アパーチャは、別個のアパーチャであり得るか、又は単一のアパーチャ内においてマージされ得、これらのすべてが符号(31w)によって参照される。すべての偏向チャンバは、ミッドプレーンPmの一部を取り囲んでいる。

【0042】

好ましくは、磁石システムは、いくつかの磁石ユニット(30i、ここで、 $i = 1, 2, \dots, N$ である)を有する。Nは、磁石ユニットの合計数に等しく、且つ1~15、好ましくは4~12、更に好ましくは5~10に含まれる。従来のロードトロンでは、磁石ユニットの数Nは、所与のエネルギー $(N+1) \cdot w_i$ を伴ってロードトロンを離脱する前に電子ビーム(40)の電子の $(N+1)$ 回の加速をもたらし、ここで、 w_i は、磁石ユニット(30i)への又は磁石ユニット(30(i-1))からの共振空洞にわたる1回のパスにおいて電子ビームによって得られるか又は失われるエネルギーである。例えば、図1(a)及び図2(b2)は、 $N = 6$ 個の磁石ユニット(301~306)を有するロードトロンを示す。図1(b)及び図2(c2)は、 $N = 4$ 個の磁石ユニット(301~304)を有するロードトロンを示す。図2(b1)及び図2(c1)に示される共振空洞にわたるそれぞれのパスにおけるエネルギー利得 w_i は、1MeV/パスであり、これにより、それぞれエネルギー $(N+1) \cdot 1 \text{ MeV} = 7 \text{ MeV}$ 及び5MeVの抽出された電子ビームが得られる。

【0043】

対応する磁気ユニットによってそれぞれの偏向チャンバ内で生成される磁界は、追加長(L+)を有する第1の偏向軌跡において、ミッドプレーンPmに沿って共振空洞内の第1の半径方向軌跡の端部において空洞出口アパーチャを通じて偏向チャンバ内に進入する電子ビームを偏向するように適合される。第1の偏向軌跡は、空洞出口アパーチャから空洞入口アパーチャまで延在し、空洞入口アパーチャは、空洞出口アパーチャと同一であるか又は異なり得、空洞出口アパーチャを通じて、電子ビームは、ミッドプレーンPm内の第2の半径方向軌跡に沿って中心軸に向かって供給空洞内に再導入される。第2の半径方向軌跡は、第1の半径方向軌跡と異なり、且つ中心軸Zcにおいてそれと交差する。追加長(L+)は、電子ビームが共振空洞内に再導入されると、RFシステムが、空洞入口アパーチャと中心軸Zcとの間で第2の半径方向軌跡に沿って電子ビームを加速させるための電界を印加するために同期化されるようなものである(図2(a)、図2(b1)、図2(c1)、図3(a)及び図3(b1)~図3(d1)、位置(2)と位置(3)との間のセクションを参照されたい)。

【0044】

電子ビームは、電子供給源(20)により、ミッドプレーンPmに沿って導入口開口部を通じて共振空洞内に注入される。電子ビームは、ミッドプレーンPm内の第1の半径方向軌跡を辿り、前記軌跡は、その後、

- ・空洞入口アパーチャ(31w)を通じて外側壁、
- ・空洞出口アパーチャを通じて内側壁、
- ・共振開口部の中心(即ち中心軸Zc)、
- ・空洞入口開口部を通じて内側壁、
- ・空洞出口アパーチャ(31w)を通じて外側壁、
- ・第1の偏向チャンバ(31)

と順番に交差し、且つ

- ・最後の空洞出口アパーチャと同一であるか又は異なり得る、空洞入口アパーチャを通じ

て外側壁と再度交差する。

【 0 0 4 5 】

図 3 (b 1) ~ 図 3 (b 3) に示されるように、空洞出口アパーチャを通じて共振空洞を離脱した電子ビームは、磁石ユニット (3 0 i) の偏向磁石によって偏向され、且つ異なる半径軌跡に沿って、(第 1 の空洞出口アパーチャと同一であるか又は異なり得る) 第 1 の空洞入口アパーチャ (3 1 w) を通じて共振空洞内に再導入され、これにより最初の花びらを形成する。電子ビームは、ターゲットエネルギーに到達する時点まで N 回にわたってこのような経路を辿り、これにより、中心軸 Z c 上でセンタリングされ、且つミッドプレーン P m 内に含まれる N 個の花びらを形成することができる。次いで、電子ビームは、電子ビーム出口 (5 0) を通じて共振空洞から外に抽出される。

10

【 0 0 4 6 】

偏向チャンバ内で必要とされる磁界は、空洞出口アパーチャ (3 1 w) を通じて半径方向軌跡に沿って共振チャンバを出る電子ビームの軌跡を 180° 超の角度の円の円弧で折り曲げることにより、電子ビームの軌跡を第 2 の半径方向軌跡に沿って共振チャンバ内に戻るように駆動するのに十分でなければならない。例えば、9 個の磁石ユニット (3 0 i) を含むロードトロンでは、角度は 198° に等しいことができる。円の円弧の半径 (= 旋回半径) は、 $40 \sim 250 \text{ mm}$ 、好ましくは $50 \sim 180 \text{ mm}$ のレベルであり得る。従って、チャンバ表面は、 $65 \sim 260 \text{ mm}$ のレベルの半径方向における長さを有さなければならない。このような円の円弧に電子ビームを折り曲げるのに必要とされる磁界は、所望の旋回半径に応じて $0.01 \text{ T} \sim 1.3 \text{ T}$ 、好ましくは $0.2 \text{ T} \sim 0.7 \text{ T}$ 、例えば 0.2 又は 0.3 T のレベルである。

20

【 0 0 4 7 】

磁石ユニットは、磁石ユニット内で生成される磁界の大きさの容易な制御を許容する電磁石を有することができる。好ましい一実施形態では、1 つ又は複数の磁石ユニット、好ましくは N 個の磁石ユニットは、第 1 及び第 2 の電磁石の代わりに又はこれに加えて、第 1 及び第 2 の永久磁石を有することができる。永久磁石及び電磁石については、後述する。

【 0 0 4 8 】

本明細書では、半径方向軌跡は、ミッドプレーン P m 内に含まれ、且つ中心軸 Z c に対して垂直に交差する直線状の軌跡として定義される。

【 0 0 4 9 】

バリオ磁石ユニット

30

7 MeV のエネルギーにおける図 1 (a) において且つ 5 MeV のエネルギーにおける図 1 (b) に示されるように、従来技術のロードトロンから抽出される電子ビームのターゲットエネルギーの変化に、ターゲット (1 0 0) に向かうその再方向付けを必要とする前記電子ビームの抽出経路の方向の変化が伴う場合の本発明の要旨は、N 個の磁石ユニット (3 0 i) の少なくとも 1 つを「バリオ磁石ユニット」(3 0 6 - 5、3 0 6 - 7、3 0 6 v) として提供することであり、バリオ磁石ユニットは、対応する第 1 の偏向軌跡を、追加長 (L +) と異なり、且つ好ましくはそれよりも大きい第 2 の長さ (L 2) (即ち $L_2 > L_+$ である) の第 2 の偏向軌跡に変更し、これにより、出口 (5 0) から抽出される加速された電子ビームのエネルギー W の変動を許容するように適合された磁石ユニットである。図 3 (b 2) のロードトロンを図 3 (c 2) と比較し、且つ図 3 (b 3) のロードトロンを図 3 (c 3) 及び図 3 (d 3) の両方と比較することによってわかるように、バリオ磁石ユニットの使用は、異なるエネルギーの電子ビーム (4 0 - 5、4 0 - 6、4 0 - 7) が単一の出口 (5 0) を通じて単一の抽出経路に沿って抽出されることを許容する。

40

【 0 0 5 0 】

従来のロードトロンと同様に、少なくとも 1 つのバリオ磁石ユニット (3 0 6 - 5、3 0 6 - 7、3 0 6 v) を含む、N 個の磁石ユニット (3 0 1 ~ 3 0 5) が提供された本発明によるロードトロンは、所与のエネルギー (N + 1) * w i を伴ってロードトロンを離脱する前に電子ビーム (4 0) の電子の (N + 1) 回の加速を生成することができる。これは、図 3 (b 1) ~ 図 3 (b 3) に示され、この場合、バリオユニット (3 0 6 - 5、3

50

06 - 7、306 v) を含む、 $N = 6$ 個の磁石ユニットを有するロードトロンは、共振空洞にわたる $(N + 1) = 7$ 回の連続的な通過後に 7 MeV の電子ビームを抽出する。この結果は、バリオ磁石ユニット (306 - 5、306 - 7、306 v) 内の偏向軌跡の長さを他の (非バリオ) 磁石ユニット (301 ~ 305) の偏向軌跡の同一の追加長 $L +$ に設定することによって得られる。従って、このロードトロンは、従来技術の従来のロードトロンのように挙動することになる。

【0051】

バリオ磁石ユニット (306 - 5、306 - 7、306 v) は、長さ $L +$ の第 1 の偏向軌跡から、第 1 の偏向軌跡の追加長 $L +$ と異なる、且つ好ましくはそれよりも大きい長さ L_2 の第 2 の偏向軌跡に偏向チャンバ内の電子ビームの偏向軌跡を変化させるのに適する。これは、RF 電界 E の周波数に対して、空洞入口空洞 (31w) を通じた電子ビームの共振空洞内への進入の同期化を変化させる効果を有する。

10

【0052】

好適な一実施形態では、第 2 の長さ (L_2) は、電子ビームが共振空洞内に再導入されると、RF システムが、第 2 の半径方向軌跡に沿って電子ビームを減速させることにより、電子ビームのエネルギー W を低減させるための電界を印加するために同期化されるようなものである。例えば、図 3 (a)、図 3 (c1) 及び図 3 (c2) に示される実施形態では、第 2 の長さ L_2 は、バリオ磁石内において、追加長 $L +$ の偏向軌跡後に空洞入口アパーチャを通じて共振空洞内に進入した第 1 の電子が、第 2 の長さ $L_2 > L +$ の偏向軌跡後、第 2 の電子が遭遇する電界と同一の大きさの、但し、反対の符号の電界 E と遭遇するように $1/2$ だけ追加長 $L +$ よりも長い (即ち $L_2 = (L +) + 1/2$ である)。第 1 の電子が共振空洞に進入するのに伴って、加速された際にその相対的に長い偏向軌跡によって遅延した第 2 の電子は、反対符号の電界によって減速される。

20

【0053】

図 3 (b1) を参照すると、追加長 $L +$ によって偏向された後、第 1 の電子は、外側壁 (= 位置 (12)) と内側壁 (= 位置 (13)) との間で負の電界によって加速され (エネルギー W の増大)、且つ中心軸 Z_c と交差した後、正の電界 (位置 (14) 及び (15) 間) によって再度加速され、これにより 7 MeV のエネルギーに到達し、これが出口 (50) から抽出され得ることがわかる。対照的に且つ図 3 (c1) を参照すると、追加長 $L +$ よりも $1/2$ だけ長い第 2 の長さ L_2 において偏向された後の第 2 の電子は、外側壁 (= 位置 (12)) と内側壁 (= 位置 (13)) との間で正の電界によって減速され (エネルギー W の低下)、且つ中心軸 Z_c と交差した後、負の電界 (位置 (14) 及び (15) 間) によって再度減速され、これにより 5 MeV のエネルギーに到達し、これが第 1 の電子と同一の出口 (50) を通じて抽出され得る。

30

【0054】

「加速される」及び「減速される」という用語は、本明細書では、エネルギーの変化を意味するように使用されるが、相対論的な電子ビームは、光の速度に迅速に接近し、且つその速度は、正確に一定ではないが、実質的に一定であるものと近似することができる。電子の相対論的な挙動とは無関係に、電子ビームのエネルギーは、電界への曝露により、共振空洞を通じたそれぞれの通過時に増大する ($W = q E d$)。

40

【0055】

バリオ磁石ユニット (306 v、306 - 5) の中心軸 Z_c までの半径方向距離が増大した場合、対応する第 1 及び第 2 の半径方向軌跡が延長され、且つこれらが発散することから、第 1 及び第 2 の半径方向軌跡の自由端部への結合が必要とされる偏向軌跡の半径 (「ジャイロ半径」と呼称される) も増大させなければならない。ジャイロ半径は、磁界に反比例することから、このようなジャイロ半径の増大を防止する任意の他の対策が存在しない場合、バリオ磁石ユニットの磁界は、中心軸 Z_c までの半径方向の距離の増大に伴って減少しなければならない。バリオ磁石ユニットの中心軸 Z_c までの半径方向距離の増大に伴うジャイロ半径の増大は、図 3 (c2) 及び図 3 (d3) で明瞭に示されている。

【0056】

50

図 3 (b 3)、図 3 (c 3) 及び図 3 (d 2) に示される好適な一実施形態では、バリオエネルギーユニットのジャイロ半径は、

- ・磁石ユニットによって環状に偏向される前に、第 1 の半径方向軌跡から空洞出口アパーチャに到達する電子ビームを、中心軸 Z_c において第 1 及び第 2 の半径方向軌跡によって形成される角度の二等分線に平行な軌跡に方向付け、且つ

- ・共振空洞内に再導入される際、磁石ユニットによって課された環状の偏向に後続する、二等分線に平行な軌跡から空洞入口アパーチャに到達する電子ビームを第 2 の半径方向軌跡に方向付ける

ように、電子ビームの軌跡を偏向させる偏向器 (3 0 d) を使用することにより、中心軸 Z_c までのその半径方向距離とは独立して一定に維持することができる。

10

【 0 0 5 7 】

好適な一実施形態では、ロードトロンは、出口 (5 0) の直接上流に位置決めされる単一のバリオ磁石ユニット (3 0 6 - 5、3 0 6 - 7、3 0 6 v) を有する。磁石ユニット (3 0 i) までの又は磁石ユニット (3 0 (i - 1)) からの、共振空洞にわたる 1 回のパスにおいて、電子ビームによって得られるか又は失われるエネルギー w_i は、 $i = 1 \sim N$ について一定であり、且つ出口 (5 0) までの共振空洞にわたる電子ビームの最後 ((N + 1) 番目) のパスについて (- w_i) ~ (+ w_i) で変化する。図 3 の実施形態におけるように、 $N = 6$ 及び $i = 1 \sim 6$ について $w_i = 1 \text{ MeV / パス}$ であり、且つ最後 (7 番目) のパスについて - 1 ~ 1 MeV / パスに含まれる場合、抽出される電子ビーム (4 0 - 5 ~ 4 0 - 7) は、5 ~ 7 MeV に含まれるエネルギーを有する。

20

【 0 0 5 8 】

ロードトロン内における少なくとも 1 つのバリオ磁石ユニット (3 0 6 v、3 0 6 - 5、3 0 6 - 7) の使用は、異なるエネルギー W の単一経路の電子ビーム (4 0 - 5 ~ 4 0 - 7) に沿った抽出の問題をエレガントに解決する。本発明では、離散型のバリオ磁石デュアルユニット (3 0 6 - 5、3 0 6 - 7) 及び可動型のバリオ磁石ユニット (3 0 6 v) を含む様々なタイプのバリオ磁石ユニットを実装することができる。

【 0 0 5 9 】

離散型のバリオ磁石デュアルユニット

図 3 (b 2) 及び図 3 (c 2) に示される第 1 の実施形態では、バリオ磁石ユニット (3 0 6 - 5、3 0 6 - 7) は、以下のように磁石の 2 つの組を有する。

30

- ・中心軸 Z_c から第 1 の半径方向距離に配置され、且つ追加長 L_+ において電子ビームを偏向するように構成されている、ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされた磁石の第 1 の組 (3 0 6 - 7)。磁石の第 1 の組は、磁界を生成するように有効化されるか又は生成しないように無効化され得、有効化された際、磁石の第 1 の組は、共振空洞内への電子ビームの進入を加速させる電界 E と同期化する。

- ・磁石の第 1 の組と半径方向にアライメントされ、且つ第 1 の半径方向距離よりも大きい、中心軸 Z_c からの第 2 の半径方向距離に配置されている、ミッドプレーン P_m 上でセンタリングされた磁石の第 2 の組 (3 0 6 - 5)。磁石の第 2 の組 (3 0 6 - 5) は、磁石の第 1 の組 (3 0 6 - 7) が無効化された際、第 2 の距離 $L_2 > L_+$ において電子ビームを偏向させるように構成される。磁石の第 1 の組が無効化された際、磁石の第 2 の組は、共振空洞内への電子ビームの進入を電界 E と同期化し、電界 E は、磁石の第 1 の組と同様に加速していない。好ましくは、共振空洞内への電子ビームの進入は、減速する電界と同期化される。

40

【 0 0 6 0 】

磁石の第 1 及び第 2 の組 (3 0 6 - 7、3 0 6 - 5) は、それぞれ両方の磁石の組又は第 1 及び第 2 の偏向チャンバ (3 1) に共通する単一の偏向チャンバ (3 1) 内で磁界を生成するように適合させることが可能であり、この場合、第 1 の偏向チャンバは、1 つ又は 2 つのウィンドウによって第 2 の偏向チャンバと流体連通している。本発明の 2 チャンバ選択肢は、既存の従来のロードトロン上において非常に容易に実装することができる。

【 0 0 6 1 】

50

上述のバリオ磁石ユニット構成は、エネルギー W の2つの予め定義された且つ離散型の値間におけるトグルを許容する。この理由のため、この実施形態は、「離散型のバリオ磁石デュアルユニット」と呼称することができる。磁石の第1の組(306-7)から第2の組(306-5)へのトグルは、磁石の第1の組(306-7)を有効化及び無効化することにより、非常に容易に実行することができる。磁石の第1の組の無効化は、電流を供給するか又はしないことにより、電磁石によって容易に実行することができる。代わりに、永久磁石が使用される場合、永久磁石は、ミッドプレーン P_m のレベルにおいて磁界を低減させるために偏向チャンバから十分遠くに除去しなければならない。好ましくは、磁石の第1の組は、電磁石を有する。

【0062】

図3では、5つの非バリオ磁石ユニット(301~305)の1つの内部における偏向後のそれぞれのパスが、IBAによって製造されるTT200ロードترونモデルに対応する、 $w_i = 1 \text{ MeV}$ / パスであるエネルギー利得 / パスをもたらす。従って、電子ビームは、 $(N+1)w_i = 6 \text{ MeV}$ の累積されたエネルギーを伴ってバリオ磁石ユニット内に進入する。第6番目のバリオ磁石ユニット(306-5、306-7、306v)は、出口(50)の前の最後に位置する。従って、例3におけるバリオ磁石ユニットは、抽出された電子ビームのエネルギーを、 $6 \text{ MeV} \pm 1 \text{ MeV}$ でセンタリングされた値に変化させることができる。

【0063】

当然のことながら、磁石の数 N は、必ずしも6である必要はなく、非バリオ磁石ユニット(301~305)の数は、5と異なり得、且つバリオ磁石ユニットの数も1超であり得、且つ必ずしも出口(50)の前の最後に配置する必要もない。バリオ磁石ユニットが最後の位置に存在しない場合、バリオ磁石ユニットによってもたらされるRF電界との同期化の変化が、非バリオ磁石ユニットを含む後続のパスに対して維持されることに注意すべきである。当業者は、抽出された電子ビームの望ましいエネルギー範囲をもたらすように、バリオ及び非バリオ磁石ユニットの最良の構成を容易に設計することができる。

【0064】

離散型のバリオ磁石デュアルユニットは、2つの予め定義された第2の長さ L_2 間におけるトグルのみを提供する。第3の磁石ユニットが想定可能であるが、そのような離散型のバリオ磁石のトリプル(又はこれを超える数の)ユニットを有するロードترونのサイズは、相応して増大することになるであろう。3つ以上のエネルギー(第2の長さ L_2)が望ましい場合、可動型のバリオ磁石ユニットなどの他の設計が利用可能である。

【0065】

可動型のバリオ磁石ユニット

図3(c2)、図3(c3)及び図3(d2)に示される第2の実施形態では、少なくとも1つのバリオ磁石ユニット(306v)は、中心軸 Z_c において第1及び第2の半径方向軌跡によって形成される角度の二等分線に平行な二等分方向に沿って前後に少なくとも1つのバリオユニットを半径方向に離散的又は連続的に移動させるための移動手段を有する。この結果、バリオ磁石ユニットの半径方向位置に従って偏向軌跡の第2の長さ L_2 を変更することが可能であり、且つ望ましい電子ビームエネルギー W を取得するため、RF電界との望ましい同期化を設定することができる。上述の離散型のバリオ磁石デュアルユニットが、2つの予め定義された第2の長さ L_2 に対応する2つの予め定義された電子ビームエネルギーの間のトグルのみを提供する場合、可動型のバリオ磁石ユニットの本実施形態は、第2の長さ L_2 が、3つ以上の予め定義された値にわたって変更されることを許容する。可動型のバリオ磁石ユニットは、2つの境界位置間において二等分方向に沿って離散又は連続的に移動することができる。例えば、2つの境界位置は、

- ・共振空洞にわたる電子ビームの連続的な加速をもたらすためにRF電界と同期化された、追加長さ L_+ の偏向軌跡に対応する最近接位置、及び
- ・共振空洞にわたる電子ビームの連続的な減速をもたらすためにRF電界と同期化された、最近接位置よりも中心軸 Z_c から更に遠く離れて配置され、且つ第2の長さ $L_2 = (L$

10

20

30

40

50

$+) + 1 / 2$ の偏向軌跡に対応する最遠位置

を含み得、好ましくは、最遠位置は、追加長 $(L +)$ と、電界 E の波長 の 1 つ又は複数の半分との合計に等しい第 2 の長さ L_2 を定義する ($L_2 = (L +) + (n / 2)$)。

【 0 0 6 6 】

可動型のバリオ磁石ユニット (3 0 6 v) は、 $w_i \sim - w_i$ に含まれる、共振空洞の次の交差におけるエネルギー利得を得るように $L +$ と $(L +) + 1 / 2$ との間で第 2 の長さ L_2 を変化させるため、最近接位置と最遠位置との間で連続的に又は離散した位置において移動することができる。図 3 の例では、共振空洞を通じた次のパスにおいて電子ビームによって得られる (又は失われる) エネルギーが $- 1 \text{ MeV} \sim + 1 \text{ MeV}$ で変更され得るように $w_i = 1 \text{ MeV} / \text{パス}$ である。最後のバリオ磁石ユニットに進入する前の 6 回のパス後、電子ビームは、 $(N + 1) w_i = 6 \text{ MeV}$ のエネルギーを累積する。従って、抽出された電子ビームのエネルギーは、以下の方式によって変化し得る。

- ・その最近接位置においてバリオ磁石ユニット (3 0 6 v) を通じた長さ $L +$ の偏向軌跡に後続する共振空洞にわたるエネルギー利得 w_i は、従って、 $+ 1 \text{ MeV}$ であり、これにより図 3 (b 1) 及び図 3 (b 3) の例において 7 MeV の抽出された電子ビーム (4 0 - 7) をもたらす。

- ・その最遠位置においてバリオ磁石ユニット (3 0 6 v) を通じた長さ $(L +) + 1 / 2$ の偏向軌跡に後続する、共振空洞にわたるエネルギー利得 (損失) w_i は、従って、 $- 1 \text{ MeV}$ であり、これにより図 3 (c 1) 及び図 3 (c 3) の例において 5 MeV の抽出された電子ビーム (4 0 - 5) をもたらす。

- ・バリオ磁石ユニット (3 0 6 v) が、図 3 (d 2) に示されるように、最近接位置と最遠位置との間の中間位置にある場合、共振空洞を通じた次のパスにおけるエネルギー利得 w_i は、 $- 1 \text{ MeV} \sim + 1 \text{ MeV}$ に含まれる。図 3 (d 1) を参照すると、第 2 の長さ $L_2 = (L +) + 1 / 4$ である場合、次のパスにおけるエネルギー利得 $w_i = 0 \text{ MeV}$ であり、これにより 6 MeV の抽出された電子ビーム (4 0 - 6) が得られることがわかる。

【 0 0 6 7 】

従って、抽出された電子ビームのエネルギーは、図 3 に示される例では、 $5 \sim 7 \text{ MeV}$ に含まれる任意の値に設定することができる。

【 0 0 6 8 】

連続型の移動は、抽出される電子ビームのエネルギーの制御に関する相対的に高度な柔軟性を理由として有利である。一方では、いくつかの予め定義された離散した位置は、第 2 の長さ L_2 が $L_2 = (L +) + (n / m)$ として戦略的に予め定義された状態で操作者にとって使用が相対的に容易であり、この場合、 n / m は、単純な割合を定義し、ここで、 n 及び

$$m \in \mathbb{N}$$

であり、且つ $n \leq m \leq 6$ である。

【 0 0 6 9 】

図 3 (d 3) に示されるように、可動型のバリオ磁石ユニット (3 0 6 v) は、磁界の大きさが、ジャイロ半径の値を、第 1 及び第 2 の半径方向軌跡を分離する距離に収容するために中心軸 (Z_c) に対するその半径方向距離の関数として自動的に減少するように構成することができる。これは、電磁石に供給される電流を制御することにより、容易に実現することができる。

【 0 0 7 0 】

代わりに、上述の偏向器 (3 0 d) を使用することもできる。偏向器 (3 0 d) は、空洞出口 / 入口アパーチャとバリオ磁石ユニットとの間の電子ビームの軌跡を、中心軸 Z_c において第 1 及び第 2 の半径方向軌跡によって形成される角度の二等分線に平行な直線セグメント内に方向付ける。この実施形態は、バリオ磁石ユニット (3 0 6 v) の位置とは無

10

20

30

40

50

関係に、バリオ磁石ユニットによって生成される磁界を一定に維持することを許容するために有利である。従って、第2の偏向軌跡の第2の長さ L_2 は、単純に $L_2 = (L_1 + 2r)$ に等しく、ここで、 r は、中心軸 Z_c に対するバリオ磁石ユニットの距離の増大である(図3(c3)及び図3(d2))を参照されたい)。偏向器(30d)の使用は、電磁石の代わりに又はこれに加えて、バリオ磁石ユニットが永久磁石を有することを許容する。

【0071】

可動型のバリオ磁石ユニット(306v)の移動手段は、対応する二等分方向に沿って可動型のバリオ磁石ユニット(306v)を前後に変位させるためのモーターを有することができる。

【0072】

その(N-1)個が非バリオ磁石ユニット(301-305)であり、且つ1つのみが、出口(50)の直接上流に位置決めされたバリオ磁石ユニット(306-5、306-7、306v)である、N個の磁石ユニットを有するロードトロンは、 w_i ($N \pm 1$)の範囲のエネルギーの電子ビームを抽出することができる。電子ビームは、図3に示されるロードトロンの共振空洞を横断するごとにエネルギー $w_i = 1 \text{ MeV}$ /パスを得る。図3のロードトロンは、(N-1)=5個の非バリオ磁石ユニット(301-305)を有することから、これらは、 $5 \text{ MeV} \sim 7 \text{ MeV}$ に含まれるエネルギーの電子ビームを抽出することができる(図3(c2)及び図3(c3)の#40-5、図3(d2)及び図3(d3)の#40-6並びに図3(b2)及び図3(b3)の#40-7を参照されたい)。

【0073】

永久磁石及び電磁石

従来のロードトロンにおける磁石ユニットには、一般に、電磁石が提供される。(特許文献2)には、代わりに、永久磁石が提供された磁石ユニットが使用され得ると記述されている。本発明によるロードトロンは、電磁石のみ、永久磁石のみ又は電磁石と永久磁石との組合せを有することができる。

【0074】

(特許文献2)において記述されているように、永久磁石は、電磁石との比較においてロードトロンのエネルギー消費を減少させるという利点を有し、その理由は、電磁石と異なり、永久磁石は、電力供給される必要がないからである。永久磁石は、共振空洞の外側壁に圧接した状態において直接的に結合され得る一方、電磁石のコイルは、外側壁の所定の距離に位置決めしなければならない。磁石ユニットが外側壁に直接隣接することを許容することにより、ロードトロンの構造は、大幅に単純化され、且つ相応して製造費用が低減される。

【0075】

永久磁石の1つの大きい欠点は、磁界が電磁石ほどに容易に変更され得ないことである。図4に示されるように、(特許文献2)は、ミッドプレーン P_m に平行なアレイ内で並置状態において、いくつかの離散した磁石ユニット(32)を配列することによって磁石ユニットの第1及び第2の永久磁石のそれぞれを形成することにより、この問題を解決することを提案している。アレイは、離散した磁石要素の1つ又は複数の列によって形成される。アレイは、ミッドプレーン P_m に関して偏向チャンバの両方の側部に配設される。それぞれのアレイ内における離散した磁石要素の数を変化させることにより、相応して偏向チャンバ内で生成される磁界を変更することができる。

【0076】

対照的に、電磁石によって生成される磁界の大きさは、電磁石のコイルに供給される電流を制御することにより、制御が非常に容易である。但し、これらは、嵩張り、且つロードトロンの製造を複雑化する配線を必要とする。従って、それぞれのタイプの磁石の利点を享受し、且つ欠点を回避するために電磁石と永久磁石との組合せを使用することができる。好適な一実施形態では、すべての磁石ユニットは、永久磁石を有するが、これらは、磁界の頻繁なチューニングを必要とする。これらは、例えば、以下を含む。

・電子供給源(20)とは反対側に配置された第1の磁石ユニット(301)は、他の(

10

20

30

40

50

N - 1) 個の磁石ユニットと異なり得、その理由は、電子ビームが他の磁石よりも低い速度で前記第 1 の磁石ユニットに到達するからである。電子ビームを発振電界と同相において共振空洞内に返すために、第 1 の磁石ユニット内の偏向経路は、(N - 1) 個の残りのユニットとわずかに異ならなければならない。従って、第 1 の磁石ユニット (301) は、電磁石であり得、これにより対応する偏向チャンバ (31) 内で生成される磁界の容易な微細チューニングが許容される。

・ 離散型のバリオ磁石デュアルユニットの磁石の第 1 の組 (306 - 7) は、電子ビームが磁石の第 2 の組 (306 - 5) に到達することを許容するためにスイッチオフされなければならない (図 3 (b2) 及び図 3 (c2) を参照されたい)。一方では、磁石の第 2 の組は、永久磁石を有することができる。

・ 望ましい偏向軌跡の対応するジャイロ半径をもたらしするために磁界がバリオ磁石ユニットの位置に従って変化しなければならないことから、可動型のバリオ磁石ユニット (306 v) は、いかなる偏向器 (30d) も欠いている (図 3 (d3) を参照されたい)。

【0077】

(特許文献 1) において記述されているように、ロードトロンは、図 5 (a) の分解図に示されるようにモジュラー型の構造を有することができる。共振空洞を形成する第 1 及び第 2 の半体シェルのそれぞれは、円筒形の外側壁と、底部蓋 (11b、12b) と、底部蓋から突出する中央ピラー (15p) とを有する。中央チャンバ (15c) は、第 1 及び第 2 の半体シェルの中央ピラー間に挟持することができる。

【0078】

図 5 (a) に示されるように、中心リング要素 (13) は、第 1 及び第 2 の半体シェル間に挟持される。中心リング要素は、その厚さによって互いに分離された第 1 及び第 2 の主表面を有する。中心リング要素の一部分は、第 1 及び第 2 の半体シェルの両方の外側壁の外側表面を越えて半径方向に延在し、これにより、半径方向に外向きに延在するフランジを形成する。磁石ユニット (30i) は、前記フランジ上に取り付け及び装着することができる。磁石ユニットとフランジとの間における装着は、好ましくは、磁石ユニットをミッドプレーン Pm 及び電子ビームの軌跡と微細にアライメントさせるためのある程度の遊びを許容する。

【0079】

図 5 (b) に示される好適な一実施形態では、磁石ユニットの偏向チャンバ (31) は、空洞出口 / 入口アパーチャ (31w) が、中心リング要素の中心及び中心軸 Zc に対向する状態で中心リング要素の内側エッジに形成されている状態において、中心リング要素の厚さ内の中空の空洞によって形成することができる。中空の空洞は、蓋 (13p) によって閉鎖することができる。ロードトロンの好ましくはいくつかの偏向チャンバ、更に好ましくはすべての偏向チャンバは、対応する空洞出口 / 入口アパーチャが、中心軸 Zc に対向する状態で中心リング要素の内側エッジに形成されている状態において、中心リング要素の厚さ内の個々の中空の空洞によって形成される。この構造は、以下の理由から、従来設計との比較においてロードトロンの製造費用を大幅に低減する。

【0080】

利点

ここで、本発明によれば、単一の抽出経路に沿って異なるエネルギーの電子ビームを抽出することが可能である。この解決策は、単一のロードトロンが、1 つ又は複数のバリオ磁石ユニットの単一のチューニングにより、医療装置の殺菌又は異なる食品の処理などの異なる用途に使用され得る点で産業にとって非常に有利である。

【符号の説明】

【0081】

1 i 内側導体

1 o 外側導体

1 共振空洞

11 第 1 の半体シェル

10

20

30

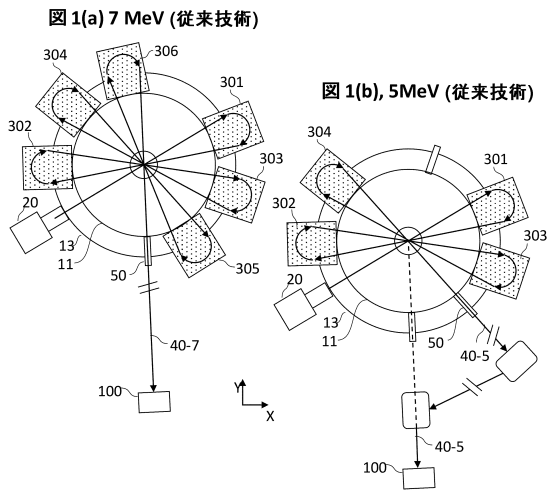
40

50

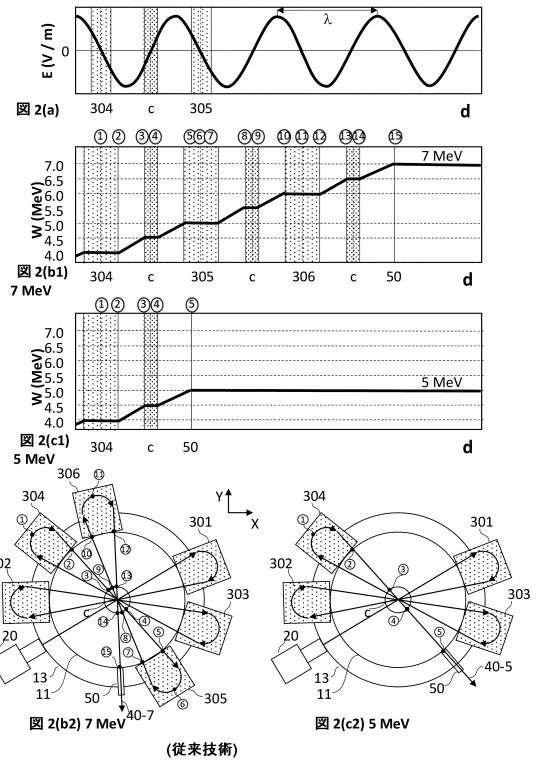
1 1 b	第 1 の半体シェルの底部蓋	
1 2	第 2 の半体シェル	
1 2 b	第 2 の半体シェルの底部蓋	
1 3	中心リング	
1 3 p	カバープレート	
1 4	封止 O リング	
2 0	電子供給源	
3 0 1 . . .	個々の磁石ユニット	
3 0 i	磁石ユニット (総称)	
3 0 6 - 5	電子ビームを減速させる離散型のバリオ磁石デュアルユニット	10
3 0 6 - 7	電子ビームを加速させる離散型のバリオ磁石デュアルユニット	
3 0 6 v	可動型のバリオ磁石ユニット	
3 1 w	偏向ウィンドウ	
3 1	偏向チャンバ	
3 2 i	離散した磁石要素	
3 2	永久磁石	
3 3 c	チャンバ表面	
3 3 m	磁石表面	
3 3	支持要素	
3 5	磁石ユニットのヨーク	20
4 0	電子ビーム	
4 0 - 5	5 M e V の電子ビーム	
4 0 - 7	7 M e V の電子ビーム	
5 0	電子ビーム出口	
5 0 - 5	5 M e V の電子ビーム出口 (従来技術)	
5 0 - 7	7 M e V の電子ビーム出口 (従来技術)	
6 0	磁石要素を追加又は除去するツール	
6 1	ツールの細長いプロファイル	
6 2	ツールの細長いブッシャ	
7 0	R F システム	30
1 0 0	ターゲット	

【図面】

【図 1 a - 1 b】



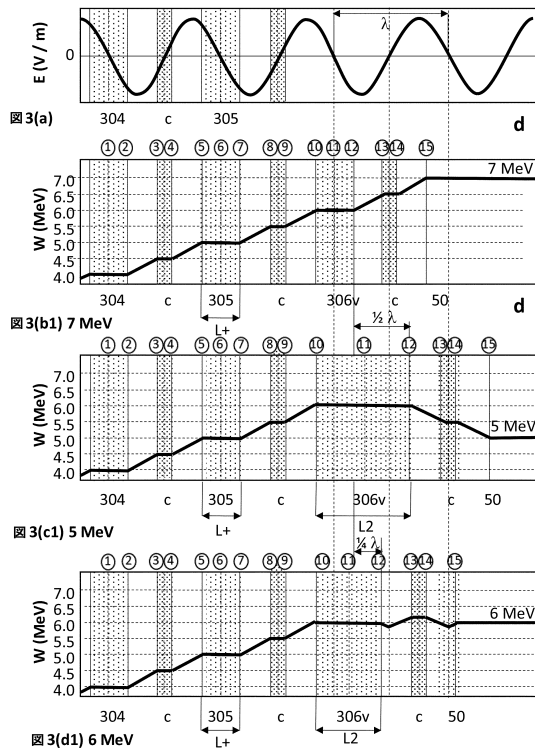
【図 2 a - 2 c 2】



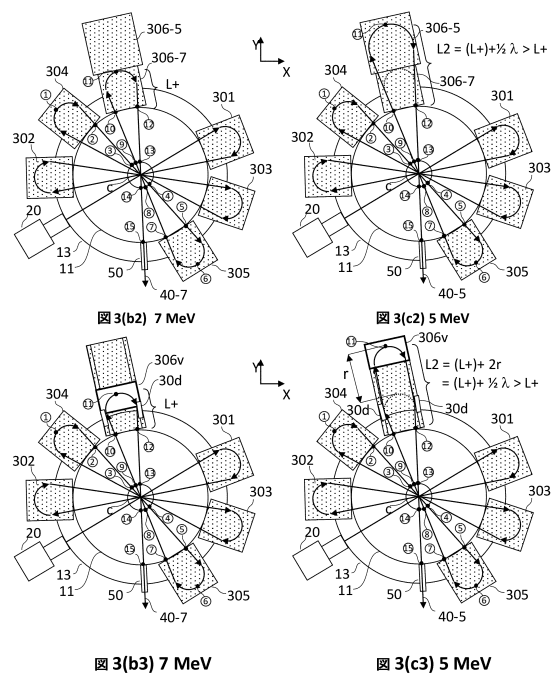
10

20

【図 3 a - 3 d 1】



【図 3 b 2 - 3 c 3】



30

40

50

【 図 3 d 2 - 3 d 3 】

【 図 4 】

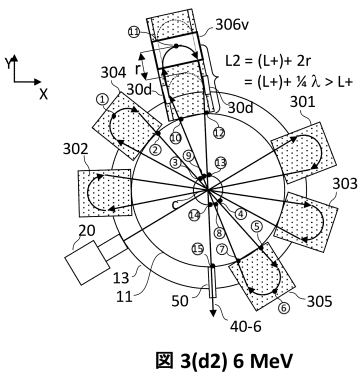


図 3(d2) 6 MeV

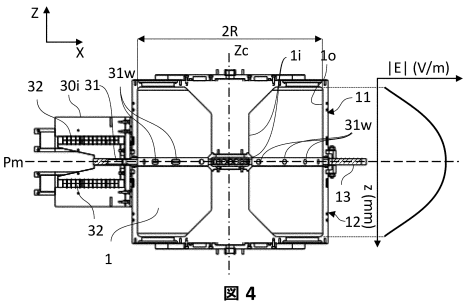


図 4

10

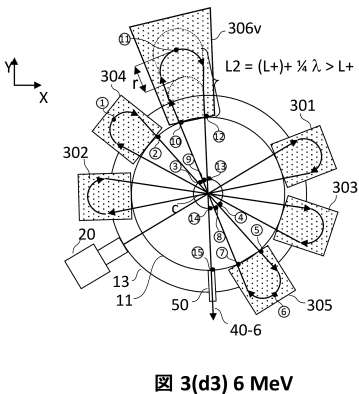


図 3(d3) 6 MeV

20

【 図 5 a - 5 b 】

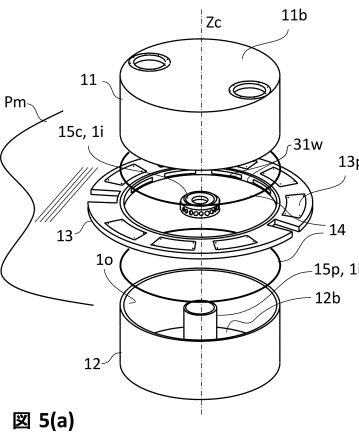


図 5(a)

30

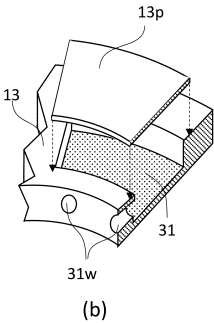


図 5(b)

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 ブライソン ジェレミー

ベルギー王国 １３４８ ルーヴァン - ラ - ヌーヴ, シュマン デュ シクロトロン ３, シー / オー
イオン ビーム アプリケーションズ ソシエテ アノニム

(72)発明者 クレーヴェン ウィレム

ベルギー王国 １３４８ ルーヴァン - ラ - ヌーヴ, シュマン デュ シクロトロン ３, シー / オー
イオン ビーム アプリケーションズ ソシエテ アノニム

審査官 大門 清

(56)参考文献 中国特許出願公開第１０５５７８７０３（ＣＮ，Ａ）

特開２００２ - １４１２００（ＪＰ，Ａ）

特開２０１８ - ０７８１０１（ＪＰ，Ａ）

特表２０１６ - ５２１９０４（ＪＰ，Ａ）

国際公開第２０１６ / １９３２９４（ＷＯ，Ａ１）

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

H 0 5 H 7 / 1 2

H 0 5 H 7 / 0 4

H 0 5 H 7 / 1 8