

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3373580号
(P3373580)

(45)発行日 平成15年2月4日(2003.2.4)

(24)登録日 平成14年11月22日(2002.11.22)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

H 0 5 H 13/04

H 0 5 H 13/04

R

G 0 1 T 1/29

G 0 1 T 1/29

C

請求項の数1(全 5 頁)

(21)出願番号 特願平5-58002

(22)出願日 平成5年2月24日(1993.2.24)

(65)公開番号 特開平6-251900

(43)公開日 平成6年9月9日(1994.9.9)

審査請求日 平成12年1月17日(2000.1.17)

(73)特許権者 301032942
独立行政法人放射線医学総合研究所
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号

(73)特許権者 000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)発明者 佐藤 健次
千葉県千葉市穴川4丁目9番1号 科学
技術庁放射線医学総合研究所内

(72)発明者 豊田 栄次
東京都府中市東芝町1番地 株式会社東
芝 府中工場内

(74)代理人 100083231
弁理士 紋田 誠

審査官 山口 敦司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 粒子加速器のビームモニタ装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 加速粒子を生成する粒子加速器の高周波加速空洞の加速ギャップから漏れたRFノイズの位相が逆位相となる左右位置に設けられ一対の電極を有した2台のビーム位置検出器と、各々の前記ビーム位置検出器のそれぞれ対応する電極から発生した信号をそれぞれ加算するパワーコンバイナーと、このパワーコンバイナーの出力信号に基づいてビーム位置の検出を行うビーム位置検出回路と、前記各々のビーム位置検出器の各々の電極から発生した信号の総和に基づいて加速電圧に対する加速粒子の位相差を検出するビーム位相差検出回路とを備えたことを特徴とした粒子加速器のビームモニタ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】 [発明の目的]

2

【産業上の利用分野】本発明は、イオン等の粒子を加速するイオンシンクロトロンの高周波加速制御における粒子加速器のビームモニタ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】イオン等の粒子を加速する粒子加速器としては、イオンシンクロトロンがある。図2はイオンシンクロトロンの一例を示すもので、イオン源1にて生成されたイオンは、まず線形加速器2である程度エネルギーまで加速して、シンクロトロンへ入射する。シンクロトロンは図示したように、リング状軌道に分布して配置した偏向電磁石3及び四極電磁石4等の発生する磁界により、イオンビームを曲げて、収束することによりビームが常に閉軌道上を周回するようにする。

【0003】イオンビームは高周波加速空洞5の加速ギャップ間で発生する電界により加速される。すなわち、

図上高周波加速空洞 5 のギャップ間に下から上へ来た陽イオンは、上ギャップが負、下のギャップが正になる位相で高周波電界が印加されているので、これにより加速され（逆位相だと減速になる）、周回毎にエネルギーを上げていく。この過程で、線形加速器 2 から入射した連続均一なイオンビームは密度変調を受け、塊（以下バンチという）になって周回する。このバンチ数は高周波加速空洞 5 に印加した加速周波数と周回周波数（ビームが 1 回転するまでの時間の逆数）の比で定まるハーモニック数と同一となり周回する。

【0004】図 3 は、そのようなイオンシンクロトロン の制御装置を示すものである。ここで、イオンシンクロトロンの高周波加速空洞 5 は、ビーム軌道に沿った断面を示している。この高周波加速空洞 5 は、実際は同軸円筒状をしており、内筒の中央部で導電部が切れて加速ギャップを形成している。そして、内筒は左右両端で外筒を介して短絡されて、1/4 波長同軸共振器を形成している。

【0005】加速ギャップの左右には、数十枚積層されたフェライト環 6 が装填されており、四極管 9 のグリッド電圧が基準動作点から正方向に変化すると、プレート電流が図示した矢印方向に増加し、右側のフェライト環 6 の磁束も図示した方向に増加する。

【0006】一方、フェライトバイアス巻線 7 が左右のフェライト環 6 と磁気結合するように 8 字状になって巻かれているので、左側のフェライト環 6 にも右側と同一方向で磁束が増加する。従って、内筒中央の加速ギャップには、右側が +、左側が - の極性の電圧が発生する。

【0007】制御装置は、四極管 9 の高周波加速空洞 5 の共振周波数を合わせるチューニング制御と、イオンの周回周波数と加速周波数の位相差により発生するシンクロトロン振動を抑制する周回位相制御及び周回軌道差 R を抑制する周回軌道位置制御等のフィードバック制御がある。

【0008】チューニング制御は、四極管 9 の励振周波数と高周波加速空洞 5 の共振周波数とを合わせるために、四極管 9 のグリッド電圧 Vg と加速ギャップで発生した加速電圧 Vc との位相差を Vc - Vg 位相差検出回路 17 を用いて検出し、この位相差が零となるように、すなわち共振周波数に合うように、フェライトバイアス電源 8 の電流を制御するものである。これは、フェライト環 6 の変分透磁率 μ_s を変えて、チューニング制御することによって共振状態を常に保って、四極管 9 の電力が高周波加速空洞 5 へ有効に注入するようにして行われる。

【0009】次に、周回位相制御について説明する。

【0010】線形加速器 2 から入射した連続均一なイオンビームは加速電圧 Vc の影響により、密度変調を受けてバンチ化し、シンクロトロンを周回する。そして、高周波加速空洞の加速ギャップの極性が図 3 の右が + の極

性のとき、正電荷を持ったイオンがその加速ギャップを通過した時に加速される。そして、同一イオンがシンクロトロンを一周して再び加速ギャップを通過する際に、加速ギャップの極性が同じになるように同期していれば、更に加速される。従って、この同期制御により、通常光速の 10% 程度の入射イオンがバンチ化され、ギャップ通過毎に加速し、ほぼ光速程度まで加速することができる。

【0011】そして、この同期制御はイオンの速度増加に比例して高周波加速空洞 5 の励振周波数を増加させる VCO 12（電圧制御周波数発振器 12）と静電モニタの一種である位相検出器 14 によりイオンのシグナル VB を検出し、加速ギャップで発生する加速電圧シグナル VC からビーム位相差検出回路 16 により VB と VC の位相差を検出し、イオンと加速電圧が常に同期位相になるように位相制御することにより達成される。

【0012】また、周回軌道位置制御は、イオンの真空ダクト内の中心軌道からの水平方向の位置偏差 R をビーム位置検出器 13 とビーム位置検出回路 15 とにより検出し、イオンとの位置偏差を制御することによって行われる。なお、10 は前段増幅器、11 は自動レベル制御装置を示す。

【0013】次に、ビーム位置検出器 13 の検出原理について図 4 を参照して説明する。図示したように、ビーム位置検出器 13 は上下に三角形板を 2 枚用意しその間を長方形板で接続した 2 組の電極 A と B とをイオンビーム軌道に沿って対向させた構造をしている。そして、ビームはこの上下の三角形板の間を通過するわけであるが、ビームがシンクロトロンの中心軌道を通じた場合は、電極 A, B に静電誘導により発生する電圧 VA と VB とが等しくなるように設置されている。これは、中心を通過したビームの電極 A と B との通過長が互いに等しくなっているためである。そして中心軌道に対して R だけ水平方向にズレて通過したビームによる電極 A, B に発生する VA, VB には (1) 式で示した関係が成立する。

【0014】

【数 1】

$$\Delta R \propto \frac{V_A - V_B}{V_A + V_B} \dots (1)$$

【0015】すなわち、図 4 で示した構造の電極を用いることにより、中心軌道に対して、通過ビームの水平方向のズレ量 R が発生電圧差に比例することを利用して R を検出することができるわけである。尚、(1) 式で分母の VA + VB はビーム強度に比例する電圧であり、R に比例する分子 VA - VB をビーム強度で割算し、比率をとればビーム強度に依存しない R に行うことができる。そして、この (1) 式で示した演算を行うのが、ビーム位置検出回路 15 である。

【0016】一方、ビーム位相検出器14は、長方体の電極構造をしており、前述したビーム強度VA + VBに相当する信号を検出し、加速電圧VCとの位相差をビーム位相検出回路16で演算する構成としている。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】ところが、このようなビーム位置の検出では、加速電圧VCが高周波加速空洞5から漏れ、RFノイズとしてビーム位置検出器13やビーム位相検出器14に混入した場合に適正なビーム位置やビーム位相を検出することができなくなる。

【0018】すなわち、ビーム位置検出器13やビーム位相検出器14と高周波加速空洞5との間はビームの通過ルートに沿って図3には図示していない真空容器で接続されている。そして、前述した通り高周波加速空洞5内の加速ギャップには加速電圧VCが通常数~数十KV印加される。

【0019】また、各検出器13や14に発生する電圧はビーム強度によるが、通常数十μV~数百μVと非常に低い値である。従って、加速電圧VCが高周波加速空洞5から漏れ、真空容器外を伝送して、各検出器13、14にRFノイズとして混入し、ビーム位置やビーム位相をビーム強度に比例した電圧として検出できなくなると言う不具合が発生していた。このRFノイズとビーム強度信号は同一またはその整数倍の周波数であるため、一旦混入すると、その分離や判別は非常に困難なものとなり、ひいては、前述したイオンシンクロトロンの高周波制御ができなくなると言う不具合に発展する可能性が大であった。

【0020】そこで本発明の目的は、RFノイズに対して、強化された粒子加速器のビームモニタ装置を得ることにある。

【0021】[発明の構成]

【課題を解決するための手段】本発明の粒子加速器のビームモニタ装置は、加速粒子を生成する粒子加速器の高周波加速空洞の加速ギャップから漏れたRFノイズの位相が逆位相となる左右位置に設けられ一対の電極を有した2台のビーム位置検出器と、各々のビーム位置検出器のそれぞれ対応する電極から発生した信号をそれぞれ加算するパワーコンバイナーと、このパワーコンバイナーの出力信号に基づいてビーム位置の検出を行うビーム位

置検出回路と、各々のビーム位置検出器の各々の電極か*

$$\Delta R \propto \frac{(A_1 + A_2) - (B_1 + B_2)}{(A_1 + A_2) + (B_1 + B_2)} \dots (2)$$

【0027】一方、ビーム位相差 検出の方は前述した通り、パンチ化されたビーム強度信号が必要である。そこで図示した通り、パワーデバイダー22の出力信号の内 R検出に使用しない方を、更にパワーコンバイナー21で加算することにより、加速ギャップ中心でのビーム強度信号A1 + A2 + B1 + B2が得られ、これと

*ら発生した信号の総和に基づいて加速電圧に対する加速粒子の位相差を検出するビーム位相検出回路とを備えている。

【0022】

【作用】本発明では、ビーム位置検出器を高周波加速空洞の左右に一對づつ設け、RFノイズがビーム位置検出器内に混入しても、加速ギャップで発生する加速電圧VCがギャップ間(左右)で逆極性であることを利用し、左右一對づつの検出器内の信号を加算することによりRFノイズをキャンセルするとともに、ビーム位置検出器とビーム位相検出器とは、互いに静電型モニタであり、ビーム位置検出器で検出したビーム強度に比例する信号は、ビーム位相検出器で検出する信号と同等であるので、ビーム位置検出器でビーム位相検出も行う。

【0023】

【実施例】図1は本発明の一実施例を示す構成図である。ここで、図3と同一要素は同一符号を付けてあり、本発明と直接関係しないものは省略している。

【0024】高周波加速空洞5の加速ギャップから漏れたRFノイズの位相が逆位相となる左右位置に2台のビーム位置検出器13を設置する。そして、加速ギャップ間で発生する加速電圧VCは左右逆位相になっており、加速電圧VCがRFノイズVNとして左右のビーム位置検出器13に混入すると、ビーム位置検出器13Aで発生する電圧はA1 + VNとB1 + VNとなり、ビーム位置検出器13Bで発生する電圧はA2 - VNとB2 - VNとなる。そして、図示した通りそれぞれの電圧をパワーコンバイナー21まで同軸ケーブルで配線しパワーコンバイナー21で加算すると、RFノイズVNがキャンセルされて、A1 + A2, B1 + B2が得られる。当然、この時の同軸ケーブルは電気長を合わせてRFノイズの位相関係を保存できるようにしておく。従って、このパワーコンバイナー21の出力信号はRFノイズの影響を受けないことになる。

【0025】そして、この信号をパワーデバイダー22に入力し、それぞれ分枝してやり、一方をビーム位置検出回路16へ入力して、(1)式で示した演算を行うことにより、(2)式が得られ、位置偏差 Rが検出できる。

【0026】

【数2】

(A1 + A2) - (B1 + B2)

(A1 + A2) + (B1 + B2)

加速電圧VCを入力し、位相差 が検出できる。

【0028】すなわち、本発明では、高周波加速空洞5の加速ギャップから漏れたRFノイズの位相が逆位相となる左右位置に2台のビーム位置検出器13A、13Bを設け、1台のビーム位置検出器13の電極から発生した信号を左右それぞれ加算するパワーコンバイナー21

を通してやり、パワーコンバイナー 2 1 の出力信号を、それぞれパワーデバイダー 2 2 で分枝し、分枝した一対の信号でビーム位置偏差 R の検出を行い、もう一対の信号を加算するパワーコンバイナー 2 2 を通して、全てのビーム位置検出器 1 3 の電極から発生した信号の総和を用いて、加速電圧に対する加速イオンの位相差を検出することにより、RF ノイズをキャンセルした合理的なビームモニタ装置となる。

【 0 0 2 9 】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、高周波加速空洞の左右に一対づつ設けたビーム位置検出器の信号を、それぞれパワーコンバイナーにより加算してやることにより、RF ノイズが混入してもキャンセルすることができる。また、RF ノイズに影響されないビーム位置偏差の検出ができるとともに、2 つの検出器の総和をパワーデバイダーとパワーコンバイナーで算出することにより、加速ギャップ中心でのパンチ化されたビーム強度が得られ、加速電圧との位相差検出ができるとともに、専用のビーム位相検出器が不要となる合理的で、RF ノイズに影響されない粒子加速器のビームモニタ装置が提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例を示す構成図。

【図 2】イオンシンクロトロンの説明図。

10
20
20

* 【図 3】従来におけるイオンシンクロトロンの制御装置の構成図。

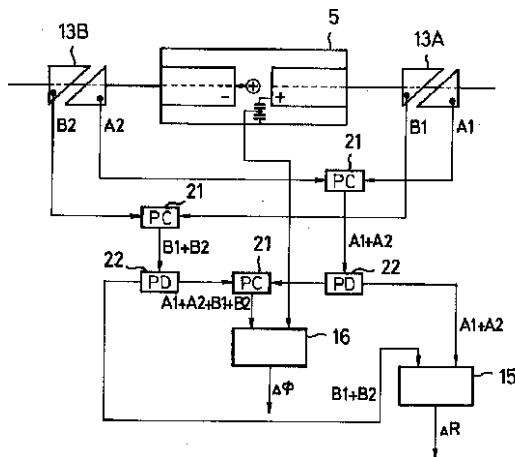
【図 4】ビーム位置検出器の説明図。

【符号の説明】

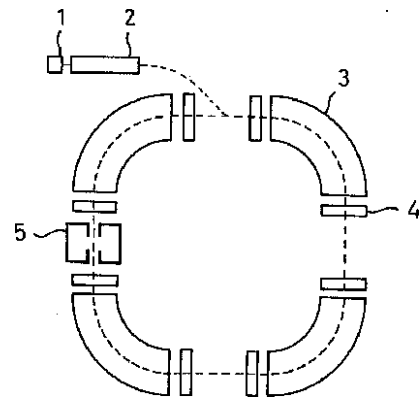
- 1 イオン源
- 2 線形加速器
- 3 偏向電磁石
- 4 四極電磁石
- 5 高周波加速空洞
- 6 フェライト環
- 7 フェライトバイアス巻線
- 8 フェライトバイアス電源
- 9 四極管
- 10 前段増幅器
- 11 自動レベル制御装置
- 12 VCO
- 13 ビーム位置検出器
- 14 ビーム位相検出器
- 15 ビーム位置検出回路
- 16 ビーム位相検出回路
- 17 位相差検出回路
- 21 パワーコンバイナー (PC)
- 22 パワーデバイダー (PD)

*

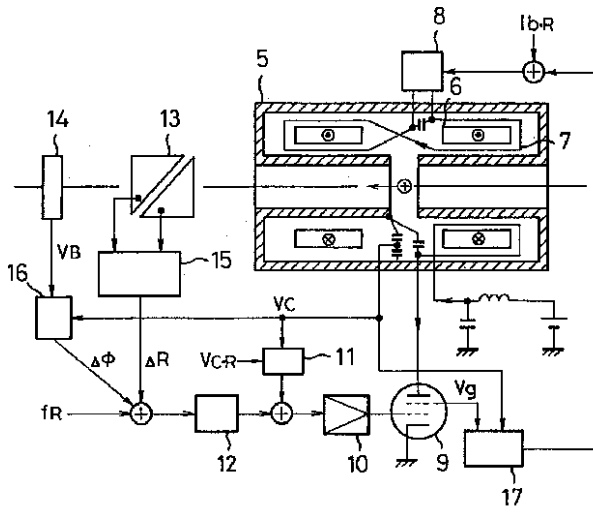
【図 1】



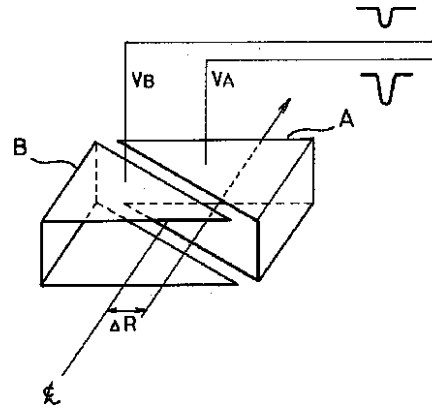
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (56) 参考文献 特開 平 4 - 357698 (J P , A)
 特開 平 3 - 225800 (J P , A)
 特開 平 6 - 251899 (J P , A)
 特開 平 5 - 159898 (J P , A)
 特開 平 4 - 79200 (J P , A)

- (58) 調査した分野(Int.Cl.⁷, D B 名)
 H05H 13/04
 G01T 1/29