

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-9009

(P2011-9009A)

(43) 公開日 平成23年1月13日(2011.1.13)

(51) Int.Cl.
H05H 11/00 (2006.01)

F 1
H05H 11/00

テーマコード(参考)
2G085

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2009-150088 (P2009-150088)
(22) 出願日 平成21年6月24日 (2009. 6. 24)

(71) 出願人 504151365
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
茨城県つくば市大穂1番地1
(74) 代理人 100098589
弁理士 西山 善章
(74) 代理人 100097559
弁理士 水野 浩司
(74) 代理人 100123674
弁理士 松下 亮
(72) 発明者 中村 英滋
茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内
Fターム(参考) 2G085 AA16 BA04 BA19

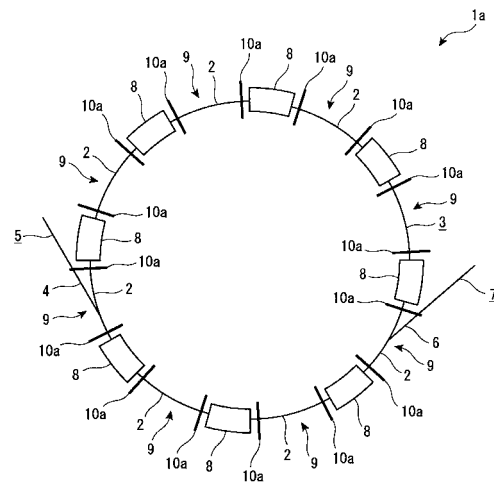
(54) 【発明の名称】 分散型低電圧加速装置による円形粒子線加速器

(57) 【要約】

【課題】 加速装置を稼働させる際の電圧値、電流値を低く抑えさせながら、短い時間で、十分な速度まで、粒子集団を加速させる円形粒子線加速器を提供する。

【解決手段】 粒子走行距離が短くなるように加速路3の各ストレートセクション9に各々、分散的に配置され、粒子群の空間電荷による粒子進行方向の散逸を抑止し、前記加速路3内の粒子集団を閉じ込めさせながら、加速させるN(但し、Nは整数)台の誘導型加速装置10と、指定された周期で、1波長分の高周波駆動電圧、またはパルス電圧を各々、発生し、前記各誘導型加速装置10を個別単位、またはグループ単位で駆動するM(但し、Mは“M N”を満たす整数)台の駆動装置とを備え、前記各駆動装置を協調動作させて、前記各誘導型加速装置10に粒子集団の閉じ込め処理、加速処理を行なう。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加速装置を使用して、粒子集団を閉じ込め、加速させる円形粒子線加速器において、粒子走行距離が短くなるように加速路の各的にセクション毎に各々、分散的に配置され、前記加速路内の粒子集団を閉じ込めさせながら、加速させる N (但し、 N は整数) 台の加速装置と、

指定された周期で、1 波長分の高周波駆動電圧、またはパルス電圧を各々、発生し、前記各加速装置を個別単位、またはグループ単位で駆動する M (但し、 M は " $M \quad N$ " を満たす整数) 台の駆動装置と、を備え、

前記各駆動装置を協調動作させて、前記各加速装置に粒子集団の閉じ込め処理、加速処理を行なわせることを特徴とする円形粒子線加速器。

10

【請求項 2】

加速装置を使用して、粒子集団を閉じ込め、加速させる円形粒子線加速器において、粒子走行距離が短くなるように加速路の各ストレートセクションに各々、分散的に配置され、前記加速路内の粒子集団を閉じ込める処理、または加速させる処理のいずれかを行う N (但し、 N は整数) 台の加速装置と、

先頭閉じ込め用のパルス電圧発生回路、後方閉じ込め用のパルス電圧発生回路、加速用のパルス電圧発生回路のいずれかを持ち、指定された周期で、指定された電圧値のパルス電圧を各々、発生し、前記各加速装置を個別単位、またはグループ単位で駆動する M (但し、 M は " $M \quad N$ " を満たす整数) 台の駆動装置と、を備え、

20

前記各加速装置を構成する、粒子集団の先頭閉じ込め処理を行う各加速装置、粒子集団の後方閉じ込め処理を行う各加速装置、粒子集団の加速処理を行う各加速装置を協調動作させて、粒子集団の閉じ込め処理、加速処理を行なわせることを特徴とする円形粒子線加速器。

【請求項 3】

加速装置を使用して、粒子集団を閉じ込め、加速させる円形粒子線加速器において、粒子走行距離が短くなるように加速路の各ストレートセクションに各々、分散的に配置され、前記加速路内の粒子集団を閉じ込める動作、または加速させる動作のいずれか一方を行う $L \times N$ (但し、 L 、 N は整数) 台の加速器と、

指定された周期で、指定された電圧値にされた、1 波長分の高周波駆動電圧、またはパルス電圧を発生し、前記各加速装置を個別単位、またはグループ単位で駆動する M (但し、 M は " $M \quad L \times N$ " を満たす整数) 台の駆動装置と、を備え、

30

前記加速路内の粒子集団を閉じ込めるのに必要な本来の誘導起電圧値と、加速させるのに必要な本来の誘導起電圧値との比率 " $M : 1$ " (但し、 M は整数) に基づき、前記各加速器のうち、 $L \times N \times (M - 1) / M$ 台に閉じ込め動作を割り当てるとともに、 $L \times N \times 1 / M$ 台に加速動作を割り当てて、前記各駆動装置を協調動作させ、粒子集団の閉じ込め処理、加速処理を行なわせることを特徴とする円形粒子線加速器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本発明は、荷電粒子を加速する粒子線加速器に係わり、特に加速装置で使用する一次電流の電圧値、電流値を低く抑えながら、粒子線を十分な速度まで、加速させるようにした分散型低電圧加速装置による円形粒子線加速器に関する。

【背景技術】

【0002】

粒子線を相対論レベルの高エネルギーまで加速する円形加速器の加速手法として、従来から、サイクロトロン、マイクロトロン、シンクロトロン、FFAG、円形粒子線加速器が知られている。

【0003】

図 15 に示す従来型の円形粒子線加速器 101 は、粒子線の通り路となる複数の真空ダ

50

クト102を連結して形成される正多角形状（ほぼ円形状）の加速路103と、加速路103と連通する真空ダクト104によって構成され、粒子発生源で得られた粒子を加速路103内に導く入射路105と、加速路103と連通する真空ダクト106によって構成され、加速路103で十分に加速された粒子集団を取り出す出射路107と、加速路103の各所に配置され、加速路103内で加速される粒子集団の進路を偏向させる複数の偏向電磁石108と、加速路103に取り付けられ、加速路103内の粒子集団を閉じ込めながら、加速させる加速装置109とを備えている。

【0004】

そして、粒子発生源で得られた粒子を粒子発生源 入射路105 加速路103なる経路で加速路103内に導き、各偏向電磁石108によって、加速路103内の粒子集団を偏向させて、粒子集団の軌道を加速路103の中心線とほぼ一致させながら、加速装置109によって、加速路103内の粒子集団を連続的に加速させた後、十分に加速させた粒子集団を加速路103 出射路107 ターゲットなる経路で、ターゲットに導く。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2006-032281号公報

【特許文献2】特開2006-310013号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、このような円形粒子線加速器101で使用される加速装置109は、図16に示す如く厚さ数cM程度のトロイダルコア110などを多層化させた磁性体111と、磁性体111に巻き付けられる一次巻き線112と、磁性体111に巻き付けられる二次巻き線113とによって表すことができる。これを真空管を用いたスイッチングで数十KVの高電圧を発生させる。

【0007】

近年の半導体技術の発展により、真空管でのスイッチングの役割を半導体で置き換えることが可能となってきた。円形粒子線加速器に関しては高応答（周波数特性の優れた物）の半導体素子は耐電圧性能に限界があるが、多直列接続及び同時スイッチングにより、高電圧出力が可能となる。駆動装置114内で、直列に接続された多数の半導体スイッチング素子115を同時にオンさせ、直列に接続された多数のコンデンサ116に蓄積されている電荷を放電させることにより、一次巻き線112に高電圧（ここでは例として16KV）、大電流の一次電流（1波長分の高周波駆動電流）を供給し、このとき発生する磁束によって、二次巻き線113に誘導起電圧を発生させ、加速路103内の粒子集団を加速させる。

【0008】

この際、各半導体スイッチング素子115のスイッチングタイミングがずれると、各半導体スイッチング素子115の少なくともいずれか1つが過負荷状態になり、破損してしまう恐れがある。このため、このような加速装置109では、安全性の観点から、各半導体スイッチング素子115の耐電圧値を半分にした値を設計値にして、加速装置109を設計しなければならない、コスト高になってしまうという問題があった。

【0009】

また、一次巻き線112に対し、16KVに達する高電圧、大電流の一次電流を供給しなければならないことから、駆動装置114などを構成する抵抗器、伝送線（例えば、同軸ケーブル）117などの個別受動素子を高耐圧仕様にしなければならない。このため、各個別受動素子が大型化し、その分だけ内部インダクタンスが増加してしまい周波数特性の劣化につながるデメリットとなるだけでなく、これを補正するために高電圧部と低電圧部を近づける等の処置を施しここでの耐電圧の問題が再浮上するという問題があった。

【0010】

10

20

30

40

50

また、このような従来の円形粒子線加速器 101 では、加速装置 109 によって、粒子集団を閉じ込めるとき、時間的に変化する電圧（1 波長分の高周波駆動電圧）を必要とすることから、加速装置 109 に一次電流を供給する駆動装置 114 の回路構成が複雑になってしまうという問題があった。

【0011】

さらに、このような従来の円形粒子線加速器 101 では、粒子集団を加速するのに必要な 1 波長分の高周波駆動電圧値と、粒子集団を閉じ込めるのに必要な 1 波長分の高周波駆動電圧値とが異なることから、複数の駆動装置 114 によって、異なる電圧値の高周波駆動電圧を生成させなければならず、システム全体の製造コストが高くなってしまいう問題があった。

10

【0012】

工学的問題のみならず、ビーム物理の観点からも問題が発生する。円形粒子線加速器における加速装置の従来技法は、「加速装置を 1 箇所に（もしくは局在的に）配置し、電磁石技術で粒子集団を加速装置に繰り返し入射する徐々にエネルギーを高めていく」ことを基本概念としている。粒子群は 1 回当たり数 K V から数 M V の加速を受け、これを繰り返す事で、数 G e V から数 T e V の高エネルギーまで到達する。この過程において、粒子群は次の加速を得るまで、円形粒子線加速器 1 周分の長い距離を走行しなければならない。粒子群は同極の電荷を有しているので、クーロン力により、粒子群内の粒子それぞれに対して反発力を常に発生、且つ、受けている。この力により自発的に粒子群が散逸してしまい、損失となる。粒子進行方向に対して垂直方向の散逸現象は、相対論的ローレンツ力により、粒子のエネルギーの 3 乗に比例した自発的散逸抑止効果があり、その抑止効果で不足する部分は従来技術では多極電磁石での集束効果で補う形としている。他方、粒子進行方向の散逸現象は、加速器の出力強度性能を決定する一要因である。粒子進行方向の散逸現象は、粒子のエネルギーの 1 乗に比例した自発的散逸抑止しかない。直線型加速器においては大きな問題ではないが、円形粒子線加速器においては、粒子の運動量（もしくはエネルギー）が 1 % 程度異なると加速装置に到達させることができず、損失につながる。加速器の大出力化を目指し粒子数を増やしていくとクーロン力が増え上述のような現象が起こる。その一例と示した物が図 17 であり、1 / 4 周後、半周後、3 / 4 周後、1 周後になるにつれ左右に散逸してしまう。この散逸による運動量偏差は図 18 のように距離とともに増えていく。このような損失過程の原因は、長い距離を走行することにある。これが短い距離で済む概念があれば加速器出力の大強度化が期待できる。

20

30

【0013】

本発明は上記の事情に鑑み、請求項 1 では、加速装置を稼働させる際の電圧値、電流値を低く抑えさせながら、短い時間で、十分な速度まで、粒子集団を加速させることができる円形粒子線加速器を提供することを目的としている。

【0014】

また、請求項 2 では、加速装置を稼働させるのに必要な駆動装置の回路構成を簡素化させて、システム全体のコストを大幅に低減させ、さらに加速装置を稼働させる際の電圧値、電流値を低く抑えさせながら、短い時間で、十分な速度まで、粒子集団を加速させることができる円形粒子線加速器を提供することを目的としている。

40

【0015】

また、請求項 3 では、単一の高周波駆動電圧で、加速装置を稼働させて、システム全体のコストを大幅に低減させ、さらに加速装置を稼働させる際の電圧値、電流値を低く抑えさせながら、短い時間で、十分な速度まで、粒子集団を加速させることができる円形粒子線加速器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】

【0016】

上記の目的を達成するために本発明は、請求項 1 では、加速装置を使用して、粒子集団を閉じ込め、加速させる円形粒子線加速器において、散逸抑止効果を改善する目的で短い距離で粒子進行方向の集束を実施するために加速路の各ストレートセクションに各々、分

50

散的に配置され、前記加速路内の粒子集団を閉じ込めさせながら、加速させる N （但し、 N は整数）台の加速装置と、指定された周期で、1波長分の高周波駆動電圧、またはパルス電圧を各々、発生し、前記各加速装置を個別単位、またはグループ単位で駆動する M （但し、 M は“ $M \quad N$ ”を満たす整数）台の駆動装置とを備え、前記各駆動装置を協調動作させて、前記各加速装置に粒子集団の閉じ込め処理、加速処理を行なわせることを特徴としている。

【0017】

また、請求項2では、加速装置を使用して、粒子集団を閉じ込め、加速させる円形粒子線加速器において、粒子走行距離が短くなるように加速路の各ストレートセクションに各々、分散的に配置され、前記加速路内の粒子集団を閉じ込める処理、または加速させる処理のいずれかを行う N （但し、 N は整数）台の加速装置と、先頭閉じ込め用のパルス電圧発生回路、後方閉じ込め用のパルス電圧発生回路、加速用のパルス電圧発生回路のいずれかを持ち、指定された周期で、指定された電圧値のパルス電圧を各々、発生し、前記各加速装置を個別単位、またはグループ単位で駆動する M （但し、 M は“ $M \quad N$ ”を満たす整数）台の駆動装置とを備え、前記各加速装置を構成する、粒子集団の先頭閉じ込め処理を行う各加速装置、粒子集団の後方閉じ込め処理を行う各加速装置、粒子集団の加速処理を行う各加速装置を協調動作させて、粒子集団の閉じ込め処理、加速処理を行なわせることを特徴としている。

10

【0018】

また、請求項3では、加速装置を使用して、粒子集団を閉じ込め、加速させる円形粒子線加速器において、粒子走行距離が短くなるように加速路の各ストレートセクションに各々、分散的に配置され、前記加速路内の粒子集団を閉じ込める動作、または加速させる動作のいずれか一方を行う $L \times N$ （但し、 L 、 N は整数）台の加速器と、指定された周期で、指定された電圧値にされた、1波長分の高周波駆動電圧、またはパルス電圧を発生し、前記各加速装置を個別単位、またはグループ単位で駆動する M （但し、 M は“ $M \quad L \times N$ ”を満たす整数）台の駆動装置とを備え、前記加速路内の粒子集団を閉じ込めるのに必要な本来の誘導起電圧値と、加速させるのに必要な本来の誘導起電圧値との比率“ $M : 1$ ”（但し、 M は整数）に基づき、前記各加速器のうち、 $L \times N \times (M - 1) / M$ 台に閉じ込め動作を割り当てるとともに、 $L \times N \times 1 / M$ 台に加速動作を割り当てて、前記各駆動装置を協調動作させ、粒子集団の閉じ込め処理、加速処理を行なわせることを特徴としている。

20

30

【発明の効果】

【0019】

本発明による、請求項1の円形粒子線加速器では、加速装置を稼働させる際の電圧値、電流値を低く抑えさせながら、短い時間で、十分な速度まで、粒子集団を加速させることができる。

【0020】

また、請求項2の円形粒子線加速器では、加速装置を稼働させるのに必要な駆動装置の回路構成を簡素化させて、システム全体のコストを大幅に低減させ、さらに加速装置を稼働させる際の電圧値、電流値を低く抑えさせながら、短い時間で、十分な速度まで、粒子集団を加速させることができる。

40

【0021】

また、請求項3の円形粒子線加速器では、単一の高周波駆動電圧、パルス電圧で、加速装置を稼働させて、システム全体のコストを大幅に低減させ、さらに加速装置を稼働させる際の電圧値、電流値を低く抑えさせながら、短い時間で、十分な速度まで、粒子集団を加速させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明による円形粒子線加速器のうち、請求項1に対応する形態を示す概略平面図である。

50

【図 2】図 1 に示す各加速装置、各駆動装置の電気的な特性を示す等価回路図である。

【図 3】一般的な円形粒子線加速器で使用されている各加速装置、各駆動装置の電気的な特性を示す等価回路図である。

【図 4】図 1 に示す円形粒子線加速器で使用されている各加速装置、各駆動装置の電気的な特性と、一般的な円形粒子線加速器で使用されている各加速装置、各駆動装置の電気的な特性とを示す表である。

【図 5】図 1 に示す円形粒子線加速器と、一般的な円形粒子線加速器とを示す概略平面図である。

【図 6】本発明による円形粒子線加速器のうち、請求項 2 に対応する形態を示す概略平面図である。

10

【図 7】図 6 に示す各加速装置、各駆動装置のうち、先端閉じ込め処理を行う加速装置、駆動装置の電気的な特性を示す等価回路図である。

【図 8】図 7 に示す加速装置、駆動装置で、先端閉じ込め処理される先頭閉じ込め粒子群、加速粒子群の一例を示す模式図である。

【図 9】図 6 に示す各加速装置、各駆動装置のうち、後方閉じ込め処理を行う加速装置、駆動装置の電気的な特性を示す等価回路図である。

【図 10】図 9 に示す加速装置、駆動装置で、後方閉じ込め処理される後方閉じ込め粒子群、加速粒子群の一例を示す模式図である。

【図 11】図 6 に示す各加速装置、各駆動装置のうち、加速処理を行う加速装置、駆動装置の電気的な特性を示す等価回路図である。

20

【図 12】図 11 に示す加速装置、駆動装置で、加速処理される加速粒子群の一例を示す模式図である。

【図 13】本発明による円形粒子線加速器のうち、請求項 3 に対応する形態を示す概略平面図である。

【図 14】図 13 に示す各加速装置の詳細な構成例を示す概略平面図である。

【図 15】従来から知られている円形粒子線加速器の一例を示す概略構成図である。

【図 16】図 15 に示す加速装置部分の一般的な回路構成例を示す等価回路図である。

【図 17】自己場による粒子進行方向分散の様子を示す模式図である。

【図 18】粒子走行距離に対する運動量の散逸現象の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0023】

1. 本発明の第 1 の実施の形態

図 1 は本発明による円形粒子線加速器のうち、請求項 1 に対応する形態を示す概略平面図である。

【0024】

図 1 に示す円形粒子線加速器 1 a は、粒子集群の通り路となる複数の真空ダクト 2 を連結して形成される正多角形状（ほぼ円形状）の加速路 3 と、加速路 3 と連通する真空ダクト 4 によって構成され、粒子発生源で得られた粒子を加速路 3 内に導く入射路 5 と、加速路 3 と連通する真空ダクト 6 によって構成され、加速路 3 で十分に加速された粒子集群を取り出す出射路 7 と、加速路 3 の各所に配置され、加速路 3 内で加速される粒子集群の進路を偏向させる複数の偏向電磁石 8 と、加速路 3 の各ストレートセクション（偏向電磁石 8 が無いスペース）9 に取り付けられ、加速させる N 台、例えば 16 台の加速装置 10 a とを備えている。

40

【0025】

そして、粒子発生源で得られた粒子を粒子発生源 入射路 5 加速路 3 なる経路で加速路 3 内に導き、各偏向電磁石 8 によって、加速路 3 内の粒子集群を偏向させて、粒子集群の軌道を加速路 3 の中心線とほぼ一致させながら、N 台の加速装置 10 a によって、加速路 3 内の粒子集群を連続的に加速させた後、十分に加速させた粒子集群を加速路 3 出射路 7 ターゲットなる経路で、ターゲットに導く。

【0026】

50

各加速装置 10 a は各々、粒子集群の通り路となる加速空洞と、加速空洞内に配置される筒状の磁性体と、磁性体に巻き付けられる一次巻き線と、磁性体に巻き付けられる二次巻き線（加速空洞のギャップを含む部分）とを備えており、電気的には、図 2 に示す如く厚さ数センチメートル程度のトロイダルコア 20 などによって構成される磁性体 21 と、磁性体 21 に巻き付けられる一次巻き線 22 と、磁性体 21 に巻き付けられる二次巻き線 23 とによって表すことができる。

【0027】

そして、各駆動装置 24 の半導体スイッチング素子 25 を同時にスイッチングさせて、各コンデンサ 26 に蓄積されている電荷を各々、放電させることにより、1KV 程度の電圧値で、各一次巻き線 22 に一次電流（1 波長分の高周波駆動電流、または短いパルス電流、長いパルス電流）を各々、供給し、このとき発生する磁束によって、各二次巻き線 23 に誘導起電圧を各々、発生させ、これらを重畳させた誘導起電圧で、加速路 3 内の粒子集群を閉じ込めながら、加速させる。

10

【0028】

このように、この形態では、1KV 程度の電圧値を持つ 1 波長分の高周波駆動電圧、または短いパルス電圧、長いパルス電圧で稼働させることができる N 台の加速装置 10 a によって、 $N \times 1KV$ に相当する誘導起電圧で、加速路 3 内の粒子集群を閉じ込めながら、加速させることができることから、図 3（図 16 に対応する図）に示す如く NKV の電圧値を持つ 1 波長分の高周波駆動電圧で、加速路 3 内の粒子集群を閉じ込めながら、加速させる 1 台の加速装置 10 9 と同等な加速性能を得ることができる（請求項 1 の効果）。

20

【0029】

さらに、各半導体スイッチング素子 25 が電気的に分離されているので、制御の自由度を大幅に高めさせることができるとともに、各半導体スイッチング素子 25 のスイッチングタイミングがずれても、各半導体スイッチング素子 25 が過負荷状態にならないようにすることができる。これにより、図 4 の比較表 27 に示す如く各半導体スイッチング素子 25 の耐圧値などをそのまま使用して、各駆動装置 24 を設計することができ、コストを抑制させることができる（請求項 1 の効果）。

【0030】

また、各駆動装置 24 を構成する抵抗器、伝送線（例えば、同軸ケーブル）28 などの個別受動素子を高耐圧仕様にする必要が無いことから、各個別受動素子を小型化させることができるのみならず、各個別受動素子の高周波特性を向上させることができる（請求項 1 の効果）。

30

【0031】

さらに、各加速装置 10 a を小型化させることができ、これによって最近、小型化が進んだ粒子線を出し入れする機器、補正電磁石、粒子線診断装置などと組み合わせることにより、図 5 に示す如く各ストレートセクション 9 を小さくして、円形粒子線加速器 1 a 全体をコンパクト化させることができる（請求項 1 の効果）。

【0032】

2. 本発明の第 2 の実施の形態

図 6 は本発明による円形粒子線加速器のうち、請求項 2 に対応する形態を示す概略平面図である。なお、図 6 において、図 1 の各部と対応する部分には、同じ符号が付してある。

40

【0033】

図 6 に示す円形粒子線加速器 1 b が、図 1 に示す円形粒子線加速器 1 a と異なる点は、閉じ込め機能、加速機能を併せ持つ加速装置 10 a に代えて、閉じ込め機能、または加速機能のうち、いずれか一方の機能のみを持つ加速装置 10 b を配置したことである。

【0034】

この際、粒子集群の先端閉じ込め機能のみを持たせるときには、図 7 に示す駆動装置 31 を使用して、加速装置 10 b をパルス駆動する。

【0035】

50

図 7 に示す駆動装置 3 1 は、1 K V ~ 3 K V 程度の電圧値となるように充電されるコンデンサ 3 2 と、コンデンサ 3 2 に蓄積されている電荷を放電させる半導体スイッチング素子 3 3 と、コンデンサ 3 2 に蓄積されている電荷を使用して、クロス方式（逆相方式）で、加速装置 1 0 b の一次巻き線 3 4 に一時電流を供給し、磁性体 3 5 に磁束を発生させるパルス伝送線（同軸ケーブル）3 6 と、一次巻き線 3 4 に対する給電が終了したとき、一次巻き線 3 4 に生じる逆起電流を通過させる帰還ダイオード 3 7 と、帰還ダイオード 3 7 がオン状態になっているとき、逆起電流を通過させながら、減衰させる抵抗器 3 8 とを備えている。

【 0 0 3 6 】

そして、コンデンサ 3 2 に十分な電荷を蓄積させた状態で、半導体スイッチング素子 3 3 をオンさせて、コンデンサ 3 2 の正電極側 パルス伝送線 3 6 加速装置 1 0 b の一次巻き線 3 4 パルス伝送線 3 6 半導体スイッチング素子 3 3 コンデンサ 3 2 の負電極側なる経路で、加速装置 1 0 b の一次巻き線 3 4 に一次電流を供給して、加速装置 1 0 b の二次巻き線 3 9 に誘導起電圧を発生させ、図 8 に示す如く加速路 3 内を通過する粒子集団の先端部分（先端閉じ込め粒子群）の速度を遅くさせて、粒子集団の中央部分（加速粒子群）に集合させる。

【 0 0 3 7 】

この後、半導体スイッチング素子 3 3 をオフさせて、コンデンサ 3 2 の放電を停止させるとともに、加速装置 1 0 b を構成する一次巻き線 3 4 の正電圧側 パルス伝送線 3 6 抵抗器 3 8 帰還ダイオード 3 7 パルス伝送線 3 6 加速装置 1 0 b を構成する一次巻き線 3 4 の負電圧側なる経路で流れる帰還電流を抵抗器 3 8 で減衰させて、加速装置 1 0 b の一次巻き線 3 4 に発生した逆起電圧を急激に減衰させる。

【 0 0 3 8 】

また、粒子集団の後方閉じ込め機能のみを持たせるときには、図 9 に示す駆動装置 4 1 を使用して、加速装置 1 0 b をパルス駆動する。

【 0 0 3 9 】

図 9 に示す駆動装置 4 1 は、1 K V ~ 3 K V 程度の電圧値となるように充電されるコンデンサ 4 2 と、コンデンサ 4 2 に蓄積されている電荷を放電させる半導体スイッチング素子 4 3 と、コンデンサ 4 2 に蓄積されている電荷を使用して、ストレート方式（同相方式）で、加速装置 1 0 b の一次巻き線 3 4 に一時電流を供給し、磁性体 3 5 に磁束を発生させるパルス伝送線（同軸ケーブル）4 4 と、一次巻き線 3 4 に対する給電が終了したとき、一次巻き線 3 4 に生じる逆起電流を通過させる帰還ダイオード 4 5 と、帰還ダイオード 4 5 がオン状態になっているとき、逆起電流を通過させながら、減衰させる抵抗器 4 6 とを備えている。

【 0 0 4 0 】

そして、コンデンサ 4 2 に十分な電荷を蓄積させた状態で、半導体スイッチング素子 4 3 をオンさせて、コンデンサ 4 2 の正電極側 パルス伝送線 4 4 加速装置 1 0 b を構成する一次巻き線 3 4 パルス伝送線 4 4 半導体スイッチング素子 4 3 コンデンサ 4 2 の負電極側なる経路で、加速装置 1 0 b の一次巻き線 3 4 に一次電流を供給して、加速装置 1 0 b の二次巻き線 3 9 に誘導起電圧を発生させ、図 1 0 に示す如く加速路 3 内を通過する粒子集団の後方部分（後方閉じ込め粒子群）の速度を速くさせて、粒子集団の中央部分（加速粒子群）に集合させる。

【 0 0 4 1 】

この後、半導体スイッチング素子 4 3 をオフさせて、コンデンサ 4 2 の放電を停止させるとともに、加速装置 1 0 b を構成する一次巻き線 3 4 の正電圧側 パルス伝送線 4 4 抵抗器 4 6 帰還ダイオード 4 5 パルス伝送線 4 4 加速装置 1 0 b を構成する一次巻き線 3 4 の負電圧側なる経路で流れる帰還電流を抵抗器 4 6 で減衰させて、加速装置 1 0 b の一次巻き線 3 4 に発生した逆起電圧を急激に減衰させる。

【 0 0 4 2 】

また、粒子集団の加速機能のみを持たせるときには、図 1 1 に示す駆動装置 5 1 を使用

10

20

30

40

50

して、加速装置 10b をパルス駆動する。

【0043】

図 11 に示す駆動装置 51 は、1KV 程度の電圧値となるように充電されるコンデンサ 52 と、コンデンサ 52 に蓄積されている電荷を放電させる半導体スイッチング素子 53 と、コンデンサ 52 に蓄積されている電荷を使用して、フライバック方式で、加速装置 10b の一次巻き線 34 に一時電流を供給し、磁性体 35 に磁束を発生させるパルス伝送線（同軸ケーブル）54 とを備えている。

【0044】

そして、コンデンサ 52 に十分な電荷を蓄積させた状態で、半導体スイッチング素子 53 をオンさせて、コンデンサ 52 の正電極側 パルス伝送線 54 加速装置 10b の一次巻き線 34 パルス伝送線 54 半導体スイッチング素子 53 コンデンサ 52 の負電極側なる経路で、加速装置 10b の一次巻き線 34 に一次電流を供給して、加速装置 10b の二次巻き線 39 に誘導起電圧を発生させ、図 12 に示す如く加速路 3 内を通過する粒子集団（加速粒子群）を加速させる。

【0045】

このように、この形態では、各半導体スイッチング素子 33、43、53 として、一般的に入手可能な低電圧規格の半導体スイッチング素子を使用させて、各コンデンサ 32、42、52 の放電時間を制御させ、パルス状の一次電流を出力させるようにしているので、簡単なパルス回路だけで、駆動装置 31、41、51 を構成させることができ、これによって駆動装置 31、41、51 の製造コストを飛躍的に低減させることができる。

【0046】

3. 本発明の第 3 の実施の形態

図 13 は、本発明による円形粒子線加速器のうち、請求項 3 に対応する形態を示す概略平面図である。なお、図 13 において、図 1 の各部と対応する部分には、同じ符号が付してある。

【0047】

図 13 に示す円形粒子線加速器 1c が図 1 に示す円形粒子線加速器 1a と異なる点は、閉じ込め機能、加速機能を併せ持つ加速装置 10a に代えて、閉じ込め機能、または加速機能のうち、いずれか一方の機能のみを持つ加速装置 10c を配置するとともに、これら各加速装置 10c を駆動する駆動装置の出力電圧を同一（または、ほぼ同一）にして、駆動装置の規格化を容易にさせ、システム全体の製造コストを低減させるようにしたことである。

【0048】

各加速装置 10c は、図 14 に示す如く 500V 程度の電圧値にされた 1 波長分の高周波駆動電圧を使用して、閉じ込め機能、または加速機能のうち、いずれか一方の機能のみを実現する第 1 加速器 61 と、この第 1 加速器 61 に隣接するように配置され、500V 程度の電圧値にされた 1 波長分の高周波駆動電圧を使用して、閉じ込め機能、または加速機能のうち、いずれか一方の機能のみを実現する第 2 誘導加速器 62 とによって構成される。

【0049】

そして、ストレートセクション 9 の一方に配置される加速装置 10c、例えば粒子集団（加速粒子群）の先頭側となる加速装置 10c の第 1 加速器 61 に、高周波駆動電圧の平坦な部分（頂点部分）を使用させて、粒子集団の加速処理を行わせる。

【0050】

また、ストレートセクション 9 の一方に配置される加速装置 10c、例えば粒子集団（加速粒子群）の先頭側となる加速装置 10c の第 2 加速器 62 と、ストレートセクション 9 の他方に配置される加速装置 10c、例えば粒子集団（加速粒子群）の後方側となる加速装置 10c の第 1 加速器 61 と、第 2 誘導加速器 62 とに、高周波駆動電圧の傾き部分を使用させて、粒子集団の閉じ込め処理を行わせる。

【0051】

10

20

30

40

50

これにより、円形粒子線加速器 1 c において、加速処理に必要な電圧値と、閉じ込め処理に必要な電圧値との比を“ 1 : 3 ”に保持させながら、高電圧、大電流に対応するように特化され、加速機能、閉じ込め機能を併せ持つ機能結合型の加速装置 1 0 a に比べ、汎用性を高くさせるとともに、低電圧化をさらに進めさせ、また磁性体などの寸法を小さくさせることができる。

【 0 0 5 2 】

この結果、円形粒子線加速器 1 c 全体の製造コストをさらに低減させることができるとともに、局在化自動制御を容易にさせることができる。

【符号の説明】

【 0 0 5 3 】

1 a、1 b、1 c : 円形粒子線加速器

2 : 真空ダクト

3 : 加速路

4 : 真空ダクト

5 : 入射路

6 : 真空ダクト

7 : 出射路

8 : 偏向電磁石

9 : ストレートセクション

1 0 a、1 0 b、1 0 c : 加速装置

2 0 : トロイダルコア

2 1 : 磁性体

2 2 : 一次巻き線

2 3 : 二次巻き線

2 4 : 駆動装置

2 5 : 半導体スイッチング素子

2 6 : コンデンサ

3 1 : 駆動装置

3 2 : コンデンサ

3 3 : 半導体スイッチング素子

3 4 : 一次巻き線

3 5 : 磁性体

3 6 : パルス伝送線

3 7 : 帰還ダイオード

3 8 : 抵抗器

3 9 : 二次巻き線

4 1 : 駆動装置

4 2 : コンデンサ

4 3 : 半導体スイッチング素子

4 4 : パルス伝送線

4 5 : 帰還ダイオード

4 6 : 抵抗器

5 1 : 駆動装置

5 2 : コンデンサ

5 3 : 半導体スイッチング素子

5 4 : パルス伝送線

6 1 : 第 1 加速器

6 2 : 第 2 誘導加速器

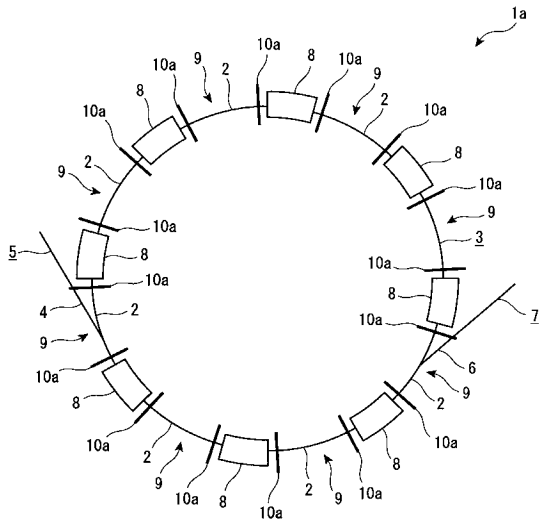
10

20

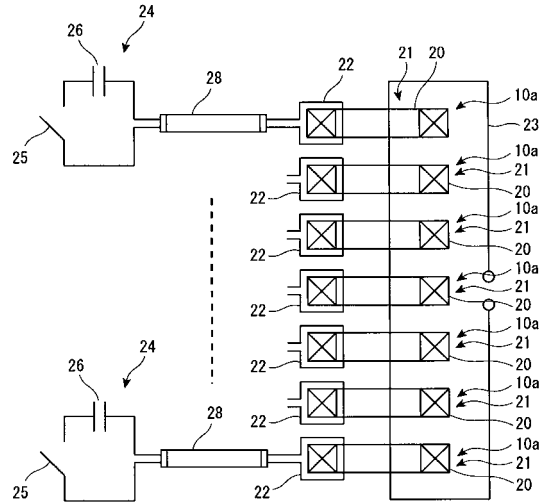
30

40

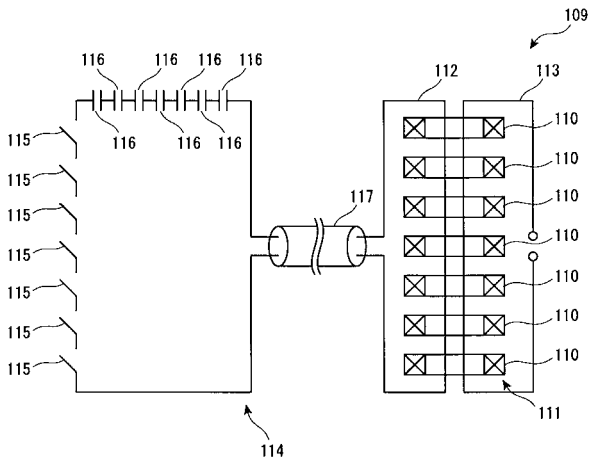
【 図 1 】



【 図 2 】



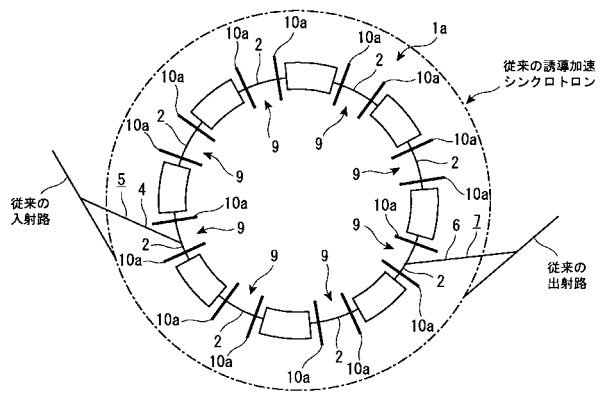
【 図 3 】



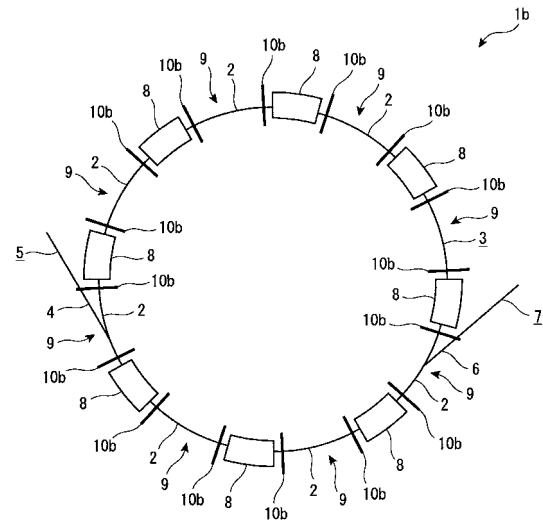
【 図 4 】

型	個別	総合	従来技法との効果比較
基本電圧	1/N	(同等)	個別軽減効果
インダクタンス	1/N	(同等)	個別軽減効果
基本電流	1	(同等)	同等
基本電力	1/N	1	同等
ヒステリシス損失	1	(同等)	同等
渦電流損失	1/N ²	1/N	軽減効果
設置スペース	~2/N	2(フランジ数増加の為)	劣
高電圧制御	無	無	無
低電圧制御	同等	増	増
給電線	低電力線	(線は同等だが、コネクタ数増。但し、市販品で可)	同等
電気絶縁対策	低レベル	—	優
出力制御自由度	有	N	優

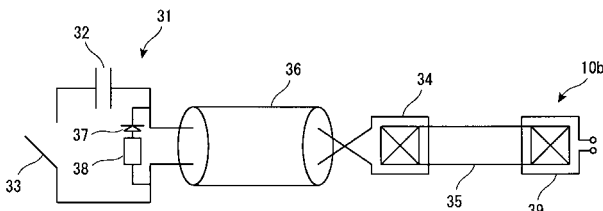
【 図 5 】



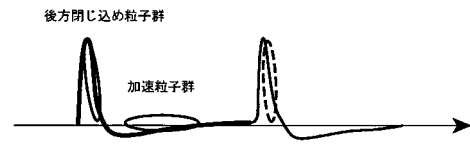
【 図 6 】



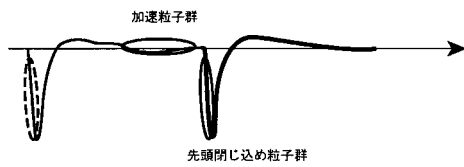
【 図 7 】



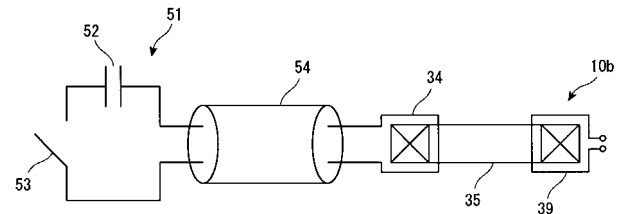
【 図 10 】



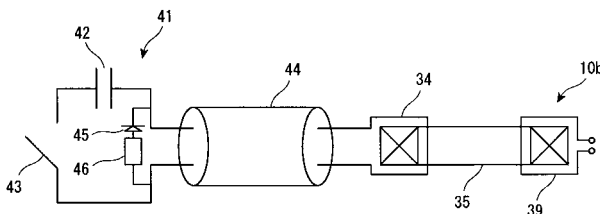
【 図 8 】



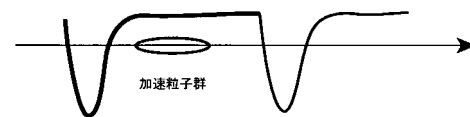
【 図 11 】



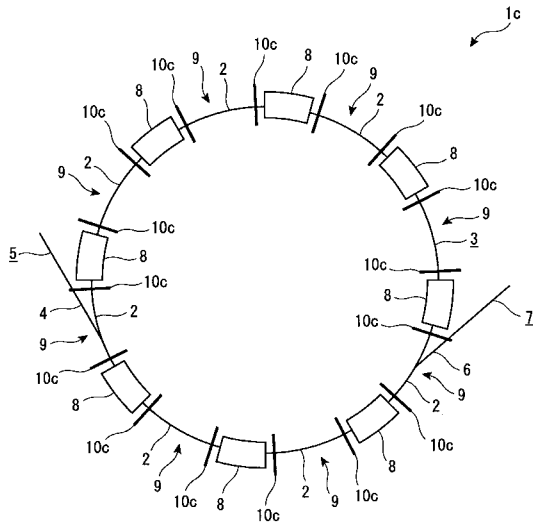
【 図 9 】



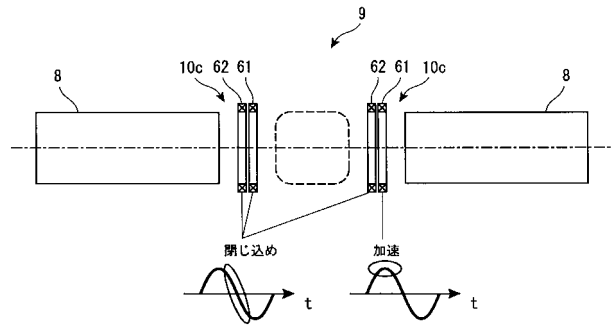
【 図 12 】



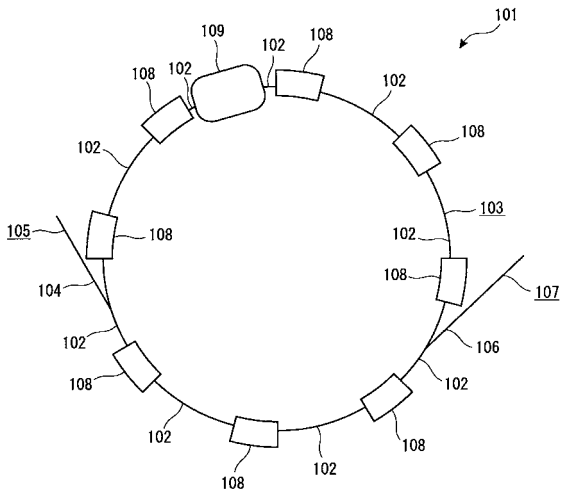
【 図 1 3 】



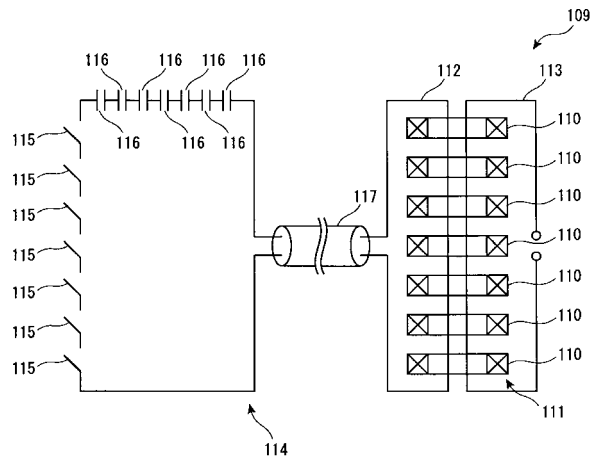
【 図 1 4 】



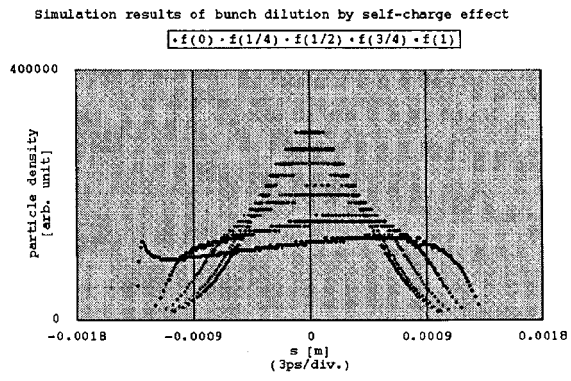
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 17 】



【 18 】

