

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2003-142299
(P2003-142299A)

(43)公開日 平成15年5月16日 (2003.5.16)

| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テームコード*(参考) |
|--------------------------|------|---------------|-------------|
| H 0 5 H 13/04 | | H 0 5 H 13/04 | E 2 G 0 8 5 |
| G 2 1 C 1/00 | | G 2 1 C 1/00 | A 5 E 0 4 8 |
| | 1/30 | | |
| H 0 1 F 7/06 | | H 0 1 F 7/06 | E |
| | | | Z |

審査請求 有 請求項の数4 O L (全 4 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-334461(P2001-334461)

(22)出願日 平成13年10月31日(2001.10.31)

(71)出願人 391012707
高エネルギー加速器研究機構長
茨城県つくば市大穂1番地1

(72)発明者 森 義治
茨城県土浦市板谷2-3322-32

(74)代理人 100072051
弁理士 杉村 興作 (外1名)

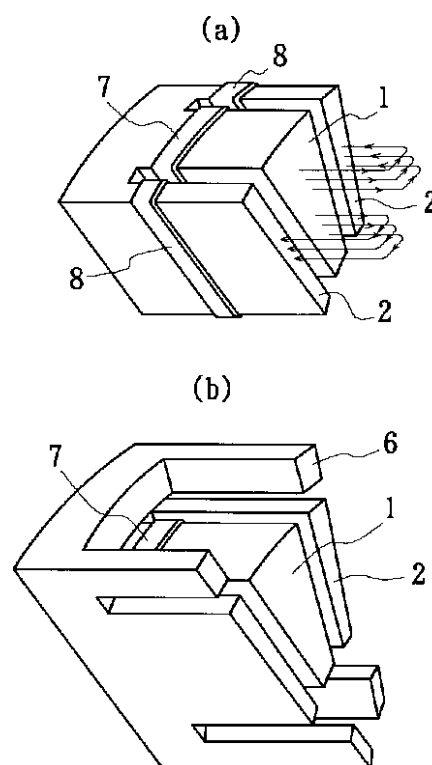
Fターム(参考) 2G085 AA13 BA15 BC18
5E048 AB10

(54)【発明の名称】 F F A G加速器用電磁石

(57)【要約】

【課題】 ビームの入射、取り出しが容易なだけでなく、小型化および超伝導化が可能で、しかも収束・発散磁場強度の制御も容易な F F A G 加速器用電磁石を提供する。

【解決手段】 集束磁石を挟んで両側に発散磁石をそなえる F F A G 加速器用電磁石において、集束磁石および発散磁石で発生させたフラックスを、直接、発散磁石および集束磁石に戻す、正・逆磁場の閉じた磁気回路とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 集束磁石を挟んで両側に発散磁石をそなえるFFAG加速器用電磁石において、集束磁石および発散磁石で発生させたフラックスを、直接、発散磁石および集束磁石に戻す、正・逆磁場の閉じた磁気回路を形成することを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【請求項2】 請求項1において、電磁石用コイルを中央の集束磁石のみに設け、逆磁場部である発散磁石はリターンフラックスとすることを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【請求項3】 請求項1または2において、発散磁石の両端部の一方または両方に、逆磁場部の磁場抵抗を小さくするためのシャントヨークを設けたことを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【請求項4】 請求項2または3において、集束磁石を構成する電磁石が超伝導磁石であることを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、FFAG加速器用電磁石に関し、特にFFAG加速器において、ビームの入射、取り出しを容易にすると共に、ビームの集束・発散磁場強度の制御を容易ならしめようとするものである。この発明に係るFFAG加速器は、原子力工学の分野を始めとして、医学や半導体、さらにはバイオ、情報、環境などの各種分野に適用されるものである。

【0002】

【従来の技術】近年、新しい核エネルギーの生成法として、加速器駆動による未臨界原子炉を用いたエネルギー増幅系が注目されている。この方式では、従来の加速器における電力効率に比べると、一桁以上の飛躍的なエネルギー効率が必要とされる。

【0003】このような要求に応え得る加速器として有力視されているのが、固定磁場強集束型シンクロトロン（Fixed Field Alternating Gradient Synchrotron：以下、FFAG加速器という）である。このFFAG加速器は、高効率なだけでなく、高繰り返し加速が可能という、優れた特徴を有している。

【0004】図1に、ラジアル・セクター型のFFAG加速器の構造を模式図で示す。ラジアル・セクター型では、磁場の符号が違う磁場を交互に並べることによって、強集束を実現するもので、図中、番号1が集束磁石（F）、2が集束磁石1の両側に設けられた発散磁石（D）であり、この例ではかようなDFDを1セルとする加速器用電磁石が8個設けられている。なお、同図では、加速器の下側半分しか示していないが、その上側にも、同じ構造のものが、各磁石が正対する形で存在している。そして、各電磁石の外周側および内周側にはそれぞれリターンヨーク3、4が設けられていて、集束磁石1および発散磁石2で発生させたフラックスはそれぞれ

れ、これらリターンヨーク3、4を介して正・逆の磁気回路を構成する仕組みになっている。また、5は、高周波（RF）加速装置であり、FFAG加速器一台当たり、数台が加速器用電磁石の間に配置される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のFFAG加速器用電磁石は、上記したようなリターンヨークを有する構造になっていることから、ビームの入射および取り出しが困難なところに問題を残していた。また、FFAG加速器用の電磁石としては、一層の小型化および超伝導化が要求されているが、従来の電磁石ではかような要求に対しても対応が難しいという問題を抱えていた。

【0006】この発明は、上記の現状に鑑み開発されたもので、ビームの入射、取り出しが容易なだけでなく、小型化および超伝導化が可能で、しかも収束・発散磁場強度の制御も容易なFFAG加速器用電磁石を提案することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】さて、発明者は、上記の目的を達成すべく鋭意研究を重ねた結果、FFAG加速器におけるビーム軌道保持用磁場の形状が正・逆交番磁場であることに注目し、集束磁石で発生させたフラックスを、リターンヨークを介さずに直接、発散磁石に戻す磁気回路とすることにより、リターンヨークを省略することができ、かくしてビームの入射、取り出しが容易になることの知見を得た。また、上記の構造にすれば、電磁石用コイルは、中央の集束磁石のみに設けるだけでも良く、逆磁場部はリターンフラックスとすることができるので、磁石の小型化が可能になるだけでなく、超伝導化も可能となることの知見を得た。さらに、逆磁場部のみに磁気抵抗を小さくするヨークを設けることによって、収束・発散磁場強度の制御も容易になることの知見を得た。この発明は、上記の知見に立脚するものである。

【0008】すなわち、この発明の要旨構成は次のとおりである。

1. 集束磁石を挟んで両側に発散磁石をそなえるFFAG加速器用電磁石において、集束磁石で発生させたフラックスを、直接、発散磁石に戻す、正・逆磁場の閉じた磁気回路を形成することを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【0009】2. 上記1において、電磁石用コイルを中央の集束磁石のみに設け、逆磁場部である発散磁石はリターンフラックスとすることを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【0010】3. 上記1または2において、発散磁石の両端部の一方または両方に、逆磁場部の磁場抵抗を小さくするためのシャントヨークを設けたことを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【0011】4. 上記2または3において、集束磁石を構成する電磁石が超伝導磁石であることを特徴とするFFAG加速器用電磁石。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、この発明を図面に従い具体的に説明する。図2に、FFAG加速器において従来用いられてきた電磁石を斜視図で示す。かような従来の電磁石では、集束磁石1および発散磁石2で発生させたフラックスはそれぞれ、同図に矢印で示したように、リターンヨーク3, 4を介して磁気回路を構成する仕組みになっていて、かかるリターンヨーク3, 4は必須のもととされていた。しかしながら、このようなリターンヨーク3, 4が存在すると、図1に破線で示したように、ビームの入射および取り出しは、かようなリターンヨーク3, 4を避けて行わなければなかったことから、その実施は極めて難しかったのである。

【0013】次に、図3(a), (b)にそれぞれ、この発明に従うFFAG加速器用電磁石を斜視面で示す。特に同図(b)は、発散磁石2の両端部にシャントヨーク6を設けた場合である。なお、図中番号7, 8はそれぞれ、集束磁石および発散磁石用のコイルである。図3(a)に示したところにおいて、集束磁石1および発散磁石2で発生させたフラックスはそれぞれ、発散磁石2および集束磁石1に直接戻す、いわゆる正・逆磁場の閉じた磁気回路を形成する。従って、従来、不可欠とされたリターンヨークは必要ない。

【0014】ところで、図3(a)の構造では、逆磁場部のフラックスの調整ができない。しかしながら、この点については、同図(b)に示したように、発散磁石2の両端部の少なくとも一方にシャントヨーク6を設け、リターンフラックスの一部をこのシャントヨーク6に流すようにすれば、逆磁場部の発散磁場強度の大きさの調整も自在にできるようになる。

【0015】かくして、FFAG加速器用電磁石を、図3(a), (b)に示したような構造にすれば、図4に破線で示すように、ビームの入射および取り出しがどの位置からでもできるようになり、その結果、従来に比べてビームの入射および取り出しが格段に容易になる。

【0016】さらに、従来は、このようなリターンヨークが必要であったことから、その小型化および超伝導化が難しかった。しかしながら、図3(a), (b)に示したようなこの発明に従う電磁石では、かようなリターンヨ

クが必要なく、さらに電磁石用コイルは中央部の集束磁石のみに設け、逆磁場部である発散磁石はリターンフラックスで構成する構造とすることができるので、小型化および超伝導化も容易となる。

【0017】このように、この発明の電磁石では、基本的磁場が一つのコイルで形成できるので、構造が極めて簡単となる利点もある。すなわち、正磁場をつくる電磁石でもって、同時に逆磁場をつくることができ、FFAG加速器にとっての基本構造である収束・発散の磁場構成に適合させることが可能となる。

【0018】なお、参考のために、図5に、この発明に従うFFAG加速器用電磁石の全体を斜視面で示す。この例は、集束磁石および発散磁石のそれぞれが、電磁石用のコイルを有し、かつ発散磁石の両端部にシャントヨークを設けた場合である。なお、図中、 I_F は集束コイル電流、 I_D は発散コイル電流、そして B_F は集束磁場、 B_D は発散磁場(逆磁場)である。

【0019】

【発明の効果】かくして、この発明によれば、ビームの入射、取り出しが容易だけでなく、小型化および超伝導化が可能で、しかも収束・発散磁場強度の制御も容易なFFAG加速器用電磁石を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のFFAG加速器の模式図である。

【図2】従来のFFAG加速器用電磁石の模式図である。

【図3】この発明に従うFFAG加速器用電磁石の模式図である。

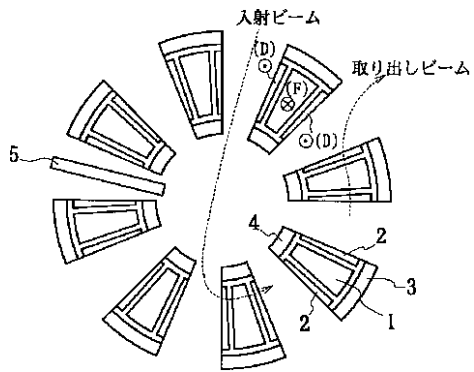
【図4】この発明に従うFFAG加速器の模式図である。

【図5】この発明に従うFFAG加速器用電磁石の全体を示す斜視図である。

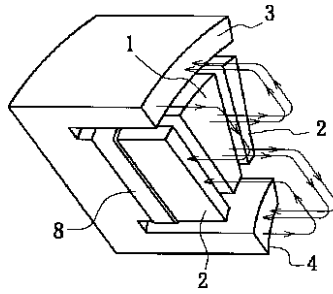
【符号の説明】

- 1 集束磁石(F)
- 2 発散磁石(D)
- 3 外周側リターンヨーク
- 4 内周側リターンヨーク
- 5 高周波(RF)加速装置
- 6 シャントヨーク
- 7 集束磁石用のコイル
- 8 発散磁石用のコイル

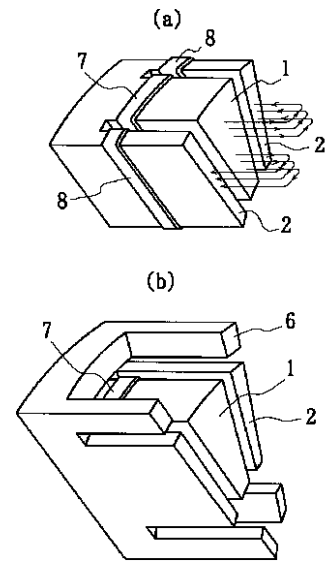
【図1】



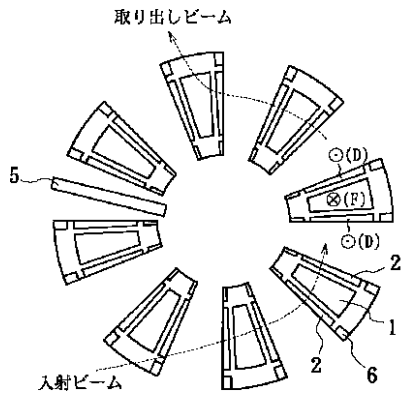
【図2】



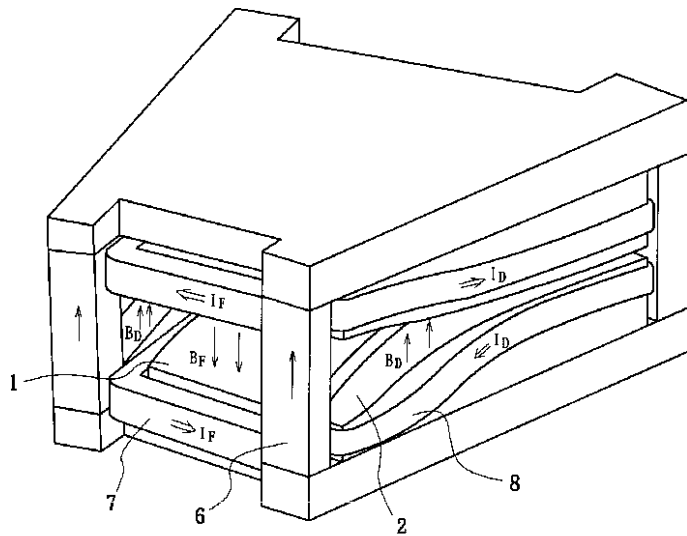
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
H05H 13/08

識別記号

F I
H05H 13/08

ターマード(参考)