

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

**特許第3761836号**  
**(P3761836)**

(45) 発行日 平成18年3月29日(2006.3.29)

(24) 登録日 平成18年1月20日(2006.1.20)

(51) Int. Cl.	F I	
H05H 13/04 (2006.01)	H05H 13/04	G
G21K 1/093 (2006.01)	H05H 13/04	E
H05H 7/04 (2006.01)	G21K 1/093	D
H05H 7/08 (2006.01)	H05H 7/04	
H05H 7/10 (2006.01)	H05H 7/08	

請求項の数 4 (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-131715 (P2002-131715)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成14年5月7日(2002.5.7)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2003-332100 (P2003-332100A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成15年11月21日(2003.11.21)	(74) 代理人	100073759
審査請求日	平成16年5月20日(2004.5.20)		弁理士 大岩 増雄
		(74) 代理人	100093562
			弁理士 児玉 俊英
		(74) 代理人	100088199
			弁理士 竹中 岑生
		(74) 代理人	100094916
			弁理士 村上 啓吾
		(72) 発明者	松井 重明
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加速器用入出射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周回ビーム用のセプトムコイルとリターンコイル、入出射ビーム用のセプトムコイルとリターンコイル、上記周回ビーム用両コイルのコア部分と上記入出射ビーム用の両コイルのコア部分を含むコアを有し、周回するビーム軌道と入出射するビーム軌道を共に偏向するセプトム電磁石を有する加速器用入出射装置において、  
上記セプトム電磁石の入出射ビームの通過する磁極空間の断面積を形成する磁極間隙を周回ビームが通過する磁極空間の磁極間隙よりも小さくし、上記入出射ビーム用のセプトムコイルとリターンコイルの起磁力を低減すると共に、上記入出射ビーム用のセプトムコイルとリターンコイルおよびこれら両コイル用のコア部分を、上記周回ビーム用のセプトムコイルとリターンコイルおよびこれら両コイル用のコア部分より小型化したことを特徴とする加速器用入出射装置。

【請求項2】

周回ビーム用のセプトムコイルとリターンコイル、入出射ビーム用のセプトムコイルとリターンコイル、上記周回ビーム用両コイルのコア部分と上記入出射ビーム用の両コイルのコア部分を含むコアを有し、周回するビーム軌道と入出射するビーム軌道を共に偏向するセプトム電磁石を有する加速器用入出射装置において、  
上記セプトム電磁石のコアは中央部に空間部を有するコアとし、  
上記コアの空間部に、上記入出射ビーム用リターンコイル、入出射ビームと周回ビームとが通過する真空容器、上記周回ビーム用リターンコイルの順に配置すると共に、

上記真空容器内の入出射ビームが通過する部分と上記周回ビームが通過する部分との間に上記入出射ビーム用セプタムコイル、絶縁スペーサ、上記周回ビーム用セプタムコイルを順に配置し、

上記絶縁スペーサは複数のスペーサを間隔を介して上記入出射ビーム用と周回ビーム用の両セプタムコイル間に密接挟持させ、各スペーサ及び上記両セプタムコイルによって囲まれた空間を外部からの冷媒が通過する冷媒通路としたことを特徴とする加速器用入出射装置。

#### 【請求項 3】

周回ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、入出射ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、上記周回ビーム用両コイルのコア部分と上記入出射ビーム用の両コイルのコア部分を含むコアを有し、周回するビーム軌道と入出射するビーム軌道を共に偏向するセプタム電磁石を有する加速器用入出射装置において、

上記コアの空間部に、上記入出射ビームと上記周回ビームとが通過すると共に、上記電磁石用のセプタムコイルとリターンコイルを内在した真空容器を配置し、

上記真空容器の内部は、上記入出射ビーム用リターンコイル、上記入出射ビームが通過する部分、上記入出射ビーム用セプタムコイル、絶縁スペーサ、上記周回ビーム用セプタムコイル、上記周回ビームが通過する部分、上記周回ビーム用リターンコイルの順に配置し、

上記入出射ビーム用と周回ビーム用の両セプタムコイルは、上記絶縁スペーサを挟持して密接すると共に、上記両セプタムコイルの上記入出射ビームまたは上記周回ビームと対向するコイル表面にそれぞれ熱放射率の高い非金属材料からなるコーティングを施したことを特徴とする加速器用入出射装置。

#### 【請求項 4】

請求項 1 項記載の加速器用入出射装置のセプタム電磁石の構成と、請求項 2 または請求項 3 の加速器用入出射装置のセプタム電磁石の構成とを併せて構成したことを特徴とする加速器用入出射装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

この発明は、研究・医療・工業分野に用いられる粒子線加速装置などに用いられ、入出力ビームを制御する加速器用入出射装置に関するものである。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

図 6 は、例えば「Opposite Field Septum Magnet System for the Separation of Charge d Particle Beams」I.Sakai et al, 17-th International Conference on Magnet Technology, 2001 に示された従来の電磁石の構造図（従来の加速器用入出射装置の縦断面図）である。図 7 は図 6 の A - A 線からみた断面斜視図の概要である。

図において、50 はセプタム電磁石、60 および 70 は補助バンブ電磁石、41, 42, 43, 51, 52, 61, 62 は内部導体、45, 55, 65 はヨーク、47 は第 1 のビーム偏向磁極空隙、49 は第 2 のビーム偏向磁極空隙である。

##### 【0003】

次に動作について説明する。

上流側補助バンブ電磁石 60 の領域では、内部導体 51 および 52 により紙面に垂直下向きの磁場 B3 が存在する。また、セプタム電磁石 50 の第 1 のビーム偏向磁場空隙では内部導体 41 及び 43 により紙面に垂直下向き磁場 B1 が存在し、第 2 のビーム偏向磁場空隙では内部導体 42 及び 43 により紙面に垂直上向き磁場 B2 が存在する。さらに、下流側補助バンブ電磁石 70 の領域では、内部導体 61 および 62 により紙面に垂直下向きの磁場 B4 が存在する。

##### 【0004】

周回及び取り出しビームはどちらも補助バンブ電磁石 60 により、反時計周りの方向に曲

10

20

30

40

50

げられるが、セプタム電磁石50により、取り出しビームは同じく反時計回りに、一方周回ビームは時計回りに曲げられ、ビームの分岐が行われる。下流の補助パンプ電磁石70により、取り出しビームはさらに反時計回りに曲げられ、周回軌道からの分離が進む、一方周回ビームは反時計回りに曲げられることにより、周回軌道に戻される。このようにして、紙面垂直上向きと下向きの対向磁場を併せ持つセプタム電磁石を用いることで、周回ビームと取り出しビームの分離を行うことができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

当該加速器用入出射装置のセプタム電磁石において、入射（出射）ビームは周回ビームに比べてビームサイズが小さいにも関わらず、鉄心の磁極空隙は同一としていた。このため入射（出射）軌道部分については、必要以上の磁極空隙を確保した構造となっていたため、起磁力、コイル、鉄心が無駄に大きくなってしまふという第1の課題があった。

10

【0006】

また、当該加速器用入出射装置のセプタム電磁石において、セプタムコイルを薄くするために真空チャンバー中に設置されることがある。この場合、セプタムコイル中で発生するジュール熱を除去する必要があるが、セプタムコイルが薄いため熱伝導が悪く、また真空中であるため対流による除熱も期待できない。更に薄いセプタムコイルは電気抵抗が高く、ここに大電流を流す必要があるため発熱密度が非常に高くなり、これをいかに冷却してビーム偏向・分離能力を高めるかという第2の課題があった。

【0007】

この発明の第一の発明は上記のような第1の課題を解決するためになされたもので、当該加速器用入出射装置のセプタム電磁石の入射（出射）軌道部の磁極空隙を周回ビーム軌道部の磁極空隙と区別して小さくすることにより、起磁力の低減、磁石の小型化を図ることを第1の目的とする。

20

【0008】

この発明の第二の発明は上記のような第2の課題を解決するためになされたものであり、当該加速器用入出射装置のセプタム電磁石のセプタムコイルを、真空チャンバーを構成する一つの隔壁として使用し、セプタムコイル間に間隙を設けてその間に冷媒を流すことにより、セプタムコイルの冷却効率化・通電容量、引いては当該加速器用入出射装置のビーム分離能力の向上を図ることを目的とする。

30

【0009】

この発明の第三の発明は第二の発明と同じく第2の課題を解決するためになされたものであり、セプタムコイルの表面を熱放射率の優れた物質でコーティングを施し、放射熱伝導性能の向上を図り、通電容量、引いては当該加速器用入出射装置のビーム分離能力の向上を図ることを目的とする。

【0010】

この発明の第四の発明は第一の発明の構成と第二または第三の発明の構成とを併せたセプタム電磁石として、小型化すると共に、冷却効率のよい加速器用入出射装置を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

(1) この発明の請求項1に係る加速器用入出射装置は、周回ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、入出射ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、上記周回ビーム用両コイルのコア部分と上記入出射ビーム用の両コイルのコア部分を含むコアを有し、周回するビーム軌道と入出射するビーム軌道を共に偏向するセプタム電磁石を有する加速器用入出射装置において、上記セプタム電磁石の入出射ビームの通過する磁極空間の断面積を形成する磁極間隙を周回ビームが通過する磁極空間の磁極間隙よりも小さくし、上記入出射ビーム用のセプタムコイルとリターンコイルの起磁力を低減すると共に、上記入出射ビーム用のセプタムコイルとリターンコイルおよびこれら両コイル用のコア部分を、上記周回ビーム用のセプタムコイルとリターンコイルおよびこれら両コイル用のコア部分より

40

50

小型化したものである。

【 0 0 1 2 】

( 2 ) この発明の請求項 2 に係る加速器用入出射装置は、周回ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、入出射ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、上記周回ビーム用両コイルのコア部分と上記入出射ビーム用の両コイルのコア部分を含むコアを有し、周回するビーム軌道と入出射するビーム軌道を共に偏向するセプタム電磁石を有する加速器用入出射装置において、上記セプタム電磁石のコアは中央部に空間部を有するコアとし、上記コアの空間部に、上記入出射ビーム用リターンコイル、入出射ビームと周回ビームとが通過する真空容器、上記周回ビーム用リターンコイルの順に配置すると共に、上記真空容器内の入出射ビームが通過する部分と上記周回ビームが通過する部分との間に上記入出射ビーム用セプタムコイル、絶縁スペーサ、上記周回ビーム用セプタムコイルを順に配置し、上記絶縁スペーサは複数のスペーサを間隔を介して上記入出射ビーム用と周回ビーム用の両セプタムコイル間に密接挟持させ、各スペーサ及び上記両セプタムコイルによって囲まれた空間を外部からの冷媒が通過する冷媒通路としたものである。

10

【 0 0 1 3 】

( 3 ) この発明の請求項 3 に係る加速器用入出射装置は、周回ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、入出射ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル、上記周回ビーム用両コイルのコア部分と上記入出射ビーム用の両コイルのコア部分を含むコアを有し、周回するビーム軌道と入出射するビーム軌道を共に偏向するセプタム電磁石を有する加速器用入出射装置において、上記コアの空間部に、上記入出射ビームと上記周回ビームとが通過すると共に、上記電磁石用のセプタムコイルとリターンコイルを内在した真空容器を配置し、上記真空容器の内部は、上記入出射ビーム用リターンコイル、上記入出射ビームが通過する部分、上記入出射ビーム用セプタムコイル、絶縁スペーサ、上記周回ビーム用セプタムコイル、上記周回ビームが通過する部分、上記周回ビーム用リターンコイルの順に配置し、上記入出射ビーム用と周回ビーム用の両セプタムコイルは、上記絶縁スペーサを挟持して密接すると共に、上記両セプタムコイルの上記入出射ビームまたは上記周回ビームと対向するコイル表面にそれぞれ熱放射率の高い非金属材料からなるコーティングを施したものである。

20

【 0 0 1 4 】

( 4 ) この発明の請求項 4 に係る加速器用入出射装置は、請求項 1 項記載の加速器用入出射装置と請求項 2 または請求項 3 の加速器用入出射装置とを併せて構成したものである。

30

【 0 0 1 5 】

【 発明の実施の形態 】

実施の形態 1 .

以下、第一の発明の実施の形態 1 を図に基づいて説明する。図 1 はセプタム電磁石の概要を示す断面斜視図である。

図 1 において、11 は鉄心、12 は入射（出射）ビーム用のセプタムコイル 1、13 は周回ビーム用のセプタムコイル 2、14 は入射（出射）ビーム用のリターンコイル 1、15 は周回ビーム用のリターンコイル 2、16 は入射（出射）軌道の磁極空隙 1、17 はビーム周回軌道の磁極空隙 2 である。

40

【 0 0 1 6 】

次に動作について説明する。図 1 において、セプタムコイル 1 とリターンコイル 1 に通電することにより、入射（出射）軌道の磁極空隙 1 に磁場（B1）を生成する。同様にセプタムコイル 2 とリターンコイル 2 にも通電するが、通電の向きを逆にすることにより、ビーム周回軌道の磁極空隙 2 には B1 と逆向きの磁場（B2）を生成する。この逆方向の磁場を利用して、磁極空隙 1、2 内を通過する荷電粒子ビームを逆向きに偏向させ、各々の軌道を分離することが可能となる。入射（出射）ビームの大きさは、磁極空隙 2 を通過する周回ビームに比べて小さいため、磁極空隙 1 の高さは磁極空隙 2 の高さに比べて小さくしている。

【 0 0 1 7 】

50

以上述べた手法により、入射（出射）軌道側とビーム周回軌道側に互いに逆方向の磁場を発生させる加速器用入出射装置において、セプタムコイル 2、リターンコイル 2 に流す電流に比べて、セプタムコイル 1 とリターンコイル 1 に流す電流を小さくすることができるため、電源容量を小さくすることができる。また、セプタムコイル 1 およびリターンコイル 1、鉄心 1 1 の大きさを小さくすることが可能となる。

#### 【 0 0 1 8 】

実施の形態 2 .

以下、第二の発明の実施の形態 2 を図に基づいて説明する。図 2 はセプタム電磁石の横断面図で、図 3 はセプタム電磁石における絶縁スペースを示す要部の図である。

図において、2 1 は鉄心、2 2 は入射（出射）ビーム用のセプタムコイル 1、2 2 a , 2 2 b はリード部、2 3 は周回ビーム用のセプタムコイル 2、2 4 は薄いギャップ、2 5 は絶縁材料、2 6 は入射（出射）ビーム用のリターンコイル 1、2 7 は周回ビーム用のリターンコイル 2、2 8 は真空チャンバー 1、2 9 は真空チャンバー 2、3 0 は電磁力支持用の絶縁スペース（図 3 の構造参照）である。

#### 【 0 0 1 9 】

次に動作について説明する。セプタムコイル 1、2 は絶縁材料 2 5 を介して真空チャンバー 1、2 と接合され、真空気密とすることにより荷電粒子ビームが通る通路を確保している。セプタムコイル 1 とリターンコイル 1 に通電することにより真空チャンバー 1 内に磁場（B 1）を生成する。同様にセプタムコイル 2 とリターンコイル 2 にも通電するが、通電の向きを逆にすることにより、真空チャンバー 2 内には B 1 と逆向きの磁場（B 2）を生成する。この逆方向の磁場を利用して、真空チャンバー 1、2 内を通過する荷電粒子ビームを逆向きに偏向させ、各々の軌道を分離することが可能となる。

また、セプタムコイル 1、2 に作用する電磁力は各々のコイル側に接近しようとする荷重となるが、コイル間に絶縁スペース 3 0 をはさんでおくことによりこの電磁力を受ける。また、セプタムコイル間のギャップに冷媒を流すことにより、セプタム電極の冷却を効果的に実施することができる。

#### 【 0 0 2 0 】

以上述べた手法により、入射（出射）軌道側とビーム周回軌道側に互いに逆方向の磁場を発生させる加速器用入出射装置において、そのセプタムコイルを効果的に冷却を行うことができるため電流値の増大が可能であり、引いてはビーム分離能力・加速器全体の性能向上を図ることが可能となる。

#### 【 0 0 2 1 】

実施の形態 3 .

以下、第三の発明の実施の形態 3 を図に基づいて説明する。図 4 はセプタム電磁石の横断面図である。

図において、3 1 は鉄心、3 2 は入射（出射）ビーム用のセプタムコイル 1、3 3 は周回ビーム用のセプタムコイル 2、3 4 は熱放射率の優れた物質によるコーティング、3 5 は入射（出射）ビーム用のリターンコイル 1、3 6 は周回ビーム用のリターンコイル 2、3 7 は真空チャンバー、3 8 は絶縁スペースである。

#### 【 0 0 2 2 】

次に動作について説明する。セプタムコイル 1 とリターンコイル 1 に通電することにより真空チャンバー 1 内に磁場（B 1）を生成する。同様にセプタムコイル 2 とリターンコイル 2 にも通電するが、通電の向きを逆にすることにより、真空チャンバー 2 内には B 1 と逆向きの磁場（B 2）を生成する。この逆方向の磁場を利用して、真空チャンバー 1、2 内を通過する荷電粒子ビームを逆向きに偏向させ、各々の軌道を分離することが可能となる。また、セプタムコイル 1、2 に作用する電磁力は各々のコイル側に接近しようとする荷重となるが、コイル間に絶縁スペース 3 8 をはさんでおくことによりこの電磁力を受ける。

#### 【 0 0 2 3 】

セプタムコイルは薄いため熱抵抗が高く、熱伝達で逃げる熱量は非常に制約される。また

10

20

30

40

50

セプタムコイルは真空中に設置されるため、当然対流による熱伝達は期待できない。従ってセプタムコイルにて発生するジュール熱は、放射によって逃がすしかない。そこで、セプタム電極の表面に熱放射特性の優れた材質のコーティング層34を設ける。セプタムコイルは電気伝導度の小さな銅などの金属材料を使用することが多い。ところが一般的には非金属材料（アルミナ、窒化ケイ素等のセラミック類）の方が熱放射率の面では大きな値を示すため、このような材料がコーティング材としては適していると考えられるが、熱放射特性の優れたものであれば、その材料を限定するものではない。

#### 【0024】

以上述べた手法により、入射（出射）軌道側とビーム周回軌道側に互いに逆方向の磁場を発生させる加速器用入出射装置において、そのセプタムコイルを効果的に冷却を行うことができるため電流値の増大が可能であり、引いてはビーム分離能力・加速器全体の性能向上を図ることが可能となる。

10

#### 【0025】

実施の形態4.

以下、第四の発明の実施の形態4を図に基づいて説明する。図5はセプタム電磁石の横断面図である。符号については実施の形態2の符号と同一である。

図5で示すように図1に示す実施の形態1の構成と、図2, 図3に示す実施の形態2の構成とを併せたものである。

#### 【0026】

#### 【発明の効果】

(1) この発明の請求項1によれば、周回ビーム用のセプタムコイルとリターンコイル2に流す電流に比べて、入出射ビーム用のセプタムコイルとリターンコイルに流す電流を小さくすることができるため、電源容量を小さくでき、また、入出射ビーム側の電磁石を小さくできるので、セプタム電磁石全体を小型化することができる。

20

#### 【0027】

(2) この発明の請求項2および請求項3によれば、セプタムコイルを効果的に冷却できるので、電流値の増大が可能であり、引いてはビーム分離能力・加速器全体の性能向上を図ることが可能となる。

(3) この発明の請求項4によれば、上記(1)と(2)の効果を併せ持つことができる。

30

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1によるセプタム電磁石の概要を示す断面斜視図である。

【図2】 この発明の実施の形態2によるセプタム電磁石の横断面図である。

【図3】 この発明の実施の形態2によるセプタム電磁石の絶縁スペーサを示す要部の図である。

【図4】 この発明の実施の形態3によるセプタム電磁石の横断面図である。

【図5】 この発明の実施の形態4によるセプタム電磁石の横断面図である。

【図6】 従来の加速器用入出射装置の縦断面図である。

【図7】 従来のセプタム電磁石の概要を示す断面斜視図である。

40

#### 【符号の説明】

11, 21, 31 鉄心

12, 22, 32 入射（出射）ビーム用のセプタムコイル1

13, 23, 33 周回ビーム用のセプタムコイル2

14, 26, 35 入射（出射）ビーム用のリターンコイル1

15, 27, 36 周回ビーム用のリターンコイル2

16 入射（出射）軌道の磁極空隙1      17 ビーム周回軌道の磁極空隙2

22a, 22b リード部      24 薄いギャップ

25 絶縁材料      28 真空チャンバー1（入射（出射）ビーム側）

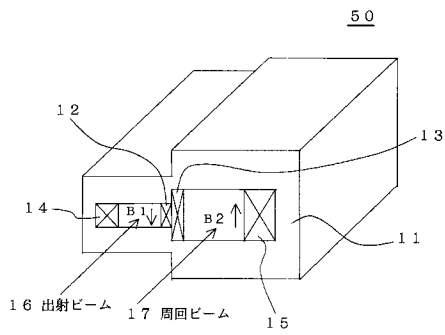
29 真空チャンバー2（周回ビーム側）、      30, 38 絶縁スペーサ

50

3 4 コーティング材  
5 0 セプタム電磁石

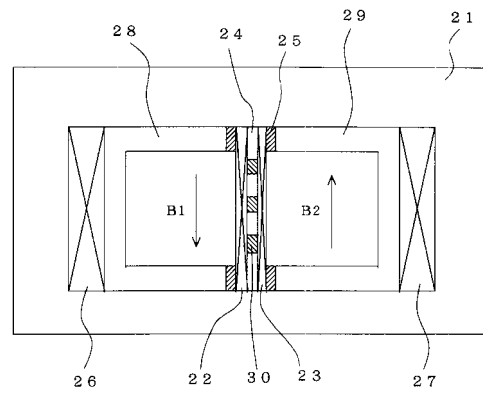
3 7 真空チャンバー

【 図 1 】



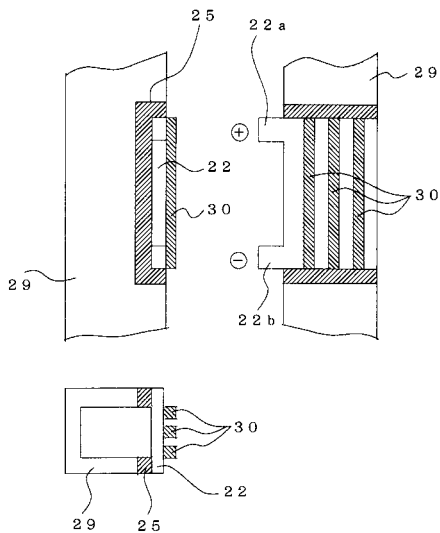
- 11：鉄心
- 12：セプタムコイル1
- 13：セプタムコイル2
- 14：リターンコイル1
- 15：リターンコイル2
- 50：セプタム電磁石

【 図 2 】



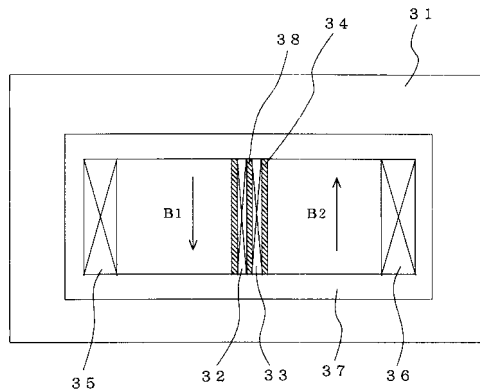
- 21：鉄心
- 22：セプタムコイル1
- 23：セプタムコイル2
- 24：薄いギャップ
- 25：絶縁材料
- 26：リターンコイル1
- 27：リターンコイル2
- 28：真空チャンバー1
- 29：真空チャンバー2

【図3】



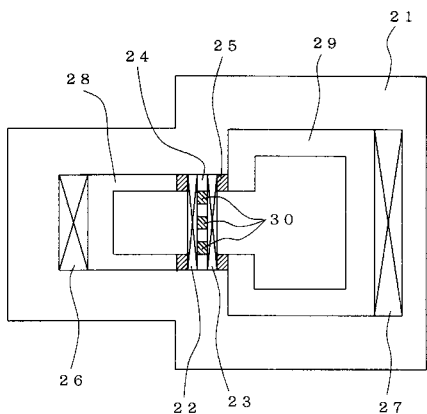
22 a, 22 b : セプトムコイル1のリード部

【図4】

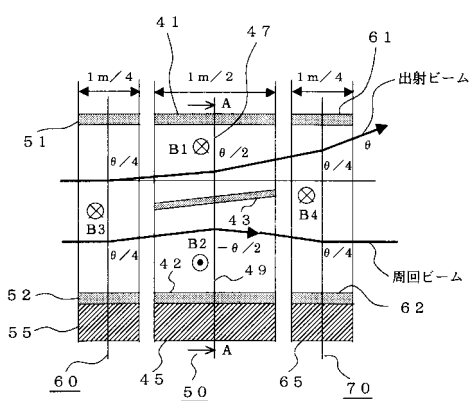


- 31 : 鉄心
- 32 : セプトムコイル1
- 33 : セプトムコイル2
- 34 : コーティング
- 35 : リターンコイル1
- 36 : リターンコイル2
- 37 : 真空チャンバー
- 38 : 絶縁スペーサ

【図5】

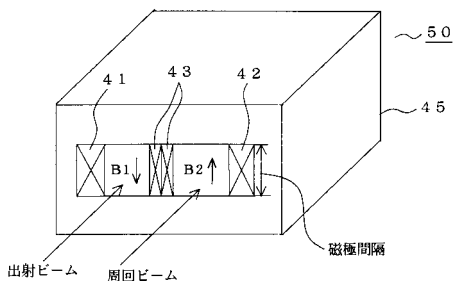


【図6】



- 41, 42, 43, 51, 52, 61, 62 : 内部導体
- 45, 55, 65 : ヨーク
- 47 : 第1ビーム偏向磁極空隙 (出射ビーム側)
- 49 : 第2ビーム偏向磁極空隙 (周回ビーム側)
- 50 : セプトム電磁石
- 60 : 上流側補助パンパ電磁石
- 70 : 下流側補助パンパ電磁石

【図7】



## フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I  
H 0 5 H 7/10

- (72)発明者 井上 博光  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 石 禎浩  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 福本 信太郎  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

審査官 岡 崎 輝雄

- (56)参考文献 特開平11-339998(JP,A)  
特開平08-078199(JP,A)  
特開平01-315999(JP,A)  
特開平10-172407(JP,A)  
特開平04-104500(JP,A)  
特開平08-288126(JP,A)  
特開平05-166598(JP,A)  
特開2002-270397(JP,A)  
特開2000-269000(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 13/04  
G21K 1/093  
H05H 7/04  
H05H 7/08  
H05H 7/10