

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3693439号

(P3693439)

(45) 発行日 平成17年9月7日(2005.9.7)

(24) 登録日 平成17年7月1日(2005.7.1)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>H05H 13/04  
G21K 1/093

F I

H05H 13/04 F  
G21K 1/093 Z

請求項の数 4 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願平8-340516	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成8年12月5日(1996.12.5)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開平10-172796		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成10年6月26日(1998.6.26)	(74) 代理人	100104341
審査請求日	平成15年12月2日(2003.12.2)		弁理士 関 正治
		(72) 発明者	原口 憲次郎
			千葉県野田市二ツ塚118番地 川崎重工業株式会社 野田工場内
		(72) 発明者	神谷 祥二
			千葉県野田市二ツ塚118番地 川崎重工業株式会社 野田工場内
		(72) 発明者	岩田 章
			千葉県野田市二ツ塚118番地 川崎重工業株式会社 野田工場内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 2重構造ビームチャンバを有する超電導ウィグラ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子ビームが通るビームチャンバと、該ビームチャンバを挟んで配設される超電導コイルと、該超電導コイルを収納し冷却を維持する内槽と該内槽を囲繞する輻射シールド槽を備えたクライオスタットとから構成され、相対的速度の電子ビームから放射光を発生させる超電導ウィグラであって、前記ビームチャンバが前記輻射シールド槽と熱的に接続し真空を保持して電子ビームを通す内側ボアと前記内槽に接する外側ボアを備え、該内側ボアと該外側ボアの間を真空に保持した2重構造を有することを特徴とする超電導ウィグラ。

【請求項2】

前記内側ボアの両端に電子ビーム出入口の間の熱伝導を抑制する断熱機構を備えることを特徴とする請求項1記載の超電導ウィグラ。 10

【請求項3】

前記断熱機構がベローズであることを特徴とする請求項2記載の超電導ウィグラ。

【請求項4】

前記内側ボアの側壁に冷媒を通す冷却管を沿設したことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の超電導ウィグラ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電子ビーム用加速器リング等に挿入されて超電導コイルによる磁場の働きで放 20

射光を発生させる超電導ウィグラに関し、特に改良されたビームチャンバを用いることによって磁場を強化した超電導ウィグラに関する。

【0002】

【従来の技術】

電子ビーム用加速器リング等に挿入されて放射光を発生させる超電導ウィグラは、電子ビームが通るビームチャンバと、電子ビームに強力な磁場を作用させるためそのビームチャンバを挟んで配設される超電導コイルと、超電導コイルの超電導状態を維持するため冷却するクライオスタットとから構成される。

通常、クライオスタットは3重構造を有し、最内部に液体ヘリウムを満たし、超電導コイルを収納して極低温に冷却する内槽を配し、中間部に液体窒素を満たし、外槽から内槽への熱侵入を抑制する熱シールドの機能を果たす輻射シールド槽を備え、最外部の外槽により構造的にまた熱的に保護されている。各槽間の熱伝達を抑制して冷媒の寿命を保つため各槽間の空間は真空断熱がなされている。

10

【0003】

ビームチャンバは、上下で対になったメインコイルとサイドコイルからなる超電導コイルに挟まれて、磁場を横切って走行する電子ビームを通す空間を形成している。

励磁中の上下の超電導コイルは相互に大きな吸引力が作用するので、この電磁力を受け止めて変形や変位をしないようにするための耐電磁力ブロックがビームチャンバの両側面に同じ高さで挿入されている。

通常、ビームチャンバの構造は、図3に断面を示すように、電子ビームに露出し加速器リングと同じ真空空間を形成する常温ボア（内側ボア）、超電導コイルを収納する内槽の構成殻をなして断熱真空を形成する低温ボア、常温ボアと低温ボアの間の中層の中間にあって輻射熱を軽減する熱シールドボアから構成される3重構造を有する。

20

【0004】

常温ボアはベローズのようなフレキシブル部材を介して外槽に取り付けられて、リニアックや電子蓄積リングなどから供給される電子ビームを導く真空配管と接続される。特に入射直後の不安定な電子ビームの散乱により、常温ボアの内面が加熱される場合には、その熱が内槽に伝達しないようにして液体ヘリウムの冷熱を浪費しないようにする必要がある。

熱シールドボアは液体窒素冷熱を利用する輻射シールド槽にサーマルアンカ板等を介して取り付けられ液体窒素沸点温度の近傍に維持され、常温ボアと内槽の間の熱伝達を遮断する。

30

【0005】

ビームチャンバはボア相互の間を真空にしておき、電子ビームが通過する常温ボアの熱の伝達を断熱真空層と、中間的な温度を有する熱シールドボアによって遮断するようになっている。低温ボアは内槽への熱侵入を抑える断熱真空を維持するための耐真空殻であり、常温ボアはビーム真空に対する耐真空殻であって、両者は別々の真空空間を形成する。一方、熱シールドボアは輻射シールド槽と熱的につながって遮蔽スクリーンとなることが主機能であり、通常は耐真空殻ではない。

【0006】

上下の超電導コイル間の距離を磁極間ギャップと呼ぶ。超電導コイルにより発生する磁場の強さはこの磁極間ギャップの大きさに影響されるので、強磁場を電子ビームに印加できるようにするため磁極間ギャップは極力小さくすることが必要である。ところが、磁極間ギャップはビームチャンバの高さに制限を受けるため、結局のところ電子ビームへの磁場の強さはビームチャンバの高さに影響されることになり、電子ビームに所要の磁場強度を与える超電導コイルは大きくなりがちである。

40

【0007】

一方、電子ビームに対する磁場の強さを生かすために、3重構造のままビームチャンバの高さを低くするための方法として、常温ボアの高さを低くすることとボア間ギャップを小さくすることが考えられる。

50

しかしながら、常温ボアの高さは加速器リングから入射する電子ビームの垂直方向と水平方向の安定度から決定されるものであり、超電導ウィグラの設計上の必要性だけでは決められない。また、ボア間ギャップを小さくすると、ビームチャンバ組立施工上の寸法誤差や冷却に伴うクライオスタット構成材相互の熱収縮によって、各層ボア同士の接触が生じる。各層ボア間の接触は内槽の断熱性を悪化させ、超電導コイルの冷却維持を困難にするためウィグラ運転に支障を来す結果となる。

このように、従来の3重構造を有するビームチャンバの構造に起因する設計上の制限があったため、超電導ウィグラの小型化に制約があった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

そこで、本発明が解決しようとする課題は、全体の高さを抑えながら、常温ボアから内槽への熱伝達を抑制して極低温冷媒の消費を抑えることができるビームチャンバ構造を有し、小さな超電導コイルで、発生する磁場をより強くするようにした超電導ウィグラを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明の超電導ウィグラは、電子ビームが通るビームチャンバと、ビームチャンバを挟んで配設される超電導コイルと、超電導コイルを冷却維持する内槽と内槽を取り囲むように配設された輻射シールド槽を備えたクライオスタットとから構成された超電導ウィグラであって、ビームチャンバが輻射シールド槽と熱的に接続し真空を保持して電子ビームを通す内側ボアと内槽に接する外側ボアを備え、内側ボアと外側ボアの間を真空に保持した2重構造を有することを特徴とする。

【0010】

また、内側ボアの両端に電子ビーム出入口の間の熱伝導を抑制する断熱機構を備えることが好ましい。

さらに、ベローズを断熱機構として使用することがより好ましい。

またさらに、内側ボアの側壁に冷媒を通す冷却管を沿わせておくようにすることが好ましい。この冷媒はビームチャンバの壁に電子ビームが散乱接触して発熱するのを抑える効果を有する。なお、この冷却管に通す冷媒として輻射シールド槽の液体窒素を利用することができる。

【0011】

本発明の超電導ウィグラによれば、従来低温ボア、熱シールドボア、常温ボアの3重構造をなしていたビームチャンバが、常温ボアと熱シールドボアを一体化させて2重構造になるため、チャンバ総体の高さが縮まる。このため、磁極間ギャップが小さくなり磁気回路の抵抗が小さくなって、ビーム走行位置における磁場が強化される。また、超電導コイルの磁場の強さが有効に活用でき、同じ磁場強度を得るために必要とされる起磁力が小さくなり、超電導コイルの電流値や巻き数が小さくて済むようになる。このようにして、本発明の超電導ウィグラは自由電子レーザー装置の小型・強力化に貢献する。

【0012】

また、内側ボアの両端に電子ビーム出入口の間の熱伝導を抑制する断熱機構を備えた本発明の超電導ウィグラは、電子ビーム出入口の常温部分から内側ボアに伝導される熱量を抑えて、輻射シールド槽の液体窒素により冷却効果を十分に生かすことができる。

さらに、ベローズを断熱機構として使用したものは、ベローズによって熱伝導経路を長くして熱伝達量を抑えると共に、ベローズの伸縮性と可撓性のため位置の自由度が大きく組立調整が容易になり、かつ熱収縮の吸収が容易で所期の位置・姿勢を確保することができる。

またさらに、ビームチャンバの内側ボア側壁に液体窒素を通す冷却管を沿わせた超電導ウィグラは、特に運転調整時や初期の電子ビーム不安定期に液体窒素等の冷媒を通して冷却することにより、電子ビームが壁面に当たって昇温するのを抑制することができる。このようにして、内槽に収容された液体ヘリウムの消費を抑制して経済的な運転を可能にする。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 3 】

## 【 発明の実施の形態 】

以下、図面に表した実施例によって本発明に係る超電導ウイグラを詳細に説明する。

図 1 は、本発明の超電導ウイグラの実施例を示す一部切り欠き断面図、図 2 は本実施例に用いる 2 重構造化したビームチャンバの例を示す断面図である。

超電導コイルの磁場の強さを有効に活用するためには、ビームチャンバの高さすなわち磁場方向における幅を極力小さくすることが望まれる。常温ボア（内側ボア）の高さはビームの大きさと安定度によって決定されるが、常温ボアと熱シールドボアの間および熱シールドボアと低温ボアとの間の断熱真空層の高さはクライオスタットの組立施工精度と構成材相互の熱収縮差を勘案して決定されるので、ビームチャンバの高さを自由に縮小することはできない。

10

## 【 0 0 1 4 】

このため本発明の超電導ウイグラでは、ビームチャンバの 3 重構造の内、常温ボアと熱シールドボアを一体化し耐真空殻として内側ボアとすることによって、ビームチャンバを 2 重構造化してその全体高さを縮小する。内側ボアは、電子ビームが通るビーム真空空間を確保すると共に、輻射シールド槽と熱的に接続することにより低温壁である外側ボアへの熱伝達を遮蔽する機能を有する。

上記のようにビームチャンバを 2 重構造化することにより磁極間ギャップを縮小できるので、超電導コイルの磁場の強さが有効に活用でき、少ないアンペア・ターン（電流値×巻数）で大きな磁場を発生できるようになる。

20

## 【 0 0 1 5 】

図 2 に見るように、本実施例におけるビームチャンバは、クライオスタット内槽に接する低温壁の外側ボア 1 と、真空に保持され電子ビームが走行する内側ボア 3 からなり、内側ボア 3 の両脇には冷却管 5 が沿設されている。ビームチャンバはメインコイルおよびサイドコイルの 2 種の超電導コイル 7 に挟まれて、超電導コイル 7 が生成する磁場を貫通している。超電導コイル 7 には鉄ヨーク 9 が組み込まれている。超電導コイル 7 の間には耐電磁力ブロック 1 1 が挟設されていて、超電導コイル 7 の電磁力を受け止めて電子ビーム通路やコイルの変形や変位を防いでいる。

## 【 0 0 1 6 】

この 2 重構造化ビームチャンバは外側ボア 1 と内側ボア 3 の間に単一の断熱真空層が存在するだけであるため、従来の構造と比較するとビームチャンバの高さが小さくなり磁極間ギャップが大幅に縮小している。

30

このため、同じ超電導コイルを使う場合にビームチャンバ内の電子ビーム走行位置に発生する磁場の強度が大きくなる。また、電子ビームに所定の磁場を印加しようとする場合には、必要とされる超電導コイルの容量がより小さくなる。

## 【 0 0 1 7 】

図 2 のビームチャンバは、熱シールドボアでもある内側ボア 3 の両側面に液体窒素を通す強制冷却管 5 を設けている。これは入射ビームが不安定であるため散乱ビームで内側ボア 3 の内面が加熱されるような状況にあるときに、冷却管 5 中に液体窒素を強制的に流すことによって内側ボア 3 を冷却して、低温ボア 1 に対する熱伝達を抑制するものである。

40

## 【 0 0 1 8 】

図 1 は本発明の実施例であり、図 2 に示す 2 重構造化ビームチャンバを組み込んだ超電導ウイグラの全体構造を示している。

磁極としての超電導コイル 7 と有効な磁気回路を閉じこめる鉄ヨーク 9 はクライオスタットの円筒状内槽 1 3 の内に収納されて冷却が維持される。内槽 1 3 には液体ヘリウム配管 1 5 を経由して液体ヘリウムが充填されていて、気化したヘリウムは排気管を兼用する液体ヘリウム配管 1 5 を通って排気される。

## 【 0 0 1 9 】

内槽 1 3 の周囲を囲うように輻射シールド槽 1 7 が設けられている。輻射シールド槽 1 7 には、液体窒素配管 1 9 を介して液体窒素が充填され、外部環境から内槽 1 3 に入射する

50

輻射熱を軽減している。気化した窒素は排気を兼ねる液体窒素配管 19 を通って排気される。輻射シールド槽 17 には、加圧弁を備えた加圧管 21 が設備されていて、輻射シールド槽 17 に窒素圧を印加することにより、ペローズ 23 を介して接続された強制冷却管 5 に液体窒素を供給できるようになっている。強制冷却管 5 内で気化した窒素はペローズ 25 を介して接続された窒素排気管 27 から系外に排気される。なお、ペローズ継手を使用するのは、冷却に伴う熱収縮を吸収させて内側ボア 3 を変位させないためである。

さらにその外周に外槽 29 があり、設置脚 31 により土台に固定されている。外槽 29 と輻射シールド槽 17 との間の空間は断熱真空層となっている。

#### 【0020】

なお、本実施例では、超電導コイル 7 の励磁のために高温超電導電流リード 33 を使用している。高温超電導電流リード 33 は、下端が内槽 13 内の液体ヘリウムと熱接触して 4.2 K 近傍まで冷却され、上端が液体窒素輻射シールド槽 17 と上部サーマルアンカ板 35 を介して熱接触して 77 K 近傍まで冷却されて、超電導状態を維持している。上部サーマルアンカ板 35 は内槽 13 に対する上部からの輻射入熱を遮断する輻射シールドを兼ねている。

10

高温超電導電流リード 33 には銅編組線 37 が接続されており、超電導コイル 7 はこれらのリード線を介して図外の励磁用直流電源から給電することにより励磁される。

#### 【0021】

図 2 に示す 2 重構造化したビームチャンバは、クライオスタット内槽 13 の軸芯位置に配設されて、超電導コイル 7 により形成された強磁場の中心部を貫通しており、外槽 29 両端面の端部フランジ 39 の電子ビーム出入口の間をつないでいる。

20

ビームチャンバの外側ボア 1 は内槽 13 の両端面に設けられた鏡板 41 に耐真空溶接されている。また、耐真空構造化された内側ボア 3 はその両端で耐真空溶接によりペローズ端板 43 に固定されている。ペローズ端板 43 は輻射シールド槽 17 の端面に設けられたサーマルアンカ板 45 に固定される。サーマルアンカ板 45 の機能は、内側ボア 3 を伝導冷却するとともに、内側ボア 3 の軸芯を外側ボア 1 と同軸位置に保持するところにある。

#### 【0022】

内側ボア 3 両端のペローズ端板 43 に固定されたペローズ 47 の他端は外槽両端フランジ 39 に耐真空溶接される。ペローズ 47 は極めて薄肉の金属ドーナツ板を蛇腹状につなぎ合わせたものであり、熱伝導経路が長いこと熱伝導を大幅に軽減できるとともに、伸縮性と可撓性に富んでいるため構造組立の自由度が高く、軸方向の熱収縮を柔軟に吸収する。本実施例でペローズ 47 を使用する目的は、構造組立の自由度と熱収縮の吸収とともに熱伝導の軽減効果を狙いとしている。このため、必要ならばペローズの畳み込み長を長くするなどして熱伝導経路を長大化し、熱伝導をより効果的に抑制する工夫がなされる。

30

#### 【0023】

入射ビームが安定している状況では、内側ボア 3 はクライオスタット内の液体窒素が収納された輻射シールド槽 17 に対して熱的に接続されているサーマルアンカ板 41 を介した熱伝導により液体窒素で冷却される。

また、内側ボア 3 が電子ビーム出入口の常温部に直接接続されていると常温部からの熱伝導によって、輻射シールド槽 17 からの伝導冷却効果が大幅に減殺されるので、本実施例では電子ビームのための常温出入口部と内側ボア 3 の間にペローズ 47 を設けて常温部からの熱伝導を抑えている。

40

#### 【0024】

入射直後のビーム状態が不安定なため電子ビームが側壁に当たって内側ボア 3 が加熱される場合には、液体窒素配管 19 等を閉鎖して輻射シールド槽 17 を密閉状態にし、加圧管 21 を通じて外部から加圧ガスを導入し、輻射シールド槽 17 を加圧する。すると強制冷却管 5 内を液体窒素が流れ始めて内側ボア 3 はより効果的に冷却されるので、過熱状態には至らない。この過程で強制冷却管 5 の他端の窒素排気管 27 から窒素蒸発ガスが排出される。

電子ビームが安定状態となり散乱ビームによる内側ボア 3 への加熱がなくなると、内側ボ

50

ア 3 はサーマルアンカ板 4 1 を介した輻射シールド槽 1 7 からの熱伝導のみで十分に冷却される。この状態では、強制冷却管 5 内に液体窒素が滞留した状態となる。

【 0 0 2 5 】

上記説明したとおり、本実施例におけるビームチャンバでは強制冷却と熱伝導冷却の両手段を併用することによって、常温ボアと熱シールドボアを一体化した内側ボアは十分に冷却されるので外側ボアおよび内槽への輻射熱遮蔽の機能を果たす。また、内側ボアは耐真空構造にされているのでビーム真空を維持する機能も十分に果たす。

なお、上記実施例では、内側ボアと外槽の熱伝導を抑制する手段としてベローズ継手による接続を用いたが、実効的な熱伝導率が小さい各種機構が使用できることは言うまでもない。たとえば、材料自体の熱伝導度が低いアクリル樹脂等の非金属を使用した断熱機構を使用してよい。

10

また、内側ボアの両側の側壁に冷却管を添設したが、要求される熱伝導状況により一方の壁に付しただけでも十分機能を発揮する場合がある。なお、実施例の説明においては、外壁に溶接で取り付けただけの場合について図示したが、内側に添設しても、また壁の内部に通路を形成してもよい。

【 0 0 2 6 】

【発明の効果】

以上説明した通り、本発明の 2 重構造を有するビームチャンバを用いた超電導ウイグラにより、ビームチャンバの幅が小さくなり、磁極間ギャップが大幅に減少するので、超電導コイルの大きさを一定とすればより強い磁場強度を得ることができるようになり、また超電導磁石の容量を十分有効に活用して容積の小さい超電導ウイグラを得ることができるようになった。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る超電導ウイグラの一部切り欠き側面図である。

【図 2】 図 1 の超電導ウイグラに用いたビームチャンバの断面図である。

【図 3】従来のビームチャンバの構造を示す断面図である。

【符号の説明】

1 外側ボア

3 内側ボア

5 冷却管

7 超電導コイル

9 鉄ヨーク

1 1 耐電磁力ブロック

1 3 クライオスタット内槽

1 5 液体ヘリウム配管

1 7 輻射シールド槽

1 9 液体窒素配管

2 1 加圧管

2 7 窒素排気管

2 9 外槽

3 3 高温超電導電流リード

3 5 上部サーマルアンカ板

4 3 ベローズ端板

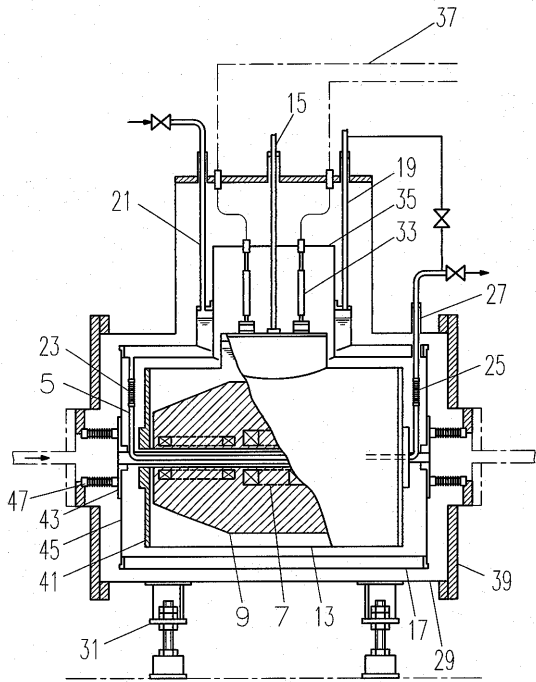
4 5 サーマルアンカ板

4 7 ベローズ

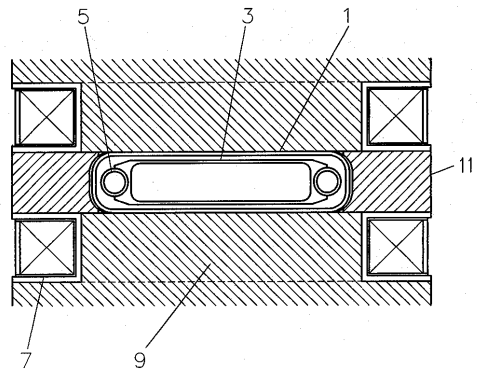
30

40

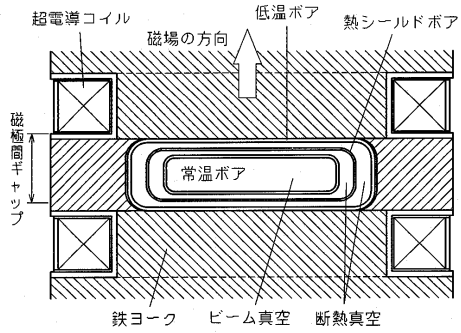
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



---

フロントページの続き

審査官 中塚 直樹

- (56)参考文献 特開平05 - 315100 (JP, A)  
特開平07 - 192898 (JP, A)  
特開平04 - 073988 (JP, A)  
特開平08 - 083698 (JP, A)  
特開平05 - 243000 (JP, A)  
特開平02 - 250300 (JP, A)  
実開平04 - 085600 (JP, U)  
特開平05 - 001857 (JP, A)  
特開平06 - 050338 (JP, A)  
特開平04 - 204400 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H05H 7/04-13/04

G21K 1/093