

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4301351号  
(P4301351)

(45) 発行日 平成21年7月22日 (2009. 7. 22)

(24) 登録日 平成21年5月1日 (2009. 5. 1)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 F 6/04 (2006. 01)

H O 1 F 7/22 Z A A G

A 6 1 B 5/055 (2006. 01)

A 6 1 B 5/05 3 3 1

G O 1 R 33/3815 (2006. 01)

A 6 1 B 5/05 3 6 0

G O 1 N 24/06 5 1 0 D

請求項の数 12 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平11-204027  
 (22) 出願日 平成11年7月19日 (1999. 7. 19)  
 (65) 公開番号 特開2000-49010 (P2000-49010A)  
 (43) 公開日 平成12年2月18日 (2000. 2. 18)  
 審査請求日 平成18年7月13日 (2006. 7. 13)  
 (31) 優先権主張番号 09/120431  
 (32) 優先日 平成10年7月22日 (1998. 7. 22)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー  
 GENERAL ELECTRIC CO  
 MPANY  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
 クタデイ、リバーロード、1 番  
 (74) 代理人 100137545  
 弁理士 荒川 聡志  
 (72) 発明者 インーファ・シュ  
 アメリカ合衆国、サウス・カロライナ州、  
 フローレンス、ブライヤーリー・ロード、  
 708 番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ゼロボイルオフ型超伝導磁石用の熱伝導ガasket

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超伝導磁石コイルを有し、磁気共鳴断層撮影用に適した液体ヘリウム冷却式のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリにおいて、  
 超伝導動作のために磁気共鳴断層撮影用の前記磁石アセンブリに極低温を付与するための液体ヘリウム浴を収容するためのヘリウム圧力容器、前記圧力容器内において生じたヘリウムガスを再凝縮させて液体ヘリウムに戻すための再凝縮器、前記再凝縮器を冷却するためのクライオクーラ、及び前記再凝縮器と前記クライオクーラとの間の熱界面を含んでいて、前記熱界面が変形可能なガasket及び前記クライオクーラを前記再凝縮器に対して選択的に押付けるための手段を含み、前記ガasketが前記ガasketを横切って延びる複数の互いに離隔した格子線を含み、かつ前記格子線の末端が前記格子線間の空隙を橋渡しすると共に前記格子線の直径より小さい厚さを有するウェブ部材によって連結されていることを特徴とする超伝導磁石アセンブリ。

【請求項 2】

前記格子線の直径より幅の広い空隙を挟んで前記格子線が互いに実質的に平行に配置されている結果、前記クライオクーラを前記再凝縮器に対して押付けた場合に前記格子線を圧縮することができる請求項 1 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

【請求項 3】

前記格子線間の空隙の幅が前記格子線の直径の約 1.5 倍に等しい請求項 2 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

## 【請求項 4】

前記ガスケットが実質的に純粋なインジウムから成る請求項 3 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

## 【請求項 5】

前記クライオクーラに対する前記ガスケットの固定を容易にするため、前記ウェブ部材から実質的に対角線方向に複数のタブが延びている請求項 4 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

## 【請求項 6】

前記ウェブ部材が前記熱界面における前記クライオクーラの直径より小さい直径を有する弓形の外周を規定する弓形のセグメントである請求項 2 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

10

## 【請求項 7】

前記弓形のセグメントが実質的に平面状のものであり、かつ互いに隣接した格子線の末端の中心部分を相互に連結している請求項 6 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

## 【請求項 8】

前記再凝縮器が前記ヒートシンクと熱的に連結されたヘリウム再凝縮室を備え、前記クライオクーラがコールドヘッドを備え、前記ガスケットが実質的に純粋なインジウムから成ると共に、前記クライオクーラのコールドヘッドと前記ヒートシンクとの間に配置されて圧縮可能である請求項 7 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

20

## 【請求項 9】

前記超伝導磁石アセンブリが、前記ヘリウム圧力容器を包囲する包囲する真空容器と、前記真空容器の真空を破ることなく前記クライオクーラを挿入して前記クライオクーラを前記ガスケットに接触させることを可能にするため前記真空容器内に設けられたスリーブとを含み、かつ前記熱界面が前記スリーブの内部に配置されて前記ガスケットに接触しかつ前記再凝縮器に対して熱的に連結されたヒートシンクを含む請求項 8 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

## 【請求項 10】

前記クライオクーラがコールドヘッドを含み、かつ前記コールドヘッドが前記ガスケットの前記タブを受入れて前記クライオクーラと共に前記ガスケットの挿入又は取出しを可能にする溝を有する請求項 5 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

30

## 【請求項 11】

前記クライオクーラを前記再凝縮器に対して選択的に押付けるための前記手段が前記ガスケットを圧縮する結果、前記クライオクーラと前記再凝縮器との間には約 0.30 K 未満の温度降下を示す熱界面が得られる請求項 7 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

## 【請求項 12】

前記温度降下を熱効率の尺度として表示するため、前記熱界面の両側に温度検出器が配置されている請求項 11 記載のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁石アセンブリ。

## 【発明の詳細な説明】

40

## 【0001】

## 【発明の背景】

本発明は、機械的なクライオクーラ及び生じたヘリウムガスを再凝縮させて液体ヘリウムに戻すための再凝縮器を使用する磁気共鳴断層撮影（以後は「MRI」と呼ぶ）のために適したヘリウム冷却式の超伝導磁石アセンブリに関するものである。更に詳しく言えば、本発明は超伝導磁石のクライオクーラを再凝縮器に対して熱的に連結するための改良された簡単で効率の良いガスケットに関する。

## 【0002】

公知の通り、超伝導磁石を超伝導状態にするためには、それを極低温の環境中に置くこと、たとえば液体ヘリウムのごとき低温液体を含む低温槽又は圧力容器内にそれを封入する

50

ことが必要である。極低温においては、磁石中の電気抵抗が存在しなくなるため、最初に（比較的短い時間だけ）磁石コイルに接続した電源を遮断した後にも磁石コイル中に電流が流れ続け、それによって強い磁界が維持されるのである。超伝導磁石アセンブリはMRIの分野において広く使用されている。

#### 【0003】

世界中のMRI装置に安定して供給すべき液体ヘリウムを用意して保管することは、困難で費用のかかる仕事であることが判明している。そのため、たとえば沸騰によって生じたヘリウムガスを再凝縮させることにより、液体ヘリウムの補給の必要を低減させることに多大の研究開発努力が向けられてきた。

ヘリウムガスを再凝縮させて液体ヘリウムに戻す超伝導磁石は、しばしばゼロボイルオフ（ZBO）型磁石と呼ばれる。超伝導磁石のヘリウム圧力容器内において液体ヘリウムの沸騰により生じたヘリウムガスを、クライオクーラによって冷却された再凝縮器内の通路に流して再凝縮させた後、得られた液体ヘリウムは圧力容器内の液体ヘリウム浴に戻される。この場合、再凝縮器に対して機械的冷凍機又はクライオクーラを効率良く熱的に結合することが極めて重要である。なぜなら、ZBO型超伝導磁石においてはクライオクーラの冷却能力及び動作限界に接近することが多く、従ってヘリウムガスを再凝縮させるために必要な冷却をもたらす系の熱的能力は重い負担を強いられるからである。更にまた、かかる系において要求される効率の良い熱的結合を得るためには、クライオクーラに過大な圧力を加えることによってクライオクーラに損傷を及ぼすことなく、かつ超伝導磁石アセンブリ中におけるクライオクーラの挿入及び調整を容易にしながら上記の目的を達成することも必要である。

#### 【0004】

本発明の場合と同じ譲受人に譲渡された1997年12月30日付けの米国特許第5701742号明細書中には、所要の結合圧力を減少させるため、熱的結合界面に変形可能なインジウムガスケットを使用することが開示されている。しかしながら、限界冷却能力にほぼ達している一部のZBO型超伝導磁石においては、クライオクーラに対する損傷の可能性を回避するために結合圧力を更に低下させながら、熱効率を更に高めて十分な冷却を確保することが必要であると判明した。そこで、本発明は上記の米国特許第5701742号の発明に対する改良を成すものである。

#### 【0005】

インジウムは室温では柔軟でたわみ易いが、超伝導温度では適切に圧縮するのが極めて困難であることが判明している。僅かな欠陥や厚さの変動があるだけで、良好な熱伝導を得るためガスケットに非常に高い圧力を加えることが必要となり、そのために調整ねじのねじ山が剥離したり、あるいはクライオクーラのハウジングが損傷を受けたりすることがある。多くの場合、最小の圧力を加えることにより熱界面ガスケットに沿って一様で最適の熱伝導を得ることは困難若しくは不可能であった。

#### 【0006】

その結果、ZBO型超伝導磁石においてヘリウムガスを効率良く再凝縮させて液体ヘリウムに戻すためには、クライオクーラと再凝縮器との間に改良された単純で効率の良い熱継手を設けることが極めて重要となる。

#### 【0007】

##### 【発明の概要】

このように、上記のごとき問題を効果的に解決すると共に、所要の熱的結合圧力によってクライオクーラに損傷を及ぼすことなくクライオクーラと再凝縮器との間に効率の良い熱継手を生み出すような、ヘリウム再凝縮器を冷却するための改良されたクライオクーラ装置が特に要望されているのである。

#### 【0008】

本発明の実施の一態様に従えば、機械的なクライオクーラ及びヘリウムガス再凝縮器を使用すると共に、MRIの超伝導動作時に最少限の真空破壊でクライオクーラの挿入及び取出しを可能にするスリーブを具備したヘリウム冷却式のゼロボイルオフ再凝縮型超伝導磁

10

20

30

40

50

石アセンブリが提供される。かかる超伝導磁石アセンブリは、クライオクーラと再凝縮器との間に位置しかつ両者を熱的に相互連結するガスケットを含んでいる。このガスケットは実質的に純粋なインジウムから成ると共に、互いに向かい合った弓形のより薄い外側ウェブセグメントの間に延びる複数の実質的に平行な格子線を含んでいる。上記のウェブセグメントは格子線の直径より小さい厚さを有すると共に、格子線の末端の中心部分を相互に連結している。また、スリーブ内へのクライオクーラの設置を容易にすると共に、クライオクーラと再凝縮器との間の熱界面の圧力を調整するための手段も設けられている。

#### 【0009】

##### 【実施の態様の説明】

先ず図1について説明すれば、MRI用磁石装置10はヘリウム5のごとき低温液体を含んだヘリウム圧力容器4を具備している。ヘリウム容器4と周囲の真空容器2との間には熱的隔離用の放射遮蔽体6が配置されている。ギフォード・マクマホン型のクライオクーラであり得る二段クライオクーラ12が真空容器2を貫通してスリーブ8内に延びている。その際、クライオクーラ12の低温端は真空容器2内の真空を破ることなく熱界面ガスケット29に接触するようスリーブ8内に選択的に配置することができる。クライオクーラ12の電動機9によって発生される熱は、真空容器2の外部37に保持される。外部のクライオクーラスリーブリング14が真空容器2の外部に延びていて、カラー19及びスリーブフランジ15が真空容器2に対する外側のクライオクーラスリーブ13の固定を可能にしている。クライオクーラ12は、整合中間フランジ21によってクライオクーラスリーブアセンブリ8、18、23の内部32に配置され、そして真空容器2内の真空を破ることなくフランジ21を貫通してスリーブフランジ15に対するボルト82及び付随する座金（図示せず）によって所定の位置に固定されている。

#### 【0010】

クライオクーラ12の第1段ヒートステーション16は、スリーブアセンブリ8、18、23の空洞32内に延び、そして熱ガスケット7を介して銅製の第1段熱スリーブ又はヒートシンク18に接触している。ヒートシンク18は、編組銅製のたわみ熱継手22及び24並びに熱的隔離用の放射遮蔽体6上に設けられた銅製の熱ブロック26及び28を介して熱的に連結され、それによって放射遮蔽体は約5.5 Kの温度に冷却される。その結果、ヘリウム容器4と真空容器2との間の熱的隔離が達成される。たわみ熱継手22及び24はまた、クライオクーラ12と放射遮蔽体6との間の機械的隔離又は振動絶縁をもた

#### 【0011】

クライオクーラ12の第1段ヒートステーション16によって放射遮蔽体6を冷却することに加え、ヘリウム容器4を真空容器2から更に熱的に隔離するための超断熱34及び35も得られる。

クライオクーラ12の第2段ヒートステーション又はコールドヘッド30の底面は、インジウムガスケット29の反対側に配置された再凝縮器39のヒートシンク11に対してクライオクーラを熱的に連結するためのインジウムガスケット29に接触している。

#### 【0012】

ヒートシンク11の下方には、熱電導率の高い材料（たとえば銅）で作製されたヘリウム再凝縮室38がヒートシンク11に対して熱的に連結された状態で延びている。かかるヘリウム再凝縮室38はヒートシンク11に対して熱的に接触した複数の実質的に平行な伝熱板又は伝熱面42を含み、そして伝熱板の表面間にはヘリウム圧力容器4からのヘリウムガスを流すための通路が形成されている。

#### 【0013】

ヘリウムガス40は、MRI用磁石装置10に極低温を付与する際における液体ヘリウムの沸騰によって液体ヘリウム浴46の液面44の上方に生じる。かかるヘリウムガス40はガス通路52、ヘリウム容器4の壁53、及びヘリウムガス通路50を通過し、そしてヘリウム再凝縮室又はキャニスタ38の上方部分41の内部に達する。再凝縮器39内の伝熱板42はクライオクーラ12の第2段ヒートステーション30によって4 Kに冷却さ

れている結果、伝熱板の間を通過するヘリウムガス40は再凝縮して液体ヘリウムとなり、そしてヘリウム再凝縮室38の下部領域48に蓄積する。次いで、重力の作用により、再凝縮した液体ヘリウムはヘリウム戻り管路54及び液体ヘリウム通路58を通過して液体ヘリウム浴46に戻る。

#### 【0014】

MRI用磁石装置10の動作に際しては、液体ヘリウム浴46はMRI業界において公知のごとくにして(60として略示された)超伝導磁石コイルアセンブリを超伝導温度に冷却する。かかる冷却は矢印62によって略示されるが、再凝縮を行うZBO方式のために系内のヘリウム損失は生じない。多くのMRI装置において見られるごとく周囲の大気37中に放出されるのではなく、ヘリウムガス40は上記のごとくヘリウム圧力容器4からヘリウム再凝縮室38の内部に流れ、そしてクライオクーラにより冷却された伝熱板42の間を通過して液体ヘリウムに再凝縮する。かかる液体ヘリウムは、重力の作用によって液体ヘリウム浴46に戻る。このように、再凝縮した液体ヘリウムが液体ヘリウムとして液体ヘリウム浴に戻る閉ループ系が形成されるのである。

10

#### 【0015】

次に図2について説明すれば、熱ガasket 29は13本の互いに離隔した円柱状の格子線88を含んでいる。各々の格子線88は99.99%のインジウムから成り、0.060インチの直径を有し、かつ末端において互いに向かい合った弓形の平面的な接続セグメント又はウェブ部材90及び92に連結されている。接続セグメント90及び92は、第2段ヒートステーション30の底面直径が2.05インチであるクライオクーラ12と共に使用するのに適した1.98インチの外径を有している。格子線88の間の空隙又は間隙89は、格子線の直径の約1.5倍に等しい。すなわち、格子線間の空隙の幅は格子線の直径よりも広くなっている。

20

#### 【0016】

弓形の接続セグメント90及び92は0.07インチの厚さを有すると共に、概して半径方向に延びかつ直径に関して互いに向かい合ったタブ96及び97を具備している。かかるタブ96及び97はクライオクーラ12の第2段ヒートステーション又はコールドヘッド30に設けられた軸方向の溝98(図1参照)の中に折曲げられ、それによってガasket 29がクライオクーラ12の第2段ヒートステーション又はコールドヘッド30上に容易に保持される。クライオクーラ12の挿入及び取出しに際してガasket 29をクライオクーラ12上に保持するため、タブ96及び97を軸方向の溝98の中にはんだ付けすれば好都合である。クライオクーラ12の保守後にそれを再挿入するのに先立ち、変形したガasketは新しいガasket 29と交換することができる。

30

#### 【0017】

再び図1について説明すれば、クライオクーラ12をクライオクーラスリーブアセンブリ8、18、23内に挿入した後、ボルト82を選択的に締付けることにより、十分な圧力でクライオクーラ12がインジウムガasket 29に押付けられる。その結果、ガasket 29はインジウム線88の低温流れ降伏により変形して介在する空隙89を満たす。このようにすれば、熱界面29の両側に配置された温度センサ80及び84で検出される温度差によって示されるごとく、過度の締付け及びクライオクーラ12又はガasket 29の損傷の可能性なしに良好な熱的接触が確保されるのである。

40

#### 【0018】

次に図3について説明すれば、ガasket 29を構成する格子線88は弓形の接続セグメント92の厚さよりも大きい直径を有すること、及び弓形の接続セグメントは隣接する格子線の中心部分に連結されていることに注意されたい。これは、ボルト82を締付けてガasket材料を格子線間の空隙89中に流れさせる際、圧力下における格子線88の変形を容易にする。ボルト82を締付けによりクライオクーラ12が再凝縮器39に向かって移動すると共に、格子線88が変形又は平坦化して格子線間の空隙を満たすのに伴い、格子線88とコールドヘッド24及びヒートシンク11との間の接触領域は徐々に増加するから、格子線88の間に捕捉された気体は介在する弓形の接続セグメント92の上方又は

50

下方を通して容易に逃げることができる。

【0019】

クライオクーラ12に加わる圧力を最小にしてクライオクーラ12に損傷を及ぼすことなく締付けた場合、熱継手30、29、11の両側において得られる温度降下又は損失は0.15～0.30Kという望ましい許容範囲内にある。クライオクーラ12をZBO型超伝導磁石において使用した場合、熱継手30、29、11の両側における温度降下を1Kに抑えながら、ゼロボイルオフ条件を維持するために必要とされる十分な冷却を達成するのは不可能であることが知られていた。熱継手30、29、11の熱効率を向上させることが非常に重要である理由はそこにある。

【0020】

平坦な格子線から成るガスケット及び（又は）格子線の直径よりも小さい厚さを有するウェブ部材を含まないガスケットが熱電導率のより高い熱継手を生み出すことは先行技術によって示唆されていたかも知れないが、本発明のガスケット29は格子線に加わる圧力を最小にしてクライオクーラ12又は熱継手の損傷の可能性を回避しながら最適の熱伝導性が得られるように高い信頼性をもって容易に調整可能であることが判明した。

【0021】

以上、特定の好適な実施の態様に関連して本発明を説明したが、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、構造の細部、部品の配置や組合せ、及び使用する材料の種類に関して様々な変更を加え得ることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従って構成されたMRI用超伝導磁石を簡略に示す断面図である。

【図2】図1に示された熱ガスケットの拡大図である。

【図3】図2の熱ガスケットの端面図である。

【符号の説明】

- 2 真空容器
- 4 ヘリウム圧力容器
- 5 ヘリウム
- 6 放射遮蔽体
- 8 スリーブ
- 10 MRI用磁石装置
- 11 ヒートシンク
- 12 クライオクーラ
- 29 ガスケット
- 30 コールドヘッド
- 39 再凝縮器
- 46 液体ヘリウム浴
- 82 ボルト
- 88 格子線
- 89 空隙
- 90 接続セグメント又はウェブ部材
- 92 接続セグメント又はウェブ部材
- 96 タブ
- 97 タブ

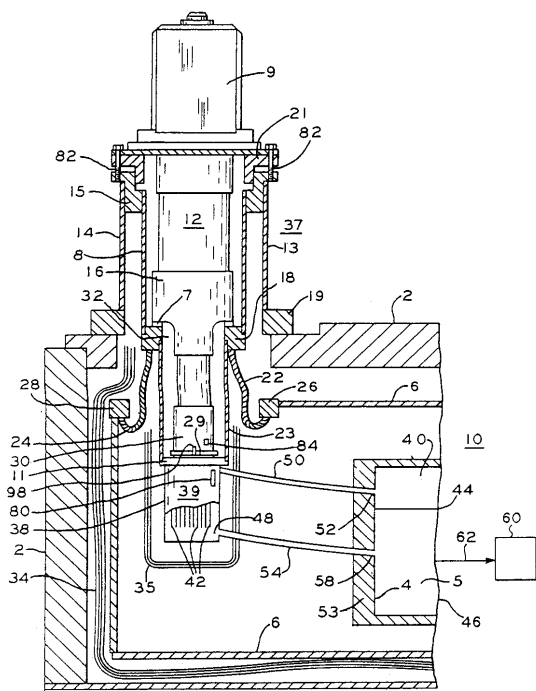
10

20

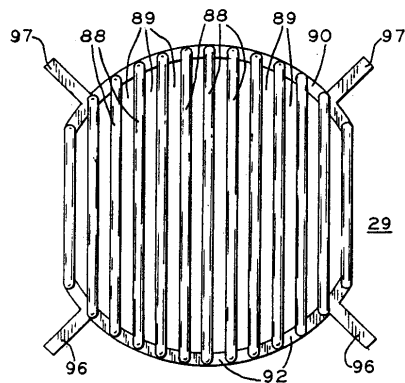
30

40

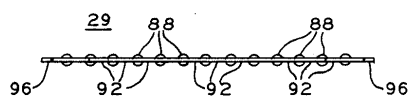
【図 1】



【図 2】



【図 3】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ダニエル・クリスチャン・ウッズ

アメリカ合衆国、サウス・カロライナ州、フローレンス、ウッド・ダック・レーン、838番

(72)発明者 ウィリアム・スティーブン・ストグナー

アメリカ合衆国、サウス・カロライナ州、フローレンス、サウス・ギルフォード・サークル、349番

審査官 久保田 昌晴

(56)参考文献 特開平9-283323 (JP, A)

特開平5-275231 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F 6/00- 6/02、 6/04、 27/32、 41/12、

A61B 5/055、

F25B 9/00-11/04、

F25D 1/00-16/00、 19/00-19/04、

27/00-31/00、

G01N22/00-22/04、 24/00-24/14、

G01R33/24、 33/26-33/64、

H01L39/02-39/04、 39/14-39/16、 39/20