(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4759551号
(P4759551)
(45)発行日　平成23年8月31日(2011.8.31)　(24)登録日　平成23年6月10日(2011.6.10)

(51)Int.Cl.　F I
H01F 6/04 (2006.01)　H01F 7/22 ZAAG

請求項の数 26 (全 11 頁)

(21)出願番号　特願2007-260093(P2007-260093)
(22)出願日　平成19年10月3日(2007.10.3)
(65)公開番号　特開2008-91928(P2008-91928A)
(43)公開日　平成20年4月17日(2008.4.17)
審査請求日　平成22年2月1日(2010.2.1)
(31)優先権主張番号　0619607.5
(32)優先日　平成18年10月4日(2006.10.4)
(33)優先権主張国　英国(GB)

早期審査対象出願

(73)特許権者　507329985
オックスフォード　インストルメンツ　スーパーコンダクティヴィティ　リミテッド
イギリス　オーエックス１３　５キューエックス　オックスフォードシャー　アービンドン　タブニー　ウッズ
(74)代理人　100082005
弁理士　熊倉　禎男
(74)代理人　100067013
弁理士　大塚　文昭
(74)代理人　100065189
弁理士　宍戸　嘉一
(74)代理人　100088694
弁理士　弟子丸　健

最終頁に続く

(54)【発明の名称】流れ冷却磁石システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ターゲット領域内に磁界を発生するための磁石（４）と、
低温冷却流体のための流れ経路を備えた冷却システムとを備え、前記流れ経路は、（ｉ）前記磁石（４）と熱連通するよう配置された第１部分（２１）を有し、前記磁石（４）は熱伝導によって冷却され、かつ、前記磁石（４）は高熱伝導率部材（７）により前記低温冷却流体から分離されており、熱が前記磁石（４）から前記高熱伝導率部材（７）を通って流れ、前記流れ経路は、（ｉｉ）前記ターゲット領域と熱連通する第２部分（２５）を有し、よって前記磁石（４）および前記ターゲット領域の各々は、前記冷却システムの前記第１部分（２１）を通って前記第２部分（２５）に進む冷却材の流れによって冷却されるようになっており、
前記磁石（４）は、真空チャンバ（３）を有する低温槽（２）内に位置し、前記冷却システムの前記第２部分（２５）、および使用時にモニタすべきサンプルを収納するためのターゲット領域としてサンプル真空チャンバ（９）が設けられており、前記サンプル真空チャンバ（９）は、前記低温槽（２）の真空チャンバ（３）から独立し、
前記サンプル真空チャンバ（９）の温度および圧力の各々は、前記低温槽（２）の真空チャンバ（３）内の温度および圧力から独立して制御される
ことを特徴とする流れ冷却磁石システム（１）。
【請求項２】
前記第１部分（２１）は、前記第２部分（２５）の上流側にある請求項１記載の磁石シ

ステム。
【請求項３】
前記ターゲット領域は、使用時にサンプルを係止するようになっている請求項１又は請求項２記載の磁石システム。
【請求項４】
前記磁石（４）は、少なくとも１つの放射線シールド（２６）を備えた低温槽（２）内に収納されており、前記流れ経路は、更に前記少なくとも１つの放射線シールド（２６）と熱連通する第３部分（２４）を備え、前記流れ経路は、前記第１部分が内部に位置する共通する経路（２２）から、少なくとも２つの別個の経路に分岐しており、前記２つの別個の経路のうちの１つの内部に前記第２部分（２５）が位置し、別の部分に前記第３部分（２４）が位置する請求項１乃至３の何れか１項に記載の磁石システム。
【請求項５】
前記流れ経路は、冷却材の一部が前記第２部分（２５）を通り、一部が前記第３部分（２４）を通って流れるように分岐している請求項４記載の磁石システム。
【請求項６】
前記磁石（４）に電流を供給するための電流リード線（６）を更に備え、前記第３部分（２４）は、前記電流リード線（６）と熱連通し、使用時に前記電流リード線（６）を冷却するようになっている請求項４又は請求項５記載の磁石システム。
【請求項７】
前記システムのうちの前記第１部分（２１）、前記第２部分（２５）および前記第３部分（２４）のうちの１つ以上の内部に、所定流量の冷却材を提供するようになっている流れコントローラを更に備えた請求項４乃至６の何れか１項に記載の磁石システム。
【請求項８】
前記流れコントローラは、可変流れインピーダンスまたはスタティックな局部的な流れインピーダンスを含む請求項７記載の磁石システム。
【請求項９】
前記第２部分（２５）は、熱交換器（１５）を備え、この熱交換器（１５）とサンプルが熱連通するようになっている請求項１乃至８の何れか１項に記載の磁石システム。
【請求項１０】
前記冷却システムの前記第２部分（２５）内の前記冷却材の冷却効果と組合わさって発生される熱により、前記ターゲット領域を所定の温度に保持できるよう、前記ターゲット領域内にヒーター（１６）が設けられている請求項１乃至９の何れか１項に記載の磁石システム。
【請求項１１】
前記所定の温度は、前記冷却材の温度から周囲温度までのレンジ内にある請求項１０記載の磁石システム。
【請求項１２】
前記ターゲット領域は、更に温度センサを備え、この温度センサから受信される信号に応答し、前記ヒーター（１６）を制御するための温度コントローラが設けられている請求項９又は請求項１０に記載の磁石システム。
【請求項１３】
前記磁石（４）は、ボア（５）を有するソレノイド磁石（４）であり、前記ターゲット領域は前記ボア（５）内に位置する請求項１乃至１２の何れか１項に記載の磁石システム。
【請求項１４】
前記ターゲット領域内に位置するときのサンプルとの間で電磁波を送信および／または受信できるように位置する少なくとも１つの第１ウィンドー（１３）を更に含む請求項１乃至１３の何れか１項に記載の磁石システム。
【請求項１５】
前記第１ウィンドー（１３）に対して前記サンプルの反対側に位置する第２ウィンドー

（１４）を更に備え、前記第１ウィンドー（１３）を通し、前記サンプルが電磁波を受け、次に電磁波がサンプルを通過し、次に電磁波がモニタのための前記第２ウィンドー（１４）を通過できるようになっている請求項１４記載の磁石システム。

【請求項１６】

前記システムを光学的ベンチに取り付けるためのマウントを更に含む請求項１乃至１５の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項１７】

前記システムは公称軸線によって定められ、前記システムは実質的に垂直方向および実質的に水平方向に配向した作動軸線となるようになっている請求項１乃至１６の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項１８】

前記システムは、使用時に前記冷却材が前記冷却システムを連続して通過して流れるようになっている連続流れシステムである請求項１乃至１７の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項１９】

前記磁石（４）は、使用時に冷却材が通過して流れる前記冷却システムの前記第１部分（２１）を含む環状チャンバ（８）によって囲まれている請求項１乃至１８の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項２０】

前記ターゲット領域は、サンプルホルダーを受けるためのサンプルサポート（１０）を更に備え、前記サンプルホルダー内にサンプルが係止される請求項１乃至１９の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項２１】

冷却材リザーバーから前記流れ経路へ前記冷却材が供給される請求項１乃至２０の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項２２】

前記冷却システムは、前記冷却材が前記流れ経路を通過した後で冷却され、前記流れ経路を通過するように繰り返し再循環されるようになっている閉ループシステムである請求項１乃至１８の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項２３】

再循環のために前記冷却材を冷却するための機械式冷凍機（３６）を更に含む請求項２２記載の磁石システム。

【請求項２４】

前記冷却材は、極低温流体である請求項１乃至２３の何れか１項に記載の磁石システム。

【請求項２５】

前記冷却材はガスである請求項２４記載の磁石システム。

【請求項２６】

前記冷却材は、ヘリウムまたは窒素ガスである請求項２５記載の磁石システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、流れ冷却磁石システムに関する。

【背景技術】

【０００２】

多くの用途では、（デバイス、その他の装置、実験サンプルまたは有機体を含む）被検物、すなわちターゲットを、制御された磁界に入れることが好ましい。公知のように、現在最も強力な磁界は、極低温に冷却された電磁石によって発生されている。当該用途によっては（例えば極めて感度の高いデバイスの場合）、ターゲットも極低温または中間温度まで冷却されることがある。すなわちターゲット温度がほぼ周囲温度となるように、冷却

レベルを最小にできる。
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００３】
かかる磁石を作動温度に維持するのに必要な冷却システムは、かなりの大きさとなることが多い。更に、多くは温度条件および低温槽ボア内の閉じ込め体内のターゲットの性質が異なることに起因し、あるケースでは、システムからターゲットを取り外しできるという性質に起因し、ターゲットを冷却するために、異なる性質の冷却システムが使用される。
【０００４】
公知のシステムは、かさばることが多く、多数のシステムはターゲットを交換するために磁石自身を暖めなければならない。従って、かかる欠点を解消するために、公知のシステムについて改良する必要性がある。
欧州特許出願公開第１７６０４８号明細書には、ＮＭＲ装置が記載され、低温容器に入れられた磁石が低温流体によって冷却され、その低温容器からの流体の流れがＮＭＲプローブヘッドを冷却するのに使用される。
米国特許出願公開第２００６／０１３０４９３号明細書にも、同様に磁石システムが記載され、磁石が低温流体の容器内に入れられ、その低温流体の一部が、ＮＭＲヘッドを冷却するように容器から取り出される。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本発明によれば、ターゲット領域内に磁界を発生するための磁石と、低温冷却流体のための流れ経路を備えた冷却システムとを備え、前記流れ経路は、（ｉ）前記磁石と熱連通するよう配置された第１部分を有し、前記磁石は熱伝導によって冷却され、かつ、前記磁石は高熱伝導率部材により前記低温冷却流体から分離されており、熱が前記磁石から前記高熱伝導率部材を通って流れ、前記流れ経路は、（ｉｉ）前記ターゲット領域と熱連通する第２部分を有し、よって前記磁石および前記ターゲット領域の各々は前記冷却システムの前記第１部分および前記第２部分内の冷却材の流れによって冷却されるようになっている、流れ冷却磁石システムが提供される。
【０００６】
本発明者は、磁石とターゲット領域の双方を冷却するために、適当な設計をすれば、共通冷却システムを使用するシステムを製造できると認識に至った。このことは、第１部分と第２部分の一方と他方の間で冷却材が流れる流れ冷却システムを使用することによって達成できる。第１部分は最大の熱負荷を発生する磁石と熱連通するので、第１部分は第２部分の上流側にあることが好ましい。従って、冷却流体はまず第１部分を通過し、次に下流に移動し、第２部分を冷却する。ターゲット領域は検出器または他の装置／デバイスを含むことができるが、このターゲット領域は使用時にサンプルを係止するようになっていることが好ましい。かかるサンプルは、サンプルホルダー内に係止できる。このサンプルホルダーはターゲット領域の一部を形成してもよいし、形成しなくてもよい。
【０００７】
一般に、マグネットは低温槽内に収納される。かかる低温槽は少なくとも１つの放射線シールドを含むことが好ましい。この場合における流れ経路は、更に少なくとも１つの放射線シールドと熱連通する第３部分を含むようになっていることが好ましい。従って、冷却流体は磁石およびターゲットを冷却するだけでなく、少なくとも１つの放射線シールドも冷却することが好ましい。一般に、流れ経路は第１部分が位置する共通経路から、少なくとも２つの別個の経路に分離され、これら経路の一方には第２部分が位置し、別の部分には第３部分が位置する。従って、第２部分内で冷却材の一部が流れ、第３部分内で冷却材の一部が流れ、すべての冷却材が第１部分を流れることになる。
【０００８】
低温槽内の装置、例えば磁石に電流を供給するための電流リード線を更に冷却するのに

、第３部分を使用することもできる。かかる磁石は、一般に、７ケルビン以下、特に液体ヘリウム温度（４．２ケルビン）を含む極低温温度で作動できる超電導磁石であると理解できよう。

【０００９】

第１部分、第２部分および第３部分の各々をすべての流体が流れるわけではないので、システムは更にシステムのうちの第１部分、第２部分および第３部分のうちの１つ以上の内部に、所定の流量の冷却材を提供するようになっている流れコントローラを更に含むことが好ましい。この流れコントローラは、可変流れインピーダンスを含むことができるが、システムの種々の部分の各々における所定の定常状態の流れが必要な場合、スタティックな局部的流れインピーダンス（例えば導管の狭小部分）を使用することもできる。

【００１０】

一般に、第２部分はターゲット、例えばサンプルホルダーが熱連通する熱交換器を備え、従ってこの熱交換器はサンプルホルダーを介してサンプルを冷却するのに使用される。ターゲット領域内の温度の制御を高めるために、冷却システムの第２部分内の冷却材の冷却効果と組合わさって発生される熱が、ターゲット領域を所定の温度に保持するよう、ターゲット領域内にヒーターを設けることもできる。従って、所定の温度は冷却材の温度と周囲温度によって境界が定められたレンジ内に留まることができる。これによって、ターゲット領域はほぼ磁石自身と同じ温度に維持できるか、または室温を含むより高い温度で作動できるようになる。

【００１１】

ターゲット領域内の温度を正確に制御するために、システムは更に使用時に温度センサから受信される信号に応答してヒーターを制御するのに使用される温度コントローラと共に、ターゲット領域内に位置する温度センサを更に含むことが望ましい。可変流れインピーダンスが得られる場合、温度コントローラを使って流れインピーダンスを制御することもできる。

【００１２】

磁石は低温槽の真空チャンバ内に位置することが好ましく、サンプルを冷却する際にシステムはターゲット領域内にサンプル真空チャンバを含むことが好ましい。このサンプル真空チャンバは低温槽の真空チャンバから独立していることが好ましく、従って、これらチャンバの各々の温度および圧力は互いに独立して制御できる。

【００１３】

多くのケースでは、磁石は内部にターゲット領域が位置するボアを有するソレノイド磁石の形態で設けられる。一部の応用例では、サンプルがターゲット領域内に位置するとき、サンプルとの間で放射線（電磁波または粒子ビーム）を送受信できることが好ましく、従って、この場合システムはサンプルとの間で放射線を送受信できるように、少なくとも１つの第１ウィンドー位置を更に含むことが好ましい。第１ウィンドーを通って放射線をサンプルが受信でき、放射線がサンプルを通過し、次にモニタリングのために第２ウィンドーを通過できるよう、第１ウィンドーに対してサンプルの反対側に位置する第２ウィンドーも設けることが好ましい。従って、（可視光、紫外線光、赤外線光およびその他のより長い波長および短い波長を含む）電磁放射線、または粒子ビームを使った反射性モニタおよび透過性モニタを行うことができる。

【００１４】

かかるモニタをするために、磁石システムを光学的ベンチ上で使用するように適合でき、この磁石システムには、かかる光学的ベンチに取り付けるためのマウントを設けることが好ましい。光学的ベンチで使用するための公知の磁石システムでは、特定の配向に冷却システムを配置しなければならないことに起因し、ベンチに対して固定された配向が必要である。このことは、特にシステム内で液体冷却材を使用する場合、例えば液体状態に起因するだけでなく、超流体状態にあるために、液体ヘリウムを冷却材として使用する場合のケースに当てはまる。しかしながら、本ケースでは、冷却流体は（局部的凝縮に起因して専らガス状でない場合でも）ガス状となっていることが好ましく、システムは公称軸線

に対して垂直配向および水平配向で作動するようにできる。このことは、特にターゲットサンプルでの実験を実行する上で、汎用性を更に大きくできるので有利である。例えば磁石システムのボアの内部に対物レンズを置くことにより、サンプルを見るのに顕微鏡を使用することができ、次にシステムを水平方向または垂直方向のいずれかに配向できる能力により、顕微鏡または他の機器の使用がより容易となる。

【００１５】

冷却システム内の冷却流体の流れは、システムが「連続流れ」システムとなるように、連続にすることが好ましい。しかしながら、所定の環境では、システムの１つ以上の部分内で不連続流れを使用することも可能である。

【００１６】

冷却流体の流れに起因し、磁石は液体冷却材の大きい浴内に設置するのではなく、熱伝達により冷却する。磁石は高熱伝導率部材により冷却材から分離し、この部材を通って磁石から熱が流れる。これを達成するために、冷却材が通過して流れる、冷却システムの第１部分を含む環状チャンバによって囲まれていることが好ましい。従って、この高熱伝導率部材の表面積は冷却効果を強力にするように最大にできる。

【００１７】

ターゲット領域は、サンプルホルダーを支持するためのサンプルサポートを含むことができ、使用時にこのサンプルホルダー内にサンプルを保持する。このサポートは、好ましくは上記ヒーターおよび温度コントローラと組み合わせて熱交換器を使用して冷却できる。

【００１８】

使用時に、冷却材は連続的に流れることが好ましいが、冷却材リザーバーから流れ経路に冷却材が供給されるよう、システムを配置できる。この場合、システムの最大作動期間は、リザーバー内の冷却材の量によって決定される。別のケースでは、冷却材が流れ経路を通過した後に冷却され、流れ経路を通って繰り返し再循環されるよう、冷却システムを閉ループシステムとすることができる。再循環のために、冷却材を冷却するために、機械式の冷凍機を使用できるが、同じ効果を得るために、他の冷却システムも使用できることが理解できよう。

【００１９】

冷却材は極超低温流体、例えば極超低温（１００ケルビン以下）のガスまたは液体を含む流体であることが好ましく、従ってこの冷却材は、例えばヘリウムガスまたは窒素ガスでもよい。

【００２０】

以下、添付図面を参照し、本発明に係わる磁石システムの一部の例について説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２１】

図１を参照すると、ここには本発明に係わるシステムの一例の全体が番号１で示されている。本例で説明するシステムは、磁界内に保持されたサンプルについて、最適なモニタリングを実行できるようにするＭＯステーションである。

【００２２】

低温槽２が設けられており、この低温槽２は主真空チャンバ３を含み、このチャンバ３内には磁石４が位置している。低温槽２と磁石４とは、これら磁石４および低温槽２の実質的に中心を通って延びるボア５を構成するように、ソレノイド構造に形成されている。

【００２３】

磁石４は、約５テスラの磁界強度を発生する超電導ソレノイド磁石である。この磁石は、（点線で示された）電流リード線６を使って附勢される。この磁石は当業者に公知の持続モードで作動できる。磁石４は、高い熱伝導率を有する壁７によって囲まれている。この場合、壁は高純度銅から製造されているが、当然ながら、磁石の巻線は壁７から電気的に絶縁されている。磁石４の外周部には、壁７の分割部分を越えるように、環状チャンバ８が設けられている。使用の際に、磁石４を冷却するよう、この環状チャンバ８を通るよ

うに冷却ガスが流れる。本例では冷却材としてヘリウムガスが使用される。磁石を冷却するのに、ヘリウムがガス状となっていることは必須ではない。別の実施例では、環状チャンバ８が液体ヘリウムによって満たされるようにシステムを配置できる。ヘリウムガスは磁石を水平方向または垂直方向に配向できるようにするので、本例ではヘリウムガスが使用されている。

【００２４】

ボア５内には、サンプル用真空チャンバ９が位置する。この装置は低温槽２内のセパレート式低温槽と見なすことができる。真空チャンバ９は、円筒形の外側壁がボア５の壁に一致するような、ほぼ円筒形状となっている（しかしながら、真空チャンバ９は断熱をするように小さいギャップだけボアの壁から離間している）。内側壁の少なくとも一部は取り外し自在なサンプルサポート１０によって形成されており、このサポート１０も、中心のサンプルサポートボア１１を含む、全体に円筒形状となっている。このボア１１の直径はボア５の直径よりも小さい。サンプルサポート１０の一端（図１では上部端部）には、アルミナ（サファイア）サンプルホルダー１２が位置している。このホルダーは、使用時にサンプルを支持ボア１１の中心かつ端部に保持するためのものである。本例では、サンプルは、このサンプルが内部に位置する真空チャンバ９と同じ圧力に保持されるが、このことは必須のことではなく、専用圧力環境内にサンプルをシールすることもできる。

【００２５】

サンプル用真空チャンバ９の上部中心壁内の第１ウィンドー１３（ガラス）の下方にサンプルホルダー１２が位置するようにサンプルサポート１０が位置決めされる。サンプルサポート１０のサンプルホルダー１２と反対の端部において、サポートボア１１は第２ウィンドー１４（このウィンドーもガラスから製造されている）によってシールされている。第１ウィンドー１３および第２ウィンドー１４によって、電磁放射線が低温槽の一方の側から、ボア５および１１に沿ってサンプル１２を通過し、低温槽の反対側まで通過できるようになっている。これにより、サンプルホルダー１２内のサンプルの光学的な挙動の光学的観察または測定に関して、サンプルをモニタすることが可能となっている。かかる１つの用途として、発光ダイオードまたはレーザーデバイスによる外部照射により、「量子ドット」サンプルに対して光学的な測定を行うことが挙げられる。

【００２６】

サンプルホルダー１２の壁内には熱交換器１５が設けられており、この熱交換器は、壁の間の狭い螺旋ギャップを構成する通路と、噛合するネジとしてカットされた対向する壁によって形成された螺旋流れ経路の形態となっている。温度センサ（図示せず）と共にサンプルホルダー１２にはヒーター１６も隣接している。次に、本発明に係わる装置のための冷却システムについて説明する。

【００２７】

本例では、冷却材は周辺圧力で、かつ約４．２ケルビンの温度のヘリウムガスとなっている。しかしながら、システムが低い圧力で作動しなければならないガス状態を維持するために、より低い温度のヘリウム（例えば２ケルビン）も使用できる。ヘリウムガスは、図１に略して示されるヘリウムリザーバー２０から提供される。ヘリウムはこのリザーバー２０から供給導管２１に沿って低温槽２内までポンプで送られ、低温槽２はポートを通って磁石４の導電壁７に隣接する環状チャンバ８内に開口している。環状チャンバ８は流れ経路の第１部分として作動し、このチャンバは磁石と熱連通し、従って、環状チャンバに進入するヘリウムが壁７に接触することによって磁石を冷却する。次にヘリウムは、環状チャンバ８に開口する供給導管の開口部から離間しているポートを有する出口導管２２を通って、環状チャンバ８を出る。図１では、出口と供給導管は、図を簡潔にするために上下となるように示されていることに留意されたい。

【００２８】

環状チャンバ８の下流側にある分岐ポイント２３にて、出口導管は低温導管２４とサンプル導管２５とに分岐している。図１では分岐ポイントが示されているが、低温導管２４とサンプル導管２５を（それぞれのポートを介し）環状チャンバ８の異なる部分に接続し

、出口導管２２と分岐２３とを不要にすることによって同じ効果を得ることもできると理解できよう。

【００２９】

低温導管の目的は、冷却ガスの一部を取り込み、低温槽装置の別の部品を冷却するための冷却効果を活用することにある。本ケースでは、全体が番号２６で示された低温槽放射線シールドと低温槽２４とが熱連通状態にされている。その後、更なる下流において、冷却材は番号２７で示すように、磁石４の電流リード線６と熱連通状態にされる。各ケースにおいて、冷却効果を最大にするために、適当な熱交換器を使用できる。電流リード線６を冷却した後に、低温導管２４は低温槽からチェックバルブ３０を通過するように延びる。チェックバルブは、局部的な流れ抵抗を発生するので、低温導管２４およびサンプル導管２５の各々を流れる流体の相対的な量を制御するようになっている。低温導管２４とサンプル導管２５との間の冷却材の流量を正しく分割するように、全体として冷却システムの自然の流れ抵抗を設定すれば、このチェックバルブは不可欠なものではない。公知のように、導管の抵抗は、その導管の長さおよび横断面によって決まり、従って、これらパラメータの一方または各々を定めることができる。

【００３０】

再度、分岐ポイント２３に戻ると、（流れ経路の第２部分を示す）サンプル導管２５は、ポートを通って、サンプルサポート１０内の熱交換器１５を構成する螺旋のネジ切りされたスペース内に開口するようになっている。従って、この熱交換器の螺旋経路をヘリウム冷却ガスが通過するように流れ、サンプルサポート１０を冷却し、熱伝導によりサンプルホルダー１２を冷却する。サンプル導管の通気部分２８は、入口ポートの位置に対して熱交換器１５の遠方部分にあるポートから、低温槽２より通気位置へ冷却ガスを搬送する。

【００３１】

従って、サンプル１２は螺旋流れ経路によって得られる広い表面積の結果として、熱交換器１５の作動により冷却される。サンプル１２の温度は、少なくとも部分的にチェックバルブ３０によって制御されている冷却ガスの温度および流量に応じて決まる。サンプルホルダー１２内のサンプルの温度をより正確に制御するために、サンプルが所定の温度または温度サイクルを受けることを保証するよう、適当な制御システムおよび温度センサ（図示せず）を使用する熱交換器１５の冷却効果と組み合わせて、ヒーター１６が使用される。

【００３２】

真空チャンバ９の壁およびサンプルサポート１０の幾何学的形状は、サンプルホルダー１２内のサンプルに第１ウィンドー１３が接近するように定められている。これによって、顕微鏡のような光学的機器がサンプルホルダー１２内のサンプルに接近できる。更に、ウィンドー１３および１４によって、反射モードまたは透過モードのいずれかで、サンプルに電磁放射線が入射したり、サンプルを透過したりできるようになっている。これによって、反射率または透過率に関する磁界の関数としてサンプルの光学的性質を測定することが可能となっている。

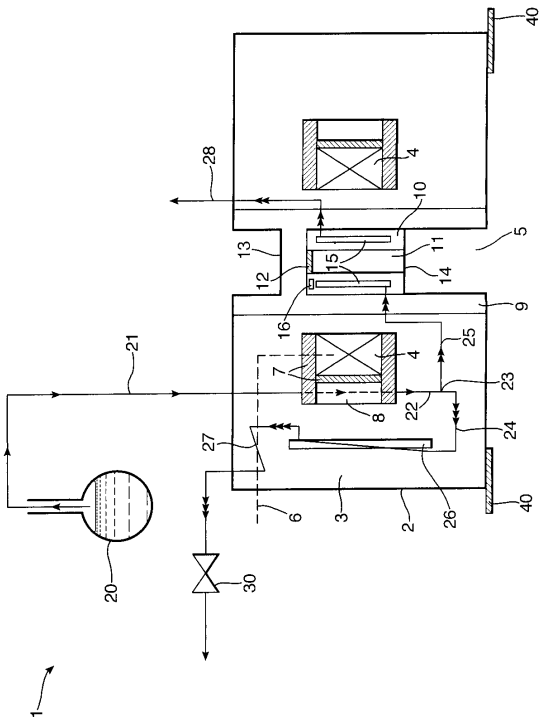
【００３３】

次に、（導管、熱交換器などを含む）冷却システムを使用する装置の冷却について説明する。供給導管２１内のような流れ経路の共通部品または低温槽２４およびサンプル導管２５の各々内のいずれかに設けることができるポンプシステムにより、導管を通してヘリウムガスをポンピングする。図１に示されるように、ヘリウムは（単一の矢印によって示される供給導管２１に進入し、磁石システムの環状チャンバ８内に入る。チャンバ８内にて、壁７、従って磁石４との熱交換が生じるので、ヘリウムは磁石から熱を吸収し、よって磁石を冷却する。次にヘリウムは、環状チャンバ８から出て分岐ポイント２３に達する（２つの矢印によって示される）ヘリウムの一部は、サンプル導管に沿って進み、熱交換器１５に流入し、サンプルホルダー１２を冷却する。これによってヘリウムの温度は上昇し、ヘリウムは熱交換器１５を越えて移動し、通気部分２８を通って低温槽の外部に通気

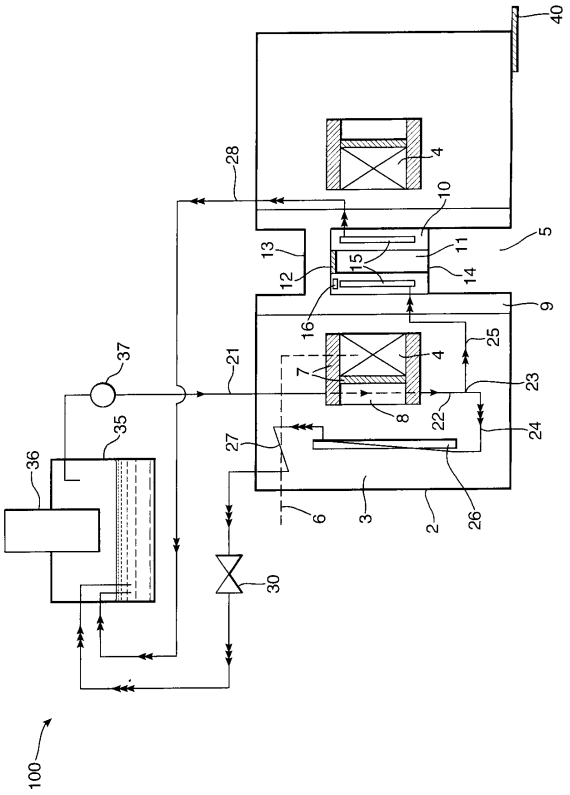
する。通気されたヘリウムは、所望すれば装置の外部で更に使用するように収集できる。
【００３４】
冷却材のすべてが通過して流れる導管２１および２２は、流れ冷却システムの共通部分として見なすことができ、この冷却システムは磁石の熱連通が生じる第１部分を含む。サンプル導管分岐内の第２部分では、サンプルホルダー１２との熱連通が生じる。冷却材の一部は低温導管２４に沿って分岐し、この冷却材はチェックバルブ３０を通って低温槽から出る前に、放射線シールド２６および電流リード線６との熱交換を実行する。放射線シールドおよび電流リード線と熱連通する低温導管２４内の流れ経路の一部は、流れ経路の第３部品を含む。チェックバルブ３０の下流側において、サンプル導管の通気部分２８を通る通気に関し、ヘリウムガスを更に使用するために収集することもできる。
【００３５】
次に、図２に示されている本発明の第２実施例について説明する。
【００３６】
図１に関連してこれまで説明した例を検討すると明らかとなるように、本明細書に説明した例の連続流れ動作は、最終的にはリザーバー２０内の液体ヘリウムの容積によって限定される。次に説明する第２の例では、定められていない期間にわたってシステムとの連続動作を効果的に提供できる再循環システムが提供される。
【００３７】
次に図１と同様な部品を同様な参照番号で示す、図２を参照し、連続流れシステムについて説明する。この第２の例は、参照番号１００で示す。
【００３８】
図２に示されるように、第１例のリザーバーは本例では容器３５に置換されている。この容器３５は、液体ヘリウムのリザーバーを含むが、第１例と異なり、本例では容器は機械式冷凍機３６によって冷却される。この機械式冷凍機は当業者に知られている多数の形態をとり得るが、本ケースでは３ステージのパルスチューブ冷凍機が使用されている。これによって容器３５およびその内部のヘリウムは所望する作動温度（周辺圧力では約４．２Ｋ）に維持される。図２にも示されるように、供給導管２１内にはポンプ３７が設けられている。
【００３９】
本例では、容器３５は外部環境からシールされており、外部環境から熱絶縁もされており、ポンプ３７は供給ライン２１に沿ってガス状ヘリウムを供給するように作動できる。前と同じように、バルブ３０は２つの導管２４と２５との間の相対的な流量を制御する。しかしながら、これら導管の各々が外部の雰囲気または収集システムに通気されている前の例とは異なり、本例ではガスは機械式冷凍機３６によって再び冷却される各ケースにおいて、容器３５へ戻されるようになっており、冷凍機３６は供給導管２１に進入するヘリウムが十分低い温度となるように、容器の温度を維持している。図１のケースのように、図２の例も極端な略図となっている。
【００４０】
当業者であれば理解できるような実際のシステムでは、低温槽に流入するガスの入口パッドをあらかじめ冷却するような出口経路内のヘリウムの冷却効果を使用する技術により、より高い熱効率を得ることができる。このことは、例えば、供給導管２１と熱連通する、供給導管２１までの同様な経路に沿って、図１の通気部分２８を設けることによって達成できる。
【図面の簡単な説明】
【００４１】
【図１】流れ冷却システムの第１の例である。
【図２】再循環冷却材を使用する第２の例である。
【符号の説明】
【００４２】
１　　冷却システム

２　低温槽
３　主真空チャンバ
４　磁石
５　ボア
６　リード線
７　壁
８　環状チャンバ
９　サンプル真空チャンバ
１０　サンプルサポート
１１　サポート支持ボア
１２　サポートホルダー
１３　第１ウィンドー
１４　第２ウィンドー
１５　熱交換器
２０　リザーバー
２１　供給導管
２２　出口導管
２３　分岐ポイント
２４　低温導管
２５　サンプル導管
２６　放射線シールド
３０　チェックバルブ

【図１】



【図２】



フロントページの続き

(74)代理人 100103609
弁理士 井野 砂里
(72)発明者 プロビル クマー ゴーシャル
イギリス オーエックス２８ １エフエフ オックスフォードシャー ウィットニー マドレーパート ウォーターフォード ロード ２０
(72)発明者 ロッド ベイトマン
イギリス オーエックス２８ １ディーユー オックスフォードシャー ウィットニー ウッドストック ロード ４０

審査官 山田 倍司

(56)参考文献 特開２００４－０４５３８３（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－１３８８５１（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－１０１３０８（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－０９３９１４（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０５４８５７３０（ＵＳ，Ａ）
特開２００３－０２２９０７（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２９１６３１（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００１／０９６０２０（WO，Ａ１）
特開２００３－３２９７５５（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２６８４４３（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－２１４９７６（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－２４５２１１（ＪＰ，Ａ）
特表２００７－５３８２４４（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－３３７６３１（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０１９８８４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ ２２／００－２２／０４
２４／００－２４／１４
Ｇ０１Ｒ ３３／２４
３３／２６－３３／６４
Ｈ０１Ｆ ６／００－ ６／０６
Ｈ０１Ｌ ３９／０２－３９／０４
３９／１４－３９／１６
３９／２０