(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4031121号
(P4031121)
(45)発行日　平成20年1月9日(2008.1.9)　(24)登録日　平成19年10月26日(2007.10.26)

(51)Int.Cl.			F I		
F25B	9/00	(2006.01)	F25B	9/00	311
F25D	3/10	(2006.01)	F25B	9/00	F
			F25D	3/10	A

請求項の数 15　(全 11 頁)

(21)出願番号　特願平10-275589
(22)出願日　平成10年9月29日(1998.9.29)
(65)公開番号　特開平11-159899
(43)公開日　平成11年6月15日(1999.6.15)
審査請求日　平成17年9月7日(2005.9.7)
(31)優先権主張番号　9720637.9
(32)優先日　平成9年9月30日(1997.9.30)
(33)優先権主張国　英国(GB)

(73)特許権者　592245719
オックスフォード　マグネット　テクノロジー　リミテッド
イギリス国オックスフォード，アインシャム，フオーフ　ロード　(番地なし)
(74)代理人　100066692
弁理士　浅村　皓
(74)代理人　100072040
弁理士　浅村　肇
(74)代理人　100093702
弁理士　山本　貴和
(74)代理人　100080263
弁理士　岩本　行夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】クライオスタット装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

冷却液体の第１および第２容積を画定する装置、前記第２容積内の超伝導磁気コイル構造物、およびパルスチューブ冷凍機を含むクライオスタット装置であって、使用中に第１および第２容積が冷却液を含み、前記第２容積の冷却液に浸されたコイル構造物を備えていて、前記パルスチューブ冷凍機が前記第１容積を通ってかつ第２容積内に延長して、前記コイル構造物の作動温度をヘリウム温度範囲以下に維持することを特徴とするクライオスタット装置。

【請求項２】

前記パルスチューブ冷凍機が寒冷端、および前記コイル構造物が浸漬される液体の容積内に延長する前記寒冷端に連結された熱交換器を備えた請求項１に記載されたクライオスタット装置。

【請求項３】

前記パルスチューブ冷凍機が設置される少なくとも一つのネックチューブを有し、それにより前記冷却液体の蒸発を減少する請求項１または２に記載されたクライオスタット装置。

【請求項４】

前記パルスチューブ冷凍機が温暖端を有し、該温暖端は別のパルスチューブ冷凍機を使用する装置によって液体窒素温度に予冷される請求項２または３に記載されたクライオスタット装置。

【請求項５】
少なくとも一つの放射シールドを含みかつ前記別のパルスチューブ冷凍機がシールドの冷却機および支持部材として作用する請求項４に記載されたクライオスタット装置。
【請求項６】
前記パルスチューブ冷凍機がそれに直接または間接に接続された液体窒素容器によって予冷される温暖端を備えた請求項２または３に記載されたクライオスタット装置。
【請求項７】
前記冷却液体を含む第１および第２容積を画定する装置が内部分離装置を有する単一の槽である請求項１から６のいずれか一項に記載されたクライオスタット装置。
【請求項８】
前記分離装置が密にされた薄壁ディスクまたは空にされたディスク、もしくはナイロンまたは炭素繊維複合体のような低熱伝導材料から作られたディスクである請求項７に記載されたクライオスタット装置。
【請求項９】
冷却液体を含む前記第１および第２容積を画成する装置が上槽および下槽をそれぞれ含む請求項１から６のいずれか一項に記載されたクライオスタット装置。
【請求項１０】
使用中に、前記パルスチューブが熱絶縁材を前記パルスチューブの回りに包装することにより前記上槽内の液体から独立されている請求項１から９のいずれか一項に記載されたクライオスタット装置。
【請求項１１】
使用中に、前記パルスチューブが前記上槽ないの液体から前記上槽において溶接されかつ前記上槽の上下板を接続することによって絶縁されている請求項９に記載されたクライオスタット装置。
【請求項１２】
１から４．２Ｋの温度範囲で作動すべく配置される請求項１から１１のいずれか一項に記載されたクライオスタット装置。
【請求項１３】
前記クライオスタット装置は、ＮＭＲ装置に限定されないが４．２Ｋ以下の温度を維持するのに必要ないかなるクライオスタット装置においても使用されるものである請求項１から１２のいずれか一項に記載されたクライオスタット装置。
【請求項１４】
前記クライオスタット装置がＮＭＲ装置である請求項１３に記載されたクライオスタット装置。
【請求項１５】
前記パルスチューブ冷凍機が液化装置として使用される請求項１から１４のいずれか一項に記載されたクライオスタット装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明はＮＭＲ（核磁気共鳴）分光学の分野および関連する応用実験分野におけるクライオスタット装置に関するがそれに限定されるものでなく、またとくにヘリウム温度以下の範囲において作動するパルスチューブ冷却機を有する高磁界ＮＭＲ装置に関する。
この型の分光学は、高度に複雑な化学的および生物学的分子を観察するとき現在もっとも正確な解析方法の一つであり、現在まで可能でなかった種々の発見を展示することを可能にする。
【０００２】
【従来の技術】
とくに、本発明はＮＭＲ装置のクライオスタット装置に関し、とくに直接高磁界ＮＭＲへ応用することを意図している。ごく最近市販されている高磁界磁気装置は、約１７．６３

テスラの磁界に対応する、約７５０ＭＨｚのプロトン共鳴振動数を示す。ある用途に対して、たとえば２１．１Ｔに対応する９００ＭＨｚまたさらにＧｉｇａＨｚ範囲にさえ達する一層高い磁界を必要とする。分光学は、高い磁界強さおよび、通常１時間当たり10^{-8}の範囲またはそれ以下の中心磁界強さの、低い磁界ドリフトを必要とする。これらはいずれも、トイブナ教育図書社（Teubner Studienbucher)発行、“超伝導における高出力応用”（Hochstrom-anwendung der Supraleitung；High－Power aplication in Super conductivity）９３および９４頁においてコマレク（Komarek)によって提案されたように、現在の標準的Nb_3SnまたはＮｂＴｉワイヤまたはテープを使用することにより、また２０テスラ装置用ＨＴＣワイヤと組合わせ、さらに磁石が浸漬された過冷却ヘリウム槽によって、達成することができる。ヘリウム槽の過冷却は、外部装置、もっともしばしばポンプ集合体によって所要の温度に槽をポンプダウンすることによって実施される。過冷却に対してここに使用される定義は、実際に４．２Ｋ以下の範囲の、とくにラムダ転移点付近および大型ポンプが使用される場合１．８Ｋまでの、温度を参照する。ヘリウムの低い蒸気圧力および膜状流のため、一層の温度低下を達成するのは困難である。約５０ｍｂａｒの飽和蒸気圧力において、転移はラムダ点と称せられるＴλ＝２．１７２Ｋにおいて起こる。この点において、液体ヘリウムＩおよび液体ヘリウムＩＩはラムダ線と称せられる共通の境界相によって分離される。また装置を２．１７２Ｋにポンプダウンするとき、ヘリウムクリープが、蒸気圧力低下の結果として、液体ヘリウムの物理的特性の変化により熱交換面の付近において検出されることも公知である。

【０００３】

高磁界ＮＭＲ装置において、ヘリウム槽のポンプダウンが、クライオスタットに取付けられた開ならびに閉ループ制御装置技術を使用することは公知である。ポンプダウンはヘリウム槽の全圧力を６０ｍｂａｒまたはそれ以下に低下させることである。

典型的な高磁界装置は、英国特許第２２８６４５０Ａ号の明細書に記載されている。

【０００４】

管理されていない装置を作動させるため、ヘリウム槽の過冷却温度を維持するポンプ装置は、ヘリウム槽の温度を制御する給送されるヘリウムガスの流量のフィードバック制御と同様に、連続的に監視されなければならず、そのことは自体投資および維持に費用が付加されることを意味する。もしポンプ装置が故障するならば、ヘリウム槽および磁石は４．２Ｋに向かって暖まり始め、磁石は作動しなくなるであろう。このようにならないため、かつ確実に連続作動するため、同様に付加的経費を意味する装置の余剰が要求される。かかるポンプ式装置の別の欠点は、これがクライオスタットの内部要素たとえば放射シールドおよび振動をうけ易い他の部品に伝達される永久的振動源となり得るため、クライオスタット装置に接続された給送装置の管系である。かかるポンプ装置の別の欠点は、負圧による装置への氷の浸入の増加である。このことは、たとえばコイルから管入口およびネックチューブ内に通ずる電気的接続において発生し始める、氷がタレット内に徐々に発生するような厳しい課題を生じ、実際使用者の認識なしにネックチューブを閉鎖する。しかして、給送装置はまた永久的点検、電子的監視および補修も必要とする。

【０００５】

磁石を内蔵する容器内のガス圧力を低下することは、制御機構が２．２Ｋ段階に導入されなければならないことも意味している。この制御機構は、通常特殊な弁、多分きわめて少ない流量が得られる針弁である。実際に漏洩流量と定義される少ない流量のため、この漏洩流は弁スピンドルの接近し得る温暖端からの漏洩流を設定することによって制御しなければならない。氷が装置内に浸入しないように注意する必要がある。低圧すなわち弁装置内の吸込みプロセスのため、所望の流量の設定を不可能にする弁座への粒子の浸入に対する保護手段を設けなければならない。また上記のように、この装置は、ウォームアップおよびクールダウンの間にまたは氷が頂部容器から浸入するときもっとも起こり易い氷結の問題に遭遇し、そのこと自体流量の調節を不可能にしないまでも困難にする。さらに、この型の精密制御要素は高価で、ＮＭＲ装置の全経費を増加する。

【０００６】

【発明が解決しようとする課題】
ラムダ温度水準において安定した温度を得るため、液体ヘリウムのエンタルピの約４０％が下方液体ヘリウム槽から取出されなけければならず、またポンプ式装置における完全な蒸発のために添加されなければならない。したがって、ポンプ装置は液体ヘリウムの蒸発の増加および匹敵する大きさの４．２Ｋジュワー瓶より高価な全運転および維持費の増加を示す。
要するに、過冷却装置は、液体ヘリウムの通常の沸騰点において作動するクライオスタットより構造および配置全体が一層複雑でかつ故障し易いことにおいて、努力目標を提供する。
【０００７】
装置全体への、および歪みのないよいＮＭＲ信号を得ることを不可能にする磁石への振動の導入のため、またこの温度範囲に対して一般に低温クライオ冷却機を利用することができないため、ＮＭＲ装置にピストン駆動クライオ冷却機を導入することは従来実行可能ではなかった。
その間、クライオ冷却機における現代の技術はいちじるしく進歩し、ピストンのない装置によってさえ２．１３Ｋのような低温を得ることが可能になった。上記に強調したように、このことはこの温度範囲がポンプ給送および実際に他の４．２Ｋ装置とまったく同様に作動する槽なしに達成可能であることを意味する。
ラムダ温度において冷却容量を有する冷却機は、下記の記載においてラムダ冷却機と呼称する。
したがって、本発明の目的は高磁界ＮＭＲ装置に対するポンプによらない機械的冷却装置を得ることにある。
【０００８】
【課題を解決するための手段】
本発明によれば、冷却液体の第１および第２容積を画定する装置、冷却液体の前記容積の一方内に浸漬された超伝導磁気コイル構造物、およびコイル構造物の作動温度をヘリウム温度範囲以下に維持する冷却装置を有するクライオスタット装置において、前記冷却装置が冷却液体の前記第１および第２容積内に延長するパルスチューブ冷凍機であることを特徴とするクライオスタット装置が得られる。
パルスチューブ冷凍機は寒冷端およびコイル構造物が浸漬される液体の容積内に延長する寒冷端に連結された熱交換器を備える。
パルスチューブ冷凍機は、冷却液体の蒸発を減少するため、現存するネックチューブに接続されるのが便利である。
【０００９】
パルスチューブ冷凍機の温暖端は、８０Ｋで作動する別のパルスチューブ冷凍機によって、または液体窒素温度水準および／または放射シールドの低温にタレットの内部リンク位置において直接にリンクされることによって予冷することができる。
パルスチューブ冷凍機は、放射シールドを冷却しかつ支持するため使用することもできる。
パルスチューブ冷凍機は、もし剛性のものとして構成されるならば、多段冷却機の場合に放射シールドを冷却しかつ支持し、同時にネックチューブを支持し、磁石装置を懸垂するため使用することができる。
【００１０】
【発明の実施の形態】
以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。
図１は、典型的には４．２Ｋの温度の第１上方ヘリウム槽２、および典型的には１．８～２．５Ｋの温度の第２下方ヘリウム槽４を有し、それゆえ冷却液体の第１および第２容積を画定する高磁界ＮＭＲ装置の一部を示す。下方ヘリウム槽には超伝導磁気コイル装置６が浸漬されている。二つの放射シールド８．１０が示されている。これまで記載されたＮＭＲ装置は周知であり、かつ上記英国特許明細書にも上方および下方槽２，４が互いに連

結される方法が記載されていることが認められるであろう。

【００１１】

本発明は上記特許明細書に記載された装置を、そこに記載された冷却装置をパルスチューブ冷凍機と置換することによって、改良することを意図している。図１に示されたパルスチューブ冷凍機は、温暖端１４および寒冷端１６を有するコールドフィンガまたは冷却ロッド１２を有する。冷却ロッドは、上方槽２を通って下方槽４内に延長し、そこで熱交換器２６に連結されている。挿入された冷却ロッド１２は、点２０，２２において一つまたはいくつかの放射シールド８，１０に熱的に接続され、放射シールドを冷却すべく作用する。外側真空缶１８はシールド１０を囲んでいる。

温暖端１４は、点２０，２２における放射シールドの支持部材としてまた放射シールドを冷却する装置としても作用し得る、８０Ｋパルスチューブ冷凍機によって予冷することができる。

そうでなければ、位置２２は、放射シールド１０に代えてそこに直接連結された液体窒素容器によって冷却される。

【００１２】

二つの槽を上記に説明したが、ＮＭＲ装置は、冷却液体の第１および第２の容積を形成する、内部仕切装置を有する単一の槽を備えることができる。仕切装置は厚い、薄い壁の中空のディスク、排気したディスク、またはナイロンまたは炭素繊維複合体のような低熱伝導材料から作られたディスクとすることができる。

上記のように、もしパルスチューブが剛性のものとして構成されるならば、この仕切ディスクはもし冷却機の永久的固定が推奨されるならば冷却機自体の上に固定することができる。

【００１３】

以下、いわゆるパルスチューブ冷凍機の作用を説明する。パルスチューブ冷却機はいまやヘリウムのラムダ温度ラインに到達した。典型的ラムダ温度用パルスチューブの形状は、ジー．サムズ（G．Thummes）、エス．ベンダ（S．Bender ）およびジー．ハイデン（G．Heiden)による刊行物中において、クリオゲニクス誌１９９６年、第３６巻第９号、第７０９～７１１頁に搭載された、“液体窒素予冷二段階パルスチューブ冷凍機を備えた^4 Heラムダ管への到達”と称する論文中で論じられている。ここに記載されたパルスチューブの構造は、ラムダ冷却機を予冷する装置として液体窒素を使用する予冷装置を使用している。この予冷は付加的の二段階または一段階パルスチューブ冷凍機によっても促進され、該冷凍機はシールド装置を冷却する一方その最終段階に取付けられたコールドフィンガはヘリウム槽をラムダ温度に冷却しかつその温度を維持する。

【００１４】

上記のように、ラムダ冷却機は本質的に単一の中空円管１２を有し、再生機管は熱交換器２６がその低温段階に取付けられ、かつ液体ヘリウム槽を一定の温度に維持するきわめて有効な装置を形成する、いわゆるコールドフィンガである。再生機およびパルスチューブの種々の構造、配置はクリオゲニクス誌１９８８年、第２８巻８月号に、“実際のパルスチューブ冷凍機：同軸構造および粘性の影響”と称する、アール，エヌ，リチャードソン（R.N.Richerdson）の論文に記載されている。

４．２Ｋから２Ｋへの１００リットルのヘリウムの典型的容積の温度降下は、もし冷却機が２Ｋにおいて０．２Ｗの冷却容量を持つべく設計されているならば、２日から３日の間に達成できる。もし一層強力な冷却容量が利用可能であるならば、この冷却時間は一層短縮可能である。もし望むならば、一層迅速な冷却速度を得るために、改装されるポンプ管系をタレットに挿入することができる。

【００１５】

これらの型の浸漬した、槽冷却高磁界装置は、一旦槽が特定の設定温度に冷却されるとき、いちじるしく安定した機能を奏する。したがって、コールドフィンガに適当な市販されたアルミニウムひれ付き熱交換器、またはこの技術において普通の他の熱交換器を取付けることは、ヘリウム槽の作動温度を維持するため、ヘリウム槽への熱伝達の有効な装置を

形成する。異なった作動条件の結果としての温度変動は、小さい動力しかパルスチューブから利用し得ないときでさえも、容易に計算可能である。

【００１６】

この少動力量の冷却は、取囲む液体ヘリウムにおける密度流変化によって生じた温度変動を考慮することができる。

しかしながら、ラムダ温度以下の温度は、技術的見地から制御するのが困難なヘリウムクリープ作用を最少にするため回避されるべきである。熱的成層はポンプ式装置と同じで、かつ付加的困難を加えるものでない。

本発明の一つの利点は、特定の温度を維持するためいかなる負圧も存在しないため、氷結の問題が最少になりしたがって使用者側における処理が一層容易になり、すべての安全性が改善される。

【００１７】

さらに、図１に示された本発明は、冷却機が作業するのに失敗することはもっとも起こり得ないことであり、交換はコールドフィンガ１２を引出して他のものと更新することによって容易に実施可能である。パルスチューブは、もし再生機およびパルスチューブが直列に配置されるならば、チューブの湾曲が実施可能であるかまたは、更新するとき使用者の側において設置高さに対応可能とするため、可撓性部分がパルスチューブと再生機チューブとの接続点に導入可能であるように、構成することができる。この温度におけるヘリウムの高熱容量のため、必要になるとすれば冷却機の交換に対して十分な時間（典型的には２ないし３日）が存在する。

【００１８】

図１に示された装置の別の利点は、冷却装置を設置することの容易さである。好適には、かかる高磁界装置は、二重容器装置として、たとえば二重タンクジュワーとして形成される。そのことは、パルスチューブ冷凍機がクライオスタットの外側真空ケースの頂部フランジに固定または嵌装するだけでよく、一方他の部分は下方のヘリウム槽まで延長し、たとえば２．２３Ｋにおいて浸漬された超伝導磁石６は両方のヘリウム槽２，４を連結する管内に小さい環を残して案内されるだけで酔い。永久的に固定することは必要なくまたは特殊な位置に対して必要でない。これは磁石をランダウンする必要のない冷却機の嵌装または更新を容易にしそのことでかなりの経費および時間が節約される。

【００１９】

さらに、作動中、そして冷却機が２．２Ｋにおいて冷却出力を供給し続けるとき、４．２Ｋヘリウム槽における熱勾配は２．２Ｋの境界が上方がヘリウム槽２に向って移動する傾向を有し（熱的成層または異なった温度水準の層の形成）、同時に下方貯槽４に向うヘリウムの補給が両方の容器に種々の環部を通して実施される。かくしてヘリウム槽の上方領域内に温度勾配が発生し、ヘリウム槽はもはや純粋な４．２Ｋ槽に出現する温度の均一性を示さなくなる。これは磁石を熱的に保護するためある程度望ましい。もし望むならば、これは、圧縮機出力を調節または減少することにより、または液体ヘリウム４の水準が通常の蒸発まで低下するならば、上方ヘリウム槽２に再充填することによりもしくは抵抗器によって上方槽を僅かに加熱することにより、きわめて便利に制御可能である。

【００２０】

チューブ１２の直径は５～２０㎜の範囲がもっとも多く、コールドフィンガを下方ヘリウム槽４が引出さなければならない場合、４．２Ｋから２．２Ｋへの熱貫流を生ずるコールドフィンガの大きさに対応する小容積が、ヘリウム槽２，４の間に開いている。この下方に伝達される熱は、槽４内の下方液体ヘリウムへの計算された環部の総和より大きい程度の大きさである。

コールドフィンガの引出しは、４．２Ｋ液体ヘリウム槽が迅速に安定しかつ両方の槽の間の熱勾配を回復するとともに上方ヘリウム槽に勾配を延長し、上方ヘリウム槽は上記充填の間熱流入の突然の変化（４．２Ｋ液体ヘリウム温度が２．２Ｋに低下）に対して保護するため、クライオ装置自体の機能を維持することを混乱させまたは不可能にすることはない。

【００２１】
現在において、パルスチューブ再生機の材料は磁性稀土類材料よりなる。３．６Ｋ程に低い温度は、純粋な非磁性鉛のショットを使用することにより得られることが知られている。それゆえ、将来の使用の際磁性再生機の材料の使用を廃止し得るか、またはもしこれが実行可能でないことを証明すべきであるならば、再生機の適当な磁気シールドを用意することができる。つめ物をしてさえ、この磁気作用は、この質量が密に充填されその機能の特性によって再生機内においていずれの方向にも移動することは許されず、すべての磁性物品に加えるだけのきわめて小さい一塊の質量に過ぎないので（たとえばねじおよび他の磁性物品）実現可能である。いずれの場合にも、ひとかたまりの質量の選別は可能である。

【００２２】
記載されたラムダパルスチューブ冷却機は、液体ヘリウム槽における液化に使用可能であり、このヘリウム槽温度は液体ヘリウムの通常の沸騰温度、すなわち４．２Ｋとして定義され、長期間の連続作動に必要なＮＭＲ高磁界装置に対してとくに目標とされている。
したがって、ラムダ冷却機は槽冷却４．２Ｋ分光装置用にも通常もっとも多く使用される。本発明はまた異なった範囲の用途、すなわち３００～７００ＭＨｚ装置に対応する中間範囲の、高磁界磁石にも使用される。
ラムダ冷却機はＮＭＲ装置のネックチューブに便利に設置可能であり、それにより液体フィルムの沸騰を回避し、それゆえ使用者に液体処理の必要がなくかつ確実に連続作業する損失ゼロの装置を提供する。

【００２３】
現在の市販の装置では沸騰が少ないが、本発明は液体処理を減少し、かつヘリウムの水準を磁石を再充填または再詰め込みする必要なしに一定に保持し、それゆえ充填およびそれによって生ずる停止の必要がもはや存在しないことにおいて、かかる装置の作業の連続期間をかなり延長する。
また本発明は、ヘリウム容器を周囲から完全に閉鎖することを可能にし、それゆえポンプ式装置におけるように、外部動力源によって影響されることのない安定した自律式クライオ環境が得られる。一般に、分光装置はクライオスタットにある過圧を維持することにより空気の進入に対して保護される。

【００２４】
しかしながら、ポンプ式装置の場合、ヘリウム液体液面上の空間内のヘリウムガスはタレットの管装置を通って流出するヘリウムとなお相互作用して、低温技術において周知の現象である、ヘリウムの沸騰を増加する熱的振動を誘起する。ラムダ冷却機を導入することにより、クライオスタットはさらに簡単化されかつ沸騰における望ましくない熱的作用は停止される。
現在まで、液化装置の導入は実施可能でなく、満足なＮＭＲ信号はＧＭ冷却機の可動部分すなわちピストンのため得られず、ピストンはその振動運動のため磁界に影響し、磁界はアルミニウムシールドに渦電流を間接的に導入し、ピストンの振動のためシールド構造を永久的に励起する。

【００２５】
図２を参照すると、ラムダ冷却機が詳細に示されている。同様の部分は図１と同じ符号を付されている。パルスチューブ冷凍機は、高磁界磁気装置の冷却用２．２Ｋ冷却機として作用する。パルスチューブ冷凍機は、詳細図Ａに示されたように熱交換装置に取付けられ、それゆえポンプ式槽を有しない。パルスチューブ冷凍機は、もし固定されるならば懸架装置の一部としてかつシールド冷却機として使用される。冷却ひれを寒冷ヘッドに設けることができる。ばね装置２８は、寒冷ヘッドから外側真空容器まで延長している。外側真空容器は、点３０において連結されている。冷却機は点３４において取付けられている。

【００２６】
図３を参照すると、高磁界ＮＭＲ装置用４．２Ｋ冷却機および液化装置が示されている。同様の部分は図１と同じ符号を付されている。

冷却機はＮＭＲ高磁界磁石用単一容器ジュワーにおいて作動する。ガス領域は点３６で示され、液体領域は点３８で示されている。領域ＡおよびＢは、それぞれ詳細図ＡおよびＢに詳細に示されている。

【００２７】

図４を参照すると、この図面は、この技術において公知の、種々のパルスチューブ４０および再生機チューブ４２が、熱交換器４４とともに示されている。

これら図示装置はいずれも本発明に使用するのに適している。

パルスチューブが磁石の熱障壁または一部およびクライオスタットの機械的負荷を支持するため強固に作られている場合、パルスチューブは固定、たとえば好適には図１の位置２５または２６において溶接されなければならない。ついでパルスチューブ装置の収縮を考慮するため、パルスチューブの温暖端と外側真空ケースとの間の位置２２に、一つまたは二つのベローベンドをチューブに導入することが必要である。もしパルスチューブが大きい負荷を支持しなければならないならば、前記チューブは軟質ベローおよび内部皿ばね装置と交換することができ、それらは負荷を支持すると同時に、図２に示されたように、装置の熱収縮の発生を可能にしている。そうでなければ、チューブ上部の部分は熱膨張係数が負の材料から作ることができる。

しかしながら、好適な位置は、軟質ベローを位置２２と２２ａの間に挿入するとともにパルスチューブ冷凍機が槽２，４に案内されかつ放射シールドに熱的に接続される位置である。

【００２８】

もしパルスチューブを槽２内の液体ヘリウム内に浸付させることを望まないならば、これはチューブの周りに適当な壁厚で断熱材を巻くことによって、または永久的に溶接されそれぞれ容器の下方および上方板を連結する付加的管を槽内に設置することによって達成可能である。このようにして、パルスチューブはクライオスタットの共通の真空を分け合い、パルスチューブ内の縦方向熱勾配は影響されない。

位置２６における熱伝達装置は市販の熱交換器とすることができる。

この構造の別の利点は、ヘリウム容器は熱交換面が僅かに点２４まで貫通することができかつ輻射型熱交換プロセスを実施するため、長さを短縮することができることである。

【００２９】

この技術に通じた人々には、本発明がＮＭＲ用に限定されるものでなく他の分野の用途にも拡張可能であることが認識されるであろう。

本発明は１～４．２Ｋの温度範囲において作動すべく配置されたＮＭＲ装置に便利に使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】パルスチューブ冷凍機を備えたＮＭＲ装置の部分図。

【図２】高磁場磁気装置の冷却用パルスチューブ冷凍冷却機として使用されるときの、図１に示すＮＭＲ装置の該部分のきわめて詳細な図。

【図３】高磁場磁気装置の冷却用４．２Ｋ冷却機および液化装置の図。

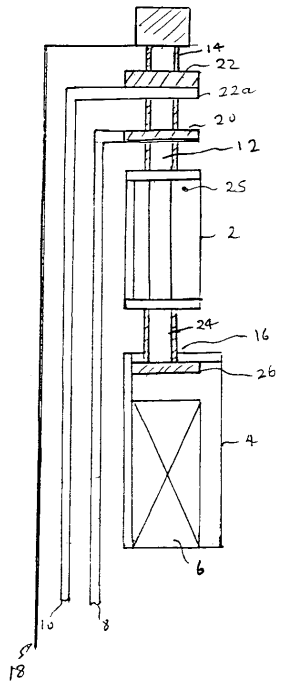
【図４】種々のパルスチューブ構造の図。

【符号の説明】

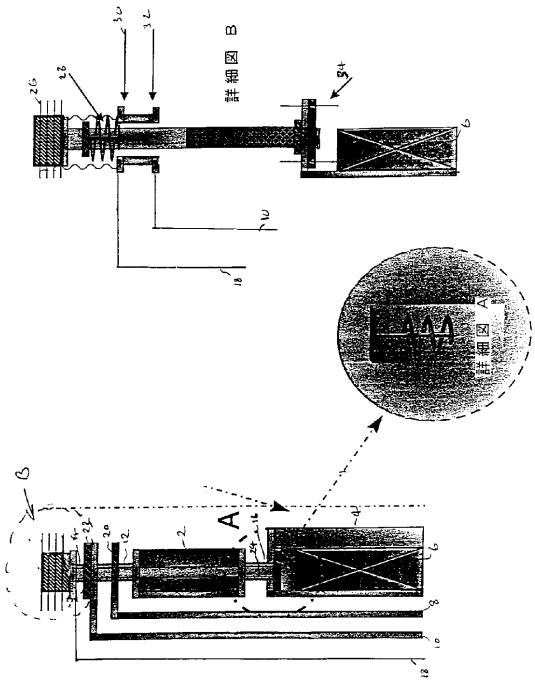
２　上方ヘリウム槽
４　下方ヘリウム槽
６　磁気コイル装置
８，１０　シールド
１２　コールドフィンガ
１４　温暖端
１６　寒冷端
１８　外側真空缶
２０，２２，２４　点
２５　位置

２６　熱交換器
２８　ばね装置
３４，３８　点
４０　パルスチューブ
４２　再生機
４４　熱交換器

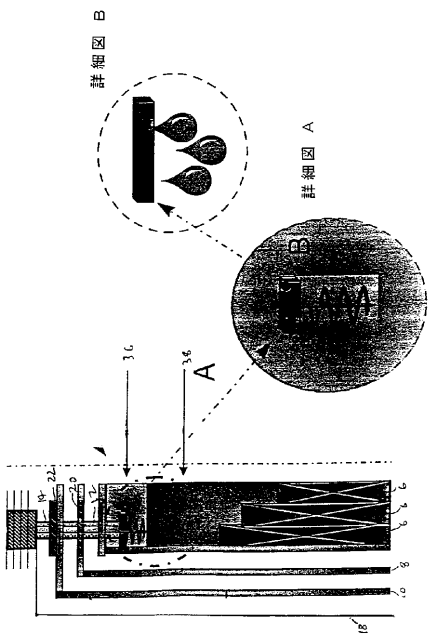
【図１】



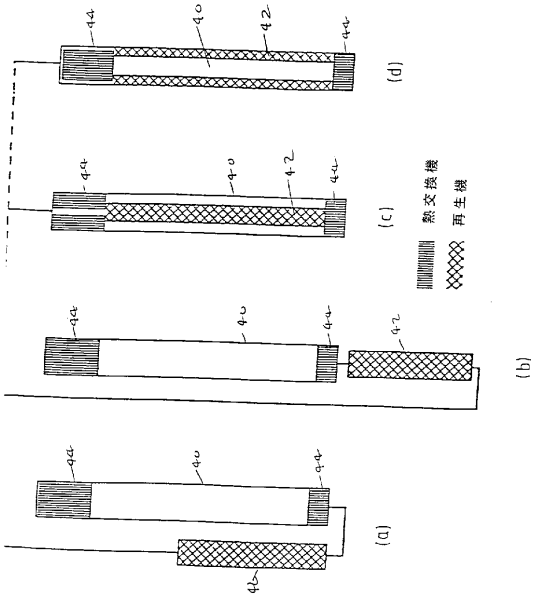
【図２】



【図３】



【図４】



フロントページの続き

(72)発明者　ヴォルフガンク　シュタウトナー
イギリス国　オックスフォード，ポトル　クロース　１０

審査官　川端　修

(56)参考文献　英国特許出願公開第０２３２９７００（ＧＢ，Ａ）
特開平０４－２２５７５５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
F25B　9/00
F25D　3/10