

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4413245号
(P4413245)

(45) 発行日 平成22年2月10日 (2010.2.10)

(24) 登録日 平成21年11月27日 (2009.11.27)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 R 33/32 (2006.01)	GO 1 N 24/04 5 1 O G
GO 1 R 33/34 (2006.01)	GO 1 N 24/04 5 2 O A

請求項の数 19 外国語出願 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2007-120875 (P2007-120875)	(73) 特許権者	591148048
(22) 出願日	平成19年5月1日 (2007.5.1)		ブルーカー バイオシュピン アー・ゲー
(65) 公開番号	特開2007-298518 (P2007-298518A)		スイス国、フェルアンデン ツェー・ハー
(43) 公開日	平成19年11月15日 (2007.11.15)		ー 8 1 1 7、インドゥストリーシュトラ
審査請求日	平成20年6月17日 (2008.6.17)		セ 2 6
(31) 優先権主張番号	102006020774.2	(74) 代理人	100125254
(32) 優先日	平成18年5月3日 (2006.5.3)		弁理士 別役 重尚
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100118278
			弁理士 村松 聡
		(72) 発明者	ダニエル マーレック
			スイス国 モーリケン ツェーハー ー 5 1
			0 3 アーゲー マークスタインヴェグ
			2

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 結合可能な冷却されたNMRプローブヘッド

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

冷却装置によって極低温に冷却される少なくとも1つのアンテナシステムを有する検出装置 (3) と、前記検出装置 (3) から空間的に分離される前置増幅器筐体 (15 a、15 b) の中の冷却された前置増幅器 (16) と、熱絶縁連結手段であって、前記連結手段を介して前記検出装置 (3) 及び前記前置増幅器筐体 (15 a、15 b) が連結される、熱絶縁連結手段とを備え、前記連結手段は冷却用流体を供給し且つ／又は戻す少なくとも1本の冷却管路 (9 a、9 b、53 a、53 b) と電気信号を送信する少なくとも1本のRF管路 (10、52) とを含む、磁気共鳴 (MR) プローブヘッドにおいて、前記RF管路及び冷却管路 (10、52、9 a、9 b、53 a、53 b) を含む前記連結手段が、結合部によって前記前置増幅器筐体 (15 a、15 b) から分離され得ることを特徴とするMRプローブヘッド。

【請求項 2】

前記MRプローブヘッドは、磁気共鳴映像法 (MRI) 用途用又はNMR (核磁気共鳴) 分光法用のプローブヘッドであることを特徴とする請求項1記載のMRプローブヘッド。

【請求項 3】

第1の冷却回路の一部である少なくとも2本の冷却管路 (9 a、9 b、53 a、53 b) が設けられることを特徴とする請求項1又は2記載のMRプローブヘッド。

【請求項 4】

前記結合部は、前記検出装置（３）に至る前記少なくとも１本の冷却管路（９ａ、９ｂ、５３ａ、５３ｂ）を前記前置増幅器筐体の側の少なくとも１本の冷却管路区間（５４ａ、５４ｂ）に結合する流体結合要素（２９、３０）を有する流体結合装置と、ＲＦ管路結合装置（３２）とを備え、前記ＲＦ管路結合装置（３２）は、少なくとも１つの第１のＲＦ管路結合要素と、少なくとも１つの前記ＲＦ管路（１０、５２）を前記前置増幅器（１６）の信号入力に結合する第２のＲＦ管路結合要素とを備えることを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項に記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項５】

ばね要素（４２）が第１及び第２のＲＦ結合要素（３９、４０）の少なくとも１つの対に設けられ、前記ばね要素は、前記第１のＲＦ結合要素と前記関連する第２のＲＦ結合要素とを相互に押し付けることを特徴とする請求項４記載のＭＲプローブヘッド。

10

【請求項６】

前記ＲＦ結合要素及び／又は前記第１のＲＦ結合要素を包囲する真空ジャケット（４６）が、熱段（２５）によって冷却されることを特徴とする請求項４又は５記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項７】

前記ＲＦ管路結合要素（３９、４０）の前記熱段（２５）は、前記前置増幅器（１６）の熱交換器（２４）、前記前置増幅器の熱段（２３）、又は前記前置増幅器（１６）自体に熱連結されることを特徴とする請求項６記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項８】

20

前記冷却された前置増幅器（１６）の電子部品は、前記少なくとも１本の冷却管路（９ａ、９ｂ、５３ａ、５３ｂ）から分離している第２の冷却回路によって冷却されることを特徴とする請求項３乃至７のいずれか１項に記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項９】

前記ＲＦ管路連結要素の前記熱段（２５）を冷却するために、前記第２の冷却回路の供給用管路の中に又は前記第１の冷却回路の戻し用管路を介して配置される熱交換（２６）が設けられることを特徴とする請求項６乃至８のいずれか１項に記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項１０】

前記熱段（２３）は、動作中に前記前置増幅器の温度を下回る温度を有することを特徴とする請求項６乃至９のいずれか１項に記載のＭＲプローブヘッド。

30

【請求項１１】

前記結合部は、真空管路（３８）に結合する真空連結部（３１）を備えることを特徴とする請求項１乃至１０のいずれか１項に記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項１２】

前記連結手段は、機械的に柔軟なＲＦ管路及び冷却管路（９ａ、９ｂ、１０）を有する機械的に柔軟な連結管路（８）として設計されることを特徴とする請求項１乃至１１のいずれか１項に記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項１３】

１本又は複数のＲＦ管路（１０、５２）が単一の冷却管路（９ａ、９ｂ、５３ａ、５３ｂ）に関連し、それぞれが、前記関連する冷却管路（９ａ、９ｂ、５３ａ、５３ｂ）と共に、１つの管路パッケージを形成し、単一の管路パッケージの前記ＲＦ管路は、良好な熱伝導率を有する結合要素（１１）を介して、間隔をおいて相互に熱連結されることを特徴とする請求項１乃至１２のいずれか１項に記載のＭＲプローブヘッド。

40

【請求項１４】

前記連結管路（８）の低温部分が、熱絶縁のために、少なくとも１つの柔軟な外部ジャケットの内部の真空の中に配置されることを特徴とする請求項１２又は１３記載のＭＲプローブヘッド。

【請求項１５】

前記アンテナシステムは、前記前置増幅器（１６）よりも低い温度で動作させられるこ

50

とを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の MR プローブヘッド。

【請求項 16】

前記前置増幅器 (16) は、検査されるべき同じ核用に、幾つかの平行な前置増幅器チャンネルを含むことを特徴とする請求項 2 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の MR プローブヘッド。

【請求項 17】

前記前置増幅器 (16) は、 ^{31}P 核、 ^{13}C 核、 ^{23}Na 核、 ^{19}F 核、 ^{17}O 核、 ^{129}Xe 核、又は ^2H 核の信号を増幅するチャンネルを備えることを特徴とする請求項 2 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の MR プローブヘッド。

【請求項 18】

請求項 1 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の MR プローブヘッドを備える MR システム。

【請求項 19】

前記 MR システムは、MRI 又は NMR システムであることを特徴とする請求項 18 記載の MR システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷却装置によって極低温に冷却される少なくとも 1 つのアンテナシステムを備える検出装置と、この検出装置から空間的な離隔距離を置いて配置される前置増幅器筐体の中の冷却された前置増幅器と、この検出装置を前置増幅器筐体に連結する熱絶縁連結手段とを有する磁気共鳴 (MR) プローブヘッドであって、連結手段が、冷却用流体を供給し且つ／又は戻すための少なくとも 1 本の冷却管路と、電気信号を送信するための少なくとも 1 本の無線周波数 (RF) 管路とを備える、MR プローブヘッドに関する。

【背景技術】

【0002】

冷却された MR プローブヘッドが、例えば、以下に列挙された特許文献 1 乃至参考文献 3 に開示されており、試料から MR 信号を検出するために使用される。その場合に受信器コイルは冷却される。この受信器コイルは、例えば、通常伝導性の金属 (例えば、銅又はアルミニウム) から、又は超伝導性材料、特に高温超伝導体 (HTSC) から成り得る。

【0003】

特許文献 3 に開示された MR プローブヘッドは極低温冷凍機 20 によって冷却されるシステムを説明するが、その場合に極低温冷凍機 20 は、実際の プローブヘッドから、ある一定の離隔距離を置いて配置される。この極低温冷凍機 20 は、通常ではギフォードマクマホン冷凍機であるが、パルス管冷凍機でもよい。プローブヘッドは一般に、前置増幅器 16 まで延びるか、又は冷却管路 53a、53b を介して受信器コイル 5 まで延びる連続管路 21a、21b、21c、21d を有する柔軟な移送管路 19 によって冷却される。冷却管路 53a、53b は細い管等であるが、これらは本例示では及び他の図でも線として示されている。移送管路 19 は、極低温冷凍機 20 までの離隔距離を橋架けし、且つ プローブヘッドから振動も隔離する。熱輸送媒体 (冷却用流体)、通常は低温の気体ヘリウムが、この移送管路 19 の中を循環する。プローブヘッド自体は、通常、RF 管路 52 を有する剛性の連結手段 15c を介して相互に連結され、少なくとも 1 つの受信器コイル 5 と少なくとも 1 つの前置増幅器 16 とを備える。プローブヘッド全体は、1 つの剛性のユニットとして設計されている。このような MR プローブヘッドが、垂直式磁石システム用の磁石 1 の室温ボア 2 の中で図 9 に示されている。

【0004】

この MR プローブヘッドは、RF 受信器コイル 5 が、非常に低い温度 (例えば、20 K) で磁石 1 の室温ボア 2 の中で動作させられ、前置増幅器 16 が、申し分なく働くことを依然として保証するために、このような低い温度 (例えば、77 K) で動作されるので高性能構成である。受信器コイル 5 と前置増幅器 16 との間の RF 管路 52 も低い温度にある。この温度は RF 管路 52 に沿って通常は 20 K から 77 K にわたって変化するが、そ

10

20

30

40

50

の場合に幾何学的形状（特に、RF管路52のケーブルの断面）は、RF管路損失の最小化と、RF管路52の熱伝導率に起因する低温受信器コイル5への熱入力の最小化との間で最適条件が実現されるように選択される。よって、システムの信号雑音（S/N）比が最適化される。冷却された前置増幅器16による増幅後に、信号は、さらなる信号処理のために最終的に信号出力17へ送られる。完全なMRプローブヘッドは、単一の極低温冷却機20（ギフォードマクマホン又は同様にパルス管冷却ヘッド）によって冷却され得る。

【0005】

MRプローブヘッドは、このMRプローブヘッドを挿入し且つ脱着するための結合部分18a、18bを有する結合部を介して極低温冷凍機20から分離され得る。このような結合部が、例えば特許文献5及び特許文献3に開示されている。しかし、通常は大型である前置増幅器16及び関連する前置増幅器筐体15aを含むプローブヘッド全体は、一般に装着／脱着に二人の人員を要する程に非常に重い。

10

【0006】

特に、磁気共鳴映像法（MRI）は、しばしば数多くの異なるRF測定コイルを利用する。これらのRF測定コイルは、検査物体及び特定の検査に対する最適の調整を可能とすることが要求される。このMRIは、例えば、全身コイル（例えば、鳥籠状共鳴器）又は表面コイルを含む。例えば、脳、関節、又は脊柱を検査するために、様々なサイズ又は構成も使用される。さらにはアレイコイルもさらに使用される傾向にある。

20

【0007】

以上に説明された構成はまた、様々な生物体に、例えば、マウス又はラットに合わせて決定される。明白なことであるが、このことは、検出装置を様々なサイズに合わせて倍率変更することにも必要とする。

【0008】

このMRIはまた、より小さい試料を撮像するために、より小さい室温ボアであるが、非常に高い磁場強度（上は17Tを超える）を有する磁石用を使用される、いわゆるマイクロイメージング用システムに应用されている。このシステムも複数の受信器コイルを必要とする。

【0009】

1つ又は複数の受信器コイルと前置増幅器との固定組立ユニットでは、それぞれを適用するには、高価な冷却された前置増幅器と極低温技術機器の大部分とを内蔵する1つの完全なプローブヘッドを必要とする。この場合、それぞれの構成に掛かる高いコストばかりでなく、変更毎に重い前置増幅器ユニットを含むプローブヘッド全体が交換されねばならないので、取扱い難さも増大することになる。

30

【特許文献1】国際公開第2003/050554号パンフレット

【特許文献2】独国特許出願公開第19648253号明細書

【特許文献3】独国特許第19946371号明細書

【非特許文献4】「Cryogenic probe setup for routine MR imaging on small animals at 9.4T」、R. Haueisen、D. Marek、M. Sacher、F. Kong、K. Ugurbil、S. Junge、バーゼル市（Basel）、欧州磁気共鳴医学会議（ESMRM）、2005年9月16日

40

【特許文献5】米国特許第5829791号明細書

【特許文献6】米国特許第5889456号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

したがって、本発明の根底にある目的は、汎用的に使用可能であり、且つ低コストの態様で別の測定構成用に拡張可能であるMRプローブヘッドを提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本目的は、本発明に従って、RF管路及び冷却管路を含む連結手段が、結合部を使用し

50

て前置増幅器筐体から分離可能である点において実現される。

【0012】

本発明の結合部は、主として、前置増幅器が様々な用途に使用され得るように、且つ検出装置のみが交換されるだけで済むように、着脱自在の態様で検出装置を前置増幅器に連結する。このことは、必要な構成要素のコスト全体も削減する。

【0013】

本発明のMR プローブヘッドは、有利なことに、磁気共鳴映像法（MRI）用途用又は核磁気共鳴（NMR）分光法用のプローブヘッドである。特に、数多くの異なる検出装置を利用するMRI用途では、結合可能な本発明のMR プローブヘッドが、有利であることを証明する。

10

【0014】

冷媒が冷却されるべき構成要素で蒸発する単一の冷却管路を使用してMR プローブヘッドを冷却するのではなく、特に有利な態様では、本発明のMR プローブヘッドは、第1の冷却回路の一部である2本の冷却管路を有する。その場合に、冷媒を再冷却ことが可能であるし、又はその冷媒を再液化し且つそれを再利用することも可能である。

【0015】

本発明の好ましい実施形態では、結合部が、検出装置まで延びる少なくとも1本の冷却管路を前置増幅器筐体の側の少なくとも1本の連続冷却管路区間に結合する流体結合要素を備える流体結合装置と、RF管路結合装置とを有し、このRF管路結合装置は、少なくとも1つの第1のRF管路結合要素、特に、アンテナシステムの側のRFプラグと、少なくとも1つの第2のRF管路結合要素、特に、RF管路を前置増幅器の信号入力に結合するRFソケットとを備える。

20

【0016】

特に好ましくは、ばね要素が、第1及び第2のRF管路結合要素の少なくとも1つの対に設けられ、このばね要素は、第1のRF管路結合要素と関連する第2の管路結合要素とを強制的に相互に押し付ける。この実施形態は、構成要素の寸法が変化するときであっても、RFソケットとRF管路結合要素との間に完璧な接触を保証する。

【0017】

RF管路結合要素及び／又は第1のRF管路結合要素を包囲する真空ジャケットは、有利なことに、RF管路結合装置を介してRF管路の中へ熱入力をもたらされるのを防止するために、熱段によって冷却される。

30

【0018】

本実施形態の他の進展の成果では、RF管路結合要素の熱段が、前置増幅器の熱交換器、前置増幅器の熱段、又は前置増幅器自体に熱連結される。

【0019】

冷却された前置増幅器の電子部品は、有利なことに、少なくとも1本の冷却管路から分離している第2の冷却回路によって冷却される。

【0020】

第1又は第2の冷却回路の供給用管路の中に配置される熱交換器が、有利なことにRF管路結合要素の熱段を冷却するために設けられる。

40

【0021】

この熱段は、有利なことに、前置増幅器の中へ不必要な熱入力をもたらされるのをいずれも防止するために、動作中に前置増幅器の温度を下回る温度を有する。

【0022】

本発明のMR プローブヘッドの1つの特に有利な実施形態では、結合部が、真空管路に結合する真空連結部を備える。その場合に、この連結手段は、絶縁目的のために真空管路を介して排気され得る。

【0023】

本発明のMR プローブヘッドの特に有利な実施形態では、連結手段が、機械的に柔軟なRF管路及び冷却管路を有する機械的に柔軟な連結管路として設計される。連結手段とR

50

F管路及び冷却管路とを両方とも柔軟に設計すると、MRプローブヘッドの着脱に必要とされるスペースを最小化する。したがって、プローブヘッドの一部を形成し、且つRF信号を受信するために検査されるべき物体の直近で動作させられる検出装置は、磁石の中へ迅速に装着されて動作状態に置かれ得る。本検出装置は、測定の終了後に迅速且つ容易に停止されて、磁石の室温ボアから取り外され得る。特に、検査方法が頻繁に変更され、よって検出装置が頻繁に交換されるとき、非常にコストの掛かる磁石システムの非生産的な停止時間が削減され得る。柔軟な連結管路と組み合わせられた本発明の結合部により、前置増幅器は、検出装置の交換中にそれぞれのMRシステムの内部に留まることが可能であり、前置増幅器筐体は排気された状態に留まり得る。

【0024】

10

本発明の特に好ましい実施形態では、1本又は複数のRF管路がそれぞれの単一の冷却管路に関連しており、これらのRF管路は、関連する冷却管路と共に、1つの管路パッケージを形成する。1つの管路パッケージの内部の管路は、温度がこの管路パッケージの内部の個々の管路間で均衡化されるように緊密に配置される。

【0025】

本実施形態のさらなる進展の成果では、単一の管路パッケージの冷却管路と、この冷却管路に関連するRF管路が、適正な熱伝導特性を有する結合要素を介して、相互に、好ましくは規則的な離隔距離で熱連結される。これらの結合要素は、例えば、銅から作製されてもよい。

【0026】

20

本発明のさらなる進展の成果では、管路パッケージの少なくとも1つが、少なくとも1つの弾性強化要素、特に、RF及び冷却管路の機械的な張力と曲げ歪力を低減させるために、高度の機械的な完全性を有するワイヤを含む。この強化要素は、例えば、ステンレス鋼から作製されてもよい。

【0027】

好ましい実施形態では、個々の管路パッケージが、連結管路の全長に沿って連結管路の軸回りに、好ましくは少なくとも1回捻られる。

【0028】

特に有利なことに、パッケージ内部のRF管路及び／又は弾性強化要素は、特に、2つの結合要素間における実質的に360度又はその整数倍にわたる間の冷却管路がこの冷却管路の回りに巻き付けられている状態で捻られる。その場合に、結合要素間のすべての管路の全長は、それらが曲げられるときに実質的に同じままである。その結果、これらの管路は、連結管路が曲げられるときに膨らんだり又は曲がったりすることはない。冷却管路も、RF管路及び／もしくは弾性強化要素の回りに捻られてもよいし、又は両方が一緒に捻られてもよい。冷却管路はまた、予めRF管路回りに捻られていてもよい。

30

【0029】

本発明のMRプローブヘッドのRF管路は、有利なことに、好ましくはポリテトラフルオロエチレン（PTFE）絶縁体を有する柔軟な同軸ケーブルを備え、外部導体は、金属編体と、適正な電導特性を有する螺旋巻き金属泊との組合せから成る。

【0030】

40

特に有利なことに、連結管路の、特に、冷却管路及びRF管路の低温部分が、熱絶縁のために、少なくとも1つの柔軟な外部ジャケット内部の真空の中に配置される。このような態様で、MRプローブヘッドの低温部分への熱入力が、特に超断熱によって最小化される。連結管路はまた、2つの平行なホース管路を外部ジャケットとして備えてもよく、その場合に一方のホース管路は供給管路を内蔵し、他方は戻し管路を内蔵しており、それぞれが幾本かの関連するRF管路を備える。このような構成は、2本のホース管路のそれぞれが、より小さい直径を有し、それによってより柔軟に設計される点で有利である。しかし、単一の外部ジャケットを備える実施形態は、所与の断面に対する全表面がより小さいことにより、その熱絶縁が高められ、しかもより簡素で、より頑丈であり、且つより簡潔な構成（外側から見て）を形成すると共に、等方性の曲がり挙動を呈示するので有利であ

50

る。

【0031】

特に好ましい実施形態では、第1及び第2の冷却回路は、コスト及びさらなる冷却装置用のスペースが不要になるように同じ冷却装置によって冷却される。

【0032】

MR プローブヘッドの構成要素を冷却するために、好ましくはヘリウムが冷却用流体として供給される。

【0033】

冷却装置は、有利なことにギフォード-マクマホン冷凍機であり得る。

【0034】

冷却装置は、別法としてパルス管冷凍機でもよい。

【0035】

アンテナシステムは、有利なことに前置増幅器よりも低い温度で動作させられる。

【0036】

本実施形態のさらなる進展の成果では、アンテナシステムが4から40 Kの範囲内の温度で動作させられ、且つ前置増幅器が40から100 Kの範囲内の温度で動作させられる。

【0037】

本発明のMR プローブヘッドの特に好ましい実施形態では、前置増幅器とこの前置増幅器の側の最終結合要素との間の離隔距離が、2つの結合要素間の平均離隔距離よりも大きい。RF管路の温度が、冷却管路の温度又は受信器コイルの温度に実質的に対応し、且つ前置増幅器温度への温度遷移が前置増幅器の直前でのみ生じるように、前置増幅器と、この前置増幅器の側の最終結合要素との間の経路に沿ってRF管路と冷却管路との間に熱接触が存在しない。結合要素の十分に密な（緊密に配置された）構成がRF管路沿いの大きな領域内でRF管路を冷却する一方で、温度が一樣に上昇し得るように、もはやこのような結合は、前置増幅器へ温度遷移する上述の経路上に設けられることはない。

【0038】

取扱いに関して、検出装置の部品の質量は、有利なことに5 kg未満である。

【0039】

本発明のMR プローブヘッドの特に好ましい実施形態では、前置増幅器が幾本かの平行な前置増幅器チャンネルを備える。例えば、アレイコイルがアンテナシステムとして使用されるとき、幾つかの前置増幅器チャンネルが必要とされるが、これらのチャンネルのそれぞれが別個の箇所に配置される受信器コイルに関連している。受信器コイルのそれぞれは、それ自体の前置増幅器に接続される。このことは、平行測定によってデータの取得を実質的に加速する。この構成は異なる様式も取り得る。脳の撮像では、例えば、正方形構成で配置される2×2コイルが使用され得る一方で、脊柱の検査では、1×4コイルの直線的アレイが推奨される。

【0040】

前置増幅器は、有利なことに、検査されるべき同じ核、特に1H用に、幾つかの、特に、2、3、4、6、8、12、又は16個の平行なチャンネルを含み得る。

【0041】

本発明のさらなる実施形態では、前置増幅器が、31P核、13C核、23Na核、19F核、17O核、129Xe核、又は2H核の信号を増幅するチャンネルを備える。

【0042】

本発明はまた、上述の本発明のプローブヘッドを備えるMRシステムにも関する。

【0043】

本発明は、MRシステムがMRI又はNMRシステムであるときに特に有利に活用され得る。

【0044】

本発明のMR プローブヘッドは、異なる測定用挿入物を使用することによって非常に汎

10

20

30

40

50

用的な態様で動作可能な開放システムを構成する。プローブヘッドはまた、低コストの態様で他の測定構成用に拡張可能であり、随意選択的に柔軟な連結管路を備えて配置されるとき、非常に容易で且つ迅速な態様で取り扱われ得る。

【0045】

本発明の他の利点は、本説明及び本図面から引き出され得る。以上及び以下に述べられる特徴は、個々に、又は任意の組合せで一括して利用されてもよい。図示され且つ説明された実施形態は、限定的な列举として理解されるべきではなく、本発明を説明するために例示的な性格を有するものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0046】

NMR信号を受信する本発明のプローブヘッドが、図1（磁石1内部及び図2）に示されており、以下の構成要素を備える。

【0047】

a) 少なくとも1つの極低温に冷却されたアンテナシステムを有する検出装置3。本発明のMRプローブヘッドのアンテナシステムは、少なくとも1つのアンテナを備えるが、このようなアンテナは、少なくとも1つの受信器コイル5、又は共振器、又は電磁場に敏感な別のタイプのRF発振回路から成り得る。測定中の試料50からアンテナシステムへの熱伝達を排除するか又は少なくとも最小化するために、図1及び2に従う本発明のMRプローブヘッドは、例えば、RF放射に対して透過性である水晶の室温管22を有し、この室温管を介して暖かい空気が試料50を通過し得る。図1及び2に従う検出装置3は、本明細書に説明されるように、主としてNMR分光法又はマイクロイメージング用のシステムである。物体、特に生物体の検査、特に映像法用のMRIシステムは表面コイルを有し得る。これらのコイルは、直接的に又は間接的に加熱され得るRF透過壁によって試験物体から分離される。このようなシステムが、典型的にMRI映像法に使用され、図4、7、及び8に示されている。

【0048】

b) 検出装置3から空間的に分離されている、別体の前置増幅器筐体15bの中の冷却された前置増幅器16。

【0049】

c) 検出装置3を前置増幅器筐体15bに連結し、環境から熱絶縁される連結手段（本件では、剛性の連結手段15c）であり、その場合に、この剛性の連結手段15cは、冷却用流体を供給又は戻すための第1の冷却回路の冷却管路53a、53bと、電気信号を送信するためのRF管路52とを有する。

【0050】

d) 検出装置の側の結合部分27と前置増幅器の側の結合部分28とを有する結合部。この結合部は、RF管路結合装置32（図2）と、検出装置3まで延びる冷却管路53a、53bを前置増幅器の側の冷却管路区間54a、54bに結合するための流体結合要素29、30（図2）を有する流体結合装置とを備える。しかも本発明の結合部は、前置増幅器筐体15bを貫通する室温貫通部14に、Oリング24を介して室温管22を連結する。

【0051】

流体結合装置は、MRプローブヘッドと、極低温冷凍機20に至る移送管路19との間で、結合部分18a、18b（図1、図9）を有する従来型の結合部に従って設計されてもよい。その結合部は、実質的に相互に係合する、通常は細い鋼管を備えるが、これらの鋼管は、それぞれの冷却管路53a、53b用の1つのOリング34a及び34b（図2）で室温側がそれぞれに封止される。

【0052】

本発明のMRプローブヘッドの実質的な要素は、受信器コイル5と前置増幅器16との間のRF管路52用のRF管路結合装置32である。RF管路52は、有利なことに動作中では常に低温である。RF管路結合装置32は、低温動作中であっても信頼性があり且

10

20

30

40

50

つ安全なRF連結を保証するように設計されており、図3に示されている次の要素を備える。

【0053】

－ 有利なことに適正な熱伝導率を有する材料（例えば、銅管）から形成された、前置増幅器の真空筐体の中の真空ジャケット46（「バルジ成形部」）。

【0054】

－ この真空ジャケット46は、前置増幅器の側に、熱伝導率が低い材料から（例えば、非常に薄い壁を有する銅管から）作製された別のジャケット45を有し、さらに検出装置の側が、通気用開口49を有する保持体48によって包囲される。真空ジャケット46及び別のジャケット45は、小型の熱交換器26に接続される熱段25の形態にある中間温度タップによって分離されている。このような構成の働きが以下で詳細に説明される。

【0055】

－ RFソケット40が真空ジャケット46の端部に設けられる。これらのRFソケット40は、有利なことに、直接的に又は上流側の真空貫通部を介して真空気密である。これらのRFソケットは、それぞれが連続RF管路41を介して前置増幅器16に連結される。しかも、RFソケット40は、それらがねじ込み又は回転を伴うことなく検出装置の側の直接的且つ直線的に合致するRFプラグ39に結合され得るように好ましく設計されている。

【0056】

－ 検出装置の側のRFプラグ39は、有利なことに、それらが長手方向に変位され得るようにガイド部43の中で案内され、且つ例えば、対抗板44の表面上で機械的に支持される、共用で、さらに適正には個々用に、ばね要素42（圧力ばね）が設けられている。本実施形態は、特に構造部分45、46、48の冷却により寸法の変化が生じ得るときであっても、完全な圧接を常に保証し、したがって完璧なRF送信を常に保証する。RFプラグ39は、受信器コイル5まで延びるRF管路52に直接連結され得る。

【0057】

図4は、連結手段として、検出装置3と前置増幅器筐体15bとを連結する柔軟な連結管路8を有する本発明のMR プローブヘッドの特に有利な実施形態を示す。連結管路8は、本件では襞付き蛇腹8aの形態にある真空気密の外部ジャケットと、2本の柔軟な冷却管路9a、9bと、柔軟なRF管路10とを備え、伸長された状態で示されており、ここでは本図の上部分が、管路52の続きを示す。RF管路結合装置32と前置増幅器16との間の連続RF管路41は柔軟である必要はない。管路9a、9b、10は、結合要素11を介して相互に熱結合される。このような結合要素11は、通常では銅製円筒から成っており、この円筒に冷却管路9a、9b、柔軟なRF管路10、及び任意の他の要素が、有利なことにはんだ付けによって機械的に且つ熱的に連結されている。その場合に、受信器コイル5は、4つのコイルのアレイを形成し、且つ熱交換器7によって冷却される。図4に示された4つの受信器コイル5のそれぞれが、柔軟なRF管路10を介して、冷却された前置増幅器16の1つに連結される。本実施形態によれば、4つの前置増幅器16が、特許文献6に説明されているように、極低温冷凍機（図1）の側の結合部分18bの連続冷却管路21c、21dによって、第2の冷却回路の内部の熱段（ヒートシンク）23に連結され得る。

【0058】

図4の実施形態では、本発明の結合装置は、Oリング33を有する自動真空連結部31も備える。真空連結部31は、前置増幅器筐体15bの真空の中へ又は有利なことに別体の真空管路38に直接案内され得るが、この別体の真空管路は、ポンプ装置によって、前置増幅器筐体の真空ポンプ連結部37と交互に又は同時に、制御された態様で排気され得る。

【0059】

RF管路結合装置32の間隙13e（図3）も排気され得ることを保証するために、真空封止体35が、検出装置の側の結合部分27の周囲に設けられる。したがってRFプラ

10

20

30

40

50

グ 3 9 は、もはや受信器コイルの側が真空気密である必要はない。しかも、バルジ成型部（真空ジャケット 4 6）を包囲する別のジャケット 4 5 又は保持体 4 8 は、受信器コイルの側では密閉ジャケットである必要はなく、R F プラグ 3 9 の圧力を伝達する構造であるにすぎない。

【0060】

別法による実施形態（図示せず）ではまた、連結管路 8 又は連結手段 1 5 c を含む検出装置 3 全体に恒久的な真空が設けられ得る。この場合では、保持体 4 8 は密閉ジャケットとして成型されねばならず、通気用開口 4 9 は割愛される。R F プラグ 3 9 も、この場合では真空気密でなければならない。真空連結部 3 1 及び真空管路 3 8 ならびに結合後及び冷却前の検出装置 3 の排気は、もはや必要とされない。その代わりに、冷却中に空気が間隙 1 3 e（図 3）の中で凝縮するが、それは問題ではない。

10

【0061】

本発明の結合部全体は、前置増幅器筐体 1 5 b に対して、必要な力で圧力要素（図示せず）によって押し付けられ、且つ圧接された位置に保持される。この圧力は、すべての O リング 2 4、3 3、3 4 a、3 4 b、3 5 を封止態様で押し付け、且つ R F 管路結合装置 3 2 のすべての R F 連結部を正確に位置決めするためにも十分に大きくなければならない。このような圧力要素は、通常では、継ナットから成っていてもよいし、又はバックル、偏心器、もしくは同様の構成要素で実施されてもよい。

【0062】

上述の特徴は、例えば、異なる空間的位置関係もしくは鏡像が設けられたり、又は結合装置等の両側の構成が交換されたりしている点で、図に説明された実施例とは異なり得る。

20

【0063】

本発明の M R プローブ ヘッドは次のように動作する。

【0064】

本システムは初期には常温である。測定用挿入物（検出装置 3、柔軟な連結管路 8 又は剛性の連結管路 1 5 c、及び検出装置の側に設けられた結合部分 2 7 を備える）が装着されていない。この状態では、前置増幅器筐体 1 5 b は、通常では既に排気されているが、それはこのような説明された構造では、先に使用された検出装置 3 を脱着するために、このような真空を破壊する必要があるからである。

30

【0065】

次いで、所望の測定用挿入物が選択される。その挿入物は室温にあり、通常は排気されていない。検出装置の側のその結合部分 2 7 が、前置増幅器筐体 1 5 b の中の前置増幅器の側の結合部分 2 8 の中へ挿入され、且つ圧力要素によって正確な位置に押し込まれる。その場合に、すべての O リング 2 4、3 3、3 4 a、3 4 b、3 5 が封止し、且つ R F プラグ 3 9 が確実嵌めで圧接される。

【0066】

冷却の準備をするために、測定用挿入物は最初に排気される。これは、通常はこのようなシステムに既存の真空ポンプシステムに真空管路 3 8 を連結することによって行われる。その間に、冷却管路 9 a、9 b、5 3 a、5 3 b 及び連続冷却管路 2 1 a、2 1 b、2 1 c、2 1 d が純粋ヘリウムで反復フラッシングすることによって洗浄される。このことは、このような装置では空気又は湿気の凍結による管路の凍結及び閉塞を防止するために常に必要とされる。このことは、原理上、前置増幅器部分が変更されていなければ、冷却管路 9 a、9 b、5 3 a、5 3 b と受信器コイル冷却用の 2 本の連続冷却管路 2 1 a、2 1 b とに必要とされるだけである。

40

【0067】

次いで、極低温冷凍機 2 0 の低温ヘッドが動作状態に置かれ、冷却管路 9 a、9 b、5 3 a、5 3 b、2 1 a、2 1 b の中で循環が開始される。こうして、前置増幅器 1 6 及び同様に受信器コイル 5 を、それぞれの所定の動作温度（典型的に前置増幅器 1 6 では例えば 7 7 K、受信器コイル 5 では 2 0 K である）まで冷却する。有利なことに、R F 管路 1

50

0 及び随意選択的に 5 2 も、特にそれらの全長に沿って、2 0 K 付近の温度まで冷却される。

【0068】

R F 管路 1 0、5 2 は、不必要に加熱されるべきではない（すなわち、必ず前置増幅器の動作温度、本件では、7 7 K 以下であること）。他方で、冷却管路 9 a、9 b、5 3 a、5 3 b、2 1 a、2 1 b の側の不必要な熱入力も防止されるべきである。このことは、本発明の結合装置の設計によって保証される。R F 管路 1 0、5 2 の温度が、柔軟な連結管路 8 に沿って又は剛性の連結手段 1 5 c に沿って横座標（位置）L の関数として図 5 及び図 6 に示されている。受信器コイル 5 及び熱交換器 7 の領域では、この R F 管路が、ほぼ受信器コイル 5 の温度 T_c にある。R F プラグ 3 9 及び R F ソケット 4 0 は、第 1 の冷却回路に負荷を掛けることなく最低温度 T_1 まで冷却される。冷却は、前置増幅器 1 6 の温度 T_p を下回る温度（完全に描かれた線）まで継続される。冷却は、前置増幅器冷却管路の供給用管路の中に配置される熱交換器 2 6（図 4）によって実行されることが好ましく、この冷却は連続冷却管路 2 1 c を介して行われる。その結果として、He（ヘリウム）は、その時点では、例えば、7 7 K の前置増幅器温度 T_p を下回る温度、すなわち、例えば 5 0 K にある（前置増幅器 1 6 を退出する He のみが、約 7 7 K の温度を有し、前置増幅器 1 6 に進入する He は、冷却を可能にするために、すなわち、前置増幅器 1 6 の中で生成された熱を受け取り且つ放出するために、より低い温度を有しなければならない。）その結果、熱段 2 5、それによって R F 管路結合装置 3 2 の真空ジャケット 4 6 が、次に約 5 0 K まで冷却される。その場合に、室温と 5 0 K との間の温度勾配は、別のジャケット 4 5 によって受け取られる。理想的な場合では、冷却により、R F プラグ 3 9 及び R F ソケット 4 0 もこの大きさの温度 T_1 に達する。いずれにおいても、これらは、別様であれば真空ジャケット 4 6 に沿って熱伝導により生じ得る前置増幅器温度 T_p によって加熱されることはない。これは、7 7 から 2 0 K にわたる温度の段階的な低下を妨げない。

【0069】

図 6 は、結合要素 1 1 を有する R F 管路 1 0 の、随意選択的には 5 2 の、温度依存性を示す。R F 管路 1 0 及び随意選択的には 5 2 の冷却は、結合要素 1 1 の間の全長に沿って、結合要素 1 1 を介して、R F 管路 1 0 を、及び随意選択的には 5 2 を、ある程度規則的に熱結合することによって維持される。これらの結合要素は、それらが 1 本又は複数の冷却管路 9 a、9 b によって、及び随意選択的には 5 3 a、5 3 b によって、直接冷却されるので、ほぼ受信器コイル 5 の温度 T_c か、又はそれをわずかに下回る温度にある。その場合に、供給用 9 a は、常に受信器コイル 5 よりも低い温度を有する。結合要素 1 1 の間の R F 管路 1 0 及び随意選択的には 5 2 の温度依存性は、ほぼ自乗関数である。このことは、結合要素 1 1 のより緊密な配置によって、必要とされるときに最大過剰温度を急速に低下させることを可能とする。結合要素 1 1 に対する熱連結は、前置増幅器 1 6 の直前の厳密に選択された区間で終了する。その場合に、冷却管路 9 a、9 b、5 3 a、5 3 b の温度と前置増幅器の温度 T_p との間に連続的な遷移が得られる。厳密な温度依存性は、R F 管路 1 0 及び随意選択的には 5 2 の熱伝導率（温度の関数として）と、外部熱入力とに左右されるが、それが概略的にのみ示されている。このような遷移の経路長は、R F 管路 1 0 及び随意選択的には 5 2 の温かい部分の合計追加的 R F 損失又は雑音入力が、冷却管路 9 a、9 b 及び随意選択的には 5 3 a、5 3 b と、前置増幅器 1 6 との間に過剰なヒートブリッジを形成することなく最小化される。その場合に、このような冷却は、幾何学的形状が適切に選択されるとき、前置増幅器の側の最終結合要素 1 1 と前置増幅器 1 6 との間の領域における R F ケーブルの平均温度の低下さえも可能とする。

【0070】

熱交換器 2 6 も、別法として、R F 結合装置の端板（図示せず）に直接装着されてもよい。その場合に、R F ソケット 4 0 は、直接的に且つ非常に効率的に冷却される。

【0071】

真空ジャケット 4 6、又は R F プラグ 3 9 及び R F ソケット 4 0 のこのような中間的な冷却が伴わないと、環境（室温 T_{RT} ）と R F 管路 1 0、5 2 との間の直接的な熱連結が

もたらされ、RF管路10、52の温度は、図5に示された破線の依存性を有することになる。これは、RF管路10、52の温度を過剰に高い温度 T_{MAX} に上昇させることになり、この過剰に高い温度は、S/N特性の不必要な悪化を引き起こし、同時に、RF管路の中へ、またそれによって第1の冷却回路の中へ許容し得ない熱入力をもたらすことになる。

【0072】

測定の終了後に、測定用挿入物が次のように交換される。すなわち、本システムは、温かいHeガスの循環を通じて、可能性としては個々の電気加熱器を使用して最初に加熱される。次いで、測定用挿入物の真空が破壊され、測定挿入物が脱着される。その挿入物は、今や別のものと交換され、引き続いて新たに冷却が行われ得る。柔軟な連結管路8の場合では、これらの冷却及び加熱段階は、本発明のMRプローブヘッドが磁石1の外側にある間に行われ得る。この時間の間、磁石1は他の測定のために使用されてもよい。

10

【0073】

上述の結合部は、非常に簡素な態様で操作可能であり、専門外の要員であっても、すべての管路及び連結部の自動的な連結が伴う、自動化された排気、冷却、及び加熱過程により、容易に取扱い操作を行うことが可能である。

【0074】

図7及び8は、2つの実現可能なMRシステム構成を示す。図7は、高分解能NMR分光法又はマイクロイメージング用のNMRシステムを示す。図8は、MR映像法用のMRIシステムを示す。

20

【0075】

前置増幅器筐体15bは、従来技術に従って、磁石1に装着され、且つ連結部分18a、18bを有する連結部を介して極低温冷凍機20に連結される。前置増幅器16は、例えば、4つの1H前置増幅器及び／又は例えば、31P、13C、15N、23Na、19F、2H等の核用に様々な挟帯域又は広帯域増幅器を含み得る。検出装置3と、柔軟な連結管路8と、連結部分27、28を有する本発明の結合部とを備える測定用挿入物が、前置増幅器筐体15bの中へ挿入され、且つ柔軟な連結管路8（それは検出装置3をもって終端する）を介して磁石1に進入する。その場合に、後者、すなわち、検出装置は、冷却された受信器コイル5によって検査物体51のMR信号を測定する。幾つかの測定用挿入物が設けられ、且つ最も異なるコイル構成、本実施例では1つのコイルと4つのコイルとの間の構成を有し、結合部分18a、18bを使用して所望通りに交換され得る。何らかの点で、前置増幅器16が必ずしもすべての要件を満たすものではない場合には、その前置増幅器は、他の核用に、例えば、31P又は23Naなど用に設計されている別の変型によって置き換えられるか又は補足され得る。

30

【0076】

測定用挿入物は、MR映像法から分光用高分解能用途にわたる最も異なる用途用に設計可能であり、任意の時点で磁石1から脱着可能であり、且つ他の挿入物によって置換え可能である。これは、非常に取扱いが容易であり、且つ汎用的に使用可能であるシステムを創出するものである。

【0077】

説明されたシステムの他の変型及び実施形態も実現可能である。スペース要件、最小限の複雑さ、及び最大限の効率（最も低い実現可能温度）の観点では、前置増幅器の側の柔軟な連結管路8又は剛性の連結手段15cの端部に、本発明の結合部（その結合部分27、28を有する）を配置することが望ましいように思われるが、この結合部は、必ずしもそこに配置される必要はなく、検出装置3の側又は中間のいずれかの箇所にも配置され得る。第1の場合では、特に、連結管路8又は連結手段15cは、前置増幅器筐体15bと一緒に、1回のみ獲得されるだけでよく、その場合に、測定用挿入物は検出装置3及び連結部分27のみから成ることになり、それによって、この挿入物は遙かによりコンパクトになるう。

40

【0078】

50

本発明のMRプローブヘッドは、検出装置3、すなわち、MRプローブヘッドの端部が小型且つ軽量であるので、適正な性能と容易な取扱いとを共に実現し、且つ本発明の結合部の観点では容易に置き換えられる得るものである。しかも、置換え用挿入物のコストが削減され得る。

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図1】垂直式磁石の中の本発明のMRプローブヘッドを示す図である。

【図2】前置増幅器筐体と検出装置との間の本発明の結合部の基本的な構成要素を備える本発明のMRプローブヘッドを示す図である。

【図3】本発明のRF管路結合装置を示す詳細図である。

10

【図4】柔軟な連結管路を備える本発明のMRプローブヘッドの部分を示す図である。

【図5】本発明のMRプローブヘッドのRF管路の温度依存性が、その動作長さに依存していないことを示すグラフである。

【図6】本発明のMRプローブヘッドの結合要素を備える冷却されたRF管路の温度依存性が、その動作長さによらないことを示すグラフである。

【図7】垂直式磁石の中にある、柔軟な連結管路を備える高分解能NMR分光法用の本発明のNMRプローブヘッドを示す図である。

【図8】水平式磁石の中にある、柔軟な連結管路を備えるMRI用途用の本発明のMRIプローブヘッドを示す図である。

【図9】垂直式磁石の中における、高分解能NMR分光法用の従来技術に従う剛性の連結手段を備えるNMRプローブヘッドを示す図である。

20

【符号の説明】

【0080】

- 1 磁石
- 2 磁石の室温ボア
- 3 検出装置
- 5 受信器コイル
- 7 受信器コイルを冷却する熱交換器
- 8 検出装置と前置増幅器との間の柔軟な連結管路
- 8 a 波形ベローズ
- 9 a コイルを冷却する柔軟な冷却管路（供給用）
- 9 b コイルを冷却する柔軟な冷却管路（戻し用）
- 10 柔軟なRF管路
- 11 冷却管路とRF管路との間にある結合要素
- 13 e RF管路結合装置の間隙（好ましくは排気される）
- 15 a プローブヘッドの一部としての前置増幅器筐体
- 15 b 別体の前置増幅器筐体
- 15 c 検出装置と前置増幅器筐体との間の剛性の連結手段
- 16 冷却された前置増幅器
- 17 前置増幅器の出力側における信号出力
- 18 a 前置増幅器筐体と極低温冷凍機との間における前置増幅器の側の結合部分
- 18 b 前置増幅器筐体と極低温冷凍機との間における極低温冷凍機の側の結合部分
- 19 極低温冷凍機とプローブヘッドとの間の移送管路
- 20 極低温冷凍機
- 21 a 連続冷却管路
- 21 b 連続冷却管路
- 21 c 連続冷却管路
- 21 d 連続冷却管路
- 22 室温管
- 23 1つ又は複数の冷却された前置増幅器の熱段（ヒートシンク）

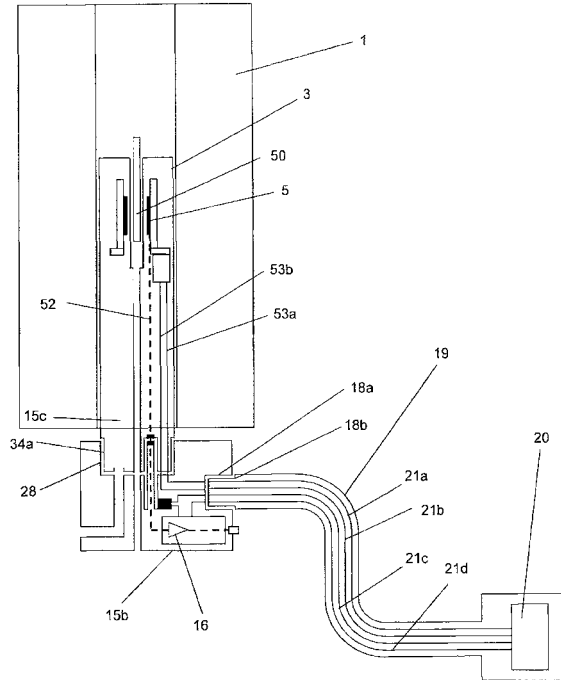
30

40

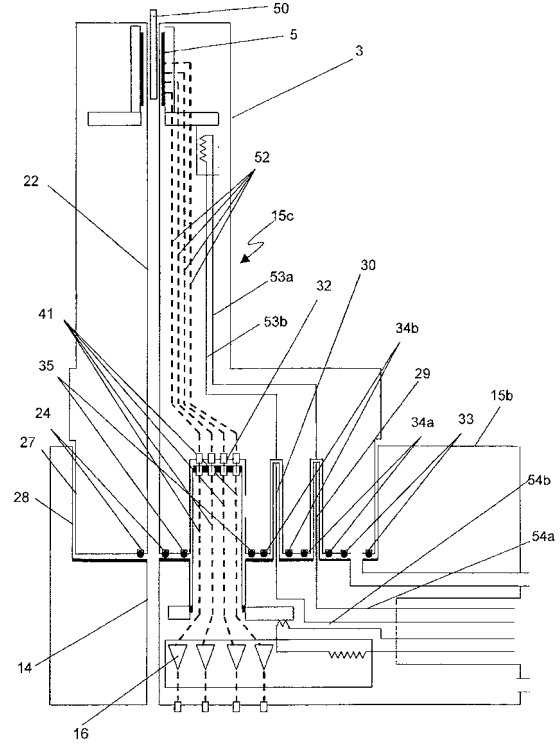
50

2 4	室温管と室温貫通部との間のＯリング	
2 5	ＲＦ結合部のジャケットを中間冷却する熱段	
2 6	ＲＦ結合部のジャケットを中間冷却する熱交換器	
2 7	検出装置と前置増幅器筐体との間の、検出装置側の結合部分	
2 8	検出装置と前置増幅器筐体との間の、前置増幅器側の結合部分	
2 9	検出装置と前置増幅器筐体との間の流体結合装置の流体結合要素（供給用）	
3 0	検出装置と前置増幅器筐体との間の流体結合装置の流体結合要素（戻し用）	
3 1	検出装置用の真空連結部	
3 2	ＲＦ管路結合装置	
3 3	真空連結部を封止するＯリング	10
3 4 a	流体結合装置の供給用を封止するＯリング	
3 4 b	流体結合装置の戻し用を封止するＯリング	
3 5	ＲＦ管路結合装置を封止するＯリング	
3 7	前置増幅器筐体用の真空ポンプ連結部	
3 8	検出装置用の真空管路	
3 9	検出装置側のＨＦプラグ（変位され得る）	
4 0	ＲＦソケット	
4 1	ＲＦ管路結合装置と前置増幅器との間の連続ＲＦ管路	
4 2	ＲＦプラグ用のばね要素	
4 3	ＲＦプラグ用のガイド部	20
4 4	力受容用の対抗板	
4 5	ＲＦ結合部の別のジャケット	
4 6	ＲＦ管路結合装置の真空ジャケット	
4 8	プラグ部分の保持体	
4 9	ＲＦプラグの保持体中の通気用開口	
5 0	試料	
5 1	検査物体	
5 2	<u>プローブ</u> ヘッド内部の剛性のＲＦ管路	
5 3 a	<u>プローブ</u> ヘッド内部の剛性の冷却管路（供給用）	
5 3 b	<u>プローブ</u> ヘッド内部の剛性の冷却管路（戻し用）	30
5 4 a	前置増幅器の側の冷却管路区間（供給用）	
5 4 b	前置増幅器の側の冷却管路区間（戻し用）	

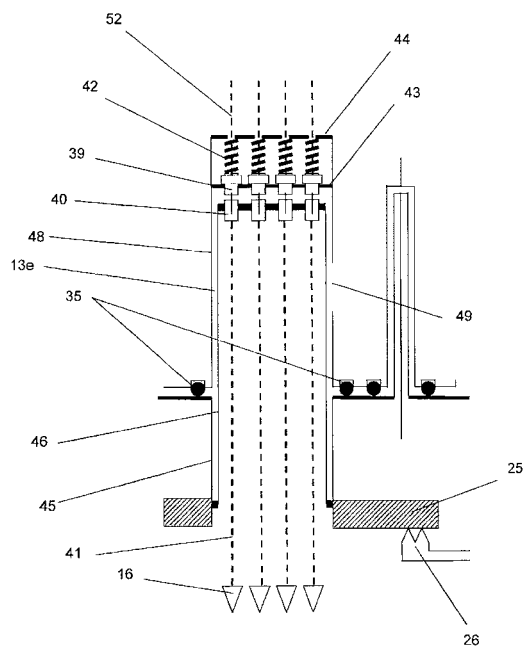
【図 1】



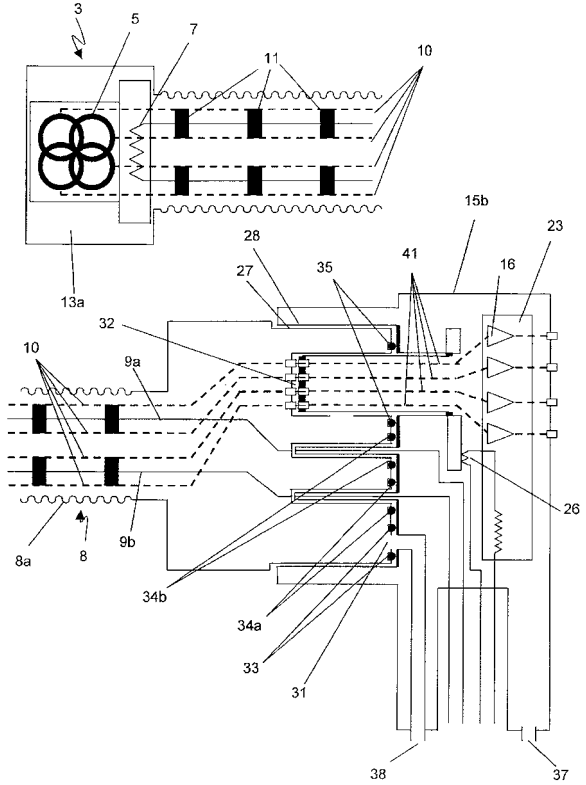
【図 2】



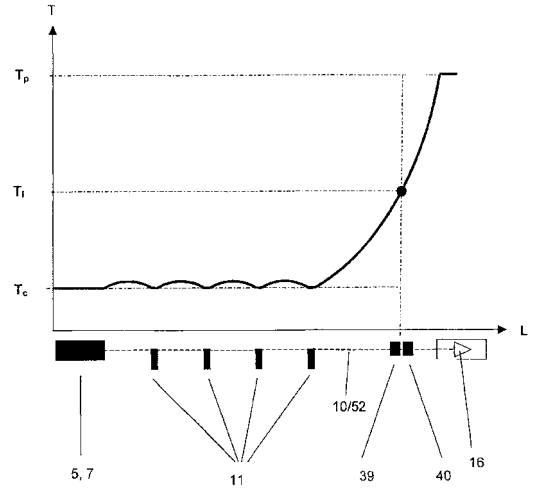
【図 3】



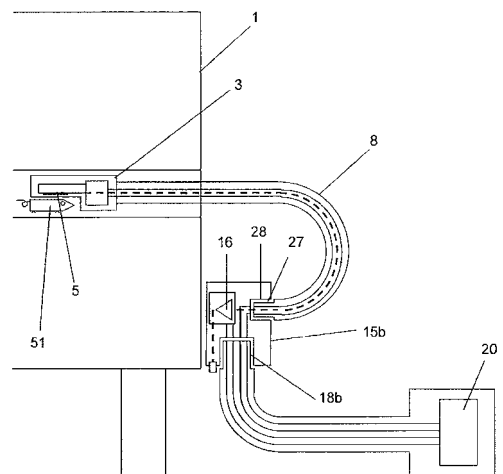
【図 4】



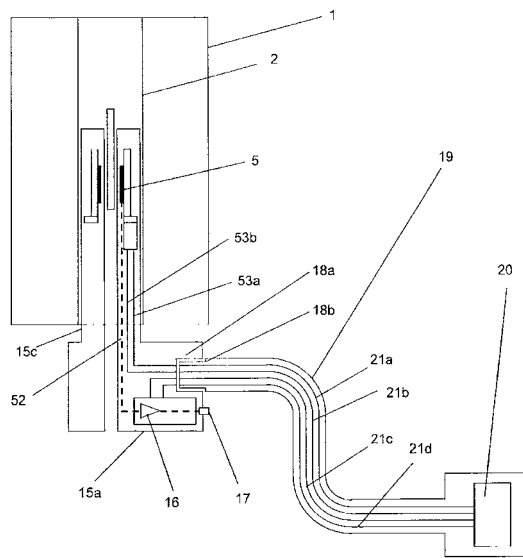
【图 6】



【图 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 マルコ サヒエル

スイス国 ウスター ツェーハー 8610 フローラシュトラッセ 38

(72)発明者 トイアス ロイテンゲール

スイス国 チューリッヒ ツェーハー 8057 ホフヴィーゼンシュトラッセ 22

審査官 田中 洋介

(56)参考文献 特開2005-077416 (JP, A)

特開2004-212354 (JP, A)

特開2004-037238 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 24/00-24/14

G01R 33/20-33/64

JSTPlus (JDreamII)