

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5145552号
(P5145552)

(45) 発行日 平成25年2月20日 (2013. 2. 20)

(24) 登録日 平成24年12月7日 (2012.12.7)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 L 39/04	(2006.01)	HO 1 L	39/04
A 6 1 B 5/05	(2006.01)	A 6 1 B	5/05 A
GO 1 R 33/035	(2006.01)	GO 1 R	33/035

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2007-42790 (P2007-42790)	(73) 特許権者	304027349
(22) 出願日	平成19年2月22日 (2007. 2. 22)		国立大学法人豊橋技術科学大学
(65) 公開番号	特開2008-205401 (P2008-205401A)		愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1
(43) 公開日	平成20年9月4日 (2008. 9. 4)	(74) 代理人	100095577
審査請求日	平成22年1月29日 (2010. 1. 29)		弁理士 小西 富雅
		(74) 代理人	100100424
			弁理士 中村 知公
		(74) 代理人	100114362
			弁理士 萩野 幹治
		(72) 発明者	田中 三郎
			愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 国立 大学法人豊橋技術科学大学内
		審査官	正山 旭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超伝導磁気センサ用冷却装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空窓を有するキャップ部と本体部とを備える外容器と、
冷媒を内蔵する内容器と、

該内容器から突出して前記キャップ部の真空窓へ対向する第 1 の端部を有する棒状の熱伝導体であって、前記第 1 の端部に超伝導磁気センサの基板を配設可能な熱伝導体と、を備える超伝導磁気センサ用冷却装置であって、

前記真空窓は下向きに配置され、前記内容器は膨出部を備えて該膨出部が前記キャップ部内へ挿入され、前記膨出部へ前記熱伝導体の第 2 の端部が埋設され、前記膨出部には前記冷媒が循環する冷媒流路が形成されている、ことを特徴とする超伝導磁気センサ用冷却装置。

【請求項 2】

前記熱伝導体はサファイア棒からなりその複数本の各第 2 の端部が前記膨出部へ埋設され、各熱伝導体の前記第 1 の端部に 1 つずつ超伝導磁気センサの基板が配置される、ことを特徴とする請求項 1 に記載の冷却装置。

【請求項 3】

前記冷媒流路は前記熱伝導体に沿って上下方向に形成される孔である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 2 のいずれかに記載の冷却装置。

【請求項 4】

前記膨出部には前記熱伝導体を挿着するための穴が設けられ、該穴の周面には該穴の開口

部まで連通する溝が形成され、前記熱伝導体と前記穴の周面との間に充填される熱伝導性ペーストの過剰量が前記溝に沿って外部へ排出される、ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の冷却装置。

【請求項 5】

前記膨出部から前記内容器の内側へサーマルアンカ部が突出されている、ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れかに記載の冷却装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は超伝導磁気センサ用冷却装置に関し、更に詳しくは真空断熱式の超伝導磁気センサの冷却装置に関する。

10

【背景技術】

【0002】

超伝導磁気センサ（以下「SQUID」ということがある）は液体窒素あるいは液体ヘリウムなどの冷媒によって冷却される必要がある。対象物からの磁気信号を磁気センサで計測する際、センサと対象物との距離が離れると信号はその距離の 3 乗に反比例して減衰するため、できるだけセンサを近づけて計測する必要がある。そのため、冷媒で冷却された超伝導磁気センサを真空断熱層によって大気から分離し、真空窓を介して大気中の対象物を数 mm 以下の距離で感度よく計測する技術が提案されている（特許文献 1、非特許文献 1 参照）。

20

【0003】

特許文献 1 に開示の冷却装置は真空窓を有する外容器と、冷媒を内蔵する内容器とを備え、この内容器へ熱伝導体として 1 本のサファイア棒を貫通してその一端（第 2 の端部）を冷媒中に浸漬し、他端（第 1 の端部）を真空窓へ対向させてそこに超伝導磁気センサを配置している。サファイア棒はその一端が常に冷媒に浸漬されているのでその温度は冷媒の温度と等しくなる。よってその他端に配置される超伝導磁気センサが冷媒の温度まで冷却される。

【0004】

【特許文献 1】特開 2000 - 258520 号公報

【非特許文献 1】T. Lee et al. Rev. Sci. Instrum. 67(12), 1996

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来技術の冷却装置によれば冷媒を内蔵する内容器の壁をサファイア棒が貫通しているため、サファイア棒において内容器より外側へ突出した部分が生じる。他方真空窓と超伝導磁気センサとの位置合わせのため、外容器へキャップ部が設けられてその頂部に真空窓が取付けられている。一般的にこのキャップ部は外容器の本体部へ螺合され、これを回転することによりその頂部の真空窓と超伝導磁気センサとの位置合わせがなされる。また、キャップ部と本体部との気密性を確保するガスケットが備えられる。

このように、位置合わせ機能と気密性機能とが要求されるキャップ部は背高となる。

40

【0006】

このような構造においては、内容器から突出したサファイア棒にキャップ部の高さに対応する長さが要求される。既述のようにキャップ部は背高になりがちであるので、サファイア棒において内容器から突出した部分が長くなると、外気温の影響を完全に排除することは困難になる。超伝導磁気センサの冷却が不十分になると（微小な温度変化があると）磁束ノイズが大きくなる。よって、超伝導磁気センサに十分な感度が得られなくなる。

昨今においては、超伝導磁気センサを用いてより高感度な計測が求められている。超伝導磁気センサの感度はこれと対象物との距離が近づけば近づくほど高くなるが、その一方で両者を近づければ測定可能な面積が狭くなる。そのため、高感度の計測を実行するには、真空窓を広くして（即ち、超伝導磁気センサの観測エリアを広くする（例えば複数のセ

50

ンサを用いる))、かつ真空窓を薄くして超伝導磁気センサと対象物との距離を可及的に近づけることとなる。かかる構成を採用すると真空窓を介する外気温の影響が超伝導磁気センサに及び易くなる。

【0007】

本発明者は上記の課題を解決すべく鋭意検討を重ねてきた結果、内容容器に膨出部を設けてこの膨出部をキャップ部内へ挿入し、当該膨出部へサファイア棒の一端を埋設すれば、サファイア棒において内容容器から突出する部分を可及的に短く出来ることを見出し、本発明に想到した。

即ち、この発明の第1の局面は次のように規定される。

真空窓を有するキャップ部と本体部とを備える外容器と、

10

冷媒を内蔵する内容容器と、

該内容容器から突出して前記キャップ部の真空窓へ対向する第1の端部を有する棒状の熱伝導体であって、前記第1の端部に超伝導磁気センサの基板を配設可能な熱伝導体と、

を備える超伝導磁気センサ用冷却装置であって、

前記内容容器は膨出部を備えて該膨出部が前記キャップ部内へ挿入され、前記膨出部へ前記熱伝導体の第2の端部が埋設されている。

【0008】

このように規定される第1の局面の超伝導磁気センサ用冷却装置によれば、内容容器に膨出部が備えられ、この内容容器に熱伝導体の一端(第2の端部)が埋設されているので、熱伝導体が内容容器を貫通していない。よって、熱伝導体と内容容器との間の気密性が問題とならない。

20

また、真空窓を有するキャップ部内へ膨出部を挿入する構成としたので、膨出部を真空窓へ可及的に近づけることが出来る。その結果、膨出部から突出する熱伝導体の長さも可及的に短くなる。膨出部はこれを厚肉にすることによりサファイア棒等の熱伝導体よりも熱容量を大きくすることができるので、熱伝導体よりも熱変動を小さくすることができる。即ち、膨出部の先端(真空窓側の部分)においても十分に冷媒の温度まで冷却されその温度が変動しない。膨出部の先端と真空窓との距離が短くなるので、熱伝導体において膨出部から突出する部分の距離も短くなり、もって熱伝導体も外気の影響を受けず、超伝導磁気センサを安定して冷却できる。

【0009】

30

この発明の第2の局面は次のように規定される。即ち、第1の局面の冷却装置において、前記熱伝導体はサファイア棒からなりその複数本の各第2の端部が前記膨出部へ埋設され、各熱伝導体の前記第1の端部に1つずつ超伝導磁気センサの基板が配置される。

サファイアは高価な材料であるため、その使用量を出来るだけ抑制したい。他方、既述のように高感度計測の要求から超伝導磁気センサと対象物との間隔を短くすると計測面積が狭くなるので、超伝導磁気センサを複数使用する必要が生じる。例えば、図1に示すように、一辺A mmの正方形な超伝導磁気センサ基板1の2つを1つのサファイア棒3にマウントするには、サファイア棒3の第1の端部は半径 $(A/2)^2 + A^2$ の円形となり、その面積は $5/4 A^2 \times \text{mm}^2$ となる。他方、同じ超伝導磁気センサ基板1を1つだけマウントするとき要求されるサファイア棒5の端部の面積は $1/2 A^2 \times$ となり、2つの磁気センサ基板1を2本のサファイア棒5へ1つずつマウントするとき、2本のサファイア棒の第1の端部の合計面積は $A^2 \times \text{mm}^2$ となる。よって、サファイア棒へそれぞれ超伝導磁気センサ基板1をマウントする構成を採用すればサファイアの使用量が少なく済むことがわかる。

40

【0010】

他方、2つの超伝導磁気センサ基板1をマウントした1本のサファイア棒3の周面は $2(5/4 A^2)^{1/2} \times \text{h mm}^2$ であり、2つの超伝導センサ基板1を2本のサファイア棒5へマウントしたときの2本のサファイア棒の周面の合計は $2 \times (2 A^2)^{1/2} \times \text{h mm}^2$ であり、後者の面積が前者の面積より大きくなる。ここに、hは内容容器から突出するサファイア棒の長さである

50

上で計算したとおり、後者（２オン２）は前者（２オン１）に比べて体積で小さくかつ表面積で大きい。従って、後者は前者より外気温の影響を受けやすい。

そこでこの発明のように内容器の膨出部へサファイア棒を埋設して外気温の影響を確実に排除すると、安価な短径のサファイア棒を採用しても安定した計測が可能となり、装置全体を安価にできる。

上記の例では、２つの超伝導磁気センサ基板を用いる場合を例にとり説明している。センサ基板の数が３つ以上の場合においても同様であり、１本のサファイア棒へ配置される超伝導磁気センサ基板の数を１つに限定することが好ましい。なお、１つのセンサ基板には１又は２以上のセンサチップをマウントすることができる。

【 0 0 1 1 】

10

この発明の第３の局面の発明は次のように規定される。即ち、第１若しくは第２の局面の冷却装置において、前記真空窓を下向きに配置する。

真空窓を下向きにすることにより、コンベヤ等により運搬される対象物に対して真空窓を可及的に近づけることができる。よって、より高精度の測定が可能となる。

【 0 0 1 2 】

この発明の第４の局面は次のように規定される。即ち、第３の局面の発明において、前記膨出部には前記冷媒が循環する冷媒流路が形成されている。これにより、膨出部の全体をより確実に冷媒の温度に維持することができる。よって、超伝導磁気センサの冷却が安定する。

【 0 0 1 3 】

20

この発明の第５の局面は次のように規定される。即ち、第４の局面の発明において、前記冷媒流路は前記熱伝導体に沿って上下方向に形成される孔である。かかる孔は形成が容易であり、もって装置の製造コストの上昇が抑制される。また、真空窓を下側へ向けて冷却装置を配置すると、上下方向に形成された孔の下端（即ち真空窓に近い部分、この部分の温度が上昇し易い）において冷媒が気化し、気体は上下方向の孔を介して速やかに除去される。よって、冷却の初期においては冷媒の気化時に膨出部から潜熱を奪われることとなり、膨出部をより確実に冷却できる。また、定常時においても安定した冷却が可能となる。

【 0 0 1 4 】

この発明の第６の局面は次のように規定される。即ち、第１～第５の局面の冷却装置において、前記膨出部には前記熱伝導体を挿着するための穴が設けられ、該穴の周面には該穴の開口部まで連通する溝が形成され、前記熱伝導体と前記穴の周面との間に充填される熱伝導性ペーストの過剰量が前記溝に沿って外部へ排出される。

30

膨出部とこれへ埋設される熱伝導体との間に空間があると熱伝導体を効率よく冷却できない。そこで膨出部と熱伝導体との間に熱伝導性ペーストを介在させて両者を熱的に密着させることが好ましい。

本発明者の検討によれば、膨出部へ穴を穿設してそこへ熱伝導性ペーストを充填し、その中へ熱伝導体を挿入してもこの熱伝導体と穴の周面との間に空間が形成することを確実に排除できたという確証がもてなかった。

そこでこの発明のように穴の周面に溝を形成しておき、膨出部へ熱伝導体を挿入したときに熱伝導性ペーストが当該溝から外部へ排出されるようにしておけば、穴内でペーストが流動するので、熱伝導体と穴の周面との間に空間が形成されることを確実に防止できる。よって、熱伝導体の冷却が安定し、もって超伝導磁気センサの動作を安定させることができる。

40

【 0 0 1 5 】

この発明の第７の局面は次のように規定される。即ち、第１～第６の局面の冷却装置において、前記膨出部から前記内容器の内側へサーマルアンカ部が突出されている。

このように規定される第７の局面の冷却装置によれば、膨出部において冷媒と接触する面積が大きくなるので、その温度がより安定する。よって、超伝導磁気センサの動作をより安定させることができる。

50

【実施例】

【0016】

以下、この発明の実施例の冷却装置10について説明をする。

図2は実施例の冷却装置10を示す断面図である。この冷却装置10は、外容器11、内容器30、サファイア棒5を備えている。

外容器11は本体部12とキャップ部20を有し、キャップ部20の頂部21には透明なサファイアからなる円形の真空窓23(厚さ:0.5mm、直径:50mm)が取付けられている。

本体部12はその内部を真空引きするため図示しない真空ポンプに連結される真空経路13を備える。この実施例では、真空窓23が下向きとされるため、外容器11の本体部12は基板14とキャップ部20より背高の脚部15を備える。

キャップ部20の開口部周縁は本体部12のリテーナ16へ回転可能に螺合される。キャップ部20を回転することによりキャップ部20は図示上下方向へ移動する。これにより、サファイア棒5の下端(第1の端部)へマウントされる超伝導磁気センサ基板1と真空窓23との距離が調節される。

符号17は基板14とリテーナとを貫通する貫通穴である。

【0017】

内容器30は外容器11内に収納され、その内部に冷媒(この実施例では液体窒素)を内蔵する。符号31、32は冷媒の導入口と排出口であり、導入口31は図示しない冷媒供給源に接続されている。

内容器30の下底のほぼ中央に円柱形の膨出部33が形成され、垂直下方に突設されている。

図3は膨出部33の底面を示し、図4は図3におけるI-V-I'線断面図、図5(A)は図3におけるV-V'線断面図、同(B)はV'-V''線断面図、図6は図3におけるVI-VI'線断面図である。

図3~図6により明らかになるように、膨出部33には有底な2つの穴35を備え、各穴35へサファイア棒5の第2の端部7が挿入される。各穴35の周面には3条の溝37が均等の間隔をとって形成されている。この溝は穴35の周面の全長に渡って形成しその開口部において外部へ連通することが好ましい。穴35へ予め熱伝導性ペーストを充填しておき、そこへサファイア棒5を挿入すると、サファイア棒5に押された熱伝導性ペーストにおいて過剰量が溝37を伝って外部へ排出されるので、導電性ペーストが穴35内を十分に流動し、サファイア棒5と穴35の周面との間に空間が残ることを未然に防止できる。

【0018】

膨出部33において、穴35に沿って冷媒流路38が形成されている。この冷媒流路38は2つの穴35に挟まれる位置に形成されている。穴35へ挿着されたサファイア棒の出来るだけ近くに冷媒流路を形成するためである。この実施例では、冷媒流路38を有底の孔形状としている。これにより冷媒流路38の穿設が容易になる。冷媒流路の形状及び形成数は膨出部の形状、大きさ、サファイア棒の挿着数等に応じて任意に設計することができる。

【0019】

符号39はケーブル孔であり、超伝導磁気センサへ接続される各種のケーブルはこのケーブル孔を通される。

図7は膨出部33へ2本のサファイア棒5を挿着した状態を示す底面図である。サファイア棒5の下面(第1の端部)にはそれぞれ超伝導磁気センサ基板1がマウントされている。

【0020】

この実施例では、真空窓23が下向きとなるように冷却装置10が配置されるので、外容器11の基板14に対して内容器30を支持する支持脚50が備えられている。また符号53は汎用的に用いられる断熱シートであり、外容器11と内容器30との間に形成さ

10

20

30

40

50

れる空間に充填される。

【 0 0 2 1 】

このように構成された実施例の冷却装置 1 0 によれば、熱容量が大きく温度変化し難い膨出部 3 3 にサファイア棒 5 が埋設され、サファイア棒において膨出部 3 3 から突出する部分を可及的に短くしている。これにより、サファイア棒 5 の温度が安定し、もって超伝導磁気センサの温度変動を抑制することができる。よって、安定して感度良く対象物の磁気を計測可能となる。特にこの実施例では、膨出部 3 3 へ冷媒流路 3 8 を設けて冷媒が膨出部 3 3 の先端付近まで回り込めるようにしている。これにより、外気温の影響を受けやすい膨出部 3 3 の先端（真空窓 2 3 に最も近い部分）の温度上昇を確実に防止できる。よって、サファイア棒 5 の温度が安定し、もって超伝導磁気センサの動作が安定することとなる。

10

【 0 0 2 2 】

図 8 は他の実施例の冷却装置 1 1 0 を示す。図 8 において図 2 と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。

この実施例の冷却装置 1 1 0 では、膨出部 1 3 3 にサーマルアンカー部 1 3 5 が設けられる。このサーマルアンカー部 1 3 5 は内容器 3 0 中に突出し、冷媒中に浸漬される。冷媒との接触面積を大きくするためにサーマルアンカー部 1 3 5 はファイン状とすることができる。

膨出部 1 3 3 がサーマルアンカー部 1 3 5 を備えることにより、膨出部 1 3 3 の冷却速度が向上し、かつその温度も安定する。

20

サーマルアンカー部 1 3 5 を設けることにより、膨出部 1 3 3 の温度が安定するので、図 9 に示すように、真空窓 2 3 を上側に向けても感度良く計測を行なうことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 図 1 はサファイア棒の端面と超伝導磁気センサ基板との配置関係を示す図である。

【 図 2 】 図 2 はこの発明の実施例の冷却装置の構成を示す断面図である。

【 図 3 】 図 3 は膨出部の底面図である。

【 図 4 】 図 4 は図 3 における I V - I V 線断面図である。

【 図 5 】 図 5 (A) は図 3 における V - V ' 線断面図、同 (B) は V ' - V " 線断面図。

30

【 図 6 】 図 6 は図 3 における V I - V I ' 線断面図である。

【 図 7 】 図 7 はサファイア棒を挿着した膨出部の底面図である。

【 図 8 】 図 8 は他の実施例の冷却装置を示す断面図である。

【 図 9 】 図 9 は他の実施例の他の使用態様を示す断面図である。

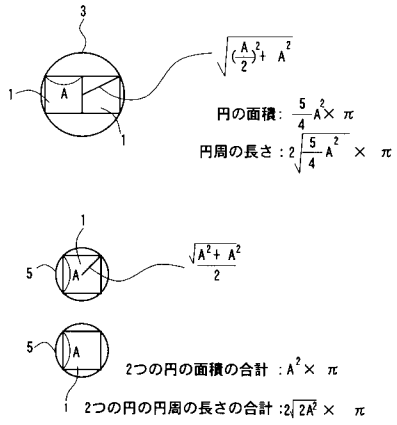
【 符号の説明 】

【 0 0 2 4 】

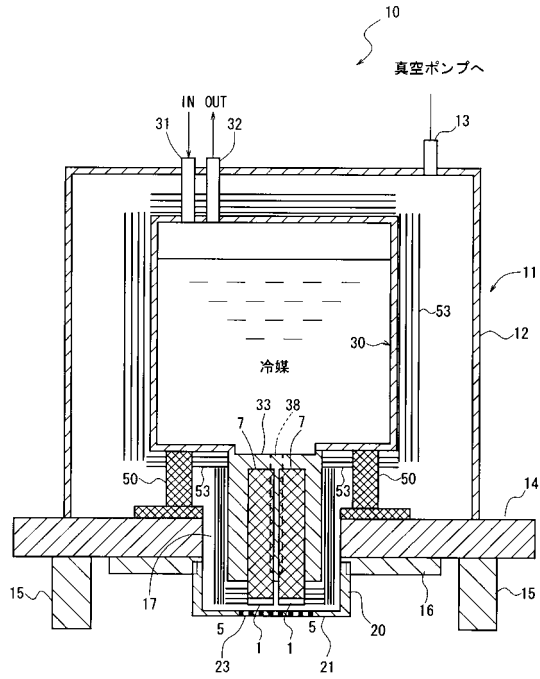
- 1 超伝導磁気センサ基板
- 3、5 サファイア棒
- 1 0 冷却装置
- 1 1 外容器
- 1 2 本体部
- 2 0 キャップ部
- 2 3 真空窓
- 3 0、1 3 0 内容器
- 3 3、1 3 3 膨出部
- 3 5 穴
- 3 7 溝
- 3 8 冷媒流路
- 1 3 5 サーマルアンカー部

40

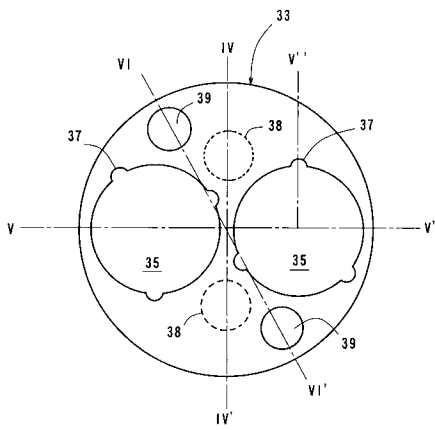
【図1】



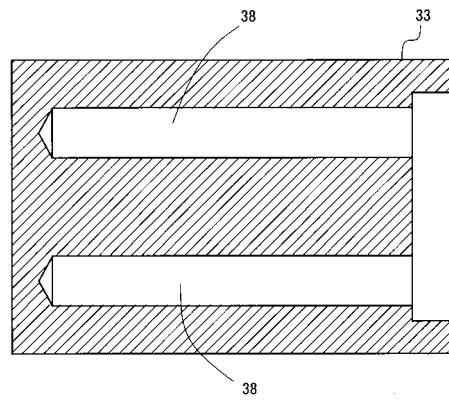
【図2】



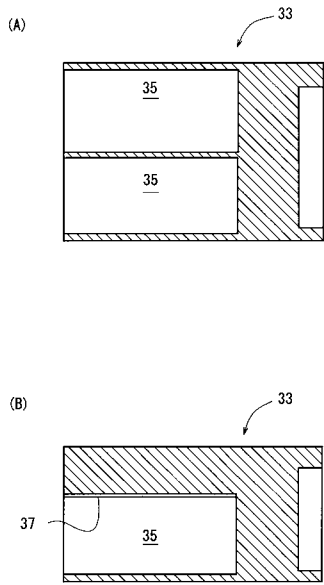
【図3】



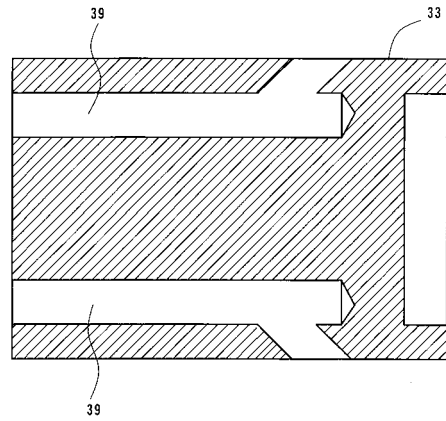
【図4】



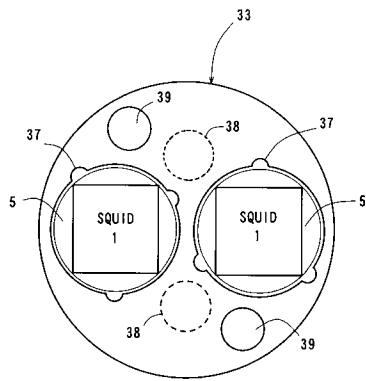
【図5】



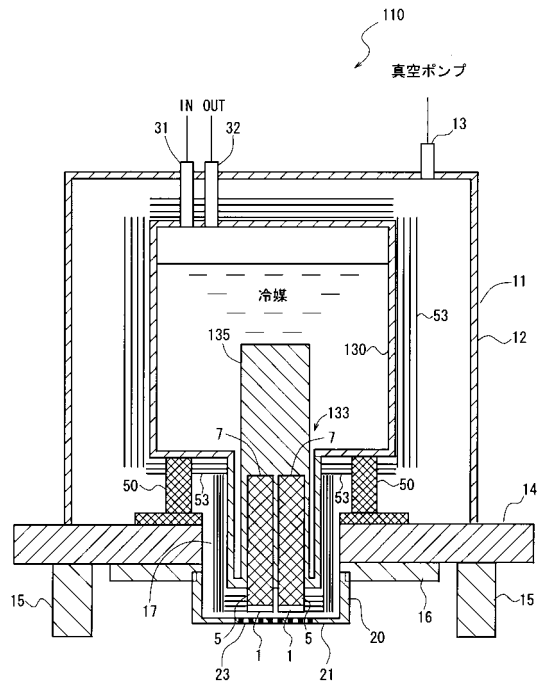
【図6】



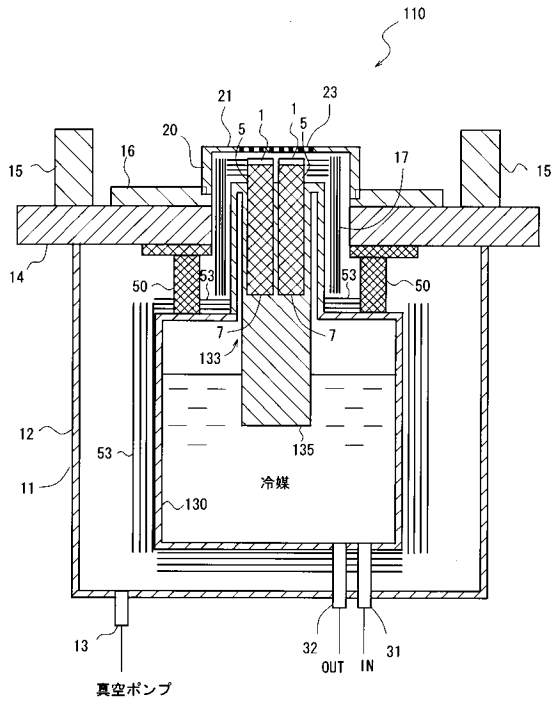
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-289927(JP,A)
特開平11-097753(JP,A)
特開2006-294664(JP,A)
特開2001-269323(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 39/04
A61B 5/05
G01R 33/035