



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 26 087 T2 2006.04.20**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 197 716 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 26 087.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP99/06683**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 973 547.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/39513**

(86) PCT-Anmeldetag: **30.11.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **06.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.04.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **06.07.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.04.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F25J 1/02 (2006.01)**

F25D 3/10 (2006.01)

F25B 9/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

36906498 25.12.1998 JP

(73) Patentinhaber:

**Japan Science and Technology Agency,
Kawaguchi, Saitama, JP**

(74) Vertreter:

**Reitstötter, Kinzebach & Partner (GbR), 81679
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FI, FR, GB

(72) Erfinder:

TAKEDA, Tsunehiro, Tokyo 135-0044, JP

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUR REKONDENSATION VON FLÜSSIGEM HELIUM UND DAFÜR VERWENDETE TRANSPORTLEITUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Kreislaufsysteme für flüssiges Helium und in solchen Systemen verwendete Transferleitungen. Genauer gesagt betrifft sie ein Kreislaufsystem für flüssiges Helium, welches als Teil eines Messsystems für Hirnmagnetismus verwendet wird und Heliumgas verflüssigt, das aus seinem Flüssigheliumbehälter verdampft, wobei ein Encephalomagnetometer in einer Umgebung mit extrem niedriger Temperatur angeordnet ist, sowie Transferleitungen, die in dem System verwendet werden, welche das verflüssigte Helium zurück in den Flüssigheliumbehälter leiten. Abgesehen von Systemen zur Messung des Hirnmagnetismus können das Kreislaufsystem für flüssiges Helium und die Transferleitungen auch bei Magnetokardiographen und Kernresonanz-Bildgebungssystemen (MRI) sowie bei der Untersuchung und Bewertung der Eigenschaften einer Vielzahl von Materialien bei extrem niedrigen Temperaturen eingesetzt werden.

[0002] Derzeit befinden sich Systeme zur Messung des Gehirnmagnetismus, also Systeme zum Detektieren von Magnetfeldern, die von menschlichen Gehirnen erzeugt werden, in der Entwicklung. Derartige Systeme verwenden supraleitende Quanteninterferenzbausteine, sog. SQUIDs (abgeleitet von engl. Bezeichnung: super-conducting quantum interference devices), die in der Lage sind, Hirnaktivitäten mit hoher raumzeitlicher Auflösung zu messen, ohne dabei den Organen zu schaden. Der SQUID wird in einem tiefgekühlten Zustand verwendet, wobei es in flüssiges Helium eingetaucht ist, das sich in einem isolierten Behälter befindet.

[0003] Bei den üblichen Behältern für flüssiges Helium in solchen Systemen wird das aus dem Behälter verdampfende Heliumgas in die Luft entlassen. Dieser Verlust an Helium in großen Mengen stellt einen ökonomischen Nachteil derartiger Systeme dar, da Helium bis zu ¥1.200 pro Liter kostet. Außerdem muss das in dem Behälter verbrauchte flüssige Helium durch frisches flüssiges Helium aus einem kommerziellen Zylinder wieder aufgefüllt werden. Mit dem Wiederauffüllen sind jedoch Probleme verbunden, da dieser Prozess sehr mühsam ist beziehungsweise die Kosten entsprechender Fremddienstleistungen beträchtlich sind.

[0004] Vor diesem Hintergrund wurde in jüngster Zeit versucht, Kreislaufsysteme für flüssiges Helium zu entwickeln, welche das aus dem Behälter verdampfende Heliumgas vollständig zurückzugewinnen, rekondensieren und verflüssigen und es zurück in den Behälter führen können.

[0005] Im Folgenden wird kurz die in [Fig. 4](#) dargestellte schematische Anordnung eines solchen Kreislaufsystems für flüssiges Helium beschrieben. Die

Bezugsziffer **101** bezeichnet dabei einen Behälter für flüssiges Helium, in welchem ein Encephalomagnetometer angeordnet ist; **102** ist eine Förderpumpe, die in dem Behälter **101** verdampfendes Heliumgas zurückgewinnt; **103** ist ein Trockner, welcher das zurückgewonnene Heliumgas dehydriert; **104** ist ein Strömungsregelventil; **105** ein Reiniger; **106** ist ein Hilfskühlaggregat; **107** ein Wärmetauscher Nr. 1 für das Hilfskühlaggregat **106**; **108** ist ein Kondensationskühlaggregat und **109** ein Kondensationswärmetauscher des Kondensationskühlaggregats **108**. Das aus dem Flüssigheliumreservoir **1** abdampfende Heliumgas, dessen Temperatur sich auf über 300° Kelvin (K) erhöht, wird durch die Förderpumpe **102** abgesaugt und durch den Trockner **103** und den Reiniger **105** in das Hilfskühlaggregat **106** geleitet, wo es auch etwa 40°K abgekühlt und verflüssigt wird. Das flüssige Helium wird zum Kondensationskühlaggregat **108** geleitet, wo es beim Durchströmen des Kondensationswärmetauschers **109** weiter bis auf etwa 4°K abgekühlt wird. Schließlich wird das extrem kalte flüssige Helium durch eine Transferleitung **110** in den Flüssigheliumbehälter **101** geleitet.

[0006] Dieses prototypische Heliumkreislaufsystem stellt im Wesentlichen ein System dar, das aus dem Flüssigheliumbehälter verdampfende Heliumgas vollständig zurückzugewinnen und wiederzuverwenden. Verglichen mit herkömmlichen ähnlichen Systemen, bei denen verdampfendes Helium in die Luft entlassen oder in einem Gasbeutel oder ähnlichem zur Weiterverarbeitung zurückgewonnen wird, verbraucht es eine deutlich geringere Menge an Helium, wovon man sich Vorteile hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der Produktivität verspricht, was jüngste Anstrengungen in der praktischen Umsetzung vorangetrieben hat. Außerdem erfordert das zusätzliche Merkmal des neuen Systems weniger Aufwand beim Wiederbefüllen mit frischem flüssigen Helium, so dass die Instandhaltung des Messsystems insgesamt erleichtert wird.

[0007] Trotzdem erfordert das wie oben beschriebene Kreislaufsystem weitere im Folgenden beschriebene Verbesserungen:

Da flüssiges Helium ein unverzichtbares Medium darstellt, um einen SQUID in einem tiefgekühlten Zustand zu halten wird ein große Menge elektrischer Energie beim Betrieb des Kühlgenerators zum Verflüssigen des Heliumgases verbraucht. Außerdem werden große Wassermengen benötigt, um den Verdichter des Kühlaggregats zu kühlen. Da das flüssige Helium außerdem durch eine Transferleitung vom Kühlaggregat in den Flüssigheliumbehälter übertragen wird, ist es schwierig, es vollständig von Bauteilen mit höherer Temperatur zu isolieren, so dass ein großer Teil des Heliums verdampft, was zu einer geringen Transferrate führt. Aus diesen Gründen addieren sich die Betriebskosten sowie die Isolationsmaßnahmen zu einer großen Summe, die mit derjenigen

vergleichbar ist, die in dem Fall entsteht, bei dem man das Gas in die Luft entweichen lässt. Daher besteht ein Bedarf für die Entwicklung einer wirtschaftlichen Version eines Flüssigkeitskreislaufsystems, welches diese Probleme überwindet.

[0008] US 4,790,147 beschreibt eine Kühlvorrichtung für flüssiges Helium, die einen Heliumbehälter und einen Kondensationswärmetauscher zur Kondensation von gasförmigem Helium zu flüssigem Helium aufweist. Die Vorrichtung umfasst außerdem eine Transferleitung zwischen dem Behälter und dem Tauscher, welche zwei getrennte Übertragungswege, einen für flüssiges Helium und einen für gasförmiges Helium, aufweist.

[0009] US 3,892,106 beschreibt Kühlkreisläufe, welche die verdampfte Flüssigkeit des Cryostaten verwenden, um das Gas, das von einer externen Quelle oder einem Pumpen-Kompressor-Aggregat stammt, auf eine Temperatur unterhalb der Joule-Thomson-Inversionstemperatur abzukühlen.

[0010] Unter einem ersten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß Anspruch 1 bereit.

[0011] Der Erfinder hat die der Erfindung zu Grunde liegende Idee aus dem Phänomen abgeleitet, dass die Wärmemenge (Eigenwärme), die zur Erhöhung der Temperatur von Heliumgas von etwa 4°K auf etwa 300°K erforderlich ist, viel höher ist als diejenige (Verdampfungswärme), die für die Phasenänderung des Heliums vom flüssigen in den gasförmigen Zustand bei etwa 4°K benötigt wird, und dass zwar die benötigte Energie zur Abkühlung von Helium einer höheren Temperatur zu Helium einer tieferen Temperatur moderat ist, aber eine beträchtliche Energie erforderlich ist, um das Heliumgas der niedrigeren Temperatur zu verflüssigen.

[0012] Die vorliegende Erfindung stellt daher einen neuen Typ eines Kreislaufsystems für flüssiges Helium als Lösung für die oben beschriebenen Probleme der herkömmlichen Kreislaufsysteme bereit. Mit dieser Erfindung kann aus dem Flüssigheliumbehälter verdampfendes Heliumgas einer hohen Temperatur, beispielsweise 300°K, zurückgewonnen und auf etwa 40°K, also einer Temperatur, die von einem Kühlaggregat leicht erreicht werden kann, abgekühlt und in den oberen Bereich des Behälters zurückgeleitet werden. Außerdem kann Heliumgas einer niedrigeren Temperatur, beispielsweise 10°K, in der Nähe der Oberfläche des flüssigen Helium im Inneren des Behälters zurückgewonnen, bei etwa 4°K verflüssigt und in den Behälter zurückgeleitet werden. Auf diese Weise kann der Bestand an flüssigem Helium im Inneren des Behälters durch eine entsprechende Menge wieder aufgefüllt werden, wie durch Verdampfen verlorengegangen ist.

[0013] Vorzugsweise sind die zweite, dritte und vierte Leitung innerhalb desselben Rohrs angeordnet, dessen Umfang durch eine Vakuumschicht isoliert ist.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die vierte Leitung im Zentrum angeordnet, während die dritte Leitung um die vierte Leitung herum angeordnet ist und sich die zweite Leitung am weitesten außen befindet.

[0015] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die zweite, dritte und vierte Leitung parallel zueinander angeordnet.

[0016] Bei den bevorzugten Ausführungsformen haben jede der zweiten, dritten und vierten Leitung ihre eigene umgebende Vakuumschicht.

[0017] Gemäß einer alternativen bevorzugten Ausführungsform ist die zweite Leitung von einer ersten Vakuumschicht umgeben und getrennt von der dritten und vierten Leitung angeordnet, die zusammen von einer zweiten Vakuumschicht umgeben sind.

[0018] In den bevorzugten Ausführungsformen ist das durch die Kühlanlage verflüssigte flüssige Helium von Heliumgas niedriger Temperatur umgeben und somit während des Transports zum Behälter von Bauteilen hoher Temperatur isoliert.

[0019] Gemäß den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ist es möglich, einen Teil des Heliumgases höherer Temperatur zu verflüssigen und das verflüssigte Helium der Kühlanlage zuzuführen.

[0020] Das Kreislaufsystem für flüssiges Helium kann einen Gas/Flüssigkeit-Abscheider umfassen, den das durch die Kühlanlage verflüssigte flüssige Helium bei der Zufuhr zum Behälter durchquert.

[0021] Unter einem zweiten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Umwälzen von flüssigem Helium gemäß Anspruch 10 bereit.

[0022] In Ausführungen der Erfindung ist es bevorzugt, das flüssige Helium vor direktem Kontakt mit Bauteilen hoher Temperatur entweder durch Heliumgas niedriger Temperatur oder gekühltes Heliumgas zu schützen, während es in den Behälter für flüssiges Helium geleitet wird.

[0023] Mit dem erfindungsgemäßen Kreislaufsystem für flüssiges Helium ist es möglich, das Abdampfen von flüssigem Helium aus dem Flüssigheliumbehälter zu minimieren, weil die Eigenwärme des gekühlten Heliumgases darin eine große Menge der Wärme beseitigt. Außerdem erfordert das Abkühlen von Heliumgas von etwa 300°K auf etwa 40°K wesentlich weniger Energie als die Erzeugung von flüssigem Helium von etwa 4°K durch Verflüssigen von

Heliumgas von 40°K. Verglichen mit herkömmlichen Systemen, welche das gesamte Volumen an zurückgewonnenem Heliumgas verflüssigen, bietet das vorliegende System einen überragenden ökonomischen Vorteil, weil es den Energieverbrauch bei der Verflüssigung des Heliumgases dadurch beträchtlich verringert, dass die Betriebsdauer des Kühlaggregats usw. verkürzt wird.

[0024] Außerdem gewinnt das vorliegende System Heliumgas in der Nähe der Oberfläche des flüssigen Heliums in dem Flüssigheliumbehälter zurück und verflüssigt dieses, was außerdem die Energieeinsparungen während des Verflüssigungsvorgangs des Heliumgases unterstützt, was wiederum zu einer beträchtlichen Verringerung der Betriebskosten beiträgt.

[0025] Außerdem nützt dieses System ein Verfahren, um gekühltes Heliumgas oder Heliumgas niedriger Temperatur um eine Leitung strömen zu lassen, die das durch das Kühlaggregat verflüssigte flüssige Helium transportiert. Damit soll die Leitung von umgebenden Bauelementen höherer Temperatur isoliert werden und das flüssige Helium vor Verdampfen schützen, während dieses durch die Leitung fließt, was den Energieverlust in einem Verfahren zur Verflüssigung von Heliumgas minimiert und das System zu einem wirksameren Kreislaufsystem für flüssiges Helium macht.

[0026] Im Folgenden werden rein exemplarisch bevorzugte Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0027] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Kreislaufsystems für Flüssighelium mit Mehrfachumwälzung ist;

[0028] [Fig. 2](#) eine vergrößerte Ansicht der erfindungsgemäßen Transferleitung mit einem Abschnitt im Ausriss zeigt;

[0029] [Fig. 3](#) Querschnittszeichnungen zweier unterschiedlicher Anordnungen der Transferleitungen zeigt;

[0030] [Fig. 4](#) eine schematische Anordnung eines herkömmlichen Kreislaufsystems für flüssiges Helium zeigt.

[0031] Bezugnehmend auf [Fig. 1](#) erkennt man einen schematischen Aufbau eines erfindungsgemäßen Kreislaufsystems für flüssiges Helium mit Mehrfachumwälzung, das im Folgenden beschrieben wird: Bezugsziffer **1** steht für den Flüssigheliumbehälter (FRP-Cryostat), in dem sich ein SQUID befindet und der in einem magnetisch abgeschirmten Raum angeordnet ist. **1a** bezeichnet den Gas/Flüssigkeit-Separator, der in dem Behälter angeordnet ist; **1b** ist einen

Niveaugeber, welcher das Flüssigkeitsniveau des flüssigen Heliums bestimmt; **1c** ist ein Rohrstück der Gasrückgewinnungsleitung **12**, um Heliumgas hoher Temperatur, das in dem Behälter auf bis zu 300°K erwärmt wurde, zu sammeln. Die Bezugsziffer **2** steht für eine Durchflussregelpumpe, die zurückgewonnenes Heliumgas hoher Temperatur über die Leitung **1c** an ein Kühlaggregat mit geringer Kapazität führt. **4** ist ein Durchflussregelventil. **5** ist ein 4 K GM-Kühlaggregat mit geringer Kapazität, das durch seine bemerkenswerten jüngsten Weiterentwicklungen bekannt ist. **6** und **7** sind die Wärmetauscher Nr. 1 und Nr. 2 des Kühlaggregats. **6a** und **7a** sind die Wärmetauscher Nr. 3 und Nr. 4, welche aus dem Behälter zurückgewonnenes Heliumgas hoher Temperatur oder frisches aus dem Heliumzylinder **10** geliefertes Helium verflüssigen, wenn es über die Leitung **20** in dem Fall bereitgestellt wird, wenn der Bestand an flüssigem Helium im Inneren des Behälters zu gering wird. **8** ist ein 6,5 kW-Heliumverdichter, **9** ist eine Transferleitung, die aus 3 einzelnen Leitungen zusammengesetzt ist: **9a** liefert flüssiges Helium, das mit der Kühlanlage **5** verflüssigt wurde, an den Behälter für flüssiges Helium **1**; **9b** gewinnt Heliumgas niedriger Temperatur aus dem Innenraum des Behälters **1** zurück und **9c** liefert Heliumgas, das mit der Kühlanlage **5** auf etwa 40°K abgekühlt wurde, an den Behälter **1** für flüssiges Helium. **10** ist ein Zylinder, der im Notfall eine Ladung frisches Helium ergänzen kann. **11** ist ein Einsatzrohr, welches mit der Transferleitung **9** verbunden und in dem Behälter **1** für flüssiges Helium angeordnet ist. Die oben beschriebenen Komponenten sind miteinander verbunden und gewährleisten eine Fluidströmung in die durch die Pfeile angegebenen Richtungen. Zusätzlich definiert die Bezugsziffer **14** den magnetisch abgeschirmten Raum des FPR-Cryostaten **1**.

[0032] Bezugnehmend auf die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) wird im Folgenden unter anderem der Aufbau der beiden unterschiedlichen Transferleitungen beschrieben. [Fig. 2](#) ist eine Seitenansicht einer Transferleitung mit einem Abschnitt im Ausriss. [Fig. 3\(a\)](#) ist ein Schnitt entlang der Linie A-A der Transferleitung der [Fig. 2](#) und [Fig. 3\(b\)](#) zeigt einen Schnitt einer Transferleitung mit einem unterschiedlichen Aufbau.

[0033] Bei dem ersten in [Fig. 3\(a\)](#) dargestellten Beispiel der Transferleitung ist das Rohr **9a** im Zentrum einer umgebenden Vakuumschicht **9d** angeordnet, um flüssiges Helium bei etwa 4°K zu transportieren. Das Rohr **9b** ist im Zentrum der umgebenden Vakuumschicht **9d** angeordnet, um Heliumgas niedriger Temperatur von etwa 10°K, das aus dem Innenraum des Behälters zurückgewonnen wurde, zu transportieren und das im Zentrum einer umgebenden Vakuumschicht **9d** angeordnete Rohr **9c** dient zum Transport von durch die Kühlanlage auf etwa 40°K herabgekühltes Heliumgas. Die Rohre **9a**, **9b** und **9c** verlaufen parallel zueinander und sind in einem großen

Rohr **9A** mit einer umgebenden Vakuumschicht **9d** zu Isolationszwecken angeordnet, wobei sich im Inneren des großen Rohrs außerdem ein Isolationsmaterial **13** befindet.

[0034] Das zweite Beispiel der Transferleitung ist eine Dreirohreversion der Transferleitung **9**, die aus einem großen von einer Vakuumschicht **9d** umgebenen Rohr **9c** ganz außen, einem von einer Vakuumschicht **9d** umgebenen Rohr **9b** mittlerer Größe im Zentrum des Rohrs **9c** und einem von einer Vakuumschicht umgebenen kleinen, im Zentrum des Rohrs **9b** angeordneten Rohr **9a** besteht. Diese Dreirohrkonstruktion ist so ausgelegt, dass ein Strömungsweg für das auf etwa 40°K gekühlte Heliumgas entlang der äußeren Fläche des Rohrs **9b** mittlerer Größe, sowie ein Strömungsweg für Heliumgas niedriger Temperatur von etwa 10°K entlang der Außenfläche des kleinen Rohrs **9a** und einen Strömungsweg für flüssiges Helium von etwa 4°K durch den Innenraum des kleinen Rohrs **9a** gewährleistet werden.

[0035] Im Fall des Beispiels (a) der Transferleitung können die drei Rohre miteinander verbunden werden, was den Vorteil eines kleineren Außendurchmessers bietet verglichen mit der Dreirohrkonstruktion des Beispiels (b).

[0036] In beiden Varianten der Transferleitung **9** ist das behälterseitige Ende der Transferleitung mit einem Einsatzrohr **11** verbunden, das in dem Behälter **1** für flüssiges Helium angeordnet ist, und ein Gas/Flüssigkeit-Separator **1a** ist am Ende des Einsatzrohrs **11** installiert. Während der Gas/Flüssigkeit-Separator kein wesentliches Element der Erfindung darstellt, ist es jedoch wünschenswert, ihn dann zu installieren, wenn es notwendig ist, Störungen des Temperaturgleichgewichts in dem Behälter auf Grund von geringen Mengen Heliumgas zu verhindern, welches während des Transfers des Flüssighelium entsteht. Von den drei im Inneren der Transferleitung **9** angeordneten Rohren ist ein Ende des Rohrs **9a**, welches das von der Kühlanlage verflüssigte Flüssighelium in den Behälter **1** für Flüssighelium leitet, mit dem Gas/Flüssigkeit-Separator **1a** verbunden, ein Ende des Rohrs **9b**, welches Heliumgas niedriger Temperatur aus dem Inneren des Behälters **1** zurückgewinnt und an die Kühlanlage liefert, ist in der Nähe des Gas/Flüssigkeit-Separators **1a** des Einsatzrohrs **11** oder in der Nähe der Oberfläche des Flüssigheliums im Inneren des Behälters **1** angeordnet, so dass Heliumgas niedriger Temperatur aus einem Bereich mit der niedrigsten zur Verfügung stehenden Temperatur (in der Nähe von 4°K) im Inneren des Behälters **1** gesammelt werden kann, und ein Ende des Rohrs **9c**, welches gekühltes Heliumgas, das durch die Kühlanlage auf 40°K gekühlt wurde, in den Behälter **1** liefert, ist über dem Einsatzrohr **11** geöffnet (im inneren oberen Bereich des Behälters **1**).

[0037] Das Kreislaufsystem für flüssiges Helium mit der wie oben beschriebenen Konstruktion funktioniert wie folgt:

Das im Inneren des Flüssigheliumbehälters **1** gesammelte flüssige Helium beginnt bei einer Temperatur von über 4°K im Inneren des Behälters gasförmig zu werden und kühlt auf Grund seiner Eigenwärme den Innenraum der Kühlanlage, bis seine Temperatur auf Zimmertemperatur von etwa 300°K steigt. Das Heliumgas hoher Temperatur von etwa 300°K wird mit der Flussregelpumpe **2** über die im oberen Teil des Behälters **1** installierte Rückgewinnungsleitung für Heliumgas **1c** abgesaugt. Das gesamte zurückgewonnene Heliumgas wird zum Wärmetauscher Nr. 6 der Kühlanlage **5** mit geringer Kapazität geleitet, wo das Heliumgas auf etwa 40°K abgekühlt wird. Das gekühlte Helium wird über das im Inneren der Transferleitung angeordnete Rohr **9c** in den oberen Bereich des Innenraums des Behälters **1** geleitet und kühlt den Innenraum des Behälters **1** auf Grund der Eigenwärme wirksam, bis dessen Temperatur auf 300°K steigt. Während der untere Bereich im Reservoir **1** konstant auf 4°K gehalten wird, während das flüssige Helium im Inneren des Behälters **1** verdampft, wird die Verdampfung auf Grund des umgebenden Heliumgases von etwa 40°K verlangsamt, weil dieses, wie oben gezeigt, den Wärmeeintrag aus dem Bereich oberhalb des Flüssigheliums hemmt. Obwohl es unterdessen wünschenswert ist, gekühltes Heliumgas in den Behälter zu leiten, das soweit wie möglich unterhalb von 40°K gekühlt wurde, um die Kühlleistung des Behälters **1** zu erhöhen, ist dies ökonomisch nachteilig, da es ein System mit wesentlich höherer Kühlleistung erfordert.

[0038] Außerdem sammelt das Rohr **9c** mit seiner Öffnung in der Nähe der Oberfläche des Flüssigheliums im Inneren des Reservoirs **1** Heliumgas mit niedriger Temperatur von etwa 40°K, welches durch den Wärmetauscher **7** der Kühlanlage **5** mit geringer Kapazität verflüssigt wird. Das verflüssigte Helium wird über das Rohr **9a** im Inneren der Transferleitung **9** und, falls erforderlich, über den Gas/Flüssigkeit-Separator **1a** in den Behälter **1** zurückgeleitet. Dieses Verfahren, bei dem Heliumgas niedriger Temperatur von etwa 10°K unter Verwendung einer Kühlanlage geringer Kapazität verflüssigt wird, ist wesentlich, um konstant in sich auf Grund der Verdampfung im Inneren des Behälters konstant verringerten Bestand an Flüssighelium mit geringen Energiekosten aufzufüllen. Außerdem ist das in der Transferleitung **9** fließende verflüssigte Helium durch ebenfalls in der Transferleitung strömendes gekühltes Heliumgas oder Heliumgas niedriger Temperatur gegenüber Bauteilen mit höherer Temperatur geschützt, was hilft, ein Verdampfen von Flüssighelium während der Übertragung einzuschränken. Weiterhin hilft das Verflüssigen von Heliumgas, welches bei der niedrigsten zur Verfügung stehenden Temperatur aus dem Innenraum des Behälters **1** abgezogen wird, den Wir-

kungsgrad der verwendeten Kühlanlage beim Verflüssigen zu erhöhen, so dass es möglich ist, Kühlanlagen mit geringer Kapazität einzusetzen, was zu einer Verringerung der Betriebskosten führt.

[0039] Oben wurde eine Transferleitung beschrieben, die aus einem Rohr **9c**, das auf 40°K abgekühltes Heliumgas an den Behälter **1** liefert, einem Rohr **9b**, das aus dem Behälter **1** zurückgewonnenes Heliumgas niedriger Temperatur von etwa 10°K transportiert und einem verflüssigtes Helium transportierenden Rohr **9a** besteht. Abweichend von dieser Konstruktion ist es möglich, das das gekühlte Heliumgas zu dem Behälter **1** transportierende Rohr **9c** unabhängig von der Transferleitung als isoliertes Rohr zu konstruieren.

[0040] Oben wurde ein Betriebssystem beschrieben, bei welchem das gesamte Volumen des aus dem Behälter **1** zurückgewonnenen Heliumgases hoher Temperatur von etwa 300°K auf etwa 40°K abgekühlt und das gekühlte Heliumgas in den inneren oberen Bereich des Behälters zurückgeleitet wird. Es ist ebenfalls möglich, durch entsprechenden Betrieb des Strömungsregelungsventils **4** einen Teil des Heliumgases hoher Temperatur durch die in der Zeichnung mit der Bezugsziffer **20** bezeichnete Leitung an die (von den zuvor genannten verschiedenen) Wärmetauschern Nr.1 **6a** und Nr. 2 **7a** der Kühlanlage **5** zur Verflüssigung zu leiten und das verflüssigte Helium über das oben erwähnte Rohr **9a** in den Behälter **1** zurückzuleiten.

[0041] Wie oben erwähnt soll das erfindungsgemäße Kreislaufsystem für flüssiges Helium wie folgt arbeiten:

Zunächst wird das Heliumgas, dessen Temperatur im Inneren des Behälters für flüssiges Helium etwa 300°K beträgt, gesammelt und das gesammelte Heliumgas insgesamt auf etwa 40°K abgekühlt, wobei man die erste Stufe des Kühlkreislaufes der Kühlanlage nutzt, und das gekühlte Heliumgas wird zurück in den Behälter für flüssiges Helium geleitet. Dann wird Heliumgas niedriger Temperatur von etwa 40°K durch ein Rohr gesammelt, dessen Öffnung sich in der Nähe der Oberfläche des flüssigen Heliums im Inneren des Behälters befindet. Das gesammelte Heliumgas niedriger Temperatur wird zu den Wärmetauschern Nr. 2 und 7 der Kühlanlage geringer Kapazität geleitet, wo das Heliumgas verflüssigt wird, und schließlich wird das verflüssigte Helium in den Behälter zurückgeleitet, um den sich verringenden Bestand an flüssigem Helium zu ergänzen. Auf Grund dieser Konstruktionsmerkmale kann das Heliumgas von 40°K den Behälter für flüssiges Helium kühlen, weil bei der Erwärmung des Heliumgases auf etwa 300°K eine große Wärmemenge abgezogen wird, so dass der untere Bereich im Inneren des Behälters auf etwa 4°K gehalten werden kann, was dieses System im Hinblick auf den Kühleffekt vergleichbar mit kon-

ventionellen Systemen macht. Weiterhin verringert sich der Bestand an flüssigem Helium im Inneren des Behälters während dieses verdampft. Das Konstruktionsmerkmal, Heliumgas niedriger Temperatur in der Nähe der Oberfläche des flüssigen Heliums im Inneren des Behälters zu sammeln und zu verflüssigen und das verflüssigte Helium in den Behälter zurückzuleiten trägt dazu bei, Energieverluste bei der Herstellung des flüssigen Heliums zu verringern und bereitet den Weg für die Konstruktion eines Kreislaufsystems für flüssiges Helium mit hohem Wirkungsgrad bei geringen Kosten.

[0042] Außerdem schützt das Konstruktionsmerkmal, mittels der Kühlanlage abgekühltes Heliumgas oder aus dem Behälter gesammeltes Heliumgas niedriger Temperatur bereitzustellen, das mit der Kühlanlage verflüssigte flüssige Helium bei dessen Übertragung, was wesentlich dazu beiträgt, das dabei durch Verdampfen verlorene Volumen an flüssigem Helium zu verringern.

[0043] Während die Kondensation von Heliumgas von etwa 40°K zur Herstellung von flüssigem Helium bei etwa 4°K sehr viel Energie erfordert, ermöglicht das erfindungsgemäße Konstruktionsmerkmal, Heliumgas von etwa 10°K zu kondensieren außerdem, die für die Verflüssigung erforderliche Energie zu minimieren, so dass Kühlanlagen mit geringer Kapazität verwendet werden können.

[0044] Schließlich versteht es sich, dass andere Arten von Kühlanlagen anstelle der oben beschriebenen Kühlanlage verwendet werden können. Bei der Verwendung einer mehrstufigen Kühlanlage könnten beispielsweise Ströme von Heliumgas unterschiedlicher Temperaturen gleichzeitig vorhanden sein. Außerdem kann man, obwohl in der Zeichnung nicht dargestellt, eine Steuereinrichtung vorsehen, die durch Signale eines Sensors, wie beispielsweise eines im Inneren des Behälters für flüssiges Helium angeordneten Niveauwächters aktiviert wird, um das Strömungsregelungsventil zu steuern, welches zum Wiederauffüllen des Bestandes an flüssigem Helium benutzt wird. Außerdem können optionale Baueinheiten, Materialien usw. abhängig vom jeweiligen Zweck des Systems ausgewählt werden.

[0045] Während das oben beschriebene System eine Einheit einer Kühlanlage mit geringer Kapazität zur Herstellung des flüssigen Heliums und des gekühlten Heliumgases verwendet, ist es demgegenüber ebenfalls möglich, zwei oder mehr Einheiten von Kühlanlagen kleinerer Kapazität zu verwenden, von denen jede einer spezifischen Funktion zugeordnet ist. Während außerdem die Temperatur des zu der Kühlanlage des oben beschriebenen Systems geleiteten Heliumgases zum Abkühlen eine Temperatur von etwa 40°K aufweist, ist diese Temperatur keineswegs bindend und je nach Verwendungszweck des

Systems kann Heliumgas unterschiedlichster Temperaturen verwendet werden.

[0046] Schließlich gilt zumindest für die bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung: Entsprechend dem Konstruktionsmerkmal, Helium niedriger Temperatur (etwa 10°K) mittels eines Rohres zu sammeln, dessen Öffnung sich dicht am flüssigen Helium im Inneren des Reservoirs befindet, das gesammelte Gas mit einer Kühlanlage geringer Kapazität zu verflüssigen und das verflüssigte Helium in den Behälter zurückzuleiten, um den Bestand an flüssigem Helium aufzufüllen, kann der Energieverlust bei der Herstellung des flüssigen Heliums minimiert werden, was den Weg für die Konstruktion hocheffizienter Kreislaufsysteme für flüssiges Helium bereitet, die mit geringen Betriebskosten betrieben werden können.

[0047] Durch das Konstruktionsmerkmal, welches gewährleistet, dass man wirksamen Nutzen aus einer großen Eigenwärmemenge zieht, die benötigt wird wenn Heliumgas von etwa 40°K auf etwa 300°K erwärmt wird, um damit das Kreislaufsystem für flüssiges Helium zu kühlen, erübrigt sich das herkömmliche Erfordernis, das gesamte Volumen des Heliumgases zu verflüssigen, was mit vorteilhaften Einsparungen an messbaren Energie- und Betriebskosten einhergeht.

[0048] Durch das Konstruktionsmerkmal, das Helium insgesamt zurückzugewinnen und zurückzuführen, erübrigt sich das herkömmliche Erfordernis einer aufwändigen Heliumwiederauffüllung und verringern sich die Kosten für flüssiges Helium beträchtlich.

[0049] Das Merkmal, das mit der Kühlanlage verflüssigte flüssige Helium zu transportieren, ohne dass es in Kontakt mit Bauteilen hoher Temperatur kommt, verhindert dessen Verdampfen während des Transports und gewährleistet dessen stabilisierte Rückleitung in den Behälter.

Patentansprüche

1. Kreislaufsystem für flüssiges Helium mit einem Behälter (1) für flüssiges Helium und einer Kühleinrichtung (5), die in dem Behälter verdampfendes Heliumgas zurückgewinnt und das Heliumgas kühlt und verflüssigt und ausgelegt ist, das gekühlte Heliumgas und verflüssigte Helium in den Behälter zurückzuführen, wobei das Kreislaufsystem für flüssiges Helium außerdem umfasst: eine erste Leitung (12), die im Inneren des Behälters für flüssiges Helium erwärmtes Heliumgas (1c) hoher Temperatur in die Kühleinrichtung einspeist, wo das Helium hoher Temperatur in ein gekühltes Heliumgas verwandelt wird, eine zweite Leitung (9c), welche das gekühlte Heliumgas in den oberen Bereich im Innern des Behälters einspeist, eine dritte Leitung (9b), welche Heliumgas niedriger Temperatur in der Nähe der Oberfläche des

flüssigen Heliums im Inneren des Behälters zurückgewinnt und das zurückgewonnene Helium in die Kühleinrichtung einspeist, wo das Heliumgas verflüssigt wird, sowie eine vierte Leitung (9a), die das verflüssigte Helium in den Behälter leitet.

2. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß Anspruch 1, wobei die zweite (9c), dritte (9b) und vierte (9a) Leitung im Inneren eines Rohrs (9A; 9c) angeordnet sind, das durch eine umgebende Vakuumschicht (9d) isoliert ist.

3. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß Anspruch 2, wobei die vierte Leitung (9a) im Zentrum angeordnet ist, während die dritte Leitung (9b) um die vierte Leitung herum angeordnet ist und die zweite Leitung (9c) um die Kombination aus dritter und vierter Leitung herum und damit am weitesten außen angeordnet ist.

4. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß Anspruch 2, wobei die zweite (9c), dritte (9b) und vierte (9a) Leitung parallel zueinander angeordnet sind.

5. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei jede der zweiten (9c), dritten (9b) und vierten (9a) Leitung ein Rohr umfasst, das eine es umgebende Vakuumschicht (9d) aufweist.

6. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß Anspruch 1, wobei die zweite Leitung (9c) von einer ersten Vakuumschicht (9d) umgeben und getrennt von der dritten (9b) und vierten (9a) Leitung angeordnet ist, die zusammen von einer zweiten Vakuumschicht (9d) umgeben sind.

7. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß Anspruch 6, wobei das durch die Kühleinrichtung (5) verflüssigte flüssige Helium, während es zum Behälter (1) transportiert wird, von den Bauteilen hoher Temperatur durch die Atmosphäre aus Heliumgas niedriger Temperatur isoliert ist (11).

8. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Teil des Heliumgases höherer Temperatur (1c) innerhalb der Kühleinrichtung (5) verflüssigt (6a, 7a) und in den Behälter (1) eingespeist wird.

9. Kreislaufsystem für flüssiges Helium gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das durch die Kühleinrichtung (5) verflüssigte flüssige Helium über eine Gas/Flüssigkeit-Trenneinrichtung (1a) in den Behälter (1) geleitet wird.

10. Verfahren zum Umwälzen von flüssigem Helium, wobei man Heliumgas, das in einem Behälter (1) für flüssiges Helium beim Verdampfen von flüssi-

gem Helium entsteht, zurückgewinnt, abkühlt, verflüssigt und in den Behälter für flüssiges Helium zurückleitet, wobei man das in dem Behälter für flüssiges Helium erwärmte Heliumgas hoher Temperatur in eine Kühleinrichtung (5) leitet, wo man das Heliumgas in ein gekühltes Heliumgas umwandelt und man das gekühlte Heliumgas in den oberen Bereich im Innern des Behälters leitet, und außerdem Heliumgas niedriger Temperatur in der Nähe der Oberfläche des flüssigen Heliums im Innern des Behälters für flüssiges Helium in die Kühleinrichtung leitet, wo man das Heliumgas niedriger Temperatur verflüssigt und das verflüssigte Helium in den Behälter zurückführt.

11. Umwälzverfahren für flüssiges Helium gemäß Anspruch 10, wobei das flüssige Helium beim Transport in den Behälter (1) für flüssiges Helium vor einem direkten Kontakt mit Bauteilen höherer Temperatur durch wenigstens entweder Heliumgas niedriger Temperatur oder gekühltes Heliumgas geschützt wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

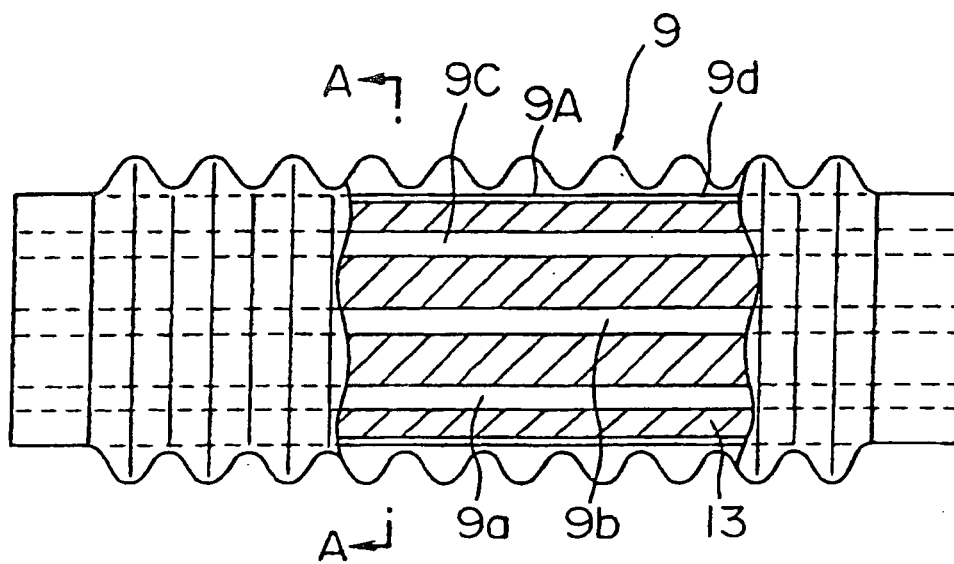


Fig. 2

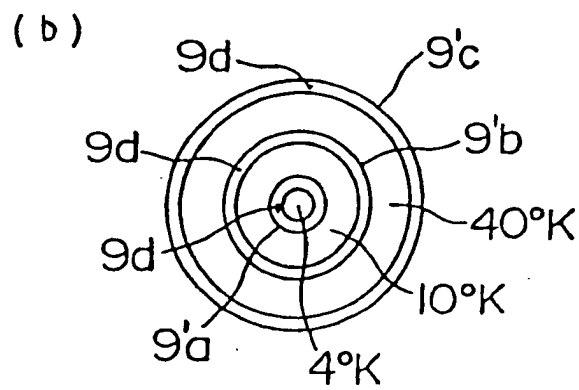
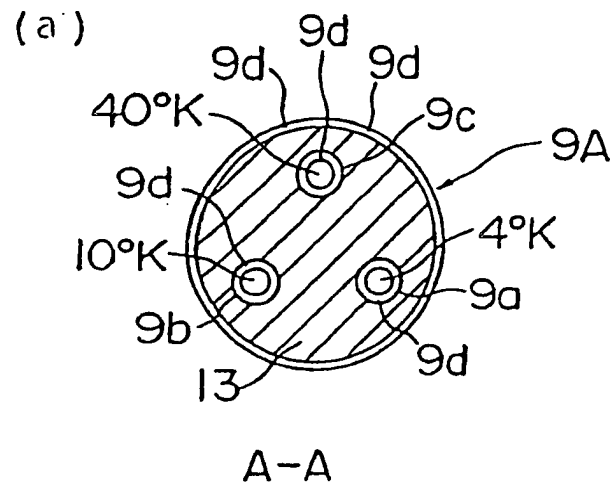


Fig. 3

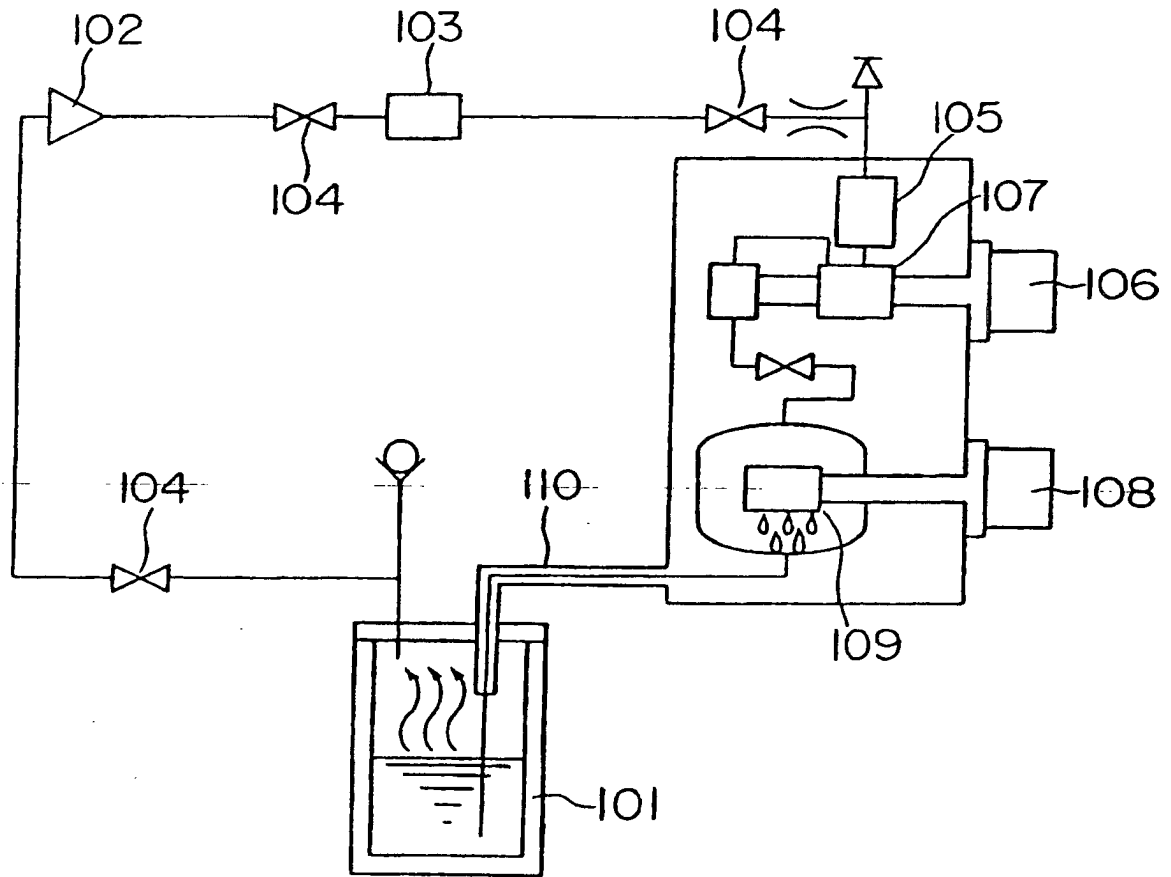


Fig. 4