

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6184262号
(P6184262)

(45) 発行日 平成29年8月23日(2017.8.23)

(24) 登録日 平成29年8月4日(2017.8.4)

(51) Int.Cl. F I
F 2 5 B 9/14 (2006.01) F 2 5 B 9/14 5 2 0 A

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2013-185607 (P2013-185607)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成25年9月6日(2013.9.6)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2015-52426 (P2015-52426A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成27年3月19日(2015.3.19)	(74) 代理人	100108855
審査請求日	平成28年2月16日(2016.2.16)		弁理士 蔵田 昌俊
		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100103034
			弁理士 野河 信久
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司
		(74) 代理人	100153051
			弁理士 河野 直樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 冷凍機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

蓄冷器を介して一端側に高温側の圧縮部、他端側に低温側の膨張部が配設されるスターリングサイクルの冷凍機であって、

圧力室内に配設され、作動媒体を駆動するアクチュエータの一面側を圧縮器、その裏面側を膨張器として機能させる圧縮膨張兼用部を前記圧縮部と前記膨張部との間に配設させ

る前記圧縮膨張兼用部は、複数段積層され、前記作動媒体は、各段で独立であることを特徴とする冷凍機。

【請求項2】

複数段の前記圧縮膨張兼用部は、それぞれ温度センサを備え、

前記温度センサの検出温度に応じて前記各段の前記圧縮膨張兼用部のアクチュエータを制御するコントローラを有することを特徴とする請求項1に記載の冷凍機。

【請求項3】

前記アクチュエータは、ダイヤフラムの少なくとも一面に圧電素子が配設された圧電素子付きダイヤフラムまたはピストンのいずれか一方であることを特徴とする請求項1に記載の冷凍機。

【請求項4】

前記圧縮膨張兼用部は、第1のシート上に前記ダイヤフラムをアレイ状に配列させたアクチュエータシートによって形成され、

前記蓄冷器は、前記第1のシートと対向配置される第2のシート上に前記ダイヤフラムと対応する位置に前記蓄冷器をアレイ状に配列させた蓄冷器シートによって形成され、

前記アクチュエータシートと前記蓄冷器シートとを積層させた積層体を設けたことを特徴とする請求項3に記載の冷凍機。

【請求項5】

前記積層体は、前記アクチュエータシートと前記蓄冷器シートとをそれぞれ真空シールド内に收容させた多層シールドを有することを特徴とする請求項4に記載の冷凍機。

【請求項6】

前記圧縮膨張兼用部は、前記圧縮部側の高温側熱交換器と前記膨張部側の低温側熱交換器との間を連結する熱伝導部を有することを特徴とする請求項1に記載の冷凍機。

10

【請求項7】

前記圧縮膨張兼用部は、アクチュエータの両面に熱交換部を有することを特徴とする請求項1に記載の冷凍機。

【請求項8】

前記圧電素子付きダイヤフラムは、前記圧電素子の表面に熱伝達率を上げる粗面部を有することを特徴とする請求項3に記載の冷凍機。

【請求項9】

前記圧電素子付きダイヤフラムは、前記ダイヤフラムが銅合金によって形成されていることを特徴とする請求項3に記載の冷凍機。

【請求項10】

20

前記積層体は、前記シート間の接合部が熱伝導率の低い材料で、接合表面積が小さく接合させたことを特徴とする請求項4に記載の冷凍機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、冷凍機に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、スターリングサイクルの冷凍機として、図15に示す構成の装置が知られている。図15中で、参照符号aは蓄冷器である。この蓄冷器aを介して一端側に高温側の圧縮部b、他端側に低温側の膨張部cが配設されている。ここでは、圧縮部bには圧縮ピストンd、膨張部cには膨張ピストンeがそれぞれ配設されている。圧縮ピストンdと膨張ピストンeとは例えば膨張側で圧力と変位が90°位相となるような冷凍サイクルとして適切な変位位相差を保持した状態で駆動される。そして、図16(1)~(4)に示すように動作が行われる。すなわち、図16の(1)に示すように圧縮ピストンdの移動により作動媒体を圧縮する際に放熱する。続いて、図16の(2)に示すように圧縮ピストンdと膨張ピストンeとが容積を保ったまま軸方向に移動することで、圧縮された作動媒体が蓄冷器aを通ることで高圧のまま冷却される。その後、図16の(3)に示すように膨張ピストンeの移動により作動媒体を膨張させる際に作動媒体の温度が下がり、吸熱する。続いて、図16の(4)に示すように圧縮ピストンdと膨張ピストンeとが連動して軸方向に移動する際に作動媒体が蓄冷器aを通ることで蓄冷器aを冷却し、作動媒体の温度が上昇し、図16の(1)~(4)に示す1サイクルが終了する。この1サイクルの過程で、膨張部cの膨張空間における作動媒体の膨張に伴って吸熱し、圧縮部bの圧縮空間における作動媒体の圧縮に伴って放熱する。さらに、膨張空間と圧縮空間との間を往復する作動媒体との熱交換によって膨張部cの膨張空間と圧縮部bの圧縮空間との間の温度差を維持する。これにより、低温側から高温側への熱輸送があり、低温側が冷凍される。通常は、圧縮、膨張ピストンを、ともに連続的な単振動で駆動し、両者の位相差を適切にとることで上記の冷凍サイクルを周期的に行う。

30

40

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開平 1 1 - 3 7 5 8 2 号公報

【特許文献 2】特開平 9 - 1 4 5 1 8 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

上記従来構成のスターリングサイクルの冷凍機では、圧縮ピストン d は仕事をして、膨張ピストン e は仕事を受ける構成になっている。このとき、膨張ピストン e の仕事のエネルギー回収が通常は困難である。そのため、冷凍機全体のエネルギー損失を小さくすることが難しく、運転効率の向上が難しい。

10

【 0 0 0 5 】

本実施形態は上記事情に着目してなされたもので、冷凍機全体のエネルギー損失を小さくすることができ、運転効率の向上が図れる冷凍機を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

実施形態によれば、蓄冷器を介して一端側に高温側の圧縮部、他端側に低温側の膨張部が配設されるスターリングサイクルの冷凍機である。圧力室内に配設され、作動媒体を駆動するアクチュエータの一面側を圧縮器、その裏面側を膨張器として機能させる圧縮膨張兼用部を前記圧縮部と前記膨張部との間に配設させた。前記圧縮膨張兼用部は、複数段積層され、前記作動媒体は、各段で独立である。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】第 1 の実施の形態の冷凍機を使用した装置全体の概略構成を示す縦断面図。

【図 2】第 1 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機の概略構成を示す縦断面図。

【図 3】第 2 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機の要部構成を示す縦断面図。

【図 4】第 3 の実施の形態のスターリングサイクル冷凍機の概略構成と、冷凍サイクルにおけるピストンの位相の変化状態を示す図。

【図 5】第 4 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機を使用した装置全体の概略構成図。

【図 6】第 4 の実施の形態の冷凍機のピストン部分の概略構成を示す側面図。

30

【図 7】第 4 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機の制御系を示すブロック図。

【図 8】第 5 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機を示す概略構成図。

【図 9】第 5 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機の圧電素子付きダイヤフラムの動作状態を説明する概略構成図。

【図 10】第 5 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機の制御系を示すブロック図。

【図 11】第 6 の実施の形態の冷凍機全体の概略構成を示す分解斜視図。

【図 12】第 6 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機の要部構成を示す縦断面図。

【図 13】第 6 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機を使用した装置の具体例を示す概略構成図。

40

【図 14】第 7 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機の概略構成を示す縦断面図。

【図 15】従来のスターリングサイクルの冷凍機を示す概略構成図。

【図 16】従来のスターリングサイクルの冷凍機の冷凍サイクルにおけるピストンの位相の変化状態を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

以下、実施の形態について、図面を参照して説明する。

[第 1 の実施の形態]

50

(構成)

図1は、第1の実施の形態の冷凍機を使用した装置全体の概略構成を示す縦断面図である。図1中で、参照符号1は、真空断熱容器(冷凍槽)である。この真空断熱容器1の一面に本実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機2が配設されている。真空断熱容器1の内部に配設された例えば、LNA(ローノイズアンプ)や、超伝導回路を含む電子回路などの冷却対象物3はこの冷凍機2によって冷却される。

【0009】

図2は、スターリングサイクルの冷凍機2の概略構成を示す縦断面図である。本実施の形態の冷凍機2は、2つの蓄冷器(第1の蓄冷器4aと第2の蓄冷器4b)を介して一端側に高温側の圧縮部5、他端側に低温側の膨張部6が配設されている。ここで、第1の蓄冷器4aと第2の蓄冷器4bは、例えば金属メッシュを多数積層させた積層体や、発抱金属、スチールウールなどのようにヘリウムなどの作動媒体との熱交換によって蓄熱(蓄冷)作用を有する材料が充填されている。また、圧縮部5は、圧縮部シリンダ5aと、この圧縮部シリンダ5a内で往復移動する圧縮ピストン5bとがそれぞれ設けられている。膨張部6は、膨張部シリンダ6aと、この膨張部シリンダ6a内で往復移動する膨張ピストン6bとがそれぞれ設けられている。

【0010】

さらに、第1の蓄冷器4aと第2の蓄冷器4bとの間には圧縮膨張兼用部7が配設されている。この圧縮膨張兼用部7は、シリンダ(圧力室)7aと、このシリンダ7a内で往復移動する圧縮膨張兼用ピストン(アクチュエータ)7bとが設けられている。この圧縮膨張兼用部7は、シリンダ7a内の圧縮膨張兼用ピストン7bの一面側を圧縮器、その裏面側を膨張器として機能させるものである。本実施の形態では、図2中で、シリンダ7a内の圧縮膨張兼用ピストン7bの左側が圧縮器7c、右側が膨張器7dとしてそれぞれ機能する。

【0011】

本実施の形態では圧縮部5、膨張部6および圧縮膨張兼用部7の外周部位には、図示しないモータステータが配設されている。また、圧縮ピストン5b、膨張ピストン6b、圧縮膨張兼用ピストン7bには、図示しないモータマグネットが配設されている。これらにより、圧縮ピストン5b、膨張ピストン6b、圧縮膨張兼用ピストン7bを駆動するリニアモータが構成されている。そして、圧縮ピストン5b、膨張ピストン6b、圧縮膨張兼用ピストン7bは、冷凍サイクルとして適切な位相差を保持した状態で駆動される。

【0012】

また、圧縮部5と第1の蓄冷器4aとの間には高温側熱交換器8、第1の蓄冷器4aと圧縮膨張兼用部7との間には低温側熱交換器9がそれぞれ配設されている。さらに、圧縮膨張兼用部7と第2の蓄冷器4bとの間には高温側熱交換器10、第2の蓄冷器4bと膨張部6との間には低温側熱交換器11がそれぞれ配設されている。これらの高温側熱交換器8、10および低温側熱交換器9、11は、多数の細管を並べた作動媒体の通路によって形成されている。これらの通路内を作動媒体が通過する際に作動媒体との熱交換が行なわれる。また、圧縮膨張兼用部7の低温側熱交換器9と高温側熱交換器10との間は熱伝導のよい材質で接続する熱伝導部12が配設されている。

【0013】

そして、本実施の形態の冷凍機2では、圧縮部5と、第1の蓄冷器4aと、圧縮膨張兼用部7の膨張器7dとによって1段目の冷凍機が構成され、圧縮膨張兼用部7の圧縮器7cと、第2の蓄冷器4bと、膨張部6とによって2段目の冷凍機が構成される。これにより、2段式の冷凍機が構成されている。

【0014】

(作用)

次に、上記構成の作用について説明する。本実施の形態の冷凍機2の使用時には、圧縮ピストン5b、膨張ピストン6b、圧縮膨張兼用ピストン7bは冷凍サイクルとして適切な位相差を保持した状態で駆動される。このとき、図2中に矢印A1で示すように圧縮ピ

10

20

30

40

50

ストン 5 b の移動により作動媒体を圧縮する際に放熱する。このときの作動媒体の圧縮熱は、図示しない放熱器によって放熱される。続いて、圧縮ピストン 5 b と圧縮膨張兼用ピストン 7 b とが容積を保ったまま図 2 中に矢印 A 1、A 2 で示すように移動する。このとき、圧縮された作動媒体が第 1 の蓄冷器 4 a を通ることで高圧のまま冷却される。その後、圧縮膨張兼用ピストン 7 b の図 2 中に矢印 A 2 で示す移動により圧縮膨張兼用部 7 の膨張器 7 d 内の作動媒体を膨張させる際に作動媒体の温度が下がり、吸熱する。続いて、圧縮ピストン 5 b と圧縮膨張兼用部 7 の圧縮膨張兼用ピストン 7 b とが連動して図 2 中に矢印 B 2、B 1 で示すように軸方向に移動する際に作動媒体が第 1 の蓄冷器 4 a を通ることで第 1 の蓄冷器 4 a を冷却し、作動媒体の温度が上昇し、1 段目の冷凍機の 1 サイクルが終了する。

10

【 0 0 1 5 】

また、圧縮膨張兼用ピストン 7 b が図 2 中に矢印 A 2 で示す方向に移動する動作により圧縮膨張兼用部 7 の圧縮器 7 c 内の作動媒体を圧縮する。続いて、圧縮膨張兼用ピストン 7 b と膨張ピストン 6 b とが容積を保ったまま図 2 中に矢印 A 2、A 3 で示すように移動する。このとき、圧縮された作動媒体が第 2 の蓄冷器 4 b を通ることで高圧のまま冷却される。その後、膨張ピストン 6 b の図 2 中に矢印 A 3 で示す移動により膨張部 6 内の作動媒体を膨張させる際に作動媒体の温度が下がり、吸熱する。続いて、膨張ピストン 6 b と圧縮膨張兼用部 7 の圧縮膨張兼用ピストン 7 b とが連動して図 2 中に矢印 B 3、B 2 で示すように軸方向に移動する際に作動媒体が第 2 の蓄冷器 4 b を通ることで第 2 の蓄冷器 4 b を冷却し、作動媒体の温度が上昇し、2 段目の冷凍機の 1 サイクルが終了する。

20

【 0 0 1 6 】

また、圧縮膨張兼用部 7 の低温側熱交換器 9 と高温側熱交換器 10 との間は熱伝導部 12 によって熱輸送させている。これにより、1 段目の冷凍機のサイクルによって冷却された第 1 の低温側熱交換器 9 が熱伝導部 12 を介して熱伝導によって第 2 の高温側熱交換器 10 を吸熱して、圧縮膨張兼用ピストン 7 b を挟んで熱輸送をさせている。なお、圧縮膨張兼用ピストン 7 b の表裏に熱伝達率を高めるヒートシンクや、フィン状の微細な突起を設けて、圧縮膨張兼用ピストン 7 b の表裏での熱伝導による熱伝導ピストンを持ってもよい。この場合は、低温側熱交換器 9 および高温側熱交換器 10 は省略することができる。

【 0 0 1 7 】

(効果)

上記構成の本実施の形態の冷凍機 2 では次の効果を奏する。すなわち、本実施の形態の冷凍機 2 の圧縮膨張兼用部 7 では、圧縮膨張兼用ピストン 7 b は、シリンダ 7 a 内の圧縮器 7 c 側では仕事をして、膨張器 7 d 側では仕事を受ける。このとき、シリンダ 7 a 内の膨張器 7 d 側で受けた仕事は力のつり合いにより、そのまま圧縮膨張兼用ピストン 7 b の反対面の圧縮器 7 c 側の仕事に使用できるので、通常は困難である膨張器 7 d 側のピストンの仕事のエネルギー回収ができる。そのため、膨張器 7 d 側の圧縮膨張兼用ピストン 7 b の損失がなく、効率が高い。これにより、冷凍機 2 の全体のエネルギー損失を小さくすることができ、運転効率の向上が図れる冷凍機 2 を提供することができる。

30

【 0 0 1 8 】

[第 2 の実施の形態]

(構成)

図 3 は、第 2 の実施の形態を示す。本実施の形態は、第 1 の実施の形態 (図 1 および図 2 参照) の 2 段式の冷凍機の構成を多段、本実施の形態では、4 段式の冷凍機 21 に適用した場合を示す。なお、図 3 中で、図 1 および図 2 と同一部分には同一の符号を付してその説明を省略する。

40

【 0 0 1 9 】

本実施の形態の冷凍機 21 では、高温側の圧縮部 5 と低温側の膨張部 6 との間に圧縮膨張兼用部 7 が複数段、本実施の形態では 3 段に積層されている。また、圧縮部 5 と 1 段目の圧縮膨張兼用部 7 との間には第 1 の蓄冷器 22 a が配設されている。1 段目の圧縮膨張兼用部 7 と 2 段目の圧縮膨張兼用部 7 との間には第 2 の蓄冷器 22 b が配設されている。

50

2 段目の圧縮膨張兼用部 7 と 3 段目の圧縮膨張兼用部 7 との間には第 3 の蓄冷器 2 2 c が配設されている。3 段目の圧縮膨張兼用部 7 と膨張部 6 との間には第 4 の蓄冷器 2 2 d が配設されている。なお、第 1 の蓄冷器 2 2 a ~ 第 4 の蓄冷器 2 2 d は、第 1 の実施の形態の 2 つの蓄冷器 (第 1 の蓄冷器 4 a と第 2 の蓄冷器 4 b) と同一構成になっている。

【 0 0 2 0 】

(作用・効果)

本実施の形態では、高温側の圧縮部 5 と低温側の膨張部 6 との間に 3 段の圧縮膨張兼用部 7 を積層させている。これにより、高温側の圧縮部 5 から低温側の膨張部 6 まで 4 段階で冷却することができる。そのため、各段の圧縮膨張兼用部 7 で受け持つ冷凍温度範囲を小さくすることができるので、第 1 実施形態と同様の効果に加え、冷凍機 2 1 の運転時に冷却対象物 3 を冷却する最終的な設定温度まで達する時間を短縮することができる効果がある。

10

【 0 0 2 1 】

[第 3 の実施の形態]

(構成)

図 4 は、第 3 の実施の形態を示す。本実施の形態は第 1 の実施の形態 (図 1 および図 2 参照) の冷凍機の変形例である。なお、図 4 中で、図 1 および図 2 と同一部分には同一の符号を付してその説明を省略する。

【 0 0 2 2 】

本実施の形態では、高温側の圧縮部 5 と低温側の膨張部 6 との間に第 2 の実施の形態 (図 3 参照) よりもさらに多段の 8 段の圧縮膨張兼用部 7 を積層させたものである。これにより、本実施の形態では 9 段式の冷凍機が構成されている。なお、図 4 中の (1) ~ (4) は、冷凍サイクルにおけるピストンの位相の変化状態を示す。

20

【 0 0 2 3 】

(作用・効果)

本実施の形態では冷凍機の駆動時には、冷凍機の 1 サイクル内で高温側の圧縮部 5 と、低温側の膨張部 6 と、8 段の圧縮膨張兼用部 7 とが順次駆動され、図 4 中の (1) ~ (4) の位相の変化が行なわれる。これにより、第 1 実施形態と同様の効果が得られるとともに、これに加えて第 2 の実施の形態と同様の効果がある。

【 0 0 2 4 】

[第 4 の実施の形態]

(構成)

図 5 乃至図 7 は、第 4 の実施の形態を示す。本実施の形態は、図 1 の装置の具体的な一例を示す。図 5 は、第 4 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機を使用した装置全体の概略構成図である。図 5 中で、参照符号 3 1 は、真空断熱容器 (冷凍槽) である。この真空断熱容器 3 1 の一端側に放熱器 3 2 が配設されている。真空断熱容器 3 1 の内部には、4 段式のスターリングサイクルの冷凍機 3 3 が配設されている。このスターリングサイクルの冷凍機 3 3 は、基端側に高温側の圧縮部 3 4、先端側に低温側の膨張部 3 5 が配設されている。

30

【 0 0 2 5 】

さらに、高温側の圧縮部 3 4 と低温側の膨張部 3 5 との間には、3 段の圧縮膨張兼用部 3 6 が積層された状態で配設されている。また、圧縮部 3 4 と 1 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 との間には第 1 の蓄冷器 3 7 a が配設されている。1 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 と 2 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 との間には第 2 の蓄冷器 3 7 b が配設されている。2 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 と 3 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 との間には第 3 の蓄冷器 3 7 c が配設されている。3 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 と膨張部 3 5 との間には第 4 の蓄冷器 3 7 d が配設されている。なお、第 1 の蓄冷器 2 2 a ~ 第 4 の蓄冷器 2 2 d は、第 1 の実施の形態の 2 つの蓄冷器 (第 1 の蓄冷器 4 a と第 2 の蓄冷器 4 b) と同一構成になっている。

40

【 0 0 2 6 】

圧縮部 3 4 は、圧縮部シリンダ 3 4 a と、この圧縮部シリンダ 3 4 a 内で往復移動する

50

圧縮ピストン 3 4 b とがそれぞれ設けられている。また、圧縮部シリンダ 3 4 a 内には、この圧縮部シリンダ 3 4 a の基端部と、圧縮ピストン 3 4 b との間に第 1 の予圧ばね 3 8 が配設されている。膨張部 3 5 は、膨張部シリンダ 3 5 a と、この膨張部シリンダ 3 5 a 内で往復移動する膨張ピストン 3 5 b とがそれぞれ設けられている。

【 0 0 2 7 】

また、3 段の圧縮膨張兼用部 3 6 は、それぞれ同一構成になっている。すなわち、圧縮膨張兼用部 3 6 は、シリンダ（圧力室） 3 6 a と、このシリンダ 3 6 a 内で往復移動する圧縮膨張兼用ピストン（アクチュエータ） 3 6 b とが設けられている。この圧縮膨張兼用部 3 6 は、シリンダ 3 6 a 内の圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の一面側を圧縮器、その裏面側を膨張器として機能させるものである。本実施の形態では、図 5 中で、シリンダ 3 6 a 内の圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の左側が圧縮器 3 6 c、右側が膨張器 3 6 d としてそれぞれ機能する。

【 0 0 2 8 】

本実施の形態では圧縮部 3 4、膨張部 3 5 および 3 段の圧縮膨張兼用部 3 6 の外周部位には、モータステータ 3 9 が配設されている。また、圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b、圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b は、同一構成になっている。図 6 は、圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の構成を示す。この圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b には、モータマグネット 4 0 と位置検出用のエンコーダ（スケール） 4 1 とが配設されている。圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b も同様である。そして、モータステータ 3 9 とモータマグネット 4 0 とにより、圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b、圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b を駆動するリニアモータ M が構成されている。そして、圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b、圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b は、冷凍サイクルとして適切な位相差を保持した状態で駆動される。

【 0 0 2 9 】

また、圧縮部 3 4 と第 1 の蓄冷器 3 7 a との間には圧縮側熱交換器 4 2、第 1 の蓄冷器 3 7 a と 1 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 との間には膨張側熱交換器 4 3 がそれぞれ配設されている。圧縮側熱交換器 4 2 は、放熱器 3 2 に接続されている。さらに、1 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 と第 2 の蓄冷器 3 7 b との間には圧縮側熱交換器 4 4 が配設されている。圧縮膨張兼用部 3 6 のシリンダ 3 6 a の外側には、膨張側熱交換器 4 3 と圧縮側熱交換器 4 4 との間を接続する伝熱部 4 5 が配設されている。この伝熱部 4 5 は、接熱伝導のよい材質で形成されている。なお、2 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 と 3 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 も 1 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 と同様に構成されている。圧縮膨張兼用部 3 6 のシリンダ 3 6 a には位置検出用のエンコーダ（センサ） 4 6 が、また伝熱部 4 5 には、温度センサ 4 7 がそれぞれ配設されている。

【 0 0 3 0 】

膨張部 3 5 には、膨張部シリンダ 3 5 a と 3 段目の圧縮膨張兼用部 3 6 との間に膨張側熱交換器 4 8 が配設されている。この膨張側熱交換器 4 8 には、膨張部シリンダ 3 5 a の外周に配設された熱伝導部である固定部材 4 9 が接続されている。この固定部材 4 9 の先端部には冷却対象物 5 0 が固定されている。さらに、固定部材 4 9 の基端部および先端部にはそれぞれ温度センサ 4 7 が配設されている。また、膨張部シリンダ 3 5 a 内には膨張ピストン 3 5 b と膨張部シリンダ 3 5 a の先端部との間に第 2 の予圧ばね 5 1 が配設されている。

【 0 0 3 1 】

また、図 7 は、第 4 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機 3 3 の制御系を示すブロック図である。冷凍機 3 3 の本体内に配設されているリニアモータ M と、位置検出用のエンコーダ（センサ） 4 6 と、温度センサ 4 7 とは、CPU とその周辺回路からなるコントローラである制御部 5 2 に接続されている。この制御部 5 2 により、温度センサ 4 7 によって検出される各段の圧縮膨張兼用部 3 6 および膨張部 3 5 の温度に応じて圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b、圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の変位と、位相制御が行なわれる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

(作用・効果)

本実施の形態の冷凍機 3 3 では、第 1 実施形態と同様の効果に加え、制御部 5 2 により、温度センサ 4 7 によって検出される各段の圧縮膨張兼用部 3 6 および膨張部 3 5 の温度に応じて圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b、圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の変位と、位相制御が行なわれる。そのため、スターリングサイクルの冷凍機 3 3 における冷凍温度の変更や、冷凍の過程での冷凍速度を上げるための圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b、圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の運転位相を適切に変更することもできる。

【 0 0 3 3 】

[第 5 の実施の形態]

(構成)

図 8 乃至図 1 0 は、第 5 の実施の形態を示す。本実施の形態は、第 4 の実施の形態 (図 5 乃至図 7 参照) のスターリングサイクルの冷凍機 3 3 の変形例である。なお、図 8 乃至図 1 0 中で、図 5 乃至図 7 と同一部分には同一の符号を付してその説明を省略する。

【 0 0 3 4 】

本実施の形態では、圧縮部 3 4、膨張部 3 5 および 3 段の圧縮膨張兼用部 3 6 の構成が次の通り変更されている。すなわち、本実施の形態では、第 4 の実施の形態の冷凍機 3 3 のアクチュエータである圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b および圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の代わりに、圧電素子付きダイアフラム (以下、圧電ダイアフラムと称する) 6 1 を用いる。

【 0 0 3 5 】

本実施の形態の圧電ダイアフラム 6 1 は、図 9 に示すように例えば金属膜状のダイアフラム 6 2 の両面に圧電素子 6 3 a、6 3 b を貼り付けたものである。圧電ダイアフラム 6 1 の圧電素子 6 3 a、6 3 b に、電圧をかけると、ダイアフラム 6 2 が凹型凸型に変形する事が知られている。

【 0 0 3 6 】

図 9 の (B) は、ダイアフラム 6 2 の上下の圧電素子 6 3 a、6 3 b が両方とも非変形状態で保持され、ダイアフラム 6 2 が直線状に保持された中立状態である。図 9 の (A) は、ダイアフラム 6 2 の上側の圧電素子 6 3 a が伸長する方向に変形し、ダイアフラム 6 2 の下側の圧電素子 6 3 b が圧縮する方向に変形することにより、ダイアフラム 6 2 の中央部分が上向きに突出する凸曲面形状に変形された第 1 の変形状態である。図 9 の (C) は、ダイアフラム 6 2 の上側の圧電素子 6 3 a が圧縮する方向に変形し、ダイアフラム 6 2 の下側の圧電素子 6 3 b が伸長する方向に変形することにより、ダイアフラム 6 2 の中央部分が下向きに突出する凹曲面形状に変形された第 2 の変形状態である。

【 0 0 3 7 】

そして、上記図 9 の (B) - (A) - (B) - (C) - (B) - (A) の一連の変形動作の繰り返しにより、ピストンと同様の動作を行なうことができる。これにより、圧縮部 3 4、膨張部 3 5 および 3 段の圧縮膨張兼用部 3 6 の動作ガスである高圧のヘリウムガスの気密を保持しながらポンプのように動作させることができる。

【 0 0 3 8 】

また、図 1 0 は、第 5 の実施の形態のスターリングサイクルの冷凍機 3 3 の制御系を示すブロック図である。本実施の形態では冷凍機 3 3 の本体内に配設されている圧電ダイアフラム 6 1 の圧電素子 6 3 a、6 3 b と、温度センサ 4 7 とは、CPU とその周辺回路からなるコントローラである制御部 6 4 に接続されている。この制御部 6 4 により、温度センサ 4 7 によって検出される各段の圧縮膨張兼用部 3 6 および膨張部 3 5 の温度に応じてダイアフラム 6 1 の圧電素子 6 3 a、6 3 b の変位と、位相制御が行なわれる。

【 0 0 3 9 】

(作用・効果)

本実施の形態の冷凍機では、第 4 の実施の形態の冷凍機 3 3 のアクチュエータである圧縮ピストン 3 4 b、膨張ピストン 3 5 b および圧縮膨張兼用ピストン 3 6 b の代わりに、

10

20

30

40

50

圧電ダイアフラム 6 1 を用いたアクチュエータを設けた。そして、圧電ダイアフラム 6 1 の圧電素子 6 3 a、6 3 b に、電圧をかけることで、図 9 の (B) - (A) - (B) - (C) - (B) - (A) の一連の変形動作の繰り返しにより、ピストンと同様の動作を行なうことができる。これにより、圧縮部 3 4、膨張部 3 5 および 3 段の圧縮膨張兼用部 3 6 の動作ガスである高圧のヘリウムガスの気密を保持しながらポンプのように動作させることができる。そのため、本実施の形態ではピストンのような摺動部を持たないため高寿命である。また、ピストンの場合、ピストンの外部にアクチュエータとしてのリニアモータの励磁部が必要であり、構造が複雑なるが、圧電ダイアフラム 6 1 の場合には、アクチュエータが一体となっているので、外部の構成部品が不要であり、構造がシンプルである。

【 0 0 4 0 】

さらに、アクチュエータである圧電ダイアフラム 6 1 の圧電素子 6 3 a、6 3 b は、モータなどの巻線機器と比べて、熱の損失が通常極めて少ない。そのため、蓄冷器の中間に圧電ダイアフラム 6 1 を挿入した際に発熱が少ないので、冷凍機 3 3 の冷却効率を高めることができる。

【 0 0 4 1 】

[第 6 の実施の形態]

(構成)

図 1 1 乃至図 1 3 は、第 6 の実施の形態を示す。本実施の形態は第 5 の実施の形態 (図 8 乃至図 1 0 参照) の圧電ダイアフラム 6 1 を用いる冷凍機の変形例である。本実施の形態では、圧縮膨張兼用部は、第 1 のシート 7 1 上に第 5 の実施の形態の圧電ダイアフラム 6 1 を縦方向および横方向にそれぞれ複数並設させてアレイ状に配列させたアクチュエータシート 7 2 によって形成されている。さらに、蓄冷器は、第 1 のシート 7 1 と対向配置される第 2 のシート 7 3 上に第 5 の実施の形態の圧電ダイアフラム 6 1 と対応する位置に複数の蓄冷器 3 7 をアレイ状に配列させた蓄冷器シート 7 4 によって形成されている。そして、これらの複数のアクチュエータシート 7 2 と複数の蓄冷器シート 7 4 とを交互に積層させた積層体 7 5 を設けて多段冷凍機を構成したものである。

【 0 0 4 2 】

図 1 2 に示すように各シート 7 2、7 4 間には、アレイ状に配列させた第 5 の実施の形態の圧電ダイアフラム 6 1 と対応する位置に熱伝導率の低い材料、例えばステンレスや、マコール (登録商標) で、円筒状に形成された断熱スリーブ 7 6 が設けられている。これにより、シート 7 2、7 4 間の接合部は、断熱スリーブ 7 6 によって接合表面積が小さくなるように接合されている。

【 0 0 4 3 】

(作用・効果)

本実施の形態の冷凍機では、複数のアクチュエータシート 7 2 と複数の蓄冷器シート 7 4 とを交互に積層させた積層体 7 5 を設けて多段冷凍機を構成したので、多段冷凍機を薄型に製作することができる。本実施の形態の冷凍機では、アクチュエータシート 7 2 の圧電ダイアフラム 6 1 が薄く、軽量なので、通常のスターリング冷凍機では駆動できなかった高周波 (k H z オーダー) で動作可能となる。あわせて蓄冷器シート 7 4 も薄型にすることにより、高周波運転が可能となり、体積比出力 (サイズを一定にした時の) を大きくとれる。さらに、多段冷凍機を薄型に製作し、サイズが小さくなると、動作ヘリウムの耐圧 (強度的) が高くできる。そのため、動作ヘリウムを高圧化できて、サイズを一定にした時の体積比出力を大きくとれる。

【 0 0 4 4 】

本実施の形態の薄型冷凍機は、寸法関係を極めて微細に設定すると、半導体製造プロセスや、MEMS 製造プロセスを用いることにより、蓄冷器や熱交換器を含む冷凍機構成品の形成と冷凍機用の動作ヘリウムの封止や、真空封止が安価に大量に製造可能となる。

【 0 0 4 5 】

例えば、蓄冷器サイズは、直径 2 0 m m × 厚さ 1 . 5 m m ~ 直径 1 0 0 0 μ m × 厚さ 7 5 μ m である。圧電ダイアフラムサイズは、直径 2 0 m m × 厚さ 1 m m ~ 直径 1 0 0 0 μ

10

20

30

40

50

m × 厚さ 75 μm である。熱交換器、スリーブ厚さは、厚さ 0.2 mm ~ 厚さ 10 μm である。アレイ数、積層段数は、4 × 4 アレイ、20 段である。外形は、100 mm × 厚さ 70 mm ~ 5 mm × 3.5 mm である。特に、冷凍対象を LNA (ローノイズアンプ) や、超伝導回路を含む電子回路とすると、回路の形成も一連の工程の中で製造可能となり、特に大きな利益がある。この場合、例えば図 13 に示すようにチップ状の超小型の冷凍機 77 を構成することができ、この冷凍機 77 の冷凍対象 78 として例えば携帯電話などに内蔵される LNA (ローノイズアンプ) などの回路を用いることができる。これにより、例えば携帯電話などに冷凍機 77 を内蔵した素子を組み込むことができ、高感度の受信機を製造することができる。

【0046】

[第 7 の実施の形態]

(構成)

図 14 は、第 7 の実施の形態を示す。本実施の形態は第 6 の実施の形態 (図 11 乃至図 13 参照) の冷凍機の変形例である。なお、図 14 中で、図 11 乃至図 13 と同一部分には同一の符号を付してその説明を省略する。本実施の形態は、第 6 の実施の形態のアクチュエータシート 72 および蓄冷器シート 74 の外周部位をそれぞれ個別にシールドするシールド部材 81 を積層させた多層シールド 82 を設けたものである。各シールド部材 81 の内部は真空状態に保持されている。また、各シート 72、74 は、熱の輻射による熱侵入を抑圧するため、金メッキ等を施すことが好ましい。多層シールド 82 では、多段の輻射シートを冷凍機内部に構成することとなるので、冷凍機の高温側から低温側への熱の移動が抑圧される構造となる。

【0047】

そして、図 14 に示すように冷凍対象 83 を多層シールド 82 で覆ってしまえば、真空断熱容器は不要となる。なお、最も外側の蓄冷器シート 74 はヒートシンク 84 に接続されている。

【0048】

(作用・効果)

本実施の形態の冷凍機では、冷凍対象 83 をシールド部材 81 を積層させた多層シールド 82 で覆うことにより、一層、効率的な断熱効果を得ることができる。

【0049】

なお、アクチュエータシート 72 の圧電ダイアフラム 61 の表面は、動作ガスとの熱交換が容易であるように、表面性状を荒らし熱伝達率を上げることが好ましい。また、圧電ダイアフラム 61 は、熱伝導の良い部品、例えば銅合金を選定することが好ましい。

【0050】

これらの実施形態によれば、冷凍機全体のエネルギー損失を小さくすることができ、運転効率の向上が図れる冷凍機を提供することができる。

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【0051】

a ... 蓄冷器、b ... 圧縮部、c ... 膨張部、d ... 圧縮ピストン、e ... 膨張ピストン、M ... リニアモータ、1 ... 真空断熱容器、2 ... スターリングサイクル冷凍機、3 ... 冷却対象物、4 a ... 第 1 の蓄冷器、4 b ... 第 2 の蓄冷器、5 ... 圧縮部、5 a ... 圧縮部シリンダ、5 b ... 圧縮ピストン、6 ... 膨張部、6 a ... 膨張部シリンダ、6 b ... 膨張ピストン、7 ... 圧縮膨張兼用部、7 a ... シリンダ、7 b ... 圧縮膨張兼用ピストン、7 c ... 圧縮器、7 d ... 膨張器、8 ... 高温側熱交換器、9 ... 低温側熱交換器、10 ... 高温側熱交換器、11 ... 低温側熱交換

10

20

30

40

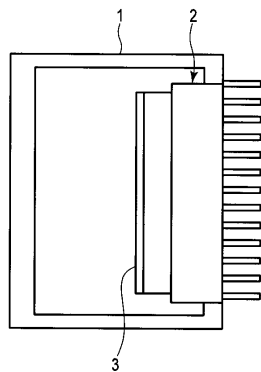
50

器、12...熱伝導部、21...冷凍機、22a...第1の蓄冷器、22b...第2の蓄冷器、22c...第3の蓄冷器、22d...第4の蓄冷器、31...真空断熱容器、32...放熱器、33...冷凍機、34...圧縮部、34a...圧縮部シリンダ、34b...圧縮ピストン、35...膨張部、35a...膨張部シリンダ、35b...膨張ピストン、36...圧縮膨張兼用部、36a...シリンダ、36b...圧縮膨張兼用ピストン、36c...圧縮器、36d...膨張器、37a...第1の蓄冷器、37b...第2の蓄冷器、37c...第3の蓄冷器、37d...第4の蓄冷器、37...蓄冷器、39...モータステータ、40...モータマグネット、41...エンコーダ、42...圧縮側熱交換器、43...膨張側熱交換器、44...圧縮側熱交換器、45...伝熱部、46...エンコーダ、47...温度センサ、48...膨張側熱交換器、49...固定部材、50...冷却対象物、52...制御部、61...圧電ダイアフラム、62...ダイアフラム、63a, 63b...圧電素子、64...制御部、71...第1のシート、72...アクチュエータシート、73...第2のシート、74...蓄冷器シート、75...積層体、76...断熱スリーブ、77...冷凍機、78...冷凍対象、81...シールド部材、82...多層シールド、83...冷凍対象、84...ヒートシンク。

10

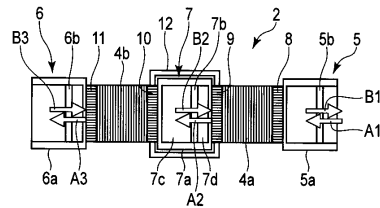
【図1】

図1



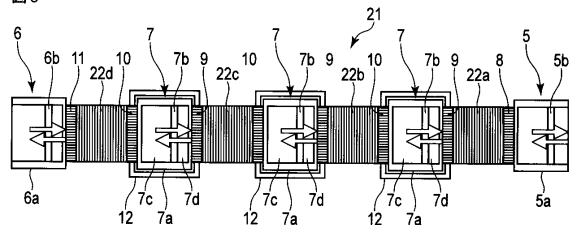
【図2】

図2

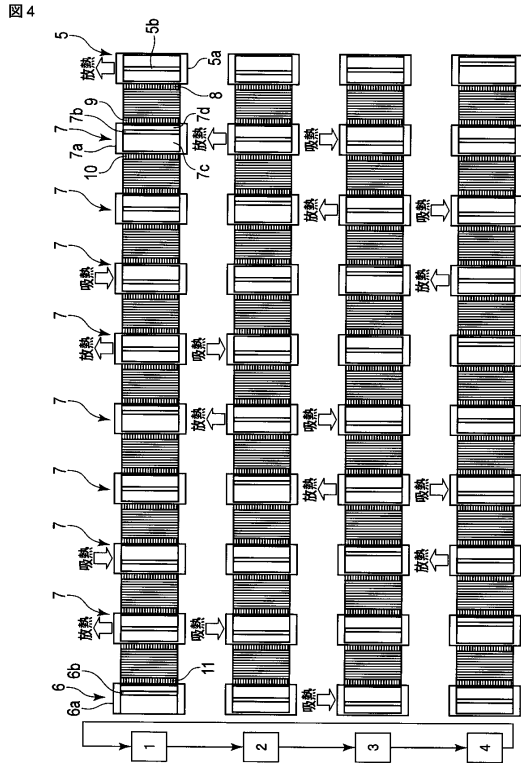


【図3】

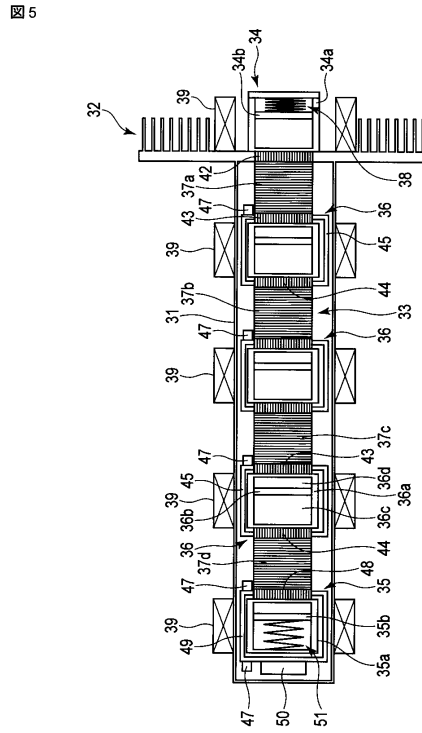
図3



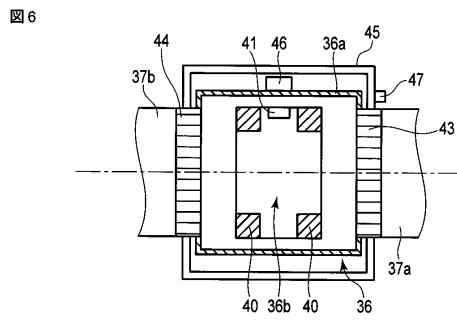
【図4】



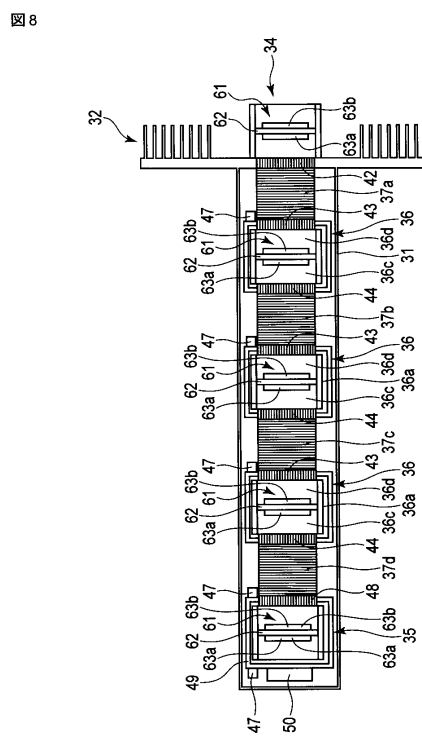
【図5】



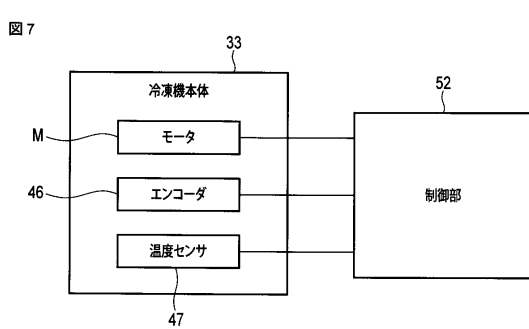
【図6】



【図8】

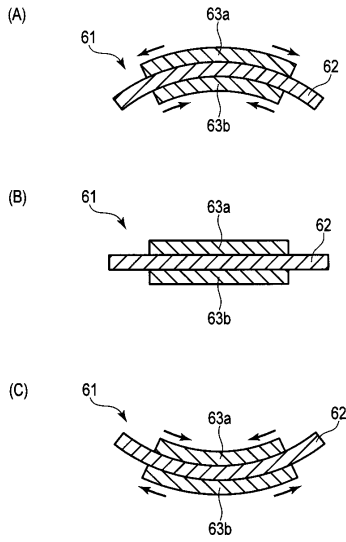


【図7】



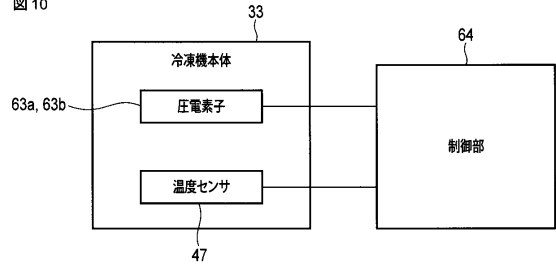
【図9】

図9



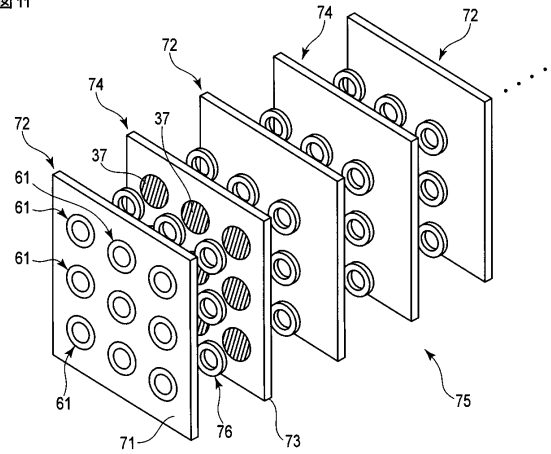
【図10】

図10



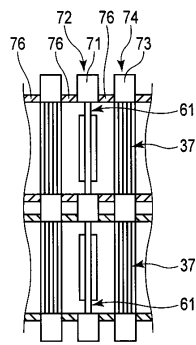
【図11】

図11



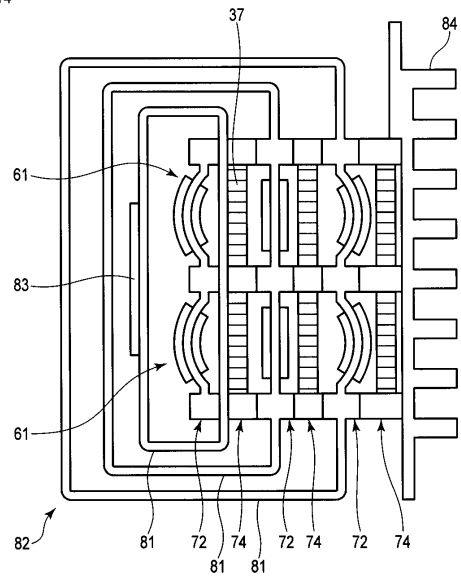
【図12】

図12



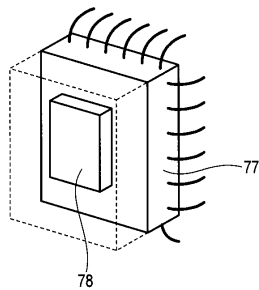
【図14】

図14



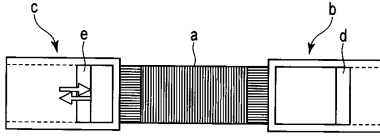
【図13】

図13



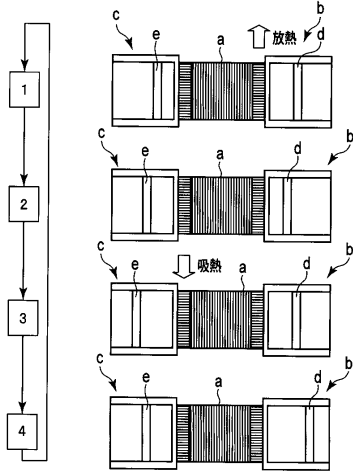
【 15 】

15



【 16 】

16



フロントページの続き

- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100158805
弁理士 井関 守三
- (74)代理人 100172580
弁理士 赤穂 隆雄
- (74)代理人 100179062
弁理士 井上 正
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (72)発明者 小川 隆也
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 大谷 安見
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 藤井 秀紀
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 小原 一郎

- (56)参考文献 特開2007-155237(JP,A)
特開平05-157388(JP,A)
特開昭55-116064(JP,A)
特開昭62-272064(JP,A)
特開2001-091076(JP,A)
特開2000-213419(JP,A)
特開2000-257973(JP,A)
特開2004-340506(JP,A)
特開2007-292326(JP,A)
特開2003-185284(JP,A)
特開平07-324830(JP,A)
特開2004-028389(JP,A)
米国特許第04209061(US,A)
特開昭58-96147(JP,A)
特開昭55-43256(JP,A)
特開2012-193739(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F25B 9/14
F25B 9/00
F01G 1/00 - 1/06
DWPI(Thomson Innovation)
Japio-GPG/FX