

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

F02G 1/053 (2006.01)

F02G 1/055 (2006.01)

F02G 1/057 (2006.01)

专利号 ZL 200480030898.1

[45] 授权公告日 2008年11月19日

[11] 授权公告号 CN 100434685C

[22] 申请日 2004.10.29

[21] 申请号 200480030898.1

[30] 优先权

[32] 2003.10.30 [33] JP [31] 371147/2003

[86] 国际申请 PCT/JP2004/016135 2004.10.29

[87] 国际公布 WO2005/042958 日 2005.5.12

[85] 进入国家阶段日期 2006.4.20

[73] 专利权人 独立行政法人 宇宙航空研究开发机构

地址 日本东京都

共同专利权人 松下电器产业株式会社

独立行政法人 海上技术安全研究所

[72] 发明人 星野健 赤泽辉行 平田宏一

川田正国

[56] 参考文献

US3854290A 1974.12.17

CN1051241A 1991.5.8

US6263671B1 2001.7.24

JP59203854A 1984.11.19

US3851471A 1974.12.3

审查员 刘畅

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 苗堃 徐谦

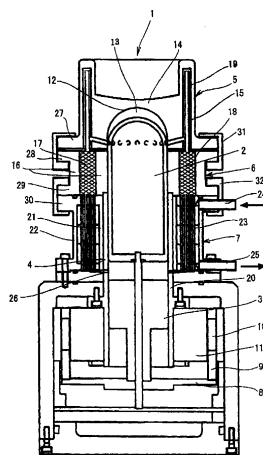
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 3 页

[54] 发明名称

斯特林发动机

[57] 摘要

由于可以提高高温部的加热温度，并且可以抑制连结高温部和低温部的构件中的热损失，因而可以获得热效率优良的斯特林发动机。将高温部(5)和连结该高温部和所述低温部的构件(再生器外罩16)分别用不同材质设为分割构成，将高温部(5)用耐热性高并且导热率高的耐热、高导热性材料制成，并且将连结高温部(5)和低温部(7)的再生器外罩(16)用导热率低的耐热、低导热性材料制成，将两者一体化接合而形成一体化的密封构造。



1. 一种斯特林发动机，其特征是，将高温部、连结该高温部和低温部的部分用不同材质形成并一体化地接合，将所述高温部用耐热性高并且导热率高的耐热、高导热性材料以一体化构造形成，并且所述连结高温部和低温部的部分由与工作气流接触的构件构成，并用导热率低的耐热、低导热性材料形成。

2. 根据权利要求 1 所述的斯特林发动机，其特征是，所述形成高温部的耐热、高导热性材料为从碳化硅类陶瓷、氮化硅类陶瓷、氮化铝类陶瓷或氧化铝类中选择的陶瓷或这些陶瓷与金属的梯度功能材料。

3. 根据权利要求 1 所述的斯特林发动机，其特征是，形成所述连结高温部和低温部的部分的所述耐热、低导热性材料是从氧化硅类、堇青石类、云母类、钛酸铝类或石英类中选择的陶瓷或这些陶瓷与金属的梯度功能材料。

4. 根据权利要求 1 所述的斯特林发动机，其特征是，所述斯特林发动机是排气活塞和动力活塞被配置于相同的气缸中的 β 型斯特林发动机。

5. 根据权利要求 1 所述的斯特林发动机，其特征是，所述斯特林发动机是排气活塞和动力活塞被配置于独立的不同气缸中的 γ 型斯特林发动机。

6. 根据权利要求 1 所述的斯特林发动机，其特征是，所述斯特林发动机是具有配置于膨胀气缸中的膨胀活塞、配置于压缩气缸中的压缩活塞这两个独立的活塞的 α 型斯特林发动机。

7. 一种斯特林发动机，其特征是，将高温部、连结该高温部和低温部的部分用不同材质形成并一体化地接合，所述高温部是将膨胀空间头部和高温侧热交换器主体用耐热性高并且导热率高的相同的耐热、高导热性材料一体化成形而制成的。

8. 根据权利要求 7 所述的斯特林发动机，其特征是，所述形成高温

部的耐热、高导热性材料为从碳化硅类陶瓷、氮化硅类陶瓷、氮化铝类陶瓷或氧化铝类中选择的陶瓷或这些陶瓷与金属的梯度功能材料。

9. 根据权利要求 7 所述的斯特林发动机，其特征是，所述连结高温部和低温部的部分被用导热率低的耐热、低导热性材料形成。

10. 根据权利要求 9 所述的斯特林发动机，其特征是，形成所述连结高温部和低温部的部分的所述耐热、低导热性材料是从氧化硅类、堇青石类、云母类、钛酸铝类或石英类中选择的陶瓷或这些陶瓷与金属的梯度功能材料。

11. 根据权利要求 7 所述的斯特林发动机，其特征是，所述斯特林发动机是排气活塞和动力活塞被配置于相同的气缸中的 β 型斯特林发动机。

12. 根据权利要求 7 所述的斯特林发动机，其特征是，所述斯特林发动机是排气活塞和动力活塞被配置于独立的不同气缸中的 γ 型斯特林发动机。

13. 根据权利要求 7 所述的斯特林发动机，其特征是，所述斯特林发动机是具有配置于膨胀气缸中的膨胀活塞、配置于压缩气缸中的压缩活塞这两个独立的活塞的 α 型斯特林发动机。

斯特林发动机

技术领域

本发明涉及一种斯特林发动机，特别涉及实现高效率化的斯特林发动机。

背景技术

斯特林发动机的理论热效率仅由高温部和低温部的温度决定，如果越是提高高温部的温度，降低低温部的温度，则热效率就越高。此外，由于斯特林发动机为封闭循环，从外部对工作气体进行加热、冷却，因此工作气体的加热及冷却需要穿过高温部及低温部的壁面而进行，为了提高高温部及低温部的热交换率，需要导热率高的材料。作为工作气体，通常使用氦气或氢气，由于在高压下循环，因此工作气体的流路被要求具有耐热性，并且具有耐压性、抗氧化、耐腐蚀性、高蠕变强度、高热疲劳强度。由此，以往作为气缸及构成高温侧热交换器的加热器管，使用耐腐蚀性、耐热性优良的 HR30（日本工业规格）、SUS310S（日本工业规格）、Inconel（注册商标）、Hastelloy（注册商标）等耐热合金钢，有价格非常高的问题。而且，即使在该情况下，构成高温部的构件及因受到来自高温部的热量而变为高温的构件会因金属材料不同而在加热温度方面受到限制。例如，在工作气体的压力达到 3MPa 的高压条件下，由于如前所述的金属材料的蠕变的发生，从耐久性的观点考虑，加热温度的高限为 700℃左右的温度，将难以利用在此程度以上的加热温度的高温化实现高效率化。

另外，以往的斯特林发动机中，为了增大高温部的传热面积，需要将工作气体所穿过的多根耐热合金管利用钎焊或焊接接合在膨胀空间头部，以使之突出地形成，由于容易产生由密封不良造成的泄漏，并需要

多根耐热合金管，因此作为构造体变得十分复杂，成本升高。

另一方面，在斯特林发动机中连结高温部和低温部的构件被要求高温部端维持高温，低温部端维持低温，以维持温差大的状态，由于高温部的高温 and 低温部的低温相邻，因此最好用隔热性高、导热率低的构件来构成。但是，以往的斯特林发动机中，由于连结高温部和低温部的构件由与耐热性、导热性优良的高镍钢或不锈钢材料所制成的高温部一体化的构件构成，因此就会有由于穿过连结高温部和低温部的构件壁的导热，而产生很大的热损失的问题。

像这样，构成高温部的材质被要求在耐热性方面优良，而且还具有如下的相反的特性，即，一方面要具有高的导热性，另一方面，从高效率的观点考虑，连结高温部和低温部的构件要具有低的导热性，而在以往的斯特林发机构造中，由于同时满足该相反的要求是不可能的，因此就必须有所牺牲。

鉴于此种技术背景，作为进一步提高斯特林发动机的热效率的手段，例如提出过如下的方案，即，通过在进行燃烧器的燃烧气体与工作气体的热交换的多根 U 字形的加热器管当中的相互邻接的管的 U 字形弯曲部的中心位置上设置阶梯，即使受到热应力或外力也不会相互干扰，一直确保各 U 字形管相互的均匀宽度的间隙，从而能够均匀地进行与高温的燃烧气体的接触，以提高高温部的热交换效率（参照专利文献 1），或者将压缩空间与膨胀空间用多根连结管连结，在各连结管内依次配置低温部、再生部、高温部，通过与高温部的温度分布匹配地自由地改变再生部及低温部的各部分，而实现发动机输出的提高（参照专利文献 2）等。另外，作为其他的方法，提出过如下的方案，即，通过将高温部、再生器、低温部用双层外壳包围，在双层外壳内填充液体盐之类的非压缩性的隔热材料，而提高动作温度和压力，提高再生器的效率，并且在与工作流体的流动垂直的方向增加热传递（参照专利文献 3）。

专利文献 1：JP 特开平 5-172003 号公报

专利文献 2: JP 特开平 6-280678 号公报

专利文献 3: JP 特表 2001-505638 号公报

以往为了提高斯特林发动机的热效率而提出的所述方法虽然均对热效率的提高有所帮助,然而仍然不能令人满意。

发明内容

所以,本发明的目的在于,利用与以往相比大幅度的热效率的提高和导热损失的降低,来获得高效率斯特林发动机,更具体来说,其提供如下的斯特林发动机,即,通过与以往相比能够提高高温部的加热温度,并且抑制连结高温部和低温部的构件中的较大的热损失,而可以实现高效率化。

解决所述问题的本发明的斯特林发动机的特征是,将高温部、连结该高温部和低温部的部分用不同材质形成并一体化地接合,将所述高温部用耐热性高并且导热率高的耐热、高导热性材料以一体化构造形成,并且所述连结高温部和低温部的部分由与工作气流接触的构件构成,并用导热率低的耐热、低导热性材料形成。另外,本发明的其他的斯特林发动机的特征是,将高温部、连结该高温部和低温部的部分用不同材质形成并一体化地接合,所述高温部是将膨胀空间头部和高温侧热交换器主体用耐热性高并且导热率高的相同的耐热、高导热性材料一体化成形而制成的。

作为所述耐热、高导热性材料,可以优选采用从碳化硅类陶瓷、氮化硅类陶瓷、氮化铝类陶瓷或氧化铝类中选择的陶瓷或这些陶瓷与金属的梯度功能材料。并且,作为形成所述连结高温部和低温部的部分的耐热、低导热性材料,优选采用从氧化硅类、堇青石类、云母类、钛酸铝类或石英类中选择的陶瓷或这些陶瓷与金属的梯度功能材料。

所述斯特林发动机的形式不受限定,无论是对于在相同的气缸中配置有排气活塞和动力活塞的 β 型斯特林发动机、排气活塞和动力活塞被配置于独立的两个不同气缸中的 γ 型斯特林发动机或具有配置于膨胀气缸中的膨胀活塞、配置于压缩气缸中的压缩活塞这两个独立的活塞的 α 型斯特林发动机都可以适用。

根据技术方案 1 的发明,由于将连结高温部和低温部的构件设为分

割构成，将高温部用耐热性高并且导热率高的耐热、高导热性材料制成，因此就可以将高温部的温度设定为比以往更高，并且由于连结高温部和低温部的部分由与工作气流接触的构件构成，该构件被用导热率低的耐热、低导热性材料制成，因此与以往相比可以大幅度地降低由连结部分处的导热造成的热损失，其结果是，可以获得高效率的斯特林发动机。此外，根据技术方案 2 的发明，由于将高温部和连结该高温部与低温部的构件用不同材质形成并一体化地接合，膨胀空间头部和高温侧热交换器主体被作为相同材质的耐热、高导热性材料一体化成形而制成所述高温部，因此可以将高温侧热交换器主体较厚地一体化制成，与以往的仅将传热管突出形成的高温侧热交换器相比具有耐压构造，能够实现高温部的加热温度的进一步的高温化，并且可以提高耐久性。另外，根据技术方案 4 的发明，由于在技术方案 2 的构成的基础上，将所述连结部分用导热率低的耐热、低导热性材料制成，因此与以往相比可以大幅度地降低由连结部分处的导热造成的热损失，其结果是，可以获得高效率斯特林发动机。此外，通过将高温部用耐热、高导热性的陶瓷材料制成，以及将连结部用耐热、低导热性的陶瓷材料制成，就可以提高对工作气体的耐热性，并且提高耐压性、抗氧化、耐腐蚀性，获得高蠕变强度、高热疲劳强度，能够实现高温部的加热温度的进一步的高温化，并且可以提高耐久性。

附图说明

图 1 是本发明的实施方式的斯特林发动机的前视剖面图。

图 2 是本发明的其他的实施方式的斯特林发动机的示意图，(a) 表示 α 型斯特林发动机，(b) 表示 γ 型斯特林发动机。

图 3 是表示斯特林发动机的膨胀空间温度与理论热效率的关系的线图。

图中：1、35、50—斯特林发动机，2、51—排气活塞，3、52—动力活塞，4、53、58—气缸，5、40、55—高温部，7、43、57—低温部，6—再生器，10—永久磁铁，11—内部轭铁，12—膨胀空间头部，13—膨胀空间，14—高温侧热交换器主体，15、44、60—工作气体流路，16、41、56—再生器外罩，20—气缸主体，21—内筒，22—外筒，27、28、

29、30—安装凸缘，31、32—夹子，36—膨胀活塞，38—压缩活塞，59—压缩空间。

具体实施方式

下面，基于附图对本发明进行详细说明。图1表示了将本发明应用于 β 型的自由活塞型斯特林发动机中的本发明的实施方式。

图中，2为排气活塞，3为动力活塞，4为气缸，5为作为高温部的高温侧热交换器，6为再生器，7为低温部。此外，本实施方式中，表示利用动力活塞3的输出来发电的情况，在固定于动力活塞3的下端的端板8的端部，竖立有在顶端部固定了永久磁铁10的环状圈9，在永久磁铁10和插入固定于设在气缸4的外周部的内部轭铁11内的线圈（未图示）之间构成发电机，通过动力活塞3往复运动，永久磁铁10即上下振动而进行发电。但是，动力活塞3的输出形式并不限于于此，可以适用于将动力活塞3的上下运动作为旋转运动或直动往复运动而输出等各种用途，没有特别限定。

本实施方式中，在所述构成的 β 型的斯特林发动机1中，将排气活塞2所滑动的气缸4从上部开始，依次分割为与高温部5、再生器6、低温部7对应的部分而用不同的材质构成。高温部5构成气缸4的膨胀空间头部12和高温侧热交换器主体14，被用导热率高并且耐热性优良的陶瓷材料一体化成形而制成。在高温侧热交换器主体14的内部，为了将在再生器6和膨胀空间13中移动的工作气体加热，形成工作气体流路15，通过从外部将高温侧热交换器主体14加热，就能将穿过工作气体流路的工作气体加热。本实施方式中，如图1所示，在工作气体流路15上，嵌合后述的连结再生器6和膨胀空间13的加热管道19，构成高温侧热交换器，然而也可以直接使工作气体在由耐热、高导热性陶瓷一体化成形的高温侧热交换器主体内所形成的工作气体流路15内移动。

本实施方式中，由于将高温侧热交换器主体14用导热率高并且耐热

性优良的材料形成，因此就能够将穿过高温侧热交换器主体 14 内的工作气体流路 15 的工作气体加热到 1000℃以上。此外，根据本实施方式，由于如后述所示，将高温侧热交换器主体用导热率高并且耐热性优良的陶瓷或梯度功能材料制成，在其内部设置多条工作气体流路而成为一体化成形的一体化构造，因此就不需要像以往那样，使在燃烧室内工作气体所流通的多条加热管成 U 字形地向外部突出，从而可以将高温侧热交换器（加热器）的构成简单化，并且即使将高温侧热交换器主体较厚地形成，也可以有效地加热工作流体，所以就可以较厚地形成高温侧热交换器主体而提高耐压性。

作为导热率高并且耐热性优良的材料，最好耐热温度为 750℃以上，导热率为 20W/mK 以上，优选采用碳化硅类（SiC）、氮化硅类（Si₃N₄）、氮化铝（AlN）类、氧化铝类（Al₂O₃）等陶瓷、这些陶瓷与金属的梯度功能材料。SiC 类陶瓷在耐热性、耐磨损性、耐腐蚀性方面具有优良的特性，即使在 1000℃以上的高温下也基本上观察不到强度的降低。另外，通过采用在 SiC 类陶瓷的母材之中嵌入了 SiC 类陶瓷纤维的复合材料，就可以获得同时具有更高强度和韧性的材料。此外，由于 SiC 类陶瓷、AlN 类陶瓷导热率均为 100W/mK 以上，导热性优良，并且耐热性优良，因此适于形成高温侧热交换器主体（加热器）。氮化硅类陶瓷是共价性高的物质，在机械、热性质方面优良。特别是在强度、韧性、耐磨损性方面优良，膨胀系数低，导热性高（导热率为 20~30W/mK），抗冲击性也极为良好，足以在 1000℃以上的高温下使用。另外，氧化铝类陶瓷具有如下的优点，即，耐磨损性、绝缘性优良，并且导热率高达约 30W/mK，而且比较廉价。

再生器 6 如下形成，在筒状的再生器外罩 16 上，在其环状壁内每隔给定间隔地嵌金属网 17，将工作流体所穿过的孔 18 与高温侧热交换器 14 的工作气体流路 15 连通。而且，本实施方式中，虽然在筒状的再生器外罩 16 上与轴心平行地以给定间距形成多个孔 18 而构成再生器，然而

也可以将再生器外罩分割为成为气缸的内壁面的内筒和外筒，在内筒和外筒之间的环状孔中嵌合金属网而形成。再生器外罩 16 由耐热、低导热材料形成，作为耐热、低导热材料，优选耐热温度为 750℃ 以上、导热率为 10W/mK 以下的材料，例如可以优选使用氧化硅类（导热率约为 1W/mK）、堇青石类（导热率约为 1W/mK）、云母类（导热率约为 2W/mK）或石英玻璃类（导热率约为 1W/mK）等低导热陶瓷。这些陶瓷材料与不锈钢相比，虽然由于强度约为 1/5 左右，因此需要将壁厚设为 5 倍，然而由于导热率约为 1/16，因此作为整体可以将由导热造成的热损失降低为 1/3。

另外，作为再生器外罩 16 的材料，并不限于所述的陶瓷单独使用的情况，可以通过在内壁侧采用云母、堇青石、氧化锆、石英玻璃、钛酸铝等导热率低的陶瓷层，在外壁侧采用层叠廉价并且强度高的铁材料层而成的复合材料、在成为外壁侧的铁材料上喷镀所述导热率低的陶瓷而成的复合材料、在成为该复合材料的外侧的铁材料的表面再喷镀云母、堇青石、氧化锆、石英玻璃、钛酸铝等而在外壁面形成了导热率低的层的复合材料等，就可以更为廉价并且更薄地形成。另外，也可以使用如下的梯度功能材料，即，按照使内侧面为导热率低的陶瓷层而外侧成为铁材料的方式，在厚度方向上成分以分子水平变化。

本实施方式中，将从低温部直至下方的动力活塞 3 所滑动的部分一体化地作为气缸主体 20 形成，在其上方外周部设置构成低温部（冷却器）7 的内筒 21 和外筒 22，在内筒 21 和外筒 22 之间配置工作气体所穿过的多条冷却管道 23，使与该冷却管道进行热交换的冷却流体经过供给口 24、排出口 25 而循环，形成冷却器。工作流体所穿过的冷却管道 23，只要是与以往同样为不锈钢金属材料或导热性优良的陶瓷材料等在导热性方面优良且在机械性质方面优良的材料，其材质就不受特别限定。冷却管道 23 的下端借助歧管 26 与气缸主体 20 内的排气活塞 2 的下方位置连通。

如上所述，本实施方式中，由于将排气活塞 2、动力活塞 3 所滑动的

气缸 4 分割为气缸主体 20、再生器外罩 16、高温侧热交换器主体 14 这 3 部分而构成，因此为了不使所流通的高压工作气体泄漏，其接缝的密封构造十分重要。下面，对该密封构造进行说明。

本实施方式中，在高温侧热交换器主体（加热器头）14 上形成安装凸缘 27，并且在再生器外罩 16 的上端相面对地形成安装凸缘 28，将两者用夹子（clamp）31 固定，并且在再生器外罩 16 的下端也形成安装凸缘 29，将形成于低温部 7 的外筒 22 上端的安装凸缘 30 和形成于低温部 7 的内筒 21 的上端的安装凸缘 30 之间用夹子 32 固定，将三者紧密地一体化。此时，虽然热量有可能从高温侧的安装凸缘 27 向冷却侧的安装凸缘 28 散逸，然而通过在两者的结合面上夹隔耐热性、隔热性、耐腐蚀性优良的陶瓷纤维等密封材料，就可以减少向再生器外罩的传热，并且提高接合面的密封性。作为密封材料，可以采用如前所述地用陶瓷纤维等形成的填塞材料等，然而也可以采用具有高耐热性的油灰状的无定形密封剂或无机粘接剂。

如上所述，本实施方式的斯特林发动机中，由于通过在高温侧使用碳化硅陶瓷（SiC）、氮化硅陶瓷（Si₃N₄）、氧化铝（Al₂O₃）等陶瓷或这些陶瓷与金属的复合材料或梯度功能材料，即使将膨胀空间温度 Te 设为 1000℃，在强度上也可以足够强，因而当如图 3 所示，将低温侧的温度设为 60℃时，理论热效率可以提高到 73.8%。所以，对于以往的使用不锈钢金属材料时的膨胀空间温度为 700℃的情况，由于理论热效率为 65.8%，因此与以往相比可以大幅度地提高热效率。

以上的实施方式虽然对将本发明应用于排气活塞和动力活塞被配置于相同的气缸中的 β 型的斯特林发动机的情况进行了说明，然而本发明的斯特林发动机并不限于 β 型，对于 α 型或 γ 型的斯特林发动机也可以适用。图 2 (a) 表示了适用于 α 型的斯特林发动机中时的实施方式的概略情况，图 2 (b) 表示适用于 γ 型的斯特林发动机中时的实施方式的概略情况。

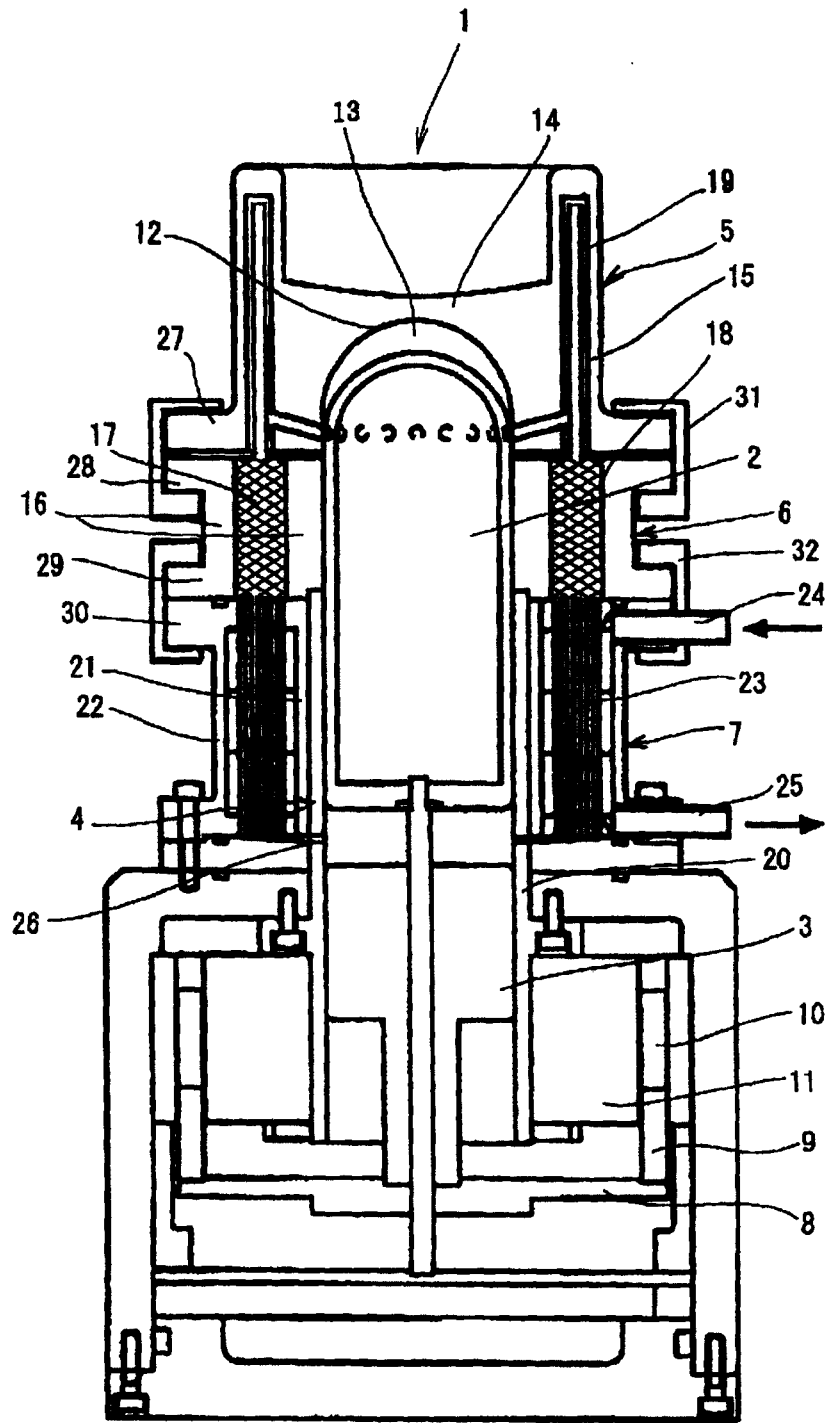
图 2 (a) 的本实施方式表示 α 型斯特林发动机 35。在该 α 型斯特林发动机 35 中, 36 为配置于膨胀气缸 37 内的膨胀活塞 (动力活塞), 38 为配置于压缩气缸 39 内的压缩活塞, 膨胀气缸 37 将高温部 40、再生器外罩 41 及膨胀气缸主体 42 分别用不同构件形成并一体化地构成。高温部 40 及再生器外罩 41 的构成为与所述实施方式相同的构成, 并且材质也分别采用与所述实施方式相同的材质, 因此将详细的说明省略。压缩气缸 39 是将压缩活塞头部和压缩气缸主体 45 用不同构件形成并一体化构成, 压缩活塞头部成为低温部 43, 在该低温部从膨胀气缸 37 的再生器外罩 41 的下部开始形成动作气体流路 44, 构成冷却侧热交换器。

图 2 (b) 表示了本实施方式的 γ 型的斯特林发动机 50。在该 γ 型的斯特林发动机 50 中, 排气活塞 51 和动力活塞 52 被配置于不同的气缸中。配置有排气活塞 51 的气缸 53 与图 1 所示的实施方式相同, 由高温部 55、再生器外罩 56 及低温部 57 构成, 分别用不同的材料形成, 并一体化地接合。即, 高温部 55 用耐热、高导热性材料一体化地形成膨胀空间头部和高温侧热交换器主体, 再生器外罩 56 被用耐热、低导热性材料形成, 低温部 57 构成低温侧热交换器而被用高导热性材料形成。此外, 低温部的一端借助配置有动力活塞 52 的气缸 58 的工作气体流路 60 而与压缩空间连通。

产业上的利用可能性

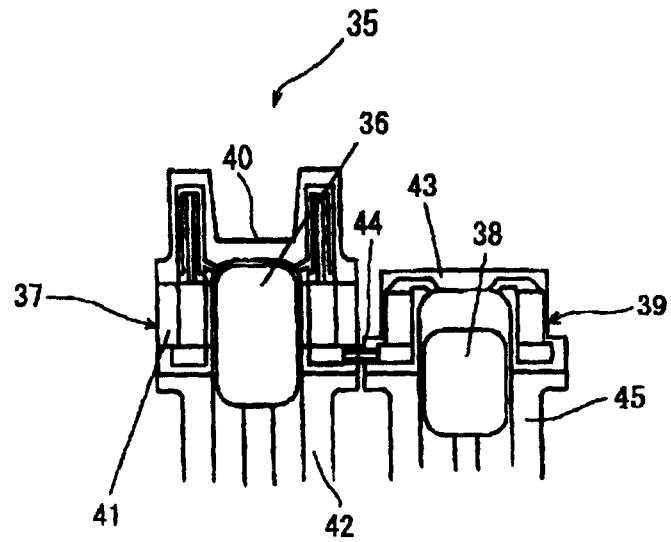
本发明的斯特林发动机, 无论其输出形态为大型还是小型, 都可以用于各种领域中, 例如可以作为线性的发电机、压缩机、其他的旋转发动机或直动发动机利用, 另外还可以作为比利用了宇宙中的太阳能的太阳能电池效率更高的发动机利用。

[图1]

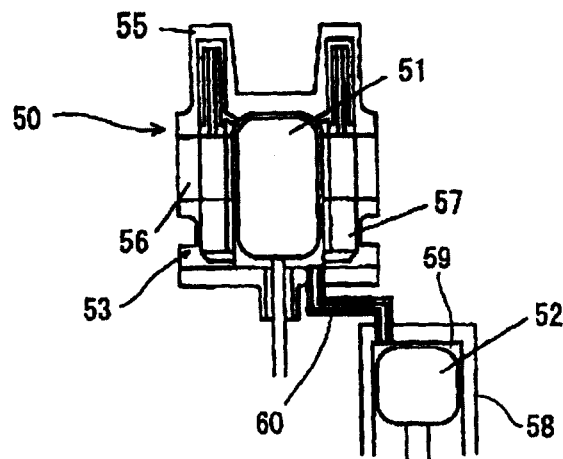


[图2]

(a)



(b)



[图3]

