



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102597513 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 18

(21) 申请号 201080048582. 0

F24J 2/34 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 09. 09

F24J 2/48 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/276, 269 2009. 09. 10 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 04. 27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/048312 2010. 09. 09

(87) PCT申请的公布数据

W02011/031894 EN 2011. 03. 17

(71) 申请人 阿隆·J·洪特

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 阿隆·J·洪特

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 董敏

(51) Int. Cl.

F03G 6/04 (2006. 01)

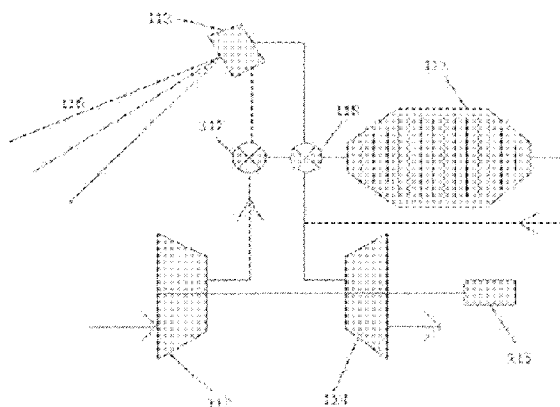
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 8 页

(54) 发明名称

液体金属储热系统

(57) 摘要

本发明的实施例整体上涉及高温热能存储，并且更具体地涉及使用熔化和凝固的液体的溶解潜热从气体介质接收热量和向气体介质提供热量。本发明的实施例也称为液体金属储热系统或 LIMETS。还描述的是容纳存储材料的方法、热传递装置、以及用于储热材料的金属和合金的选择。



1. 一种用于从由高温源加热的气体中存储和获取热能的系统,所述系统包括:  
容纳热交换器元件的腔体,其中,被加热气体穿过容纳所述热交换器元件的所述腔体,所述热交换器元件与非碱金属或金属合金热连通,所述非碱金属或金属合金在介于 600°C 与 1400°C 之间的特定温度下熔化以存储热能;以及  
容纳相同或不同热交换器元件的相同或不同腔体,其中,待加热气体穿过容纳所述相同或不同热交换器元件的所述相同或不同腔体,所述相同或不同热交换器元件与相同金属或金属合金热连通,所述相同金属或金属合金至少部分地凝固,从而放出所存储的热能。
2. 如权利要求 1 所述的系统,包括用于潜热储热系统的金属合金组分,所述金属合金组分通过改变每种成分的百分含量而在特定温度下熔化。
3. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,所述管由高温陶瓷材料形成。
4. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管由具有工作温度显著高于所述金属或金属合金的熔化温度的高温金属合金形成。
5. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管由石墨形成。
6. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器管是管,并且所述管由包覆在金属或陶瓷中的石墨形成,以在使用氧化性气体作为热传递介质时防止氧化。
7. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管是具有覆层的实心石墨或实心金属。
8. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管是中空的且容纳沸点温度高于所述金属或金属合金的熔点的元素或化合物以将热量从所述太阳能传送到所述金属或金属合金内。
9. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管是中空的且容纳沸点温度低于所述金属或金属合金的熔点的元素或化合物以将热量从所述金属或金属合金传送到待加热气体流。
10. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管布置为使得在所述管与所述热传递气体之间的热传递最大化。
11. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管是中空杆或实心杆中的一种,具有径向翅片或轴向翅片以提高热传递。
12. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述热交换器元件是管,并且所述管的截面设计为使得在所述管与所述热传递气体之间的热传递最大化。
13. 如权利要求 1 中所述的系统,使用空气、二氧化碳、氩气、氦气或氮气作为所述热传递气体。
14. 如权利要求 7 中所述的系统,其中,所述高温源包括太阳能接收器以加热气体以提供热量而使所述金属或金属合金熔化。
15. 如权利要求 1 中所述的系统,包括燃气涡轮机,所述系统使用所存储的热量来操作燃气涡轮机以提供机械动力。
16. 如权利要求 14 中所述的系统,其中,所述高温源包括带窗口的高温太阳能接收器,所述带窗口的高温太阳能接收器使用小颗粒吸收聚焦太阳光并且加热携带有所述小颗粒

的气体,所述气体包括空气、二氧化碳、氩气或氮气中的至少一种。

17. 如权利要求 1 中所述的系统,包括由两种或更多种元素形成的金属合金,所述金属合金的熔化温度由所述两种或更多种元素的百分含量的选择而确定。

18. 如权利要求 1 中所述的系统,其中,所述金属合金包括铝和硅,具有从 600°C 到 1400°C 的熔化温度。

19. 一种用于从由高温源加热的气体和向所述气体存储和获取热能的方法,所述方法包括下述步骤:

使被加热气体穿过容纳热交换器元件的腔体,所述热交换器元件与非碱金属或金属合金热连通,所述非碱金属或金属合金在 600°C 与 1400°C 之间的特定温度下熔化以存储呈所述金属或金属合金的熔解潜热形式的热能;以及

使待加热气体穿过容纳相同或不同热交换器元件的相同或不同腔体,所述相同或不同热交换器元件与相同金属或金属合金热连通,所述相同金属或金属合金至少部分凝固,从而放出以熔解潜热形式存储的热能。

20. 如权利要求 19 所述的方法,包括选取用于潜热储热系统的金属合金组分,使得所述金属合金通过改变所述金属合金的各成分的百分含量而在特定温度下熔化。

21. 一种用于从由高温源加热的气体中存储和获取热能的系统,所述系统包括:

容纳热交换器元件的腔体;以及

容纳在所述热交换器元件中的非碱金属或金属合金,所述非碱金属或金属合金适于存储来自被加热气体的热量。

22. 如权利要求 1 所述的系统,其中,所述金属或金属合金在介于大约 600°C 与 1400°C 之间的特定温度下熔化。

23. 一种用于从由高温源加热的气体中存储和获取热能的系统,所述系统包括:

具有第一热交换器元件的第一通道;

具有第二热交换器元件的第二通道;

容纳非碱金属或金属合金的腔体,所述非碱金属或金属合金适于存储来自被加热气体的热量;并且

所述第一和第二热交换器元件部分地延伸到所述腔体内。

24. 如权利要求 1 所述的系统,其中,所述金属或金属合金在介于大约 600°C 与 1400°C 之间的特定温度下熔化。

25. 一种用于从由高温源加热的气体存储和获取热能的方法,所述方法包括下述步骤:

使被加热气体穿过容纳热交换器元件的腔体,所述热交换器元件与非碱金属或金属合金热连通,所述非碱金属或金属合金熔化以存储热能;以及

使待加热气体穿过容纳相同或不同热交换器元件的相同或不同腔体,所述相同或不同热交换器元件与相同金属或金属合金热连通,所述相同金属或金属合金至少部分凝固,从而放出所存储的热能。

26. 如权利要求 25 所述的方法,包括上述权利要求中的任一项或全部。

27. 如权利要求 21 所述的系统,包括上述权利要求中的任一项或全部。

28. 如权利要求 23 所述的系统,包括上述权利要求中的任一项或全部。

## 液体金属储热系统

### 背景技术

[0001] 鉴于很大程度上由二氧化碳、甲烷和吸收颗粒在大气中的释放所导致的全球变暖的问题以及化石燃料的增加,使用太阳能热用于公用事业规模的发电再次引起公众关注。使用聚焦太阳能将工作流体加热到高温以操作兰金 (Rankin) 循环发动机、布雷顿 (Brayton) 循环发动机和斯特林 (Sterling) 循环发动机以提供操作发电机的机械动力以用于公用事业规模的电力生产提供了对于使用化石燃料的有吸引力的替代。但是,公用事业通常要求电力生产设施在每年 75% 的等级上提供可配送的电力。由于太阳在年基础上的仅仅 50% 的时间位于地平线之上,因此有必要提供某种形式的存储以在没有太阳光时操作设备。

[0002] 热能存储可以通过将能量存储为作为显热或潜热 (或它们的组合) 的热形式而实现。目前的太阳能收集器利用定日镜、抛物线槽或线性菲涅耳 (Fresnel) 反射器将太阳光聚焦在太阳能接收器上。这些接收器由聚焦太阳光加热并且利用蒸汽、油、液体盐、液体碱金属或气体作为热收集和传递流体。这种流体可以自身用作热存储介质或者热量可以被传递给另一介质以提供存储。如由 Geyer in Winter 等讨论的,储热可以由油罐、油和岩石、液体盐、或液体碱金属中的显热来提供。由聚焦太阳光加热的流体用于产生蒸汽,加热工作流体以用于能量转换,或者它们可以在高温下存储 (或组合)。在释放出它们的热量以用于能量转换之后,冷却的流体与热流体分离地存储。这可以在分离的热罐和冷罐中实现或者通过使用温跃层的构造实现。在温跃层系统中,较冷 (密度较大) 流体形成底层而较热 (密度较小) 流体形成上层。在这些构造中的任一种中,当太阳不提供热量时,所存储的热液体可被抽吸通过热交换器以加热工作流体以用于电力生产并且随后抵达存储部的冷侧以完成循环。

[0003] 可选地,熔解潜热可以用于存储热能。在储热系统中已经使用液体盐或液体碱金属,所述液体盐或液体碱金属在其熔化温度下经受相变以存储或释放热量。这种形式的热存储的优点是热量在几乎恒定的温度下释放,从而提供用于能量转换循环的最佳操作条件。使用潜热能量存储的另一优点是由于能够显著减少存储材料的量。为明确起见,存储在比热中的能量的量由比热和温度变化的乘积确定。例如,水的比热是  $1\text{cal/gm}$ ,如果温度降低  $1^\circ\text{C}$ ,则一克水释放 1 卡路里的热量。可选地,水的熔解潜热为大约  $80\text{cal/gm}$ ,使得在几乎恒定的温度下冻结或凝固一克冰所释放的能量为 80 卡路里的热量。由此,通过冻结一克冰来提供存储相同量的热量而需要的水的量是改变水温  $1^\circ\text{C}$  的 80 倍。

[0004] 在使用高温盐的潜热存储系统中,由于盐的低热导率而存在对热量流进和流出存储材料的限制。这由如下事实而进一步加剧:当热存储释放时,盐围绕承载热交换流体的管冻结,这使对流热传递停止。这减小了能够从存储系统中提取热量的速率。由此,盐的低热导率和由于盐的非流动性而导致的对流削减一起对利用这种类型的潜热存储系统构成障碍。

[0005] 在太阳能发电系统的操作中另一考虑因素是工作温度。为了使聚焦式太阳能热发电系统尽可能地具有成本效率,期望的是使能量转换循环的效率最大化。这减小了设备的

最昂贵部件（聚焦收集器）的成本。由于热力发动机的最大效率由其在其间工作的热库与冷库之间的温差决定，因此最理想的是在最高可能的温度下进行操作。油在高于大约 400°C 的温度下分解。使用盐的大多数储热系统在低于大约 570°C 下进行操作。没有发现有效的装置在运行高效兰金循环发动机所需的压力和温度下存储蒸汽。布雷顿或气体循环发动机使用气体作为工作流体，并且在非常高的温度和压力下存储气体也是不切实际的。布雷顿循环提供了用于发电塔集中系统的最高效率，这是由于工作温度仅由涡轮入口温度（明显超过 1000°C）限制。存储高温气体不是现实的能量存储方案。

[0006] 通过参引的方式并入

[0007] 下述参考文献的全部内容并入本文：

[0008] 1985 年 4 月 23 日授予 Terry D. Claar 等人的名称为“High-Temperature Direct-Contact Thermal Energy Storage Using Phase-Change Media”（“使用相变介质的高温直接接触式热能存储”）的美国专利 No. 4, 512, 388；

[0009] Simensen 的“Comments on the Solubility of Carbon in Molten Aluminum”（“评述碳在熔融铝中的溶解率”），Metallurgical Transactions A, 卷 20A, 1989 年 1 月, 191 页；

[0010] Winter, Sizmann, @Vant-Hull, Solar Power Plants (太阳能发电厂), 第 6 章, Springer, Verlag, 1991 年；以及

[0011] Guthy 和 Makhlof, “The aluminum-silicon eutectic reaction”（“铝-硅共晶反应：机制和结晶学”），Journal of Light Metals, No. 4, 2001 年 11 月, 199 页-218 页。

## 发明内容

[0012] 本发明的实施例涉及通过熔解和凝固或冻结金属和金属合金以存储和释放特定金属和合金的高熔解潜热以在适于操作燃气涡轮或其他目的的很高温度下存储大量的热能。具体地，所述合金可以由具有熔化温度和共晶温度处于与待使用的能量转换装置相容范围内的两种或更多种金属构成。

[0013] 在本文考虑的第一实施例中，所述金属或合金容纳在设置于绝缘通道中的管的阵列中，其中高温气体通过所述绝缘通道循环。所述系统由通过的气体而吸热，所述气体从太阳能接收器或其他热源通过所述管以加热和熔化容纳在所述管内的所述金属/合金。所述系统通过使待加热空气穿过相同通道直到所述金属或合金已经发生相变（液体到固体）并且温度已经下降到用于系统的最佳工作温度而放热。

[0014] 在另一实施例中，所述金属或合金容纳在绝缘容器中，所述绝缘容器配备有与所述热源热连通的热传递元件或管。在该情况下，所述系统通过将壁部的通道或通路中循环的高温气体的热量穿过壁传递到容纳固体/液体金属或合金的腔体内直到所述金属或合金熔化而吸热。所述系统通过将热量从具有相同或不同热传递元件或管的腔体中送出而放热，其中所述热传递元件或管与承载待加热气体的通道连通。

[0015] 在任一上述实施例中，具有对所使用的合金的广泛选择。在另一实施例中，两种元素结合以形成合金而熔化温度由每种金属呈现的百分含量确定，熔化温度则根据所需工作温度选择。在具体实施例中，选取由铝和硅组成的合金。通过改变这些元素的比例，工作温度可以选取为从大约 600°C 至 1411°C。这种很宽的温度范围提供了用于操作包括兰金蒸汽

循环的上限范围在内的多种涡轮入口温度。

[0016] 在第一实施例中,容纳金属或金属合金的管可以由陶瓷、金属或包覆石墨制成。在热交换器中的空气或其他氧化性气体(例如,二氧化碳)的情况下,石墨必须包覆在金属或陶瓷中,否则石墨将在此处考虑的工作温度下经受氧化。

[0017] 在使用将热量传递给包封在单独的绝缘腔体中的金属或从该金属中传递热量的热传递元件或管的实施例中,所述管可以由合适的高熔点实心金属例如铜、钢、镍、或这些金属或其他金属的高温合金形成。如果与热存储金属或金属合金的化学反应最小,则所述元件也可以由与熔融金属直接接触的石墨组成,但是在石墨可能暴露给氧化性气氛的部段中适当地包覆。

[0018] 在另一实施例中,这些热传递元件或管也可以是由高温金属陶瓷或石墨组成的封闭中空管,容纳具有沸点温度高于金属或金属合金存储材料的熔点的小量元素或化合物。在该情况下,所述元素或化合物在所述管的下端部内由穿过位于所述存储罐下面的通道的气体煮沸,而上端部嵌入所述金属或金属合金存储材料内。这种热管布置是非常高效的热交换器。在该情况下,储热通过相似的管放热,但是该管容纳具有沸点温度低于所述金属或金属合金存储材料的熔点的元素或化合物。所述热管的所述下端部位于所述金属或合金存储材料中,而所述上端部穿过所述存储腔的上侧并且进入分离的气体承载通道。在该情况下,储热通过使气体穿过所述上部通道而放热。

[0019] 这种形式的潜热存储具有若干优点。首先,大部分热量在恒定温度下释放,这容许燃气轮机在其设计温度进行操作。这是由于燃气轮机的非设计操作能够显著降低其转换效率而考虑的。使储热部吸热通过气体在比金属的熔点高的任意合理温度下实现。由于所有合适的金属和合金在熔化时收缩,因此金属没有理由破坏其容纳管或存储容器。处于液体和固体形式中的金属的高热导率提供了金属内的极好的热传递。这避免了在使用液体盐或碱金属中所遇到的问题,其中固体和凝固材料的低热导率区域使热量的释放变慢。

#### 附图说明

[0020] 当结合附图阅读下面对示例实施例的描述时,技术人员将容易地理解前述方面和其他。

[0021] 图 1a 是本发明的实施例的热交换器的实施例的顶视示意图。

[0022] 图 1b 是本发明的实施例的热交换器的实施例的侧视示意图。

[0023] 图 1c 是本发明的实施例的容纳金属或金属合金的管中的一个的示意图。

[0024] 图 1d 是本发明的使用竖直接流构造的实施例的示意图,其中气体平行于存储管的对准方向运动。

[0025] 图 1e 和图 1f 描绘了本发明的管的可选实施例。

[0026] 图 2 是本发明的另一实施例的示意图,示出了位于底部处的吸热空间和位于金属或金属合金存储容器上方的放热空间。

[0027] 图 3a 是本发明的实施例如何通过燃气涡轮发动机在纯太阳能模式下实施的示意图。

[0028] 图 3b 是本发明的实施例如何通过燃气涡轮发动机在热排放期间实施的示意图。

[0029] 图 3c 是本发明的实施例如何通过燃气涡轮发电机在混合操作期间实施的示意图。

图,其中用于涡轮的动力由储热和太阳能接收器供给。

### 具体实施方式

[0030] 在布雷顿循环的太阳能热电设备的背景下说明本发明的实施例。但是,技术人员应当容易理解,本文公开的材料和方法具有在期望高温储热的多种其他情况下的应用。

[0031] 本发明的一个实施例,也称为液体金属热存储系统(LIMETS),基本上包括四个物件:金属或金属合金储热材料;容纳金属或金属合金的管或隔室;包封所述管的绝缘空腔;以及热传递介质(气体)。图1a是系统的示意绘图的俯视图,示出了绝缘空腔100、容纳金属或金属合金的陶瓷管或包覆石墨管101以及绝缘容器102。图1b是相同部件的侧视图。图1c是管和金属的截面图,示出了具有敞开顶部的一个管101和金属103。图1d描绘了该实施例的透视图。仅作为示例,管101能够包括使管的表面积和向管的热传递速率和/或从管的热传递速率增大的翅片或其他附属物或结构(图1e)。管还具有增大热传递速率的截面(图1f)。这种截面通过包括例如星形截面而增大截面的表面积。管和封闭物被布置为考虑气体传递介质的温度和特性而使热传递最大化。雷诺数值由气体的性质和管的特征尺寸确定并且设计应当优化这些因素以使向管的热传递和从管的热传递最大化。

[0032] 图2图示了利用管的另一实施例。管的竖直定向是有用的,以便利用从位于塔顶部的太阳能接收器下来的气体并且提供可选的设计以优化向管的热传递。导管的布置能够容许气体向上或向下流过竖直管。在这两种布置中,系统通过使热气体从位于管上方的太阳能接收器通过直到熔化发生,以此吸热。由于大部分金属和金属合金在熔化时膨胀,因此更低密度的熔融物将上升到顶部,从而使底部最后熔化。这具有促进良好混合以确保金属或金属合金几乎等温的效果。在该实施例中,金属或金属合金104容纳在分离的绝缘容器105中,该绝缘容器经由高热导率金属杆或金属包覆石墨杆或者优选地通过使用中空热管件或管106和107与被加热空气连通。在该实施例中,设有两个通道,用于热(充热)气体的一个通道108位于金属或金属合金容器的下面,并且一个通道109在上面。热气体穿下通道108和热管件或管或杆106并且将热量传送至金属或金属合金以熔化存储材料104。为了使储热放热,一组类似的热管件或管或杆107在较冷的气体被抽吸通过上通道时将热量传送至上通道。热传递可以通过使用热管而明显提高,其中具有合适沸点的元素或化合物包封在管内。仅作为示例,这种元素或化合物能够包括可以在大约500°C至1000°C之间使用的钾、在500°C至1000°C之间使用的钠、以及在900°C至1700°C之间使用的锂。

[0033] 由于热管件沿向上方向传送热量最有效,因此在该实施例中设有两套管件106和107。在下管件或管106内的元素或化合物优选地选取为具有比金属或金属合金存储材料的熔化温度高的工作温度。在上管件或管107内的元素或化合物优选地选取为具有比金属或金属合金存储材料的熔化温度低的工作温度。

[0034] 穿过下通道的热气体加热管的下端部,而在管中的元素或化合物气化并且向上运动且在存储材料中的较冷端部处凝结。当存储材料已经熔化并且需要热量以运行涡轮时,待加热气体被抽吸通过上通道。上热管件容纳具有工作温度低于存储材料的熔化温度的元素或化合物。由此,当较冷空气被抽吸通过上通道时,在上热管件中的元素或化合物在上端部上凝结,从而将热量传递给气体以操作涡轮。热传递由气体的流动控制,当需要热量时气体向上运动。由于上通道和下通道可以处于不同的压力下并且存储材料不需要处于压力容

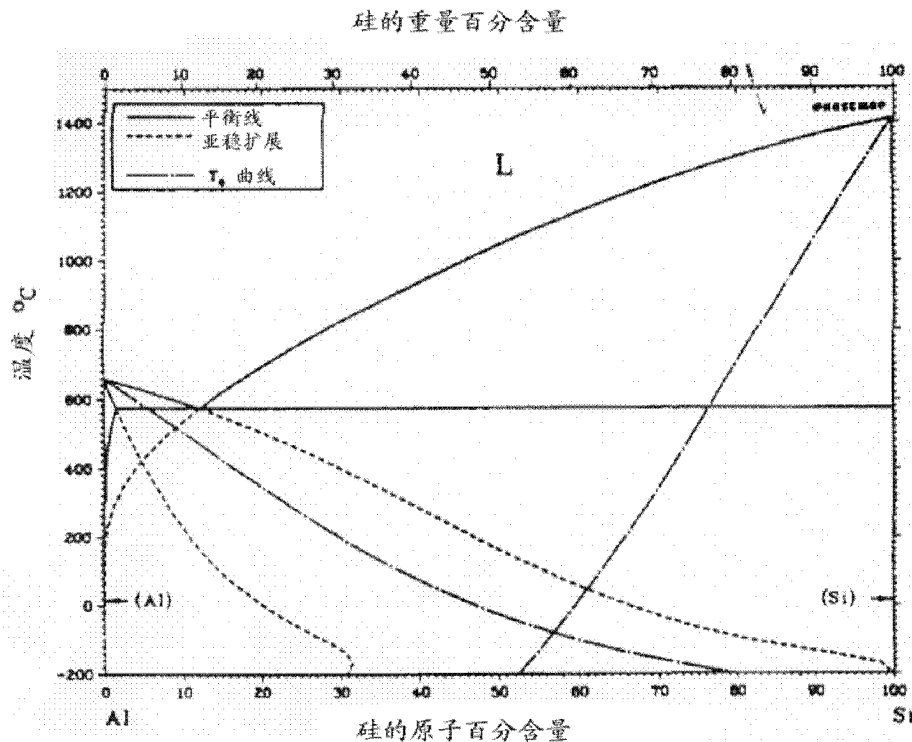
器中,因此该热管件系统具有额外的优点。由此,系统能够从处于大气压力下的空气中获取热量,在用于燃气轮机操作的便利压力下存储热量和排放热量。

[0035] 金属或合金杆或管的选取由例如如下确定:1) 熔化温度;2) 熔解潜热;3) 热导率;4) 其粘度和热对流特性;5) 相变时的膨胀和收缩;5) 与容纳物和热传递元素的化学活性;以及6) 污染杂质的影响。对于任意给定的应用,熔化温度可以通过选择金属而确定,或者通过选择合金而更细致地调节。其他考虑因素包括晶粒尺寸、污染杂质的影响以及在凝固或冻结和再熔化期间的合金分离。另一考虑因素是金属或金属合金在目前金属市场上的价格以及其在设备废弃时的未来价格,这是由于这可能意味着重大的投资。

[0036] 可用于储热的纯非碱金属包括铝(m. p.  $660^{\circ}\text{C}$ , l. h.  $95\text{cal/gm}$ ),铜(m. p.  $1084^{\circ}\text{C}$ , l. h.  $49\text{cal/gm}$ ),铁(m. p.  $1536^{\circ}\text{C}$ , l. h.  $65\text{cal/gm}$ ),镁(m. p.  $650^{\circ}\text{C}$ , l. h.  $88\text{cal/gm}$ ) (m. p. = 熔点, l. h. = 潜热)。其他纯金属具有不实际的高或低的熔化温度,是稀少的、昂贵的、放射性的或有毒的。但是,上述和其他金属的合金可以形成用于储热材料的特别多种类的可能替代物。对于此,一个原因是具有不同熔化温度的两种金属在熔化到一起时常常形成具有熔点比任一种金属自身的熔点低的共晶混合物。这些效果有时能够将熔点显著地降低到能够用于新的金属合金存储材料的材料的范围内。

[0037] 本发明的另一实施例包括作为储热材料的铝和硅的特定选择。硅是铝合金的常见成分;特别是在AlSi12(大约88%的铝和12%的硅以及小量的杂质例如铁)的组分中。这由于其所产生的物理性质而是特别有利的材料组合。尽管铝具有大约 $660^{\circ}\text{C}$ 的熔点而硅具有 $1411^{\circ}\text{C}$ 的熔点,但是AlSi12的共晶混合物的熔点为大约 $600^{\circ}\text{C}$ 。因此,能够看出,通过改变组分,所产生的合金的熔点范围为从共晶点处的 $600^{\circ}\text{C}$ 到对于纯硅组分的 $1411^{\circ}\text{C}$ 。这图示在下面示出的熔化温度对组分的图表中。这是用于高温潜热存储材料的很宽且便利的范围。

[0038]



[0039] 用于Al-Si系统的平衡相图,示出了液相线和固相线的亚稳定延伸



[0040] 这种材料组合具有另一有益的优点。尽管铝的潜热在与其他金属相比时较高,为 95cal/gm,但是硅的熔解潜热处于已知最高处为 430cal/gm。例如,从附图中可见,在大约 50-50 原子百分比处,混合物的熔化温度为大约 1000°C。如果使用铝与硅的熔解潜热之间的线性插值,则所产生的混合物的潜热为大约 263cal/gm。这可比于钠的潜热,其中钠已经用于 27cal/gm 的潜热存储介质。(为该混合物的大约 1/10——需要 10 倍的存储质量)。其他潜在的存储材料包括具有熔解潜热为 27cal/gm 的锌、49cal/gm 的铜或 5.5cal/gm 的铅。由此可见,在使用 AlSi 组合时,显著减小了所需的材料。

[0041] 硅和铝的组合的另一优点是:在与具有合适熔化温度的其他金属相比时,这些材料具有足够用于该目的的工业等级,且成本较低。

[0042] 又一考虑因素是容纳管的选择。管的尺寸和形状应当选取为使通过气体的热传递最大化并且优化包封金属的熔化速率和模式。在一些情况下,能够添加径向或轴向翅片以提高向管的热传递。由于所涉及金属的高熔化温度(600°C -1200°C),因而高温陶瓷材料是合适的。但是,某些高温合金管可以被考虑来在该温度范围的下部分中用于容纳。材料的另一选择是石墨。如由 Simensen 讨论的,石墨具有高热导率和与铝的低反应性,并且铝提炼中广泛地用于电极和容纳材料。但是,石墨可能在出现氧化性气体(例如空气或二氧化碳)时不适用,这是由于石墨将氧化为二氧化碳并且不能作为容纳或热传递装置。石墨可以包覆有金属或陶瓷以防止其氧化。管材料的选择应当由期望的工作温度和潜在的金属-容纳管反应指导。管可以基于气体和金属的选择而是封闭的或敞开的。如果空气是热传递介质,则管应当是封闭的以消除金属与空气成分之间的可能氧化或其他反应。如果使用氦气、氮气或二氧化碳,则在金属与气体之间没有反应的情况下管可以在顶部处敞开。对于其他气体,潜在的相互反应必需被考虑。

[0043] 为了说明本发明的结合有热源和涡轮的液体金属储热系统实施例的操作,图 3a、图 3b 和图 3c 图示了整体系统的实施例。图 3a 图示了热存储系统 111 未连接或处于“纯太阳能”模式下的系统部件。空气进入涡轮压缩机 112 内并且在抵达热源 113 之前被压缩。该热源可能是通过直接或间接吸收太阳光而加热气体的高温太阳能接收器,或者是非太阳能高温热源。另外,热源 113 能够是带窗口的高温太阳能接收器,其使用小颗粒吸收聚焦太阳光 116 并且加热携带有小颗粒的气体。这种接收器的示例在如下文献中讨论:“Solar Test Results of an Advanced Direct Absorption High Temperature Gas Receiver (SPHER)” by A. J. Hunt and C. T. Brown, Proc. Of the 1983 Solar World Congress, International Solar Energy Society, Perth, Australia, Aug. 15-19, 1983, LBL-16947 (“先进的直接吸收式高温气体接收器 (SPHER) 的太阳能测试结果”, A. J. Hunt 和 C. T. Brown, 1983 年世界太阳能大会论文集, 国际太阳能学会, 珀斯, 澳大利亚, 1983 年 8 月 15 日 -19 日, LBL-16947); 以及 “Heat transfer in a directly irradiated solar receiver/reactor for solid-gas reactions”, by H. H. Klein, J. Karni, R. Ben-Zvi and R. Bertocchi, Solar Energy 81(2007)1227-1239 (“在直接照射式太阳能接收器 / 反应器中用于固体-气体反应的热传递”, H. H. Klein, J. Karni, R. Ben-Zvi 和 R. Bertocchi, 太阳能 81(2007 年), 1227 页至 1239 页), 这些文献通过参引的方式并入本文。气体在被加热到高温之后进入膨胀涡轮机 114 内, 该气体在被排放或获取之前提供动力以运行压缩机并且转动发电机 115。图 3b 图示了用于使储热部吸热的布置, 其中所有气体在穿过膨胀涡轮机

之前经过存储系统。图 3c 图示了处于“混合”模式下的系统操作,其中气体选择性地并行通过储热部和涡轮机,通过控制阀 117 和 118 进行调节。阀 117 能够将气体直接转向至太阳能接收器或热源 113(用于图 3a 的实施例的操作)或直接转向至储热系统 111(用于图 3b 的实施例的操作)。阀 118 能够将气体转向至热存储系统 111 或到膨胀涡轮机 114。阀 117 和 118 的各种位置能够容许膨胀涡轮机 114 直接通过由接收器或热源 113 提供的能量运行,或者可选地通过由热存储系统 111 提供的能量运行,或者由这两者提供的能量运行。

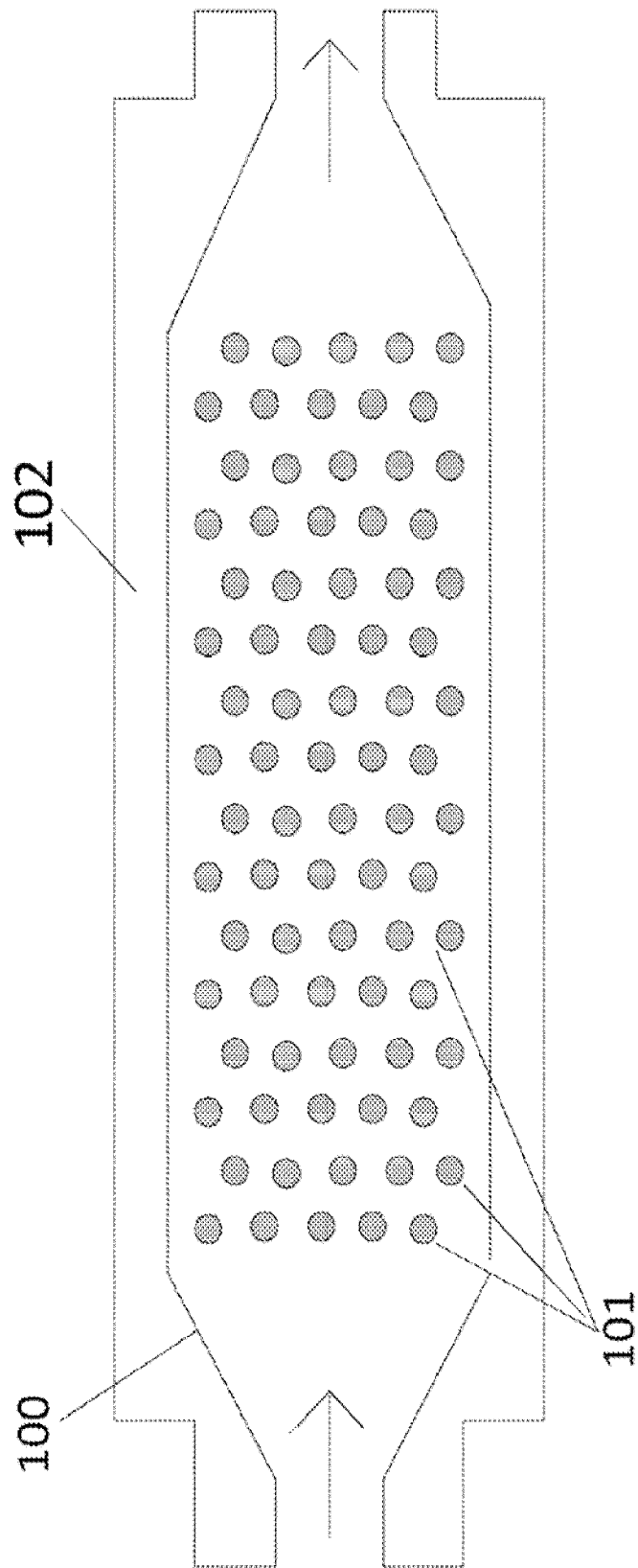


图 1a

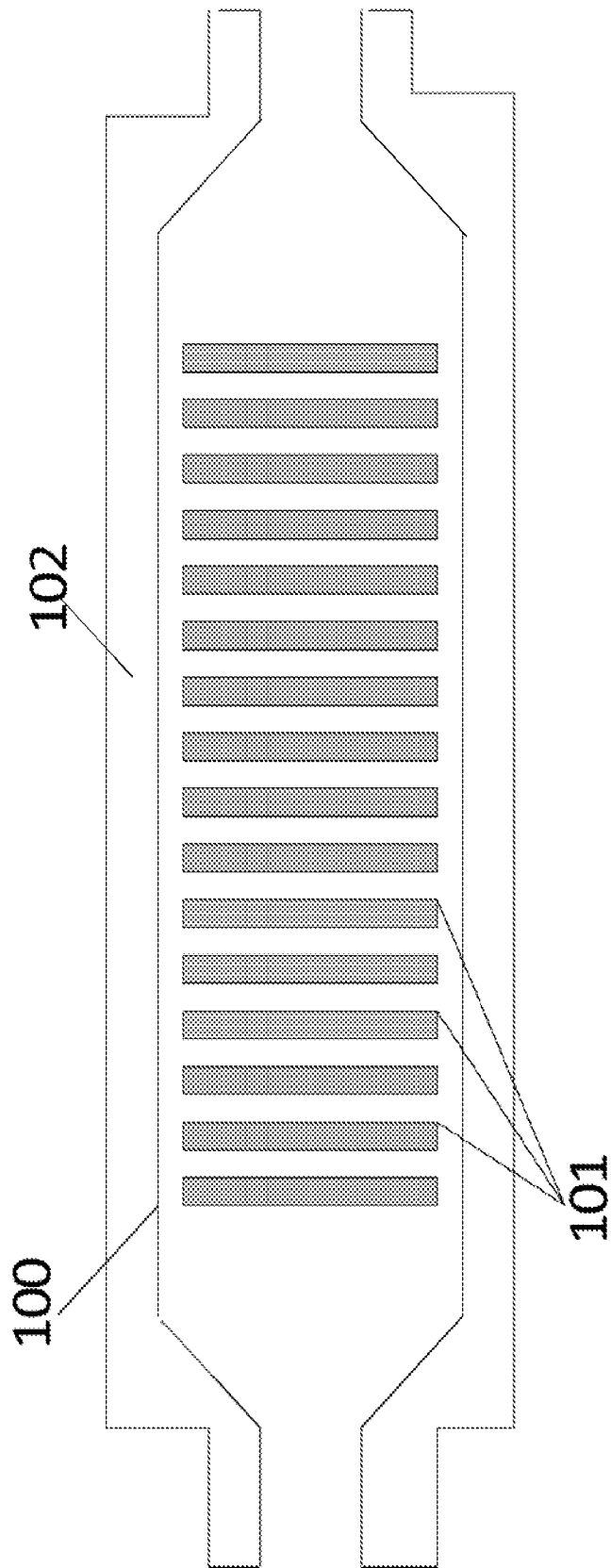


图 1b

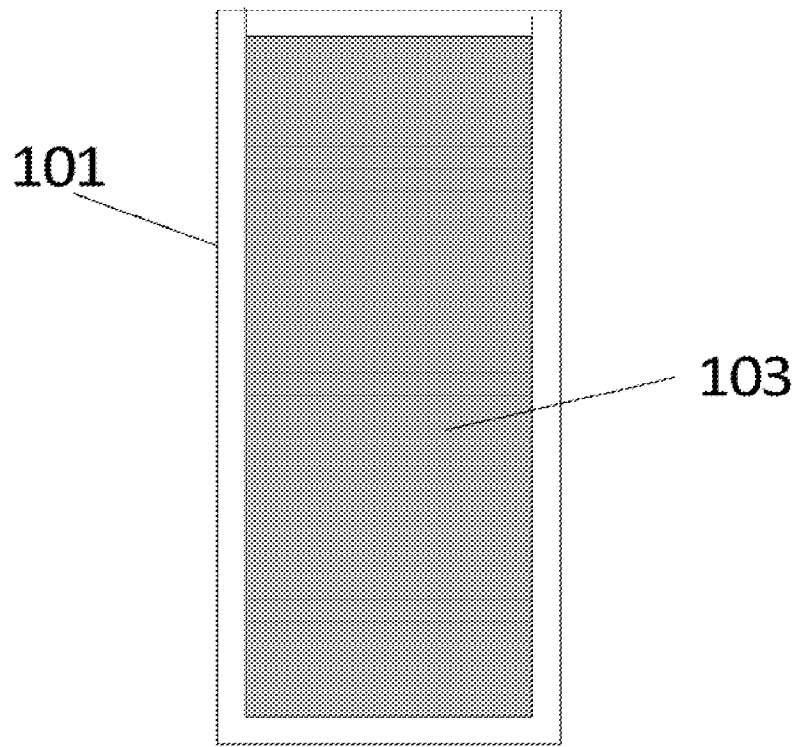


图 1c

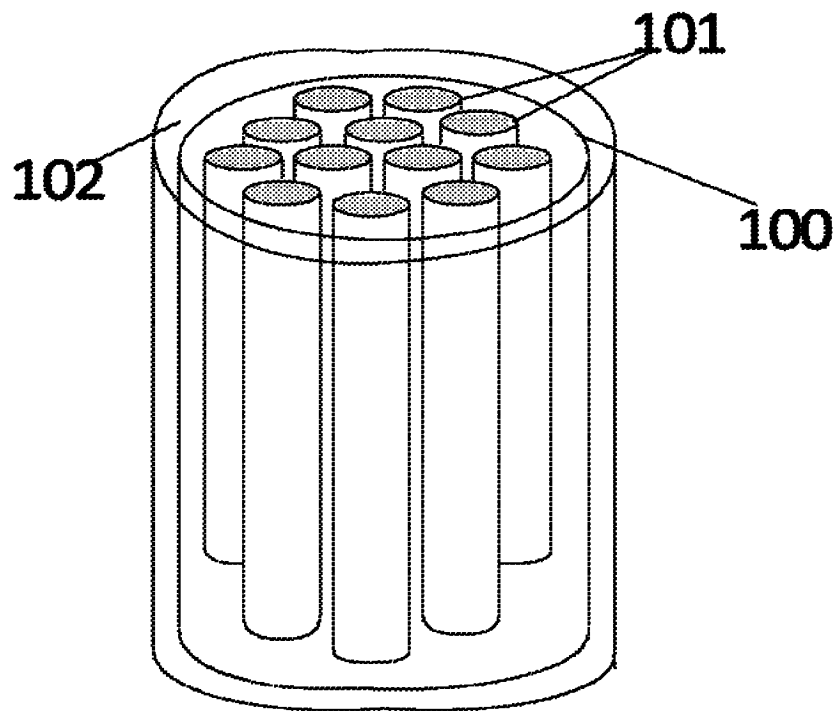


图 1d

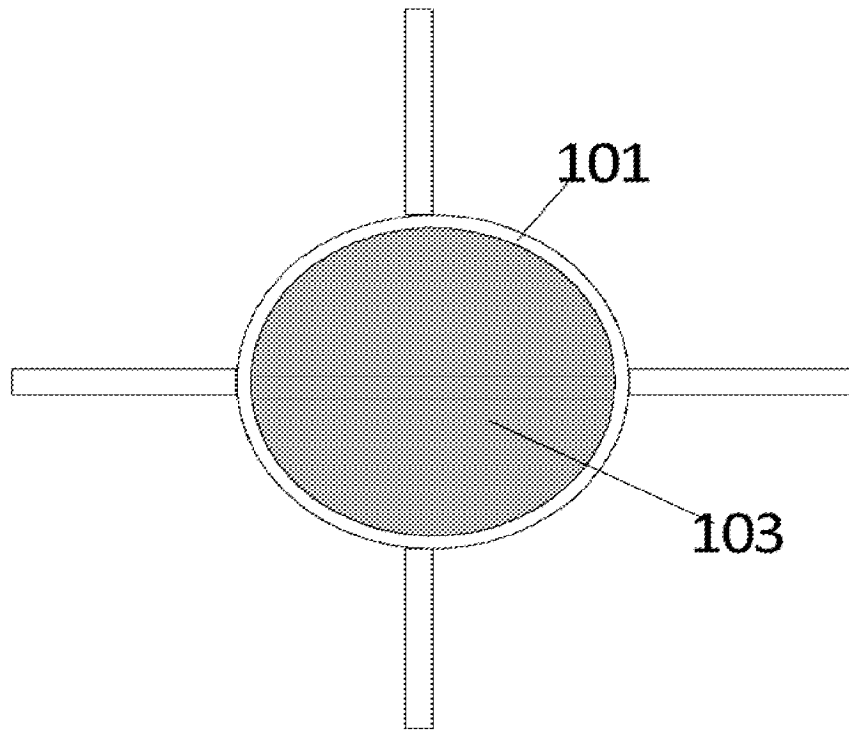


图 1e

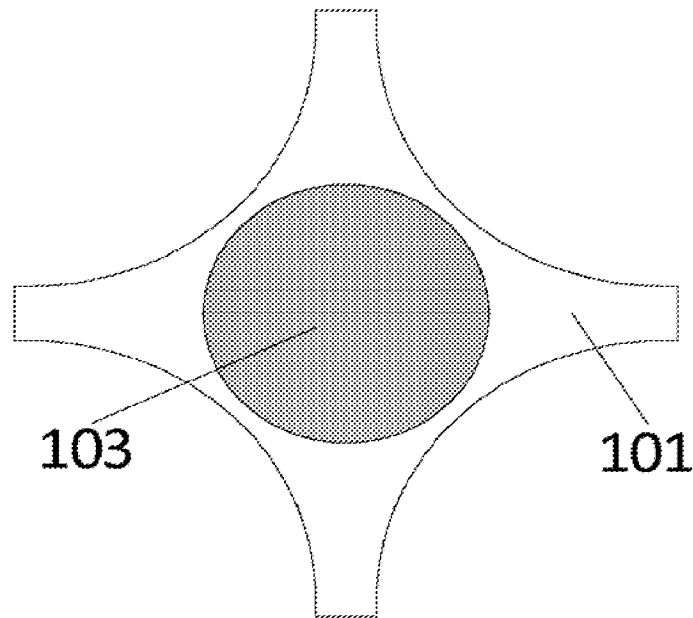


图 1f

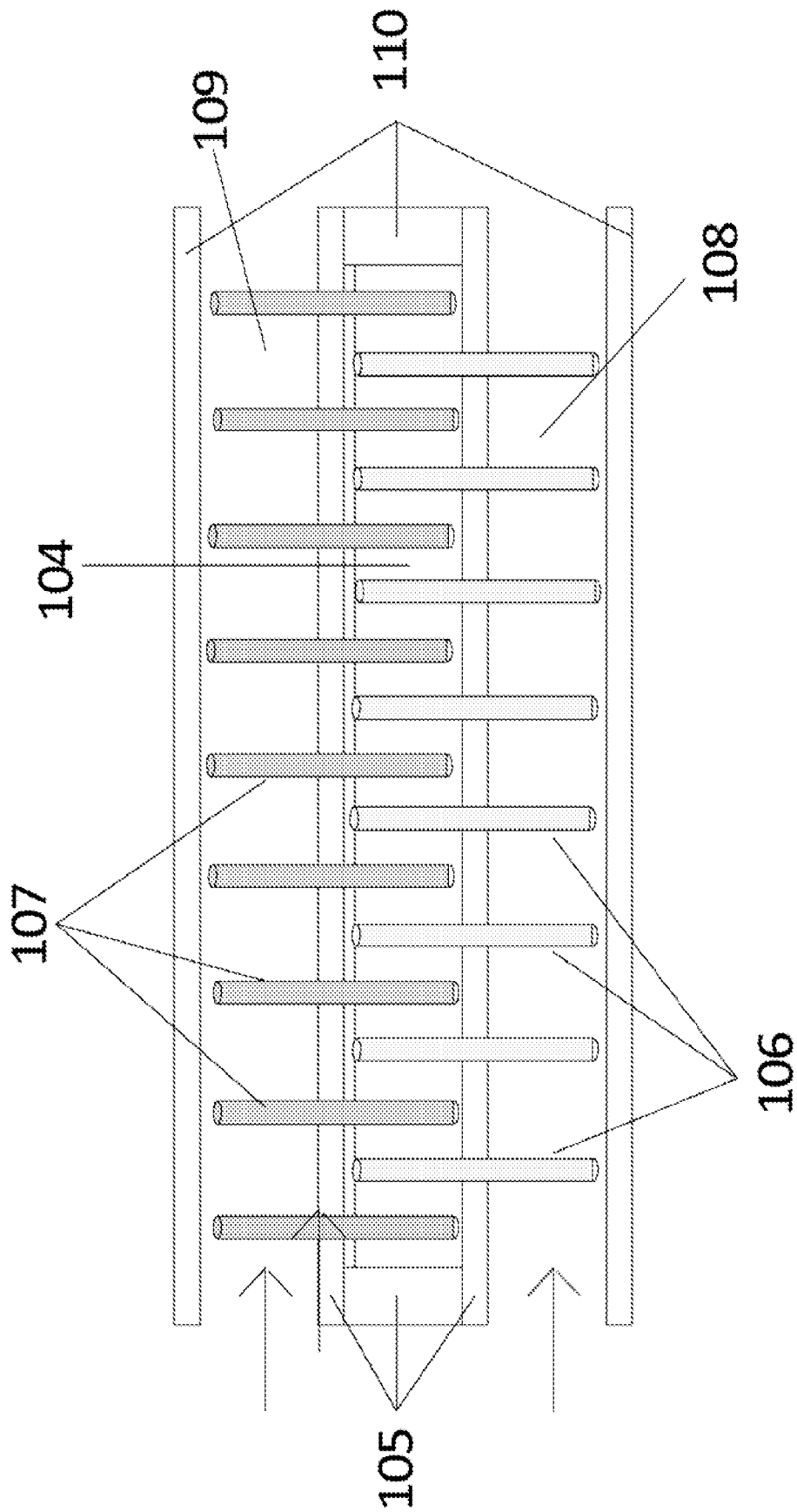


图 2

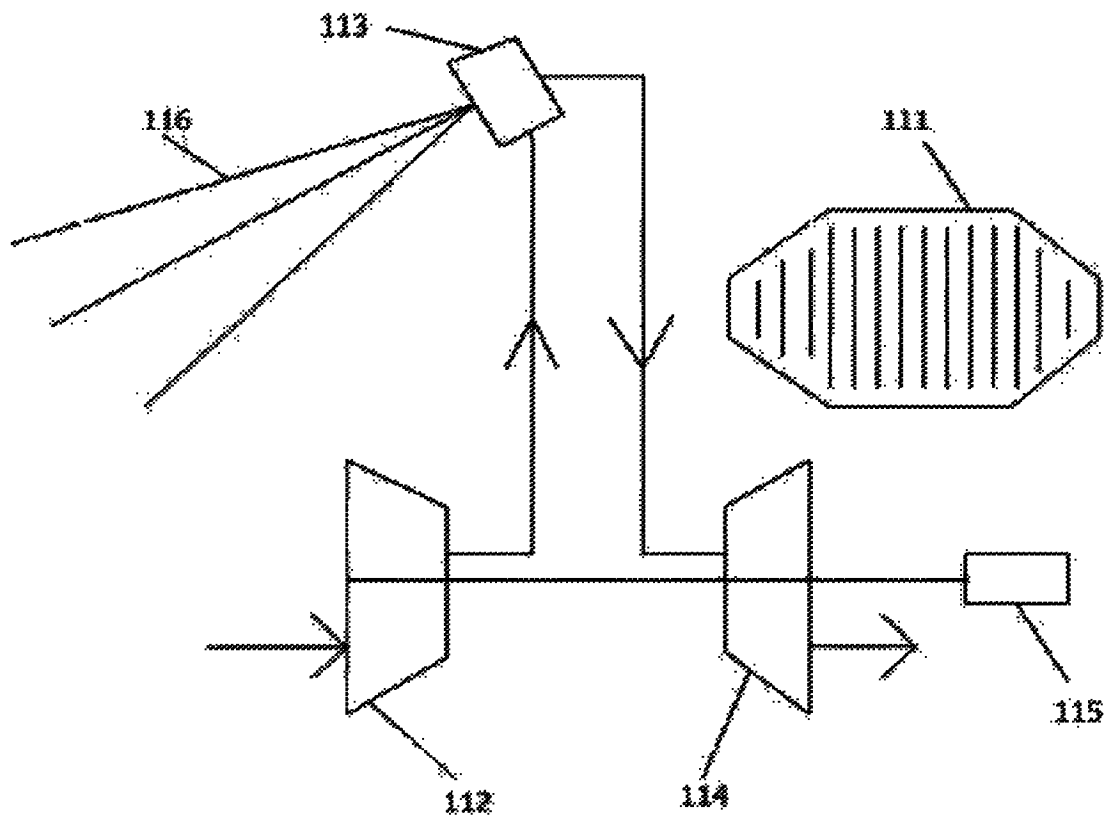


图 3a



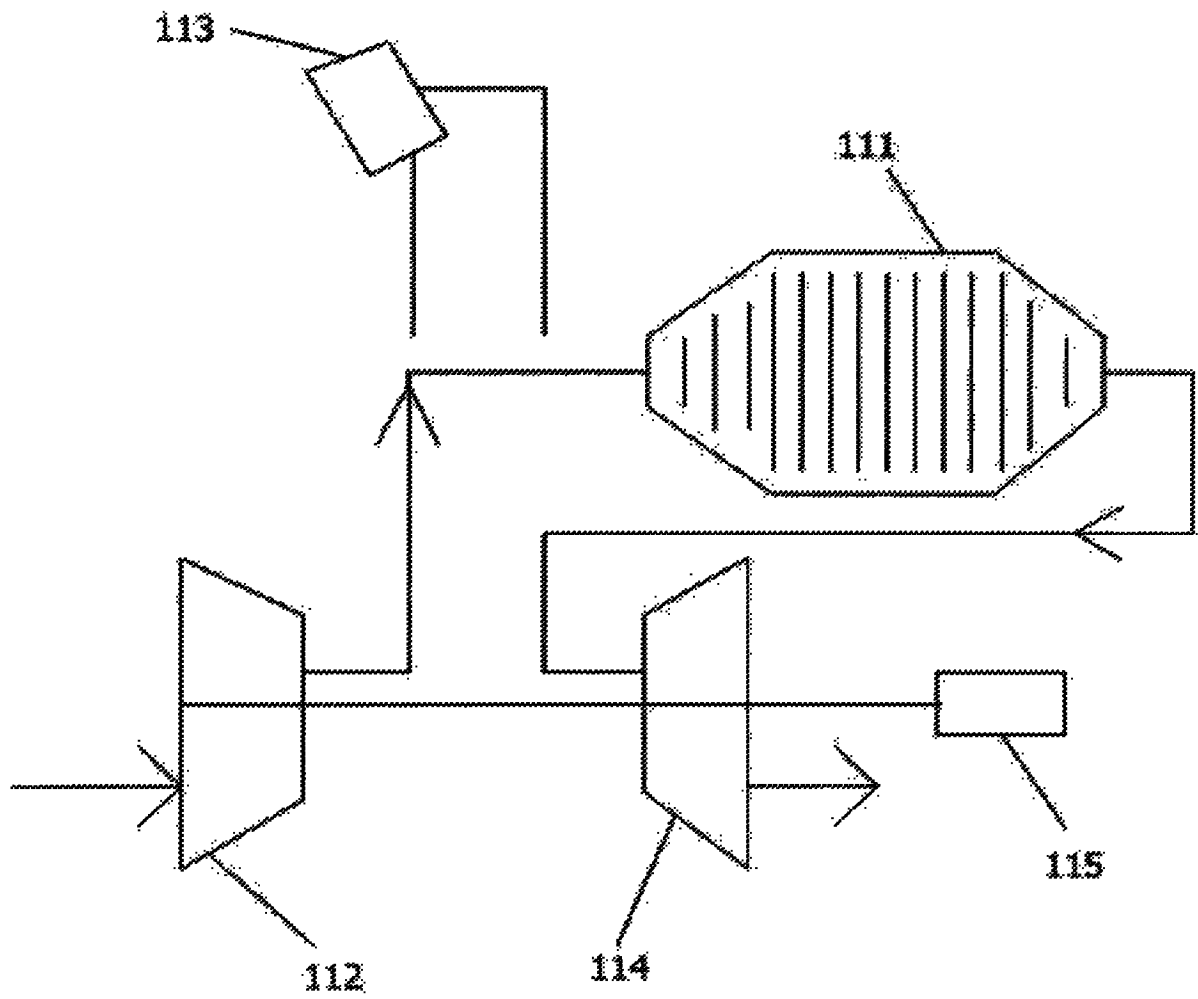


图 3b

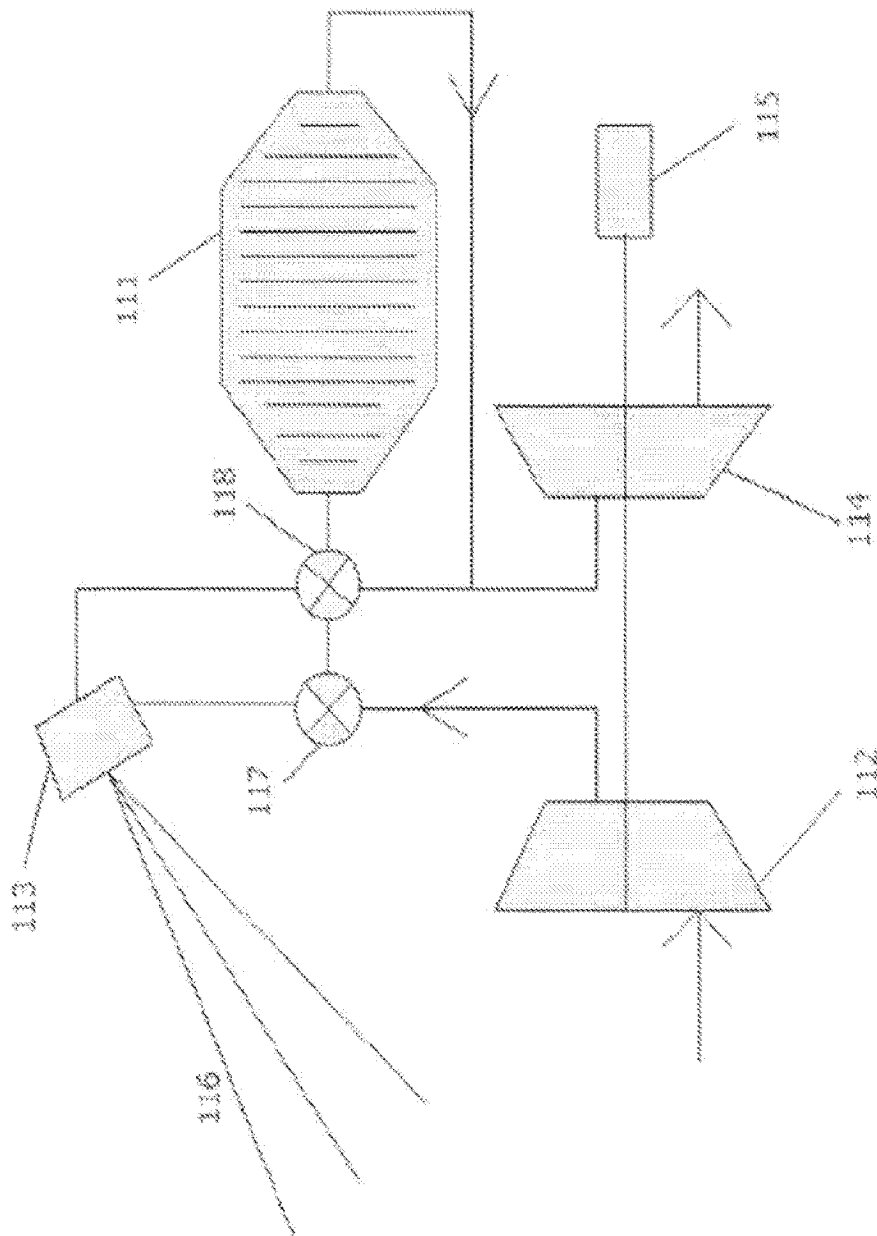


图 3c