



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101724903 B

(45) 授权公告日 2013. 02. 13

(21) 申请号 200910265726. 7

(22) 申请日 2005. 06. 17

(30) 优先权数据

60/581, 308 2004. 06. 18 US

11/155, 385 2005. 06. 17 US

11/155, 105 2005. 06. 17 US

11/155, 104 2005. 06. 17 US

(62) 分案原申请数据

200580028099. 5 2005. 06. 17

(73) 专利权人 MEMC 电子材料有限公司

地址 美国密苏里州

(72) 发明人 J·D·霍尔德

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 马江立 秘凤华

(51) Int. Cl.

C30B 29/06 (2006. 01)

C30B 15/02 (2006. 01)

C01B 33/037 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 11092276 A, 1999. 04. 06, 说明书
0001, 0011-0015 段、图 1, 4.

FR 2831881 A1, 2003. 05. 09, 附图.

JP 11092276 A, 1999. 04. 06, 说明书
0001, 0011-0015 段、图 1, 4.

审查员 王晓燕

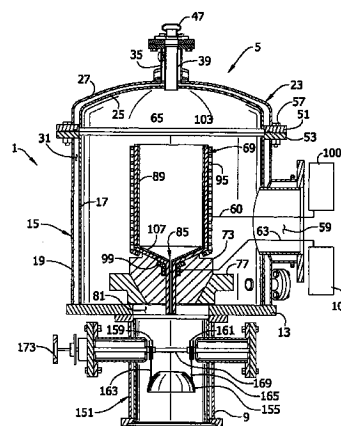
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 33 页

(54) 发明名称

向晶体形成装置装载熔融源材料的熔化器组件和方法

(57) 摘要

一种向用于形成晶体的晶体形成装置提供熔融源材料的装料的熔化器组件。该熔化器组件包括壳体 and 位于该壳体内部的坩埚。一加热器相对于该坩埚设置以熔化接纳在坩埚内的固态源材料。坩埚具有喷嘴以控制熔融源材料的流动, 以便可以选定的流量向晶体形成装置提供熔融源材料的定向流。还提供了一种向晶体形成装置装填熔融源材料的方法, 以及一种利用单个熔化器组件服务于多个晶体形成装置的方法。



1. 一种向晶体形成装置装填熔融源材料的方法,该方法包括以下步骤:
在该晶体形成装置上方安置熔化器组件,以便向该装置的坩埚输送熔融硅;
操作该熔化器组件内的上部加热线圈以使该熔化器组件的熔化坩埚内的源材料熔化;
操作该熔化器组件内的下部加热线圈以使熔融源材料流过该熔化器组件的孔口,以便向该晶体形成装置的坩埚输送熔融源材料的流。
2. 根据权利要求1的方法,其特征在于,还包括从限定一生长室的该晶体形成装置的下部壳体上取下定限一控制室的该晶体形成装置的上部壳体,并将该熔化器组件连接到该下部壳体上以代替该上部壳体。
3. 根据权利要求2的方法,其特征在于,还包括从该下部壳体上取下该熔化器组件,将上部壳体重新连接到该下部壳体上,并利用从该熔化器组件输送到该下部壳体内的坩埚的熔体来生长单晶体晶锭。
4. 根据权利要求2的方法,其特征在于,该晶体形成装置构成一第一拉晶机,该方法还包括从一第二拉晶机的下部壳体上取下该第二拉晶机的上部壳体,并将该熔化器组件连接到该下部壳体上以代替该上部壳体。
5. 根据权利要求2的方法,其特征在于,在将熔化器组件连接到晶体形成装置的下部壳体的步骤之后,进行使源材料熔化的步骤。
6. 根据权利要求1的方法,其特征在于,还包括在所述操作下部加热线圈的步骤的同时向该熔化器组件供给另外的固态源材料,并且还包括将固态源材料的质量流量控制为等于流出该熔化器组件的熔融源材料的质量流量。
7. 根据权利要求1的方法,其特征在于,包括在操作该上部加热线圈的步骤之前向熔化器组件供给一定量的固态源材料,其中操作该上部加热线圈的步骤包括保留源材料的堵塞部分不熔化以便堵塞该熔化器组件内的喷嘴。
8. 根据权利要求7的方法,其特征在于,操作该下部加热线圈包括使源材料的堵塞部分熔化以疏通该喷嘴。
9. 根据权利要求1的方法,其特征在于,操作所述下部加热线圈的步骤包括保持高于源材料的熔化温度的过热,以防止在源材料被输送到拉晶机的下部壳体时的坩埚时该源材料发生固化。
10. 根据权利要求1的方法,其特征在于,操作所述上部加热线圈的步骤包括建立高于熔化器组件的出口的熔体高度,以便输送预期质量流量的熔融硅,并且所述方法还包括相对于拉晶机对熔化器组件加压以保持熔融硅的预期质量流量。
11. 根据权利要求10的方法,其特征在于,给熔化器组件加压的步骤包括向熔化器组件添加惰性气体,以便对于每厘米的熔体高度下降对熔化器组件加压2托。
12. 根据权利要求1的方法,其特征在于,还包括通过中断下部加热线圈的操作来中断熔融硅流过该孔口,以形成防止从该孔口流出的源材料的固体堵塞物。
13. 根据权利要求1的方法,其特征在于,还包括以下步骤中的一个:从输送到该晶体形成装置的坩埚的熔体生长单晶体晶锭,以及从输送到该晶体形成装置内的坩埚的熔体形成多晶体。
14. 根据权利要求13的方法,其特征在于,所述多晶体为以下中的一个:通过边缘限定

薄膜生长方法形成的空心多边形硅体、多晶硅晶带、以及铸造硅体。

15. 一种使用单个熔化器组件服务于多个晶体形成装置的方法,该方法包括以下步骤:

在第一晶体形成装置上方安置该熔化器组件,以便将熔融硅输送到该第一装置的坩埚;

操作该熔化器组件内的加热器的上部加热线圈以使该熔化器组件的熔化坩埚内的源材料熔化;

操作该熔化器组件内的加热器的下部加热线圈以使熔融源材料的流通过该熔化器组件的孔口,从而从熔化器组件向第一晶体形成装置输送熔融源材料的流;

将该熔化器组件移动到第二晶体形成装置上方的位置,以便将熔融硅输送到该第二装置的坩埚;

从熔化器组件向第二晶体形成装置输送熔融源材料的流。

16. 根据权利要求 15 的方法,其特征在于,操作熔化器组件内的加热器的上部加热线圈以熔化源材料包括向加热器的上部感应线圈提供电功率,并且,操作该熔化器组件内的加热器的下部加热线圈以使熔融源材料的流通过该熔化器组件的孔口包括向加热器的下部感应线圈提供电功率以启动通过熔化器组件的孔口的流动。

17. 根据权利要求 15 的方法,其特征在于,还包括通过中断加热器的下部加热线圈的操作来中断熔融源材料从熔化坩埚流出,并形成防止从熔化坩埚流出的源材料的固体堵塞物。

18. 根据权利要求 15 的方法,其特征在于,还包括从输送到所述第一晶体形成装置和所述第二晶体形成装置中的至少一个的源材料生长单晶体晶锭。

19. 根据权利要求 15 的方法,其特征在于,还包括从输送到所述第一晶体形成装置和所述第二晶体形成装置中的至少一个的源材料形成多晶体,其中所述多晶体包括以下中的一个:通过边缘限定薄膜生长方法形成的空心多边形硅体、多晶硅晶带、以及铸造硅体。

20. 根据权利要求 15 的方法,其特征在于,将熔化器组件移动到第二晶体形成装置上方的位置包括提升该熔化器组件,所述方法还包括在向第二晶体形成装置输送熔融源材料的流之前,将熔化器组件连接到第二晶体形成装置的下部壳体。

向晶体形成装置装载熔融源材料的熔化器组件和方法

[0001] 本申请是申请号为 200580028099.5 的专利申请的分案申请,原申请的申请日为 2005 年 6 月 17 日,名称为“向晶体形成装置装载熔融源材料的熔化器组件和方法”。

技术领域

[0002] 本发明总体上涉及一种用于熔化固态硅的熔化器组件,尤其涉及一种用于向晶体形成装置装载熔融源材料的熔化器组件和方法。

背景技术

[0003] 通常使用直拉(“Cz”)法制备具有单晶体结构的单晶材料,该单晶材料是用于制造许多电子元件例如半导体器件和太阳能电池的原材料。简而言之,直拉法包括在位于专门设计的熔炉内的石英坩埚中熔化多晶体源材料例如颗粒或块状多晶体硅(“多晶硅”)以形成硅熔体。通常使惰性气体例如氩在该熔炉中流通。在坩埚上方一较小的籽晶安装在一拉制轴上,该拉制轴可升高或降低该籽晶。使坩埚旋转,并将籽晶降低到与坩埚内的熔融硅接触。当籽晶开始熔化时,将籽晶从熔融硅中缓慢地拉出并且籽晶开始生长,从而从熔体中拉出具有单晶体结构的硅。

[0004] 可通过本领域内已知的各种其它工艺来生产适于用作生产太阳能电池或其它电元件的原材料的大颗粒多晶体半导体结构。对于直拉法,可选的工艺包括利用熔融源材料(例如硅)生产具有预期的导电特性的固态晶体(例如晶锭、晶带(ribbon)等)的多种装置。这些工艺可包括块铸,其要求用熔融硅填充冷坩埚并使熔融硅固化且形成多晶体。通常被称为边缘限定薄膜生长(EFG)方法的另一种工艺包括通过使用毛细管模头(capillary die)部件生长具有受控尺寸的各种形状的空心晶体,该毛细管模头部件利用毛细管作用来帮助将熔融源材料从坩埚传送到连接到牵引机构的籽晶。另外,还存在各种晶带生长方法,该方法包括从源材料的熔体拉出的基本为扁平的晶带结构的生长。

[0005] 用于形成用于半导体器件和太阳能电池的半导体材料的各种现有方法通常包括直接在坩埚内熔化颗粒多晶硅或者向坩埚添加一份熔融硅的步骤。直接在坩埚内熔化颗粒多晶硅的一个缺陷是,多晶硅优选是高纯度的脱氢的硅以减少在熔化期间由于氢的释放导致的喷溅。坩埚内的喷溅会使硅沉积在晶体形成装置的热区的多个部件上,并且可能导致拉制的晶体不纯或者损坏热区内的具有石墨和碳化硅涂层的石墨部件。脱氢的化学汽相沉积(CVD)颗粒多晶硅比没有被脱氢的更易得到的 CVD 多晶硅昂贵,并且它的使用会增加通过各种方法生产的硅晶片或其它电元件的生产成本。

[0006] 其它的操作和机械问题是由于在晶体形成装置的主坩埚内熔化固态多晶硅导致的。例如,由于多晶硅与液态硅相比具有高导热系数和高发射率,所以需要大量的功率来熔化多晶硅。另外,在主坩埚内熔化固态多晶硅比较费时,通常需要 15-18 个小时来熔化一份 250 千克(551lbs)的多晶硅装料。此外,由于暴露在熔化固态多晶硅所需的高熔化温度下而在坩埚内引起的热应力(化学和机械的)会导致坩埚壁的粒子松动并悬浮在熔体内,使得晶体品质较低且会对坩埚造成永久性损坏。另外,坩埚会受到由于装载固态多晶硅颗粒

以及从坩埚壁取出颗粒而产生的机械应力,装载固态多晶硅颗粒会频繁地刮蹭坩埚壁,从而对坩埚造成损坏,而取出颗粒可能污染硅熔体以及由其形成的体部。

[0007] 多种现有方法试图消除在坩埚内熔化多晶硅的需要。这些现有方法包括提供安置在该主坩埚上方的用于熔化多晶硅的辅助坩埚,以便利用或不利用压力差的重力进料使熔融硅可以在晶体生长期间流入主坩埚。这些已有的现有方法不能有效和快速地熔化固态多晶硅,并且不能以减少在晶体形成装置的热区部分上的熔体喷溅的方式将熔化的硅传送到主坩埚。另外,现有方法不能提供一种加热固态多晶硅的快速和经济的方法,以减少熔化时间并增加晶体形成装置的通过量。因此,需要这样一种向晶体形成装置提供熔融硅的方法,该方法可快速和有效地熔化固态多晶硅,并以减少喷溅和保持得到的硅晶体的品质的方式将熔融硅传送到装置的主坩埚。

发明内容

[0008] 本发明的其中一些目标是,提供一种有助于向晶体形成装置充填熔融硅源材料的硅熔化器组件以及操作方法;提供一种可增加晶体产量和通过量的熔化器组件和方法;提供一种可提高品质的熔化器组件和方法;提供一种可快速加热固态硅的熔化器组件和方法;提供一种可对硅进行受控加热的熔化器组件和方法;提供一种可减小由于向晶体形成装置添加熔体导致的熔体喷溅的熔化器组件和方法;提供一种限制和隔离由于向熔融硅的容器添加多晶硅导致的粉尘和熔体喷溅的熔化器组件和方法;以及提供一种可用单个熔化器再填充多个晶体形成装置的熔化器组件和方法。

[0009] 总体上,本发明涉及一种用于向晶体形成装置提供熔融源材料的装料的熔化器组件。该熔化器组件包括壳体 and 位于该壳体内部的坩埚。一加热器相对于该坩埚设置以熔化接纳在该坩埚内的固态源材料。该坩埚具有适于控制熔融源材料的流动的喷嘴,以便以选定的流量向该装置提供熔融源材料的定向流。

[0010] 在本发明的另一个方面中,提供一种向拉晶机充填熔融硅的方法。该方法包括从限定一生长室的拉晶机的下部壳体取下定限一拉制室的该拉晶机的上部壳体的步骤。将熔化器组件连接到该下部壳体上以代替该上部壳体。使源材料在该熔化器组件内熔化。将熔化的源材料从熔化器组件输送到位于该晶体形成装置的下部壳体内部的坩埚,以便在该坩埚内形成用于生长单晶体晶锭的熔体。

[0011] 在又一方面中,本发明涉及一种用于向用于形成晶体的晶体形成装置提供熔融源材料的装料的熔化器组件。该熔化器组件包括壳体 and 位于该壳体内部的坩埚。一加热器相对于该坩埚设置以便熔化接纳在该坩埚内的固态源材料。一感受器(susceptor)支承该坩埚并促进该坩埚内的固态源材料的加热。该感受器具有间隔开的上部部分和下部部分,以允许对加热器进行独立控制。

[0012] 在本发明的另一个方面中,提供一种向晶体形成装置装填熔融源材料的方法。该方法包括相对于该晶体形成装置安置熔化器组件以便将熔融硅输送到该装置的坩埚的步骤。操作该熔化器组件内的上部加热线圈以熔化该坩埚内的源材料。操作该熔化器组件内的下部加热线圈以使熔融源材料流过该熔化器组件的孔口,以便向该晶体形成装置的坩埚输送熔融源材料的流。

[0013] 在本发明的又一方面中,提供一种用单个熔化器组件服务于多个晶体形成装置的

方法。该方法包括相对于第一晶体形成装置安置熔化器组件以便向该第一装置的坩埚输送熔融硅的步骤。操作该熔化器组件内的加热器以熔化该熔化坩埚内的源材料。从熔化器组件向第一晶体形成装置输送熔融源材料的流。相对于第二晶体形成装置安置熔化器组件以便向该第二装置的坩埚输送熔融硅。从该熔化器组件向第二晶体形成装置输送熔融源材料的流。

[0014] 本发明的其它目的和特征部分是显而易见的，部分将在下文指出。

附图说明

- [0015] 图 1 是本发明的熔化器组件的示意性垂直剖视图；
- [0016] 图 2 是形式为拉晶机的现有技术的晶体形成装置的示意性局部剖视图；
- [0017] 图 3 是安装在拉晶机的下部壳体上的熔化器组件的示意性局部剖视图；
- [0018] 图 4 是示出与熔化器组件分离的熔化坩埚、感受器 (susceptor) 和感应线圈的示意性垂直剖视图；
- [0019] 图 5 是与熔化器组件分离的感受器、熔化坩埚和感应线圈的正视图；
- [0020] 图 6 是沿包含图 5 的线 6-6 的平面的横剖视图；
- [0021] 图 7 是沿包含图 5 的线 7-7 的平面的横剖视图；
- [0022] 图 8 是感受器的分解垂直剖视图；
- [0023] 图 9 是示出喷嘴的熔化坩埚的放大的局部剖视图；
- [0024] 图 10 是与图 4 类似的示意性垂直剖视图，但是示出正在从进料器填充固态多晶硅的熔化坩埚；
- [0025] 图 11 是与图 10 类似的视图，但是示出熔化坩埚内的固态多晶硅的初始熔化；
- [0026] 图 11A 是与图 11 类似的视图，但是示出熔化坩埚内的固态多晶硅的进一步熔化；
- [0027] 图 12 是与图 11 类似的视图，但是示出熔化坩埚内的固态多晶硅的更进一步的熔化；
- [0028] 图 13 是与图 12 类似的视图，但是示出向熔化坩埚内添加固态多晶硅；
- [0029] 图 13A 是与图 13 类似的视图，但是示出熔化坩埚内的固态多晶硅的进一步熔化；
- [0030] 图 14 是与图 12 类似的视图，但是示出熔化坩埚内的固态多晶硅的进一步熔化；
- [0031] 图 15 是与图 14 类似的视图，但是示出液态硅流过熔化坩埚的出口以及向坩埚内添加固态多晶硅；
- [0032] 图 16 是与图 15 类似的视图，但是示出熔化坩埚内的熔体高度减小；
- [0033] 图 17 是与图 15 类似的视图，但是示出熔化坩埚的一个可选实施例；
- [0034] 图 18 是本发明的另一个实施例的熔化器组件的示意性剖视图；
- [0035] 图 19 是本发明的另一个实施例的熔化器组件的放大的局部示意性剖视图；
- [0036] 图 20 是本发明的另一个实施例的熔化器组件的示意图；
- [0037] 图 21 是图 20 的实施例的熔化坩埚的分解剖视图；
- [0038] 图 21A 是一种形式的熔体流动导向件的示意性剖视图；
- [0039] 图 21B 是第二种形式的熔体流动导向件的示意性剖视图；
- [0040] 图 21C 是第三种形式的熔体流动导向件的示意性剖视图；
- [0041] 图 22 是安装在晶体形成装置上的熔化器组件的另一个实施例的示意性剖视图；

[0042] 图 23 是熔化器组件的另一个实施例的示意性剖视图,示出在熔化坩埚和晶体形成装置的主坩埚之间传送液态硅;

[0043] 图 24 是形式为 EFG 拉晶机的现有技术的晶体形成装置的示意性局部剖视图;

[0044] 图 25 是安装在图 24 的晶体形成装置的下部壳体上的熔化器组件的示意性局部剖视图;

[0045] 图 26 是现有技术的晶带生长晶体形成装置的局部透视图;

[0046] 图 27 是安装在图 26 的晶体形成装置的下部壳体上的熔化器组件的示意性局部剖视图;

[0047] 图 28 是安装在形式为铸造坩埚的现有技术的晶体形成装置上方的熔化器组件的示意性局部剖视图;

[0048] 图 29 是定位成服务于一系列拉晶机中的第一拉晶机的熔化器组件的示意图。

[0049] 在附图中对应的部分由对应的参考标号指示。

具体实施方式

[0050] 参照图 1 和 2,总体上用参考标号 1 指示的本发明的熔化器组件可用于向本领域内通常已知的各种晶体形成装置提供熔融源材料。一种这样的晶体形成装置是用于根据直拉法生长单晶硅晶锭(例如如图 2 的晶锭 I)的传统拉晶机,其总体上用 CP 指示。图 2 内所示的拉晶机 CP 构造成生产硅晶锭 I。由本发明的熔化器组件提供的熔融源材料可以是硅或在晶体形成装置内使用以生产固态晶体的任何其它源材料(例如氧化铝、钛酸钡、铌酸锂、钇铝石榴石、锗、镓、砷化镓等)。

[0051] 拉晶机 CP 包括水冷壳体,该壳体包括包围下部晶体生长室 GC 的下部壳体 LH 和包围部分在图 2 中示出的上部控制室 PC 的上部壳体 UH。上部壳体 UH 和下部壳体 LH 通过带凸缘的连接部 FC 和锁定装置 LD 可拆卸地连接。上部壳体 UH 和下部壳体 LH 被门隔离阀 GV 隔开。可设置泵(未示出)或其它合适的装置以便在壳体内部抽真空。如图 3 所示,熔化器组件 1 可安装在拉晶机 CP 的下部壳体 LH 上而不是上部壳体 UH 上,并接纳来自重力进料器 GF 的固态颗粒多晶硅。如下文将更详细说明的,熔化器组件 1 熔化固态多晶硅并通过重力进料将熔融硅传送到拉晶机 CP 或其它晶体形成装置。

[0052] 再次参照图 2,拉晶机 CP 是用于根据直拉法生产单晶硅晶锭 I 的传统拉晶机。在所实施例中,拉晶机 CP 是由 Kayex Corporation of Rochester, New York 制造的型号为 FX150 的晶体生长器炉,但是应理解可使用其它拉晶机而不会背离本发明的范围。包围晶体生长室 GC 的下部壳体 LH 具有大致为拱顶形的上部壁 UW,并容纳安放在石墨感受器 S 中的石英晶体生长坩埚 CC。坩埚 CC 容纳熔融源材料 M,从该源材料生长单晶硅晶锭 I。感受器 CS 安装在转盘 T 上,该转盘用于使感受器 S 和坩埚 CC 围绕拉晶机 CP 的中心纵向轴线旋转。随着晶锭 I 生长和源材料从熔体移出,坩埚 CC 还能够在生长室 GC 内升高以便将熔融源材料 M 的表面维持在基本恒定的水平上。

[0053] 一电阻加热器 HC 围绕坩埚 CC 以用于加热坩埚,以便保持源材料 M 处于熔融状态。加热器 HC 被外部控制系统(未示出)控制,以便可在整个拉晶过程中精确地控制熔融源材料 M 的温度。一热屏蔽组件 HS 在熔融源材料 M 上方安装在生长室 GC 内,并且具有一中心开口,该中心开口的大小和形状制成在从源材料拉出晶锭 I 时可围绕晶锭 I。下部壳体 LH

内的围绕晶体生长坩埚的区域通常被称为拉晶机 CP 的“热区”。热区部分包括感受器 S、加热器 HC、热屏蔽组件 HS 和热反射器或绝缘器 I, 它们控制坩埚 CC 周围的传热以及生长晶体的冷却速率。

[0054] 一拉制轴 PS 从能够升高、降低和旋转该拉制轴的牵引机构 PM 向下延伸。根据拉晶机的类型, 拉晶机 CP 可具有牵引线 (未示出) 而不是轴 PS。拉制轴 PS 向下延伸通过拉制室 PC, 并在保持用于生长单晶体晶锭 I 的籽晶 C 的籽晶卡盘 SC 处终止。拉制轴 PS 的大部分在图 1 内被省略, 包括在其顶部和在其连接到卡盘 SC 处。在生长晶锭 I 时, 牵引机构 PM 降低籽晶 C 直到该籽晶接触熔融源材料 M 的表面。一旦籽晶 C 开始熔化, 则牵引机构 PM 使籽晶 C 向上缓慢地升高以穿过生长室 GC 和拉制室 PC, 以便生长单晶体晶锭 I。牵引机构 PM 使籽晶 C 旋转的速度以及牵引机构升高籽晶 SC 的速度由外部控制系统 (未示出) 控制。除了下文更详细说明的以外, 拉晶机 CP 的总体构造和操作是传统的, 并且是本领域内的普通技术人员已知的。此外, 应理解, 拉晶机 CP 可具有其它构型而不会背离本发明的范围。

[0055] 如图 1 和 3 所示, 熔化器组件 1 包括总体用 5 指示的熔化罐、和从该熔化罐的底部向下延伸以便连接到拉晶机 CP 的下部壳体 LH 的对接套环 9。熔化罐 5 包括环形基底 13, 总体用 15 指示的一管状侧壁从该基底向上伸出, 该侧壁由间隔开的内壁部件 17 和外壁部件 19 形成。熔化罐 5 的总体用 23 指示的顶壁大致为拱顶形, 并且由间隔开的内壁部件 25 和外壁部件 27 形成。管状壁 15 和顶壁 23 的隔开的壁部件限定了空腔 31, 冷却水可在该空腔中循环。位于罐 5 的顶壁 23 内的中心进料口 35 具有套管 39, 该套管接纳重力进料器 GF 的进料管 43。中心进料口 35 具有真空密封件 47 以密封熔化器组件 1 和重力进料器 GF 内的气氛。进料器和熔化器组件的气氛与拉晶机 CP 内的气氛具有基本相同的压力和组成。进料管 43 和套管 39 之间的配合应当是具有大约 13mm (1/2 英寸) 的径向间隙的松配合, 以容纳熔化器组件 1 内的熔体溅沫和灰尘。熔化罐 5 的顶壁 23 和管状壁 15 具有相应的配合凸缘 51、53, 这些配合凸缘接纳紧固件 57 以将顶壁和管状壁连接在一起。可取下顶壁 23 以允许进入熔化罐 5 内部。熔化罐 5 具有允许电源线 (60, 63) 和冷却管线 (未示出) 进入该熔化罐的侧部入口 59。侧部入口 59 具有真空密封件 (未示出), 该真空密封件围绕通过该入口的管线和电源线 60、63, 从而保持罐 5 内的气氛的压力和组成。

[0056] 熔化罐 5 包含总体用 65 指示的由合适材料例如熔凝石英 (或熔凝硅石) 制成的熔化坩埚, 该熔化坩埚安放在总体用 69 指示的石墨感受器组件上。感受器组件 69 由安装在平台 77 上的陶瓷底座 73 支承, 该平台 77 覆盖熔化罐 5 的环形基底 13 内的开口 81。平台 77 和环形基底 13 之间的紧密封防止熔体溅沫和灰尘从熔化罐 5 穿过对接套环 9 并进入拉晶机 CP。熔化坩埚 65 具有总体由 85 指示的喷嘴, 该喷嘴从坩埚的主体部 89 向下伸出 (悬垂) 并允许熔融硅从熔化坩埚流到拉晶机 CP 内的晶体生长坩埚 CC。感受器组件 69 (在形状上) 符合并围绕熔化坩埚 65 的主体部 89 和喷嘴 85。熔化器组件 1 具有围绕感受器组件 69 的上部部分和坩埚 65 的上部感应线圈 95, 以及围绕感受器的下部部分和坩埚喷嘴 85 的下部感应线圈 99。上部和下部感应线圈 95、99 连接到对应的电源 100、101 (在图 1 和 3 中示意性地示出), 该电源提供可流过每个对应线圈的电流。上部和下部线圈 95、99 可被单独控制, 从而可监控和调节流过每个线圈的电流而不必考虑流过其它线圈的电流。围绕熔化坩埚 65 和感受器 69 的上部和下部部分布置两个线圈 95、99 使得可在熔化坩埚的上部和下部部分中进行独立的温度控制。

[0057] 参照图 1 和 4, 熔化坩埚 65 的主体部 89 大致为圆柱形, 并且具有开放的顶端 103 和圆锥形底壁 107。喷嘴 85 从圆锥形底壁 107 向下伸出, 并且与主体部 89 共轴。在一个实施例中, 坩埚 65 的底壁 107 的内表面具有在大约 1 度 - 大约 60 度范围内的、更优选地大约 10 度的斜坡, 以有助于熔融硅流入喷嘴 85。在所示实施例中, 包含圆锥形底壁 107 的坩埚 65 的主体部 89 制成一个整体, 并且底部喷嘴 85 由熔合在该坩埚底壁上的石英管制成。在本发明的范围内还可使用其它构造。

[0058] 喷嘴 85 构造成产生从熔化罐 5 的流动, 该流动大致沿与喷嘴的中心线对齐的路径。重要的是, 从坩埚 65 流出的液态硅是定向流以减少对拉晶机 CP 的部件的喷溅和喷洒。在拉晶机 CP 的热区内不希望出现液态硅的喷溅和喷洒, 因为这可能会损坏热区的部件 (例如热屏蔽 HS、坩埚 GC、感受器 S 等), 并且可能产生松散的硅颗粒, 该硅颗粒可能落回到晶体生长坩埚内并危害晶体品质。如图 9 最清楚示出的, 熔化坩埚喷嘴 85 包括位于坩埚 65 的底壁 107 内的第一较大直径部分 109, 位于该较大直径部分下游的具有较小直径并形成喷嘴的孔口的第二部分 111, 以及位于该孔口下游的具有中间尺寸直径的第三部分 115。如下文更详细说明的, 喷嘴 85 的总长度以及第一、第二和第三部分 109、111、115 的对应的长度和直径的大小这样设定, 使得可保持熔融硅的流以最佳的流量从坩埚 65 流出并避免过早浇注。优选地, 从坩埚 65 流出的熔融硅的流是粘连的不间断的液体流, 但是应理解, 该流可包括从坩埚 65 流出的沿喷嘴 85 的中心线大致定向的液滴。应理解, 来自喷嘴 85 的熔融硅的流可能偏离喷嘴的中心线, 但是仍基本上沿喷嘴的路径定向而不会背离“大致定向”的含义。在一个实施例中, 熔融硅的流可偏离喷嘴 85 的中心线大约 40mm (1.6 英寸) 的最大距离, 但是仍在“大致定向”的含义内。

[0059] 如图 4-8 所示, 感受器组件 69 具有三个部分: 总体上由 121 指示的支承熔化坩埚 65 的大致为圆柱形的上部部分 (坩埚支承件), 用于支承坩埚 65 的圆锥形底壁 107 并开始熔化 (过程) 的圆锥形一体中间部分 (熔化感受器) 125, 和接纳熔化坩埚 65 的喷嘴 85 的下部出口部分 (喷嘴感受器) 129。上部部分 121 和下部出口部分 129 通过相应的环形间隙 130、131 与中间部分 125 间隔开。在所示实施例中, 上部部分 121 具有总体上由 123 指示的四个径向区段 (图 6), 这些区段均被径向间隙 132 隔开。在一个实施例中, 环形间隙 130、131 和径向间隙 132 从大约 3mm (1/8 英寸) 到大约 6mm (1/4 英寸)。间隙 130、131、132 隔离由上部线圈 95 和下部线圈 99 在感受器组件 69 内感应出的电流, 以便下部出口部分 129 被下部线圈感应出的电流加热, 中间部分 125 被上部线圈感应出的电流加热, 而上部部分 121 不被任何一个线圈感应出的电流加热。应理解, 上部线圈 95 和下部线圈 99 可装配在陶瓷体 (未示出) 内, 该陶瓷体在感受器组件的各个部分 121、125 和 129 之间的环形间隙 130、131 内包含石墨纤维绝缘材料 (未示出), 并在感受器组件的上部部分 121 的各个区段 123 之间的径向间隙 132 之间包含石墨绝缘材料 (未示出)。应理解, 绝缘材料可包括其它材料例如石英砂、陶瓷耐火纤维、玻璃 (vitreous) 耐火纤维或任何其它高温隔热和电绝缘材料。

[0060] 如图 5 和 6 所示, 上部体部 121 具有一系列指部 133, 该指部沿圆周方向间隔开以便在上部体部内形成间隙 137。指部 133 之间的间隙 137 和上部部分 121 的区段 123 之间的间隙 132 可防止上部部分与上部感应线圈 95 电耦合, 并防止感应电流在感受器组件 69 的指部中流动。在所示实施例中示出 16 个指部 133, 但是应理解感受器 69 可具有其它设计

而不会背离本发明的范围。每个径向间隙 132 将其中一个指部 133 分成两半,并且该(径向)间隙相互间隔开大约 90 度。指部 133 之间的间隙 137 优选地从大约 3mm(1/8 英寸)到大约 6mm(1/4 英寸)。由于在感受器组件 69 的指部 133 中不会感应出电流,所以感受器的上部部分 121 不会产生大量的电阻热。相反,通过上部和下部线圈 95、99 的感应电流对感受器组件 69 的下部部分的电阻加热,可加热熔化坩埚 65 和该坩埚的下部中的固态多晶硅。指部 133 没有受到感应加热,并且仅在坩埚中的硅由上部线圈 95 加热时通过辐射和传导被加热。

[0061] 如图 5-8 所示,感受器组件 69 的圆锥形中间部分 125 和下部出口部分 129 是实心结构,从而上部 and 下部感应线圈 95、99 与感受器在这些区域内的相应部分电耦合。中间部分 125 和出口部分 129 之间的间隙 131 使感受器组件 69 的这两个部分电绝缘,从而上部线圈 95 不会在下部出口部分中感应出电流,而下部线圈 99 不会在中间部分中感应出电流。提供给上部线圈 95 的电流产生交变磁场,该磁场导致电流在感受器组件 69 的位于指部 133 下方的中间部分 125 中流动。提供给下部线圈 99 的电流产生交变磁场,该磁场导致电流在感受器 69 的下部出口部分 129 内流动。感受器组件 69 中的感应电流沿与线圈 95、99 内的电流相反的方向流过感受器,并在感受器内产生电阻加热。通过对石墨感受器组件 69 的实心部分的感应加热,产生对坩埚 65 的底壁 107 的辐射和传导加热,从而使位于坩埚底壁上的固态多晶硅熔化。

[0062] 在电阻和传导加热已熔化坩埚 65 中的固态多晶硅的底部部分之后,上部线圈 95 的磁场在导电液态硅中感应出电流,该电流进一步加热液态硅并且通过液态硅的辐射和传导加热来增加坩埚内剩余的固态多晶硅的熔化速度。在一个实施例中,提供给线圈 95、99 的交流电流的频率从大约 3kHz 到大约 15kHz,并且功率值从大约 15kW 到大约 160kW。在一个实施例中,上部线圈 95 中的电流的频率为大约 10kHz 且功率为大约 160kW,下部线圈 99 中的电流的频率为大约 3kHz 且功率为大约 15kW。应理解,每个电源 100、101 可包括功率整流器、电动发电机、脉宽调制器换流器或任何其它用于向线圈提供交流电的装置。

[0063] 在一个实施例中,感受器组件 69 的圆柱形体部 121 可以具有大约 38cm(15 英寸)的高度,大约 20cm(8 英寸)的内径,大约 13mm(1/2 英寸)的壁厚。感受器 69 的圆锥形部分 125 的底壁可成一定角度(倾斜),以便对应于坩埚 65 的成一定角度的底壁 107,并且可以从大约 1 度 - 大约 60 度(更优选地大约 10 度)而不会背离本发明的范围。感受器 69 的下部出口部分 129 可从感受器的圆锥形部分 125 的底壁延伸出大约 16.5cm-30cm(6.5 英寸 - 大约 12 英寸)。应理解,这些尺寸仅是示例性的,坩埚 65 和感受器 69 可具有其它的尺寸而不会背离本发明的范围。

[0064] 可以改变通过上部线圈 95 的电流以控制坩埚 65 内的熔体的温度,并且可以改变通过下部线圈 99 的电流以控制通过坩埚喷嘴 85 的熔体的温度。例如,熔化坩埚 65 内的熔体的温度必须比硅的熔化温度(1414 摄氏度)高足够的量,以便被注入拉晶机 CP 的晶体生长坩埚 CC 内的熔体在从熔化坩埚自由下落到晶体生长坩埚期间保持高于硅的熔化温度。根据大约 5 英尺(1.5 米)的自由下落高度 F(图 3),通过喷嘴 85 的液态硅应具有至少 20 度的过热(对应于大约 1434 摄氏度的最小温度),以便硅的流在熔化坩埚喷嘴的较大直径部分 109 和拉晶机 CP 的晶体生长坩埚 CC 内的熔体 M 的表面之间的整个距离上保持液态。另外,通过熔化坩埚 65 的石英喷嘴 85 的熔融硅的温度不应超过大约 1465 摄氏度,以

防止由于过热的液态硅流过喷嘴而使喷嘴过度烧蚀。如果允许通过喷嘴 85 的熔融硅以高于 1465 摄氏度的温度流动,则第一和第二喷嘴部分 111、115 将过早地变得过大,并且液态硅的质量流量将超过多晶硅的预期熔化速率。通过喷嘴 85 的液态硅的质量流量应小于或等于坩埚 65 内的多晶硅的预期熔化速率,以便坩埚内的熔体高度在晶体生长坩埚 CC 填充期间基本保持恒定。如果来自坩埚 65 的流量超过多晶硅的熔化速率,则坩埚 65 内的熔体高度在晶体生长坩埚 CC 填充期间将下降,使得喷嘴 85 处的静压力减小。如果喷嘴 85 处的静压力下降到低于预定水平,则通过喷嘴的液态硅的流将变成无向的(即,不再大致沿喷嘴的中心线定向),导致在晶体生长坩埚 CC 处出现过度的喷洒和喷溅。

[0065] 为了使晶体生长率提高至少大约 10% 到 35% 的需要而减小熔体制备时间,熔化器组件 1 应以大约 50kg/hr- 大约 140kg/hr 范围内的优选质量流量输送液态硅。通过试验,来自熔化器组件 1 的液态硅的更优选的质量流量已被确定为大约 85kg/hr。孔口 111 的尺寸设定成具有这样的初始直径,即,根据比坩埚 65 的底部出口 85 高大约 250mm(10 英寸)的初始熔体高度 H(图 14),可提供大约 85kg/hr 的最佳液态硅质量流量。应理解,孔口直径和高于孔口 111 的熔体高度 H 将根据熔化坩埚 65 的直径和高度以及来自熔化器组件 1 的预期质量流量而改变。

[0066] 现在参照图 9,坩埚 65 的喷嘴 85 内的孔口 111 的初始直径 D1 为大约 2.3mm(0.09 英寸),该初始直径对应于大约 250mm(10 英寸)的初始熔体高度 H(图 14)和大约 85kg/hr 的液态硅流量。应理解,由于熔化器组件 1 用于用熔融硅填充连续的拉晶机 CP,所以孔口直径 D1 将由于液态硅从中流过导致坩埚喷嘴 85 的壁厚烧蚀而增加。因此,高于孔口 111 的初始熔体高度 H 优选地随着孔口直径的增加而减小,以保持液态硅的最佳质量流量。通过孔口 111 的液态硅的质量流量是通过应用 Torricelli 定律确定的,该定律规定离开孔口的液体的速度(v)等于高于孔口的高度(h)与重力常数(g)的乘积的 2 倍的平方根,或者

[0067]
$$V = (2 \times h \times g)^{1/2}$$

[0068] 其中 v = 通过孔口的液体的速度

[0069] h = 熔体高度 H, 以及

[0070] g = 重力常数。

[0071] 然后,通过将上式得到的液体速度乘以孔口的面积和液体的密度,来计算流过孔口 111 的液体的质量流量。

[0072] 通过调节在熔化器组件 1 连续操作期间保持来自坩埚 65 的液态硅的预期质量流量所需的熔体高度 H,来监控喷嘴 85 的孔口 111 的相对尺寸。当孔口 111 已被烧蚀成使得液态硅的预期质量流量超过可获得的熔化速率时,更换坩埚 65。在一个实施例中,在更换熔化坩埚 65 之前,可以允许孔口直径 D1 增加到 3.0mm(0.12 英寸)。为了在孔口直径 D1 为大约 3.0mm(0.12 英寸)时保持液态硅流量为 85kg/hr,熔体高度 H 必须降低到大约 177mm(7.0 英寸)。

[0073] 为了避免在液态硅撞击晶体生长坩埚 CC 内的熔池 M 时液态硅过度喷溅,液态硅的定向流必须从坩埚喷嘴 85 流到晶体生长坩埚内的熔体。根据各种喷嘴设计在液态硅流量为大约 85kg/hr 时的试验结果,熔化坩埚喷嘴 85 的优选设计被确定为,第一部分 109 的初始直径 D2 为大约 6-14mm(0.24-0.55 英寸)或更优选地大约 10mm(0.39 英寸),第一部分的长度 L1 为大约 50-60mm(1.96-2.4 英寸)或更优选地大约 55mm(2.16 英寸)。喷嘴 85 的孔口

111 的初始内径 D1 可以为大约 2.1-2.3mm(0.08-0.09 英寸)或更优选地大约 2.2mm(0.087 英寸),并且长度 L2 为大约 8-12mm(0.39-0.47 英寸)或更优选地大约 10mm(0.39 英寸)。第三部分 115 的内径 D3 可以为大约 3-8mm(0.12-0.31 英寸)或更优选地大约 3mm(0.12 英寸),并且长度 L3 为大约 76mm-210mm(3.0 英寸-8.3 英寸),更优选地大约 118mm(4.6 英寸)。已确定,喷嘴 85 的第三部分 115 的优选长度 L3(毫米)可用以下公式计算:

$$[0074] \quad L3 = 50 + (50 \times D3 / D1)$$

[0075] 上述公式可用于针对大约 50kg/hr- 大约 140kg/hr 的液态硅质量流量确定喷嘴 85 的第三部分 115 的优选长度 L3。应理解,喷嘴 85 的第一、第二和第三部分 109、111、115 的优选构型取决于各种因素,包括液态硅的预期质量流量。因此,本发明并不局限于文中列出的喷嘴 85 的特定尺寸。

[0076] 如图 3 所示,总体用 151 指示的防溅罩组件由对接套环 9 支承,并包括通过四条缆线 163、165(仅示出两条缆线)连接到四个滑轮 159、161(仅示出两个滑轮)的防溅罩 155,该缆线从该防溅罩向上延伸。滑轮 159、161 连接到轴 169,该轴具有可从对接套环 9 外部接近的手柄 173。在熔化器组件 1 的操作期间,可手动地转动手柄 173 以使轴 169 旋转从而升高或降低防溅罩 155。防溅罩 155 为倒置的碗形,其具有开放的顶部和底部以允许熔融硅通过防溅罩。防溅罩 155 可由熔凝石英、熔凝硅石、具有碳化硅涂层的石墨或其它合适的材料制成。防溅罩 155 的大小制成可适配在拉晶机 CP 的热屏蔽 HS 内,以便如图 3 的虚线所示,防溅罩可降低到接近晶体生长坩埚 CC 内的熔体 M 的表面。在液态硅在熔化器组件 1 和晶体生长坩埚 CC 之间输送期间,防溅罩组件 151 保护热屏蔽 HS 和其它热区部件不受拉晶机 CP 内的液态硅喷溅和喷洒。

[0077] 在使用时,本发明的熔化器组件 1 有效地熔化和倾注从重力进料器 GF 接收到的多晶硅。熔化器组件 1 具有模块化设计,其设计成可容易地连接到拉晶机 CP 以便使用液态硅再充填晶体生长坩埚 CC,然后从拉晶机 CP 上被取下以便安装用于生产硅晶锭 I 的上部拉制室 PC。熔化器组件 1 的便携式设计由于仅需要可服务于多个拉晶机 CP(例如八个)的单个熔化器组件而实现很大的成本节约。

[0078] 在空的熔化坩埚 65 的情况下,将冷却水(未示出)、电源(未示出)和清洗气(未示出)连接到熔化器组件 1。然后,关闭下部壳体 LH(图 2)中的闸门阀 GV 以便隔离下部壳体,将拉晶机 CP 的上部壳体 UH 从下部壳体上取下并如图 3 所示用熔化器组件 1 代替。在将熔化器组件 1 的对接套环 9 和下部壳体 LH 之间的带凸缘的连接部紧固之后,将熔化器组件 1 连接到多晶硅进料器 GF。在将进料器 GF 连接到熔化器组件 1 之后,通过抽真空来除去熔化器组件内的空气并用惰性气体(例如氩气)代替,以便熔化器组件内的压力大约等于拉晶机 CP 的压力(大约 10-30 托)。在熔化器组件 1 内的压力已经升高之后,打开闸门阀 GV 以允许拉晶机 CP 内的气氛扩散到熔化器组件 1 中。

[0079] 如图 10 所示,将颗粒多晶硅 GP 添加到熔化器坩埚 65 中以提供大约 4-7 千克的初始进料(对于内径为 20cm(8 英寸)的熔化坩埚),并且用于在 20cm(8 英寸)的熔化坩埚 65 中开始熔化(过程)的颗粒多晶硅的初始进料的最佳质量为大约 5 千克。接通电源 100 以便向围绕感受器 69 的上部线圈 95 提供 10kW 的交流电流。如图 11 所示,坩埚内的多晶硅 GP 的初始进料由于来自熔化(melt-in)感受器 125 的热量而开始熔化,并大致在颗粒多晶硅的初始进料的底部附近以及在坩埚 65 的底部的喷嘴 85 内的未熔化的固态多晶硅 GP

堵塞物上方形成熔融硅 LS。在图 11 的初始熔化阶段,未熔化的多晶硅 GP 的顶层通过中间层 SL 与熔融硅 LS 隔开,该中间层包括液态和固态多晶硅的半融混合物。中间层 SL 通过邻近熔化坩埚 65 的圆锥形壁 107 的环状空隙 AV 与熔融硅分隔开。当颗粒多晶硅 GP 熔化时,未熔化的颗粒多晶硅和液态硅 (LS) 之间的密度差造成熔化坩埚 65 内的空隙 AV。如图 11A 所示,随着向线圈 95 提供大约 12-16kW 的功率,坩埚 65 内的熔化继续进行,从而除了从熔融硅顶部上方间隔开的固态多晶硅的表壳 CL 之外,所有初始颗粒多晶硅 GP 熔化成熔融硅 LS。表壳 CL 保持熔融硅 LS 的热量,并防止由线圈 95 的感应力导致在坩埚中产生运动期间液态硅溅到坩埚 65 之外。在熔化过程的这一阶段,空隙 VS 将表壳 CL 与坩埚内的液态硅 LS 分隔开。如图 12 所示,通过在短时间间隔(例如 20-30 秒)内将提供给上部线圈 95 的功率增加到大约 60-70kW 以对该线圈提供脉冲,从而在表壳内形成开口 OG,以便液态硅 LS 的液面因线圈的感应力而升高并接触和熔化穿透表壳 CL。线圈 95 的短时间间隔内的脉冲持续大约 2 到 5 分钟,直到表壳 CL 被熔化穿透。

[0080] 在熔化穿透表壳 CL 之后,向坩埚 65 添加另外的颗粒多晶硅 CP(图 13)。在熔化过程的这一阶段,延伸到喷嘴 85 的第一部分 109 内的固态堵塞物 OP-该堵塞物防止熔融硅 LS 离开坩埚 65-使得在坩埚排放之前熔体高度 H 可升高到预期水平。如图 13A 所示,以大约最大的流量(例如大约 70-85kg/hr)添加颗粒多晶硅 CP,以使熔体高度开始升高并使表壳层 CL 的剩余物继续熔化。在此阶段,针对颗粒多晶硅 GP 的大约 70-85kg/hr 的最大流量,将提供给线圈的功率增加到大约 160kW。在所示实施例中,在此熔化阶段的熔体高度 H(图 13A) 大约为 38mm-89mm(1.5 英寸-3.5 英寸)。

[0081] 在熔化颗粒多晶硅 GP 的初始进料之后,将另外的颗粒多晶硅添加到坩埚中(图 13 和 13A) 并进行熔化,直到熔体高度 H(图 14) 升高到大约 250mm(10 英寸)。接着,将防溅罩 155 降低到拉晶机 CP 的热区,并在大致接近硅熔体 M 的表面处将防溅罩安置在晶体生长坩埚 CC 中(图 3 的虚线所示)。在降低防溅罩 155 之后(图 3),从电源 101 向下部线圈 99 提供功率以升高坩埚的底壁 107 的温度,并使坩埚喷嘴 85 内的固态堵塞物 OP 开始熔化(图 14)。在此阶段,减小提供给上部线圈 95 的功率以防止液态硅 LS 过热。当固态堵塞物 OP 已经被下部线圈 99 中的感应电流熔化之后,熔融硅 LS 开始从喷嘴 85 流出,并以大致与喷嘴的中心轴线对齐的定向流(图 15) 流过第一、第二和第三部分 109、111、115。当液态硅 LS 开始从坩埚 65 排出时,进料器 GF 应被设定为大约 85kg/hr 的目标多晶硅进料速度。在熔融硅 LS 从坩埚 65 流出期间,应监控坩埚内的液态硅的熔体高度 H,并相应地调节颗粒多晶硅 GP 的进料速度,以便将高度 H 保持在对应于孔口 111 的直径 D1 的最佳水平。如果熔体高度 H 高于该最佳值,则应减小多晶硅进料速度,而如果熔体高度低于该最佳值,则应增加进料速度。当从坩埚 65 排出熔融硅 LS 时,应调节提供给上部和下部线圈 95、99 的功率,以保持离开坩埚喷嘴 85 的液态硅的最佳过热量(例如至少大约 20 摄氏度)。

[0082] 一旦已从进料器 GF 输送出目标量的颗粒多晶硅 GP,则停止颗粒多晶硅的进料,并将供给上部线圈 95 的功率减小到大约 12kW。在此阶段,排空坩埚 65(图 16)。在必要时,可向熔化器组件中加入清洗气(例如氩气)以增加组件内的压力,并迫使任何剩余的硅以合适的速率从坩埚喷嘴排出。随着坩埚 65 内的熔体高度 H 下降,通过坩埚的出口 85 的液态硅 LS 的质量流量减小。清洗气可用于给坩埚 65 内的剩余液态硅 LS 加压,以便液态硅足以保持大致沿喷嘴的中心轴线定向的流的速度流出坩埚的喷嘴 85。已确定,对于熔体高

度 H 的大约每 10mm(0.4 英寸) 的降低, 熔化器组件 1 和拉晶机 CP 之间的压力差优选地为大约 2 托 (0.04psi), 以保持液态硅 LS 的预期质量流量。在完全排出所有液态硅 LS 的熔体之后, 可停止向上部和下部线圈 95、99 供电, 并将防溅罩 155 升高到对接套环 9 内。关闭下部壳体 LH 的闸门阀以隔离生长室 GC。然后, 用处于环境压力下的空气填充熔化器组件 1 以便氧化熔化器组件内存在的氧化硅, 并防止在熔化器组件与拉晶机分离时氧化硅不受控制地燃烧。在用空气填充熔化器组件 1 之后, 可使组件与拉晶机 CP 脱离连接并将组件存储在熔化和排放循环之间, 或者组件可立即准备再充填另一个拉晶机。在取下熔化器组件 1 之后, 可换上拉晶机 CP 的上部壳体 UH, 并且拉晶机准备用熔体 M 生产硅晶锭 I。

[0083] 本发明的熔化器组件 1 的操作使得拉晶机 CP 的晶体生长坩埚 CC 内的多晶硅源材料的总的熔化和填充时间大约为 5-5.5 个小时。对于 250kg(551lbs) 的装料, 拉晶机 CP 的晶体生长坩埚 CC 内的传统熔池制备的填充和熔化时间为大约 18 个小时。通过使用本发明的熔化器组件 1, 大大节省了时间, 从而显著增加了由熔化器组件 1 填充的每个拉晶机 CP 的晶锭 I 的产量。另外, 由于多晶硅的熔化被隔离在熔化器组件 1 内而没有发生在拉晶机 CP 的热区内, 所以可使用较便宜的未脱氢的多晶硅源材料, 这是因为由于添加包含较高含量氢的多晶硅而导致喷溅和喷洒被容纳在熔化器组件内。

[0084] 如图 29 所示, 本发明的熔化器组件 1 可用于服务于多个晶体形成装置 (例如拉晶机 CP)。熔化器组件 1 可如上所述进行操作以便向拉晶机 CP 输送熔融源材料 LS 的装料, 然后用提升机构 (未示出) 移动该熔化器组件并将其安装在相邻的拉晶机上。四个拉晶机 CP 如图所示定位以便由熔化器组件 1 提供服务, 但是应理解, 熔化器组件可服务于多于或少于四个的拉晶机而不会背离本发明的范围。

[0085] 首先相对于第一拉晶机 CP 定位熔化器组件 1, 并如上所述对熔化器组件 1 进行操作以便将熔融硅 LS 输送到第一拉晶机的坩埚 CC。如上所述, 操作加热器的上部和下部感应线圈 95、99 以使熔化坩埚 65 内的源材料熔化, 并输送熔融源材料流, 该流经由熔化器组件 1 的喷嘴 85 流到第一拉晶机 CP 的主坩埚 CC。在服务于第一拉晶机 CP 之后, 取下包围控制室 PC 的第二拉晶机的上部壳体 UH, 并将熔化器组件 1 安置在将第二拉晶机的下部壳体 LH 隔离开的闸门阀 GV 上方。可使用起重机 (未示出) 或其它提升机构相对于第一和第二拉晶机 CP 安置熔化器组件 1。起重机可用于将熔化器组件 1 升高到第一拉晶机 CP 上方, 以便可将熔化器组件传送到位于第二拉晶机上方的位置。在相对于第二拉晶机 CP 安置熔化器组件 1 之后, 将熔化器组件连接到第二拉晶机的下部壳体 LH。在将熔化器组件连接到拉晶机之后, 操作熔化器组件以便向第二晶体形成装置输送熔融源材料流。应理解, 服务于多个晶体形成装置的方法可应用于文中所述的晶体形成装置的任何实施例或任何其它的晶体形成装置, 而不会背离本发明的范围。此外应理解, 在完成熔化和填充循环之后, 熔化器组件 1 可保持静止不动, 并且可相对于熔化器组件移动拉晶机 CP 并用第二拉晶机 CP 代替该拉晶机 CP。应理解, 拉晶机可用于服务于多于或少于图 29 所示的四个拉晶机 CP。

[0086] 如图 17 所示, 其中示出总体用 201 指示的另一个熔化组件, 该组件与第一实施例的熔化组件 1 基本相同。图 17 的熔化组件 201 包括具有封闭的顶壁 207 的熔化坩埚 203。熔化坩埚 203 的封闭顶壁 207 可抑制在向坩埚内的熔融硅 LS 添加颗粒多晶硅 GP 时可能发生的喷溅。另外, 顶壁 207 可抑制在向熔化坩埚 203 装载颗粒多晶硅 GP 时产生的多晶硅粉尘。

[0087] 图 18 示出总体用 215 指示的熔化组件的又一个实施例,该熔化组件包括用于提供感应电流以使固态多晶硅 GP 熔化的上部线圈 219、中间线圈 221 和下部线圈 223。如前一个实施例一样,这种设计也包括具有封闭的顶壁 213 的熔化坩埚 227,但是应理解,这种设计也可结合顶端开放的坩埚设计而不会背离本发明的范围。此实施例的三线圈构造使得可通过控制提供给上部线圈 219、中间线圈 221 和下部线圈 223 的电流来实现熔体的温度调节。每个线圈 219、221、223 单独连接到其本身的电源以便独立控制通过每个线圈的电流。三个线圈 219、221、223 中的每一个产生的加热功率的量可被单独调节。

[0088] 这种设计添加了独立的中间线圈 221,使得可通过调节流过该中间线圈的电流独立地调节坩埚 227 的中部内的硅熔体的加热。这种设计的单独的下部线圈 223 使得可通过调节流过该下部线圈的电流的频率独立地调节流过出口 235 的硅的加热。另外,下部线圈 223 可用于在出口 235 建立磁场,该磁场将硅的流限制在比出口 235 的内径小的直径。通过出口 235 的流的直径减小使得可进一步控制来自坩埚 227 的熔体流量,并由于流过出口的液态硅与出口的内表面之间的接触减少而减小了出口的熔蚀率。

[0089] 图 19 示出总体用 251 指示的熔化器组件的再一个实施例,该熔化器组件包括具有封闭顶壁 259 的坩埚 255,该顶壁具有包含两个 45 度弯角 265、267 的多晶硅进料入口 263,该入口 263 用于容纳重力进料器 GF 的出口。这种设计可抑制在将固态多晶硅传送到坩埚时产生的多晶硅粉尘以及在多晶硅撞击坩埚内的熔体时经常发生的熔体飞溅。两个弯角形成防止飞溅的多晶硅到达重力进料器的曲折路径。另外,两个弯角容纳偏离熔化器组件的中心线的重力进料器,以便进料器可从该进料器的不同位置连接到熔化器组件。

[0090] 图 20 和 21 示出总体用 301 指示的熔化器组件的另一个实施例,该组件包括总体用 305 指示的具有多个室的坩埚。坩埚 305 包括具有底部喷嘴 311 的外部碗状件 309,焊接在该外部碗状件上并具有用于熔融硅 LS 流入的端口 317(仅示出其中两个端口)的过滤器圆筒 315,以及尺寸与底部喷嘴的尺寸相对应的内部圆筒堰 321。该堰 321 比碗状件 309 和过滤器圆筒 315 短且围绕喷嘴 311,以便圆筒堰内部的液态硅 LS 离开坩埚 305 的喷嘴。这种设计的熔化坩埚 305 具有被碗状件 309 和过滤器圆筒 315 之间的空间限定的熔化室 325,过滤器圆筒和堰 321 之间的控制室 329,以及由圆筒堰 321 内部的空间限定的排放室 333。

[0091] 喷嘴 311 可如上文所述的喷嘴 85 那样构造,并且可与电阻加热熔体流动导向件 337 结合使用。流动导向件 337 通过引导来自熔化坩埚 305 的液态硅流沿该流动导向件的外表面流动并流入生长坩埚 CC 来控制该液态硅的流动。在图 20 和 21A 的实施例中,熔体流动导向件 337 采取熔凝石英管的形式,其穿过外部碗状件 309 的喷嘴 311 并与排放室 333 沿轴向对齐。熔体流动导向件 337 在管的内侧上具有加热元件 339,该加热元件将流动导向件保持在大约等于或稍高于硅熔点(大约 1414 摄氏度)的温度。如图 21A 所示,流动导向件 337 向下延伸到拉晶机 CP 的晶体生长坩埚 CC(图 2)内,从而有助于熔融硅从熔化组件 301 流到拉晶机,以便减少在晶体生长坩埚内的飞溅和喷洒。流动导向件 337 可用任何合适的材料(例如熔凝硅石、熔凝石英、具有碳化硅涂层的石墨等)制成而不会背离本发明的范围。加热元件 339 可以是与钼、钨或石墨电阻加热器一起使用的电阻加热元件。或者,流动导向件 337 可由钼、钨或石墨感受器通过感应加热来加热。

[0092] 图 21B 示出形式为接纳熔化坩埚 305 的喷嘴 311 的管的流动导向件 341 的一种改变的类型。流动导向件 341 在管的外侧具有加热元件 343,以便熔融硅 LS 从喷嘴 311 流入

该管。与前一种型式一样,流动导向件 341 将来自熔化坩埚 305 的熔融硅 LS 的流引导到拉晶机 CP 的生长坩埚 CC(图 2)。与前一个实施例一样,可通过电阻加热、感应加热或任何其它的加热方法来加热流动导向件 341。

[0093] 图 21C 示出接纳熔化坩埚 305 的喷嘴 311 的流动导向件 345 的另一种型式。流动导向件 345 的尺寸使得从喷嘴流出的熔融硅 LS 的粘附流不会接触流动导向件的壁。由于熔融硅不会接触流动导向件 345 的壁,所以导向件不会像前面的型式一样具有加热元件。当来自喷嘴 311 的流进入生长坩埚 CC 内的液态硅熔池时,流动导向件 345 防止来自生长坩埚 CC 的液态硅 LS 接触拉晶机的热区部件。

[0094] 在图 20 和 21 的设计中,将颗粒多晶硅 GP 添加到熔化室 325 中,并且以与上述第一实施例类似的方式熔化多晶硅(即,由围绕坩埚 305 的感应线圈 341 感应加热)。当颗粒多晶硅 GP 在熔化室 325 内熔化时,熔融硅 LS 流过滤网圆筒 315 中的端口 317,并填充坩埚 305 的控制室 329。一旦控制室 329 内的熔融硅 LS 的液面达到圆筒堰 321 的高度,则熔融硅从堰的顶部溢出并开始离开坩埚 305 的喷嘴 311。熔融硅 LS 接触流动导向件 337,并沿大致与喷嘴 311 沿轴向对齐的方向以缓慢的受控的速度向下流到晶体生长坩埚 CC,以使坩埚内的熔体 M 的表面上的扰动最小。这样,熔化器组件 301 以一种减少液态硅向拉晶机 CP 的热区部件的喷溅的方式向晶体生长坩埚 CC 供给熔融硅 LS 的受控的流。过滤器圆筒 315 内的端口 317 位于液态硅 LS 的表面下方,以便不允许任何可能漂浮在液态硅中的未熔化硅从熔化室 325 进入组件 301 的控制室 329。

[0095] 图 22 示出总体用 351 指示的一种熔化器组件,除了此实施例的熔化器组件包括仅具有单个内部室 357 的熔化坩埚 355 之外,此组件与前一个实施例相同。坩埚 355 被用于熔化坩埚内的多晶硅的熔化感应线圈 361 环绕。坩埚 355 的出口 363 接纳熔体导向件 367,并被接收电源(未示出)的交流电流的下部感应线圈 371 环绕。下部感应线圈 371(也被称为悬浮阀)用作控制液态硅 LS 流出坩埚 355 的喷嘴阀。当电流正流过下部感应线圈 371 时,液态硅 LS 的流经中感应出的磁场足够强以阻止液态硅流出坩埚 355。通过接通和断开提供给下部感应线圈 371 的电流来控制液态硅从坩埚 355 的流动。

[0096] 图 23 示出总体上用 381 指示的熔化器组件的另一个实施例,除了该熔化器组件设计成通过从熔化坩埚 385 的顶壁 383 上方倾注液态硅以便将液态硅 LS 传送到晶体生长坩埚 CC 内以外,此实施例与前面的实施例相同。熔化器组件 381 包括加热熔化坩埚 385 以便在独立于拉晶机 CP 的受控环境中熔化固态多晶硅的加热器 389。加热器 389 可包括如上所述的感应线圈、电阻加热器或任何其它的适当加热器而不会背离本发明的范围。当固态多晶硅已熔化之后,将熔化坩埚 385 安置在晶体生长坩埚 CC 上方并使熔化坩埚 385 倾斜,以便从坩埚的顶壁上方倾注液态硅 LS 来填充晶体生长坩埚。可在拉晶机操作期间连续填充晶体生长坩埚 CC,或者可在拉晶过程结束时成批次填充。

[0097] 图 24 示出总体用 GA 指示的另一种现有技术的晶体形成装置,其形式为边缘限定薄膜生长(EFG)晶体生长装置。所示的特定装置 GA 构造成用于生长空心的 8 面多晶硅(未示出),但是应理解,该装置也可构造成用于形成具有其它形状的晶体。装置 GA 具有包围晶体生长室 GC1 的下部壳体 LH1 和包围控制室 PC1 的上部壳体 UH1。上部壳体 UH1 的大部分在图 24 内被省略。在所示实施例中,下部壳体 LH1 包围一坩埚/毛细管模头系统,该系统包括生长坩埚 GC1、毛细管模头 CD1、感受器 S1、内部加热器组件 IH1 以及外部加热器组

件 HA1。

[0098] 坩埚 GC1 容纳熔融源材料 SM1 (例如多晶体硅) 的装料, 并且被用于加热坩埚内的源材料的射频加热线圈 HC1 围绕。坩埚 GC1 具有总体用 EF1 指示的端面, 该端面中形成有大致靠近坩埚的周向边缘的毛细管间隙 CG1。毛细管间隙 CG1 和坩埚 GC1 的形状对应于由装置 GA 形成的多晶体的横截面形状。坩埚 GC1 在坩埚的内壁上形成狭槽 ST1, 以便熔融硅 SM1 可流入毛细管间隙 CG1 并且因毛细管作用而升高。在所示实施例中, 装置 GA 具有籽晶 SC1, 该籽晶为八边形以便与毛细管间隙 CG1 的形状相对应。降低籽晶 SC1 以便与毛细管间隙 CG1 内的熔融硅 SM1 接触, 从而开始生长过程。当籽晶 SC1 从毛细管模头 CD1 升高时, 间隙 CG1 内的熔融硅 SM1 被从该模头抽出, 从而来自坩埚 GC1 的熔融硅在毛细管间隙内因毛细管作用而升高以补充离开坩埚的材料。可参照美国专利 No. 5156978、No. 4647437、No. 4440728、No. 4230674 和 No. 4036666 以了解关于传统 EFG 晶体形成装置的其它信息, 这些专利的公开内容作为本文的参考。

[0099] 图 25 示出安装在图 24 的 EFG 晶体形成装置 GA1 上的本发明的熔化器组件 1。应理解, 通过取下包围控制室 PC1 的上部壳体 UH1 并将熔化器组件的对接套环 9 连接到晶体形成装置的下部壳体上的凸缘 FA1, 来将熔化器组件 1 连接到装置 GA1。然后以与上文所述类似的方式操作熔化器组件 1, 以便使用熔融硅 SM1 填充 EFG 晶体形成装置 GA1 的坩埚 GC1。当晶体形成装置 GA1 的坩埚 GC1 充满熔融硅 SM1 时, 取下熔化器组件 1 并用上部壳体 UH1 代替以便晶体形成装置进行操作。

[0100] 图 26 示出总体用 GA2 指示的另一种现有技术的晶体形成装置, 本发明的熔化器组件 1 可用于该装置以提供熔融源材料 SM2。图 26 的晶体形成装置 GA2 是利用线稳定生长 (String Stabilized Growth) (SSG) 法来生产固态晶带 CR2 的拉晶装置, 该晶带是从容纳在坩埚 GC2 内的熔体 SM2 生长的。此晶体形成装置 GA2 生成由大颗粒多晶硅或单晶硅组成的薄且宽的片, 其适用于生产太阳能电池或其它半导体器件。

[0101] 如图 26 所示, 装置 GA2 包括穿过坩埚 GC2 和容纳在坩埚中的熔体 SM2 的两条间隔开的线 SS1、SS2。由电连接到坩埚 GC2 的直流源 (未示出) 在熔体 SM2 中感应出电流, 该电流导致熔体进行流动循环。坩埚 GC2 内的空心屏障 HB2 减小了生长晶体 CR2 的熔体的深度, 并提高了晶体的品质。应理解, 固态多晶硅 (未示出) 可经由供给管 ST2 添加到坩埚 GC2 并在其中熔化以形成熔体 SM2。加热线圈 HC2 (图 27) 围绕坩埚 GC2 以便加热坩埚内的固态源材料和熔体 SM2。坩埚 GC2 具有用于在熔体 SM2 变得不纯之后清空坩埚以便使用新的源材料代替该熔体的熔体管 MT2。当线 SS1、SS2 被向上抽离坩埚 GC2 时, 线之间的液态硅从坩埚中移出并在冷却时固化以形成固态多晶硅的晶带 CR2。应理解, 图 26 的装置将包括包围坩埚 GC2 的下部壳体 LH2 (见图 27), 以及包围用于牵引所述线和晶带 CR2 的牵引装置的上部壳体 (未示出)。可参照美国专利 No. 4689109、No. 4661200 和 No. 4627887 以了解关于 SSG 晶体形成装置的其它信息, 这些专利的公开内容作为本文的参考。

[0102] 如图 27 所示, 本发明的熔化器组件 1 可代替上部壳体安置在 SSG 拉晶装置 GA2 的坩埚 GC2 上方, 以便使用熔融硅 SM2 再充填坩埚。熔化器组件 1 将以与上述实施例类似的方式操作, 以将熔融硅 SM2 输送到 SSG 晶体形成装置 GA2。

[0103] 如图 28 所示, 本发明的熔化器组件 1 可用于向总体用 GA3 指示的铸造装置提供熔融源材料 SM3, 该铸造装置用于铸造固态晶锭 SI3。在图 28 的实施例中, 铸造装置 GA3 是连

续铸造装置,其具有位于总体用 MD3 指示的模具下方的可缩回支承件 SP3。在所示实施例中,模具 MD3 包括被射频线圈 RC3 围绕的一系列间隔开的坩埚指部 CF3。射频线圈 RC3 在坩埚指部 CF3 中感应出电流,并在熔融源材料 SM3 中感应出反向电流,以便熔融材料被从坩埚指部排斥并被容纳在铸造装置 GA3 内。冷却液(未示出)循环通过坩埚指部 CF3 以帮助冷却熔融源材料 SM3。

[0104] 通过降低支承件 SP3 以远离坩埚指部 CF3 从而在铸造装置 GA3 内形成固态硅晶锭 SI3。当缓慢地降低可缩回的支承件 SP3 以远离坩埚指部 CF3 的底部时,在熔融材料 SM3 底部内的感应电流逐渐减小,使得熔融材料可在从坩埚指部远离时冷却。当降低支承件 SP3 时铸造晶锭 SI3,使得从坩埚指部 CF3 被移走的熔融源材料 SM3 冷却和固化。通常,从装置 GA3 的顶部添加的固态源材料(未示出)在该装置内熔化以补充在可缩回支承件 SP3 降低时被移走的熔融材料 SM3。如图 28 所示,本发明的熔化器组件 1 可安装在坩埚指部 CF3 上方,以补充用于铸造固态晶锭 SI3 的熔融源材料 SM3 的量。

[0105] 可以和上文所述类似的方式操作熔化器组件 1,以便向铸造装置 GA3 提供熔融源材料 SM3 的定向流。在所示实施例中,首先将熔化器组件 1 安置在铸造装置上方,以便可将熔融源材料 SM3 输送到由坩埚指部 CF3 形成的模具 MD3。在向熔化器组件 1 添加颗粒多晶硅 GP(图 10)之后,操作熔化器组件内的上部加热线圈 95 以使熔化坩埚 65 内的源材料熔化。操作下部加热线圈 99 以使坩埚喷嘴 85 上方的固态堵塞物 OP 熔化,以便熔融源材料 LS 流过熔化器组件 1 的孔口 111,从而向晶体形成装置 GA3 的坩埚 GC3 输送熔融源材料的定向流。在晶体形成装置的坩埚 GC3 已充满之后,中断下部加热线圈 99 的操作,以允许在熔化器组件内形成固化的源材料的固态堵塞物 OP。当从铸造装置 GA3 取下铸造晶锭 SI3 或将新的铸造装置安置在熔化器组件下方以便生产下一个铸造多晶体时,固态堵塞物 OP 防止熔融源材料 LS 从熔化器组件 1 流出。

[0106] 应理解,可用具有实心壁的传统水冷坩埚模具代替图 29 所示的铸造装置 GA3 而不会背离本发明的范围,该水冷坩埚模具用于批量铸造固体晶锭。可参照美国专利 No. 4769107、No. 4572812 和 No. 4175610 以了解有关能够利用本发明的熔化器组件 1 的铸造工艺的其它信息,这些专利作为本文的参考。

[0107] 当介绍本发明或其优选实施例的元件时,冠词“一”、“该”和“所述”是指存在一个或多个该元件。术语“包括”、“包含”和“具有”是包含性的,并且是指除了列出的元件之外还可能存在其它元件。

[0108] 从上文可以看出,已实现本发明的多个目的并获得了其它有利的结果。

[0109] 由于可对上述构造进行各种改变而不会背离本发明的范围,但是以上说明书中包含的或附图中所示的所有内容都应理解为是说明性的而不是限制性的。

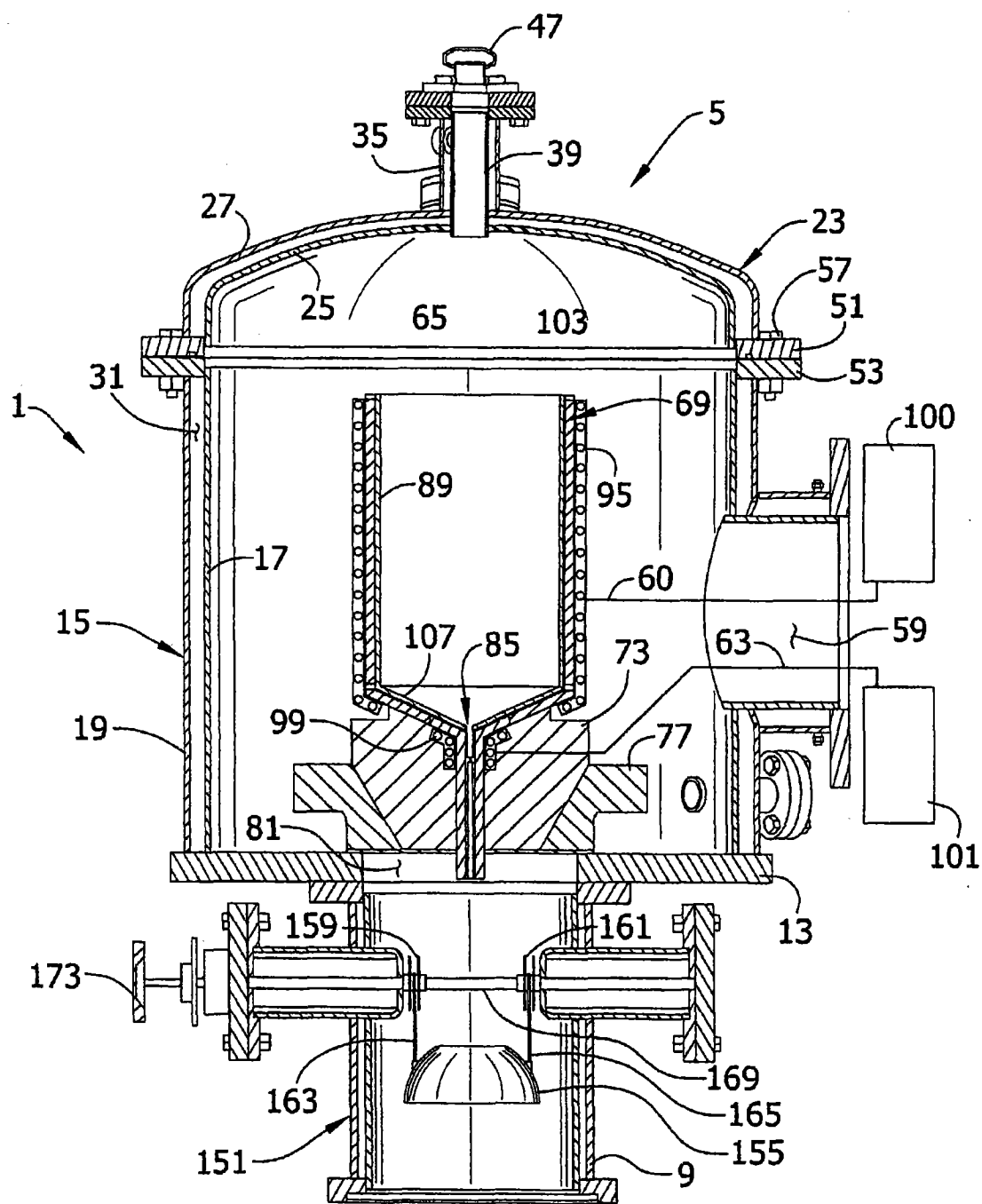


图 1

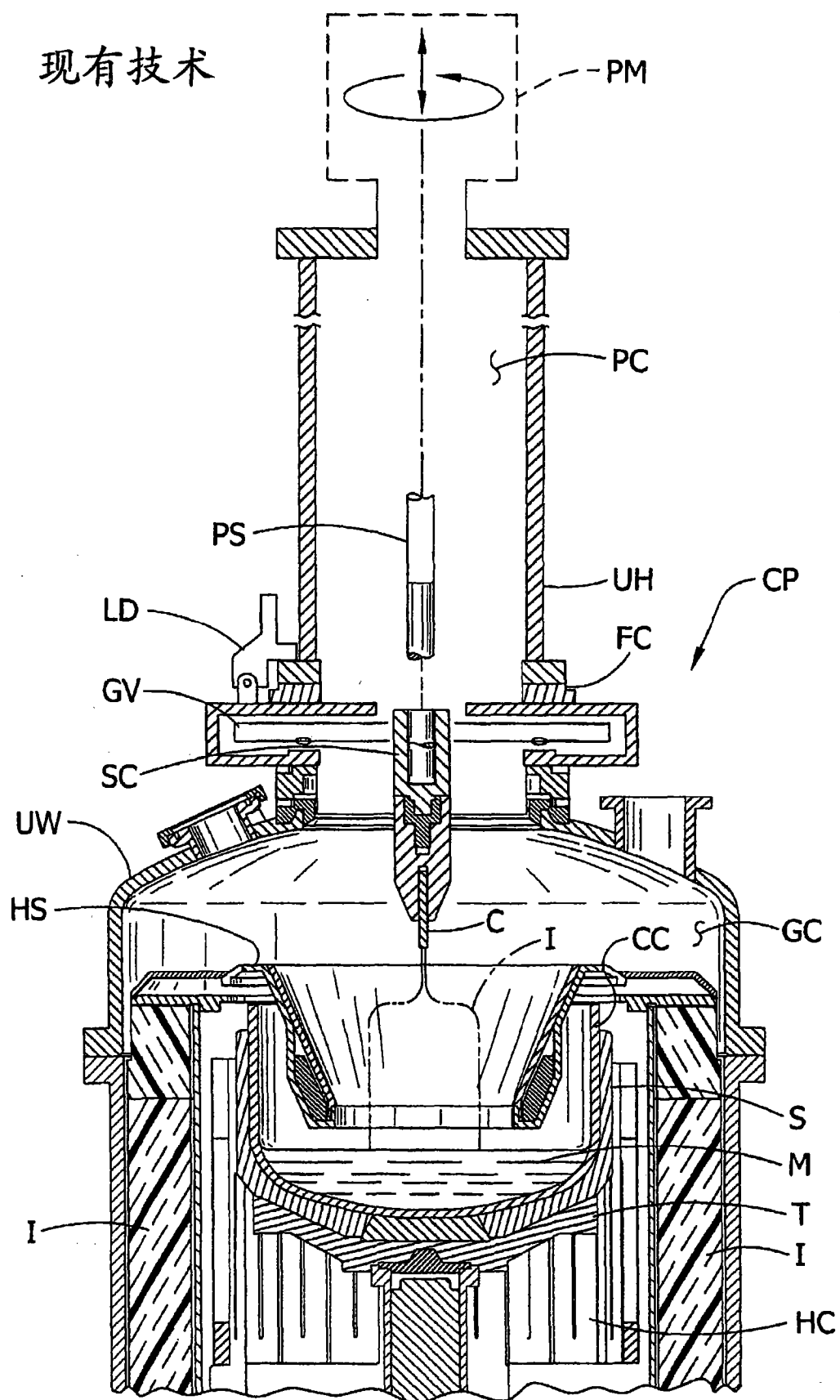


图 2

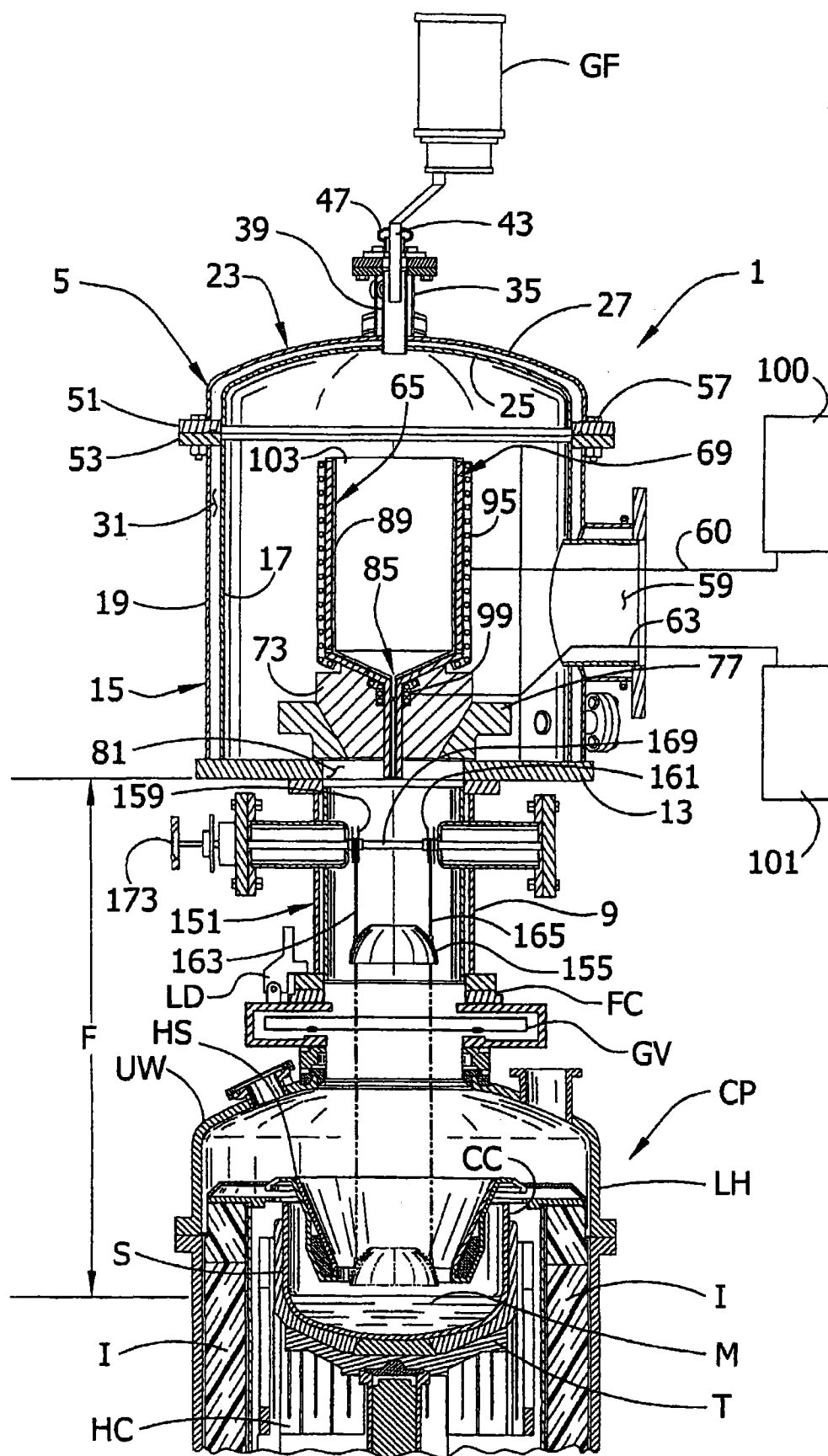


图 3

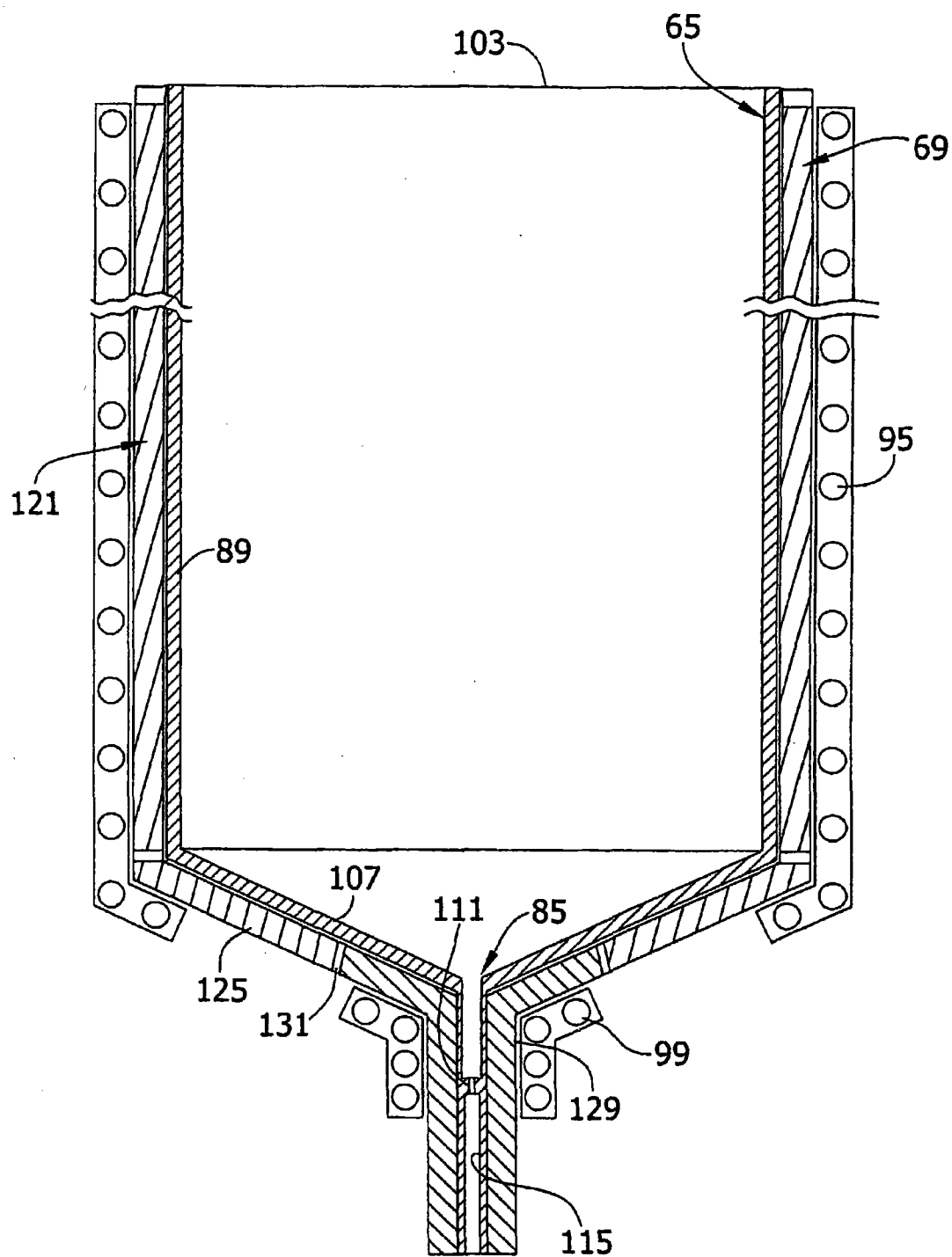


图 4

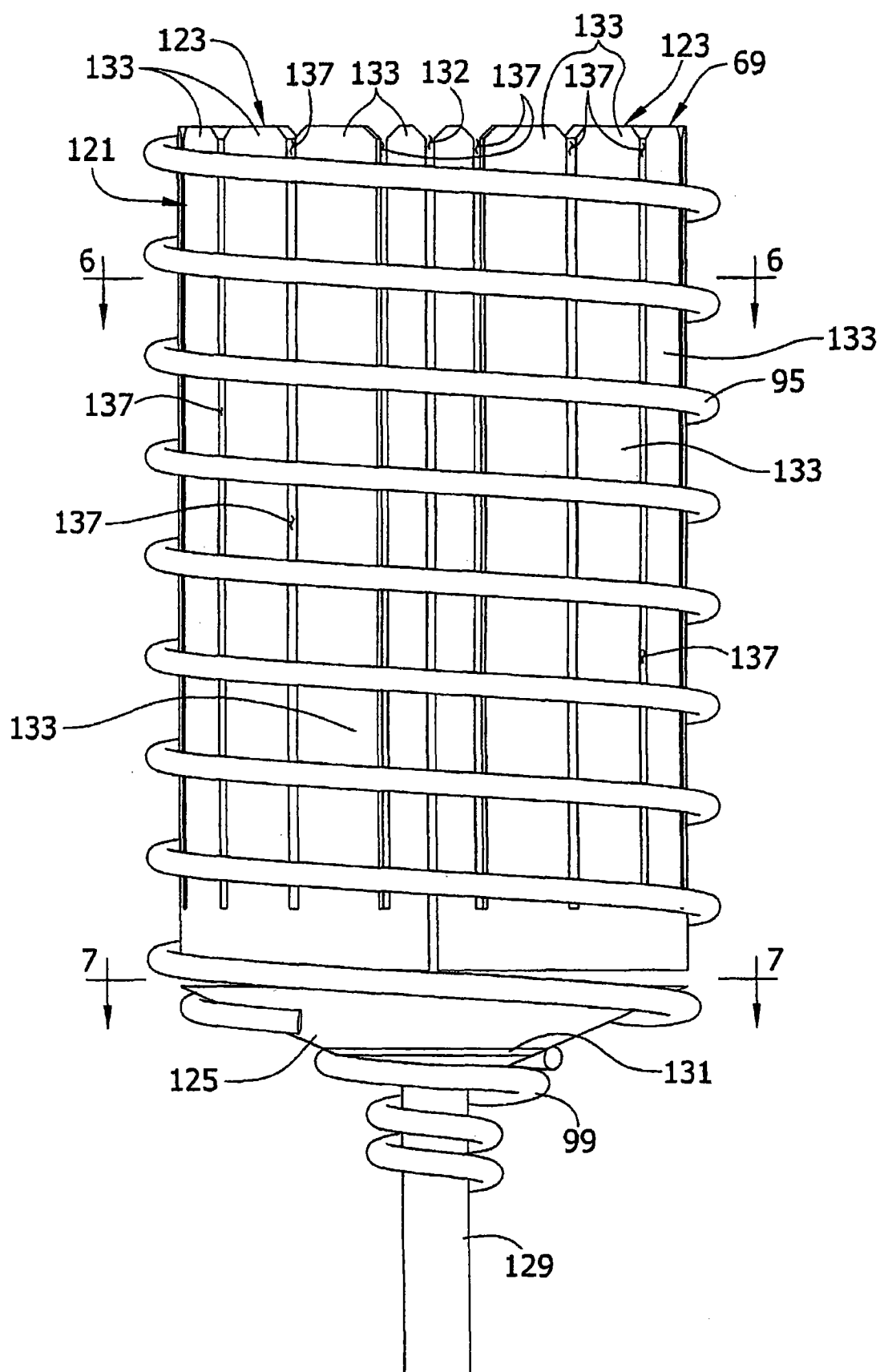


图 5

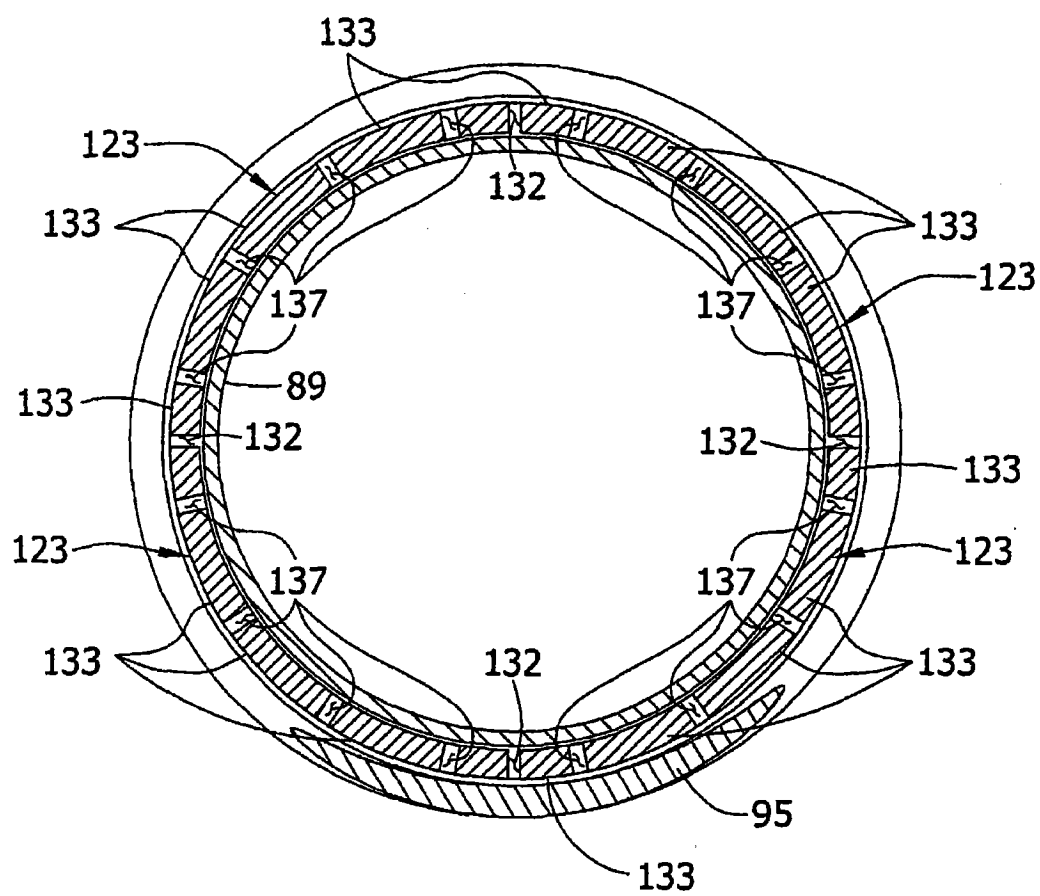


图 6

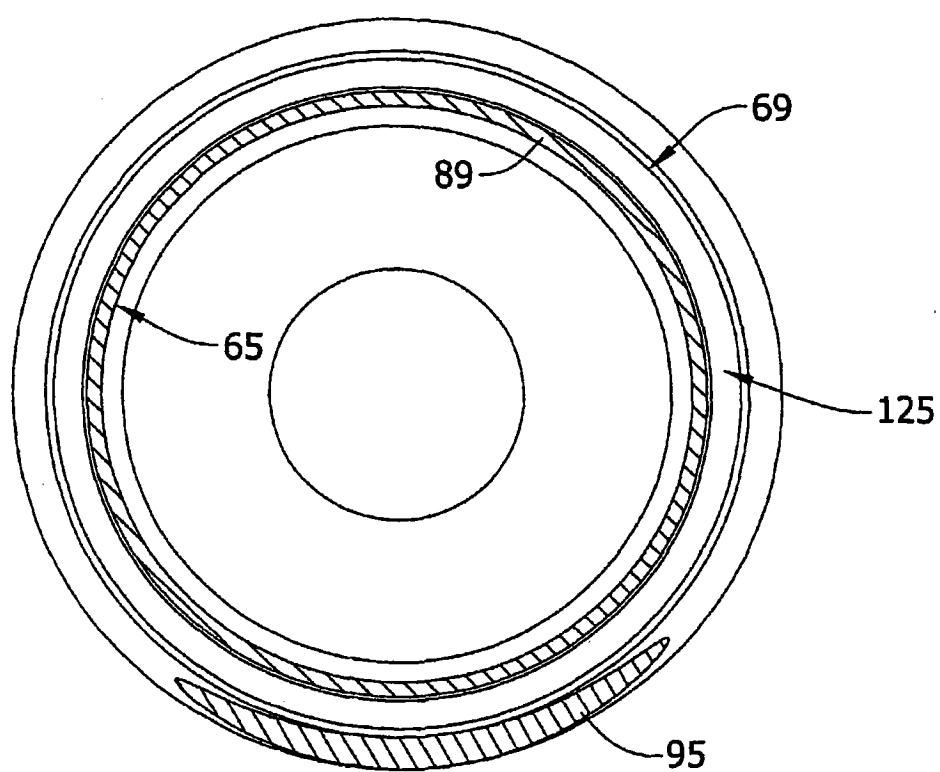


图 7

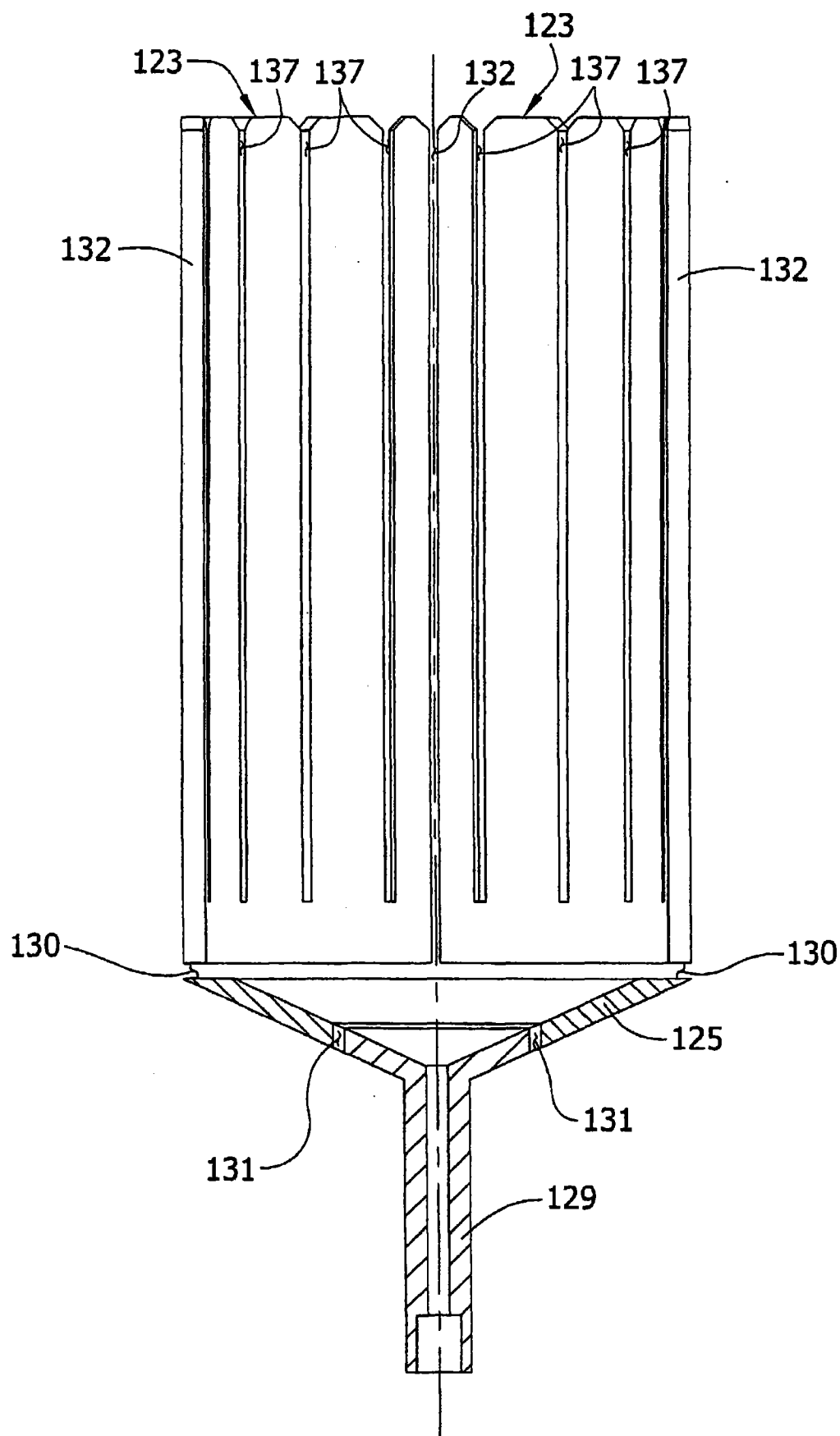


图 8

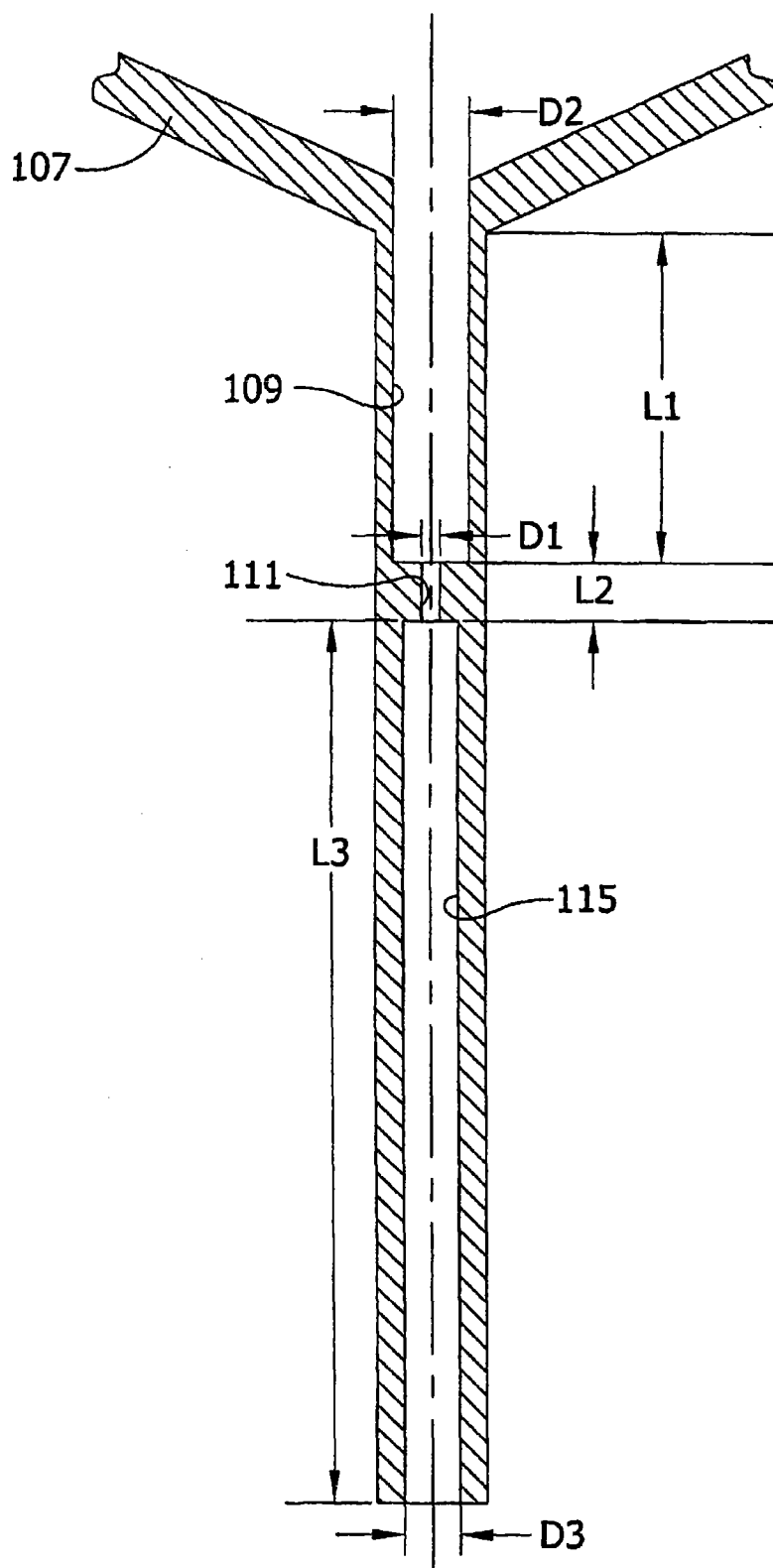


图 9

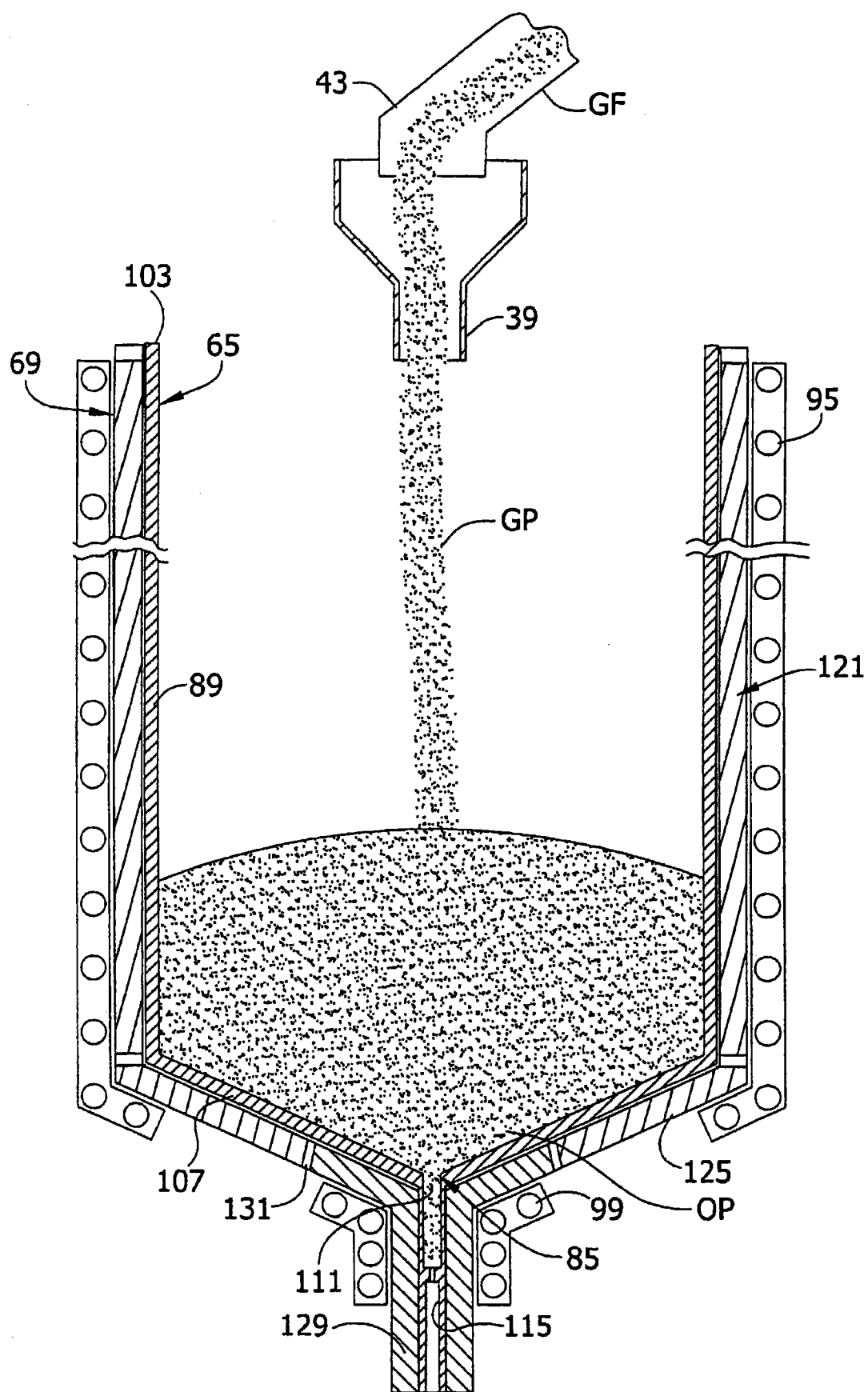


图 10

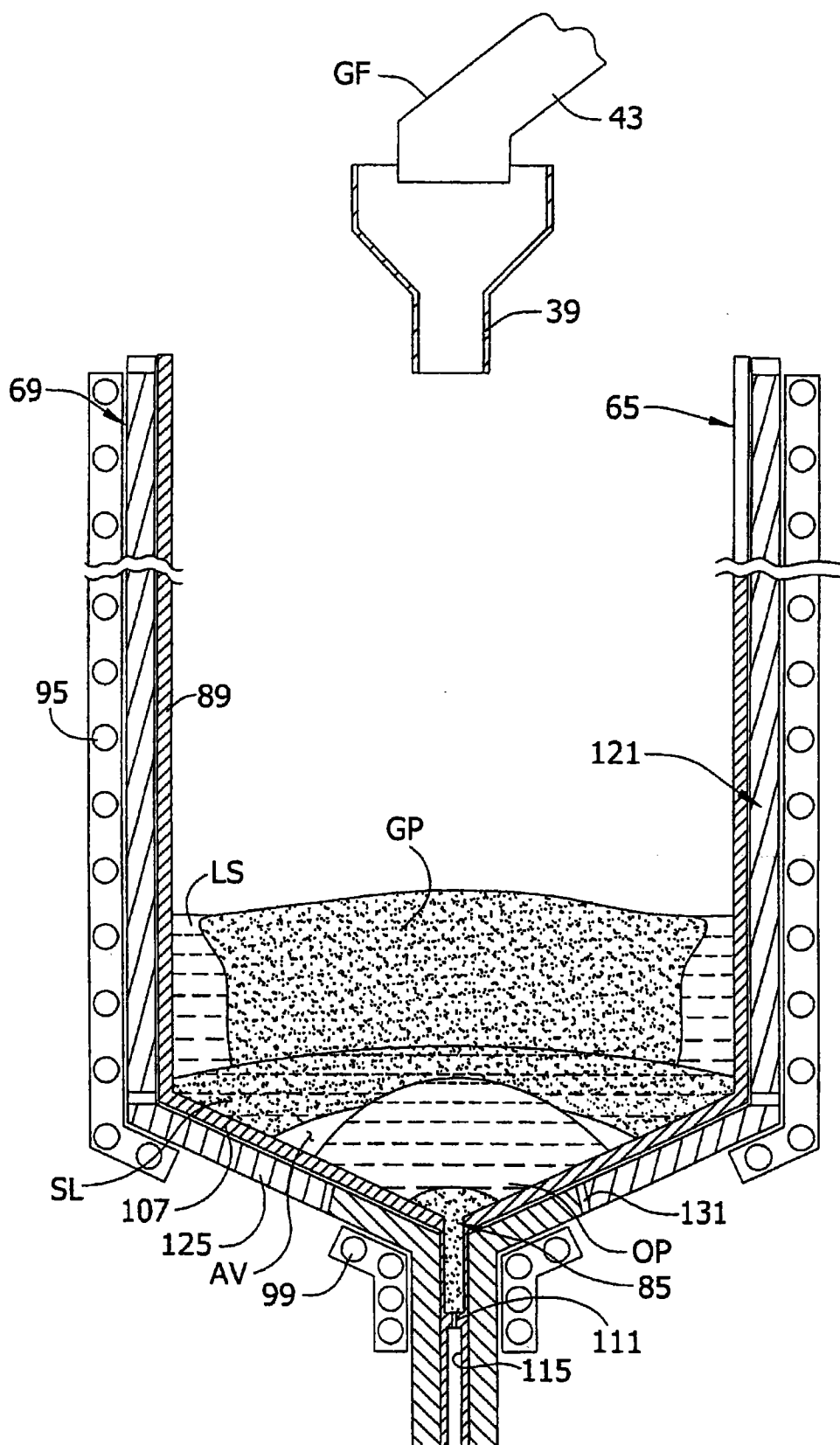


图 11

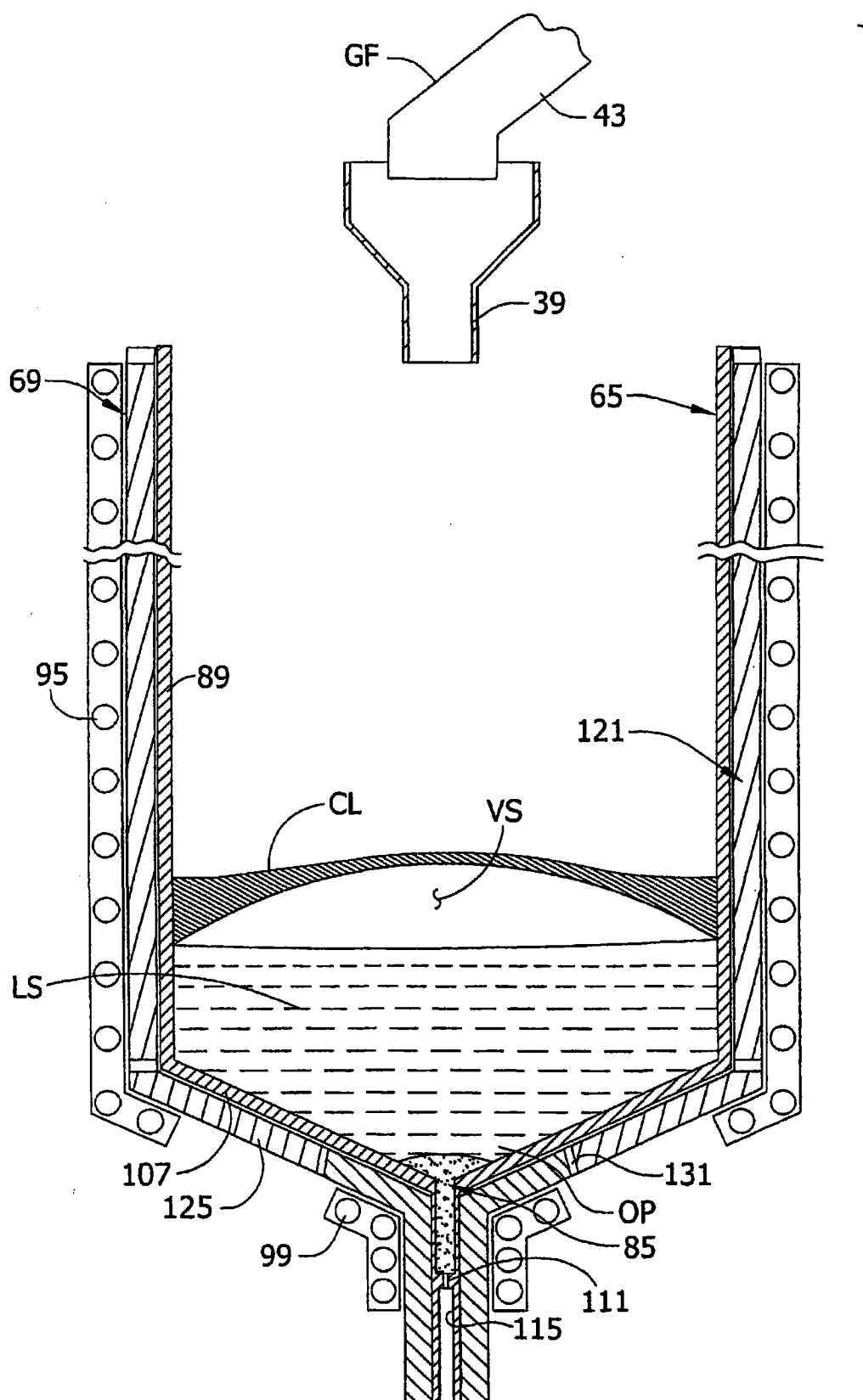


图 11A

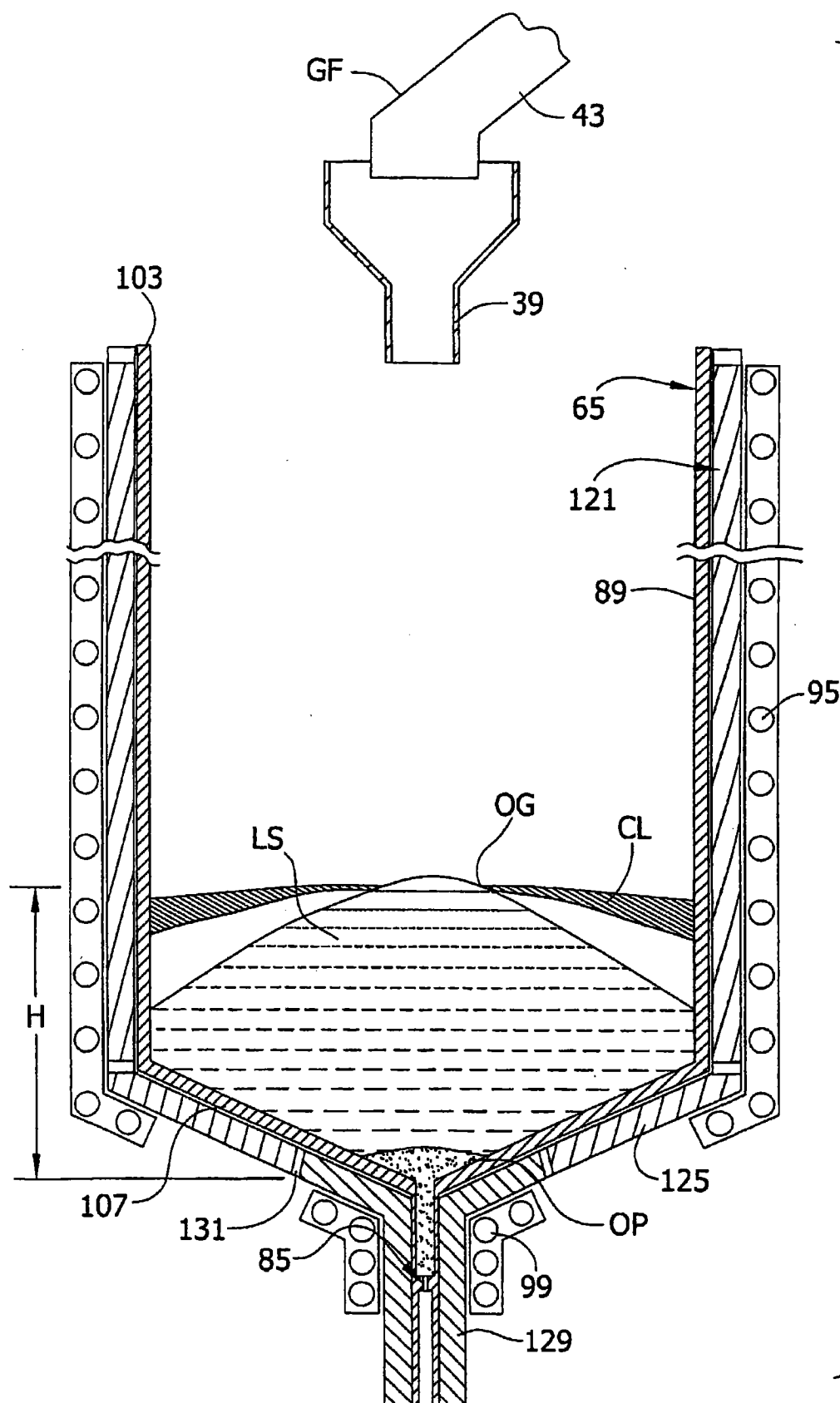


图 12

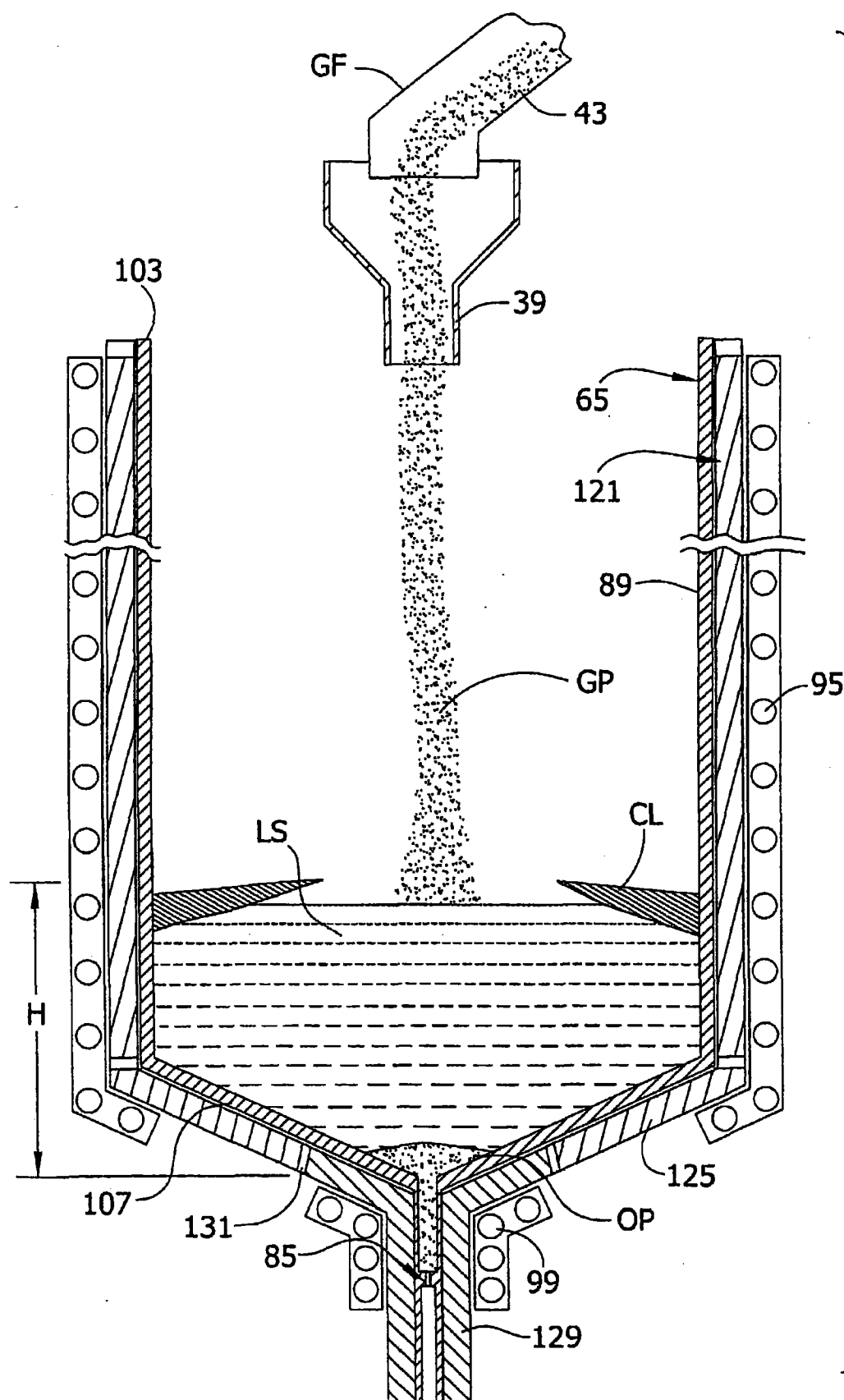


图 13

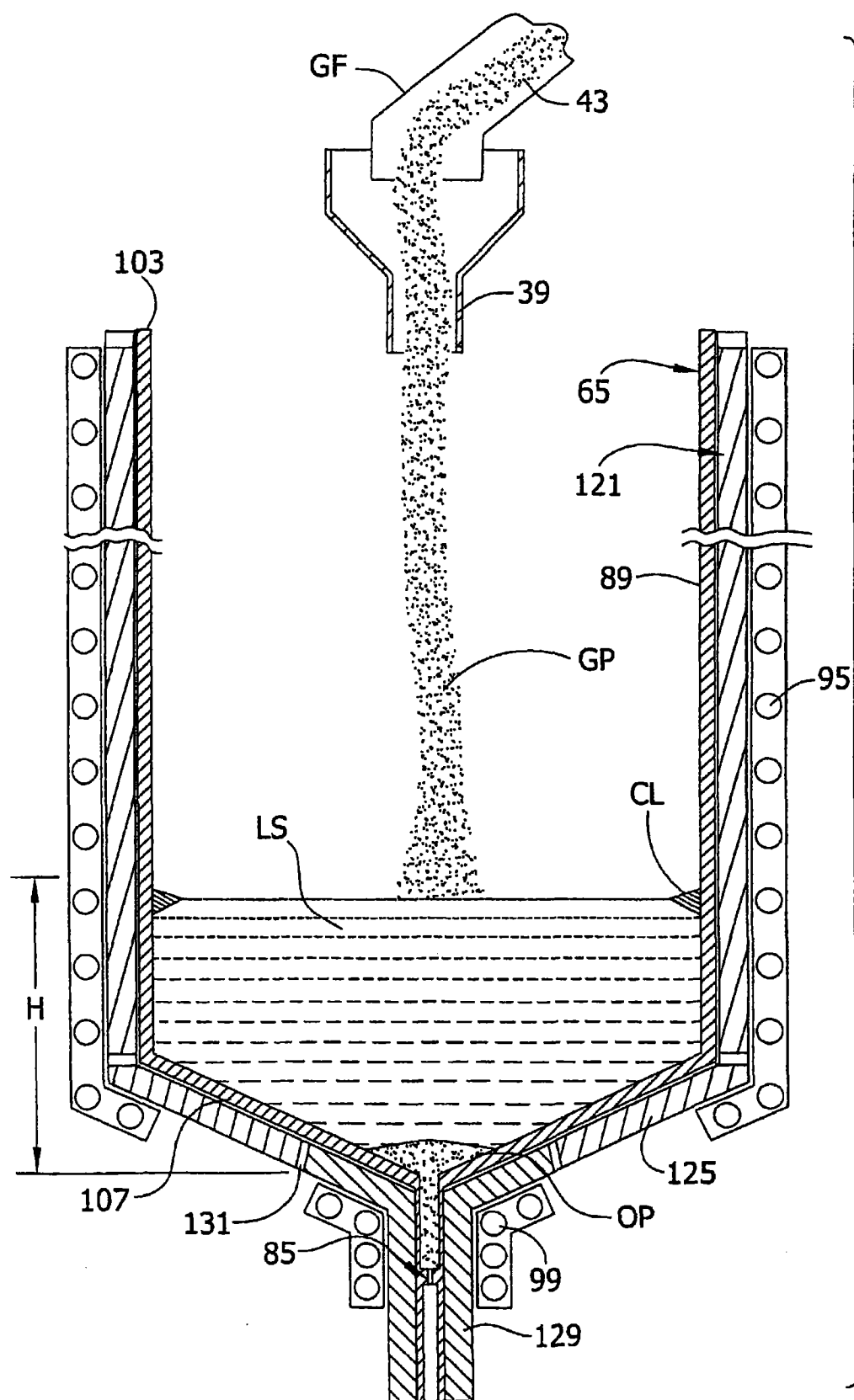


图 13A

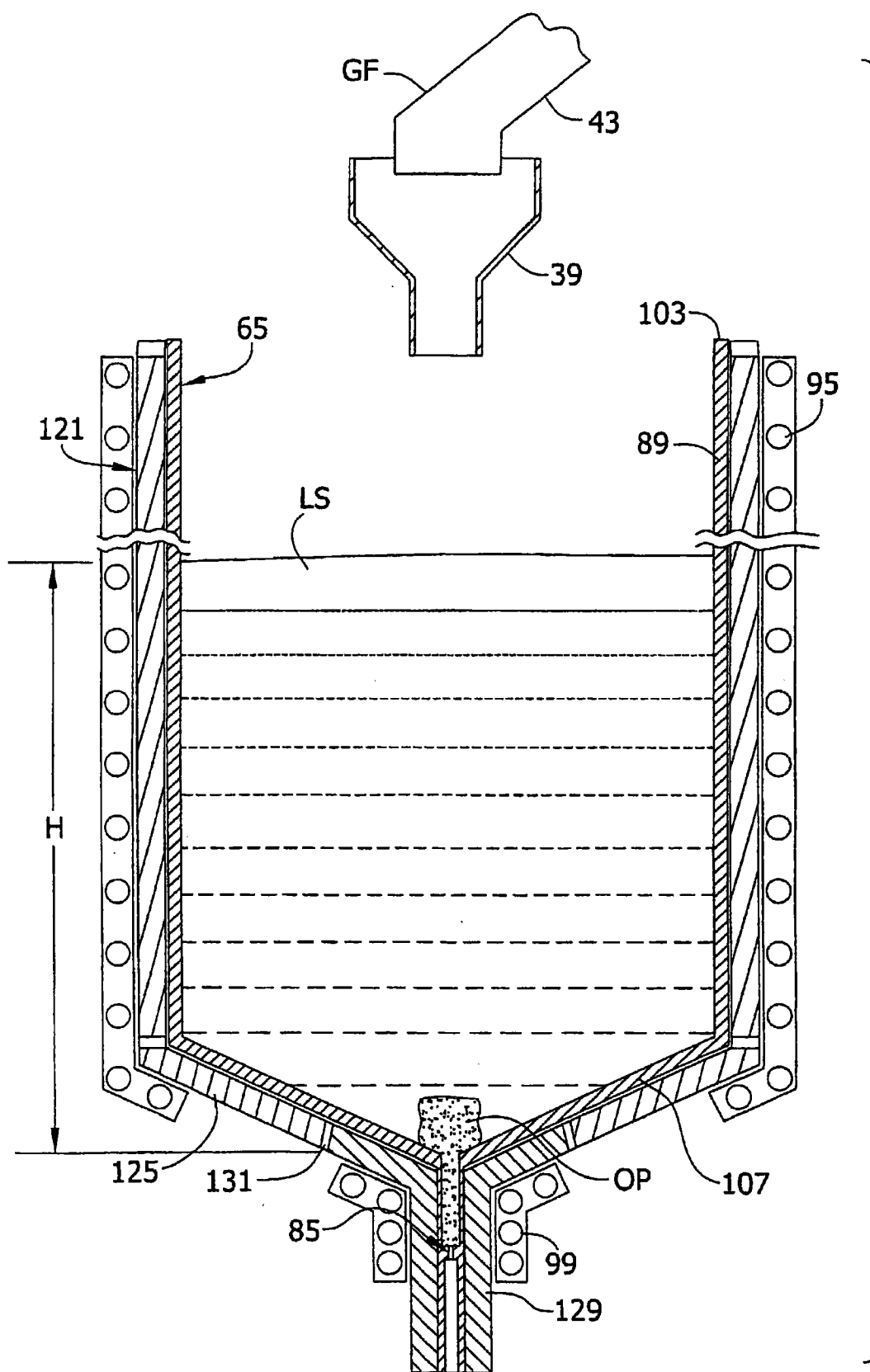


图 14

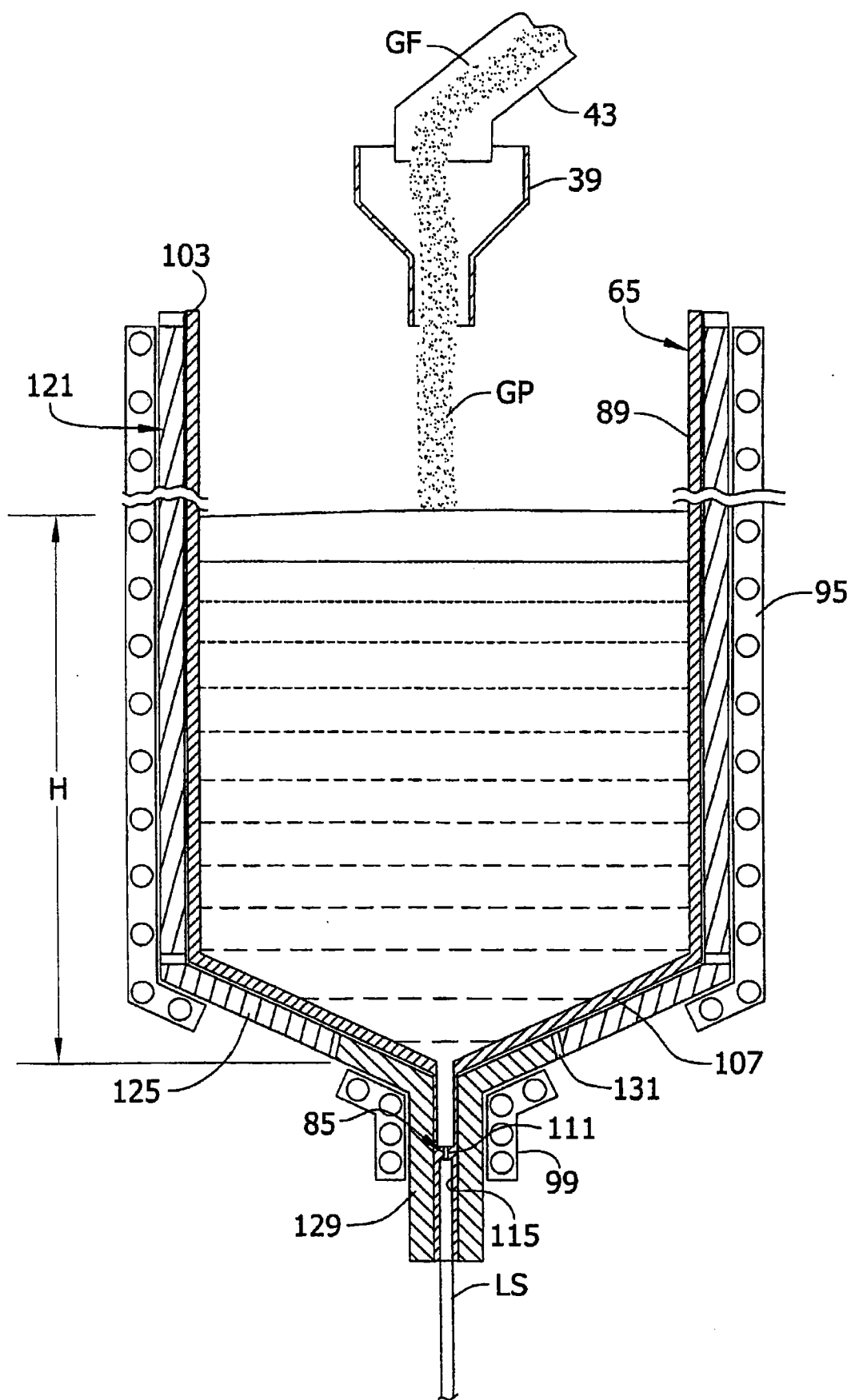


图 15

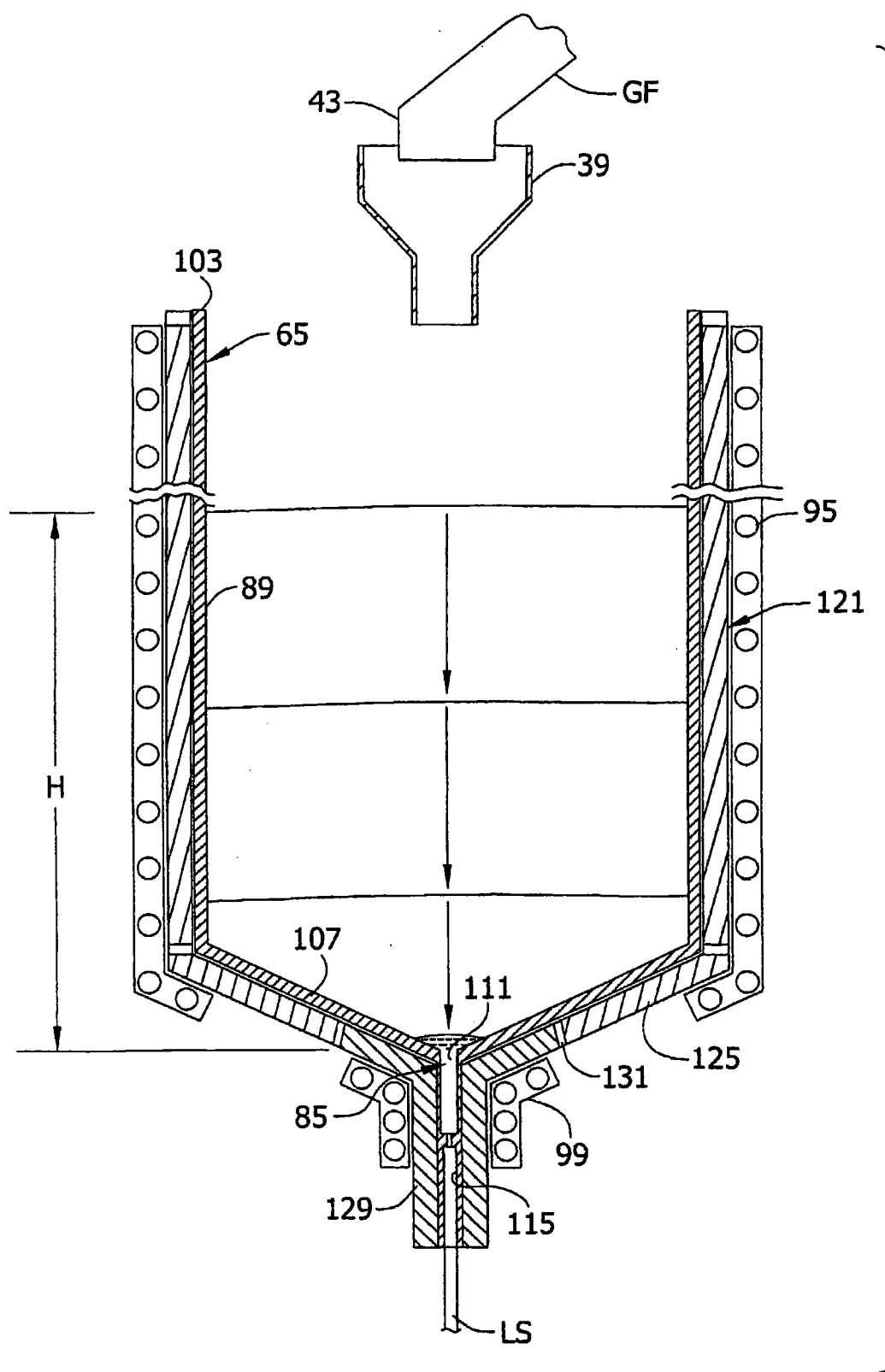


图 16

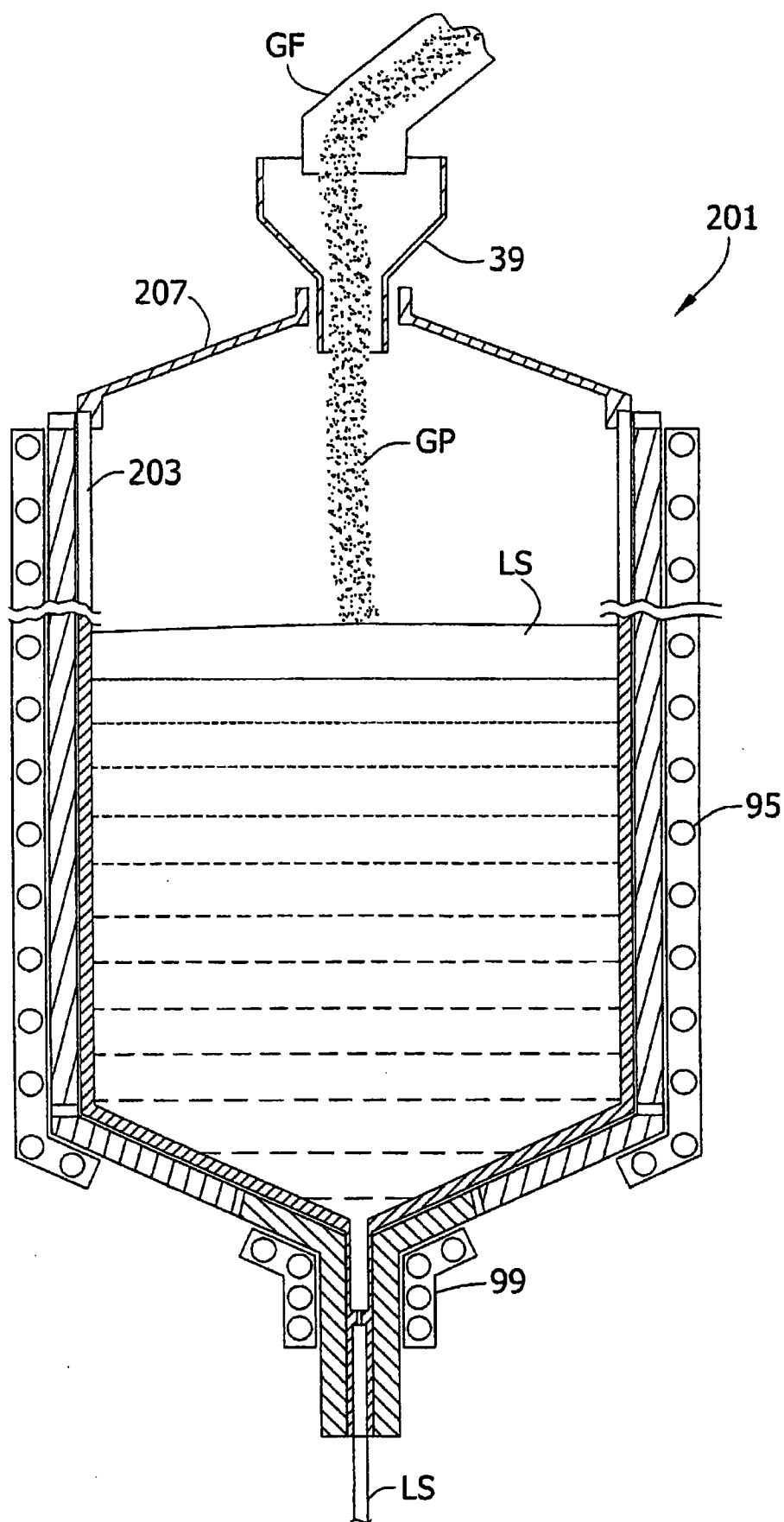


图 17

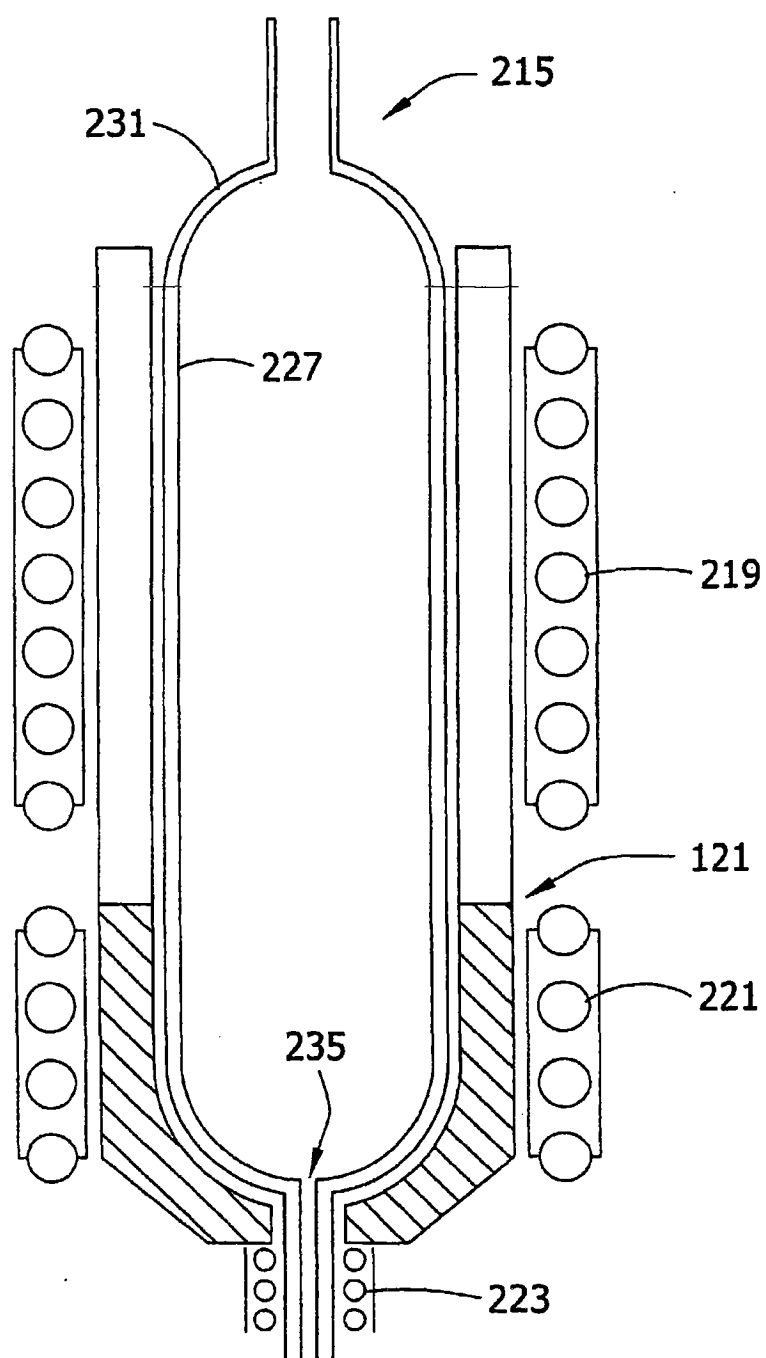


图 18

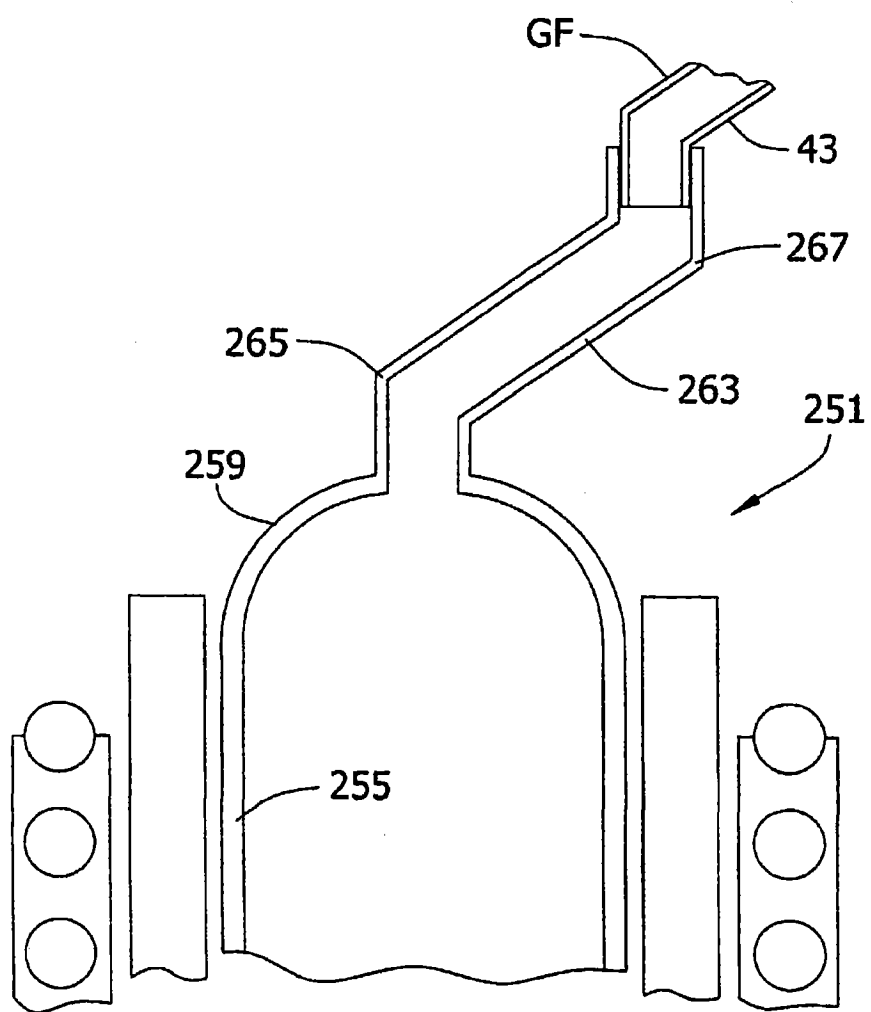


图 19

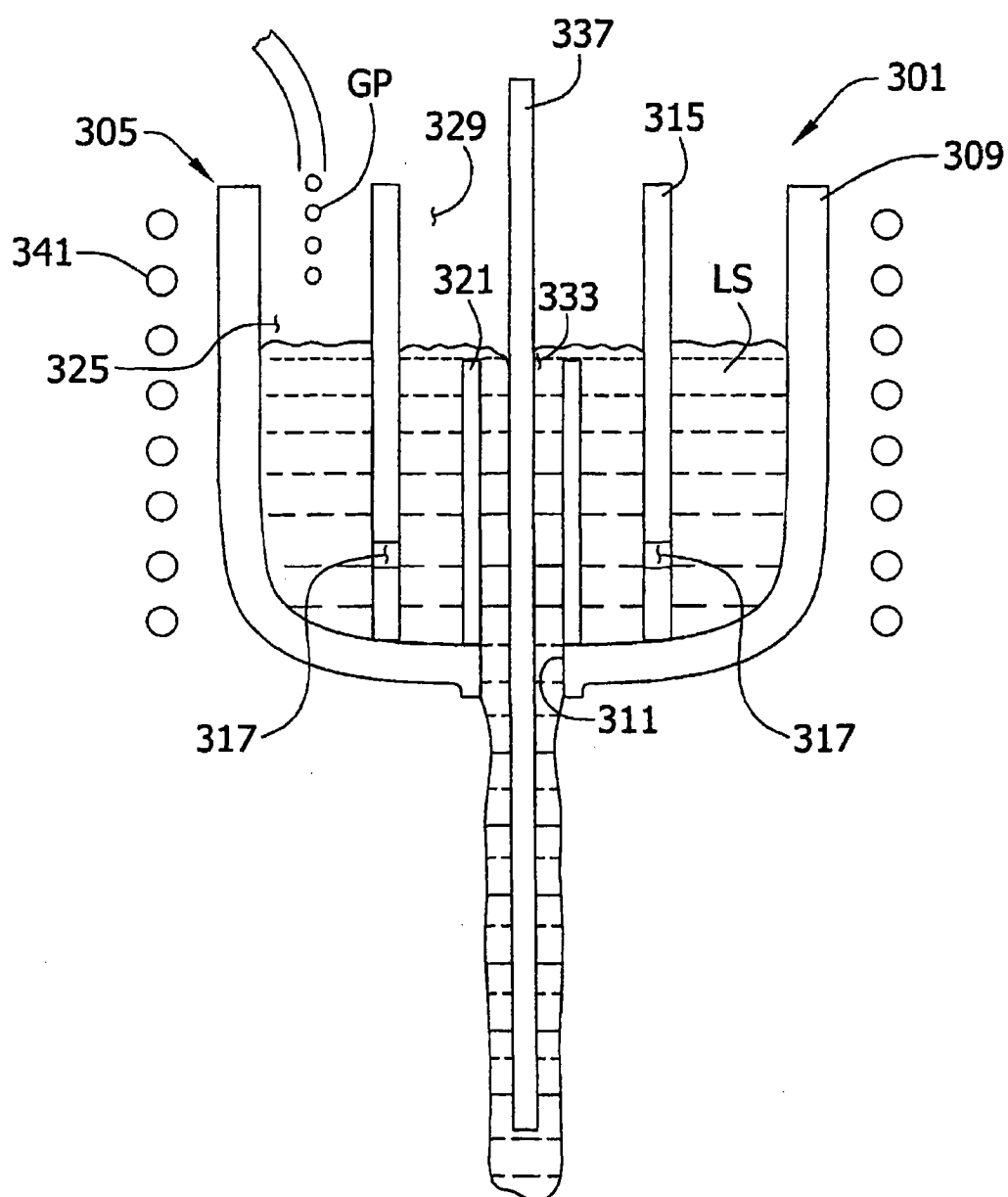


图 20

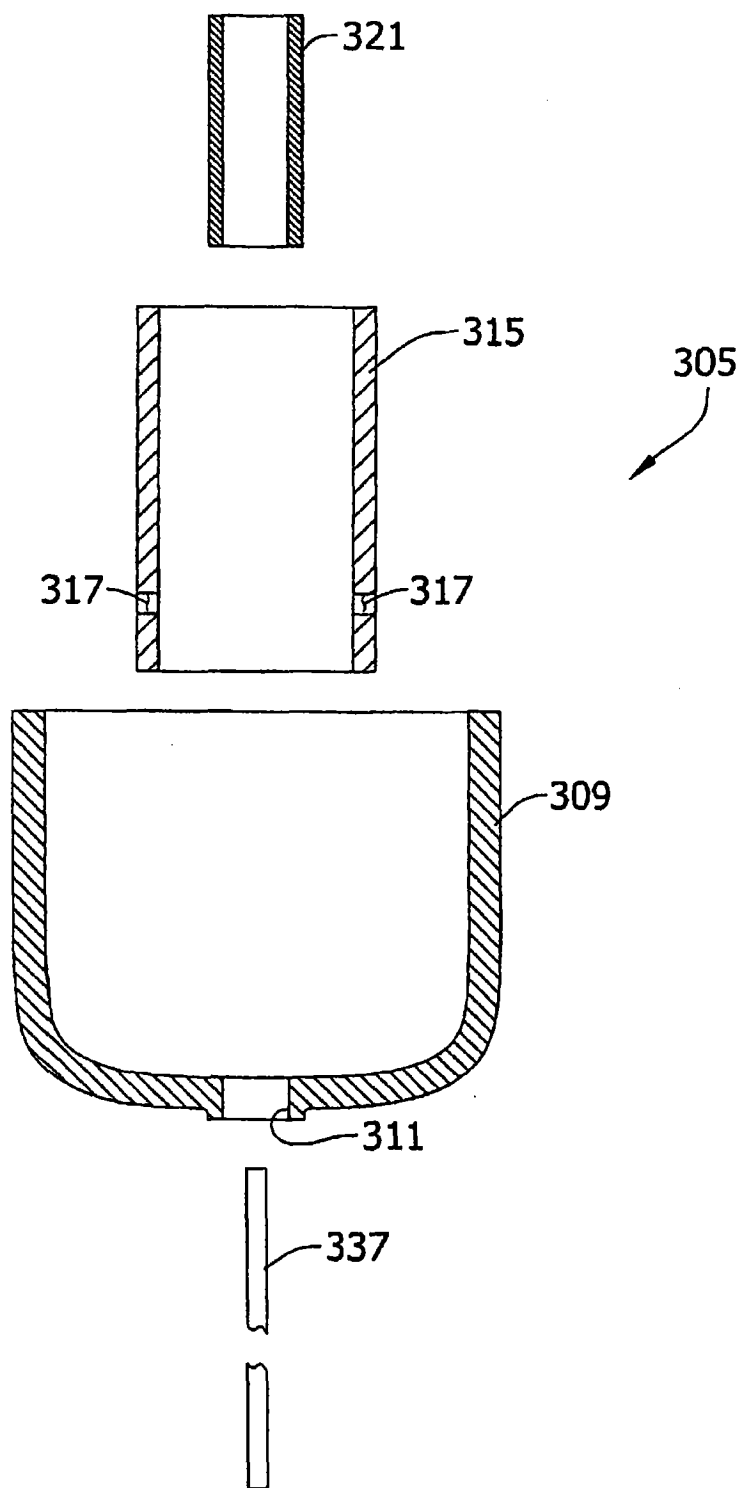


图 21

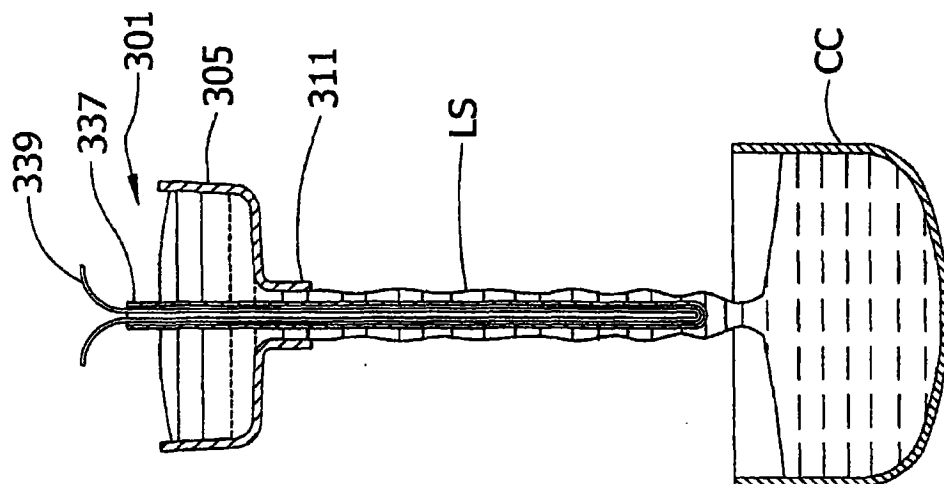


图 21A

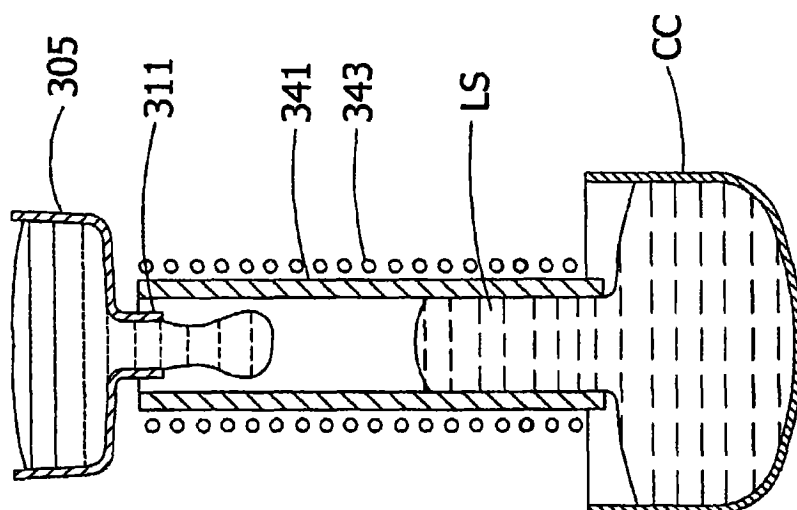


图 21B

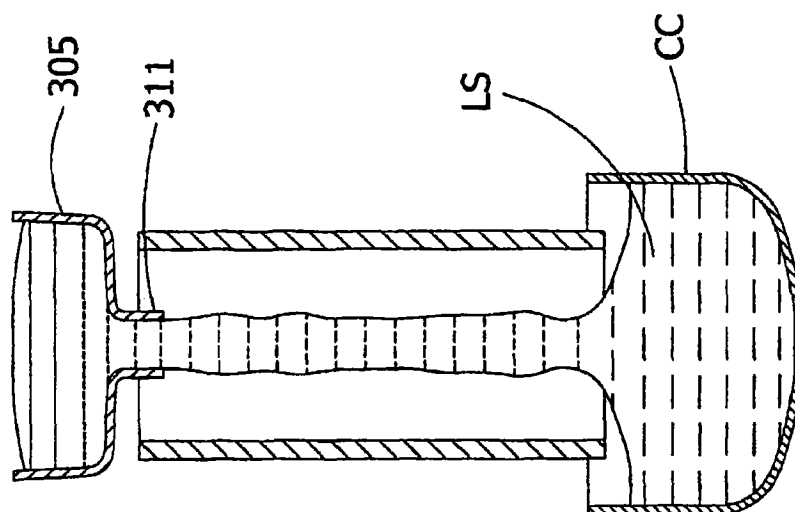


图 21C

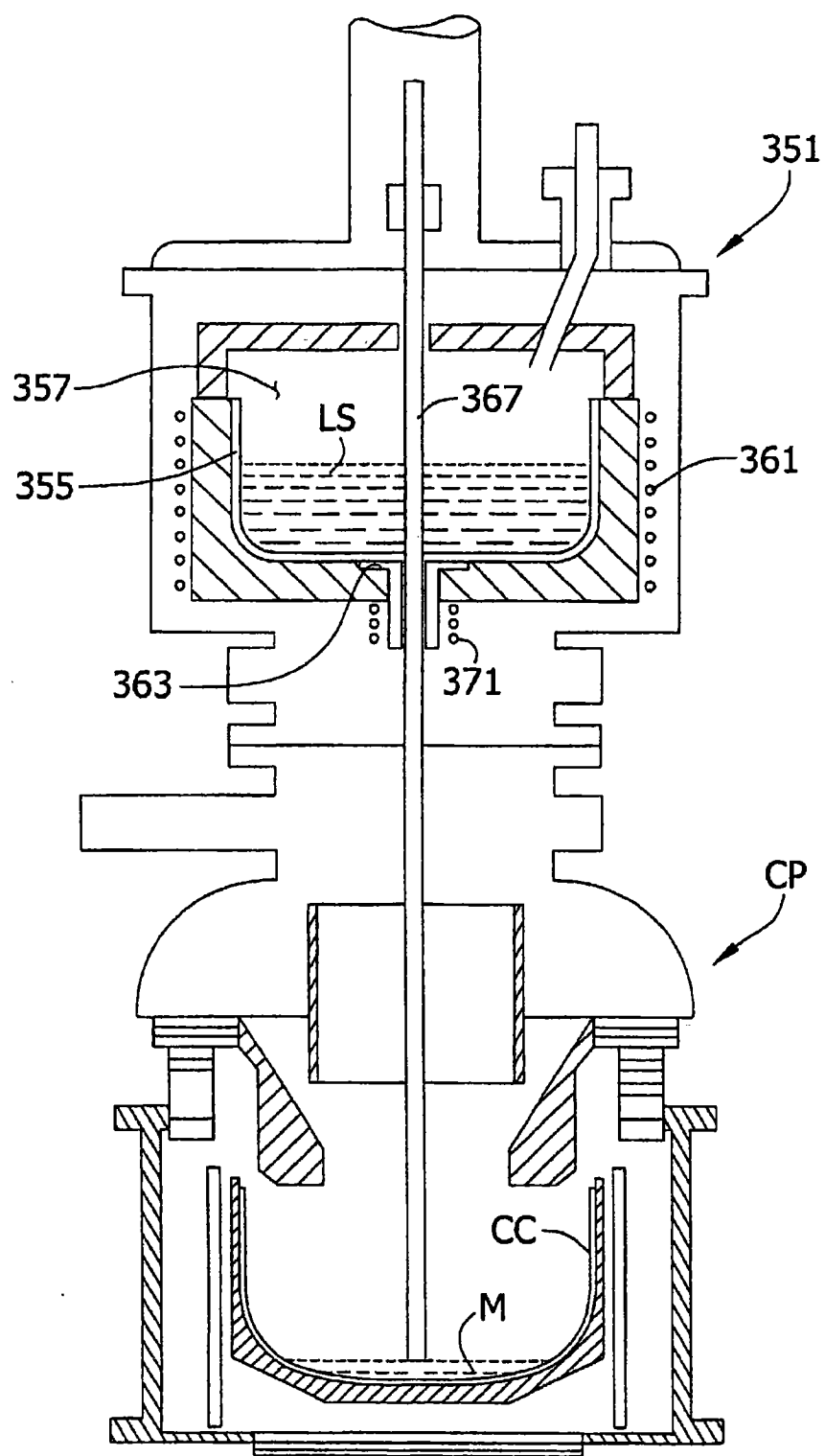


图 22

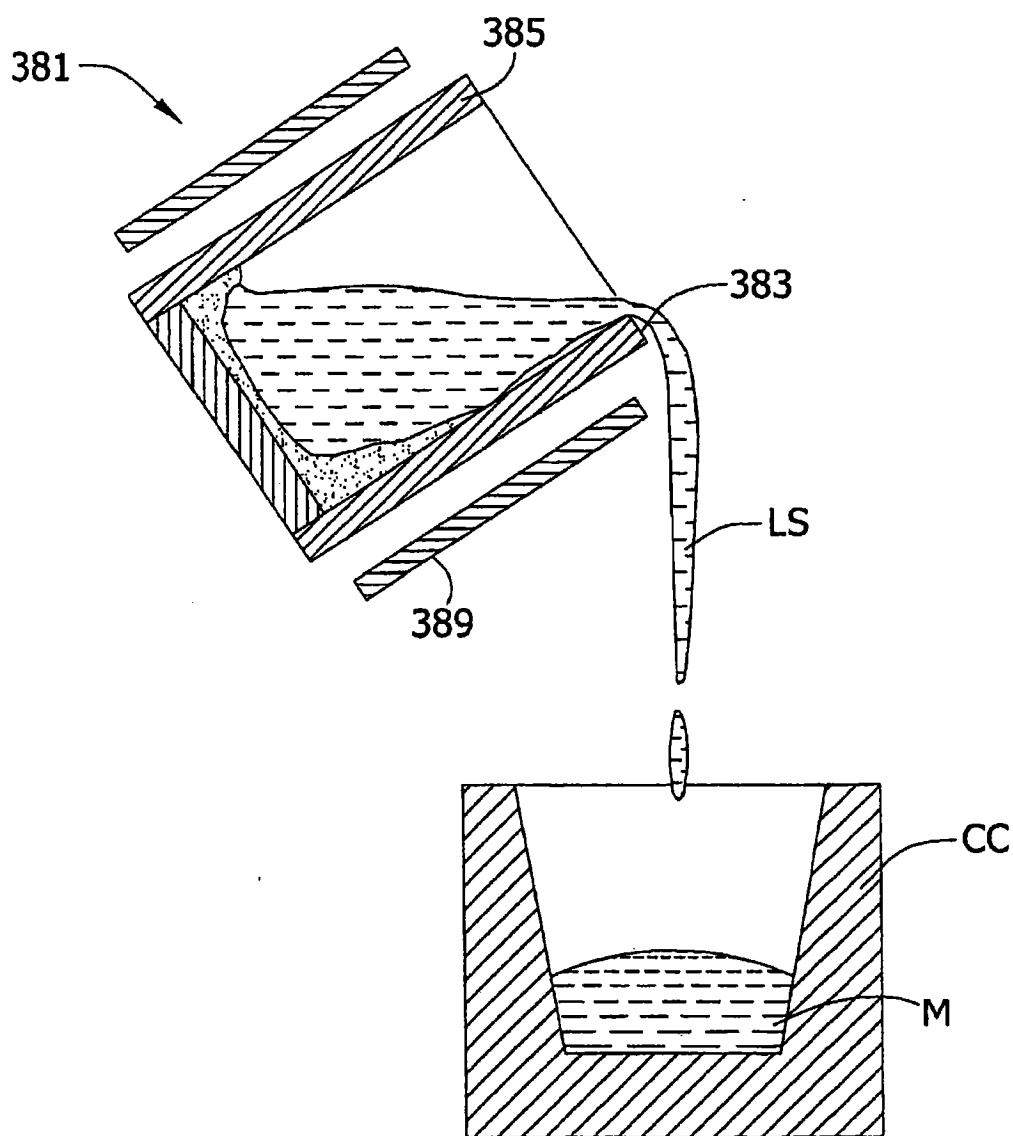


图 23

现有技术

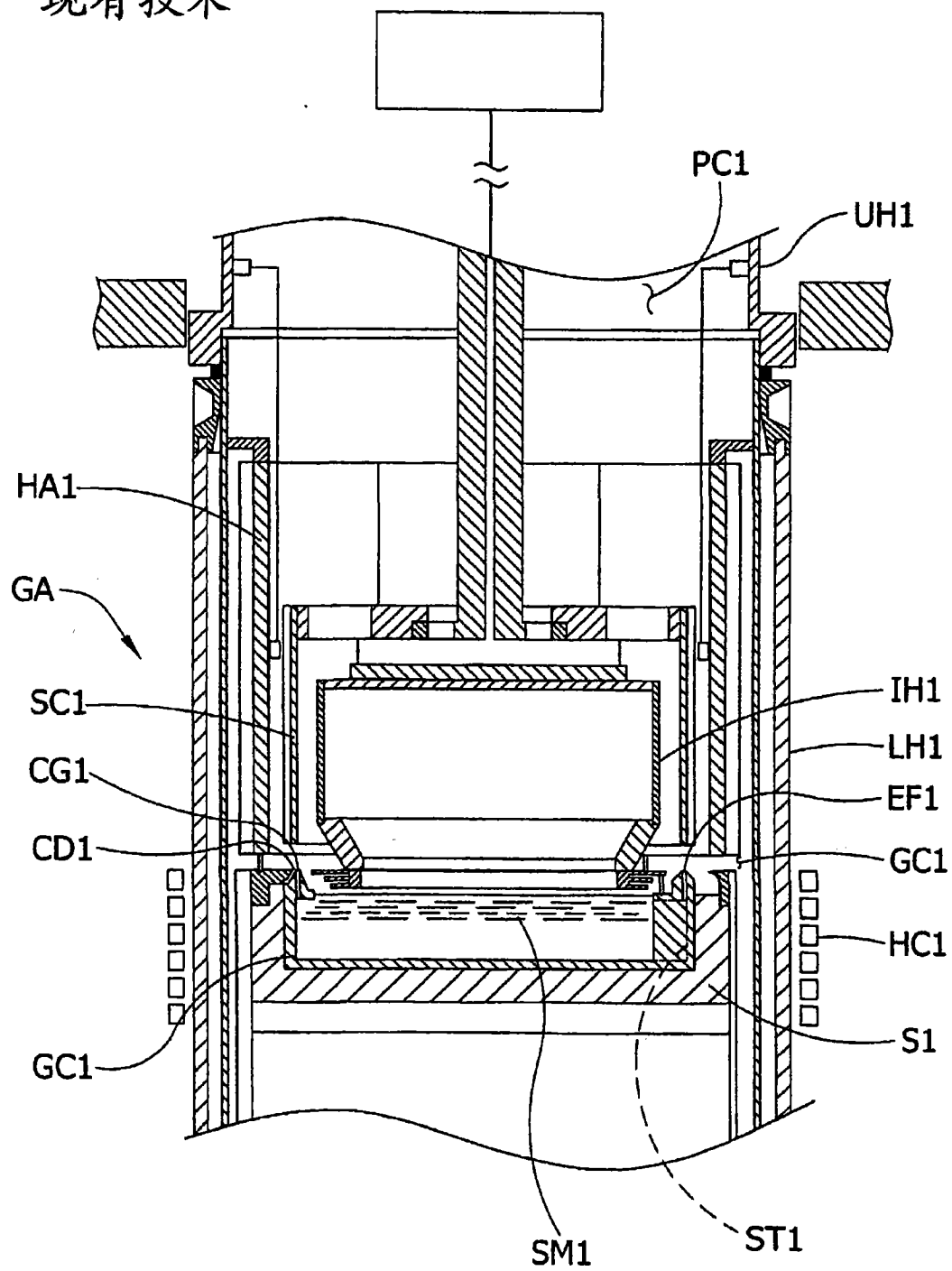


图 24

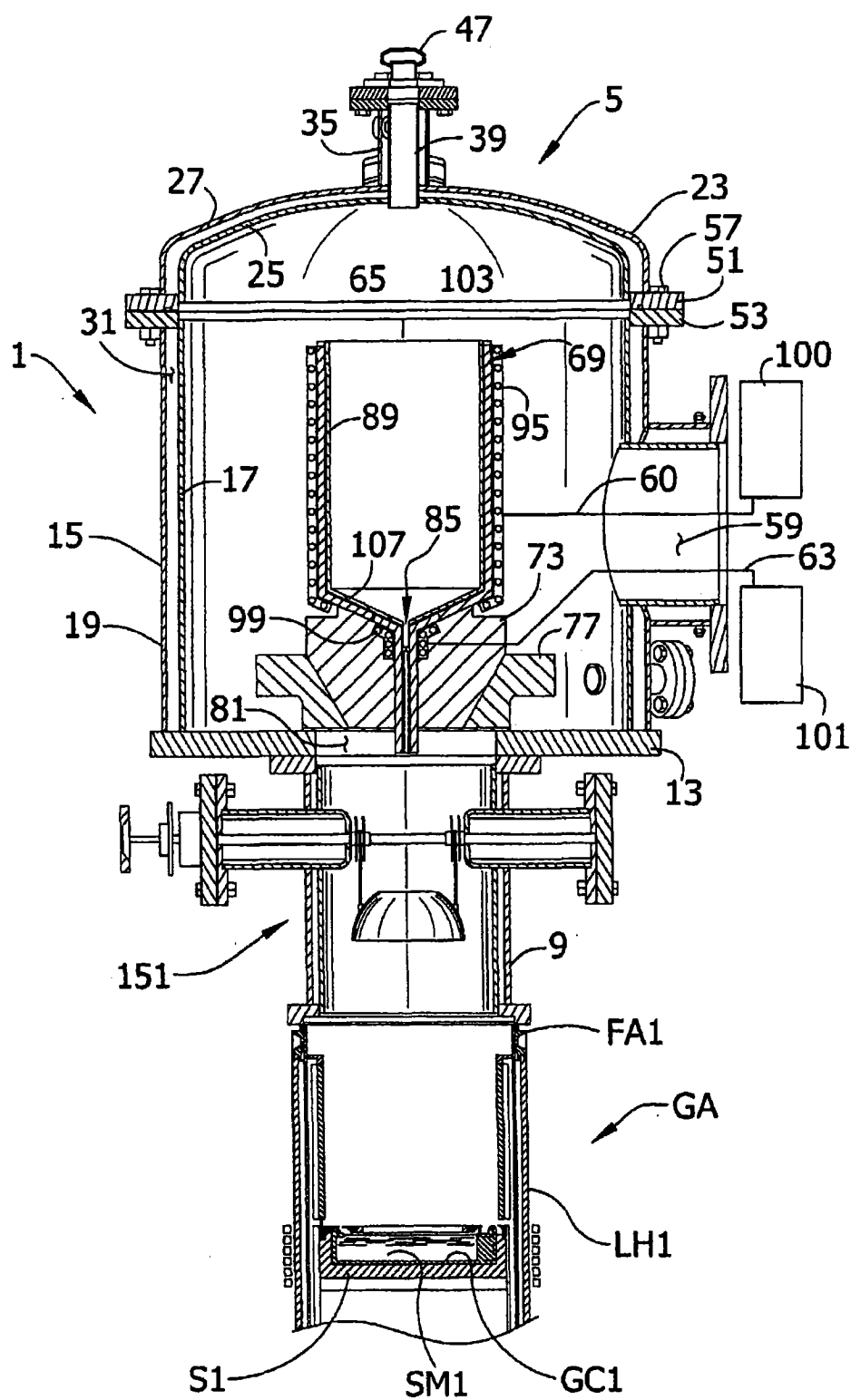


图 25

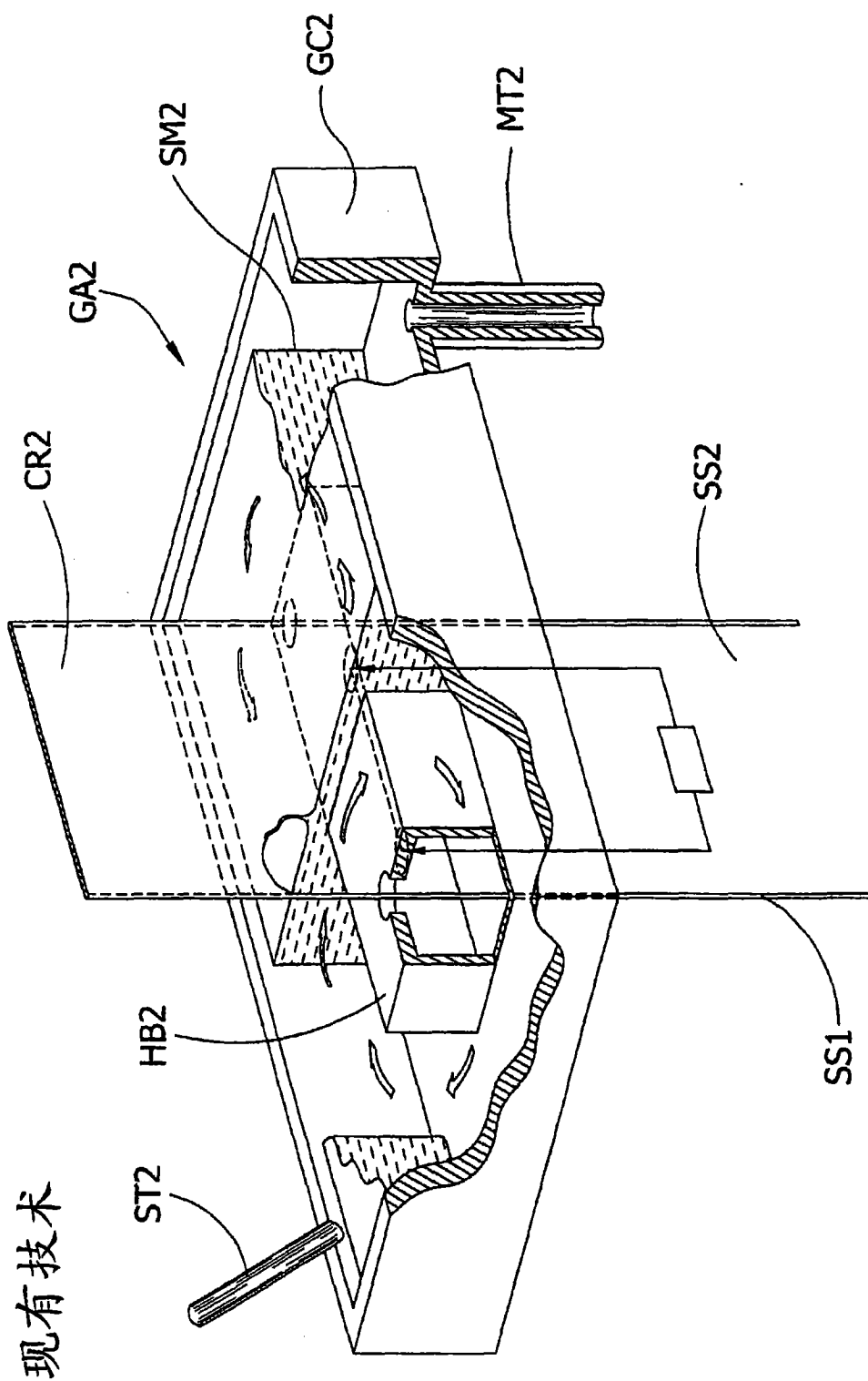


图 26

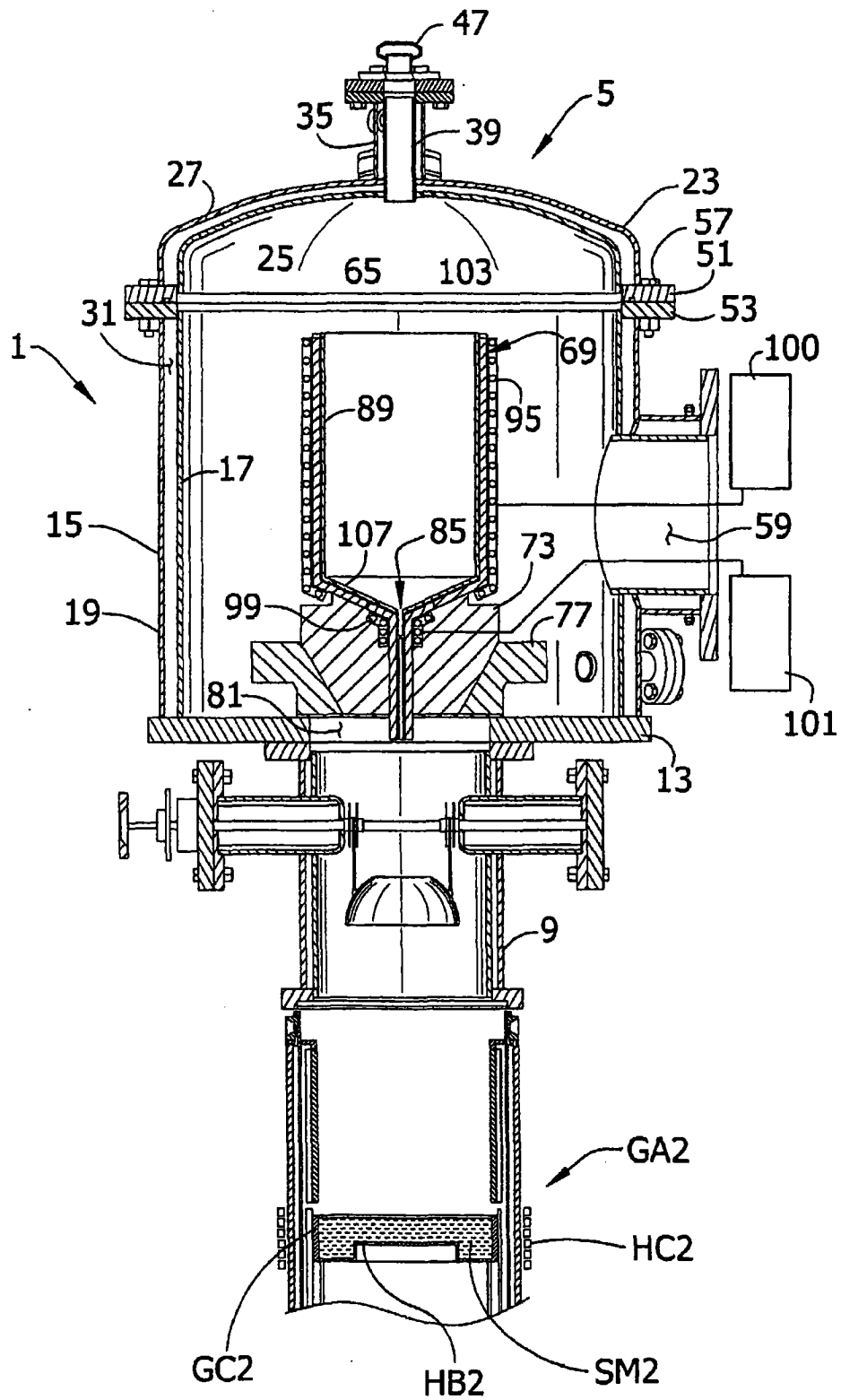


图 27

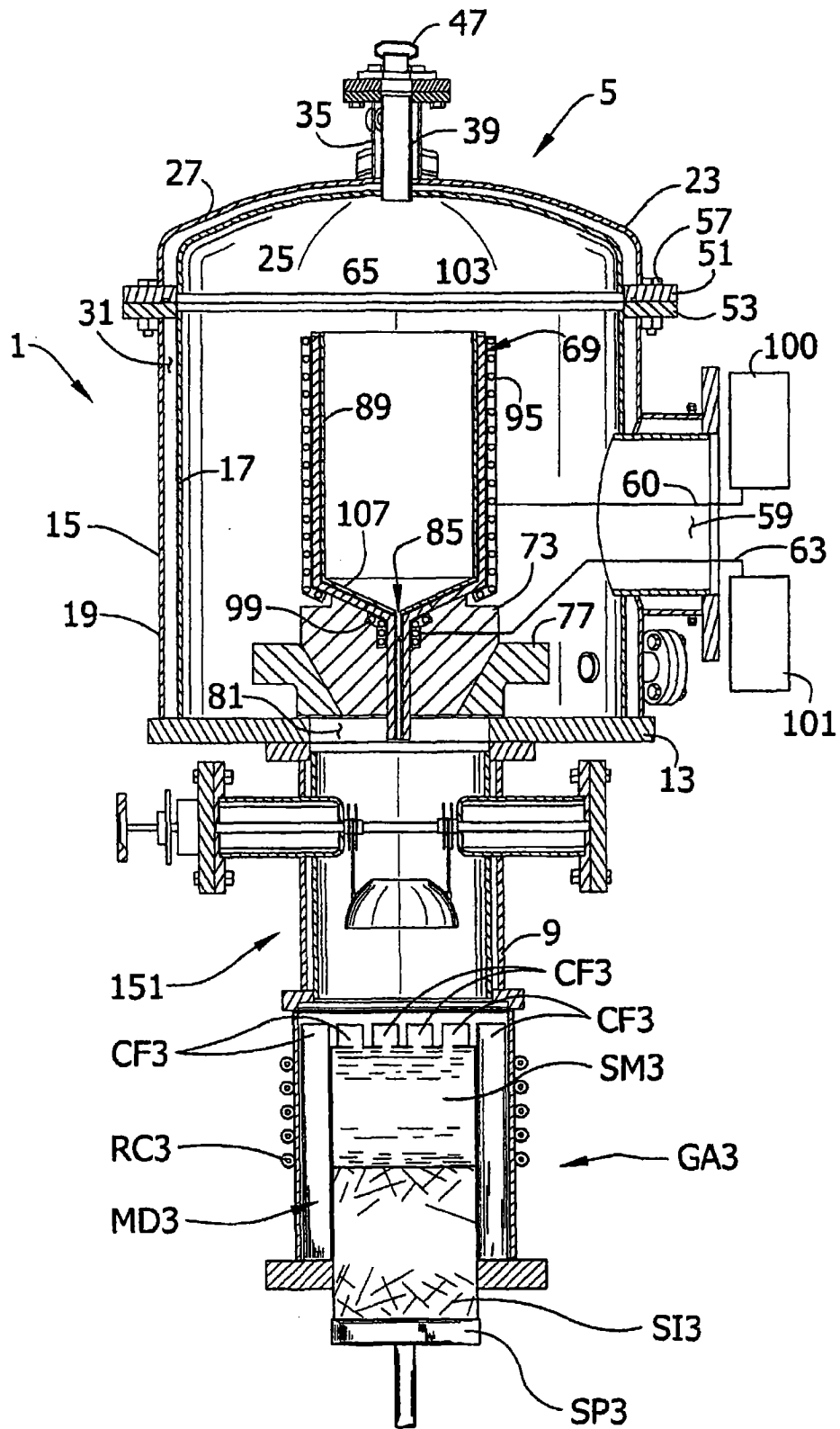


图 28

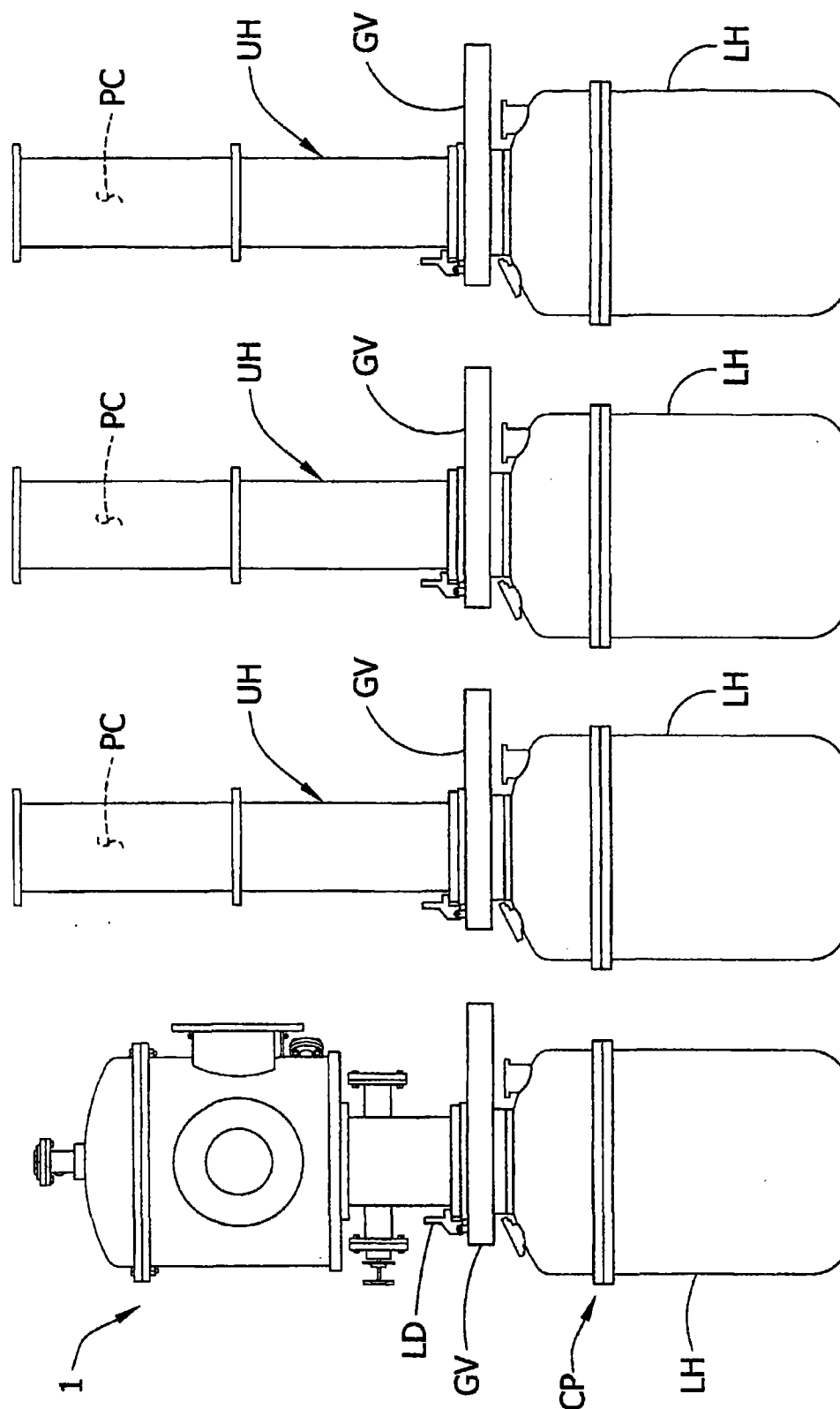


图 29