



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103621189 B

(45)授权公告日 2016.09.14

(21)申请号 201280029863.0

(22)申请日 2012.06.13

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103621189 A

(43)申请公布日 2014.03.05

(30)优先权数据  
13/162941 2011.06.17 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2013.12.17

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2012/042179 2012.06.13

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02013/003039 EN 2013.01.03

(73)专利权人 通用电气公司  
地址 美国纽约州

(72)发明人 J.诺尔林 T.埃里克松

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001  
代理人 肖日松 谭祐祥

(51)Int.Cl.  
H05H 6/00(2006.01)

(56)对比文件  
US 5392319 A,1995.02.21,  
J. Michael Doster等.New Cyclotron  
Targetry to Enhance F-18 Clinical  
Position Emission Tomography.《North  
Carolina State University》.2008,

审查员 刘时雄

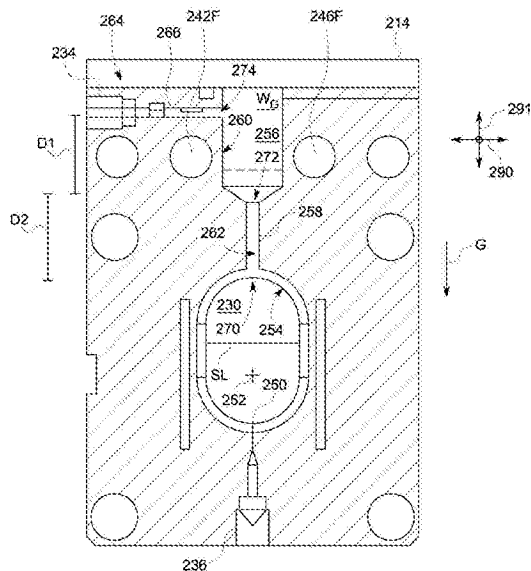
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

## (54)发明名称

一种用于放射性同位素生产系统的靶设备

## (57)摘要

本发明提供一种用于放射性同位素生产系统的靶设备。所述靶设备包括生产室，所述生产室配置成容纳启动液体。所述生产室配置成接纳粒子束，所述粒子束入射到所述启动液体上，从而产生放射性同位素并且将所述启动液体的一部分转换成蒸汽。所述靶设备还包括冷凝室和流体通道，所述流体通道将所述生产室和冷凝室流体连通，并且配置成允许所述蒸汽从所述生产室流动到所述冷凝室。所述冷凝室配置成将所述蒸汽转换成冷凝液体。



1. 一种用于放射性同位素生产系统的靶设备,所述靶设备包括:

生产室,所述生产室配置成容纳启动液体,所述生产室配置成接纳入射到所述启动液体上的粒子束,从而产生放射性同位素并将所述启动液体的一部分转换成蒸汽;

冷凝室;

流体通道,所述流体通道将所述生产室与所述冷凝室流体连通,并且配置成允许所述蒸汽从所述生产室流动到所述冷凝室,所述冷凝室配置成将所述蒸汽转换成冷凝液体;以及

气体管线,所述气体管线直接连接到所述冷凝室,所述气体管线配置成在同位素生产系统运行期间添加工作气体来主动地调节所述冷凝室中的压力、在同位素生产系统生产阶段完成之后通过使用工作气体推动启动液体流动经过所述生产室的端口来排除所述启动液体。

2. 根据权利要求1所述的靶设备,其中所述冷凝室和所述流体通道可以相对于彼此设置大小和形状,以便进入所述冷凝室的所述蒸汽膨胀,从而减小所述蒸汽的压力并促进所述蒸汽转换成所述冷凝液体。

3. 根据权利要求1所述的靶设备,其中所述冷凝室和流体通道具有相应的内表面,所述冷凝室的所述内表面配置成使其表面温度小于所述流体通道的所述内表面的表面温度,从而促进所述蒸汽转换成所述冷凝液体。

4. 根据权利要求1所述的靶设备,其中所述生产室、所述冷凝室和所述流体通道相对于彼此设置,以便当所述流体通道具有相对于重力的预定定向时,所述蒸汽经由所述流体通道流入所述冷凝室中。

5. 根据权利要求1所述的靶设备,进一步包括靶外壳,所述冷凝室设置在所述靶外壳中,其中所述靶外壳包括位于所述冷凝室附近的至少一个通道,所述至少一个通道配置成允许工作流体流动经过其中以吸收热能并从所述冷凝室排除所述热能,从而主动地冷却所述冷凝室。

6. 根据权利要求1所述的靶设备,其中所述生产室和冷凝室至少部分由靶体限定,所述靶体具有延伸在所述生产室与所述冷凝室之间的主体材料,所述靶体配置成减少从所述生产室到所述冷凝室的热能传输。

7. 根据权利要求1所述的靶设备,其中所述冷凝室具有第一端口和第二端口,所述第一端口和第二端口分别与所述生产室和所述气体管线流体连通,所述第一端口和第二端口之间具有间距,所述间距配置成防止在所述第二端口中形成流体或防止流体进入所述第二端口中。

8. 根据权利要求1所述的靶设备,其中所述生产室、所述流体通道和所述冷凝室中的每一者都设置在公共靶外壳中。

9. 一种同位素生产系统,包括:

粒子加速器,所述粒子加速器配置成产生粒子束;

靶设备,所述靶设备具有窗口,所述窗口配置成接纳粒子束并且隔开生产室和冷凝室,所述生产室配置成容纳启动液体并且定位成使所述粒子束入射到所述启动液体上,从而产生放射性同位素,并且将所述启动液体的一部分转换成蒸汽,所述靶设备还包括流体通道,所述流体通道延伸在所述生产室与所述冷凝室之间并且将这两者流体连通;以及

气体管线,所述气体管线直接连接到所述冷凝室,所述气体管线配置成在同位素生产系统运行期间添加工作气体来主动地调节所述冷凝室中的压力、在同位素生产系统生产阶段完成之后通过使用工作气体推动启动液体流动经过所述生产室的端口来排除所述启动液体;

其中所述流体通道配置成允许所述蒸汽从所述生产室流动到所述冷凝室中,所述冷凝室配置成将所述冷凝室中的所述蒸汽转换成冷凝液体。

10.根据权利要求9所述的同位素生产系统,其中所述冷凝室和所述流体通道可以相对于彼此设置大小和形状,以便进入所述冷凝室的所述蒸汽膨胀,从而减小所述蒸汽的压力并促进所述蒸汽转换成所述冷凝液体。

11.根据权利要求9所述的同位素生产系统,其中所述冷凝室和流体通道具有相应的内表面,所述冷凝室的所述内表面的表面温度小于所述流体通道的所述内表面的表面温度,从而促进所述蒸汽转换成所述冷凝液体。

12.根据权利要求9所述的同位素生产系统,其中所述靶设备包括靶外壳,并且其中所述生产室、所述流体通道和所述冷凝室设置在所述靶外壳中。

13.根据权利要求9所述的同位素生产系统,其中所述生产室、所述冷凝室和所述流体通道相对于彼此设置,以便当所述流体通道具有相对于重力的预定定向时,所述蒸汽经由所述流体通道流入所述冷凝室中。

14.根据权利要求9所述的同位素生产系统,其中所述流体通道在所述生产室与所述冷凝室之间延伸一定距离,所述距离小于25毫米。

15.一种用于在同位素生产系统运行期间控制靶设备中的热能的方法,所述方法可以包括:

提供靶设备,所述靶设备具有生产室和冷凝室以及流体通道,所述流体通道将所述生产室和冷凝室流体连通;

提供气体管线,所述气体管线直接连接到所述冷凝室,所述气体管线配置成在同位素生产系统运行期间添加工作气体来主动地调节所述冷凝室中的压力、在同位素生产系统生产阶段完成之后通过使用工作气体推动启动液体流动经过所述生产室的端口来排除所述启动液体;

将粒子束导向到所述启动液体上,从而将所述启动液体转换成蒸汽,所述蒸汽经由所述流体通道延伸到所述冷凝室中并且转换成冷凝液体,所述冷凝室具有所述冷凝液体的液体体积并且所述生产室具有所述启动液体的液体体积;

其中随着所述冷凝液体经由所述流体通道返回到所述生产室并且所述蒸汽经由所述流体通道进入所述冷凝室中,所述生产室和所述冷凝室的液体体积呈逆相关并波动。

16.根据权利要求15所述的方法,进一步包括主动从所述冷凝室排除热能,以便所述冷凝室的表面温度小于所述流体通道的表面温度。

17.根据权利要求15所述的方法,所述方法进一步包括排除所述工作气体以将所述启动液体抽吸到所述生产室中。

18.根据权利要求15所述的方法,其中所述冷凝室和所述流体通道可以相对于彼此设置大小和形状,以便进入所述冷凝室的所述蒸汽膨胀,从而减小所述蒸汽的压力并促进所述蒸汽转换成所述冷凝液体。

## 一种用于放射性同位素生产系统的靶设备

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及一种同位素生产系统,确切地说,涉及一种同位素生产系统的靶设备,所述靶设备配置成控制靶室内的热能。

### 背景技术

[0002] 放射性同位素(也称为放射性核素)具有许多医疗、成像和研究领域中的应用,以及非医学相关的其他应用。产生放射性同位素的系统通常包括产生粒子束的粒子加速器。所述粒子加速器将粒子束定向到靶室中的靶材料。在某些情况下,靶材料是液体(也称为启动液体(starting liquid)),例如富集水(enriched water)。放射性同位素通过在粒子束入射到靶室中的启动液体上时发生的核反应产生。

[0003] 但是,入射粒子束还可以大幅增加启动液体的热能,从而将至少一部分的启动液体转换成蒸汽。所述蒸汽提高靶室内的压力。为了限制液体转换成蒸汽,传统系统可以将射束电流减小到预定水平和/或将工作气体(例如,氦气)注入靶室内,以便有效地提高所述启动液体的沸点温度。但是,减小射束电流还可能减少放射性同位素的产量。

### 发明内容

[0004] 根据一个实施例,本发明提供了一种放射性同位素生产系统的靶设备。所述靶设备包括生产室,所述生产室配置成容纳启动液体。所述生产室配置成接纳粒子束,所述粒子束入射到所述启动液体上,从而产生放射性同位素并且将所述启动液体的一部分转换成蒸汽。所述靶设备还包括冷凝室和流体通道,所述流体通道将所述生产室和冷凝室流体连通,并且配置成允许所述蒸汽从所述生产室流动到所述冷凝室。所述冷凝室配置成将蒸汽转换成冷凝液体。

[0005] 所述冷凝室和所述流体通道可以相对于彼此设置大小和形状,以便进入所述冷凝室的蒸汽膨胀,从而减小蒸汽压力并促进所述蒸汽转换成冷凝液体。作为以上的替代或附加,所述冷凝室的内表面的表面温度可以小于所述流体通道的内表面的表面温度,从而促进蒸汽转换成冷凝液体。

[0006] 根据另一个实施例,提供了一种同位素生产系统,所述同位素生产系统包括:粒子加速器,所述粒子加速器配置成产生粒子束;以及靶设备,所述靶设备具有配置成接纳粒子束的窗口。所述靶设备还包括单独的生产室和冷凝室。所述生产室配置成容纳启动液体,并且定位成使所述粒子束入射到所述启动液体上,从而产生放射性同位素并将所述启动液体的一部分转换成蒸汽。所述靶设备还包括流体通道,所述流体通道在所述生产室与冷凝室之间延伸并流体流通这两者;并且配置成从所述生产室穿过所述流动通道延伸到所述冷凝室内。所述冷凝室配置成将所述冷凝室中的蒸汽转换成冷凝液体。

[0007] 根据另一个实施例,提供了一种用于在同位素生产系统运行期间控制靶设备中的热能的方法。所述方法包括提供靶设备,所述靶设备具有生产室和冷凝室以及流体通道,所述流体通道将所述生产室和冷凝室流体连通。所述方法还包括将粒子束定向到所述启动液

体上,从而将所述启动液体的一部分转换成蒸汽。所述蒸汽经由所述流体通道延伸到所述冷凝室中,并且转换成冷凝液体。所述冷凝室具有所述冷凝液体的液体体积并且所述生产室具有所述启动液体的液体体积。随着所述冷凝液体经由所述流体通道返回到所述生产室并且蒸汽经由所述流体通道进入所述冷凝室,所述生产室和所述冷凝室的液体体积逆相关(inversely related)并波动。

### 附图说明

[0008] 图1是根据一个实施例形成的同位素生产系统的方框图,所述同位素生产系统具有靶设备。

[0009] 图2是根据一个实施例形成的靶设备的分解图。

[0010] 图3是图2所示靶设备的侧视图。

[0011] 图4是沿图4中的线5-5截取的靶设备的截面图。

[0012] 图5是图4中所示的截面的放大图。

[0013] 图6是根据一个实施例的方法的方框图,所述方法为操作同位素生产系统的方法。

### 具体实施方式

[0014] 结合附图阅读可以更好地理解上述概要,以及下文对特定实施例的具体说明。对于示出多个实施例的方框图的附图,其中的框并不必需指示硬件或结构之间的分割。因此,例如,一个或多个框可以实施于单个硬件或多个硬件中。应了解,多个实施例并不限于附图中示出的装置和工具。

[0015] 在本说明书中,以单数形式或者与“一个”或“一种”结合使用的元件或步骤应理解为不排除多个所述元件或步骤,除非对此类排除做出明确说明,例如通过说明“只有一个”元件或步骤。此外,对“一个实施例”的参考并不旨在解释为排除存在同样包含所述特征的额外实施例。此外,除非明确做出相反规定,否则“包括”或“具有”具有特定性质的一个或多个元件的实施例可以包括不具有该性质的其他此类元件。

[0016] 此外,本说明书中所述的术语“流体”通常是指任何可流动的介质,例如液体、气体、蒸汽、超临界流体或者其组合。术语“液体”可以包括溶解有气体和/或存在气泡的液体介质。本说明书中所用的术语“蒸汽”通常意指可以不受约束(所述约束包括诸如表面或壁等物理边界)而能移动和膨胀的任何流体,因此可以包括气相;气相与液相的组合,例如液滴(例如,蒸汽);超临界流体等。

[0017] 多个实施例提供了一种同位素生产系统的靶设备,所述靶设备使用传热机构来从靶室或生产室排除热量。所述机构可以允许受热蒸汽从第一室移动到第二室中、将第二室中的蒸汽冷凝成液体,然后允许冷凝液体移动回第一室,在其中冷凝液体与启动液体混合。在同位素生产过程中,相应室内的所述冷凝液体和启动液体的体积可以波动。在一个实施例中,所述传热机构是主动式冷却系统,所述主动式冷却系统主动地通过冷却通道等排除所述第二室内的热能,所述冷却通道将工作流体流动到所述第二室附近。因此,提供了用于从生产室排除热能的靶设备和方法,所述靶设备和方法可以允许更高的射束电流。

[0018] 作为对所述传热机构的替代或附加,所述第一室和第二室可以通过流体通道流体连通。所述流体通道和所述第二室可以相对于彼此设置大小和形状,以便蒸汽在进入所述

第二室时膨胀。所述蒸汽的膨胀可以有助于将蒸汽转换成冷凝液体。

[0019] 根据多个实施例的靶设备可以用于不同类型和构造的同位素生产系统中。例如，图1是同位素生产系统100的方框图，所述同位素生产系统包括粒子加速器102(例如，等时性回旋加速器)，所述粒子加速器具有多个子系统，包括离子源系统104、电场系统106、磁场系统108、真空系统110。当粒子加速器102是一种回旋加速器时，带电粒子可以通过离子源系统104置于或者注入粒子加速器102中。磁场系统108和电场系统106产生相应的场，所述场彼此配合以产生带电粒子的粒子束112。尽管在一个实施例中，粒子加速器102可以是回旋加速器，其他实施例可以使用不同类型的粒子加速器来提供粒子束。

[0020] 如图1所示，系统100具有抽取系统115和靶系统114，所述靶系统包括一个或多个靶设备116，所述一个或多个靶设备具有相应的靶材料(未图示)。靶系统114可以紧邻粒子加速器102或者与粒子加速器102间隔开。例如，靶设备116可以是以下更详细描述靶设备200。为产生放射性同位素，粒子束112可以由粒子加速器102通过抽取系统115沿射束传输通路或射束通道117定向到靶系统114中，以便粒子束112入射到位于相应靶设备116的相应靶室或生产室120内的靶材料上。当靶材料受到粒子束112照射时，靶材料可以通过核反应产生放射性同位素。生产室120内还可以产生热能。

[0021] 如图所示，系统100可以具有多个靶设备116A-C，所述靶设备具有相应的生产室120A-C，所述生产室内设有靶材料。移位设备或系统(未图示)可以用于相对于粒子束112移动生产室120A-C，以便粒子束112在不同生产阶段入射到不同靶材料上。或者，粒子加速器102和抽取系统115可以不仅仅沿一个通路定向粒子束112，而是可以将粒子束112沿唯一的通路定向到每个不同生产室内120A-C。此外，射束通道117可以从粒子加速器102到生产室120成直线，或者，射束通道117可以在其中的一个或多个点处曲折或转向。例如，沿射束通道117设置的磁体(未图示)可以配置成将粒子束112沿不同通路重定向。

[0022] 第6,392,246、6,417,634、6,433,495和7,122,966号美国专利案以及第2005/0283199号美国专利申请公开案中描述了同位素生产系统和/或回旋加速器的实例，所述同位素生产系统和/或回旋加速器具有一个或多个子系统。第5,521,469、6,057,655、7,466,085和7,476,883号美国专利案还提供了其他实例。此外，共同待审的第12/492,200、12/435,903、12/435,949和12/435,931号美国专利申请案中描述了可与本说明书中所述实施例一起使用的同位素生产系统和/或回旋加速器。本说明书中所述的靶设备和方法可以与这些示例性同位素生产系统和/或回旋加速器以及其他设备一起使用。

[0023] 系统100配置成产生放射性同位素(也称为放射性核素)，所述放射性同位素可以用于医疗成像、研究和治疗中，但是也用于其他非医疗相关应用中，例如科学研究或分析。当用于医疗用途时，例如核医学(NM)成像或正电子发射断层摄影(PET)成像应用，所述放射性同位素还可以称为示踪剂。例如，系统100可以产生质子以产生液体形式的同位素，例如 $^{18}\text{F}$ -同位素。系统100还可以产生 $^{13}\text{N}$ 同位素。用于制造这些同位素的靶材料可以是加浓(enriched) $^{18}\text{O}$ 水或 $^{16}\text{O}$ 水。

[0024] 在一些实施例中，系统100使用1H-技术并且通过约10-1000 $\mu\text{A}$ ，或者更具体地，约10-500 $\mu\text{A}$ 的射束电流使带电粒子进入低能状态(例如，约9.6MeV)。在特定实施例中，系统100使用 $^1\text{H}$ -技术并且通过约10-200 $\mu\text{A}$ ，或者更具体地，约10-70 $\mu\text{A}$ 的射束电流使带电粒子进入低能状态(例如，约9.6MeV)。在此类实施例中，负氢离子通过粒子加速器102加速并导入

抽取系统115中。负氢离子随后可以碰撞抽取系统115的剥离箔片(图1中未图示),从而除去电子对并且使粒子变为阳离子 $^1\text{H}^+$ 。但是,本说明书中所述的实施例可以应用于其他类型的粒子加速器和回旋加速器。例如,在其他实施例中,带电粒子可以是阳离子,例如 $^1\text{H}^+$ 、 $^2\text{H}^+$ 和 $^3\text{He}^+$ 。在此类替代实施例中,抽取系统115可以包括静电偏转器,所述静电偏转器可以产生电场,所述电场将所述粒子束导向生产室120。此外,在其他实施例中,例如,射束电流可以不超过约200 $\mu\text{A}$ 。射束电流还可以不超过约2000 $\mu\text{A}$ 或以上。

[0025] 系统100还可以配置成将带电粒子加速到预定的能级。例如,本说明书中所述的一些实施例可以将带电粒子加速到约18MeV或以下的能量。在其他实施例中,系统100将带电粒子加速到约16.5MeV或以下的能量。但是,本说明书中所述的实施例还可以具有高于16.5MeV的能量。例如,实施例可以具有高于100MeV、500MeV或以上的能量。

[0026] 系统100可以产生近似相同数量或批次的同位素,例如用于医疗成像或治疗中的各个剂量。因此,可以提供具有不同活性级别的同位素。

[0027] 系统100可以包括冷却系统122,所述冷却系统将冷却或工作流体输送到不同系统的多个部件,以便吸收相应部件产生的热量。系统100还可以包括控制系统118,所述控制系统可以供技术人员使用一控制多个系统和部件的运行。控制系统118可以包括一个或多个用户接口,所述用户接口接近或者远离粒子加速器102和靶系统114。尽管图1中未图示,但是系统100还可以包括用于粒子加速器102和靶系统114的一个或多个放射和/或磁屏蔽。

[0028] 图2到5中示出了示例性靶设备200。图2是靶设备200的分解透视图,示出了可以组装在一起以形成靶设备200的多个部件。但是,本说明书中所示的部件仅为示例性的,并且靶设备可以根据其他构造构成。例如,一些部件可以并入其他实施例中的单个结构中。如图所示,靶设备200包括射束导管208和靶外壳202,所述靶外壳配置成连接到射束导管208。射束导管208可以包封射束通道,例如射束通道117(图1)。如图所示,靶外壳202可以包括多个外壳部分204-206。外壳部分204可以称为连接到射束导管208的前外壳部分,并且外壳部分205可以称为靶体,并且外壳部分206可以称为后外壳部分。尽管未图示,但是靶设备200可以流体连通到射流系统,所述射流系统传输并移除工作流体,以便冷却并控制放射性同位素的生产;此外还连接到射流系统,所述射流系统传输并移除携带放射性同位素的液体。

[0029] 靶设备200还包括安装构件210和212以及盖板214。外壳部分204到206;安装构件210、212以及盖板214可以包括普通材料或者由不同材料构成。例如,外壳部分204到206;安装构件210、212以及盖板214可以包括金属或金属合金,包括铝、钢、钨、镍、铜、铁、铌等。在一些实施例中,多个部件的材料可以基于材料的导热性和/或材料屏蔽辐射的能力来选择。部件可以塑造、压铸和/或机械加工成包括本说明书中所述的操作特征,例如图2中所示的多个开口、凹口、通道或空腔。

[0030] 例如,外壳部分204到206以及安装构件210、212可以包括通道240到248,所述通道延伸穿过相应的部件。(延伸穿过安装构件210的通道未图示。)靶体205具有空腔226,所述空腔可以完全延伸穿过靶体205的厚度。在其他实施例中,空腔226仅延伸到靶体205内的有限深度。空腔226具有窗口227,所述窗口提供通向空腔226的入口。靶设备200还可以包括喷嘴或阀235、232,所述喷嘴或阀配置成插入外壳部分206的相应开口231、233中。喷嘴或阀234、236还可以插入靶体205的相应开口中。

[0031] 靶设备200还包括多个密封构件220和紧固件222。密封构件220配置成密封部件之

间的接口,以在靶设备200内维持预定压力(例如,由通道240到248形成的流体回路),以免污染周围环境和/或防止流体逸出到周围环境中。紧固件222将部件彼此固定。如图所示,靶设备200可以包括至少一个箔片构件224。粒子束配置成入射到箔片构件224上。

[0032] 如图3所示,当目标设备200完全构成时,靶体205夹在外壳部分204、206之间,以便靶腔226(如图2所示)封闭以形成生产室230(如图4所示)。射束导管208固定到外壳部分204。射束导管208配置成接纳粒子束并且允许粒子束入射到生产室230上。此外,当靶外壳202构成时,通道240到248(如图2所示)可以形成流体回路,所述流体回路引导工作流体(例如,诸如水等冷却流体)流动经过靶外壳202以吸收热能并从靶外壳202排除热能。入射流体可以流入并经过喷嘴235再流出喷嘴232。在其他实施例中,入射流体可以流入并经过喷嘴232再流出喷嘴234。

[0033] 图4是沿图3中的线4-4截取的靶体205的截面。如上所述,当靶体205相对于外壳部分204和206堆叠时,靶外壳202(如图2所示)内形成生产室230。但是,在替代实施例中,生产室230可以通过其他方法形成。生产室230置于靶外壳202内,并且由内表面254限定。在示例性实施例中,内表面254包括多个单独的表面,所述表面组合在一起以形成内表面254。生产室230配置成容纳或保持启动液体SL。启动液体SL可以通过喷嘴236注入生产室230中,所述喷嘴在端口250处经由内表面254通向生产室230。生产室230定位成使粒子束在冲击点252处入射到启动液体SL上。

[0034] 如图所示,靶外壳202包括冷凝室256和流体通道258,所述冷凝室和流体通道也置于靶外壳202内。流体通道258将生产室230和冷凝室256流体连通。冷凝室256由内表面260限定,并且流体通道258由内表面262限定。如上所述,相对于内表面254,内表面260和262各自可以由多个表面限定。但是,在图示的实施例中,内表面260和262中的每一个都是塑造或机械加工成靶体205的一个连续表面。

[0035] 在图示的实施例中,靶体205包括单个连续结构,所述单个连续结构至少部分限定生产室230、流体通道258和冷凝室256中的每一者。换言之,相同材料块可以至少部分限定生产室230、流体通道258和冷凝室256中的每一者。但是,在其他实施例中,靶体205可以包括多个单独的主体结构,所述主体结构形成靶体。例如,第一主体结构可以包括生产室230并且单独的第二主体结构可以包括冷凝室256。第一主体结构和第二主体结构可以各自包括流体通道258的至少一部分。第一主体结构和第二主体结构还可以彼此隔开。在第一主体结构与第二主体结构隔开的实施例中,流体通道258可以由第三主体结构限定,例如挠性管道或导管。

[0036] 当靶设备200运行时,靶设备200具有总生产体积 $V_{TP}$ ,所述总生产体积包括生产室230的腔室体积 $V_{C1}$ 、流体通道258的通道体积 $V_{C2}$ 以及冷凝室256的腔室体积 $V_{C3}$ 。冷凝室256和生产室230通过流体通道258流体连通。在图示的实施例中,冷凝室256和生产室230通过流体通道258直接流体连通,以使生产室230与冷凝室256之间不存在其他腔室。

[0037] 靶设备200还包括气体管线264,所述气体管线包括气体通道266和喷嘴234。所述喷嘴234可以构成压力调节器或者属于其一部分,所述压力调节器调节进出冷凝室256的工作气体流 $W_G$ 。气体管线264还包括未图示的其他部件,例如额外的气体通道和气体源。气体管线264配置成将工作气体 $W_G$ 输送到总生产体积 $V_{TP}$ 中,确切地说,直接输送到冷凝室256中。工作气体 $W_G$ 可以配置成提高启动液体SL的沸点温度。作为非限定的实例,工作气体 $W_G$ 可以包

括氦气。

[0038] 靶设备200可以相对于轴290和291定向。在一些实施例中,轴291还可以称为重力轴,因为轴291与重力对齐。如箭头G所示,重力可以促进沿一个总的方向在总体积 $V_{TP}$ 内拉动液体。此外,总体积 $V_{TP}$ 内的气体或蒸汽可以沿与箭头G相对的方向升高到液体之上。

[0039] 如图所示,流体通道258和冷凝室256通过端口272流体连通,并且流体通道258和生产室230通过端口270流体连通。因此,流体通道258通过端口270、272将生产室230和冷凝室256流体连通。气体管线264具有通过端口274通向冷凝室256的射流入口。端口274与端口272相距间距 $D_1$ ,所述间距沿轴291测量。如下详述,间距 $D_1$ 的值可以配置成防止液体形成或沉积在气体管线264内,特别是气体通道266中。

[0040] 在靶设备200运行期间,内表面254、260、262可以具有相应的表面温度。在示例性实施例中,靶设备200配置成从内表面260排除热能,以促进蒸汽转换成液体。例如,内表面262和254可以具有大致相等的表面温度,或者内表面262的表面温度可以略小于内表面254的表面温度。但是,内表面260的表面温度可以小于内表面254、262的表面温度,以便蒸汽可以转换成液体。

[0041] 靶体205包括导热的主体材料。换言之,主体材料配置成吸收生产室230内产生的热能,并且允许从生产室230排除热能。主体材料可以延伸在生产室230与冷凝室256之间。如图示的实施例所示,主体材料可以连续延伸在生产室230与冷凝室256之间。

[0042] 在特定实施例中,靶外壳202还可以使用冷却机构减少传输到冷凝室256的内表面260的热量。例如,通道242和246可以位于冷凝室256附近,并且沿垂直于轴290和291的方向延伸。工作流体F(例如,气体或液体,例如水)配置成流动经过通道242和246。工作流体F可以吸收热能并且从靶体205排除热能,从而减少内表面260承受的热量。在其他实施例中,具有散热片的散热器可以设置在冷凝室附近或者通道242、246内,并且工作流体可以流动经过散热片以排除热能。因此,一些实施例可以包括主动式冷却机构,所述主动式冷却机构主动冷却冷凝室256。

[0043] 在其他实施例中,靶设备200可以使用其他冷却机构。例如,围绕并且限定冷凝室256的主体材料可以与围绕生产室230和流体通道258的主体材料不同。例如,围绕冷凝室256的主体材料可以相对于围绕生产室230的主体材料绝缘。因此,向内表面260的热能传输受绝缘材料限制。

[0044] 在示例性实施例中,流体通道258、生产室230和冷凝室256置于靶外壳202中。流体通道258、生产室230和冷凝室256可以相对于彼此具有固定关系。公共结构可以至少部分限定流体通道258、生产室230和冷凝室256。如图所示,靶体205限定流体通道258、生产室230和冷凝室256中的每一者的至少一部分。流体通道258可以构成通道,所述通道整体延伸穿过靶体205的主体材料,以使流体通道258不包括任何挠性导管,例如,管道。

[0045] 流体通道258可以延伸一段长度或距离 $D_2$ 。距离 $D_2$ 可以相对较短,以便生产室230和冷凝室256彼此接近。通过这种方式,可以减小生产室230和冷凝室256中压力和液体体积的波动。例如,距离 $D_2$ 可以小于约100毫米、小于约50毫米或者小于约25毫米。在特定实施例中,距离 $D_2$ 可以小于约15毫米。在多个特定实施例中,距离 $D_2$ 可以小于约7毫米。

[0046] 尽管流体通道258图示为由靶体205的主体材料限定。在其他实施例中,例如,流体通道258可以由挠性管道限定,所述挠性管道连接独立的主体结构。例如,靶体205可以具有

包括生产室230的第一主体结构以及包括冷凝室256的单独的第二主体结构。此类第一结构和第二结构可以彼此隔开一定间距,并且通过流体通道流体连通,例如,所述流体通道可以由管道限定。间距可以是几厘米或以上。间距还可以具有与上述距离 $D_2$ 类似的值。

[0047] 图5包括图4中的截面的放大图。在图示的实施例中,流体(例如,蒸汽、液体)配置成沿轴291穿过流体通道258而来回流动。流动方向由双向箭头FD表示。图5还示出了沿垂直于流动方向FD截取的截面 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 。具体来说,截面 $C_1$ 表示沿垂直于流动方向FD且接近流动通道258截取的生产室230的截面区域;截面 $C_2$ 表示沿垂直于流动方向FD截取的流体通道258的截面区域;并且截面 $C_3$ 表示沿垂直于流动方向FD且接近流体通道258截取的冷凝室256的截面区域。在示例性实施例中,截面区域 $C_1$ 和 $C_3$ 大于截面区域 $C_2$ 。

[0048] 在靶设备200运行期间,粒子束在冲击点252处入射到启动液体SL上。粒子束可以在生产阶段持续或间歇地施加到启动液体SL上。当粒子束入射到启动液体SL上时,启动液体SL内产生放射性同位素。热能(热量)还沉积在启动液体SL内。增多的热量使得启动液体SL的至少一部分转换成蒸汽V(如波浪线所示)。

[0049] 本说明书中所述的实施例使用热力学原理冷却(例如,排除热量)启动液体SL。具体来说,随着生产室230内产生蒸汽V,生产室230内的压力升高。因此,蒸汽V经由流体通道258推进到冷凝室256中。在不限于特定理论的情况下,以下两种原理中的至少一种原理可以使蒸汽V转换成冷凝液体CL。第一,随着蒸汽V从流体通道258的密闭空间流动到更宽阔的冷凝室256,蒸汽V能够膨胀,从而使液体冷凝。具体来说,随着截面区域 $C_2$ 膨胀到截面区域 $C_3$ ,蒸汽V能够膨胀,从而减小蒸汽V承受的压力。压力减小可以促进蒸汽V转换成冷凝液体CL。

[0050] 第二,流体通道258的内表面262可以处于第一表面温度,并且冷凝室256的内表面260可以处于第二表面温度。在示例性实施例中,第一表面温度大于第二温度。例如,通道242、246可以有效地排除传输到冷凝室256的热能,以便第二温度远低于第一温度。因此,蒸汽V持有的热能可以更快地从蒸汽V传输到内表面260,从而将冷凝室256中的蒸汽V转换成冷凝液体CL。冷凝液体CL随后可以经由流体通道258流回到生产室230中。当冷凝液体CL进入生产室230中,冷凝液体CL可以与启动液体SL混合,以有效地冷却启动液体SL。随着冷凝液体CL从冷凝室256流动到生产室230,冷凝液体CL还可以冷却蒸汽V。

[0051] 因此,实施例可以通过两种方式中的至少一种方式转换蒸汽V。冷凝室256和流体通道258可以相对于彼此设置大小和形状,以便进入冷凝室256的蒸汽V膨胀,从而减小蒸汽V的压力并促进蒸汽V转换成冷凝液体CL。作为压力改变的替代或附加,冷凝室256的内表面260的表面温度可以小于流体通道258的内表面262的表面温度,从而促进蒸汽V转换成冷凝液体CL。

[0052] 在示例性实施例中,生产室230、冷凝室256和流体通道258可以相对于彼此设置,以促进蒸汽V从生产室230经由流体通道258流入冷凝室256中。类似地,生产室230、冷凝室256和流体通道258可以相对于彼此设置,以促进冷凝液体CL从冷凝室256经由流体通道258流入生产室230中。例如,生产室230、冷凝室256和流体通道258可以具有相对于重力方向G的预定定向。

[0053] 气体管线264可以控制工作气体 $W_G$ 流入冷凝室256中。例如,气体管线264可以在施加粒子束时封闭,以便工作气体 $W_G$ 在运行期间不流进和流出气体通道266。或者,气体管线

264可以通过在运行期间添加或排除工作气体 $W_G$ 来更主动地调节冷凝室256中的压力。在生产阶段完成之后,可以通过使用工作气体 $W_G$ 推动液体流动经过端口250来排除总体积内的液体。

[0054] 生产室230可以具有液体体积,所述液体体积可以包括启动液体SL以及已返回到生产室230中的任何冷凝液体CL。生产室230还可以具有气体体积,所述气体体积包括蒸汽V。生产室230中的气体体积还可以包括工作气体 $W_G$ 。流体通道258还具有:液体体积,所述液体体积包括冷凝液体CL;以及气体体积,所述气体体积包括蒸汽V。流体通道258中的气体体积还可以包括工作气体 $W_G$ 。冷凝室256具有:液体体积,所述液体体积包括冷凝液体CL;以及气体体积,所述气体体积包括蒸汽V和工作气体 $W_G$ 。

[0055] 在一些实施例中,生产室230、流体通道258和冷凝室256中的液体体积以及生产室230、流体通道258和冷凝室256中经受的壓力在放射性同位素生产过程中发生改变。例如,当启动液体SL的一部分转换成蒸汽V时,生产室230中的液体体积减小并且压力增大。蒸汽V经由流体通道258流入冷凝室256中,其中蒸汽V随后如上所述转换成冷凝液体CL。只要生产室230中的压力大于冷凝室256中的压力,蒸汽V即继续流入冷凝室256中。因此,冷凝室256中的液体体积与生产室230中的液体体积逆相关。随着启动液体SL减少,冷凝液体SL增加,反之亦然。当生产室230中的压力小于冷凝室256中的压力时,冷凝液体CL抽回到生产室230中并且与启动液体SL混合。

[0056] 在一些实施例中,粒子束可以根据协议间歇地施加,以促进启动液体SL的冷却。例如,当粒子束未施加到启动液体SL时,生产室230中的热能经由靶体205从生产室230排除。热能减小致使生产室230中的压力减小。因此,当粒子束未施加到启动液体时,生产室230中的压力可以小于冷凝室256中的压力。在此类条件下,冷凝液体CL可以抽吸回生产室230中。如图5所示,启动液体SL的液体体积可以如图中实线和虚线所示来回移动。

[0057] 生产室230和冷凝室256可以具有各自的体积。在一些实施例中,生产室230的体积可以大于冷凝室256的体积。但是,在替代实施例中,生产室230的体积可以小于或者约等于冷凝室256的体积。冷凝室256可以相对于流体通道258设置大小和形状,以便蒸汽能够在进入冷凝室256时膨胀,从而促进蒸汽V转换成冷凝液体CL的冷凝。

[0058] 图6示出了操作放射性生产系统的方法300的方框图。所述方法可以包括在同位素生产系统运行期间控制靶设备中的热能。方法300包括在302提供同位素生产系统,例如系统100,或者具体来说,提供靶设备。靶设备可以具有生产室和冷凝室以及流体通道,例如上文相对于靶设备200所述的部件。所述方法还包括在304将启动流体和工作气体注入靶设备的生产室中。例如,启动流体可以是加浓水,并且工作气体可以包括氦气。

[0059] 所述方法还包括在306在冲击点处将粒子束引导或者施加到启动液体上,以及在307允许蒸汽和冷凝液体在生产室与冷凝室之间输送或流动,从而冷却启动液体。在一些实施例中,粒子束以间歇或振荡方式施加到启动液体。当施加粒子束时,启动液体的一部分转换成蒸汽(即,启动液体蒸发)。通过与上文类似的方式,蒸汽经由流体通道流入冷凝室中。冷凝室配置成将蒸汽转换成冷凝液体,所述冷凝液体返回到生产室,从而冷却启动液体。所述冷凝室具有所述冷凝液体的液体体积,并且所述生产室具有所述启动液体的液体体积。如上所述,随着所述冷凝液体经由所述流体通道返回到所述生产室并且蒸汽经由所述流体通道进入所述冷凝室,所述生产室和所述冷凝室的液体体积逆相关并波动。方法300还包括

在308将具有放射性同位素的液体从靶设备排除。

[0060] 本说明书中所述的实施例并不限于产生用于医疗用途的放射性同位素,而是可以产生其他同位素并且使用其他靶材料。此外,多个实施例可以结合具有不同定向(例如,垂直或水平定向)的不同类型的回旋加速器,以及不同的加速器,例如用直线加速器或者激光引发加速器替代螺旋式加速器。此外,本说明书中所述的实施例包括用于制造上述同位素生产系统、靶设备和回旋加速器的方法。

[0061] 应了解,上述说明旨在说明而非限定。例如,上述实施例(和/或其方面)可以彼此结合使用。此外,可以在不脱离本发明范围的情况下做出许多修改,以使特殊情况或材料适用于本发明的教导。尽管本说明书中所述材料的尺寸和类型用于定义多个实施例的参数,但是多个实施例不以任何方式限定本发明,并且仅为示例性实施例。在查阅上述描述后,许多其他实施例将对所属领域的技术人员而言显而易见。因此,多个实施例的范围应参考随附的权利要求书,以及此类权利要求书的完全范围等效物确定。在随附的权利要求书,术语“包括(including)”和“其中(in which)”用作相应术语“包括(comprising)”和“其中(wherewithin)”的纯英语等效物。此外,在随附权利要求书中,诸如“第一”、“第二”和“第三”等术语仅用作标签,并不用于对相应对象做出数值要求。此外,随附权利要求中的限定并非以装置加功能的方式撰写,并且并不用于基于35U.S.C. §112第六段解释,除非权利要求限定明确使用术语“装置用于”,后跟不含进一步结构的功能说明。

[0062] 本说明书使用了多个实施例来公开本发明,包括最佳模式,同时也让所属领域的任何技术人员能够实施多个实施例,包括制造并使用任何装置或系统,以及实施所涵盖的任何方法。多个实施例的保护范围由权利要求书限定,并可包含所属领域的技术人员想出的其他实例。如果其他此类实例的结构要素与权利要求书的字面意义相同,或如果此类实例包含的等效结构要素与权利要求书的字面意义无实质差别,则此类实例也应在权利要求书的范围内。

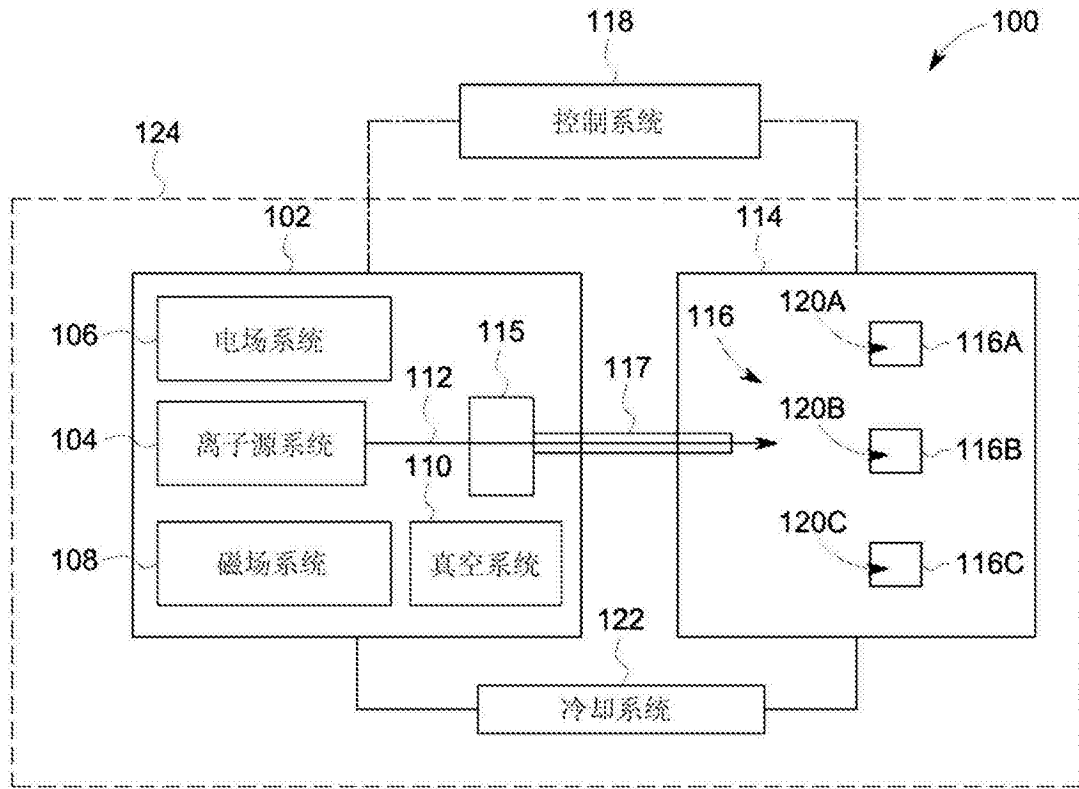


图1

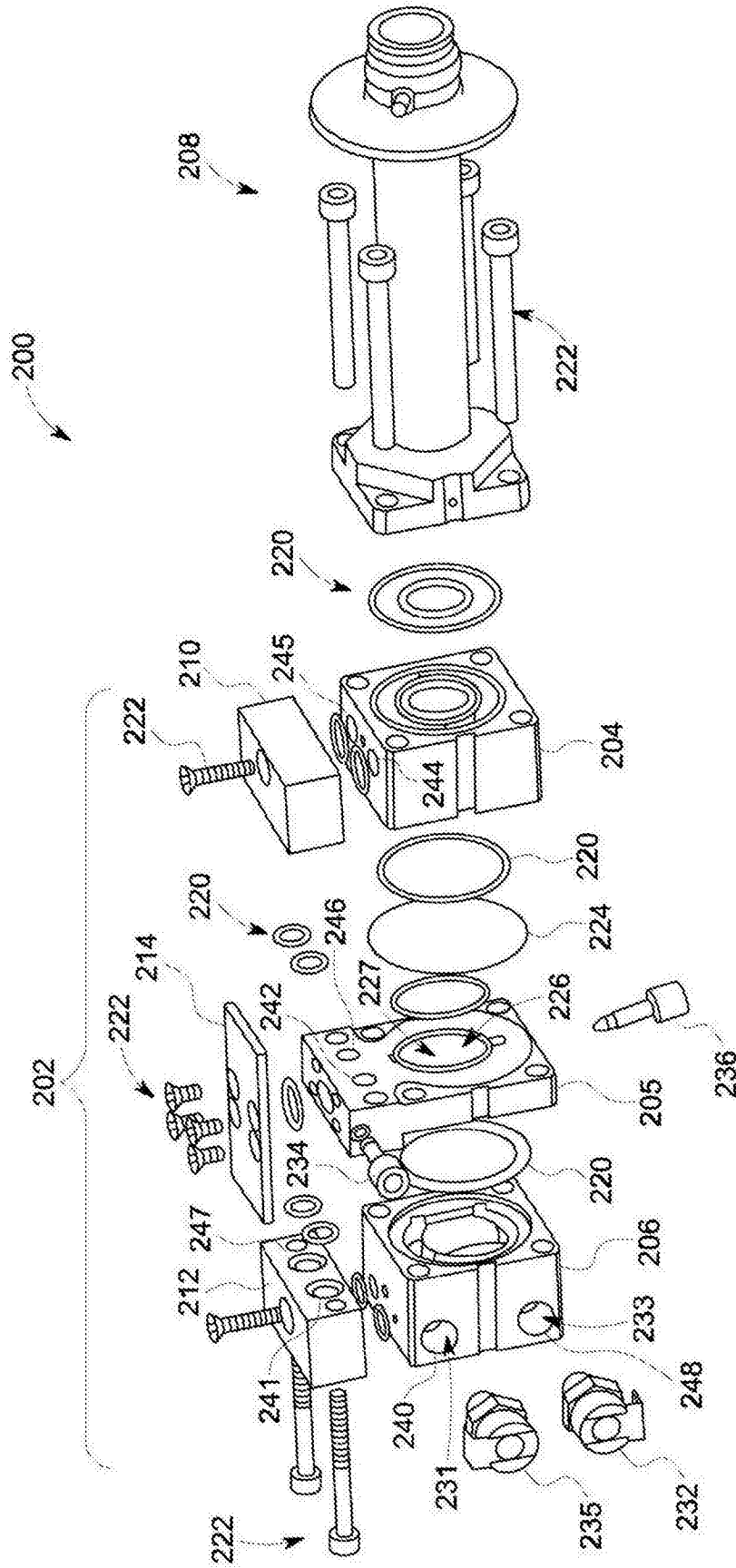


图2

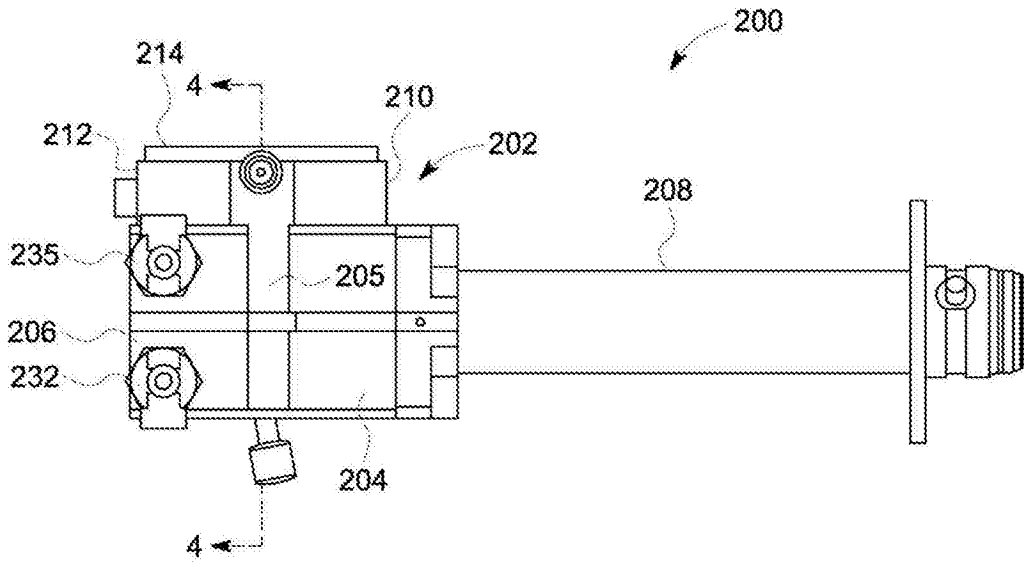


图3

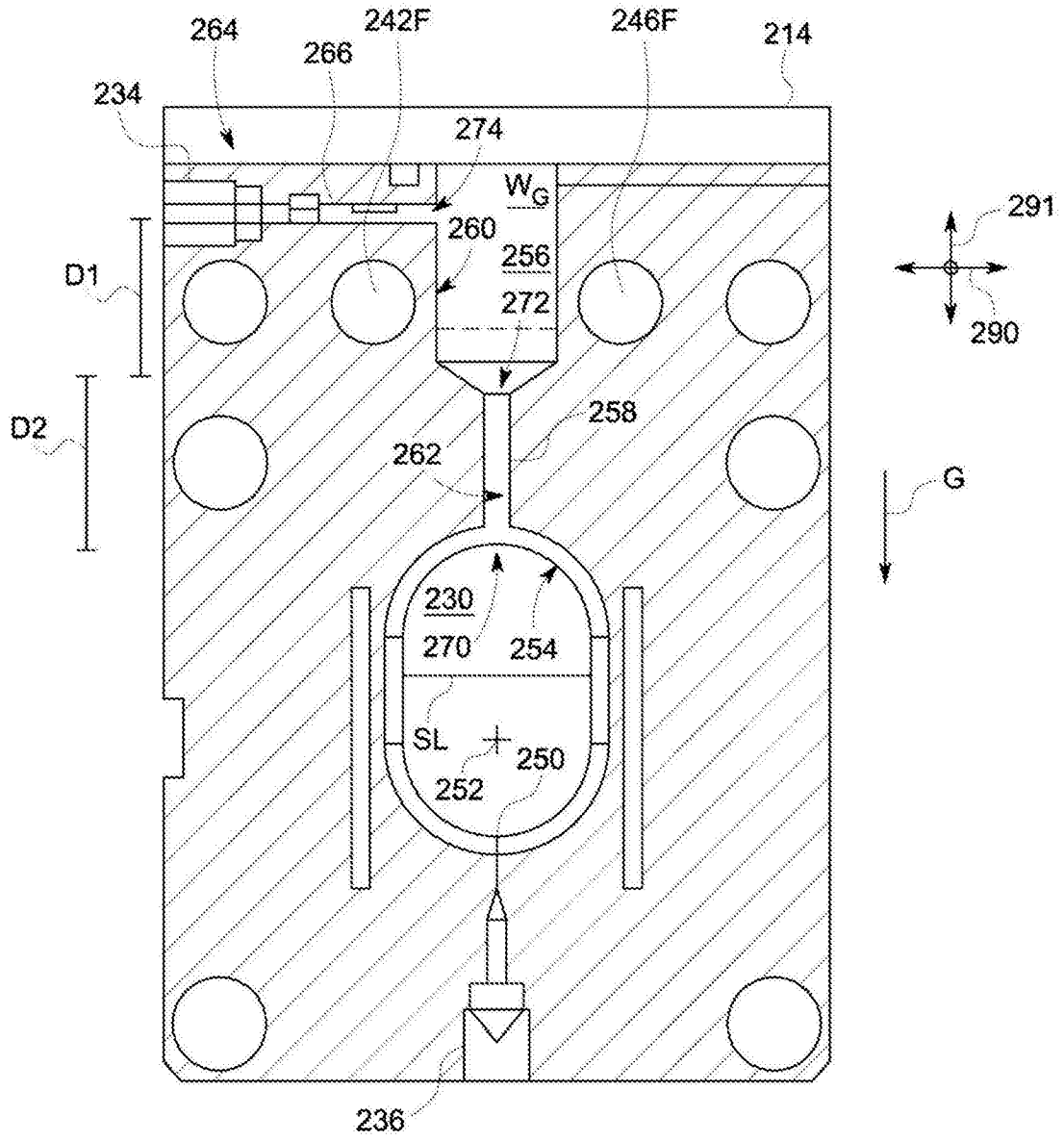


图4

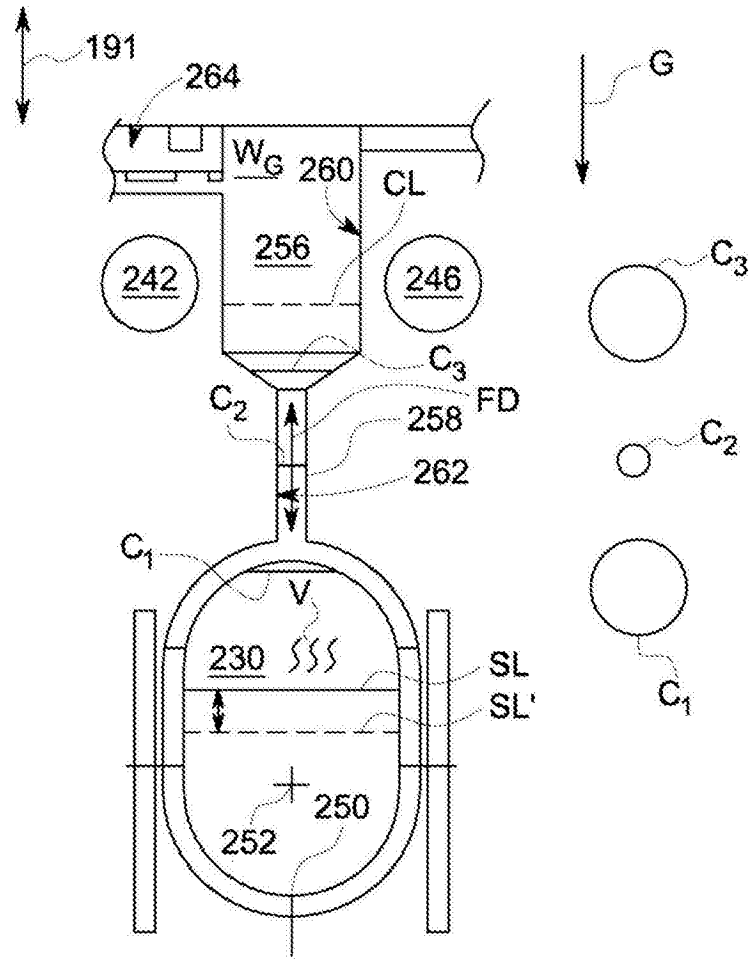


图5

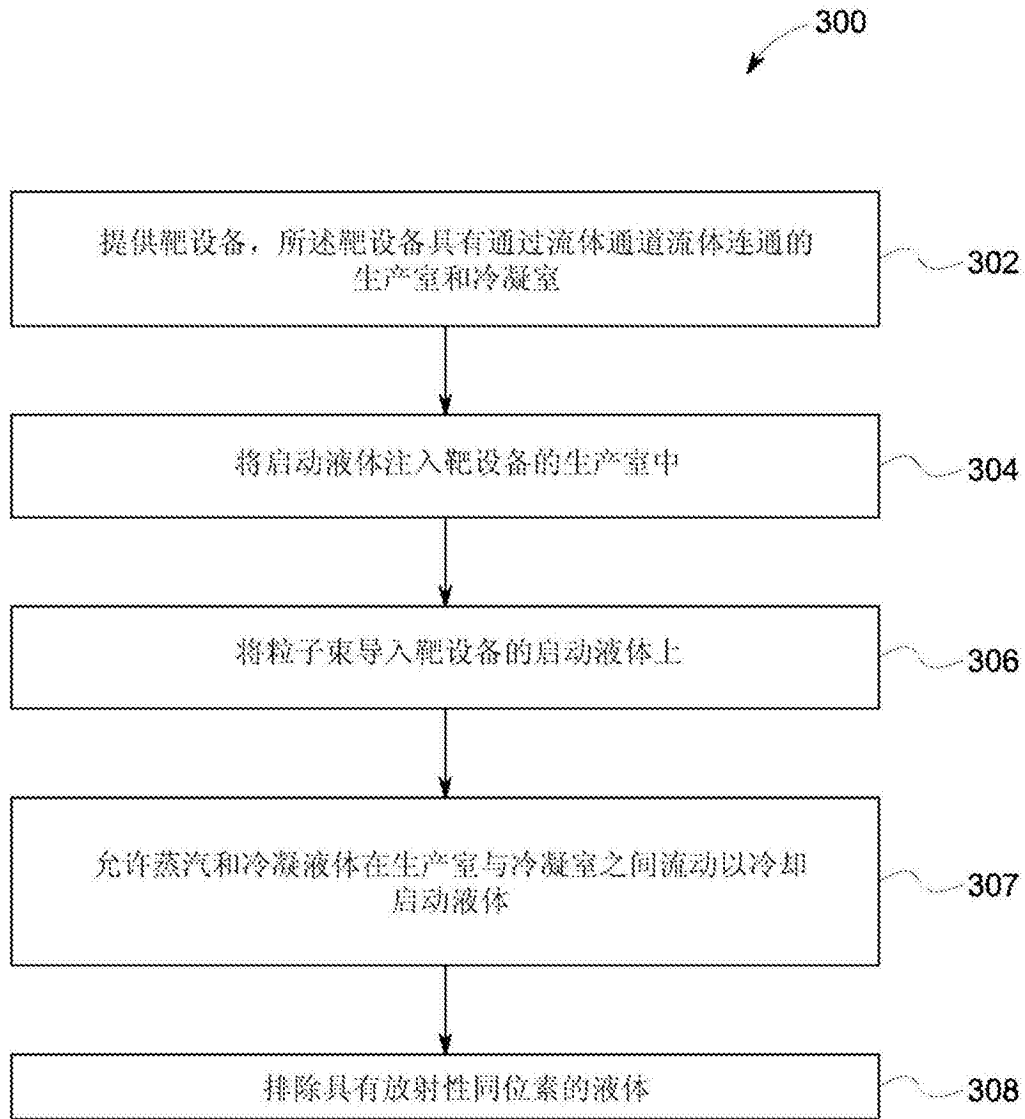


图6