



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105122425 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 02

(21) 申请号 201380075653. X

代理人 迟军

(22) 申请日 2013. 04. 18

(51) Int. Cl.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2015. 10. 15

H01L 21/304(2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2013/002645 2013. 04. 18

(87) PCT国际申请的公布数据
W02014/170928 JA 2014. 10. 23

(71) 申请人 国立大学法人东北大学
地址 日本宫城县仙台市青叶区片平二丁目
1 番 1 号
申请人 斯泰拉化工公司

(72) 发明人 酒井健 吉田达郎 平塚亮辅
石川俊 大见忠弘 长谷部类
高野顺 菊山裕久 山本雅士

(74) 专利代理机构 北京怡丰知识产权代理有限公司 11293

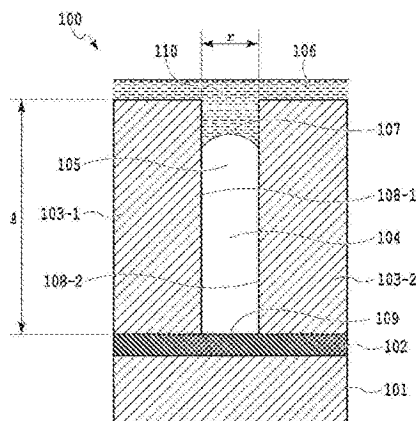
权利要求书1页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

微空腔的内壁面处理方法

(57) 摘要

提供一种孔的内壁面处理方法,即使要被处理的基体中设置的孔是窄而深的孔,仍能可靠地进行蚀刻和清洗。对设置有基体(100)且可减压的处理空间进行减压,其中该基体在其内部具有被施予处理液(106)的表面以及在该表面中具有开口(110)的微空腔(104);然后向该被减压的处理空间导入处理液(106),以处理微空腔(104)的内壁面。这里,该微空腔(104)的纵横比(1/r)为5或更大,或者纵横比小于5且V/S(V:微空腔的容积、S:开口的面积)为3或更大。



1. 一种微空腔的内壁面处理方法,其特征在于:对设置有基体且可减压的处理空间进行减压,其中该基体的内部具有被施予处理液的表面以及在该表面具有开口的微空腔,该微空腔的纵横比(l/r)为5或更大,或者纵横比小于5且 V/S (V :微空腔的容积、 S :开口的面积)为3或更大;然后向所述被减压的处理空间导入上述处理液,以处理上述微空腔的内壁面。

微空腔的内壁面处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微空腔的内壁面处理方法。

背景技术

[0002] 在半导体领域,传统上是通过基本电子有源元件(基本电子元件)之一的晶体管的微型化来推进高集成化。

[0003] 然而,由于其基本技术之一的曝光技术的停滞,有人开始认为通过微型化来实现高集成化已达极限。此外,基本电子元件的微型化,还会带来大规模集成(LSI)设备化时的设备温度上升或电子泄漏等潜在问题。近来,还开始了不依赖微型化的高集成化的技术开发。其中之一便是LSI的三维化(3DI:3Dimensional Integration)技术。为实现此技术,一个必要的技术便是TSV(通过硅片通道(Through Silicon Via))技术。采用了此技术的3D集成化LSI设备,不同于采用引线接合(wire bonding)技术的封装级(package level)3D集成化设备,也期待所集成的各个设备之间的电相互连接特性的飞跃性的提升,可望作为下一代的高集成化设备。

[0004] TSV所要求的贯通孔是深度为数十微米至数百微米、纵横比为10以上的窄而深的孔(高纵横比孔)。要形成这样的孔,已提出了在0.5微米至0.25微米的微型电路图案的形成中采用最近所采用的干法刻蚀以及用于去除抗蚀剂的氧等离子体灰化法。然而,在这样的干法蚀刻中,在形成的孔周边部会因干法蚀刻气体、抗蚀剂等致使产生堆积聚合物,而残留于孔内部及其周边部,致使高电阻化或电短路,导致成品率降低。此外,要除去残留的堆积聚合物及清洁孔内部,必须使用湿式清洗。由此,即使在TSV中,也对传统的湿法蚀刻、清洗工艺有更高的要求。

[0005] 然而,经本发明团队的研究及实验,发现了以下事项,得知传统的湿法蚀刻、清洗并不足够。也就是说,在蚀刻具有大纵横比的孔的底部,或清洗孔内的情形下,如果使用传统的处理液,则会因为孔窄而深,导致处理液(蚀刻液、清洗液等)可能无法侵入至孔内的情况。因此,可能会发生无法按照预期进行蚀刻或清洗的情况。作为解决方案,也就是传统上一直实施的方法,是在处理液中混入界面活性剂来改善其孔内壁的润湿性,以解决现有问题。

[0006] 然而,虽然为了确保处理液能充分发挥功能而改善润湿性来达成其目的而提出了本提案,但就现状而言,不论是在蚀刻还是清洗中,处理液的调合都不适当。另外,如果要将处理液从被处理体表面供给至孔内,则在孔内会形成环境气体的气泡,从而发生妨碍处理液侵入孔内的现象。该现象在圆筒状的孔中可明显地观察到。

[0007] 已提出了一种在利用超声波振动来清洗复杂且具有多个微小孔的太阳能电池用多晶硅时反复进行减压与加压的技术(参见专利文献1)。然而,专利文献1所公开的技术利用了超声波振动,对于本申请中作为对象的TSV这样的大纵横比的孔图案而言,因相对于形成孔的壁面构成部件的壁厚,壁的高度极其高,因此会发生壁面构成部件因超声波振动而走样变形(图案走样变形)的问题。该问题会随着孔的纵横比越高,或是随着孔图案

越微小而更加显著。

[0008] 现有技术文献

[0009] 专利文献

[0010] [专利文献 1] 日本特开第 2012-598 号公报

发明内容

[0011] 发明要解决的问题

[0012] 本发明是鉴于上述问题点,经悉心研究而得出,目的在于提供一种孔的内壁面处理方法,即使设置在被处理基体中的孔是窄而深的孔,处理液仍会迅速地侵入并充满孔内,由此能够可靠地进行蚀刻或清洗而不使孔图案走样变形。

[0013] 解决问题的手段

[0014] 本发明的一个技术方面提供一种微空腔的内壁面处理方法,其特征为:对设置有基体且可减压的处理空间进行减压,其中该基体的内部具有被施予处理液的表面以及在该表面具有开口的微空腔,该微空腔的纵横比 (l/r) 为 5 或更大,或者纵横比小于 5 且 V/S (V : 微空腔的容积、 S : 开口的面积) 为 3 或更大;然后向所述被减压的处理空间导入前述处理液,以处理前述微空腔的内壁面。

[0015] 发明的效果

[0016] 根据本发明,即使是窄而深的孔,处理液也会迅速地侵入并充满孔内,由此能够可靠地进行蚀刻或清洗。

附图说明

[0017] 图 1 是用于示意性说明当 SOI 基体上设置的窄而深的孔内存在气泡,而处理液无法渗透至孔底部的状况的说明图。

[0018] 图 2 是用于示意性说明适合具体展现本发明的制造系统的一个示例例的结构图。

[0019] 图 3 是示意性示出图 2 所示制造管线的一部分的结构图。

[0020] 图 4 是用于示意性说明药匣 302 内部具有的处理(药)液供给系统的合适的结构的说明图。

[0021] 图 5 是示意性示出减压废液槽 207 的结构图。

[0022] 图 6 是用于示意性说明另一合适的处理腔室的结构图。

[0023] 图 7 是用于示意性说明图 6 中处理腔室 501 的内壁面上设置的氮气 (N_2) 气体喷出口的排列与喷出方向的俯视图。

[0024] 图 8 是示出水的饱和蒸气压曲线的示意图。

具体实施方式

[0025] 图 1 是用于示意性说明当 SOI 基体上设置的窄而深的孔内存在气泡,而处理液无法渗透至孔底部的状况的说明图。

[0026] 图 1 中所示,附图标记 100 为 SOI 基体、101 为 Si(硅)半导体基板、102 为 SiO_2 (氧化硅)层、103 为 Si 层(103-1, 103-2)、104 为孔、105 为气泡、106 为处理液、107 为气液界面、108 为内侧壁面(108-1, 108-2)、109 为内底壁面以及 110 为开口。

[0027] 在常压环境下,当对 SOI 基体 100 的表面供给处理液时,即使对于 Si 层 103 的内侧壁面的润湿性良好,仍可能发生孔 104 内(微空间, micro space)无法充分被处理液填满的状况(图 1 示意性地示出一个示例)。仔细观察孔 104 内未被处理液填满的状况,会发现孔 104 内存在气泡 105。当 SOI 基体 100 维持静止状态时,气泡 105 会呈被处理液 106 堵塞的状态而保留在孔 104 内。在存在气泡 105 的状况下,对于 SOI 基体 100,将超声波振动施加至 SOI 基体时,孔 104 内会发生气液交换,孔 104 内会迅速被处理液填满。或者是,在将超声波振动施加至 SOI 基体的同时对 SOI 基体 100 的表面上供给处理液时,更加会阻止气泡形成,气泡 104 有较难形成的倾向。但是,如果超声波振动的振动过大或过于激烈,则将要形成的或是正在形成的例如图案便会走样变形,因此本发明中不优选采用超声波振动。就算采用,也优选在不引发图案走样变形的范围内平稳地进行超声波振动。

[0028] 假设孔 104 的开口直径为「r」、从孔 104 的开口位置至内底壁面 109 的深度为「l」,则所谓的纵横比可以「l/r」表示。在孔 104 内形成气泡 105 的条件有处理液的表面张力、黏度、液成分、侧壁面 108 的表面平滑性、所使用的处理液的润湿性、「r」「l」的大小与纵横比等,参数众多,难以一概而论。

[0029] 本发明团队首先针对如图 1 所示构造材的 SOI 基体,将孔 104 的内部构造形成不限于圆筒的各种孔,并使用超纯水作为处理液,来验证气泡的形成倾向。孔 104 的内部构造不限于圆筒形状,还对尺寸进行各种改变,做成包袱形状(开口的下部呈袋状或锥状扩张)、矩形形状(开口呈正方形、长方形、菱形等四方形)、三角形状、六角形状、椭圆形状、超椭圆形状、星形形状。结果发现,假设孔 104 的开口 110 的面积为「S」、内容积为「V」,则不管是哪种形状,从「V/S」的值在「3」左右开始,形成气泡的难易程度有快速增加的倾向。其中,将孔 104 的内侧壁面为曲面的情况(如圆筒或椭圆那样)与具有角(如矩形那样)的情况进行对比,可知曲面的情况更易形成气泡。其原因虽仅属推测,但可认为如果内壁具有角,则因气泡有成为球体的强烈倾向,因此角难以被气泡占据,液体会通过角而到达内底壁面 109,结果变得容易发生气液交换,孔空间会被液体填满。

[0030] 因此,分别使用氢氟酸(hydrofluoric acid, HF)及缓冲氢氟酸(buffered hydrofluoric acid, BHF)来取代超纯水,来蚀刻构成内底壁面 109 的 SiO₂层 102。结果显示,使用氢氟酸时,即使「V/S」的值在「3」左右,相对而言气泡也不容易形成(「V/S」的值为「3」的 300 个孔当中,形成气泡的有 15 个左右);而使用缓冲氢氟酸时,以 80% (240 个)的比例形成气泡,蚀刻并不彻底。因此,本发明团队为验证上述情形,准备了可减压的处理腔室,在减压下(30Torr)进行。结果显示,氢氟酸水溶液(FH 为 1~20%)、缓冲氢氟酸(氟化铵:20%、HF:1~20%)的任一者,皆以 100%的比例完全蚀刻。该减压效果一定程度上依赖于减压程度,但若减压过度,在该压力下会超过处理液的沸点,因此对于装置的设计而言,优选在不超过沸点的范围内减压。

[0031] 本发明中,以下将孔的内部空间称为「微空腔」。本发明中,当微空腔不是圆筒结构(称为「非圆筒」)的情形下,其「r」值是由将此时的微空腔视为圆筒,以非圆筒的「S」来求得。在该情况下的「l」,是从开口位置至微空腔的最深处内底壁面位置的深度(最大深度)。本发明中的减压效果,在纵横比(l/r)为 5 或更大、或者纵横比小于 5 且 V/S(V:微空腔的容积、S:开口的面积)为 3 以上时较显著。特别是,在处理液为缓冲氢氟酸、被处理体为 SOI 基体的情况下,能够得到更为显著的效果。

[0032] 在本发明中,当「1/r」的值为 5 或更大时,则不论「V/S」的值为何,均能得到显著的减压效果。当「1/r」的值小于 5 时,则依赖于「V/S」的值,如果「V/S」<3,则几乎无法得到减压效果,内部残留气泡的孔的比例会升高。在本发明中,当「1/r」的值小于 5 时,期望「V/S」的值是 3.5 或更大。

[0033] 图 2 是用于示意性说明适合具体展现本发明的制造系统的一个示例的结构图。图 3 是示意性示出图 2 所示的制造管线的一部分的结构图。图 2、图 3 中所示,200 为处理系统、201 为减压处理腔室(室)、202 为被处理体设置平台、202-1 为被处理体设置平台用的旋转轴体、203 为被处理体、204 为环境气体供给管线、205 为处理(药)液供给管线、206 为回收罩(recovery hood)、207 为减压废液槽、208 为大气或 N₂供给管线、209 为排液管线、210 为回收管线、211 ~ 212 为排气管线、213 为排气泵、214 ~ 221 为阀、222 为处理液用的供给量可变喷嘴、301 为旋转器(spinner)、302 为药匣以及 303 为铝框架。

[0034] 处理系统 200 包括减压处理腔室(室)201 及减压废液槽 207,它们的内部被构造通过排气泵 213 而减压至规定值。在减压处理腔室(室)201,从外部在规定的定时(timing),以规定量分别经由环境气体供给管线 204 供给 N₂等环境气体、以及经由处理液供给管线 205 供给处理(药)液。在环境气体供给管线 204 的中途,设有具备流量调整功能的开关阀。在减压处理腔室 201 内,被处理体设置平台 202 被设置为固定在被处理体设置平台用的旋转轴体 202-1 上。在被处理体设置平台 202 上,设置有被处理体 203。经由环境气体供给管线 204 供给至减压处理腔室 201 内的环境气体,如箭头 A 所示通过回收罩 206,而经由处理液供给管线 205 供给的处理液,则如箭头 B 所示通过回收罩 206,分别由回收管线 210 回收至减压废液槽 207 内。在回收管线 210 的中途设有开关阀 217。

[0035] 在减压废液槽 207 中,供给管线 208、排气管线 211 相结合。供给管线 208 为空气或 N₂用的供给管线。减压废液槽 207 内的废液 223 经由排液管线 209 而排出至减压废液槽 207 外。减压废液槽 207 内,可根据需要从供给管线 208 供给空气或 N₂以恢复成一个大气压。在供给管线 208 的中途设有开关阀 215。此外,在排液管线 209 的中途设有开关阀 216。减压处理腔室 201 经过排气管线 212、废液槽 207 经过排气管线 211,两者分别由泵 213 减压。在排气管线 211 的中途设置有阀 218、219,在排气管线 212 的中途,分别设置有阀 220、221。阀 219、221 为具备流量可变机构的开关阀。排气泵 213 为耐水性的泵,例如是隔膜(diaphragm)型化学干式真空泵(chemical dry vacuum pump),具体而言优选采用 DTC-120(ULVAC 公司制造)。

[0036] 处理腔室 201 与废液槽 207 如图 3 所示,例如安装在铝制框架 303 上。在框架 303 上还安装有为使旋转轴体 202-1 旋转而设置的旋转器 301。在处理(药)液供给管线 205 的上游端,连接有贮蓄处理液的药匣 302。

[0037] 图 4 是用于示意性说明药匣 302 内部包括的处理(药)液供给系统的合适的结构的说明图。图 4 中所示,400 为氮气压送方式处理(药)液供给系统、401 为储罐、402 为处理液供给管线、403,411 为停止阀、404 为流量调节阀、405 为流量计、406 为捕雾器(mist trap)、407,408 为氮气气体供给管线、409 为通气(排气)阀(vent valve)、410 为分流接头、412 为调节器、413 为接头以及 414、415 为快速接头。

[0038] 氮气压送方式的处理(药)液供给系统 400,针对储罐 401,在上游侧设有 3/8 英寸管线且在下游侧设有 1/4 英寸管线的处理液供给管线 402 是通过接头 413 而经由快速接

头 414 连接;1/4 英寸的氮气气体供给管线 407,是经由快速接头 415 连接。在处理液供给管线 402 的中途,设有停止阀 403、流量调节阀 404、流量计 405。此外,处理液供给管线 402 的停止阀 403 侧的下游部分与处理液供给管线 205 相连。在氮气气体供给管线 407 的中途,设有通气(排气)阀 409、分流接头 410。通气(排气)阀 409,是用来将储罐 401 内和氮气气体供给管线 407 内的氮气气体排放至外部。氮气气体供给管线 407 的下游侧插入至捕雾器 406 内。氮气气体通过调节器 412、停止阀 411、氮气气体供给管线 408 而被导入捕雾器 406 内。捕雾器 406 被设置用来防止处理液逆流至上游侧。

[0039] 图 5 是示意性示出减压废液槽 207 的结构图。图 5 中所示,501 为排液用的凸缘、502 为减压用的凸缘、503 为废液导入用的凸缘、504 为气体导入用的凸缘、505 为真空计、506 为流量计以及 507 为液位观察用窗。

[0040] 在减压废液槽 207 中,排液管线 209 经由排液用的凸缘 501、排液管线 211 经由减压用的凸缘 502、回收管线 210 经由废液导入用的凸缘 503、供给管线 208 经由凸缘 504 而分别连接。真空计 505 用于测定废液槽 207 内的压力。在废液槽 207 的上部,为了观察废液槽 207 内的废液水位,设有由耐废液用的透明构件所构成的液位观察用窗 504。

[0041] 图 6 是用于示意性说明另一合适的处理腔室的结构图。图 6 中所示,600 为减压处理腔室、601 为腔室构成体、602 为上盖、603 为被处理体设置用的平台、604 为旋转轴体、605 为磁性流体密封件、606 为特殊处理(药)液供给管线、607 为臭氧水供给管线、608 为超纯水供给管线、609,610,611,618 为流量计、612,613,614,617,621,624 为阀、615 为气体导入管线、619 为气体排出管线、616,620,623 为凸缘、622 为废液管线、625 为观察用窗(625-1,625-2)、及 626 为真空计。

[0042] 图 6 所示的减压处理腔室 600 与图 2 所示的减压处理腔室 201 的不同之处在于具备特殊处理(药)液供给管线 606、臭氧水供给管线 607、超纯水供给管线 608 这三条供给管线。此外,除了另一点不同之处以外,基本上与减压处理腔室 201 在结构上无异。另一点不同之处在于,在减压处理腔室 600 安装有气体导入管线 615、气体排出管线 619。减压处理腔室 600 内的环境气体通过气体导入管线 615 而被导入。气体导入管线 615 由凸缘 616 安装至减压处理腔室 600。在气体导入管线 615 的中途,设有开关用的阀 617、流量计 618。气体排出管线 619 由减压用的凸缘 620 安装至减压处理腔室 600。在气体排出管线 615 的中途,设有开关用的阀 621。气体排出管线 615 的下游侧,连接有与真空泵 213 相同的泵(未图示)。减压处理腔室 600 被构造为由腔室构成体 601 与上盖 602 来将内部保持在减压状态下。在上盖 602 上设有用来观察腔室 600 内部的两个观察用窗 625-1,625-2。在减压处理腔室 600 的内部,设有设置了处理体的被处理体设置用的平台 603。在平台 603 上,以可拆卸的状态固定设置有用使平台 603 旋转的旋转轴体 604。旋转轴体 604 被磁性流体密封件 605 密封,与减压处理腔室 600 的外部所设置的旋转器的旋转轴体接合。在特殊处理(药)液供给管线 606 的中途设有流量计 609、阀 612。在臭氧水供给管线 607 的中途,设有流量计 610、阀 613。在超纯水供给管线 608 的中途,设有流量计 611、阀 614。在减压处理腔室 600 的底部,废液管线 622 由凸缘 623 安装至减压处理腔室 600。在废液管线 622 的中途,设有开关用的阀 624。在减压处理腔室 600 的侧面上,安装有用来测定减压处理腔室 600 内的压力的真空计 626。

[0043] 图 7 是用于示意性说明图 6 中处理腔室 601 的内壁面上设置的氮气(N₂)气体喷

出口的排列与喷出方向的俯视图。图 7 中所示,701 为气体喷出内壁管以及 702 为气体喷出出口。

[0044] 与气体导入管线 615 结合的气体喷出内壁管 701 安装在减压处理腔室 600 的内壁上。在气体喷出内壁管 701 上,设有规定数量的气体喷出口 702,其喷出方向朝向减压处理腔室 600 的内空间中心轴。将气体喷出口 702 的喷出直径及个数设计成为规定的气体喷出流速。

[0045] 本发明中,从气体喷出口 702 的气体喷出(吹出)流速,是事先在设计时适当地确定以尽可能不因气体喷出而在处理腔室内产生搅拌作用或扰流作用,更精确地说,优选在气体喷出的预备实验中决定最佳值。气体喷出所造成的搅拌作用或扰流作用的程度,也依赖于气体排气速度,在本发明中优选是 0.1~5.0m/sec、更优选是 0.5~3.0m/sec、最优是 2.0m/sec 左右。举例来说,将直径 2mm 的喷出口 702 如图所示在半圆周上设置 20 个时,期望在减压处理腔室 600 内以 200cc/min 的量来流通 N₂ 气体。此时的 N₂ 气体流速为 2.0m/sec。本发明中,为了提高气体的吸收力,优选事先使处理液充分脱气。此外,处理液供给用的管线优选使用有抑制氧气透过性的树脂制层积管(NICHIAS 公司制造)。在到此为止的说明中,举例说明了以 N₂ 气体或大气气体来作为环境气体,但若使用 CO₂ 气体来取代这些气体,则能够增加对处理液的溶解量,因此也是优选的。

[0046] 图 8 是示出水的饱和蒸气压曲线的图。横轴表示温度(°C)、纵轴表示压力(Torr)。本发明中,是将处理腔室内减压而导入处理液,但其减压的程度,为避免处理液沸腾,期望取 30Torr 为上限。在减压下将处理液供给至被处理基体表面上后再加压,即使孔内有气泡残留,气泡的体积也会因加压而缩小,变得容易从孔脱离,因此也较为理想。举例来说,从 30Torr 的减压,加压至 760Torr,则气泡的体积会变为约 1/25。因此,在本发明中的优选方式是先减压并充分供给处理液,然后再加压。此外,该减压及加压可反复进行。

[0047] 以上已针对本发明做了具体的说明,但本发明的技术不限于 TSV,凡是需要高纵横比孔的技术,例如 MEMS 等技术领域也可适用。

[0048] 附图标记说明

[0049] 100:SOI 基体

[0050] 101:Si(硅)半导体基板

[0051] 102:SiO₂(氧化硅)层

[0052] 103:Si 层(103-1,103-2)

[0053] 104:孔

[0054] 105:气泡

[0055] 106:处理液

[0056] 107:气液界面

[0057] 108:内侧壁面(108-1,108-2)

[0058] 109:内底壁面

[0059] 110:开口

[0060] 200:处理系统

[0061] 201:减压处理腔室(室)

[0062] 202:被处理体设置平台

- [0063] 202-1 :被处理体设置平台用的旋转轴体
- [0064] 203 :被处理体
- [0065] 204 :环境气体供给管线
- [0066] 205 :处理 (药) 液供给管线
- [0067] 206 :回收罩
- [0068] 207 :减压废液槽
- [0069] 208 :大气或 N₂供给管线
- [0070] 209 :排液管线
- [0071] 210 :回收管线
- [0072] 211、212 :排气管线
- [0073] 213 :排气泵
- [0074] 214、215、216、217、218、219、220、221 : 阀
- [0075] 222 :处理液用的供给量可变喷嘴
- [0076] 301 : 旋转器
- [0077] 302 :药匣
- [0078] 303 :铝框架
- [0079] 400 :氮气压送方式处理 (药) 液供给系统
- [0080] 401 : 储罐
- [0081] 402 :处理液供给管线
- [0082] 403、411 : 停止阀
- [0083] 404 : 流量调节阀
- [0084] 405 : 流量计
- [0085] 406 : 捕雾器
- [0086] 407、408 :氮气气体供给管线
- [0087] 409 : 通气 (排气) 阀
- [0088] 410 :分流接头
- [0089] 412 :调节器
- [0090] 413 : 接头
- [0091] 414、415 :快速接头
- [0092] 501 :排液用的凸缘
- [0093] 502 :减压用的凸缘
- [0094] 503 : 废液导入用的凸缘
- [0095] 504 :气体导入用的凸缘
- [0096] 505 : 真空计
- [0097] 506 : 流量计
- [0098] 507 : 液位观察用窗
- [0099] 600 :减压处理腔室
- [0100] 601 : 腔室构成体
- [0101] 602 : 上盖

- [0102] 603: 被处理体设置用的平台
- [0103] 604: 旋转轴体
- [0104] 605: 磁性流体密封件
- [0105] 606: 特殊处理(药)液供给管线
- [0106] 607: 臭氧水供给管线
- [0107] 608: 超纯水供给管线
- [0108] 609、610、611、618: 流量计
- [0109] 612、613、614、617、621、624: 阀
- [0110] 615: 气体导入管线
- [0111] 619: 气体排出管线
- [0112] 616、620、623: 凸缘
- [0113] 622: 发液管线
- [0114] 625: 观察用窗(625-1,625-2)
- [0115] 626: 真空计
- [0116] 701: 气体喷出内壁管
- [0117] 702: 气体喷出口

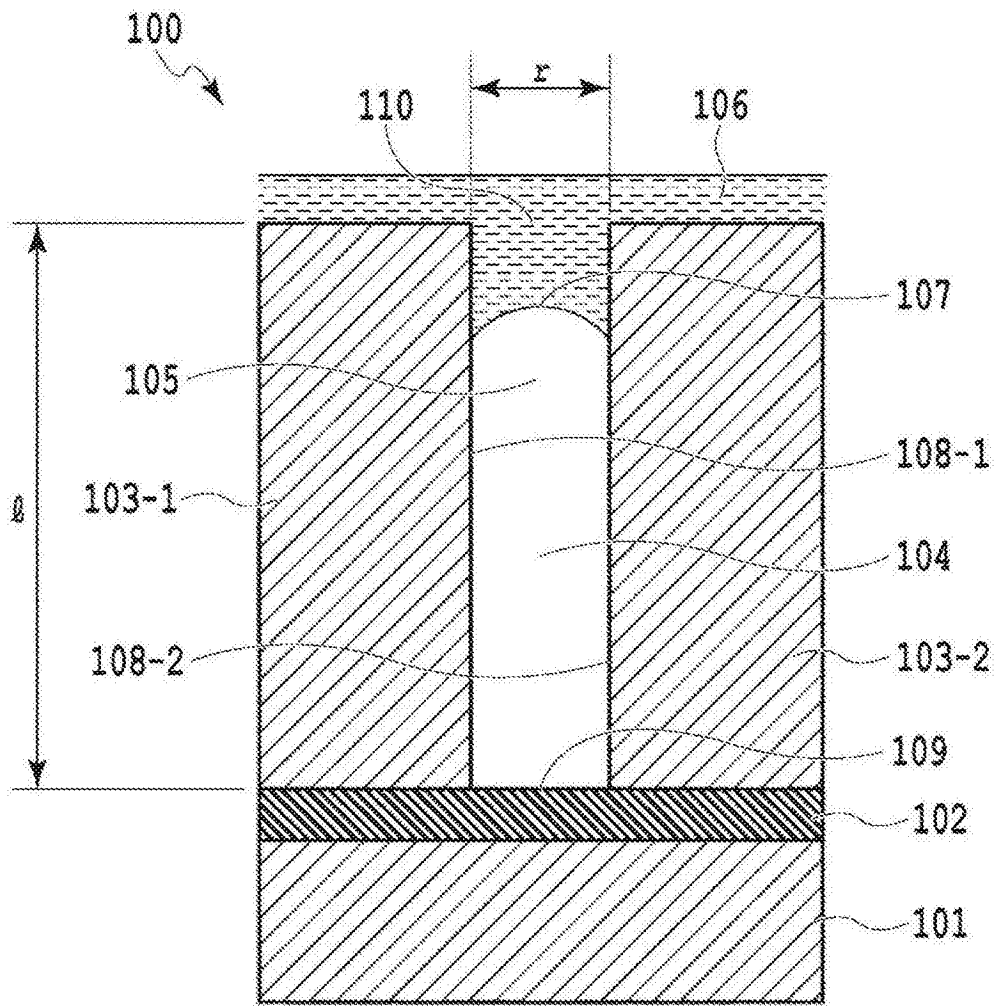


图 1

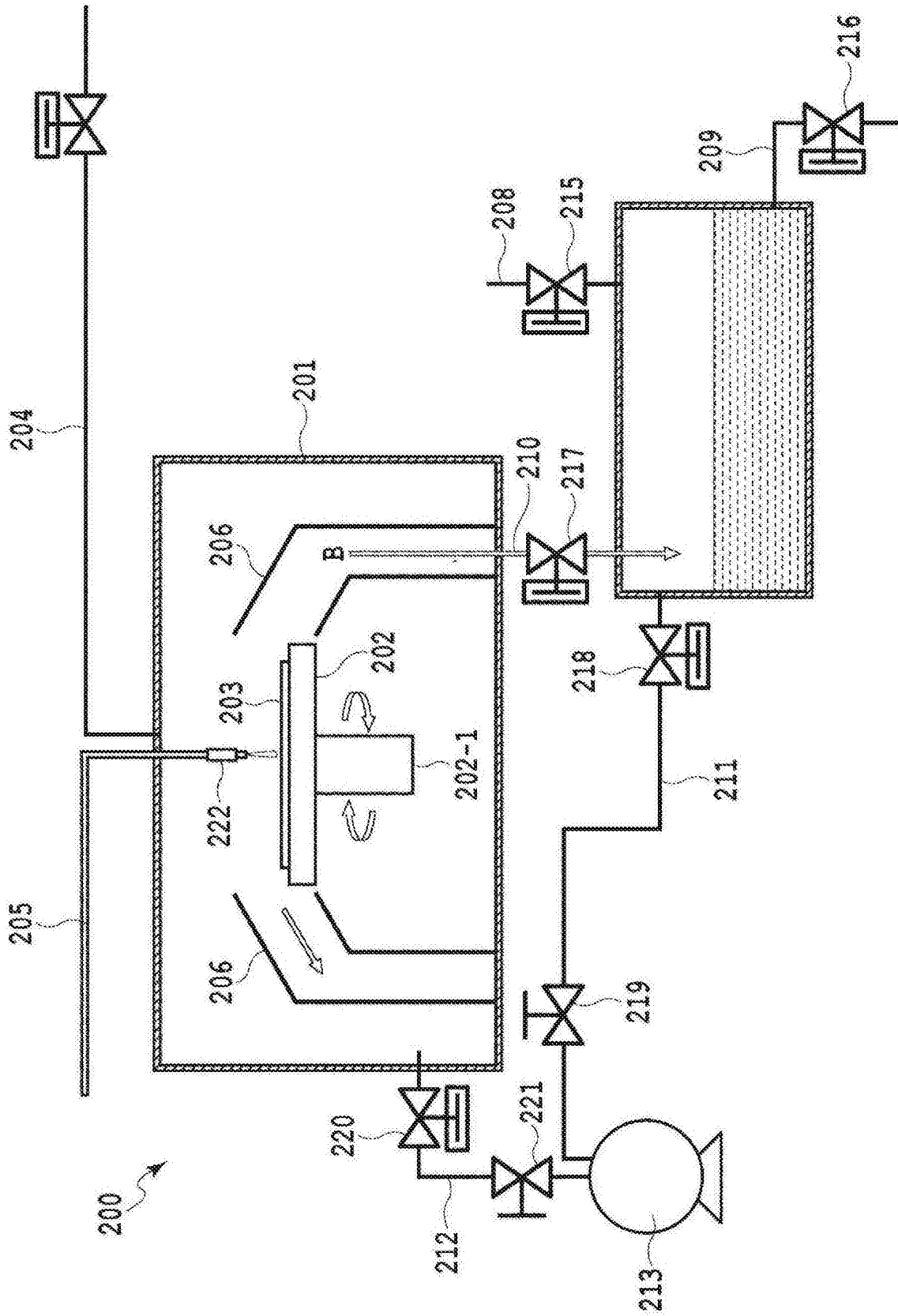


图 2

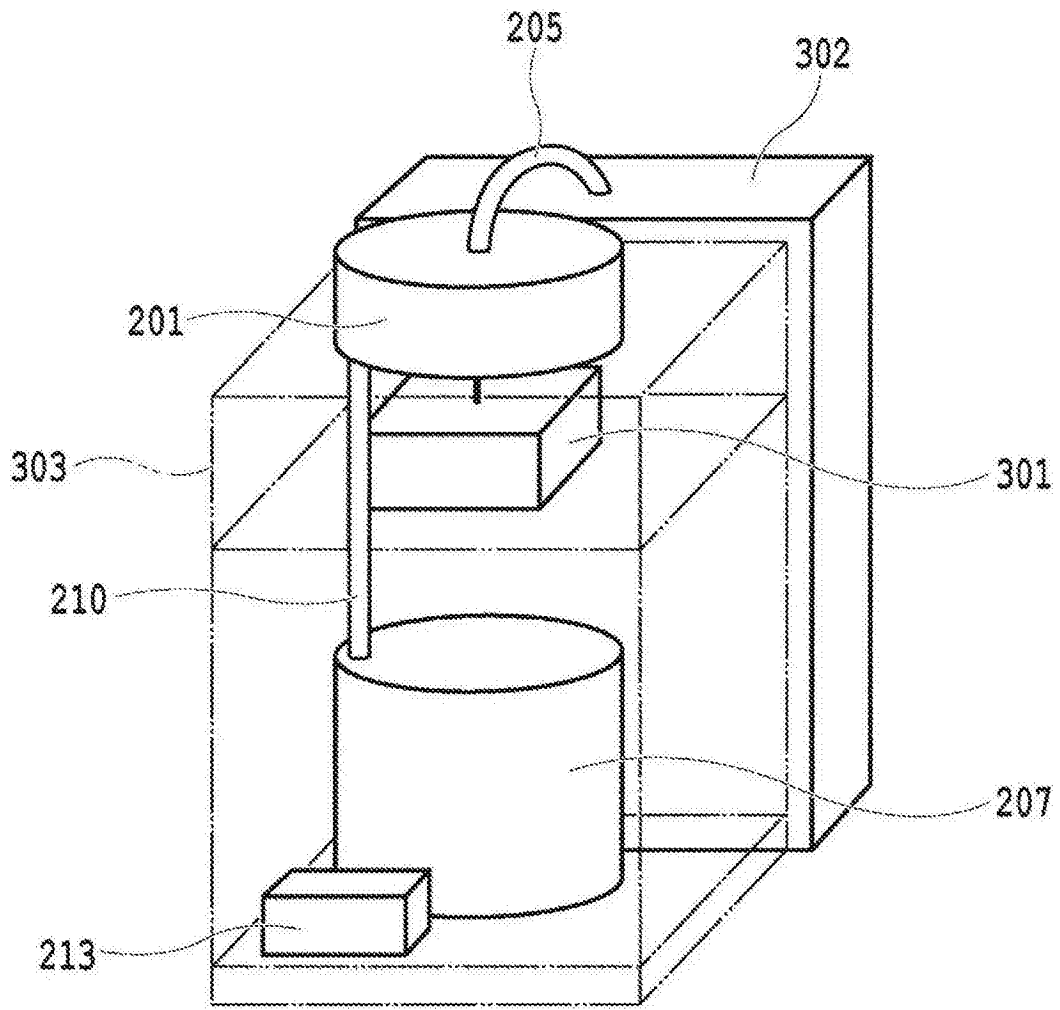


图 3

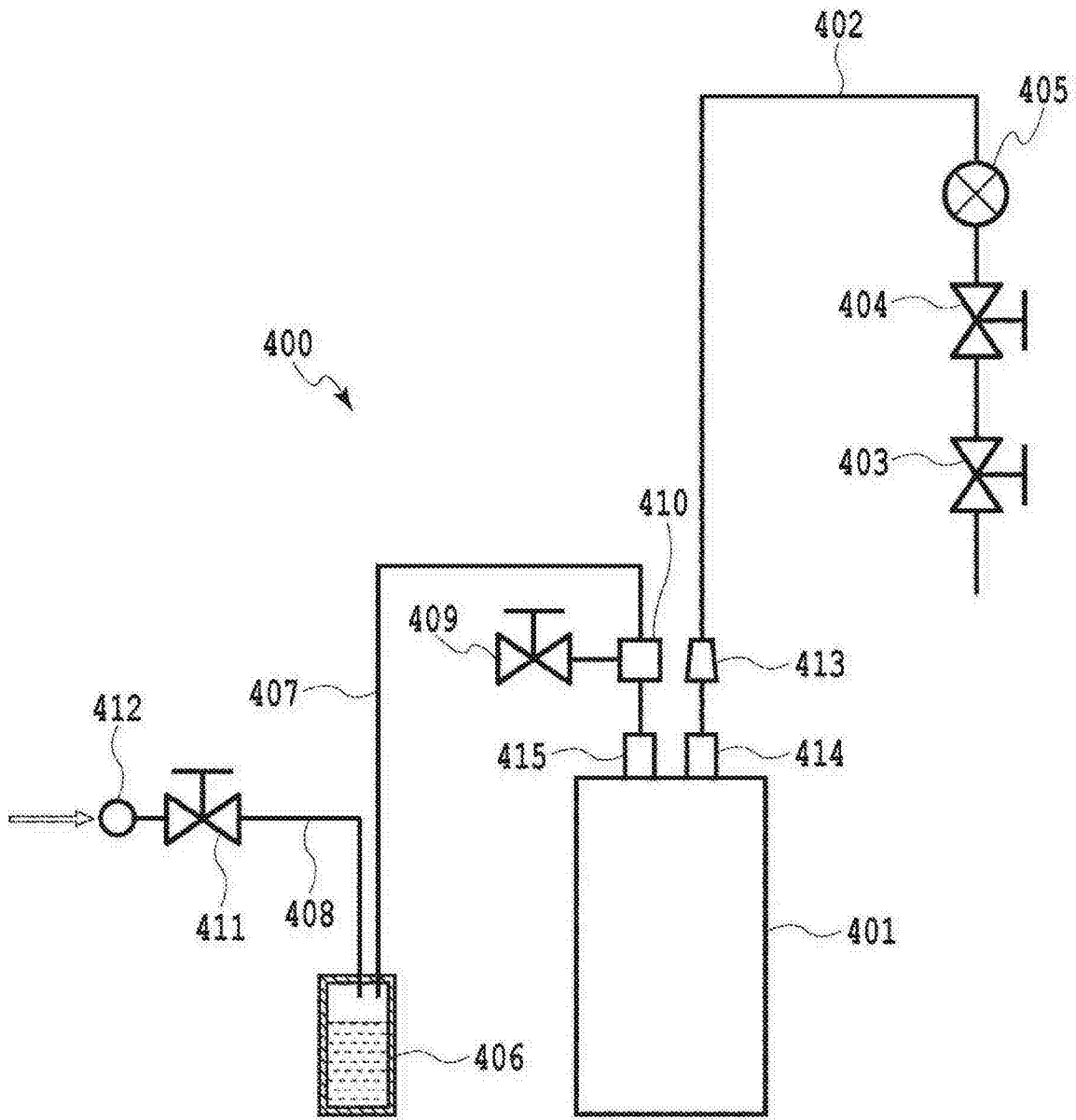


图 4

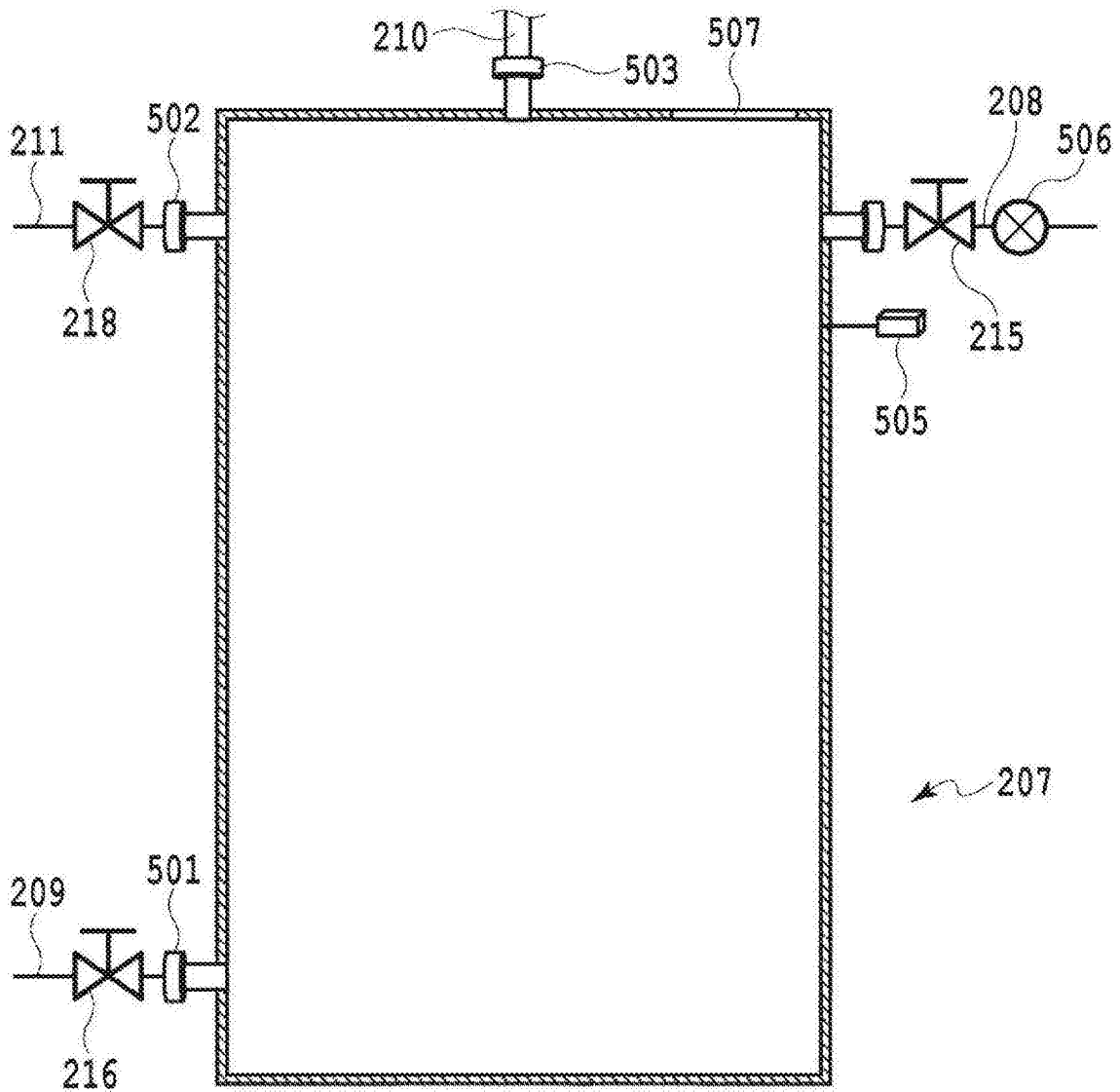


图 5

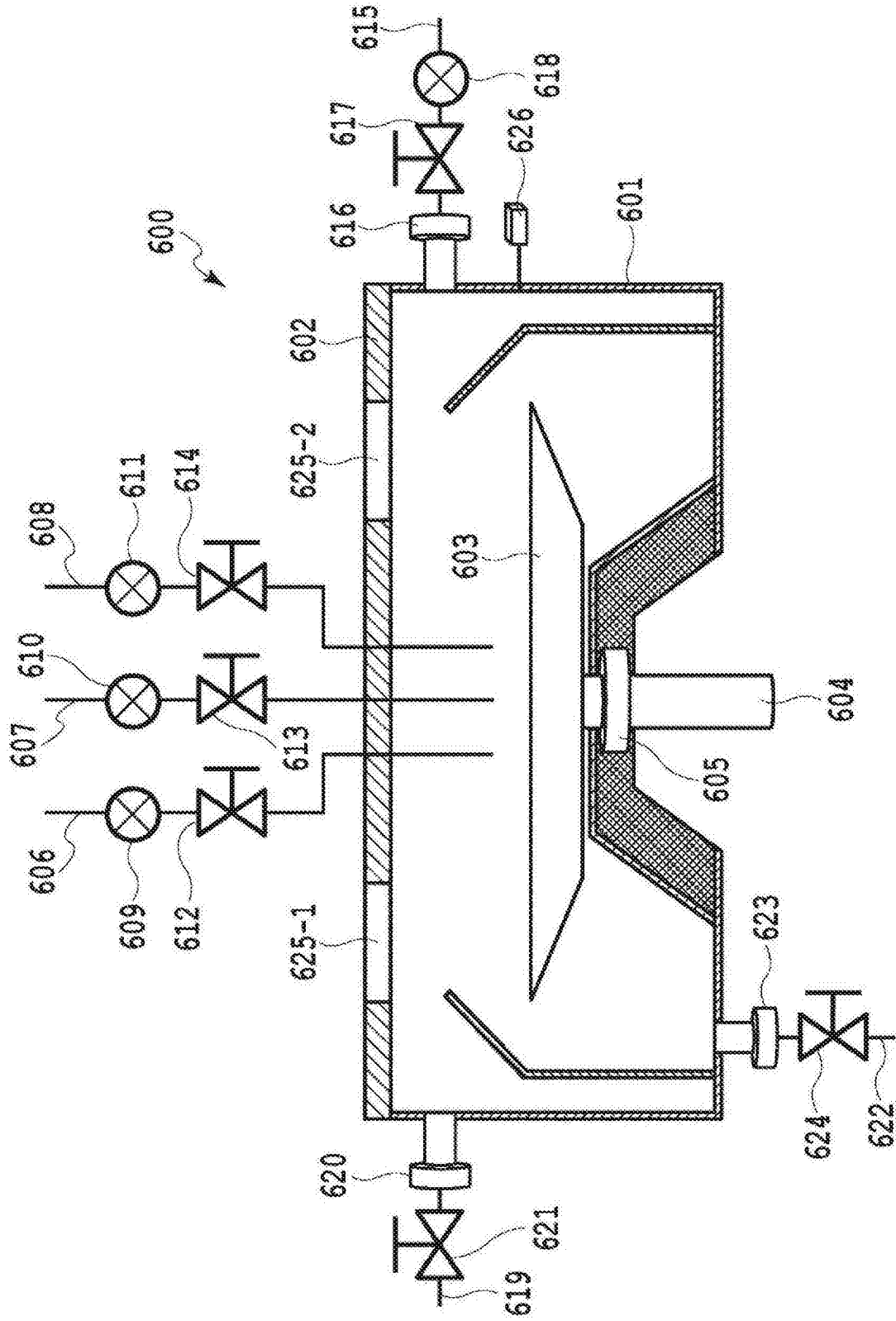


图 6

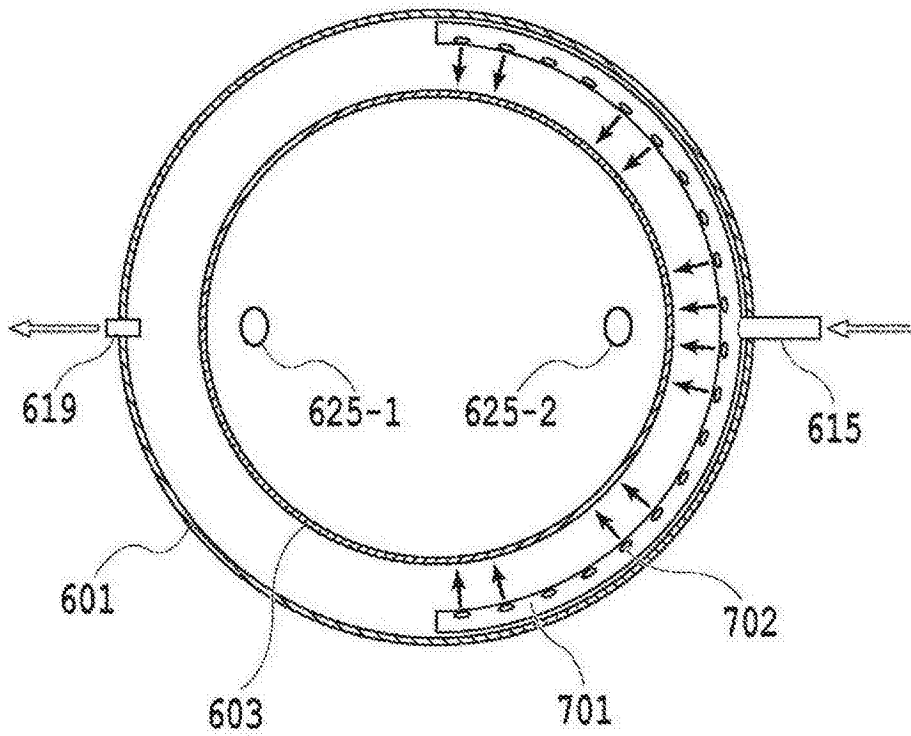


图 7

水的饱和蒸汽压曲线

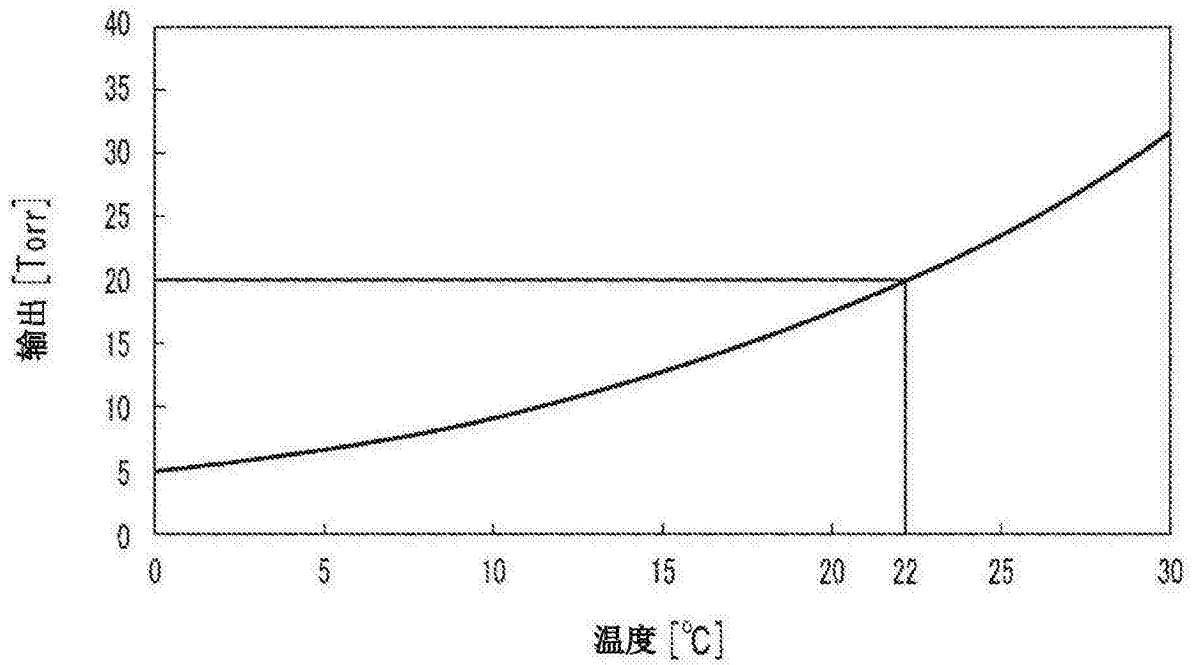


图 8