



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102456596 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201110319007. 6

(22) 申请日 2011. 10. 18

(30) 优先权数据

2010-233575 2010. 10. 18 JP

2011-106088 2011. 05. 11 JP

(73) 专利权人 株式会社日立国际电气
地址 日本东京都

(72) 发明人 杉浦忍 上野正昭 田中和夫
杉下雅士 山口英人 白子贤治

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256

代理人 陈伟

(51) Int. Cl.

H01L 21/67(2006. 01)

G05D 23/22(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1397985 A, 2003. 02. 19,

CN 1470966 A, 2004. 01. 28,

US 2005/0106318 A1, 2005. 05. 19,

CN 101040235 A, 2007. 09. 19,

CN 101423935 A, 2009. 05. 06,

US 2006/0188240 A1, 2006. 08. 24,

审查员 程凯芳

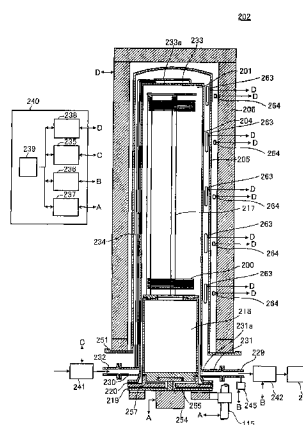
权利要求书1页 说明书19页 附图13页

(54) 发明名称

衬底处理装置、衬底处理装置的温度控制方法及衬底处理装置的加热方法

(57) 摘要

本发明提供一种衬底处理装置。能够抑制利用温度传感器控制热处理时的不良情况。衬底处理装置具有：加热机构，其对收容衬底的处理室进行加热；第一温度检测机构，其利用第一热电偶对衬底的附近的温度进行检测；第二温度检测机构，其利用第二热电偶对加热机构的附近的温度进行检测；第一控制机构，其根据由第一温度检测机构检测的温度及由第二温度检测机构检测的温度对加热机构进行控制；控制切换机构，其以控制机构对第一控制模式和第二控制模式进行切换的方式，根据由第一温度检测机构检测的温度及由第二温度检测机构检测的温度对控制机构进行控制，第一热电偶的耐热性比第二热电偶的耐热性大，第二热电偶的温度检测性能比第一热电偶的温度检测性能高。



1. 一种衬底处理装置,其特征在于,

具有:

加热机构,其对收容衬底的处理室进行加热;

作为外管的均热管,其在所述加热机构的内侧与所述加热机构同心圆状地配置;

作为内管的反应管,其在所述均热管的内侧与所述均热管同心圆状地配置,且在所述反应管的中空部中形成有所述处理室,

第一温度检测机构,其设置在所述均热管与所述反应管之间,利用第一热电偶对所述衬底附近的温度进行检测;

第二温度检测机构,其设置在所述均热管与所述加热机构之间,利用第二热电偶对所述加热机构附近的温度进行检测;

控制机构,其根据由所述第一温度检测机构检测的温度及由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;

控制切换机构,其根据由所述第一温度检测机构检测的温度及由所述第二温度检测机构检测的温度及阈值温度对所述控制机构进行控制,从而使所述控制机构对第一控制模式和第二控制模式进行切换,其中,所述第一控制模式是在检测温度为所述阈值温度以上的情况下切换的,根据由所述第一温度检测机构检测的温度及由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;所述第二控制模式是在检测温度不足所述阈值温度的情况下切换的,根据由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制,

所述第一热电偶的耐热性比所述第二热电偶的耐热性大,所述第二热电偶的温度检测性能比所述第一热电偶的温度检测性能高。

2. 一种权利要求 1 所述的衬底处理装置的温度控制方法,其特征在于,具有以下步骤:

通过加热机构对收容衬底的处理室进行加热的步骤;

通过利用第一热电偶的第一温度检测机构对所述衬底附近的温度进行检测的步骤;

通过利用第二热电偶的第二温度检测机构对所述加热机构附近的温度进行检测的步骤;

依据由所述第一温度检测机构及所述第二温度检测机构检测的温度及阈值温度,对第一控制模式和第二控制模式进行切换的步骤,其中,所述第一控制模式根据由所述第一温度检测机构检测的温度及由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;所述第二控制模式根据由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制,

所述第一热电偶的耐热性比所述第二热电偶的耐热性大,所述第二热电偶的温度检测性能比所述第一热电偶的温度检测性能高。

衬底处理装置、衬底处理装置的温度控制方法及衬底处理装置的加热方法

技术领域

[0001] 本发明涉及进行扩散、CVD 处理、并进行希望的热处理的衬底处理装置。

背景技术

[0002] 在纵型热扩散装置、纵型减压 CVD 装置中,例如为了在处理衬底上形成薄膜而在热处理炉内收容衬底,通过规定的加热机构对热处理炉内进行加热。而且,多数情况下,通过设置在热处理炉中的温度传感器检测热处理炉内的温度,并根据其结果控制温度。

[0003] 例如,专利文献 1 公开了一种半导体制造装置,即使发生伴随急速冷却的干扰也始终能够通过稳定的反馈控制对温度进行控制。在该半导体制造装置中,在进行升温工序及目标温度的维持时,利用设在对热处理炉内进行加热的加热器附近的热电偶(加热器热电偶)和设在热处理炉内部的均热管和反应管之间的热电偶(级联热电偶)进行基于级联控制循环的温度控制,使加热器的温度下降时,切换到仅利用级联热电偶的直接控制循环并进行温度控制。

[0004] 专利文献 1:日本特开 2004-119804 号公报

[0005] 例如,一直以来,一般使用 R 型热电偶作为检测纵型热扩散装置的热处理炉内的温度的温度传感器。但是,在纵型热扩散装置、尤其是处理温度为高温(1000℃以上)的装置中,若使用 R 型热电偶,则存在热电偶早期发生断线的问题。这是由于,由于热电偶的+侧导线束和-侧导线束的热膨胀率的差,因而当高温时会产生伸长量的差,由此,热电偶发生变形,而且,由于反复升降温导致反复变形,导线束发生劣化而导致断线。而且,作为其他的主要原因,由于在高温下进行使用,导致热电偶结晶肥大化,结晶粒界面处的强度变弱,导致断线。

[0006] 而作为与 R 型热电偶相比耐热性优良的 B 型热电偶,其热电动势小,存在低温的测定困难的问题。

[0007] 此外,R 型热电偶及 B 型热电偶指的是 JIS 规格 C1602 所规定的热电偶。更具体来说,R 型热电偶指的是作为+支腿的构成材料使用含铑 13%的白金铑合金、作为-支腿的构成材料使用白金的热电偶。另外,B 型热电偶指的是作为+支腿的构成材料使用含铑 30%的白金铑合金、作为-支腿的构成材料使用含铑 6%的白金铑合金的热电偶。

[0008] 另外,例如,在使用放射温度计检测热处理炉内的温度的情况下,放射温度计通过波长来测定对象物的温度,所以,能够测定的温度范围有限。因此,为了实现大范围的温度测定,需要低温用放射温度计、高温用放射温度计等多种放射温度计。但是,在通过温度带对多种放射温度计进行切换控制的情况下,存在切换时的温度测定值及实施切换的温度附近的温度测定值变得不稳定的问题。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种衬底处理装置,能够对利用温度传感器控制热处理时

的不良情况进行抑制。

[0010] 为了实现上述目的,本发明的衬底处理装置,具有:加热机构,其对收容衬底的处理室进行加热;第一温度检测机构,其利用第一热电偶对所述衬底附近的温度进行检测;第二温度检测机构,其利用第二热电偶对所述加热机构附近的温度进行检测;控制机构,其根据由所述第一温度检测机构检测的温度及由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;控制切换机构,其根据由所述第一温度检测机构检测的温度及由所述第二温度检测机构检测的温度对所述控制机构进行控制,从而使所述控制机构对第一控制模式和第二控制模式进行切换,所述第一热电偶的耐热性比所述第二热电偶的耐热性大,所述第二热电偶的温度检测性能比所述第一热电偶的温度检测性能高。

[0011] 另外,本发明的衬底处理装置的温度控制方法,具有以下步骤:通过加热机构对收容衬底的处理室进行加热的步骤;通过利用第一热电偶的第一温度检测机构对所述衬底附近的温度进行检测的步骤;通过利用第二热电偶的第二温度检测机构对所述加热机构附近的温度进行检测的步骤;依据由所述第一温度检测机构或所述第二温度检测机构检测的温度,对第一控制模式和第二控制模式进行切换的步骤,其中,所述第一控制模式根据由所述第一温度检测机构检测的温度及由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;所述第二控制模式根据由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制,所述第一热电偶的耐热性比所述第二热电偶的耐热性大,所述第二热电偶的温度检测性能比所述第一热电偶的温度检测性能高。

[0012] 另外,本发明的衬底处理装置,具有:加热机构,其对收容衬底的处理室进行加热;第一温度检测机构,其使用第一放射温度计对通过所述加热机构被加热的温度进行检测;第二温度检测机构,其使用第二放射温度计对通过所述加热机构被加热的温度进行检测,其中,所述第二放射温度计,将比由第一放射温度计测定的温度的范围的上限高的温度作为所测定的温度的范围的上限,并且,将比由第一放射温度计测定的温度的范围的下限高的温度作为所测定的温度的范围的下限;第一控制机构,其根据由所述第一温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;第二控制机构,其根据由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;控制切换机构,其根据由所述第一温度检测机构或所述第二温度检测机构检测的温度和预先设定的阈值,对基于所述第一控制机构的所述加热机构的控制和基于所述第二控制机构的所述加热机构的控制进行切换。

[0013] 另外,本发明的衬底处理装置的加热方法,通过加热机构对收容衬底的处理室进行加热,通过第一温度检测机构使用第一放射温度计对由所述加热机构被加热的温度进行检测,通过第二温度检测机构使用第二放射温度计对由所述加热机构被加热的温度进行检测,其中,所述第二放射温度计将比由第一放射温度计测定的温度的范围的上限高的温度作为所测定的温度的范围的上限,并且,将比由第一放射温度计测定的温度的范围的下限高的温度作为所测定的温度的范围的下限,基于由所述第一温度检测机构或所述第二温度检测机构检测的温度和预先设定的阈值来切换第一控制机构和第二控制机构,其中,所述第一控制机构基于由所述第一温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制;所述第二控制机构基于由所述第二温度检测机构检测的温度对所述加热机构进行控制。

[0014] 发明的效果

[0015] 根据本发明,能够提供一种衬底处理装置,其能够抑制在利用温度传感器控制热

处理时的不良情况。

附图说明

[0016] 图 1 是本发明的第一实施方式的衬底处理装置即纵型热扩散装置的处理炉的剖视图。

[0017] 图 2 是表示本发明的第一实施方式的 B 型热电偶及 R 型热电偶的温度特性的图。

[0018] 图 3 是表示本发明的第一实施方式的 B 型热电偶及 R 型热电偶的温度特性的图的放大图。

[0019] 图 4 是表示本发明的第一实施方式的温度控制的流程的图。

[0020] 图 5 是本发明的第一实施方式的控制模式为加热器直接控制的情况下的温度控制部 238 的构成图。

[0021] 图 6 是本发明的第一实施方式的控制模式为炉级联控制的情况下的温度控制部 238 的构成图。

[0022] 图 7 是表示本发明的第一实施方式的变形例的阈值温度 T1 及 T2 与控制模式的关系的图。

[0023] 图 8 是表示本发明的第二实施方式的对 SiC(碳化硅)外延膜进行成膜的半导体制造装置 300 的一例的立体图。

[0024] 图 9(a) 是表示本发明的第二实施方式的处理炉 328 的一例的侧视剖视图,图 9(b) 是被支承在舟皿 320 上的晶片 304 的侧视剖视图。

[0025] 图 10 是表示本发明的第二实施方式的半导体制造装置 300 的控制构成的一例的框图。

[0026] 图 11 是表示本发明的第二实施方式的处理炉 328 的一例的俯视剖视图。

[0027] 图 12 是表示本发明的第二实施方式的半导体制造装置 300 的气体供给单元 380 的一例的示意图。

[0028] 图 13 是本发明的第二实施方式的处理炉 328 及周边构造的概要剖视图。

[0029] 图 14 是表示基于温度控制部 362 的温度控制的切换规则的表。

[0030] 图 15 是表示基于高温用放射温度计的控制和基于低温放射温度计的控制的切换的曲线图。

[0031] 图 16 是表示本发明的第二实施方式的变形例中的基于温度控制部 362 的温度控制的切换规则的表。

[0032] 附图标记的说明

[0033] 202 处理炉

[0034] 204 反应管

[0035] 205 均热管

[0036] 206 加热器

[0037] 238 温度控制部

[0038] 263 温度传感器

[0039] 264 外部温度传感器

[0040] 354 温度控制部

[0041] 356、358 放射温度计

具体实施方式

[0042] 以下,根据附图对本发明的第一实施方式进行说明。

[0043] 图 1 是本发明的第一实施方式中优选使用的衬底处理装置即纵型热扩散装置的处理炉 202 的概要构成图,作为纵剖视图表示。

[0044] 如图 1 所示,处理炉 202 具有作为加热机构的加热器 206。加热器 206 为圆筒形状,被支承在作为保持板的加热器基座 251 上从而垂直地安装。

[0045] 在加热器 206 的内侧,与加热器 206 同心圆状地配设有均热管(外管)205,该均热管 205 例如由碳化硅(SiC)等的耐热性材料制成,呈上端封闭、下端开口的圆筒形状。另外,在均热管 205 的内侧,与均热管 205 同心圆状地配设有反应管(内管)204,该反应管 204 例如由石英(SiO₂)等的耐热性材料制成,呈上端封闭、下端开口的圆筒形状。在反应管 204 的筒中空部中形成有处理室 201,以能够将作为衬底的晶片 200 通过后述的舟皿 217 以水平姿势在垂直方向上整齐排列成多层的状态进行收容的方式构成。

[0046] 在反应管 204 的下端部设有气体导入部 230,从气体导入部 230 到反应管 204 的顶壁部 233 沿反应管 204 的外壁配设有作为气体导入管的细管 234。从气体导入部 230 导入的气体在细管 234 内流通并到达顶壁部 233,并从设在顶壁部 233 上的多个气体导入口 233a 被导入处理室 201 内。另外,在反应管 204 的下端部的不同于气体导入部 230 的位置上,设有将反应管 204 内的环境气体从排气口 231a 排气的气体排气部 231。

[0047] 在气体导入部 230 上连接有气体供给管 232。在气体供给管 232 的与气体导入部 230 的连接侧的相反侧即上游侧,经由作为气体流量控制器的 MFC(质量流量控制器)241 而连接有未图示的处理气体供给源、载体气体供给源、惰性气体供给源。此外,在需要向处理室 201 内供给水蒸气的情况下,在气体供给管 232 的 MFC241 的下游侧,设置未图示的水蒸气发生装置。MFC241 上电连接有气体流量控制部 235,并以如下方式构成:在希望的时刻以使供给的气体的流量成为希望的量的方式进行控制。

[0048] 在气体排气部 231 上连接有气体排气管 229。在气体排气管 229 的与气体排气部 231 的连接侧的相反侧即下游侧经由作为压力检测器的压力传感器 245 以及压力调整装置 242 连接有排气装置 246,并以如下方式构成:能够以使处理室 201 内的压力成为规定的压力的方式进行排气。在压力调整装置 242 以及压力传感器 245 上电连接有压力控制部 236,压力控制部 236 以如下方式构成:根据由压力传感器 245 检测的压力,通过压力调整装置 242 在希望的时刻以使处理室 201 内的压力成为希望的压力的方式进行控制。

[0049] 在反应管 204 的下端部设有:作为能够将反应管 204 的下端开口气密地密封的保持体的基座 257;作为炉口盖体的密封盖 219。密封盖 219 例如由不锈钢等的金属制成,形成成为圆盘状。基座 257 由例如石英制成,形成成为圆盘状,并安装在密封盖 219 上。在基座 257 的上表面上设有作为与反应管 204 的下端抵接的密封部件的 O 型环 220。在密封盖 219 的与处理室 201 的相反侧,设置有使舟皿旋转的旋转机构 254。旋转机构 254 的旋转轴 255 贯穿密封盖 219 和基座 257,并连接在后述的隔热筒 218 和舟皿 217 上,以通过使隔热筒 218 以及舟皿 217 旋转从而使晶片 200 旋转的方式构成。密封盖 219 以能够通过作为垂直地设置在反应管 204 的外部的升降机构的舟皿升降机 115 而在垂直方向上升降的方式构成,由

此,能够将舟皿 217 相对于处理室 201 搬入、搬出。在旋转机构 254 及舟皿升降机 115 上电连接有驱动控制部 237,并以如下方式构成:在希望的时刻以进行希望的动作的方式进行控制。

[0050] 作为衬底保持件的舟皿 217,由例如石英、碳化硅等的耐热性材料制成,以使多张晶片 200 以水平姿势且相互中心对齐的状态整齐排列并进行保持的方式构成。在舟皿 217 的下方,以支承舟皿 217 的方式设置隔热筒 218,该隔热筒 218 作为例如由石英、碳化硅等的耐热性材料制成的呈圆筒形状的隔热部件,以来自加热器 206 的热难以传递到反应管 204 的下端侧的方式构成。

[0051] 处理炉 202 中,设有作为温度检测器两种传感器。即,在均热管 205 和反应管 204 之间,作为温度检测器设置有多个内部温度传感器 263;在均热管 205 和加热器 206 之间,设置有作为温度检测器的多个外部温度传感器 264。该内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 使用热电偶来检测温度,例如,内部温度传感器 263 使用 B 型热电偶来检测温度,外部温度传感器 264 使用 R 型热电偶来检测温度。关于内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 的详细情况后述。在加热器 206、内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 上,电连接有温度控制部 238,并以如下方式构成:根据通过内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 检测的温度信息,对向加热器 206 的通电情况进行调整,由此,以在希望的时刻使处理室 201 内的温度成为希望的温度分布的方式进行控制。

[0052] 气体流量控制部 235、压力控制部 236、驱动控制部 237、温度控制部 238 还构成操作部和输入输出部,并电连接在对衬底处理装置整体进行控制的主控制部 239 上。这些气体流量控制部 235、压力控制部 236、驱动控制部 237、温度控制部 238、主控制部 239 作为控制器 240 构成。

[0053] 下面,对利用上述结构的处理炉 202,作为半导体设备的制造工序的一个工序,对晶片 200 实施氧化、扩散等的处理的方法进行说明。此外,在以下的说明中,构成衬底处理装置的各部分的动作通过控制器 240 进行控制。

[0054] 多张晶片 200 被装填在舟皿 217 上(晶片装料)后,如图 1 所示,保持多张晶片 200 的舟皿 217 通过舟皿升降机 115 被抬起并被搬入处理室 201(舟皿装载)。该状态下,密封盖 219 处于经由基座 257、O 型环 220 而将反应管 204 下端密封的状态。

[0055] 通过排气装置 246 以使处理室 201 内成为希望的压力的方式进行排气。此时,处理室 201 内的压力通过压力传感器 245 进行测定,根据该测定出的压力,对压力调节器 242 进行反馈控制。另外,通过加热器 206 以使处理室 201 内成为希望的温度的方式进行加热。此时,以使处理室 201 内成为希望的温度分布的方式,根据通过温度检测器即内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 检测的温度信息,对向加热器 206 的通电情况进行反馈控制。此外,关于根据通过温度检测器检测的温度信息而进行的加热器 206 的控制,其详细情况后述。接下来,通过旋转机构 254,使隔热筒 218、舟皿 217 旋转,由此,晶片 200 进行旋转。

[0056] 接下来,从处理气体供给源以及载体气体供给源供给、并通过 MFC241 而被控制成希望的流量的气体,从气体供给管 232 流通气体导入部 230 以及细管 234 而到达顶壁部 233,并从多个气体导入口 233a 以喷淋状被导入处理室 201 内。此外,在对晶片 200 进行利用水蒸气的处理的情况下,将通过 MFC241 而被控制成希望的流量的气体供给到水蒸气发生装置,包含水蒸气发生装置所生成的水蒸气(H_2O)的气体被导入处理室 201。被导入的气

体在处理室 201 内流下,流通排气口 231a 并从气体排气部 231 被排气。气体在通过处理室 201 内时与晶片 200 的表面接触,对晶片 200 实施氧化、扩散等的处理。

[0057] 经过预先设定的处理时间后,从惰性气体供给源供给惰性气体,处理室 201 内被置换成惰性气体,并且,处理室 201 内的压力恢复到常压。

[0058] 然后,通过舟皿升降机 115,密封盖 219 下降,反应管 204 的下端开口,并且,处理完毕的晶片 200 以被保持在舟皿 217 上的状态从反应管 204 的下端被搬出(舟皿卸载)到反应管 204 的外部。然后,处理完毕的晶片 200 从舟皿 217 被取出(晶片卸料)。

[0059] 以上是用于对晶片 200 实施氧化、扩散等的处理的一系列的工序。下面,对使用本实施方式的温度检测器及温度检测器而进行的加热器 206 的控制进行详述。

[0060] 在检测热处理炉内的温度的情况下,一般将 R 型热电偶作为温度传感器进行温度检测,但在高温环境下,会发生 R 型热电偶的早期断线。针对这一课题,作为与 R 型热电偶相比耐热性优良的热电偶,在本实施方式中使用 B 型热电偶。B 型热电偶具有耐热性优良的原因在于,若将铑添加到白金中则一般情况下机械强度增强,难以发生因变形而导致的断线。另外,铑越少,结晶粒越粗大,由此,若铑较多,则比较能够抑制结晶粒的粗大化。因此,能够期待对结晶粒粗大化的情况下的结晶粒界面的强度降低进行抑制。

[0061] 但是,使用 B 型热电偶存在以下问题。图 2 是表示 B 型热电偶及 R 型热电偶的温度特性的图。此外,该图是根据 JIS 规格 C1602 的基准热电动势表以横轴表示温度(°C)、纵轴表示热电动势(mV)的方式绘制的。根据图 2 可知,B 型热电偶与 R 型热电偶相比在任何温度区域其热电动势都小。例如,就 1200°C 时的热电动势来说,R 型热电偶为 13.228mV,而 B 型热电偶为 6.786mV,较小;就 600°C 时的热电动势来说,R 型热电偶为 5.583mV,而 B 型热电偶为 1.792mV,较小。这样,由于 B 型热电偶的热电动势小,所以,尤其在低温区域(250°C 以下)容易产生测定误差,存在可能导致测定精度降低的问题。

[0062] 而且,B 型热电偶还存在热电动势可能成为负值、无法对温度进行特定的问题。图 3 是将图 2 中的图表的从 0°C 到 100°C 附近放大表示的图。

[0063] B 型热电偶具有在 40°C 以下的温度下电动势成为负值、且在不同的温度下具有相同的热电动势的特性。因此,在检测出负值的热电动势的情况下,无法对温度进行特定。

[0064] 这样,在将 B 型热电偶作为温度检测器使用时存在问题。因此,在本实施方式中,作为温度检测器,设置使用 B 型热电偶的内部温度传感器 263 和使用 R 型热电偶的外部温度传感器 264,在不足阈值温度 T 的环境下,仅使用外部温度传感器 264 对加热器 206 的温度进行控制;在阈值温度 T 以上的环境下,使用内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 对加热器 206 的温度进行控制。此外,对于内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264,分别利用根据图 2 所示的温度特性的温度-热电动势转换表,由检测到的热电动势求出温度。

[0065] 图 4 是表示本实施方式的温度控制的流程的图。根据流程,对加热器 206 的温度的控制方法进行说明。

[0066] 在步骤 100(S100)中,选择加热器 206 的温度的控制方法。本实施方式中,作为控制方法,包括后述的加热器直接控制、炉级联控制(furnace cascade control)及 ARC 直接 C 控制这三种控制模式,在 S100 中,选择任一种控制模式。

[0067] 此外,本实施方式中,在 S100 的处理中,选择加热器直接控制、炉级联控制及 ARC 直接 C 控制三种控制模式中的任一个,但也可以追加其他的控制模式,或者,还可以不具有

ARC 直接 C 控制。

[0068] 在 S100 中,在作为控制模式选择了加热器直接控制的情况下,进入 S102 的处理;在选择了 ARC 直接 C 控制的情况下,进入 S104 的处理;在选择了炉级联控制的情况下进入 S106 的处理。

[0069] 在步骤 102(S102) 中,根据外部温度传感器 264 的检测温度进行加热器直接控制,并对加热器 206 的温度进行控制,直到控制模式发生变更或加热器 206 的温度控制结束。

[0070] 在步骤 104(S104) 中,不依据内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 的检测温度而进行 ARC 直接 C 控制,并对加热器 206 的温度进行控制,直到控制模式发生变更或加热器 206 的温度控制结束。

[0071] 在步骤 106(S106) 中,对基于内部温度传感器 263 的检测温度进行确认。在该检测温度为阈值温度 T 以上的情况下,进入 S108 的处理,进行炉级联控制。另一方面,在检测温度不足阈值温度 T 的情况下,进入 S102 的处理,进行加热器直接控制。在加热器直接控制中,以不使用内部温度传感器 263 的检测温度的方式对加热器 206 的温度进行控制。因此,在检测温度不足阈值温度 T 的情况下,能够不受内部温度传感器 263 所使用的 B 型热电偶的低温区域中的特性的影响,能够进行基于加热器直接控制的稳定的反馈控制。例如,若将阈值温度 T 设定为 250℃,则能够不受测定误差的发生及不能对温度及性能特定等 B 型热电偶的问题的影响,而进行稳定的控制。

[0072] 此外,在步骤 106 中,以不受使用 B 型热电偶的内部温度传感器 263 的低温区域中的影响的方式实施控制模式的切换。因此,虽然希望对基于内部温度传感器 263 的检测温度进行确认并与阈值温度 T 进行比较,但还可以对通过外部温度传感器 264 检测的温度进行确认并与阈值温度 T 进行比较并进行控制模式的切换。

[0073] 另外,作为 S106 的处理之前的步骤还可以设置如下步骤:对内部温度传感器 263 是 B 型热电偶还是 R 型热电偶进行判别。在设置这样的判别步骤的情况下,如本实施方式这样,当内部温度传感器 263 由 B 型热电偶构成时,过渡到 S106 的处理;当内部温度传感器 263 由 R 型热电偶构成时,不过渡到 S106 的处理而是过渡到 S108 的处理并进行炉级联控制。

[0074] 在步骤 108(S108) 中,进行基于内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 的炉级联控制,并对加热器 206 的温度进行控制,直到基于内部温度传感器 263 的检测温度不足阈值温度 T 或加热器 206 的温度控制结束。

[0075] 如以上说明的那样,本实施方式的衬底处理装置,根据温度对炉级联控制和加热器直接控制进行切换,其中,炉级联控制根据内部温度传感器 263 及外部温度传感器 264 的检测温度进行控制,加热器直接控制则不利用内部温度传感器 263 的检测温度,因此,能够以不受基于 B 型热电偶的低温区域的影响的方式进行稳定的加热器 206 的温度控制。

[0076] 这里,对在步骤 100 中进行选择的控制模式进行说明。图 5 是控制模式为加热器直接控制的情况下的温度控制部 238 的构成图。在加热器直接控制时,温度调整部 270a 以通过被插入到加热器附近、例如均热管 205 和加热器 206 之间的多个区域中的热电偶(外部温度传感器 264)计测的温度与温度设定值一致的方式进行 PID 控制,并将输出脉冲输出至输出控制部 271。而且,输出控制部 271 根据输入的输出脉冲对加热器 206 的温度进行控制。

[0077] 图 6 是控制模式为炉级联控制的情况下的温度控制部 238 的构成图。炉级联控制中的温度调整部 270b, 凭借由被插入到处理炉内、例如均热管 205 和反应管 204 之间的多个区域中的热电偶 (内部温度传感器 263) 所计测的温度和由被插入到加热器附近的多个区域中的热电偶 (外部温度传感器 264) 所计测的温度分别进行 PID 控制。这里, 基于内部温度传感器 263 的 PID 控制和基于外部温度传感器 264 的 PID 控制串联地构成控制循环, 进行双重的反馈控制。

[0078] ARC 直接 C 控制指的是针对加热器的各区域仅通过 C 动作对直接加热器进行控制的开放循环控制。这里, C 动作指的是, 将由作为时间的函数的修正图案所表示的一定的值 (compensation :C) 输出的动作。

[0079] 下面, 对本实施方式的变形例进行说明。在变形例中, 在作为 S106 的处理中的阈值温度设定 T1 和 T2 这点上与上述的实施方式不同。图 7 是表示阈值温度 T1 及 T2 与控制模式的关系的图。这里, 图中的实线表示进行加热器直接控制的情况, 虚线表示进行炉级联控制的情况。即使 S106 的处理中的内部温度传感器 263 所检测的检测温度结果上升, 若不足阈值温度 T1, 则进入 S102 的处理进行加热器直接控制。若检测温度进一步上升, 并达到阈值温度 T1 以上, 则切换为向 S108 的迁移, 控制模式切换为炉级联控制。然后, 若检测温度为 T2 以上, 则炉级联控制继续, 若检测温度不足 T2, 则切换为向 S102 的迁移, 控制模式切换为加热器直接控制。

[0080] 若仅通过阈值温度 T 进行控制模式的切换, 那么, 若检测温度在阈值温度 T 附近反复上升下降, 则与其相伴地, 控制模式也反复进行加热器直接控制和炉级联控制的切换, 存在控制不稳定的可能性。但是, 在设置阈值温度 T1 和 T2 并在检测温度上升时和下降时改变控制模式的切换温度的情况下, 能够防止控制模式在阈值温度附近反复切换, 能够进行稳定的控制。

[0081] 在以上说明的实施方式及其变形例中, 在内部温度传感器 263 中使用 B 型热电偶, 在外部温度传感器 264 中使用 R 型热电偶, 但使用的热电偶不限于此。即, 只要将两种热电偶 (第一热电偶及第二热电偶) 分别用于内部温度传感器 263 和外部温度传感器 264 中、第一热电偶与第二热电偶相比耐热性优良、第二热电偶与第一热电偶相比温度检测性能优良即可。

[0082] 而且, 对于第一热电偶的温度检测性能不充分的温度区域来说, 进行仅基于第二热电偶的检测温度的反馈控制, 对于除此以外的温度区域, 利用第一热电偶的检测温度和第二热电偶的检测温度进行反馈控制即可。

[0083] 另外, 本实施方式中, 在内部温度传感器 263 中使用 B 型热电偶, 在外部温度传感器 264 中使用 R 型热电偶, 但还可以相反地, 在内部温度传感器 263 中使用 R 型热电偶, 在外部温度传感器 264 中使用 B 型热电偶。该情况下, 通过内部温度传感器 263 进行加热器直接控制。此外, 例如在下述情况下, 优选如本实施方式这样、在内部温度传感器 263 中使用 B 型热电偶、在外部温度传感器 264 中使用 R 型热电偶。即, 在外部温度传感器 264 的各区域的设置位置上沿水平方向设置热电偶, 而且外部温度传感器 264 所使用的热电偶的长度比内部温度传感器 263 所使用的热电偶的长度短的情况。在这样的情况下, 在外部温度传感器 264 中, 施加在热电偶自身上的负荷小, 而且, 由于热电偶成为高温的部分较短, 所以, 热膨胀引起的伸长量小。因此, 外部温度传感器 264 的使用方式与内部温度传感器 263 的

使用方式相比不易发生断线。因此,优选在内部温度传感器 263 中使用 B 型热电偶,在外部温度传感器 264 中使用 R 型热电偶。

[0084] 如以上说明的那样,在本发明的第一实施方式及变形例中,能够谋求温度传感器的长寿命化。因此,能够减少衬底处理装置的停机时间,使运转率提高。另外,由于进行根据适于各温度范围的温度传感器的加热温度的控制,所以,不会使温度控制精度降低,即使在高温区域的使用中,也能够谋求温度传感器的长寿命化。

[0085] 下面,根据附图说明本发明的第二实施方式。

[0086] 图 8 是表示对本发明的第二实施方式的 SiC(碳化硅)外延膜进行成膜的半导体制造装置 300 的一例的立体图。

[0087] 作为衬底处理装置(成膜装置)的半导体制造装置 300,为分批式纵型热处理装置,具有供主要部分配置的框体 302。在半导体制造装置 300 中,作为将例如由 SiC 等构成的衬底的晶片 304(参照后述的图 9)收纳的衬底收容器,使用晶篮(hoop)(以下,称为晶圆盒)306 作为晶片运载工具。在框体 302 的正面侧配置有晶圆盒台 308,晶圆盒 306 被搬运至晶圆盒台 308。在晶圆盒 306 中收纳有例如 25 枚晶片 304,在盖关闭的状态下,晶圆盒 306 设置在晶圆盒台 308 上。

[0088] 在框体 302 内的正面侧,在与晶圆盒台 308 相对的位置上,配置有晶圆盒搬运装置 310。另外,在晶圆盒搬运装置 310 的附近配置有晶圆盒收纳架 312、晶圆盒开启器 314 及衬底枚数检测器 316。晶圆盒收纳架 312 构成为配置在晶圆盒开启器 314 的上方,构成为以载置多个晶圆盒 306 的状态进行保持。衬底枚数检测器 316 与晶圆盒开启器 314 相邻地配置,晶圆盒搬运装置 310 在晶圆盒台 308、晶圆盒收纳架 312 和晶圆盒开启器 314 之间搬运晶圆盒 306。晶圆盒开启器 314 是用于将晶圆盒 306 的盖打开的部件,衬底枚数检测器 316 对盖打开后的晶圆盒 306 内的晶片 304 的枚数进行检测。

[0089] 在框体 302 内,配置有衬底移栽机 318 和作为衬底保持件的舟皿 320。衬底移栽机 318 具有臂部(钳部)322,是通过未图示的驱动机构能够升降且能够旋转的构造。臂部 322 能够取出例如 5 枚晶片 304,通过使臂部 322 运动,能够将晶片 304 在设置于晶圆盒开启器 314 的位置上的晶圆盒 306 及舟皿 320 之间搬运。

[0090] 舟皿 320 由例如碳石墨、SiC 等的耐热性材料构成,以将多枚晶片 304 以水平姿势且以将中心相互对齐的状态整齐排列地沿纵方向堆积并保持的方式构成。此外,在舟皿 320 的下部,作为圆盘形状的隔热部件配置有舟皿隔热部 324,该舟皿隔热部 324 由例如石英、SiC 等的耐热性材料构成,以来自后述的被加热体(被感应体)326 的热难以传递到处理炉 328 的下方侧的方式构成(参照后述的图 9)。

[0091] 在框体 302 内的背面侧上部配置有处理炉 328。装填了多枚晶片 304 的舟皿 320 被搬入处理炉 328 内,进行热处理。

[0092] 下面,说明对 SiC 外延膜进行成膜的半导体制造装置 300 的处理炉 328。

[0093] 图 9(a) 是表示本发明的第二实施方式的处理炉 328 的一例的侧视剖视图,图 9(b) 是支承在舟皿 320 上的晶片 304 的侧视剖视图。

[0094] 在处理炉 328 内设有:具有第一气体供给口 330 的第一气体供给喷嘴 332、具有第二气体供给口 334 的第二气体供给喷嘴 336、以及第一气体排气口 338。另外,图示了供给惰性气体的第三气体供给口 340、第二气体排气口 342。

[0095] 处理炉 328 由石英或 SiC 等的耐热性材料制成,具有反应管 344,该反应管 344 形成上端封闭下端开口的圆筒形状。在反应管 344 的下方,与反应管 344 同心圆状地配置有分流器 346。分流器 346 由例如不锈钢等制成,形成为上端及下端开口的圆筒形状。分流器 346 以支承反应管 344 的方式设置。此外,在分流器 346 和反应管 344 之间,设有作为密封部件的 O 型环(未图示)。分流器 346 通过未图示的保持体得到支承,由此,反应管 344 成为垂直地安装的状态。通过反应管 344 和分流器 346,形成反应容器。

[0096] 处理炉 328 具有:形成为上端封闭下端开口的圆筒形状的被加热体(被感应体)326;以及作为磁场发生部的感应线圈 348。在反应管 344 的内侧形成有反应室 350,其构成为能够收纳舟皿 320,其中,舟皿 320 用于保持由 SiC 等构成的作为衬底的晶片 304。被加热体 326 通过由设在反应管 344 的外侧的感应线圈 348 而产生的磁场被加热,被加热体 326 发热,由此反应室 350 内被加热。

[0097] 另外,如图 9(b)所示,晶片 304 也可以以如下状态被保持在舟皿 320 上:保持在圆环状的下部晶片保持件 352b 上,且上表面被圆板状的上部晶片保持件 352a 覆盖。由此,能够保护晶片 304 不会受到从晶片上部落下的粒子的损伤,并且,能够相对于成膜面(晶片 304 的下表面)抑制背面侧的成膜。另外,能够使成膜面从舟皿柱离开与晶片保持件 352a、352b 相应的量,能够减小舟皿柱的影响。舟皿 320 构成为,以水平姿势且以将中心相互对齐的状态沿纵方向整齐排列的方式对保持在晶片保持件 352 中的晶片 304 进行保持。

[0098] 在被加热体 326 的附近,作为对反应室 350 内的温度进行检测的温度检测体设有温度传感器。作为温度传感器,例如,在被加热体 326 的附近沿纵方向分割成三个区域并配置放射温度计 354、356、358、360。放射温度计 354 被配置在纵方向的三个区域中的上部的区域,放射温度计 356、358 被配置在纵方向的三个区域中的中部的区域,放射温度计 360 被配置在纵方向的三个区域中的下部的区域。

[0099] 配置在上部的区域的放射温度计 354 及配置在下部的区域的放射温度计 360 为监视器用,与其目的相应地,配置低温用放射温度计或高温用放射温度计的任一个。在配置在中部的区域中的放射温度计 356 及 358 中,放射温度计 356 为高温用放射温度计,放射温度计 358 为低温用放射温度计。放射温度计 356 及 358 以测定相同场所的温度为目的而配置,对高温用放射温度计即放射温度计 356 和低温用放射温度计即放射温度计 358 进行切换并进行温度控制。

[0100] 这里,将高温用放射温度计的能够计测的温度范围的上限温度及下限温度分别设为高温用上限值 Max_High、高温用下限值 Min_High,将低温用放射温度计的能够计测的温度范围的上限温度及下限温度分别设为低温用上限值 Max_Low、低温用下限值 Min_Low,则高温用放射温度计和低温用放射温度计具有以下的关系。即,高温用上限值 Max_High 为比低温用上限值 Max_Low 高的值,并且,高温用下限值 Min_High 为比低温用下限值 Min_Low 高的值。

[0101] 图 10 是表示本发明的第二实施方式的半导体制造装置 300 的控制构成的一例的框图。感应线圈 348 及放射温度计 354、356、358、360 分别与图 10 所示的温度控制部 362 电连接。温度控制部 362 以如下方式构成:根据由放射温度计 356 或放射温度计 358 检测的温度信息,调节向感应线圈 348 的通电情况,由此,以在规定的时刻使反应室 350 内的温度成为希望的温度分布的方式进行控制。例如,对于由高频率电源驱动的圆柱型的感应加

热加热器即感应线圈 348, 温度控制部 362 对由放射温度计 356 或放射温度计 358 检测的温度信息和设定温度进行比较并以输出适当的热量的方式驱动高频率电源。

[0102] 另外, 温度控制部 362 通过后述的切换方式对根据由放射温度计 356 检测的温度信息的控制和根据由放射温度计 358 检测的温度信息的控制进行切换并进行控制。

[0103] 而且, 在感应线圈 348 的附近, 沿纵方向分割为三个区域并配置热电偶 364、366、368。热电偶 364 配置在纵方向的三个区域中的上部的区域, 热电偶 366 配置在纵方向的三个区域中的中部的区域, 热电偶 368 配置在纵方向的三个区域中的下部的区域。热电偶 364、366、368 用于过温保护, 分别与温度控制部 362 电连接。

[0104] 此外, 优选地, 在反应室 350 内, 在第一及第二气体供给喷嘴 332、336 与第一气体排气口 338 之间, 在被加热体 326 与晶片 304 之间, 可以以填埋被加热体 326 和晶片 304 之间的空间的方式, 将沿铅直方向延伸且截面为圆弧状的构造物 370 设置在反应室 350 内。图 11 是表示本发明的第二实施方式的处理炉 328 的一例的俯视剖视图。例如, 如图 11 所示, 通过在相对的位置上分别设置构造物 370, 能够防止从第一及第二气体供给喷嘴 332、336 供给的气体沿被加热体 326 的内壁在晶片 304 上迂回。作为构造物 370, 优选由隔热材料或石墨毡等构成, 这样能够耐热及抑制粒子的产生。

[0105] 在反应管 344 与被加热体 326 之间, 设有例如由难以被感应的石墨毡等构成的隔热材料 372, 通过设置隔热材料 372, 能够抑制被加热体 326 的热向反应管 344 或反应管 344 的外侧传递。

[0106] 另外, 在感应线圈 348 的外侧, 为了抑制反应室 350 内的热向外侧传递, 例如水冷构造的外侧隔热壁 374 以包围反应室 350 的方式设置。而且, 在外侧隔热壁 374 的外侧, 设有防止由感应线圈 348 产生的磁场向外侧泄漏的磁密封部 376。

[0107] 如图 9 所示, 在被加热体 326 与晶片 304 之间, 为了向晶片 304 供给至少含有 Si (硅) 原子的气体和 Cl (氯) 原子的气体, 设置有至少设有一个第一气体供给口 330 的第一气体供给喷嘴 332。另外, 在不同于被加热体 326 与晶片 304 之间的第一气体供给喷嘴 332 的位置上, 为了向晶片 304 供给至少含有 C (碳) 原子的气体和还原气体, 设置有至少设有一个第二气体供给口 334 的第二气体供给喷嘴 336。另外, 第一气体排气口 338 也同样配置在被加热体 326 与晶片 304 之间。另外, 在反应管 344 与隔热材料 372 之间, 配置第三气体供给口 340 及第二气体排气口 342。

[0108] 另外, 第一气体供给喷嘴 332 及第二气体供给喷嘴 336 可以分别各为一根, 但也可以如图 11 所示地构成为: 设有三根第二气体供给喷嘴 336, 以被第二气体供给喷嘴 336 夹持的方式设置第一气体供给喷嘴 332。通过这样交替地配置, 能够促进含有 Si 原子的气体和含有 C 原子的气体的混合。另外, 通过使第一气体供给喷嘴及第二气体供给喷嘴为奇数根, 能够使成膜气体供给以中央的第二气体供给喷嘴 336 为中心而左右对称, 从而能够提高晶片 304 内的均匀性。

[0109] 第一气体供给口 330 及第一气体供给喷嘴 332 由例如碳石墨构成, 设在反应室 350 内。另外, 第一气体供给喷嘴 332 以贯穿分流器 346 的方式安装在分流器 346 上。这里, 在形成 SiC 外延膜时, 第一气体供给口 330 经由第一气体供给喷嘴 332 向反应室 350 内供给以下气体: 作为至少含有 Si (硅) 原子的气体, 供给例如甲硅烷 (以下称为 SiH_4) 气体; 作为含有 Cl (氯) 原子的气体, 供给例如 氯化氢 (以下称为 HCl) 气体; 作为载体气体, 供给

惰性气体（例如 Ar（氩））。

[0110] 第一气体供给喷嘴 332 经由第一气体线路 378 而被连接在气体供给单元 380 上。图 12 是表示本发明的第二实施方式的半导体制造装置 300 的气体供给单元 380 的一例的示意图。如图 12 所示，相对于 SiH_4 气体、HCl 气体、惰性气体，第一气体线路 378 经由作为流量控制器（流量控制机构）的质量流量控制器（以下称为 MFC）382c、382d、382f 及阀 384c、384d、384f 而连接在例如 SiH_4 气体供给源 386c、HCl 气体供给源 386d、惰性气体供给源 386f 上。

[0111] 通过上述构成，能够对 SiH_4 气体、HCl 气体、惰性气体各自的供给流量、浓度、分压、供给时刻在反应室 350 内进行控制。阀 384c、384d、384f、MFC382c、382d、382f 电连接在气体流量控制部 388 上，在规定的时刻以各自供给的气体的流量成为规定流量的方式得到控制（参照图 10）。此外，通过 SiH_4 气体、HCl 气体、惰性气体的各自的气体供给源 386c、386d、386f、阀 384c、384d、384f、MFC382c、382d、382f、第一气体线路 378、第一气体供给喷嘴 332 及设在第一气体供给喷嘴 332 上的至少一个第一气体供给口 330，来构成作为气体供给系统的第一气体供给系统。

[0112] 第二气体供给口 334 例如由碳石墨构成，设在反应室 350 内。另外，第二气体供给喷嘴 336 以贯穿分流器 346 的方式安装在分流器 346 上。由此，在形成 SiC 外延膜时，第二气体供给口 334 能够经由第二气体供给喷嘴 336 向反应室 350 内供给以下气体：作为至少含有 C（碳）原子的气体，供给例如丙烷（以下称为 C_3H_8 ）气体；作为还原气体，供给例如氢气（H 原子单体或 H_2 分子。以下称为 H_2 ）。

[0113] 第二气体供给喷嘴 336 经由第二气体线路 390 被连接在气体供给单元 380 上。另外，如图 12 所示，第二气体线路 390 与例如气体配管（未图示）连接，气体配管（未图示）分别连接在以下气体供给源上：作为含有 C（碳）原子的气体，对于例如 C_3H_8 气体，经由作为流量控制机构的 MFC382a 及阀 384a 而连接在 C_3H_8 气体供给源 386a 上，作为还原气体，对于例如 H_2 气体，经由作为流量控制机构的 MFC382b 及阀 384b 连接在 H_2 气体供给源 386b 上。

[0114] 通过上述构成，能够对例如 C_3H_8 气体、 H_2 气体的供给流量、浓度、分压在反应室 350 内进行控制。阀 384a、384b、MFC382a、382b 被电连接在气体流量控制部 388 上，在规定的时刻以供给的气体流量成为规定的流量的方式进行控制（参照图 10）。此外，通过 C_3H_8 气体、 H_2 气体的气体供给源 386a、386b、阀 384a、384b、MFC382a、382b、第二气体线路 390、第二气体供给喷嘴 336、第二气体供给口 334，而构成作为气体供给系统的第二气体供给系统。

[0115] 另外，在第一气体供给喷嘴 332 及第二气体供给喷嘴 336 中，可以在衬底的配列区域设置一个第一气体供给口 330 及第二气体供给口 334，也可以按照晶片 304 的规定枚数设置。

[0116] 如图 9 所示，第一气体排气口 338 与舟皿 320 相比设在下部，在分流器 346 上，连接在第一气体排气口 338 上的气体排气管 392 以贯穿的方式设置。在气体排气管 392 的下游侧，经由未图示的作为压力检测器的压力传感器及作为压力调整器的 APC（Auto Pressure Controller、自动压力控制）阀 394 而连接有真空泵等的真空排气装置 396。在压力传感器及 APC 阀 394 上电连接有压力控制部 398，压力控制部 398 根据由压力传感器检测的压力对 APC 阀 394 的开度进行调整，构成为以处理炉 328 内的压力成为规定的压力的方式在规定的时刻进行控制（参照图 10）。

[0117] 如上所述,从第一气体供给口 330 供给至少含有 Si(硅)原子的气体和含有 Cl(氯)原子的气体,从第二气体供给口 334 供给至少含有 C(碳)原子的气体和还原气体,所供给的气体相对于由 Si 或 SiC 构成的晶片 304 平行地流动,从第一气体排气口 338 被排气,所以,整个晶片 304 能够有效且均匀地曝露在气体中。

[0118] 另外,如图 11 所示,第三气体供给口 340 配置在反应管 344 与隔热材料 372 之间,以贯穿分流器 346 的方式安装。而且,第二气体排气口 342 以在反应管 344 与隔热材料 372 之间与第三气体供给口 340 相对的方式配置,第二气体排气口 342 连接在气体排气管 392 上。第三气体供给口 340 形成在贯穿分流器 346 的第三气体线路 400 上,经由阀 384e、MFC382e 与气体供给源 386e 连接。从气体供给源 386e 供给作为惰性气体的例如稀有气体 Ar 气体,由此,能够防止有助于 SiC 外延膜成长的气体、例如含有 Si(硅)原子的气体或含有 C(碳)原子的气体或含有 Cl(氯)原子的气体或它们的混合气体进入到反应管 344 和隔热材料 372 之间,从而防止在反应管 344 的内壁或隔热材料 372 的外壁上附着不需要的生成物。

[0119] 另外,供给到反应管 344 与隔热材料 372 之间的惰性气体从第二气体排气口 342 经由位于气体排气管 392 的下游侧的 APC 阀 394 从真空排气装置 396 被排气。

[0120] 下面,对处理炉 328 及其周边的结构进行说明。

[0121] 图 13 是本发明的第二实施方式的处理炉 328 及周边构造的概要剖视图。在处理炉 328 的下方,设有作为用于气密地封闭处理炉 328 的下端开口的炉口盖体的密封盖 402。密封盖 402 例如为不锈钢等的金属制,形成为圆盘状。在密封盖 402 的上表面上,设有作为与处理炉 328 的下端抵接的密封件的 O 型环(未图示)。在密封盖 402 上设有旋转机构 404,旋转机构 404 的旋转轴 406 贯穿密封盖 402 并连接在舟皿 320 上,以使舟皿 320 旋转由此使晶片 304 旋转的方式构成。

[0122] 另外,密封盖 402 作为设在处理炉 328 的外侧的升降机构,以通过后述的升降马达 408 而在垂直方向上升降的方式构成,由此,能够将舟皿 320 相对于处理炉 328 搬入、搬出。在旋转机构 404 及升降马达 408 上电连接有驱动控制部 410,并以如下方式构成:在规定的时刻以进行规定的动作的方式进行控制(参照图 10)。

[0123] 在作为预备室的加载互锁(load lock)室 412 的外表面上设有下基板 414。在下基板 414 上设有与升降台 416 自由滑动地嵌合的导向轴 418 以及与升降台 416 螺合的球头螺钉 420。另外,在立设在下基板 414 上的导向轴 418 及球头螺钉 420 的上端上设有上基板 422。球头螺钉 420 通过设在上基板 422 上的升降马达 408 而进行旋转,球头螺钉 420 旋转由此升降台 416 进行升降。

[0124] 在升降台 416 上垂设有中空的升降轴 424,升降台 416 和升降轴 424 的连结部是气密的,升降轴 424 与升降台 416 一同升降。升降轴 424 游隙贯穿于加载互锁室 412 的顶板 426,供升降轴 424 贯穿的顶板 426 的贯穿孔以使升降轴 424 不与顶板 426 接触的方式形成有充分大的间隙。

[0125] 另外,在加载互锁室 412 与升降台 416 之间,以覆盖升降轴 424 的周围的方式设有作为具有伸缩性的中空伸缩体的波纹管 428,通过波纹管 428,加载互锁室 412 被保持气密。此外,波纹管 428 具有能够应对升降台 416 的升降量的充分的伸缩量,波纹管 428 的内径以与升降轴 424 的外径相比充分大、伸缩时波纹管 428 和升降轴 424 不会接触的方式构成。

[0126] 在升降轴 424 的下端,水平地固定有升降基板 430,在升降基板 430 的下表面上经由 O 型环等的密封部件气密地安装有驱动部罩 432。由升降基板 430 和驱动部罩 432 构成驱动部收纳箱 434,通过该结构,驱动部收纳箱 434 内部与加载互锁室 412 内的环境气体相隔离。

[0127] 另外,在驱动部收纳箱 434 的内部设有舟皿 320 的旋转机构 404,旋转机构 404 的周边通过冷却机构 436 被冷却。

[0128] 电缆 438 从升降轴 424 的上端通过中空部被导向并连接在旋转机构 404 上。另外,在冷却机构 436 及密封盖 402 上形成有冷却水流路 440。而且,冷却水配管 442 从升降轴 424 的上端通过中空部被导向并连接于冷却水流路 440。

[0129] 升降马达 408 受到驱动,则球头螺钉 420 旋转,由此,经由升降台 416 及升降轴 424 使驱动部收纳箱 434 升降。

[0130] 驱动部收纳箱 434 上升,由此,气密地设在升降基板 430 上的密封盖 402 将处理炉 328 的开口部即炉口 444 封闭,成为能够进行晶片处理的状态。另外,驱动部收纳箱 434 下降,由此,舟皿 320 与密封盖 402 一同降下,成为能够将晶片 304 搬出到外部的状态。

[0131] 下面,对构成对 SiC 外延膜进行成膜的半导体制造装置 300 的各部分的控制构成进行说明。

[0132] 图 10 中,温度控制部 362、气体流量控制部 388、压力控制部 398、驱动控制部 410 构成操作部及输入输出部,并与对整个半导体制造装置 300 进行控制的主控制部 446 电连接。另外,温度控制部 362、气体流量控制部 388、压力控制部 398、驱动控制部 410 作为控制器 448 而构成。

[0133] 下面,对构成上述的第一气体供给系统及第二气体供给系统的理由进行说明。

[0134] 在对 SiC 外延膜进行成膜的半导体制造装置中,需要将由至少含有 Si(硅)原子的气体和含有 C(碳)原子的气体构成的原料气体向反应室 350 供给,并对 SiC 外延膜进行成膜。另外,在如本实施方式那样、多枚晶片 304 以水平姿势多层整齐地保持的情况下,为了提高晶片间的均匀性,以使成膜气体能够分别从各晶片附近的气体供给口进行供给的方式,在反应室 350 内设置气体供给喷嘴。因此,气体供给喷嘴内也需要满足与反应室相同的条件。此时,若将含有 Si 原子的气体和含有 C 原子的气体通过相同的气体供给喷嘴进行供给,则原料气体彼此发生反应由此原料气体被消耗,在反应室 350 的下游侧,不仅原料气体不足,而且会产生以下问题:在气体供给喷嘴内反应并堆积的 SiC 膜等的堆积物会堵塞气体供给喷嘴,导致原料气体的供给变得不稳定,并且,会产生粒子等。

[0135] 因此,在本实施方式中,经由第一气体供给喷嘴 332 供给含有 Si 原子的气体,经由第二气体供给喷嘴 336 供给含有 C 原子的气体。这样,从不同的气体供给喷嘴供给含有 Si 原子的气体和含有 C 原子的气体,由此,在气体供给喷嘴内,能够不使 SiC 膜堆积。此外,在欲调整含有 Si 原子的气体及含有 C 原子的气体的浓度以及流速的情况下,只要分别供给适当的载体气体即可。

[0136] 而且,存在为了更有效地使用含有 Si 原子的气体而使用氢气那样的还原气体的情况。该情况下,优选经由供给含有 C 原子的气体的第二气体供给喷嘴 336 供给还原气体。这样,将还原气体与含有 C 原子的气体一起供给,在反应室 350 内与含有 Si 原子的气体混合,由此,成为还原气体少的状态,因此与成膜时相比能够抑制含有 Si 原子的气体的分解,

能够抑制第一气体供给喷嘴内的 Si 膜的堆积。该情况下,能够将还原气体作为含有 C 原子的气体的载体气体加以利用。此外,作为含有 Si 原子的气体的载体气体,通过使用氩气 (Ar) 那样的惰性气体 (尤其稀有气体),能够抑制 Si 膜的堆积。

[0137] 而且,优选对第一气体供给喷嘴 332 供给 HCl 那样的含有氯原子的气体。这样,即使含有 Si 原子的气体因热而分解并成为能够堆积在第一气体供给喷嘴内的状态,能够通过氯达到蚀刻模式,能够进一步抑制 Si 膜向第一气体供给喷嘴内的堆积。

[0138] 此外,在图 9 所示的例子中,说明了对第一气体供给喷嘴 332 供给 SiH_4 气体及 HCl 气体、对第二气体供给喷嘴 336 供给 C_3H_8 气体及 H_2 气体的结构,但如上所述,图 9 到图 12 所示的例子是最佳组合,但不限于此。

[0139] 另外,在从图 9 到图 12 所示的例子中,作为形成 SiC 外延膜时流通的含有 Cl (氯) 原子的气体,例示了 HCl 气体,但还可以使用氯气。

[0140] 另外,上文中,当形成 SiC 外延膜时,供给含有 Si (硅) 原子的气体和含有 Cl (氯) 原子的气体,但还可以供给含有 Si 原子和 Cl 原子的气体,例如四氯化硅 (以下称为 SiCl_4) 气体、三氯氢硅 (以下称为 SiHCl_3) 气体、二氯甲硅烷 (以下称为 SiH_2Cl_2) 气体。另外,当然,这些含有 Si 原子及 Cl 原子的气体还包括含有 Si 原子的气体,或者,还可以称为含有 Si 原子的气体及含有 Cl 原子的气体的混合气体。尤其, SiCl_4 由于热分解的温度较高,所以,从抑制喷嘴内的 Si 消耗的观点考虑优选。

[0141] 另外,上文中,作为含有 C (碳) 原子的气体,列举了 C_3H_8 气体,但还可以使用乙烯 (以下称为 C_2H_4) 气体、乙炔 (以下称为 C_2H_2) 气体。

[0142] 另外,作为还原气体,例示了 H_2 气体,但不限于此,还可以使用其他的含有 H (氢) 原子的气体。而且,作为载体气体,可以使用 Ar (氩气) 气体、He (氦气) 气体、Ne (氖气) 气体、Kr (氪气) 气体、Xe (氙气) 气体等的稀有气体中的至少一种,还可以使用组合上述的气体的混合气体。

[0143] 上述中,经由第一气体供给喷嘴 332 供给含有 Si 原子的气体,经由第二气体供给喷嘴 336 供给含有 C 原子的气体,由此,抑制气体供给喷嘴内的 SiC 膜的堆积 (以下,将分离地供给含有 Si 原子的气体和含有 C 原子的气体的方式称为“分离方式”)。但是,该方法虽然能够抑制气体供给喷嘴内的 SiC 膜的堆积,但需要在从气体供给口 330、334 到晶片 304 之间对含有 Si 原子的气体和含有 C 原子的气体进行充分混合。

[0144] 因此,从晶片内的均匀化的观点出发,优选预先对含有 Si 原子的气体和含有 C 原子的气体进行混合,再向气体供给喷嘴 332 供给 (以下,将从同一气体供给喷嘴供给含有 Si 原子的气体和含有 C 原子的气体的方式称为“预混合方式”)。但是,若从同一气体供给喷嘴供给含有 Si 原子的气体及含有 C 原子的气体,则存在在气体供给喷嘴内堆积 SiC 膜的可能性。另一方面,对于含有 Si 原子的气体来说,若使蚀刻气体即氯和还原气体即氢的比 (Cl/H) 增大,则基于氯所实现的蚀刻效果较大,能够抑制含有 Si 原子的气体的反应。因此,向一方的气体供给喷嘴供给含有 Si 原子的气体、含有 C 原子的气体及含有氯的气体,而从另一方的气体供给喷嘴供给用于还原反应的还原气体 (例如,氢气),由此,气体供给喷嘴内的 Cl/H 增大,能够抑制 SiC 膜的堆积。

[0145] 下面,对使用上述的半导体制造装置 300、作为半导体设备的制造工序的一个工序在由 SiC 等构成的晶片 304 等的衬底上形成例如 SiC 膜的衬底的制造方法进行说明。

[0146] 此外,在以下的说明中,构成半导体制造装置 300 的各部分的动作由控制器 448 控制。

[0147] 首先,将收纳有多枚晶片 304 的晶圆盒 306 设置在晶圆盒台 308 上,通过晶圆盒搬运装置 310 将晶圆盒 306 从晶圆盒台 308 向晶圆盒收纳架 312 搬运并留存。然后,通过晶圆盒搬运装置 310,将留存在晶圆盒收纳架 312 上的晶圆盒 306 搬运并设置在晶圆盒开启器 314 处,通过晶圆盒开启器 314 打开晶圆盒 306 的盖,通过衬底枚数检测器 316 对收纳在晶圆盒 306 中的晶片 304 的枚数进行检测。

[0148] 接着,通过衬底移栽机 318 从位于晶圆盒开启器 314 的位置的晶圆盒 306 将晶片 304 取出并移栽到舟皿 320 上。

[0149] 若多枚晶片 304 被装载在舟皿 320 上,则保持晶片 304 的舟皿 320 通过基于升降马达 408 的升降台 416 及升降轴 424 的升降动作而被搬入(舟皿装载)反应室 350 内。在该状态下,密封盖 402 成为经由 O 型环(未图示)而将分流器 346 的下端密封的状态。

[0150] 舟皿 320 搬入后,以使反应室 350 内成为规定的压力(真空度)的方式,通过真空排气装置 396 进行真空排气。此时,反应室 350 内的压力通过压力传感器(未图示)进行测定,并根据所测定的压力对与第一气体排气口 338 及第二气体排气口 342 连通的 APC 阀 394 进行反馈控制。另外,为了使晶片 304 及反应室 350 内成为规定的温度,被加热体 326 被加热。此时,为了使反应室 350 内成为规定的温度分布,根据由后述的切换方式所选择的高温用放射温度计 356 或低温用放射温度计 358 检测到的温度信息,对向感应线圈 348 的通电情况进行反馈控制。接下来,通过旋转机构 404,舟皿 320 进行旋转,由此,晶片 304 沿周向旋转。

[0151] 接下来,有助于 SiC 外延成长反应的含有 Si(硅)原子的气体及含有 Cl(氯)原子的气体分别从气体供给源 386c、386d 被供给,并从第一气体供给口 330 向反应室 350 内喷出。另外,以使含有 C(碳)原子的气体及还原气体即 H_2 气体成为规定的流量的方式调整对应的 MFC382a、382b 的开度后,阀 384a、384b 打开,各气体流通第二气体线路 390,并流通第二气体供给喷嘴 336 从而从第二气体供给口 334 导入反应室 350 内。

[0152] 从第一气体供给口 330 及第二气体供给口 334 供给的气体通过反应室 350 内的被加热体 326 的内侧,并从第一气体排气口 338 通过气体排气管 392 被排气。从第一气体供给口 330 及第二气体供给口 334 供给的气体在通过反应室 350 内时,与由 SiC 等构成的晶片 304 接触,在晶片 304 表面上进行 SiC 外延膜成长。

[0153] 另外,从气体供给源 386e,以作为惰性气体的稀有气体即 Ar 气体成为规定的流量的方式调整对应的 MFC382e 的开度,然后,阀 384e 打开,Ar 气体流通第三气体线路 400,并从第三气体供给口 340 供给到反应室 350 内。从第三气体供给口 340 供给的作为惰性气体的稀有气体即 Ar 气体通过反应室 350 内的隔热材料 372 和反应管 344 之间,并从第二气体排气口 342 被排气。

[0154] 接着,经过预先设定的时间后,上述的气体的供给停止,从未图示的惰性气体供给源供给惰性气体,反应室 350 内的被加热体 326 的内侧的空间被惰性气体置换,并且,反应室 350 内的压力恢复成常压。

[0155] 然后,密封盖 402 通过升降马达 408 而下降,分流器 346 的下端开口,并且,处理完毕的晶片 304 以被保持在舟皿 320 上的状态从分流器 346 的下端被搬出到反应管 344 的外

部（舟皿卸载），使舟皿 320 在规定位置待机，直到保持在舟皿 320 上的晶片 304 冷却。在待机的舟皿 320 的晶片 304 冷却到规定温度后，通过衬底移栽机 318，从舟皿 320 取出晶片 304，并向设置在晶圆盒开启器 314 上的空的晶圆盒 306 搬运并收纳。然后，通过晶圆盒搬运装置 310 将收纳有晶片 304 的晶圆盒 306 向晶圆盒收纳架 312 或晶圆盒台 308 搬运。这样，完成半导体制造装置 300 的一系列的动作。

[0156] 下面，对温度控制中的放射温度计的切换进行说明。

[0157] 例如，作为对根据低温用放射温度计的测定值（检测温度）的温度控制和根据高温用放射温度计的测定值（检测温度）的温度控制进行切换判断的基准，决定阈值 S，以在低温用放射温度计或高温用放射温度计的测定值为阈值 S 以下的情况下进行根据低温用放射温度计的测定值的温度控制、在大于阈值 S 的情况下进行根据高温用放射温度计的测定值的温度控制的方式进行切换。

[0158] 这里，作为示例，将低温用放射温度计的能够计测的范围设为 $50^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ ，将高温用放射温度计的能够计测的范围设为 $450^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$ 。该情况下，对基于低温用放射温度计的控制和基于高温用放射温度的控制进行切换时，通过以下方式进行切换，即利用一个阈值（这里，例如低温用放射温度计和高温用放射温度计的能够计测的范围重叠的 500°C ），在被计测的温度为阈值以下的情况下进行基于低温用放射温度计的控制，在为阈值以上的情况下进行基于高温用放射温度计的控制。

[0159] 但是，在通过上述的方法对控制进行切换的情况下，切换时的温度测定值及进行切换的温度附近的温度测定值变得不稳定。

[0160] 以下，对温度控制部 362 中的放射温度计的切换方式进行说明。

[0161] 温度控制部 362，根据阈值 P 和阈值 M 对控制进行切换，其中，阈值 P 是从基于低温用放射温度计 358 的温度控制向基于高温用放射温度计 356 的温度控制进行切换的判断基准，阈值 M 是从基于高温用放射温度计 356 的温度控制向基于低温用放射温度计 358 的温度控制进行切换的值。这里，阈值 P 比阈值 M 大（即，为 $P > M$ 的关系）。

[0162] 另外，使高温用放射温度计 356 的能够计测的温度范围的上限值为 Max_High ，使高温用放射温度计 356 的能够计测的温度范围的下限值为 Min_High ，使低温用放射温度计 358 的能够计测的温度范围的上限值为 Max_Low ，使低温用放射温度计 358 的能够计测的温度范围的下限值为 Min_Low ，则阈值 P 及阈值 M 满足下式。

[0163] $\text{Max_High} > \text{Max_Low} > P > M > \text{Min_High} > \text{Min_Low}$

[0164] 图 14 是表示基于温度控制部 362 的温度控制的切换规则的表。另外，图 15 是表示对基于高温用放射温度计的控制和基于低温放射温度计的控制进行切换的曲线图。图 15 中，横轴表示进行基于高温用放射温度计的温度控制还是进行基于低温用放射温度计的温度控制，纵轴表示由放射温度计测定的测定温度。此外，粗线所示的测定温度表示由低温用放射温度计 358 测定的测定温度，虚线所示的测定温度表示由高温用放射温度计 356 测定的测定温度。

[0165] 如图 14 及图 15 所示，温度控制部 362 通过对当前的温度控制所使用的放射温度计的测定温度和阈值进行比较来进行控制的切换。温度控制部 362，在将控制对象从基于低温用放射温度计 358 的控制切换为基于高温用放射温度计 356 的控制的情况下，若低温用放射温度计 358 的测定值为阈值 P 以上则向基于高温用放射温度计 356 的控制切换。这

里,温度控制部 362,在将控制对象从基于低温用放射温度计 358 的控制切换为基于高温用放射温度计 356 的控制的情况下,高温用放射温度计的测定值在切换判断中不考虑。

[0166] 相反地,温度控制部 362,在从基于高温用放射温度计 356 的温度控制切换为基于低温用放射温度计 358 的温度控制的情况下,若高温用放射温度计 356 的测定值不足阈值 M,则向基于低温用放射温度计 358 的控制切换。同样,温度控制部 362,在从基于高温用放射温度计 356 的温度控制切换为基于低温用放射温度计 358 的温度控制的情况下,低温用放射温度计的测定值在切换判断中不考虑。

[0167] 在上述的温度控制部 362 所进行的控制的切换中,能够改善多种放射温度计的切换时及切换温度附近处担心的温度测定值的不稳定,能够提高温度控制性。

[0168] 下面,说明第二实施方式的变形例。在上述的第二实施方式中,通过对当前的温度控制所使用的放射温度计的测定值和阈值进行比较来进行控制的切换,但例如在基于高温用放射温度计 356 的测定值与基于低温用放射温度计 358 的测定值存在差的情况下,或在高温用放射温度计 356 或低温用放射温度计 358 的任一因故障等不能输出正常的测定值的情况下,存在温度控制变得不稳定的可能性。

[0169] 因此,在变形例中,在从基于低温用放射温度计 358 的温度控制切换为基于高温用放射温度计 356 的温度控制的情况下,关于低温用放射温度计 358 的测定值及高温用放射温度计 356 的测定值,分别使其与阈值进行比较。

[0170] 变形例中,即使低温用放射温度计 358 的测定值为阈值 P 以上,在高温用放射温度计 356 的测定值不足阈值 M 的情况下,不进行向基于高温用放射温度计 356 的控制切换,这一点与上述的第二实施方式不同。

[0171] 在变形例中,温度控制部 362 根据阈值 P 和阈值 M 对控制进行切换,其中,阈值 P 是从基于低温用放射温度计 358 的温度控制向基于高温用放射温度计 356 的温度控制切换的判断基准,阈值 M 是从基于高温用放射温度计 356 的温度控制向基于低温用放射温度计 358 的温度控制进行切换的值。另外,关于阈值 P、阈值 M、高温用放射温度计 356 的能够计测的上限值 Max_High、高温用放射温度计 356 的能够计测的下限值 Min_High、低温用放射温度计 358 的能够计测的上限值 Max_Low、低温用放射温度计 358 的能够计测的下限值 Min_Low 的关系也同样如上述的关系式表示。

[0172] 图 16 是表示变形例中的温度控制部 362 所实现的温度控制的切换规则的表。

[0173] 如图 16 所示,在变形例中的温度控制部 362 中,在将控制对象从基于高温用放射温度计 356 的控制切换为低温用放射温度计 358 的情况下,若高温用放射温度计 356 的测定值不足阈值 M,则向基于低温用放射温度计 358 的控制切换。

[0174] 另外,在变形例中的温度控制部 362 中,在从基于低温用放射温度计 358 的温度控制向基于高温用放射温度计 356 的温度控制切换的情况下,只要在低温用放射温度计 358 的测定值为阈值 P 以上、且高温用放射温度计 356 的测定值为阈值 M 以上的情况下,就向基于高温用放射温度计 356 的控制切换。即,在高温用放射温度计 356 的测定值不足阈值 M 的情况下,即使低温用放射温度计 358 的测定值为阈值 P 以上也不向基于高温用放射温度计 356 的控制切换。由于高温用放射温度计 356 的测定值已经不足阈值 M,所以在下次的切换判断时还会再向基于低温用放射温度计 358 的温度控制切换,由于进行连续的切换,所以,温度测定值会变得不稳定。

[0175] 另外,在低温用放射温度计 358 的测定值为阈值 P 以上、且高温用放射温度计 356 的测定值不足阈值 M 的情况下,有可能会想到高温用放射温度计 356 或低温用放射温度计 358 的哪个出错了,考虑到安全性,在这样的情况下,进行基于温度测定值高的低温用放射温度计 358 的温度控制。

[0176] 在变形例中的控制的切换中,除了能够改善多种放射温度计的切换时及切换温度附近担心的温度测定值的不稳定,还能够实现比作为第二实施方式所示的控制的切换更安全的温度控制。

[0177] 在以上的第二实施方式及其变形例的说明中,表示了温度控制部 362 中的温度控制是利用配置在中部的区域中的放射温度计 356 及 358 来进行的例子,但还可以在上部或下部的区域中设置高温用放射温度计及低温用放射温度计,并同样地进行控制的切换。

[0178] 另外,不限于对 SiC 外延膜进行成膜的半导体制造装置,还能够适用于全部纵型的衬底处理装置。

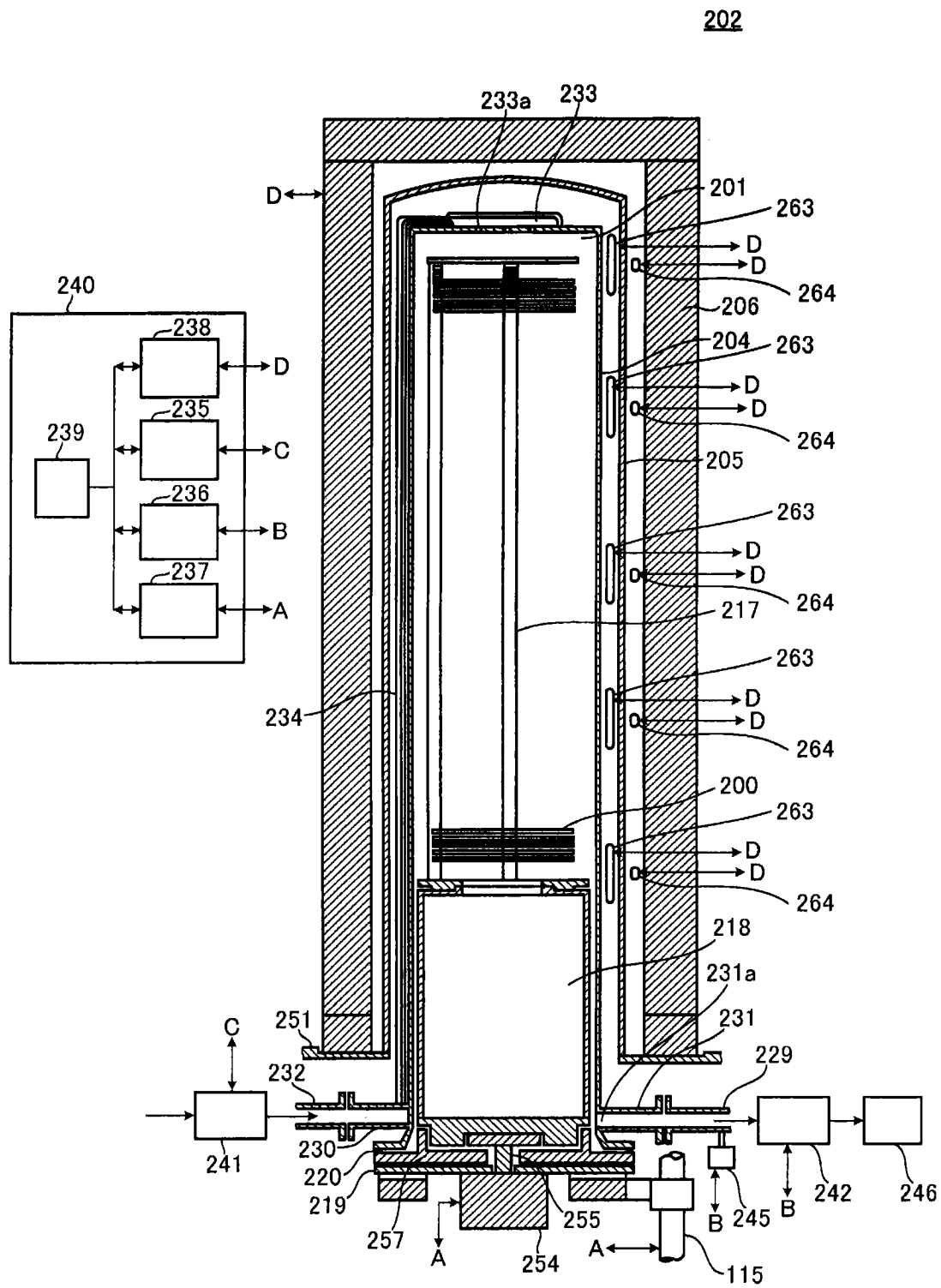


图 1

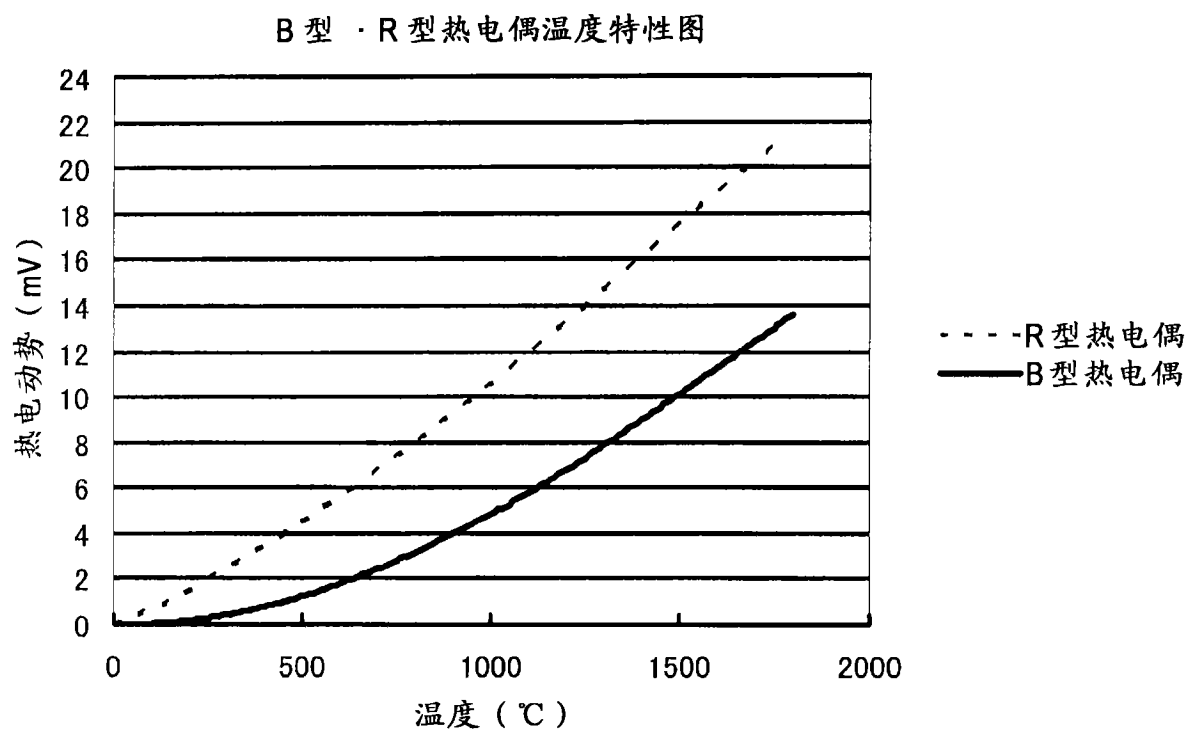


图 2

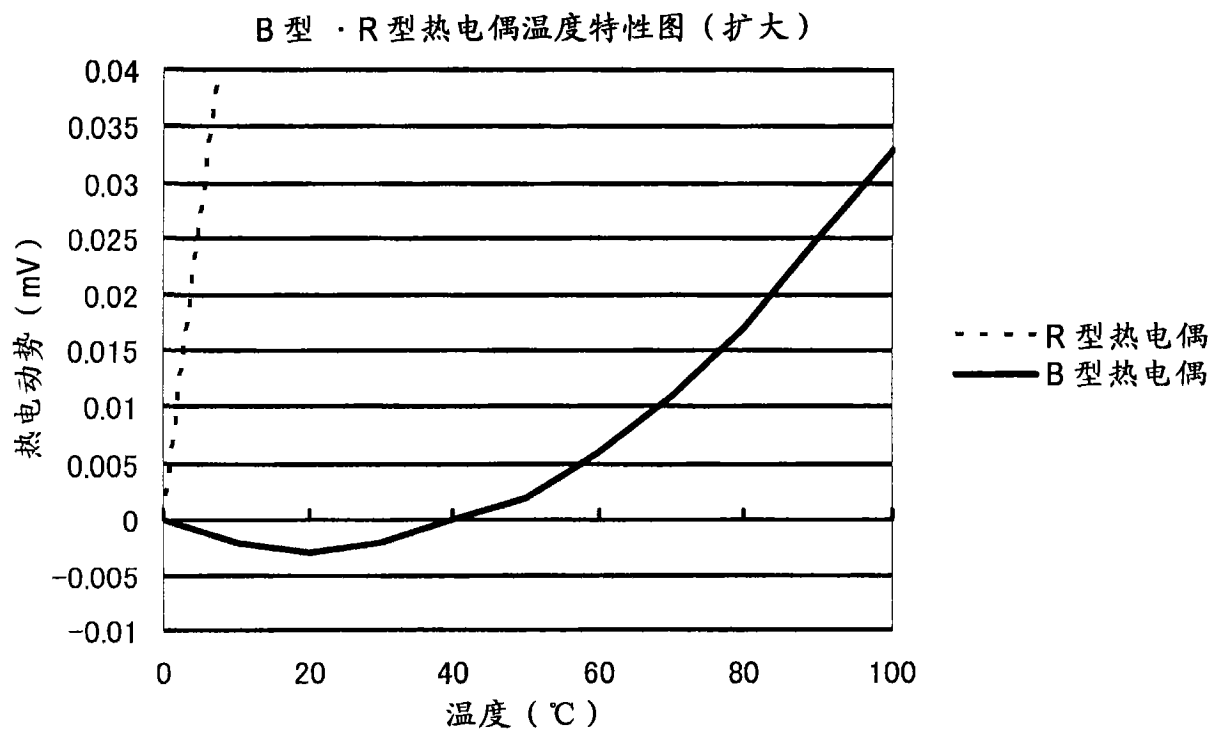


图 3

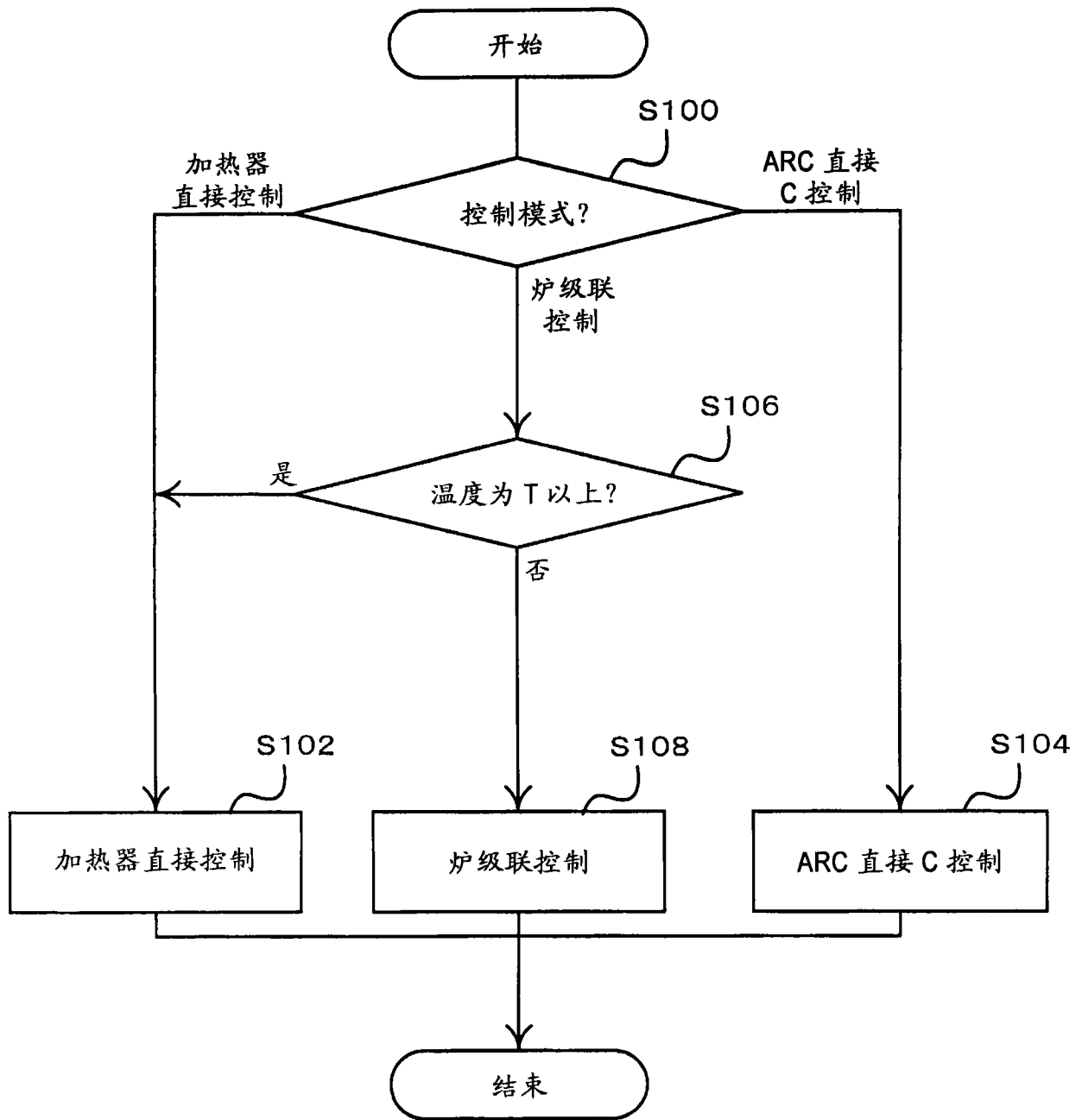


图 4

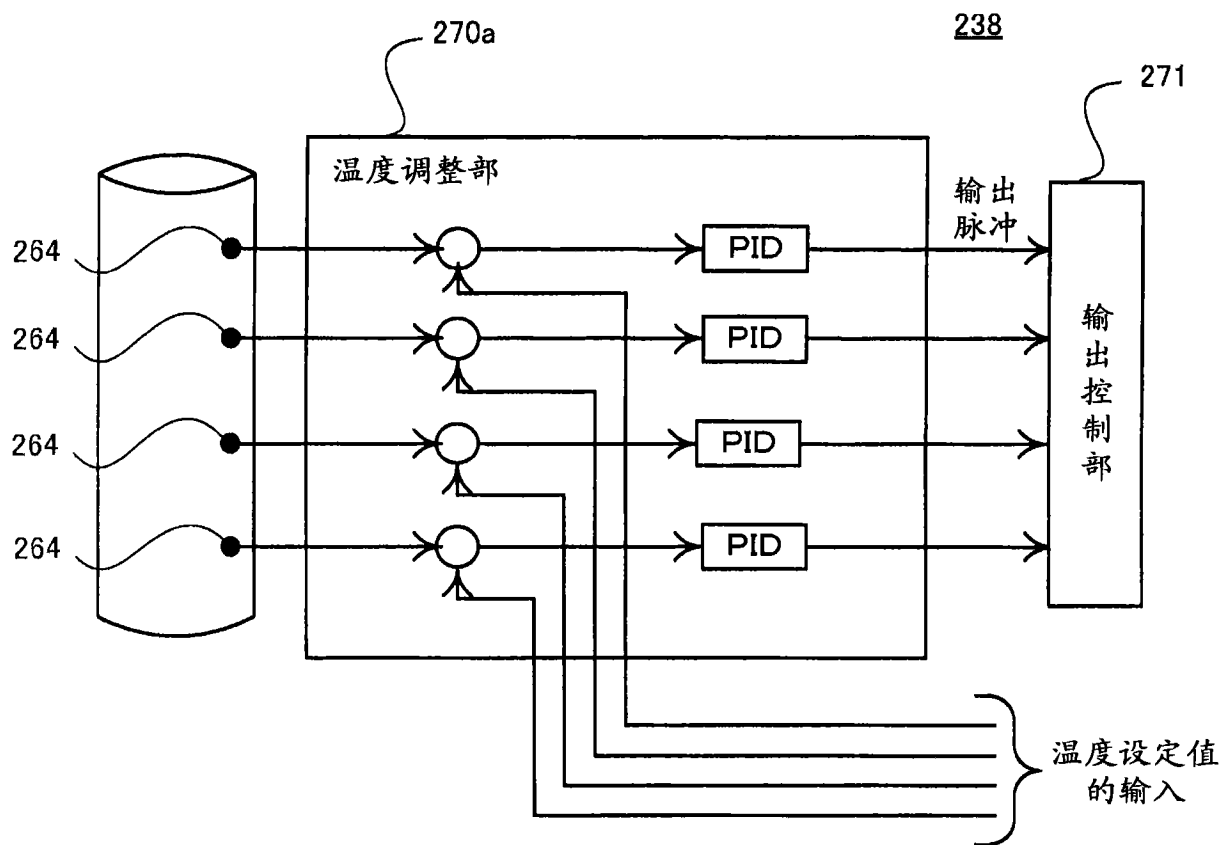


图 5

238

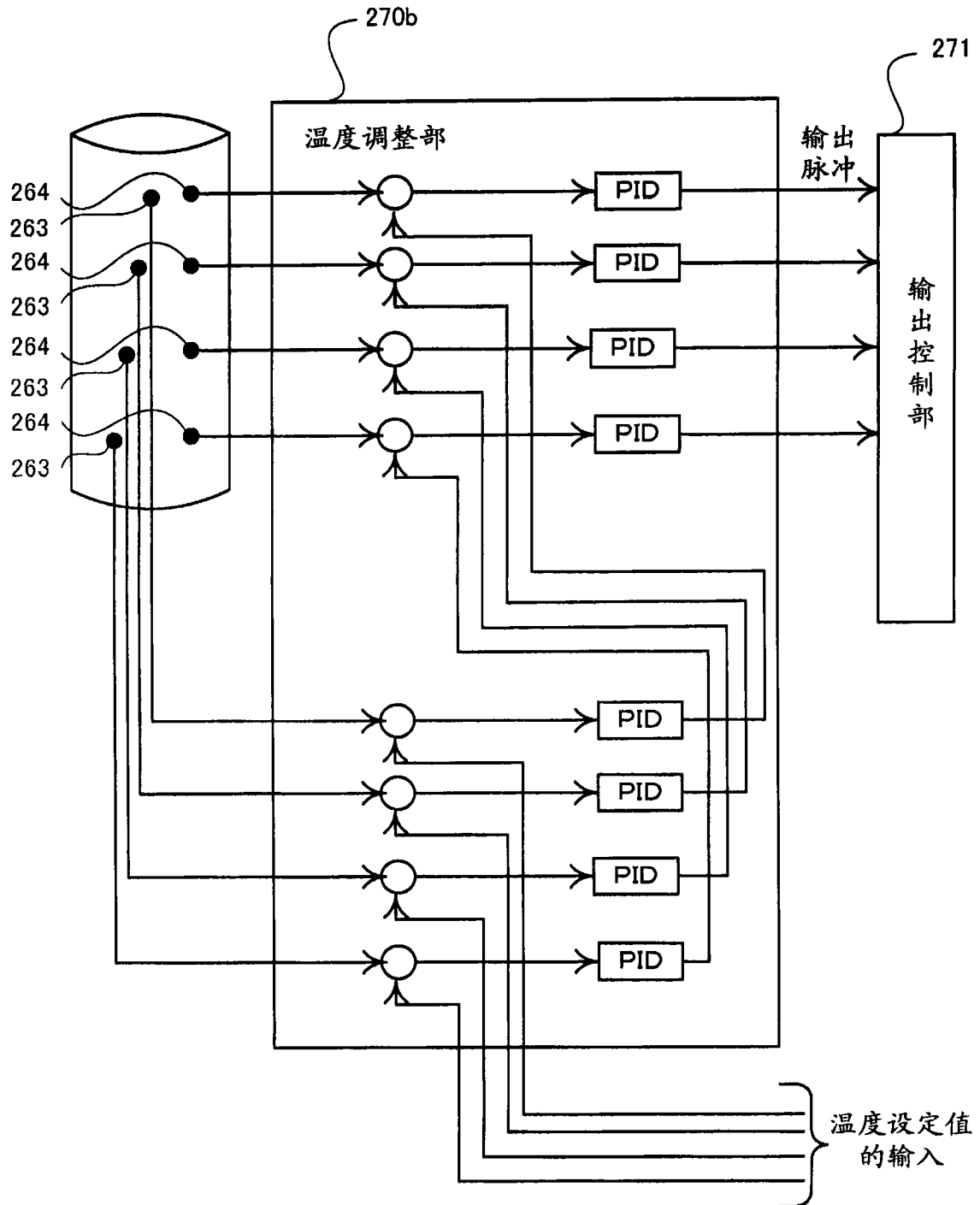


图 6

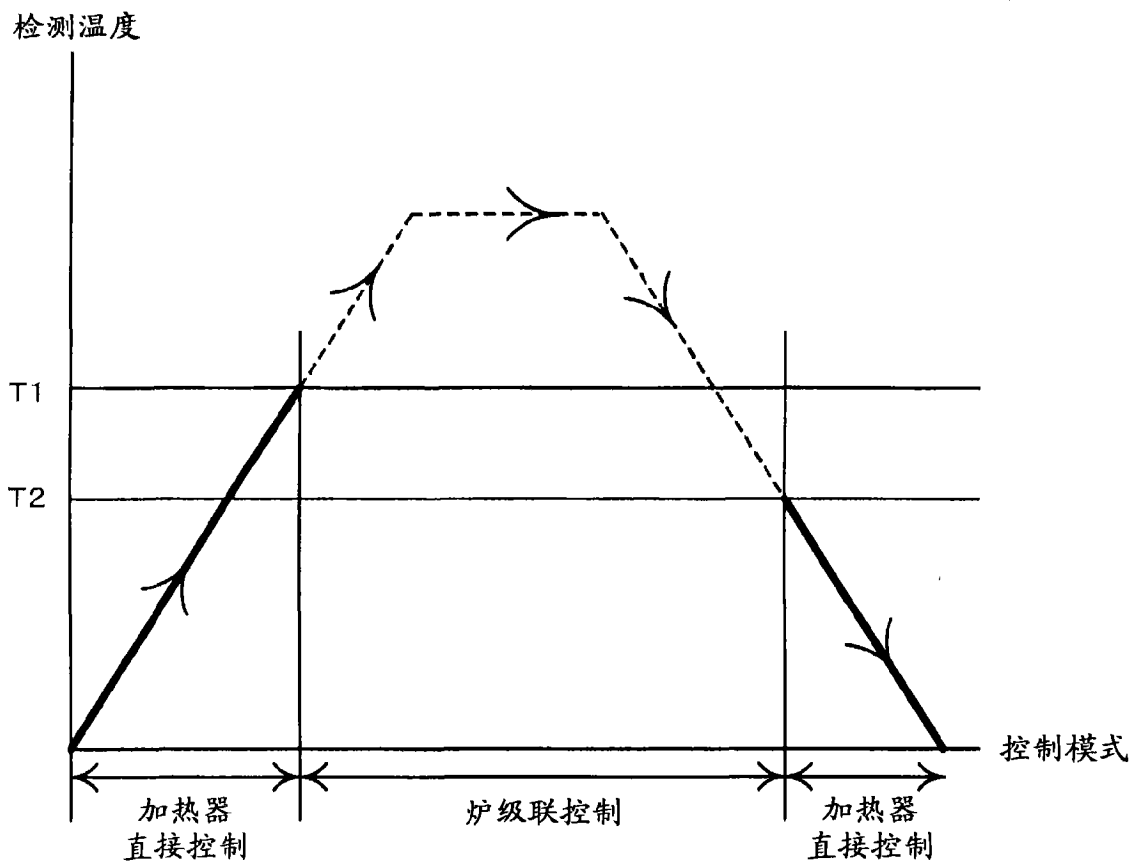


图 7

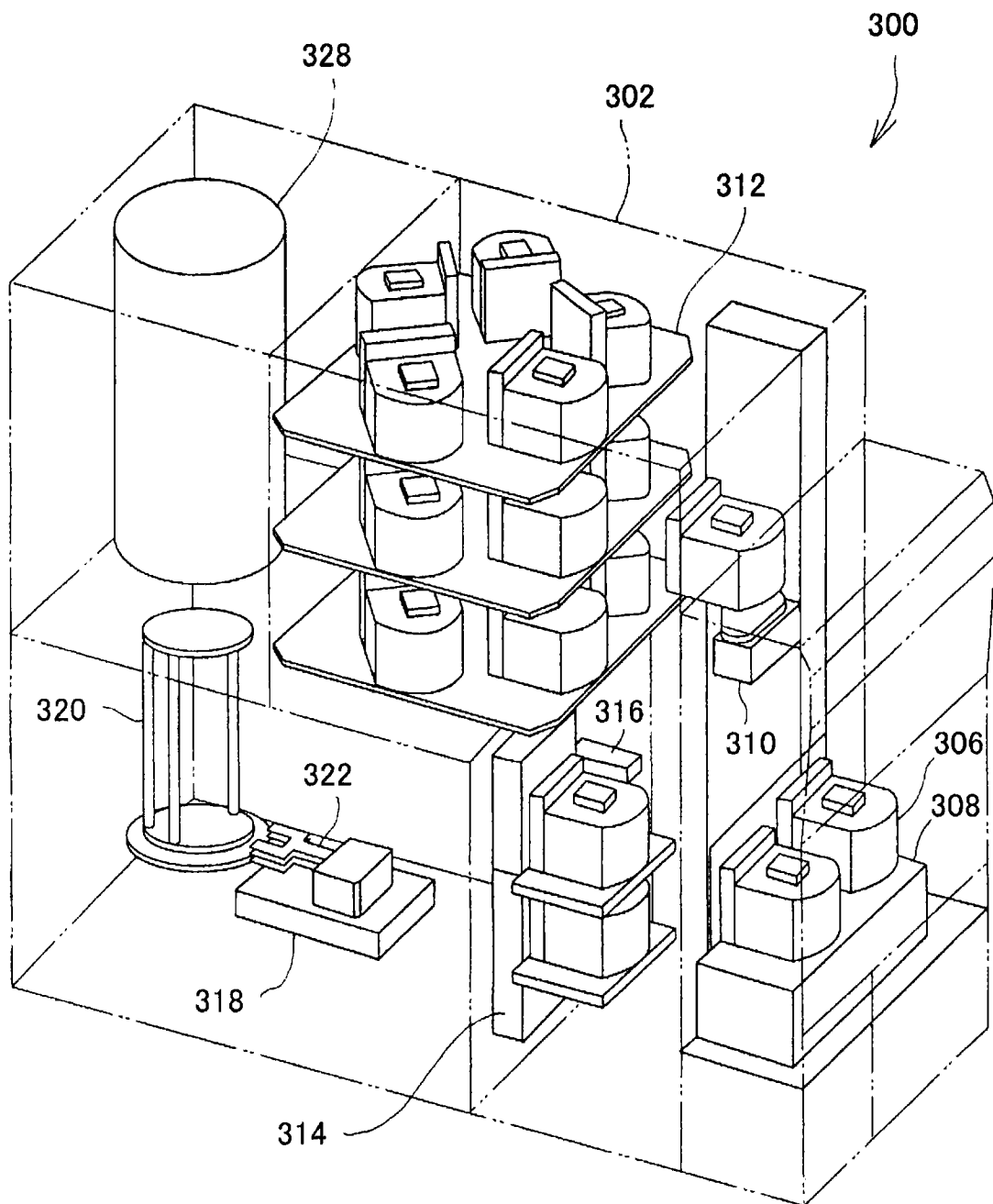


图 8

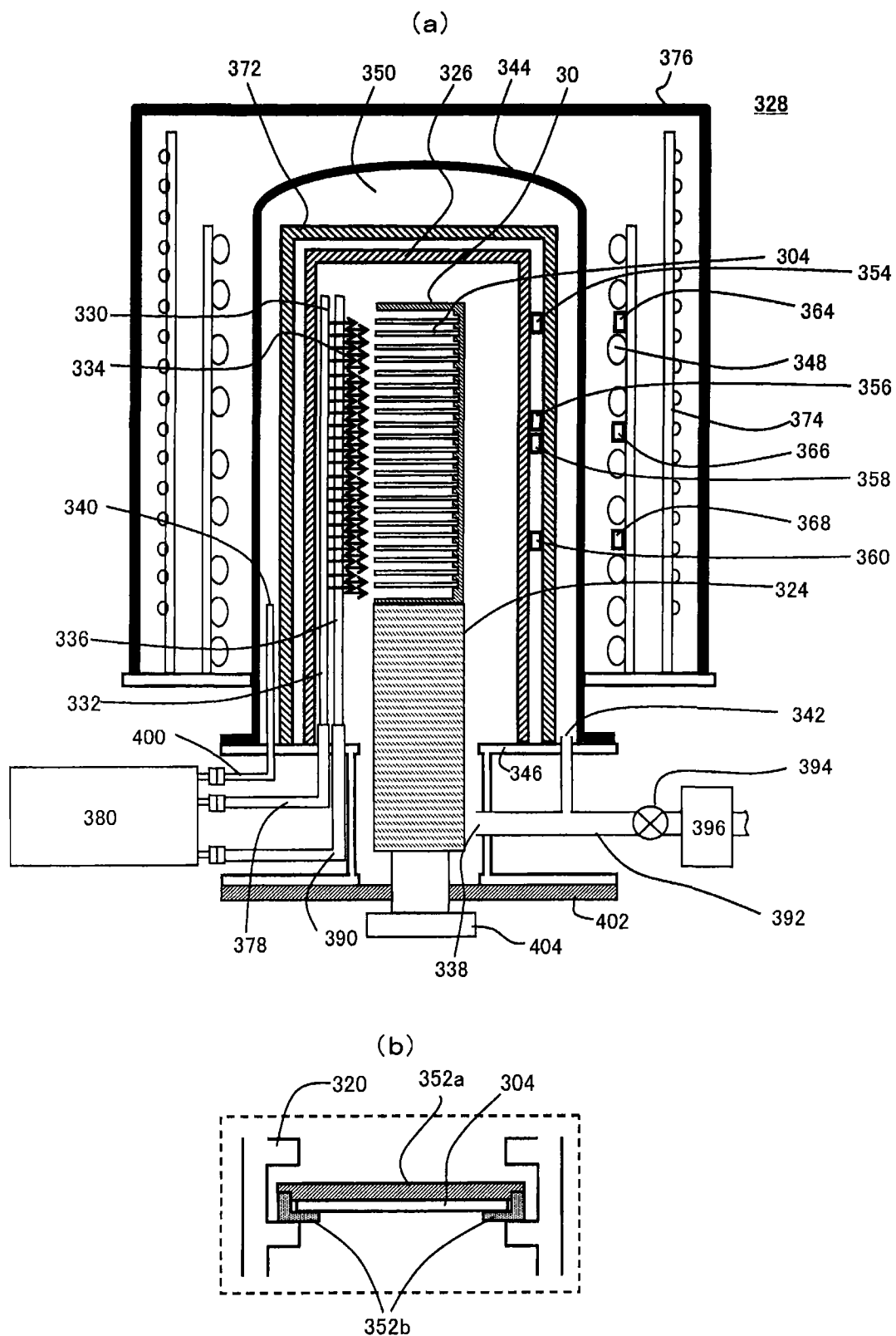


图 9

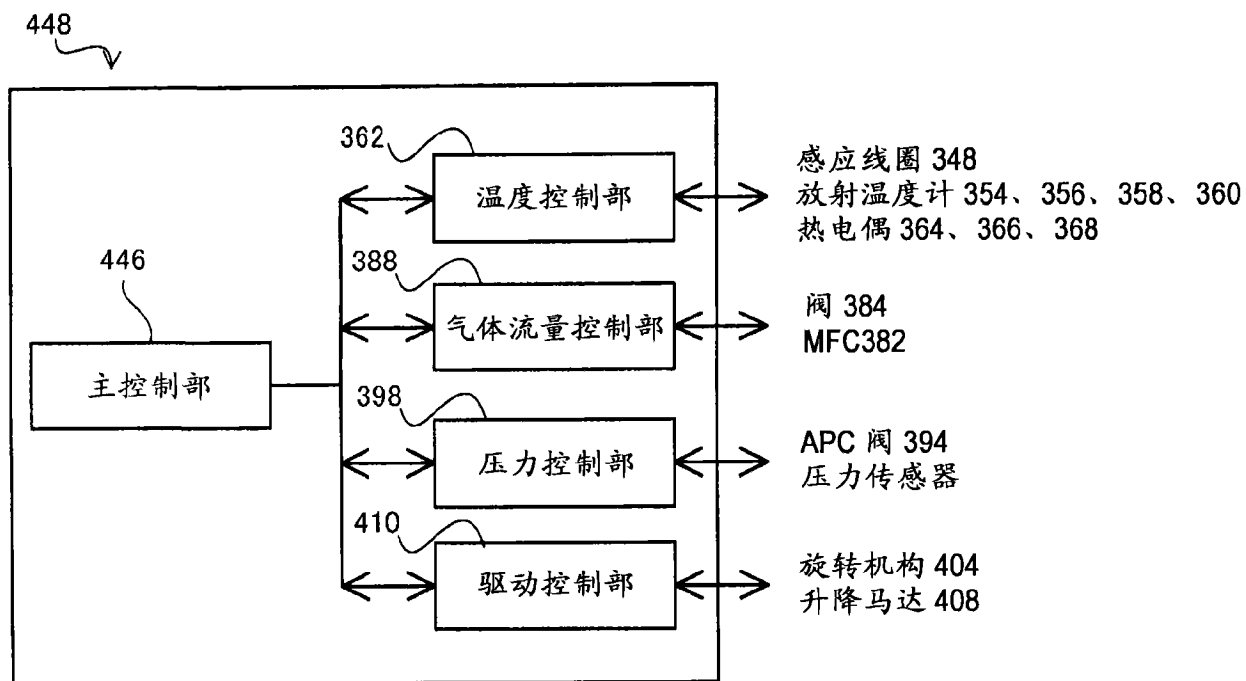


图 10

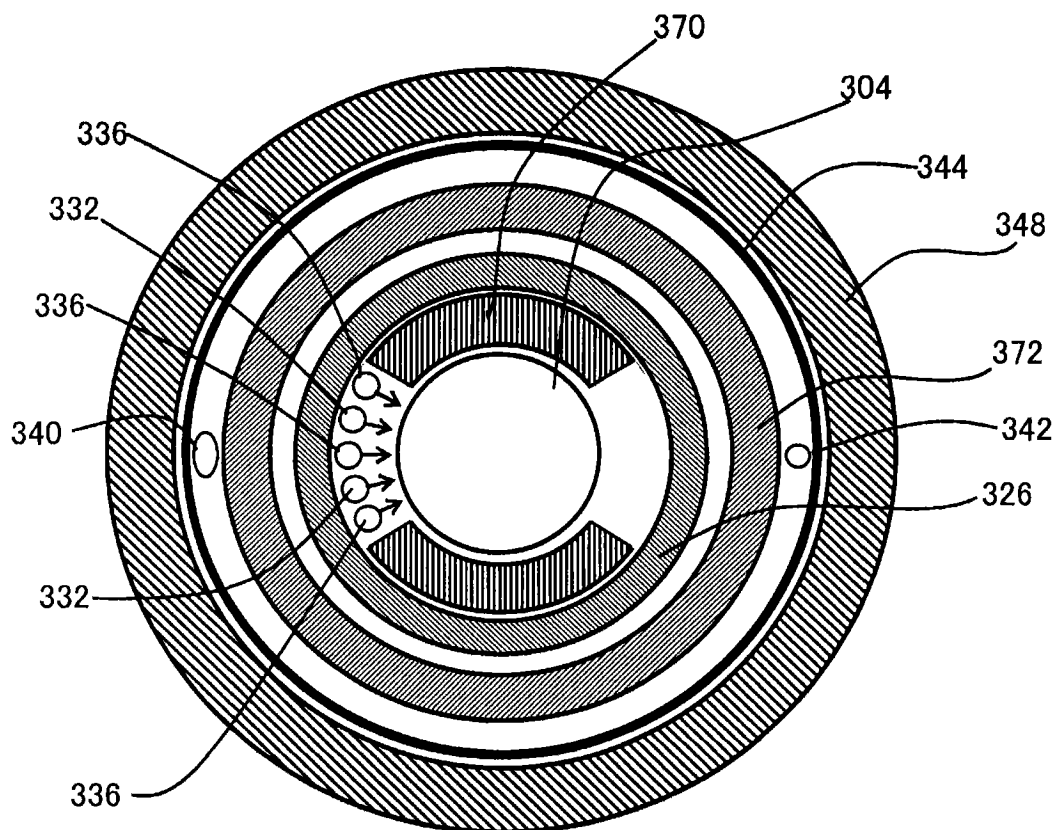


图 11

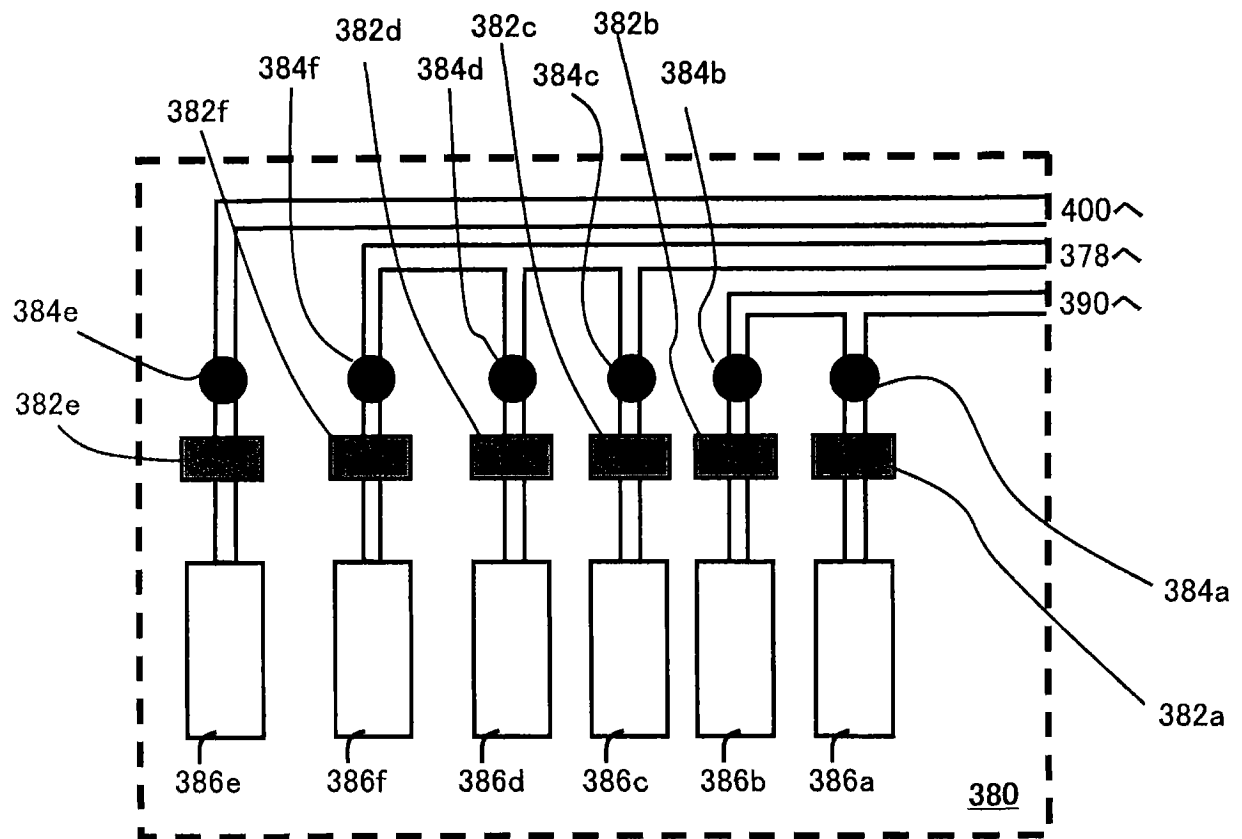


图 12

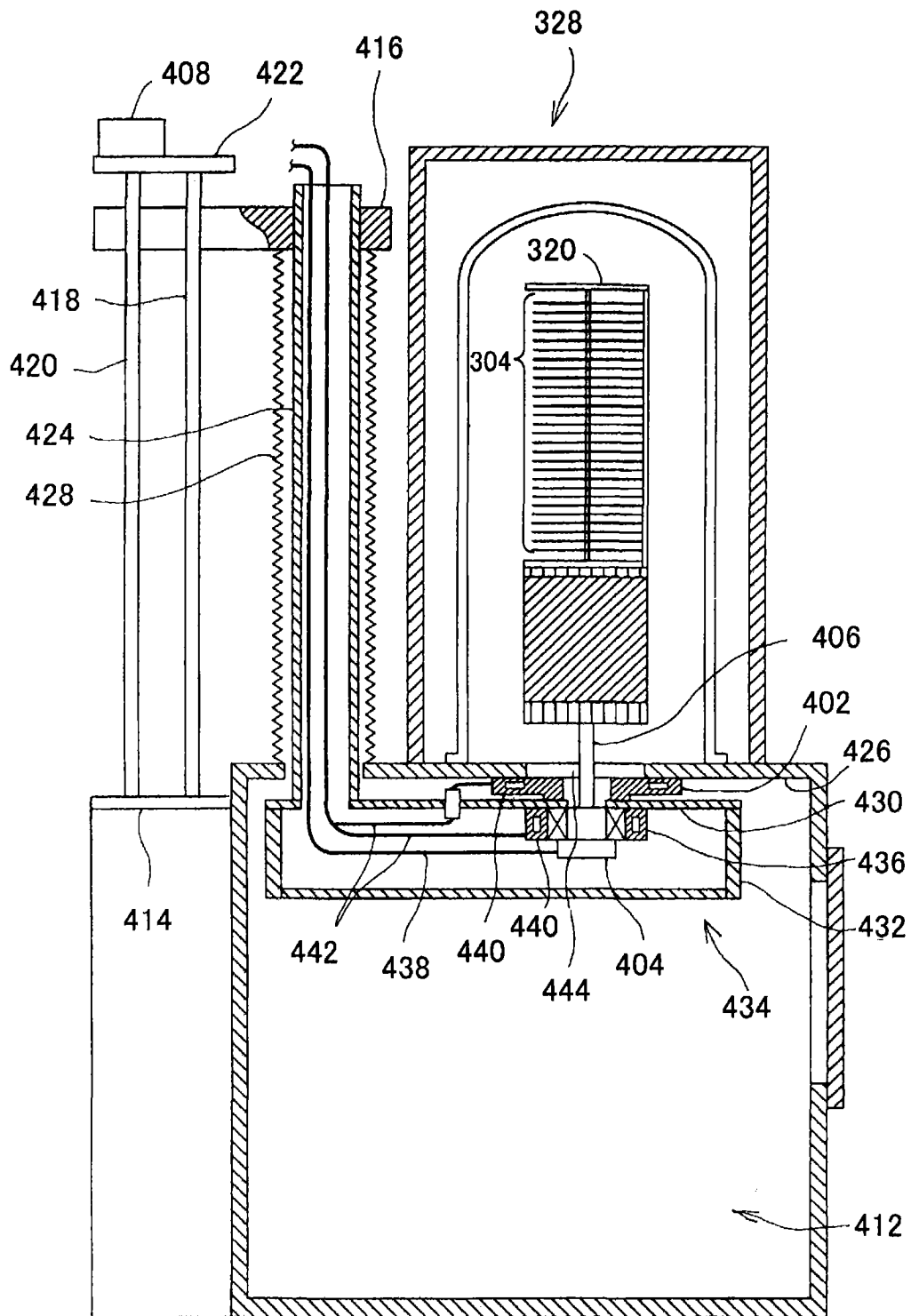


图 13

当前的控制	测定值		温度控制的切换
	低温用放射温度计	高温用放射温度计	
基于低温用放射温度计的控制	阈值 P 以上	不足阈值 P	向高温用放射温度计切换
	阈值 P 以上	阈值 P 以上	向高温用放射温度计切换
	不足阈值 P	阈值 P 以上	继续低温用放射温度计
	不足阈值 P	不足阈值 P	继续低温用放射温度计
基于高温用放射温度计的控制	阈值 M 以上	不足阈值 M	向低温用放射温度计切换
	阈值 M 以上	阈值 M 以上	继续高温用放射温度计
	不足阈值 M	阈值 M 以上	继续高温用放射温度计
	不足阈值 M	不足阈值 M	向低温用放射温度计切换

图 14

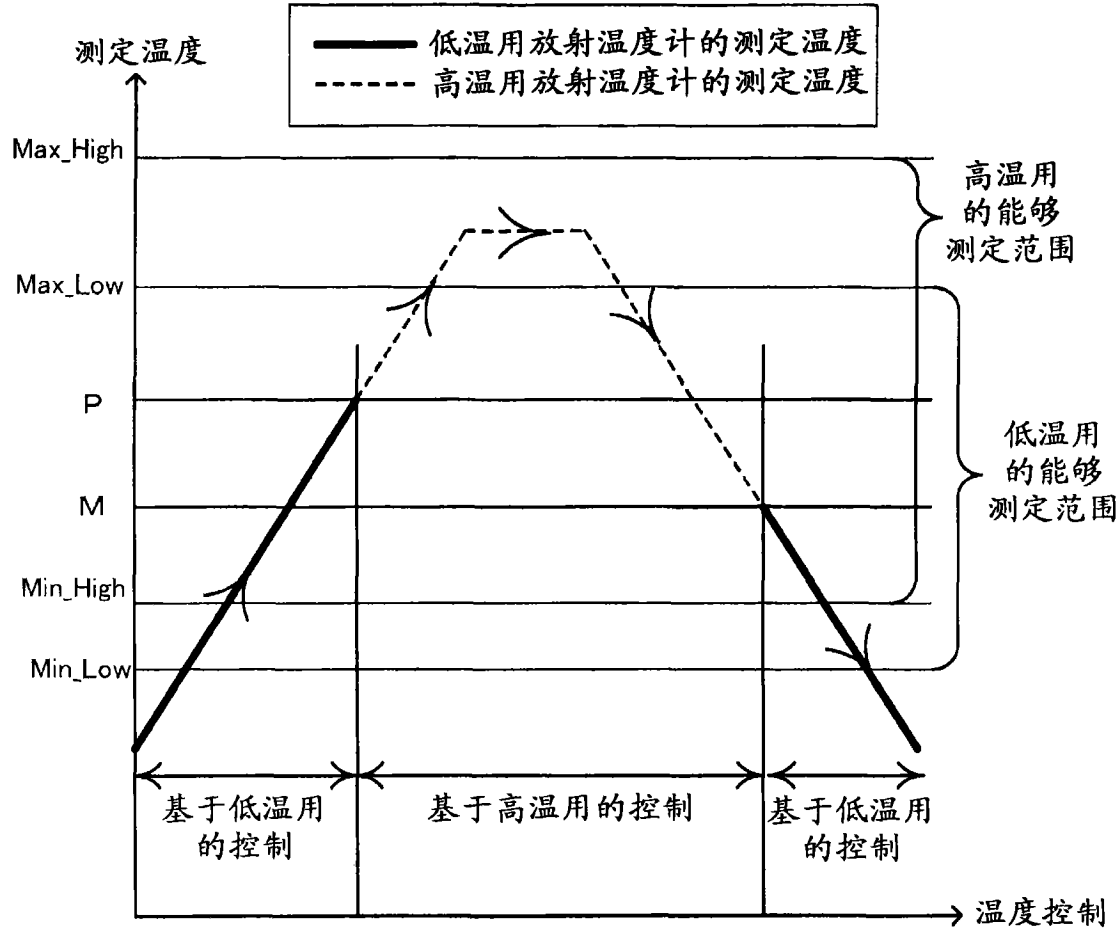


图 15

当前的控制	测定值		温度控制的切换
	低温用放射温度计	高温用放射温度计	
基于低温用放射温度计的控制	阈值 P 以上	阈值 M 以上	向高温用放射温度计切换
	阈值 P 以上	不足阈值 M	继续低温用放射温度计
	不足阈值 P	阈值 M 以上	继续低温用放射温度计
	不足阈值 P	不足阈值 M	继续低温用放射温度计
基于高温用放射温度计的控制	阈值 P 以上	阈值 M 以上	继续高温用放射温度计
	不足阈值 P	阈值 M 以上	继续高温用放射温度计
	阈值 P 以上	不足阈值 M	向低温用放射温度计切换
	不足阈值 P	不足阈值 M	向低温用放射温度计切换

图 16