



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106929802 A

(43) 申请公布日 2017. 07. 07

(21) 申请号 201511026879. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2015. 12. 31

C23C 14/24(2006. 01)

(71) 申请人 中国建材国际工程集团有限公司  
地址 200063 上海市普陀区中山北路 2000  
号中期大厦 27 层  
申请人 CTF 太阳能有限公司

(72) 发明人 傅干华 巴斯蒂安·希普欣  
扬·彼得·海姆法尔特 秦关根  
艾伦·E·德拉霍伊 夏申江  
斯特凡·拉乌 彭寿

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限  
责任公司 11219  
代理人 沈同全 车文

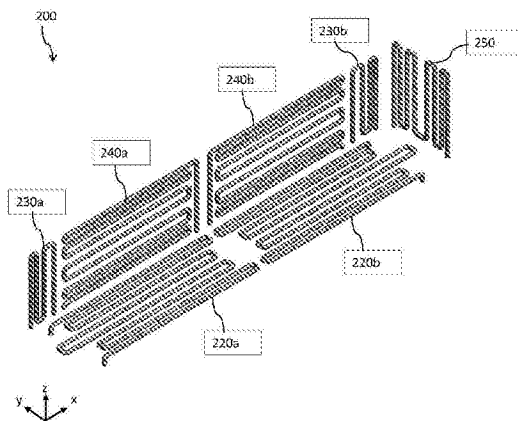
权利要求书3页 说明书12页 附图11页

(54) 发明名称

用于加热坩埚的加热器设备、其操作方法和  
用于容纳且加热待蒸发或升华的材料坩埚

(57) 摘要

本发明涉及用于加热坩埚的加热器设备、其操作方法和用于容纳且加热待蒸发或升华的材料坩埚。该坩埚具有底表面和至少一个侧表面。加热器设备包括至少一个电阻底部加热器用于坩埚的底表面,和至少一个电阻侧部加热器用于坩埚的每个侧表面。加热器中的至少一个加热器包含适合于将不同量的热能引入到坩埚的各个表面的不同部分的不同的加热段。此外,所述坩埚包括:至少一个槽凹陷,该至少一个槽凹陷适合于接收待蒸发或待升华的材料;至少一个坩埚壁,该至少一个坩埚壁从坩埚的第二表面延伸到槽凹陷内;以及至少一个底部凹陷,该至少一个底部凹陷形成在坩埚壁内。底部凹陷适合于接收壁加热器。



1. 一种用于加热坩埚的加热器设备,所述坩埚具有底表面和至少一个侧表面,所述加热器设备包括:至少一个电阻底部加热器,所述电阻底部加热器用于所述坩埚的底表面,和至少一个电阻侧部加热器,所述电阻侧部加热器用于所述坩埚的每个侧表面,

其中,所述加热器中的至少一个加热器包含不同的加热段,所述不同的加热段适合于将不同量的热能引入到各个表面的不同部分中。

2. 根据权利要求1所述的加热器设备,其中,所述不同的加热段通过每单位面积不同组装密度的电阻加热元件形成。

3. 根据权利要求1或2所述的加热器设备,其中,所述不同的加热段通过不同的电阻加热元件形成,所述不同的电阻加热元件适合于对于从电源施加到所述加热器的一个电力生成不同量的热能。

4. 根据前述权利要求中的任一项所述的加热器设备,其中,所述不同的加热段通过所述加热器的不同部分形成,所述加热器的不同部分适合于接收从不同的电源施加的不同量的电力,其中,特定的加热段连接到特定的电源。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的加热器设备,其中,引入到所述坩埚的侧表面的第一部分内的热能高于引入到相同侧表面的第二部分内的热能,所述第一部分与所述第二部分相比具有距所述坩埚的底表面更大的距离。

6. 根据权利要求5所述的加热器设备,其中,引入到所述坩埚的侧表面的第三部分内的热能高于引入到相同侧表面的第二部分内的热能,所述第三部分与所述第二部分相比具有距所述坩埚的底表面更小的距离。

7. 根据前述权利要求中的任一项所述的加热器设备,其中,所述坩埚具有至少三个侧表面,并且其中,引入到所述坩埚的侧表面的第四部分内的热能高于引入到相同侧表面的第五部分内的热能,所述第四部分与所述第五部分相比具有距所述坩埚的特定的相邻侧表面的平面更小的距离。

8. 根据前述权利要求中的任一项所述的加热器设备,其中

-所述加热器设备适合用于长方体坩埚,所述坩埚具有两个长侧表面和两个短侧表面,  
-所述加热器中的每个加热器形成为长的电导体,所述电导体具有高电阻率并且以曲折模式布置,

-在每个长侧表面处,布置了两个角部加热器和至少一个中间加热器,所述两个角部加热器布置在相应侧表面的边缘处,并且所述至少一个中间加热器布置在所述两个角部加热器的中间,

-所述中间加热器的导体布置为曲折地水平延伸,并且所述角部加热器的导体布置为曲折地竖直延伸,

-所述至少一个底部加热器的导体布置为曲折地沿着所述坩埚的长延伸部延伸,并且

-每个加热器具有通过不同组装密度的导体形成的不同的加热段,

带有较高组装密度的加热段形成在与各个角部加热器和所述底部加热器的具有距所述坩埚的表面的各个边缘更大距离的部分相比,各个加热器的具有距各个表面的边缘更小距离的部分处,并且

带有较高的组装密度的加热段形成在与各个中间加热器的其他部分相比,各个中间加热器的具有距所述坩埚的顶表面或所述坩埚的底表面更小距离的部分处。

9. 一种用于操作加热器设备的方法,所述加热器设备用于加热坩埚,所述坩埚具有底表面和至少一个侧表面,所述加热器设备包括:至少一个电阻底部加热器,用于所述坩埚的底部,和至少一个电阻侧部加热器,用于所述坩埚的每个侧表面,其中,所述加热器中的至少一个加热器包含不同的加热段,所述不同的加热段适合于将不同量的热能引入到各个表面的不同部分,

所述方法包括:将所述至少一个底部加热器中的至少一个底部加热器和所述至少一个侧部加热器中的一个侧部加热器和/或特定的加热器的至少两个不同的加热段连接到不同的电源,并且

将不同量的电力施加到所述至少两个不同的加热段。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,施加到所述至少一个底部加热器中的至少一个底部加热器和所述至少一个侧部加热器中的一个侧部加热器的电力和/或施加到所述至少两个不同的加热段的电力以不同的方式随时间变化。

11. 一种用于加热待蒸发或待升华的材料坩埚,包括:

-至少一个槽凹陷,所述至少一个槽凹陷适合于接收所述待蒸发或待升华的材料,所述槽凹陷形成在所述坩埚的第一表面内并且具有至少一个第一部分和至少两个第二部分,所述第一部分延伸到从所述坩埚的第一表面测量的第一深度并且具有底表面,所述底表面以距所述坩埚的第一表面的所述第一深度的距离形成,所述第二部分延伸到从所述坩埚的第一表面测量的第二深度,所述第二深度比所述第一深度大,

-至少一个坩埚壁,所述至少一个坩埚壁从所述坩埚的与所述第一表面相反的第二表面延伸到所述槽凹陷的至少一个第一部分中的一个第一部分的底表面,所述坩埚壁邻接并且侧向地分开所述槽凹陷的两个第二部分,所述两个第二部分邻接所述槽凹陷的第一部分,以及

-至少一个底部凹陷,所述至少一个底部凹陷形成在所述坩埚壁中,所述底部凹陷具有邻近所述坩埚的第二表面的开口且从坩埚的第二表面延伸到从所述坩埚的第一表面测量的第三深度,所述第三深度比所述第一深度大且比所述第二深度小。

12. 根据权利要求11所述的坩埚,其中所述坩埚壁通过所述槽凹陷的第二部分从所述坩埚的所有侧壁间隔开。

13. 根据权利要求11或12所述的坩埚,其中所述坩埚包括多于一个的坩埚壁,其中至少两个坩埚壁相互平行地延伸。

14. 根据权利要求11至13中的任一项所述的坩埚,其中所述坩埚包括多于一个的坩埚壁,其中至少两个坩埚壁相互交叉。

15. 根据权利要求11至14中的任一项所述的坩埚,其中所述坩埚包括多于一个的坩埚壁,其中至少两个坩埚壁在相互正交的方向上延伸,但通过所述槽凹陷的至少两个第二部分中的一个第二部分相互间隔开。

16. 一种用于蒸发或升华材料的系统,所述系统包括根据权利要求11至15中的任一项所述的坩埚和用于加热所述坩埚的加热器设备,其中,所述加热器设备包括布置在所述坩埚的至少一个底部凹陷中的至少一个壁加热器。

17. 根据权利要求16所述的系统,其中所述加热器设备进一步包括根据权利要求1至8中的任一项所述的加热器设备。

18. 根据权利要求16或17所述的系统,其中所述至少一个壁加热器包含不同的加热段,所述不同的加热段适合于将不同量的热能引入到其中布置了所述壁加热器的所述坩埚壁的不同部分内。

## 用于加热坩埚的加热器设备、其操作方法和用于容纳且加 待蒸发或升华的材料的坩埚

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于加热用来容纳和加热待蒸发或待升华的材料的坩埚的加热器设备,涉及一种用于操作此加热器设备的方法,和涉及一种用于容纳并且加热待蒸发或待升华的材料的坩埚,以及涉及一种用于蒸发或升华材料的系统,所述系统包括此坩埚和用于加热坩埚的特别的加热器设备。例如,加热器设备、坩埚和系统特别地适合于将蒸发或升华的材料沉积在如使用在太阳能电池生产中的基片的大表面上。

### 背景技术

[0002] 用于将材料沉积在基片上的一个技术是物理蒸汽沉积,其中待沉积的材料的蒸汽通过材料从材料源的由于高温(高于材料的沸腾温度或升华温度的温度)的蒸发或升华产生。蒸发的材料微粒朝向基片移动且最终沉积在基片的表面上。特别地,在大基片的批量生产或处理中,例如,如果基片在与第一方向垂直的方向上横过坩埚,则容纳了待沉积的材料即材料源的坩埚具有至少在该第一方向上的大尺寸。通常,此坩埚通过放置在坩埚的外表面上的或与坩埚成距离地布置的加热灯、RF线圈或电阻加热器加热。加热器或加热元件以及坩埚通常热解耦,并且热能经由辐射或经由气体对流传递。作为示例,US 8,557,045 B2描述了由石墨块形成的并且具有用于保持待蒸发或待升华的材料的凹陷或开口的坩埚或热槽,其中坩埚通过放置在外壳内的加热灯或电阻或电感加热器加热,所述外壳也容纳了坩埚的侧壁的底部和大部分。在US 2014/0109829 A1中,蒸发单元包括坩埚和与坩埚间隔开的并且布置为围绕坩埚的侧向表面或侧表面和底表面的加热器框架。在面对坩埚的加热器框架的内表面上设置了用于加热坩埚的加热器。

[0003] 特别地对于具有一个大开口或槽凹陷以用于容纳待蒸发的材料的大坩埚,到达待蒸发的材料内的温度可能在坩埚的长度和宽度上、并且也在待蒸发的材料的高度上在大范围内变化。这种效应由待蒸发的材料的不良的导热性引起,该材料给出例如为使用在太阳能电池生产中的CdTe或CDS。这些温度差异可能导致材料在基片上的不均匀的沉积。此外,可能发生所谓的“结块形成”,其中待蒸发的材料首先在与坩埚的侧表面邻接的区域内被蒸发或升华,使得待蒸发的材料的剩余部分在槽凹陷的中间形成块或结块并且失去与侧表面的接触。此结块然后被仅来自坩埚的底表面的热传导加热,这导致更少的热传递和降低的材料沉积率。

[0004] 通常,围绕一个或多个侧表面和底表面的加热器形成为整体的单件元件,该单件元件不提供用于以不同的方式控制坩埚的不同区域的温度的可能性。为最小化温度差异,在US 8,557,045 B2的热槽内形成了孔的阵列,其中容纳了待蒸发的材料的每个孔具有小直径,并且被坩埚的材料围绕。US 2014/0109829 A1描述了多个侧向反射器,加热器框架的每个侧表面设置该侧向反射器,即设置在坩埚的侧表面处。每个侧向反射器包括具有第一开口的第一反射器和具有第二开口的第二反射器,其中第二反射器可侧向移动,使得第一开口和第二开口的重叠率可变化。取决于重叠率,热从加热器损失并且这样坩埚的温度可

通过改变与坩埚的特定的区对应的侧向反射器得到控制。

[0005] 然而,这些解决方案具有不同的缺点,并且是对于温度差异问题的复杂的解决方法。此外,不能防止结块形成。

[0006] 对于形成为整体的单件元件的加热器进一步的问题由通过辐射或气体对流随时间的从坩埚到材料沉积到其上的基片传递的热能的改变导致。当坩埚几乎完全地填充以待蒸发的材料时,坩埚传递具有第一量和第一侧向分布的第一热能。如果坩埚内的待蒸发的材料的高度随时间而降低,则坩埚将与第一热能至少在热能的侧向分布方面不同的热能传递到基片。因此,基片以不同的方式通过坩埚随时间加热,从而导致基片上沉积的材料的质和/或量的改变。

## 发明内容

[0007] 因此,本发明的目的是提供加热器设备、用于操作加热器设备的方法以及提供了随时间推移的在待蒸发的材料内的改进的温度均匀性和改进的基片温度均匀性的坩埚。

[0008] 为实现此目的,本发明提供了根据权利要求1的用于加热坩埚的加热器设备、根据权利要求9的用于操作此加热器设备的方法、根据权利要求11的用于容纳和加热待蒸发或待升华的材料的坩埚、以及根据权利要求17的用于蒸发或升华的系统。实施例包含在从属权利要求中。

[0009] 根据本发明的第一方面,加热器设备适合于加热具有底表面和至少一个侧表面的坩埚。坩埚适合于容纳待蒸发或升华的材料并且因此具有形成在坩埚的顶表面内的槽凹陷。槽凹陷适合于接收待蒸发的材料,并且坩埚的顶表面与坩埚的底表面相反。加热器设备包括用于坩埚的底表面的至少一个电阻底部加热器和用于坩埚的每个侧表面的至少一个电阻侧部加热器。加热器中的至少一个加热器包含不同的加热段,所述加热段适合于将不同量的热能引入到各个表面的不同的部分中。即,至少一个加热器的不同的加热段产生了加热器所对应的表面的每单位面积的不同量的热能。例如,如果加热器是侧部加热器,则与第二加热段相比更靠近坩埚的顶表面布置的第一加热段将与第二加热段相比每单位面积更大的量的热能引入到坩埚的侧表面内。在另一个示例中,侧部加热器的第一加热段(所述第一加热段比相同的侧部加热器的第二加热段更靠近坩埚的角部边缘地布置)将与第二加热段相比每单位面积更大量的热能引入到坩埚的侧表面内。坩埚的角部的边缘是坩埚的两个侧表面相互邻接处的坩埚的边缘。不同的加热段因此可平衡坩埚内或容纳在槽凹陷内的待蒸发的材料内的温度差异,其中温度差异可能由坩埚或待蒸发的材料到周围环境的热能损失导致,或可能由坩埚的构造导致。这样,也可以改进传递到基片的热能的均匀性并且因此基片温度的侧向分布。此外,侧部加热器和底部加热器以及特定的加热器的不同的加热段可随时间受控制,使得从坩埚传递到基片的热能的量和/或侧向分布基本上与时间以及与待蒸发的且容纳在坩埚内的材料的高度无关。

[0010] 至少一个底部加热器适合于布置在形成为坩埚的底表面内的开口的底部凹陷内,或适合于布置在坩埚的底表面上或以距所述底表面距离地布置。至少一个侧部加热器适合于布置在形成在坩埚的侧壁内的侧部凹陷内,或适合于布置在坩埚的侧表面上或以距所述侧表面距离地布置。侧壁从坩埚的顶表面延伸到坩埚的底表面,并且将顶表面和底表面连接。侧部凹陷形成了在坩埚的侧壁内的中空空间,使得中空空间的开口邻接坩埚的底表面。

然而,侧部凹陷也可形成坩埚的侧表面内的开口,使得侧壁对侧部敞开。侧表面是与邻近用于接收待蒸发的材料的槽凹陷的侧壁的表面相对的侧壁的表面。

[0011] 加热器设备在其形状、设计以及特别地在加热器的其数量方面适合于坩埚的外形。只要坩埚具有顶表面、底表面和至少一个侧表面,坩埚的外形不受限制。即,坩埚例如可以是带有圆形或椭圆形的顶表面和/或底表面的直圆柱体或斜圆柱体,或可以是任何类型的直棱柱或斜棱柱,例如长方体,或任何其他类型的体。

[0012] 根据加热器设备的第一实施例,不同的加热段通过每单位面积的电加热元件的不同的组装密度形成。如上所述,一个加热器通常形成为整体的单件元件,即以曲折模式敷设的一个长的电导体,即该导体具有多个平行的、直的部分,其中这些平行的部分的两个邻近的部分的相应的端部通过导体的转弯部分连接。根据现有技术的导体具有在导体的整个延伸部上的单独的平行部分的恒定的组装密度。即,导体的平行部分的两个邻近的部分的距离对于所有平行部分是相等的。与之相反,本发明的加热器设备的第一实施例具有不同的加热段,该加热段的特征在于导体的平行部分的不同的组装密度。然而,加热元件也可以是单独的平行的导体,其中布置在加热元件的一个和相同侧处的单独的加热元件的所有端部通过共同的导体连接。即,加热器可形成为类似于梯子,其中单独的加热元件是梯辐条并且以彼此相距变化的距离布置。第一实施例的加热元件可布置在坩埚的侧部加热器内,使得加热元件竖直地延伸或使得加热元件水平地延伸。

[0013] 根据加热器设备的第二实施例,不同的加热段由适合于对于从电源施加到加热器的一个量的电力来生成不同量的热能的不同电阻加热元件形成。即,不同的加热元件。例如,加热器的不同的加热段的加热元件由具有不同的电阻率的不同材料形成,或以根据电流流动的不同横截面形成。此外,每个加热元件可包括附加的电阻部件,所述电阻部件不对于热能生成作出贡献,但导致了施加到加热元件的剩余部分的电力的降低,其中此附加的电阻部件对于不同的加热段的加热元件是不同的。因此,加热元件的剩余部分可对于所有加热元件是相同的,但因为附加的电阻部件与单独的加热元件的剩余部分串联地连接,所以能够转换到单独的加热元件的剩余部分内的电力可对于不同的加热段是不同的。

[0014] 根据第三实施例,加热器包括适合于接收从不同的电源施加的不同的量的电力的不同的部分。特定的部分连接到特定的电源并且构成特定的加热段。因此,对应于坩埚的一个表面的一个加热器包括至少两个不同的部分,所述部分相互电绝缘且连接到不同的电源。

[0015] 根据加热器设备的特定设计,侧部加热器的加热段布置并且形成为使得引入到坩埚的相应的侧表面的第一部分内的热能高于引入到相同的侧表面的第二部分内的热能。第一部分具有比第二部分距坩埚的底表面更大的距离。因此,与第二部分内相比更多的热能引入到布置为靠近坩埚的顶表面的侧表面的第一部分内,并且可降低靠近坩埚的顶表面的热能损失和温度降低。

[0016] 此外,侧部加热器的加热段布置并且形成为使得引入到坩埚的侧表面的第三部分内的热能高于引入到相同的侧表面的第二部分内的热能。第三部分具有比第二部分距坩埚的底表面更小的距离。因此,与第二部分内相比,更多的热能被引入到布置为靠近坩埚的底表面的侧表面的第三部分内,并且可实现在靠近坩埚的底边缘的待蒸发的材料内的更好的温度均匀性。在此特定的设计中,侧部加热器包括水平地相互叠置的三个加热段,其中布置

为靠近坩埚的顶表面的第一加热段生成比布置在侧表面的中部的第二加热段每单位面积更多的热能,并且布置为靠近坩埚的底表面的第三加热段生成比第二加热段每单位面积更多的热能。

[0017] 根据加热器设备的进一步的特定设计,加热器设备包括至少三个侧部加热器,该侧部加热器中的每个对应于坩埚的特定的侧表面。这些侧部加热器中的至少一个包括加热段,该加热段布置并且形成为使得引入到坩埚的相应的侧表面的第四部分内的热能高于引入到相同的侧表面的第五部分内的热能。第四部分具有比第五部分距坩埚的特定的相邻侧表面的平面的更小的距离。因此,与第五部分内相比,更多的热能引入到布置为靠近坩埚的相邻侧表面的侧表面的第四部分内,并且可实现靠近坩埚的侧边缘的待蒸发的材料内的更好的温度均匀性。

[0018] 在加热器设备的特定的设计中,加热器设备适合于具有两个长侧表面和两个端侧表面的长方体坩埚。加热器中的每个形成为长的电导体,该电导体具有高的电阻率并且以曲折模式布置。在坩埚的每个长的侧表面处布置了两个角部加热器和至少一个中间加热器。两个角部加热器布置在相应的侧表面的边缘处并且至少一个中间加热器布置在两个角部加热器的中间。中间加热器的导体布置为曲折地水平延伸,并且角部加热器的导体布置为曲折地竖直延伸。至少一个底部加热器的导体布置为曲折地沿着坩埚的长的延伸部延伸。每个加热器具有通过导体的不同的组装密度形成的不同的加热段。对于角部加热器和底部加热器,带有更高的组装密度的加热段形成在与具有距表面的各个边缘的更大的距离的各个加热器的部分相比具有距坩埚的各个表面的边缘更小的距离的各个加热器的部分处。对于中间加热器,带有更高的组装密度的加热段形成在与各个中间加热器的其他部分相比具有距坩埚的顶表面或距坩埚的底表面更小的距离的各个加热器的部分处。此特定的设计将上述的设计的优点组合,并且提供了在待蒸发的材料内的非常好的温度均匀性。

[0019] 本发明的用于操作本发明的具有带有不同的加热段的至少一个加热器的加热器设备的方法包括:将至少一个底部加热器中的至少一个和至少一个侧部加热器中的一个和/或特定的加热器中的至少两个不同的加热段连接到不同的电源,并且将不同量的电力施加到至少两个不同的加热段。因此,所引入的通过不同的加热器和/或不同的加热段生成的热能可分别地受控制并且可以以最优的方式适于特定的坩埚和待蒸发的材料以及蒸发过程的要求。此外,这样也可改进基片温度的侧向均匀性。例如,与坩埚的侧角部邻近布置的角部加热器可与布置在坩埚的侧表面的中部中的中间加热器相比被供给以更高的电力。以相同的方式,作为示例,底部加热器与侧部加热器中的一个相比也可被供给以更高的电力。

[0020] 在方法的特定的实施例中,到至少两个不同的加热段的所施加的电力和/或到至少一个底部加热器中的至少一个和至少一个侧部加热器中的一个的所施加的电力以不同的方式随时间改变。因此,所引入的通过不同的加热段或不同的加热器生成的热能可随时间适于降低在坩埚内待蒸发的材料的量或适合于蒸发过程的其他要求。例如,当待蒸发的材料的量降低时,与施加到底部加热器相比,更少的电力可施加到侧部加热器。此外,当坩埚几乎以待蒸发的材料填满时,施加到底部加热器的电力可与时间相比增加。因此,被引入到待蒸发的材料内的热能可受控制,使得待蒸发的材料的量不随时间改变。此外,从坩埚传递到基片的热能可以在坩埚的操作寿命期间至少根据其侧向分布保持几乎恒定。坩埚的操

作寿命是从填充以待蒸发的材料的坩埚的首次使用直至带有相同的填充的材料的坩埚的末次使用的时间,其中材料的量连续地降低。

[0021] 根据本发明的第二方面,提供了发明的用于加热待蒸发或待升华的材料坩埚。坩埚包括至少一个槽凹陷,该槽凹陷适合于接收待蒸发或待升华的材料。槽凹陷形成在坩埚的第一表面内并且具有至少一个第一部分和至少两个第二部分。第一部分延伸到从坩埚的第一表面测量的第一深度且具有底表面,该底表面以距坩埚的第一表面的第一深度的距离形成。第二部分延伸到大于第一深度的第二深度,该第二深度从坩埚的第一表面测量。坩埚进一步包括至少一个坩埚壁,该坩埚壁从坩埚的第二表面延伸到槽凹陷的至少一个第一部分中的一个的底表面。坩埚的第二表面与坩埚的第一表面相反。坩埚壁由坩埚的材料制成。坩埚壁邻接并且侧向地分开槽凹陷的两个第二部分,其中两个第二部分邻接槽凹陷的第一部分。此外,坩埚包括形成在坩埚壁内的至少一个底部凹陷。底部凹陷具有邻接坩埚的第二表面的开口并且从坩埚的第二表面延伸到大于第一深度且小于第二深度的第三深度。第三深度也从坩埚的第一表面测量。即,坩埚具有从坩埚的底表面像指部地延伸到槽凹陷中的坩埚壁。坩埚壁内的底部凹陷适合于接收用于加热坩埚的加热器。因此,待蒸发的材料内的温度的均匀性被改进,从而导致在基片上的更稳定和均匀的膜沉积。

[0022] 在特定的实施例中,坩埚壁通过槽凹陷的第二部分与坩埚的所有的侧壁间隔开。即,坩埚壁不邻接坩埚的任何侧表面。

[0023] 在另一个实施例中,坩埚包括多于一个的坩埚壁,例如两个或三个或更多的坩埚壁。至少两个坩埚壁相互平行地延伸。在每个坩埚壁内形成了至少一个底部凹陷。

[0024] 在进一步的实施例中,坩埚包括多于一个的坩埚壁,其中至少两个坩埚壁相互交叉。此外,至少一个底部凹陷形成在每个坩埚壁内。在这种情况下,不同的坩埚壁的底部凹陷可相互邻接或可通过坩埚壁的材料相互分开。

[0025] 在另一个实施例中,坩埚包括多于一个的坩埚壁,其中至少两个坩埚壁在相互正交的方向上延伸。然而,不同的坩埚壁不相互交叉,而是通过槽凹陷的至少两个第二部分中的一个相互间隔开。

[0026] 这样,坩埚壁的设计能够适于坩埚、待蒸发的材料和蒸发过程的要求。

[0027] 上述的坩埚设置在用于蒸发或升华材料的系统中,该系统进一步包括用于加热坩埚的加热器设备。加热器设备包括至少一个壁加热器,该至少一个壁加热器布置在坩埚壁内的至少一个底部凹陷内。

[0028] 加热器设备可进一步包括根据本发明的第一方面的加热器设备。

[0029] 此外,根据用于蒸发或升华材料的系统的特定的实施例,至少一个壁加热器包含不同的加热段,该加热段适合于将不同量的热能引入到其中布置了壁加热器的坩埚壁的不同部分内。因此,也可如上所述根据本发明的第一方面设计壁加热器。

## 附图说明

[0030] 附图被包括以提供对于本发明的实施例的进一步理解,并且被并入和构成本说明书的部分。附图示出了本发明的实施例并且与描述一起用于解释原理。本发明的其他的实施例和预期的优点中的许多优点将容易地意识到,因为其通过参考以下的详细描述变得更好地被理解。附图中的元件不一定相对于彼此按比例制图。类似的附图标记指示了相应的

类似的部件。

[0031] 图1示出了对带有根据本发明的加热器设备的坩埚的示例性的实施例的横截面的透视图。

[0032] 图2A至图2C是具有带有不同的组装密度的不同的加热段的加热器的示意性示例。

[0033] 图3A和图3B是具有不同的加热段的加热器的示意性示例,该述加热段适合于对于施加到加热器的一个量的电力生成不同量的热能。

[0034] 图4是具有适合于接收不同量的所施加的电力的不同的部分的加热器的示意性示例。

[0035] 图5是对根据加热器设备的特定的设计的加热器设备的部分的示意性透视图。

[0036] 图6示出了对根据本发明的坩埚的示例性的实施例的横截面的透视图。

[0037] 图7A至图7D是对根据本发明的坩埚的坩埚壁的示例性的设计的平面视图。

### 具体实施方式

[0038] 图1示出了对带有根据本发明的加热器设备200的坩埚10的示例性实施例的横截面的透视图。坩埚10是由石墨或任何其它合适的材料制成的长方体并且具有六个表面:底表面11、顶表面12和四个侧表面,在此视图中从该坩埚仅能见一个侧表面13。在顶表面12中形成了槽凹陷14,该槽凹陷14适合于容纳待蒸发或待升华的材料。槽凹陷14具有其在顶表面12内的开口并且可具有任何合适的形式和任何合适的尺寸。此外,坩埚10可具有多于一个的槽凹陷14。加热器设备200包括至少一个侧部加热器210和至少一个底部加热器220,该底部加热器220布置在坩埚10的底表面11上。在图1中,仅能见布置在坩埚10的侧表面13上的侧部加热器210。加热器是包含了电导体的电阻加热器,该电导体当电流流经其时生成热能。电导体包括加热元件,该加热元件以特定的方式布置。加热器中的至少一个例如侧部加热器210或底部加热器220包括不同的加热段,将参考图2A至图4与解释术语“加热元件”一起解释该加热段。在图1中仅在通过导体的加热元件的横截面中可见底部加热器220。

[0039] 图2A至图2C是具有带有不同的组装密度的不同的加热段的侧部加热器210的示例的示意图。图2A示出了第一示例,其中侧部加热器210由长的、连续的电导体形成,该电导体具有在横截面上的合适的直径并且以曲折的模式敷设。电导体具有在导体的第一端上的第一端部分211和在导体的第二端上的第二端部分212。第一端部分211和第二端部分212适合于连接到电源用于将电力施加于导体。端部分211和212两者都布置在侧部加热器210的底部处。侧部加热器210具有多个平行的直的加热元件213,该加热元件213竖直地延伸,其中加热元件213的邻近的加热元件通过转弯部分214连接。在侧部加热器210的第一加热段215中,邻近的加热元件213以彼此相距距离 $d_1$ 布置。在第二加热段216中,邻近的加热元件213以彼此相距距离 $d_2$ 布置,其中 $d_2$ 小于 $d_1$ 。因此,加热元件213的组装密度在第二加热段216中比在第一加热段215中更大。结果,尽管加热段215、216两者的电导体都由相同的横截面形成并且由相同的材料成形,第二加热段216适合于将比第一加热段215每单位面积更大量的热能引入到相应的侧表面内。

[0040] 图2B示出了具有带有加热元件213的不同的组装密度的不同的加热段215和216的侧部加热器210的第二示例。与第一示例的差异仅在于加热元件213水平地而非竖直地延伸。侧部加热器210、即导体的端部分211和212到用于将电力施加到侧部加热器210的电源

的电连接再次以与所述方式相同的方式布置在侧部加热器210的底部处。

[0041] 侧部加热器210的第一示例允许将不同量的热能引入到侧表面的竖直部分内,而侧部加热器210的第二示例允许将不同量的热能引入到侧表面的水平部分内。因此,侧部加热器210可根据坩埚的侧表面内的热能引入的要求来形成。

[0042] 图2C示出了具有带有加热元件213的不同的组装密度的不同的加热段215和216的侧部加热器210的第三示例。在此情况中,侧部加热器210不形成为长的、连续的导体,而是形成为多个单独的加热元件213,该加热元件213平行地布置并且水平地延伸。每个加热元件213具有形成在加热元件213的第一侧上的第一端和形成在加热元件213的相反的第二侧上的第二端。所有加热元件213的第一端通过在加热元件213的第一侧处竖直延伸的第一侧导体217a彼此连接。所有加热元件213的第二端通过在加热元件213的第二侧处竖直延伸的第二侧导体217b彼此连接。因此,侧部加热器210的第三示例形成为类似于梯子,其中加热元件213为梯辐条。第一侧导体217a的端部分构成侧部加热器210的第一端部分211并且第二侧导体217b的端部分构成侧部加热器210的第二端部分212。此外,侧部加热器210包括第一加热段215和第二加热段216,在第一加热段215中加热元件213以彼此距离第一距离 $d_1$ 布置,在第二加热段216中加热元件213以彼此距离第二距离 $d_2$ 布置。第二距离 $d_2$ 小于第一距离 $d_1$ 。结果,侧部加热器210的第三示例将热能以与侧部加热器210的第二示例类似的方式引入到坩埚的侧表面内。

[0043] 在下面给出加热器的一些尺寸,该加热器可以是用于坩埚的长侧的侧部加热器或用于坩埚的短侧的侧部加热器或是底部加热器。加热元件213可具有沿着其延伸的方向的任何长度。例如,加热元件213可具有在100mm至400mm之间的长度,其中较大的长度应用于水平延伸的加热元件213。对于竖直延伸的加热元件213,长度优选地在200mm至300mm之间的范围内,并且更优选地在220mm至240mm的范围内。此外,不同的加热元件可具有不同的长度或可在长度方向上相对于彼此偏移。在水平方向上测量的第一端部分211和第二端部分212之间的距离可在60mm至600mm之间的范围内,优选地在100mm至500mm之间的范围内。两个邻近的加热元件213之间的距离,即图2A至图2C中的 $d_1$ 和 $d_2$ ,可在例如15mm至40mm之间变化。因此,在具有加热元件的高组装密度的加热段中,加热元件具有小的约15mm至20mm的相互距离,而在具有加热元件的低组装密度的加热段内,加热元件具有大的约35mm至40mm的相互距离。此外,加热器可具有多于两个的不同的加热段,其中两个或多个加热段中的加热元件可以以相同的相互距离布置。此外,具有不同的加热元件的组装密度的加热段可以以相同的即对称的方式相对于通过加热器的中线布置在加热器内,或可以以不对称的方式布置在加热器内。此外,加热器可具有加热元件沿着其延伸的相互不同的不同加热段。即,在第一加热段中,加热元件可竖直地延伸,而在第二加热段中,加热元件可水平地延伸。优选地,所有加热元件位于分别与相应的侧表面的平面平行或与底表面的平面平行的平面内。加热器的导体具有在5mm至15mm的范围内、优选地约10mm的横截面直径。

[0044] 图3A和图3B是具有适合于对于施加到加热器的一个量的电力生成不同量的热能的不同的加热段的侧部加热器210的示意性示例,但加热元件的组装密度可对于各自的加热段是相同的。在图3A中所示的第一示例中,侧部加热器210形成为像与图2C中所示的示例类似的梯子。第一侧导体217a和第二侧导体217b连接到用于将给定量的电力施加到侧部加热器210的电源300。与在图2c中所示的示例相反,加热元件213可以彼此相距相同的距离 $d_1$

布置在加热段215和216两者中。由不同的加热段215、216的加热元件213的不同材料产生了不同量的生成的热能,其中不同的材料具有不同的电阻率,或产生了不同的加热段215、216的加热元件213的不同的横截面面积。然而,如参考图2C所述,不同的加热段215、216的加热元件213也可以彼此相距不同的距离布置,以增加所引入的热能的差异。

[0045] 在图3B中所示的侧部加热器210的第二示例形成为类似于图3A的示例的情况。然而,每个加热元件213包括与加热元件213的剩余部分串联地连接的附加的电阻部件218,其中附加的电阻部件218的电阻对于不同的加热段215、216的加热元件213是不同的。例如,第一加热段215的加热元件213的附加的电阻部件218具有电阻R1,而第二加热段216的加热元件213的附加的电阻部件218具有电阻R2。附加的电阻部件218不对于热能的生成作出贡献,而是导致施加到加热元件213的剩余部分的电力的降低。因此,一个加热元件213的剩余部分可能对于在不同的加热段215、216中的所有加热元件213是相同的,但是能够在加热元件213内转换的电力对于不同的加热段215、216是不同的。

[0046] 图4示出了具有适合于接收不同量的所施加的电力的不同的部分219a和219b的侧部加热器210的示意性示例。部分219a和219b两者都以相同的方式形成,例如形成为以曲折模式敷设的长的导体。然而,部分219a和219b也可以形成为梯子,类似于在图2C或图3A中所示的情况。加热元件可在相同的或不同的方向上延伸,加热元件可以相同的或不同的组装密度布置,并且如果加热元件具有相同的长度和横截面则其可具有相同或不同的电阻。在此示例中不同的特征是可施加到不同的部分219a和219b的不同的电力,因为每个部分219a和219b均连接到单独的电源。例如,第一部分219a连接到可施加第一量的电力的第一电源310,而第二部分219b连接到可施加第二量的电力的第二电源320。所施加的电力的量取决于加热元件的尺寸和电阻率来限定,使得不同的部分219a、219b的每单位体积所施加的电力的量方面的差异在所施加的电力的较大的量的5%至20%之间的范围内,优选地约为10%。取决于不同的部分219a和219b的所施加的电力的量和电阻,不同的部分219a和219b可将每单位面积不同的量的热能引入到坩埚的侧表面内。因此,不同的部分219a和219b构成了根据本发明的侧部加热器210的不同的加热段。

[0047] 参考涉及侧部加热器的图2A至图4所解释的所有类型的不同的加热段可以以类似的方式应用于底部加热器。在坩埚的加热设备中使用上述的加热器,则对于在600°C至700°C的范围内的坩埚平均温度,坩埚的不同部分的最低温度和最高温度之间的温度差可小于或等于15K。即,可实现在坩埚的整个操作寿命期间的在坩埚的整个体积中的极好的温度均匀性。

[0048] 图5示出了对根据加热器设备的特定的设计的加热器设备200的部分的示意性透视图。加热器设备200设计为用于作为长方体的并且具有两个长侧表面和两个短侧表面的坩埚100,每个长侧表面在x-y-z坐标系的x-z平面内延伸,而每个短侧表在坐标系的y-z平面内延伸。此外,坩埚具有在坐标系的x-y平面内延伸的底表面。加热器设备200包括:两个角部加热器230a和230b;和两个中间加热器240a和240b,该两个中间加热器240a和240b用于坩埚的每个长侧表面;一个短侧加热器250,该一个短侧加热器250用于坩埚的每个短侧表面的;以及两个底部加热器220a和220b,该两个底部加热器220a和220b用于坩埚的底表面。即,加热器设备200总共包括十二个加热器。加热器中的每个加热器形成为长的、连续的导体,其中每个加热器可连接到单独的电源。中间加热器240a和240b的加热元件水平地延

伸,即在x方向上延伸,而角部加热器230a和230b的加热元件和短侧加热器250的加热元件竖直地延伸,即在z方向上延伸。底部加热器220a和220b的加热元件在x方向上延伸,即从坩埚的底表面的中间相对于x方向延伸到坩埚的相应的短侧表面。加热器中的每个加热器可连接到不同的电源,然而一些加热器例如两个短侧加热器也都可连接到相同的电源。对于具有约1300mm的长度(在x方向上测量)、约280mm的宽度(在y方向上测量)和约290mm高度(在z方向上测量)的坩埚,施加到加热器设备200的电功率作为整体可大约为50kW。在不同的加热器中根据加热器的尺寸和特定的加热器应引入到坩埚的各自表面内的每单位面积的热能来分配此电力。

[0049] 每个中间加热器240a和240b具有至少三个不同的加热段,该至少三个不同的加热段具有加热元件的不同的组装密度。中间加热器240a、240b中的一个的第一加热段形成为靠近坩埚的顶表面并且具有第一组装密度。中间加热器240a、240b中的一个的第二加热段形成在坩埚的长侧表面相对于z方向的中部内并且具有小于第一组装密度的第二组装密度。中间加热器240a、240b中的一个的第三加热段形成为靠近坩埚的底表面并且具有大于第二组装密度的第三组装密度。第三组装密度可小于、等于或大于第一组装密度。

[0050] 每个角部加热器230a、230b具有至少两个不同的加热段,该至少两个不同的加热段具有加热元件的不同的组装密度。角部加热器230a、230b中的一个的第一加热段形成为靠近邻近的中间加热器240a或240b并且具有第四组装密度。角部加热器230a、230b中的一个的第二加热段形成为靠近坩埚的角部边缘,即靠近坩埚的邻近的短侧表面,并且具有大于第四组装密度的第五组装密度。

[0051] 每个短侧加热器250具有至少三个不同的加热段,该至少三个不同的加热段具有加热元件的不同的组装密度。短侧加热器250中的一个的第一加热段形成为靠近坩埚的第一角部边缘,即靠近坩埚的邻近的第一长侧表面,并且具有第六组装密度。短侧加热器250中的一个的第二加热段形成在坩埚的短侧表面相对于y方向的中部内并且具有小于第六组装密度的第七组装密度。短侧加热器250中的一个的第三加热段形成为靠近坩埚的第二角部边缘,即靠近坩埚的邻近的第二长侧表面,并且具有大于第七组装密度的第八组装密度。第八组装密度可小于、等于或大于第六组装密度。

[0052] 每个底部加热器220a、220b具有至少三个具有加热元件的不同的组装密度的不同的加热段。底部加热器220a、220b中的一个的第一加热段形成为靠近坩埚的第一长侧表面并且具有第九组装密度。底部加热器220a、220b中的一个的第二加热段形成在坩埚的底表面相对于y方向的中部内并且具有小于第九组装密度的第十组装密度。底部加热器220a、220b中的一个的第三加热段形成为靠近坩埚的第二长侧表面且具有大于第十密度的第十一组装密度。第十一组装密度可以小于、等于或大于第九组装密度。在所示的实施例中,底部加热器220a、220b的加热元件不延伸到坩埚的邻近的短侧表面,但在其他实施例中可延伸到坩埚的邻近的短侧表面。

[0053] 加热设备200对于坩埚相对于x方向和y方向的中部对称。

[0054] 图6示出了对根据本发明的第二方面的坩埚100的示例性实施例的横截面的透视图。坩埚100又是具有第一或底表面110、第二或顶表面120和每个具有侧表面的四个侧壁的长方体,该侧壁中仅两个侧壁130a和130b和侧壁130b的侧表面131在图6中可见。横截面从侧壁130a的侧表面沿着y方向延续到侧壁130b的侧表面131。在与底表面110相反的顶表面

120中,槽凹陷140形成成为顶表面120中的开口。槽凹陷140用于接收待蒸发的材料。槽凹陷140具有至少一个第一部分141和至少两个第二部分142。在图6中所示的实施例中,槽凹陷140具有两个第一部分141和三个第二部分142,所述部分通过虚线所示。第一部分141和第二部分142是侧向部分。第一部分141和第二部分142的全部从坩埚100的顶表面120延伸并且一起形成了顶表面120内的连续的开口。第一部分141从坩埚100的顶表面120延伸到第一深度 $D_1$ 。第二部分142从顶表面120延伸到第二深度 $D_2$ ,其中第二深度 $D_2$ 大于第一深度 $D_1$ 。两个深度 $D_1$ 和 $D_2$ 都沿着z方向从顶表面120测量。在图6中所示的实施例中,两个第一部分141都延伸到相同的第一深度 $D_1$ 并且所有第二部分142都延伸到相同的第二深度 $D_2$ 。然而,不同的第一部分141可延伸到不同的第一深度并且不同的第二部分142可延伸到不同的第二深度。第一部分141具有底表面1410。

[0055] 坩埚100进一步包括至少一个坩埚壁,该至少一个坩埚壁从坩埚100的底表面110延伸到顶表面120的方向,使得其突入到槽凹陷140内。在图6中所示的实施例中,坩埚100具有两个坩埚壁150a、150b。坩埚壁150a、150b延伸到深度 $D_1$ ,使得坩埚壁150a、150b中的一个的顶表面是槽凹陷140的第一部分141中的一个的底表面1410。即,每个坩埚壁150a、150b邻接一个第一部分141的底表面。此外,每个坩埚壁150a、150b将两个不同的第二部分142彼此分开,该第二部分142邻接与该特定的坩埚壁150a、150b对应的特定的第一部分141。

[0056] 在坩埚壁150a、150b中的至少一个内形成了至少一个底部凹陷160。在图6中所示的实施例中,至少一个底部凹陷160形成在每个坩埚壁150a、150b内。每个底部凹陷160具有与坩埚100的底表面110邻接并且从底表面110延伸到第三深度 $D_3$ 的开口。第三深度 $D_3$ 沿着z方向从坩埚100的顶表面120测量并且大于第一深度 $D_1$ 且小于第二深度 $D_2$ 。每个底部凹陷160适合于接收作为用于加热坩埚100的加热器设备的部分的壁加热器以及待蒸发的并且容纳在槽凹陷140内的材料。壁加热器可从坩埚100的底表面110引入到底部凹陷160内。

[0057] 在图6中所示的实施例中,坩埚100另外包括侧部凹陷170,该侧部凹陷170形成在侧壁130a、130b内。侧部凹陷170中的每个具有与坩埚100的底表面110邻接并且延伸到顶表面120的方向的开口。然而,侧部凹陷170未到达顶表面120并且因此在此侧上被封闭。侧部凹陷170适合于接收作为用于加热坩埚100的加热器设备的部分的侧部加热器。然而,侧部凹陷170可以不形成在侧壁130a、130b内,并且加热器设备的侧部加热器可布置在各个的侧壁130a、130b的侧表面处。

[0058] 在下面给出坩埚100的元件的一些尺寸。坩埚100作为整体可具有约1300mm的在x方向上测量的长度、约280mm的在y方向上测量的宽度、以及约290mm的在z方向上测量的高度。侧壁130a、130b和坩埚壁150a、150b每个可具有在30mm至45mm之间的在y方向上测量的宽度。每个底部凹陷160和每个侧部凹陷170可具有在所有方向上这样的尺寸使得坩埚材料的至少最小厚度在所有点处保持,其中坩埚材料的最小厚度适合于保障坩埚体的物理稳定性。例如,在坩埚壁150a、150b中坩埚材料的最小厚度、将槽凹陷140的第二部分142和底部凹陷160相互分开的坩埚材料的最小厚度对于由石墨制成的坩埚100在10mm至15mm之间的范围内。因此,底部凹陷160和侧部凹陷170每个可具有在10mm至20mm之间、优选地约10mm的在y方向上测量的宽度。此宽度必须足够用于在各自的凹陷内接收加热器。第二深度 $D_2$ 在240mm至270mm之间的范围内。第一深度 $D_1$ 处于 $D_2$ 的三分之一至 $D_2$ 的三分之二的范围内并且优选地约为 $D_2$ 的一半。即, $D_1$ 处于80mm至180mm的范围内,并且优选地约为120mm至135mm。第

三深度 $D_3$ 取决于第一深度 $D_1$ 并且等于 $D_1$ 和槽凹陷140的第一部分141的底表面1410和邻接的坩埚壁150a、150b内的相应的底部凹陷160之间的坩埚材料的厚度的和数。因此,第三深度 $D_3$ 处于95mm至195mm的范围内,并且优选地约为130mm至150mm。

[0059] 图7A至图7D是对根据本发明的坩埚100的坩埚壁150的示例性设计的平面视图。在图中仅示出了槽凹陷140和坩埚壁150,而坩埚的侧壁未示出。

[0060] 在图7A中所示的示例中,仅一个坩埚壁150形成在槽凹陷140内。坩埚壁150通过槽凹陷140的第二部分142与坩埚的所有的侧壁分开。坩埚壁150在沿着坩埚的长侧的方向上延伸。

[0061] 在图7B中所示的示例中,两个坩埚壁150a和150b形成在槽凹陷140内。因此,图7B是对图6中所示的坩埚100的平面视图,其中仅示出了槽凹陷140和坩埚壁150a和150b。坩埚壁150a和150b在沿着坩埚的长侧的方向上延伸且相互平行。坩埚壁150a和150b通过槽凹陷140的第二部分142彼此分开。坩埚壁150a和150b都不邻接坩埚的侧壁。坩埚壁150a和150b可具有相同的尺寸或可具有不同的尺寸。

[0062] 在图7C中所示的示例中,同样地两个坩埚壁150a和150b形成在槽凹陷140内。然而,坩埚壁150a在沿着坩埚的长侧的方向上延伸,而坩埚壁150b在沿着坩埚的短侧的方向上延伸。坩埚壁150a和150b以正交方式相互交叉。然而,坩埚壁中的至少一个可延伸到另一个方向,使得其以另外的角度相互交叉。

[0063] 在图7D中所示的示例中,三个坩埚壁150a、150b和150c形成在槽凹陷140内。坩埚壁150a和150b在沿着坩埚的短侧的方向上延伸,而坩埚壁150c在沿着坩埚的长侧的方向上延伸。坩埚壁150a、150b和150c通过槽凹陷140的第二部分142相互分开且与坩埚的侧壁分开,并且相互不交叉或相互不邻接。

[0064] 在前述描述中所述的本发明的实施例是作为示例给出的实例,并且本发明决不限制于此。实施例的任何修改、变型和等价布置以及组合应考虑为被包括在本发明的范围内。

[0065] 附图标号列表

[0066] 10 坩埚

[0067] 11 底表面

[0068] 12 顶表面

[0069] 13 侧表面

[0070] 14 槽凹陷

[0071] 100 坩埚

[0072] 110 第一或底表面

[0073] 120 第二或顶表面

[0074] 130a、b 侧壁

[0075] 131 侧表面

[0076] 140 槽凹陷

[0077] 141 槽凹陷的第一部分

[0078] 142 槽凹陷的第二部分

[0079] 1410 第一部分的底表面

[0080] 150、150a-c 坩埚壁

- [0081] 160 底部凹陷
- [0082] 170 侧部凹陷
- [0083] 200 加热器设备
- [0084] 210 侧部加热器
- [0085] 211 导体的第一端部分
- [0086] 212 导体的第二端部分
- [0087] 213 加热元件
- [0088] 214 转弯部分
- [0089] 215 第一加热段
- [0090] 216 第二加热段
- [0091] 217a 第一侧导体
- [0092] 217b 第二侧导体
- [0093] 218 附加的电阻部件
- [0094] 219a 第一部分
- [0095] 219b 第二部分
- [0096] 220、220a、220b 底部加热器
- [0097] 230a、230b 角部加热器
- [0098] 240a、240b 中间加热器
- [0099] 250 短侧加热器
- [0100] 300 电源
- [0101] 310 第一电源
- [0102] 320 第二电源
- [0103]  $d_1$ 、 $d_2$  加热元件的距离
- [0104]  $R_1$ 、 $R_2$  附加的电阻部件的电阻
- [0105]  $D_1$ - $D_3$  第一深度至第三深度

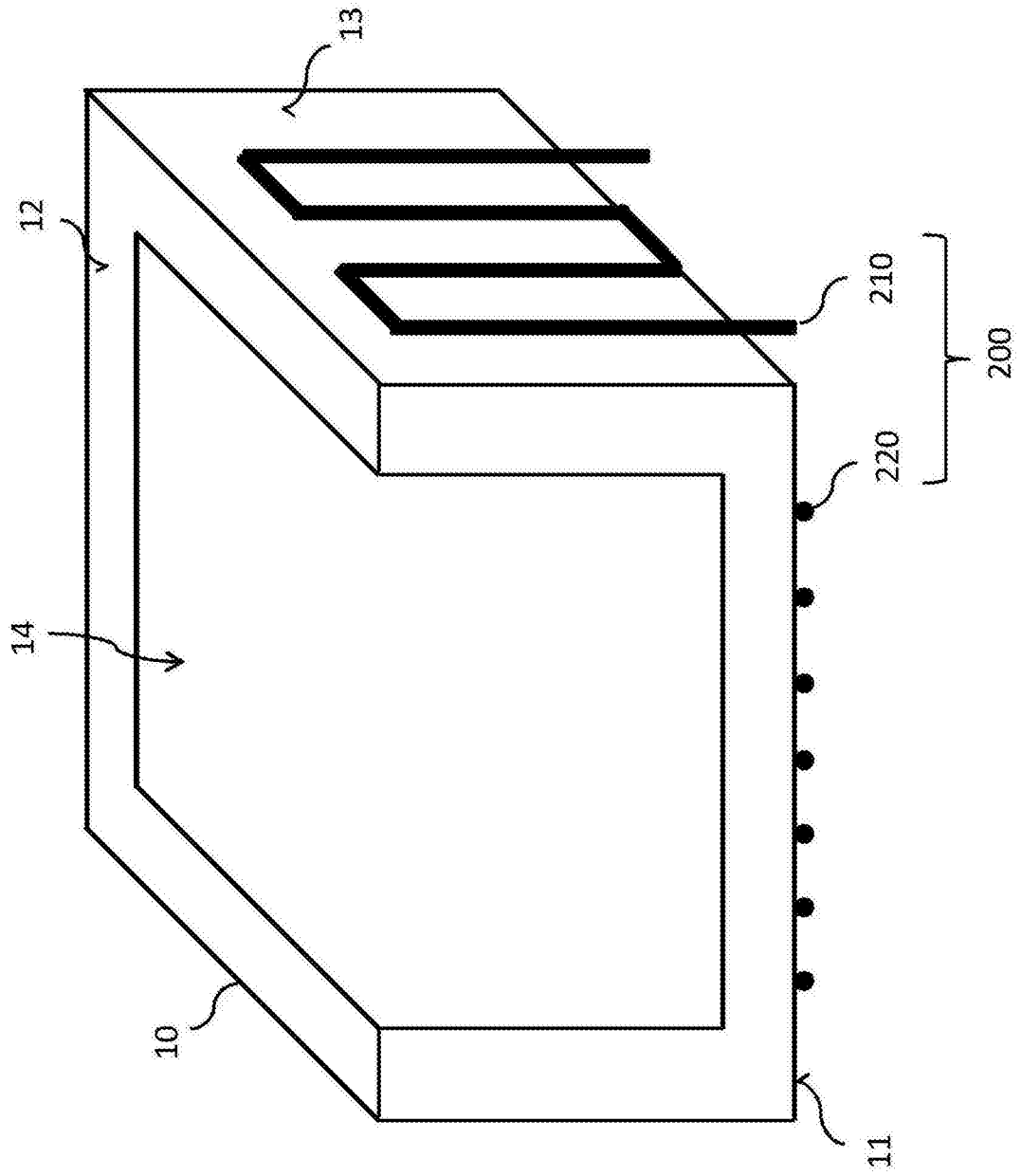


图1

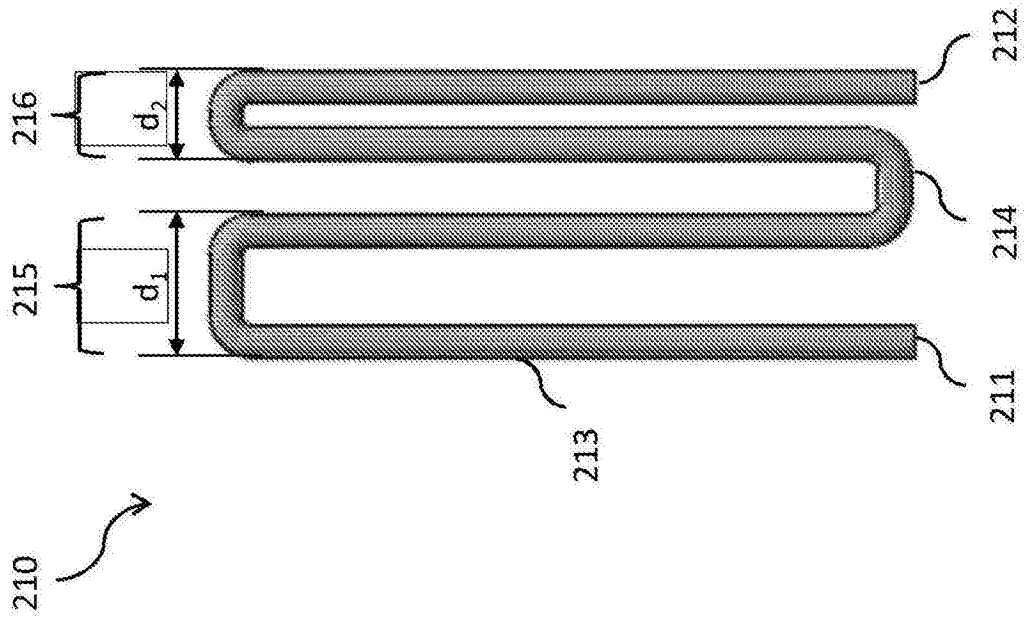


图2A

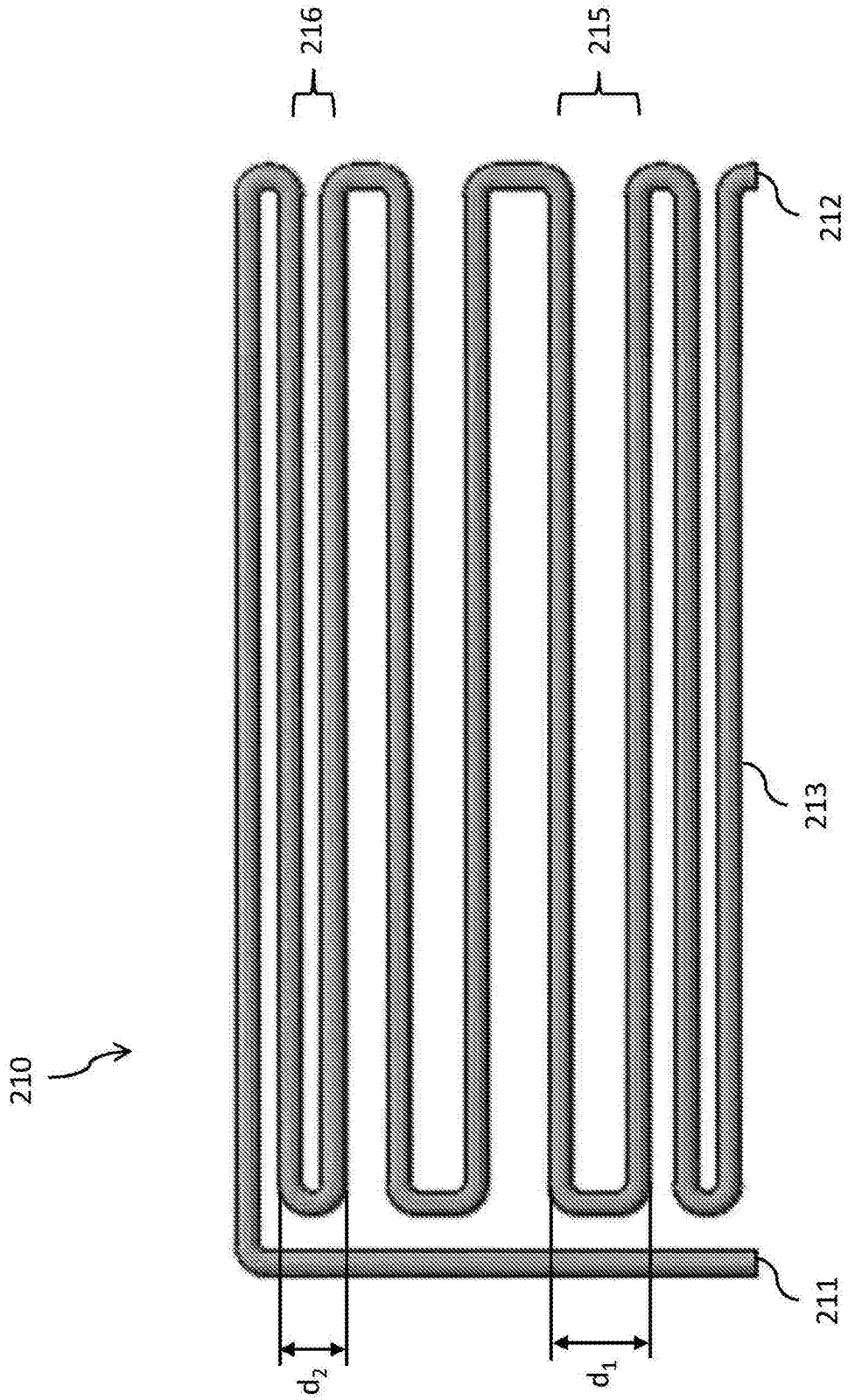


图2B

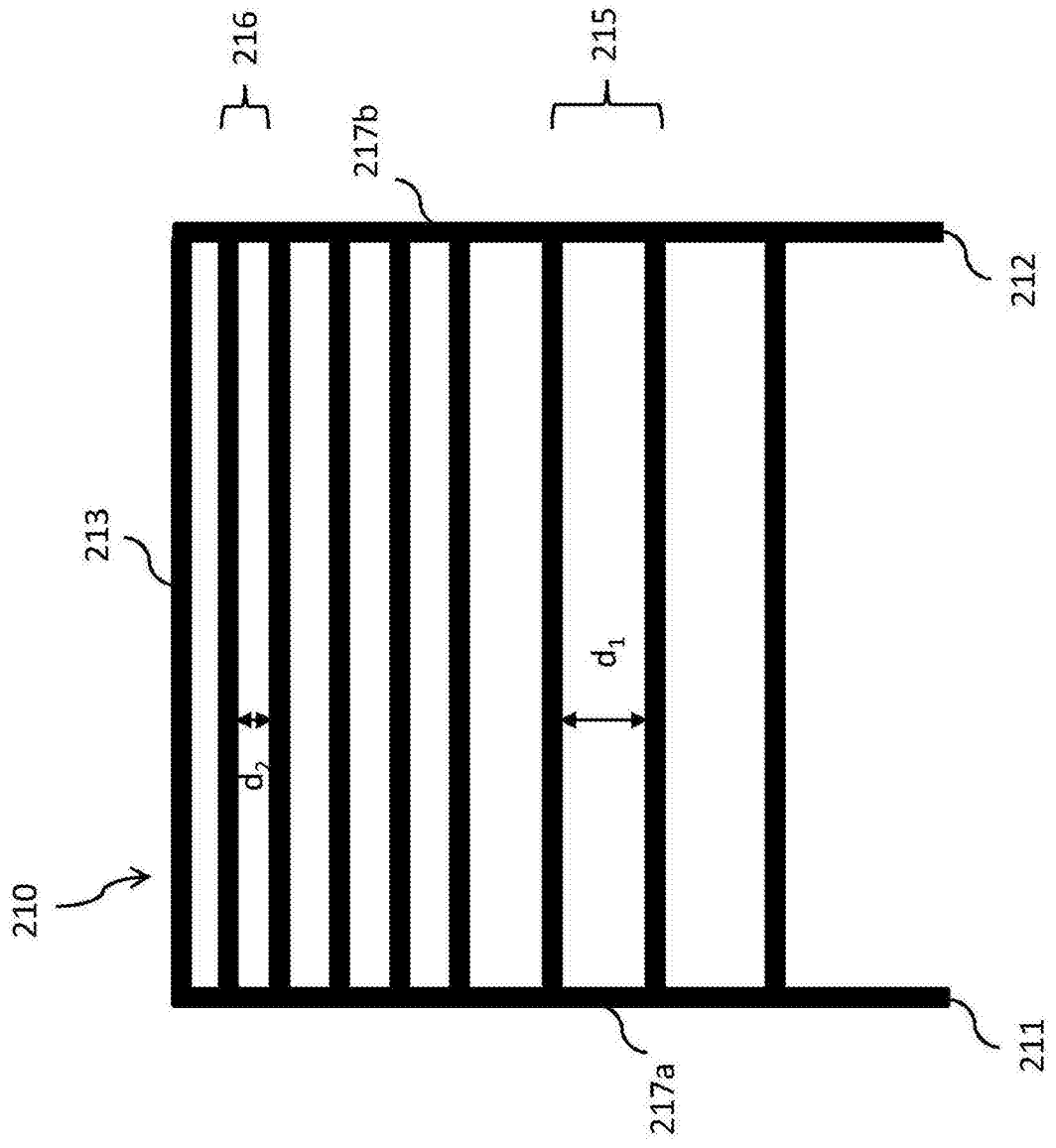


图2C

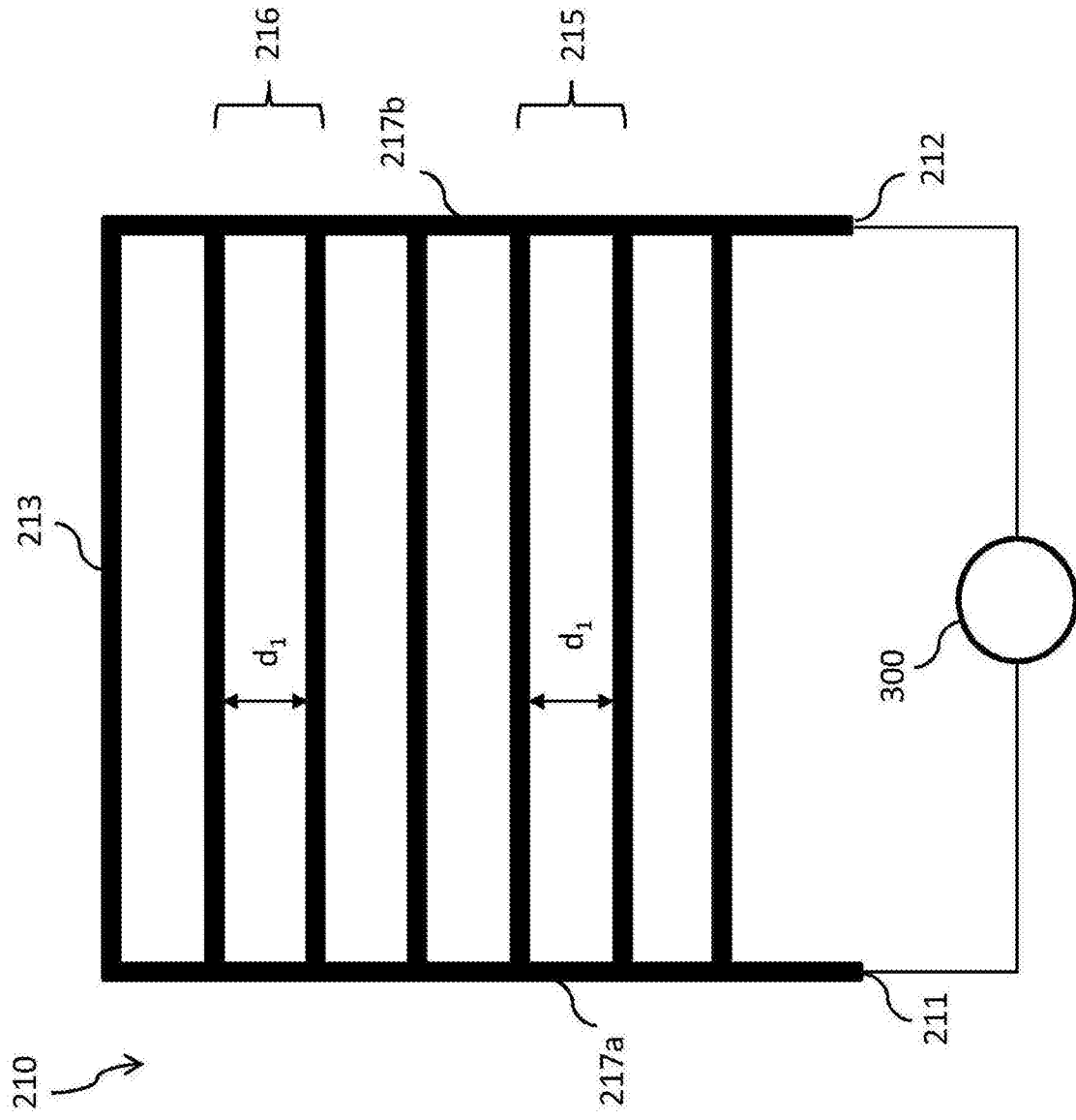


图3A

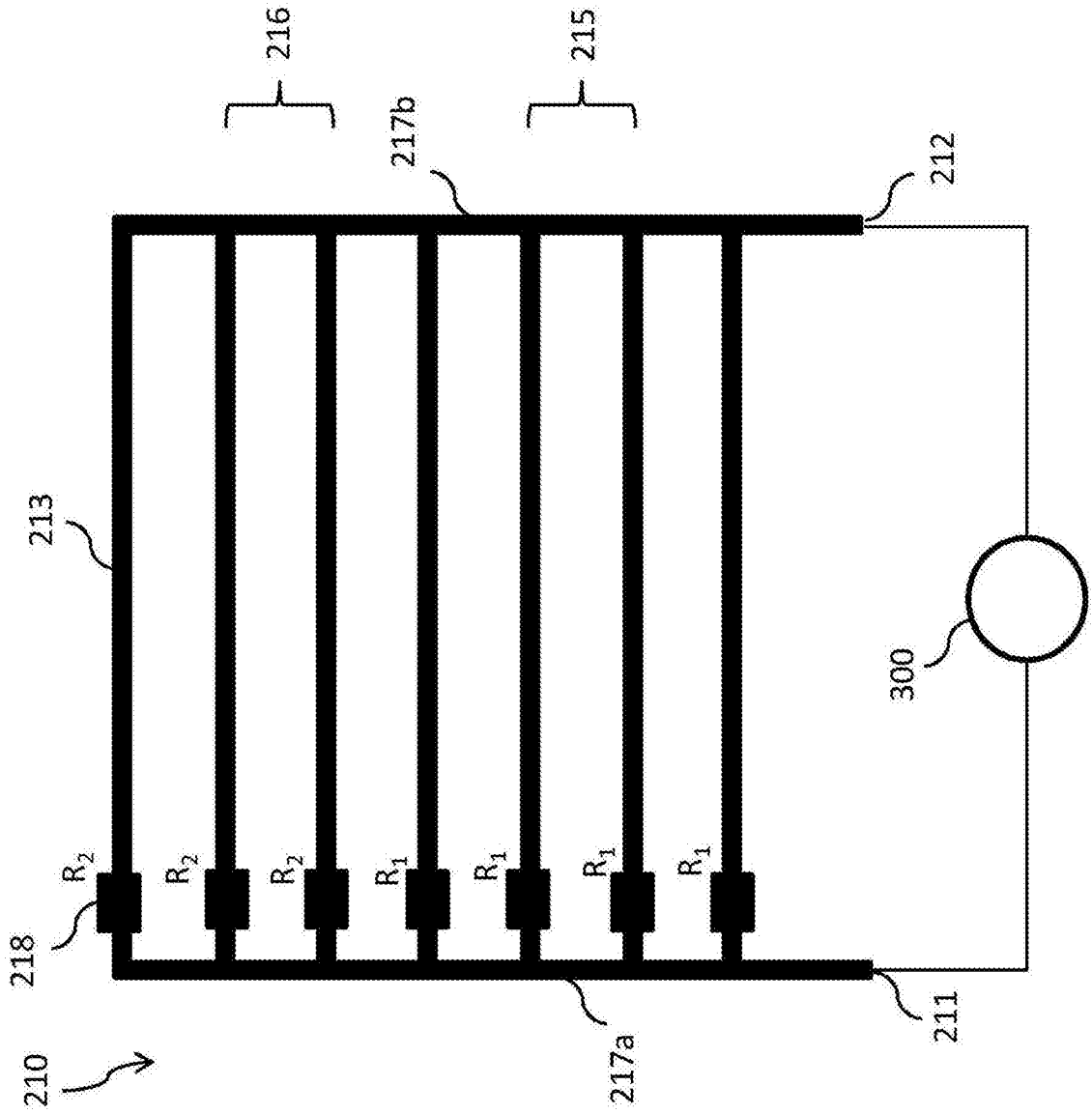


图3B

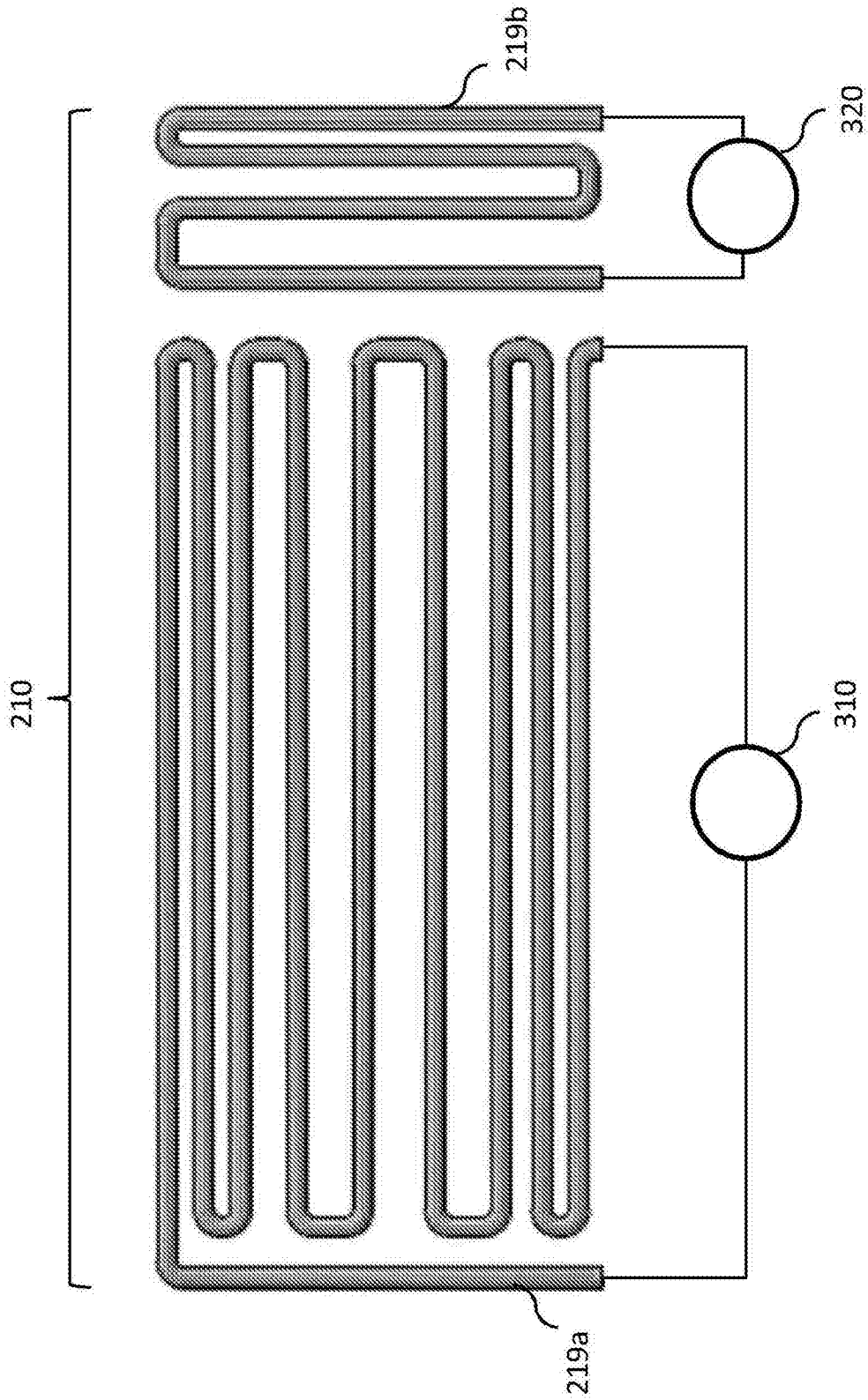


图4

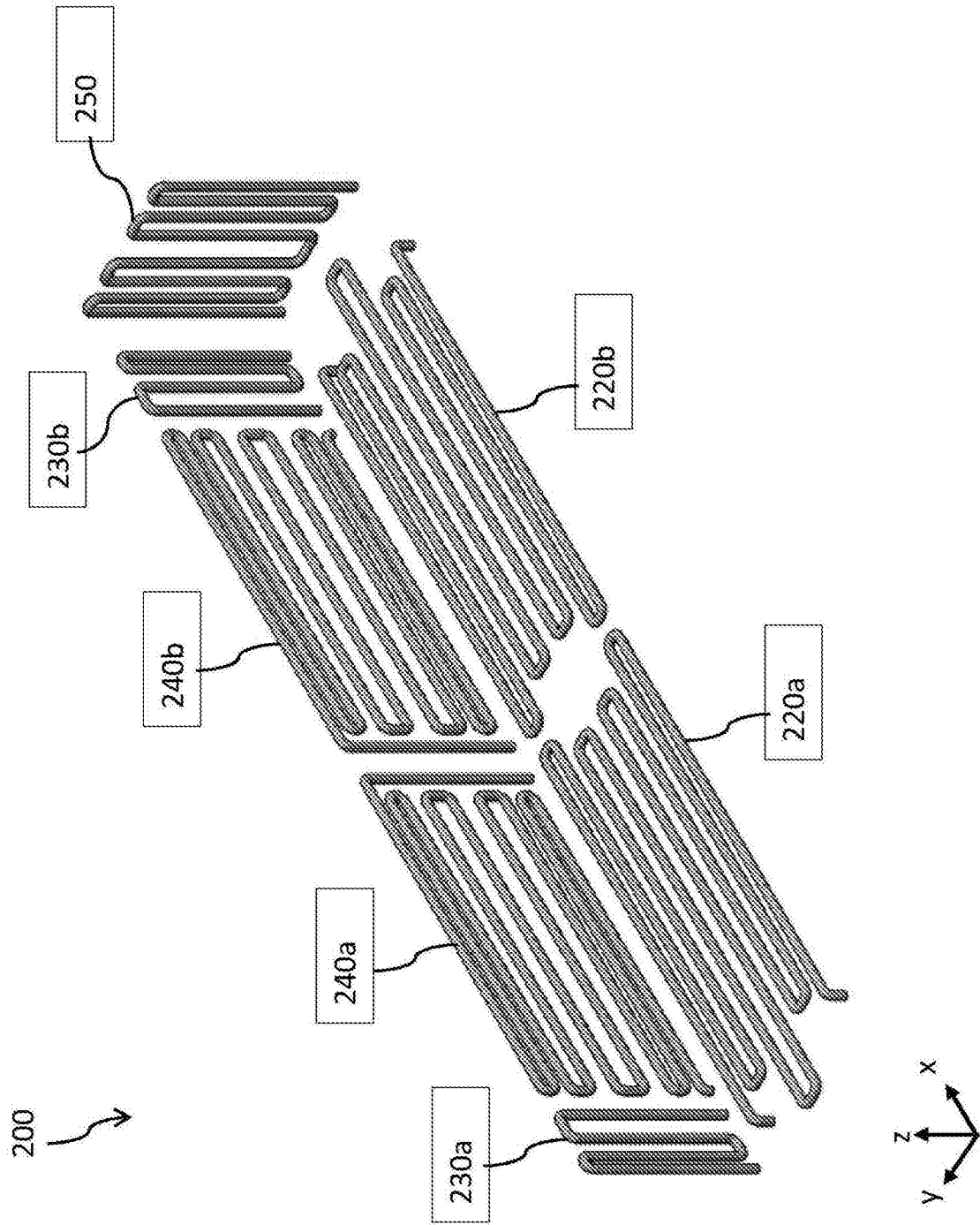


图5

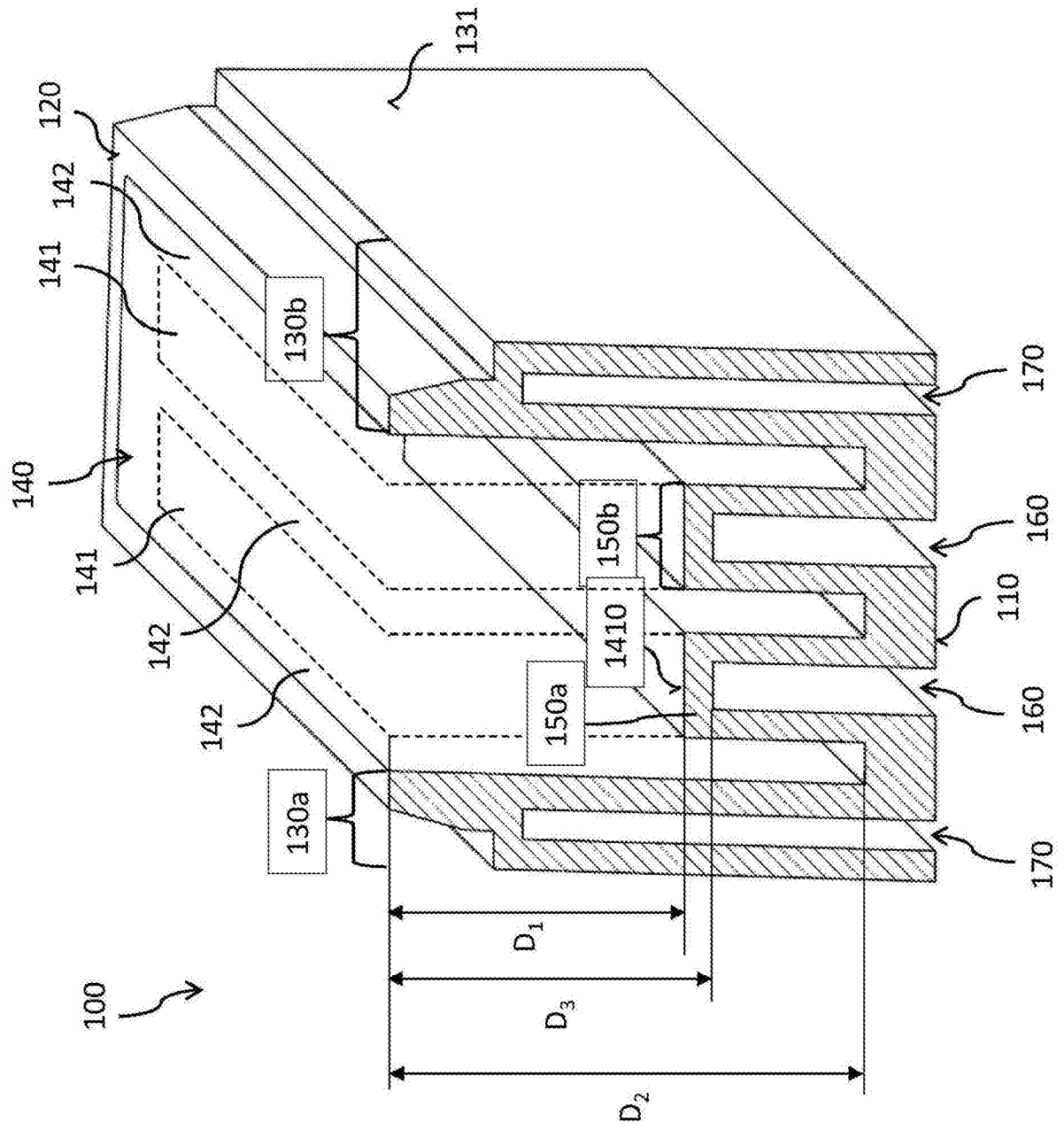


图6

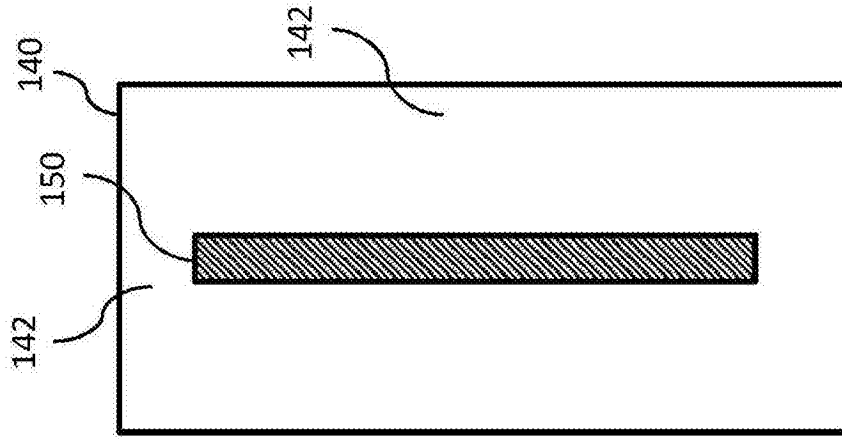


图7A

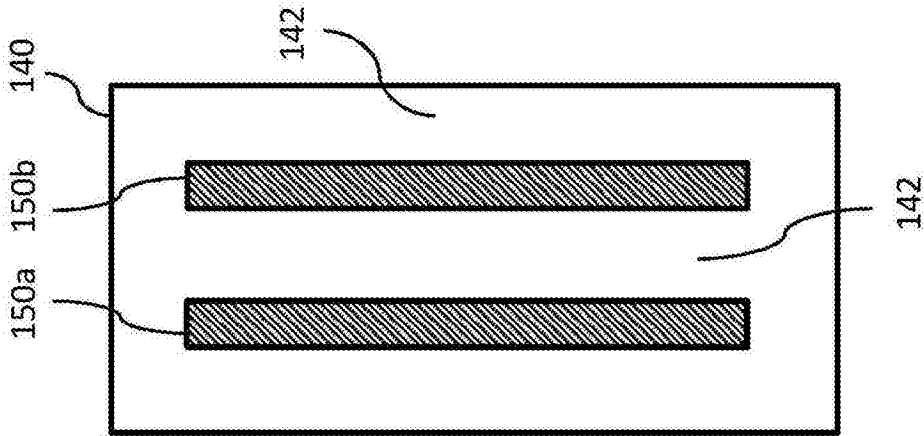


图7B

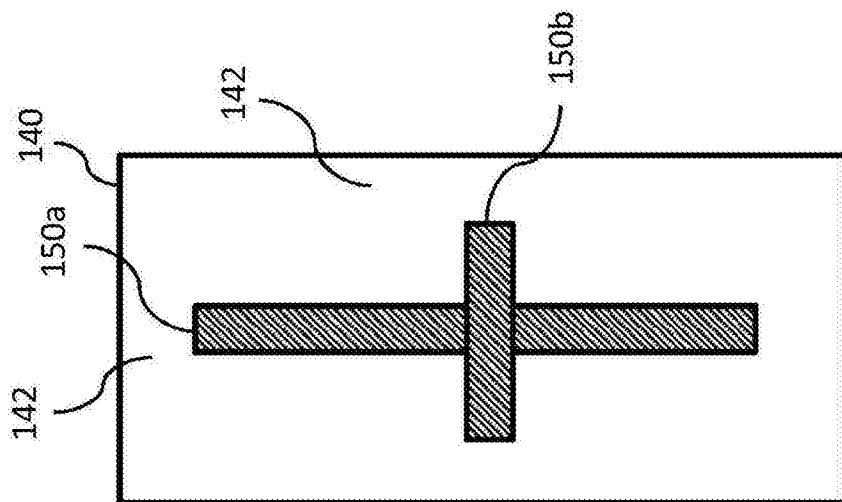


图7C

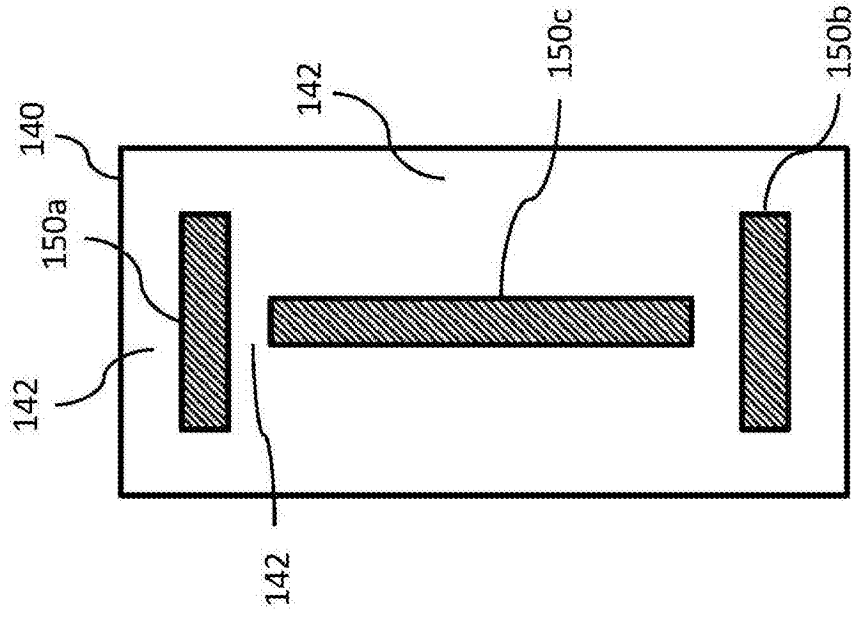


图7D