



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103866374 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 18

(21) 申请号 201310683415. 9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 12. 12

*G25D 17/00* (2006. 01)

(30) 优先权数据

*G25D 7/12* (2006. 01)

61/736, 499 2012. 12. 12 US

*G25D 21/12* (2006. 01)

13/893, 242 2013. 05. 13 US

(71) 申请人 诺发系统公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 史蒂文·T·迈耶

布莱恩·L·巴卡柳 傅海英

托马斯·波努司瓦米

希尔顿·迪艾斯·卡米罗

罗伯特·拉什 大卫·W·波特

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 李献忠

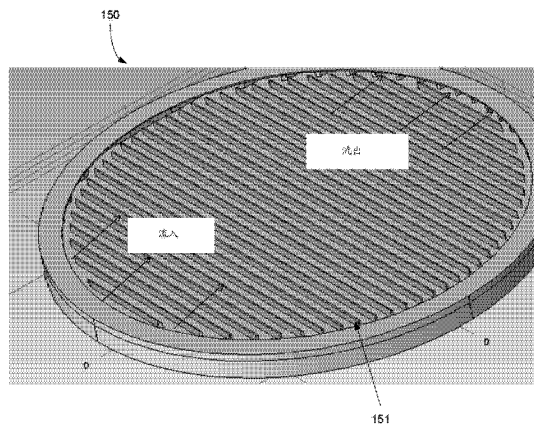
权利要求书4页 说明书25页 附图23页

(54) 发明名称

电镀过程中用于高效传质的电解液流体动力的增强装置

(57) 摘要

本发明涉及电镀过程中用于高效传质的电解液流体动力的增强装置,本发明的实施方式涉及用于将一或多种材料电镀到衬底上的方法和装置。在许多情况下,所述材料是金属而所述衬底是半导体晶片,但这些实施方式并不受此限制。通常,本文的实施方式使用靠近衬底的带槽的板构造横流歧管,该横流歧管由所述带槽的板的底部、衬底的顶部以及横流约束环的侧面来限定。在镀覆过程中,流体向上穿过所述带槽的板中的通道以及侧向穿过设置在所述横流约束环的一面上的横流侧入口而进入横流歧管。流路径在横流歧管中合并并在横流出口退出,横流出口设置在横流入口的对面。这些合并的流路径导致镀覆均匀性提高。



1. 一种电镀装置,其包括:
  - (a) 电镀室,其被配置为含有电解液和阳极,同时将金属电镀到实质上平坦的衬底上;
  - (b) 衬底架,其被配置来保持所述实质上平坦的衬底使得所述衬底的镀覆面在电镀过程中与所述阳极隔开;
  - (c) 离子阻性元件,其包括:
    - (i) 多个通道,其延伸穿过所述离子阻性元件且适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移;
    - (ii) 面朝衬底的面,其实质上与所述衬底的所述镀覆面平行且通过间隙与所述衬底的所述镀覆面隔开;以及
    - (iii) 多个突出部,其设置在所述离子阻性元件的所述面朝衬底的面;
  - (d) 所述间隙的入口,其用于将横流电解液引入所述间隙;以及
  - (e) 所述间隙的出口,其用于接收在所述间隙中流动的横流电解液,其中在电镀过程中,所述入口和出口被设置在所述衬底的所述镀覆面上的接近方位角相对的周界位置。
2. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间测定的、在所述离子阻性元件的所述面朝衬底的面和所述衬底的所述镀覆面之间的所述间隙小于约 15mm。
3. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中在所述衬底的所述镀覆面和所述突出部的最高高度之间的间隙在约 0.5-4mm 之间。
4. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述突出部具有在约 2-10mm 之间的高度。
5. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述突出部平均地定向为实质上与横流电解液的方向垂直。
6. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中至少一些所述突出部具有至少约 3:1 的长宽比。
7. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中至少两个不同形状和 / 或尺寸的突出部存在于所述离子阻性元件上。
8. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其进一步在至少一些所述突出部上包括一或多个切口部,在电镀过程中,电解液能够流动穿过所述一或多个切口部。
9. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中至少一些所述突出部包括与离子阻性元件平面实质上正交的面。
10. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中至少一些所述突出部包括从离子阻性元件平面偏移非直角角度的面。
11. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其进一步在至少一些所述突出部上包括三角形上部。
12. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述突出部包括至少第一突出部分和第二突出部分,且其中所述第一和第二突出部分从横流电解液的方向偏移实质上相似只是方向相反的角度。
13. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述离子阻性元件被配置来在电镀过程中使电场成形且控制靠近所述衬底的电解液流的特征。
14. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其进一步包括设置在所述离子阻性元件的下表面

下面的下歧管区域,其中所述下表面背对所述衬底架。

15. 如权利要求 14 所述的电镀装置,其进一步包括中央电解液室以及一或多个进给通道,配置来将电解液从所述中央电解液室传送至所述入口以及至所述下歧管区域二者。

16. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其进一步包括流体连接到所述入口的横流注入歧管。

17. 如权利要求 10 所述的电镀装置,其中所述横流注入歧管至少部分地由所述离子阻性元件中的腔限定。

18. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其进一步包括设置在所述离子阻性元件的周缘部分上的流约束环。

19. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其进一步包括用于在镀覆过程中旋转所述衬底架的机构。

20. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述入口跨越邻近所述衬底的所述镀覆面的周缘的在约 90-180° 之间的弧。

21. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其进一步包括所述入口中的多个方位不同的部分、配置来将电解液传送给所述多个方位不同的入口部分的多个电解液进给口、以及配置来在电镀过程中独立地控制所述多个电解液进给口中的电解液的多个体积流率的一或多个流控制元件。

22. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述突出部与所述衬底的所述镀覆面实质上同延伸。

23. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述入口和出口适于在所述间隙中产生横流电解液以在电镀过程中在所述衬底的所述镀覆面上产生或维持剪切力。

24. 如权利要求 1 所述的电镀装置,其中所述突出部定向在多个平行的列中,其中所述列包括由非突出部间隙分隔的两或更多个不连续突出部,且其中在横流电解液的方向上,相邻列中的所述非突出部间隙实质上不互相对齐。

25. 一种电镀装置,其包括

(a) 电镀室,其被配置为含有电解液和阳极,同时将金属电镀到实质上平坦的衬底上;

(b) 衬底架,其被配置来保持所述实质上平坦的衬底使得所述衬底的镀覆面在电镀过程中与所述阳极隔开;

(c) 离子阻性元件,其包括:

(i) 多个通道,其延伸穿过所述离子阻性元件且适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移;

(ii) 面朝衬底的面,其实质上与所述衬底的所述镀覆面平行且通过间隙与所述衬底的所述镀覆面隔开;以及

(iii) 台阶,其设置在所述离子阻性元件的所述面朝衬底的面,其中所述台阶具有高度和直径,其中所述台阶的所述直径实质上与所述晶片的所述镀覆面是同延伸的,且其中所述台阶的所述高度和直径足够小以允许电解液在镀覆过程中在所述衬底架下面、所述台阶上面流动并流到所述间隙中;

(d) 所述间隙的入口,其用于将电解液引入所述间隙;以及

(e) 所述间隙的出口,其用于接收在所述间隙中流动的电解液,

其中在电镀过程中,所述入口和出口适于在所述间隙中产生横流电解液以在所述衬底的所述镀覆面上产生或维持剪切力。

26. 一种用在电镀装置中以将材料镀覆在标准直径的半导体晶片上的带槽的离子阻性板,其包括:

与所述半导体晶片的镀覆面近似同延伸的板,其中所述板具有介于约 2-25mm 之间的厚度;

延伸穿过所述板的厚度的至少约 1000 个非连通的通孔,其中所述通孔适于在电镀过程中提供穿过所述板的离子迁移;以及

设置在所述板的一面上的多个突出部。

27. 一种用在电镀装置中以将材料镀覆在标准直径的半导体晶片上的带槽的离子阻性板,其包括:

与所述半导体晶片的镀覆面近似同延伸的板,其中所述板具有介于约 2-25mm 之间的厚度;

延伸穿过所述板的厚度的至少约 1000 个非连通的通孔,其中所述通孔适于在电镀过程中提供穿过所述板的离子迁移;以及

在所述板的中心区域中的台阶,其包括所述板的凸起部分;

所述板的非凸部分,其设置在所述板的周缘上。

28. 一种用于电镀衬底的方法,其包括:

(a) 将实质上平坦的衬底接收在衬底架上,其中所述衬底的镀覆面是暴露的,且其中所述衬底架被配置来保持所述衬底使得所述衬底的所述镀覆面在电镀过程中与阳极隔开;

(b) 将所述衬底浸在电解液中,其中在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间形成间隙,

其中所述离子阻性元件与所述衬底的所述镀覆面至少大约同延伸,

其中所述离子阻性元件适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移,以及

其中所述离子阻性元件在所述离子阻性元件的面朝衬底的面上包括多个突出部,所述突出部与所述衬底的所述镀覆面实质上同延;

(c) 在与所述衬底架中的所述衬底接触的情况下使电解液按以下方式流动,(i) 从侧入口流到所述间隙中,并流出侧出口,以及(ii) 从所述离子阻性元件下面流过所述离子阻性元件,流到所述间隙中,并流出所述侧出口,其中所述入口和出口被设计或配置来在电镀过程中在所述间隙中产生横流电解液;

(d) 旋转所述衬底架;以及

(e) 在使电解液如(c)中所述地流动时将材料电镀到所述衬底的所述镀覆面上。

29. 如权利要求 28 所述的方法,其中在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间测得的所述间隙是约 15mm 或更小。

30. 如权利要求 28 所述的方法,其中在所述衬底的所述镀覆面和所述突出部的最高表面之间的间隙在约 0.5-4mm 之间。

31. 如权利要求 28 所述的方法,其中所述侧入口被分隔成两或更多个方位不同且流体分离的部分,且其中电解液至所述入口的方位不同的部分的流被独立控制。



32. 如权利要求 28 所述的方法,其中在所述间隙中设置流导向元件,且其中所述流导向元件导致电解液以实质上线性的流路径从所述侧入口流到所述侧出口。

33. 一种用于电镀衬底的方法,其包括:

(a) 将实质上平坦的衬底接收在衬底架上,其中所述衬底的镀覆面是暴露的,且其中所述衬底架被配置来保持所述衬底使得所述衬底的所述镀覆面在电镀过程中与阳极隔开;

(b) 将所述衬底浸在电解液中,其中在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间形成间隙,

其中所述离子阻性元件与所述衬底的所述镀覆面至少大约同延,

其中所述离子阻性元件适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移,以及

其中所述离子阻性元件在所述离子阻性元件的面朝衬底的面上包括台阶,所述台阶设置在所述离子阻性元件的中央区域中且被所述离子阻性元件的非凸部分围绕;

(c) 在与所述衬底架中的所述衬底接触的情况下使电解液按下述方式流动,(i) 从侧入口流过所述台阶,流到所述间隙中,再次流过所述台阶,并流出侧出口,以及(ii) 从所述离子阻性元件下面流过所述离子阻性元件,流到所述间隙中,流过所述台阶,并流出所述侧出口,其中所述入口和出口被设计或配置来在电镀过程中在所述间隙中产生横流电解液;

(d) 旋转所述衬底架;以及

(e) 在使电解液如(c)中所述地流动时将材料电镀到所述衬底的所述镀覆面上。

## 电镀过程中用于高效传质的电解液流体动力的增强装置

### 相关申请交叉参考

[0001] 本申请要求 2012 年 12 月 12 日提交的、名称为“ENHANCEMENT OF ELECTROLYTE HYDRODYNAMICS FOR EFFICIENT MASS TRANSFER DURING ELECTROPLATING”的美国临时申请 No. 61/736, 499[代理机构案卷号 LAMRP015P] 的优先权的权益, 通过参考出于全部目的将该临时申请全文并入此处。此外, 本申请是 2013 年 5 月 13 日提交的、名称为“CROSS FLOW MANIFOLD FOR ELECTROPLATING APPARATUS”的美国专利申请 No. 13/893, 242[代理机构案卷号 NOVLP367X1] 的后续部分, 美国专利申请 No. 13/893, 242 是 2011 年 6 月 29 日提交的、名称为“CONTROL OF ELECTROLYTE HYDRODYNAMICS FOR EFFICIENT MASS TRANSFER DURING ELECTROPLATING”的美国专利申请 No. 13/172, 642[代理机构案卷号 NOVLP367] 的后续部分, 美国专利申请 No. 13/172, 642 要求了 2010 年 10 月 21 日提交的、名称为“FLOW DIVERTERS AND FLOW SHAPING PLATES FOR ELECTROPLATING CELLS”的美国临时申请 No. 61/405, 608[代理机构案卷号 NOVLP396P], 2010 年 8 月 18 日提交的、名称为“HIGH FLOW RATE PROCESSING FOR WAFER LEVEL PACKAGING”的美国临时申请 No. 61/374, 911[代理机构案卷号 NOVLP367P], 以及 2010 年 7 月 2 日提交的、名称为“ANGLED HRVA”的美国临时申请 No. 61/361, 333[代理机构案卷号 NOVLP366P] 的优先权的权益, 这些申请或临时申请中的每一个出于全部目的通过参考全文并入此处。另外, 美国专利申请 No. 13/893, 242 要求了 2012 年 5 月 14 日提交的、名称为“CROSS FLOW MANIFOLD FOR ELECTROPLATING APPARATUS”的美国临时申请 No. 61/646, 598[代理机构案卷号 NOVLP367X1P] 的优先权的权益, 该临时申请出于全部目的全文并入此处。

### 技术领域

[0002] 所公开的实施方式涉及用于在电镀过程中控制电解液流体动力(electrolyte hydrodynamics)的方法和装置。更具体地, 本文所描述的方法和装置对于将金属镀覆到半导体晶片衬底(尤其是具有多个凹陷特征的衬底)上特别有用。示例性的工艺和特征可包括具有小于例如约 50  $\mu\text{m}$  的宽度的小型微凸特征(例如, 铜、镍、锡和锡合金焊点)和铜的硅通孔(TSV)特征的穿抗蚀剂镀覆。

### 背景技术

[0003] 在现代集成电路制造中很好地建立了电化学沉积工艺。在 21 世纪早期, 从铝金属线连接到铜金属线连接的转变带动了对越来越精细的电沉积工艺和镀覆工具的需求。许多精细性工艺响应于对器件金属化层中的越来越小的载流线的需求而逐步形成。这些铜线按照通常称为“镶嵌(damascene)”处理(预钝化金属化)的方法通过将金属电镀到非常薄的、高深宽比的沟槽和通孔中而形成。

[0004] 电化学沉积现在正准备满足对一般通俗称为晶片级封装(WLP)和硅通孔(TSV)电气连接技术的精细的封装和多芯片互连技术的商业需求。这些技术给它们自己提出了非常大的挑战, 这部分是由于通常较大的特征尺寸(相较于前段制程(FEOL)互连)以及高深宽

比。

[0005] 根据封装特征的类型和应用(例如通过芯片连接 TSV、互连再分配布线、或者芯片到板或芯片键合,比如倒装芯片支柱),镀覆特征在当前技术中通常大于约 2 微米且它们的主要尺寸典型地为约 5-100 微米(例如,铜柱可以是约 50 微米)。就一些片上结构(比如电源总线)而言,要镀的特征可以大于 100 微米。WLP 特征的深宽比通常为约 1:1 (高比宽)或者更低,但它们的范围可高达约 2:1 左右,同时 TSV 结构可具有非常高的深宽比(例如,在大约 20:1 附近)。

[0006] 随着 WLP 结构的尺寸从 100-200  $\mu\text{m}$  收缩至小于 50  $\mu\text{m}$  (例如 20  $\mu\text{m}$ ) 出现了一系列独特的问题,因为在这个大小,特征的尺寸和典型的传质边界层厚度(发生对流传输到平面的距离)几乎等同。对于具有较大特征的前代而言,流体和质量(mass)至特征中的对流传输由流场至所述特征中的一般渗透承担,但对于较小的特征来说,流涡和停滞的形成可抑制不断增长的特征内的传质的速率和均匀性二者。因此,需要在较小的“微凸”和 TSV 特征内创建强壮、均匀的传质的新方法。

[0007] 不仅特征尺寸,而且镀覆速度使 WLP 和 TSV 应用区别于镶嵌应用。就许多 WLP 应用而言,根据镀覆的金属(例如,铜、镍、金、银的焊料,等等),一方面,在制造和成本的要求之间要有平衡,另一方面,在技术需要和技术难度之间要有平衡(例如,类似于在裸片内和在特征目标内的伴随晶片的图案变化和晶片上的要求的资本生产率的目标)。对铜而言,这种平衡通常在至少约 2 微米/分钟(典型地至少约 3-4 微米/分钟或更快)的速率下达到。就锡和锡合金镀覆而言,大于约 3 微米/分钟(对于一些应用而言至少约 7 微米/分钟)的镀覆速率可被需要。就镍和触击电镀金(例如低浓度金闪光膜层)而言,镀覆速率可在约 0.1 至 1.5 微米/分钟之间。在这些金属的相对较高的镀覆速率状态下,金属离子在电解液中高效地传质到镀覆表面是重要的。

[0008] 在某些实施方式中,镀覆必须以高度均匀的方式在晶片的整个表面上进行以在晶片内(WIW 均匀性)、在具体裸片的所有特征内以及在所有这些特征之间(WID 均匀性)、还有在独立特征本身内(WIF 均匀性)达到良好的镀覆均匀性。WLP 和 TSV 应用的高镀覆速率对电镀层的均匀性提出了挑战。对各种 WLP 应用而言,镀覆径向地沿着晶片表面必须表现出至多约 5% 的半程变化(被称为 WIW 非均匀性,在裸片中在跨越晶片直径的多个位置处在单个特征类型上测得)。类似的同样具有挑战性的要求是不同尺寸(例如,特征的直径)或不同特征密度(例如,在芯片裸片阵列中间的孤立特征或嵌入特征)的各种特征的均匀沉积(厚度和形状)。这种性能规格通常被称为 WID 非均匀性。WID 非均匀性作为上述各种特征类型的局部变化(例如, <5% 的半程)对比平均特征高度或给定晶片裸片内在晶片上的特定裸片位置(例如,在中间半径、中心或边缘)处的其它尺寸而进行测量。

[0009] 另一具有挑战性的要求是特征内形状的一般控制。没有适当的流动和传质对流控制,在镀覆之后,线或柱可能在二维或三维上以凸面、平面或凹面(例如,鞍状或半球形)形式存在倾斜而结束,而通常具有平面轮廓,但不总是平面轮廓,是优选平面轮廓。在满足这些挑战的同时,WLP 应用必须与传统的、潜在较便宜的取和放串行路由操作竞争。更进一步,用于 WLP 应用的电化学沉积可涉及镀覆各种非铜金属,比如像铅、锡、锡-银之类的焊料、以及其它凸起下方金属化(UBM)材料,比如镍、钴、金、钯、以及这些物质的各种合金,其中一些包括铜。锡-银近共晶合金的镀覆是作为代替铅-锡共晶焊料的无铅焊料进行镀覆的合金

的镀覆技术的一个例子。

### 发明内容

[0010] 本文的实施方式涉及用于将金属电镀到衬底上的方法和装置。总体上,所公开的技术涉及改进的带槽的离子阻性元件的使用,所述离子阻性元件具有适于提供穿过板的离子迁移的多个孔以及一系列突出部或者台阶以提高镀覆均匀性。在这些实施方式的一个方面,提供了一种电镀装置,该电镀装置包括:(a) 电镀室,其被配置为含有电解液和阳极,同时将金属电镀到实质上平坦的衬底上;(b) 衬底架,其被配置来在电镀过程中保持所述实质上平坦的衬底使得所述衬底的镀覆面在电镀过程中与所述阳极隔开;(c) 离子阻性元件,其包括:(i) 多个通道,其延伸穿过所述离子阻性元件且适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移;(ii) 面朝衬底的面,其实质上与所述衬底的所述镀覆面平行且通过间隙与所述衬底的所述镀覆面隔开;以及(iii) 多个突出部,其设置在所述离子阻性元件的所述面朝衬底的面;(d) 所述间隙的入口,其用于将横流电解液引入所述间隙;以及(e) 所述间隙的出口,其用于接收在所述间隙中流动的横流电解液,其中在电镀过程中,所述入口和出口被设置在所述衬底的所述镀覆面上的接近方位相对的周界位置。

[0011] 在一些实施方式中,在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间测定的、在所述离子阻性元件的所述面朝衬底的面和所述衬底的所述镀覆面之间的所述间隙小于约 15mm。在某些情况下,在所述衬底的所述镀覆面和所述突出部的最高高度之间的间隙可以在约 0.5-4mm 之间。在某些情况下,所述突出部可具有在约 2-10mm 之间的高度。在各种实施方式中,所述突出部平均地定向为实质上与横流电解液的方向垂直。一个或多个或全部的所述突出部可具有至少约 3:1 的长宽比。在各种实施方式中,所述突出部与所述衬底的所述镀覆面是实质上同延伸的。

[0012] 可以使用许多不同的突出部形状。在一些实施方式中,至少两个不同形状和/或尺寸的突出部存在于所述离子阻性元件上。一或多个突出部可包括切口部,在电镀过程中,电解液可流动穿过所述切口部。所述突出部可以大体是矩形、或者三角形、或者圆柱形、或者这些形状的组合。所述突出部还可以具有更复杂的形状,例如大体矩形的突出部沿着所述突出部的顶部和底部具有不同形状的切口。在一些情况下,所述突出部具有三角形上部。一个示例是具有三角形尖端的矩形突出部。另一个示例是具有整体三角形形状的突出部。

[0013] 所述突出部可从所述带槽的离子阻性板以法向角、或者以非法向角(non-normal angle)、或者以这些角的组合向上延伸。换句话说,在一些实施方式中,所述突出部包括与离子阻性元件平面实质上正交(normal)的面。替代地或另外地,所述突出部可包括从离子阻性元件平面偏移非直角角度的面。在一些实施方式中,所述突出部由一个以上的部分构成。例如,所述突出部可包括第一突出部部分和第二突出部部分,其中所述第一和第二突出部部分从横流电解液的方向偏移实质上相似只是方向相反的角度。

[0014] 所述离子阻性元件可被配置来在电镀过程中使电场成形且控制靠近所述衬底的电解液流的特征。在各种实施方式中,可在所述离子阻性元件的下表面下方设置下歧管区域,其中所述下表面背对所述衬底架。中央电解液室以及一或多个进给通道可被配置来将电解液从所述中央电解液室传送至所述入口以及至所述下歧管区域二者。以这种方式,电解液可被直接传送到所述入口以在所述带槽的离子阻性元件上方引发横流,并且电解液可

被同时传送到所述下歧管区域,其中电解液会经过所述带槽的离子阻性元件中的通道从而进入所述衬底和所述带槽的离子阻性元件之间的间隙。横流注入歧管可被流体连接到所述入口。所述横流注入歧管可以至少部分地由所述离子阻性元件中的腔限定。在某些实施方式中,所述横流注入歧管完全在所述离子阻性元件内。

[0015] 流约束环可被设置在所述离子阻性元件的周缘部分上。所述流约束环可帮助重新引导来自所述横流注入歧管的流,使得它在与所述衬底的表面平行的方向上流动。该装置还可包括用于在镀覆过程中旋转所述衬底架的机构。在一些实施方式中,所述入口跨越邻近所述衬底的所述镀覆面的周缘的介于约 90-180° 之间的弧。所述入口可包括多个方位不同的部分。多个电解液进给入口可被配置来将电解液传送给所述多个方位不同的入口部分。另外,一或多个流控制元件可被配置来在电镀过程中独立地控制所述多个电解液进给入口中的电解液的多个体积流率。在各种实施方式中,所述入口和出口可适于在电镀过程中在所述间隙中产生横流动的电解液以在所述衬底的所述镀覆面上产生或维持剪切力。在某些实施方式中,所述突出部可定向在多个平行的列中。所述列可包括由非突出部间隙分隔的两或更多个不连续突出部,其中在横流动的电解液的方向上,相邻列中的所述非突出部间隙实质上互相不对齐。

[0016] 在所公开的实施方案的另一方面,提供了一种电镀装置,该电镀装置包括:(a) 电镀室,其被配置为含有电解液和阳极,同时将金属电镀到实质上平坦的衬底上;(b) 衬底架,其被配置来保持所述实质上平坦的衬底使得所述衬底的镀覆面在电镀过程中与所述阳极隔开;(c) 离子阻性元件,其包括:(i) 多个通道,其延伸穿过所述离子阻性元件且适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移;(ii) 面朝衬底的面,其实质上与所述衬底的所述镀覆面平行且通过间隙与所述衬底的所述镀覆面隔开;以及(iii) 台阶,其设置在所述离子阻性元件的所述面朝衬底的面,其中所述台阶具有高度和直径,其中所述台阶的所述直径实质上与所述晶片的所述镀覆面是同延伸的,且其中所述台阶的所述高度和直径足够小以允许电解液在镀覆过程中在所述衬底架下方、所述台阶上方流动并流到所述间隙中;(d) 所述间隙的入口,其用于将电解液引入所述间隙;以及(e) 所述间隙的出口,其用于接收在所述间隙中流动的电解液,其中在电镀过程中,所述入口和出口适于在电镀过程中在所述间隙中产生横流电解液以在所述衬底的所述镀覆面上产生或维持剪切力。

[0017] 在所公开的实施方案的又一方面,提供了一种用在以将材料镀覆在标准直径的半导体晶片上的电镀装置中的带槽的离子阻性板,该带槽的离子阻性板包括:与所述半导体晶片的镀覆面近似同延伸的板,其中所述板具有介于约 2-25mm 之间的厚度;延伸穿过所述板的厚度的至少约 1000 个非连通的通孔,其中所述通孔适于在电镀过程中提供穿过所述板的离子迁移;以及设置在所述板的一面上的多个突出部。

[0018] 在所公开的实施方案的另一方面,提供了一种用在以将材料镀覆在标准直径的半导体晶片上的电镀装置中的带槽的离子阻性板,该带槽的离子阻性板包括:与所述半导体晶片的镀覆面近似同延伸的板,其中所述板具有约 2-25mm 之间的厚度;延伸穿过所述板的厚度的至少约 1000 个非连通的通孔,其中所述通孔适于在电镀过程中提供穿过所述板的离子迁移;以及台阶,其包括在所述板的中心区域中的所述板的凸起部分;所述板的非凸部分,其设置在所述板的周缘上。

[0019] 在所公开的实施方案的又一方面,提供了一种用于电镀衬底的方法,该方法包括:

(a) 将实质上平坦的衬底接收在衬底架上,其中所述衬底的镀覆面是暴露的,且其中所述衬底架被配置来保持所述衬底使得所述衬底的所述镀覆面在电镀过程中与阳极隔开;(b) 将所述衬底浸在电解液中,其中在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间形成间隙,其中所述离子阻性元件与所述衬底的所述镀覆面是至少大约同延伸的,其中所述离子阻性元件适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移,以及其中所述离子阻性元件在所述离子阻性元件的面朝衬底的面上包括多个突出部,所述突出部与所述衬底的所述镀覆面是实质上同延伸的;(c) 在与所述衬底架中的所述衬底接触的情况下使电解液按下述方式流动,(i) 从侧入口流到所述间隙中,并流出侧出口,以及(ii) 从所述离子阻性元件下方流过所述离子阻性元件,流到所述间隙中,并流出所述侧出口,其中所述入口和出口被设计或配置成在电镀过程中在所述间隙中产生横流电解液;(d) 旋转所述衬底架;以及(e) 在使电解液如(c)中所述地流动时将材料电镀到所述衬底的所述镀覆面上。

[0020] 在一些实施方式中,在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间测得的所述间隙是约 15mm 或更小。在所述衬底的所述镀覆面和所述突出部的最高表面之间的间隙可以在约 0.5-4mm 之间。在某些实施方式中,所述侧入口可被分隔成两或更多个方位不同且流体分离的部分,且电解液至所述入口的方位不同的部分中的流可被独立控制。在某些情况下,可在所述间隙中设置流导向元件。所述流导向元件可导致电解液以实质上线性的流路径从所述侧入口流到所述侧出口。

[0021] 在所公开的实施方式的另一方面,提供了一种用于电镀衬底的方法,该方法包括:(a) 将实质上平坦的衬底接收在衬底架上,其中所述衬底的镀覆面是暴露的,且其中所述衬底架被配置来保持所述衬底使得所述衬底的所述镀覆面在电镀过程中与所述阳极隔开;(b) 将所述衬底浸在电解液中,其中在所述衬底的所述镀覆面和离子阻性元件平面之间形成间隙,其中所述离子阻性元件与所述衬底的所述镀覆面是至少大约同延伸的,其中所述离子阻性元件适于在电镀过程中提供穿过所述离子阻性元件的离子迁移,以及其中所述离子阻性元件在所述离子阻性元件的面朝衬底的面上包括台阶,所述台阶设置在所述离子阻性元件的中央区域中且被所述离子阻性元件的非凸部分围绕;(c) 在与所述衬底架中的所述衬底接触的情况下使电解液按下述方式流动,(i) 从侧入口流过所述台阶,流到所述间隙中,再次流过所述台阶,并流出侧出口,以及(ii) 从所述离子阻性元件下方流过所述离子阻性元件,流到所述间隙中,流过所述台阶,并流出所述侧出口,其中所述入口和出口被设计或配置成在电镀过程中在所述间隙中产生交横流电解液;(d) 旋转所述衬底架;以及(e) 在使电解液如(c)中所述地流动时将材料电镀到所述衬底的所述镀覆面上。

[0022] 下面将参考相关附图描述这些特征以及其它特征。

## 附图说明

[0023] 图 1A 示出了根据本发明的某些实施方式的其上具有突出部的集合的带槽的离子阻性板等距视图。

[0024] 图 1B 示出了用于电化学处理半导体晶片的衬底保持和定位装置的透视图。

[0025] 图 1C 示出了其包括锥体和杯体的衬底保持组件的一部分的横截面图。

[0026] 图 1D 示出了可用于实施本发明的实施方式的电镀槽的简化视图。

[0027] 图 2 示出了根据本发明公开的某些实施方式的典型地存在于阴极室中的电镀装

置的各种部件的分解图。

[0028] 图 3A 示出了根据本发明的某些实施方式的横流侧入口和周边硬件的特写视图。

[0029] 图 3B 示出了根据各种公开的实施方式的横流出口、CIRP 歧管入口和周边硬件的特写视图。

[0030] 图 4 示出了在图 3A-B 中所示的电镀装置的各个部分的横截面图。

[0031] 图 5 示出了根据某些实施方式的分割成 6 个单独的段的横流注入歧管和喷头。

[0032] 图 6 示出了根据本发明的一个实施方式的 CIRP 和相关联的硬件的、特别是聚焦于横流的入口侧的顶视图。

[0033] 图 7 示出了根据各种公开的实施方式示出了横流歧管的入口和出口两侧的 CIRP 和相关的硬件的简化俯视图。

[0034] 8A-B 描绘了根据某些实施方式的横流入口区的设计。

[0035] 图 9 显示了描绘某些相关的几何结构的横流入口区域。

[0036] 图 10A 示出了使用了具有台阶的带槽的离子阻性板的横流入口区域。

[0037] 图 10B 示出了具有台阶的带槽的离子阻性板的一个实施例。

[0038] 图 11 示出了使用了具有一系列突出部的带槽的离子阻性板的横流入口区域。

[0039] 图 12 示出了具有突出部的带槽的离子阻性板的特写视图。

[0040] 图 13 和 14 表示根据某些实施方式的突出部的不同的形状和设计。

[0041] 图 15 示出了具有两个不同类型的切口的突出部。

[0042] 图 16 描绘了具有图 15 中所示的类型的突出部的带槽的离子阻性板。

[0043] 图 17 描绘了具有在柱内被间隙分离的非连续突出部的带槽的离子阻性板的简化俯视图。

[0044] 图 18 示出了具有突出部的带槽的离子阻性板的特写剖视图。

[0045] 图 19 示出了带槽的离子阻性板的实施方式的简化俯视图,其中突出部是由多个分段制成。

[0046] 图 20 给出了实验数据,其表明在带槽的离子阻性板的突出部可以通过实现凸起高度厚度的较小变化来促进更均匀的电镀。

## 具体实施方式

[0047] 在本申请中,术语“半导体晶片”、“晶片”、“衬底”、“晶片衬底”以及“部分制造的集成电路”可互换使用。本领域的普通技术人员应当理解的是,术语“部分制造的集成电路”可以指在其上制造集成电路的许多阶段中的任何阶段的硅晶片。下面的详细说明假设本发明在晶片上实现。通常情况下,半导体晶片的直径为 200、300 或 450 毫米。然而,本发明并不局限于此。工件可以是各种形状、尺寸和材料。除了半导体晶片外,其它可利用本发明的工件包括如印刷电路板等各种物件。

[0048] 在下面的描述中,许多具体细节被阐述以便提供对所提出的实施方式的彻底了解。所公开的实施方式可以在没有这些具体细节的部分或全部的前提下实施。在其他实例中,公知的处理操作未被详细描述,以避免不必要地模糊所公开的实施方式。尽管所公开的实施方式将结合具体的实施方式描述,但应当理解的是,这并不意味着限制所公开的实施方式。

[0049] 在下面的讨论中,当提及所公开的实施方式的顶部和底部特征(或类似的术语,例如上部和下部特征等)或者元件时,术语顶部和底部都只是基于方便而使用且仅代表本发明的参照或实现的单个框架。其它配置是可能的,例如顶部和底部元件相对于重力倒置和/或顶部和底部部件成为左和右部件或右和左部件。本文描述了用于电镀一种或多种金属到衬底上的装置和方法。总体上描述了所述衬底是半导体晶片的实施方式,但本发明并不受限于此。

[0050] 所公开的实施方式包括被配置为在电镀期间控制电解液流体力学的装置和包含控制电解液流体力学的方法,通过该装置和方法控制电解液流体力学以获得高度一致的电镀层。在具体实现方式中,所公开的实施方式采用了创建撞击流(流导向工件表面或垂直于工件表面)和剪切流(有时也称为“横流”或具有平行于工件表面的速度的流)的组合的方法和装置。

[0051] 所公开的实施方式使用带槽的离子阻性板(CIRP),其提供了在晶片的镀覆面和CIRP的顶部之间的小通道(横流歧管)。该CIRP提供许多功能,其中有:1)允许离子电流从通常位于CIRP下面的阳极流动并流向晶片,2)允许流体向上流过CIRP并大致朝向晶片表面,和3)限制和抵制电解液流远离和流出横流歧管区域。在横流歧管区域的流是由CIRP中的通孔注入的流体以及来自横流注入歧管(通常位于CIRP上并在晶片的一侧)的流体组成。

[0052] 在本发明所公开的实施方式中,CIRP的顶面被修改,从而提高了在晶片的面上和电镀特性中的最大沉积率和电镀均匀性。在CIRP的顶面的修改可以采取台阶或突出部的集合的形式。图1A提供了其上具有突出部的集合151的CIRP150的等距视图。这些CIRP修改将在下面更详细地讨论。

[0053] 在某些实施方式中,用于在横流歧管中施加横流的机构是具有例如在所述带槽的离子阻性元件的外周上或靠近所述带槽的离子阻性元件的外周的适当的流引导和分配装置的入口。该入口沿着带槽的离子阻性元件的面向衬底的表面引导横流阴极电解液。所述入口是方位角不对称的,部分地跟随带槽的离子阻性元件的周边。所述入口可以包括一个或多个间隙或腔,例如径向定位在带槽的离子阻性元件外侧的称为横流注入歧管的环形腔。可视情况提供与横流注入歧管协同工作的其他元件。这些元件可以包括横流注入流分布喷头、横流限制环以及导流鳍,在下文将结合附图对其进一步进行说明。

[0054] 在某些实施方式中,该装置被配置为使电解液能沿朝向或垂直于衬底镀覆面的方向流动,以在电镀过程中产生从带槽的离子阻性元件的孔排出的至少约3厘米/秒的平均流速(例如,至少约5厘米/秒或至少约10厘米/秒)。在某些实施方式中,所述装置被配置为:在产生跨越衬底的镀覆面的中心点的约3厘米/秒或更大(例如,约5厘米/秒或更大、约10厘米/秒或更大、约15厘米/秒或更大,或约20厘米/秒或更大)的平均横向电解液流速的条件下运行。在采用约20升/分钟的总电解液流率和约12英寸直径的衬底的电镀槽中,这些流率(即,排出离子阻性元件的孔的流率和穿过衬底的镀覆面的流率)在某些实施方式中是适当的。本发明的实施方式可以采用各种衬底尺寸实施。在某些情况下,衬底具有约200毫米、约300毫米或约450毫米的直径。此外,本发明的实施方式可在各种各样的总流率下实施。在某些实现方式中,总电解液流率为在约1-60升/分钟之间、在约6-60升/分钟之间、在约5-25升/分钟之间或在约15-25升/分钟之间。电镀过程中所实



现的流率可以由某些硬件约束,如所使用的泵的大小和容量来限制。本领域技术人员应当理解,当用较大的泵实施所公开的技术方案时,本发明所引用的流率可能更高。

[0055] 在一些实施方式中,该电镀装置包括分离的阳极室和阴极室,其中在两个腔室的每一个中有不同的电解液组分、电解液循环回路和/或流体力学。可采用离子渗透膜抑制腔室之间的一个或多个部件的直接对流传输(物质的流动运动),并保持在腔室之间的所期望的分离。该膜可以阻挡大量的电解液流和排除如有机添加剂之类的某些种类的运输,同时有选择地允许如仅阳离子(阳离子交换膜)或仅阴离子(阴离子交换膜)之类的离子的运输。作为在一些实施方式中的具体实施例,所述膜包括来自特拉华州威尔明顿的杜邦公司(DuPont of Wilmington, Delaware)的阳离子交换膜 NAFION™ 或相关的离子选择性聚合物。在其他情况下,该膜没有包含离子交换材料,而是包含微多孔材料。通常,在阴极室中的电解液被称为“阴极电解液”,并且在阳极室中的电解液被称为“阳极电解液”。通常情况下,阳极电解液和阴极电解液具有不同的组分,阳极电解液含有很少或没有电镀添加剂(例如,促进剂、抑制剂和/或调平剂),而阴极电解液含有大浓度的这种添加剂。金属离子和酸的浓度在两个室之间也常常不同。含有分离的阳极室的电镀装置的例子在 2000 年 11 月 3 日提交的美国专利 No. 6527920[代理机构案卷号 NOVLP007]、2002 年 8 月 27 日提交的美国专利 No. 6821407[代理机构案卷号 NOVLP048] 和 2009 年 12 月 17 日提交的美国专利 No. 8262871[代理机构案卷号 NOVLP308] 中有描述,其中每一个通过引用并入本文。

[0056] 在一些实施方式中,膜不需要包括离子交换材料。在一些实施例中,该膜是由诸如聚醚砜之类的微多孔性材料制成,聚醚砜由马萨诸塞州威尔明顿(Wilmington, Massachusetts)的 Koch Membrane 生产。这种类型的膜最明显地适用于惰性阳极应用,如锡-银镀和金镀,但这种类型的膜也可以用于可溶性阳极应用,如镍镀。

[0057] 在某些实施方式中,并如本文其他地方所更全面地描述的,阴极电解液可流过电镀槽内的两个主要通道中的一个。在第一通道中,阴极电解液被送入位于 CIRP 下面且通常(但不一定)位于槽膜和/或膜框架保持器上方的歧管区域,以下称为“CIRP 歧管区域”。阴极电解液从 CIRP 歧管区域向上穿过在 CIRP 的各种孔,进入 CIRP,到达衬底的间隙(通常被称为横流区域或横流歧管区域),沿朝向晶片表面的方向流动。在第二横流电解液的进给通道中,阴极电解液从横流注入歧管区域的一侧进给并进入该横流注入歧管区域。该阴极电解液从横流注入歧管流入 CIRP,到达衬底的间隙(即,横流歧管),在这里其沿大致平行于衬底表面的方向流到衬底的表面上。

[0058] 虽然在此描述的某些方面可以用在各种类型的电镀装置中,但为了简单和清楚起见,大多数实施例将涉及晶片面朝下的“喷泉”电镀设备中。在这样的装置中,待镀工件(在本发明所提供的实施例中通常为半导体晶片)一般具有基本水平的方向(在某些情况下,对于电镀过程的一部分或者在整个电镀过程中,该水平方向可以相对于真水平变化一些角度),并可以被通电以在电镀过程中旋转,产生大致垂直向上的电解液对流模式。从晶片的中心至边缘的撞击流物质以及旋转的晶片在其边缘处相对于其中心的固有的更高的角速度的整合产生径向增大的切向(平行晶片)流速。喷泉电镀类的槽/装置的成员的一个例子是由 Novellus Systems, Inc. of San Jose, CA. 生产并可从其获得的 Sabre® Electroplating System。此外,喷泉电镀系统在例如 2001 年 8 月 10 日提交的美国专利 No. 6800187[代理机构案卷号 NOVLP020] 和 2008 年 11 月 7 日提交的美国专利

No. 8308931[代理机构案卷号 NOVLP299] 中有描述,通过引用将其全部并入本发明。

[0059] 待电镀的衬底通常是平坦的或基本上平坦的。正如这里使用的,具有沟、通孔、光致抗蚀剂图案等特征的衬底被认为是基本上平坦的。虽然不一定总是如此,但通常这些特性是在微观尺度上的。在许多实施方式中,衬底表面中的一个或多个部分可被遮蔽以免暴露于电解液。

[0060] 以下图 1B 的描述提供了通常的非限制的背景以帮助理解本文所述的装置和方法。图 1B 提供了用于电化学处理半导体晶片的晶片夹持和定位装置 100 的透视图。装置 100 包括晶片啮合部件(有时在本文中称为“蛤壳”部件)。实际的蛤壳包括杯体 102 和锥体 103,其使得压力能被施加在晶片和密封件之间,从而保证晶片在杯体中。

[0061] 杯体 102 由支柱 104 支撑,支柱 104 连接到顶板 105。这个集中组件 101 的组件(102-105)的经由轴 106 由马达 107 驱动。马达 107 被连接到安装支架 109。轴 106 传达扭矩到晶片(图中未示出)以允许其在电镀期间旋转。轴 106 内的气缸(未显示)也提供杯体和锥体 103 之间的垂直力以产生在杯体内的晶片和密封构件(唇形密封件)之间的密封。为了讨论的目的,包括部件 102-109 的组件被统称为晶片架 111。然而注意,“晶片架”的概念通常延伸到啮合晶片并允许其运动和定位的部件的各种组合和子组合。

[0062] 倾斜组件包括第一板 115,第一板 115 可滑动地连接到第二板 117,倾斜组件被连接到安装支架 109。驱动缸 113 在枢接点 119 和 121 分别连接到板 115 和板 117。因此,驱动缸 113 提供力用于使滑动板 115(并因此晶片架 111)穿过板 117。晶片架 111(即安装支架 109)的末端沿限定在板 115 和 117 之间的接触区域的弧形路径(未示出)移动,并因此,晶片架 111 的近端(即杯体和锥体组件)在有效的枢轴上倾斜。这允许晶片有角度地进入到电镀浴。

[0063] 整个装置 100 经由另一个致动器被垂直向上抬升或垂直降下以将晶片架 111 的近端浸入镀覆溶液(未示出)。因此,双组件定位机构为晶片提供沿垂直于电解液的轨迹的垂直运动和允许从水平方向(平行于电解液表面)偏移的倾斜运动(成角度的晶片浸没能力)。装置 100 的运动能力和相关联的硬件在 2001 年 5 月 31 日提交和 2003 年 4 月 22 公布的 US 专利 6,551,487[代理人案号 NOVLP022] 有更详细描述,其全部内容在此通过引用并入本文。

[0064] 注意,装置 100 通常与具有电镀室的特别的电解槽一起使用,该电镀室容纳阳极(例如,铜阳极或非金属惰性阳极)和电解液。电镀槽也可包括管道或管道连接件用于循环电解液通过电解槽-以及针对被镀工件。它也可以包括膜或设计用来在阳极室和阴极室内保持不同的电解液化学物的分隔件。通过物理手段转移阳极电解液到阴极电解液或主镀浴(例如包括阀的直接泵送,或者溢流槽)的装置也可以任选被提供。

[0065] 下面的描述提供了蛤壳的杯体和锥体组件的更多细节。图 1C 组件 100 的部分 101,其包括以横截面形式的锥体 103 和杯体 102。注意,该附图不是杯体和锥体组件的真实描绘,而是为了讨论目的的风格化的描绘。杯体 102 经由支柱 104 通过顶板 105 支撑,支柱 104 经由螺丝 108 连接。一般来说,杯体 102 提供搁置晶片 145 的支撑。它包括开口,通过该开口来自电镀槽的电解液可以接触晶片。注意,晶片 145 具有正面 142,电镀发生在正面 142。晶片 145 的外周搁置在杯体 102 上。锥体 103 向下压在晶片的背侧以在电镀过程中保持其在适当位置。

[0066] 要加载晶片进入 101, 锥体 103 从其描述位置通过主轴 106 抬起, 直到锥体 103 触碰顶板 105。从这个位置上, 在杯体和锥体之间产生间隙, 晶片 145 可以插入该间隙, 并因此装载入杯体中。如所描绘的, 然后锥体 103 被降低以啮合抵靠杯体 102 外周的晶片, 并配合成组的电触点(在图 1C 中未示出) 沿着晶片外周径向超出唇形密封件 143。在带槽的离子阻性板(CIRP)上使用步骤或一系列的突出部的实施方式中, 晶片可不同地插入, 以避免晶片或晶片架与 CIRP 接触。在这种情况下, 晶片架可最初以相对于电解液的表面呈角度地插入晶片。接着, 晶片架可旋转晶片使得其在水平位置。当晶片旋转时, 它可以继续向下行进到电解液中, 只要 CIRP 不受干扰。晶片插入的最后部分可以包括垂直向下插入晶片。当晶片在其水平方向时(即, 晶片没有倾斜之后), 这种垂直向下运动可以完成。

[0067] 轴 106 传送用于造成锥体 103 啮合晶片 145 的垂直力和用于旋转组件 101 的扭矩两者。这些传送力如图 1C 中的箭头所示。注意, 晶片电镀通常在晶片被旋转(如在图 1C 的顶部的虚线所示) 时发生。

[0068] 杯体 102 具有可压缩的唇形密封件 143, 当锥体 103 啮合晶片 145 时, 唇形密封件 143 形成流体密封。来自锥体和晶片的垂直力压缩唇形密封件 143, 以形成流体密封。唇形密封件防止电解液接触晶片 145 的背部(在这里可能引入污染物质, 如铜或锡离子直接进入硅)并预防接触装置 101 的灵敏部件。在杯体的界面和晶片之间还可存在密封件, 其形成流体密封的密封件以进一步保护晶片 145 的背部(未显示)。

[0069] 锥体 103 还包括密封件 149。如图所示, 密封件 149 在锥体的边缘 103 和杯的上部区域啮合时位于该边缘附近。这也保护晶片 145 的背部免受可能从杯体上方进入蛤壳的任何电解液。密封件 149 可以被固定到锥体或杯体, 并且可以是单个密封件或多部件的密封件。

[0070] 当电镀开始时, 锥体 103 被抬升在杯体 102 上方且晶片 145 被引入组件 102。当晶片被最初引入杯体 102 时 - 通常通过机械臂 - 其正面 142 轻轻搁置在唇形密封件 143 上。在电镀期间, 组件 101 旋转, 从而帮助实现均匀的电镀。在随后的附图中, 以更简单的形式描绘了组件 101 以及关于用于在镀覆过程中控制在晶片镀表面 142 上的电解液的流体动力学的部件。

[0071] 图 1D 描绘了用于电镀金属到晶片上的电镀装置 725 的横截面视图, 该晶片通过晶片架 101 夹持、定位和旋转。装置 725 包括镀槽 155, 镀槽 155 为具有阳极室的双腔槽, 阳极室具有例如铜阳极 160 和阳极电解液。阳极室和阴极室被分隔, 例如, 被由支承构件 735 支撑的阳离子膜 740 分隔。如本文所述, 镀装置 725 包括 CIRP410。分流器 325 在 CIRP410 的顶部, 并且如本文所述帮助产生横向剪切流。阴极电解液经由流端口 710 引入阴极室(膜 740 上方)。如本文所述, 阴极电解液从流端口 710, 通过 CIRP410, 并产生冲击流到晶片 145 的镀覆面。除了阴极电解液的流端口 710, 另外的流端口 710a 还将阴极电解液在远端位置处其出口引到分流器 325 的空隙/出口。在这个例子中, 流动端口 710a 的出口形成为流成形板 410 的通道。功能性的结果是阴极电解液流直接引入到在 CIRP410 和晶片镀覆面 145 之间形成的电镀区域, 以便提高横穿晶片表面的横向流, 从而使得横穿晶片 145(和流板 410) 的流向规范化。

[0072] 提供大量的附图以进一步说明和解释本文所公开的实施方式。附图包括, 除其他事项外, 与本发明所公开的电镀装置相关联的结构元件和流动路径的各个附图。这些元件

被给定某些名称 / 参考数字,其在图 2 到 19 的描绘中一致地使用。图 2 引入在某些实施方式中介绍的某些元件,其包括晶片架 254、横流约束环 210、横流环垫片 238、具有横流喷头 242 的带槽的离子阻性(CIRP)板 206、以及具有流体调节棒 274 的膜框架 274。在图 2 中,以分解图提供这些元件来演示这些部分是如何结合在一起的。

[0073] 在大多数情况下,下面的实施方式假设该电镀装置包括单独的阳极室。所描述的特征被包含在阴极室中。关于图 3A、图 3B 和图 4,在阴极室的底部表面包括膜框架 274 和膜 202 (因为它是非常薄的,该膜实际上没有在图中示出,但它的位置 202 被示为位于膜框 274 的下表面上),膜 202 其将阳极室与阴极室分隔。任何数量的可能的阳极和阳极室的配置都可以使用。

[0074] 许多在下文描述中的重点是控制横流歧管或歧管区域 226 中的阴极电解液。此横流歧管区域 226 也可以被称为间隙或 CIRP 到晶片间隙 226。阴极电解液通过以下两个独立的入口点进入横流歧管 226 : (1) 在带槽的离子阻性板 206 中的通道和 (2) 横流启动结构 250。到达横流歧管 226 的阴极电解液经由在 CIRP206 中的通道直接朝向工件的表面引导,通常是沿基本上垂直的方向引导。这种输送阴极电解液的通道可形成冲击工件的表面的小的射流,该工件通常相对于带通道的板 206 缓慢转动(例如,介于约 1 至 30rpm 之间)。相反,到达横流歧管 226 中的阴极电解液经由横流启动结构 250 基本上平行于工件的表面导向。

[0075] 正如在上面的讨论中,在电镀过程中,带槽的离子阻性板 206 (有时也被称为带槽的离子阻性元件, CIRP, 高电阻虚拟(virtual)阳极,或 HRVA) 定位在所述工作电极(晶片或衬底)和相对的电极(阳极)之间,以便在相对接近晶片界面表现出大的本地化离子系统电阻(并由此控制电场和塑造电场形状),并且控制电解液的流动特性。本文中各附图显示了带槽的离子阻性板 206 相对于所公开的装置的其他结构特征的相对位置。这样的离子阻性元件 206 的一个例子在 2008 年 11 月 7 日提交的美国专利号 8,308,931 [ 代理人案卷 NOVLP299] 有描述,其之前通过引用将其整体并入本文中描述。其中所描述的带槽的离子阻性板适合改善晶片表面,如那些含相对低的电导率或那些含有非常薄的电阻性籽晶层上的电镀径向均匀性。在许多实施方式中,带槽的离子阻性板适于包括如上所述和下面进一步描述的台阶或一系列的突出部。

[0076] “膜框架”274 (在其他文件中有时被称作阳极膜框架)是在某些实施方式中采用的结构元件,以支撑将阴极室与阳极室分隔开的膜 202。它可以具有相关于本文所公开的某些实施方案中的其他特征。尤其是,参照附图的实施方式,它可以包括流动通道 258 和 262 用于将阴极电解液输送到 CIRP 歧管 208 或横流歧管 226 中。另外,膜框架 274 可以包括被配置为输送横流的阴极电解液至横流歧管 226 的喷头板 242。膜框架 274 还可以含有槽堰壁 282,其用于确定和调节电解液的最上部的水平。本文中各附图在与所公开的横流装置相关联的其它结构特征的上下文中描绘了膜框架 274。

[0077] 膜框架 274 是用于夹持膜 202 的刚性结构部件,其通常是负责将阳极室与阴极室隔开的离子交换膜。如所解释的,阳极室可容纳第一组分的电解液,而阴极室容纳第二组分的电解液。膜框架 274 还可以包括多个流体调节杆 270 (有时被称为流量约束元件),其可以被用来帮助控制流体输送到带槽的离子阻性元件 206。膜框架 274 限定阴极室的最底层部分和阳极室的最上层部分。所描述的部件都位于电化学电镀槽的工件侧在阳极室和阳极室膜 202 上方。它们都可以被看作是阴极室的一部分。然而,应当理解的是,横流注入装置

的某些实施方式不采用分离的阳极室,并且因此膜框架 274 不是必需的。

[0078] 通常位于所述工件和所述膜框架 274 之间的是带槽的离子阻性板 206、以及横流环垫片 238 和晶片横流限制环 210,其每一个可以被固定到带槽的离子阻性板 206。更具体地,横流环垫片 238 可以直接定位在 CIRP206 的顶上,并且晶片横流限制环 210 可以被定位在横流环垫片 238 上方并固定到带槽的离子阻性板 206 的顶表面,有效地夹着垫片 238。本文中的各个附图显示了相对于带槽的离子阻性板 206 布置的横流约束环 210。另外,CIRP206 可包括下面进一步描述的台阶或一系列的突出部。

[0079] 如图 2 所示,本发明的最上相关的结构特征是工件或晶片架。在某些实施方案中,所述工件架可以是杯体 254,其通常在锥体和杯形蛤壳式设计中使用,如体现为从朗姆(Lam)研究公司获得的上述 Sabre® 电镀工具。例如,图 2、图 8A 和图 8B 显示出杯体 254 相对于所述装置的其它元件的相对定位。

[0080] 图 3A 显示了根据本文中公开的实施例的电镀装置的横流入口侧(cross flow inlet side)的近距离剖视图。图 3B 显示了根据本文中公开的实施例的电镀装置的横流出口侧(cross flow outlet side)的近距离剖视图。图 4 显示了根据本文中的某些实施例的、显示了入口侧和出口侧的电镀装置的剖视图。在电镀过程中,阴极电解液填充并占据了在膜框架 274 上的膜 202 的上部和膜框架堰壁(weir wall) 282 之间的区域。该阴极电解液区域可被细分成三个子区域:1)位于 CIRP206 下方和(对于采用了阳极室阳极膜的设计)隔开的阳极室的阳离子膜 202 上方的带槽的离子阻性板歧管区域 208 (该部件有时也被称为下歧管区域),2)在晶片和 CIRP206 的上表面之间的横流歧管区域 226,以及 3)在翻盖/杯体 254 外侧且在槽堰壁(cell weir wall) 282 内侧的上槽区域或者“电解液保持区域”(其有时是膜框架 274 的实体部分(physical part))。当没有浸入该晶片并且翻盖/杯体 254 不在下部位置时,该第二区域和第三区域结合成单个区域。

[0081] 图 3B 显示了连通 CIRP 歧管 208 和通道 262 的单个入口孔的剖视图。虚线表示流体流的路径。

[0082] 阴极电解液可在中央阴极电解液入口歧管(未显示)处被传输至电镀槽,该阴极电解液可以位于该槽的底部并由单个管道进给。从这儿,该阴极电解液可被分成两个不同的流动路径或流。一个流(例如 12 个进给孔中的 6 个)使阴极电解液通过通道 262 流入 CIRP 歧管区域 208。在该阴极电解液被传输到 CIRP 歧管 208 之后,该阴极电解液通过 CIRP 内的微通道向上流入横流歧管 226。另一个流(例如,另外 6 个进给孔)使阴极电解液流入横流注入歧管,从这儿,该电解液流动通过横流喷头 242 的分配孔 246(在某些实施例中,该分配孔的数量可超过 100 个)。在离开该横流喷头孔 246 之后,该阴极电解液的流向从(a)垂直于晶片改变为(b)平行于晶片。该流向改变在该流冲击横流限制环 210 入口腔 250 的表面时发生,并且该流向受到该流冲击横流限制环 210 入口腔 250 的表面的限制。最后,在进入横流歧管区 226 时,这两股阴极电解液流(最初在中央阴极电解液入口歧管内的槽的底部是分离的)聚合在一起。

[0083] 在图 3A、3B 和 4 所示的实施方式中,进入阴极室的一部分阴极电解液被直接提供至带槽的离子阻性板歧管 208,并且一部分被直接提供至横流注入歧管 222。被传输至带槽的离子阻性板歧管 208 的阴极电解液的至少一部分(经常但不是总是)穿过板 206 内的多个微通道并到达横流歧管 226。通过带槽的离子阻性板 206 内的通道进入横流歧管 226 的阴

极电解液沿着基本上垂直定向的喷口(在一些实施例中,该通道被制成具有一定的角度,因此它们不是完全垂直于晶片的表面,例如,该喷口相对于晶片表面的法线的角度可以达到约 45 度)进入该横流歧管。进入横流注入歧管 222 的该部分阴极电解液被直接传输至横流歧管 226,在这里,该部分阴极电解液以位于晶片下方的水平定向的横流进入。在去横流歧管 226 的途中,该横流的阴极电解液通过横流注入歧管 222 和横流喷头板 242(在特定的实施例中,该横流喷头板包括约 139 个直径为约 0.048 英寸的分配孔 246),然后通过横流限制环 210 的入口腔 250 的作用 / 几何机构从垂直向上的流改变为平行于晶片表面的流。

[0084] 横流和喷口的绝对角度不需要完全是水平的或完全是垂直的或者相互间被定向成正好是 90 度。但是,总的来说,横流歧管 226 内的阴极电解液的横流一般是沿着工件表面的方向,源自微带槽的离子阻性板 206 的上表面的阴极电解液喷流的方向通常朝上 / 垂直于工件的表面。横流和冲击流在晶片表面的混合有助于促进更均匀的电镀效果。在某些实施例中,使用突出部来阻碍横流动的阴极电解液,以使得其在朝晶片表面的方向上改变方向。

[0085] 如上所述,进入阴极室的阴极电解液被分成(i)从带槽的离子阻性板歧管 208 流动通过 CIRP206 内的通道、然后进入横流歧管 226 的阴极电解液和(ii)通过喷头 242 内的孔 246 流入横流注入歧管 222、然后进入横流歧管 226 的阴极电解液。从横流注入歧管区域 222 直接进入的流可经由横流限制环入口(有时被称为横流侧向入口 250)进入,并且可从槽的一侧平行于晶片散开。相比之下,经由 CIRP206 的微通道进入横流歧管区域 226 的流体射流从晶片和横流 226 的下方进入,并且该喷射的流体在横流歧管 226 内被转向(重新定向)以平行于晶片并朝向横流限制环出口 234(有时也被称为横流出口或者出口)流动。

[0086] 在具体的实施方式中,具有六个用于直接传输阴极电解液至横流注入歧管 222(在此处,阴极电解液然后被传输至横流歧管 226)的独立的进给通道 258。为了影响在横流歧管 226 中的横流,这些通道 258 以呈方位角的非均匀的方式伸入(exit into)横流歧管 226。具体地,这些通道在横流歧管 226 的特定侧或者方位角区域(azimuthal region)进入该横流歧管 226。

[0087] 在图 3A 所示的具体实施方式中,用于直接将阴极电解液传输至横流注入歧管 222 的流体路径 258 在到达该横流注入歧管 222 之前穿过四个独立的元件:(1)在槽的阳极室壁中的专用通道,(2)在膜框架 274 中的专用通道,(3)在带槽的离子阻性板 206 中的专用通道(这些专用通道与用于将阴极电解液从 CIRP 歧管 208 传输至横流歧管 226 的 1-D 微通道不同),以及最后(4)在晶片横流限制环 210 中的流体路径。当这些元件被不同地构造时,该阴极电解液可以不必流过这些独立的元件中的每一个。

[0088] 如上文所述,流动路径的穿过膜框架 274 并且进给横流注入歧管 222 的部分被称为膜框架中的横流进给通道 258。相似地,该流动路径的穿过膜框架 274 并且进给 CIRP 歧管的部分被称为进给带槽的离子阻性板歧管 208 的横流进给通道 262,或者 CIRP 歧管进给通道 262。也就是说,术语“横流进给通道”包括进给横流注入歧管 222 的阴极电解液进给通道 258 和进给 CIRP 歧管 208 的阴极电解液进给通道 262。这些流 258 和 262 之间的一个区别在上文已经描述:穿过 CIRP206 的流的方向最初是朝向晶片的,然后由于晶片的存在以及在横流歧管中的横流而改变成与晶片平行,而来自横流注入歧管 222 并且通过横流限制环入口 250 输出的横流部分在横流歧管中基本上平行于晶片开始。不希望局限于任何

的模型或者理论,冲击和平行流的该结合和混合被认为能够实质上有助于改善凹入的 / 嵌入式的特征内流的渗透度(flow penetration),从而改善质量的传递。在 CIRP 表面包含的一系列的突出部能够进一步提高这种混合。通过在晶片下方创造空间上均匀的对流场并且旋转晶片,每个特征、每个管芯在该旋转和电镀过程中展现了几乎相同的流模式(flow pattern)。

[0089] 在穿过板 206 内的横流进给通道 258 时,用于传输横流动的阴极电解液的流动路径是以垂直向上的方向开始的。然后,该流动路径进入形成在带槽的离子阻性板 206 的体内的横流注入歧管 222。该横流注入歧管 222 是方位角的腔,该腔可以是在板 206 内的、能够将流体从多个独立的进给通道 258 (例如,来自 6 个独立的横流进给通道中的每一个)分配至横流喷头板 242 的多个流分配孔 246 的挖出通道(dug out channel)。该横流注入歧管 222 沿着带槽的离子阻性板 206 的外周或边缘区域的斜剖面(angular section)定位。例如参见图 3A 和图 4-6。附图 3A 和图 4 在上文已介绍。图 5 显示了位于横流注入歧管 222 上方的喷头板 242。图 6 在具有电镀装置的其它元件的情况下,相似地显示了横流注入歧管 222 上方的喷头板 242。

[0090] 在一些实施方式中,如图 5 和图 6 所示,横流注入歧管 222 在跨越该板的周长区域的约  $90^{\circ}$  - $180^{\circ}$  的角度上形成 C 形结构。在一些实施方式中,该横流注入歧管 222 的角度范围是约  $120^{\circ}$  - $170^{\circ}$ ,在更具体的实施方式中,该角度约为约  $140^{\circ}$  - $150^{\circ}$ 。在这些或其它实施方式中,该横流注入歧管 222 的角度范围为至少约  $90^{\circ}$ 。在许多实施方式中,该喷头 242 大约跨越与该横流注入歧管 222 相同的角度范围。另外,整个入口结构 250 (在很多情况中,其包括一个或多个横流注入歧管 222、喷头板 242、喷头孔 246 和在横流限制环 210 内的开口)可跨越这些相同的角度范围。

[0091] 在一些实施方式中,在注入歧管 222 中的横流在带槽的离子阻性板 206 (channeled ionically resistive plate)内形成连续流体连接的腔。在这种情况下,向横流注入歧管供料的所有横流进给通道 258 排入一个连续的连接横流注入歧管腔室。在其它实施方式中,横流注入歧管 222 和 / 或横流喷头 242 分成两个或两个以上的角度不同的且完全或部分分离的段,如图 5 中所示(其示出 6 个分离的段)。在一些实施方式中,成角度地分离的段的数量在约 1-12 个之间,或在约 4-6 个之间。在一具体实施方式中,每一个角度不同的段流体连接至设置在带槽的离子阻性板 206 中的分离的横流进给通道 258。因此,例如,在横流注入歧管 222 内可能有 6 个角度不同的分离的子区域,每一个子区域通过分离的横流进给通道 258 进给。在一些实施例中,横流注入歧管 222 的每一个不同的子区域具有相同的容积和 / 或相同的角范围。

[0092] 在多种情况下,阴极电解液从横流注入歧管 222 排出并通过具有多个成角度地分离的阴极电解液出口(孔)246 的横流喷头板 242。参见例如图 2、3A 和 6 (在所有图中未示出阴极电解液出口 / 孔 246)。在一些实施例中,例如如图 6 中所示,横流喷头板 242 被集成到带槽的离子阻性板 206 中。在一些实施例中,所述喷头板 242 通过胶粘贴、通过螺栓或其它方式固定至带槽的离子阻性板 206 的横流注入歧管 222 的顶部。在一些实施例中,横流喷头 242 的顶表面与带槽的离子阻性板 206 (不包括所述 CIRP206 上的任何台阶或突出部)的平面或顶表面高度相同,或者略高于该带槽的离子阻性板 206 (不包括所述 CIRP206 上的任何台阶或突出部)的平面或顶表面。如此,流经横流注入歧管 222 的阴极电解液可开

始垂直向上流过所述喷头孔 246, 然后横向流经横流约束环 210 下方并流入横流歧管 226, 以至于阴极电解液沿着基本上平行于晶片表面的方向进入横流歧管 226。在其它实施方式中, 可定向喷头 242 使得从喷头孔 246 排出的阴极电解液在平行于晶片的方向上流动。

[0093] 在一具体实施方式中, 横流喷头 242 具有约 140 个成角度地分离的阴极电解液出口孔 246。一般而言, 可采用在横流歧管 226 内合理建立均匀横流的任意数量的孔。在一些实施方式中, 在横流喷头 242 中有约 50-300 个这样的阴极电解液出口孔 246。在一些实施方式中, 存在有约 100-200 个这样的孔。在一些实施方式中, 存在有约 120-160 个这样的孔。通常, 各个出口或孔 246 的尺寸在直径方面可以为约 0.020-0.10 英寸, 更特别地, 为约 0.03-0.06 英寸。

[0094] 在一些实施方式中, 以等角度方式(即通过在所述槽中心与两个相邻孔之间的固定角度确定各孔 246 之间的间距)沿着横流喷头 242 的整个角度范围设置这些孔 246。在其它实施方式中, 以非等角度方式沿着所述角度范围分布孔 246。然而, 在一些实施方式中, 所述非等角度的孔分布是线性(“x 轴方向”)均匀分布。换句话说, 在后一种情况下, 所述孔分布是这样的情况: 如果所述孔被投影到垂直于横流方向的轴(该轴在“x”方向上), 则所述孔以相等的较远的距离间隔分布。每一个孔 246 被设置在距室中心相同径向距离处, 并沿着“x”轴方向与相邻的孔间隔相同的距离。具有这些非等角度孔 246 的净效应是整体横流模式更为均匀。相比之下, 当以等角度方式间隔孔时, 由于边缘区域将具有比均匀横流所需的孔更多的孔, 因此在衬底中心部分上方的横流将低于在边缘区域上方的横流。

[0095] 在一些实施方式中, 从横流喷头 242 排出的阴极电解液的方向进一步由晶片横流约束环 210 控制。在一些实施方式中, 该环 210 在带槽的离子阻性板 206 的整个圆周上方延伸。在一些实施方式中, 如图 3A、3B 和 4 所示, 横流约束环 210 的横截面为 L-形。该形状可被挑选以匹配衬底架/杯体 254 的底表面。在一些实施方式中, 晶片横流约束环 210 包括一系列诸如定向鳍片 266 之类的流导向元件, 该流导向元件与横流喷头 242 的出口孔 246 流体连通。在图 7 中清楚示出该鳍片 266, 还可参见图 3A 和 4。定向鳍片 266 在晶片横流约束环 210 的上表面下方以及在相邻的定向鳍片 266 之间限定在很大程度上分离的流体通道。在一些情况下, 鳍片 266 的目的在于重定向并约束从横流喷头孔 246 排出的流, 使该流从原本径向向内方向转换成“从左向右”的流动轨迹(左边是横流入口侧 250, 右边是出口侧 234)。这有助于建立基本上线性的横流模式。定向鳍片 266 使从横流喷头 242 的孔 246 排出的阴极电解液沿着由定向鳍片 266 的定向所产生的流体流线定向。在一些实施方式中, 晶片横流约束环 210 的所有定向鳍片 266 彼此平行。这种平行的设置有助于在横流歧管 226 内建立一致的横流方向。在各种实施方式中, 沿着横流歧管 226 的入口侧 250 和出口侧 234 二者设置晶片横流约束环 210 的定向鳍片 266。在其它情况下, 可仅沿着横流歧管 226 的入口区 250 设置鳍片 266。

[0096] 如图 3B 和 4 所示, 在横流歧管 226 中流动的阴极电解液从晶片横流约束环 210 的入口区 250 流到该环 210 的出口侧 234。在一些实施方式中, 在出口侧 234 有多个可与在入口侧上的定向鳍片 266 平行或者对齐的定向鳍片 266。横流通过由出口侧 234 上的定向鳍片 266 建立的通道, 然后流出横流歧管 226。随后所述流通常径向向外地流入阴极室的另一区域并且流过晶片架 254 和横流约束环 210, 同时流体被所述膜架的上堰壁 282 截留并暂时储存, 随后所述流体流过堰壁 282 以收集和再循环。因此, 应理解的是, 这些图(例如图 3A、



3B 和 4) 仅示出阴极电解液进入横流歧管并从其中流出的整个路径的部分路径。需注意的是,例如在图 3B 和 4 中描绘的实施方式中,从横流歧管 226 排出的流体不会流过小孔或者穿过与入口侧上的进给通道 258 类似的通道流回,而是沿着通常平行于晶片的方方向外流动,原因在于其会被蓄积在前述的蓄积区域。

[0097] 回到图 6 的实施方式,图 6 示出俯视横流歧管 226 的俯视图。该图描绘了在带槽的离子阻性板 206 内的嵌入式横流注入歧管 222 以及喷头 242 的位置。尽管没有示出喷头 242 上的出口孔 246,应理解的是存在有这样的出口孔。还示出了用于横流注入歧管的流体调节杆 270。虽然在该图中未设置有横流约束环 210,但是示出了横流约束环密封垫 238 的轮廓,该横流约束环密封垫 238 在横流约束环 210 和 CIRP206 的上表面之间进行密封。在图 6 中示出的其它元件包括横流约束环紧固件 218、膜架 274 以及在 CIRP206 的阳极侧上的螺丝孔 278 (其可用于例如阴极屏蔽插入件)。

[0098] 在一些实施方式中,为了进一步优化横流模式,可调节横流约束环出口 234 的几何形状。例如,可通过减少横流约束环出口 234 的外部区域中的开放区域来更正横流模式偏离到约束环 210 的边缘的情况。在一些实施方式中,出口歧管 234 可包括分离的段或口,很像横流注入歧管 222。在一些实施方式中,出口段的数量在约 1-12 个之间,或在约 4-6 个之间。所述口被方位分隔,沿着出口歧管占据不同的(通常相邻的)位置。在一些情况下,可独立控制通过每一个口的相对流率。可通过例如与与入口流体相关的描述中描述的控制杆类似的控制杆 270 来实现该控制。在另一实施方式中,可由出口歧管的几何形状控制通过所述出口的不同段的流体。举例来说,在每一侧边缘附近具有较少开放区域而在中心附近具有较多开放区域的出口歧管可产生溶液流体模式,即在上述出口中心附近存在有较多流体,而在所述出口边缘附近存在有较少流体。还可采用其它方法控制通过出口歧管 234 中的口的相对流率(例如泵、工艺控制阀等)。

[0099] 如前所述,通过多个通道 258 和 262 将进入阴极电解液室的大量阴极电解液分离地引导至横流注入歧管 222 和带槽的离子阻性板歧管 208 中。在一些实施方式中,通过这些单个通道 258 和 262 的流体彼此独立地经由适当的机构控制。在一些实施方式中,该机构包括用于将流体输送如所述单个通道的独立的泵。在其它实施方式中,单级泵用于向主要的阴极电解液歧管进料,并可在一个或一个以上的通道内和 / 或沿着所述槽的角状边缘配置各种可调节的流量限制元件,以调节所述各通道 258 和 262 之间以及横流注入歧管 222 与 CIRP 歧管 208 区域之间的相对流率。在这些图中描绘的多种实施方式中,在提供独立控制的通道内设置一个或一个以上的流体调节杆 270 (有时也称为流体控制元件)。在描绘的实施方式中,该流体调节杆 270 提供环形室,在阴极电解液流向横流注入歧管 222 或带槽的离子阻性板歧管 208 期间,阴极电解液在该环形室中被压缩。在完全缩回状态时,流体调节杆 270 对流体基本上没有提供阻力。在完全使用状态时,流体调节杆 270 对流体提供最大的阻力,并且在一些实施方式中,阻止所有流体通过通道。在中间状态或位置时,在流体流过在通道的内径和流体调节杆的外径之间的受限制的环形室时,杆 270 允许中等水平的流体压缩。

[0100] 在一些实施方式中,流体调节杆 270 的调节使得电解槽的执行机构或控制器促进流体流向横流注入歧管 222 或流向带槽的离子阻性板歧管 208。在一些实施方式中,在将阴极电解液直接输送至横流注入歧管 222 的通道 258 中,流体调节杆 270 的独立调节使得该

执行机构或控制器能够控制流体流入横流歧管 226 的方位分量。

[0101] 图 8A 至图 8B 示出相对于电镀杯体 254 的横流注入歧管 222 和相应的横流入口 250 的横截面视图。横流入口 250 的位置至少部分地通过横流约束环 210 的位置来限定。具体地说,入口 250 可以被认为是在所述横流约束环 210 终止的地方开始。在图 8A 中,约束环 210 终止点(和入口 250 开始点)处于在晶片边缘之下,而在图 8B 中,终止/开始点处于电镀杯体之下并且从晶片边缘进一步径向向外(与图 8A 中的设计相比)。此外,图 8A 中的横流注入歧管 222 在横流环形腔中具有台阶(其中通常向左的箭头开始向上升),所述台阶可能在流体进入横流歧管区 226 的点附近形成一些涡流。在某些情况下,可能有利的是,通过提供一些距离(例如大约 10-15 毫米)以使溶液流在流过晶片表面之前变得更加均匀,从而使晶片边缘附近的流体轨迹扩张最小化并且允许电镀溶液从横流注入歧管区 222 过渡并进入所述横流注入歧管区 226。

[0102] 图 9 提供了电镀设备的入口部分的特写视图。该视图用于示出某些元件的相对几何结构。距离(a)表示横流歧管区 226 的高度。这是晶片架的顶部(上面放有衬底)与 CIRP206 的最上表面的平面之间的距离。因为图 9 的 CIRP206 不包括台阶或者突出部,所以所述 CIRP206 的最上表面也即此处所定义的 CIRP 平面。在某些实施例中,这个距离在大约 2-10 毫米之间,例如大约 4.75 毫米。距离(b)表示暴露的晶片表面与晶片架的最底表面(晶片保持杯体的底表面)之间的距离。在某些实施例中,这个距离在大约 1-4 毫米之间,例如大约 1.75 毫米。距离(c)表示横流约束环 210 的上表面与杯体 254 的底面之间的流体间隙的高度。约束环 210 与杯体 254 底部之间的这种间隙提供了空间,以允许杯体 254 在电镀过程中转动,并且通常是尽可能的小,以防止流体漏出该间隙并因此将其限制在横流歧管区 226 内。在一些实施例中,流体间隙大约为 0.5 毫米高。距离(d)表示流体通道的高度,以将横流阴极电解液传送到横流歧管 226 中。距离(d)包括横流约束环 210 的高度。在某些实施例中,距离(d)在大约 1-4 毫米之间,例如大约 2.5mm。在图 9 中还示出横流注入歧管 222、具有分配孔 246 的喷头板 242、以及固定在横流约束环 210 上的一个定向鳍片 266。

[0103] 所公开的装置可以配置成实施这里所描述的方法。根据本发明,合适的装置包括本文所述和所示的硬件以及一个或多个具有用于控制处理操作的指令的控制器。该装置包括一个或多个用于控制的控制器,所述控制包括控制晶片在杯体 254 和圆锥体中的定位、晶片相对于带槽的离子阻性板 206 的定位、晶片的转动、给横流歧管 226 的阴极电解液传送、给 CIRP 歧管 208 的阴极电解液传送、给横流注入歧管 222 的阴极电解液传送、流体调节杆 270 的阻挡和定位、给阳极和晶片以及任何其它电极的电流供给、电解液成分的混合、电解液传输的定时、入口压力、电镀槽压强、电镀槽温度、晶片温度,以及通过处理工具执行的特定工艺的其它参数。

[0104] 系统控制器将典型地包括一个或多个存储设备和一个或多个处理器,所述处理器被配置来执行指令,从而所述装置会实施根据本发明的方法。所述处理器可以包括中央处理单元(CPU)或计算机、模拟和/或数字输入/输出连接、步进电机控制器板以及其他类似部件。包括用于控制根据本发明的处理操作的指令的机器可读介质可以连接至所述系统控制器。用于实施适当控制操作的指令在所述处理器上执行。这些指令可以被存储在与控制器相关联的存储设备上,或者它们可以在网络上提供。在某些实施例中,系统控制器执行系

统控制软件。

[0105] 系统控制软件可以任何合适的方式进行配置。例如,各种处理工具组件子程序或控制对象可以被编写以控制执行各种处理工具过程所必需的处理工具组件的操作。系统控制软件可以任何合适的计算机可读的编程语言来编码。

[0106] 在一些实施例中,系统控制软件包括用于控制上述各种参数的输入/输出控制(I/O)序列指令。例如,电镀过程的每个阶段都可以包括由系统控制器执行的一个或多个指令。用于设定针对浸没过程阶段的工艺条件的指令可以被包括在相应的浸没配方阶段中。在一些实施例中,电镀配方阶段可以顺序排列,从而针对电镀处理阶段的所有指令都同时与该处理阶段一起被执行。

[0107] 在一些实施例中可采用其它计算机软件和/或程序。用于此目的的程序或者程序段的示例包括:衬底定位程序、电解液组合物控制程序、压力控制程序、加热器控制程序和电压源/电流源控制程序。

[0108] 在某些情况下,所述控制器控制以下功能中的一个或者多个功能:晶片浸没(平移、倾斜、旋转)、容器之间的流体转移等。晶片浸没可以进行控制,例如通过引导晶片升降组件、晶片倾斜组件和晶片旋转组件,从而使得其以期望的方式移动。控制器可以控制容器之间的流体转移,例如通过引导某些阀门打开或关闭以及某些泵开启和关闭。控制器可以基于传感器输出(例如当电流、电流密度、电势、压力等达到一定阈值的时候)、操作的定时(例如在一个过程中的特定时间打开阀门)或基于从用户处接收的指令来控制这些方面。

[0109] 上面所描述的装置/工艺可以与光刻构图工具或工艺结合用坏例如制造或者生产半导体器件、显示器、发光二极管、光伏板等。一般而言,尽管不一定,这种工具/工艺将一起在共同的制造设备中使用或者进行。薄膜的光刻构图通常包括以下步骤中的一些或者全部,每个步骤都能够以一定数量的可能的工具来实现:(1)使用旋涂或喷涂工具将光致抗蚀剂施加到工件(即衬底)上;(2)使用热板或加热炉或UV固化工具使光致抗蚀剂固化;(3)利用例如晶片步进电机等工具使所述光致抗蚀剂暴露给可见光或紫外线或X射线;(4)使抗蚀剂显影,以便使用例如湿法工作台等工具选择性地除去抗蚀剂,从而使它图案化;(5)通过使用干法或等离子体辅助蚀刻工具将抗蚀剂图案转移到底膜或工件中;以及(6)使用例如RF或微波等离子体抗蚀剂剥离器等工具除去抗蚀剂。

带槽的离子阻性元件的特征

电气功能

[0110] 在某些实施方式中,带槽的离子阻性元件靠近衬底(阴极)附近的几乎恒定且均匀的电流源,并因此可以在某些背景下被称为高阻虚拟阳极(HRVA)。通常情况下,CIRP被放置得靠近晶片。相比之下,相同靠近衬底的阳极明显不易于将几乎恒定的电流密度提供给晶片且横跨晶片,但是会仅仅支持阳极金属表面上的恒定电位,从而使得电流在从阳极面至末端(例如至晶片上的外围触点)的净电阻较小的地方电流最大。因此,尽管带槽的离子阻性元件有时被称为高阻虚拟阳极(HRVA),但这并不意味着在电化学上两者是可以互换的。在最佳操作条件下,CIRP会更接近于并且或许可以更好被称为虚拟的均一电流源,其具有源自跨越CIRP的上平面的几乎恒定的电流。而CIRP肯定可以被视为“虚拟电流源”,即,它是产生电流的平面,因此可以被认为是“虚拟的阳极”,因为它可以被看作是阳极电流产生的位置或者源,它是CIRP的相对较高的离子电阻(相对于电解液和相对于CIRP以外的

区域),其导致跨越其表面的电流几乎均匀,并且导致进一步有利的、通常优异的晶片均匀性(与具有处于相同物理位置的金属阳极相比)。该板对于离子电流的电阻随着板的各通道内所包含的电解液的特定电阻的增加(通常但不总是具有与阴极电解液相同或几乎类似的电阻)、增加的板厚度、以及减少的孔隙度(用于电流流通的横截面积较少,例如通过具有较少的相同直径的孔或者具有直径较小的相同数量的孔,等等)而增加。

[0111] CIRP 是可以为在约 2-25mm 之间的厚度的材料板块,例如为 12 毫米厚。在大量的但不是所有的实施例中,CIRP 包含非常大量的微尺寸(通常小于 0.04 英寸)的通孔,其占小于 CIRP 的体积的约 5%,所述通孔在空间上和在离子上是相互隔离的,使得它们不在 CIRP 的主体内形成互连通道。这种通孔通常被称为“非连通的通孔”。它们通常沿一个方向或维度延伸,这经常是但不是必须垂直于晶片的镀覆面(在一些实施例中,非连通孔相对于大致平行于 CIRP 前表面的晶片成一定角度)。通孔常常都是几乎互相平行。在一些实施例中,CIRP 板的厚度是不均匀的。CIRP 板可以是在边缘处比在其中心较厚,或者相反。离开晶片最远的 CIRP 的表面可以被成形为调整板的本地流体和离子流的阻力。这些孔常常被布置成正方形阵列,但导致在空间上有平均的均匀密度或孔的其它的安排也是可能的。当然孔的密度也能够变化,例如,通过使从 CIRP 中心到边缘的间隔增加(或减少),从而随着离开 CIRP 的中心的距离不同而增加(或减少)阻力。其它时候布局是处于偏移螺旋的模式。这些通孔与 3-D 多孔网络是截然不同的,其中通道在三维上延伸并形成互连孔结构,因为通孔重组与其中的表面平行的离子流和流体流并且弄直电流和流体流两者朝向晶片表面的路径。然而,在某些实施例中,具有孔的互连网络的这样的多孔板可以被用来替代 CIRP。当从板的上表面到晶片的距离小(例如,间隙为晶片半径大小的约 1/10,例如为约 5 毫米或更小)时,电流流和流体流的发散被 CIRP 通道局部限制、赋予并与其对齐。

[0112] 在某些实施例中,CIRP 包括大约与衬底的直径同延伸的台阶(例如,台阶的直径可以是在衬底直径的约 5%之内,例如在约 1%之内)。台阶被定义为在 CIRP 的对着衬底一侧的凸起部分,其与在镀的衬底大致同延伸。CIRP 的台阶部分也包括与 CIRP 的主要部分的通孔匹配的通孔。本实施例的一个例子示于图 10A 和 10B。台阶 902 的用途是降低横流歧管 226 的高度,从而增加在该区域行进的流体的速度而不必增加体积流率。台阶 902 也可以被认为是高原区,并且可以作为 CIRP206 本身的凸起区被实现。

[0113] 在许多情况下,台阶 902 的直径应该比衬底架 254 的内径稍小(例如,台阶的外径可以是比衬底保持器的内径小约 2-10 毫米)以及小于横流约束环 210 的内径。没有这一直径差(以距离(f)表示),节点就可能不期望地在杯形架 254 和 / 或横流约束环 210 与台阶 902 之间形成,流体在这里难以或不可能向上流动并进入横流歧管 226。如果是这种情况,流体就可以不期望地通过在横流约束环 210 之上和在衬底架 / 杯体 254 的底面之下的流体间隙 904 逸出。这一流体间隙 904 是作为实用性的问题而存在的,因为衬底架 254 应能够相对于 CIRP206 和电镀槽的其它元件而旋转。优选为使通过流体间隙 904 逸出的阴极电解液的量最小化。台阶 902 可具有约 2-5 毫米之间的高度,例如为约 3-4 毫米,其可对应于约 1-4 毫米之间、或约 1-2 毫米之间或小于约 2.5 毫米的横流歧管的高度。

[0114] 在台阶存在处,横流歧管的高度被作为晶片的镀覆面和 CIRP206 的突起台阶 902 之间的距离而测量。在图 10A 中,这一高度被标示为距离(e)。虽然在图 10A 中没有示出衬底,但可以理解,衬底的镀覆面将会置在衬底架 254 的唇形密封件部分 906 上。在某些实现

中,台阶具有圆形边缘,以更好地允许流体通入横流歧管。在这种情况下,台阶可包括约2-4毫米宽的过渡区域,在这里,台阶的表面被圆化/倾斜。尽管图10A没有显示圆化的台阶,但距离(g)表示这样的过渡区域将占据的地方。在这个过渡区域的径向内部,CIRP可以是平的。如图10B所示,CIRP的非隆起部分可以围绕CIRP的整个周边延伸。

[0115] 在其它的实施例中,CIRP可包括在其上表面上的突出部的集合。突出部被定义为被放置/附着在CIRP的面对衬底的一侧的结构,其延伸进入在CIRP平面与晶片之间的横流歧管。CIRP平面(也称为离子阻性元件面)被定义为CIRP的顶表面,但不包括任何突出部。CIRP平面是突出部连接到CIRP的地方,也是流体离开CIRP进入横流歧管的地方。这个实施例的例子示于图1A和图11。图1A示出了具有垂直于横流方向定向的突出部151的CIRP150的等距视图。图11示出了具有带有突出部908的CIRP206的电镀装置的入口部分的特写视图。CIRP206可包括没有突出部的周边区域,以允许阴极电解液向上通行和进入横流歧管226。这一外围设备的非突出部区域可具有上述的与台阶和杯形架之间的距离相关的宽度。在许多情形中,突出部基本上与被镀衬底的镀覆面同延伸(例如,在CIRP的突出部区域的直径可在衬底直径的约5%之内,或在约1%之内)。

[0116] 突出部可以以各种不同的方式定向,但在许多实现中,突出部是以位于CIRP中的孔列之间的长而薄的肋的形式,并且定向为使得突出部的长度与穿过横流歧管的横流垂直。在CIRP孔列之间具有细长的突出部的CIRP的特写视图如图12所示。突出部改变与晶片相邻的流场,以提高到晶片的传质和改善在晶片的整个面上的传质均匀性。在某些情况下,突出部可被加工进入现有的CIRP板中,或者它们可以在与CIRP被制造的同一时间形成。如图12所示,突出部可被布置为使得它们不堵住现有的一维CIRP通孔910。换句话说,突出部908的宽度可以小于在CIRP206中的每一列孔910之间的距离。在一个例子中,CIRP孔910中心到中心相隔2.69毫米,并且孔的直径为0.66毫米。因此,突出部将小于约2毫米宽( $2.69 - 2 * (0.66/2)$ 毫米=2.03毫米)。在某些情况下,突出部可小于约1毫米宽。在某些情况下,突出部具有至少为约3:1的长宽比。

[0117] 在许多实现中,突出部被定向为使得其长度垂直于或基本上垂直于穿过晶片表面的横流的方向(有时在本文中也简记为“z”的方向)。在某些情况下,突出部以不同的角度或以不同的角度系列定向。

[0118] 可以使用各种各样的突出部的形状、大小和布局。在一些实施例中,突出部具有基本上垂直于CIRP的面的面,而在其它的实现中,突出部具有被定位成相对于CIRP的面成一定角度的面。在又另一实施例中,突出部可以被成形为使得它们没有任何平坦的面。一些实施例可以采用各种突出部的形状和/或尺寸和/或定向。

[0119] 图13提供了作为CIRP206上的突出部908的横截面示出的突出部形状的例子。在一些实施例中,突出部通常是矩形的。在其它实施例中,突出部是三角形、圆柱形或它们的某种组合。突出部也可大致为带有机械加工的三角形尖端的矩形。在某些实施例中,突出部可以包括贯穿它们的孔,其定向基本上平行于穿过晶片的横流的方向。

[0120] 图14提供了具有不同类型的通孔的突出部的几个例子。通孔也可以被称为流量调节结构、切口或切口部分。通孔有助于扰乱流动模式,使得流在所有方向上(x方向、y方向和z方向)盘旋。例(a)示出了具有顶部矩形图案切口的突出部,例(b)示出了具有底部矩形图案切口的突出部,例(c)示出了具有中间部矩形图案切口的突出部,例(d)示出了具

有一系列圆形 / 椭圆形图案孔的切口的突出部, 例(e) 示出了具有一系列菱形图案孔的切口的突出部, 以及例(f) 示出了具有顶部和底部交替的梯形图案切口的突出部。这些孔可以是水平地相互成直线, 或者如例(d) 和(f) 所示, 它们可以相互偏移。

[0121] 图 15 示出了与图 14 的例(e) 的实施例相似的、具有交替类型的切口的突出部 908 的例子。在这里, 使用了两种类型的切口, 称作第一切口 921 和第二切口 922。在这个实施例中, 第一切口 921 是在突出部 908 的底部, 第二切口 922 是在突出部 908 的顶部。整体的突出部可以具有大约为 1-5 毫米的高度(a) 和大约为在 0.25-2 毫米之间的厚度(b)。第一切口可具有大约为在 0.2-3 毫米之间的高度(c) 和大约为在 2-20 毫米之间的长度(d)。位于突出部 908 的顶部上的第二切口 922 也可以具有大约为在 0.2-3 毫米之间的高度(e) 和大约为在 2-20 毫米之间的长度(f)。在相邻的第一切口 921 之间的距离(g) (即, 第一切口部 921 的间隔) 可以是在约 4-50 毫米之间。在相邻的第二切口 922 之间的距离(h) (即, 第二切口的间隔) 也可以是在约 4-50 毫米之间。提供了这些尺寸以便于理解, 它们不是意在限制。晶片平面(w) 被示为在突出部 908 之上。在附着在 CIRP 上的突出部 908 的基部和晶片平面(w) 之间是横流歧管 226。

[0122] 图 16 示出了具有如图 15 所示的突出部 908 类型的 CIRP206 的实施例。在图 16 中还示出了横流约束环 210。普通技术人员应当理解, 在所公开的实施例的范围内, 可以使用多种不同类型的突出部和切口。

[0123] 一些实施例可利用具有间隙(有时也被称为非突出部间隙) 的突出部, 使得两个或两个以上的单独的 / 不连续的突出部位于同一列的 CIRP 孔中。图 17 示出了具有带有非突出部间隙 912 的突出部 908 的 CIRP206 的一个例子。在突出部 908 中的间隙 912 可以被设计为使得它们基本上在横流方向不相互对准。例如, 在图 17 中, 在相邻列的突出部 908 之间, 间隙 912 相互不对齐。间隙 912 的这种有目的的不对齐可能有助于鼓励在横流歧管中的撞击流和横流混合, 以促进均匀的电镀效果。

[0124] 在一些实施例中, 在 CIRP 的每一列孔之间有突出部, 而在其它实现中, 可能有较少的突出部。例如, 在某些实施例中, 可能是每隔一列 CIRP 孔有突出部, 或每四列 CIRP 孔有突出部, 等等。在另外的实施例中, 突出部的位置可能是更随机的。

[0125] 优化突出部的一个相关参数是突出部的高度, 或与此相关地, 在突出部的顶部与晶片表面的底部之间的距离, 或 CIRP 的突出部高度与晶片通道高度的比率。在某些实施例中, 突出部是在大约 2-5 毫米高之间, 例如为约 4-5 毫米高。在隆起部的顶部与晶片的底部之间的距离可以是在大约 1-4 毫米之间, 例如为约 1-2 毫米, 或小于约 2.5 毫米。突出部的高度与横流歧管的高度之比可以为在约 1:3 和 5:6 之间。在突出部存在的地方, 横流歧管的高度是作为在晶片的镀覆面和 CIRP 的平面之间的距离来测量的, 但不包括任何突出部。

[0126] 图 18 示出了具有位于 CIRP206 的孔 910 之间的突出部 908 的 CIRP206 的特写剖视图的一个例子。横流歧管 226 占据在晶片平面(w) 和 CIRP 平面 914 之间的空间。横流歧管 226 可以具有在大约为 3-8 毫米之间的高度, 例如在约 4-6 毫米之间。在特定的实施例中, 该高度是约 4.75 毫米。突出部 908 被置于 CIRP206 中的孔 910 的列之间, 并具有如上所述的小于横流歧管 226 的高度(a) 的高度(b)。

[0127] 图 19 示出了具有以不同的方式导向的突出部 908 的 CIRP206 的一个替代实施例的简化俯视图。在本实施例中, 每一个突出部 908 是由两个部分 931 和 932 制造的。为清

楚起见,只有一个突出部和一组突出部部分加了标记。部分 931 和 932 定向为相互垂直,并且具有是相同的或大体相似(例如,彼此相差在约 10%之内)的长度。在其它实施例中,这些部分 931 和 932 可以定向为相对于其它有不同的角度,并且可以有不同的长度。在另外的实施例中,两个部分 931 和 932 可以彼此断开,使得有两种(或更多种)不同类型的突出部,每一个相对于横流成角度地定向。在图 19 中,如图所示,横流的方向是从左向右的。突出部 908 的每一个部分 931 和 932 相对于横流以某一角度定向,如角度(a)和(b)所示。二等分角度(a)和(b)的线是意在表示横流的总体方向。在某些情况下,这些角度是相同的或基本相似的(例如,相互在约 10%之内)。因为突出部 908 不单独定向在垂直于横流的方向上,所以本实施例与例如图 1A 中所示例不同。然而,因为角度 a 和 b 是基本相似的,并且因为突出部部分的长度基本相似,所以突出部平均而言可被认为是定位于与横流的方向垂直。

[0128] 在各种情况下,CIRP 是由固体的非孔的电介质材料制作的板块,该电介质材料呈离子和电阻性。该材料在使用的电镀液中也是化学稳定的。在某些情况下,CIRP 是由陶瓷材料(例如,氧化铝、氧化锡、氧化钛或金属氧化物的混合物)或塑料材料(例如,聚乙烯、聚丙烯、聚偏氟乙烯(PVDF)、聚四氟乙烯、聚砜、聚氯乙烯(PVC)、聚碳酸酯等)制成的,具有在约 6000 和 12000 之间的非连通的通孔。在许多实施例中,该板块基本上是与晶片同延伸的(例如,在与 300mm 晶片一起使用时,CIRP 板块具有是约 300 毫米的直径),并驻留在靠近晶片处,例如,在晶片朝下的电镀装置中是在晶片正下方。优选地,晶片的镀覆面驻留在最接近的 CIRP 表面的约 10 毫米之内,更优选地,在约 5 毫米之内。为此,带槽的离子阻性板的上表面可以是平坦或基本平坦的。在某些情况下,带槽的离子阻性板的上表面和底面都是平坦或基本平坦的。

[0129] CIRP 的另一个特征是通孔的直径或主要尺寸以及其与 CIRP 和衬底之间的距离的关系。在某些实施例中,每一个通孔(或绝大多数通孔,或通孔的平均直径)的直径不大于大约从电镀晶片表面到 CIRP 的最近表面的距离。因此,在这样的实施例中,在 CIRP 被置于离开电镀晶片表面约 5 毫米之内时,通孔的直径或主要尺寸应不超过约 5 毫米。

[0130] 如上所述,板的整体的离子和流的阻性取决于板的厚度和孔的总体孔隙率(可用于通过板的面积的比例)和尺寸/直径。低孔隙度的板将有更高的冲击流速和离子阻性。比较相同孔隙度的板块,因为有更多单独的电流源,具有较小直径的一维孔(并因此有较大数量的一维孔)将在晶片上有电流的更微观均匀分布,其多作为可分散于相同的间隙中的点源起作用,也将具有较高的总压力降(高粘性流阻性)。

[0131] 然而,在某些情况下,如上所述,离子电阻板是多孔的。在板中的孔可以不形成独立的一维通道,但可以反而形成可能互连或可能不互连的贯通孔网。应当理解,如本文所用的,除另有说明外,术语带槽的离子阻性板(CIRP)和带槽的离子阻性元件旨在包括本实施例。

#### 通过通孔的垂直流

[0132] 接近于晶片的离子阻性但离子可渗透元件(CIRP) 206 的存在大大降低了终端效果,在终端效应是操作相关的某些应用中提高了径向电镀的均匀性,例如,相对于在槽的阴极电解液中的电流阻性而言,在籽晶层中的电流阻性大。CIRP 还同时提供通过作为流扩散歧管板起作用而在晶片表面上具有引导向上的电解液的在空间上基本上为均匀的撞击流。重要的是,如果将相同的元件放置得离晶片更远,则离子流的均匀性和流的改进变得显

著地不明显或根本不存在。

[0133] 此外,由于非连通的通孔不允许在 CIRP 内的离子流或流体运动的横向运动,故中心到边缘的电流和流运动被阻在 CIRP 之内,导致在径向电镀均匀性上有进一步的改善。

[0134] 值得注意的是,在一些实施例中,CIRP 板可以主要或专门用作槽间的电解液流阻、流控从而流整形的元件,有时也被称作涡轮增压板(turboplate)。不管板是否例如通过平衡终端效果和 / 或调制与槽内的流连接在一起的电镀添加剂的电场或动力学阻力调节径向沉积的均匀性,都可以使用这一设定。因此,例如,在 TSV 和 WLP 电镀中,其中种子金属厚度一般较大(如大于 1000 埃米厚)并且金属以非常高的速率被沉积,电解液流的均匀分布是非常重要的,而从晶片种子内的欧姆电压降产生的径向非均匀性控制可能不太需要去补偿(至少部分地,这是因为使用较厚的种子层时,从中心到边缘的不均匀性是较不严重的)。因此,CIRP 板可被称为离子阻性离子可渗透元件并作为流整形元件,并且能够通过改变离子电流的流动或改变材料的对流或改变二者起沉积速率纠正的功能。

#### 晶片和带槽板之间的距离

[0135] 在某些实施例中,晶片保持器和相关的定位机构保持旋转晶片使其非常接近于带槽的离子阻性元件的平行的上表面。在电镀期间,衬底通常被放置成使得它与离子阻性元件平行或大致平行(例如,在约  $10^\circ$  之内)。虽然衬底在其上可具有某些特征,但在确定衬底和离子阻性元件是否大体上平行时,只有衬底的大致为平面的形状才被考虑。

[0136] 在典型的情形中,间隔距离是约 1-10 毫米,或约 2-8 毫米。板到晶片的这个小的距离可以在特别靠近晶片旋转的中心的、与模式的各个孔的附近“图像”相关联的晶片上制造电镀模式。在这样的情况下,电镀环的模式(厚度或所镀纹理)可能会在靠近晶片中心处产生。为了避免这种现象,在一些实施例中,能够将 CIRP 中(特别是在晶片中心处和靠近晶片中心处)的各个孔构造为具有特别小的尺寸,例如小于板到晶片的间隙的约五分之一。当与晶片转动在耦合一起时,小的孔隙尺寸允许作为射流从板上来的冲击流体的流速进行时间平均化,并减少或避免了小规模的非均匀性(例如,微米量级的那些)。尽管有上述预防措施,根据所使用的电镀槽的性质(例如,特定的金属沉积、电导率和所使用的浴添加剂),在某些情况下,在微观不均匀的模式下沉积可能易于作为变化厚度的时间平均曝光和近程成像模式(例如,以围绕晶片中心的“牛眼”的形状)并对应于所用的各个孔模式而发生(例如,形成中心环)。如果有限孔模式创建了不均匀并且影响沉积的冲击流模式,这种情况就可能发生。在这种情况下,已经发现了引导横流穿过晶片中心和 / 或修改恰在中心处和 / 或中心附近的孔的常规模式都在很大程度上消除了否则会在那里发现的微观非均匀性的任何迹象。

#### 带槽板的孔隙率

[0137] 在各个实施例中,带槽的离子阻性板具有足够低的孔隙率和孔的尺寸,以提供在正常运转的体积流速率下的粘性流阻性的排气回压和高的垂直冲击流的速率。在某些情况下,约 1-10% 的带槽离子阻性板是允许流体到达晶片表面的开放区域。在特定的实施例中,约 2-5% 的板是开放区域。在一个具体的例子中,板 206 的开放区域为约 3.2%,总的有效开口横截面面积为约 23 平方厘米。

#### 带槽板的孔的尺寸

[0138] 带槽的离子阻性板的孔隙度能够以多种不同的方式来实现。在各个实施例中,它



是以许多小直径的垂直孔实现的。在某些情况下,板不是由单个的“钻”孔构建的,而是由连续的多孔材料的烧结板构建的。这样的烧结板的一个例子在美国专利号 6964792[代理人案卷 NOVLPO23] 中有描述,在此通过引用将其整体引入本文。在一些实施例中,钻的非连通孔具有约 0.01 至 0.05 英寸的直径。在一些例子中,孔具有约 0.02 至 0.03 英寸的直径。如上所述,在各个实施例中,孔具有最多为带槽的离子阻性板与晶片之间的间隙距离的约 0.2 倍的直径。孔横截面一般是圆形,但不必需如此。此外,为了减轻结构,在板中的所有孔可以具有相同的直径。然而,不是必须如此,当特定需要可能要求时,孔的个体大小和局部密度可随板表面而改变。

[0139] 作为一个例子,一个由合适的陶瓷或塑料材料(一般是电介质绝缘和机械坚固的材料)制成的实心板在其中具有所提供的大量的小孔,例如至少为约 1000 个或至少为约 3000 个或至少为约 5000 个或至少为约 6000 个(已发现 9465 个 0.026 英寸直径的孔有用)。如所提到的那样,一些设计有约 9000 个孔。板的孔隙率通常小于约 5%,使得有必要建立高冲击速度的总的流速并不大。与较大的孔相比较,使用较小的孔有助于在整个板上创建一个大的压降,帮助通过板创建更均匀的上升速度。

[0140] 一般地,在带槽的离子阻性板上的孔的分布有均匀的密度,是非随机的。然而,在某些情况下,孔的密度可以改变,特别是在径向方向上。在一个具体的实施例中,如下面详细描述的那样,在引导流体朝向旋转的衬底的中心的板的区域,有孔的更大的密度和/或直径。此外,在一些实施例中,在旋转晶片的中心处或接近旋转晶片的中心处引导电解液的孔可能诱发流相对于晶片的表面不呈直角。此外,在这个区域中的孔模式可以具有非均匀电镀“环”的随机分布或部分地随机分布,以解决在有限数量的孔与晶片旋转之间的可能的相互作用。在一些实施例中,接近分流器或约束环的开口部分的孔密度比处于更远离所连接的分流器或约束环的开口部分的带槽的离子阻性板的区域的孔密度低。

[0141] 应理解,此处所描述的配置和/或方法本质上是示例性的,并且这些具体实施例或例子不认为是具有限制性的意义,这是因为有许多变化都是可能的。本文所描述的具体例程或方法可表示任意数目个处理策略中的一个或多个。因此,所示的各个动作可以以所示的顺序、以其它的顺序或并行地进行,或者在某些情况下被省略。类似地,上面说明的过程的顺序可以改变。

[0142] 本发明的主题包括在本文所公开的各种过程、系统、配置以及其它特征、功能、动作和/或属性的所有新颖的和非显而易见的组合和子组合以及其任何的和所有的等同物。

#### 实施例和实验

[0143] 模拟结果和晶片上的实验结果表明,所公开的实施例可大幅提高电镀过程的均匀性。图 20 介绍了铜电镀的一些实验结果的概要。测试了在两个不同的沉积速率的每一个上的两个不同的 CIRP 设计(带有突出部和不带突出部)。

[0144] 第一 CIRP 设计是在其中没有使用台阶或突出部的控制设计。第二 CIRP 设计包括定位在 CIRP 孔的相邻列之间定位、在垂直于横流的方向上定向的 2.5 毫米高的突出部的集合。横流歧管的高度为约 4.75 毫米。测试的两个铜沉积速率为 2.4  $\mu\text{m}/\text{min}$  和 3.2  $\mu\text{m}/\text{min}$ 。换句话说,在每一个实验期间递送的流是沉积所需要的流的大小,平均为约 2.4 或 3.2  $\mu\text{m}/\text{min}$  的金属。在实验中使用的电镀化学是来自康涅狄格州西黑文的乐思化学公司(Enthone)的 SC40 化学品,其拥有约 140g/L 的硫酸浓度和约 40g/L 的铜离子( $\text{Cu}^{2+}$ )浓度

(来自硫酸铜)。在阴极电解液中的 R1 和 R2 添加剂的浓度分别为 20mL/L 和 12mL/L。阴极电解液的流速为约 20L/min。衬底以约 4RPM 的速度旋转。在横流约束环的上表面和电镀杯体的下表面之间的流体间隙为约 0.5mm。电镀处理在约 30°C 下运行。在穿越每一个晶片的表面的多个不同位置处测量电镀后的凸点高度。

[0145] 在所有的情况下,凸点高度都是在晶片边缘附近稍厚在靠近晶片的中心处稍薄。然而,在两个沉积速率下,都是带有突出部的 CIRP 的厚度变化比控制 CIRP 的小。因此,带有突出部的 CIRP 显示了在凸点高度厚度分布上的明显改善。控制的情况和凸起部的情况的共面性基本上相同,但预期在剧烈的质量传输(例如,对铜为淀积速率  $>4 \mu\text{m}/\text{min}$ )的条件下是突出部为佳。对给定的模具,模具的共面性被定义为  $(1/2 \times (\text{最大隆起高度} - \text{最小隆起高度}) / \text{平均隆起高度})$ 。在图 20 中报告的晶片的共面性是给定晶片的所有模具共面的平均。这种情况下,对特定的测试晶片,有大约为 170 个模具。

[0146] 其它的模拟结果表明,突出部的有效性被包括在美国临时申请号 61/736499 中,通过在上面引用的方式将其并入。

#### 其它的实施例

[0147] 虽然上面是具体实施例的完整描述,但也可以使用各种修改、替换构造物以及等同方案。因此,上面的说明和附图不应被视为限制由所附的权利要求书所限定的本发明的范围。

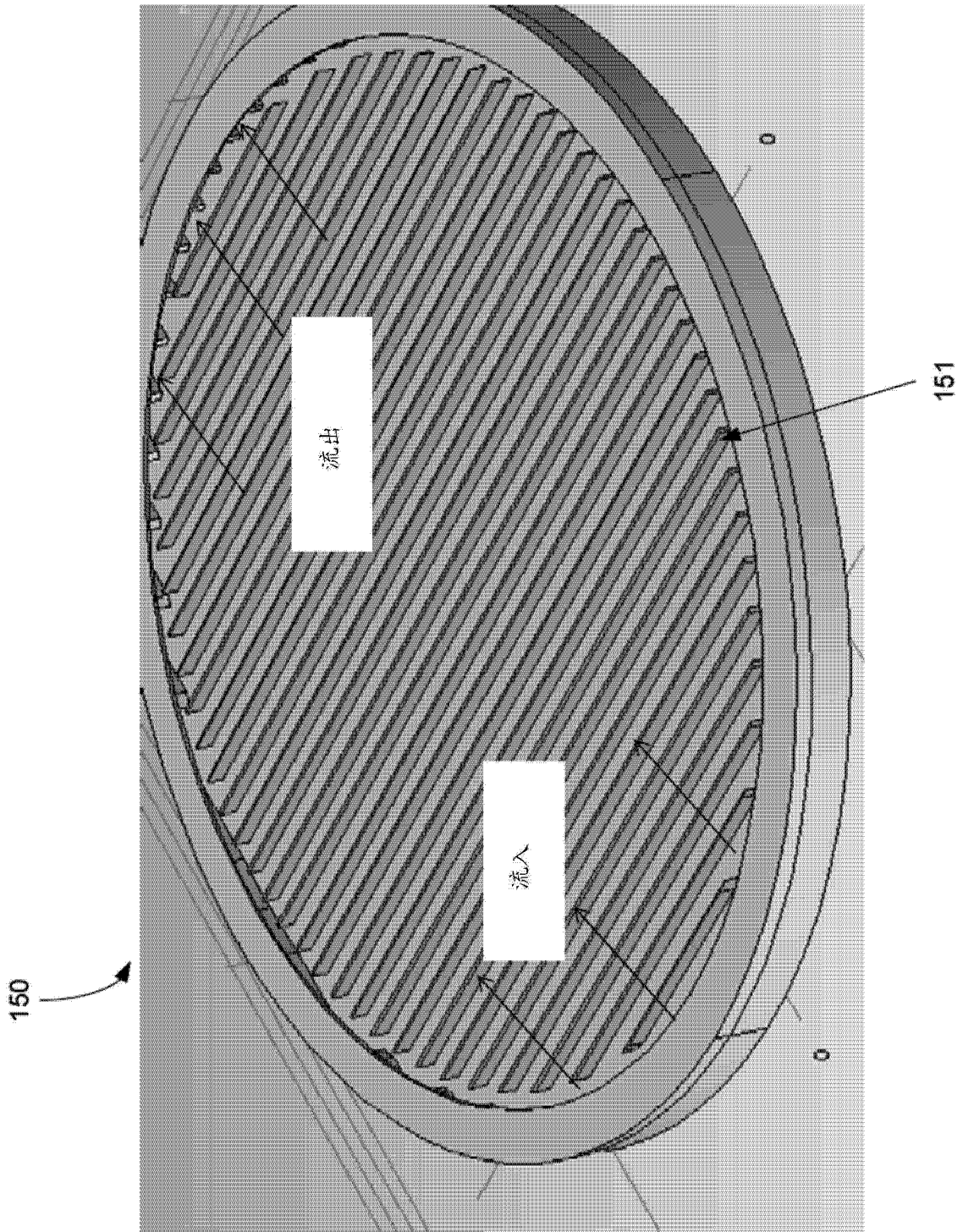


图 1A

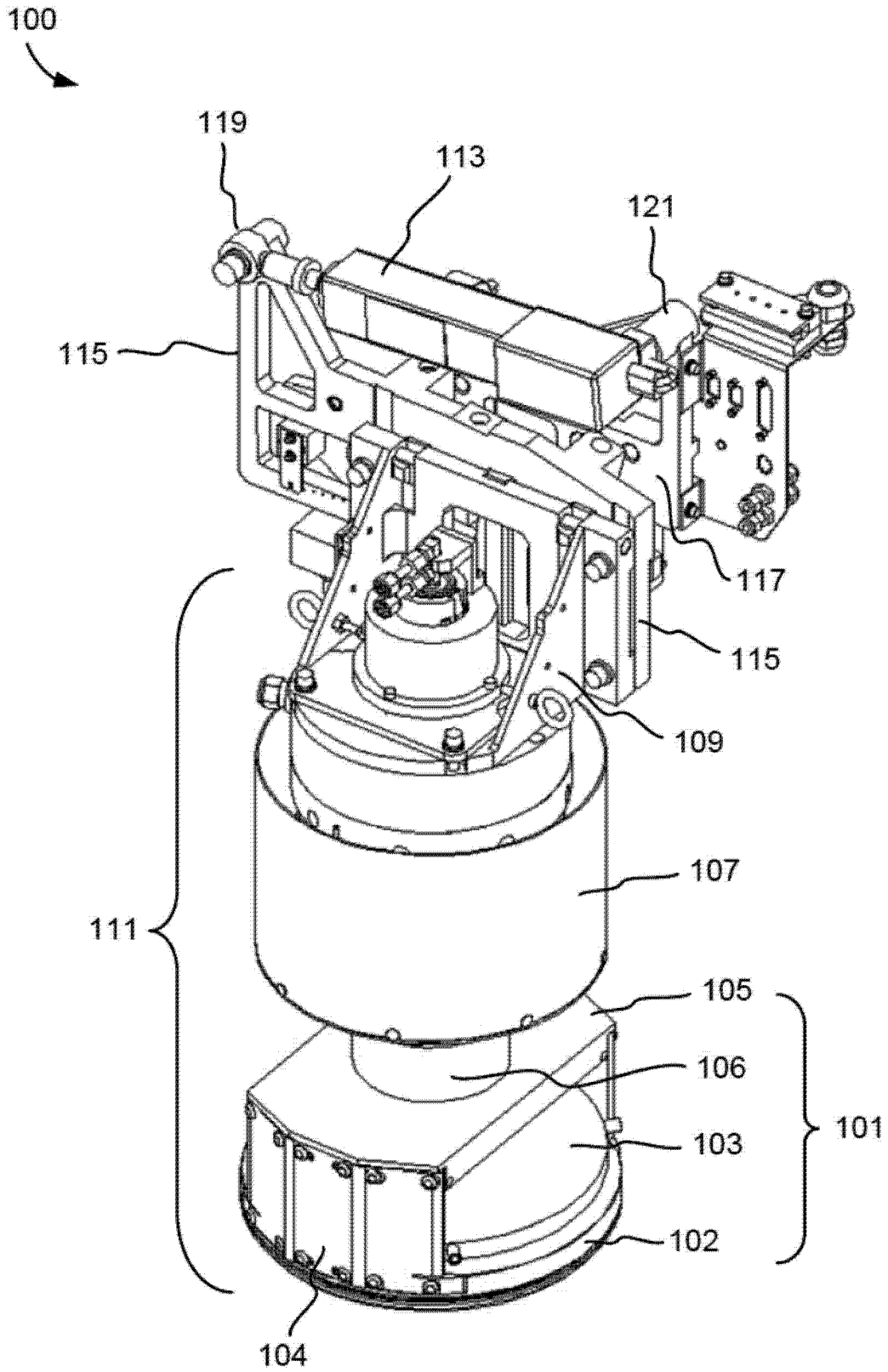


图 1B

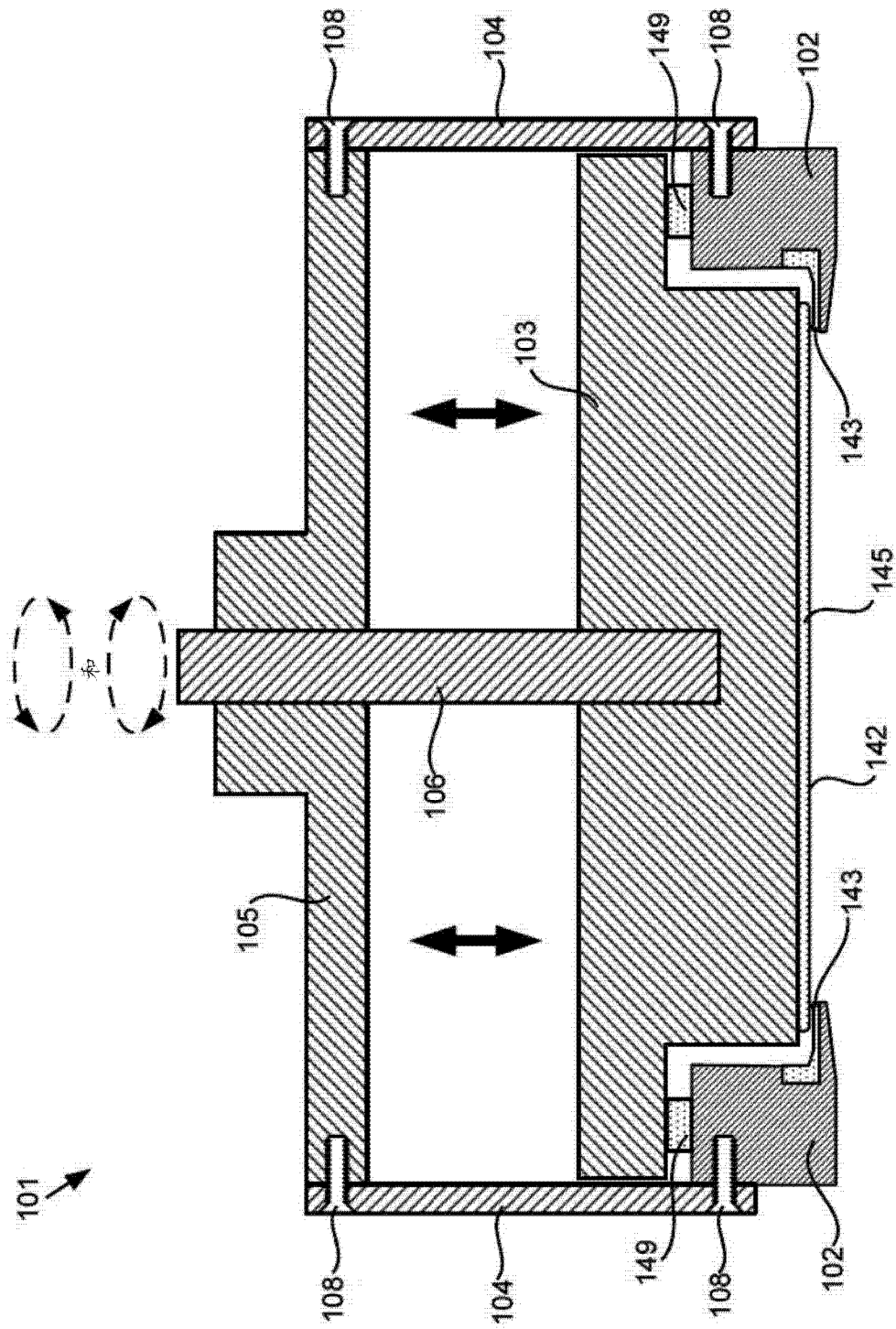


图 1C

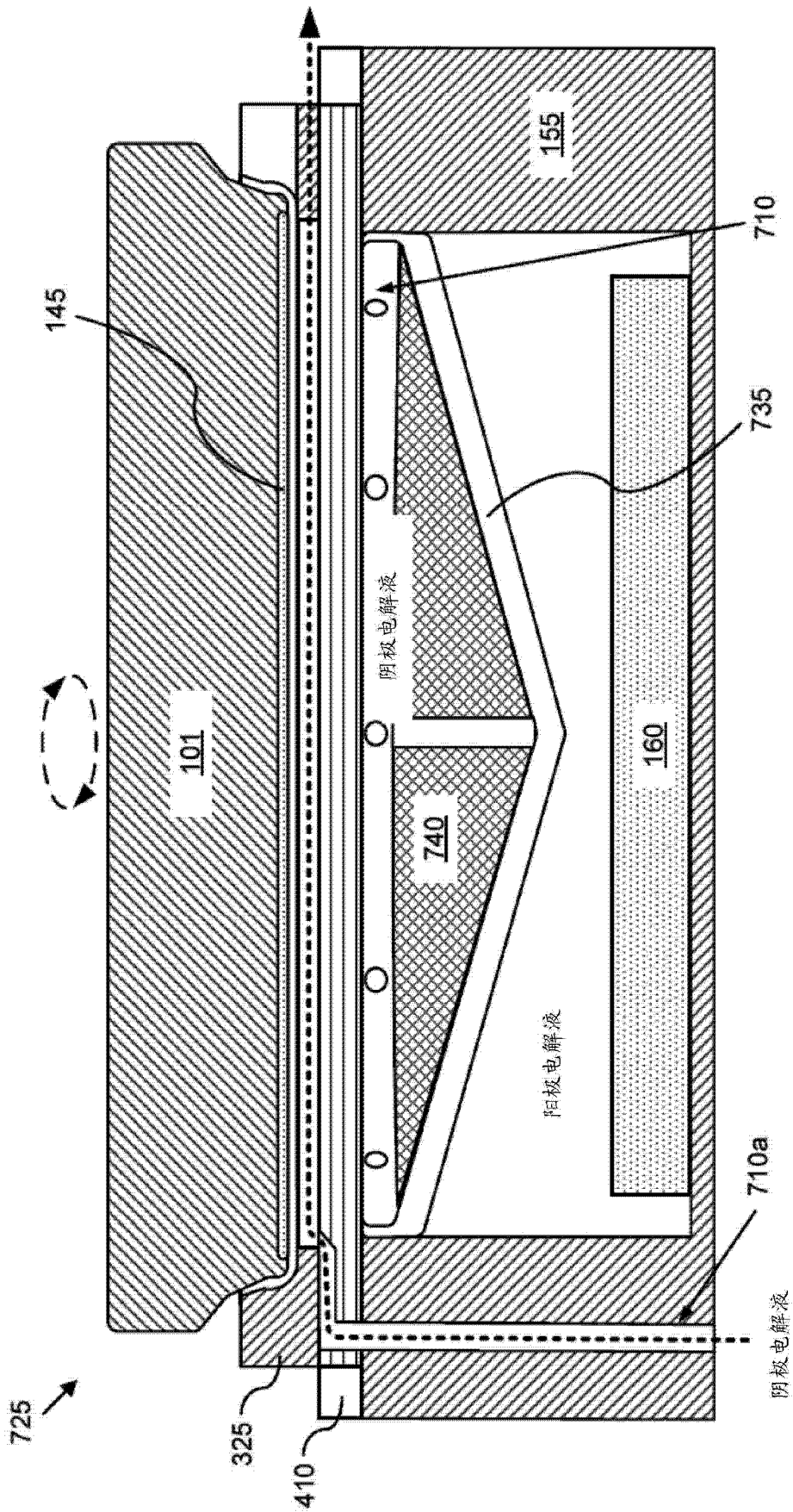


图 1D

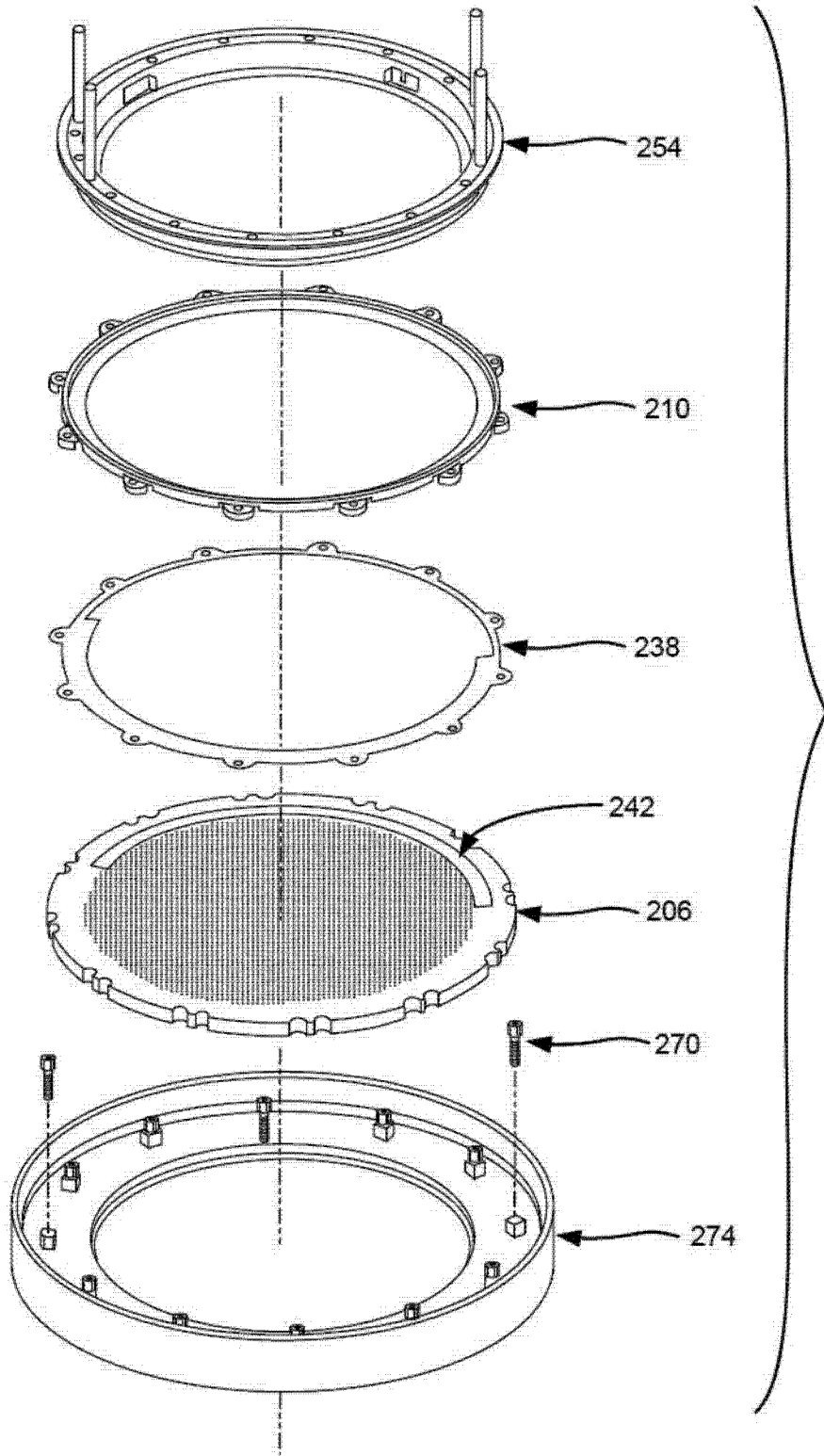


图 2

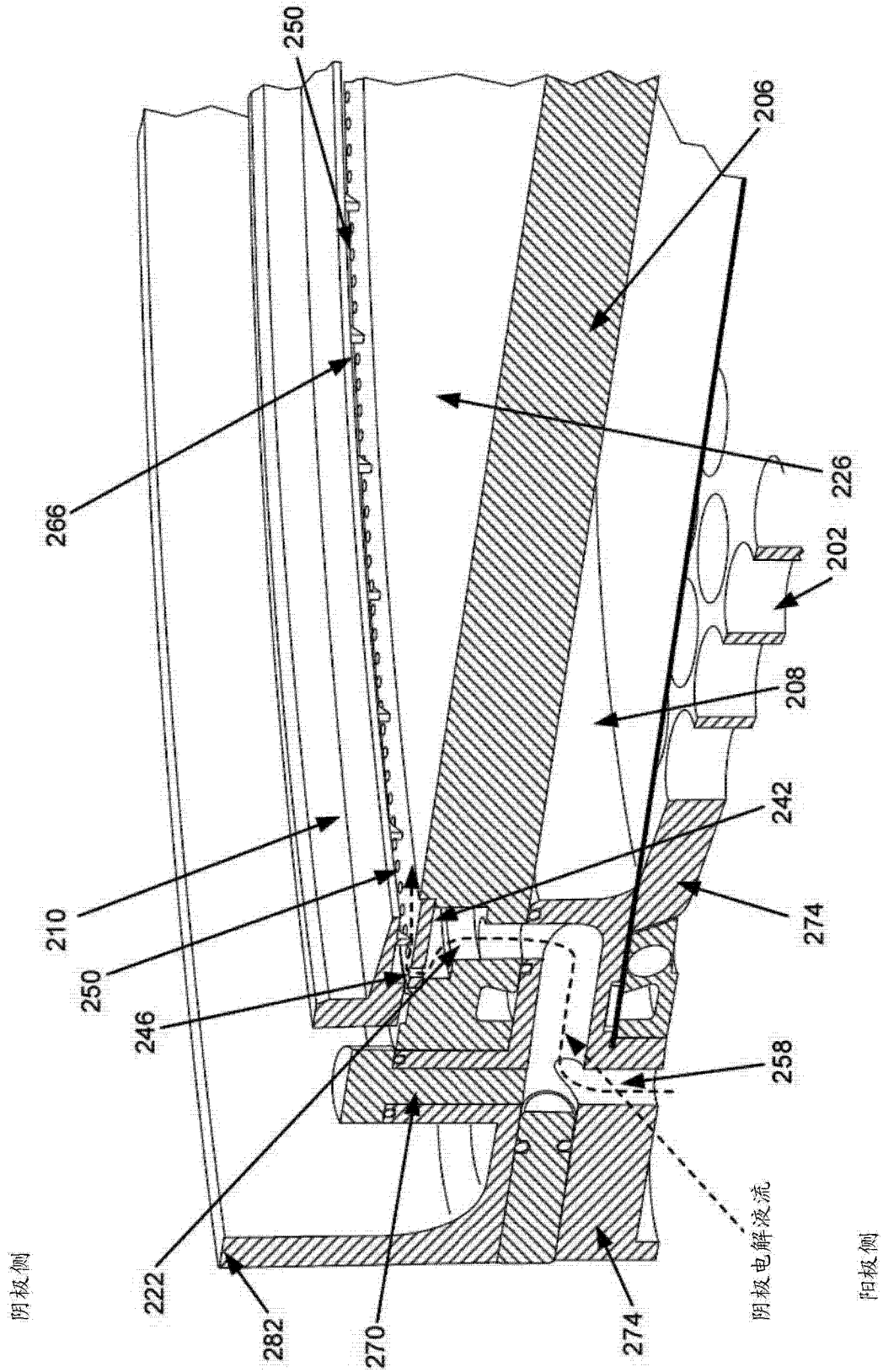


图 3A



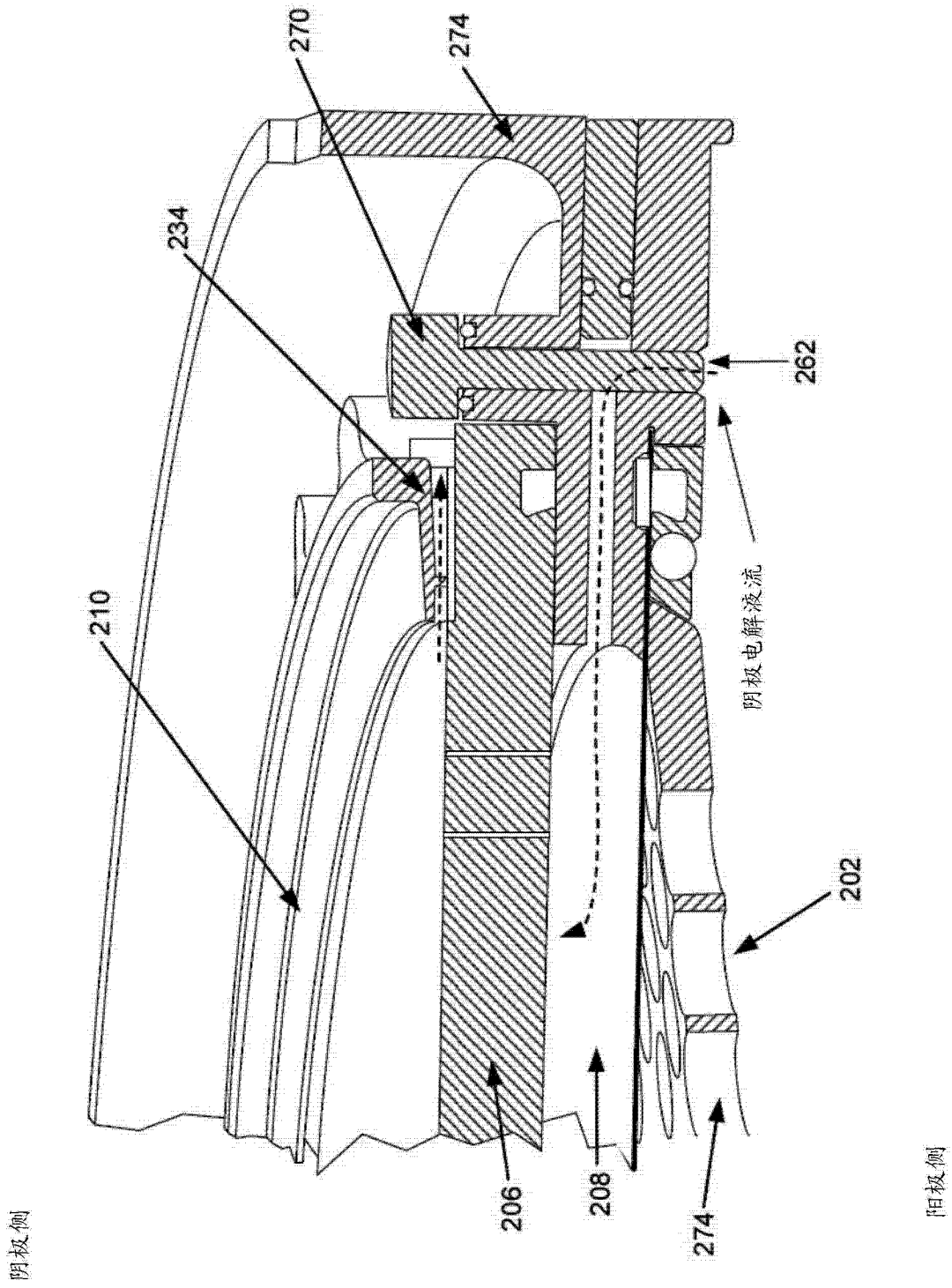


图 3B

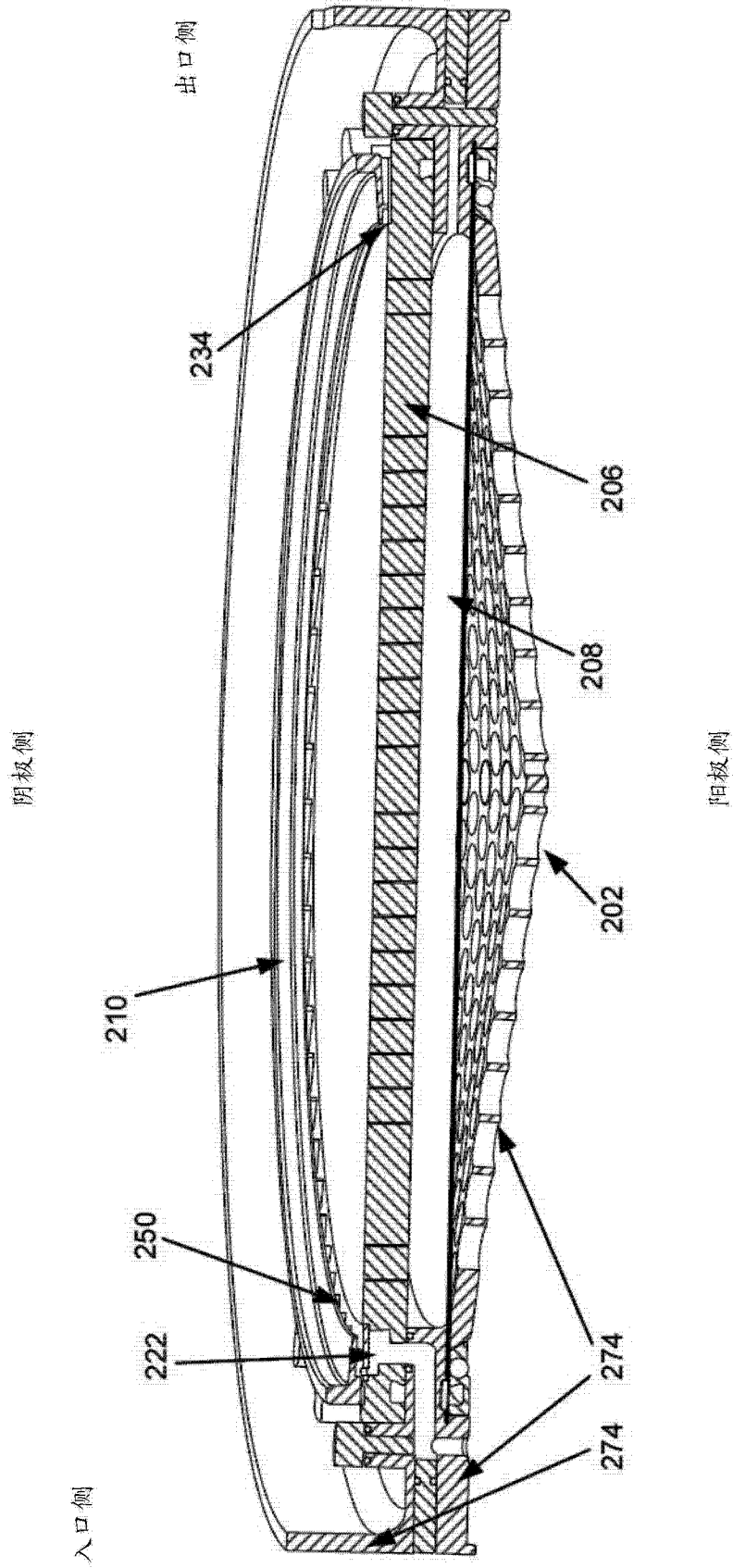


图 4

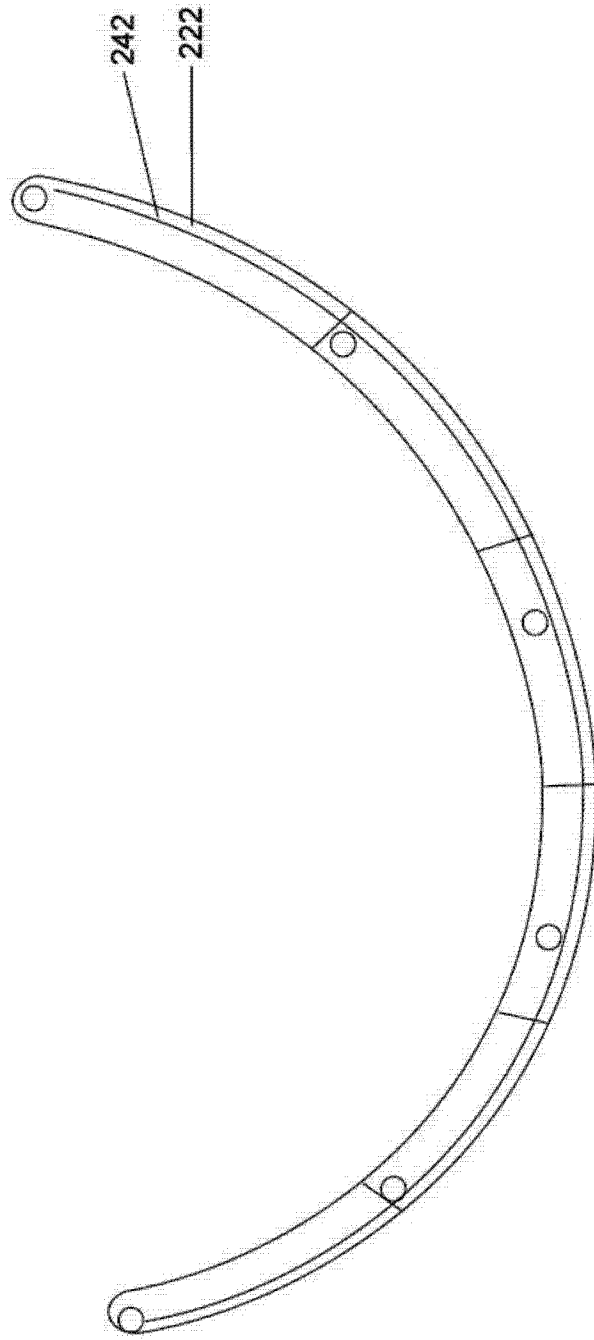


图 5

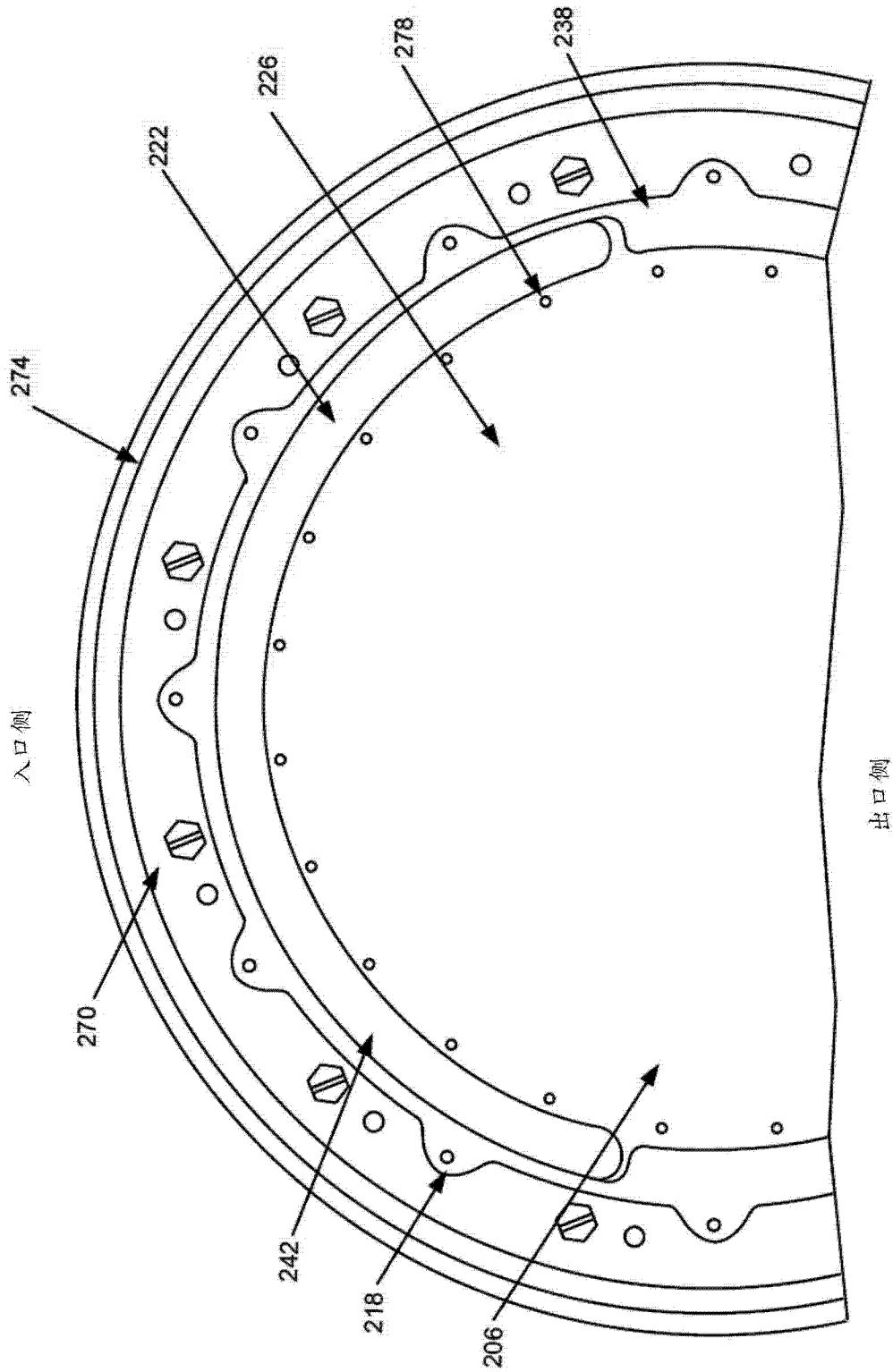


图 6

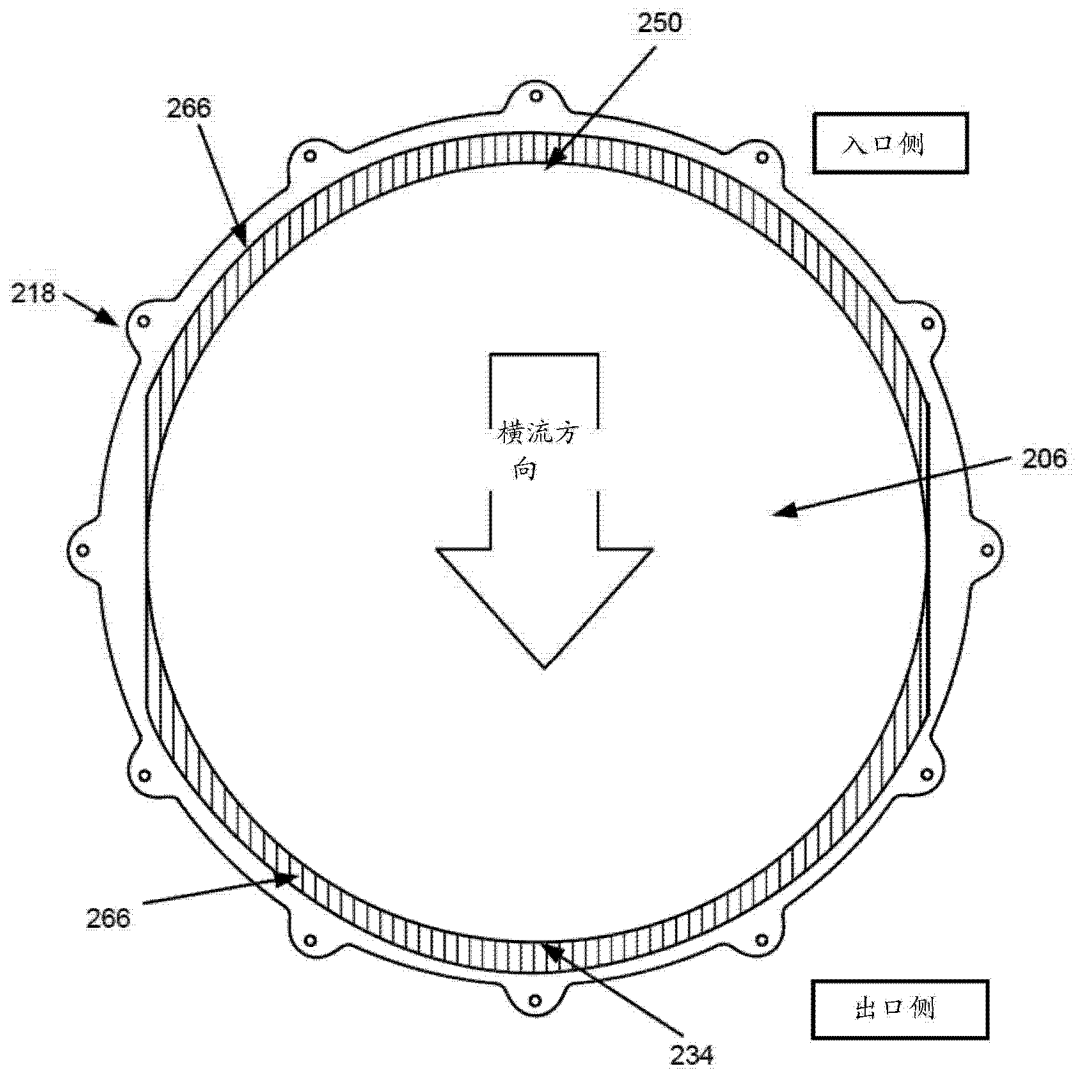


图 7

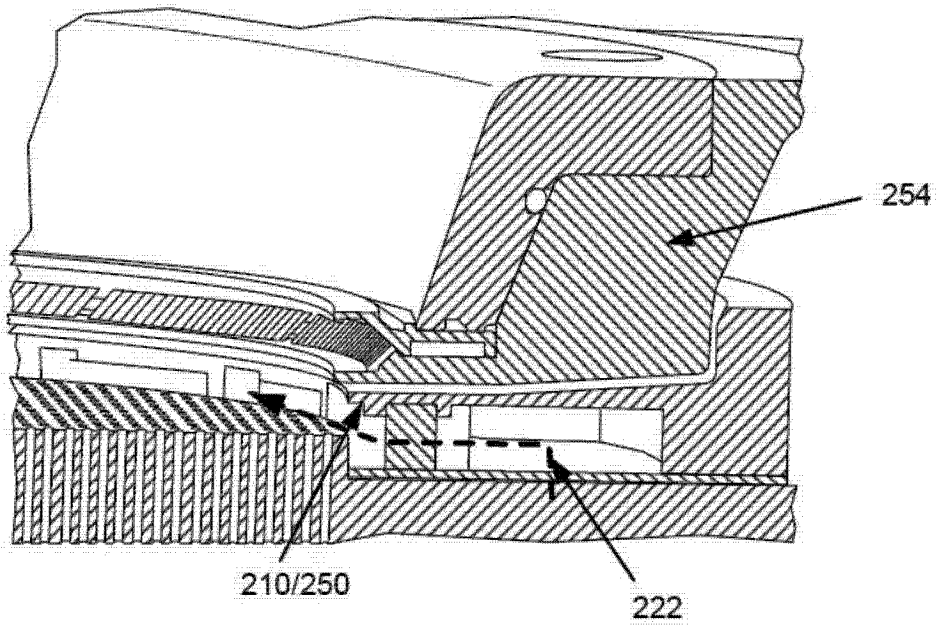


图 8A

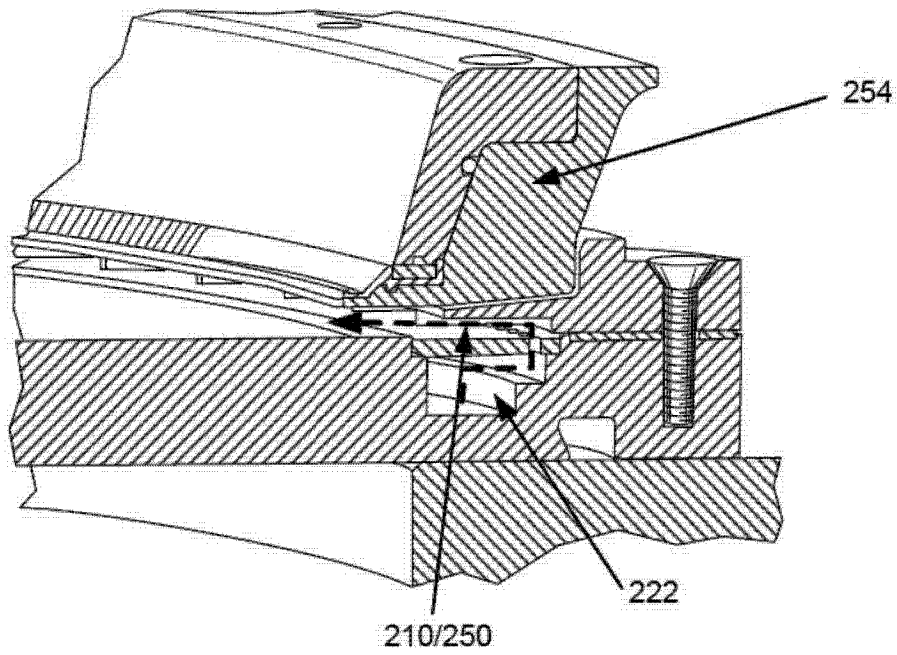


图 8B

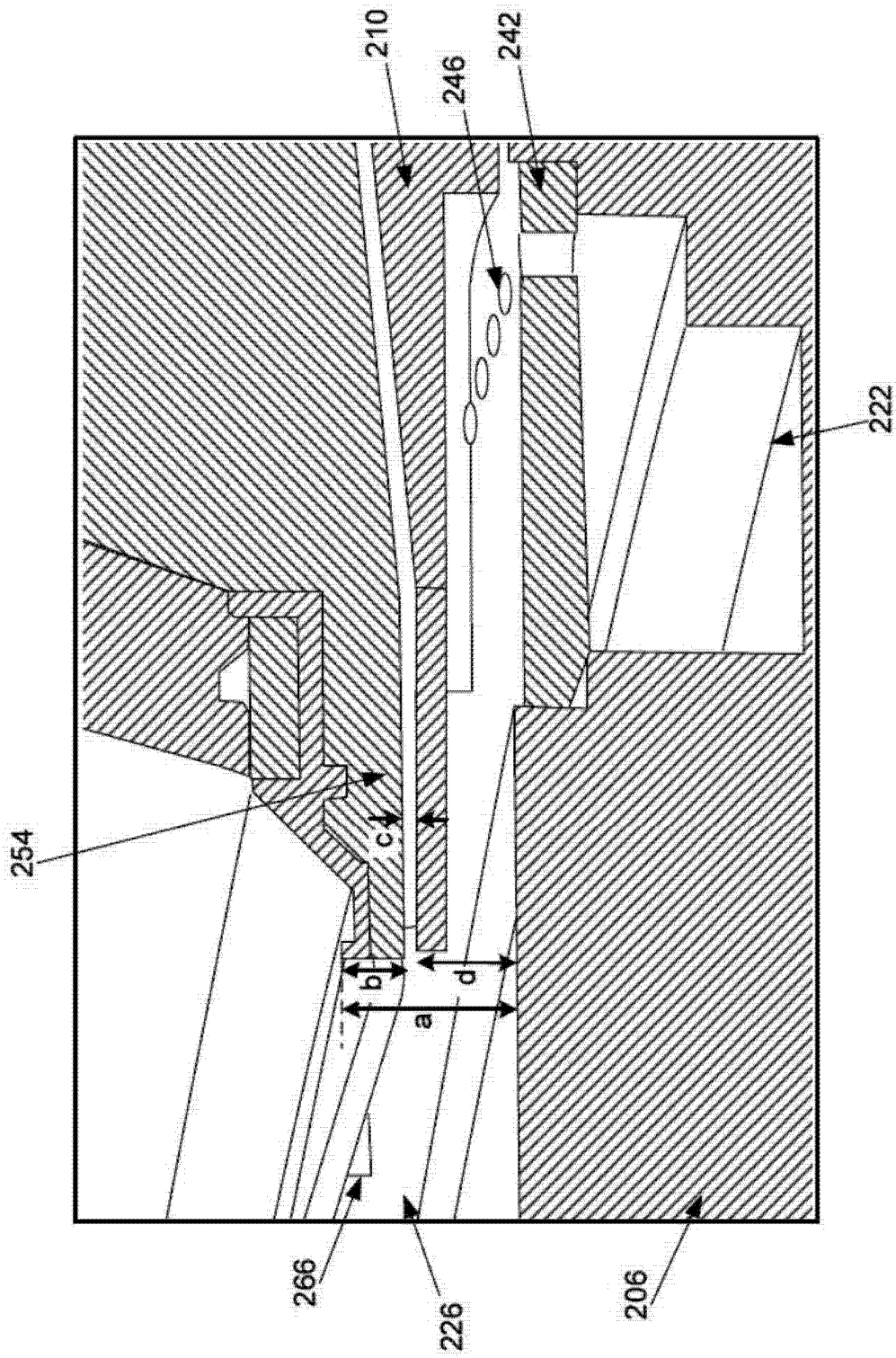


图 9

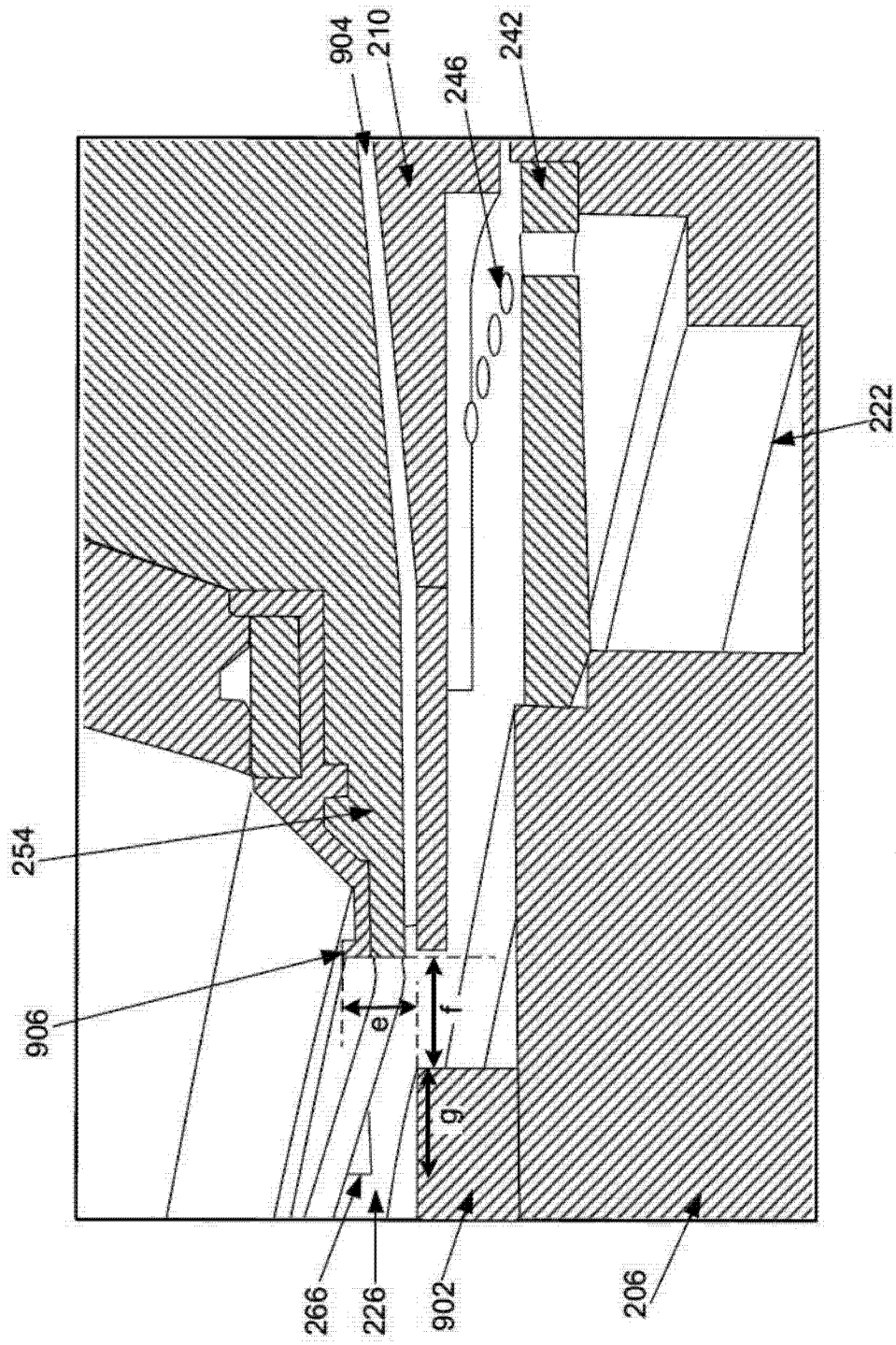


图 10A



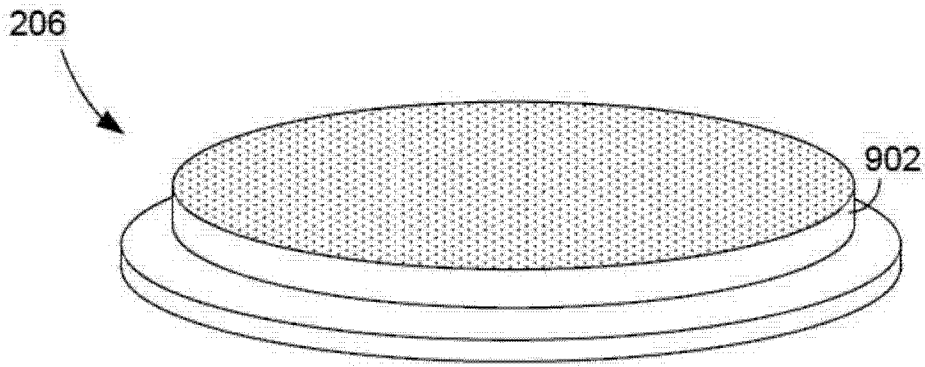


图 10B

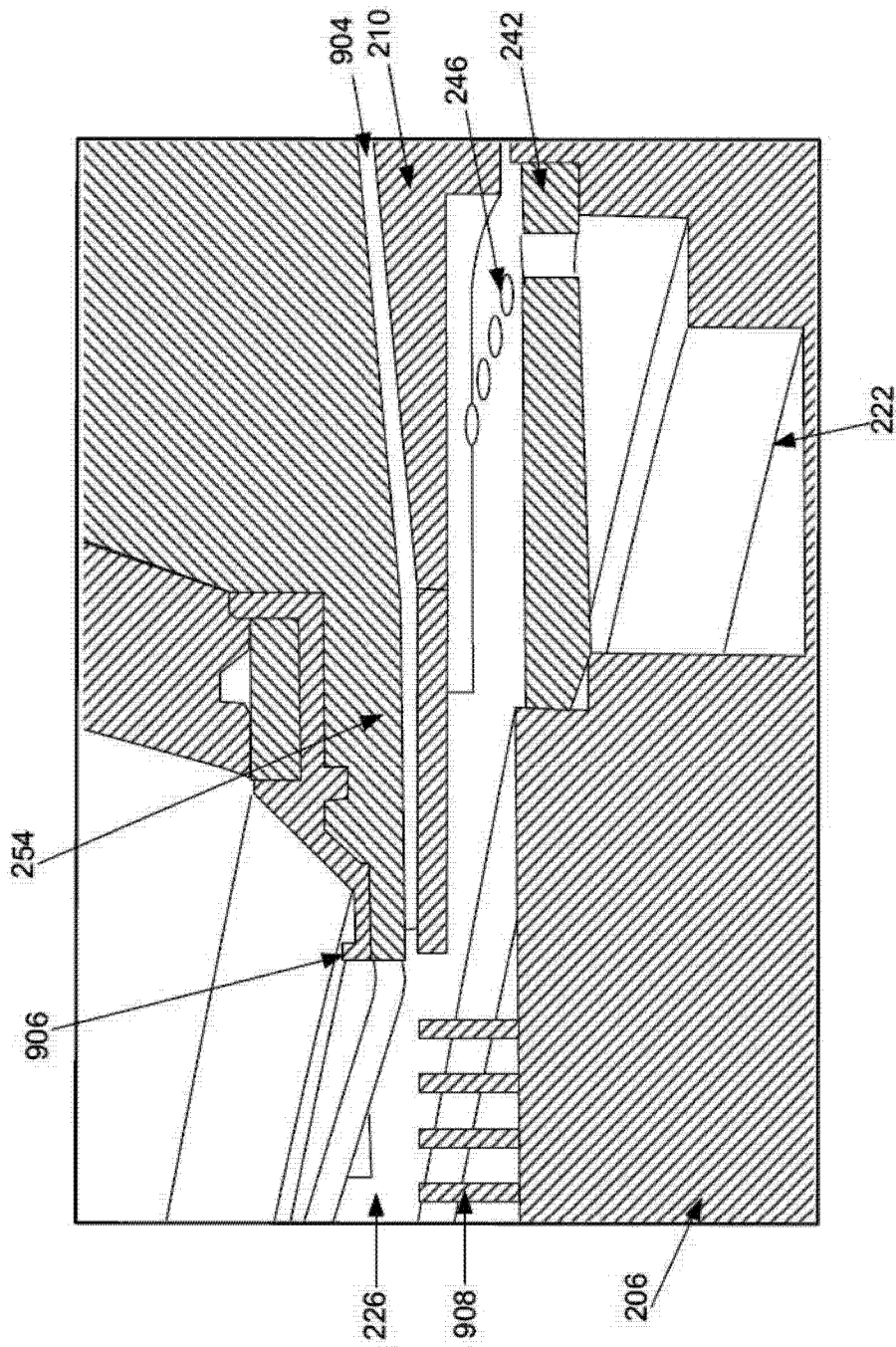


图 11

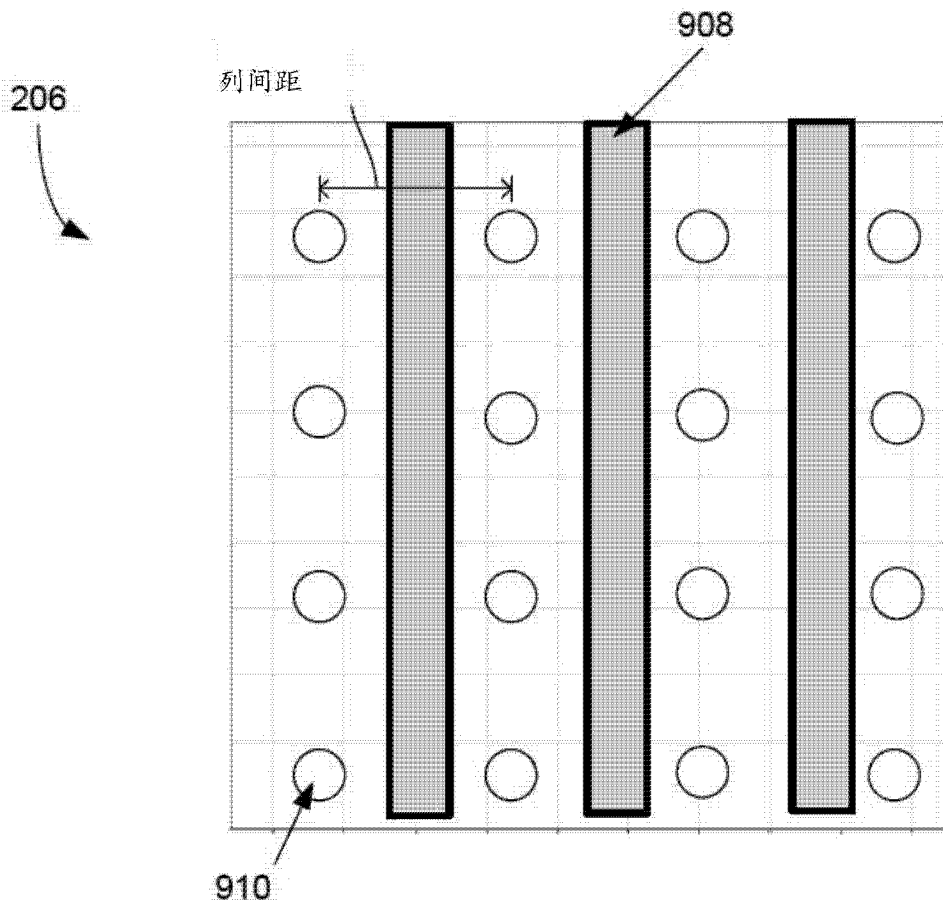


图 12

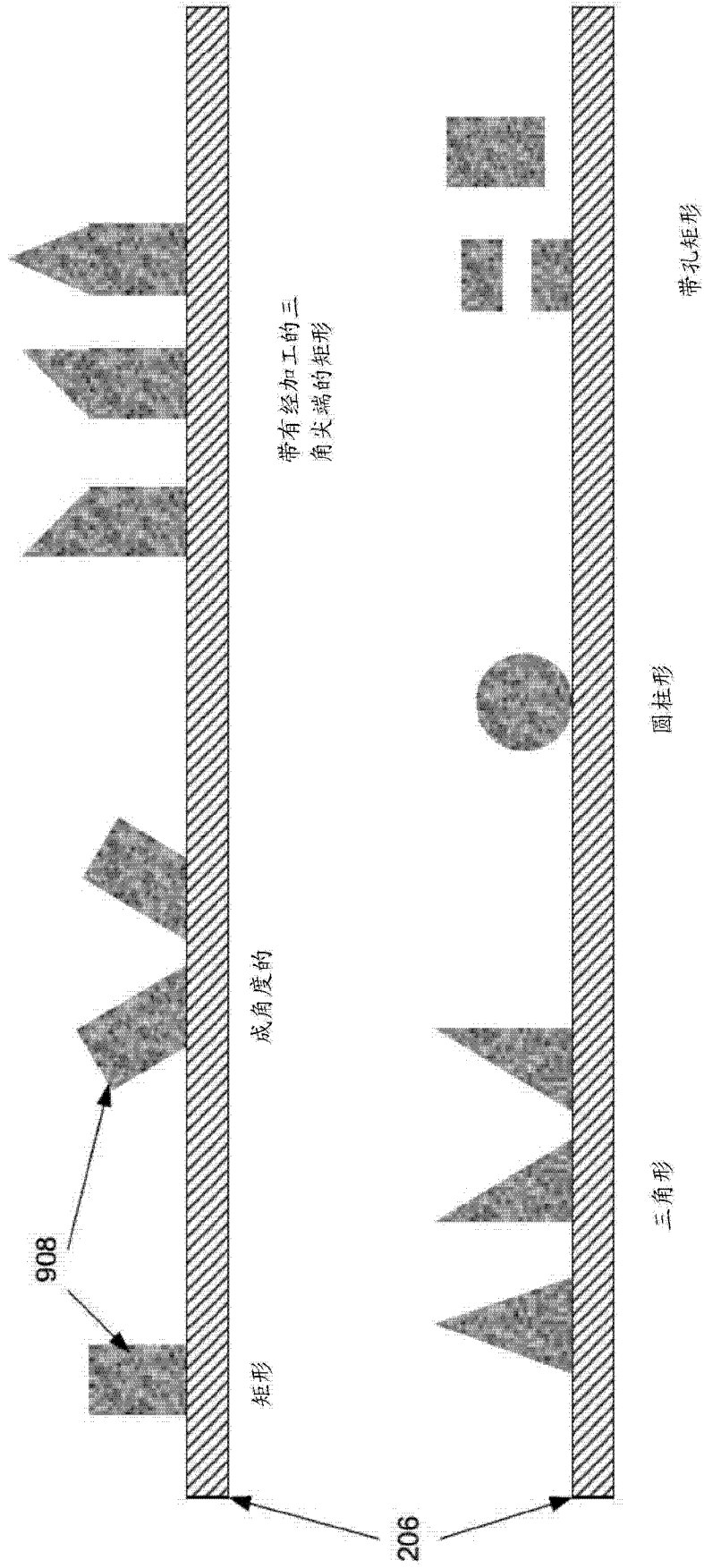


图 13

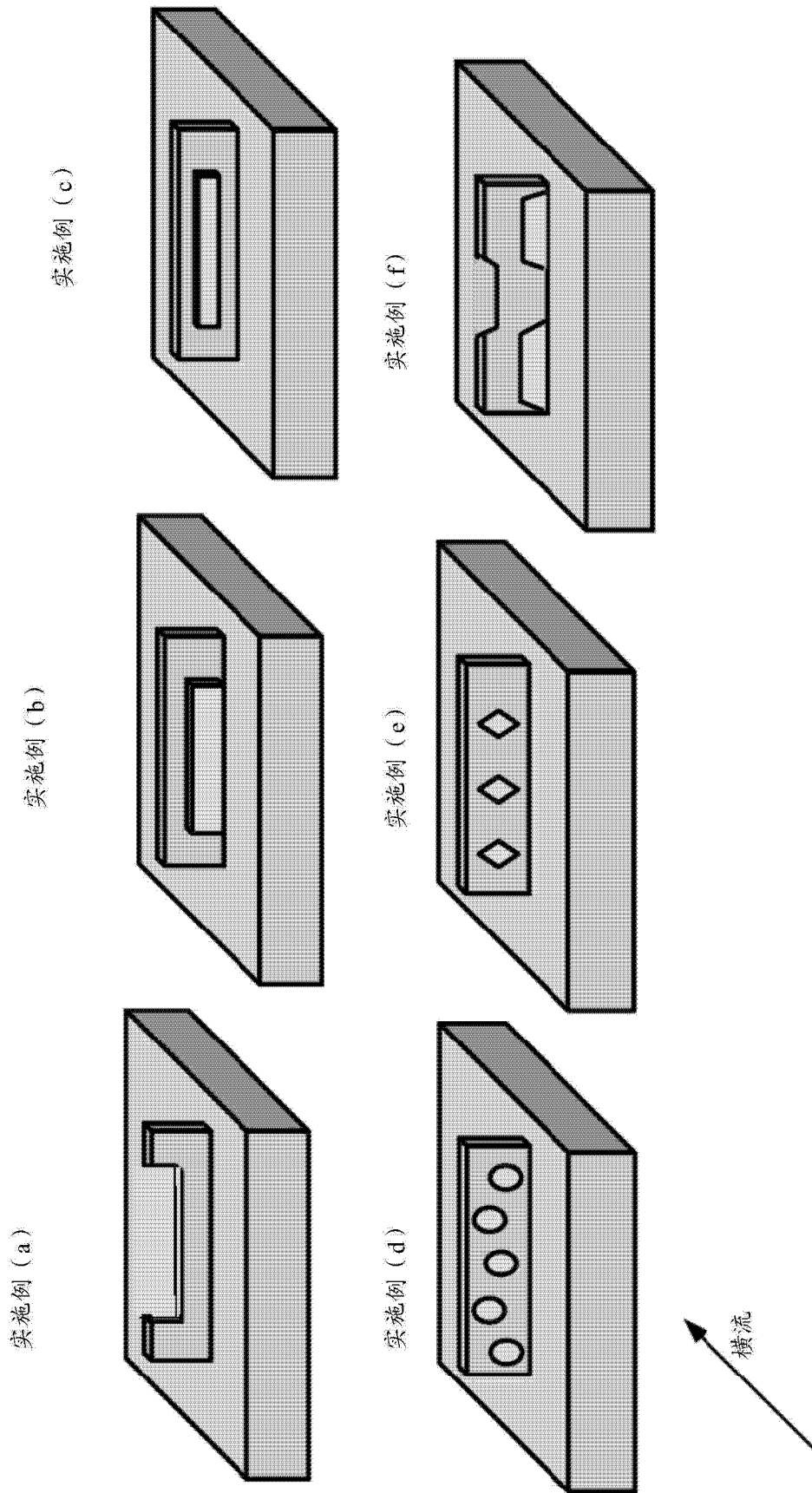


图 14

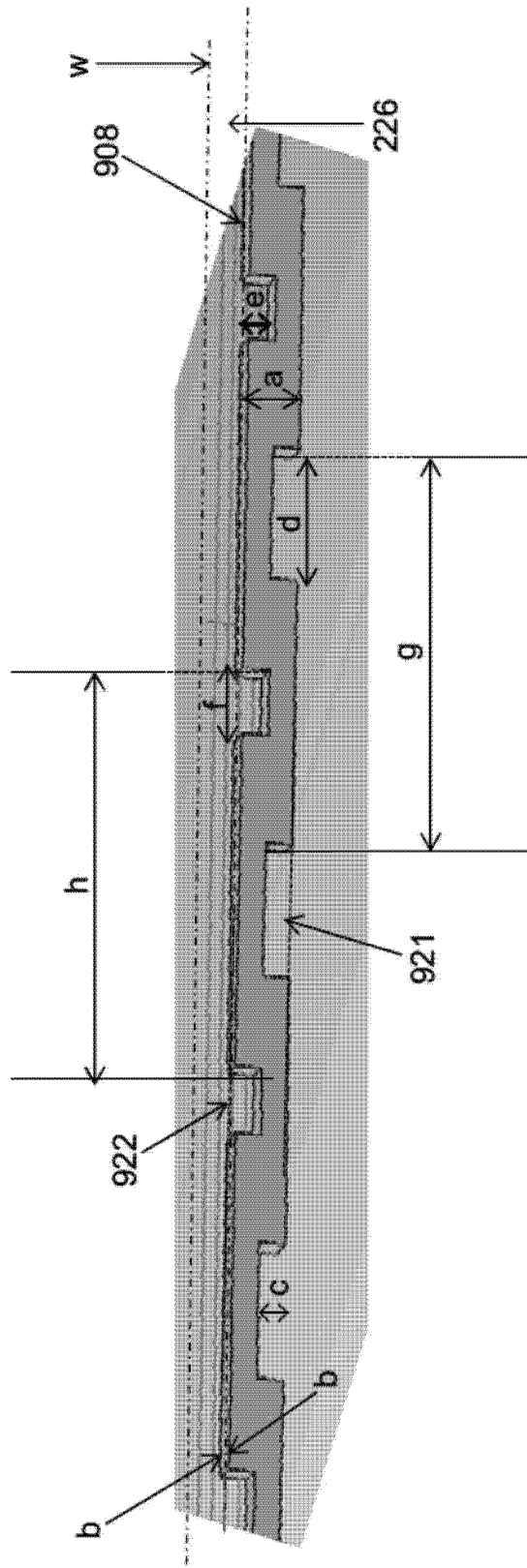


图 15

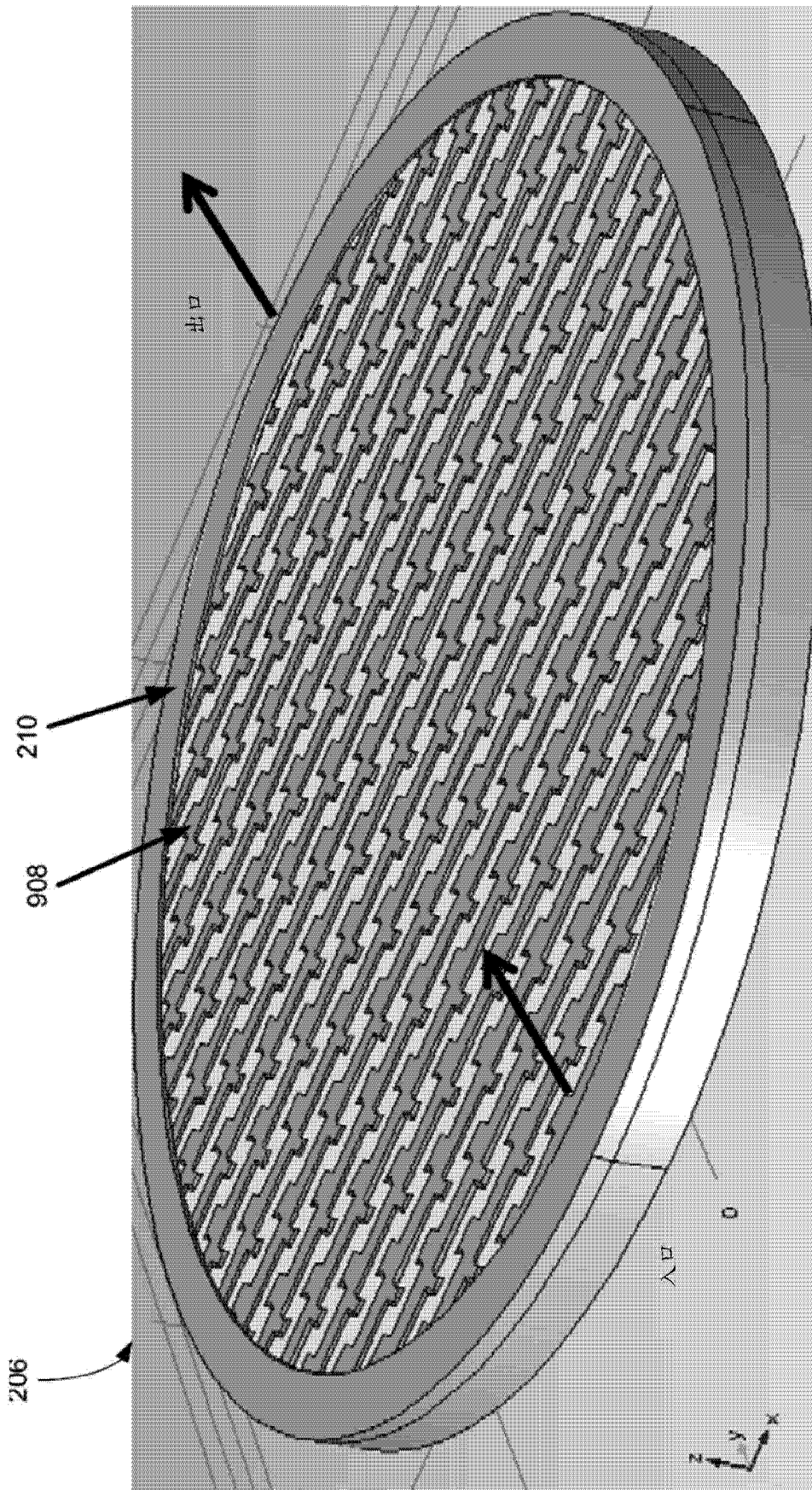


图 16

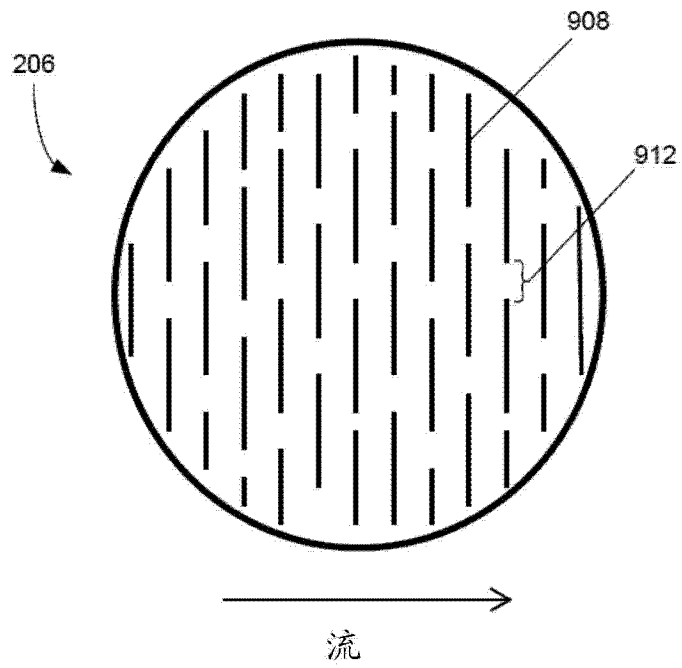


图 17

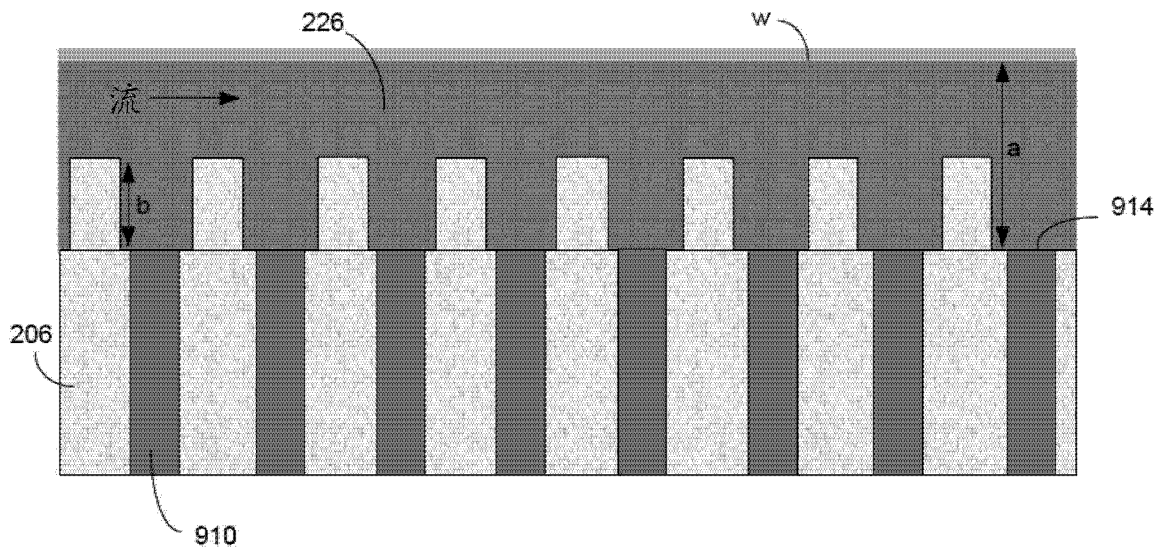


图 18



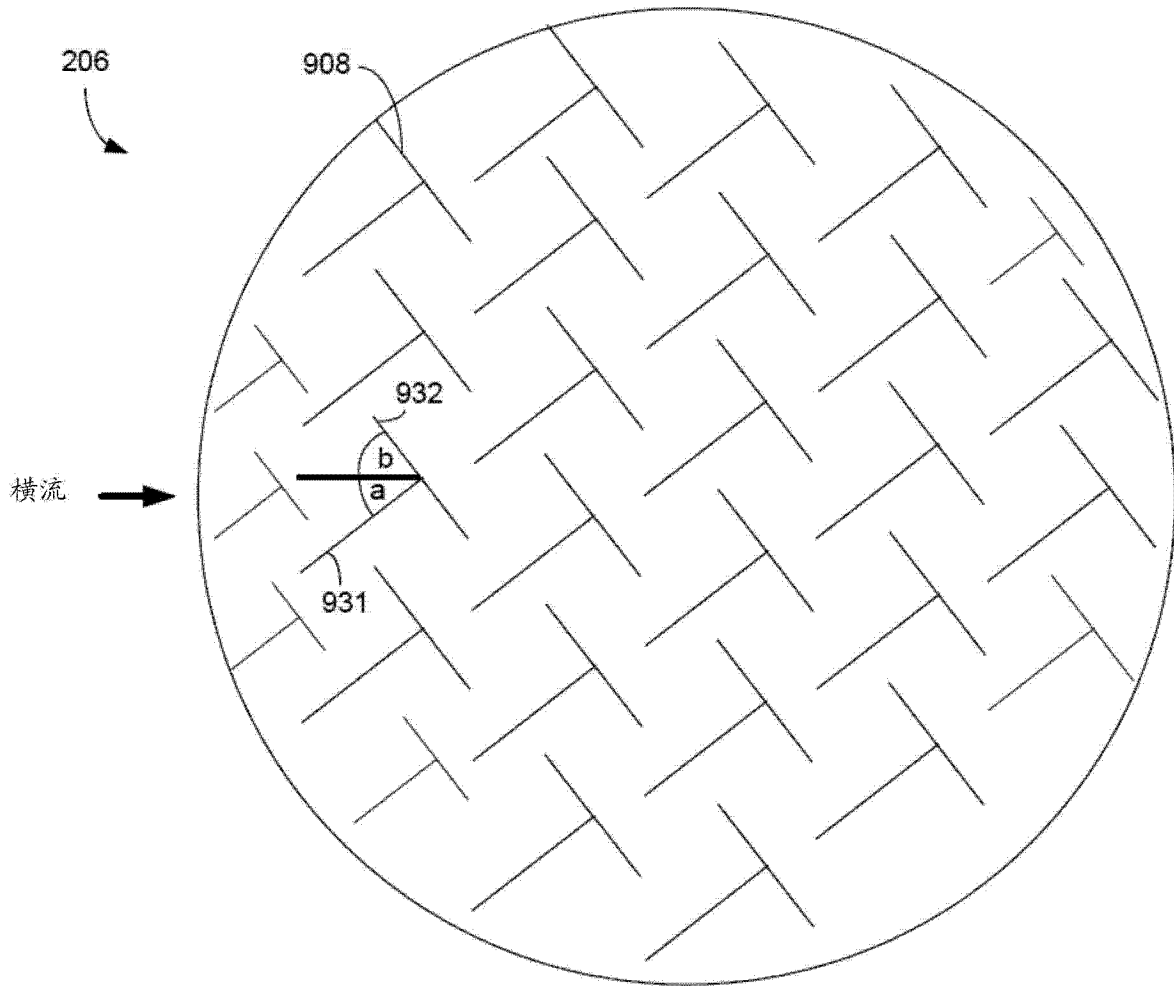


图 19

度量标准	基线 CIRP		2.5mm 突出部 CIRP	
3D 厚度变化 $(\frac{1}{2} \times 3\sigma)/AVG$	2.4 $\mu$ m/min	8.2%	2.4 $\mu$ m/min	5.5%
	3.2 $\mu$ m/min	8.7%	3.2 $\mu$ m/min	6.7%
共面性 $\frac{1}{2} \times (Max-Min)/AVG$	2.4 $\mu$ m/min	6.1%	2.4 $\mu$ m/min	6.0%
	3.2 $\mu$ m/min	6.8%	3.2 $\mu$ m/min	6.8%

图 20