



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114174562 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 11

(21) 申请号 202080053306.7

(22) 申请日 2020.05.19

(30) 优先权数据

62/852,497 2019.05.24 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.01.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/033644 2020.05.19

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/242838 EN 2020.12.03

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 安德鲁·詹姆斯·普福

尚蒂纳特·小古艾迪 何治安

马尼什·兰詹

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 樊英如 张静

(51) Int.Cl.

G25D 17/00 (2006.01)

G25D 21/12 (2006.01)

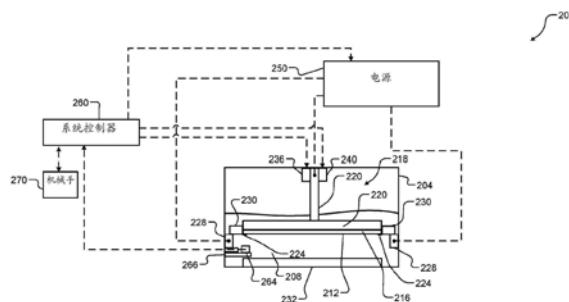
权利要求书4页 说明书15页 附图18页

(54) 发明名称

包含光学探针的电化学沉积系统

(57) 摘要

一种电化学沉积系统包括:电化学沉积室,其包括用于电化学沉积的电解液;衬底保持器,其被配置成保持衬底并且包括与所述衬底电气连接的第一阴极;第一致动器,其被配置成调整所述衬底保持器在所述电化学沉积室中的竖直位置;阳极,其浸没在所述电解液中;第二阴极,其被配置成在所述第一阴极与所述阳极之间;第一光学探针,其被配置成,当所述衬底被浸没在所述电解液中时,在距离所述衬底的中心第一距离处测量所述衬底的第一反射率;以及控制器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,基于所述衬底的所述第一反射率而选择性地调整施加至所述第一阴极的功率、施加至所述第二阴极的功率、施加至所述阳极的功率、以及所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。



1. 一种电化学沉积系统,其包括:
  - 电化学沉积室,其包括用于电化学沉积的电解液;
  - 衬底保持器,其被配置成保持衬底并且包括与所述衬底电气连接的第一阴极;
  - 第一致动器,其被配置成调整所述衬底保持器在所述电化学沉积室中的竖直位置;
  - 阳极,其浸没在所述电解液中;
  - 第二阴极,其被配置成在所述第一阴极与所述阳极之间;
  - 第一光学探针,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时,在距离所述衬底的中心第一距离处测量所述衬底的第一反射率;以及
  - 控制器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,基于所述衬底的所述第一反射率而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的功率、(ii) 施加至所述第二阴极的功率、(iii) 施加至所述阳极的功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。
2. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其还包括:
  - 第二光学探针,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时在距离所述衬底的所述中心的第二距离处测量所述衬底的第二反射率,
  - 其中所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间,进一步基于所述衬底的所述第二反射率而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。
3. 根据权利要求2所述的电化学沉积系统,其中所述第一距离不同于所述第二距离。
4. 根据权利要求2所述的电化学沉积系统,其中所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间,基于所述第一反射率与所述第二反射率之间的差值而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。
5. 根据权利要求4所述的电化学沉积系统,其中所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间:
  - 基于所述差值而确定第一调整;以及
  - 基于所述第一调整以及选自于第一分布的值,以将功率施加至所述第一阴极。
6. 根据权利要求4所述的电化学沉积系统,其中所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间:
  - 基于所述差值而确定第二调整;以及
  - 基于所述第二调整以及选自于第二分布的值,以将功率施加至所述第二阴极。
7. 根据权利要求4所述的电化学沉积系统,其中所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间:
  - 基于所述差值而确定第三调整;以及
  - 基于所述第三调整以及选自于第三分布的值,以调整所述衬底保持器的所述竖直位置。
8. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述第一光学探针包括:
  - 第一光源,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时发送与所述衬底的表面垂直的光线;以及

第一光检测器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时接收与所述衬底的所述表面垂直的光线。

9. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述第一光学探针包括:

第一光源,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时以在相对于所述衬底的表面为非90度的角度下发送光线;以及

第一光检测器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时以在相对于所述表面为非90度的角度下接收光线。

10. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其还包括位于所述第一光学探针与所述衬底之间的窗部,

其中所述第一光学探针被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时,发送和接收穿过所述窗部的光线。

11. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述第一光学探针包括:

第一光源,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时发送与所述衬底的表面垂直的光线;以及

第一光检测器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时接收穿过所述衬底的光线。

12. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其还包括条杆,其中所述第一光学探针位于所述条杆上。

13. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述第一光学探针被安装至所述电化学沉积室的壁上。

14. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述第一光学探针被配置成发送及接收仅单一波长的光线。

15. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述第一光学探针被配置成发送和接收一定波长范围内的光线。

16. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其还包括第二致动器,所述第二致动器被配置成在所述电化学沉积的期间转动所述衬底保持器。

17. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述控制器被进一步配置成在所述电化学沉积的期间:

基于所述衬底的所述第一反射率而检测所述电化学沉积的终点;以及

响应于所述终点的检测,选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

18. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述控制器进一步被配置成在所述电化学沉积的期间:

基于所述衬底的所述第一反射率,确定在所述衬底内形成的特征的深度;以及

基于在所述衬底内形成的所述等特征的所述深度,选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

19. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统,其中所述控制器被进一步配置成在所述电

化学沉积的期间：

基于所述衬底的所述第一反射率而检测故障；以及  
响应于所述故障的检测，在显示器上显示所述故障的指示。

20. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统，其中所述控制器被配置成：

在所述电化学沉积的期间，确定所述衬底的多个第一反射率的平均值，所述衬底的所述第一反射率在所述衬底的一旋转量的期间所测得；以及

在所述电化学沉积的期间，基于所述平均值而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

21. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统，其还包括致动器，所述致动器被配置成当所述衬底被浸没在所述电解液中时，将所述第一光学探针从距离所述衬底的所述中心的所述第一距离移动至距离所述衬底的所述中心的第二距离，其中所述第二距离不同于所述第一距离，

其中所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间，基于所述第一反射率的第一值以及所述第一反射率的第二值，而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者，其中所述第一反射率的所述第一值是当所述第一光学探针距离所述衬底的所述中心为所述第一距离时测量，而所述第一反射率的所述第二值是当所述第一光学探针距离所述衬底的所述中心为所述第二距离时测量。

22. 根据权利要求1所述的电化学沉积系统，其中所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间，基于所述衬底的所述第一反射率而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、(vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置、(v) 所述衬底的角度、以及 (vi) 介于所述第一阴极与所述第二阴极之间的距离中的至少一者。

23. 一种电化学沉积系统，其包括：

电化学沉积室，其被配置成容纳用于电化学沉积的电解液；

衬底保持器，其包括第一阴极；

第一致动器，其被配置成调整所述衬底保持器在所述电化学沉积室中的竖直位置；

阳极；

第二阴极，其被配置成在所述第一阴极与所述阳极之间；以及

光学探针，其被配置成在所述电化学沉积的期间测量衬底的反射率。

24. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统，其还包括第二光学探针，所述第二光学探针被配置成在所述电化学沉积的期间测量所述衬底的第二反射率。

25. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统，其中所述光学探针包括：

光源，其被配置成发送与所述衬底的表面垂直的光线；以及

光检测器，其被配置成接收与所述衬底的所述表面垂直的光线。

26. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统，所述光学探针包括：

光源，其被配置成在相对于所述衬底的表面为非90度的角度下发送光线；以及

光检测器，其被配置成在相对于所述表面为非90度的角度下接收光线。

27. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统, 其还包括位于所述光学探针与所述衬底之间的窗部, 其中所述光学探针被配置成发送和接收穿过所述窗部的光线。

28. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统, 其中所述光学探针包括:  
光源, 其被配置成发送与所述衬底的表面垂直的光线; 以及  
光检测器, 其被配置成接收穿过所述衬底的光线。

29. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统, 其还包括条杆,  
其中所述光学探针定位于所述条杆上。

30. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统, 其中所述光学探针被安装至所述电化学沉积室的壁上。

31. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统, 其中所述光学探针被配置成发送和接收仅单一波长的光线。

32. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统, 其中所述光学探针被配置成发送和接收一定波长范围内的光线。

33. 根据权利要求23所述的电化学沉积系统, 其还包括第二致动器, 所述第二致动器被配置成使所述光学探针进行以下移动中的至少一者: 朝向所述衬底的中心移动和远离所述衬底的所述中心移动。

## 包含光学探针的电化学沉积系统

### 相关申请的交叉引用

[0001] 本申请要求于2019年5月24日申请的美国临时申请No. 62/852,497的权益。上述引用的申请其全部公开内容都通过引用合并于此。

### 技术领域

[0002] 本公开涉及电化学电镀系统,且更具体地涉及包括光学探针的电化学电镀系统。

### 背景技术

[0003] 这里提供的背景描述是为了总体呈现本公开的背景的目的。当前指定的发明人的工作在其在此背景技术部分以及在提交申请时不能确定为现有技术的说明书的各方面中描述的范围内既不明确也不暗示地承认是针对本公开的现有技术。

[0004] 可以将电化学沉积用于利用材料从特征(例如,沟槽和/或通孔)的底部往特征的顶部(即,由下至上)来对衬底中的特征进行填充。沉积在特征顶部上的过量材料可例如以化学机械平坦化(CMP)处理而进行移除。在一些示例中,该材料可以是例如铜、钴、钨、锡、银、金、钎、钛、钽之类的金属、以及这些金属的氧化物、氮化物与合金。

[0005] 控制沉积的均匀度可有助于提供CMP所用的均匀膜并使特征中的空洞最小化。如果该材料不具有均匀厚度,则在CMP期间可能会造成研磨不足(under-polishing)或过度研磨(over-polishing)。举例来说,过度研磨可能会发生在薄的区域,而研磨不足可能会发生在厚的区域。过度研磨或研磨不足可能会增加空洞和/或其他缺陷。如果在衬底边缘附近的第一特征填充速率与衬底中心附近的第二特征填充速率之间存在差异,则可能会附加地或替代性地发生空洞和/或其他缺陷的增加。位于集成电路中的缺陷可造成集成电路的电气故障。

### 发明内容

[0006] 在一种特征中,一种电化学沉积系统包括:电化学沉积室,其包括用于电化学沉积的电解液;衬底保持器,其被配置成保持衬底并且包括与所述衬底电气连接的第一阴极;第一致动器,其被配置成调整所述衬底保持器在所述电化学沉积室中的竖直位置;阳极,其浸没在所述电解液中;第二阴极,其被配置成在所述第一阴极与所述阳极之间;第一光学探针,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时,在距离所述衬底的中心第一距离处测量所述衬底的第一反射率;以及控制器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,基于所述衬底的所述第一反射率而选择性地调整(i)施加至所述第一阴极的功率、(ii)施加至所述第二阴极的功率、(iii)施加至所述阳极的功率、以及(iv)所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

[0007] 在一特征中,第二光学探针被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时在距离所述衬底的所述中心的第二距离处测量所述衬底的第二反射率。所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间,进一步基于所述衬底的所述第二反射

率而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

[0008] 在一特征中,所述第一距离不同于所述第二距离。

[0009] 在一特征中,所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间,基于所述第一反射率与所述第二反射率之间的差值而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

[0010] 在一特征中,所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间:基于所述差值而确定第一调整;以及基于所述第一调整以及选自于第一分布的值,以将功率施加至所述第一阴极。

[0011] 在一特征中,所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间:基于所述差值而确定第二调整;以及基于所述第二调整以及选自于第二分布的值,以将功率施加至所述第二阴极。

[0012] 在一特征中,所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间:基于所述差值而确定第三调整;以及基于所述第三调整以及选自于第三分布的值,以调整所述衬底保持器的所述竖直位置。

[0013] 在一特征中,所述第一光学探针包括:第一光源,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时发送与所述衬底的表面垂直的光线;以及第一光检测器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时接收与所述衬底的所述表面垂直的光线。

[0014] 在一特征中,所述第一光学探针包括:第一光源,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时以在相对于所述衬底的表面为非90度的角度下发送光线;以及第一光检测器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时以在相对于所述表面为非90度的角度下接收光线。

[0015] 在一特征中,窗部位于所述第一光学探针与所述衬底之间。所述第一光学探针被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时,发送和接收穿过所述窗部的光线。

[0016] 在一特征中,所述第一光学探针包括:第一光源,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时发送与所述衬底的表面垂直的光线;以及第一光检测器,其被配置成在所述电化学沉积的期间,当所述衬底被浸没在所述电解液中时接收穿过所述衬底的光线。

[0017] 在一特征中,所述第一光学探针位于水平延伸的条杆上。

[0018] 在一特征中,所述第一光学探针被安装至所述电化学沉积室的壁上。

[0019] 在一特征中,所述第一光学探针被配置成发送及接收仅单一波长的光线。

[0020] 在一特征中,所述第一光学探针被配置成发送和接收一定波长范围内的光线。

[0021] 在一特征中,第二致动器被配置成在所述电化学沉积的期间转动所述衬底保持器。

[0022] 在一特征中,所述控制器被进一步配置成在所述电化学沉积的期间:基于所述衬

底的所述第一反射率而检测所述电化学沉积的终点；以及响应于所述终点的检测，选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

[0023] 在一特征中，所述控制器进一步被配置成在所述电化学沉积的期间：基于所述衬底的所述第一反射率，确定在所述衬底内形成的特征的深度；以及基于在所述衬底内形成的所述等特征的所述深度，选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

[0024] 在一特征中，所述控制器被进一步配置成在所述电化学沉积的期间：基于所述衬底的所述第一反射率而检测故障；以及响应于所述故障的检测，在显示器上显示所述故障的指示。

[0025] 在一特征中，所述控制器被配置成：在所述电化学沉积的期间，确定所述衬底的多个第一反射率的平均值，所述衬底的所述第一反射率在所述衬底的一旋转量的期间所测得；以及在所述电化学沉积的期间，基于所述平均值而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者。

[0026] 在一特征中，致动器被配置成当所述衬底被浸没在所述电解液中时，将所述第一光学探针从距离所述衬底的所述中心的所述第一距离移动至距离所述衬底的所述中心的第二距离，其中所述第二距离不同于所述第一距离。所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间，基于所述第一反射率的第一值以及所述第一反射率的第二值，而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、以及 (vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置中的至少一者，其中所述第一反射率的所述第一值是当所述第一光学探针距离所述衬底的所述中心为所述第一距离时测量，而所述第一反射率的所述第二值是当所述第一光学探针距离所述衬底的所述中心为所述第二距离时测量。

[0027] 在一特征中，所述控制器被配置成在所述电化学沉积的期间，基于所述衬底的所述第一反射率而选择性地调整 (i) 施加至所述第一阴极的所述功率、(ii) 施加至所述第二阴极的所述功率、(iii) 施加至所述阳极的所述功率、(vi) 所述衬底保持器的所述竖直位置、(v) 所述衬底的角度、以及 (vi) 介于所述第一阴极与所述第二阴极之间的距离中的至少一者。

[0028] 在一特征中，一种电化学沉积系统包括：电化学沉积室，其被配置成容纳用于电化学沉积的电解液；衬底保持器，其包括第一阴极；第一致动器，其被配置成调整所述衬底保持器在所述电化学沉积室中的竖直位置；阳极；第二阴极，其被配置成在所述第一阴极与所述阳极之间；以及光学探针，其被配置成在所述电化学沉积的期间测量衬底的反射率。

[0029] 在进一步的特征中，所述电化学沉积系统包括第二光学探针，所述第二光学探针被配置成在所述电化学沉积的期间测量所述衬底的第二反射率。

[0030] 在进一步的特征中，所述光学探针包括：光源，其被配置成发送与所述衬底的表面垂直的光线；以及光检测器，其被配置成接收与所述衬底的所述表面垂直的光线。

[0031] 在进一步的特征中，所述光学探针包括：光源，其被配置成在相对于所述衬底的表



面为非90度的角度下发送光线;以及光检测器,其被配置成在相对于所述表面为非90度的角度下接收光线。

[0032] 在一特征中,所述电化学沉积系统还包括位于所述光学探针与所述衬底之间的窗部,其中所述光学探针被配置成发送和接收穿过所述窗部的光线。

[0033] 在进一步的特征中,所述光学探针包括:光源,其被配置成发送与所述衬底的表面垂直的光线;以及光检测器,其被配置成接收穿过所述衬底的光线。

[0034] 在进一步的特征中,所述电化学沉积系统还包括条杆,其中所述光学探针定位于所述条杆上。

[0035] 在进一步的特征中,所述光学探针被安装至所述电化学沉积室的壁上。

[0036] 在进一步的特征中,所述光学探针被配置成发送和接收仅单一波长的光线。

[0037] 在进一步的特征中,所述光学探针被配置成发送和接收一定波长范围内的光线。

[0038] 在进一步的特征中,所述电化学沉积系统还包括第二致动器,所述第二致动器被配置成使所述光学探针进行以下移动中的至少一者:朝向所述衬底的中心移动和远离所述衬底的所述中心移动。

[0039] 根据详细描述、权利要求和附图,本公开内容的适用性的进一步的范围将变得显而易见。详细描述和具体示例仅用于说明的目的,并非意在限制本公开的范围。

## 附图说明

[0040] 根据详细描述和附图将更充分地理解本公开,其中:

[0041] 图1为描绘出示例性的衬底处理方法以制造集成电路的流程图;

[0042] 图2A-2B为电化学沉积系统的示例性实现方案的功能性框图;

[0043] 图3A描绘了电化学沉积开始时衬底与阳极之间的第一示例性距离和示例性电场;

[0044] 图3B描绘了更接近电化学沉积结束时衬底与阳极之间的第二示例性距离和示例性电场;

[0045] 图4包括衬底反射率对于沉积在衬底上的材料厚度的示例性图表;

[0046] 图5-10包括横截面图,这些横截面图包括室的示例部分,其中该室包括一或多个光学探针;

[0047] 图11包括位于衬底上的位置处的归一化反射率作为电镀时间的函数的示例性图表;

[0048] 图12A包括位于衬底上的三个不同位置处的归一化反射率作为电镀时间的函数的示例性图表;

[0049] 图12B包括位于衬底上的三个不同位置处的归一化反射率作为电镀时间的函数的示例性图表,其中在电化学沉积期间调整第二阴极的电流、以及衬底与阳极之间的距离中的至少一者;

[0050] 图13包括系统控制器的示例性实现方案的功能框图;

[0051] 图14包括描绘出入射光与反射光垂直于衬底的示例性干涉的示例性图表、以及作为时间函数的波长平均反射率的示例性图表;

[0052] 图15包括在电化学沉积期间,第一反射率与时间的函数关系的示例性图表;

[0053] 图16包括在电化学沉积期间,第一平均反射率随时间变化的滚动标准偏差的示

例；

[0054] 图17包括一流程图，其描绘了在电化学沉积期间控制施加至第一阴极、第二阴极的功率、以及衬底与阳极之间的距离的示例性方法；以及

[0055] 图18-24包括横截面图，这些横截面图包括室的示例性部分，其中室包括一或更多个光学探针。

[0056] 在附图中，可以重复使用附图标记来标识相似和/或相同的元件。

### 具体实施方式

[0057] 在处理室中使用电化学沉积，可以将形成在衬底的介电层中的特征以材料（例如，金属）进行填充。该衬底接触第一电极。阳极位于处理室的底部处。处理室内的电场可通过改变下列至少一者而有变化：(a) 衬底之间的距离、以及 (b) 施加至第一电极的功率、施加至第二电极的功率、与施加至阳极的功率的至少一者。基于沉积前后的衬底特性的试误法可以用于对电化学沉积期间待遵循的目标第一阴极电流分布、目标第二阴极电流分布、以及目标距离分布进行校正。

[0058] 根据本公开，在沉积期间所测量的原位特性被用于提高厚度均匀度并且提高沉积材料的填充率均匀度。举例来说，在衬底上沉积材料的期间，一或更多个光学探针会测量衬底的一或更多个反射率。反射率通常随着材料（例如，金属）沉积在衬底上而增加。控制器基于该一或更多个反射率而选择性地调整衬底之间的距离。附加地或替代性地，该控制器可基于该一或更多个反射率而选择性调整下列至少一者：施加至第一电极的功率、施加至第二电极的功率以及施加至阳极的功率。沉积期间的封闭回路调整可提高厚度均匀度并提高沉积材料的填充率均匀度。提升厚度均匀度和/或提升填充率均匀度可降低缺陷的总数。

[0059] 图1为描绘出示例性的衬底处理方法以制造集成电路的流程图。在操作104处，在衬底上沉积介电层。在操作108处，例如通过图案化与蚀刻以在该介电层中形成特征（例如，沟槽和/或通孔）。在操作112处，例如通过化学气相沉积 (CVD) 或物理气相沉积 (PVD) 以将扩散阻挡物施加至该衬底。

[0060] 在116处，将材料（例如，金属）所用的晶种层施加至该衬底。该晶种层可例如经由CVD或PVD来进行施加。该晶种层可例如包括钛氮化物、或用于材料的另一合适晶种材料。金属的示例包括铜、钴、钨、锡、银、金、钨、钛、钽之类的金属、以及这些金属的氧化物、氮化物和合金。在操作120处，以该材料填充特征。所述特征可例如使用电化学沉积而从特征的底部往特征的顶部进行填充。该电化学沉积进一步在下文讨论。在操作124处，例如通过化学机械平坦化 (CMP) 以将过量的导电材料移除。接着，控制可回到操作104。

[0061] 图2A为电化学沉积系统200的示例性实现方案的功能性框图，其中该电化学沉积系统200包括电化学沉积室204。该室204包含电解液208的浴槽，用于在衬底216的下表面212中所形成的特征内沉积材料（例如，金属）。电解液208可以包括在衬底216上进行沉积的材料（例如，金属）的离子。

[0062] 衬底216是从包括第一阴极220的衬底保持器218进行悬挂。该第一阴极220与衬底216的外边缘电气接触。举例来说，第一阴极220可以包括一或更多夹持元件224（例如多个抓取元件），以将衬底216保持于衬底保持器218。第一阴极220可以由导电材料制成。夹持元件224也可以由导电材料制成。第一阴极220可经由夹持元件224而与衬底216的外边缘电气

接触。

[0063] 衬底保持器218还可以包括第二阴极228,第二阴极228例如经由隔离器230而与第一阴极220电气隔离。举例来说,第二阴极228可以是环形圈。第二阴极228可由导电材料(例如,镀铂的钛)制成。

[0064] 阳极232被浸没在电解液208中并且与第一阴极220电气隔离。阳极232可以固定于室204的底表面。阳极232可以由例如铜或钴之类的导电材料制成。

[0065] 第一致动器236将衬底保持器218升高和下降。因此,该第一致动器236控制衬底216与阳极232之间的距离。仅举例而言,第一致动器236可以包括线性致动器或其他合适类型的致动器。图2A描绘了一示例,其中第一致动器236将衬底216下降至第一位置,使得衬底216是浸没在电解液208中而用于在衬底216的下表面212中所形成的特征内沉积材料。图2B描绘了一示例,其中第一致动器236将衬底216升高至第二位置,使得衬底216不浸没在电解液208中。

[0066] 第二致动器240使衬底保持器218进行转动。第二致动器240例如可以包括电动马达,以在转动速度下驱动衬底保持器218进行转动。第二阴极228可以与衬底保持器218一同转动,或者是在衬底保持器218转动时可不进行转动。

[0067] 电源250将功率施加至第一阴极220、第二阴极228、以及阳极232。施加至第一阴极220、第二阴极228、与阳极232的功率、以及第一阴极220与第二阴极228相对于阳极232的位置主导着室204内的电场形状。系统控制器260控制由电源250施加至第一阴极220、第二阴极228与阳极232的功率。系统控制器260还经由第一致动器236而控制衬底216与阳极232之间的距离。系统控制器260还经由第二致动器240而控制衬底保持器218的转动。

[0068] 基于从室204内的一或多个光学探针264所得到的测量结果,系统控制器260控制衬底216与阳极232之间的距离、以及施加至第一阴极220、第二阴极228、与阳极232的功率。当衬底216位于电解液208中时,该一或多个光学探针264例如测量衬底216的下表面212的反射率。控制第一阴极220的位置以及所施加的功率可提高沉积在衬底216上的材料的厚度均匀度、以及增加整个衬底216上的填充率均匀度。

[0069] 该一或多个光学探针264可位于水平延伸的条杆266或突片(tab)上。条杆266可从衬底保持器218进行悬挂。条杆266可与衬底保持器218一同转动,或是当衬底保持器218转动时可为固定的而不进行转动。或者,条杆266可例如固定至室204的壁。

[0070] 机械手270可以将衬底输送至衬底保持器218、或是从衬底保持器218移除衬底。举例来说,机械手270可将衬底传输至衬底保持器218、或是从衬底保持器218传输衬底。系统控制器260可以控制机械手270的操作。

[0071] 图3A与3B包括在衬底216的特征内进行材料的电沉积期间,而描绘出示例性位置与电场的横截面图。电沉积开始时的衬底216的第一电阻高于电沉积结束时的衬底216的第二电阻。随着材料(例如,金属)沉积在衬底216上,衬底216的电阻逐渐地降低。

[0072] 图3A描绘了电沉积开始时衬底216与阳极232之间的第一示例性距离和示例性电场。在电沉积开始时,衬底216在其边缘处的将进行电气接触的位置附近,电场与电流密度将会自然地较高。系统控制器260通过将第一电流施加至第二阴极228以为此做出补偿,从而导致向第一阴极220形成更均匀的电场和电流密度。

[0073] 图3B描绘了更接近电化学沉积结束时衬底216与阳极232之间的第二示例性距离和示例性电场。在电化学沉积结束时,衬底216的电阻可以是可忽略的。当接近电化学沉积的结束时,系统控制器260可以减少或增加衬底216与阳极232之间的距离、并且减低或终止朝向第二阴极228的电流。被调整的距离以及朝向第二阴极228的减低的电流造成朝向第一阴极220的更均匀的电场和电流密度。

[0074] 图4包括衬底反射率对于沉积在衬底上的材料厚度的示例性图表。如图所示,反射率是随着衬底上的材料(例如,金属)厚度增加而提高的。一旦材料厚度足够厚以将来自一或多个光学探针264的入射电磁辐射完全反射,则反射率达到稳定。

[0075] 图5包括横截面图,该横截面图包括室204的示例部分。在多种实现方案中,该一或多个光学探针264可以包括两个或多个光学探针。举例来说,第一光学探针可包括第一光源504与第一光检测器508。第一光源504与第一光检测器508被配置成从靠近或位于衬底216外边缘处的第一位置发送和接收光线。第一光源504朝着衬底216输出光线。第一光检测器508接收来自第一光源504并由衬底216反射的光线。

[0076] 第二光学探针可包括第二光源512与第二光检测器516。第二光源512与第二光检测器516从第一光源504与第一光检测器508径向朝内地进行配置。第二光源512与第二光检测器516被配置成从第二位置发送和接收光线,其中该第二位置在第一位置的径向内部。该第二位置可接近或位于衬底216的中心。第二光源512朝着衬底216输出光线。第二光检测器516接收来自第二光源512并由衬底216反射的光线。

[0077] 在多种实现方案中,可将一或多个其他光学探针径向地配置在第一光学探针与第二光学探针之间。举例来说,第三光学探针可以包括第三光源520与第三光检测器524。第三光源520与第三光检测器524从第一光源504与第一光检测器508径向朝内地并且从第二光源512与第二光检测器516径向朝外地进行配置。第三光源520与第三光检测器524被配置成从第三位置发送和接收光线,其中该第三位置在第二位置的径向外外部以及第一位置的径向内部。第三光源520朝着衬底216输出光线。第三光检测器524接收来自第三光源520并且由衬底216反射的光线。

[0078] 第四光学探针可包括第四光源528与第四光检测器532。第四光源528与第四光检测器532从第三光源520与第三光检测器524径向朝内地并且从第二光源512与第二光检测器516径向朝外地进行配置。第四光源528与第四光检测器532被配置成从第四位置发送和接收光线,其中该第四位置在第二位置的径向外外部以及第三位置的径向内部。第四光源528朝着衬底216输出光线。第四光检测器532接收来自第四光源528并由衬底216反射的光线。

[0079] 第五光学探针可以包括第五光源536与第五光检测器540。第五光源536与第五光检测器540从第四光源528与第四光检测器532径向朝内地、以及从第二光源512与第二光检测器516径向朝外地进行配置。第五光源536与第五光检测器540被配置成从第五位置发送和接收光线,其中该第五位置是第二位置的径向外外部以及第四位置的径向内部。第五光源536朝衬底216输出光线。第五光检测器540接收来自第五光源536并由衬底216反射的光线。

[0080] 在多种实现方案中,可省略第三、第四和第五光学探针中的一或多个者。在多种实现方案中,可以包括多于五个的光学探针。

[0081] 基于由衬底216所反射至第一、第二、第三、第四、及第五光检测器508、516、524、532、及540的光线,该第一、第二、第三、第四、及第五光检测器508、516、524、532、及540产生

并且输出信号。第一、第二、第三、第四、及第五光检测器508、516、524、532、及540的输出分别对应于衬底216在第一、第二、第三、第四、及第五位置处的反射率。因此，第一、第二、第三、第四、及第五光检测器508、516、524、532、及540的输出分别对应于在第一、第二、第三、第四、及第五位置处所沉积的材料厚度。

[0082] 第一、第二、第三、第四、及第五光源504、512、520、528、及536可发送与衬底216的下表面212垂直的光线。第一、第二、第三、第四、及第五光检测器508、516、524、532、及540可接收与衬底216的下表面212垂直的光线。在该示例中，入射(发送)以及反射的光线两者均与衬底216的下表面212垂直。

[0083] 图6包括横截面图，该横截面图包括室204的示例性部分。在图6的示例中，第一、第二、第三、及第四光源504、512、520、及528系在相对于衬底216的下表面212为非90度的角度下发送光线。第一、第二、第三、及第四光检测器508、516、524、及532在相对于衬底216的下表面212为非90度的角度下接收光线。

[0084] 如图所示，第一、第二、第三、及第四光源504、512、520、及528将光线发送至衬底216上的不同位置处。举例来说，第一光源504将光线发送至衬底216的边缘附近，而第二光源512将光线发送至位于或接近衬底216的中心。第三光源520及第四光源528将光线发送至衬底216的边缘与中心之间的位置处。

[0085] 图7包括横截面图，该横截面图包括室204的示例性部分。在多种实现方案中，窗部704可位于该一或多个光学探针与该衬底216之间。在此示例中，电解液208可在窗部704的上方与下方进行循环。可将窗部704固定至室204的壁、或固定至衬底保持器218。

[0086] 图8包括横截面图，该横截面图包括室204的示例性部分。在多种实现方案中，可将光学探针固定至室204的壁上。第一、第二、第三、及第四光源504、512、520、及528是在相对于衬底216的下表面212为非90度的角度下发送光线。第一、第二、第三、及第四光检测器508、516、524、及532是在相对于衬底216的下表面212为非90度的角度下接收光线。

[0087] 如图所示，第一、第二、第三、及第四光源504、512、520、及528将光线发送至衬底216上的不同位置处。举例来说，第一光源504将光线发送至衬底216的边缘附近的第一位置，而第二光源512将光线发送至位于或接近衬底216的中心的第二位置处。第三光源520和第四光源528将光线发送至衬底216的边缘与中心之间的第二和第三位置处。

[0088] 图9包括横截面图，该横截面图包括室204的示例部分。在多种实现方案中，第一、第二、第三、及第四光源504、512、520、及528发送与衬底216的下表面212垂直的光线。第一、第二、第三、及第四光源504、512、520、及528可发送穿过衬底216和第一阴极220的光线。第一、第二、第三、及第四光检测器508、516、524、及532可配置在第一阴极220上方，并且接收来自第一、第二、第三、及第四光源504、512、520、及528且穿过衬底216及第一阴极220的光线。随着在衬底216上的位置处所沉积的材料厚度增加，会减少在该位置处穿过衬底216的光透射，因此反射更多光线(通过材料)。随着在第一、第二、第三以及第四光源504、512、520、及528输出光线的位置处的材料厚度增加，可能会减少由第一、第二、第三、及第四光检测器508、516、524、及532所接收的光线量。

[0089] 图10包括横截面图，该横截面图包括室204的示例性部分。在图10的示例中，第一光源504与第一光检测器508径向朝内与朝外进行移动。举例来说，第一光源504与第一光检测器508可位于台车1004上，台车1004沿着条杆266内的轨道滑动。致动器1008可推拉台车

1004,从而将第一光源504与第一光检测器508径向朝内与朝外进行移动。致动器1008可以在一频率下将第一光源504与第一光检测器508从径向外侧位置移动至径向内侧位置,并且回到该径向外侧位置。

[0090] 光学探针可以被配置成发送和接收仅单一波长的光线、或是介在一定波长范围内的光线。

[0091] 图11为位于衬底216上的一位置处的归一化反射率与电镀时间的函数关系的示例性图表。如图所示,在刚开始沉积材料时归一化反射率为0。随着时间推移,归一化反射率增大。当完成材料沉积时归一化反射率达到1。

[0092] 图12A包括位于衬底216上的三个不同位置处的归一化反射率与电镀时间的函数关系的示例性图表。迹线1204记录衬底216边缘附近的第一位置处的归一化反射率(例如,由第一光检测器508在距离中心为半径 $r=135\text{mm}$ 处测得)。迹线1208记录衬底216中心附近的第二位置处的归一化反射率(例如,由第二光检测器516在距离中心为半径 $r=15\text{mm}$ 处测得)。迹线1212记录介于第一与第二位置之间的第三位置处的归一化反射率(例如,由第四光检测器532在距离中心为半径 $r=95\text{mm}$ 处测得)。如图所示,归一化反射率在衬底216的边缘附近比在衬底216的中心附近更快地上升并达到1。

[0093] 图12B包括位于衬底216上的三个不同位置处的归一化反射率与电镀时间的函数关系的示例性图表,其中在电化学沉积期间调整以下至少一者:第二阴极228的电流、以及衬底216与阳极232之间的距离,如在下文进一步讨论的。如图所示,沉积大致在相同速率下在衬底216的整个表面上进行。换言之,在整个衬底216上的填充速率大致上是均匀的。因此,衬底216可具有较均匀的沉积材料厚度。

[0094] 图13包括系统控制器260的示例性实现方案的功能框图。每次衬底保持器218旋转,取样模块1304对由光检测器中的第一者所测得的第一反射率以及由光检测器中的第二者所测得的第二反射率进行数次采样及数字化。仅举例来说,取样模块1304可以在每次衬底保持器218旋转以40个相同间隔的次数、或以另一合适速率对第一反射率和第二反射率进行采样。在衬底216上沉积材料期间,光检测器中的第一者(例如,第二光检测器516)以及光检测器中的第二者(例如,第一光检测器508)从衬底216上的不同径向位置接收光线。

[0095] 平均化模块1308将一周期内所测量的第一反射率平均化,以确定第一平均反射率。该平均化模块1308还将该周期内所测得的第二反射率平均化,以确定第二平均反射率。该周期可例如为衬底保持器218的一次旋转、或是另一合适周期。该周期可以是移动的(moving)、或非移动的(non-moving)。

[0096] 误差模块1312确定第一平均反射率与第二平均反射率之间的误差。举例来说,误差模块1312可基于第一平均反射率减去第二平均反射率而设定误差,或设定误差等于第一平均反射率减去第二平均反射率。在图10的示例中,误差模块1312可将误差设定为基于或等于在当第一光检测器508位于第一径向位置处时的第一时间下由该第一光检测器508所测得的第一反射率与当第一光检测器508位于第二径向位置(其与该第一径向位置不同)处时的第二时间下由该第一光检测器508所测得的第二反射率之间的差值。

[0097] 过滤模块1316对该误差进行一或多次过滤,以产生已过滤的误差,以产生已过滤的误差。举例来说,基于衬底216上与第一和第二光检测器相关联的位置,过滤模块1316可以将一或多个权重值施加至(例如,乘以)该误差。该过滤模块1316可附加地或替代性地

将速率限制施加至该误差中的变化,以使该已过滤的误差平滑化。

[0098] 调整模块1320基于该已过滤的误差而选择性设定一或更多调整。举例来说,调整模块1320可基于该已过滤的误差而增加或减少下列至少一者:第一阴极调整、第二阴极调整、或者距离调整。该调整模块1320调整第一阴极调整、第二阴极调整、或者距离调整中的至少一者以将该已过滤的误差(以及该误差)往零进行调整。该第一阴极调整可用于将第一阴极220的电流相对于第一阴极分布而变化。该第一阴极分布包括在衬底216上沉积材料的期间,随着时间推移施加至第一阴极220的一系列功率值。

[0099] 第一阴极控制模块1324基于该第一阴极分布与该第一阴极调整来控制由电源所施加至该第一阴极220的功率。举例来说,第一阴极控制模块1324可将该第一阴极调整乘以或加上该第一阴极分布的值,并基于该乘法或加法的结果而随着时间推移对施加至该第一阴极220的功率进行控制。

[0100] 该第二阴极调整可用于相对于第二阴极分布而改变第二阴极228的电流。该第二阴极分布包括在衬底216上沉积材料的期间、随着时间推移施加至第二阴极228的一系列功率值。

[0101] 第二阴极控制模块1328基于该第二阴极分布与该第二阴极调整来控制由电源施加至该第二阴极228的功率。举例来说,第二阴极控制模块1328可以将该第二阴极调整乘以或加上该第二阴极分布的值,并基于该乘法或加法的结果而随着时间推移对施加至该第二阴极228的功率进行控制。

[0102] 该距离调整可用于相对于距离分布改变该衬底216与该阳极232之间的距离。该距离分布包括在衬底216上沉积材料的期间,随着时间推移在衬底与阳极232之间的一系列距离。

[0103] 距离控制模块1332基于该距离分布与该距离调整而驱动第一致动器236。举例来说,距离控制模块1332可将该距离调整乘以或加上该距离分布的值,并基于该乘法或加法的结果而随时间推移驱动该第一致动器236。

[0104] 在电化学沉积的期间基于光学探针的原位光学测量而调整施加至第一阴极220的功率、施加至第二阴极228的功率、和/或衬底216与阳极232之间的距离,可减少衬底216的缺陷总数和/或增加所沉积材料的均匀度。虽然提供第一和第二反射率的示例,但第一阴极调整、第二阴极调整、以及距离调整中的至少一者可附加地或替代性地基于由其他一或更多对(pair)光检测器所测量的其他一或更多对反射率而进行设定。此外,第一阴极调整、第二阴极调整、以及距离调整中的至少一者可附加地或替代性地基于多于两个反射率信号而进行设定。在多于两个反射率信号的示例中,误差模块1312可将各反射率信号进行加权以制造该误差。

[0105] 虽然上文讨论了衬底216与阳极232之间距离的示例,但可附加地或替代性地基于该误差以一或更多方式将几何形状进行调整。举例来说,系统控制器260可以调整第一阴极220与第二阴极228之间的距离、一或更多个场成形部件(例如,第一阴极220、第二阴极228、和/或阳极232)的位置或尺寸、和/或可调整衬底216在电解液208中的角度。

[0106] 终点模块1336在电化学沉积的期间基于这些反射率中的至少一者(例如,第一反射率)而检测电化学沉积的终点。举例来说,当反射率与终点反射率交错,反射率的变化速率变得比终点的变化速率还小时,或是当反射率到达另一合适标准时,该终点模块1336可

以检测终点。

[0107] 当检测到终点时,第一阴极控制模块1324、第二阴极控制模块1328、以及距离控制模块1332中的至少一者可分别将施加至第一阴极220的功率、施加至第二阴极228的功率、以及距离进行调整。举例来说,当检测到终点时,第一阴极控制模块1324可以选择不同的第一分布。附加地或替代性地,当检测到终点时,第二阴极控制模块1328可以选择不同的第二分布。附加地或替代性地,当检测到终点时,距离控制模块1332可选择不同的距离分布。

[0108] 虽然显示的是使用平均反射率的示例,但可以使用非平均反射率。使用非平均反射率(例如,第一反射率)可以允许为各旋转反映出衬底表面的反射率。这将会提供一系列详细的快照,这些快照可用于对衬底216上的反射率中的局部差异的演变(随着时间推移)进行监控。这在衬底最初较具电阻并因此使材料更倾向于在较低电阻的路径中进行较快速沉积的情况下会是有益的。这些较低电阻的路径可在衬底216边缘上的方位角位置(azimuthal position)处形成,其中所述方位角位置早于其他区域随机地(stochastically)开始成核、或是接触电阻为最小化的。这可以允许实时观察路径的形成,并且允许基于来自光检测器的原位数据而调节这些调整中的至少一者,以避免路径形成而潜在造成缺陷的现象。

[0109] 故障模块1340是在电化学沉积期间基于该第一反射率来诊断一或多个故障的存在。当不存在故障时,在电化学沉积期间参考分布包括随着时间变化的一系列第一参考反射率。当在给定时点的第一反射率值对于在该时点的第一参考反射率大于或小于至少一预定量时,故障模块1340可诊断故障的存在。虽然使用的是第一反射率的示例,但故障模块1340可附加地或替代性地基于其他一或多个反射率来诊断故障的存在。

[0110] 当诊断出故障时,故障模块1340可采取一或更多种行动。举例来说,故障模块1340可以在显示器1344上显示预定的故障信息。

[0111] 在光检测器仅检测单一光波长的示例中,当特征从下往上进行填充时可观察到干涉条纹的存在。举例来说,当介于顶部反射表面(例如,未蚀刻区域)与底部反射表面(蚀刻区域)之间的平均距离等于或大约等于 $n\lambda/4$ 时,可能会产生破坏性干涉,其中 $n$ 为整数且 $\lambda$ 为光线的波长。当平均距离等于或大约等于 $n\lambda/2$ 时,可能会产生建设性干涉。

[0112] 图14包括一示例性图表,其描绘了当该示例的平均距离等于 $n\lambda/4$ 时的破坏性干涉,其中入射光与反射光垂直于衬底216。图14还包括作为时间的函数的波长平均反射率的示例性图表。

[0113] 如图13中所显示的,平均深度模块1350可将平均反射率相对于时间分布与平均参考反射率相对于时间分布进行比较,以确定建设性干涉与破坏性干涉发生处并且由此确定特征的深度。可将此对于各个所取样的波长而执行。这可改善在样品区域中特征深度的平均与标准偏差的估计值。

[0114] 调整模块1320可附加地或替代性地基于平均深度来确定第一阴极调整。举例来说,调整模块1320可以使用查询表、以及将平均深度与第一阴极调整相关联的方程式中的一者来确定第一阴极调整。调整模块1320可附加地或替代性地基于平均深度来确定第二阴极调整和/或距离调整。基于平均深度的调整可去除由方位角不均匀度所造成的偏差,并且可以针对径向(例如,中心至边缘)不均匀度中的任何变化提高信号噪声比。

[0115] 图15包括在电化学沉积期间,随着时间变化的第一(非平均)反射率的示例性图



表。图16包括在电化学沉积期间,随着时间推移的第一平均反射率的滚动标准偏差的示例。终点模块1336可基于变得比各自值更大或更小的第一平均反射率、第一反射率、或者第一平均反射率的滚动标准偏差来检测终点。

[0116] 图17包括流程图,其描绘了在电化学沉积期间控制施加至第一阴极220、第二阴极228的功率、以及衬底216与阳极232之间的距离的示例性方法。控制开始于操作1704,其中第一和第二光检测器508和516分别在第一和第二位置处测量衬底216的第一和第二反射率。当衬底216在电解液208中转动时,第一和第二光检测器508和516测量第一和第二反射率,第一和第二光源504和512是将光线输出至第一和第二位置,且该衬底216被保持于衬底保持器218。

[0117] 在操作1708处,平均化模块1308确定第一和第二平均反射率。在操作1712处,误差模块1312基于第二平均反射率与第一平均反射率之间的差值而确定误差。在操作1716处,过滤模块1316基于该误差而产生已过滤的误差。在操作1720处,调整模块1320是基于该已过滤的误差而确定第一阴极调整、第二阴极调整、以及距离调整。

[0118] 在操作1724处,在沉积期间,第一阴极控制模块1324从第一分布为当前时间选择第一值(以用于将功率施加至第一阴极220)。同样,在沉积期间,第二阴极控制模块1328从第二分布为当前时间选择第二值(以用于将功率施加至第二阴极228)。同样,在沉积期间,距离控制模块1332从第三分布为当前时间选择第三值(以用于衬底216与阳极232之间的距离)。

[0119] 在操作1728处,第一阴极控制模块1324基于该第一值与该第一阴极调整来控制施加至第一阴极220的功率。举例来说,第一阴极控制模块1324可以将功率施加至第一阴极220,其基于或等于(i)该第一阴极调整加上该第一值、或(ii)该第一阴极调整乘以该第一值。第二阴极控制模块1328是基于该第二值与该第二阴极调整来控制施加至第二阴极228的功率。举例来说,第二阴极控制模块1328可以将功率施加至第二阴极228,其基于或等于(i)该第二阴极调整加上该第二值、或(ii)该第二阴极调整乘以该第二值。距离控制模块1332基于该第三值与该距离调整来控制衬底216与阳极232之间的距离。举例来说,距离控制模块1332可驱动第一致动器236以达到一定距离,其中该距离基于或等于(i)该距离调整加上该第三值、或(ii)该距离调整乘以该第三值。

[0120] 在操作1732处,系统控制器260可判定衬底216上的材料沉积是否完成。如果操作1732为是,则系统控制器260可停用第一阴极220与第二阴极228。系统控制器260还可以将衬底216从电解液208移除。如果操作1732为否,则控制可以回到操作1704。

[0121] 图18包括电化学沉积系统的横截面图,该电化学沉积系统包括室204的示例部分。在图18的示例中,室204为电化学沉积室并且被配置成容纳电化学沉积所用的电解液208。衬底保持器218包括第一阴极220。第一致动器236被配置成将衬底保持器218升高和降低,从而调整衬底保持器218在室204内的竖直位置。室204还可以包括阳极232以及第二阴极228。第二阴极228被配置在第一阴极220与阳极232之间。光学探针264被配置成在电化学沉积期间测量衬底216的反射率。虽然提供光学探针264的示例性位置,但光学探针264可位于另一合适的位置中。

[0122] 图19包括电化学沉积系统的横截面图,该电化学沉积系统包括图18的室204的示例部分。如图19中所显示的,包括光学探针264中的第二者。光学探针264中的该第二者被配

置成在电化学沉积期间测量衬底的第二反射率。

[0123] 在图18中,光学探针264包括:第一光源504,其被配置成发送与衬底表面垂直的光线;以及第一光检测器508,其被配置成接收与衬底表面垂直的光线。

[0124] 图20包括电化学沉积系统的横截面图,该电化学沉积系统包括图18的室204的示例部分。在图20中,光学探针264包括:第一光源504,其被配置成在相对于衬底表面为非90度的角度下发送光线;以及第一光检测器508,其被配置成在相对于该表面为非90度的角度下接收光线。

[0125] 图21包括电化学沉积系统的横截面图,该电化学沉积系统包括图18的室204的示例部分。在图21的示例中,窗部704位于光学探针264与衬底216之间。光学探针264被配置成发送和接收穿过窗部704的光线。

[0126] 图22包括电化学沉积系统的横截面图,该电化学沉积系统包括图18的室204的示例部分。在图22的示例中,光学探针264包括:第一光源504,其被配置成发送与衬底216表面垂直的光线;以及第一光检测器508,其被配置成接收穿过衬底216的光线。

[0127] 在图18的示例中,光学探针264位于条杆266上。

[0128] 图23包括电化学沉积系统的横截面图,该电化学沉积系统包括图18的室204的示例部分。在图23的示例中,光学探针264包括第一光源504以及第一光检测器508,并且安装在电化学沉积室204的壁上。

[0129] 在图18的示例中,光学探针264被配置成发送及接收仅为单一波长的光线、或是在一定波长范围内的光线。

[0130] 图24包括电化学沉积系统的横截面图,该电化学沉积系统包括图18的室204的示例部分。在图24的示例中,第二致动器240被配置成将光学探针264移动朝向以及远离衬底216的中心中的一者。

[0131] 前面的描述本质上仅仅是说明性的,并且绝不旨在限制本公开、其应用或用途。本公开的广泛教导可以以各种形式实现。因此,虽然本公开包括特定示例,但是本公开的真实范围不应当被如此限制,因为在研究附图、说明书和所附权利要求时,其他修改将变得显而易见。应当理解,在不改变本公开的原理的情况下,方法中的一个或多个步骤可以以不同的顺序(或同时地)执行。此外,虽然每个实施方案在上面被描述为具有某些特征,但是相对于本公开的任何实施方案描述的那些特征中的任何一个或多个,可以在任何其它实施方案的特征中实现和/或与任何其它实施方案的特征组合,即使该组合没有明确描述。换句话说,所描述的实施方案不是相互排斥的,并且一个或多个实施方案彼此的置换保持在本公开的范围之内。

[0132] 使用各种术语来描述元件之间(例如,模块之间、电路元件之间、半导体层之间等)的空间和功能关系,各种术语包括“连接”、“接合”、“耦合”、“相邻”、“紧挨”、“在...顶部”、“在...上面”、“在...下面”和“设置”。除非将第一和第二元件之间的关系明确地描述为“直接”,否则在上述公开中描述这种关系时,该关系可以是直接关系,其中在第一和第二元件之间不存在其它中间元件,但是也可以是间接关系,其中在第一和第二元件之间(在空间上或功能上)存在一个或多个中间元件。如本文所使用的,短语“A、B和C中的至少一个”应当被解释为意味着使用非排他性逻辑或(OR)的逻辑(A或B或C),并且不应被解释为表示“A中的至少一个、B中的至少一个和C中的至少一个”。

[0133] 在一些实现方式中,控制器是系统的一部分,该系统可以是上述示例的一部分。这样的系统可以包括半导体处理设备,半导体处理设备包括一个或多个处理工具、一个或多个室、用于处理的一个或多个平台、和/或特定处理部件(晶片基座、气体流系统等)。这些系统可以与用于在半导体晶片或衬底的处理之前、期间和之后控制它们的操作的电子器件集成。电子器件可以被称为“控制器”,其可以控制一个或多个系统的各种部件或子部件。根据处理要求和/或系统类型,控制器可以被编程以控制本文公开的任何处理,包括处理气体和/或液体的输送、温度设置(例如加热和/或冷却)、压力设置、真空设置、功率设置、射频(RF)产生器设置、RF匹配电路设置、频率设置、流率设置、流体输送设置、位置和操作设置、晶片转移进出工具和其他转移工具和/或与具体系统连接或通过接口连接的装载锁。

[0134] 概括地说,控制器可以定义为电子器件,电子器件具有接收指令、发出指令、控制操作、启用清洁操作、启用端点测量等的各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件。集成电路可以包括存储程序指令的固件形式的芯片、数字信号处理器(DSP)、定义为专用集成电路(ASIC)的芯片、和/或一个或多个微处理器、或执行程序指令(例如,软件)的微控制器。程序指令可以是以各种单独设置(或程序文件)的形式发送到控制器的指令,单独设置(或程序文件)定义用于在半导体晶片或系统上或针对半导体晶片或系统执行特定处理的操作参数。在一些实施方案中,操作参数可以由工艺工程师定义的配方的一部分,以在一或多个(种)层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或晶片的管芯的制造期间完成一个或多个处理步骤。

[0135] 在一些实现方式中,控制器可以是与系统集成、耦合到系统、以其它方式联网到系统或其组合的计算机的一部分或耦合到该计算机。例如,控制器可以在“云”中或是晶片厂(fab)主机系统的全部或部分,其可以允许对晶片处理的远程访问。计算机可以实现对系统的远程访问以监视制造操作的当前进展、检查过去制造操作的历史、检查多个制造操作的趋势或性能标准,改变当前处理的参数、设置处理步骤以跟随当前的处理、或者开始新的处理。在一些示例中,远程计算机(例如服务器)可以通过网络(其可以包括本地网络或因特网)向系统提供处理配方。远程计算机可以包括使得能够输入或编程参数和/或设置的用户界面,然后将该参数和/或设置从远程计算机发送到系统。在一些示例中,控制器接收数据形式的指令,其指定在一个或多个操作期间要执行的每个处理步骤的参数。应当理解,参数可以特定于要执行的处理的类型和工具的类型,控制器被配置为与该工具接口或控制该工具。因此,如上所述,控制器可以是例如通过包括联网在一起并朝着共同目的(例如本文所述的处理和控制的)工作的一个或多个分立的控制器而呈分布式。用于这种目的的分布式控制器的示例是在与远程(例如在平台级或作为远程计算机的一部分)的一个或多个集成电路通信的室上的一个或多个集成电路,其组合以控制在室上的处理。

[0136] 示例系统可以包括但不限于等离子体蚀刻室或模块、沉积室或模块、旋转漂洗室或模块、金属电镀室或模块、清洁室或模块、倒角边缘蚀刻室或模块、物理气相沉积(PVD)室或模块、化学气相沉积(CVD)室或模块、原子层沉积(ALD)室或模块、原子层蚀刻(ALE)室或模块、离子注入室或模块、轨道室或模块、以及可以与半导体晶片的制造和/或制备相关联或用于半导体晶片的制造和/或制备的任何其它半导体处理系统。

[0137] 如上所述,根据将由工具执行的一个或多个处理步骤,控制器可以与一个或多个其他工具电路或模块、其它工具部件、群集工具、其他工具接口、相邻工具、邻近工具、位于

整个工厂中的工具、主计算机、另一控制器、或在将晶片容器往返半导体制造工厂中的工具位置和/或装载口运输的材料运输中使用的工具通信。

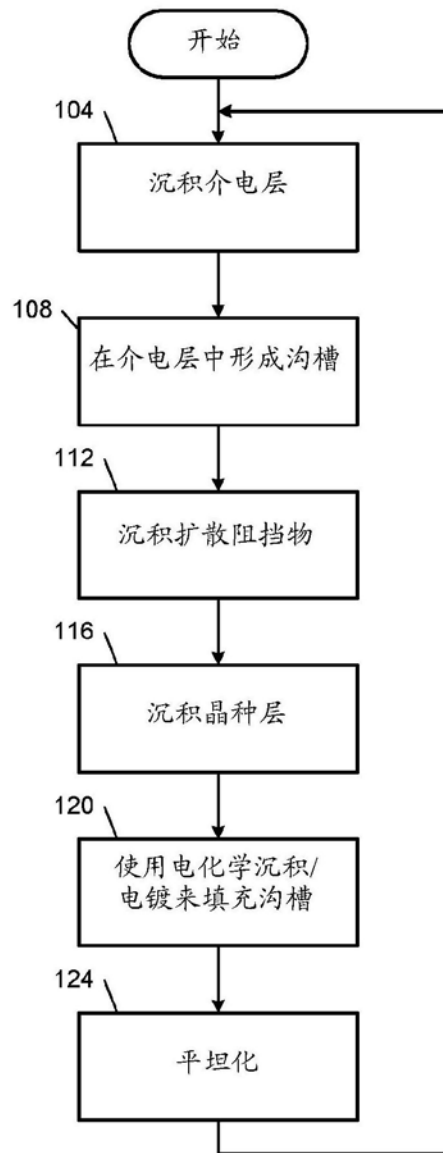


图1

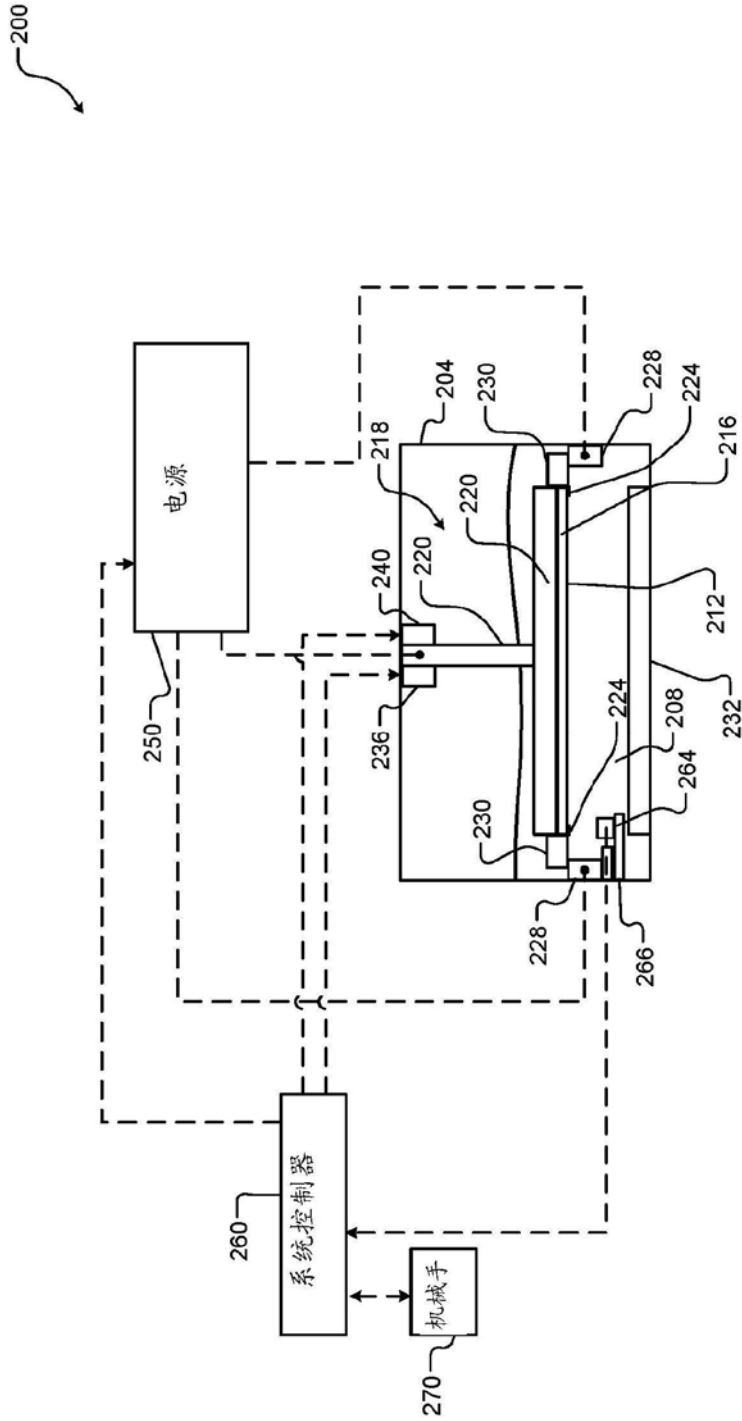


图2A

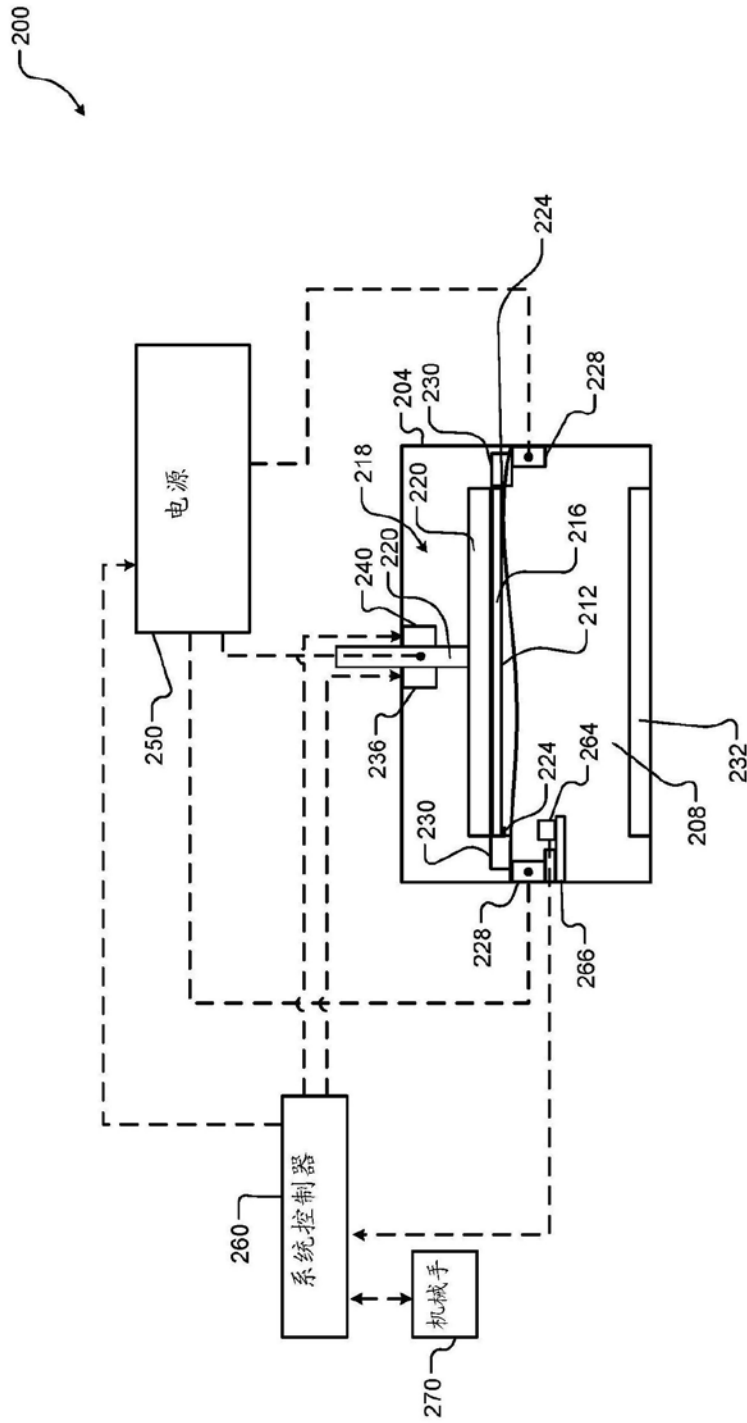


图2B

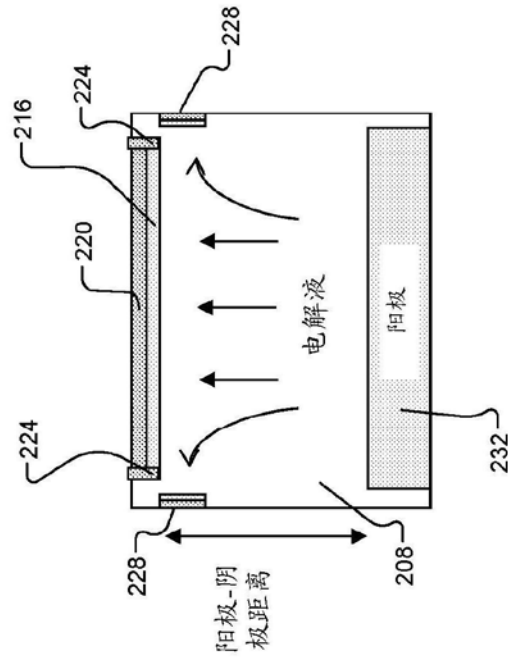


图3A

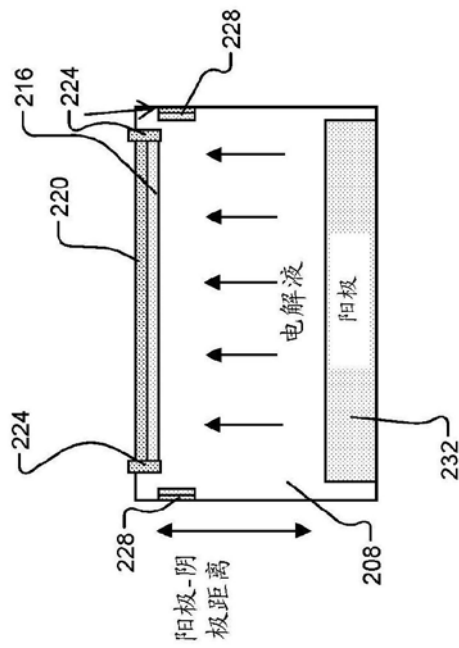


图3B



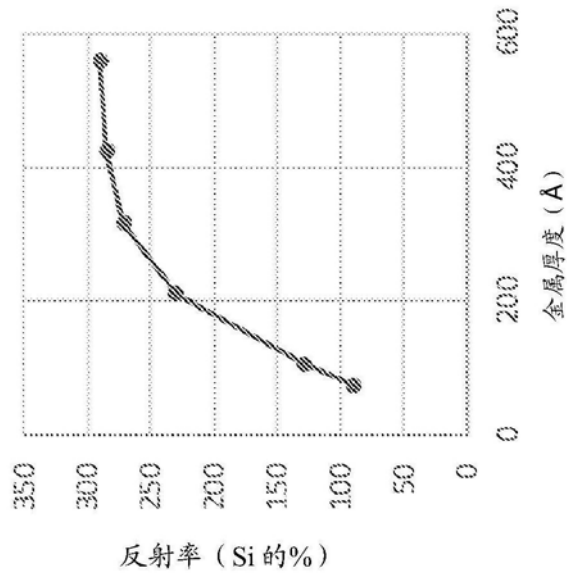


图4

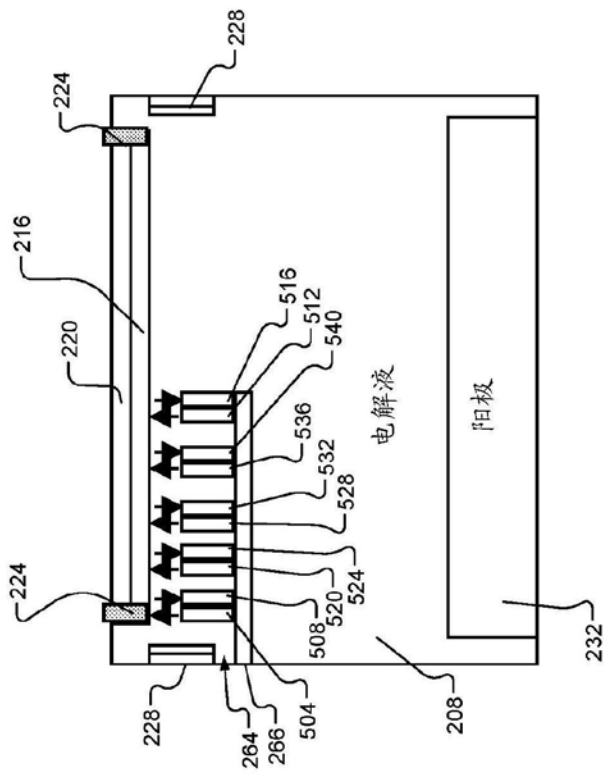


图5

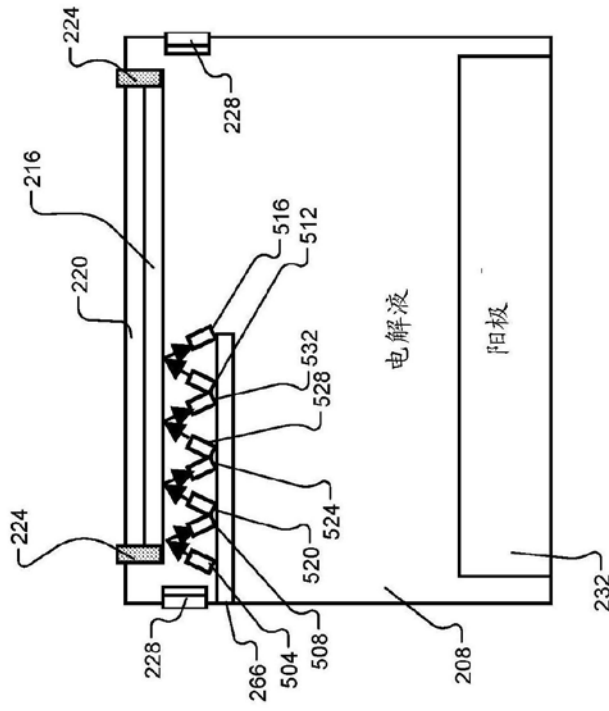


图6

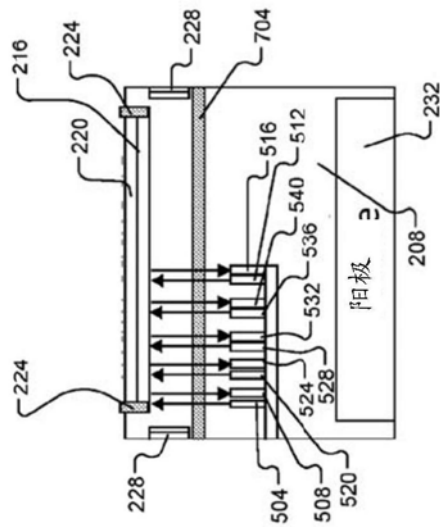


图7

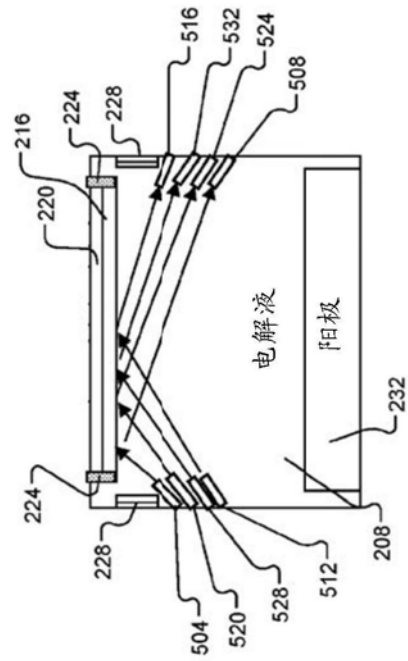


图8

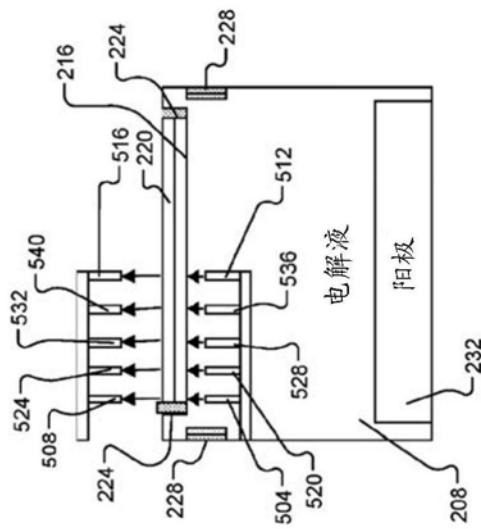


图9

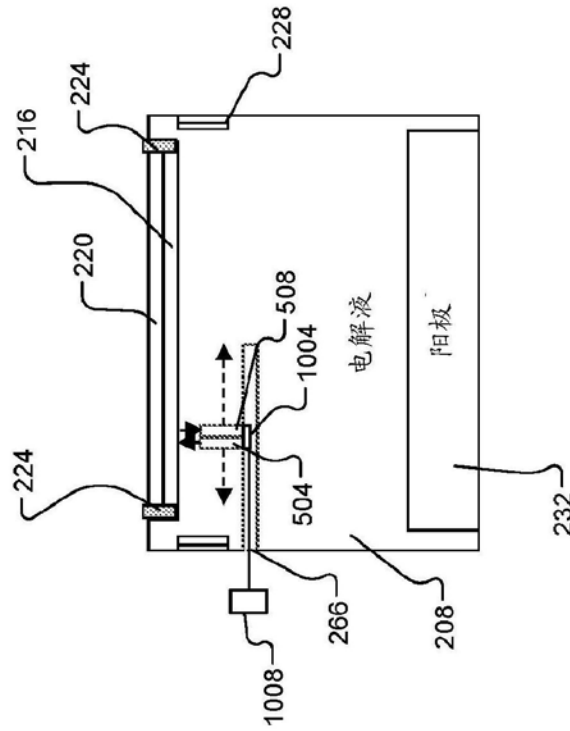


图10

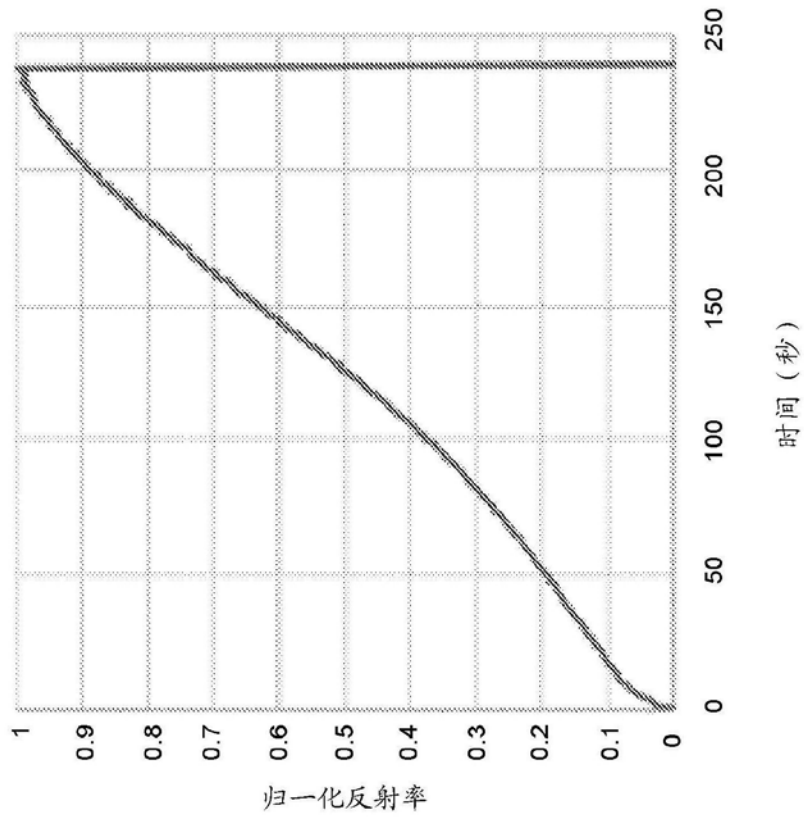


图11

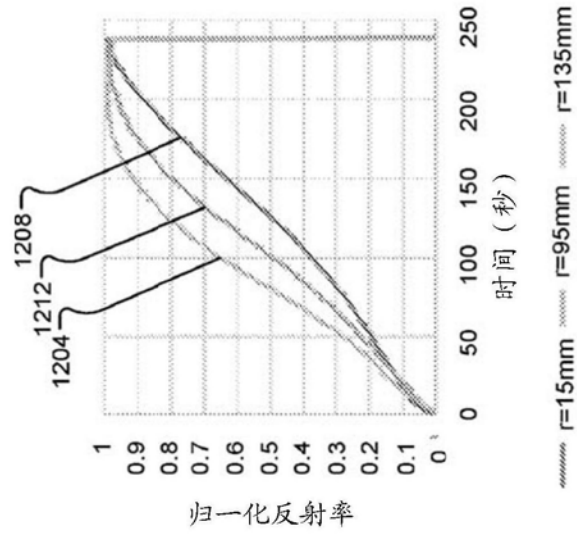


图12A

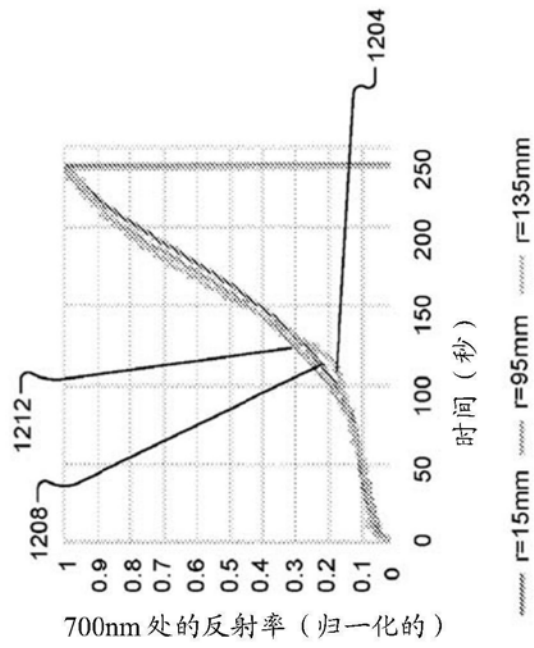


图12B

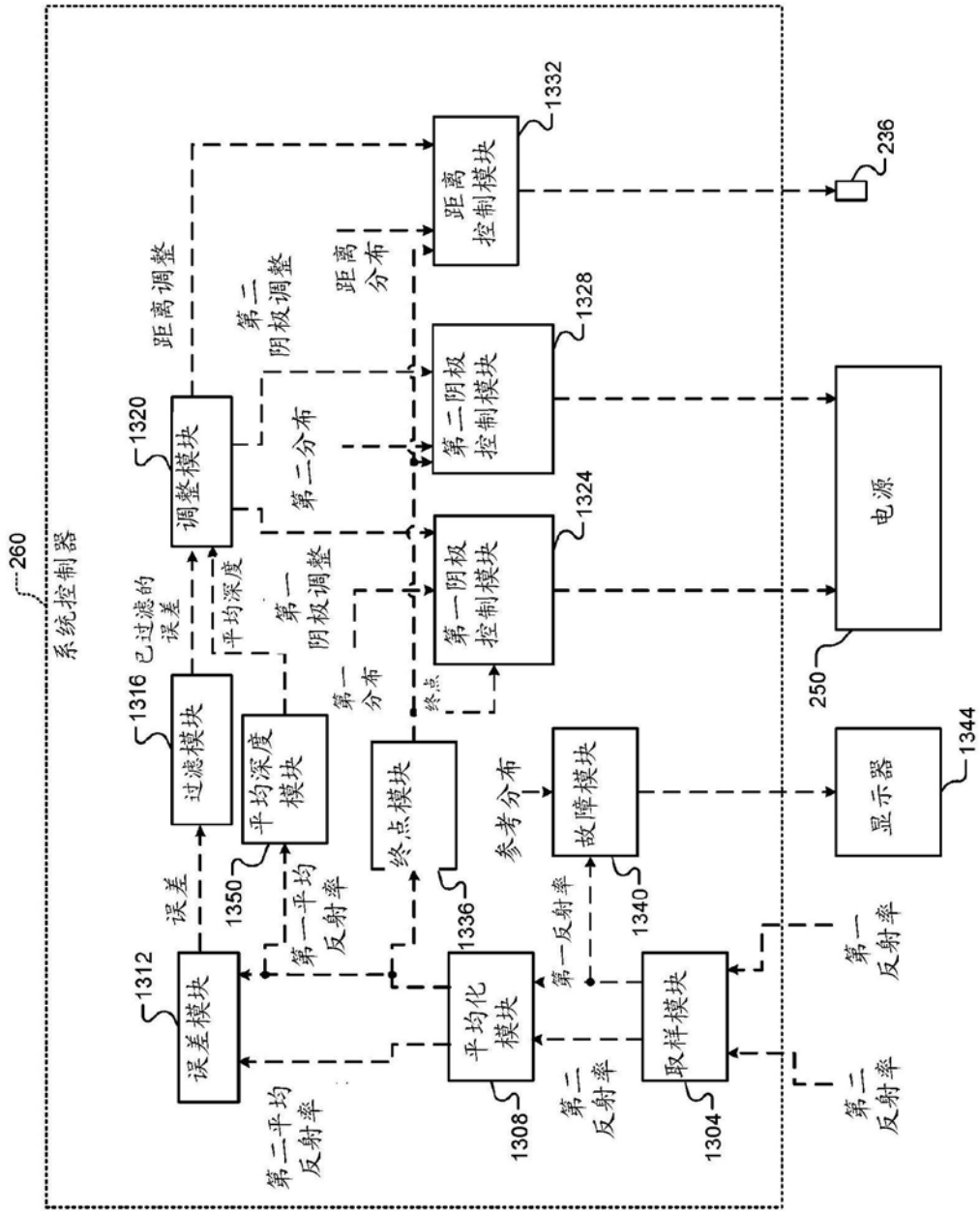


图13

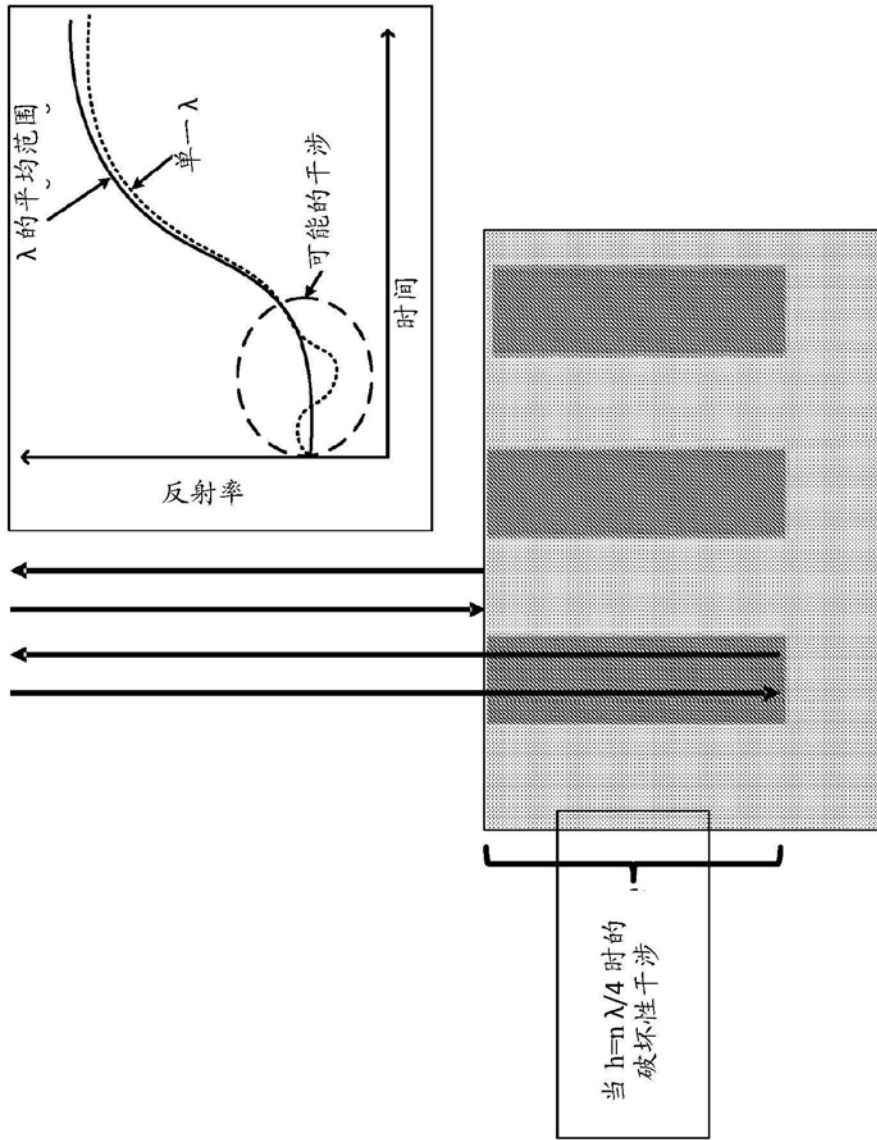


图14

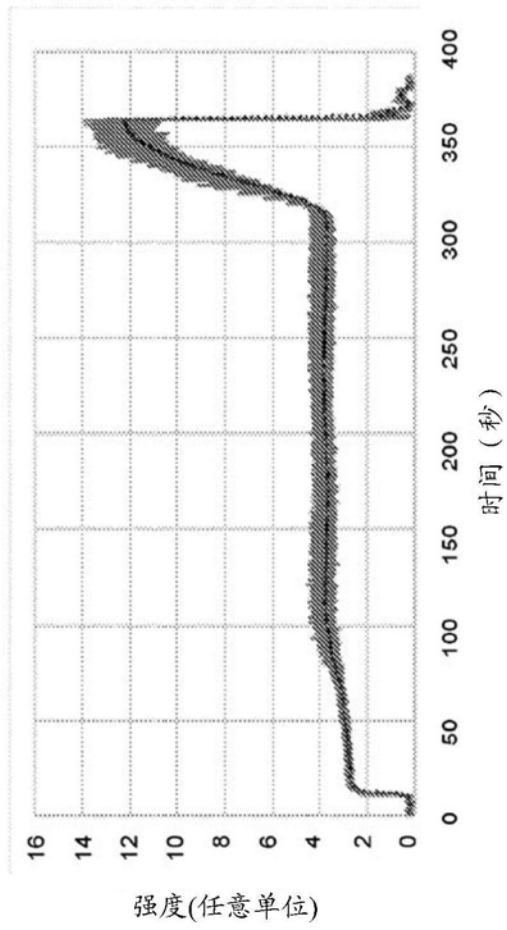
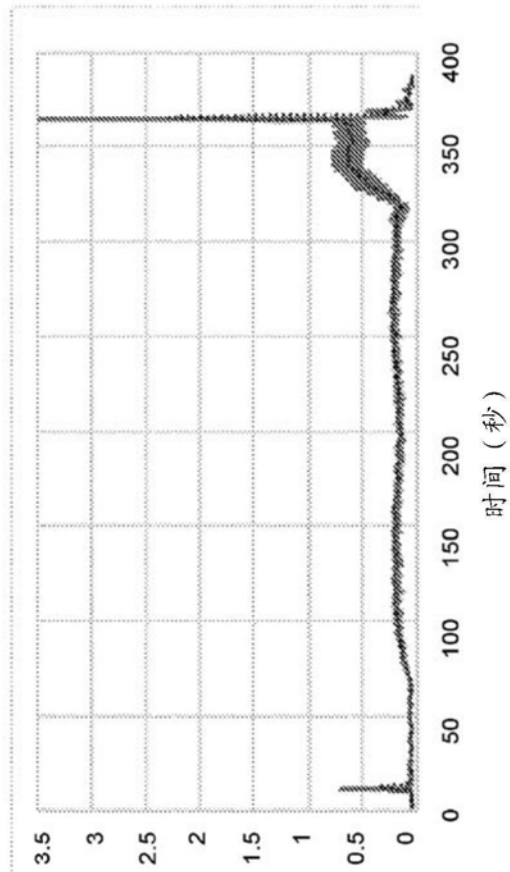


图15





在一转动期间的测量的标准差

图16

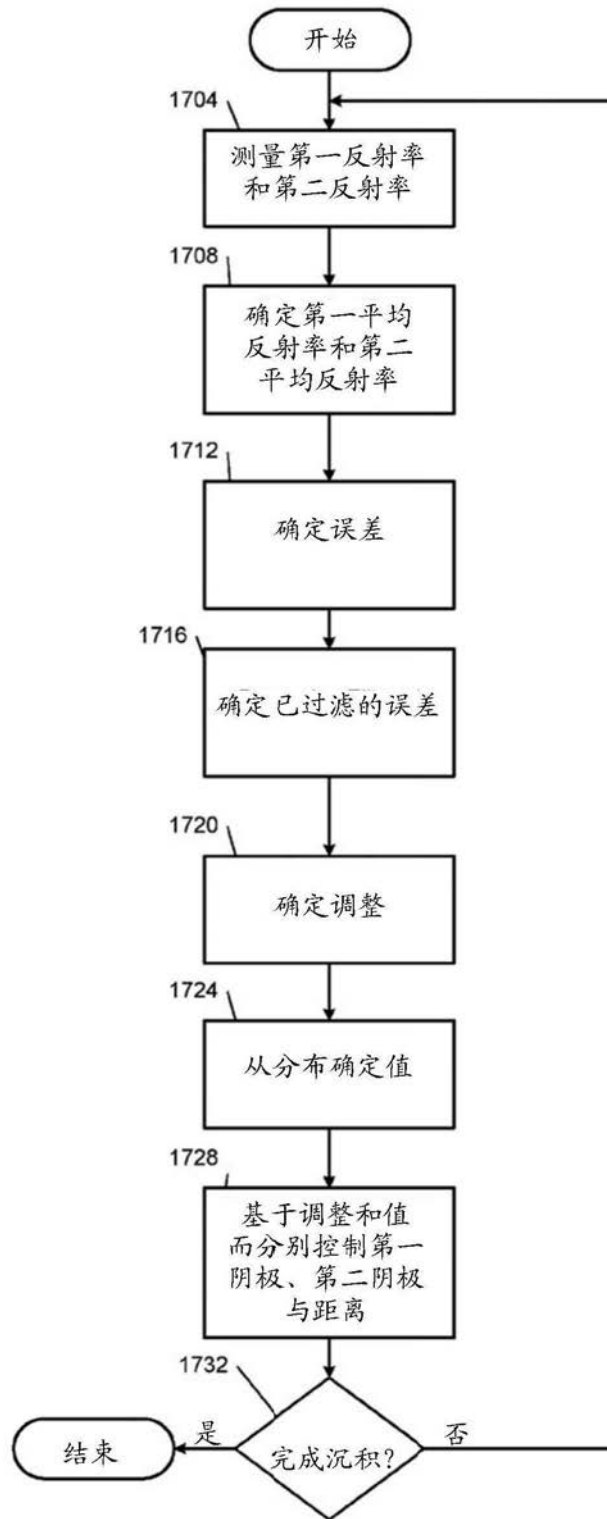


图17

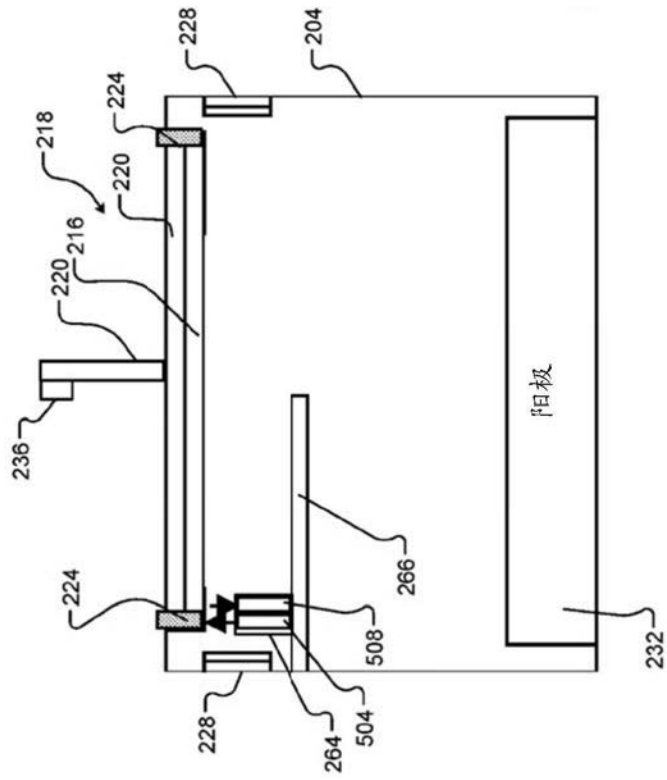


图18

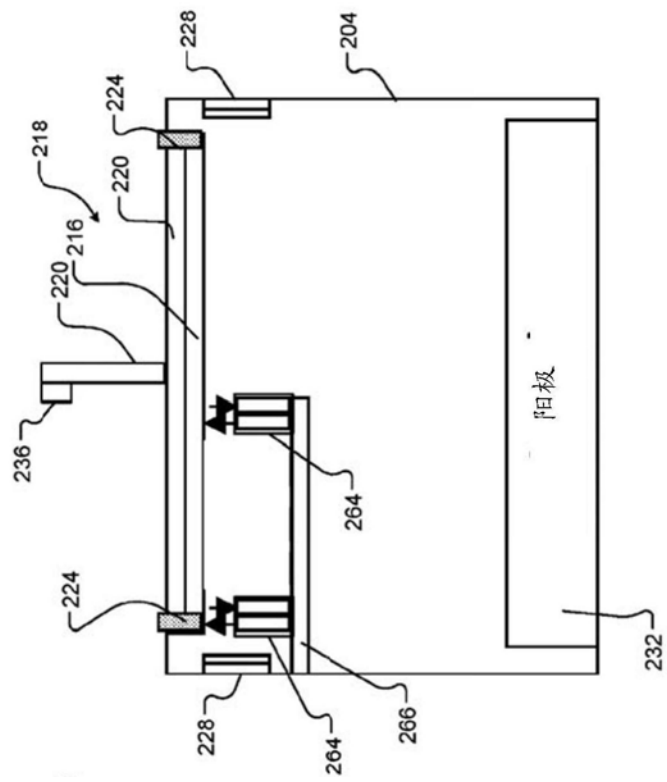


图19

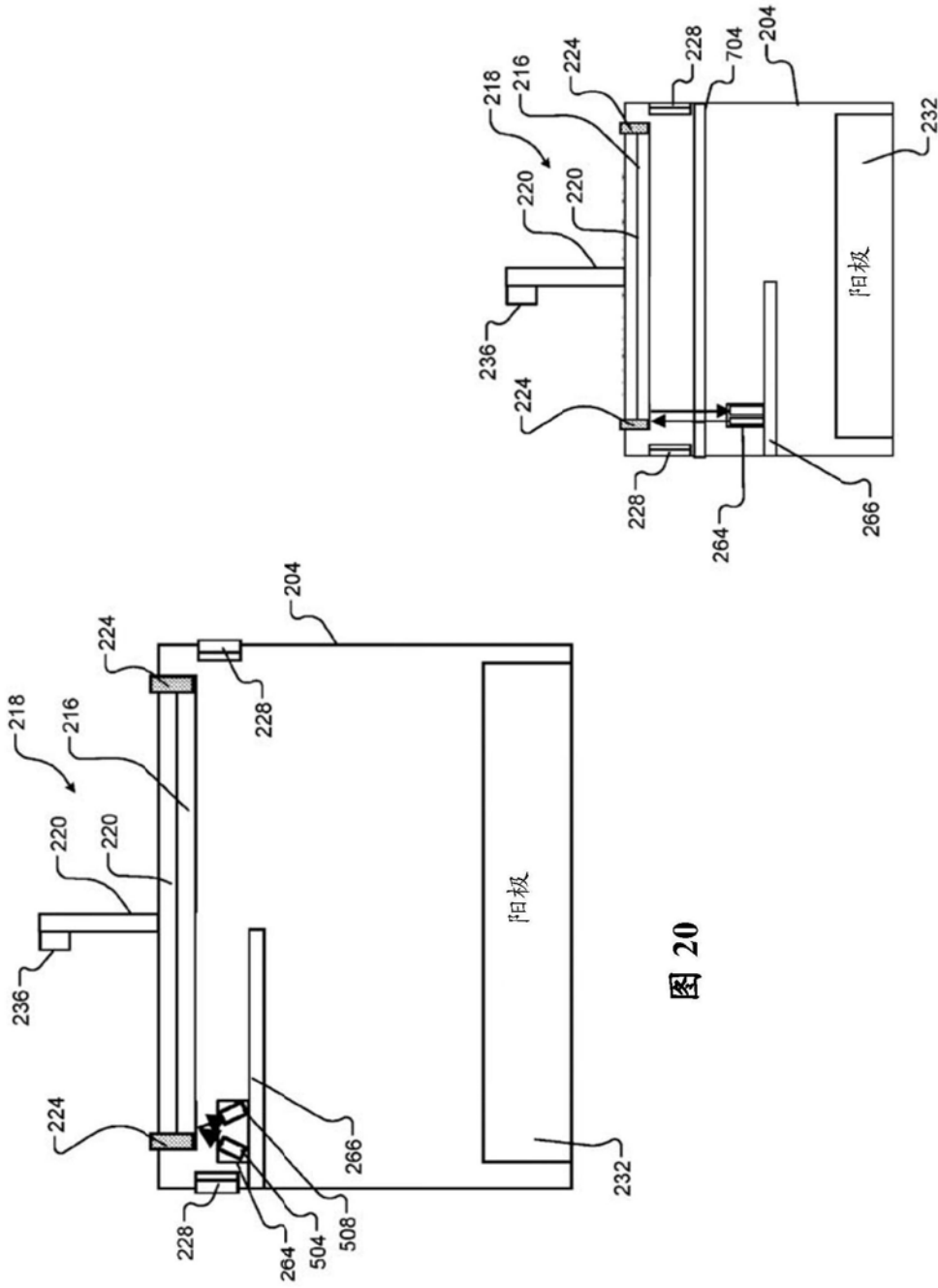


图 20

图 21

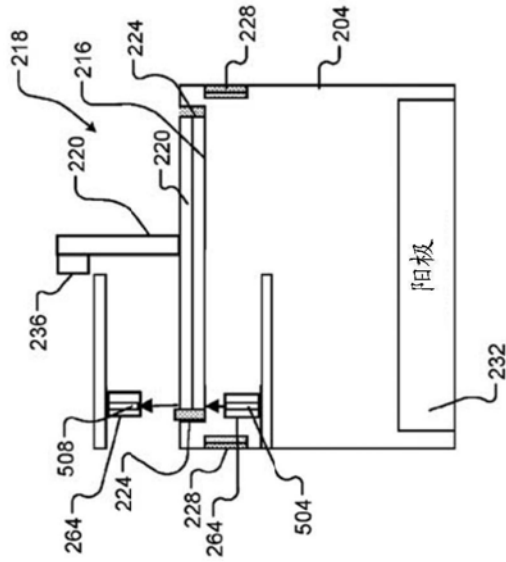


图22

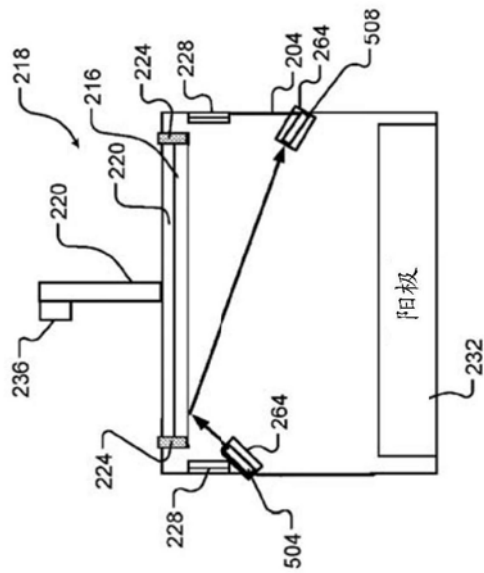


图23

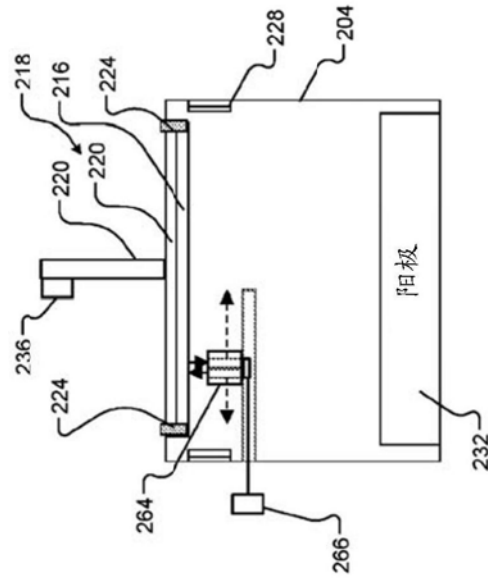


图24