

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利申请公布说明书

H01L 21/20 (2006.01)

H01L 21/44 (2006.01)

C23C 16/00 (2006.01)

[21] 申请号 200780052635.4

[43] 公开日 2010年3月3日

[11] 公开号 CN 101663734A

[22] 申请日 2007.8.17

[21] 申请号 200780052635.4

[30] 优先权

[32] 2007.4.17 [33] US [31] 11/736,511

[86] 国际申请 PCT/US2007/018257 2007.8.17

[87] 国际公布 WO2008/130369 英 2008.10.30

[85] 进入国家阶段日期 2009.10.19

[71] 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 衡石·亚历山大·尹

约翰·M·博迪

米哈伊尔·科罗利克

耶兹迪·多尔迪

弗里茨·C·雷德克

[74] 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司

代理人 余刚 吴孟秋

权利要求书 7 页 说明书 19 页 附图 14 页

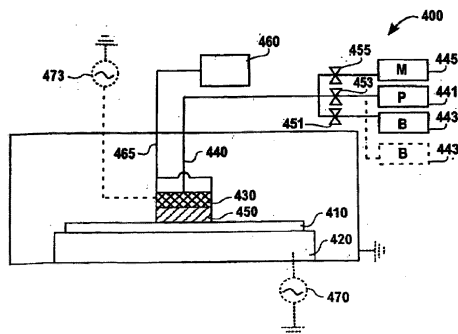
## [54] 发明名称

原子层沉积的装置和方法

## [57] 摘要

通过提供使用原子层沉积 (ALD) 的工艺和系统, 该实施方式提供了在互连结构中沉积保形薄膜的装置和方法。更具体地说, 该 ALD 系统的每一个包括邻近头 (430), 其在该基片表面 (410) 的活动工艺区域的上方具有小的反应容积。该邻近头在相对较短的时间内将少量的反应物和清除气体分发到该邻近头和该基片之间的该小反应容积中并从该反应容积中抽走, 由此增加了通量。在一个示例性实施方式中, 提供一种用于分发反应物和清除气体以由原子层沉积 (ALD) 沉积薄膜的邻近头。该邻近头被配置为序贯分发反应物气体 (445, 443) 和清除气体 (441) 以在该邻近头下方沉积 ALD 薄膜。该邻近头覆盖基片表面的活动工艺区域。该邻近头还包括至少一个真空通道 (465) 以从面向该基片的该邻近头表面和该基片之间的反应容积 (450) 中抽取多余

的反应物气体、清除气体或沉积副产品。该邻近头包括多个侧面, 每个侧面被配置为在该邻近头下方的该基片表面上分发反应物气体或清除气体。每个侧面有至少一个真空通道。



1. 一种用于由原子层沉积 (ALD) 沉积薄膜的装置, 包含:  
    被配置为接收该基片的基片支座; 以及  
    邻近头, 被配置为序贯分发反应物气体和清除气体以在该邻近头下方沉积 ALD 薄膜, 其中该邻近头覆盖基片表面的活动工艺区域, 且该邻近头包括至少一个真空通道以从面向该基片的该邻近头表面和该基片之间的反应容积中抽取多余的反应物气体、清除气体或沉积副产品。
2. 如权利要求 1 所述的装置, 其中该邻近头包括多个侧面, 每一个侧面被配置为在该邻近头下方的该基片表面上分发反应物气体或清除气体, 每一个侧面具有至少一个真空通道。
3. 如权利要求 2 所述的装置, 其中该邻近头可以在各侧面间旋转以完成 ALD 的至少一个沉积周期。
4. 如权利要求 3 所述的装置, 其中该邻近头被限定有旋转结构, 用于以约 1 周期/秒到约 100 周期/秒的速度移动该邻近头。
5. 如权利要求 3 所述的装置, 其中该邻近头被限定有旋转结构, 用于以约 10 周期/秒到约 20 周期/秒的速度移动该邻近头。
6. 如权利要求 2 所述的装置, 其中该邻近头包括 4 个侧面, 第一侧面被配置为分发第一反应物气体, 紧挨着该第一侧面的两个侧面被配置为分发清除气体, 且相对该第一侧面的侧面被配置为分发第二反应物气体。

7. 如权利要求 2 所述的装置, 其中该邻近头包括 3 个侧面, 第一侧面被配置为分发第一反应物气体, 第二侧面被配置为分发清除气体, 而第三侧面被配置为分发第二反应物气体。
8. 如权利要求 2 所述的装置, 其中该邻近头包括 8 个侧面, 两个第一相对侧面被配置为分发第一反应物气体, 紧挨着该两个第一相对侧面的两个第二相对侧面被配置为分发清除气体, 且紧挨着该两个第二相对侧面的两个第三相对侧面被配置为分发第二反应物气体, 该两个第三相对侧面不挨着该两个第一相对侧面, 且紧挨着该两个第三相对侧面和该两个第一相对侧面的两个第四相对侧面被配置为分发该清除气体。
9. 如权利要求 2 所述的装置, 其中该邻近头包括传送带, 该传送带包括多个分发片段, 该多个分发片段中的每一个分发反应物气体或清除气体, 且该传送带移动。
10. 如权利要求 8 所述的装置, 其中有 8 个分发片段被配置为执行两个沉积周期。
11. 如权利要求 1 所述的装置, 其中有两个真空通道, 在至少一个气体通道的每个侧面上有一个以分发该反应物气体或该清除气体。
12. 如权利要求 1 所述的装置, 其中有围绕该至少一个气体通道的一个真空通道以分发该反应物气体或该清除气体。
13. 如权利要求 1 所述的装置, 其中该邻近头的长度大于该基片的直径, 被分发的反应物气体或清除气体覆盖等于或大于该基片的直径的长度。

14. 如权利要求 1 所述的装置,其中该邻近头的长度小于该基片的直径,被分发的反应物气体或清除气体覆盖小于该基片的直径的长度。
15. 如权利要求 1 所述的装置,其中该邻近头被配置为一旦在当前沉积位置沉积该 ALD 薄膜之后,移动到下一个沉积位置以沉积与在该当前沉积位置沉积的该 ALD 薄膜交叠的薄膜。
16. 如权利要求 1 所述的装置,其中该邻近头被配置行为在当前沉积位置执行另一沉积周期。
17. 如权利要求 3 所述的装置,其中当该邻近头被限定有用于将该邻近头在各侧面间移动的旋转结构时,该邻近头和该基片之间的间隙距离改变。
18. 如权利要求 1 所述的装置,其中该邻近头和该基片之间的间隙距离小于 5 毫米。
19. 如权利要求 1 所述的装置,其中该 ALD 薄膜的厚度是由该邻近头跨越该基片的速度决定的。
20. 如权利要求 1 所述的装置,其中该反应物气体是含阻碍金属反应物或与该含阻碍金属反应物形成阻碍层的反应物气体。
21. 如权利要求 1 所述的装置,其中该反应物气体是含衬垫金属反应物或与该含衬垫金属反应物形成衬垫层的反应物气体。
22. 如权利要求 1 所述的装置,其中被分发的反应物气体或清除气体被耦合于基片支座或耦合于该邻近头,或在远程等离子体反应器中的射频(RF)电源等离子体化。

23. 如权利要求 1 所述的装置，其中由 ALD 沉积的薄膜是阻挡层或衬垫层，该薄膜中的金属是从由钽 (Ta)、钛 (Ti)、钨 (W)、锆 (Zr)、铪 (Hf)、钼 (Mo)、铌 (Nb)、钒 (V)、钌 (Ru) 和铬 (Cr) 组成的组中选出来的。
24. 如权利要求 1 所述的装置，其中由 ALD 沉积的薄膜是阻挡层或衬垫层，其厚度在约 10 埃到约 50 埃之间。
25. 一种用于分发反应物和清除气体以由原子层沉积 (ALD) 沉积薄膜的邻近头，包含：
- 邻近头，被配置为序贯分发反应物气体和清除气体以在该邻近头下方沉积 ALD 薄膜，其中该邻近头覆盖基片表面的活动工艺区域，且该邻近头包括至少一个真空通道以从面向该基片的该邻近头表面和该基片之间的反应容积中抽取多余的反应物气体、清除气体或沉积副产品，且其中该邻近头包括多个侧面，每个侧面被配置为在该邻近头下方的该基片表面上分发反应物气体或清除气体，每个侧面有至少一个真空通道。
26. 如权利要求 25 所述的装置，其中该邻近头可以在各侧面间旋转以完成 ALD 的至少一个沉积周期。
27. 如权利要求 25 所述的装置，其中该邻近头包括 4 个侧面，第一侧面被配置为分发第一反应物气体，紧挨着该第一侧面的两个侧面被配置为分发清除气体，且相对该第一侧面的侧面被配置为分发第二反应物气体。
28. 如权利要求 25 所述的装置，其中在至少一个气体通道的每个侧面上有两个真空通道以分发该反应物气体或该清除气体。

29. 如权利要求 25 所述的装置，其中有围绕该至少一个气体通道的真空通道以分发该反应物气体或该清除气体。
30. 如权利要求 25 所述的装置，其中该邻近头的长度大于该基片的直径，被分发的反应物气体或清除气体覆盖等于或大于该基片的直径的长度。
31. 如权利要求 25 所述的装置，其中该邻近头被配置为一旦在当前沉积位置沉积该 ALD 薄膜之后，移动到下一个沉积位置以沉积与在该当前沉积位置沉积的该 ALD 薄膜交叠的薄膜。
32. 如权利要求 26 所述的装置，其中当该邻近头被限定有用于将该邻近头在各侧面间移动的旋转结构时，该邻近头和该基片之间的间隙距离改变。
33. 如权利要求 25 所述的装置，其中被分发的反应物气体或清除气体是等离子体化的。
34. 如权利要求 25 所述的装置，其中由 ALD 沉积的薄膜是阻障层或衬垫层，该薄膜中的金属是从由钽 (Ta)、钛 (Ti)、钨 (W)、锆 (Zr)、铪 (Hf)、钼 (Mo)、铌 (Nb)、钒 (V)、钌 (Ru) 和铬 (Cr) 组成的组中选出来的。
35. 如权利要求 25 所述的装置，其中该反应物气体是含阻障金属反应物或与该含阻障金属反应物形成阻障层的反应物气体。
36. 如权利要求 25 所述的装置，其中该反应物气体是含衬垫金属反应物或与该含衬垫金属反应物形成衬垫层的反应物气体。
37. 一种由原子层沉积 (ALD) 在基片的基片表面上沉积薄膜的方法，包含：

在该基片上方放置 ALD 沉积邻近头，其具有至少一个被配置为将第一反应物气体分发到该基片表面的活动工艺区域的气体通道，其中该 ALD 沉积邻近头覆盖该基片表面的该活动工艺区域；

在该邻近头的该第一侧面下的该基片表面的活动工艺区域上分发第一反应物气体的脉冲；

在该邻近头下的该基片表面的该活动工艺区域上分发清除气体的第一脉冲以从该 ALD 邻近头和该基片表面之间的反应容积清除多余的第一反应物气体；

在该邻近头下的该基片表面的该活动工艺区域上分发第二反应物气体的脉冲以与该第一反应物气体反应从而在该邻近头下的该基片表面上形成该 ALD 膜薄层的一部分；

在该邻近头下方的该基片表面的该活动工艺区域上分发清除气体的第二脉冲以从该 ALD 邻近头和该基片表面之间的该反应容积除去多余的第二反应物气体和形成该 ALD 薄层的该部分的反应副产品。

38. 如权利要求 37 所述的方法，其中该 ALD 沉积邻近头包括多个侧面，每一个侧面被配置为在该邻近头下的该基片表面的该活动工艺区域上分发该第一反应物气体、该第二反应物气体或该清除气体，每一个侧面有至少一个真空通道，且该 ALD 沉积邻近头在各侧面间旋转以完成至少一个 ALD 的沉积周期。
39. 如权利要求 37 所述的方法，其中该 ALD 沉积邻近头包括紧挨着用于分发该第一反应物气体、该第二反应物气体或该清除气体的至少一个气体通道的至少一个真空通道，该至少一个真空通道帮助从该基片表面除去多余的反应物、清除气体或沉积副产品。

- 
40. 如权利要求 39 所述的方法，其中该 ALD 沉积邻近头在各侧面间旋转以完成至少一个 ALD 的沉积周期。
  41. 如权利要求 40 所述的方法，其中该 ALD 沉积邻近头以在约 1 周期/秒到约 100 周期/秒的速度旋转。
  42. 如权利要求 37 所述的方法，其中被分发的反应物气体或清除气体是等离子体化的。
  43. 如权利要求 33 所述的方法，其中由 ALD 沉积的薄膜是阻障层或衬垫层，该薄膜中的金属是从由钽(Ta)、钛(Ti)、钨(W)、锆(Zr)、铪(Hf)、钼(Mo)、铌(Nb)、钒(V)、钌(Ru)和铬(Cr)组成的组中选出来的。



## 原子层沉积的装置和方法

### 背景技术

[0001]在制造半导体器件，比如集成电路、存储单元等时，执行一系列的制造操作以在半导体晶片上限定特征。该半导体晶片包括在硅基片上限定的多层次结构形式的集成电路器件。在基片层次，形成具有扩散区的晶体管器件。在后续层次，互连金属化连线被图案化并电气连接于该晶体管器件以限定期望的集成电路器件。并且，电介质材料将图案化的导电层与其它导电层绝缘。

[0002]对于半导体器件的下一代甚大规模集成（VLSI）和超大规模集成（ULSI）来说，可靠地生产亚微米及更小的特征是关键技术之一。然而，在甚大规模集成和超大规模集成技术中，互连线的不断缩小的尺寸对处理能力提出了更多的要求。随着电路密度的增加，通孔、触点和其它特征，以及它们之间的电介质材料，减小到了亚微米尺寸（例如，小于0.10微米或更小），然而，电介质层的厚度大体上保持不变，结果是特征的纵横比（也就是它们的高度除以宽度）增加。许多传统的沉积工艺在实现纵横比超过4:1的亚微米结构的大体无空和无缝填充上有困难。

[0003]当前，铜及其合金由于其低电阻率而成为亚微米互连技术的首选金属。使用铜的一个问题是铜会扩散入硅、二氧化硅及其他电介质材料中，这会危害器件的完整性。保形的阻障层可用于防止铜的扩散。铜可能不会良好粘着于该阻障层；因此，可能需要在阻障层和铜之间沉积衬垫层。阻障层和衬垫层的保形沉积对于提供良好的台阶覆盖以帮助铜的粘着和/或沉积非常重要。

[0004]鉴于上文，有对于在互连结构中沉积保形薄膜的装置和方法的需要。

## 发明内容

[0005]大体上说，通过提供使用原子层沉积（ALD）的工艺和系统，该实施方式满足了对于在互连结构中沉积保形薄膜的装置和方法的需要。更具体地说，该ALD系统的每一个包括邻近头，其在该基片的一部分的上方具有小的反应容积。该邻近头在相对较短的时间内将少量的反应物和清除气体分发到该邻近头和该基片之间的该小反应容积中并从该反应容积中抽走，其增加了通量。

[0006]应当理解，本发明可以用多种方式实现，包括方案、方法、工艺、装置或系统。下面描述本发明的几个创新性实施方式。

[0007]在一个实施方式中，提供一种用于由原子层沉积（ALD）沉积薄膜的装置。该装置包括被配置为接收该基片的基片支座。该装置还包括被配置为序贯分发反应物气体和清除气体以在该邻近头下方沉积ALD薄膜的邻近头。该邻近头覆盖基片表面的活动工艺区域。该邻近头还包括至少一个真空通道以从面向该基片的该邻近头表面和该基片之间的反应容积中抽取多余的反应物气体、清除气体或沉积副产品。

[0008]在另一个实施方式中，提供一种用于分发反应物和清除气体以由原子层沉积（ALD）沉积薄膜的邻近头。该邻近头被配置为序贯分发反应物气体和清除气体以在该邻近头下方沉积ALD薄膜。该邻近头覆盖基片表面的活动工艺区域。该邻近头还包括至少一个真空通道以从面向该基片的该邻近头表面和该基片之间的反应容积中抽取多余的反应物气体、清除气体或沉积副产品。该邻近头包括多个侧面，每个侧面被配置为在该邻近头下方的该基片表面

上分发反应物气体或清除气体。每个侧面有至少一个真空通道。

[0009]在又一个实施方式中，提供一种由原子层沉积（ALD）在基片的基片表面上沉积薄膜的方法。该方法包括在该基片上方放置ALD沉积邻近头，其具有至少一个被配置为将第一反应物气体分发到该基片表面的活动工艺区域的气体通道。其中该ALD沉积邻近头覆盖该基片表面的该活动工艺区域。该方法还包括在该邻近头的该第一侧面下的该基片表面的该活动工艺区域上分发第一反应物气体的脉冲。该方法进一步包括在该邻近头下的该基片表面的该活动工艺区域上分发清除气体的第一脉冲以从该ALD邻近头和该基片表面之间的反应容积清除多余的第一反应物气体。

[0010]另外，该方法包括在该邻近头下的该基片表面的该活动工艺区域上分发第二反应物气体的脉冲以与该第一反应物气体反应以在该邻近头下的该基片表面上形成该ALD膜薄层的一部分。另外，该方法包括在该邻近头下方的该基片表面的该活动工艺区域上分发清除气体的第二脉冲以从该ALD邻近头和该基片表面之间的该反应容积除去多余的第二反应物气体和形成该ALD薄层的该部分的反应副产品。

[0011]通过下面结合附图进行的详细说明，本发明的其他方面和优点会变得显而易见，其中附图是用本发明的原理的示例的方式进行描绘的。

## 附图说明

[0012]通过下面结合附图进行的详细说明，可以很容易地理解本发明，且同类的参考标号代表同类的结构元件。

[0013]图1A显示了沉积有阻障层的互连结构。

[0014]图1B显示了沉积有阻障层、衬垫层和铜层的互连结构。

[0015]图2显示了示例性的ALD沉积周期。

[0016]图3显示了示例性的传统ALD室的示意图。

[0017]图4显示了依照本发明的一个实施方式，邻近头ALD室的示意图。

[0018]图5A显示了依照本发明的一个实施方式，用于ALD的邻近头的示意图。

[0019]图5B显示了，依照本发明的一个实施方式，在基片上方用于ALD的邻近头的俯视图。

[0020]图5C显示了，依照本发明的另一个实施方式，在基片上方用于ALD的邻近头的俯视图。

[0021]图5D显示了，依照本发明的又一个实施方式，在基片上方用于表面处理的邻近头的俯视图。

[0022]图5E显示了，依照本发明的一个实施方式，用于ALD的邻近头的仰视图。

[0023]图5F显示了，依照本发明的另一个实施方式，用于ALD的邻近头的仰视图。

[0024]图5G显示了，依照本发明的一个实施方式，在基片下方用于ALD的邻近头的横截面示意图。

[0025]图6A显示了，依照本发明的一个实施方式，由邻近头ALD沉积的薄膜的示意图。

[0026]图6B显示了，依照本发明的一个实施方式，由邻近头ALD沉积的具有多个层的薄膜的示意图。

[0027]图7A显示了，依照本发明的一个实施方式，邻近头的横截面示意图。

[0028]图7B显示了，依照本发明的另一个实施方式，邻近头的横截面示意图。

[0029]图7C显示了，依照本发明的又一个实施方式，邻近头的横截面示意图。

[0030]图7D显示了，依照本发明的一个实施方式，具有传送带的邻近头的横截面示意图。

[0031]图8A显示了，依照本发明的一个实施方式，使用邻近头的ALD的工艺流程。

[0032]图8B显示了，依照本发明的另一个实施方式，使用邻近头的ALD的工艺流程。

[0033]图9显示了，依照本发明的一个实施方式，用于基片上方的表面处理和沉积的多个邻近头。

## 具体实施方式

[0034]提供使用邻近头的ALD装置和方法的一些示例性实施方式。该邻近头ALD装置和方法改善了ALD的处理通量并允许在同一

个装置中对ALD沉积进行预处理（pre treatment）和后处理（post treatment）。应当理解，本发明可以用多种方式实现，包括工艺、方法、装置或系统。下面描述本发明的一些创新性实施方式。显然，对于本领域的技术人员来说，本发明无需此处所述的具体细节中的一些或全部，仍然可以实现。

[0035]如图1A所示，已经知道，由传统的物理气相沉积（PVD）工艺产生的该互连结构**100**的顶部附近的阻障突出部份**101**会在铜空隙填充过程中由于不良的台阶覆盖率而导致金属连线或通孔中的铜空隙。如图1A所示，阻障材料在下角落**102**中的有限的沉积，也是一个已知问题，会导致铜扩散、电子迁移（EM）问题，以及应力引起的空隙。为了确保该下角落中有足够多的阻障材料，需要在该互连结构中沉积足够多的阻障材料。因此，需要一种更加保形的阻障沉积。该阻障层**101**是由耐火金属化合物（比如氮化钽（TaN）、钽（Ta）或这些膜的结合）制成的。也可以使用其它的阻障层材料。阻障层材料可以是其它的耐火金属化合物，包括但不限于，钛（Ti）、氮化钛（TiN）、钨（W）、锆（Zr）、铪（Hf）、钼（Mo）、铌（Nb）、钒（V）、钌（Ru）和铬（Cr）及其它。

[0036]除了台阶覆盖率问题以外，阻障层，比如氮化钽（TaN），良好粘着于电介质层**150**；然而，TaN和铜之间的粘着性很差。相反，阻障层，比如钽（Ta），良好粘着于铜，但是不会良好地粘着于该电介质层。如图1B所示，沉积TaN层**111**以衬垫（line）该互连结构，以允许该TaN接触该电介质材料**150**并在其后沉积Ta层从而使铜**113**接触Ta **112**，是可能的。该Ta层作为对铜的衬垫层或胶层。然而，双步骤工艺更复杂，而且第一层TaN的沉积使得该互连结构的纵横比变得更高，这恶化了后面Ta层的台阶覆盖率问题。衬垫层的其它实施例包括但不限于，钛（Ti）、氮化钛（TiN）和钌（Ru）及其它。

[0037]已经知道，原子层沉积 (ALD) 制造具有良好的台阶覆盖率的薄膜。如图2所示，ALD通常是使用反应物的多个脉冲 (pulse) (比如两个脉冲) 完成的，其中中间有清除脉冲。对于金属阻挡沉积，含阻挡金属的反应物 (M) **201** 的脉冲被施加到该基片表面，然后是清除气体 (P) **202** 的脉冲。用于阻挡金属 (比如氮化钽) 的含阻挡金属反应物的实施例包括但不限于五乙基甲基氨基-钽 (PEMAT;  $\text{Ta}(\text{NC}_2\text{H}_5\text{CH}_3)_5$ )、五二乙基氨基-钽 (PDEAT;  $\text{Ta}[\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_5$ )、五二甲基氨基-钽 (PDEAT;  $\text{Ta}[\text{N}(\text{CH}_3)_2]_5$ )，和 PEMAT、PDEAT、或 PDMAT 的任何和所有变种。其它的含钽前体包括但不限于叔丁基亚氨基-三 (二乙基氨基)-钽 (TBTDET)、叔丁基亚氨基-三 (二甲基氨基)-钽 (TBTDMT) 和叔丁基亚氨基-三 (乙基甲基氨基)-钽 (TBTEMT)，以及 TBTDET、TBTDMT、TBTEMT 的所有变种。另外，其它的含钽前体包括但不限于卤化钽，例如  $\text{TaX}_5$ ，其中 X 是氟 (F)、溴 (Br) 或氯 (Cl) 及其变种。清除气体的实施例包括但不限于氦 (He)、氖 (Ne)、氩 (Ar)、氢气 ( $\text{H}_2$ )、氮气 ( $\text{N}_2$ ) 及其组合。

[0038]施加到该基片表面的含阻挡金属反应物 **201** 的脉冲在该基片表面上形成阻挡金属 (比如 Ta) 的单层。在一个实施方式中，该清除气体的脉冲是等离子体增强 (或等离子体辅助) 气体。该阻挡金属 (比如 Ta) 粘着于该基片表面，其是由电介质材料组成的。该清除气体 **402** 从该基片表面除去多余的含阻挡金属反应物 **201**。该清除气体 **202** 的脉冲之后，向该基片表面施加反应物 (B) **203** 的脉冲。该反应物 (B) **203** 可以是含氮气体或含氢的还原性气体。如果该阻挡材料包含氮，例如 TaN，那么该反应物 (B) **203** 很可能包含氮。反应物 (B) **203** 的实施例包括氨 ( $\text{NH}_3$ )、 $\text{N}_2$  和 NO。可以使用的其它含氮前体气体包括但不限于  $\text{N}_x\text{H}_y$  (其中 x 和 y 是整数，例如， $\text{N}_2\text{H}_4$ )、 $\text{N}_2$  等离子体源、 $\text{NH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2$  及其它。如果该阻挡材料不包含或包含少量氮，则该反应物 (B) **203** 可以是含氢的还原性气体，

比如 $H_2$ 。在脉冲**203**之后是清除气体**204**的脉冲。反应物A、B和清除气体可以是等离子体增强或热激励的。在一个实施方式中，该反应物（B）**203**的脉冲是等离子体增强（或等离子体辅助）的。

[0039]该氮化钽层的形成开始于含钽化合物的单层在该基片上的化学吸附，然后是含氮化合物的单层。替代地，该氮化钽层的形成开始于含氮化合物的单层在该基片上的化学吸附，然后是含钽化合物的单层。而且，在一个替代实施方式中，可以在反应物气体的各脉冲之间单独用泵抽空以防止反应物气体的混合。

[0040]图2显示了该阻障沉积脉冲的一个周期。在该阻障沉积脉冲的一个周期之后，沉积了阻障层或衬垫层的薄层（或相）。施加一个或多个脉冲周期直到达到期望的阻障层厚度。该脉冲的持续时间在约100毫秒到约2秒之间。该阻障层和/或衬垫层的厚度在约10埃（Å）到约50埃之间，优选地，在约20埃到约30埃之间。

[0041]在传统ALD装置和工艺中，活性气体（一种或多种）和清除气体（一种或多种）被引导到整个基片表面上。它要求一定量的时间 $\Delta T_M$ 、 $\Delta T_B$ ，以便反应物A或B覆盖整个基片的表面。类似地，为了保证多余的反应物A或B被从该基片表面抽走（pumped away），需要足够多的清除时间 $\Delta T_{P1}$ 、 $\Delta T_{P2}$ ，如图2所示。 $\Delta T_M$ 、 $\Delta T_B$ 、 $\Delta T_{P1}$ 和 $\Delta T_{P2}$ 还分别被称为反应物M、反应物M的清除气体、反应物B和反应物B的清除气体的脉冲时间（或持续时间）。反应物M、反应物M的清除气体、反应物B和反应物B的清除气体的脉冲时间影响阻障层沉积的通量。在该基片表面和工艺室基本上没有反应物M之后，反应物B被引入该工艺室或被引导到该基片表面。类似地，在该基片表面和工艺室基本上没有反应物B之后，反应物M被引入该工艺室或被引导到该基片表面。



[0042]图3显示了工艺室300，其中基片310被放置在基片支座320上。在工艺室300中，有悬挂在该基片310上方的喷淋头330。进气口340耦合于该喷淋头330。泵360连接于该工艺室300。泵360将该反应室300中的气体（一种或多种）泵出该反应室并维持该室内的压强。在该喷淋头330和该基片310之间是反应容积350。在清除期间，该基片表面上的多余的反应物M或B需要被从该基片表面清除掉。还需要将多余的反应物M或B从该工艺室的其它部分清除掉以防止反应物M和B混合，从而防止微粒问题。如同上面讨论的，在一些实施方式中，清除可以被抽气（pumping）代替。从整个基片表面和/或该工艺室清除多余的反应物M或B可能是很耗时的。

[0043]由于脉冲的长度，该沉积周期可能很久而沉积速率可能相对较低。例如，传统的ALD工艺室的典型的沉积周期是约1-5秒/周期。每个周期的典型的膜厚大约是 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 为1埃/周期，W为2.5埃/周期，TaN在0.4埃/周期到2.6埃/周期之间，Ru为0.4埃/周期。对于Ru来说，沉积速率是0.08-0.4埃/秒，这是相对较低的。如上所述，Ru可以是阻障层，也可以是衬垫层。

[0044]由于相对长的沉积周期，对于一些阻障或衬垫层（比如Ru）来说，从生产的立场看，沉积速率（或通量）被认为太低了。为了提升沉积速率，需要减少沉积周期。一种减少沉积周期的方式是使用反应物和清除气体的短脉冲（快速清除或快速抽气）。如果该反应容积很小，且当反应物或清除气体的排气（或抽气）接近反应容积的话，短脉冲是可能的。图4显示了具有邻近头440的ALD反应器400的示意图。在反应器400中，有基片410放置在基片支座420上。该邻近头440被支撑在该基片410上方。在该邻近头430和该基片410之间，有反应容积450。

[0045]进气口440和真空管线465耦合于该邻近头430。该进气口440向工艺室400供应反应物和清除气体。该进气口440可以耦合于

多个存储反应物或清除气体的容器。例如，该进气口**440**可以耦合于存储第一反应物（比如图2中描述的反应物M）的容器**441**。在一个实施方式中，容器**441**中的反应物是液态的，并由载气运入该进气口**440**，该载气是惰性气体之一或不与反应物M反应的气体，比如N<sub>2</sub>。惰性气体的实施例包括氦、氩、氖、氪、氙和氡。该进气口**440**还耦合于供应第二反应物（比如图2中描述的反应物B）的容器**443**。如上所述，反应物B可以是等离子体辅助的。在一个实施方式中，反应物B是由反应器**443'**供应的，该反应器**443'**产生等离子体化的反应物B。替换地，该基片支座**420**可耦合于射频（RF）产生器以产生等离子体以在反应物被分发入该反应容积**450**时，等离子体化反应物B，而不是从反应器**443'**供应等离子体化的反应物B。另一种替代方案是将RF产生器**473**耦合于该邻近头**430**以产生等离子体。在一个实施方式中，在等离子体产生过程中，一个电极耦合于该RF产生器而另一个电极接地。

[0046]该进气口**440**还可以耦合于存储清除气体的容器**445**。清除气体和反应物B还可以由载气稀释，如上面对于反应物M的描述。载气可用于保持室内压强。反应物M很可能需要载气，因为它在存储槽中是液态的。需要载气将汽化的反应物M带入该处理室。反应物B（还原性气体）可能不需要载气，因为它已经是气态的了。然而，反应物B可能需要载气以保持室内压强或保持低浓度。

[0047]可以有加热器（未示）和/或冷却器耦合于，或嵌入，该基片支座**420**，以保持该基片的温度。该室的其它部分也可以被加热或冷却以保持工艺温度。

[0048]在ALD沉积周期过程中，反应物M、B和清除气体P之一被供应到该进气口**440**。这些气体的气体供应的开和关是由阀门**451**、**453**和**455**控制的。真空管线**465**的另一端是真空泵**460**。图4中

的反应容积**450**比图3中的反应容积**350**小很多。还有耦合于该压强室的真空泵（未示）以保持该室内压强。

[0049]图5A显示了配置于基片**410**上方的邻近头**430**，其中在该邻近头**430**和基片**410**之间有反应容积**450**。该反应容积**450**下方的基片表面是活动工艺区域**455**。该邻近头**410**具有一个或多个气体通道**411**，其供应反应物M、B或清除气体P。在该气体通道**411**的两侧，有真空通道**413**、**415**，其从该反应容积**450**中抽走过多的反应物M、B、清除气体和/或反应副产品。由于将过多的反应物或反应物副产品排出基片表面的真空通道**413**、**415**的存在，可能不需要清除气体了。在一些实施方式中，图2中的清除步骤**202**和**204**可以省略。

[0050]反应物M、B和清除气体P序贯穿过该气体通道**411**，比如以图2所示的顺序。气体通道**411**耦合于进气口**440**，进气口**440**耦合于包括反应物M、B和清除气体P的不同的气体源。当气体（反应物M、B或P中任一个）的脉冲被从该气体通道**411**注射到该基片表面时，多余的气体被真空通道**413**、**415**从该基片表面抽走，这保持了小的反应容积并减少了清除或抽气时间。因为该反应容积很小，只需要少量的反应物来覆盖该很小的反应容积。类似地，只需要少量的清除气体来从该反应容积**450**清除多余的反应物。另外，该真空通道离该很小的反应容积**450**很近，这有助于多余的反应物、清除气体和反应副产品从该基片表面抽走和清除。因此，反应物M、B和清除气体各自的脉冲时间 $\Delta T_M$ 、 $\Delta T_B$ 、 $\Delta T_{P1}$ 和 $\Delta T_{P2}$ 可以被大大减少。因此，周期时间可以被减少而通量可以被增加。

[0051]图5B显示了在基片**410**上的图4和图5A的邻近头**430**的一个实施方式的俯视示意图。邻近头移动跨越基片表面。在此实施方式中，该邻近头的长度LPH等于或大于该基片的直径。该邻近头下方的反应容积覆盖下面的基片表面。通过移动该邻近头跨越（across）该基片一次，整个基片表面被沉积上屏障或衬垫层的薄

膜。在另一个实施方式中，该基片**410**在该邻近头**430**的下方移动。在又一个实施方式中，该邻近头**430**和该基片**410**两者都移动，但是以相反的方向，从而彼此跨越。沉积的薄膜的厚度可以由该邻近头**430**跨越该基片**410**的速度控制。

[0052]替代地，该邻近头的长度 $L_{PH}$ 可以小于该基片的直径。需要该邻近头**430'**多次跨越该基片以在该基片表面沉积屏障或衬垫薄层。图5C显示了邻近头**430'**，其中该邻近头的长度 $L_{PH}$ 短于该基片的直径。在第1次穿越（pass 1）中该邻近头**430'**跨越该基片表面之后，该邻近头**430'**向下移动以在第2次穿越（pass 2）和第三次穿越（pass 3）中跨越该基片。在第3次穿越结束时，整个基片表面被沉积上该屏障或衬垫膜的薄层。

[0053]图5D显示了另一个实施方式，其中邻近头**430''**绕基片**410**的表面旋转。在此实施方式中，处理气体被供应到进气口**440'**，其连接于该邻近头**430**的末端。该真空管线**465'**也耦合于该邻近头**430**的该末端。

[0054]图5E显示了图5A的邻近头**430**的仰视图的一个实施方式。该邻近头**430**具有气体注入头**401**，其耦合于具有多个气体注入孔**421**的气体通道**411**。图5E中显示的该气体注入孔**421**的布置和形状仅仅是示例。也可以使用其它布置的注入孔和其它形状的注入孔。在一个实施方式中，该注入头**410**只有一个窄缝（未示），而没有注入孔。替代地，例如，有两排或多排注入孔，而不是一排。该注入孔可以是交错的或者并排的。该注入孔的形状可以是圆形、方形、六边形或其它形状的。该邻近头**430**还有真空头**403**、**405**，其耦合于该气体注入头**401**两侧的真空通道**413**、**415**。在此实施方式中，真空头**403**、**405**是两条缝。还可以使用其它几何形状的真空气头。替代地，真空头**403**和**405**的开缝连接起来成为围绕该气体注入头**401**的单个缝**403'**，如图5F的邻近头**430'''**所示。

[0055]除了将基片放在邻近头下方之外，基片还可以被放置在邻近头上方以处理该基片表面。图5G显示了放置于基片410下方的邻近头430的示意图，其中该基片410的有效表面470面向该邻近头430。器件是在该有效表面470上制造的。该基片410被一个器件（未示）支撑在该邻近头430的上方。该邻近头430还由机械装置（未示）支撑。

[0056]图6A显示了沉积在基片610上的阻障或衬垫薄层620的横截面示意图。在基片610的边缘，阻障或衬垫薄层620的小片段621被沉积在该邻近头下方。片段621沉积完之后，该邻近头向左移动以沉积另一个片段622，其略微交叠片段621。片段623在片段622之后，而片段624在片段623之后，等。在该基片的另一边缘，沉积工艺停止，完整的薄膜610形成。

[0057]图6B显示了在基片表面上沉积的多个薄膜层620、630的横截面示意图。在第一层620沉积完之后，在该第一层620上沉积第二层630。该第二层630可以用与该第一层620相同的材料形成的，以增加膜的总厚度。替代地，如果该第一层620的厚度足够，或者达到了目标厚度，该第二层630可以由不同材料制成的。例如，第一层620的材料可以是TaN，其用作阻障层。该第二层630的材料可以是Ru，其用作衬垫层。

[0058]除图5A所示的喷淋头的实施方式之外，其它的实施方式也是可能的。图6A显示了悬挂于基片710上方的旋转邻近头700的横截面。该邻近头700的横截面可以是长方形或正方形的。在每一侧面的表面上，在中间有进气口而在该气体进口的两侧有真空通道。例如，在侧面1，有供应反应物M的进气口711和真空通道713、715。在侧面2，有供应清除气体P的进气口721和真空通道723、725。在侧面3，有供应反应物B的进气口731和真空通道733、735。在侧面4，有供应清除气体P的进气口741和真空通道743、745。在图7A所示的

实施方式中，各真空通道713、715、723、725、733、735、743、745连接于真空增压室701，其连接于真空泵。在一个实施方式中，在每一个真空通道713、715、723、725、733、735、743、745和该真空增压室701之间有控制阀（未示），其控制该真空通道的开/关。

[0059]在图2的工艺流程开始时，侧面1面向基片710的该表面。反应物M的脉冲被散布在该邻近头下方的该基片表面上。多余的反应物M被真空通道713、715从该基片表面抽走。然后，该邻近头700旋转，以使侧面2面向基片710的该表面以脉冲清除气体从而将多余的反应物M驱离该基片表面。旋转装置未示。然后将侧面3旋转到面向基片710的该表面以允许反应物B的脉冲被散布在该邻近头下方的该基片表面上。反应物M和B反应以形成屏障层或衬垫层。在反应结束时，旋转侧面4以面向基片710的该表面以从基片710的该表面清除多余的反应物B和反应副产品并结束一个沉积周期。在该沉积周期过程中，各个侧面到基片700的该表面之间的距离可以彼此不同。旋转和移动该邻近头的机构（或装置）允许各侧面之间的间隔不同。在一个沉积周期结束时，可以在相同位置重复另一个周期以增加膜厚，或该邻近头可以被移动到挨着当前位置的位置以沉积该薄膜的另一个片段，如图6A所示。

[0060]在ALD周期过程中，该邻近头和基片之间的间隙距离很小。在分发含屏障金属的反应物M的过程中，该邻近头和基片之间的间隙距离小于约5毫米。在一个实施方式中，该间隙距离为约1毫米。在分发反应物B的过程中，该邻近头和基片之间的间隙距离小于约5毫米。在一个实施方式中，该间隙距离为约1毫米。在分发清除气体的过程中，该邻近头和基片之间的间隙距离小于约5毫米。在一个实施方式中，该间隙距离为约1毫米。在沉积周期过程中，当该邻近头从一个侧面转向另一侧面时，该间隙距离可能变化。例如，反应物M或B的脉冲的间隙距离可以小于清除气体P的间隙。反

应物M或B的脉冲的更小的间隙距离减少了反应容积，而清除气体的脉冲过程中稍大的间隙距离可以提高清除效率。

[0061]需要使围绕该进气口和真空通道的侧面1、2、3、4的表面是平坦的，以确保反应物M、B或清除气体P的脉冲被平均分配在基片表面上。另外，该真空通道从整个基片表面均匀地吸走多余的反应物M、B或清除气体P。侧面1、2、3、4的平坦表面确保了在该基片710的表面上均匀的薄膜沉积。

[0062]除图7A所示的实施方式之外，用于ALD沉积的邻近头可包括三个侧面，如图7A所示。例如，在侧面1，有供应反应物M的进气口751和真空通道753、755。在侧面2，有供应清除气体P的进气口761和真空通道763、765。在侧面3，有供应反应物B的进气口771和真空通道773、775。该真空通道连接于真空增压室757，该真空增压室757连接于真空泵。在沉积周期过程中，该邻近头可以从侧面1旋转到侧面2旋转到侧面3，然后旋转回侧面2以完成该沉积周期。

[0063]图6C显示了用于ALD沉积的邻近头780的另一个实施方式。在此实施方式中，有8个用于分发反应物和清除气体的侧面，顺序为M-P-B-P-M-P-B-P。在该邻近头780的一次旋转结束时，完成了两个沉积周期。在一个实施方式中，该邻近头保持在一个位置以完成两个沉积周期。在另一个实施方式中，在第一个沉积周期结束时该邻近头780移动到下一个位置并在新的位置执行第二沉积以完成该邻近头780的全部旋转。

[0064]图7D显示了用于ALD沉积的邻近头790的另一个实施方式。在此实施方式中，有进气口的8个片段，其中真空通道耦合于传送带795从而以M-P-B-P-M-P-B-P的顺序分发反应物和清除气体。在该传送带下方有反应容积797。该反应容积797在基片表面区域

798上方，而且在分发反应物M的片段1M下方。当反应物M的脉冲被分发在该基片表面上之后，该传送带795将该1P<sub>1</sub>片段移动到该基片表面798上方以分发清除气体。在该邻近头790的一次旋转结束时，完成了两个沉积周期。在一个实施方式中，该邻近头保持在一个位置以完成两个沉积周期。在另一个实施方式中，在第一沉积周期结束时，该邻近头790移动到下一个位置以在新的位置执行第二沉积以完成该邻近头790的全部旋转。在又一个实施方式中，在该传送带下方有另一个沉积容积796。在一个实施方式中，该邻近头保持在一个位置以完成两个沉积周期。在另一个实施方式中，在该第一沉积周期结束时，该邻近头790移动到下一个位置以在新的位置执行第二沉积以完成该邻近头790的全部旋转。在又一个实施方式中，在该传送带下方有另一个沉积容积796。薄膜沉积发生在该沉积容积796下方的表面794上。在此实施方式中，在该传送带下方有两个反应容积797、796。当邻近头790在它以前的位置时，表面794已经被暴露于反应物M。此实施方式产生的膜厚两倍于具有一个单一反应容积的实施方式所产生的量。

[0065]图8A显示了使用邻近头沉积ALD层的工艺流程800的一个实施方式。该工艺流程可用于沉积任何类型的ALD膜而限于沉积金属膜、阻障层或衬垫层。在步骤801中，ALD沉积邻近头被放置在基片上方，其中具有被配置为分发反应物M的进气口的第一侧面面向该基片表面。在步骤802中，反应物M的脉冲被分发到该邻近头的该第一侧面下方的基片表面上。在步骤803中，该邻近头被旋转以允许具有被配置为分发清除气体P的进气口的第二侧面面向该基片表面。在步骤804中，清除气体P的脉冲被分发到该邻近头下方的基片表面上以从该邻近头下方的基片表面上清除多余的反应物M。在步骤805中，该邻近头被旋转以允许具有被配置为分发反应物B的进气口的该第三侧面面向该基片表面。在步骤806中，反应物B的脉冲被分发到该邻近头下方的基片表面上以与反应物M反应而在



该邻近头下方的基片表面上形成ALD膜薄层。在步骤**807**中，该邻近头被旋转以允许具有被配置为分发清除气体的进气口的第四侧面面向该基片表面。在步骤**808**中，清除气体P的脉冲被分发到该邻近头下方的基片表面上以从该邻近头下方的基片表面上除去多余的反应物B和该ALD的反应副产品。

[0066]在步骤**809**中，该邻近头被旋转以允许具有被配置为分发该反应物M的进气口的该侧面面向该基片表面。在步骤**820**中，该邻近头被移动到下一个位置。下一个位置可以是用于沉积的位置或者该邻近头的停放位置。在一个替代实施方式中，步骤**809**和**820**可以互换。在步骤**821**中，决定沉积是否结束。如果答案是“是”，则由该邻近头进行的ALD沉积结束。如果答案是“否”，则该工艺返回到步骤**802**以继续薄膜沉积。

[0067]在另一个实施方式中，在该邻近头被移动到下一个位置之前，可能要执行多个沉积周期。图8B显示了在该邻近头被移动到下一个位置之前执行多个沉积周期的这种另外的实施方式的工艺流程**850**。在此实施方式中，工艺步骤**810**被插入到步骤**809**之后。在步骤**810**中，决定是否到达了当前位置的沉积周期的末尾。如果答案是“是”，则该工艺去到步骤**820**以将该邻近头移动到下一个沉积位置。如果答案是“否”，则该工艺返回到步骤**802**以继续在当前位置进行薄膜沉积。

[0068]在一个实施方式中，使用该邻近头以沉积阻障层、衬垫层或阻障层和衬垫层的结合的ALD工艺是在约150°C到约400°C之间的温度范围内进行的。在另一个实施方式中，该温度范围在约250°C到约350°C之间。该工艺压强在约10毫托到约10托之间。请注意，脉冲M、脉冲B和脉冲P可以在不同的压强下。

[0069]在该反应容积中有晶片区域压强 ( $P_{\text{wap}}$ )。在ALD的一个实施方式中,  $P_{\text{wap}}$ 在约10毫托到约10托之间的范围内。在ALD的另一个实施方式中,  $P_{\text{wap}}$ 在约100毫托到约2托之间的范围内。该反应容积中的晶片区域压强 $P_{\text{wap}}$ 需要大于室内压强( $P_{\text{chamber}}$ )以控制 $P_{\text{wap}}$ 。室内压强( $P_{\text{chamber}}$ )至少需要稍高于用于控制该室内压强的真空泵的压强。反应物M、P和清除气体P的真空抽吸可以是由能够达到 $10^{-6}$ 托的涡轮泵进行的。

[0070]在一个实施方式中, 图7A中所示的邻近头, 以约1周期/秒(或赫兹)到约100周期/秒之间(或者在10-20周期/秒的更窄范围内)的速度旋转。在一个周期中, 该邻近头旋转一整圈以完成该分发工艺, 顺序为反应物M、清除气体P、反应物B和清除气体P。假如转速为约10-20周期/秒, 则阻障或衬垫层(比如Ru)的0.4埃/周期的沉积周期会带来约4-8埃/秒的沉积速率, 这是传统ALD工艺产生的0.08-0.4埃/秒的沉积速率的至少10倍。通量被该邻近头ALD工艺大大增加。

[0071]要沉积阻障层和/或衬垫层的基片可能需要被预处理以清洁该基片表面或准备该基片表面以沉积具有更好的薄膜质量的ALD。在阻障/衬垫层沉积之后, 该基片表面还可能被后处理以清洁表面杂质或准备该基片以进行铜种晶层沉积。表面处理也可以是由邻近头执行的。

[0072]ALD邻近头、预处理邻近头和/或后处理邻近头可以被集成到单一工艺室中以完成该沉积和处理工艺。对于要沉积阻障薄层(比如Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>)和衬垫层(比如Ru)的基片来说, 该基片可以被预处理以清洁该基片表面, 或该基片表面可以被预处理以准备该表面以进行ALD沉积, 正如上面所讨论的。该衬垫层沉积之后, 该基片表面可以被后处理以准备该表面以进行铜种晶层沉积。在单一的集成沉积/处理室中, 该基片被预处理、沉积阻障层和衬垫层并后处理。

图9显示了基片910，其中多个邻近处理和沉积头在该基片910上方。预处理邻近头920被用于预处理该基片表面或除去杂质或准备该基片表面以进行ALD。紧接着预处理邻近头920的是用于在该基片上沉积阻挡层的ALD1邻近头930。在该ALD1邻近头930之后是用于在该基片上沉积衬垫层的ALD2邻近头940。在沉积该衬垫层之后，该基片被后处理以除去杂质或准备该基片表面以进行接下来的铜种晶层沉积。该后处理是由后处理邻近头950执行的。各邻近头相继跨越该基片表面以完成处理和沉积表面。该处理和沉积工艺可以同时发生或依次发生。图9中显示的只是将处理邻近头和沉积邻近头集成起来的一个示例。其它的组合也是可能的。

[0073]该邻近头ALD室可以与其它沉积、基片清洁或预处理系统（一个或多个）集成以完成铜互连沉积。用于ALD的邻近头还可以与用于ALD或CVD的另一个邻近头结合，且用于预处理和后处理的邻近头在同一个ALD沉积室中以完成该阻挡/衬垫层沉积。

[0074]所述邻近头ALD室可被用于沉积任何类型的ALD膜，而不仅限于导电金属膜。电介质膜或半导体膜也可以在使用邻近头执行薄膜沉积的ALD室中沉积。

[0075]尽管本发明是依照几个实施方式进行描述的，然而应当理解，本领域的技术人员在阅读前述说明书并研究附图之后，可以实现各种变更、添加、置换和其等同。因此，本发明意在包括所有这些变更、添加、置换和等同，均落入本发明的真实精神和范围。在权利要求中，各元件和/或步骤不暗示任何特定的操作顺序，除非在权利要求中有明确陈述。

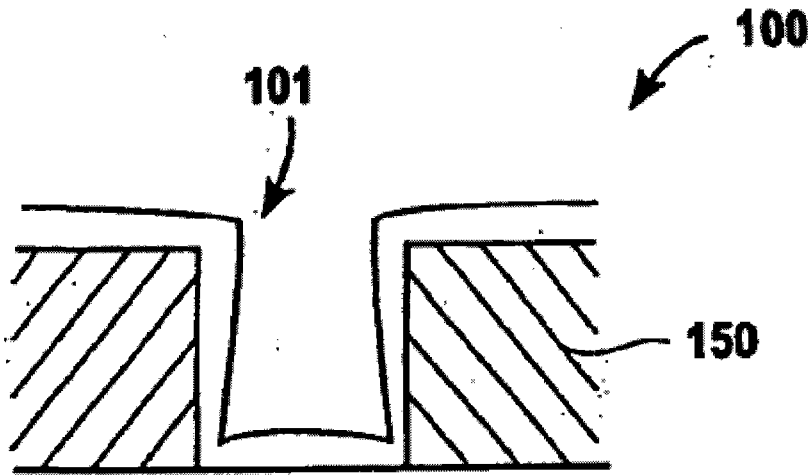


图 1A

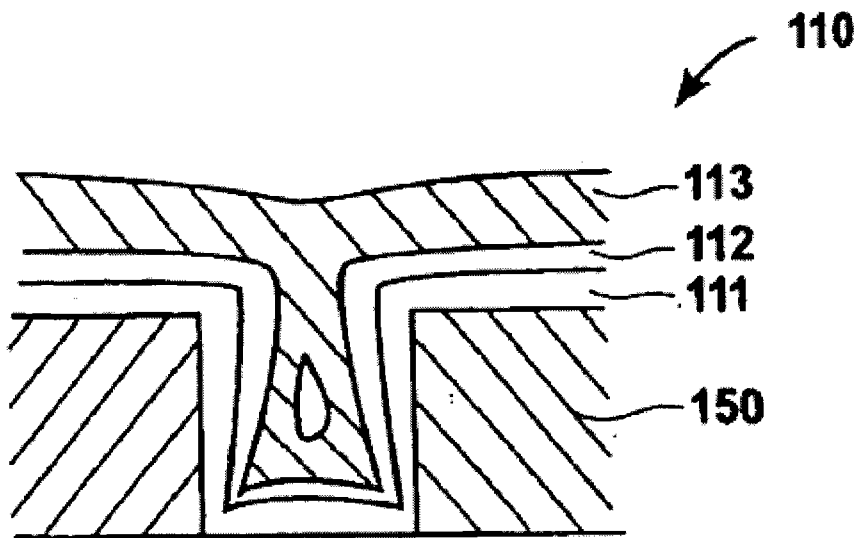


图 1B

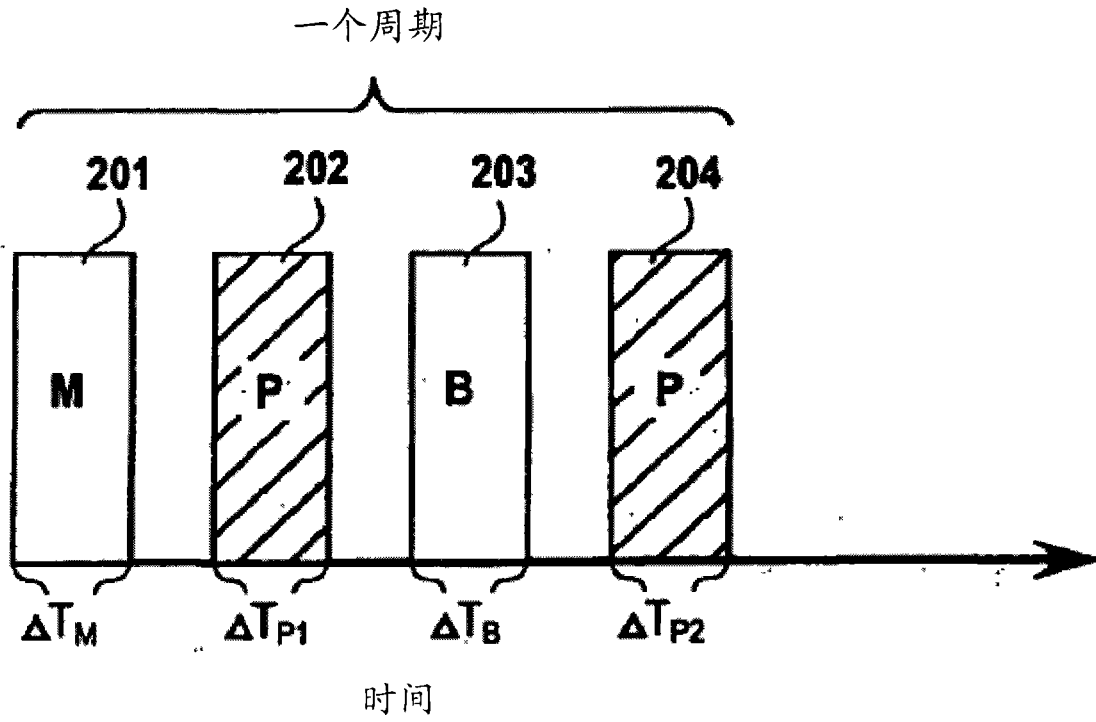


图 2

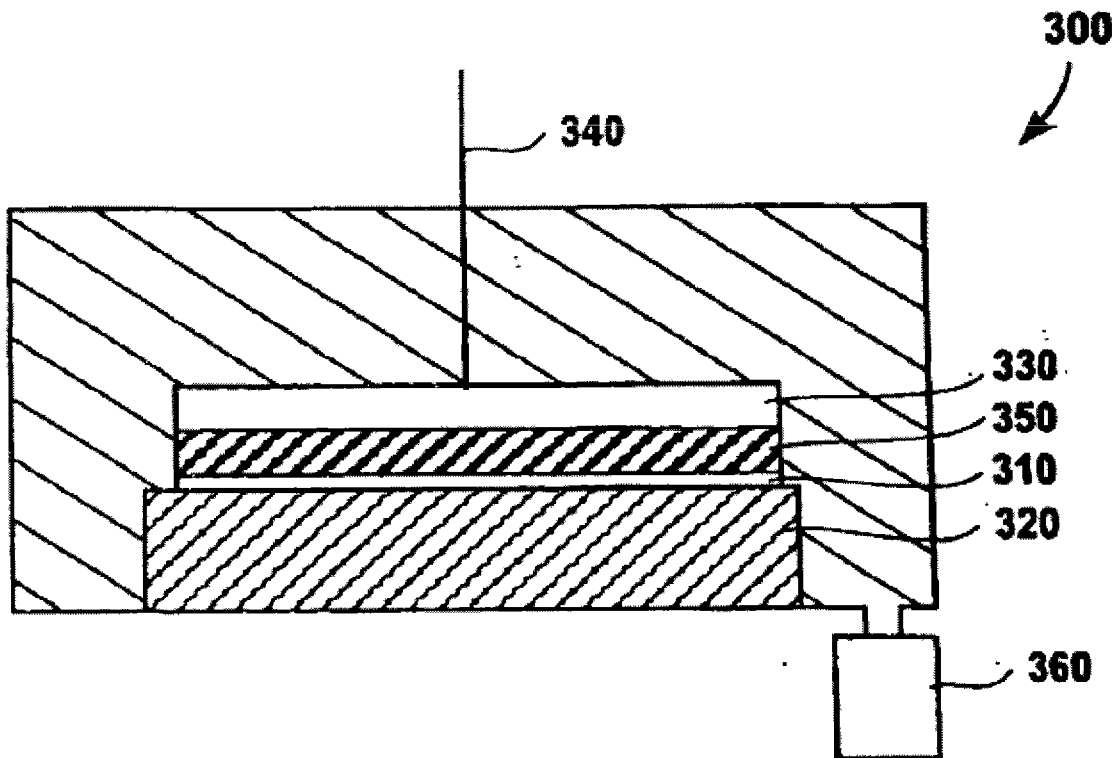


图 3

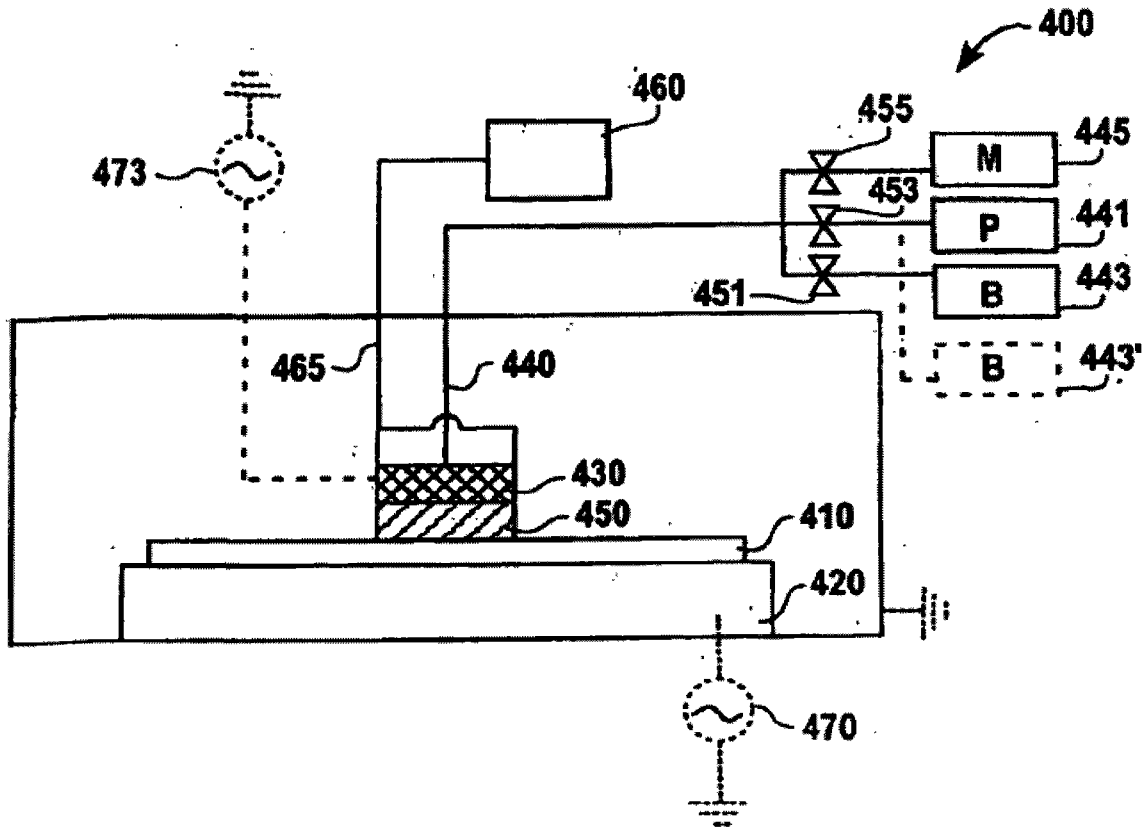


图 4

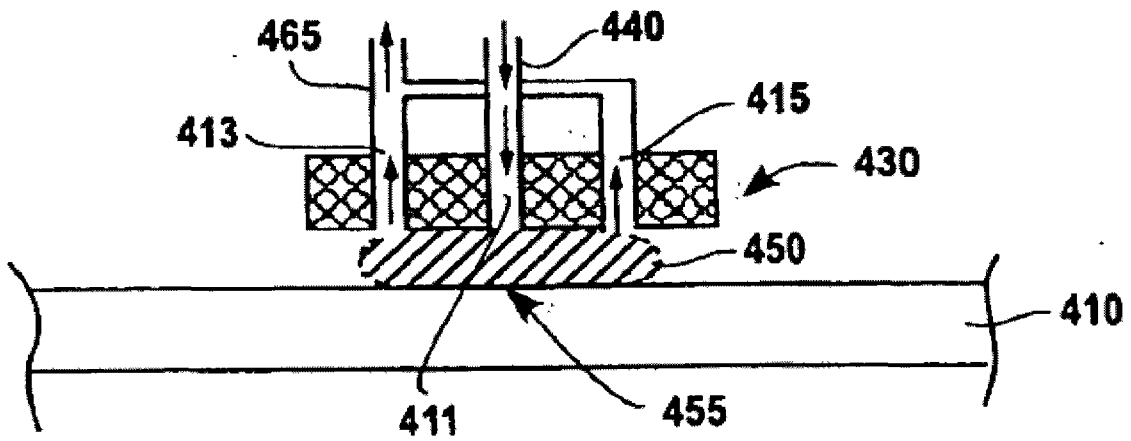


图 5A

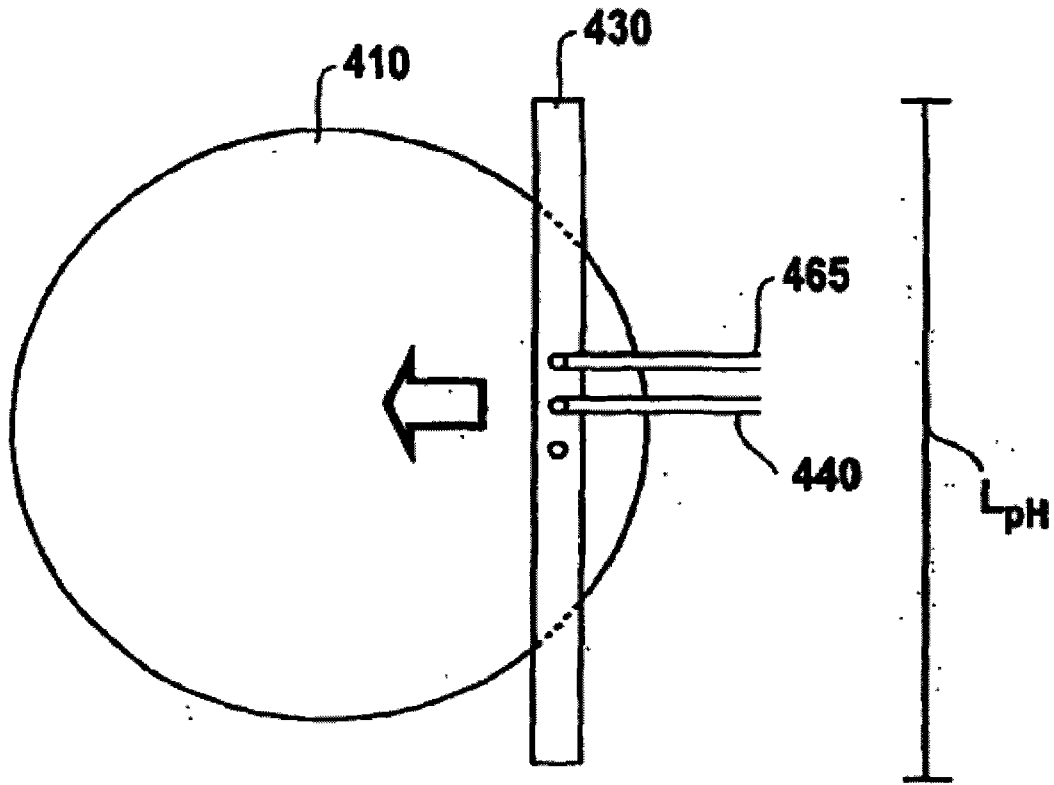


图 5B

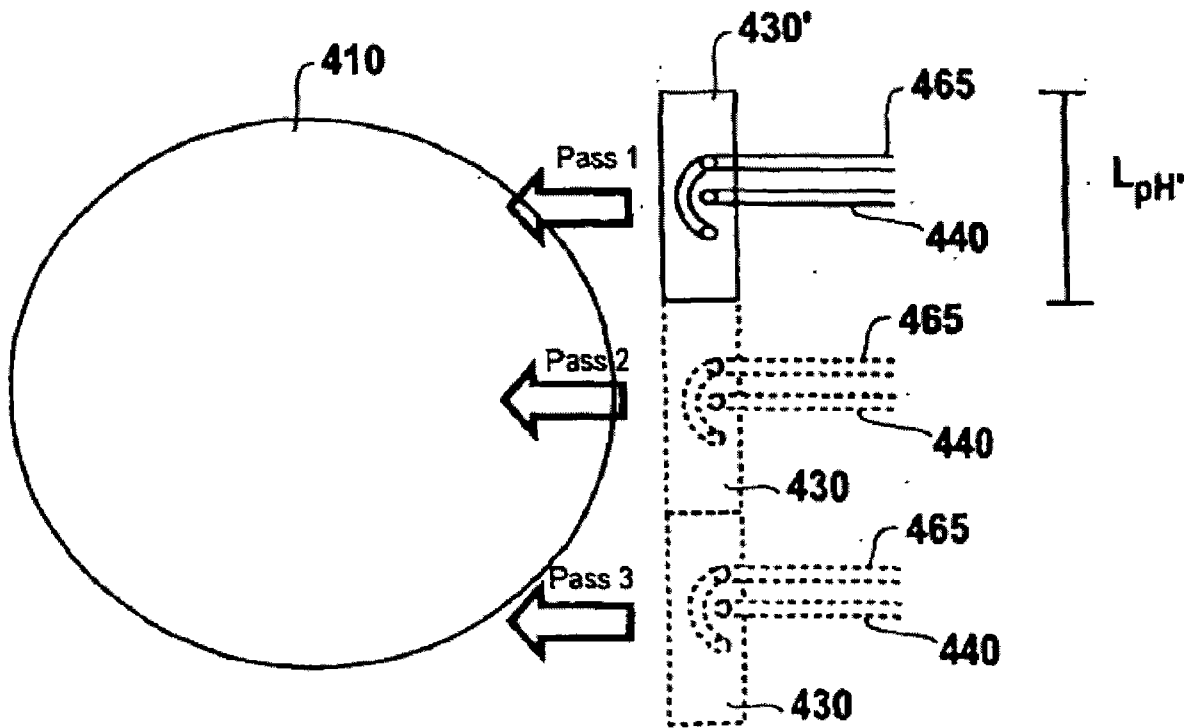


图 5C

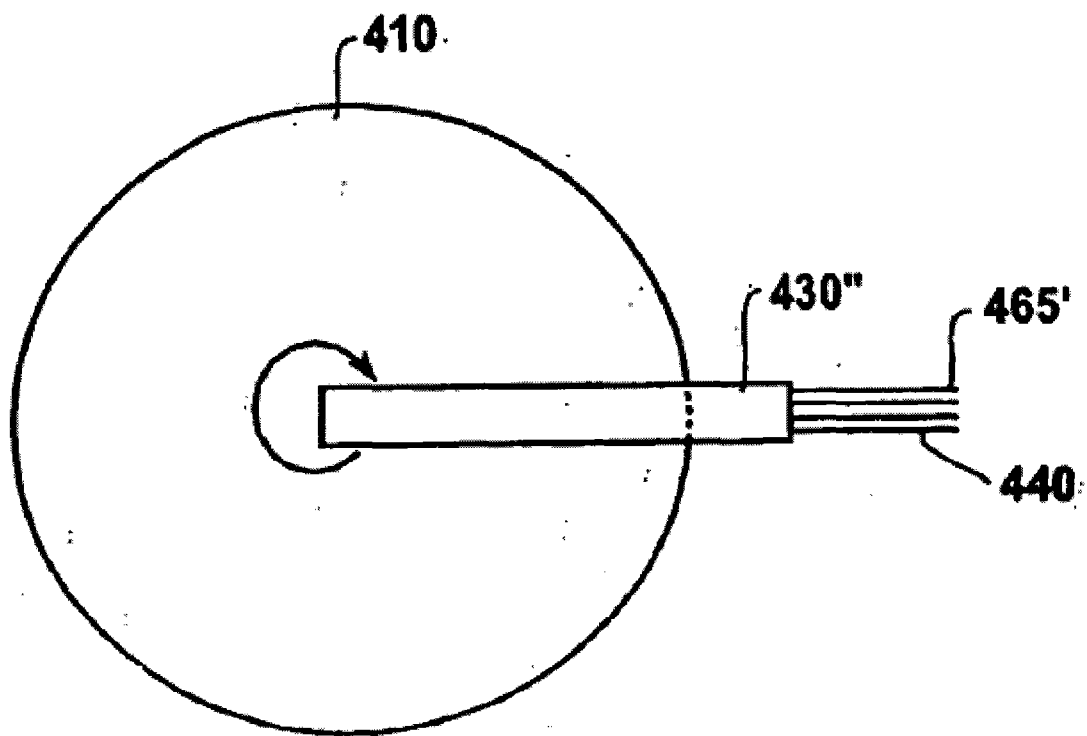


图 5D



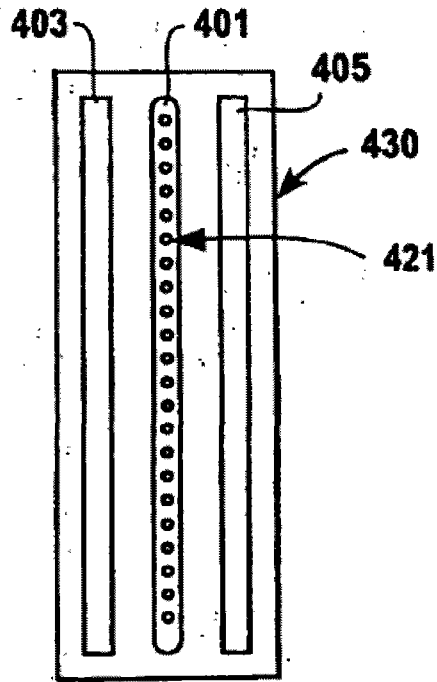


图 5E

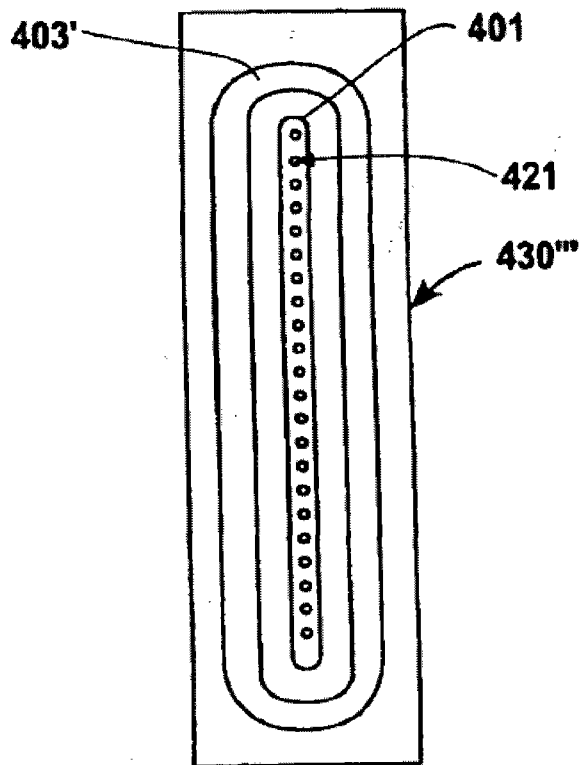


图 5F

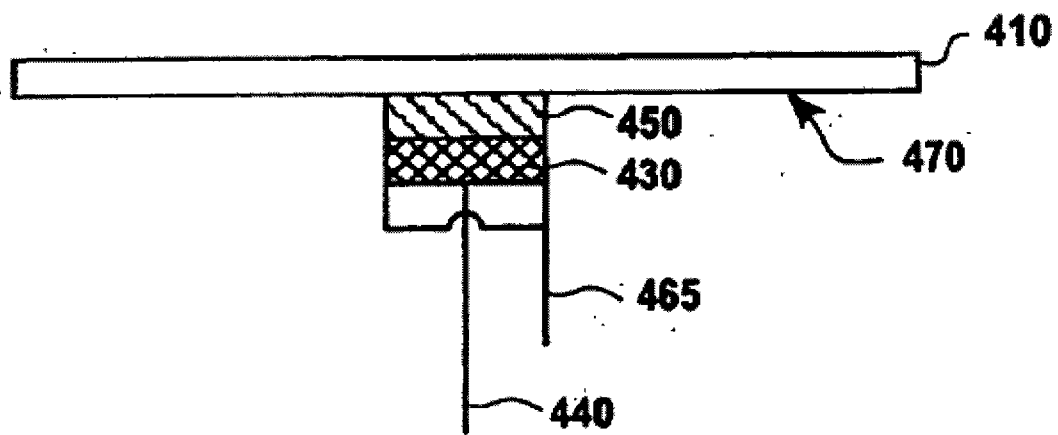


图 5G

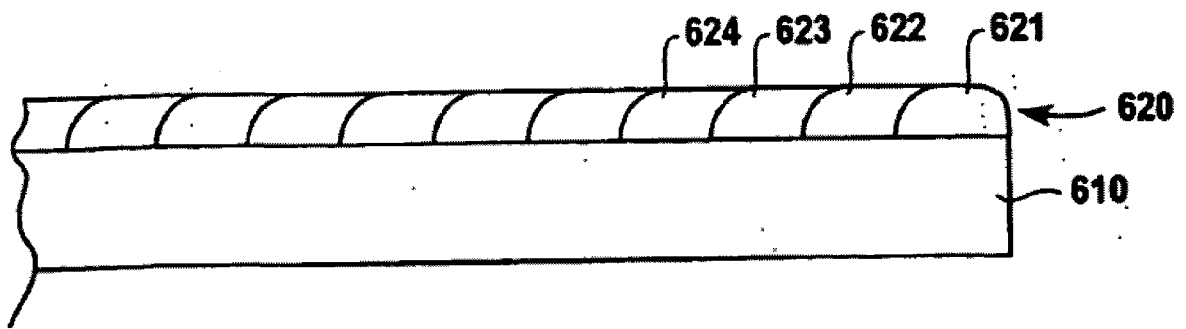


图 6A

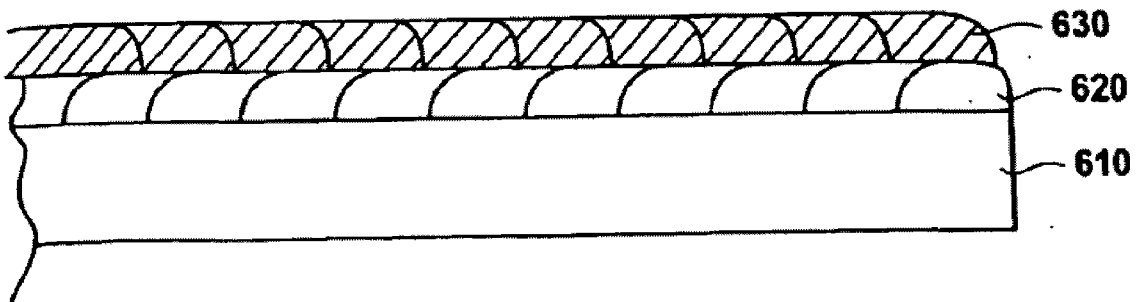


图 6B

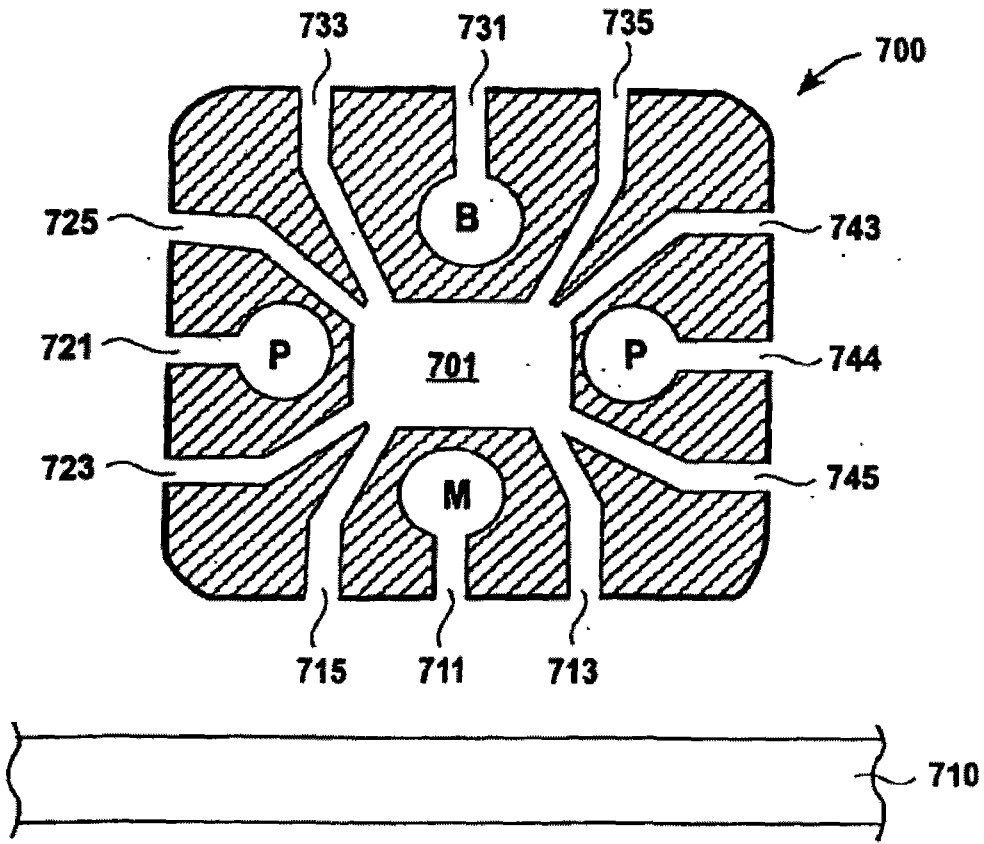


图 7A

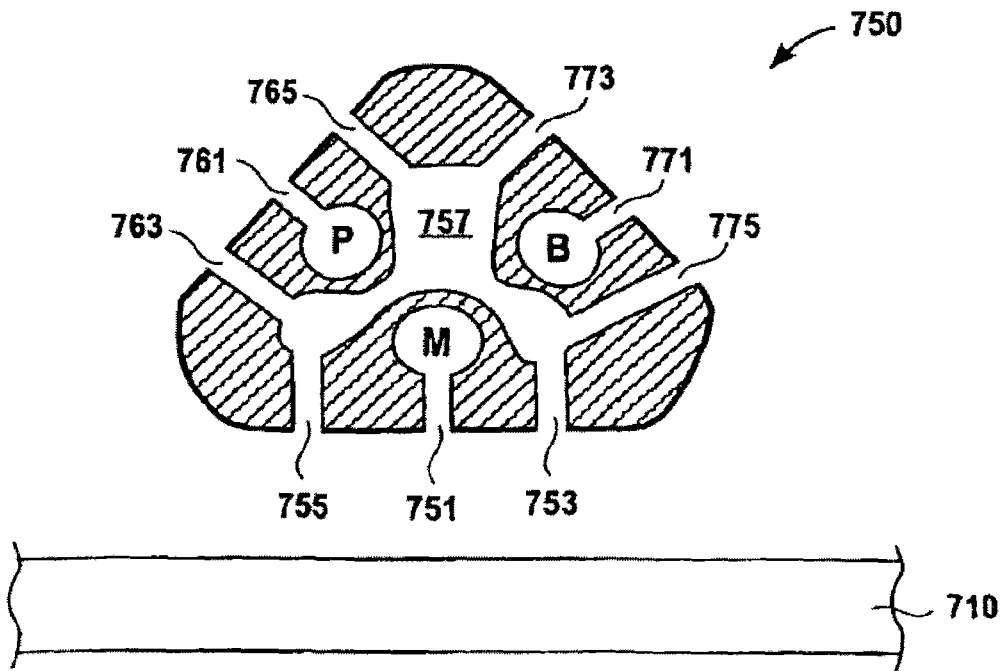


图 7B

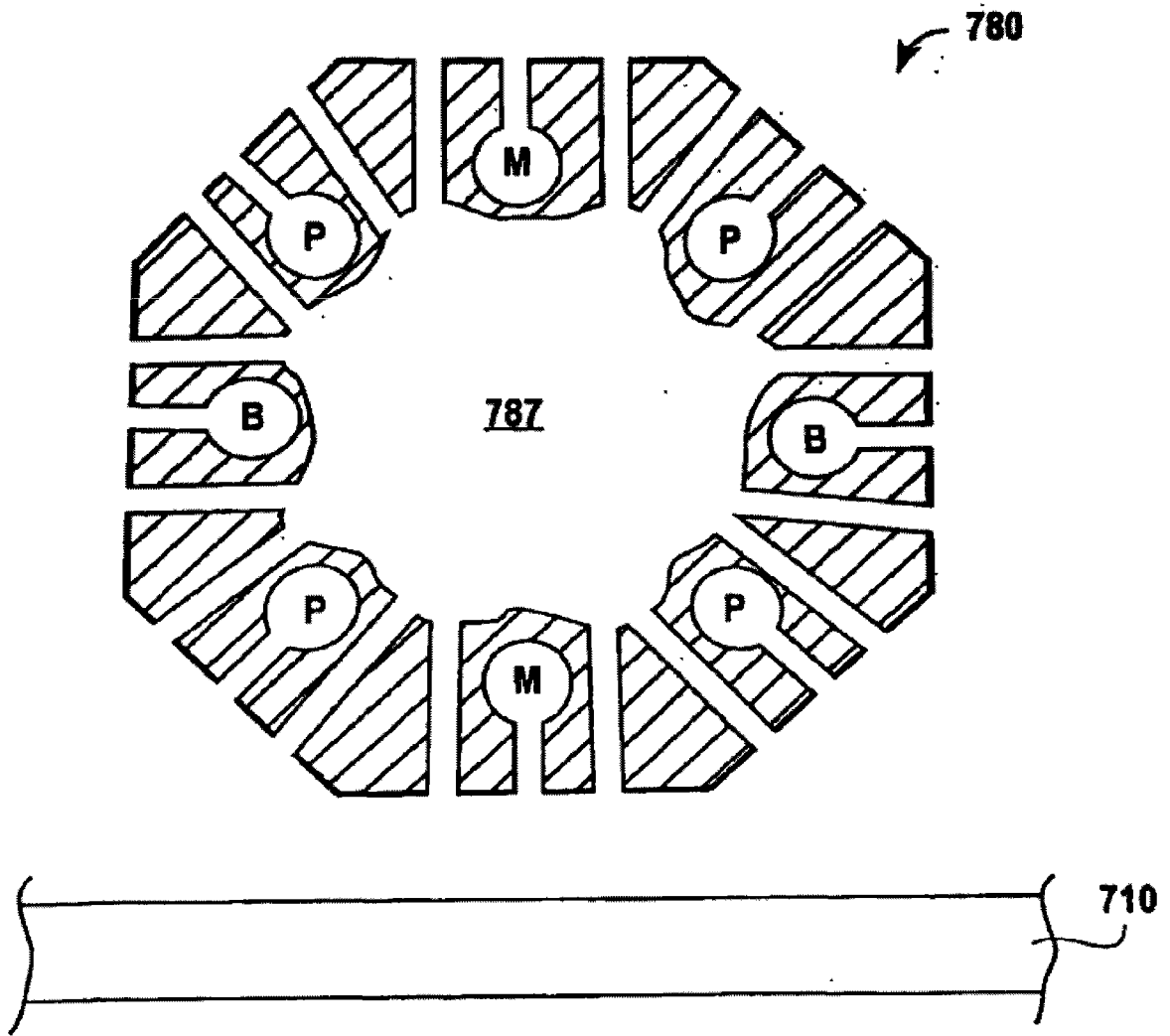


图 7C

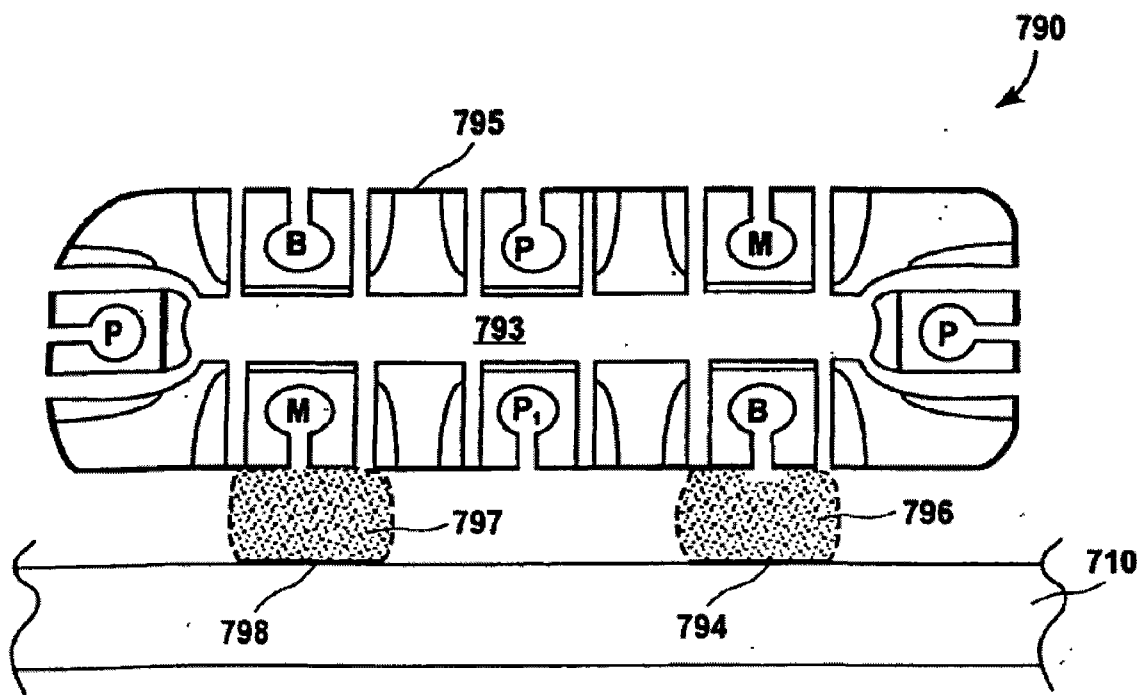


图 7D

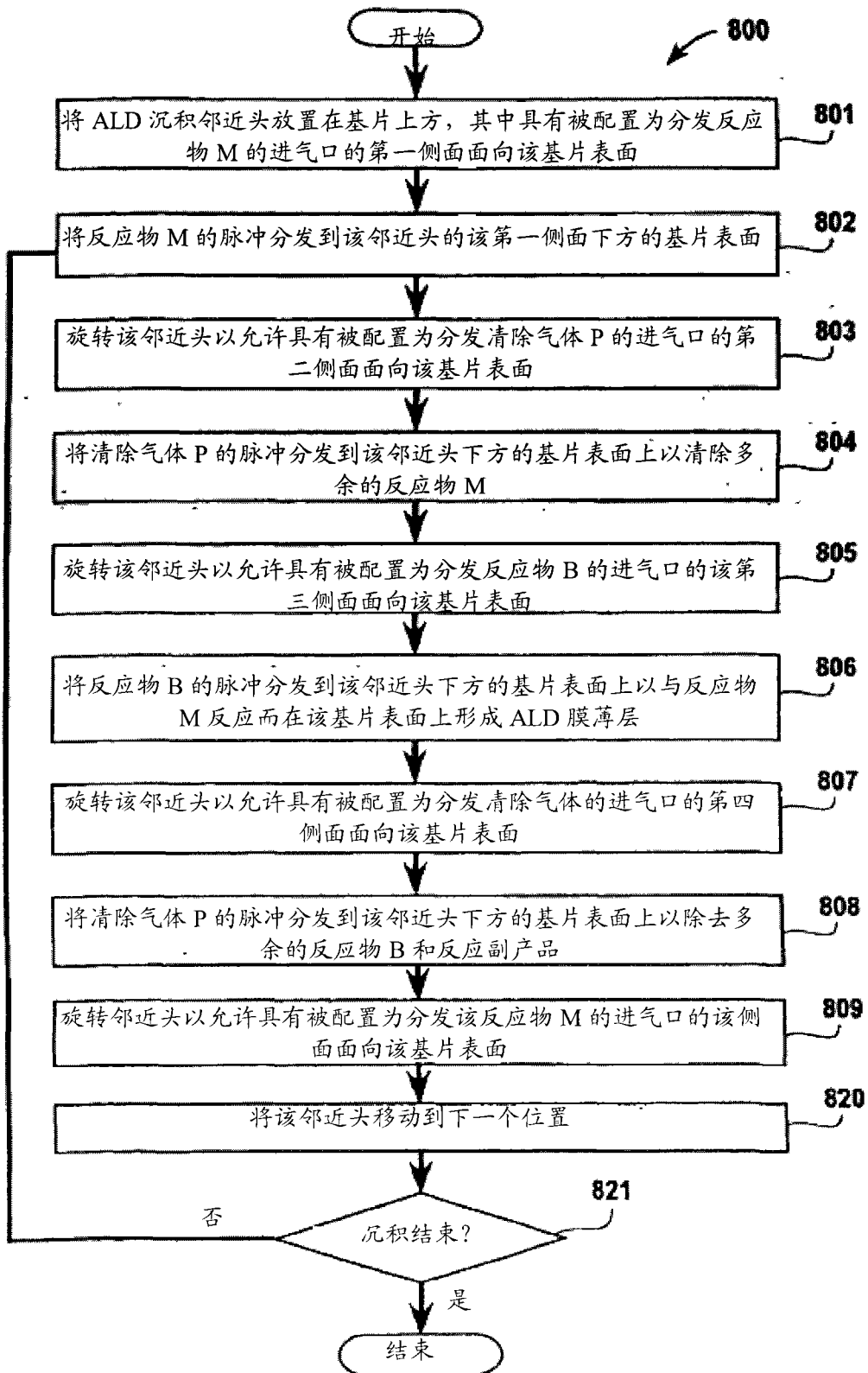


图 8A

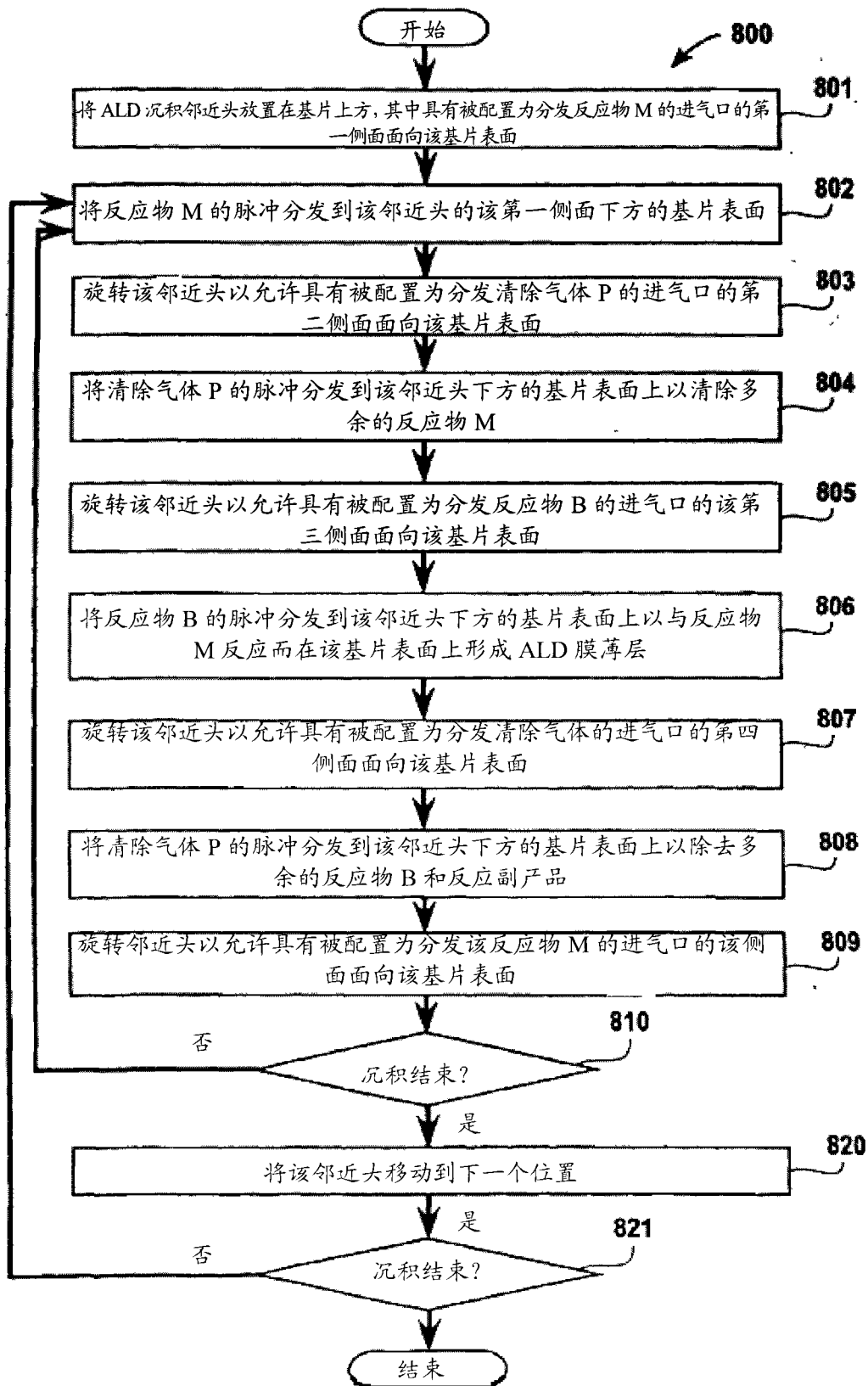


图 8B



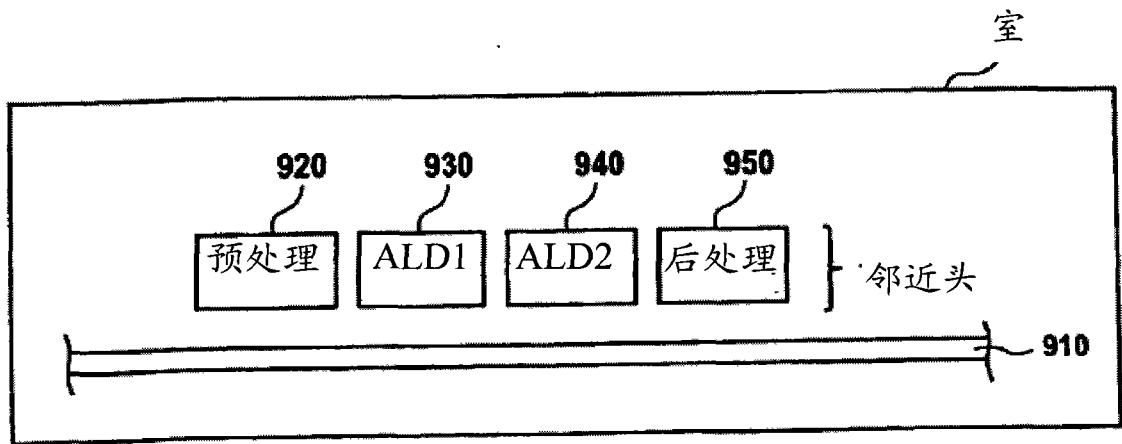


图 9