

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200680011242.4

H01L 21/027 (2006.01)
H01L 21/31 (2006.01)
H01L 21/3213 (2006.01)
H01L 21/308 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年12月9日

[11] 授权公告号 CN 100568458C

[22] 申请日 2006.1.20
 [21] 申请号 200680011242.4
 [30] 优先权
 [32] 2005.2.3 [33] US [31] 11/050,985
 [86] 国际申请 PCT/US2006/002164 2006.1.20
 [87] 国际公布 WO2006/083592 英 2006.8.10
 [85] 进入国家阶段日期 2007.10.8
 [73] 专利权人 兰姆研究有限公司
 地址 美国加利福尼亚州
 [72] 发明人 J·马克斯 R·S·M·萨亚迪
 [56] 参考文献
 CN1090815C 2002.9.11
 CN1471134A 2004.1.28
 US5618383A 1997.4.8
 US5459099A 1995.10.17

审查员 戴丽娟

[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 李丙林

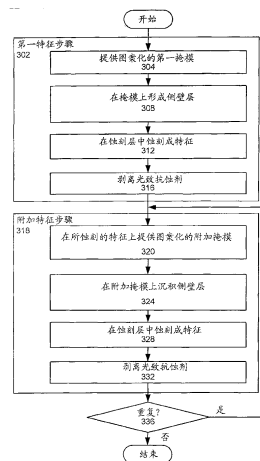
权利要求书 5 页 说明书 14 页 附图 15 页

[54] 发明名称

使用多个掩模步骤减小临界尺寸的方法

[57] 摘要

提供了一种用于在蚀刻层中形成特征的方法。在该蚀刻层上形成第一掩模，其中该第一掩模定义具有宽度的多个间隔。在该第一掩模上形成侧壁层。通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征，其中所述特征具有比由该第一掩模定义的间隔的宽度小的宽度。移除该掩模和侧壁层。在该蚀刻层上形成附加掩模，其中该附加掩模定义具有宽度的多个间隔。在该附加掩模上形成侧壁层。通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征，其中该特征的宽度小于由该第一掩模定义的间隔的宽度。移除该掩模和侧壁层。



1. 一种用于在蚀刻层中形成特征的方法，该方法包括：

在该蚀刻层上形成第一掩模，其中该第一掩模定义具有宽度的多个间隔；

在该第一掩模上形成侧壁层，其中该侧壁层减小由该第一掩模定义的间隔的宽度；

通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征，其中所述特征具有比由该第一掩模定义的间隔的宽度小的宽度；

移除该掩模和侧壁层；以及

执行附加特征步骤，该附加特征步骤包括：

在该蚀刻层上形成附加掩模，其中该附加掩模定义具有宽度的多个间隔；

在该附加掩模上形成侧壁层，其中该侧壁层减小由该附加掩模定义的间隔的宽度；

通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成另一特征，其中所述另一特征具有比由该附加掩模定义的间隔的宽度小的宽度；以及

移除该掩模和侧壁层。

2. 如权利要求 1 所述的方法，还包括重复附加特征步骤至少一次。
3. 如权利要求 1 所述的方法，其中，在第一掩模上形成侧壁层是至少一个周期，该周期包括：

沉积阶段，该沉积阶段以第一气体化学物质形成沉积等离子体，从而在该第一掩模的侧壁上形成沉积；以及

剖面成形阶段，该剖面成形阶段以第二气体化学物质来使该第一掩模的侧壁上的沉积的剖面成形，其中该第一气体化学物质不同于该第二气体化学物质；以及

其中，在附加掩模上形成侧壁层是至少一个周期，该周期包括：

沉积阶段，该沉积阶段以第三气体化学物质形成沉积等离子体，从而在附加掩模的侧壁上形成沉积；以及

剖面成形阶段，该剖面成形阶段以第四气体化学物质来使附加掩模的侧壁上的沉积的剖面成形，其中该第三气体化学物质不同于该第四气体化学物质。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其中，在第一掩模上形成侧壁层被执行至少两个周期，而在附加掩模上形成侧壁层被执行至少两个周期。
5. 如权利要求 4 所述的方法，其中，形成侧壁层是形成基本上垂直的侧壁。
6. 如权利要求 4 所述的方法，还包括将该蚀刻层置于等离子体处理室中，其中形成侧壁层和蚀刻在该等离子体处理室之内完成。
7. 如权利要求 4 所述的方法，其中，第一掩模和附加掩模为光致抗蚀剂掩模，并且其中，侧壁层由聚合物材料形成。
8. 如权利要求 7 所述的方法，还包括利用单个剥离步骤来剥离光致抗蚀剂掩模和侧壁层。

9. 如权利要求 8 所述的方法, 其中, 剥离该光致抗蚀剂掩模和侧壁层包括灰化光致抗蚀剂掩模和侧壁层。
10. 如权利要求 9 所述的方法, 其中, 灰化光致抗蚀剂掩模和侧壁层是在与形成该侧壁层和蚀刻相同的等离子体处理室中执行的。
11. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 形成侧壁层是形成具有侧壁厚度和光致抗蚀剂特征底部厚度的侧壁层, 其中该侧壁厚度大于光致抗蚀剂特征底部厚度。
12. 如权利要求 4 所述的方法, 其中, 沉积阶段是面包条沉积。
13. 如权利要求 4 所述的方法, 其中, 特征的宽度比由第一掩模定义的间隔的宽度小至少 50%.
14. 如权利要求 4 所述的方法, 其中, 第一掩模中的间隔具有节距长度, 并且其中, 蚀刻层中所形成的特征具有比由该第一掩模定义的间隔的节距长度小至少 50%的节距长度。
15. 一种半导体器件, 其由如权利要求 1 所述的方法形成。
16. 一种用于在蚀刻层中形成特征的方法, 该方法包括:

在该蚀刻层上形成第一掩模, 其中该第一掩模定义具有宽度的多个间隔, 且其中该多个间隔具有临界尺寸和节距;

在该第一掩模上形成侧壁层, 其中该侧壁层减小由该第一掩模定义的间隔的宽度;

通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征, 其中所述特征具有宽度和临界尺寸, 其中所述特征的宽度比该第一掩模中的

间隔的宽度小至少 50%，且所述特征的临界尺寸比该第一掩模中的间隔的临界尺寸小至少 50%；

移除该掩模和侧壁层；以及

执行附加特征步骤，该附加特征步骤包括：

在该蚀刻层上形成附加掩模，其中该附加掩模定义具有宽度的多个间隔，且其中该多个间隔具有临界尺寸和节距；

在该附加掩模上形成侧壁层，其中该侧壁层减小由该附加掩模定义的间隔的宽度；

通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成附加特征，其中所述附加特征具有宽度和临界尺寸，其中所述附加特征的宽度比该附加掩模中的间隔的宽度小至少 50%，且所述附加特征的临界尺寸比该附加掩模中的间隔的临界尺寸小至少 50%，以及其中所述特征和附加特征具有比该第一掩模中的间隔的节距和该附加掩模中的间隔的节距小至少 50%的节距；以及

移除该掩模和侧壁层。

17. 如权利要求 16 所述的方法，其中，在第一掩模上形成侧壁层包括至少两个周期，其中每个周期包括：

沉积阶段，该沉积阶段以第一气体化学物质形成沉积等离子体，从而在该第一掩模的侧壁上形成沉积；以及

剖面成形阶段，该剖面成形阶段以第二气体化学物质来使该第一掩模的侧壁上的沉积的剖面成形，其中该第一气体化学物质不同于该第二气体化学物质；以及

其中，在附加掩模上形成侧壁层包括至少两个周期，其中每个周期包括：

沉积阶段，该沉积阶段以第三气体化学物质形成沉积等离子体，从而在该附加掩模的侧壁上形成沉积；以及

剖面成形阶段，该剖面成形阶段以第四气体化学物质来使该附加掩模的侧壁上的沉积的剖面成形，其中该第三气体化学物质不同于该第四气体化学物质。

18. 如权利要求 17 所述的方法，还包括将该蚀刻层置于等离子体处理室中，其中形成侧壁层、蚀刻以及移除掩模和侧壁层在该等离子体处理室之内完成。
19. 如权利要求 18 所述的方法，其中，第一掩模为光致抗蚀剂掩模，并且其中，侧壁层为聚合物材料的侧壁层。
20. 如权利要求 19 所述的方法，其中，硬掩模被置于该光致抗蚀剂掩模与要被蚀刻的层之间。

使用多个掩模步骤减小临界尺寸的方法

发明背景

本发明涉及半导体器件的形成。

在半导体晶片加工期间，使用公知的图案化和蚀刻工艺在晶片内定义半导体器件的特征。在这些工艺中，光致抗蚀剂（PR）材料被沉积在晶片上且随后暴露于被分划板过滤的光。该分划板通常是玻璃板，该玻璃板使用阻挡光穿过分划板的示例性特征几何形状来图案化。

在穿过分划板之后，光接触光致抗蚀剂材料的表面。光改变光致抗蚀剂材料的化学成分，以致显影剂可以移除光致抗蚀剂材料的一部分。对于正型光致抗蚀剂材料的情形，曝光区域被移除，而对于负型光致抗蚀剂材料的情形，未曝光区域被移除。此后，该晶片被蚀刻来从不再受该光致抗蚀剂材料保护的区域移除底层材料，且由此在晶片内定义期望的特征。

各代光致抗蚀剂是已知的。深紫外（DUV）光致抗蚀剂通过 248nm 的光来曝光。为了方便理解，图 1A 为衬底 104 上的层 108 的示意性横断面视图，其中在层 108 上方的 ARL（抗反射层）110 上方有图案化光致抗蚀剂层 112，这些层将被蚀刻，从而形成叠层 100。光致抗蚀剂图案具有临界尺寸（CD），该临界尺寸可以是最小特征的宽度 116。由于依赖于波长的光学性能，通过较长波长的光曝光的光致抗蚀剂具有较大的理论最小临界尺寸。

特征 120 可随后通过该光致抗蚀剂图案被蚀刻，如图 1B 所示。理想地，该特征的 CD（特征的宽度）等于光致抗蚀剂 112 内的特征的 CD 116。实践中，由于形成小面（faceting）、光致抗蚀剂的腐蚀或者底切，特征的 CD 116 可能大于光致抗蚀剂的 CD 112。该特征还可能是渐缩的，其中特征的 CD 至少与光致抗蚀剂的 CD 一样大，但是其中该特征在接近特征底部的地方渐缩而具有较小的宽度。这种渐缩会提供不可靠的特征。

为了提供具有更小 CD 的特征，正在研究使用更短波长的光形成的特征。193nm 的光致抗蚀剂由 193nm 的光曝光。使用相移分划板和其

他技术,使用 193nm 的光致抗蚀剂可以形成 90 nm 至 100nm CD 的光致抗蚀剂图案。这将能够提供 CD 为 90 nm 至 100nm 的特征。157nm 的光致抗蚀剂由 157nm 的光曝光。使用相移分划板和其他技术,可以形成亚 90nm CD 的光致抗蚀剂图案。这将能够提供 CD 为亚 90nm 的特征。

使用较短波长的光致抗蚀剂相对于使用较长波长的光致抗蚀剂会产生额外的问题。为了获得接近理论极限的 CD,光刻设备应更为精确,这将要求更为昂贵的光刻设备。目前,193nm 的光致抗蚀剂和 157nm 的光致抗蚀剂并不具有与较长波长的光致抗蚀剂一样高的选择性,且在等离子体蚀刻条件下更容易变形。

诸如在形成存储装置中,在蚀刻导电层时,期望增大装置密度而不降低性能。

图 2A 为用于当导电线之间的间隔根据现有技术太小时制作导电线的光致抗蚀剂掩模的横断面视图。阻挡层 206 可被置于诸如晶片的衬底 204 上。诸如金属层或多晶硅层的介电层 208 形成于阻挡层 206 上。诸如 DARC 层的抗反射层 (ARL) 210 形成于介电层 208 上。光致抗蚀剂掩模 212a 形成于 ARL 210 上。在该实例中,线掩模 214a 具有定义为线宽 “L” 的宽度,如图所示的那样。间隔 222 具有宽度 “S”, 如图所示的那样。节距长度 “P” 被定义为线宽和间隔宽度之和 $P = L + S$, 如图所示的那样。期望减小该节距长度。

减小节距长度的一种方式减小间隔宽度。图 2B 为用于当导电线或介电沟槽线之间的间隔根据现有技术太小时制作导电线或介电沟槽线的光致抗蚀剂掩模的横断面视图。阻挡层 206 可置于诸如晶片的衬底 204 上。诸如金属层或多晶硅层或介电层的导电层或介电层 208 形成于阻挡层 206 上。诸如 DARC 层的抗反射层 (ARL) 210 形成于层 208 上。光致抗蚀剂掩模 212 形成于 ARL 210 上。在该实例中,光致抗蚀剂掩模 212b 形成线掩模 214b,光致抗蚀剂残余 218 形成于线掩模 214b 之间的间隔中。光致抗蚀剂残余 218 的存在是由于在线掩模 214b 之间提供太小的间隔而引起,因为更难以从小的间隔移除残余。这会限制可提供的导电线的密度。

发明内容

为了实现前述内容且依据本发明的目的,提供了一种用于在蚀刻

层内形成特征的方法。在蚀刻层上形成第一掩模，其中该第一掩模定义具有宽度的多个间隔。在该第一掩模上形成侧壁层，其中该侧壁层减小由该第一掩模定义的间隔的宽度。通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征，其中该特征具有比由该第一掩模定义的间隔的宽度小的宽度。移除该掩模和侧壁层。通过执行下述步骤而执行附加特征步骤。在该蚀刻层上形成附加掩模，其中该附加掩模定义具有宽度的多个间隔。在该附加掩模上形成侧壁层，其中该侧壁层减小由该附加掩模定义的间隔的宽度。通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征，其中该特征具有比由该第一掩模定义的间隔的宽度小的宽度。移除该掩模和侧壁层。

在本发明的另一表现形式中，提供了一种用于在蚀刻层内形成特征的方法。在蚀刻层上形成第一掩模，其中该第一掩模定义具有宽度的多个间隔，且其中该多个间隔具有临界尺寸和节距。在该第一掩模上形成侧壁层，其中该侧壁层减小由该第一掩模定义的间隔的宽度。通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征，其中该间隔的宽度和临界尺寸比该第一掩模内的间隔的宽度和间隔的临界尺寸小至少 50%。移除该掩模和侧壁层。通过下述步骤而执行附加特征步骤。在该蚀刻层上形成附加掩模，其中该附加掩模定义具有宽度的多个间隔，且其中该多个间隔具有临界尺寸和节距。在该附加掩模上形成侧壁层，其中该侧壁层减小由该附加掩模定义的间隔的宽度。通过该侧壁层在该蚀刻层中蚀刻成特征，其中这些特征的宽度和临界尺寸比该第一掩模内的间隔的宽度和间隔的临界尺寸小至少 50%，且其中这些特征具有比该第一掩模内的间隔的节距和该附加掩模内的间隔的节距小至少 50% 的节距。移除该掩模和侧壁层。附加掩模可以更进一步减小 CD。例如，3 个掩模可以提供约 65% 的缩小，而 4 个掩模可以提供 75% 的缩小，等等。

本发明的这些和其他特征将在下文中通过本发明的详细描述并结合附图而更详细地来描述。

附图说明

通过附图的图示，示例性地而非限制性地说明本发明，附图中相同的参考编号表示相似的元件，且附图中：

图 1A-B 为根据现有技术蚀刻的叠层的示意性横断面视图。

图 2A-B 为根据现有技术形成的掩模的示意性横断面视图。

图 3 为可以用于本发明的实施例中的工艺的高级流程图。

图 4A-H 为根据本发明实施例加工的叠层的示意性横断面视图。

图 5A-F 为根据本发明的另一实施例加工的叠层的示意性横断面视图。

图 6 为沉积侧壁层的步骤的更详细的流程图。

图 7 为可用于实践本发明的等离子体处理室的示意图。

图 8A-B 图解说明了计算机系统，该计算机系统适用于实现本发明实施例中所使用的控制器。

图 9A-C 为沉积的横断面视图。

图 10 为可以用于实践本发明的用于蚀刻导电层的装置的示意图。

具体实施方式

现在参考如附图所示的本发明的数个优选实施例来详细地描述本发明。在下面的描述中，列出了许多具体细节，以便提供对本发明的彻底的理解。然而，本领域技术人员显而易见的是，没有这些具体细节中的一些细节或者全部细节也可以实践本发明。换言之，没有详细地描述公知的工艺步骤与/或结构，以免不必要地模糊本发明。

本发明提供了具有小临界尺寸 (CD) 的特征。更确切地说，本发明提供了具有比用于蚀刻特征的光致抗蚀剂图案的 CD 小的 CD 的特征。

为了便于理解，图 3 为可以用于本发明实施例的工艺的高级流程图。执行第一特征步骤 (步骤 302)。提供图案化的第一掩模，(步骤 304)。图 4A 为本发明的实施例中的图案化掩模的横断面视图。阻挡层 406 可置于诸如晶片的衬底 404 上。诸如导电金属层或多晶硅层或介电层的蚀刻层 408 形成于阻挡层 406 上。诸如 DARC 层的抗反射层 (ARL) 410 形成于蚀刻层 408 上。图案化的第一掩模 412 形成于 ARL 410 上。在这个实例中，线掩模 414 具有定义为线宽 “ L_p ” 的宽度，如图所示的那样。光致抗蚀剂掩模内的间隔 422 具有宽度 “ S_p ”，如图所示的那样。光致抗蚀剂掩模的节距长度 “ P_p ” 被定义为线宽和间隔宽度之和 $P_p = L_p + S_p$ ，如图所示的那样。这些宽度是由用于形成该光致抗蚀

剂掩模的光刻技术的分辨率决定的。期望减小该节距长度。

侧壁层形成于掩模上以减小 CD，（步骤 308）。图 4B 为具有沉积在第一掩模的侧壁上的侧壁层 420 的图案化的第一掩模 412 的示意性横断面视图。侧壁层 420 在掩模间隔内形成侧壁层特征 424，其中侧壁层特征 424 具有比第一掩模的间隔 CD 小的减小的间隔 CD。优选地，所沉积的第一掩模的减小的间隔 CD 比第一掩模特征的间隔 CD 小 50%。还期望该侧壁层具有基本上垂直的侧壁 428，这些侧壁如所示的那样是高度共形的（conformal）。基本上垂直的侧壁的实例为自底到顶与特征底部形成 88° 至 90° 的角度的侧壁。共形侧壁具有厚度从特征的顶部到底部基本上相同的沉积层。非共形侧壁可形成小面或者形成面包条（bread-loafing）结构，这提供了不是基本上垂直的侧壁。（因为小面结构而）渐缩的侧壁或面包条侧壁会增大沉积层 CD，并提供不良的蚀刻掩模。优选地，侧壁上的沉积厚于第一掩模特征底部上的沉积。更优选地，没有层沉积在第一掩模特征的底部上。

随后通过侧壁层间隔在蚀刻层 408 中蚀刻成第一组特征，（步骤 312）。图 4C 示出了在蚀刻层 408 中所蚀刻成的第一组特征 432。在本实例中，在蚀刻层 408 中所蚀刻成的第一组特征 432 具有等于沉积层特征的间隔 CD 的 CD 宽度。实践中，第一组特征 432 的特征的 CD 可以略大于沉积层 420 的特征的 CD。然而，由于沉积层特征的 CD 显著小于光致抗蚀剂 412 的 CD，所以蚀刻层 408 中的特征的 CD 仍小于光致抗蚀剂 412 的 CD。如果沉积层的 CD 仅略小于光致抗蚀剂的 CD，或者如果沉积层被形成小面或面包条，则要被蚀刻的层的 CD 可能不小于光致抗蚀剂的 CD。此外，形成小面或面包条的沉积层会导致要被蚀刻的层中的形成小面或不规则形状的特征。还期望最小化在该光致抗蚀剂特征底部上的沉积。在本实例中，在要被蚀刻的层 408 中所蚀刻成的特征的 CD 比该光致抗蚀剂特征的 CD 小约 50%。

随后剥离光致抗蚀剂和沉积层，（步骤 316）。这可以作为单个步骤来完成，或者作为具有分离的沉积层移除步骤和光致抗蚀剂剥离步骤的两个分离步骤来完成。灰化可被用于该剥离工艺。图 4D 示出了移除该沉积层和光致抗蚀剂掩模之后的衬底 400。第一特征步骤（302）完成。

随后执行附加的特征步骤（步骤 318）。在所蚀刻的特征上形成图

案化的附加掩模，（步骤 320），该蚀刻的特征在这种情况下为第一组蚀刻特征。图 4E 示出了衬底 404，其中第二光致抗蚀剂掩模 442 形成于蚀刻层 408 上，其中第二光致抗蚀剂掩模 442 覆盖第一组特征 432 且其中第二光致抗蚀剂掩模中的间隔 444 形成于第一组蚀刻特征 432 之间。

侧壁层随后沉积在该附加掩模特征的侧壁上，以减小 CD，（步骤 324）。图 4F 为附加掩模 442 的示意性横断面视图，其中侧壁层 450 沉积在附加掩模 442 的侧壁上。侧壁层 450 在掩模间隔内形成侧壁层特征 454，其中侧壁层特征 454 具有比附加掩模的间隔 CD 小的减小的间隔 CD。优选地，侧壁层特征的减小的间隔比附加掩模特征的间隔 CD 小 50%。还期望掩模层特征 422 具有基本上垂直的侧壁，这些侧壁如图所示的那样的高度共形的。基本上垂直的侧壁的实例为自底到顶与特征底部形成 88° 至 90° 的角度的侧壁。优选地，侧壁上的沉积厚于光致抗蚀剂特征底部上的沉积。更优选地，没有层沉积在光致抗蚀剂特征的底部上。

在蚀刻层中蚀刻成特征，（步骤 324），从而在第一组蚀刻特征 432 之间形成第二组蚀刻特征 452，如图 4G 所示的那样。随后剥离该光致抗蚀剂和沉积层，（步骤 332），如图 4H 所示的那样。蚀刻层的线宽被示为 L_f 。蚀刻层内的特征的间隔宽度被示为 S_f 。特征的节距长度被示为 P_f ，其中 $P_f=L_f+S_f$ 。为了比较，图 4A 中的光致抗蚀剂掩模节距 P_D 、光致抗蚀剂线宽 L_D 和光致抗蚀剂间隔 S_D 被示于图 4G 中，以与特征节距 P_f 、特征线宽 L_f 和特征间隔宽度 S_f 比较。在本实施例中，特征 P_f 的节距长度为光致抗蚀剂掩模的节距长度 P_D 的一半，因为特征之间的线宽 L_f 为光致抗蚀剂掩模的线宽 L_D 的一半且特征间隔宽度 S_f 为光致抗蚀剂掩模间隔 S_D 的一半。因此，通过使节距长度、线宽和特征宽度减小一半，同时使用相同的光致抗蚀剂光刻工艺，本发明工艺能够使用两个掩模步骤来使蚀刻特征分辨率加倍。

由于本实施例仅使用两个掩模，所有在重复步骤（步骤 336）确定该工艺不重复。

三个掩模的实例

在另一实例中，使用三个掩模的工艺将节距长度、线宽和特征尺寸减小 67%。执行第一特征步骤（步骤 302）。提供图案化的第一掩

模，（步骤 304）。图 5A 为本发明的实施例中的光致抗蚀剂掩模的横断面视图。阻挡层 506 可置于诸如晶片的衬底 504 上。诸如金属层或多晶硅层或介电层的蚀刻层 508 形成于阻挡层 506 上。诸如 DARC 层的抗反射层（ARL）510 形成于蚀刻层 508 上。光致抗蚀剂掩模 512 形成于 ARL 510 上。在本实例中，线掩模 514 具有定义为线宽“ L_p ”的宽度，如图所示的那样。光致抗蚀剂掩模内的间隔 522 具有宽度“ S_p ”，如图所示的那样。光致抗蚀剂掩模的节距长度“ P_p ”被定义为线宽和间隔宽度之和 $P_p = L_p + S_p$ ，如图所示的那样。这些宽度是由用于形成该光致抗蚀剂掩模的光刻技术的分辨率决定的。期望减小该节距长度。

侧壁层随后沉积于光致抗蚀剂特征的侧壁上，以减小 CD，（步骤 308）。图 5B 为具有沉积在特征 514 的侧壁上的侧壁层 520 的图案化的光致抗蚀剂掩模 512 的示意性横断面视图。侧壁层 520 在光致抗蚀剂特征 514 之内形成侧壁层特征 524，其中侧壁层特征 524 具有比光致抗蚀剂特征的间隔 CD 小的减小的间隔 CD。优选地，侧壁层特征的减小的间隔比光致抗蚀剂特征的间隔 CD 小至少 66%。还期望该侧壁层特征具有基本上垂直的侧壁，这些侧壁如图所示的那样是高度共形的。

随后通过侧壁层特征在蚀刻层 508 中蚀刻成第一组特征，（步骤 512）。图 5B 示出了在蚀刻层 508 中所蚀刻成的第一组特征 532。在本实例中，在蚀刻层 508 中所蚀刻成的第一组特征 532 具有等于侧壁层特征的间隔 CD 的 CD 宽度。实践中，第一组特征 432 的特征的 CD 可以略大于侧壁层 420 的特征的 CD。在本实例中，在要被蚀刻的层 508 中所蚀刻成的特征的 CD 比该光致抗蚀剂特征的 CD 小约 67%。

随后剥离光致抗蚀剂和侧壁层，（步骤 316）。这可以作为单个步骤来完成，或者作为具有分离的侧壁层移除步骤和光致抗蚀剂剥离步骤的两个分离步骤来完成。灰化可被用于该剥离工艺。第一特征步骤（302）被完成。

随后执行附加特征步骤（步骤 318）。在所蚀刻的特征上形成图案化光致抗蚀剂掩模（步骤 320），该所蚀刻的特征在这种情况下为第一组蚀刻特征。图 5C 示出了衬底 504，其中第二光致抗蚀剂掩模 542 形成于蚀刻层 508 上，其中第二光致抗蚀剂掩模 542 覆盖第一组特征 532 且其中第二光致抗蚀剂掩模中的间隔 544 形成于第一组蚀刻特征 532 之间。

侧壁层 550 随后沉积在第二光致抗蚀剂特征的侧壁上，以减小 CD，（步骤 324）。侧壁层 550 在光致抗蚀剂特征之内形成侧壁层特征，其中侧壁层特征 554 具有比光致抗蚀剂特征间隔 CD 小的减小的间隔 CD。优选地，侧壁层特征的减小的间隔比光致抗蚀剂特征的间隔 CD 小约 66%。还期望沉积层特征具有基本上垂直的侧壁，这些侧壁如图所示的那样是高度共形的。

在蚀刻层中蚀刻成特征，（步骤 324），从而形成第二组蚀刻特征 552，如图 5D 所示的那样。第二组特征 552 的每个特征在第一组特征 532 的两个特征之间，除非第二组特征 552 的特征位于这些特征的端部。随后剥离该光致抗蚀剂和沉积层，（步骤 332）。附加特征步骤（步骤 318）被完成。

随后确定是否重复该附加特征步骤（步骤 336）。由于该工艺使用三个掩模且仅产生两个掩模，所以重复该附加特征步骤（步骤 318）。图案化光致抗蚀剂掩模形成于所蚀刻的特征上，（步骤 320），这些所蚀刻的特征在这种情况下为第一组蚀刻特征和第二组蚀刻特征。图 5E 示出了衬底 504，其中第三光致抗蚀剂掩模 562 形成于蚀刻层 508 上，其中第三光致抗蚀剂掩模 562 覆盖第一组特征 532 和第二组特征 552，且其中第三光致抗蚀剂掩模中的间隔 564 形成于第一组蚀刻特征 532 与第二组蚀刻特征 552 之间。

侧壁层 570 随后沉积在第二光致抗蚀剂特征的侧壁上，以减小 CD，（步骤 324）。侧壁层 570 在光致抗蚀剂特征之内形成侧壁层特征，其中该侧壁层特征具有比光致抗蚀剂特征间隔 CD 小的减小的间隔 CD。优选地，该侧壁层特征的减小的间隔比光致抗蚀剂特征的间隔 CD 小约 66%。还期望侧壁层特征具有基本上垂直的侧壁，这些侧壁如图所示的那样是高度共形的。

在蚀刻层中蚀刻成特征，（步骤 324），从而形成第三组蚀刻特征 572，如图 5F 所示的那样。第三组蚀刻特征 572 的每一特征在第二组特征 552 的特征与第一组特征 532 的特征之间，除非第三组特征的特征位于端部。随后剥离该光致抗蚀剂和沉积层，（步骤 332）。附加特征步骤（步骤 318）完成。由于这是三个掩模工艺的第三个掩模，所以重复条件（步骤 336）的答案为“否”且该工艺结束。

蚀刻层的线宽被示为 L_f 。蚀刻层中的特征的间隔宽度被示为 S_f 。

特征的节距长度被示为 P_f ，其中 $P_f = L_f + S_f$ 。为了比较，图 5A 中的光致抗蚀剂掩模节距长度 P_p 、光致抗蚀剂线宽 L_p 和光致抗蚀剂间隔 S_p 被示于图 5G 中，用于与特征节距长度 P_f 、特征线宽 L_f 和特征间隔宽度 S_f 进行比较。在本实施例中，特征的节距长度 P_f 为光致抗蚀剂掩模的节距长度 P_p 的 $1/3$ ，因为特征之间的线宽 L_f 为光致抗蚀剂掩模的线宽 L_p 的 $1/3$ 且特征间隔宽度 S_f 为光致抗蚀剂掩模中的间隔 S_p 的 $1/3$ 。因此，通过使节距长度、线宽和特征宽度减小 $1/3$ ，同时使用相同的光致抗蚀剂光刻工艺，本发明工艺能够使用三个掩模步骤来使蚀刻特征分辨率成三倍。

理论上，可以使用 n 个掩模将分辨率增大 n 倍。

使用气体调制形成侧壁

在优选实施例中，使用气体调制形成共形侧壁。优选地，侧壁是由聚合物材料形成，且该掩模为光致抗蚀剂聚合物，使得可以在与执行蚀刻和剥离相同的室内原地执行侧壁层的沉积，并使得该剥离可以移除该掩模和侧壁层。

图 6 为使用气体调制在掩模上形成侧壁层以减小 CD（步骤 308 和 324）的更详细的流程图。在本实施例中，在掩模上形成侧壁层以减小 CD（步骤 308 和 324）包括沉积阶段 604 和剖面成形（profile shaping）阶段 608。沉积阶段使用第一气体化学物质形成等离子体，该等离子体在掩模的侧壁上沉积侧壁层。

本发明可被用于蚀刻介电层或导电层。在下文中提供可被用来针对介电层或导电层实践本发明的实例配方。

介电材料蚀刻的实例

图 7 为可被用于沉积侧壁层、蚀刻和剥离的等离子体处理室 700 的示意图。等离子体处理室 700 包括限制环 702、上电极 704、下电极 708、气体源 710 和排气泵 720。气体源 710 包括沉积气体源 712 和剖面成形气体源 716。气体源 710 可包括附加的气体源，诸如包括蚀刻气体源 718。在等离子体处理室 700 之内，衬底 404 被置于下电极 708 上。下电极 708 包含合适的衬底夹紧机构（例如静电、机械夹具等），用于保持衬底 404。反应器顶部 728 包括布置成与下电极 708 直接相对的上电极 704。上电极 704、下电极 708 和限制环 702 限定了封闭的等离子体容积。气体由气体源 710 供给该封闭的等离子体容积，并由

排气泵 720 通过限制环 702 和排气口从该封闭的等离子体容积排放。第一 RF 源 744 电连接到上或下电极 704。第二 RF 源 748 电连接到下电极 708。室壁 752 围绕限制环 702、上电极 704 和下电极 708。第一 RF 源 744 和第二 RF 源 748 均包括高频(27 至 300)MHz 电源和低频(2 至 14) MHz 电源。将 RF 功率连接到电极的不同组合是可能的。控制器 735 可控地连接到 RF 源 744、748、排气泵 720 和气体源 710。

图 8A 和 8B 图解说明了计算机系统 1300, 该计算机系统 1300 适于实施用于本发明实施例中的控制器 735。图 8A 示出了该计算机系统的一种可能的物理形式。当然, 该计算机系统可具有许多物理形式, 这些物理形式从集成电路、印刷电路板以及小型手持装置一直变化到巨型超级计算机。计算机系统 1300 包括监视器 1302、显示器 1304、外壳 1306、磁盘驱动器 1308、键盘 1310 和鼠标 1312。磁盘 1314 为用于将数据往返于计算机系统 1300 传输的计算机可读介质。

图 8B 为计算机系统 1300 的框图的实例。各种子系统附着到系统总线 1320。处理器 1322 (也称为中央处理器或 CPU) 耦合到包括存储器 1324 的存储装置。存储器 1324 包括随机存取存储器 (RAM) 和只读存储器 (ROM)。如本领域中所公知的那样, ROM 用于将数据和指令单向地传输到 CPU, 而 RAM 通常被用来以双向方式传输数据和指令。这些以及其他类型的存储器可包括如下所述的任何适当形式的计算机可读介质。固定磁盘 1326 也双向耦合到 CPU 1322; 其提供了附加的数据存储容量且也可以包括任意下述计算机可读介质。固定磁盘 1326 可用于存储程序、数据等, 并通常是比初级存储慢的次级存储介质 (诸如硬盘)。将会理解, 保持在固定磁盘 1326 之内的信息在恰当的情况下可以按标准方式作为虚拟存储器结合到存储器 1324 中。可移动磁盘 1314 可以采取任意下述计算机可读介质的形式。

CPU 1322 还耦合到各种输入/输出装置, 诸如耦合到显示器 1304、键盘 1310、鼠标 1312 和扬声器 1330 以及用于控制该工艺的反馈和前进系统。一般而言, 输入/输出装置可以是下述中的任意一种: 视频显示器、跟踪球、鼠标、键盘、麦克风、触敏显示器、换能器卡片读取器、磁带或纸带读取器、写字板、输入笔、语音或手写识别器、生物测定读取器、或者其他计算机。CPU 1322 可选地使用网络接口 1340 耦合到另一计算机或电信网络。利用这种网络接口, 设想该 CPU 在执

行上述方法步骤的过程中可以从网络接收信息，或者可以将信息输出到网络。此外，本发明的方法实施例可以单独在 CPU 1322 上执行，或者可以结合分享部分该工艺的远程 CPU 通过诸如因特网的网络来执行。

此外，本发明的实施例还涉及具有计算机可读介质的计算机存储产品，该计算机可读介质上具有用于执行各种计算机实施操作的计算机代码。该介质和计算机代码可以是专门设计和构造用于本发明的介质和计算机代码，或者可以是计算机软件领域的技术人员公知和可得到的类型的介质和计算机代码。计算机可读介质的实例包括但不限于：诸如硬盘、软盘和磁带的磁介质；诸如 CD-ROM 和全息照相装置的光学介质；诸如光磁软盘的磁光介质；以及专门配置来存储和执行程序代码的硬件装置，诸如专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑装置(PLD)和 ROM 及 RAM 装置。计算机代码的实例包括诸如由编译器产生的机器代码，以及包含由计算机使用解释器执行的更高级代码的文件。计算机可读介质还可以是由包含在载波中的计算机数据信号传送且代表处理器可执行的指令序列的计算机代码。

其他实例可以使用其他沉积装置。

沉积阶段 604 的一个实例为 CH_3F 沉积，该 CH_3F 沉积为在通过将涡轮泵的 Vat 阀门设置在 1000 来建立的、在 60 毫托的压力下使用 250 sccm (标准立方厘米每分钟) 的 Ar 和 50 sccm 的 CH_3F 化学物质的沉积。27 MHz 的 RF 源提供 500 瓦特的功率，而 2MHz 的 RF 源提供 100 瓦特的功率。室的温度维持在 20°C 。冷却衬底的氮气冷却压力为 15 托。这种配方导致形成聚合物侧壁层。

剖面成形阶段 608 的一个实例可以是 $\text{C}_4\text{F}_6/\text{O}_2/\text{CO}$ 沉积，该 $\text{C}_4\text{F}_6/\text{O}_2/\text{CO}$ 沉积为在通过将涡轮泵的 Vat 阀门设置在 1000 来建立的、在 50 毫托的压力下使用 270 sccm 的 Ar、12 sccm 的 C_4F_6 、8 sccm 的 O_2 和 100 sccm 的 CO 化学物质的沉积。27 MHz 的 RF 源提供 1500 瓦特的功率，而 2MHz 的 RF 源提供 480 瓦特的功率。室的温度维持在 20°C 。冷却衬底的氮气冷却压力为 15 托。

图 9A 为来自沉积阶段的沉积层 920 的横断面视图。沉积层 920 形成于掩模 912 上。在本实例中，沉积阶段形成了如轮廓 924 所示的“面包条”沉积层。该面包条沉积层的特征在于特征顶部附近较厚的侧壁

沉积和特征底部附近较薄（或者无）侧壁沉积。此外，本实例中的面包条在特征的整个底部表面上形成层，如所示的那样。因此，该沉积提供了非共形侧壁沉积。这种沉积并不提供期望的基本上垂直的侧壁。该面包条最终夹断顶部，其随后不能被用作掩蔽层，因为接触将被隔离且无法完成蚀刻。

图 9B 为其中仅使用剖面成形阶段的沉积层 930 的横断面视图。在本实例中，剖面成形阶段形成“形成小面的”沉积层，如轮廓 934 所示的那样。形成小面的沉积层的特征在于特征顶部附近较薄（或者无）侧壁沉积和特征底部附近较厚的侧壁沉积。“形成小面的”沉积并不会沉积在特征的整个底部表面上。因此，该沉积也提供了非共形侧壁沉积。如果顶部附近的侧壁太薄，则会导致光致抗蚀剂掩模的小面形成。这种沉积并不提供期望的基本上垂直的侧壁。光致抗蚀剂掩模的角的小面形成会导致更低的蚀刻选择性和快速的掩模腐蚀。掩模的小面形成还会导致所蚀刻的剖面的小面形成。在几乎所有情形中，一旦掩模形成小面，则最终的所蚀刻的剖面也形成小面，因为掩模垂直剖面通常转化为所蚀刻的材料。

图 9C 为由 6 个周期的 2 秒沉积和 25 秒剖面成形形成的沉积层 940 的横断面视图。如可以看见的那样，沉积层具有垂直侧壁，且在特征底部表面具有很少或无沉积。为了提供多个阶段的 6 个周期工艺，能够快速交替气体配方的气体调制装置将是优选的设备。

控制沉积阶段 604 和剖面成形阶段 608 的时间的比率的能力提供了另一控制变量。恰当的比率将提供如图 9C 所示的基本上垂直和共形的侧壁。这样的沉积层也能够保护光致抗蚀剂掩模，以增加蚀刻选择性。可以用于控制该沉积剖面的本发明所提供的其他控制参数为：周期数目、总沉积时间、沉积/成形阶段时间比率、气体化学物质类型和比率（诸如 $\text{CH}_3\text{F}/\text{O}_2$ 、 $\text{C}_4\text{F}_6/\text{O}_2$ 、 CH_2F_2 、 CHF_3 、 CF_4 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 SiH_4 等）。优选地，该沉积阶段使用碳氢化合物和碳氟化合物的化学物质。该碳氢化合物优选为 CH_4 和 C_2H_4 中的至少一种。碳氟化合物优选为 CH_3F 、 CH_2F_2 、 CHF_3 、 C_4F_6 和 C_4F_8 中的至少一种。在沉积阶段优选使用的其他气体混合物为 CF_4 和 H_2 。优选地，该剖面成形阶段使用有其他添加剂或者无其他添加剂的碳氟化合物化学物质。优选地，该碳氟化合物为 CH_2F_2 、 CHF_3 和 CF_4 中的至少一种。优选地，其他添加剂是 Ar、Xe、

He、Ne、O₂、N₂和H₂中的至少一种。

多阶段沉积允许剖面成形步骤来移除不需要的沉积。此外，单个长时间沉积会导致起泡 (blistering)。优选地，该剖面成形步骤还通过用离子轰击该聚合物而使该聚合物致密。使用多个周期来形成沉积层还提供更精细的CD控制。此外，该多周期多阶段沉积提供了剖面控制。面包条的减少使遮蔽减少，这改善了蚀刻剖面。另外，多周期、多阶段沉积减小了线摆动，该线摆动是由沉积层的应力引起，该应力致使光致抗蚀剂线摆动。此外，该剖面成形步骤防止或减少掩模特征底部上的沉积，以防止来自沉积的残余，这种残余来自位于掩模特征底部上的沉积层的再溅射材料。

优选地，使用至少两个周期形成该沉积层。更优选地，使用至少六个周期形成该沉积层。周期的数目取决于CD减小的数量，且不限于2或6。

形成具有更小临界尺寸的特征而无需改变光致抗蚀剂的能力考虑到更小的特征而不用购买新的光刻设备。如果使用更新一代的光致抗蚀剂，则本发明为更新一代的光致抗蚀剂提供了小的CD，从而考虑到更新的光刻和光致抗蚀剂系统的扩展。

在其他实施例中，可以使用三种或更多不同气体化学物质，从而在形成侧壁层时提供三种或更多不同沉积或蚀刻阶段。

导电层蚀刻的实例

实例配方、即可用于沉积和蚀刻侧壁层和导电层的装置示于图10。图10为用于沉积和使沉积层成形的这样一种装置1000的示意图。等离子体处理室1000包括感应天线(或线圈)1002、气体分配盘(gas distribution plate, GDP)1004、衬底支架1008、气体源1010和排气泵1020。气体源1010与气体分配盘1004流体连接，且包括沉积气体源1012和蚀刻气体源1016。气体源1010可包括附加气体源，诸如包括第二蚀刻或沉积气体源。在等离子体处理室1000之内，衬底404被置于衬底支架1008上。衬底支架1008包含适当的衬底夹紧机构(例如静电、机械夹具等)，用于保持衬底404。反应器顶部1028包括石英介电窗口1076，该石英介电窗口1076允许能量从天线1002传输到室中。介电窗口1076、衬底支架1008和阳极化铝室壁1052限定了封闭的等离子体容积。气体由气体源1010供给该封闭的等离子体容积，

并由排气泵 1020 通过排气口从该封闭的等离子体容积排放。第一 RF 源 1044 电连接到天线。第二 RF 源 1048 电连接到衬底支架 1008。在这个实例中，第一 RF 源 1044 提供频率为 13.56MHz 的信号，而第二 RF 源 1048 提供频率为 13.56MHz 的信号。

其他实施例可以使用硬掩模作为该掩模。在这些实施例中，光致抗蚀剂掩模可被用来打开硬掩模。侧壁层可以置于硬掩模上，以减小间隔。在替换方案中，侧壁层可以在蚀刻该硬掩模之前置于该光致抗蚀剂上。

本发明还允许研究比当前装置超前若干代的装置。光刻系统尚不能用于创建这些装置。本发明允许当前光刻系统提供比当前光刻装置小好几代的装置，从而允许制作具有被认为当前光刻装置无法企及的临界尺寸的装置。

掩模中的间隔可被用来在蚀刻层中蚀刻成孔或沟槽。

本发明可以用于许多不同类型的等离子体处理工具，诸如用于 Exelan 和 TCP 类型蚀刻器、混合 PVD、CVD、MW、RIE、MORIE、TCP、ICP 等。

尽管已经依据多个优选实施例描述了本发明，但是有落入本发明的范围内的多种变更、置换和各种替代等同。应该注意，有多种可替换的方式来实施本发明的方法和设备。因此，下述所附权利要求旨在被解释为包括落在本发明的真正精神和范围内的所有这些变更、置换和各种替代等同。

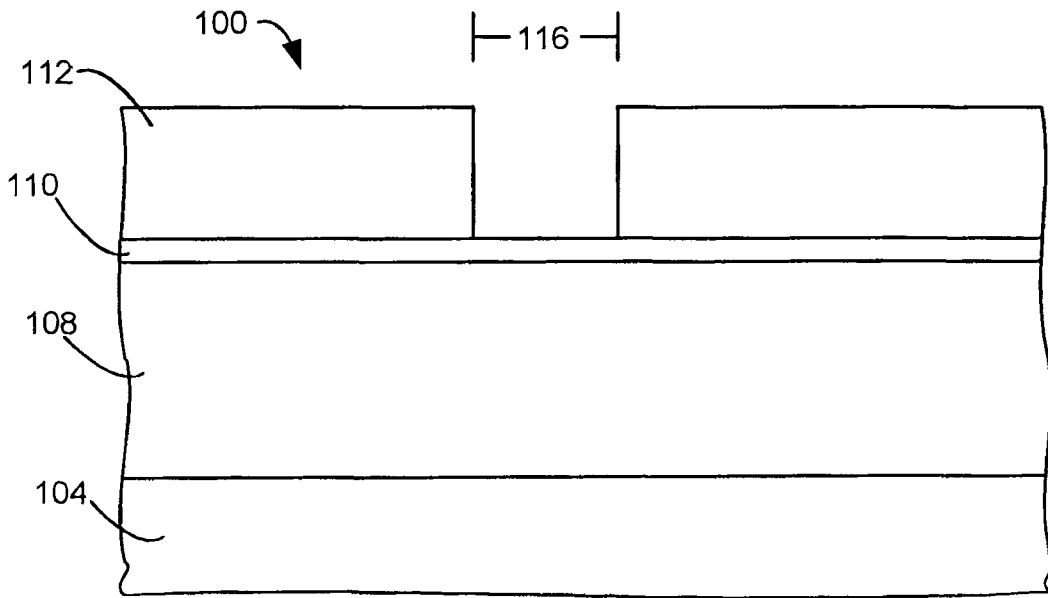


图 1A (现有技术)

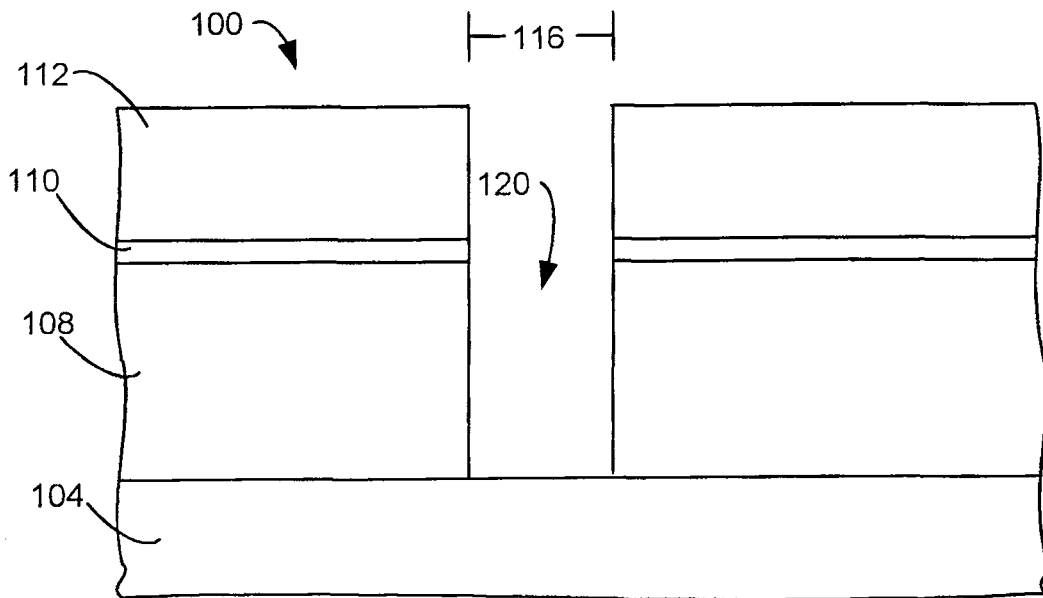


图 1B (现有技术)

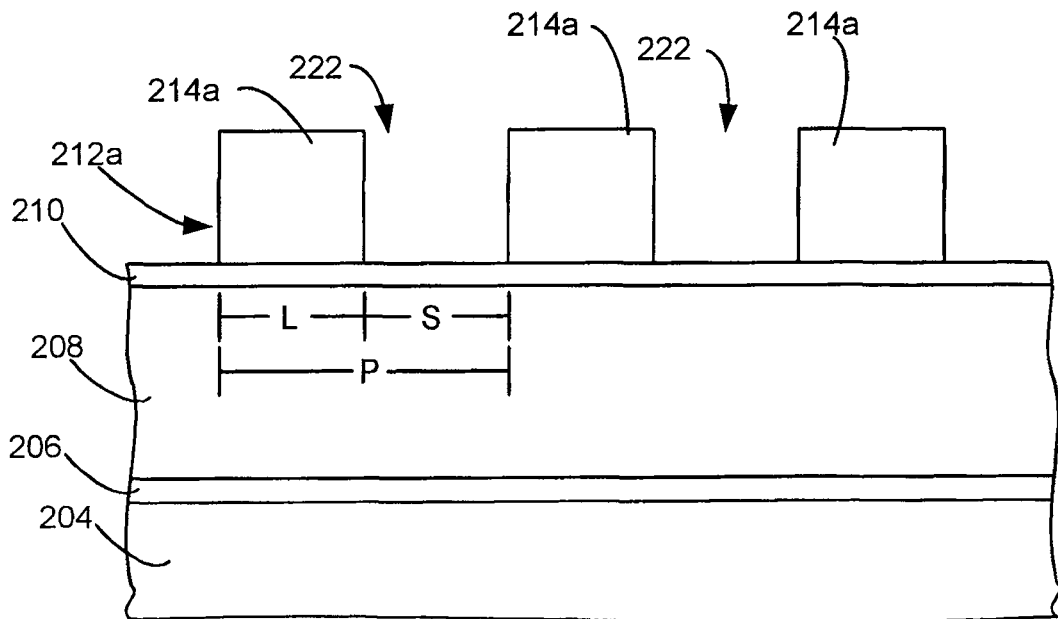


图 2A (现有技术)

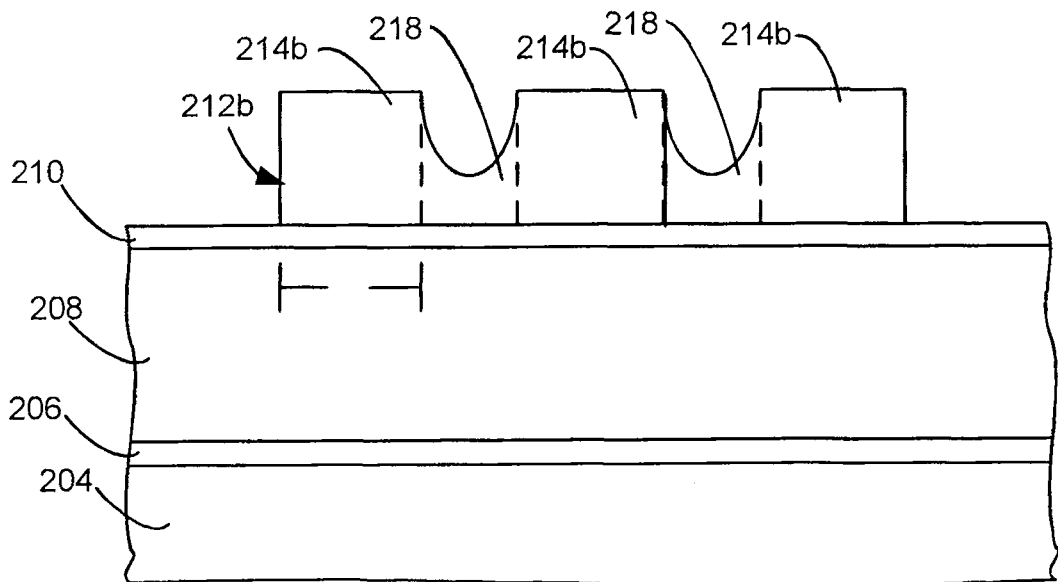


图 2B (现有技术)

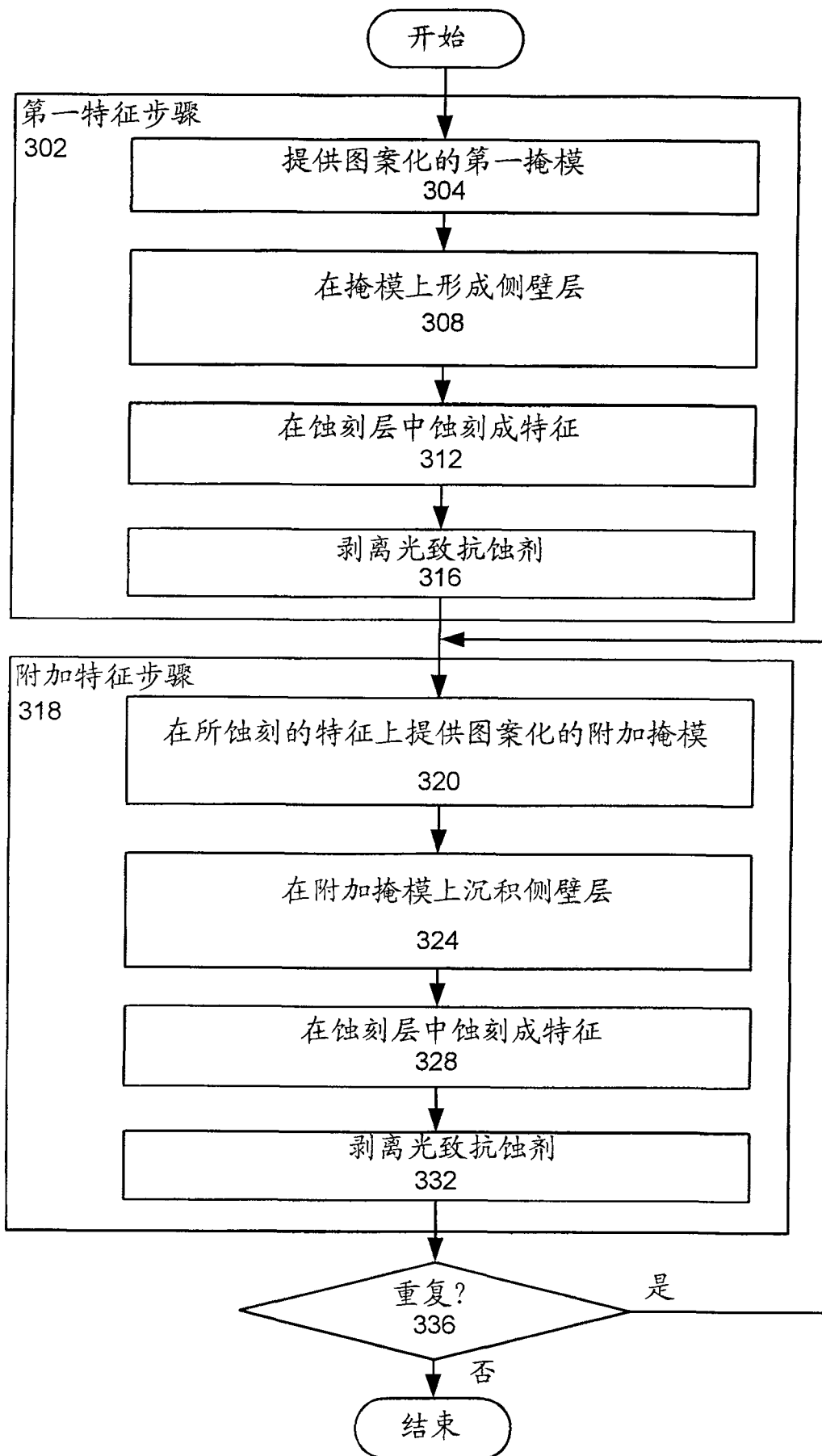


图 3

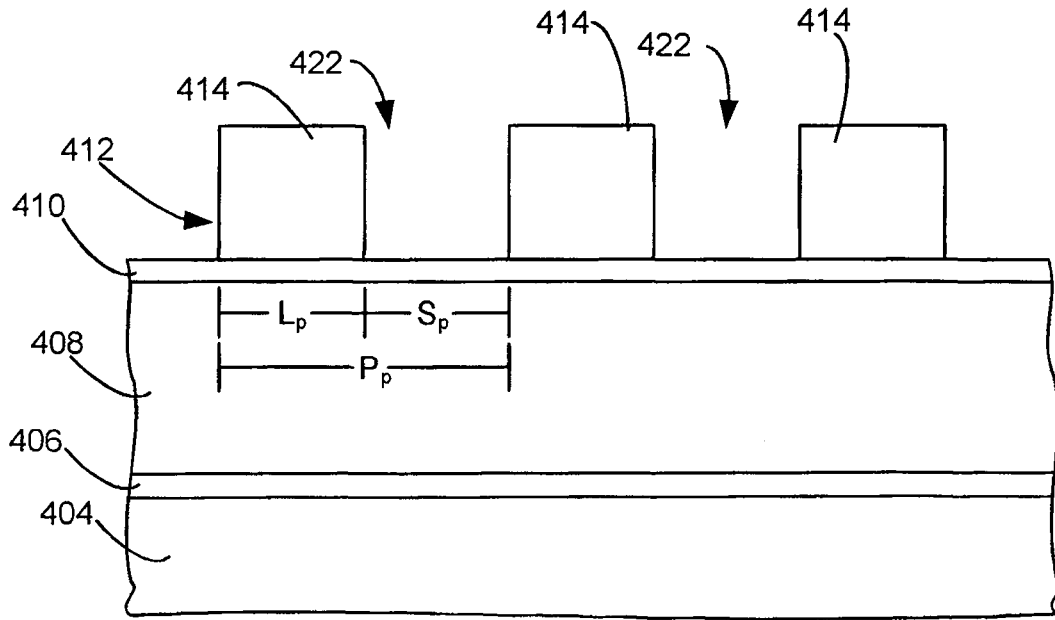


图 4A

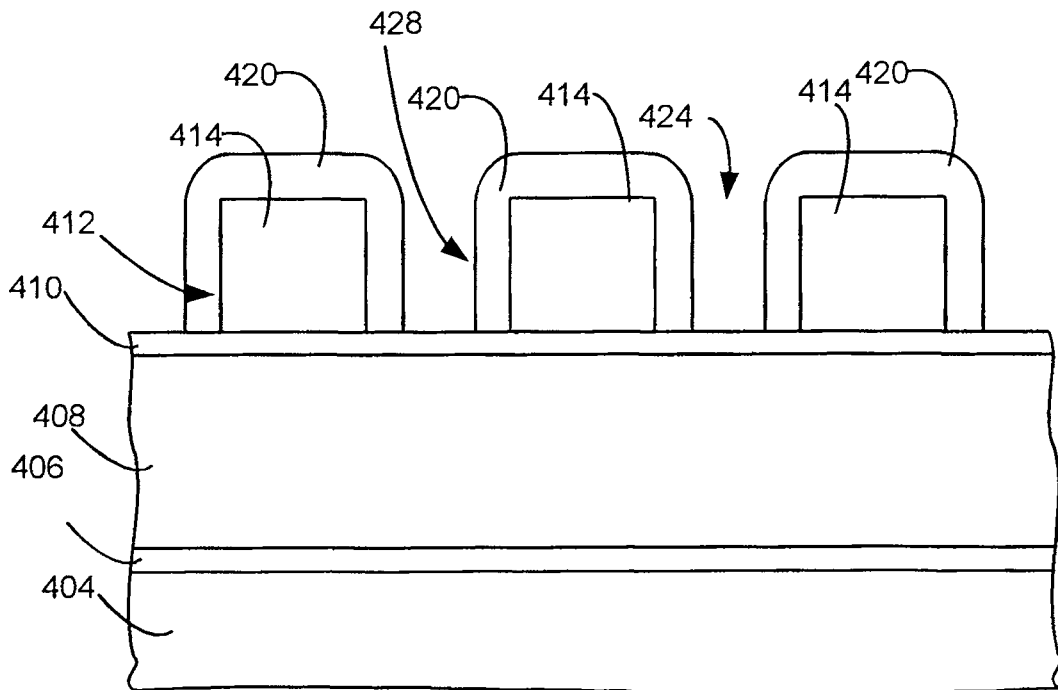


图 4B

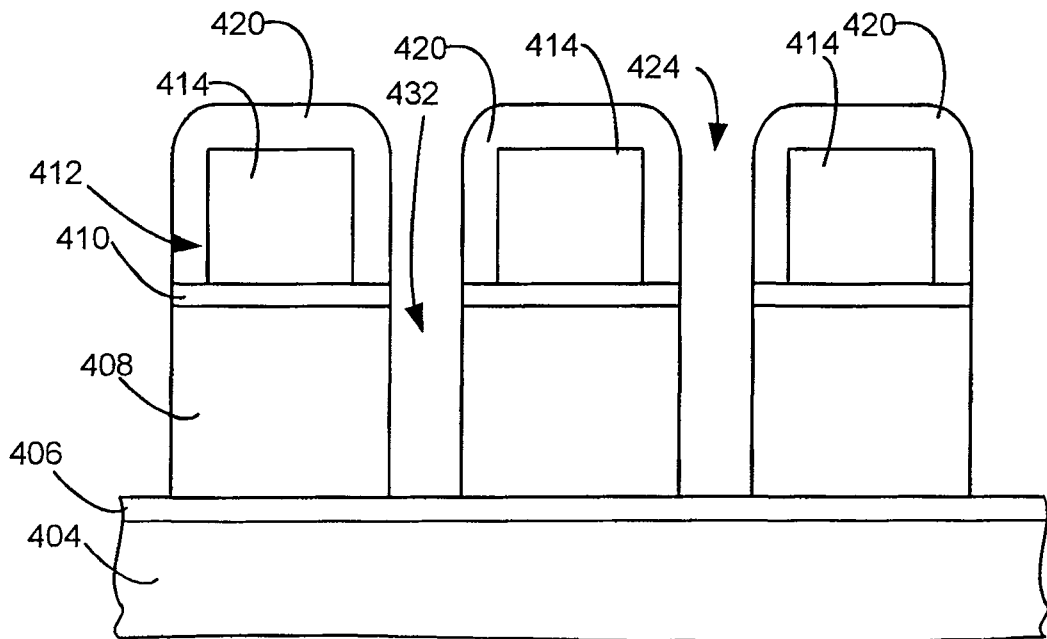


图 4C

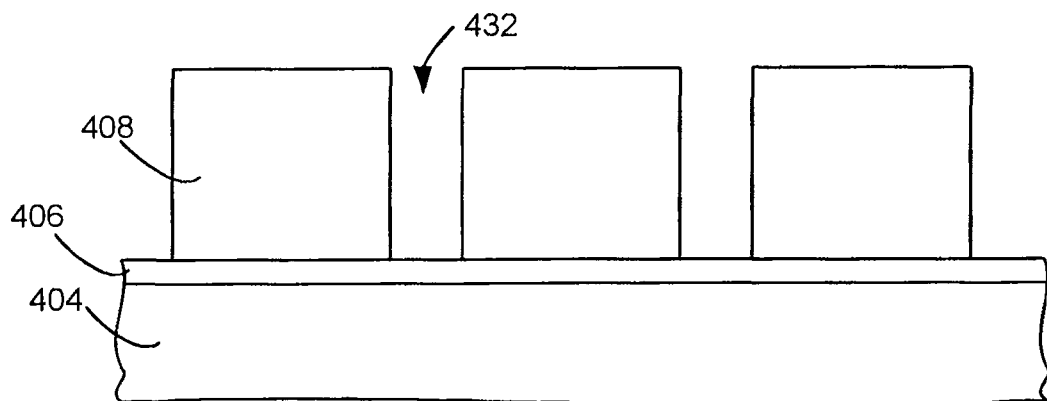


图 4D

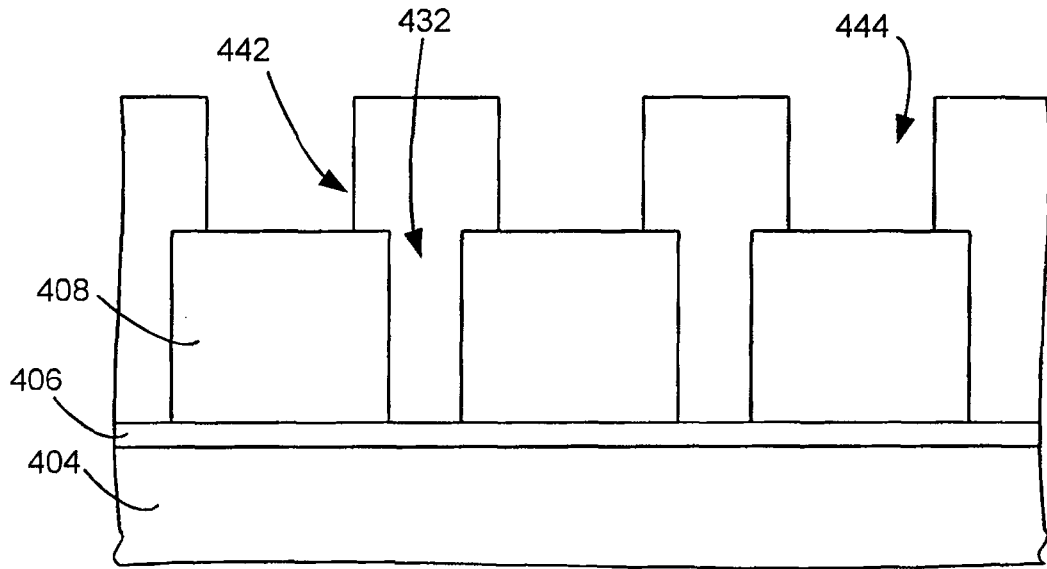


图 4E

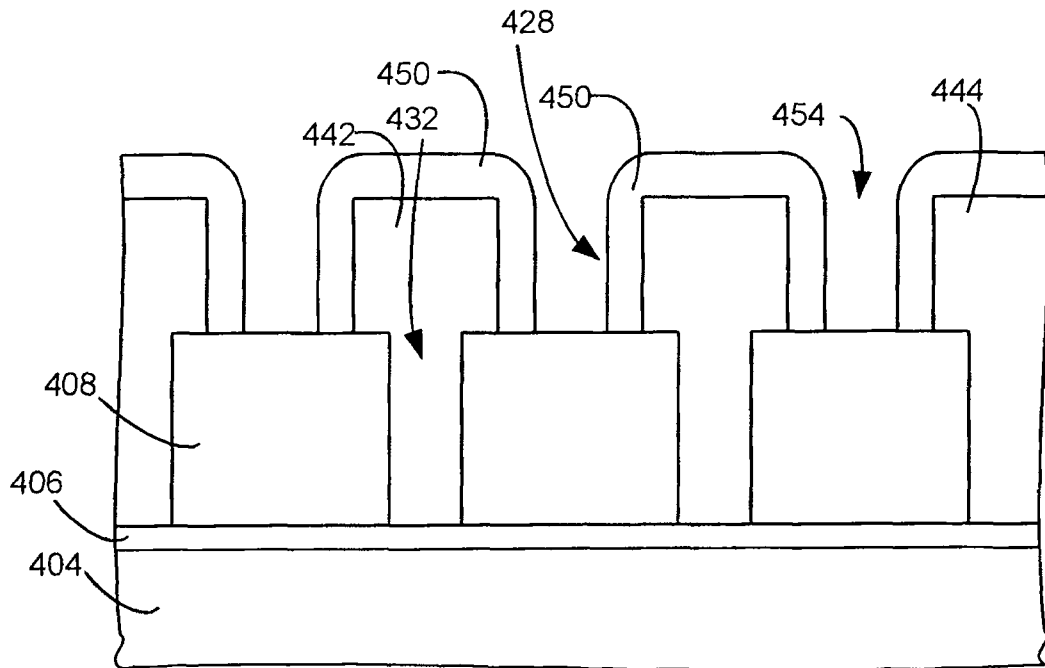


图 4F

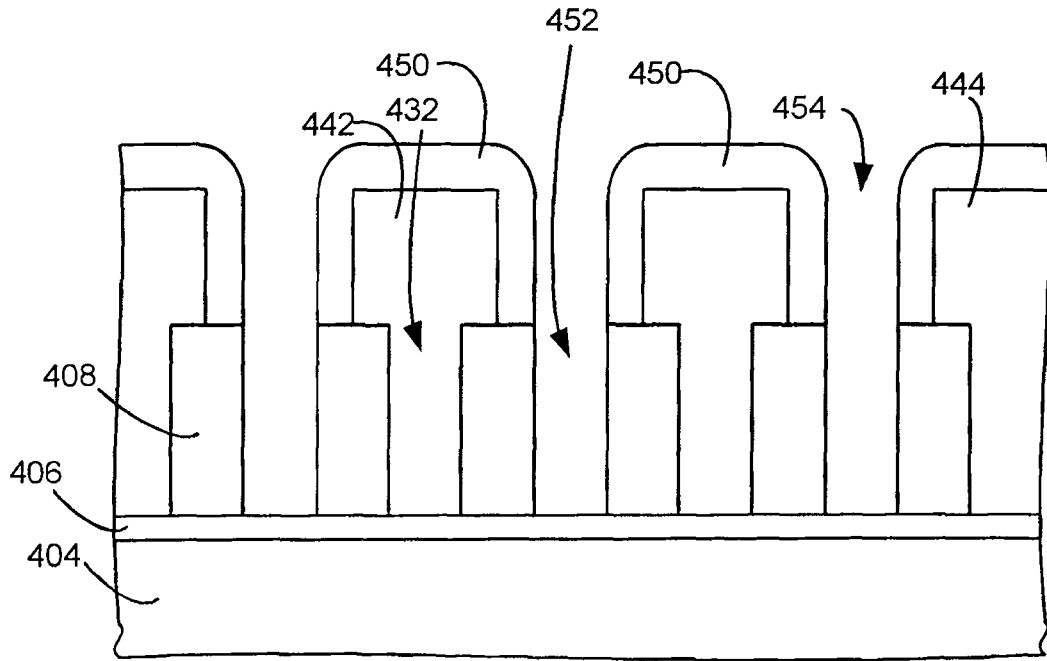


图 4G

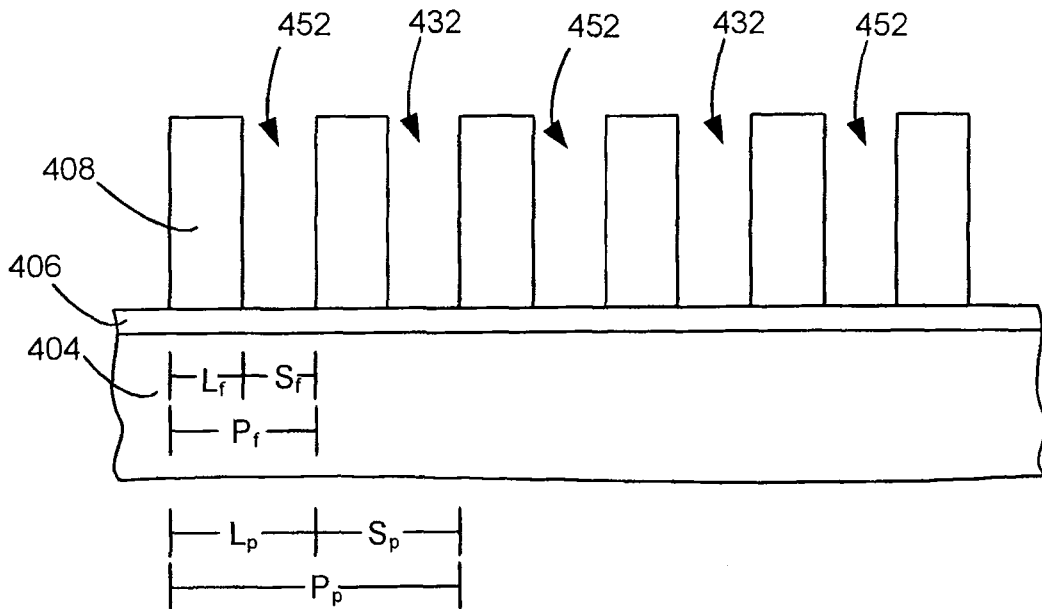


图 4H

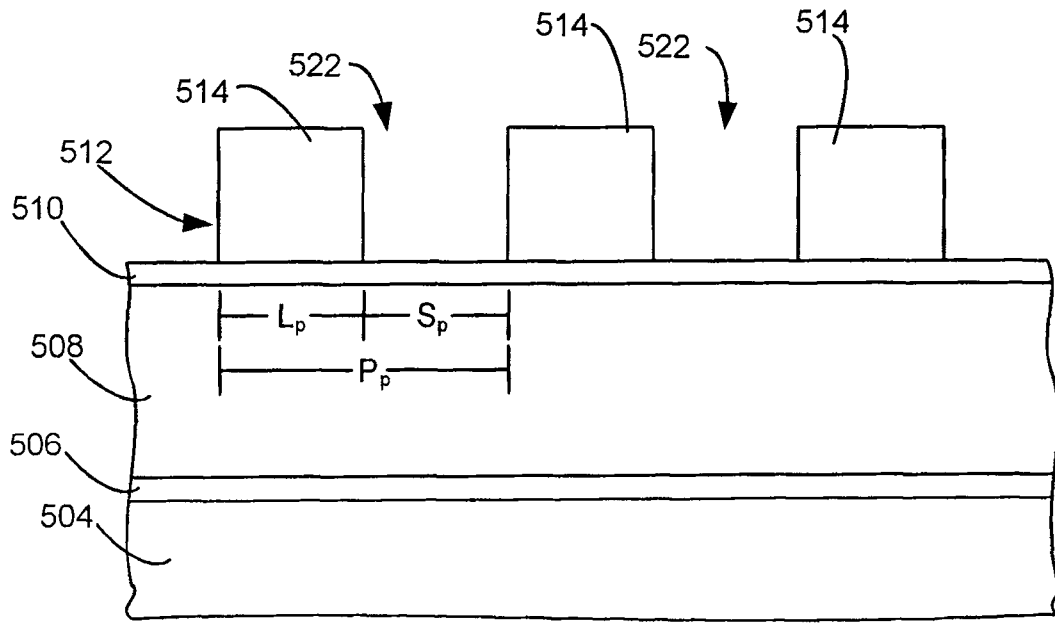


图 5A

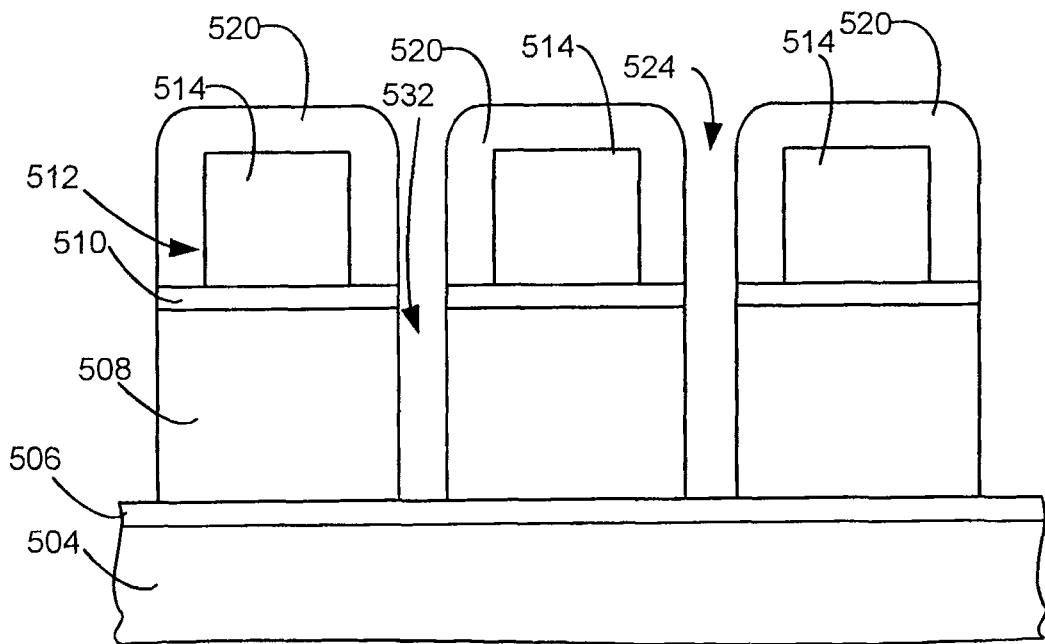


图 5B

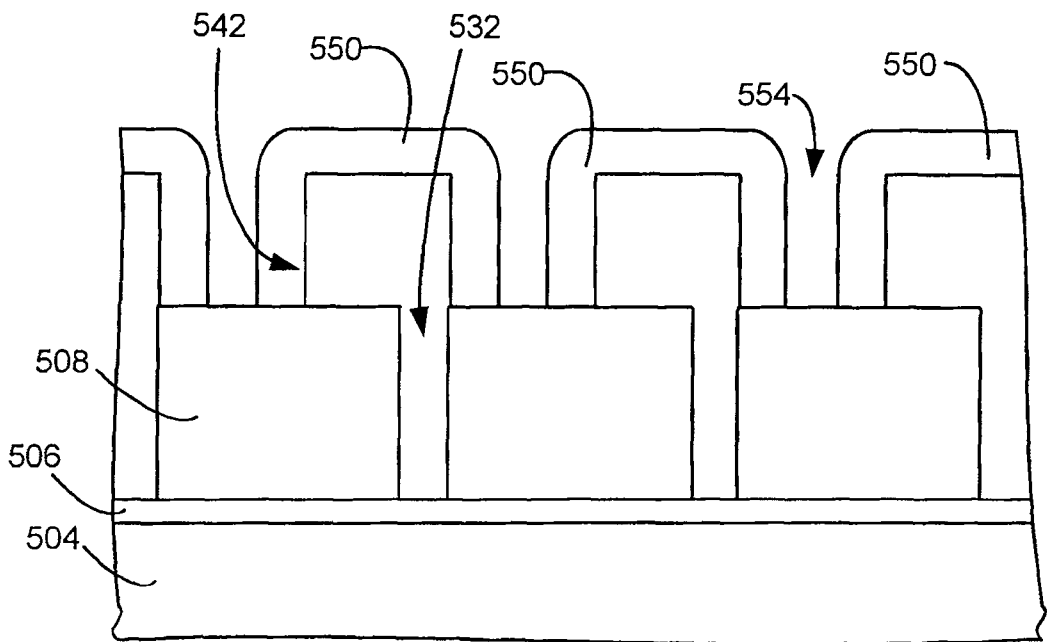


图 5C

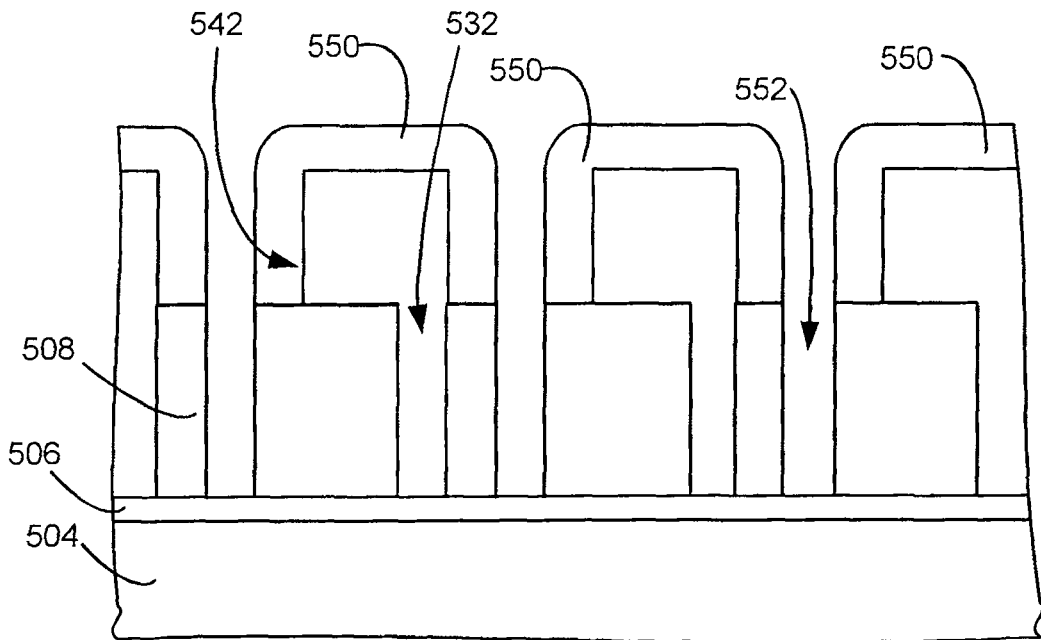


图 5D

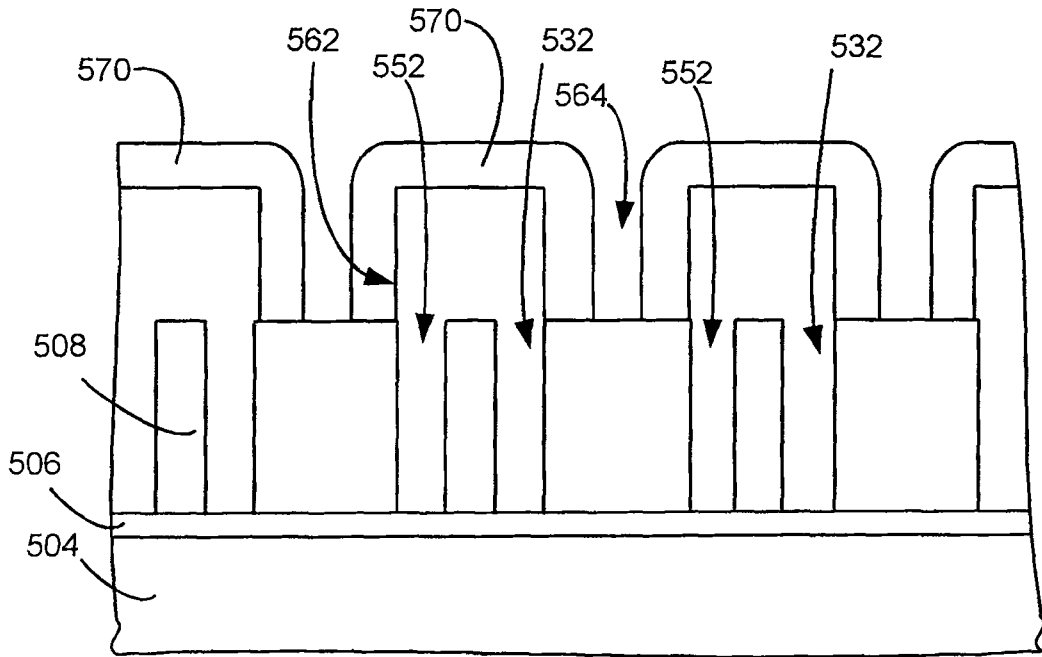


图 5E

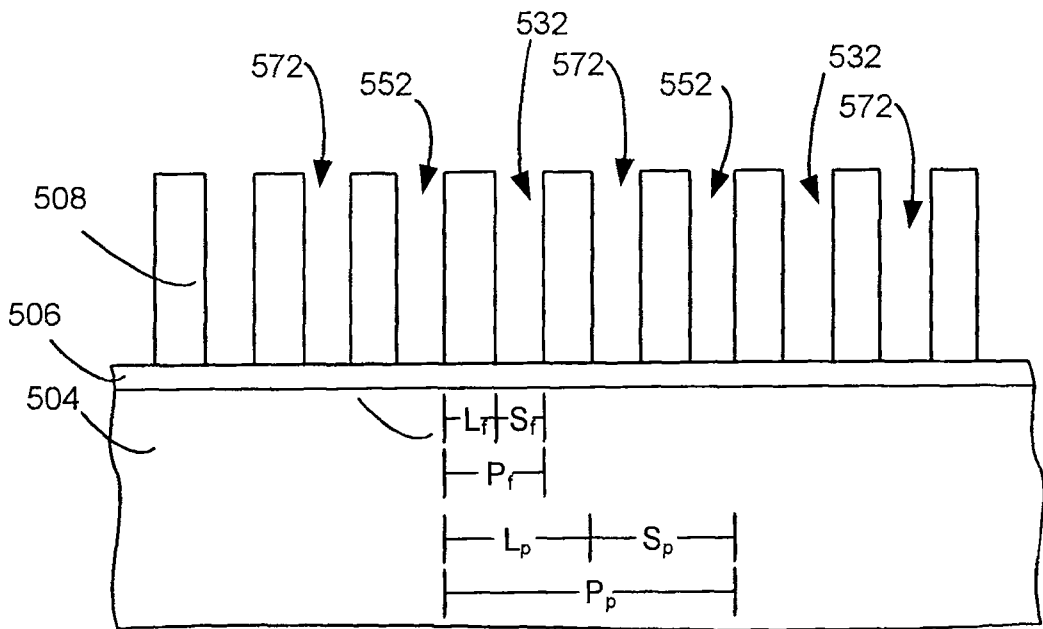


图 5F

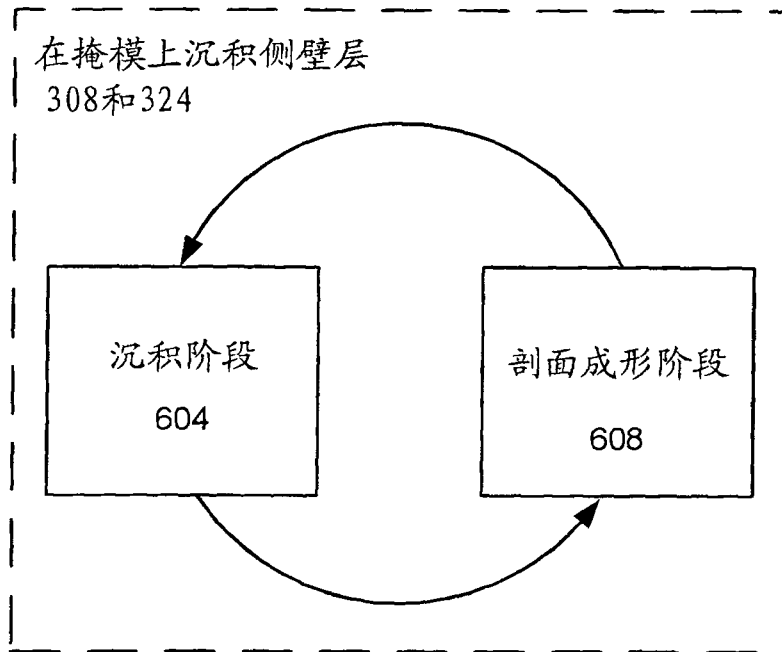


图 6

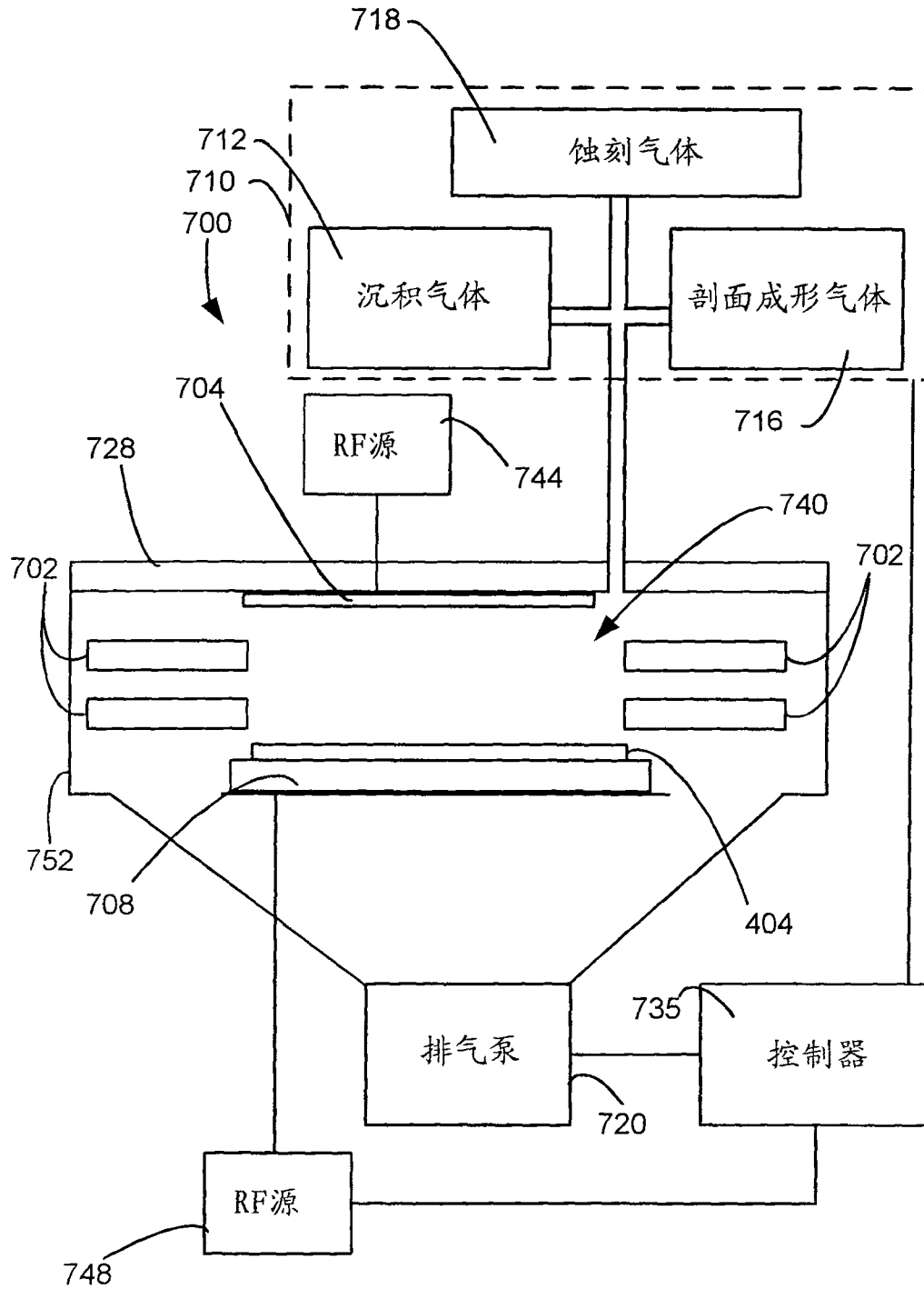


图 7

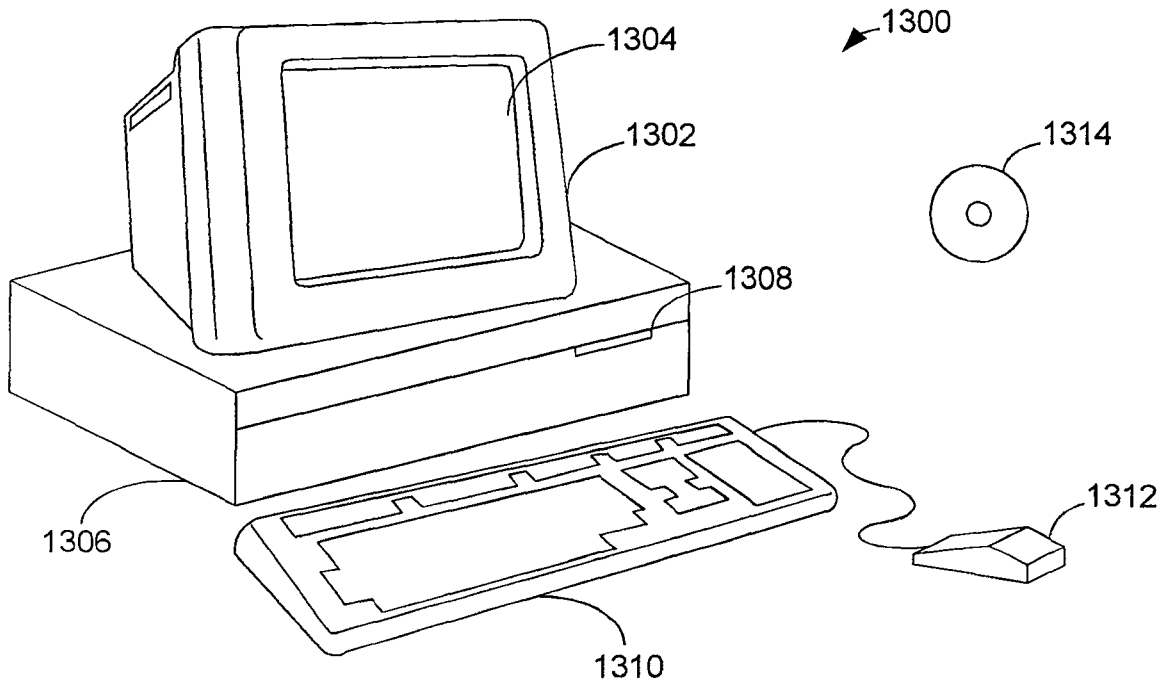


图 8A

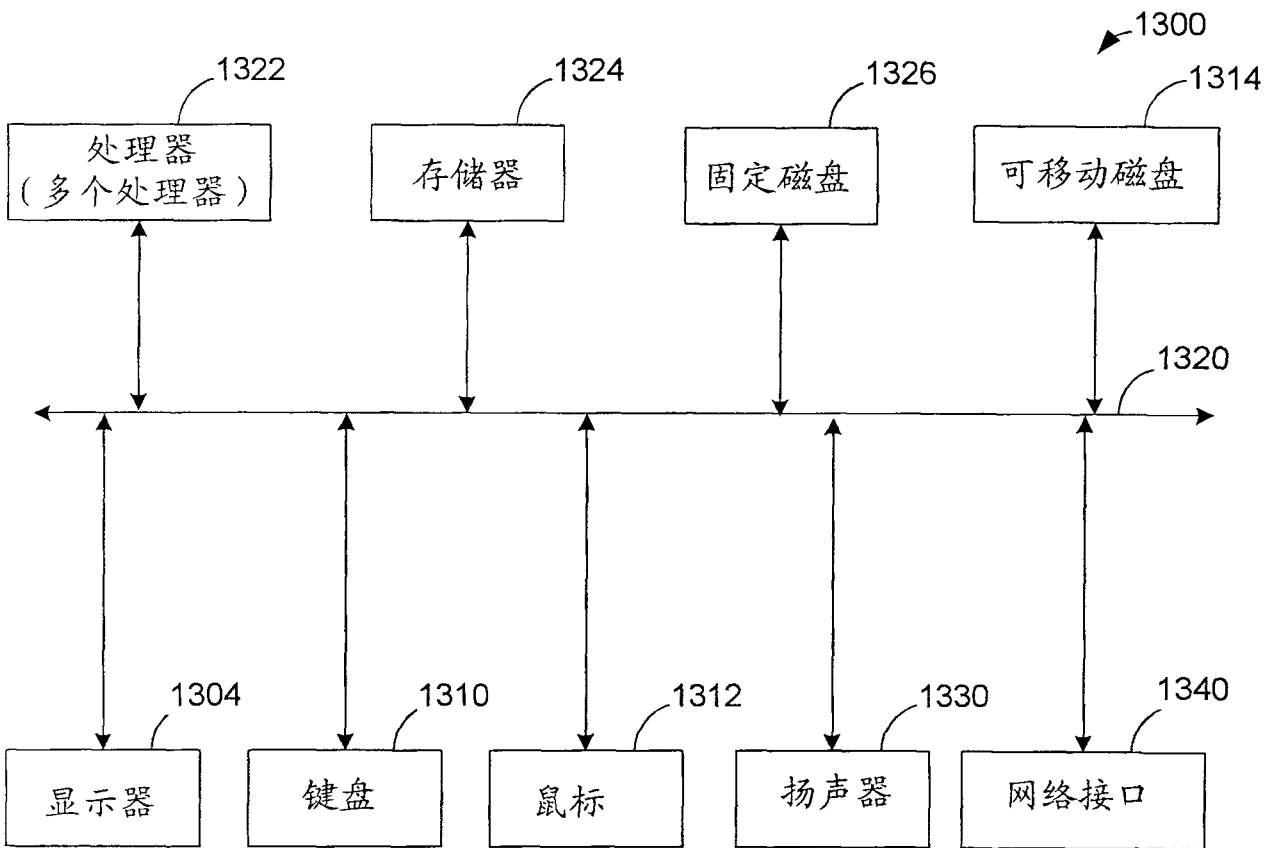


图 8B

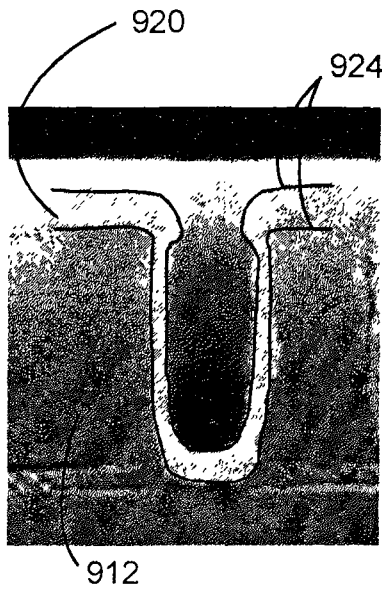


图 9A

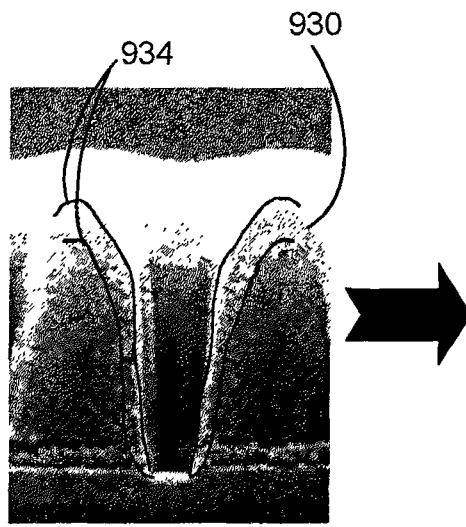


图 9B

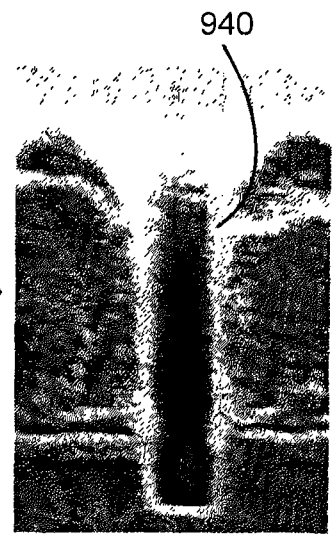


图 9C

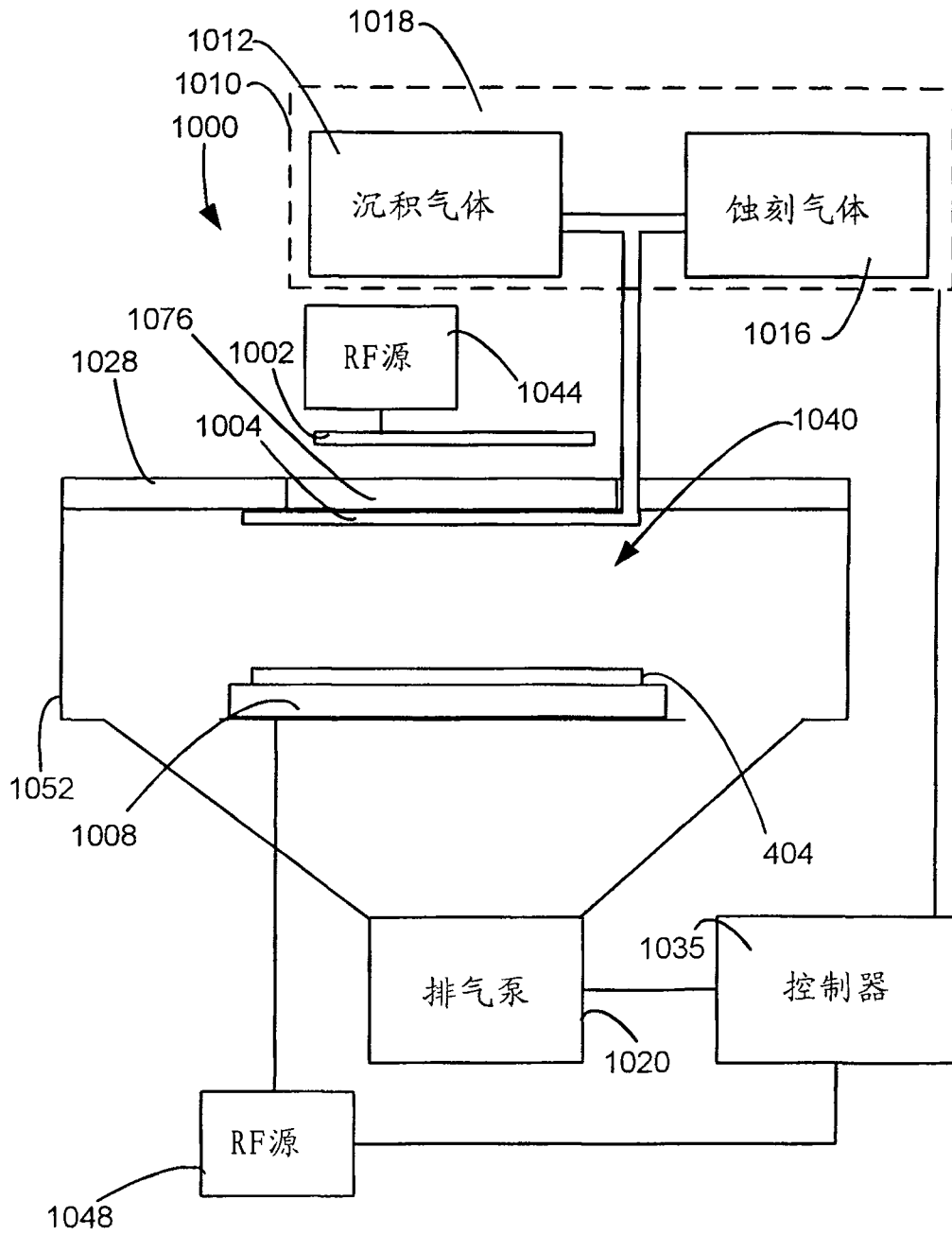


图 10