

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410092981.3

[51] Int. Cl.

H01L 21/304 (2006.01)

B24B 37/04 (2006.01)

B24B 1/00 (2006.01)

B24B 7/22 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007 年 10 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 100343958C

[22] 申请日 2004.11.12

[21] 申请号 200410092981.3

[30] 优先权

[32] 2003.11.13 [33] US [31] 10/712,186

[73] 专利权人 CMP 罗姆和哈斯电子材料控股公司

地址 美国特拉华

[72] 发明人 格雷戈里·P·马尔多奈伊

[56] 参考文献

CN1151342A 1997.6.11

CN1449322A 2003.10.15

US6159088A 2000.12.12

EP1114697A2 2001.7.11

审查员 智 月

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 陈文青

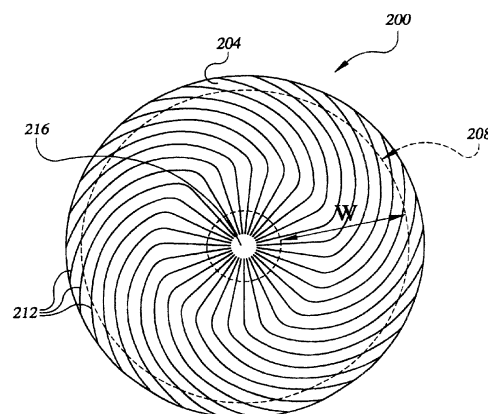
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 5 页

[54] 发明名称

带有用于提高浆液利用率的凹槽的研磨垫

[57] 摘要

一种化学式机械研磨垫(200)，其包括研磨层(204)，所述研磨层具有研磨区(208)并包含至少局部延伸到研磨区的多个凹槽(212)。在研磨过程中，凹槽含有用于促进研磨过程的浆液(236)。各个凹槽包括多个混合结构(220)，其用于致使置于凹槽的下部(240)内的浆液与置于凹槽的上部(244)内的浆液混合。



1. 一种用于研磨半导体衬底的表面的研磨垫，该研磨垫包括：

(a) 研磨层，其带有研磨区，用以研磨工件的表面；及

(b) 位于研磨层内的多个凹槽，各个凹槽：

(i) 至少局部延伸到研磨区内；及

(ii) 用于接收一部分研磨剂；

至少在多个凹槽中的一些凹槽中，每个凹槽包括多个混合结构，该混合结构用于将该凹槽中的研磨剂混合，所述多个混合结构是位于凹槽底部的一系列的峰和谷。

2. 如权利要求 1 所述的研磨垫，其特征在于，位于多个凹槽中相应各凹槽内的多个混合结构中的每一个具有周期性的节距。

3. 如权利要求 2 所述的研磨垫，其特征在于，位于多个凹槽中相应各凹槽内的多个混合结构中的每一个具有相互相同的形状。

4. 如权利要求 1 所述的研磨垫，其特征在于，包含多个混合结构中任何一个结构的多个凹槽中的每一个凹槽具有额定深度，且周期性的节距等于额定深度到额定深度的四倍。

5. 如权利要求 1 所述的研磨垫，其特征在于，包含多个混合结构中任何一个结构的多个凹槽中的每一个凹槽都具有额定深度，且在该凹槽中的多个混合结构中的任何一个的高度等于该凹槽的额定深度的 10%-50%。

6. 一种化学式机械研磨半导体衬底的方法，包括步骤：

(a) 提供研磨剂到研磨垫上，该研磨垫包括研磨层，所述研磨层带有研磨区并包括多个凹槽，各个凹槽：

(i) 具有一上部和一下部；

(ii) 至少局部延伸到研磨区内；及

(iii) 接收一部分研磨剂；

多个凹槽中的至少一些凹槽分别包括多个混合结构，该混合结构有效地用于将该凹槽中的研磨剂混合，所述多个混合结构是位于凹槽底部的一系列的峰和谷；

(b) 将半导体衬底与研磨层在研磨区中结合；及

(c) 带动研磨垫相对半导体衬底旋转，以将流体输送到多个凹槽中的每一个凹

槽内，所述多个凹槽与多个混合结构中的至少一些混合结构相互作用，从而将位于该凹槽下部的研磨剂与位于该凹槽上部的研磨剂混合。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于，研磨垫具有中心区，且步骤(a) 包括提供最接近中心区的研磨剂。

8. 如权利要求 6 所述的方法，还包括提供研磨垫的步骤，其特征在于，包含多个混合结构的任何一个的多个凹槽中的每一个凹槽都具有额定深度和周期性的节距，且周期性的节距等于额定深度到额定深度的四倍。

9. 如权利要求 6 所述的方法，还包括提供研磨垫的步骤，其特征在于，包含多个混合结构的任何一个的多个凹槽中的每一个凹槽都具有额定深度，且在该凹槽中的多个混合结构的任何一个的高度等于该凹槽的额定深度的 10%-60%，其中在每个凹槽中都包含一种混合结构。

10. 一种使用研磨剂来研磨半导体衬底表面的研磨系统，包括：

(a) 研磨垫，其包括：

(i) 研磨层，该研磨层带有研磨区，以用于研磨半导体衬底的表面；及

(ii) 位于研磨层内的多个凹槽，每个凹槽：

(A) 至少部分延伸到研磨区内；并

(B) 用于接收一部分研磨剂；

多个凹槽中的至少一些凹槽分别包括多个混合结构，该混合结构有效地用于将该凹槽中的研磨剂混合，所述多个混合结构是位于凹槽底部的一系列的峰和谷；
及

(b) 研磨剂输送系统，其用于将研磨剂输送到研磨垫。

带有用于提高浆液利用率的凹槽的研磨垫

技术领域

本发明通常涉及化学式机械研磨领域。更具体地说，本发明涉及一种研磨垫，该研磨垫具有增强浆体利用的凹槽。

背景技术

在集成电路和其他电子器件的制造中，多层导电材料、半导体材料和介电材料被沉积到半导体晶片的表面上，或者从半导体晶片的表面上去除。可以利用多种沉积技术来沉积导电材料、半导体材料和介电材料的薄层。在现在的晶片处理中的通常的沉积技术包括物理气相沉积（PVD）（也称作溅射）、化学气相沉积（CVD）、等离子增强的化学气相沉积（PECVD）和电化学镀法。通常的去除技术中包括湿各向同性蚀刻和干各向同性蚀刻，以及湿各向异性蚀刻和干各向异性蚀刻。

随着材料层被顺序地沉积和去除，晶片的最上层表面变得不是一个平面。因为随后的半导体处理（如金属镀敷）要求晶片具有平的表面，晶片需要被平面化。平面化可用于去除不需要的表面形态和表面缺陷，如粗糙表面、结块的材料、晶格损伤、划痕和污染层或材料。

化学式机械平面化或化学式机械研磨(CMP)是用于使工件（如半导体晶片）平面化的通用技术。在传统的CMP中，晶片载架或研磨头被安装在载架组件上。研磨头保持晶片并将晶片置于与CMP装置内的研磨垫的研磨层接触的位置。载架组件在晶片和研磨垫间提供可控压力。与此同时，浆液或其他研磨介质流到研磨垫上，并流入晶片和研磨层间的间隙内。为进行研磨，使研磨垫和晶片彼此相对移动（通常是旋转）。通过研磨层和表面上的浆液的化学和机械作用，晶片表面被研磨并被平面化。

在设计研磨层时，重要的考虑事项包括浆液在研磨层表面上的分

布、新鲜浆液流入研磨区内的流动、用过的浆液从研磨区流出的流动和流过研磨区而基本未被使用的浆液量。针对这些考虑事项的一种方式提供带有凹槽的研磨层。这些年来，已经采用过相当多的不同凹槽式样和结构。现有技术的凹槽式样包括放射状、同心圆、笛卡儿栅格和螺旋形。现有技术的凹槽结构包括所有凹槽中、所有凹槽的深度一致的结构，以及所有凹槽中、所有凹槽的深度相互间不同的结构。

对于 CMP 行业的人员来说，通常公认的是，某些凹槽式样比其他式样导致更高的浆液消耗，从而获得可比较的材料去除率。环形槽倾向于比放射状凹槽消耗的浆液更少，其中所述环形槽没有连接到研磨层的外周上，所述放射状凹槽为浆液提供最短可能的路径，以在研磨垫旋转的力的作用下到达研磨垫的周边。凹槽的笛卡儿栅格处于中间位置，其提供到达研磨层的外周的各种长度的路径。

已在现有技术中披露了各种凹槽式样，所述现有技术试图降低浆液消耗并使研磨层上的浆液停留时间最大化。例如，Nakajima 的美国专利 US6159088 披露了一种带有凹槽的研磨垫，其大体上迫使浆液从研磨垫的中心部分和外周部分朝向晶片轨迹流动。在一个实施例中，各个凹槽都具有第一部分，其从研磨垫的中心呈放射状地延伸到晶片轨迹的纵向中心线。各个凹槽的第二部分大体朝向研磨垫的旋转方向从第一部分的中心线中点延伸到研磨垫的外周。在由第一部分和第二部分的交叉点形成的分叉处，在各个凹槽中呈现一对凹槽凸出部。在研磨垫旋转时，这些凸起容许浆液汇集在分叉处，从而使浆液容易地流向晶片轨迹内的研磨表面。Nakajima 式凹槽结构容许在第一部分内流动的新鲜浆液与在第二部分内流动的“旧”浆液混合，并被输送到晶片轨迹。已被认为是用来降低浆液消耗并使浆液利用率最大化的凹槽的其它示例包括如螺旋凹槽，这种螺旋凹槽在研磨垫的旋转力的作用下，将浆液推向研磨层的中心；之字形或弯曲的凹槽，其增大了有效流动阻力及流体穿过研磨垫所需的时间；及短的相互连接的导槽的网络，其在研磨垫的旋转力的作用下，比笛卡儿栅格凹槽的长而直的干路能更好的保持液体。

至今 CMP 的研究和建模（包括计算流体动力学模拟的技术发展水平）已披露，在具有固定的或逐渐变化的深度的凹槽网络中，相当大量的研磨剂没有与晶片接触，这是因为在每个凹槽的最深处的浆液在晶片之下流动而没有与该晶片接触。由于在传统研磨层中，在工件之下存在连续的流动路径，浆液在其中流动而没有参与研磨过程，因此尽管凹槽必须设有最小深度，以随着研磨层表面的磨损而能够可靠地输送浆液，但是任何过深的深度将造成一些提供给研磨层的浆液没有被利用。因而，就需要以这种方式设置凹槽的研磨层，即其降低了提供给研磨层的浆液的未充分利用的量，并且因而减少了浆液的浪费。

发明的内容

在本发明的一个方面，一种用于研磨半导体衬底的表面的研磨垫，该研磨垫包括：(a) 研磨层，其带有研磨区，用以研磨工件的表面；及 (b) 位于研磨层内的多个凹槽，各个凹槽：(i) 至少局部延伸到研磨区内；及 (ii) 用于接收一部分研磨剂；至少在多个凹槽中的一些凹槽中，每个凹槽包括多个混合结构，该混合结构用于将该凹槽中的研磨剂混合。

在本发明的另一个方面，一种化学式机械研磨半导体衬底的方法，其包括步骤：(a) 提供研磨剂到研磨垫上，该研磨垫包括研磨层，所述研磨层带有研磨区并包括多个凹槽，各个凹槽：(i) 具有一上部和一下部；(ii) 至少局部延伸到研磨区内；及 (iii) 接收一部分研磨剂；多个凹槽中的至少一些凹槽分别包括可操作的多个混合结构，该混合结构有效地用于将该凹槽中的研磨剂混合；(b) 将半导体衬底与研磨层在研磨区中结合；及 (c) 带动研磨垫相对半导体衬底旋转，以将流体输送到多个凹槽中的每一个凹槽内，所述多个凹槽与多个混合结构中的至少一些混合结构相互作用，从而将位于该凹槽下部的研磨剂与位于该凹槽上部的研磨剂混合。

在本发明的另一个方面，一种使用研磨剂来研磨半导体衬底表面的研磨系统，包括：(a) 研磨垫，其包括：(i) 研磨层，该研磨层带有研磨区，以用于研磨半导体衬底的表面；及 (ii) 位于研磨层内的

多个凹槽，每个凹槽：(A)至少部分延伸到研磨区内；并且(B)用于接收一部分研磨剂；多个凹槽中的至少一些凹槽分别包括多个混合结构，该混合结构有效地用于将该凹槽中的研磨剂混合；及(b)研磨剂输送系统，其用于将研磨剂输送到研磨垫。

附图说明

图1是本发明的化学式机械研磨(CMP)系统的局部示意简图和局部透视图；

图2是适合于使用图1的CMP系统的本发明的研磨垫的平面图；

图3A是沿着其中一个凹槽的纵向中心线示出的图2的研磨垫的放大截面图，示出了设在凹槽内的多个混合结构；图3B是沿着图3A中的3B-3B线示出的图2中的研磨垫的横截面；图3C是凹槽的放大的纵向横截面图，其中所述凹槽包括设在凹槽内的多个可替代的混合结构；图3D是凹槽的放大纵向横截面图，其中所述凹槽包括多个混合结构和沿着凹槽长度线性变化的额定深度；

图4A-4G是本发明的研磨垫凹槽的透视图，示出各种可替代的混合结构；

图5A-5C是本发明的研磨垫凹槽的透视图及相应的横截面视图，示出各种复杂的混合结构。

具体实施方式

现在参考附图，图1示出依照本发明的化学式机械研磨(CMP)系统，其总体用附图标记100表示。CMP系统100包括带有研磨层108的研磨垫104，所述研磨垫104包括多个凹槽112，所述凹槽布置和构造用以提高在半导体衬底、如半导体晶片120或其他工件(如玻璃、硅晶片和信息存储磁盘)的研磨过程中施加于研磨垫上的浆液116或其他液体研磨剂的利用。为方便起见，在以下的说明书中采用术语“晶片”。然而，本领域技术人员可以理解，除晶片以外的其他工件也在本发明的范围之内。在下面详细叙述研磨垫104及其独特的特征。

CMP系统100可包括研磨压盘124，研磨压盘驱动器128带动该研磨压盘124绕轴126旋转。研磨压盘124可具有上表面132，研磨

垫 104 安装在该上表面 132 上。可绕轴 140 旋转的晶片载架 136 可支撑在研磨层 108 之上。晶片载架 136 可具有与晶片 120 结合的下表面 144。晶片 120 的表面 148 朝向研磨层 108，且在研磨过程中被磨平。晶片载架 136 可被带动晶片 120 旋转的载架支撑组件 152 支撑，并提供一向下的力 F ，以将晶片表面 148 压靠在研磨层 108 上，以便在研磨过程中，在晶片表面和研磨层之间存在所需的压力。

CMP 系统 100 也包括浆液供给系统 156，其用于将浆液 116 供应到研磨层 108。浆液供给系统 156 可包括保持浆液 116 的储液池 160（如温控储液池）。导管 164 可将浆液 116 从储液池 160 输送到邻近研磨垫 104 的位置，浆液 116 在此被分配到研磨层 108 上。流量控制阀 168 可被用于控制浆液 116 向研磨垫 104 上的分配。

CMP 系统 100 可设有系统控制器 172，该系统控制器 172 用于在加载、研磨和卸载操作过程中控制系统内的各种元件，例如浆液供给系统 156 的流量控制阀 168、研磨盘驱动器 128 和载架支撑组件 152。在示例的实施例中，系统控制器 172 包括处理器 176、连接到处理器的存储器 180 和支持线路（support circuitry）184，所述支持线路 184 用于支持处理器、存储器和系统控制器的其他元件的操作。

在研磨操作过程中，系统控制器 172 致使研磨压盘 124 和研磨垫 104 旋转，并驱使浆液供给系统 156 将浆液 116 分配到旋转的研磨垫上。浆液散布到研磨层 108 上，包括晶片 120 和研磨垫 104 间的间隙中。系统控制器 172 也可致使晶片载架 136 以选择的速度、例如 0 到 150rpm 旋转，以便晶片表面 148 相对研磨层 108 移动。系统控制器 172 还可控制晶片载架 136 来提供向下的力 F ，以便在晶片 120 和研磨垫 104 之间产生所需的压力、例如 0 到 15psi。系统控制器 172 还控制研磨盘 124 的旋转速度，所述研磨压盘通常以 0 到 150rpm 的速度旋转。

图 2 示出示例的研磨垫 200，其可被用作图 1 中的研磨垫 104 或者在其他研磨系统中使用的类似的研磨垫。研磨垫 200 包括研磨层 204，所述研磨层 204 包含研磨区 208，该研磨区 208 在研磨过程中面

对晶片（未示出）表面。在示出的实施例中，研磨垫 200 被设计用于图 1 中的 CMP 系统 100 中，其中晶片 120 在固定的位置上相对盘 124 旋转，所述盘 124 自转。因而，研磨区 208 的形状是环形的，且其宽度 W 等于相应的晶片（如图 1 中示出的晶片 120）的直径。在一个实施例中，其中晶片不仅旋转，而且在平行于研磨层 204 的方向上摆动，研磨区 208 同样也将是环形的，但是宽度 W 将大于晶片的直径，以便将摆动包迹考虑在内。在其他实施例中，研磨区 208 可延伸在整个研磨层 204 上。

研磨层 204 包括多个凹槽 212，其用于提高浆液（未示出）遍及整个研磨区 208 的分布和流动，这种分布和流动与其它因素一起能增大浆液在研磨区内的停留时间。在示出的实施例中，凹槽 212 大致为弯曲的形状，且可被说成是大体从研磨层的中心部分 216 向外辐射。尽管凹槽 212 只被示出到这种程度，但是本领域技术人员将易于理解，本发明的基础概念可被用于在研磨层 204 内限定任何形状和式样的凹槽。例如，仅举几个例子，凹槽 212 可以是上述的背景技术部分中所述的其他形状中的任何一个，即放射状、圆环形、笛卡儿栅格和螺旋形。

研磨垫 200 可以是传统的或其他型式的结构。例如，研磨垫 200 可由多微孔的聚亚胺酯连同其他材料制成，且可选择地包括柔顺（compliant）或刚性背衬（未示出），从而在研磨过程中为研磨垫提供适当的支撑。可使用任何工艺在研磨垫 200 上形成凹槽 212，所述工艺适合于用于制作研磨垫的材料。例如，除其他方式外，凹槽 212 可被成型在研磨垫 200 内，或者在研磨垫已经形成之后在研磨垫内切割出来。本领域技术人员将能理解依照本发明如何制造研磨垫 200。

图 3A 示出穿过图 2 的研磨垫 200 的其中一个凹槽 212 的纵向横截面图。凹槽 212 包括沿凹槽的长度设置的多个混合结构 220（大体由附加的阴影线指示），以便限定凹槽的底部 224。一般来说，混合结构 220 形成了一系列的顶峰 228（或者，如在下文提及的，曲线的平稳段）和低谷 232，其通过设置足够抑制这种流体成层的量的顶峰和

低谷，扰乱浆液在凹槽的下部 240 内的流动。在混合结构 220 被适当地成型并使其具有合适的大小时，这种扰动造成在凹槽 212 的上部 244 内的浆液 236 和凹槽的下部 240 内的浆液间的混合分布。

如果没有混合结构 220，如在上述背景技术中所述的，凹槽 212 的上部 244 内的浆液 236 将积极地参与研磨过程，而凹槽的下部 240 内的浆液通常将在离心力的作用下离开研磨区 208（图 2），而没有积极地参与研磨过程，其中，所述离心力是由于研磨垫 200 的旋转和研磨垫 200 与晶片（如图 1 中的晶片 120）间的相对运动而产生的。然而，利用本发明的混合结构 220，由此产生的扰动致使来自凹槽 212 的上部 244 和下部 240 的浆液 236 相互混合。也就是说，扰动使来自上部 244 的“用过的”浆液 236 和来自下部 240 的“新鲜”浆液混合，以便更多的新鲜浆液有机会来积极参与研磨过程，且浆液中紧邻晶片表面的活性化学种类的合成稳态浓度较高。如图 3B 所示，凹槽 212 包括间隔开的壁 248，所述壁 248 可如图所示垂直于研磨层的表面 252，或者可替代地，可与表面形成除 90 度以外的其他角度。而且，如图 3B 所示，凹槽 212 可具有底部，该底部基本平行于表面 252，或者可替代地，其可与表面形成非零度角。

再次参考图 3A，可相对凹槽 212 的额定深度 D 来形成混合结构 220。额定深度 D 是研磨层 208 的表面 252 和将各个低谷 232 上的最低点与各个直接相邻的低谷上的最低点之间连接所得的线之间的垂直距离。在图 3A 的示例中，可以看出，所有低谷 232 上的最低点与研磨层 208 的表面 252 之间的距离都相同。因而，沿着凹槽 212 长度上的额定深度是一致的。然而，如图 3C 所示，根据所使用的混合结构 220' 的结构，凹槽 212 的额定深度 D 可以变化。图 3D 说明在出现多个相同尺寸和节距的混合结构 220'' 的情况下，额定深度 D 如何沿着凹槽 212'' 的长度线性变化。本领域技术人员将易于理解，额定深度 D 可变化的许多方式都取决于各种尺寸和形状的混合结构的选择和使用。

在混合结构相对额定深度 D 的高度 H（图 3A）落在一定范围内、且混合结构沿着凹槽 212 的节距 P 在一定范围内时，混合结构、例如

图 3A 中的混合结构 220 通常是最有效的。这些范围随着混合结构 220 的形状和所得到的低谷 232 而变化。由于有许多可能的形状，提供精确的范围是不实际的，不过可遵循一般的设计原理。通常，混合结构 220 的高度 H 必须足够高，以实现至少一些混合，但是不能太高，以至于低谷 232 太深而使得流动在此分离并停滞。混合结构 220 的节距 P 必须足够大，以使低谷 232 经受到流动，但还是要足够小，以至于新鲜浆液和用过的浆液间大量混合，并沿着凹槽 212 的主要长度发生这种混合。在一个实施例中，混合结构 220 将凹槽 212 的底部 224 设成如图 3A 所示的正弦周期截面形状，期望能够产生良好混合能力的混合结构 220 的高度 H 和节距 P 是，其高度 H 是额定深度 D 的 10% 到 50%，节距 P 是额定深度 D 的一到四倍，且优选其高度 H 是额定深度 D 的 15%-30%。本领域技术人员将能够理解，这些范围仅仅是示例，且并不排除其他范围。

另外，应该指出，尽管混合结构 220 被示出是周期性的且相互一致的，但并不必须是这样。相反，可以改变混合结构 220 的节距 P、高度 H、形状或它们的任意组合。而且，尽管混合结构 220 通常沿着凹槽 212 的整个长度设置，其也可被设置在浆液 236 最需要混合的一个或更多特定区域。例如，混合结构 220 可仅仅出现在研磨层 204 的研磨区 208 内。同样地，尽管研磨垫 200 上的所有凹槽 212 可设有混合结构，但也不必须是这样。如果需要，仅仅图 2 中的研磨垫 200 的某些凹槽 212 可设有混合结构 220。例如，除其他的可能性外，相对于图 2 中的凹槽 212，每隔一个凹槽或每隔两个凹槽可不设混合结构。

图 4A-4G 示出可用于研磨垫（如分别在图 1 和 2 中示出的研磨垫 104、200）的凹槽内的混合结构的可替代形状的样例。在图 4A 中，各个混合结构 300 是三角形的，以便形成大致 V 形的低谷 304。图 4B 示出各个混合结构 400 为倾斜的锯齿形，以便为凹槽 408 的底部 404 设置不等的向上和向下斜坡的式样。图 4C 示出具有相互交替的两个高度的山形的混合结构 500、520。图 4D 的混合结构 600 形成扇贝形的低谷 604。图 4E 的各个混合结构 700 都具有弓形的上表面 704。图

4F 的混合结构 800 大体是梯形的,以便形成曲线的平稳段 804。图 4G 示出混合结构 900,其形状在混合结构中有一定随意性。关于可被用于本发明的混合结构的各种形状,理想但不必要的是,从顶峰到低谷的转换是平滑的而不是急剧的。同样,理想但并不必要的是,在低谷底部的转换同样是平滑的,并不是急剧的。

图 5A-5C 示出可用于本发明的研磨垫的凹槽、例如分别在图 1 和 2 中示出的凹槽 112、212 内的混合结构的另一种可替代的形状的式样,特别是混合结构的高度 H 不仅沿着凹槽的距离变化,而且横跨凹槽的距离也变化。图 5A 示出混合结构 940,其是在两个相同的几何形状 942、944 (凹槽 946 的侧面与凹槽的底部相接) 沿着凹槽的长度相对彼此改变位置并用直线 948 将其相应点连接时产生的。图 5B 示出混合结构 950,其是在两个相同的几何结构 952、954 沿着凹槽的长度相对彼此改变位置并用直线 958 将其相应点连接时产生的。图 5C 示出混合结构 960,其形成为两组截然不同的结构 962、964,这两组结构占据了凹槽 966 的相对侧,所以凹槽的横截面形状一般是高度不连续的。

图1

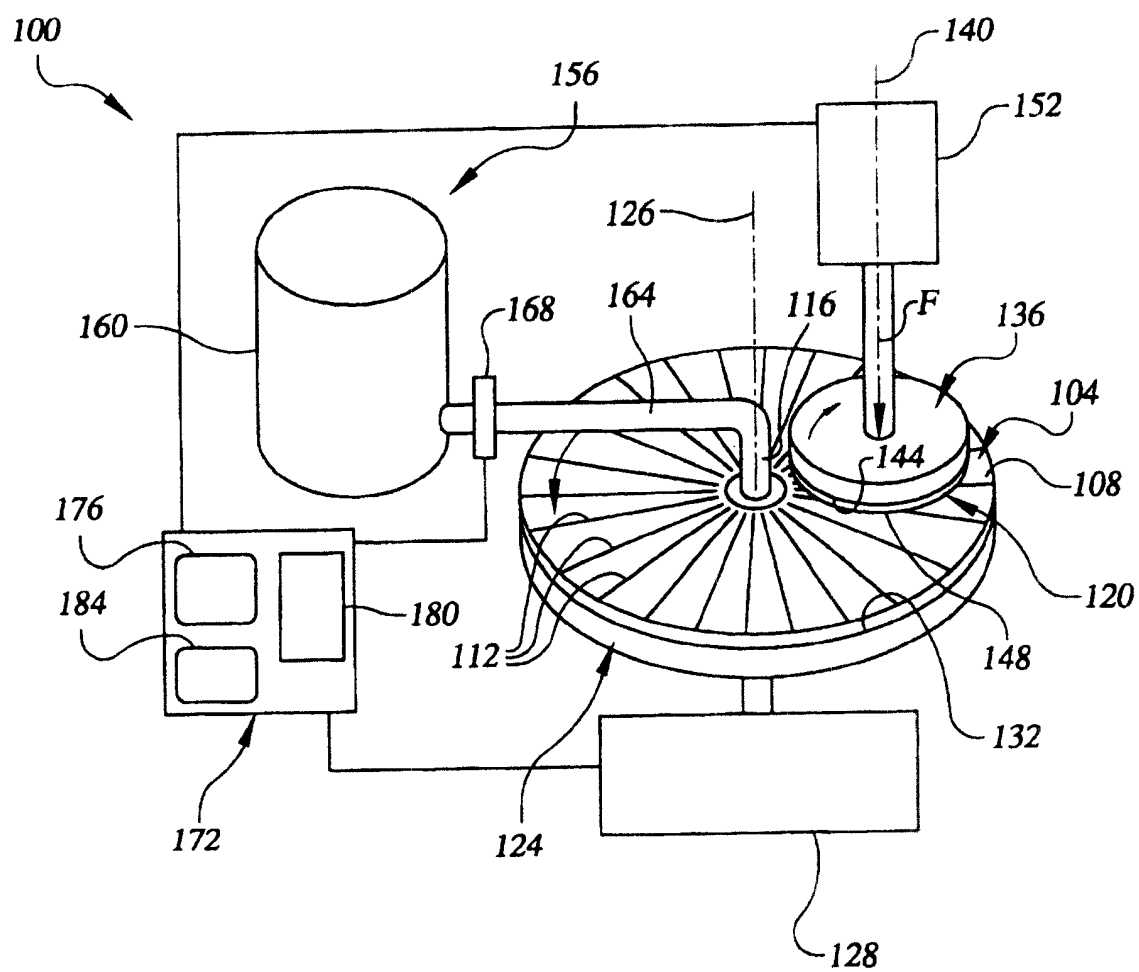
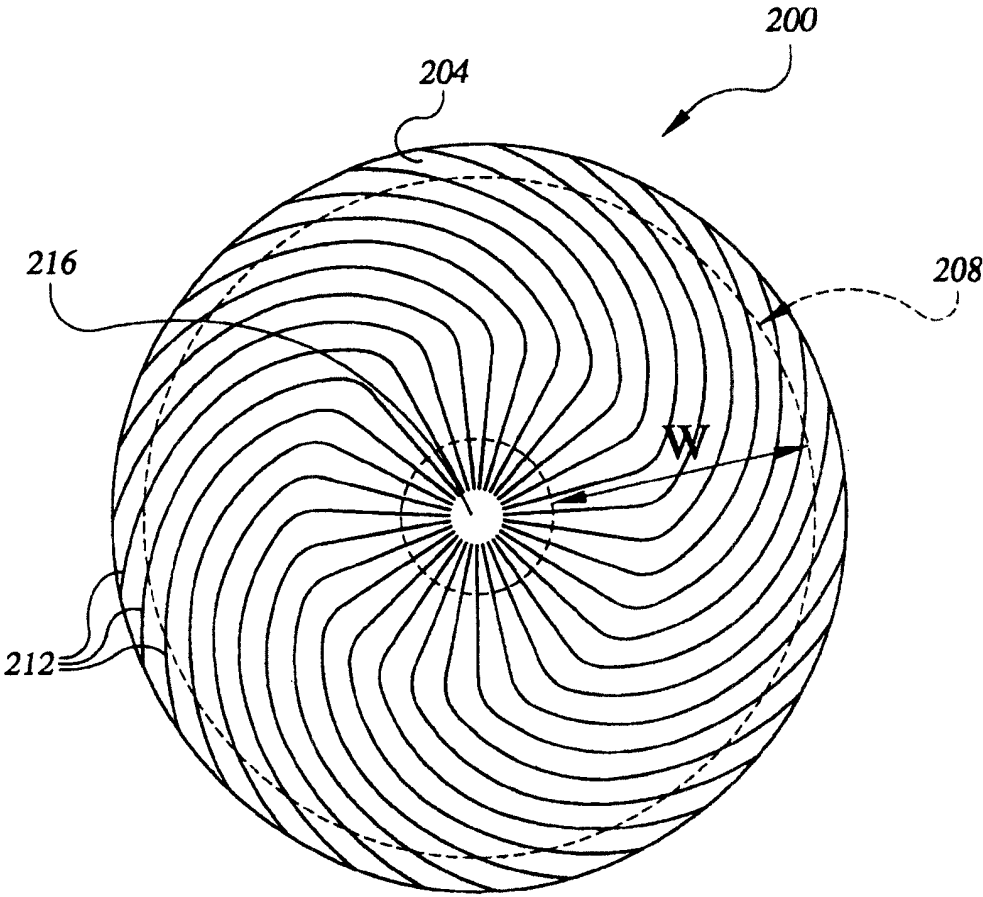


图 2



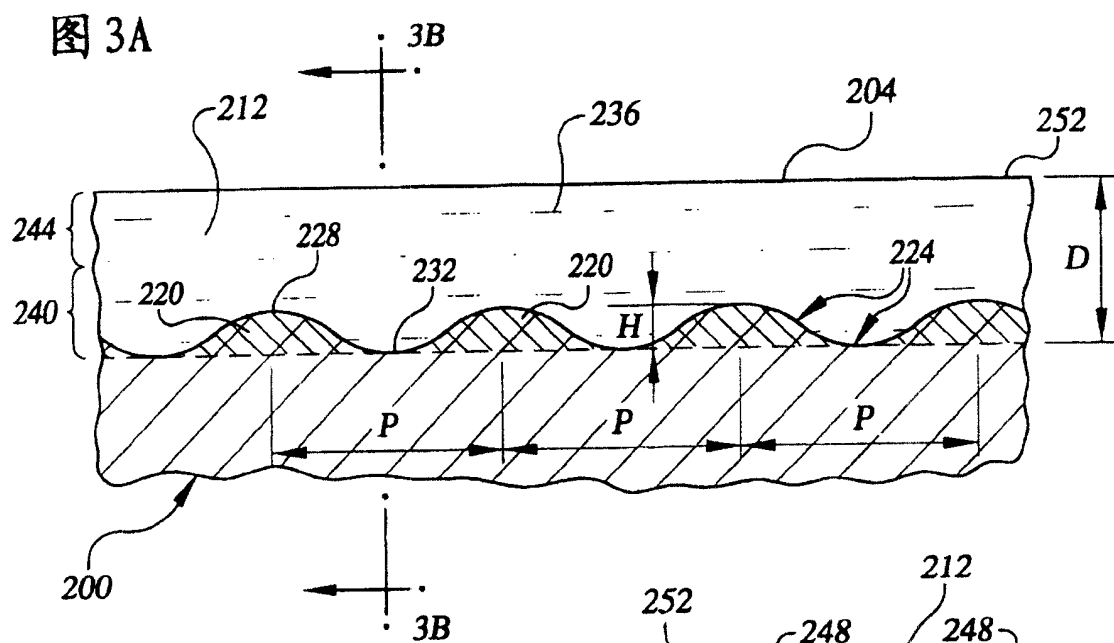


图 3B

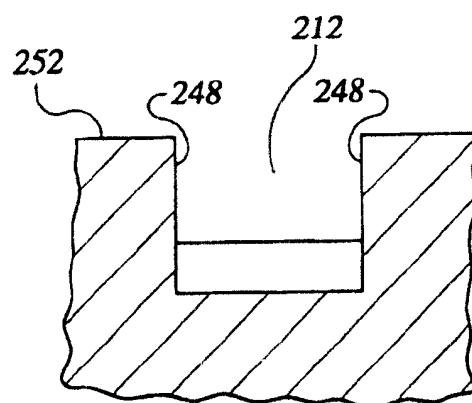


图 3C

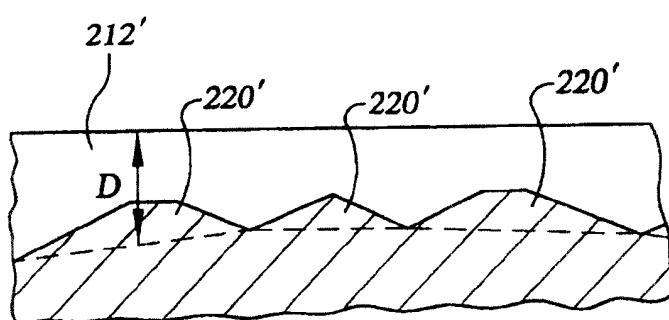
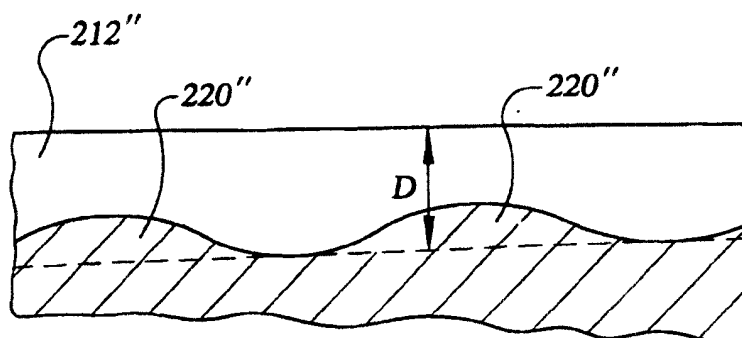


图 3D



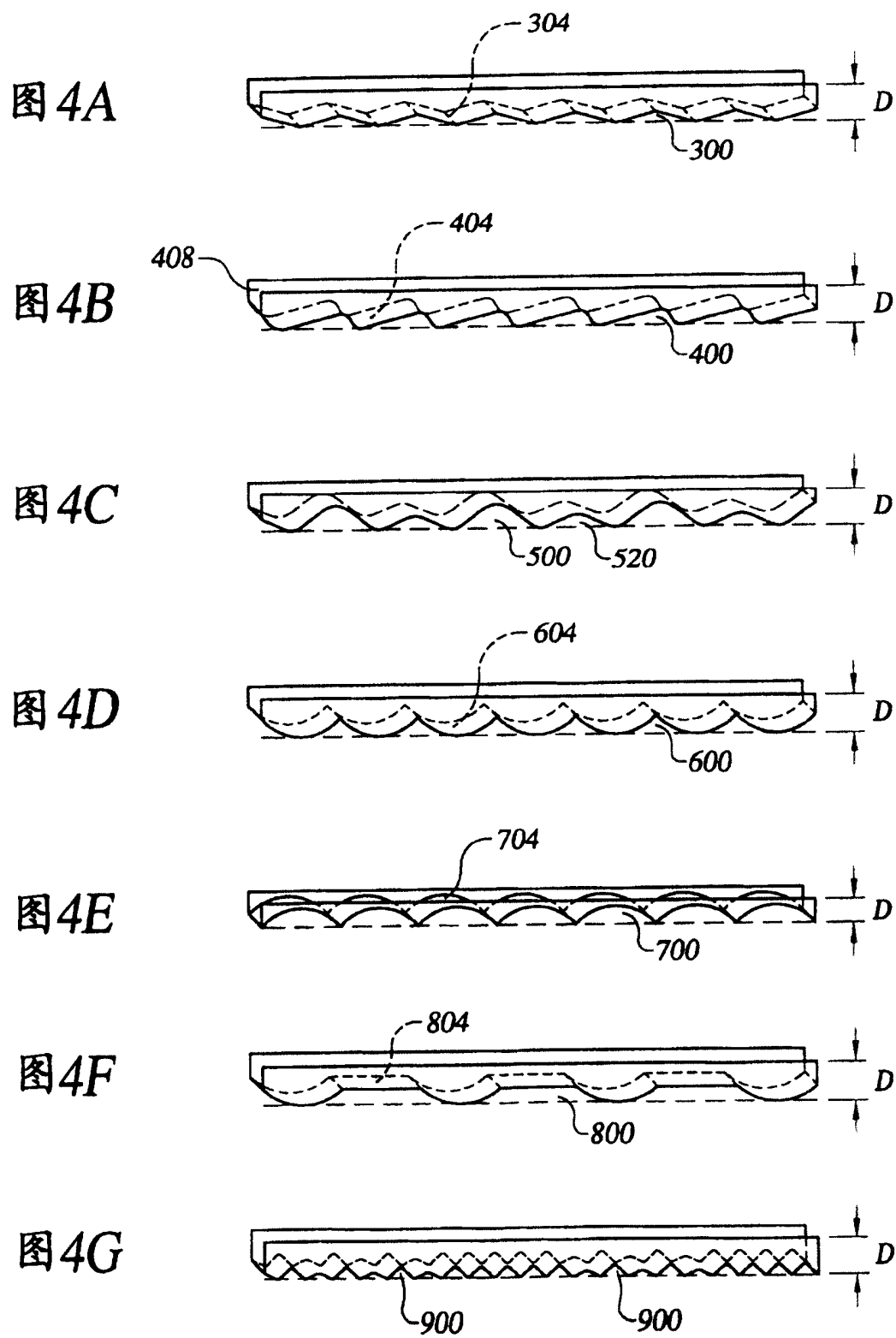


图5A

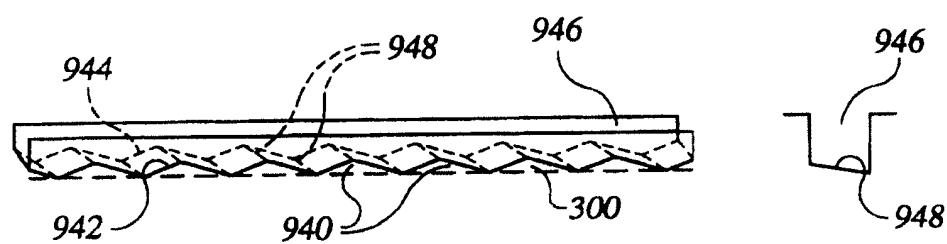


图5B

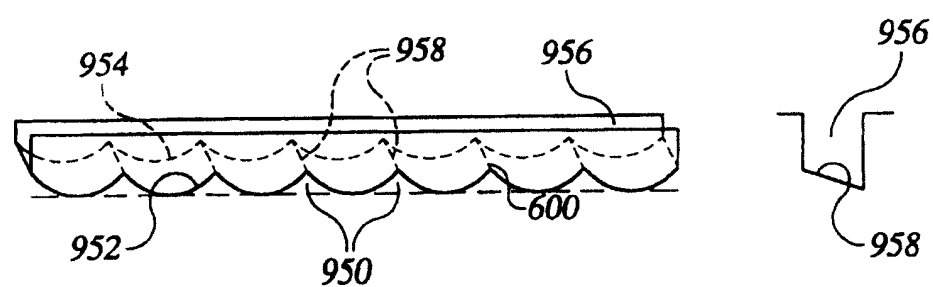


图5C

