(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113439010 B
(45)授权公告日 2024.08.27

(21)申请号 202080014226.0
(22)申请日 2020.02.11
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113439010 A
(43)申请公布日 2021.09.24
(30)优先权数据
62/805,003 2019.02.13 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2021.08.13
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2020/051078 2020.02.11
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2020/165759 EN 2020.08.20
(73)专利权人 3M创新有限公司
地址 美国明尼苏达州
(72)发明人 马修·C·弗瑞茨 谢俊清
文森特·J·拉拉亚
(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
专利代理师 陈明
(51)Int.Cl.
B24B 37/24(2006.01)
B24B 7/22(2006.01)
B24B 37/14(2006.01)
B24B 37/22(2006.01)
B24B 37/26(2006.01)
H01L 21/304(2006.01)
(56)对比文件
US 2015283672 A1,2015.10.08
US 2014113532 A1,2014.04.24
审查员 顾珊珊
权利要求书1页 说明书14页 附图4页

(54)发明名称

具有精确成形特征部的磨料元件、用其制成的磨料制品及其制造方法

(57)摘要

本发明公开了一种磨料制品,该磨料制品包括设置在一个或多个磨料元件上的多个磨料特征部。该一个或多个磨料元件中的每个磨料元件包括具有第一主表面的基部,该多个磨料特征部从第一主表面延伸。第一组多个磨料特征部(i)具有平均高度H_{lavg},(ii)小于H_{lavg}的10%的标准偏差,并且(iii)包括介于5个和130个之间的磨料特征部。



CN 113439010 B

1.一种磨料制品,所述磨料制品包括:

设置在一个或多个磨料元件上的多个磨料特征部,所述一个或多个磨料元件中的每个磨料元件包括具有第一主表面的基部,所述多个磨料特征部从所述第一主表面延伸;

其中所述一个或多个磨料元件中的每个磨料元件包括第一组磨料特征部和第二组磨料特征部;

其中所述多个磨料特征部中的所述第一组磨料特征部(i)具有平均高度H_{1avg},(ii)具有比H_{1avg}的10%小的标准偏差,(iii)包括介于5个和130个之间的磨料特征部;并且(iv)具有介于0.01/cm^2至0.30/cm^2之间的面密度;

其中所述多个磨料特征部中的所述第二组磨料特征部具有(i)平均高度H_{2avg},以及(ii)比H_{2avg}的10%小的标准偏差,其中H_{1avg}比H_{2avg}大至少5微米;其中所述第二组磨料特征部的面密度介于0.2/cm^2至33.0/cm^2之间。

2.根据权利要求1所述的磨料制品,其中所述多个磨料特征部中的所述第二组磨料特征部包括至少100个磨料特征部。

3.根据权利要求1所述的磨料制品,其中所述第二组磨料特征部中的每个磨料特征部的、(i)在平行于所述基部的所述第一主表面的平面中被截取、并且(ii)在沿着所述第二组磨料特征部的所述H_{2avg}的50%或更小的位置处的横截面积累积为所述一个或多个磨料元件的累积投影面积的至少5%。

4.根据权利要求1所述的磨料制品,所述第一组磨料特征部中的所述磨料特征部以及与所述第一组磨料特征部中的磨料特征部相应的磨料元件的基部作为集合是整体的。

5.根据权利要求1所述的磨料制品,其中所述第一组磨料特征部为精确成形特征部。

6.根据权利要求1所述的磨料制品,其中所述磨料元件包括碳化物陶瓷。

7.根据权利要求6所述的磨料制品,其中碳化物陶瓷是碳化硅、碳化硼、碳化锆、碳化钛、碳化钨或者它们的组合。

8.根据权利要求1所述的磨料制品,其中基于所述基部和所述磨料特征部的总重量计,所述磨料元件为至少99%重量百分比的碳化硅。

9.根据权利要求1所述的磨料制品,其中所述磨料元件的孔隙率小于约3%。

10.根据权利要求1所述的磨料制品,还包括设置在所述磨料特征部上的化学气相沉积涂层或物理气相沉积涂层。

11.根据权利要求1所述的磨料制品,还包括具有第一主表面的载体板;其中所述一个或多个磨料元件联接到所述载体板的所述第一主表面。

12.一种修整抛光垫的方法,所述方法包括:

使用抛光垫执行CMP操作;以及

使所述抛光垫的工作表面与根据权利要求1所述的磨料制品的工作表面接触。

具有精确成形特征部的磨料元件、用其制成的磨料制品及其制造方法

技术领域

[0001] 本公开大体上涉及磨料及磨料制品。

背景技术

[0002] 各种磨料制品例如在美国专利9956664和PCT国际公开WO 2014/022462和WO 2014/022465中有所描述。

发明内容

[0003] 在一些实施方案中,提供了一种磨料制品。该磨料制品包括设置在一个或多个磨料元件上的多个磨料特征部。该一个或多个磨料元件中的每个磨料元件包括具有第一主表面的基部,该多个磨料特征部从第一主表面延伸。第一组多个磨料特征部(i)具有平均高度H_{1avg},(ii)小于H_{1avg}的10%的标准偏差,并且(iii)包括介于5个和130个之间的磨料特征部。

[0004] 在一些实施方案中,提供了一种修整抛光垫的方法。该方法包括使用抛光垫执行CMP操作,然后使该抛光垫的工作表面与上述磨料制品的工作表面接触。

附图说明

[0005] 图1A为根据本公开的一些实施方案的磨料制品的示意性顶视图。

[0006] 图1B为图1A的磨料制品的示意性侧视图。

[0007] 图2A为根据本公开的一些实施方案的磨料制品的示意性顶视图。

[0008] 图2B为图2A的磨料制品的示意性侧视图。

[0009] 图3A为根据本公开的一些实施方案的磨料元件的示意性顶视图。

[0010] 图3B为图3A的磨料元件的示意性侧视图。

[0011] 图4为平均CP4垫磨损速率相对于一级磨料特征部的数量的Log_{10}的散点图。

[0012] 这些附图不是按比例绘制的,并且仅用于为了进行示意性的说明。

具体实施方式

[0013] 半导体和微芯片行业依赖装置制造期间的多种化学-机械平面化(CMP)工艺。在制造集成电路的过程中,这些CMP工艺被用于平面化晶片的表面。通常,它们使用磨料浆液和抛光垫。在CMP工艺期间,从晶片和抛光垫去除材料,并且形成副产品。这些可累积在抛光垫表面上,使其表面变光滑并降低其性能,减少其寿命并且增加晶片的缺陷。为了解决这些问题,垫修整器被设计用于通过去除不期望的废物积累并且在抛光垫表面上重新产生粗糙的研磨机制再生抛光垫性能。

[0014] 用于CMP的垫修整器通常包括附连到载体的一个磨料元件或多个磨料元件。设计不同的载体以方便地附接到CMP设备的不同构型。用于CMP垫修整器的一些类型的磨料元件利用沉积在合适基底上的CVD金刚石膜。常常对基底成形或机加工以表现出宏观或微观结

构特征。微复制用于例如3M TRIZACT B6-1900-5S2和B75-2990-5S2垫修整器。这些修整器包括磨料元件,所述磨料元件将涂覆有CVD金刚石膜的锥形特征阵列呈现给在CMP工艺中调理的垫。根据设计的细节,可以提供在不同离散水平(例如最高一级、二级、三级等)基本上共面的特征部。一级、二级和低级特征部的面密度和高度差是影响特定CMP工艺的垫磨损速率、垫纹理和修整器寿命的设计参数之一。

[0015] 由于CMP抛光垫的性质在一些应用中向非常软且易于修整的抛光垫变化,并且在其他应用中向非常硬且不易修整的抛光垫变化,因此能够使垫修整器产生的表面纹理与其产生的抛光垫磨损速率脱离变得越来越重要。可以设想到难以形成高性能垫修整器的两种相反的情况。在第一种情形中,非常硬的抛光垫可用于高平面化和高去除速率。在这种情况下,抛光垫可能需要高度侵蚀性垫修整器,该高度侵蚀性垫修整器将保持浅表面纹理,以用二氧化铈浆液实现非常高的氧化物去除速率。在第二种情形中,非常软的抛光垫可用于高级节点应用中的缺陷减少。在这种情况下,抛光垫可能需要低侵蚀性垫修整器,该低侵蚀性垫修整器将保持较高表面纹理,以便延长非常软的垫的抛光垫寿命,所述非常软的垫在使用二氧化硅浆液时需要保持较高的去除速率。

[0016] 对于大多数常规金刚石粗粒和CVD涂布修整器而言,已知金刚石或磨料特征部的面积间距与它们在给定的CMP垫上产生的表面粗糙度之间存在一些相关性(随着顶端密度降低,垫磨损速率和表面光洁度两者增加)。微复制垫修整器中的一级特征部的密度可具有广泛范围,其中商业产品在直径为约11mm-12mm的典型磨料元件上在约100-3300个一级特征部之间变化。对于大多数常规垫修整器,垫磨损速率必须足够高以便保持高表面粗糙度。当使用柔软且易于修整的垫时,这可能成为所有权成本问题。然而,已经发现的是,具有低至0.008/mm^2的一级特征部面密度的磨料制品(例如,直径为约11mm-12mm的每个元件1个一级特征部)提供低垫磨损速率,同时保持高表面粗糙度。此外,此类垫修整器在1微米至10微米范围内的面元尺寸中产生较少碎屑并减少CMP应用中的缺陷。

[0017] 通常,在一些实施方案中,本公开涉及可用于修整CMP工艺中所用的抛光垫的磨料制品,其中一级磨料特征部的面密度以及一级磨料特征部与二级磨料特征部(以及任何下一级磨料特征部)之间的高度偏移允许独立控制抛光垫磨损速率和抛光垫表面光洁度。在本公开的磨料制品中,抛光垫磨损速率与一级磨料特征部的数量正相关,并且该行为与常规微复制垫修整器的垫磨损速率和一级磨料特征部的数量之间的负关系相反。此外,在本公开的磨料制品中,垫磨损速率不保持对抛光垫的表面粗糙度的影响,该表面粗糙度可通过磨料特征部偏移高度单独控制。例如,在本公开的磨料制品的一些实施方案的使用中,当一级磨料特征部去除相对大量的抛光垫材料时,仅少量的一级磨料特征部将接合抛光垫的工作表面并且在工作表面中形成沟槽或划痕,而大量二级磨料特征部也会与抛光垫的工作表面接触。预期二级磨料特征部实现比一级磨料特征部更少的材料去除,并且主要用作一级磨料特征部的穿透阻挡层的深度。这使得修整器的材料去除和表面精整特性能够独立地改变,例如,通过改变一级磨料特征部的竖直/高度偏移以调整表面粗糙度并调整一级磨料特征部的数量以调整垫磨损速率。此外,由于穿透深度控制,抛光垫切削速率和表面粗糙度对垫修整器下压力的敏感性也可降低。本公开的磨料制品的这些方面与具有较高密度的一级磨料特征部的已知磨料制品形成对比,其中一级磨料特征部计数将与抛光垫的抛光垫磨损速率和平均表面粗糙度成反比。此外,与常规微复制垫修整器相比,本公开的磨料制品在

其寿命期间垫磨损速率衰减较慢,这使得CMP性能更一致。

[0018] 在一些实施方案中,参照图1A至图1B和图2A至图2B,本公开涉及磨料制品10(其可视为用于修整CMP工艺中所用的抛光垫的垫,或垫修整器),该磨料制品包括载体元件15和设置在载体元件15的主表面15A上的一个或多个磨料元件20(具有一个或多个磨料元件20的磨料制品10的侧面可被认为是磨料制品10的工作表面)。如图所示,磨料制品可具有多个磨料元件20(图1A至图1B)或单个磨料元件20(图2A至图2B)。在一些实施方案中,载体元件的主表面15A可为平面的或基本上平面的。在一些实施方案中,用于载体元件15的合适的材料可包括金属(例如,不锈钢)、陶瓷、聚合物(例如,聚碳酸酯)、金属陶瓷、硅和复合材料。载体元件可具有任何形状,诸如圆形(示于图1中)。可选地,例如,载体元件15可为非圆形或环形。

[0019] 现在参照图3A至图3B,在一些实施方案中,本公开的磨料元件20可包括多个磨料特征部25,每个磨料特征部从基部30延伸。在一些实施方案中,基部30可在第一主表面30a和第二主表面30b之间延伸,其高度(h)(或主表面之间的距离)为1mm至6mm、2mm至4mm、或3mm至3.5mm。在一些实施方案中,基部30在整个磨料元件20上可具有均匀或基本上均匀的高度(h)(即,高度(h)的变化可以不超过200微米、不超过100微米、不超过20微米、不超过10微米或不超过1微米)。在一些实施方案中,就主表面的投影面积或占有面积而言,磨料元件20的尺寸可为30mm^{2}至9200mm^2、30mm^{2}至2100mm^2、或30mm^{2}至120mm^2。如本文所用,术语表面的“投影面积”是指仅考虑表面的周边尺寸(并且不考虑任何表面轮廓(例如,孔、凸体、突出部等)在垂直于表面的方向上观察的表面的面积。

[0020] 如图3B所示,在一些实施方案中,磨料特征部25中的每个磨料特征部可从基部30的第二主表面30b延伸。如本文所用,“磨料特征部”是指单个主体,该单个主体(i)从单个特征部基部延伸并终止于点、线或小面形式的单个特征部最大值;并且(ii)具有大于7、8、8.5或9的莫氏硬度。在一些实施方案中,磨料特征部25中的每个磨料特征部可具有特征部高度(H),该特征部高度定义为在垂直于第二主表面30b的方向上测量的特征部最大值(例如,特征部最大值25b)和特征部基部(例如,特征部基部25a)之间的距离。

[0021] 在磨料制品10包括两个或更多个磨料元件20的实施方案中,应当理解,磨料元件20中的每一个磨料元件可与其他磨料元件20中的任何一个或多个磨料元件相同或不同(在形状、尺寸、磨料特征部的数量、磨料特征部的类型、磨料特征部的尺寸、磨料特征部的形状等方面)。

[0022] 在一些实施方案中,磨料制品10的一个或多个磨料元件20(视为一个集合体)可包括第一组磨料特征部25(或一级磨料特征部),其具有平均特征部高度H_{1avg}和小于H_{1avg}的10%的标准偏差;任选的第二组特征部(或二级磨料特征部),其具有平均特征部高度H_{2avg}和小于H_{2avg}的10%的标准偏差,其中$H_{1avg}>H_{2avg}$;任选的第三组特征部(或三级磨料特征部),其具有平均特征部高度H_{3avg}和小于H_{3avg}的10%的标准偏差,其中$H_{1avg}>H_{2avg}>H_{3avg}$;等。在一些实施方案中,$H_{1avg}$比$H_{2avg}$大至少5微米、至少10微米、至少20微米、至少50微米、或至少100微米。在一些实施方案中,H_{2avg}比H_{3avg}大至少5微米、至少10微米、或至少20微米。相对于图3A至图3B所示的实施方案,就一级磨料特征部和二级磨料特征部而言,磨料元件20包括单个一级磨料特征部25′和多个二级磨料特征部25″。

[0023] 在一些实施方案中,磨料制品10的磨料元件20可共同包括5至130、5至100、或5至

50个一级磨料特征部;20至4500、200至4500、或2500至3500个二级磨料特征部;20至1500、100至1500、或900至1200个三级磨料特征部。应当理解,一级磨料特征部、二级磨料特征部、三级磨料特征部(等等)不需要均匀地分布在磨料元件20之间。例如,在包括五个一级磨料特征部和五个磨料元件的磨料制品实施方案中,五个一级磨料特征部中的每个一级磨料特征部可设置在单个磨料元件上,或者可以任何方式分布在5个磨料元件中。

[0024] 在一些实施方案中,制品的一级磨料特征部可以0.01/cm^2至0.30/cm^2、0.04/cm^2至1.30/cm^2、或0.8/cm^2至23.0/cm^2的面密度存在;二级磨料特征部以0.2/cm^2至33.0/cm^2、0.9/cm^2至150.0/cm^2、或17/cm^2至2655/cm^2的面密度存在;或三级磨料特征部以0.2/cm^2至11.0/cm^2、0.9/cm^2至50.0/cm^2、或17/cm^2至885/cm^2的面密度存在。出于本申请的目的,一组磨料特征部的"面密度"是指磨料制品的磨料元件的每个累积投影单位面积上存在的所有磨料特征部的数量。

[0025] 在一些实施方案中,制品的一级磨料特征部可具有介于20微米和300微米之间、介于40微米和250微米之间、或介于60微米和160微米之间的平均特征部高度(H_{1avg})。在一些实施方案中,制品的二级磨料特征部可具有介于5微米和250微米之间、介于20微米和150微米之间、或介于40微米和55微米之间的平均特征部高度(H_{2avg})。在一些实施方案中,制品的三级磨料特征部可具有介于5微米和200微米之间、介于10微米和100微米之间、或介于30微米和45微米之间的平均特征部高度(H_{3avg})。

[0026] 在一些实施方案中,制品的二级特征部(如果存在)可用作一级磨料特征部的"阻挡层"。即,二级特征部可用于限制一级特征部穿透到由制品修整的抛光垫中,从而限制磨料元件的侵蚀性。就这一点而言,发现满足以下条件的二级特征部(如果存在)提供足够的"阻挡层"性能:第二组磨料特征部的磨料特征部的横截面积(i)在平行于基部的第一主表面的平面中截取,以及(ii)在沿着第二组磨料特征部,H_{2avg}的50%或更小的位置处,累积为磨料制品的磨料元件的累积投影面积的至少5%、至少10%、或至少15%。

[0027] 在一些实施方案中,磨料特征部可具有任何一种或多种形状。磨料特征部的合适形状的示例包括圆柱体、半球体、立方体、矩形棱柱、三角形棱柱、六边形棱柱、三棱锥、4面、5面和6面棱锥、截头棱锥、圆锥形、截头圆锥形等等。

[0028] 在一些实施方案中,(制品或磨料元件的)磨料特征部可具有相同的基部尺寸或不同的基部尺寸。磨料特征部可以规则阵列或不规则阵列在磨料元件的基部上间隔开,并且可以彼此间隔开相同的距离或不同的距离。在一些实施方案中,磨料元件的磨料特征部密度(包括一级特征部、二级特征部、三级特征部等)可介于1个特征部/mm^2和1000个特征部/mm^2之间、或介于10个特征部/mm^2和300个特征部/mm^2之间(基于磨料元件的投影面积)。

[0029] 在一些实施方案中,磨料特征部的一部分(至多全部)可形成为精确成形的磨料特征部。如本文所用,精确成形的特征部是指具有模制形状的形貌特征部(例如,突出部、凸体等),该模制形状为对应的模具腔的相反形状,所述形状在形貌特征部从模具中移除之后得以保留。在一些实施方案中,精确成形的磨料特征部可通过微复制形成。如本文所用,"微复制"是指一种制造技术,其中通过在生产工具(例如,模具或压印工具)中铸造或模制聚合物(或稍后固化以形成聚合物的聚合物前体)来制备精确成形的形貌特征部,其中生产工具具有多个微米大小至毫米大小的形貌特征部。在从生产工具移除聚合物时,一系列形貌特征结构就存在于聚合物的表面中了。聚合物表面的形貌特征结构具有与初始生产工具的特征

结构相反的形状。

[0030] 在一些实施方案中,磨料元件可包括碳化物陶瓷或氧化物陶瓷(诸如氧化铝或氧化锆)或由碳化物陶瓷或氧化物陶瓷(诸如氧化铝或氧化锆)形成。合适的碳化物陶瓷包括碳化硅、碳化硼、碳化锆、碳化钛、碳化钨或它们的组合。在一些实施方案中,磨料元件可以基于磨料元件的总重量计至少80%重量百分比、至少90%重量百分比、至少95%重量百分比、或至少99%重量百分比的量包括碳化物陶瓷。在一些实施方案中,磨料元件可以基于磨料元件的总重量计至少80%重量百分比、至少90%重量百分比、至少95%重量百分比、或至少99%重量百分比的量包括碳化硅。

[0031] 在一些实施方案中,磨料元件可具有小于5%、小于3%、或小于1%的孔隙率。如本文所用,孔隙率(表示为百分比)是指主体中空隙的总体积除以主体的总体积。在一些实施方案中,磨料元件还具有小于20微米、小于10微米、小于5微米或小于3微米的平均晶粒粒度。在实现稳固且耐用的重复性特征部中,这种低孔隙率和小晶粒粒度可以是重要的,这进而导致良好寿命和磨损速率低的磨料元件。

[0032] 在一些实施方案中,磨料元件(包括磨料元件基部和磨料特征部)可为整体磨料元件。如本文所用,“整体的”是指单个主体或单个件在整个主体或件中具有均匀或基本上均匀的组成。整体磨料元件与复合磨料元件的不同之处在于,整体磨料元件具有磨料特征部和在磨料特征部之间的区域,该磨料特征部是连续的并且由一级研磨材料组成而没有居间基质,而复合磨料元件包括嵌入基质中的磨料颗粒。

[0033] 在一些实施方案中,磨料元件还可以包括一个或多个涂层,所述涂层用于实现另外的耐磨损和耐用性,降低摩擦系数,防止腐蚀,以及改变表面属性。可用的涂层包括(例如)化学气相沉积(CVD)和或物理气相沉积(PVD)金刚石,掺杂的金刚石、碳化硅、立方氮化硼(CBN)、含氟化合物涂层、疏水性或亲水性涂层、表面改性涂层、抗腐蚀涂层、类金刚石碳(DLC)、类金刚石玻璃(DLG)、碳化钨、氮化硅、氮化钛、粒子涂层、多晶金刚石、微晶金刚石、纳米晶金刚石等。在一些实施方案中,涂层可以是复合材料,诸如(例如)细小金刚石粒子和气相沉积金刚石基质的复合物。在一个实施例中,这些涂层为共形的,使得在涂层表面下能够看到精确的表面特征部。可以通过本领域中已知的任何合适方法沉积涂层,包括化学或物理气相沉积、喷涂、浸渍和辊涂。

[0034] 在一些实施方案中,磨料元件可以被涂覆有非氧化物涂层。当使用CVD金刚石涂层时,使用碳化硅陶瓷的附加有益效果在于碳化硅和CVD金刚石膜之间的热膨胀系数能很好地匹配。因此,这些金刚石涂覆磨料另外具有优异的金刚石膜粘附性和耐久性。

[0035] 在一些实施方案中,再次参照图1A,磨料元件20可以任何期望的构型定位在载体板15的主表面15A上。例如,如图1A所示,磨料元件20可以圆形构型定位在主表面15A上。可选地,磨料元件20可以非圆形、环形或螺旋图案定位在主表面15A上。载体元件15上的磨料元件20的数量不受特别限制。在一些实施方案中,磨料元件20可以介于0.011/cm^2和0.175/cm^2之间、介于0.022/cm^2和0.110/cm^2之间、或介于0.055/cm^2和0.110/cm^2之间的面密度(基于主表面15A的投影面积)存在于载体元件15A上。出于本申请的目的,磨料元件的“面密度”是指参考区域的每表面单位面积(例如,载体元件15的主表面15A)上存在的所有磨料元件的数量。

[0036] 在一些实施方案中,磨料元件20可经由任何常规紧固机构(直接或间接地)联接到

载体元件。合适的紧固机构包括例如两份环氧树脂、压敏粘合剂、结构粘合剂、热熔性粘合剂、B阶段化粘合剂、机械紧固件和机械锁定装置。

[0037] 在一些实施方案中,弹性元件可设置在磨料元件20和载体元件15的主表面15A之间。通常,弹性元件可用于在相对于磨料元件的一个或多个磨料元件的高度定位其中一个磨料元件的高度时提供灵活性。例如,在装配磨料制品10期间,弹性元件可在压缩下弹性变形并通过紧固元件锁定到压缩位置,从而相对于一个或多个磨料元件的高度固定磨料元件的高度。在一些实施方案中,弹性元件可以是分段的、连续的、不连续的或万向的。合适的弹性元件的示例包括例如机械弹簧样装置、柔性垫圈、泡沫、聚合物或凝胶。弹性元件也可以具有紧固特征,诸如,具有粘合剂背衬的泡沫。

[0038] 在一些实施方案中,磨料元件的磨料特征部可与基准平面对准。基准平面可以是通过磨料元件或磨料制品的所选择特征部的最大值的理论平面。特征最大值也可以称为一个或多个特征部顶端。所选择特征部是具有最大共同高度D_0的工作特征部的集合。

[0039] 在一些实施方案中,可采用对准工艺来可重复地形成限定的支承区域或呈现给磨料制品。在一些实施方案中,磨料元件与接触磨料特征部的最大值的平坦表面(例如,“对准板”)对准。对准板的平坦表面优选地具有每4英寸(10.2cm)长度至少约+/-2.5微米的公差或者甚至更低,即甚至更平坦。可以在该装配工艺中使用弹性元件和紧固元件,以在载体元件上彼此相对地精确对准磨料元件。在这种情况下,磨料元件被对准,使得特征部顶端共面性最大。非共面性是与通过顶端集合的理想基准平面的所选择顶端集合的距离值的绝对值的平均值。非共面性被描述为相对于所选择特征部高度D_0的百分比。

[0040] 磨料制品的每个磨料元件在处理或与所涂覆材料失去热匹配时,还具有低的或受控的卷曲或翘曲,导致元件平面性好。“元件平面性”指精确结构化磨料元件内所选择的特征部顶端相对于基准平面的平面性。对于单个磨料元件,平面性指一组特征部顶端相对于基准平面的距离的变化性。用于计算平面性的一组顶端包括具有公共最大设计高度D_0的所有特征部的顶端。将基准平面定义为具有所有高度为D_0的所选择特征部顶端的最佳线性回归拟合的平面。非平面性是所选择的顶端与基准平面距离绝对值的平均值。可以通过以下方式测量平面性:通过与图像分析软件(例如,MOUNTAINSMAP V5.0图像分析软件(法国贝桑松的数字冲浪(Digital Surf,Besançon,France)))结合的碳纸压印测试或标准形貌工具(包括激光轮廓术、共焦成像和共焦扫描显微镜)测量。元件形貌也可通过偏差、尖峰值等来表征。在一些实施方案中,本公开的磨料元件可具有小于20%、小于10%、小于5%或小于2%的特征部高度的非平面性。

[0041] 在一些实施方案中,磨料制品也可与精确成形磨料元件准确对准,使得具有基本的共面性。对于多个磨料元件,共面性指一组特征部顶端相对于基准平面与多个元件的距离的变化性。该基准平面被限定为具有所有最大高度为D_0的所选择的特征部顶端的最佳线性回归拟合的平面。非共面性是所选择顶端与基准平面距离的绝对值的平均值。当单独的磨料元件未对准时,导致非共面性。例如通过碳压印测试,通过不均匀的压力分布可以看到非共面性。对于碳压印测试上具有平均分布的多个磨料元件,可以通过标准的形貌工具进一步量化共面性的程度,包括激光轮廓术、共焦成像和共焦扫描显微镜。可以将图像软件(例如,MOUNTAINSMAP)与多种形貌图谱组合成用于分析的组合形貌图谱。在一些实施方案中,共同最大设计特征部高度为D_0的磨料制品的所有磨料元件上的一组磨料特征部可具有

小于20％、小于10％、小于5％、或小于2％的特征部高度的非共面性。

[0042] 在一些实施方案中，可以通过机械加工、显微机械加工、微复制、模制、挤出、注塑、陶瓷挤压等形成本公开的磨料元件，使得制造出磨料特征部并且可以在部件间和部件内重复生产，从而反映复制设计的能力。在一些实施方案中，可采用陶瓷模压工艺(例如，陶瓷干压)。

[0043] 在一些实施方案中，磨料元件可由模制生坯制成。在这种情况下，可以将磨料元件当作被模制的磨料元件。当模制磨料元件时，它是其结构由模制工艺所赋予的精确结构化磨料元件的子集。例如，形状可以与模具腔反向，使得已从模具中移除磨料元件生坯之后保持该形状。可以使用各种陶瓷成形工艺，包括(但不限于)：注塑、流铸、模压、热压、压印、转印模制、凝胶浇注等。在一些实施方案中，在室温下使用模压工艺，接着进行烧结。通常，接近室温的陶瓷模压被称为陶瓷干压。通常，陶瓷干压与陶瓷注塑的不同之处在于，其在较低的温度下完成，所使用的粘结剂的量少很多，使用模压，并且适合用作粘结剂的材料不必限于热塑性的。

[0044] 在一些实施方案中，在未使用碳化物形成物的情况下制造磨料元件，所述磨料元件基本上不含氧化物烧结助剂。在一些实施方案中，磨料元件可包括少于约1％的氧化物烧结助剂。磨料元件也可以基本上不含硅，具体地包括少于约1％的元素性硅。

[0045] 在一些实施方案中，可以烧结模制的陶瓷生坯，以实现高密度、高刚度、高断裂韧度以及良好的特征部保真性。如本领域的技术人员通常所指出的，生坯是未烧结的、压实的陶瓷元件。

[0046] 在一些实施方案中，生坯包括多个无机粒子和粘结剂，其中，多个无机粒子为按重量计至少约99％的碳化物陶瓷。在一个实施例中，无机粒子是陶瓷粒子并且可以是碳化硅、碳化硼、碳化锆、碳化钨或它们的组合。

[0047] 在一些实施方案中，生坯的粘结剂可为热塑性粘结剂。合适粘结剂的例子包括(但不限于)热塑性聚合物。在一个实施方案中，粘结剂是热塑性粘结剂，其T_g小于约25℃，并且具体地小于约0℃。在一个实施方案中，粘结剂是聚丙烯酸酯粘结剂。

[0048] 在一些实施方案中，生坯还可包括碳源。合适的碳源包括例如酚醛树脂、纤维素化合物、糖、石墨、炭黑以及它们的组合。在一些实施方案中，生坯可以包含按重量计0.5％至10％之间的碳源，特别是2％至7％之间的碳源。生坯组合物中的碳化合物导致烧结之后具有较低的孔隙率。生坯还可包括另外的功能性材料，诸如，剥离剂或润滑剂。在一个实施方案中，生坯包括按重量计0.5％至10％之间的润滑剂。

[0049] 在一些实施方案中，生坯是磨料元件前体，并且可以通过首先混合多个无机粒子、粘结剂和碳源以形成混合物而制成。在一个实施例中，通过喷雾干燥方法形成混合物的凝聚物。

[0050] 在一些实施方案中，将具有多个精确成形腔的模具放置在模具腔中，使得模具的精确成形腔的主要部分被填充混合物。模具可以由金属、陶瓷、金属陶瓷、复合物或聚合物材料形成。在一个实施例中，模具是诸如聚丙烯的聚合物材料。在另一个实施例中，模具是镍。接着将压力施加至混合物，以将混合物压实在精确成形腔中，以形成具有第一主表面和第二主表面的生坯陶瓷元件。可以在环境温度或在升高的温度下施加该压力。还可以使用多于一个施压步骤。

[0051] 在一些实施方案中,模具(或者生产工具)在其表面上具有至少一种指定形状的预定阵列,其与磨料元件的磨料特征部的预定阵列和指定形状反向。

[0052] 除了以上技术外,在一些实施方案中,可以通过制备正母模形成模具,正母模具有预定的阵列和磨料元件的指定形状的磨料特征部。接着,制造其表面形貌与正母模反向的模具。可以直接通过机械加工技术制成正母模,诸如,美国专利No.5,152,917(Pieper等人)和No.6,076,248(Hoopman等人)所公开的金刚石车削,这些专利的公开内容以引用方式并入本文。这些技术进一步描述于美国专利No.6,021,559(Smith),该专利的公开内容以引用方式并入本文。

[0053] 包括例如热塑性塑料的模具可以通过复制金属母模工具制成。可以任选地与金属母模一起加热热塑性片材料,使得通过将两个表面压在一起在热塑性材料压印有金属母模呈现的表面图案。还可以将热塑性塑料材料挤出或浇注到金属母模上然后按压。生产工具和金属母模的其他合适方法在美国专利No.5,435,816(Spurgeon等人)中有所讨论,其以引用方式并入本文。

[0054] 在一些实施方案中,为了形成磨料元件,从模具中移除生坯陶瓷元件并进行加热,以致使烧结无机粒子。在一些实施方案中,在约300℃和约900℃之间的温度范围内,在缺氧的气氛中,在粘结剂和碳源热裂解步骤期间加热生坯陶瓷元件。在一些实施方案中,在约1900℃至约2300℃之间在缺氧气氛下,烧结生坯陶瓷元件,以形成磨料元件。在一些实施方案中,随后可清洁磨料元件,随后任选地将任何上述涂层沉积到磨料元件上。

[0055] 在一些实施方案中,本公开的磨料制品(其也可称为抛光垫修整器或垫修整器)可用于常规的化学机械平面化(CMP)工艺中。在此常规CMP工艺中可以抛光或平面化各种材料,包括(但不限于):铜、铜合金、铝、钽、氮化钽、钨、钛、氮化钛、镍、镍铁合金、硅化镍、锗、硅、氮化硅、碳化硅、二氧化硅、硅的氧化物、二氧化铪、介电常数低的材料以及它们的组合。在一些实施方案中,由本公开的磨料制品修整的抛光垫(或至少抛光垫的工作表面)可包括热塑性塑料、热塑性弹性体(TPE),例如基于嵌段共聚物的TPE,或热固性塑料,例如弹性体以及它们的组合。在一些实施方案中,抛光垫(或至少抛光垫的工作表面)可包括聚氨酯、聚酰胺、聚丁二烯或聚烯烃或由聚氯酯、聚酰胺、聚丁二烯或聚烯烃形成,诸如常见于可商购获得的用于基底平面化的抛光垫中。在一些实施方案中,抛光垫的工作表面的硬度可大于约20肖氏D、大于约30肖氏D或大于约40肖氏D;小于约90肖氏D、小于约80肖氏D、或小于约70肖氏D;介于20肖氏D和90肖氏D之间、介于30肖氏D和80肖氏D之间、或介于40肖氏D和70肖氏D之间。在一些实施方案中,抛光垫的工作表面的硬度可大于约20肖氏A、大于约30肖氏A、或大于约40肖氏A;小于约95肖氏A、小于约80肖氏A、或小于约70肖氏A;或介于20肖氏A和95肖氏A之间、介于30肖氏A和80肖氏A之间,或介于40肖氏A和70肖氏A之间。

[0056] 在一些实施方案中,可以将垫修整器构造成安装到常规CMP工具上并且在常规运行条件下运行。在一些实施方案中,CMP工艺可以在以下状态下运行:在约20RPM至约150RPM之间的旋转速度范围内,在所施加的负载为约1lb至约90lb之间的范围内,并且以每分钟约1次扫描至约25次扫描之间的速率在整个抛光垫上进行来回扫描,利用常规扫描分布(诸如,正弦扫描或线性扫描)。

[0057] 实施方案列举

[0058] 1.一种磨料制品,所述磨料制品包括:

[0059] 设置在一个或多个磨料元件上的多个磨料特征部,所述一个或多个磨料元件中的每个磨料元件包括具有第一主表面的基部,所述多个磨料特征部从所述第一主表面延伸;

[0060] 其中第一组所述多个磨料特征部(i)具有平均高度H_{1avg},(ii)具有小于H_{1avg}的10%的标准偏差,并且(iii)包括介于5个和130个之间的磨料特征部。

[0061] 2.根据实施方案1所述的磨料制品,其中第二组所述多个磨料特征部具有(i)平均高度H_{2avg},以及(ii)小于H_{2avg}的10%的标准偏差,其中H_{1avg}比H_{2avg}大至少5微米。

[0062] 3.根据实施方案2所述的磨料制品,其中所述第二组多个磨料特征部包括至少100个磨料特征部。

[0063] 4.根据实施方案2至3中任一项所述的磨料制品,其中所述第二组磨料特征部的所述特征部中的每个特征部的横截面积(i)在平行于所述基部的所述第一主表面的平面中截取,以及(ii)在沿着所述第二组磨料特征部,所述H_{2avg}的50%或更小的位置处,累积为所述一个或多个磨料元件的累积投影面积的至少5%。

[0064] 5.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,所述第一组磨料特征部的所述特征部及其相应的磨料元件基部作为集合是整体的。

[0065] 6.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,其中所述第一组磨料特征部为精确成形特征部。

[0066] 7.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,其中所述第一组磨料特征部的面密度介于0.01/cm^2至0.30/cm^2之间。

[0067] 8.根据实施方案2至7中任一项所述的磨料制品,其中所述第二组磨料特征部的面密度介于0.2/cm^2至33.0/cm^2之间。

[0068] 9.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,其中所述磨料元件包括碳化物陶瓷。

[0069] 10.根据实施方案9所述的磨料制品,其中碳化物陶瓷是碳化硅、碳化硼、碳化锆、碳化钛、碳化钨或者它们的组合。

[0070] 11.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,其中基于所述基部和所述磨料特征部的总重量计,所述磨料元件为至少99%重量百分比的碳化硅。

[0071] 12.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,其中所述磨料元件的孔隙率小于约3%。

[0072] 13.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,还包括设置在所述磨料特征部上的化学气相沉积或物理气相沉积涂层。

[0073] 14.根据前述实施方案中任一项所述的磨料制品,还包括具有第一主表面的载体板;其中所述一个或多个磨料元件联接到所述载体板的所述第一主表面。

[0074] 15.一种修整抛光垫的方法,所述方法包括:

[0075] 使用抛光垫执行CMP操作;

[0076] 使所述抛光垫的工作表面与根据实施方案1至14中任一项所述的磨料制品的工作表面接触。

[0077] 实施例

[0078] 在以下实施例中仅旨在作为例证对本公开进行更具体的描述,因为在本公开范围内的许多修改和变化对于本领域技术人员来说是显而易见的。除非另有说明,否则以下实

施例中报告的所有份数、百分比和比率是基于重量的。

[0079] 测试方法

[0080] 特征部高度测量测试方法

[0081] 使用Bruker Contour GT 3D光学轮廓仪结合MOUNTAINSMAP Universal V6.1图像分析软件(法国贝桑松的Digital Surf公司(Digital Surf,Besançon,France))测量每个磨料元件上精确成形磨料特征部的特征部高度。调节光学轮廓仪的放大倍数(5X×0.55X)和扫描速度设置(5X),以提供足够的分辨率,从而准确定位特征部顶端并准确测量每个顶端的高度。对于磨料元件,选择全部具有相同的最大设计特征部高度D_0的一组特征部,并且相对于其局部路线的鞍形点测量其所有峰值高度。峰值高度、粗线和鞍形点通过MOUNTAINSMAP Universal V6.1水化算法限定。

[0082] Benchtop Tribometer CMP垫磨损速率和垫表面粗糙度测试方法

[0083] 使用CP4 Micro Tribometer台式摩擦学抛光工具(可得自Center for Tribology公司((现通过布鲁克公司(Bruker Corporation)市售))),结合3D光学轮廓仪和先前在特征部高度测量测试方法中所述的软件分析工具,在用磨料制品(如下所述)修整的垫上进行垫磨损速率和垫表面粗糙度测量。使用两种不同的CMP垫类型来放大垫磨损速率或垫表面光洁度。所有磨料制品实施例和比较例均在相对硬但易于修整的垫上运行,以便放大垫磨损速率结果。垫可以商品名9006FPJ部件号CMP9006FPJ得自加利福尼亚州森尼韦尔的JSR Micro公司(JSR Micro,Inc,Sunnyvale,CA)。使用第二工业标准硬垫来收集实施例1、2、4、6和8以及比较例A-G的表面粗糙度值。这些垫可以商品名Dow IC1010材料号10261135得自密歇根州米德兰的陶氏化学公司(Dow Chemical Company,Midland MI)。将所接收的垫冲切成9英寸(23cm)直径并安装到CP4的台板上。使用垫修整器的通用3螺杆安装配置将磨料制品(例如,本公开的实施例或比较例)安装到CP4的主轴。在测试期间,主轴向下移动(向上和向下运动被认为是在z方向上),使得磨料制品与垫接触并且保持在6lb(6.7kg)的下压力下,同时修整器主轴以29rpm的速度旋转并且垫主轴以61rpm的速度旋转。修整器主轴将从55mm扫描至69mm并以10次循环/分钟的速率返回。典型的测试持续30分钟,前五分钟被认为是磨合期。摩擦计跟踪作为时间函数的安装磨料制品的竖直位置。磨料制品的高度随测试时间段的变化产生垫磨损速率。z高度位置的最佳拟合线随时间推移的斜率(不包括测试的前5分钟(磨合期))被定义为各个垫磨损速率。每个磨料制品测量至少三次且不超过6次,并且垫磨损速率报告为各个测试结果的平均值。在垫磨损速率测试结束后,将9英寸(23cm)直径的台板从摩擦计中移除。3D光学轮廓仪在距离垫中心0.5英寸(1.3cm)、2.25英寸(5.7cm)和3.0英寸(7.6cm)的位置处对修整垫的2mm×4mm区域进行扫描。使用MOUNTAINSMAP软件获得这些不同垫位置处的平均表面粗糙度(Ra),并且将三个位置的平均粗糙度值记录为表面粗糙度。

[0084] CMP工具垫磨损速率和垫表面粗糙度测试方法

[0085] 在Applied Materials 200mm REFLEXION抛光工具上修整的垫上进行测量。修整循环在6lb(2.7kg)下压力下运行,其中修整器速度为87rpm并且垫速度为93rpm。修整器臂扫描配方具有1.00英寸(2.5cm)的起始位置和12.75英寸(32.4cm)的结束位置。扫描分为13个区,其分别具有以下相对停留时间:1.20、1.10、1.00、1.00、1.00、1.00、1.00、1.00、1.00、1.00、1.00、1.20和1.55。循环时间为13次扫描/分钟。通过使用激光轮廓曲线仪测量初始垫

表面上距垫中心3英寸(7.6cm)和14英寸(35.6cm)之间的每个沟槽的深度来确定垫磨损速率。初始垫沟槽深度被定义为位于3英寸(7.6cm)和14英寸(35.6cm)距离之间的所有沟槽的深度的平均值。在垫已被研磨一小时之后,将初始平均垫沟槽深度与在相同长度上的垫的平均沟槽深度进行比较。平均沟槽深度除以测试时间的差值记录为垫磨损速率。为了确定垫的表面粗糙度,使用接触轮廓曲线仪测量距最近修整的垫的中心2英寸(5.1cm)、4英寸(10.2cm)、6英寸(15.2cm)、8英寸(20.3cm)、10英寸(25.4cm)、12英寸(30.5cm)和14英寸(35.6cm)距离处的Ra。Ra报告为这7个位置的平均值。

[0086] 实施例和比较例(CE)

[0087] 如美国专利9956664实施例10所述制备二十四个磨料元件设计,仅磨料特征部的几何形状不同,如表1所述。美国专利9956664全文以引用方式并入本文。每个磨料元件具有精确成形特征部,该精确成形特征部具有至少一个一级特征部高度,该高度较高并且偏移到特征部的二级水平或特征部之间的平坦基部区域。每个实施例和比较例制备五个磨料元件并组装成磨料制品。开发装配工艺,使得每个元件上最高的、精确成形特征部(所有特征部均具有相同设计特征部高度)将变得平坦。使用平坦的蓝宝石表面作为对准板。将这些片段放在对准板上,使得具有精确成形特征部的主表面直接接触对准板(朝下),并且它们的第二平坦、主表面朝上。磨料元件被布置成圆形图案,使得它们的中心点被沿着半径约为1.75英寸(44.5mm)的圆的圆周定位并且围绕圆周以约72°等距间隔开。接着,将紧固元件施用至中心区域中磨料元件的暴露表面。紧固元件为可以商品名3M SCOTCH-WELD EPOXY ADHESIVE DP420购自明尼苏达州圣保罗的3M公司(3M Company,St.Paul,Minnesota)的环氧树脂粘合剂。接着,将直径为4.25英寸(108mm)并且厚度为0.22英寸(5.64mm)的圆形不锈钢载体面朝下放置在紧固元件的顶部(加工载体的背面,使得它可附接至REFLEXION抛光器的载体臂)。10lb(4.54kg)负载被均匀地施加在载体的暴露表面上,并且在室温下使粘合剂固化约4小时。在一些情况下,如果在磨料元件上仅存在1或2个一级磨料特征部,则将小孔放置到蓝宝石对准板中,所述蓝宝石对准板被具体地定位成允许一级磨料特征部不与蓝宝石表面接触,并且允许二级磨料特征部接触蓝宝石表面以便保持不同元件磨料表面之间的平面性。一级磨料特征部和二级磨料特征部之间的偏移高度被定义为一级特征部和二级特征部之间的高度差,或者如果不存在二级特征部,则为一级特征部和基部区域之间的高度差。纵横比定义为特征高度除以其基部宽度。一级特征部的截顶深度由形成理论峰的深度限定,如果棱锥的侧面将被允许会聚到一点。一级特征部高度如特征部高度测量测试方法中所述进行测量。一级特征部的数量是存在于完全构造的磨料制品(包括所有5个元件)上的一级特征部的数量。特征部的面密度定义为每个元件的一级特征部的数量除以磨料制品的表面的面积。磨料制品的表面定义为磨料制品的一个或多个磨料元件的总工作表面或可附接磨料元件的载体板的第一主表面的表面积,以较大者为准。比较例1、2以及4至7均为六边形基部棱锥。比较例3、8、9和实施例1-15均为矩形或正方形基部棱锥。棱锥被布置成矩形网格图案,例如参见图3A和图3B。

[0088] 表1.实施例和比较例的精确成形特征部参数

[0089]

实施例或CE	一级特征部的数量	一级特征部的面密度（特征部/cm^2）	一级特征部高度（微米）	偏移高度（微米）	一级特征部的截短深度（微米）	纵横比
CE-A	540	5.90	150	50	0	0.50
CE-B	960	10.49	150	150	0	0.67
CE-C	4720	51.60	150	10	0	0.50
CE-D	510	5.58	160	160	0	0.67
CE-E	300	3.28	160	160	0	0.67
CE-F	135	1.48	160	160	0	0.67
CE-G	635	6.94	150	50	0	0.67
CE-H	2	0.02	120	75	10	0.50
CE-I	3	0.03	120	75	10	0.50
实施例 1	5	0.05	145	100	20	0.50
实施例 2	5	0.05	145	100	20	0.67
实施例 3	5	0.05	120	75	10	0.50
实施例 4	5	0.05	95	50	40	0.50
实施例 5	10	0.11	145	100	20	0.50
实施例 6	20	0.22	145	100	20	0.50
实施例 7	25	0.27	145	100	20	0.50
实施例 8	20	0.22	145	100	20	0.67

[0090]

实施例 9	10	0.11	120	75	10	0.50
实施例 10	20	0.22	120	75	10	0.50
实施例 11	25	0.27	120	75	10	0.50
实施例 12	20	0.22	120	75	10	0.67
实施例 13	20	0.22	85	40	20	0.50
实施例 14	25	0.27	85	40	20	0.50
实施例 15	20	0.22	120	120	10	0.50

[0091] 使用台式摩擦计CMP垫磨损速率和垫表面粗糙度测试方法，测定实施例1-15和比较例1-9的垫磨损速率和垫表面粗糙度，表2。结果显示，随着元件上的磨料特征部的数量或面密度的减少，磨料制品的垫磨损速率连同其表面粗糙度一起增加(参见图4)。这在磨料行业中是众所周知且有记载的关系。然而，随着每个磨料制品的顶端数量和面密度减小到超低面密度区域(低于26个特征部/元件或0.24个特征部/mm^2)中，该关系反转，并且垫磨损速率开始减小。另外，此时，表面粗糙度不再与一级特征部的特征部计数和面密度相关，并且现在与一级特征部和二级特征部之间的偏移高度相关。

[0092] 表2.垫磨损速率和表面光洁度结果

[0093]

实施例或 CE	垫磨损速率（微米/小时）	表面光洁度 Ra（微米）
CE-A	850	5.303
CE-B	924	4.802
CE-C	410	2.613
CE-D	1722	5.764
CE-E	2125	6.023
CE-F	2797	6.582
CE-G	1281	5.111
CE-H	80	----
CE-I	124	----
实施例 1	318	13.807
实施例 2	383	16.762
实施例 3	217	----
实施例 4	140	9.411
实施例 5	711	----
实施例 6	1030	13.189
实施例 7	1148	----
实施例 8	1265	15.360
实施例 9	484	----
实施例 10	700	----
实施例 11	813	----

[0094]

实施例 12	753	----
实施例 13	259	----
实施例 14	327	----
实施例 15	912	----

[0095] 使用实施例的CMP工具测试

[0096] 使用CMP工具垫磨损速率和垫表面粗糙度测试方法，测定工业标准硬垫(Dow IC1010)上的垫磨损速率和垫表面粗糙度，以用于表3中所示的实施例和比较例。结果示于表3中。该数据给出了与台式摩擦计数据类似的结果。

[0097] 表3.垫磨损速率和表面光洁度结果

[0098]

实施例或CE	垫磨损速率(um/hr)	表面光洁度Ra(um)
CE-A	41	3.842
CE-B	48	4.354
CE-C	16	3.141
CE-E	69	4.918
CE-F	154	5.969
CE-G	70	4.117
CE-I	1	6.984
实施例5	12	7.387
实施例6	20	7.706
实施例7	27	8.148

实施例8	69	8.000
实施例11	10	7.185
实施例12	63	7.398
实施例13	26	5.181
实施例14	11	5.395
实施例15	59	7.784

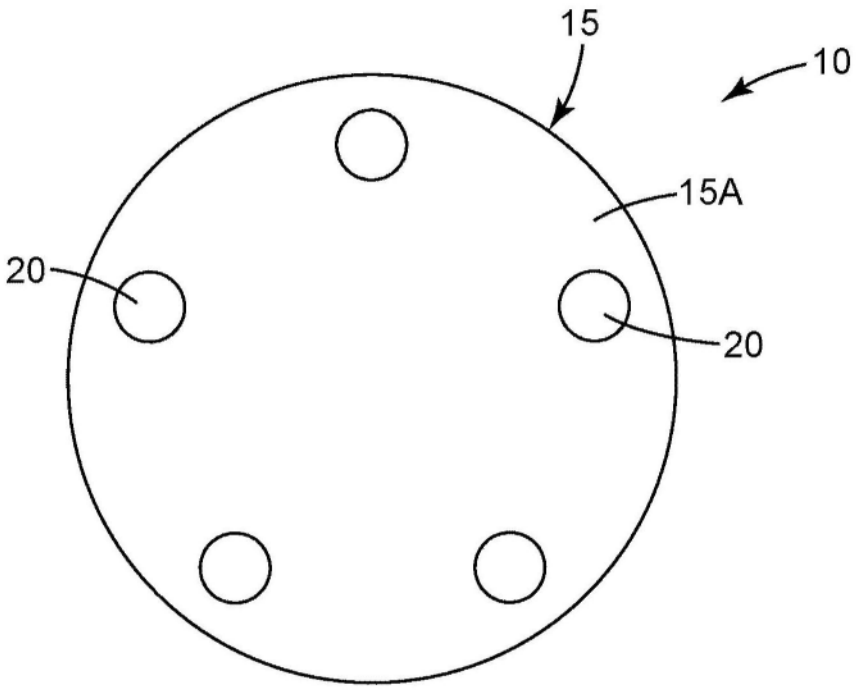


图1A



图1B

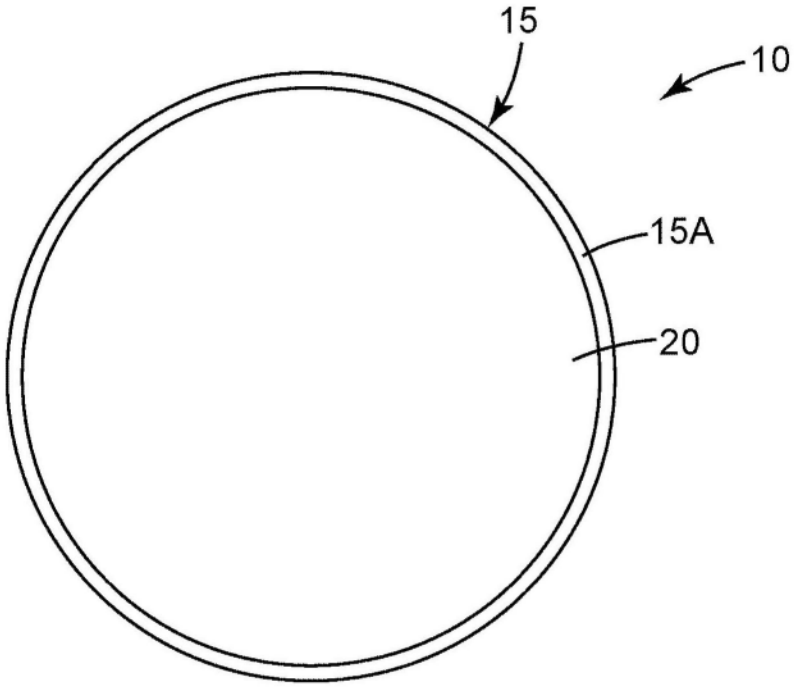


图2A

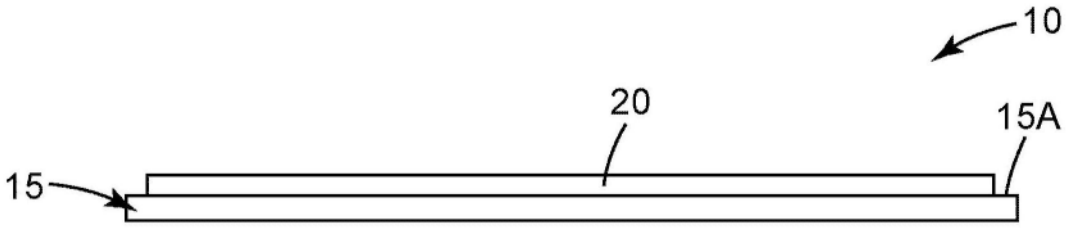


图2B

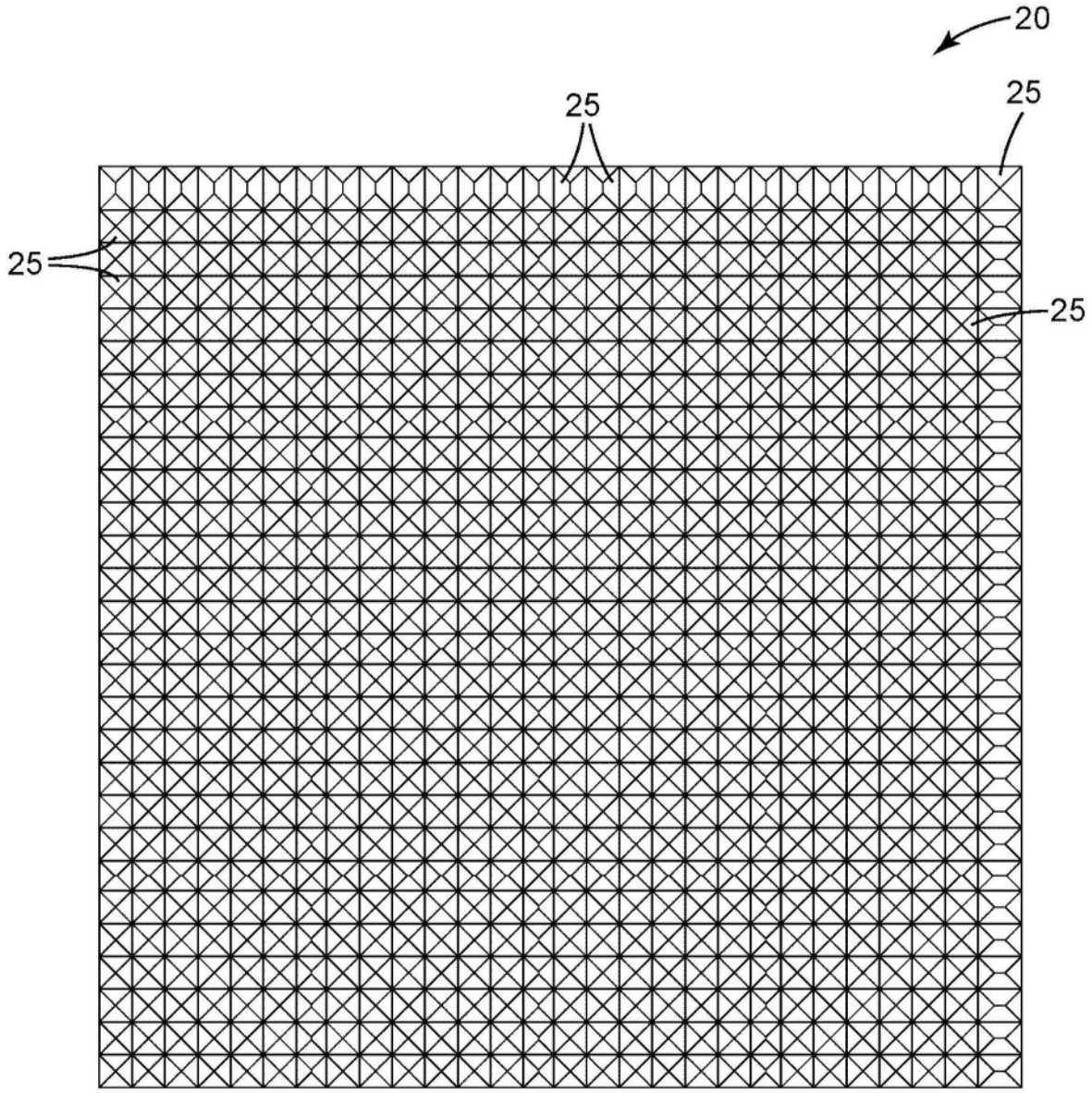


图3A

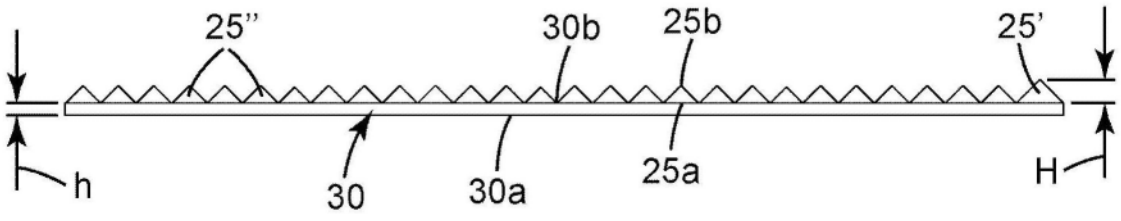


图3B

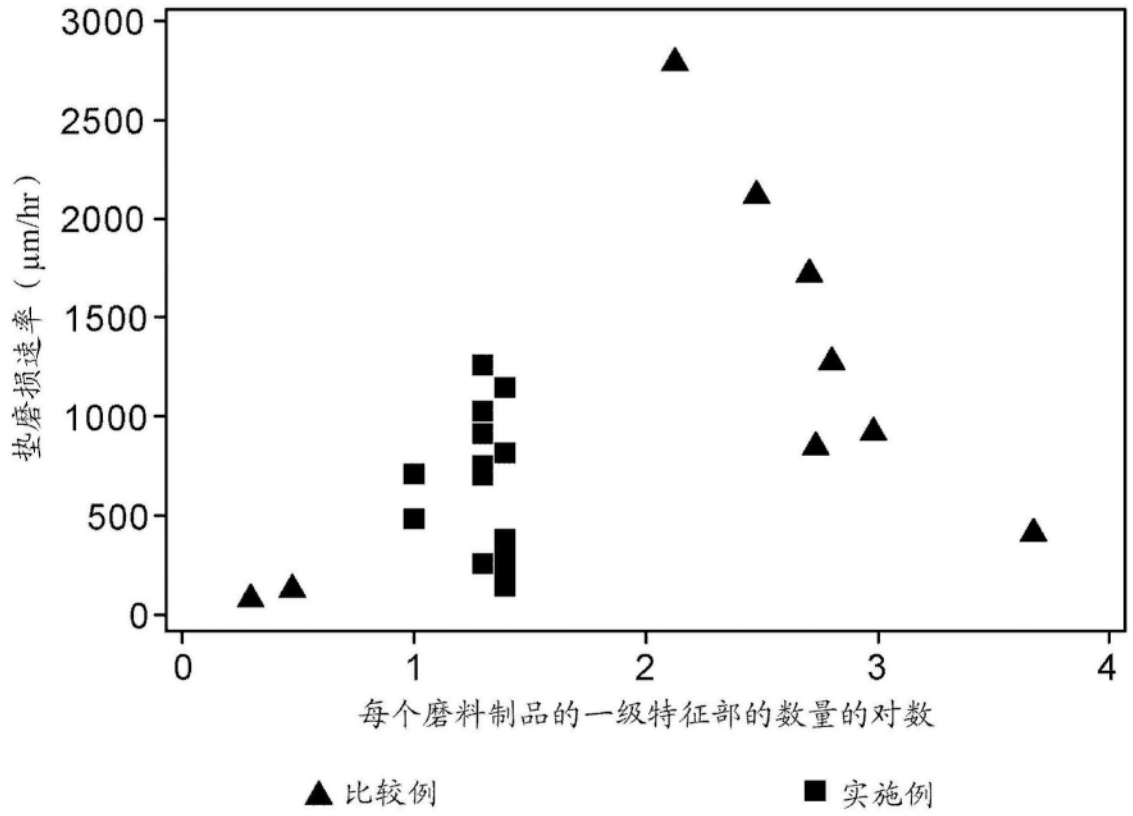

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
垫磨损速率（μm/hr）
0
1
2
3
4
每个磨料制品的一级特征部的数量的对数
比较例
实施例

图4