



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102165565 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 12

(21) 申请号 200980133906. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 08. 11

H01L 21/3065(2006. 01)

(30) 优先权数据

B81B 7/00(2006. 01)

12/229, 946 2008. 08. 27 US

审查员 甄丽娟

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 02. 28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2009/004613 2009. 08. 11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/027400 EN 2010. 03. 11

(73) 专利权人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 乔恩·法尔 夏尔马·帕马斯

科哈利德·西拉朱迪茵

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 陆嘉

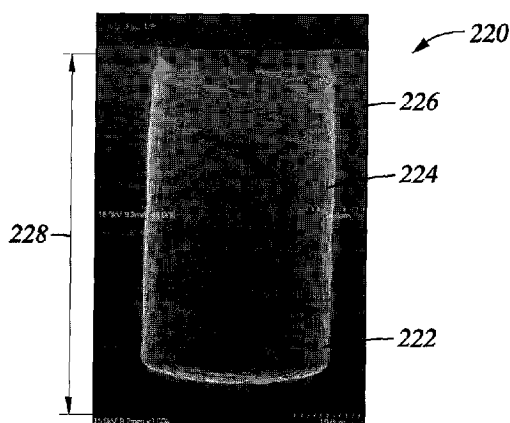
权利要求书2页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

用以使穿过衬底的过孔侧壁及其它深蚀刻特征部光滑的后蚀刻反应等离子体研磨

(57) 摘要

一种利用反应等离子体研磨使蚀刻特征部的侧壁光滑化的方法。该光滑化方法降低侧壁凹坑的深度,而侧壁凹坑是造成特征部壁表面上的粗糙度的原因。该方法包括以下步骤:从含硅特征部的内表面及外表面去除残留的聚合材料,并且在以脉冲 RF 功率使含硅特征部偏压的同时,利用从源气体产生的反应等离子体对含硅特征部的内表面进行处理。该源气体包含惰性气体以及会与硅发生反应的反应剂。该方法提供了内表面上约 500 纳米或更小的凹坑深度。



1. 一种对含硅特征部的内表面进行反应等离子体研磨以产生光滑表面的方法,其包括以下步骤:

从所述含硅特征部的内表面和外表面去除残留的聚合材料;以及

在以 RF 功率使所述含硅特征部偏压的同时,利用从含有惰性气体以及会与硅发生反应的反应剂的源气体所产生的反应等离子体对所述含硅特征部的内表面进行处理,所述 RF 功率具有在从 10kHz 至 13.56MHz 范围内的频率,并且其中在所述等离子体研磨期间开启及关闭所述 RF 功率,以提供在从 10Hz 至 1000Hz 范围内的功率应用频率。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述反应等离子体是利用 10kHz 至 60MHz 的 RF 功率产生的。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,在从 10Hz 至 1000Hz 的范围内的所述功率应用频率通过使用在从 2% 至 40% 的范围内的占空比来实现。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中,利用 RF 功率使所述含硅特征部偏压,其中所述功率应用频率在从 50Hz 至 180Hz 的范围内,并且占空比在从 5% 至 30% 的范围内。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其中,执行对所述含硅特征部的所述内表面的所述处理的步骤达一段时间,所述一段时间足以使所述含硅特征部的所述内表面上的凹坑深度减小为 300nm 或更小的深度。

6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中,处理后的所述凹坑深度在从 5nm 至 100nm 的范围内。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述含硅特征部是过孔,并且其中,在使所述过孔的所述内表面光滑的同时,改变所述过孔的轮廓。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中,藉由选择在对所述内表面进行所述处理期间用于轰击所述内表面的惰性气体的成分来改变所述轮廓。

9. 根据权利要求 6 或 7 所述的方法,其中,藉由选择在其内部执行对所述内表面的所述处理的处理腔室内的压力来改变所述轮廓。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,在去除所述残留的聚合材料之后,并且在利用所述反应等离子体对所述含硅特征部的所述内表面进行处理之前,去除围绕所述含硅特征部的开口的材料。

11. 一种使蚀刻特征部的内侧壁表面光滑的方法,其中含硅材料存在于所述内侧壁表面上,所述方法包括以下步骤:

从所述特征部被蚀刻经过的衬底表面去除任何残留光阻剂;

去除在蚀刻所述特征部期间沉积在所述特征部的内侧壁表面上的残留保护聚合材料;以及

在以 RF 功率使所述特征部偏压的同时,利用从含有惰性气体以及会与硅发生反应的反应剂的源气体所产生的反应等离子体对所述蚀刻特征部的内表面进行处理,所述 RF 功率具有在从 10kHz 至 13.56MHz 范围内的频率,并且其中在所述等离子体研磨期间开启及关闭所述 RF 功率,以提供在从 10Hz 至 1000Hz 范围内的功率应用频率。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中,所述功率应用频率通过使用在从 2% 至 40% 的范围内的占空比来实现。

13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,利用 RF 功率使所述特征部偏压,其中所述功率

应用频率在从 50Hz 至 180Hz 的范围内,并且所述功率应用频率通过使用在从 5%至 30%的范围内的占空比来实现。

14. 根据权利要求 11 所述的方法,其中,用来使所述衬底偏压的 RF 功率频率在从 200kHz 至 2,000kHz 的范围内。

15. 根据权利要求 13 所述的方法,其中,其中,执行对所述特征部的所述内表面的所述处理的步骤达一段时间,所述一段时间足以使所述内侧壁表面上的凹坑深度减小为 300nm 或更小的深度。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,其中,处理后的凹坑深度在从 5nm 至 100nm 的范围内。

17. 根据权利要求 11 所述的方法,其中,在去除任何残留光阻剂及任何残留保护聚合材料之后,并且在利用所述反应等离子体对所述特征部的所述内表面进行处理之前,去除围绕所述特征部的开口的材料。

18. 一种被蚀刻到含硅衬底内或穿过含硅衬底的特征部,其中,所述特征部在所述含硅衬底内或穿过所述含硅衬底的蚀刻深度在 700 微米和 1×10^6 微米之间,并且其中,被蚀刻的所述衬底的表面被光滑化使得所述特征部的侧壁的凹坑深度小于 700 纳米。

19. 一种被蚀刻到含硅衬底内或穿过含硅衬底的特征部,其中,所述特征部在所述含硅衬底内或穿过所述含硅衬底的蚀刻深度在 500 微米和 700 微米之间,并且其中,被蚀刻的所述衬底的表面被光滑化使得所述特征部的侧壁的凹坑深度小于 500 纳米。

20. 一种被蚀刻到含硅衬底内或穿过含硅衬底的特征部,其中,所述特征部在所述含硅衬底内或穿过所述含硅衬底的蚀刻深度在 2 微米和 500 微米之间,并且其中,被蚀刻的所述衬底的表面被光滑化使得所述特征部的侧壁的凹坑深度在 10 纳米和 500 纳米之间。

用以使穿过衬底的过孔侧壁及其它深蚀刻特征部光滑的后 蚀刻反应等离子体研磨

技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及在蚀刻之后使蚀刻特征部的侧壁光滑的方法。该光滑化可利用等离子体研磨技术在与执行该特征部蚀刻相同的处理腔室内执行。

背景技术

[0002] 此部分描述与所揭示的本发明实施例相关的背景主题。并无明示或暗示此部分所讨论的背景技术在法律上构成现有技术的意思。

[0003] 深凹陷结构蚀刻是当前制造半导体及微结构器件所使用的主要技术之一，并且是许多微机电系统 (MEMS) 应用的促成技术。要让这些新颖、复杂的器件能够令人满意地工作，对于蚀刻轮廓的严格控管是必要的。在许多情况中证实得到受控的侧壁轮廓（其中锥度角范围在约 85° 至约 92° 且具有光滑的侧壁表面）是项艰巨的任务。

[0004] 侧壁锥度角范围在约 85° 至约 90° 的衬底穿孔 (TSV)，在多种电子封装应用中是特别有用的，其中所述衬底穿孔通常是硅穿孔。该 TSV 通常是以能够实现器件间电气连接的方式使得各种部件可彼此连接。侧壁锥度角范围在约 85° 至约 92° 的蚀刻硅沟槽在许多 MEMS 器件中是有用的，例如光开关、可变电容、加速计、以及回转仪，以上是举例而非限制。

[0005] 对于如下所述的深凹陷结构的等离子体蚀刻：其中凹坑深度至少是 10 微米并且可深至约 500 微米，通常需要反应性化学蚀刻和物理蚀刻的组合，其通常运用离子轰击。例如，物理蚀刻能够实现为在蚀刻沟槽上形成垂直侧壁所需的各向异性、指向性蚀刻。

[0006] 已有许多针对深蚀刻所提出的处理技术。一种用于形成具有近乎垂直侧壁的沟槽的技术在该沟槽的开口区域内使用保护涂层。用来形成该涂层的材料可耐受蚀刻该沟槽所用的蚀刻剂。该涂层可无持续应用或仅在该沟槽形成处理的特定时间点应用。在一相关方法中，使硅衬底覆盖有图案化掩模，该图案化掩模将硅衬底的选择区暴露于等离子体蚀刻。各向异性蚀刻系交替使用等离子体蚀刻和聚合物形成步骤来完成。

[0007] 在其它蚀刻方法中，在特征部的等离子体蚀刻期间以及在形成保护膜期间，使用同样的气体混合物以保护蚀刻表面。据说，在一方法中，藉由改变直流衬底偏压，该处理在主要反应是衬底蚀刻的第一状态及主要反应是在该衬底表面上沉积膜的第二状态之间切换。

[0008] 在另一方法中，蚀刻及聚合步骤以交替、反复的方式执行，直到蚀刻完成为止。可以根据需要减少聚合物沉积步骤期间所沉积的聚合物量。

[0009] 在另一方法中，交替使用反应性离子蚀刻及通过化学气相沉积进行的钝化层沉积来执行半导体衬底中的沟槽蚀刻。该方法包含在蚀刻处理期间随时间改变许多处理变量中的一个或多个。处理参数的改变通常示为周期性，而该周期性改变至少对应于正弦、方形、或锯齿波形其中之一。该方法不仅包含提供反应性蚀刻步骤接着沉积钝化层以保护侧壁表面的周期处理，并且也包含在各处理周期之间随时间进行的改变，藉以避免在该蚀刻的沟

槽侧壁上显著的表面粗糙度的形成。此种方法相当复杂,需要大量的处理控制设备以及对于该设备的程序化计算机控制。

[0010] 最近试图在蚀刻特征部期间提供较光滑侧壁的深特征部蚀刻处理的缺点之一在于计算机化控制,与必须执行的设备功能相结合地,有降低该特征部的蚀刻速度的倾向。此外,所使用的化学品复杂度增加,需要处理更多反应剂,其中许多化学品在储存及处理上有难度。

[0011] 而在另一方法中,蚀刻例如 5 微米或更深的深沟槽之类的深凹陷的特征部,在该深凹陷特征部的整个蚀刻期间无间断地应用稳定蚀刻剂核素。该稳定蚀刻剂核素系同时应用在间歇地应用额外的、不同的蚀刻剂核素的蚀刻步骤期间,并应用在该深特征部蚀刻处理期间间歇地应用的聚合物沉积步骤。

[0012] 在另一侧壁光滑化技术中,在硅衬底内蚀刻出深凹陷特征部之后应用侧壁光滑化法。然而,这可能会造成表面孔隙,据称这已在执行该光滑化法后之的硅侧壁表面观察到。在一些执行该光滑化法之后存在的孔隙量可能造成问题的情况中,有人已尝试氧化该硅表面,然后暴露在氟化氢浸浴或蒸气态氟化氢中以除去该氧化物。取决于所制造的组件,存在该组件的暴露部件无法承受氟化氢暴露的状况。

[0013] 对于需要特别光滑侧壁的深特征部(例如,深度大于 200 微米),仍持续需要改善的蚀刻方法。

附图说明

[0014] 申请人提供附图说明,使得参照以上提供的具体说明、并参照对示例实施例的详细说明,使获得本发明的实力实施例的方式清楚,并能够得到理解。应了解仅提供理解本发明示例实施例所需程度的附图,并且某些公知处理和设备并未在此示出,以避免混淆本文主题的发明本质。

[0015] 图 1 是可从应用材料公司取得的那种 DPS II TSV 感应耦合等离子体蚀刻腔室 100 的示意性表示图。这种等离子体蚀刻腔室在带来本发明的实验期间使用。

[0016] 图 2A 示出了蚀刻硅过孔 202 的比较显微照相图 200,其展现了在深蚀刻处理的周期步骤中产生的典型侧壁粗糙度。凹坑 204 在该过孔侧壁内的深度(dn) 约是 0.7 微米(700nm)。

[0017] 图 2B 示出了接着过孔蚀刻处理进行了过孔表面的反应等离子体研磨后的蚀刻硅过孔 212 的显微照相图 210。利用本发明的反应等离子体研磨使该侧壁粗糙度变光滑。在该反应等离子体研磨(光滑化)处理之后的凹坑 214 深度(dn) 约是 0.33 微米(330nm)。

[0018] 图 2C 示出在接着过孔蚀刻处理进行过孔表面的反应等离子体研磨后的蚀刻硅过孔 222 的显微照相图 220。已利用本发明的反应等离子体研磨使该侧壁粗糙度变光滑。在该反应等离子体研磨处理之后的凹坑 224 深度(dn) 太小而无法以微米测量(小于 10nm)。

[0019] 图 3A-3C 示出了可在反应等离子体研磨(光滑化)处理期间藉由改变处理参数实现的蚀刻通入硅的过孔的轮廓的改变。

[0020] 第 3A 示出了在改变过孔轮廓的反应等离子体研磨后的蚀刻硅过孔 302 的显微照相图 300。原始的蚀刻过孔轮廓呈现为出如图 2A 所示的那种平直侧壁。随后的反应等离子体研磨改变了该过孔轮廓而呈现为锥状侧壁。

[0021] 图 3B 示出了蚀刻硅过孔 312 的显微照相图 310, 其示出本发明的另一实施例。原始的蚀刻过孔轮廓呈现为如图 2A 所示的平直侧壁。随后的反应等离子体研磨并未改变过孔的平直侧壁。

[0022] 图 3C 示出了蚀刻硅过孔 322 的显微照相图 320, 其示出本发明的另一实施例。原始的蚀刻过孔轮廓呈现为如图 2A 所示的平直侧壁。随后的反应等离子体研磨将该过孔轮廓改变为呈现为凹角 (re-entrant) (负) 轮廓。

[0023] 图 4A 和 4B 示出了在蚀刻硅过孔的侧壁表面上的影响, 其中并未在该过孔侧壁的反应等离子体研磨之前除去未剥离的图案化光阻层及来自过孔蚀刻处理的聚合物残留物。

[0024] 图 4A 示出了蚀刻硅过孔 402 的显微照相图 400, 其中该蚀刻过孔 402 的上部 404 (其在未剥离的图案化光掩模 (未示出) 附近) 呈现出较高的孔隙率, 而该蚀刻过孔 402 的底部 406 呈现出较少但潜在显著的孔隙。

[0025] 图 4B 示出了蚀刻硅过孔 412 的显微照相图 410, 其中该蚀刻过孔 412 的上部 414 (在未剥离的图案化光掩模 (未示出) 附近) 呈现出脊状的较高孔隙率, 而该蚀刻过孔 412 的底部 416 显示出稍微少一点, 但潜在显著的孔隙。

[0026] 图 5A 和 5B 示出了对蚀刻通过硅的过孔 504 的延伸上缘 503 的去除, 所述延伸上缘 503 形成在过孔的等离子体蚀刻期间所使用的图案化光阻掩模下方。

[0027] 图 5A 示出了去除前的延伸上缘 503。在反应等离子体研磨处理之前有利地执行对上缘 503 的去除, 以使过孔 504 的内表面 505 光滑。

[0028] 图 5B 示出了在去除该延伸上缘以及在该过孔 504 的内表面 507 的反应等离子体研磨光滑化两者处理之后, 不具有延伸上缘的情况, 并且示出了过孔 504 的内表面 507 的形状。

具体实施方式

[0029] 作为详细说明的开端, 应注意到如在本说明书及所附权利要求中所使用的, 单数形态“一”及“该”包含复数个所指对象, 除非上下文另行清楚指定。

[0030] 在此使用“约”这样的字眼时, 意欲表示所提出的标示值的精度在 $\pm 10\%$ 之内。

[0031] I. 实现本发明的示例设备

[0032] 在此所述的等离子体研磨处理的多种示例实施例在可从加州圣塔克拉拉的应用材料公司取得的 DPS II TSV 处理腔室中执行。该 DPS II TSV 处理腔室可用来作为也可从应用材料公司取得的整合处理系统的一部分, 其中在不同处理腔室的组合 (其构成一整合处理系统) 之间的传输让各种处理程序可以执行且不会使衬底暴露在周遭环境中。一种有益的整合处理系统 Centura[®] 主机系统, 也可从应用材料公司取得。

[0033] 图 1 示出了该 DPS II TSV 处理设备 100 的正视示意图。该 DPS II TSV 处理设备 100 是全自动半导体蚀刻处理腔室, 其通常做为可容纳多种衬底尺寸的多腔室、模块化系统 (未示出) 的一部分。在对本文的揭示提供支持的实验中所使用的处理设备包含 DPS II TSV 上处理腔室 115, 其拥有被设计为容纳直径大至 12 英寸 (300 毫米) 的衬底的处理空间 110。

[0034] 该 DPS II TSV 处理设备 100 被配置为安装在标准 CENTURA[®] 主机 (未示出) 上。该处理设备 100 包含等离子体源 102 及匹配网络 101, 它们与存在于外罩 111 内的功率产生

设备连通。RF 感应耦合的等离子体源 102 及匹配网络 101 通常以处于约 12MHz 至约 13.5MHz 内的频率范围内的频率（当此特定处理设备以此频率进行工作时，其它可以使用的处理设备可在范围高至 60MHz 的源功率频率进行工作）并以在从 0.1kW 至约 5kW 范围内的功率进行工作。该上处理腔室 115 使用 RF 感应耦合等离子体（未示出），该等离子体利用位于外罩 113 内的感应线圈 104 和 106 产生，该外罩 113 坐落于上处理腔室 115 正上方。上处理腔室 115 包含尺寸如上所述的腔室空间 110，以及静电夹盘（ESC）阴极 107。等离子体源气体透过快速气体交换喷嘴 114 被引导至该上处理腔室 115 内，以提供均匀控制的气流分布。腔室压力利用电容压力计控制系统（未示出）来控制。存在于上处理腔室 115 内的腔室空间 110 与下处理腔室 117 连通，下处理腔室 117 与设置在涡轮泵 116 上方且与涡轮泵 116 连通的节流阀 119 连通，该涡轮泵 116 位于在初步泵 126 上方并与初步泵 126 连通。当该处理设备 100 正在运作时，新的等离子体源气体被持续填充至腔室空间 110，并且处理副产物并持续透过该节流阀 119、涡轮泵 116 及初步泵 126 离开。

[0035] 在处理期间，衬底（未示出）透过入口 112 被引入该腔室空间 110。该腔室空间 110 包含静电夹盘（ESC）阴极 107 及出自快速气体交换喷嘴 114 的入口。在具体处理期间，衬底被放置在该阴极 107 上。腔室压力利用压力控制系统（未示出）控制，压力控制系统激活多种装置，通常包含该快速气体交换喷嘴 114、节流阀 119、涡轮泵 116 及初步泵 126。该衬底系利用如下所述的机制被保持在适当位置上，所述机制运用藉由施加直流电压（未示出）至位于夹盘表面 120 上的介电膜下方的导电层而在静电夹盘（ESC）阴极 107 表面上产生静电。通常利用热传导装置（未示出）来冷却静电夹盘 / 阴极 107，该热传导装置利用从入口 124 供应流体（该流体接着从出口 125 离开）的压缩冷却机（未示出）来冷却。该静电夹盘 / 阴极 107 及衬底（未示出）借助于晶片升降部 123 升降以进行处理。蚀刻气体透过快速气体交换歧管（未示出）通入上处理腔室 110。

[0036] 可提供控制器（未示出）来控制该处理设备 100 的操作，以执行本发明的实施例。该衬底（未示出）利用在 100kHz 至 13.56MHz 范围内（更常见在 100kHz 至 2MHz 范围内）运作的 RF 功率 122 以及匹配网络 121 而被偏压。等离子体源 102 和衬底偏压功率 122 利用设置在控制器中的应用材料公司系统软件（未示出）而被独立地控制。具体而言，该 RF 偏压功率 122 利用由系统控制（未示出）设定的发电机脉冲能力而被偏压，以提供该功率开启的时间百分比（其被称为“占空比”）。通常脉冲偏压功率的开启时间和关闭时间在整个衬底处理期间是均匀的。在此情况中，例如，若该功率开启 3 毫秒且关闭 15 毫秒，该“占空比”会是 16.67%。每秒钟的脉冲频率循环（Hz）等于 1.0 除以秒计的开启及关闭时段总和。例如，当该功率开启 3 毫秒且关闭 15 毫秒时，就总共 18 毫秒而言，每秒钟的脉冲频率循环是 55.55Hz。也可能使用特定化的脉冲剖面，其中开启 / 关闭时点在衬底处理期间为特定需求而改变。

[0037] 该蚀刻腔室壁表面的温度利用含液体的管道（未示出）控制，所述管道设置在该上蚀刻腔室的壁内。该半导体衬底的温度利用静电夹盘阴极 107 的其上搁置该衬底（未示出）的表面 120 的温度来控制。通常，使用氦气流来促进该衬底（未示出）和该阴极 107 的表面 120 之间的热传导。在静电夹盘阴极表面处使用的热传导流体透过流体管道系统（未示出）提供。

[0038] 如前所述，虽然用来处理在此提出的示例中所述的衬底的蚀刻处理设备 100 是如

图 1 的示意图中所示的那种感应耦合蚀刻腔室,但任何业界可取得的蚀刻处理器基本上均可复制此文所述的处理并理应能够利用在此所述的教导,连同对于处理设备参数的某些调整。也预期到可使用业界已知的其它等离子体蚀刻处理设备来执行本发明之多个实施例。

[0039] II. 概述

[0040] 在一些例子中,特征部被蚀刻到的深度在 200 微米至 500 微米范围内,或甚至更深。一示例是用于电子封装类的通过衬底的过孔 (TSV)。此种衬底常是含硅衬底,并且可称为通过硅的过孔,也即 TSV。因为所要求的蚀刻深度,需要特别快速的蚀刻。可能的蚀刻速率受限于蚀刻处理期间发生的过孔侧壁凹坑。可容忍的凹坑深度取决于特定应用。例如,在该特征部是欲以铜填充的过孔的半导体组件或封装应用中,常常需要取决于衬底,需要在将铜填料沉积至该过孔内之前先在该蚀刻过孔表面上沉积阻挡层。通常该阻挡层系利用物理沉积溅射技术来沉积。因为溅射是“瞄准线 (line of sight)”处理,所以过孔侧壁上凹坑的存在会妨碍在该过孔的蚀刻表面上形成连续阻挡层。为了避免这个问题,例如,硅衬底的蚀刻速度必须降至低于技术允许的上限,以减少在该侧壁上产生的凹坑。

[0041] 快速特征部蚀刻速率可与本发明实施例结合,其允许在该蚀刻处理后使蚀刻产生的表面粗糙度光滑化。该光滑化通过侧壁表面的反应等离子体研磨来降低特征部结构侧壁表面上的凹坑深度。反应等离子体研磨处理用来让该具有凹坑的特征部表面经历通常由等离子体源气体产生的反应等离子体,等离子体源气体包含会与蚀刻特征部表面处的材料反应的反应剂。通常该等离子体源气体包含不会与该特征部表面反应的惰性气体,但实际上反之发挥可冲击该特征部表面的冲击力的作用,从该等凹坑顶端破坏并除去材料。利用本发明的实施例,通常可光滑化具有约 500nm 或更浅的初始凹坑深度的侧壁,使之展现出约 10nm 或更浅的凹坑深度。

[0042] 在一示例实施例中,对含硅特征部的内表面进行反应等离子体研磨以产生光滑表面的方法包括以下步骤:从含硅特征部的内表面及外表面去除残留的聚合材料,然后在以脉冲 RF 功率使该含硅特征部偏压的同时,利用由源气体产生的反应等离子体来处理含硅特征部的内表面。该反应源气体包含与硅反应的反应剂,及惰性气体。执行该方法之后留在侧壁特征部上的凹坑深度取决于在该反应等离子体研磨之前该侧壁内的初始凹坑深度。在一实施例中,基于快速蚀刻到硅衬底内达 200 微米深所产生的典型凹坑深度,使用本方法例如可将该侧壁光滑化至凹坑深度小于 500nm,一般会小于 300nm。如前所述,在初始侧壁凹坑深度是 500nm 或更浅的例子中,光滑化后的凹坑深度可低于 10nm。

[0043] 为了得到更有效率的反应等离子体研磨,该蚀刻剂等离子体源利用通常在从约 10kHz 至约 60MHz 范围内的频率下运作的 RF 功率产生。所施加的等离子体源功率的量经设计以提供可与反应等离子体研磨的材料良好配合的等离子体密度。在被设计为处理 300 毫米衬底的应用材料公司的 DPS II TSV 等离子体蚀刻腔室中,取得预期等离子体密度所施加的 RF 功率的量通常在从约 500 瓦至约 5,000 瓦的范围内。

[0044] 该等离子体源气体的反应成分被设计为与该蚀刻特征部的表面上的材料反应而提供气态副产物。当此材料是含硅材料(例如硅、硅氮化物或硅氮氧化物)时,举例来说而非限制性,该等离子体源气体的反应成分常选自六氟化硫、三氟化氮、四氟甲烷、三氟化氯、三氟化溴、三氟化碘、及其组合物所组成的族群。关于硅,六氟化硫及四氟甲烷产生绝佳效果。该等离子体源气体的反应成分与该等离子体源气体的惰性成分的体积比范围通常是

从约 1 : 0 至约 1 : 1, 并且范围通常是从约 1 : 0.3 至约 1 : 1。

[0045] 为将等离子体向下导引至正被等离子体研磨的特征部的深处, 施加一偏压至该衬底 (特征部被等离子体研磨)。该偏压功率是 RF 功率, 其通常以在从约 10kHz 至约 13.56MHz 范围内的频率施加。更典型地, 该 RF 功率频率的范围在从约 100kHz 至约 4MHz; 并且, 通常该 RF 功率频率的范围在从约 100kHz 至约 400kHz。本领域的技术人员可鉴于被反应等离子体研磨的衬底的成分来调整此功率频率。

[0046] 当所施加的偏压功率是脉冲方式时, 该衬底偏压功率提供改善的等离子体研磨。为使得该偏压功率成为脉冲方式, 在该等离子体研磨期间开启及关闭该 RF 功率。该偏压功率的脉冲频率的范围通常为从约 10Hz 至约 1000Hz, 而典型范围从约 50Hz 至约 180Hz。通常, 但非必要的, 在整个等离子体研磨期间该功率的开启及关闭是时间均匀地分布的。但是, 该脉冲的时点分布 (timing profile) 可取决于反应等离子体研磨的材料的成分而改变。该等离子体偏压 RF 功率开启的时间百分比 (其被称为“占空时间%”或“占空比%”, 与该脉冲频率直接相关。通常, 当该脉冲频率的范围是从约 10Hz 至约 1000Hz 时, 对应的占空时间%的范围是从约 2% 至约 40%。当该脉冲频率范围从约 50Hz 至约 180Hz 时, 对应的占空时间%通常在从约 5% 至约 30% 的范围内。本领域的技术人员可调整该 RF 功率和该脉冲频率以与反应等离子体研磨的特定材料相适地运作。

[0047] 在对硅进行反应等离子体研磨时, 用来使该衬底偏压的 RF 功率的频率范围通常是在约 100kHz 和约 13.56MHz 之间, 并且范围时常在约 200kHz 和约 2MHz 之间。能够处理 300 毫米衬底的应用材料公司的 DPS II 等离子体蚀刻腔室内的衬底偏压功率范围为从约 0 瓦至约 300 瓦, 而施加的功率量的范围常是从约 55 瓦至约 75 瓦。该偏压功率占空时间% / 脉冲频率范围可从约 1% -100% / 10Hz-1000Hz, 并且通常该偏压功率占空时间 / 施加的脉冲频率范围系从约 5% -30% / 50Hz-180Hz。

[0048] 可用该等离子体研磨方法来研磨其它蚀刻特征部内部, 例如含碳介电材料, 其中因为使用含硅硬掩模来蚀刻该特征部, 导致在该蚀刻特征部表面上存在含硅材料。例如, 与使硅衬底表面光滑的用量相比, 可调整该等离子体源气体的成分以拥有较低的卤素含量。但是, 本领域的技术人员可鉴于在此提出的揭示以最少的实验判定出应该做出的调整。此外, 也可调整占空时间%和偏压功率脉冲频率。

[0049] 上述偏压功率应用的脉冲藉由提高对存在于特征部的侧壁上的凹坑的突伸区域的选择性来促进该反应等离子体研磨的效率。该脉冲避免特征部的表面 (例如过孔表面) 累积可造成离子偏转的电荷。虽然该脉冲的时点分布可以取决于反应等离子体研磨的材料种类而改变, 但是我们发现, 例如平均分布在该反应等离子体研磨期间的简单重复脉冲与含硅材料的反应等离子体研磨配合得很好。

[0050] 反应等离子体研磨的表面的温度也是重要的, 因为这会影响蚀刻速度及对蚀刻均匀度的控制。该衬底表面通常维持在约 -5°C 和约 80°C 之间的温度。该处理腔室壁的温度通常维持在约 60°C 和约 80°C 之间。

[0051] 在典型实施例中, 控制该处理腔室内的压力是很重要的, 以确保该反应副产物在该压力下会是气态, 并可从该处理腔室轻易且相当快速地移除。此外, 该处理腔室压力影响所得到的研磨表面的光滑度及在该表面光滑化之后呈现出的特征部轮廓这两者。通常, 该反应等离子体研磨期间处理腔室的压力被控制在约 10 毫托 (mTorr) 至约 350 毫托的范围

内的压力。

[0052] 先前文献教导过在执行使蚀刻特征部的粗糙表面侧壁光滑化的处理技术之前先去除此残留在该蚀刻特征部表面上的光阻剂掩模或保护聚合物膜是可选性的。此教导是不正确且误导的。我们凭经验发现在大部分实施例中，去除蚀刻特征部的上表面处的光阻剂掩模并从蚀刻特征部的侧壁去除聚合物膜残留物并非可选性的，而是必要的。这些聚合材料会在受研磨的表面处起反应并产生孔隙。在某些情况中，孔隙量可能是可容忍的，但在大部分情况中它是有害的。在一实施例中，例如该衬底是硅时，在开始特征部表面的反应等离子体研磨之前利用含氧等离子体来完成对这些聚合材料的去除。在许多实施例中，此聚合物去除可在与执行反应等离子体蚀刻相同的处理腔室内执行。

[0053] 在去除等聚合材料之后，常会在蚀刻特征部的上表面处残留限制结构。此限制结构是蚀刻特征部侧壁的延伸，该延伸位于用来图案化蚀刻该特征部的图案化光阻剂的正下方。当该凹陷的特征部是例如过孔时（该过孔之后将被填充以导电材料），例如，“修剪”存在于该凹陷特征部的入口处的该侧壁延伸是有益的。在许多实施例中，此修剪是在无衬底偏压的情况下利用等离子体蚀刻来执行的，因此该等离子体蚀刻会发生在该衬底上表面处。在去除光掩模层之后并且在反应等离子体研磨之前，有利地执行该修剪。

[0054] 在其它有用实施例中，该蚀刻特征部的轮廓可在该蚀刻特征部表面的反应等离子体研磨期间同时改变。这是藉由调整例如该等离子体源气体的成分、衬底的温度、该处理腔室内的压力、以及针对等离子体源气体或衬底偏压进行的 RF 功率变化等处理变量来完成的。但是，改变这些变量之一以影响蚀刻特征部的轮廓也会影响反应等离子体研磨和研磨表面粗糙度。鉴于在此提供的教导，本领域的技术人员可以利用最少量的实验来判定何种变量组合可提供针对特定应用的最佳结果。

[0055] 侧壁光滑化的方法在蚀刻特征部的深度为约 2 微米或更深时是特别有用的。蚀刻穿过厚度为一米或更厚的衬底的开口并使该开口的侧壁光滑是可能的，例如，使用在此所述方法。根据就时间及 / 或设备成本的观点而言在经济上有利的情况，该侧壁光滑化可在与用来蚀刻该特征部相同的处理腔室内执行，或者可在不同的处理腔室内执行。在具备机器人传输能力的多腔室系统中，使用不同腔室且不破坏真空（将蚀刻衬底暴露在可能有害的环境中）是可行的。

[0056] III. 使含硅特征部的表面光滑的反应等离子体研磨的示例方法

[0057] 示例一

[0058] 如先前所讨论的，在使特征部的内表面光滑的反应等离子体研磨之前，从蚀刻特征部的上表面去除图案化光阻层，并且从蚀刻特征部的内部去除聚合材料残留物是重要的。我们已经研发出去除上述聚合材料的方法。如下提供用来将聚合材料剥离的处理条件。

[0059] 表 1

[0060]

用于光阻剂剥离和聚合物去除的处理条件

[0061]

处理参数	处理条件范围	典型的处理条件
流量		
O ₂ 流速 (sccm)	50 - 1000	100 - 300
He 流速 (sccm)	0 - 400	0
CF ₄ 流速 (sccm)	10 - 100	0
Ar 流速 (sccm)	0 - 200	0
RF 参数		
等离子体源功率 (W)	500 - 5000	1500 - 2500
等离子体源功率 频率 (kHz)	100 - 60,000	2,000 - 13,560
源脉冲	无	无
衬底偏压功率 (W)	0 - 300	0 - 100
偏压功率频率 (kHz)	100 - 13,560	200 - 2,000
偏压功率脉冲 (占空时间%/ 脉冲频率 Hz)	0 - 100 % / 0 - 1000 Hz	5 - 50 % / 50 - 180 Hz
压力 (mTorr)	10 - 350	50 - 100
衬底温度 (°C)	50 - 200	60 - 90
ESC 温度 (°C)		

[0062]

	60 至 -15	0 至 -10
腔室温度 (°C)	80 至 60	70 至 60
时间 (秒)	随光阻残留物厚度改变	对于 1 微米厚度而言, 时间约为 60 秒

[0063] 图 4A 及 4B 示出了图标来自特征部蚀刻的光阻剂及聚合物残留物的存在对反应等离子体研磨、光滑化的表面造成的影响。

[0064] 图 4A 示出了经过反应等离子体研磨的内部过孔表面。位于硅衬底内的过孔曾被暴露于从等离子体源气体产生的等离子体中, 该等离子体源气体提供了 300sccm 的六氟化硫及 200sccm 的氦气。所施加的 RF 等离子体源功率是在 2MHz 的频率下为 2500 瓦。所施加的衬底偏压功率是 75 瓦的 400kHz RF 功率, 并且在 83Hz 的脉冲频率下, 具有 17% 的占空比 (该偏压功率开启的时间占比)。在该反应等离子体研磨期间, 处理腔室内的压力是 50 毫托。反应等离子体研磨的时段是 30 秒。支撑该衬底的阴极 (静电夹盘 /ESC) 的温度是 -10°C。这与约 70°C 的衬底温度互相关联。施加至该 ESC 的电压是 2200 伏特。在光阻剂层附近过孔顶端的区域 404 内, 光阻剂聚合物对反应等离子体研磨表面的影响是相当明显的。例如在区域 402, 该影响随着深入该过孔的深度增加而降低。朝向该过孔的底部, 在区域 406, 经过该反应等离子体研磨步骤之后此区之侧壁表面的平均凹坑深度 d_n 是约 99nm。这可与在该反应研磨步骤之前约 500nm 的平均凹坑深度 d_n 做比较 (参见图 2A)。

[0065] 图 4B 示出暴露在从提供 300sccm 的六氟化硫的等离子体源气体产生的等离子体中之后, 反应等离子体研磨硅过孔的内表面。该反应等离子体研磨处理条件基本上与关于第 4A 图所示的处理的过孔相同。在光阻剂层附近的过孔顶端的区域 414-412 中, 该光阻剂聚合物对该反应等离子体研磨过孔表面的影响是相当明显的。该影响随着深入该过孔的深度增加而降低, 并且朝向该过孔的底部, 在区域 416, 经过该反应等离子体研磨步骤之后在该显微照相图上所示之区域 416 的侧壁表面的平均凹坑深度 d_n 低于约 10nm。

[0066] 图 4A 和 4B 示出了在对内部过孔表面进行反应等离子体研磨之前去除聚合材料的重要性。在该过孔内光阻剂区域内距离高聚合物浓度一段实质距离处的表面粗糙度的比较显示出: 使用氩气而非氦气作为该等离子体源气体的惰性成分会产生较光滑的反应等离子体研磨表面。

[0067] 示例二

[0068] 调整该反应等离子体研磨期间使用的等离子体源气体反应物及处理条件, 对于得到的完成表面及该特征部的最终轮廓两方面有显著影响。下方的表 2 示出为得到本发明而进行的实验期间使用的一些等离子体源气体材料及处理条件。此信息仅供参考, 并且不意在限制可使用的材料及条件。

[0069] 表 2

[0070]

DPS II TSV 处理腔室的处理条件，侧壁光滑化方法		
处理参数	一般的处理条件范围	典型的处理条件
电浆来源气体成分流速		
SF ₆ 流速 (sccm)	0 - 400	100 - 300
C ₄ F ₈ 流速 (sccm)	0 - 400	0
O ₂ 流速 (sccm)	0 - 200	0 - 50
HBr 流速 (sccm)	0 - 400	0 - 70
He 流速 (sccm)	0 - 400	0 - 300
N ₂ 流速 (sccm)	0 - 200	0
CF ₄ 流速 (sccm)	0 - 50	0
Ar 流速 (sccm)	0 - 200	0 - 200

[0071]

RF 功率参数		
等离子体源功率 (W)	500 - 5000	1500 - 2500
等离子体源脉冲	无	无
等离子体源频率 (kHz)	10 - 60,000	2,000 - 13,560
衬底偏压功率 (W)	0 - 300	55 - 75
衬底偏压功率脉冲 (占空比% / 脉冲频率 Hz)	0 - 100 % / 10 - 1000 Hz	5 - 50 % / 50 - 180 Hz
偏压功率频率 (kHz)	100 - 13,560	200 - 400
其它变量		
压力 (mTorr)	10 - 350	50-100
ESC 温度 (°C)	60 to -15	0 to -10
基板温度 (°C)	140 至 75	80 至 70
腔室温度 (°C)	80 至 60	70 至 60
反应等离子体研磨 – 侧壁光滑化时间 (sec)	10 - 600	30 - 300

[0072] * 实验在应用材料公司的用于 300 毫米衬底的 DSP II 处理腔室内执行

[0073] 图 2A 示出了蚀刻硅过孔 202 的比较显微照相图 200, 其展现了由包含周期步骤的深蚀刻处理所产生的典型侧壁粗糙度。图 2A 所示的蚀刻硅过孔表示在本文所述的多种示例实施例的表面光滑化方法中所用的初始特征部。该硅过孔 202 深入该硅衬底 206 的蚀刻深度 (de) 208 约是 50 微米。凹坑 204 深入该过孔侧壁的深度 (dn) 约是 0.7 微米 (700nm)。

[0074] 图 2B 示出了在利用本发明实施例使过孔内表面光滑之后, 蚀刻硅过孔 212 的显微照相图 210。与图 2A 所示的初始表面相比, 硅衬底 216 的内表面 214 显示出在凹坑深度上的实质缩小。该侧壁粗糙度利用本发明的反应等离子体研磨来光滑化。在该反应等离子体

研磨光滑化处理之后,凹坑的深度(dn)约是0.33微米(330nm)。(该过孔深入该硅衬底216的初始蚀刻深度(de)218约是50微米。)用来得到光滑的过孔内表面的处理材料及条件如下:等离子体源气体,300sccm的六氟化硫及200sccm的氩气。所施加的等离子体源功率是2500瓦的13.56MHz的RF功率。该等离子体源气体RF功率未被脉冲化。所施加的衬底偏压功率是300瓦的400kHz的RF功率。该偏压功率的脉冲频率是83Hz,而%占空(该衬底偏压功率在反应等离子体研磨处理期间开启的时间百分比)是17%。该衬底偏压功率开启的时间百分比被平均分布在总处理时间内。该处理腔室内的压力为90毫托,而处理时间周期是30秒。用来冷却该阴极/衬底支撑的氦气热传导流体的压力是8托,同时将该阴极保持在-10℃的温度。施加至该ESC以将该衬底保持在适当位置上的电压是2200伏特。该衬底偏压功率是脉冲式的(施加a%占空比),因为这可辅助取得更光滑的表面,如后文所讨论的。

[0075] 示例三

[0076] 第2C示出了蚀刻硅过孔222的显微照相图220,其示出在过孔蚀刻处理之后产生的本发明的反应等离子体研磨表面的实施例。该侧壁粗糙度已利用本发明的反应等离子体研磨来光滑化。该反应等离子体研磨处理之后的凹坑224的深度(dn)太小而无法以微米测量(小于10nm)。(初始的蚀刻硅过孔深度(de)228是深入该硅衬底226约52微米。)除了处理腔室压力从90毫托降至50毫托之外,用来得到光滑的过孔内表面的处理材料及条件基本上与关于图2B所描述的相同。处理腔室压力的从90毫托降至50毫托的改变使在反应等离子体研磨后过孔侧壁表面上的凹坑深度(dn)从330nm降至小于10nm。

[0077] 图3A-3C示出了可在反应等离子体研磨(光滑化)处理期间藉由改变处理参数实现的蚀刻硅过孔轮廓的改变。图3A示出过孔在该反应等离子体蚀刻之前的初始轮廓。

[0078] 示例四

[0079] 第3A图示出蚀刻硅过孔302的显微照相图300,其初始在硅衬底306中被蚀刻至约53微米的深度de308。初始的蚀刻过孔轮廓呈现为图2A所示的平直侧壁。蚀刻硅穿孔302的反应等离子体研磨不仅产生平滑表面,也产生出锥状侧壁过孔。具体而言,该过孔在307处的顶部关键尺寸是25.9微米,该过孔在309处的底部关键尺寸是26.7微米,而该侧壁角度经过计算是87.1°。

[0080] 用来得到光滑的过孔内表面及锥状侧壁两者的处理材料和条件如下:等离子体源气体,300sccm的六氟化硫及200sccm的氩气。所施加的等离子体源功率是2500瓦的13.56MHz的RF功率。该等离子体源气体RF功率并非脉冲式的。所施加的衬底偏压功率是300瓦的400kHz的RF功率,脉冲频率是83Hz,而%占空比(该衬底偏压功率在反应等离子体研磨处理期间开启的时间百分比)是17%。衬底偏压功率开启的时间百分比被平均分布在总处理时间内。处理腔室内的压力是90毫托,而处理时段是30秒。用来冷却该阴极/衬底支撑的氦气热传导流体的压力是8托,同时将该阴极保持在-10℃的温度。施加至该ESC以将该衬底保持在适当位置上的电压是2200伏特。

[0081] 图3B示出蚀刻硅过孔312的显微照相图310,其初始在硅衬底316中系被蚀刻至约52微米的深度de318。初始的蚀刻过孔轮廓呈现出图2A所示者的平直侧壁。在随后的反应等离子体研磨后,该过孔轮廓持续显出平直侧壁。在区域317处的顶部关键尺寸是26.6微米,在区域319处的底部关键尺寸是28.8微米,而该侧壁角度是90°。

[0082] 除了该处理腔室压力从 90 毫托降至 50 毫托之外,用来得到光滑的过孔内表面及锥状侧壁两者的处理材料及条件基本上与上面参考图 3A 所描述的相同。在该反应等离子体研磨处理期间使用 90 毫托的压力会在该完成的过孔结构上产生 87.1° 的侧壁角度,而使用 50 毫托的处理腔室压力则在该完成的过孔结构上产生 90.0° 的侧壁角度。

[0083] 图 3C 示出了蚀刻硅过孔 322 的显微照相图 320,其系本发明的另一实施例。初始的过孔蚀刻深度 de 328 是 59 微米。初始的蚀刻过孔轮廓呈现为图 2A 所示的平直侧壁。该反应等离子体蚀刻产生的过孔轮廓为凹角(负)轮廓。区域 327 内的顶部关键尺寸是 22.9 微米,区域 329 内的底部关键尺寸是 27.4 微米,而该侧壁角度是 92.5° 。

[0084] 用来得到光滑的过孔内表面及锥状侧壁两者的处理材料及条件如下:等离子体源气体,300sccm 的六氟化硫及 200sccm 的氩气。处理条件基本上与参考图 3B 所描述的相同。此反应等离子体研磨处理和关于图 3B 所示过孔所描述的处理之间的主要差别在于该等离子体源气体的惰性成分是氩气而非氙气。在反应等离子体研磨处理中使用 50 毫托的处理腔室压力及六氟化硫与氩气的等离子体源气体的组合会在完成的过孔结构上产生 92.5° 的侧壁角度。这可与处理腔室压力是 50 毫托并且该等离子体源气体是六氟化硫和氩气的组合时所得到的 90° 的侧壁角度做比较。这也可与该处理腔室压力是 90 毫托并且该等离子体源气体是六氟化硫和氩气的组合时所得到的 87.1° 的侧壁角度做比较。

[0085] 示例五

[0086] 图 5A 和 5B 示出了位于过孔 504 顶端的延伸上缘 503 以及位于蚀刻过孔 504 的侧壁上的尖峰 505 两者的移除。位于过孔 504 顶端的延伸上缘 503 形成在于衬底 502 内以等离子体蚀刻出过孔 504 期间所使用的图案化光阻剂掩模(未示出)下方。该尖峰 505 则是在使用周期(蚀刻/保护)处理以在衬底内蚀刻出深特征部时形成的。

[0087] 蚀刻过孔 504 的延伸上缘 503 干扰反应等离子体研磨剂的进入,该研磨剂必须进入过孔 504 以促进尖峰 505 的移除,从而提供光滑的内壁 507。另外,若此上缘 503 存在会造成问题,例如,欲沉积阻挡层,或是以导电金属填充该过孔的时候。因此,在使过孔侧壁光滑的反应等离子体研磨处理之前去除延伸上缘 503 是有利的。另外,因为从上延伸边缘 503 至该完成的光滑侧壁 507 的距离 d1 大于该尖峰 505 至完成的光滑侧壁 507 的距离 d2,故难以在与用来去除尖峰 505 相同的处理中去除上缘 503。

[0088] 能用来去除该延伸上缘 503 的“修剪”处理可以是参考该反应等离子体研磨处理所述的处理,但在衬底上不施加偏压。在某些例子中,可用增量的氩气来提供额外的物理表面轰击。

[0089] 虽然前述针对本发明的实施例,但可鉴于本揭示发展出其它及进一步的实施例,且不会背离本发明之基本范围,并且本发明的范围由如下权利要求的范围决定。

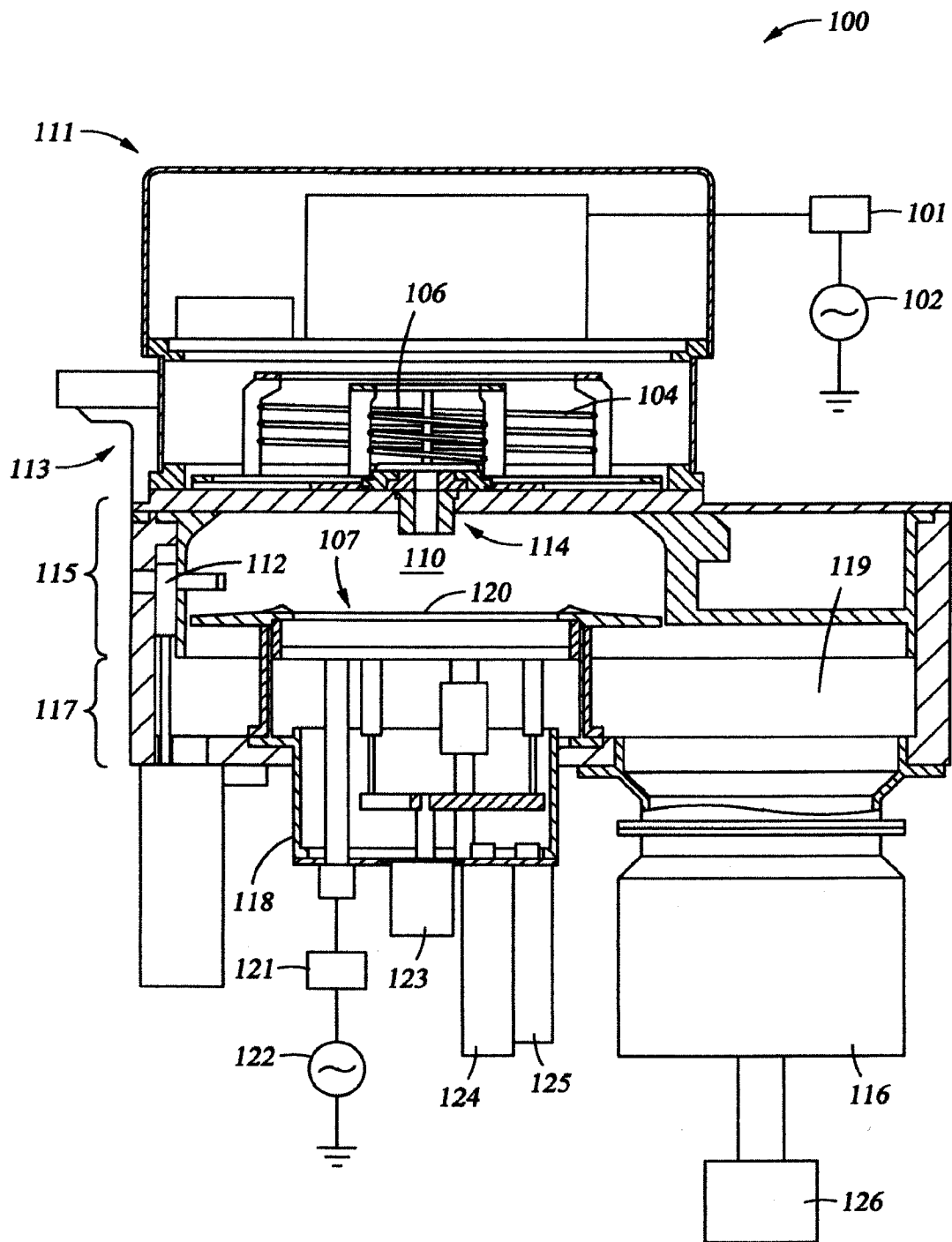


图 1

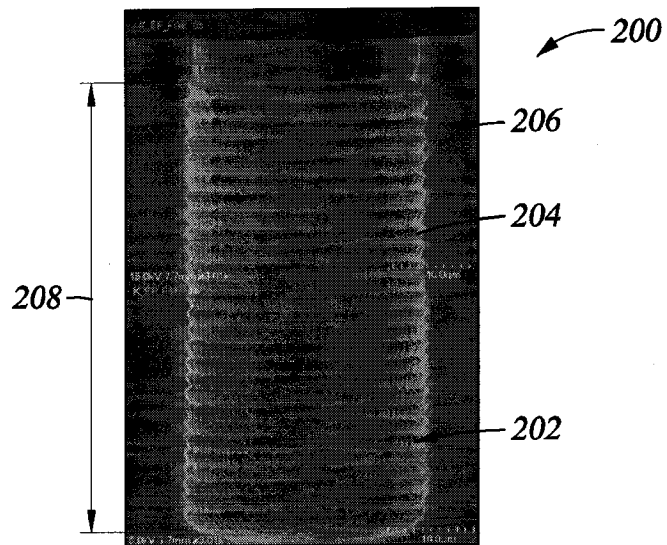


图 2A(现有技术)

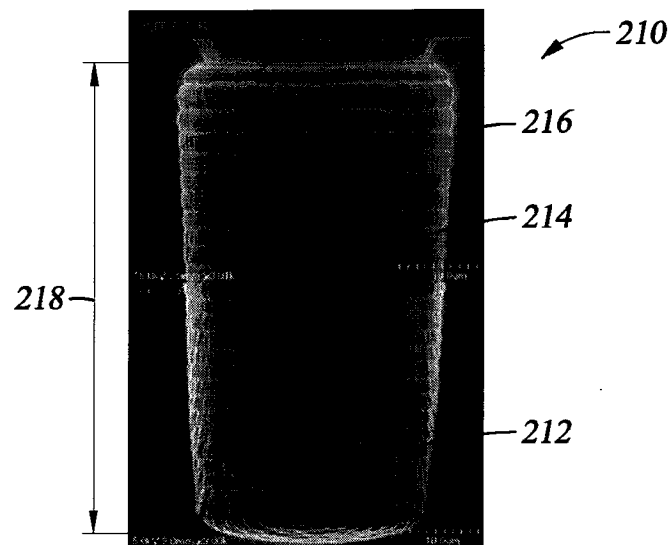


图 2B

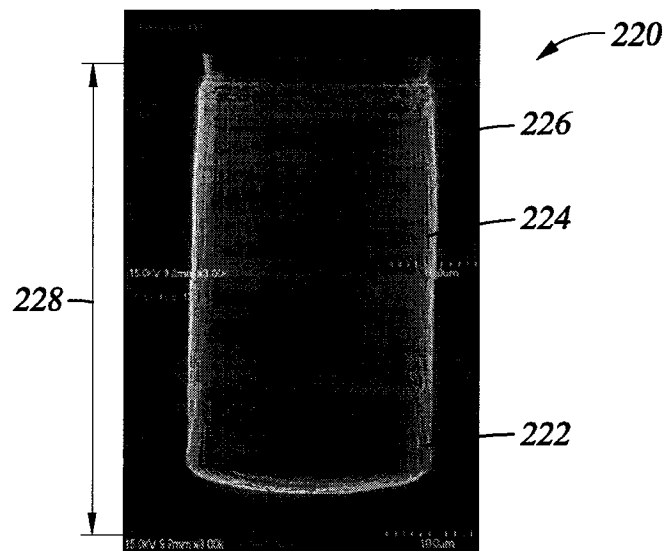


图 2C

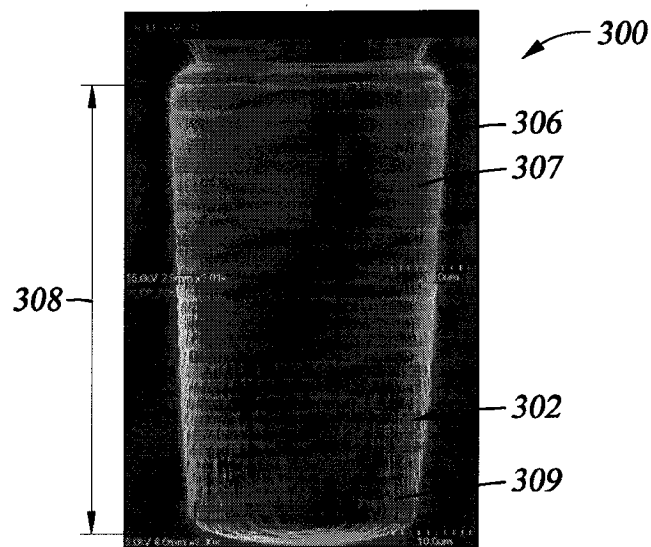


图 3A

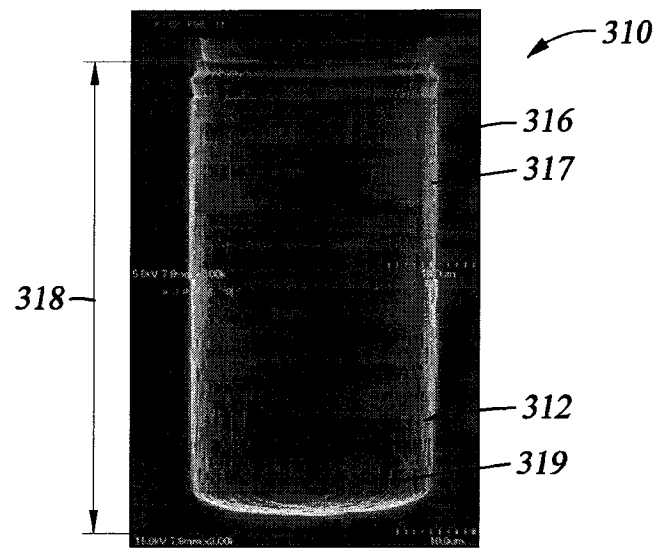


图 3B

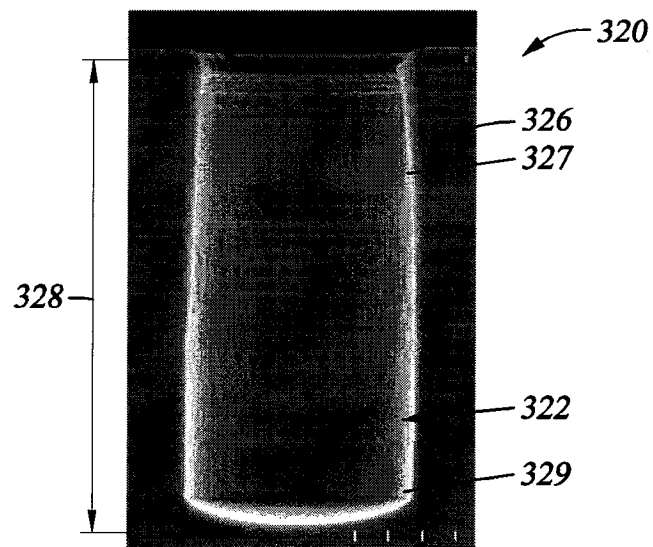


图 3C

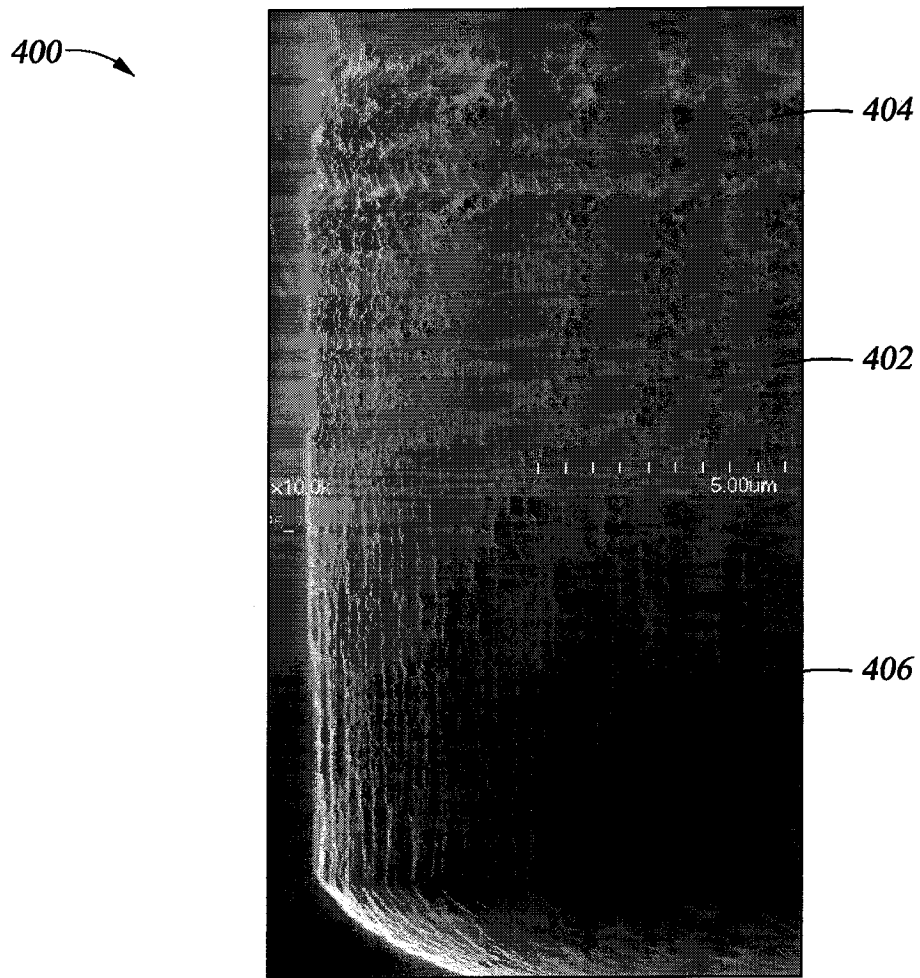


图 4A

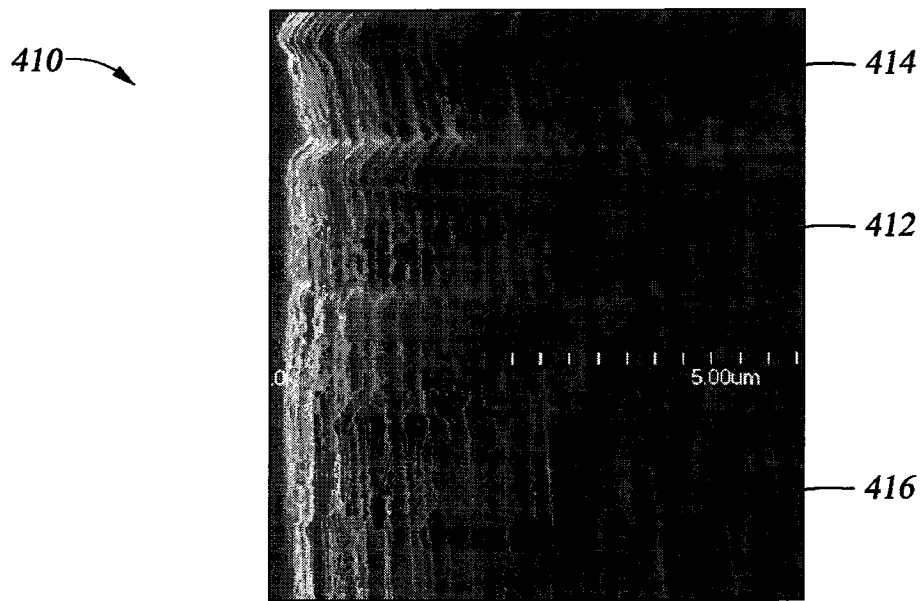


图 4B

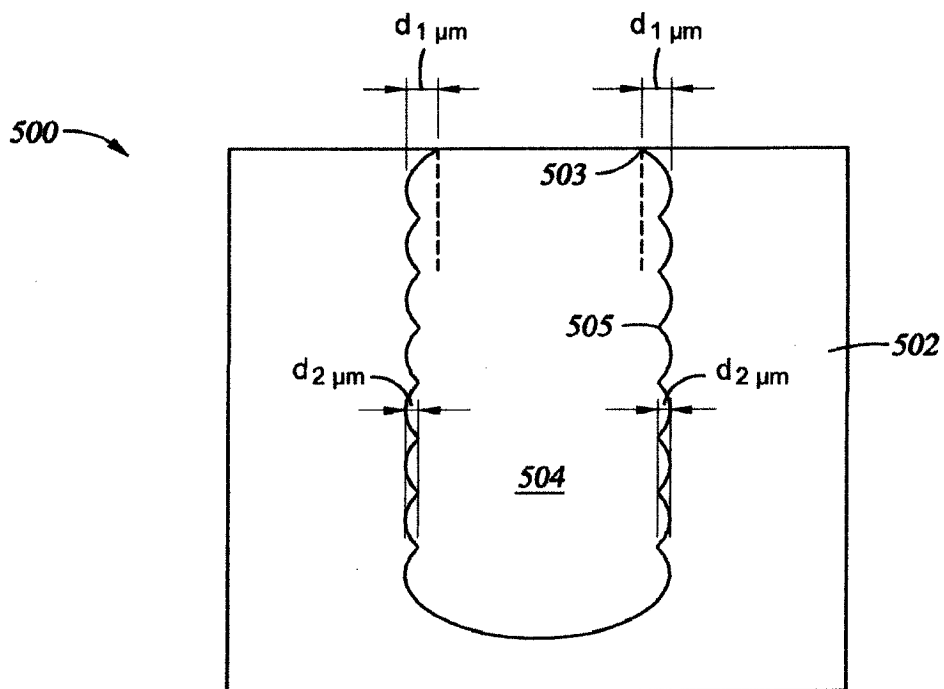


图 5A(现有技术)

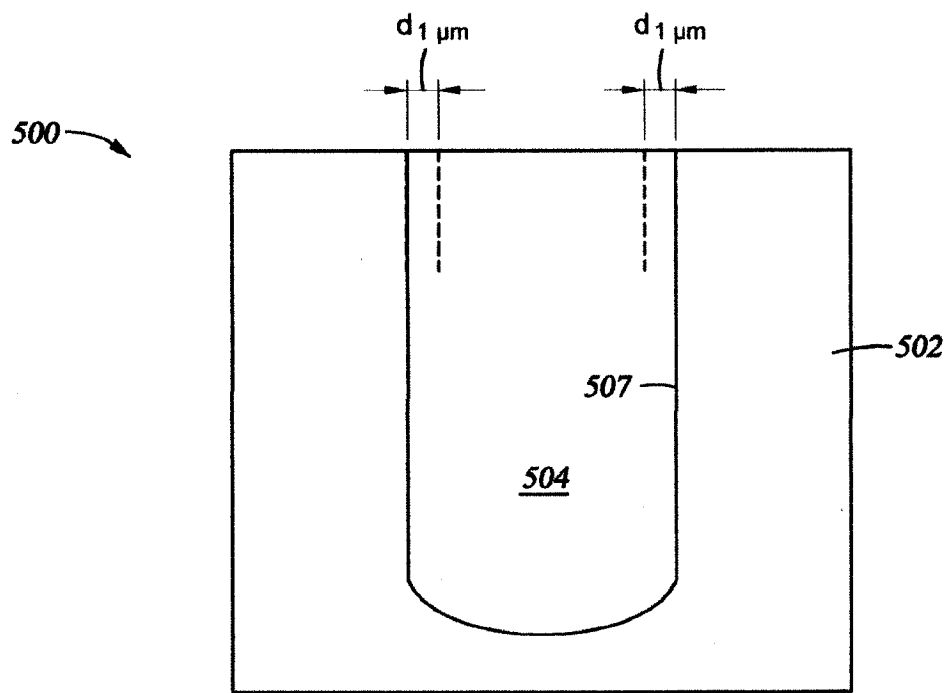


图 5B