(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 115959619 A
(43)申请公布日 2023.04.14

(21)申请号 202211212846.2
(22)申请日 2022.09.30
(66)本国优先权数据
202111605706.7 2021.12.25 CN
(71)申请人 西北工业大学
地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号
(72)发明人 苑伟政 周子丹 何洋 燕则翔 许晓慧 欧召阳 周文源 郭泽琦
(74)专利代理机构 西安凯多思知识产权代理事务所(普通合伙) 61290
专利代理师 云燕春
(51)Int.Cl.
B81C 1/00(2006.01)
C23F 1/02(2006.01)
G03F 7/16(2006.01)
G03F 7/20(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页

(54)发明名称

一种基于三层混合掩模的三重光刻以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制造方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于三层混合掩模的三重光刻以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制造方法。该方法选用化学活性依次降低的三层掩膜材料设计了特殊的光刻序列,选择了氧化硅、铝和光刻胶的金属和非金属材料的混合掩模顺序组合作为仿沙垄气动减阻分形微纳结构的蚀刻掩模。该掩模材料的选择综合考虑了电感耦合等离子体刻蚀工艺中金属掩模的兼顾性,工艺效果的可控性和精确性,工艺过的复杂性以及工艺的成本。并且区别于传统工艺中光刻一次刻蚀一次的思路,本发明提出采用旋胶光刻工艺将三层混合掩模复合制备完成后,再利用设计的三层混合掩模化学活性依次下降性质,重复刻蚀和去除掩模的循环,完成三层复合微纳结构的制备。

CN 115959619 A

1.一种基于三层混合掩模的三重光刻以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制造方法,其特征在于,将仿沙垄气动减阻分形微纳结构由上至下分别定义为第一、二和三层结构,将三层混合掩模由里至外分别定义为第一、二和三层刻蚀掩模,该制造方法包括如下步骤:

步骤1:使用标准清工艺将硅片清洗干净;

步骤2:在硅片表面沉积一层百纳米厚度的氧化硅层;

步骤3:在硅片表面旋涂一层数微米厚度的光刻胶,此后每次光刻均如此;使用第一层结构图形的掩模版,在第一次光刻后,以图形化的光刻胶为掩模干法刻蚀氧化硅,使氧化硅图形化,去除光刻胶,将图形化的氧化硅用作第一层刻蚀掩模;

步骤4:在完成步骤3后硅片表面溅射一层百纳米厚度的金属铝层;

步骤5:使用第二层结构图形的掩模版,在第二次光刻后,通过湿法腐蚀的方法以第二次图形化的光刻胶为掩模将金属铝图形化,并用作第二层刻蚀掩模。

步骤6:使用第三层结构图形的掩模版,在第三次光刻后,第三次使光刻胶图形化,用作第三层刻蚀掩模;

至此,完成了化学活性从第三层掩模材料到第一层掩模材料依次降低的三层金属与非金属材料混合掩模的复合制备;

步骤7:以第三层刻蚀掩模为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)刻蚀,形成第三层结构,并去除第三层刻蚀掩模,由于先前设计好的化学性质从第三层掩模材料到第一层掩模材料依次减弱的排序,此步骤只会将第三层刻蚀掩模去除;

步骤8:以第二层刻蚀掩模为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)刻蚀,就形成了第二层结构,并用铝腐蚀液去除第二层刻蚀掩模,由于先前设计好的化学性质依次减弱排序,此步骤只会将第二层刻蚀掩模去除;

步骤9:以第一层刻蚀掩模为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)刻蚀,就形成了第一层结构,并用去除第一层刻蚀掩模,由于先前设计好的化学性质依次减弱排序,此步骤只会将第一层刻蚀掩模去除;

至此,完成硅基仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制备。

2.一种如权利要求1所述的基于三层混合掩模的三重光刻以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制造方法,其特征在于,所述步骤2中的沉积方法优选为低压化学气相沉积(LPCVD)。

3.一种如权利要求1所述的基于三层混合掩模的三重光刻以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制造方法,其特征在于,所述步骤2中的刻蚀方法优选反应离子刻蚀(RIE)。

4.一种如权利要求1所述的基于三层混合掩模的三重光刻以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制造方法,其特征在于,所述步骤5中的湿法腐蚀铝工艺具体过程如下:在常温下先将光刻好的硅片用去离子水浸泡,再将硅片放入铝腐蚀液中,期间用软毛刷顺着同一个方向轻轻拂过硅片表面。

一种基于三层混合掩模的三重光刻以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于MEMS技术(微机械电子技术),尤其涉及一种微纳电子工艺中多尺度多层复合微纳结构阵列制备方法。

背景技术

[0002] 在实际的工程问题中,许多行业往往面临着流体阻力和生物污染所带来的挑战。公开号CN108357665A名称为《一种仿沙垄气动减阻分形微纳结构》的专利指出仿沙垄气动减阻分形微纳结构具有减阻性能较好的特点。因此实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制备,对于解决生物医疗、船舶、管道、能源、飞行器和生物污染等行业的工程应用问题都具有十分重要的意义。

[0003] 微纳结构的制造方法取决于许多因素,如精度、成本、几何形状、尺度、基材和样品大小等。以公开号CN113635553A名称为《一种3D打印系统及方法》的专利,公开号CN113547206A名称为《一种激光刻蚀装置、方法及系统》,公开号CN108102913A名称为《基于软光刻技术的三维细胞培养芯片、其制备方法及应用》,公开号CN113707835A名称为《纳米压印图案化量子点LED制备方法》等制造技术为代表的专利制造了多种形貌的微纳结构。然而仿沙垄气动减阻分形微纳结构是三维的多层复合微纳结构阵列,结构尺度范围从纳米到百微米不等,且用于减阻研究的样品边长尺寸应至少在10cm量级,现有的方法均难以实现。如何实现这种复杂形貌的仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制备就是其科学研究和实际应用所面临的重要问题。

[0004] 因此,本发明提出一种基于三层混合掩模的三重光刻方法,以实现仿沙垄气动减阻分形微纳结构的精确可控制备。选用化学活性依次降低的三层掩膜材料即氧化硅、铝和光刻胶的组合作为仿沙垄气动减阻分形微纳结构的刻蚀掩模,并根据不同材料不同的化学活性,设计了相应的特殊光刻序列。通过解决铝掩模的均匀性和横向蚀刻问题,优化了混合掩模影响下的湿法腐蚀金属铝工艺。该发明可为减阻结构的科研或工业化生产提供有效手段。

发明内容

[0005] 本发明提出一种多尺度多层复合微纳结构的精确可控制备方法,其特点是采用旋胶工艺基于化学活性依次降低的三层混合掩模的三重光刻方法实现了工艺过程的高度选择性,从而解决了仿沙垄气动减阻分形微结构的制造难题,并为实现更复杂跨尺度多层复合微纳功能结构的制备提供了技术基础。

[0006] 本发明的技术方案是:一种多层复合微纳功能结构的制作方法,包括如下步骤:

[0007] 在本发明中有如下定义,将仿沙垄气动减阻分形微纳结构由上至下分别定义为第一、二和三层结构,将三层混合掩模由里至外分别定义为第一、二和三层刻蚀掩模。

[0008] 步骤1:使用标准清工艺将硅片清洗干净。

[0009] 步骤2:在硅片表面沉积一层百纳米厚度的氧化硅层。所述的沉积方法优选为低压化学气相沉积(LPCVD)

[0010] 步骤3:在硅片表面旋涂一层数微米厚度的光刻胶,此后每次光刻均如此。使用第一层结构图形的掩模版,在第一次光刻后,以图形化的光刻胶为掩模干法刻蚀氧化硅,使氧化硅图形化,去除光刻胶,将图形化的氧化硅用作第一层刻蚀掩模。所述刻蚀方法优选反应离子刻蚀(RIE)

[0011] 步骤4:完成步骤3后,使用磁控溅射仪在其表面溅射一层百纳米厚度的金属铝层。

[0012] 步骤5:使用第二层结构图形的掩模版,在第二次光刻后,通过湿法腐蚀的方法以第二次图形化的光刻胶为掩模将金属铝图形化,并用作第二层刻蚀掩模。传统的铝湿法腐蚀工艺需要80℃反应温度和超声环境下进行,为了尽量减少温度对掩模的影响和掩模层之间的粘附性对工艺的影响,在本湿法腐蚀铝的工艺中,在常温下先将光刻好的硅片用去离子水浸泡,再将硅片放入铝腐蚀液中,期间用软毛刷顺着同一个方向轻轻拂过硅片表面,从而使金属铝图形化并且不影响其它掩模层。

[0013] 步骤6:使用第三层结构图形的掩模版,在第三次光刻后,第三次使光刻胶图形化,用作第三层刻蚀掩模。在此步骤后,就完成了化学活性从第三层掩模材料到第一层掩模材料依次降低的三层金属与非金属材料混合掩模的复合制备。

[0014] 步骤7:以第三层刻蚀掩模为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)刻蚀,就形成了第三层结构,并去除第三层刻蚀掩模,由于先前设计好的化学性质从第三层掩模材料到第一层掩模材料依次减弱的排序,此步骤只会将第三层刻蚀掩模去除。

[0015] 步骤8:完成步骤7后,以第二层刻蚀掩模为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)刻蚀,就形成了第二层结构,并用铝腐蚀液去除第二层刻蚀掩模,由于先前设计好的化学性质依次减弱排序,此步骤只会将第二层刻蚀掩模去除。

[0016] 步骤9:完成步骤8后,以第一层刻蚀掩模为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)刻蚀,就形成了第一层结构,并用去除第一层刻蚀掩模,由于先前设计好的化学性质依次减弱排序,此步骤只会将第一层刻蚀掩模去除,最终完成了硅基仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制备。

[0017] 本发明的有益效果是:

[0018] 1.为了实现三维仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制备,提出了一种基于三层混合掩膜的三层光刻方法,选用化学活性依次降低的三层掩膜材料设计了特殊的光刻序列,选择了氧化硅、铝和光刻胶的金属和非金属材料的混合掩模顺序组合作为仿沙垄气动减阻分形微纳结构的蚀刻掩模。该掩模材料的选择综合考虑了电感耦合等离子体刻蚀工艺中金属掩模的兼顾性,工艺效果的可控性和精确性,工艺过的复杂性以及工艺的成本。并且区别于传统工艺中光刻一次刻蚀一次的思路,本发明提出采用旋胶光刻工艺将三层混合掩模复合制备完成后,再利用设计的三层混合掩模化学活性依次下降性质,重复刻蚀和去除掩模的循环,完成三层复合微纳结构的制备。在此过程中,按照三层混合掩模化学活性依次下降的设计,可以使得在利用每层掩模刻蚀完后,去除相应掩模时均不影响其余掩模。本发明为精确可控地制备可用于科学研究和实际应用的仿沙垄气动减阻分形微纳结构提供了新的方向。

[0019] 2.本发明优化了混合掩模影响下的湿法腐蚀金属铝工艺。传统的铝湿法腐蚀工艺

需要80℃反应温度和超声环境下进行。区别于传统工艺，为了尽量减少温度对掩模的影响和掩模层之间的粘附性对工艺的影响，本工艺中湿法腐蚀金属铝的过程在常温和非超声的环境下进行。为了解决常温和非超声的环境下，铝掩模蚀刻过程中的均匀性和横向蚀刻问题，本发明提出先将硅片在离子水中浸泡，以在表面形成水膜，由于水具有良好的流动性，可利于在初始反应中产生的气体的排出；同时在腐蚀过程中，以低频扰动代替高频振动及时释放生成的气体，同时平衡了蚀刻剂的局部浓度，该发明可为减阻结构的科研或工业化生产提供有效手段。

具体实施方式

[0020]

[0021] 实施案例：

[0022] 本实施例中给出了一种仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制备方法，包括如下步骤：

[0023] 步骤1：使用体积比为4：1的H_2SO_4和H_2O_2洗涤硅片，在150℃的温度下烘干10分钟，从而将4英寸硅片清洗干净。

[0024] 步骤2：使用低压化学气相沉积设备(LPCVD)在硅片表面沉积200nm厚度的氧化硅层。

[0025] 步骤3：在硅片上旋涂约3um厚的光刻胶EPI680，接着在110℃热板上进行软烘焙30s。然后用紫外光照射形成微纳结构图形阵列，并在MIF700显影剂中显影30s后，用去离子水冲洗，并用氮气吹干，然后在热板上120℃下进行3分钟硬烘。使用第一层结构图形的掩模版，在第一次光刻后，使用反应离子刻蚀设备(RIE)设备以图形化的光刻胶为掩模干法刻蚀氧化硅，使氧化硅图形化，去除光刻胶，将图形化的氧化硅用作第一层刻蚀掩模。

[0026] 步骤4：完成步骤3后，使用磁控溅射仪在其表面溅射150nm厚度的金属铝层。

[0027] 步骤5：使用第二层结构图形的掩模版，重复步骤3中的光刻工艺后，在常温下将光刻好的硅片用去离子水浸泡，将倒好的铝腐蚀液搅拌均匀后，将硅片放入，腐蚀过程中有明显的气泡产生，期间用软毛刷顺着同一个方向轻轻拂过硅片表面，大约200s后伴随着明显的颜色变暗，完成了以第二次图形化的光刻胶为掩模将金属铝图形化，并用作第二层刻蚀掩模。

[0028] 步骤6：使用第三层结构图形的掩模版，再次重复步骤3中的光刻工艺后，第三次使光刻胶图形化，用作第三层刻蚀掩模。这样就完成了化学活性从第三层掩模材料到第一层掩模材料依次降低的三层金属与非金属材料混合掩模的复合制备。

[0029] 步骤7：使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)以第三层刻蚀掩模(图形化的光刻胶)作为掩模将硅垂直刻蚀至40um深度，就形成了第三层结构。然后使用丙酮和酒精湿法去除光刻胶，此两种溶剂不会对氧化硅和金属铝掩模造成影响。

[0030] 步骤8：完成步骤7后，以第二层刻蚀掩模(图形化的金属铝)为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)第二次将硅垂直刻蚀20um，就形成了第二层结构。然后使用铝腐蚀液去除剩余的金属铝，铝腐蚀液不与氧化硅反应不会对氧化硅掩模造成影响。

[0031] 步骤9：完成步骤8后，以第一层刻蚀掩模(图形化的氧化硅)为掩模使用电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)第三次将硅垂直刻蚀10um，就形成了第一层结构，并用氢氟酸去除

剩余的氧化硅，最终完成了硅基仿沙垄气动减阻分形微纳结构的制备。