

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
B82B 3/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910083938.3

[43] 公开日 2009 年 10 月 14 日

[11] 公开号 CN 101554991A

[22] 申请日 2009.5.11

[21] 申请号 200910083938.3

[71] 申请人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路 5 号北京大学微电子学研究院

[72] 发明人 毛海央 吴文刚 张煜龙 郝一龙
王阳元

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 徐 宁 关 畅

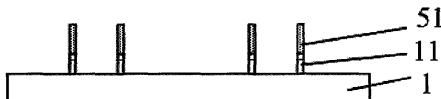
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

[54] 发明名称

一种多样性纳米结构的加工方法

[57] 摘要

本发明涉及一种多样性纳米结构的加工方法，其步骤包括：1)准备并清洗衬底；2)在衬底的表面上依次沉积薄膜一和薄膜二；3)在薄膜二上旋涂光刻胶，并对光刻胶进行前烘和曝光，在薄膜二上形成光刻胶图形一；4)采用氧等离子体去胶机对光刻胶图形一进行氧等离子体干法刻蚀，在薄膜二上得到光刻胶图形二；5)用光刻胶图形二作为掩模，各向异性刻蚀薄膜二，形成薄膜二的纳米结构；6)在薄膜二的纳米结构表面保形沉积薄膜三；7)各向异性刻蚀薄膜三，在薄膜二的纳米结构四周形成纳米侧墙；8)各向异性刻蚀薄膜二的纳米结构，在衬底表面上留下纳米侧墙；9)以纳米侧墙为掩模，各向异性刻蚀衬底，在衬底上得到最终纳米结构；10)腐蚀掉最终纳米结构上残留的侧墙。



1、一种多样性纳米结构的加工方法，其步骤包括：

- 1) 准备并清洗衬底；
- 2) 在所述衬底的表面上依次沉积薄膜一和薄膜二；
- 3) 在所述薄膜二上旋涂光刻胶，并对所述光刻胶进行前烘和曝光，之后对所述光刻胶进行显影，在所述薄膜二上形成光刻胶图形一；
- 4) 采用氧等离子体去胶机对所述光刻胶图形一进行氧等离子体干法刻蚀，在所述薄膜二上得到光刻胶图形二；
- 5) 用所述光刻胶图形二作为掩模，各向异性刻蚀所述薄膜二，形成薄膜二的纳米结构；
- 6) 在所述薄膜二的纳米结构表面保形沉积薄膜三；
- 7) 各向异性刻蚀所述薄膜三，在所述薄膜二的纳米结构四周形成薄膜三的纳米侧墙；
- 8) 各向异性刻蚀所述薄膜二的纳米结构，在所述衬底表面上留下所述薄膜三的纳米侧墙；
- 9) 以所述薄膜三的纳米侧墙为掩模，各向异性刻蚀所述衬底，在衬底上得到最终纳米结构；
- 10) 腐蚀掉所述最终纳米结构上残留的薄膜三的纳米侧墙，在衬底表面上留下所述最终纳米结构。

2、如权利要求 1 所述的一种多样性纳米结构的加工方法，其特征在于：所述步骤 3) 中，可通过紫外光刻设备得到所述光刻胶图形一。

3、如权利要求 1 所述的一种多样性纳米结构的加工方法，其特征在于：所述步骤 8) 中，所述薄膜二的材料的刻蚀速率高于所述薄膜三的材料。

4、如权利要求 2 所述的一种多样性纳米结构的加工方法，其特征在于：所述步骤 8) 中，所述薄膜二的材料的刻蚀速率高于所述薄膜三的材料。

5、如权利要求 1 或 2 或 3 或 4 所述的一种多样性纳米结构的加工方法，其特征在于：所述步骤 9) 中，所述衬底的材料的刻蚀速率高于所述薄膜三的材料。

6、如权利要求 1 或 2 或 3 或 4 所述的一种多样性纳米结构的加工方法，其特征在于：所述衬底、薄膜一、薄膜二和薄膜三的材料为微电子工艺和 MEMS 工艺中的常用材料。

7、如权利要求 5 所述的一种多样性纳米结构的加工方法，其特征在于：所述衬底、薄膜一、薄膜二和薄膜三的材料为微电子工艺和 MEMS 工艺中的常用材料。

一种多样性纳米结构的加工方法

技术领域

本发明涉及一种纳米材料的加工方法，特别是关于一种多样性纳米结构的加工方法。

背景技术

纳米结构是指在任一维度或多个维度上，尺寸或控制精度达到纳米量级的任何材料的几何结构。目前研究较多的纳米结构包括纳米线、纳米梁、纳米柱、纳米孔和纳米针尖等，其材质多为半导体材料，如单晶硅、多晶硅等。这些纳米结构在生物、医学、化学、材料学、电子学和国防等多学科领域都有着广泛的应用。例如，由半封闭连续纳米线组成的纳米流道可作为微流道的连接器，实现微流体的控制，还可作为生物分子、化学物质及 DNA 的传输通道应用于生物分子和病毒的病变检测、化学成分分析以及 DNA 的分离等；由半导体纳米线构成的纳米沟道可作为电子器件的载流子传输通道；半导体纳米针尖阵列可作为电子发射针尖应用于场发射器件；悬浮纳米梁可作为基础功能结构应用于纳米谐振器件；悬浮纳米梁与 MOSFET 相结合可用于制备高灵敏度的惯性器件和生物分子检测器件，等等。因此，如何加工制造这些纳米结构逐渐成为人们极感兴趣、持续关注的重要事情，也是纳米科技的研究热点之一。

传统上，受光学光刻最小线宽的限制，采用常规光学光刻技术很难制备纳米尺度的结构。近年来，纳米结构的加工很大程度上依赖于先进、昂贵、低效的光刻或刻蚀技术，如电子束光刻 (E-Beam Lithography) 和聚焦离子束 (Focused Ion Beam，简称 FIB) 刻蚀等方法。

电子束光刻技术是指在计算机的控制下，利用聚焦后的电子束对样品表面上的电子抗蚀剂进行曝光，从而制造图形的工艺。电子束光刻是常规光学光刻技术的延伸应用，根据德布罗意的物质波理论，电子是一种波长极短的波。因此，电子束光刻的精度可以达到纳米量级，从而为制作纳米结构提供了很有效的工具。聚焦离子束刻蚀技术是一种可在微米或纳米尺度上，进行结构加工和原位成像的先进技术。其基本工作原理为：液态金属离子源（通常是 Ga⁺）在高压电场（如 30 KeV）作用下发射出高能离子束；高能离子束经过聚焦系统在样品表面形成纳米量级的离子束斑，利用纳米量级的离子束斑在样品表面进行扫描，在一定能量

和剂量下，被扫描区域的样品材料将被溅射出来，从而实现纳米尺度的结构刻蚀功能。由于电子束光刻和聚焦离子束刻蚀都需要依赖于尖端曝光或刻蚀设备，而这类尖端设备的价格昂贵，且多是串行加工模式；因此使得纳米结构的加工备受限制，极大地影响了其在研究、开发和生产等各方面的推广应用。

近年来还提出了采用化学生长技术制备纳米结构的方法，如自催化 VLS (Vapor-Liquid-Solid) 生长机制。然而，利用自催化 VLS 生长机制制备纳米结构时，金属催化剂的随机分布使得纳米结构难以在确定位置生长。并且采用这种生长机制制备的纳米结构很难控制其在各个维度上的一致性，尤其是水平方向上的控制更加困难。

发明内容

针对上述问题，本发明的目的是提供一种可有效克服电子束光刻和聚焦离子束刻蚀技术在批量加工方面的限制，并可很好地控制平面位置和尺度一致性的多样性纳米结构的加工方法。

为实现上述目的，本发明采取以下技术方案：一种多样性纳米结构的加工方法，其步骤包括：1) 准备并清洗衬底；2) 在所述衬底的表面上依次沉积薄膜一和薄膜二；3) 在所述薄膜二上旋涂光刻胶，并对所述光刻胶进行前烘和曝光，之后对所述光刻胶进行显影，在所述薄膜二上形成光刻胶图形一；4) 采用氧等离子体去胶机对所述光刻胶图形一进行氧等离子体干法刻蚀，在所述薄膜二上得到光刻胶图形二；5) 用所述光刻胶图形二作为掩模，各向异性刻蚀所述薄膜二，形成薄膜二的纳米结构；6) 在所述薄膜二的纳米结构表面保形沉积薄膜三；7) 各向异性刻蚀所述薄膜三，在所述薄膜二的纳米结构四周形成薄膜三的纳米侧墙；8) 各向异性刻蚀所述薄膜二的纳米结构，在所述衬底表面上留下薄膜三的纳米侧墙；9) 以所述薄膜三的纳米侧墙为掩模，各向异性刻蚀所述衬底，在衬底上得到最终纳米结构；10) 腐蚀掉所述最终纳米结构上残留的薄膜三的纳米侧墙，在衬底表面上留下所述最终纳米结构。

所述步骤 3) 中，可通过紫外光刻设备得到所述光刻胶图形一。

所述步骤 8) 中，所述薄膜二的材料的刻蚀速率高于所述薄膜三的材料。

所述步骤 9) 中，所述衬底的材料的刻蚀速率高于所述薄膜三的材料。

所述衬底、薄膜一、薄膜二和薄膜三的材料为微电子工艺和 MEMS 工艺中的常用材料。

本发明由于采取以上技术方案，其具有以下优点：1、本发明以氧等离子体干法去胶技术为基础，利用氧等离子体干法去胶过程中光刻胶尺寸逐渐缩小的特性，

实现了微米尺度光刻胶图形在水平方向上有效缩小至纳米尺度，整个过程仅需采用一次常规光学光刻工艺，不依赖于尖端光刻、刻蚀设备，从而突破了电子束光刻和聚焦离子束刻蚀技术在批量加工方面的限制。2、本发明由常规光学光刻技术发展而来，因此可以通过设计光刻版图精确地控制纳米结构的位置，从而有效地解决了自催化 VLS 生长机制中纳米结构随机分布的问题。3、通过改变衬底的材料、氧等离子体干法刻蚀光刻胶图形的时间、薄膜的沉积厚度和各向异性刻蚀衬底的深度等方法，来调控纳米结构的结构参数，包括纳米结构的宽度、高度，两平行纳米结构之间的最小距离，纳米结构的导电特性和机械特性等，大大提高了纳米结构的生产效率和集成度，有利于降低工业化生产成本，促进纳米器件的研究和生产开发。本发明的方法可以用于生物医学检测器件、微流控器件、电子器件以及纳米谐振器的生产中，批量制备平行纳米线、空心纳米柱、并排纳米梁等多样化小间隔纳米结构。

附图说明

图 1 是本发明在衬底上沉积两层薄膜并旋涂光刻胶后的示意图

图 2 是本发明图形化光刻胶后的示意图

图 3 是本发明氧等离子体干法刻蚀光刻胶一段时间后的示意图

图 4 是本发明以剩余光刻胶图形为掩模各向异性刻蚀上层薄膜材料后的示意图

图 5 是本发明去除残留光刻胶后的示意图

图 6 是本发明在纳米结构上保形沉积另一薄膜后的示意图

图 7 是本发明各向异性刻蚀薄膜后的示意图

图 8 是本发明选择性刻蚀纳米结构留下侧墙结构的示意图

图 9 是本发明以侧墙结构为掩模各向异性刻蚀衬底材料后的示意图

图 10 是本发明去除残留侧墙结构后的示意图

具体实施方式

下面结合附图和实例对本发明进行详细的描述。

本发明基于常规光学光刻技术，利用氧等离子体干法去胶过程中光刻胶尺寸逐渐缩小的特性，实现了微米尺度光刻胶图形在水平方向上有效缩小至纳米尺度，形成了纳米结构一次光刻成型的并行加工方法。同时本发明结合纳米侧墙工艺，可将纳米结构之间的距离缩小到纳米量级。

如图 1 所示，本发明的纳米结构一次光刻成型的并行加工方法，其原理为：在衬底 1 表面沉积薄膜一 2 和薄膜二 3，并旋涂光刻胶 4。如图 2 所示，采用常规

光学光刻设备对光刻胶 4 进行曝光，使用显影液对光刻胶 4 进行显影。在显影过程中，去除多余的光刻胶 4，在薄膜二 3 表面上只留下预先设计的光刻胶图形 41。如图 3 所示，用氧等离子体干法刻蚀光刻胶图形 41 一段时间，由于氧等离子体干法刻蚀光刻胶过程中，光刻胶图形 41 在各个维度上的尺寸都会逐渐缩小。最后在薄膜二 3 表面上留下纳米尺度的光刻胶图形 42，图 3 中的虚线表示原光刻胶图形 41 的轮廓位置。如图 4 所示，以纳米尺度的光刻胶图形 42 为掩模，各向异性刻蚀薄膜二 3，得到薄膜二 3 的纳米结构 31。如图 5 所示，通过湿法腐蚀去掉残留的光刻胶图形 42，于是在薄膜一 2 的表面上留下薄膜二 3 的纳米结构 31。本发明的实施例中，得到光刻胶图形 41 的过程可以通过紫外光刻设备实现，而无需使用电子束光刻等尖端设备；使用氧等离子体干法刻蚀光刻胶得到纳米尺度的光刻胶图形 42，并以光刻胶图形 42 为刻蚀掩模，在薄膜一 2 表面上实现薄膜二 3 的纳米结构 31 的过程，均可以采用常规去胶和刻蚀设备实现。

如图 6 所示，在薄膜二 3 的纳米结构 31 表面上保形沉积薄膜三 5，且薄膜三 5 与薄膜一 2 为同一种材料。薄膜三 5 的沉积厚度可依据薄膜二 3 的厚度，以及薄膜一 2 材料和薄膜二 3 材料的刻蚀选择比共同确定。如图 7 所示，各向异性刻蚀薄膜三 5，在薄膜二 3 的纳米结构 31 四周形成由薄膜三 5 构成的侧墙结构 51。如图 8 所示，选择性刻蚀薄膜二 3 的纳米结构 31，薄膜一 2 会在刻蚀薄膜二 3 的纳米结构 31 的过程中被刻蚀掉，只剩下侧墙结构 51 与衬底 1 之间的部分。如图 9 所示，以纳米侧墙结构 51 为掩模，各向异性刻蚀衬底 1，在衬底 1 上得到间隔和尺寸都在纳米量级的最终纳米结构 11。如图 10 所示，用材料 5 的选择性腐蚀剂腐蚀残留纳米侧墙 51，在衬底上留下最终纳米结构 11。

在各向异性刻蚀薄膜二 3 的纳米结构 31 时，薄膜二 3 的材料的刻蚀速率高于所述薄膜三 5 的材料，以满足在薄膜二 3 的纳米结构 31 四周形成薄膜三 5 的纳米侧墙结构 51。在各向异性刻蚀衬底 1 时，衬底 1 的材料的刻蚀速率高于薄膜三 5 的材料，以满足在衬底 1 上各向异性刻蚀，得到最终纳米结构 11。另外，基于与薄膜二 3 刻蚀选择比高的原则，薄膜一 2 材料通常可与薄膜三 5 材料相同。在微电子工艺中和 MEMS 工艺中，适用于本发明衬底 1 的常用材料包括单晶硅、多晶硅、二氧化硅和金属等；适用于薄膜一 2 和薄膜三 5 的常用材料包括二氧化硅、多晶硅和碳化硅等；相对应地，适合作为薄膜二 3 的材料包括二氧化硅、多晶硅和碳化硅等。

本发明的加工过程中，通过改变衬底 1 的材料、氧等离子体干法刻蚀光刻胶图形 41 的时间、薄膜三 5 的沉积厚度和各向异性刻蚀衬底 1 的深度等方法，来调

控最终纳米结构 11 的结构参数，包括最终纳米结构 11 的宽度、高度，两平行最终纳米结构 11 之间的最小距离，以及最终纳米结构 11 的导电特性和机械特性等，大大提高了纳米结构的生产效率和集成度，有利于降低工业化生产成本，促进纳米器件的研究和生产开发。例如，通过改变氧等离子体干法刻蚀光刻胶图形 41 的去胶时间，可以方便地调整薄膜二 3 的纳米结构 31 的尺寸，从而调整平行纳米侧墙结构 51 之间的距离；通过改变保形沉积薄膜三 5 的厚度可以方便地调整纳米侧墙结构的宽度，从而调控最终纳米结构 11 的结构参数。本发明通过这样简单便捷的加工过程，可以以此工艺为基础得到多样性纳米结构，并由多样性纳米结构构成多种形式的器件。

下面通过实施例，对本发明的方法进一步描述：

以单晶硅作为衬底 1 材料，以二氧化硅作为薄膜一 2 和薄膜三 5 的材料，以多晶硅作为薄膜二 3 的材料为例，基于利用氧等离子体干法去胶过程中光刻胶尺寸逐渐缩小的特性的多样性纳米结构的并行加工方法如下：

- 1) 准备并清洗所选用的单晶硅的衬底 1。
- 2) 在衬底 1 的表面上依次沉积二氧化硅的薄膜一 2 和多晶硅的薄膜二 3。
- 3) 在薄膜二 3 上旋涂光刻胶 4，并采用常用设备对光刻胶 4 进行前烘和曝光，之后用与光刻胶 4 相对应的显影液进行显影，在薄膜二 3 上形成光刻胶图形 41。
- 4) 采用氧等离子体去胶机对光刻胶图形 41 进行氧等离子体干法刻蚀，在薄膜二 3 上得到纳米尺度的光刻胶图形 42。
- 5) 利用纳米尺度的光刻胶图形 42 作为掩模，各向异性刻蚀薄膜二 3，形成薄膜二 3 的多晶硅的纳米结构 31。
- 6) 在薄膜二 3 的纳米结构 31 表面保形沉积二氧化硅的薄膜三 5。
- 7) 通过各向异性刻蚀薄膜三 5，在薄膜二 3 的纳米结构 31 的四周形成纳米侧墙 51。
- 8) 各向异性刻蚀薄膜二 3 的纳米结构 31，在衬底 1 表面上留下二氧化硅的侧墙 51。
- 9) 以侧墙 51 为掩模，各向异性刻蚀衬底 1，在衬底上得到纳米间隔的最终纳米结构 11。
- 10) 用缓冲氢氟酸腐蚀掉最终纳米结构 11 上残留的侧墙 51，在衬底表面上留下最终纳米结构 11。

如图 2 和图 10 所示，采用本发明的纳米结构一次光刻成型的并行加工方法，可以将由常规光学光刻最小线宽决定的微米量级的光刻胶图形，通过一次氧等离

子体干法刻蚀，将光刻胶图形 41 缩小到纳米尺度的光刻胶图形 42，从而可以获得纳米尺度的纳米结构 31。如图 7~图 9 所示，本发明与结合侧墙工艺，根据纳米结构的设计要求在薄膜二 3 的纳米结构 31 四周或两侧制作纳米侧墙结构 51，可保证平行纳米侧墙结构 51 之间的距离在纳米量级，进一步地提高纳米结构的集成度。综上所述可知，最终得到的纳米结构之间的距离可以通过改变氧等离子体干法刻蚀光刻胶的时间加以调控。

本发明的方法基于现有微电子制造技术，无需使用电子束光刻和聚焦离子束刻蚀等尖端光刻、刻蚀设备，上述步骤都可方便地进行。因此本发明方法中纳米结构的批量加工成本可以得到很好的控制，同时对纳米结构的各种尺寸参数具有足够的控制精度。

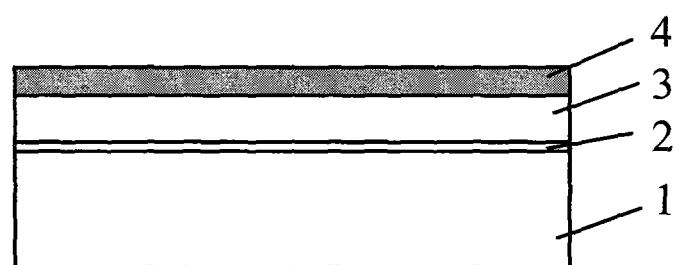


图 1

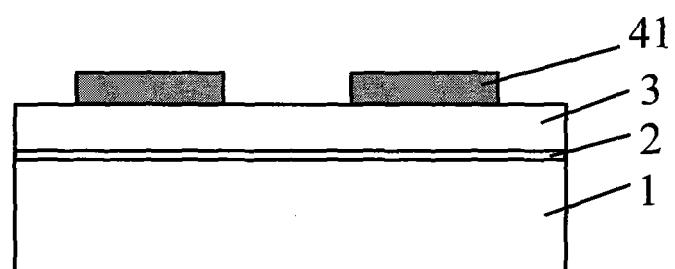


图 2

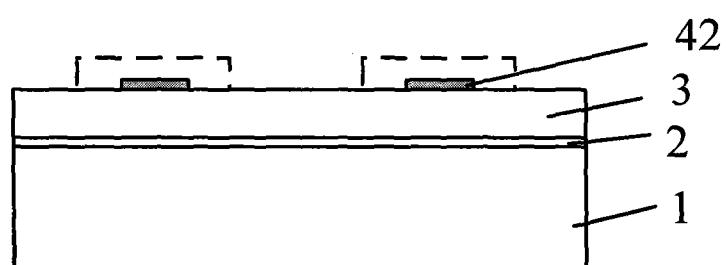


图 3

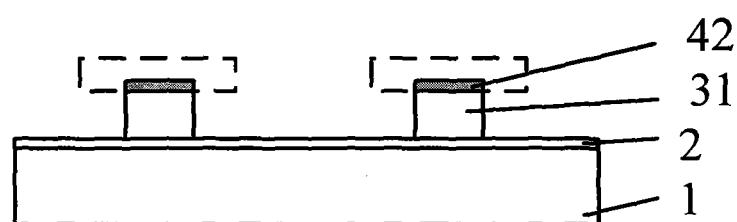


图 4

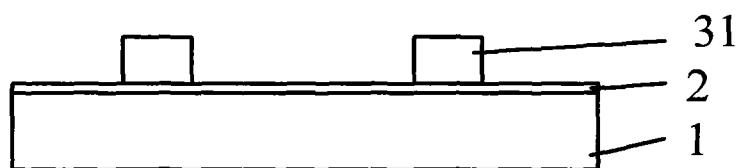


图 5

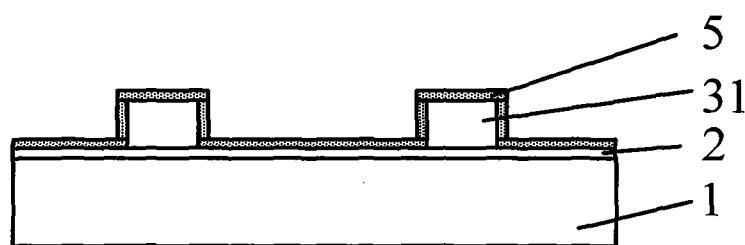


图 6

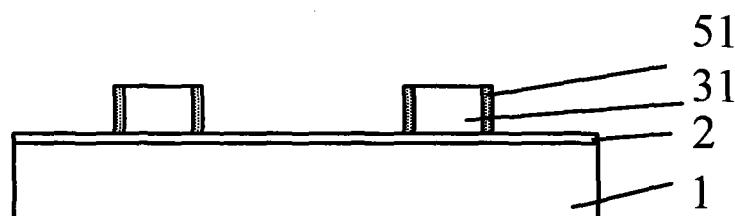


图 7

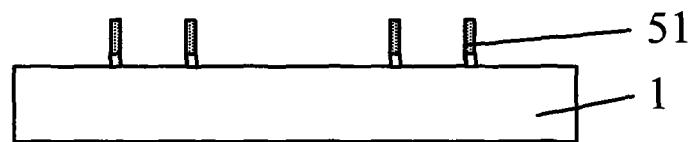


图 8

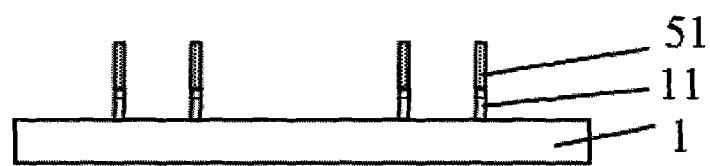


图 9



图 10