



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102766892 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 29

(21) 申请号 201210284722. 5

(22) 申请日 2012. 08. 10

(73) 专利权人 中国科学院重庆绿色智能技术研究院

地址 400714 重庆市北碚区方正大道 266 号

(72) 发明人 张为国 史浩飞 董小春 夏良平 杜春雷

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 王宝筠

(51) Int. Cl.

G25D 5/00(2006. 01)

G25F 3/00(2006. 01)

G25F 7/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1425805 A, 2003. 06. 25, 说明书全文.

CN 101234744 A, 2008. 08. 06, 说明书全文.

US 2009/0218233 A1, 2009. 09. 03, 权利要求

1.

张杰等. “电化学微 / 纳米加工技术”. 《大学化学》. 2012, 第 27 卷 (第 3 期), 第 1-8 页.

审查员 王丽娜

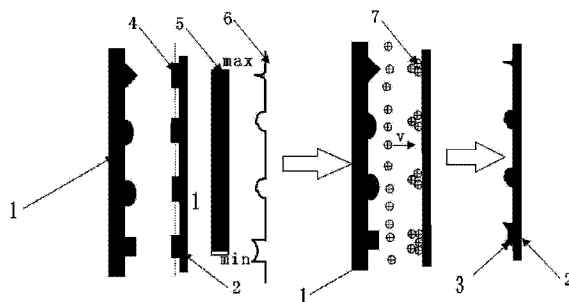
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

微纳加工方法和设备

(57) 摘要

本发明公开了一种微纳加工方法和设备。采用待加工衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式确定电极板的结构;然后根据该电极板的结构和待加工衬底上预加工微纳结构指标确定电化学溶液;再将分别连接电流源的阳极或阴极的电极板与衬底按照相对方式放置于电化学溶液中,通电后,在预设时间内搅拌所述电化学溶液,利用该电化学溶液中的载流子制备位于所述衬底上符合所述预设指标的微纳结构。本发明通过控制待微纳加工的衬底表面静电场分布来控制电化学溶液中的反应离子,最终在该衬底上制备出具有一定面形分布的微纳结构。从而实现利用静电场操控三维及曲面衬底微纳结构低成本、高效率、高精度成形的目的。



1. 一种微纳加工方法,其特征在于,包括:

获取待微纳加工的衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式 $\frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial n} = -2H$, 确

定电极板的结构;

其中,各项参数包括所述衬底的衬底形状、尺寸、导电性、预加工微纳结构指标和衬底表面各位置处静电场的电场强度 E , n 为静电场的法向分量或径向分量, H 为电极板各位置处的平均曲率半径;

依据所述电极板的结构和所述衬底的预加工微纳结构指标,确定预设加工微纳结构的方式对应的电化学溶液的配制比例,并获取所述电化学溶液;

依据预设加工微纳结构的方式将所述电极板和衬底分别连接电流源的阳极或阴极,并将所述电极板和衬底的部分或全部依据相对方式放置于所述电化学溶液中;

上电,在预设时间内搅拌所述电化学溶液,使所述电化学溶液中的载流子向所述衬底上运动,获得位于所述衬底上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述预设加工微纳结构的方式包括电镀沉积或电解刻蚀;

当所述预设加工微纳结构的方式为电镀沉积时,所述电极板与所述电流源的阳极连接,所述衬底与所述电流源的阴极连接;

当所述预设加工微纳结构的方式为电解刻蚀时,所述电极板与所述电流源的阴极连接,所述衬底与所述电流源的阳极连接。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述预设加工微纳结构的方式包括电镀沉积或电解刻蚀;

所述电化学溶液中的阳离子与对应电镀沉积或电解刻蚀的所述衬底的材料为同一种元素。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,包括:在所述电化学溶液中相对平行正对放置、倾斜放置、垂直放置或偏移放置所述电极板与所述衬底;

所述电极板与所述衬底的距离范围为 $0 \sim 0.2\text{mm}$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,依据所述待微纳加工的衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式确定的电极板的结构具体为:

按照所述导体表面电场分布方式设置所述电极板表面上的微结构图形;

以圆形、方形、多边形,椭圆形,球形、椭球形、或各类不规则曲面中的任意一种形状或任意组合形状作为所述电极板的整体形状;

以带通孔、通缝,孔或缝的轮廓作为所述电极板的闭合曲线;

以导电材料;或者附有导电材料图形的绝缘材料;或者附有导电材料的半导体材料构成所述电极板;

其中,所述电极板所占空间尺寸为 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 0.1\text{mm}$ 到 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$;所述电极板至少包括一个。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述衬底由硅、锗、砷化镓、ITO、石墨烯、金属、塑料、PMMA、PDMS,碳化硅、氮化硅或陶瓷材料构成;

所述衬底的形状包括:圆盘状、直边轮廓平板、曲线轮廓平板、椭球形、球形、抛物面状、

双曲面状、马鞍面状、圆柱面状、指数面状、三角函数面状、锯齿面状、带通孔或无通孔的平面形状或曲面形状；

所述衬底所占空间尺寸为 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 0.1\text{mm}$ 到 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。

7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述电流源的电流范围包括: 0mA 到 1000A ;

所述预设时间包括: $0 \sim 99999$ 秒;

其中, 在所述预设时间内, 所述电流源的电流随所述预设时间按直线、梳状函数、周期门函数、三角函数、锯齿波函数或指数函数的波形变化。

8. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 搅拌所述电化学溶液时的搅拌幅度低于所述电化学溶液的液面高度。

9. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 当所述待微纳加工的衬底为多个时, 单次采用所述微纳加工方法对一个所述待微纳加工的衬底进行微纳加工; 或者, 单次同时对多个所述待微纳加工的衬底进行微纳加工。

10. 一种微纳加工设备, 其特征在于, 包括:

待微纳加工的衬底;

电极板, 所述电极板依据待微纳加工的衬底的各项参数, 以及导体表面电场分布方式

$$\frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial n} = -2H \text{ 确定结构};$$

其中, 各项参数包括所述衬底的衬底形状、尺寸、导电性、预加工微纳结构指标和衬底表面各部分静电场的电场强度 E , n 为静电场的法向分量或径向分量, H 为电极板个位置处的平均曲率半径;

溶液槽, 所述溶液槽用于承载依据所述电极板的结构和所述衬底的预加工微纳结构指标, 确定预设加工微纳结构的方式对应的配置比例的电化学溶液, 以及部分或全部设置于所述电化学溶液中的所述电极板和衬底;

电流源, 所述电流源的阳极或阴极依据预设加工微纳结构的方式将所述电极板和衬底分别连接;

探入所述溶液槽内的搅拌装置, 所述搅拌装置探入所述电化学溶液的部分为绝缘体, 当所述电流源上电时, 所述搅拌装置在预设时间内搅拌所述电化学溶液, 使所述电化学溶液中的载流子在所述衬底上运动, 获得位于所述衬底上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构。

微纳加工方法和设备

技术领域

[0001] 本发明涉及微纳加工技术领域,更具体的说,是涉及一种基于控制静电场分布的微纳加工方法和设备。

背景技术

[0002] 针对在微纳光电子、半导体、微机械、生物芯片、微纳生物探测等领域有着广泛应用的微纳结构,主流的微纳加工技术主要有传统的光刻技术、各种束写技术以及纳米压印技术等。

[0003] 采用光刻技术进行微纳加工,可高效率地实现微纳结构图形的批量化制备。但是,在制备高面型精度的 3D 图形方面,该光刻技术却无能为力。同时,为防止光的衍射作用造成的图形虚边等不良影响,需掩模板与图形紧密压合。由于,掩模板为平面的硬质材料,因此只能在平面衬底上制备微纳图形,而在曲面衬底上制备微纳结构的则有较大难度。

[0004] 针对上述问题,各种束写技术虽然可实现 3D 微纳加工和曲面衬底微纳加工,但是,与光刻技术相同,两者均采用逐点写入方式,加工效率较低。且,由于基于各种束写技术的设备较为昂贵而复杂,因此该技术仅适合用于研究目的,难以应用于大规模生产。

[0005] 针对 3D 图形微加工和曲面衬底微加工方面的问题,近几年来刚兴起一新型微纳加工技术—纳米压印技术,其可实现平面图形以及圆柱形衬底上的微纳加工,具有效率高、加工成本低等优点。但是,采用该纳米压印技术难以去除残余的底胶,同时在球形以及表面有起伏的衬底上难以实现微纳结构的加工制备。从而无法达到精确的实现微纳加工,尤其是在 3D 图形微加工和曲面衬底微加工方面。

[0006] 由此可知,如何低成本、高效率,高精确度的实现微纳结构的加工,特别是 3D 微纳结构和曲面衬底微纳结构的加工,是目前急需解决的课题之一。

发明内容

[0007] 有鉴于此,本发明提供了一种微纳加工方法和设备,以克服现有技术中无法实现在执行微纳加工过程中同时兼顾低成本、高效率、高清度的问题。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0009] 一种微纳加工方法,包括:

[0010] 获取待微纳加工的衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式 $\frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial n} = -2H$,

确定电极板的结构;

[0011] 其中,各项参数包括所述衬底的衬底形状、尺寸、导电性、预加工微纳结构指标和衬底表面各位置处静电场的电场强度 E , n 为静电场的法向分量或径向分量, H 为电极板各位置处的平均曲率半径;

[0012] 依据所述电极板的结构和所述衬底的预加工微纳结构指标,确定预设加工微纳结构的方式对应的电化学溶液的配置比例,并获取所述电化学溶液;

[0013] 依据预设加工微纳结构的方式将所述电极板和衬底分别连接电流源的阳极或阴极,并将所述电极板和衬底的部分或全部依据相对方式放置于所述电化学溶液中;

[0014] 上电,在预设时间内搅拌所述电化学溶液,使所述电化学溶液中的载流子向所述衬底上运动,获得位于所述衬底上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构。

[0015] 优选的,所述预设加工微纳结构的方式包括电镀沉积或电解刻蚀;

[0016] 当所述预设加工微纳结构的方式为电镀沉积时,所述电极板与所述电流源的阳极连接,所述衬底与所述电流源的阴极连接;

[0017] 当所述预设加工微纳结构的方式为电解刻蚀时,所述电极板与所述电流源的阴极连接,所述衬底与所述电流源的阳极连接。

[0018] 优选的,所述预设加工微纳结构的方式包括电镀沉积或电解刻蚀;

[0019] 所述电化学溶液中的阳离子与对应电镀沉积或电解刻蚀的所述衬底的材料为同一种元素。

[0020] 优选的,包括:在所述电化学溶液中相对平行正对放置、倾斜放置、垂直放置或偏移放置所述电极板与所述衬底;

[0021] 所述电极板与所述衬底的距离范围为 0~10m 米。

[0022] 优选的,依据所述待微纳加工的衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式确定的电极板的结构具体为:

[0023] 按照所述导体表面电场分布方式设置所述电极板表面上的微结构图形;

[0024] 以圆形、方形、多边形,椭圆形,球形、椭球形、或各类不规则曲面中的任意一种形状或任意组合形状作为所述电极板的整体形状;

[0025] 以带通孔、通缝,孔或缝的轮廓作为所述电极板的闭合曲线;

[0026] 以导电材料;或者附有导电材料图形的绝缘材料;或者附有导电材料的半导体材料构成所述电极板;

[0027] 其中,所述电极板所占空间尺寸为 1mm 毫米 × 1mm 毫米 × 0.1mm 毫米到 10m 米 × 10m 米 × 10m 米;所述电极板至少包括一个。

[0028] 优选的,所述衬底由硅、锗、砷化镓、ITO、石墨烯、金属、塑料、PMMA、PDMS,碳化硅、氮化硅或陶瓷材料构成;

[0029] 所述衬底的形状包括:圆盘状、直边轮廓平板、曲线轮廓平板、椭球形、球形、抛物面状、双曲面状、马鞍面状、圆柱面状、指数面状,三角函数面状、锯齿面状、带通孔或无通孔的平面形状或曲面形状;

[0030] 所述衬底所占空间尺寸为 1mm 毫米 × 1mm 毫米 × 0.1mm 毫米到 10m 米 × 10m 米 × 10m 米。

[0031] 优选的,所述电流源的电流范围包括:0mA 毫安到 1000A 安;

[0032] 所述预设时间包括:0~99999 秒;

[0033] 其中,在所述预设时间内,所述电流源的电流随所述预设时间按直线、梳状函数、周期门函数、三角函数、锯齿波函数或指数函数的波形变化。

[0034] 优选的,搅拌所述电化学溶液时的搅拌幅度低于所述电化学溶液的液面高度。

[0035] 优选的,当所述待微纳加工的衬底为多个时,单次采用所述微纳加工方法对一个所述待微纳加工的衬底进行微纳加工;或者,单次同时对多个所述待微纳加工的衬底进行

微纳加工。

[0036] 一种微纳加工设备,包括:

[0037] 待微纳加工的衬底;

[0038] 电极板,所述电极板依据待微纳加工的衬底的各项参数,以及导体表面电场分布方式 $\frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial n} = -2H$ 确定结构;

[0039] 其中,各项参数包括所述衬底的衬底形状、尺寸、导电性、预加工微纳结构指标和衬底表面各部分静电场的电场强度 E, n 为静电场的法向分量或径向分量, H 为电极板个位置处的平均曲率半径;

[0040] 溶液槽,所述溶液槽用于承载依据所述电极板的结构和所述衬底的预加工微纳结构指标,确定预设加工微纳结构的方式对应的配置比例的电化学溶液,以及部分或全部设置于所述电化学溶液中的所述电极板和衬底;

[0041] 电流源,所述电流源的阳极或阴极依据预设加工微纳结构的方式将所述电极板和衬底分别连接;

[0042] 探入所述溶液槽内的搅拌装置,所述搅拌装置探入所述电化学溶液的部分为绝缘体,当所述电流源上电时,所述搅拌装置在预设时间内搅拌所述电化学溶液,使所述电化学溶液中的载流子在所述衬底上运动,获得位于所述衬底上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构。

[0043] 经由上述的技术方案可知,与现有技术相比,本发明公开了一种微纳加工方法和设备。采用待微纳加工的衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式确定电极板的表面形貌和面积,及确定电极板的结构;然后根据该电极板的结构和待微纳加工的衬底的预加工微纳结构指标确定电化学溶液;再将分别连接电流源的阳极或阴极的电极板与衬底部分或全部按照相对方式放置于电化学溶液中,在通电后,在预设时间内搅拌所述电化学溶液,利用该电化学溶液中的载流子制备位于所述衬底上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构。上述本发明通过控制待微纳加工的衬底表面静电场分布来控制电化学溶液中的反应离子,或者载流子向衬底各部位运动的速率,从而控制各个衬底相应位置处按照预设加工微纳结构的方式的速率,最终在该衬底上制备出具有一定面形分布的微纳结构。从而实现利用静电场操控三维及曲面衬底微纳结构低成本、高效率、高精度成形的目的。

附图说明

[0044] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0045] 图 1 为本发明实施例公开的控制静电场分布的微纳结构电化学加工方法的原理示意图;

[0046] 图 2 为本发明实施例一公开的一种微纳加工方法的流程图;

[0047] 图 3 为本发明实施例公开的在各种衬底上制作微纳结构示意图;

[0048] 图 4 为本发明实施例公开的电极板结构示意图;

[0049] 图 5 为本发明该实施例二公开的一种微纳加工设备的结构示意图；

[0050] 图 6 为本发明实施例三公开的一种微纳加工方法的流程图。

具体实施方式

[0051] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0052] 本发明采用控制静电场分布的电化学加工方法,根据衬底上待加工微纳结构的指标,结合静电场在导体表面分布的微分方程,设计电极板结构,并根据电极板和待微纳加工结构的性质配置电化学溶液。并将电极板与衬底分别连接电流源的阳极和阴极,以正对方式置入电化学溶液中。在通电后使得电化学溶液中的载流子以不同速率向衬底的各个位置运动,并在衬底上被还原为金属微纳结构。最后通过搅拌溶液,使得衬底表面附近的载流子得到及时补充。实现在任意面形的衬底上获得任意二维或三维微纳尺度图形,以便于解决目前较流行的光刻技术与各种复制印刷技术,以及 3D 微纳结构难以加工的难题,同时解决了目前难以在曲面衬底上制备微纳图形的问题。具体过程通过以下实施例进行详细说明。

[0053] 实施例一

[0054] 如图 1 所示,为控制静电场分布的微纳结构电化学加工方法的原理示意图,其中 1 为电极板,2 为待加工衬底,3 为要制备的微纳结构,4 为虚拟静电场在衬底附近强度分布,5 为电场强度的颜色标度尺,颜色越深代表场强越强,6 为待加工衬底表面附近一平面(虚线位置处)上场强的轮廓曲线,7 为电化学溶液中的载流子。

[0055] 基于上述结构,如图 2 所示,为本发明实施例公开的一种微纳加工方法的流程图,主要包括以下步骤:

[0056] 步骤 S101,获取待微纳加工的衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式

$$\frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial n} = -2H, \text{ 确定电极板的结构。}$$

[0057] 在步骤 S101 中,各项参数包括所述衬底的衬底形状、尺寸、导电性、预加工微纳结构指标和衬底表面各部分静电场的电场强度。

[0058] 在 $\frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial n} = -2H$ 中,E 为衬底表面各部分静电场的电场强度,n 为静电场的法向分量或径向分量,H 为电极板各位置处的平均曲率半径。

[0059] 在该步骤 S101 中确定电极板的结构时,根据电极板结构表面为等势面,并且电场线垂直于电极板表面的原理,结合上述给出的导体表面电场分布方式能够得到具体的电极板,或者根据上述需要可以设计出对应的电极板,从而使得在待微纳加工的衬底表面得到预期的电场分布。

[0060] 步骤 S102,依据所述电极板的结构和所述衬底的预加工微纳结构指标,确定预设加工微纳结构的方式对应的电化学溶液的配置比例,并获取所述电化学溶液。

[0061] 在步骤 S102 中,预设加工微纳结构的方式包括电镀沉积和电解刻蚀。在确定电化学溶液的过程中,根据当前的预设加工微纳结构的方式,电镀沉积或电解刻蚀确定对应的

电镀化学溶液或电解化学溶液的配置比例,以及确定电镀化学溶液或电解化学溶液中的阳离子,或者载流子与进行电镀沉积或电解刻蚀的所述衬底的材料为同一种元素。

[0062] 另外,配置而成的电化学溶液同时需要满足其对溶液槽、电极极板、待加工衬底无腐蚀作用的要求。

[0063] 步骤 S103,依据预设加工微纳结构的方式将所述电极板和衬底分别连接电流源的阳极或阴极,并将所述电极板和衬底的部分或全部依据相对方式放置于所述电化学溶液中。

[0064] 在步骤 S103 中,所述预设加工微纳结构的方式包括电镀沉积或电解刻蚀;当所述预设加工微纳结构的方式为电镀沉积时,所述电极板与所述电流源的阳极连接,所述衬底与所述电流源的阴极连接。

[0065] 当所述预设加工微纳结构的方式为电解刻蚀时,所述电极板与所述电流源的阴极连接,所述衬底与所述电流源的阳极连接。

[0066] 通过上述步骤 S103 将电极板与待微纳加工的衬底部分或全部放于盛有电化学溶液的溶液槽内,并通过不同的预设加工微纳结构的方式是使电极板和待微纳加工的衬底分别接电流源的正负两极,从而在待微纳加工的衬底表面形成稳恒静电场。

[0067] 另外,在步骤 S103 中所述电化学溶液中可采用相对平行正对放置、倾斜放置、垂直放置或偏移放置所述电极板与所述衬底,也就是说,电极板与衬底可平行正对放置、倾斜放置、垂直放置或偏移放置的方式放置于电化学溶液中;其中,电化学溶液可浸没电极板和衬底,也可部分浸没电极板和衬底;电极板与衬底距离可调,调整范围为 0~10m 米。

[0068] 在执行步骤 S103 后,还进一步的可以包括对电极板与衬底的相对位置进行调整,以及对电流源的电流大小和上电方式进行调整。

[0069] 步骤 S104,上电,在预设时间内搅拌所述电化学溶液,使所述电化学溶液中的载流子在所述衬底上运动,获得位于所述衬底上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构。

[0070] 在步骤 S104 中,通过上电后在预设时间内搅拌电化学溶液,使所述电化学溶液中的载流子在所述衬底上运动,进而通过构成的电场在衬底不同位置处的强弱分布获得相应的电流密度分布,从而在衬底表面获得不同的金属沉积或刻蚀速度,最终得到位于所述衬底上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构。其中,预设加工微纳结构指标的微纳结构既为预期面形的二维或三维微纳图形结构。

[0071] 另外,在执行步骤 S104 的过程中,通过搅拌电化学溶液,能够使得衬底表面附近的载流子得到及时补充,以便于更充分的对衬底完成微纳加工。

[0072] 在执行步骤 S104 中,上电的电流源的电流范围包括 :0mA 毫安到 100A 安,且可调节。该电流源可以具体为稳流源。该预设时间的范围包括 :0~9999s 秒;其中,在所述预设时间内,所述电流源的电流随所述预设时间按直线、梳妆函数、周期门函数、三角函数、锯齿波函数或指数函数的波形变化。

[0073] 另外,在执行步骤 S104 中的搅拌时,浸没于电化学溶液部分的搅拌装置为绝缘体,在其搅拌所述电化学溶液时的搅拌幅度低于所述电化学溶液的液面高度。

[0074] 通过执行上述步骤 S104,通过搅拌电化学溶液,使得载流子浓度均匀分布。然后再可控制的预设时间内通电加工,最后,待加工的微纳图形满足预期指标时,断电取出附有微纳结构的衬底。

[0075] 在上述本发明该实施例公开的步骤 S101~S104 中的方法中,通过采用控制静电场分布的电化学加工方法,可在任意面形的衬底上获得任意二维或三维微纳尺度图形。同时,从原理上完全不同于目前较流行的光刻技术与各种复制印刷技术,其分辨率不受衍射极限和模具尺寸的限制,能够解决了 3D 微纳结构难以加工的难题,同时解决了目前难以在曲面衬底上制备微纳图形的问题。另外,本发明该实施例公开的方法其加工效率较高,无需复杂设备,成本也较低,进一步的实现利用静电场操控三维及曲面衬底微纳结构低成本、高效率、高精度成形的目的。

[0076] 在上述本发明公开的实施例的基础上,需要说明的是:

[0077] 需要进行微纳加工的衬底由硅、锗、砷化镓、ITO、石墨烯、金属、塑料、PMMA、PDMS、碳化硅、氮化硅或陶瓷材料构成;

[0078] 所述衬底的形状包括:圆盘状、直边轮廓平板、曲线轮廓平板、椭球形、球形、抛物面状、双曲面状、马鞍面状、圆柱面状、指数面状,三角函数面状、锯齿面状、带通孔或无通孔的平面形状或曲面形状;

[0079] 所述衬底所占空间尺寸为 1mm 毫米 \times 1mm 毫米 \times 0.1mm 毫米到 10m 米 \times 10m 米 \times 10m 米。

[0080] 当所述待微纳加工的衬底为多个时,单次采用所述微纳加工方法对一个所述待微纳加工的衬底进行微纳加工;或者,单次同时对多个所述待微纳加工的衬底进行微纳加工。

[0081] 如图 3 所示,为在各种衬底上制作微纳结构示意图;其中,15 为平面衬底,16 为加工成型的微纳结构;17 为规则曲面衬底,18 为在该衬底上加工成型的微纳结构;19 为不规则曲面衬底,20 为在该衬底上加工成型的微纳结构。

[0082] 此外,执行步骤 S101 中依据所述待微纳加工的衬底的各项参数,并依据导体表面电场分布方式确定的电极板的结构至少包括一个,也可以为两个或多个,其具体为:

[0083] 按照所述导体表面电场分布方式设置所述电极板表面上的微结构图形;

[0084] 以圆形、方形、多边形,椭圆形,球形、椭球形、或各类不规则曲面中的任意一种形状或任意组合形状作为所述电极板的整体形状;

[0085] 以带通孔、通缝,孔或缝的轮廓作为所述电极板的闭合曲线;

[0086] 以导电材料;或者附有导电材料图形的绝缘材料;或者附有导电材料的半导体材料构成所述电极板;

[0087] 其中,所述电极板所占空间尺寸为 1mm 毫米 \times 1mm 毫米 \times 0.1mm 毫米到 10m 米 \times 10m 米 \times 10m 米。

[0088] 也就是说,所述电极板可以为金属、ITO、石墨烯等导电材料,也可为附有导电材料图形的石英、玻璃、塑料、氮化硅、碳化硅、陶瓷等绝缘材料,还可为附有导电材料的硅、锗、砷化镓等半导体材料。

[0089] 该电极极板整体形状可为圆形、方形、多边形,椭圆形,球形、椭球形、各种不规则曲面以及此类形状的各种组合。

[0090] 该电极极板可带通孔、通缝,孔或缝的轮廓为闭合曲线。

[0091] 其电极板表面带有的微结构图形,图形的材料、形状、尺寸、周期或非周期等性质根据预期加工的结果获得,或进行设计。

[0092] 如图 4 所示,为电极板结构示意图;图中 12 为电极板衬底,13 为电极板表面结构,

14 为电极板通孔；电极板衬底可为半导体、绝缘体、导体等各种材料，表面微结构为导体材料。电极板并非仅为示意图一种形式，根据具体设计需要，可有任意变化。

[0093] 上述本发明公开的实施例中详细描述了微纳加工方法，对于本发明的方法可采用多种形式的设备实现，因此本发明还公开了一种微纳加工设备，下面给出具体的实施例进行详细说明。

[0094] 实施例二

[0095] 如图 5 所示，为本发明该实施例公开的一种微纳加工设备的结构示意图，主要包括：电极板 1，衬底 2，电化学溶液 8，溶液槽 9，搅拌装置 10 和电流源 11。

[0096] 该衬底 2 为待微纳加工的衬底。

[0097] 所述电极板 1 依据待微纳加工的衬底 2 的各项参数，以及导体表面电场分布方式

$$\frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial n} = -2H \text{ 确定结构；}$$

[0098] 其中，各项参数包括所述衬底 2 的衬底形状、尺寸、导电性、预加工微纳结构指标和衬底表面各部分静电场的电场强度 E，n 为静电场的法向分量或径向分量，H 为静电场的平均曲率半径。

[0099] 所述溶液槽 9 用于承载依据所述电极板 1 的结构和所述衬底 2 的预加工微纳结构指标，确定预设加工微纳结构的方式对应的配置比例的电化学溶液 8，以及部分或全部设置于所述电化学溶液 8 中的所述电极板 1 和衬底 2；

[0100] 所述电流源 11 的阳极或阴极依据预设加工微纳结构的方式将所述电极板 1 和衬底 2 分别连接。

[0101] 探入所述溶液槽 9 内的搅拌装置 10，所述搅拌装置 10 探入所述电化学溶液 8 的部分为绝缘体，当所述电流源 11 上电时，所述搅拌装置 10 在预设时间内搅拌所述电化学溶液 8，使所述电化学溶液 8 中的载流子在所述衬底 2 上运动，获得位于所述衬底 2 上符合所述预设加工微纳结构指标的微纳结构 3。

[0102] 上述各个部件或装置中的具体执行过程，以及各个执行部件之间的限定可参见上述对应的方法实施例。这里不再赘述。

[0103] 上述本发明所公开的微纳加工设备，其通过控制待微纳加工的衬底表面静电场分布来控制电化学溶液中的反应离子，或者载流子向衬底各部位运动的速率，从而控制各个衬底相应位置处按照预设加工微纳结构的方式的速率，最终在该衬底上制备出具有一定面形分布的微纳结构。从而实现利用静电场操控三维及曲面衬底微纳结构低成本、高效率、高精度成形的目的。

[0104] 实施例三

[0105] 基于上述实施例一中公开的微纳加工方法和实施例二中公开的微纳加工设备。由于所要加工的微纳结构材料种类很多，本实施例给出一具体实例。在本实施例仅以在平面金衬底上沉积铜微纳结构图形为例，另外需要说明的是，其它材料微纳结构的制作，通过更换电化学溶液和电极板，按以下具体操作方式，同样可以实现。

[0106] 本发明该实施例的所基于的微纳加工如图 5 所示，其中，要制备的微纳结构 3 为沉积铜微纳结构，电化学溶液 8 为镀铜液，电极板 1，衬底 2，溶液槽 9，搅拌装置 10 和电流源 11。

[0107] 本发明该实施例的操作流程如图 6 所示,主要包括以下步骤:

[0108] 步骤 S201,用表面附有圆环结构的铜板作为电极板 1,其中,铜板厚 1mm 毫米,直径 10mm 毫米,圆环外直径 400 μm 微米,内直径 300 μm 微米,圆环中心,位于铜板边缘 2mm 毫米处,圆环突出铜板表面 0.3mm 毫米。

[0109] 步骤 S202,依据步骤 S201 中的铜板作为电极板 1,这里以沉积铜微纳结构 3 为例,由此执行步骤 S202 配制镀铜液 8 的电化学溶液 8。

[0110] 步骤 S203,将电极板 1 接电流源 11 正极,衬底 2 接电流源 11 的负极,并将电极板 1 和衬底 2 同时置于镀铜液 8 中。

[0111] 步骤 S204,调整电极板 1 与衬底 2 处于平行正对位置。其中,使两者相距 0.2mm 毫米。

[0112] 步骤 S205,上电,通电加工 10min 分钟。其中,所述电流源的电流随所述预设时间的变化为 0~1min 内电流 3A,1~2min 内电流 2A,2~10min 内电流 1A。该变化可具体通过通电加工程序实现。

[0113] 步骤 S206,在通电过程中,搅拌电化学溶液,使得载流子分布尽可能均匀,通电程序结束,断电取出附有微纳结构的衬底。

[0114] 综上所述:

[0115] 通过上述本发明各个实施例公开的微纳加工方法和设备,通过采用控制静电场分布的电化学加工方法,可在任意面形的衬底上获得任意二维或三维微纳尺度图形。同时,采用并非传统的金属平板,而是表面具有图形的电极板;以及在实现微纳结构加工的过程中无掩膜制作;以及在衬底上无需事先制备光刻胶或其他聚合物图形模板。最后通过控制静电场分布来控制电流密度分布,进而控制不同区域金属沉积或刻蚀速度,最终获得预期的任意形貌微结构,从原理上完全不同于目前较流行的光刻技术与各种复制印刷技术,其分辨率不受衍射极限和模具尺寸的限制,能够解决了 3D 微纳结构难以加工的难题,同时解决了目前难以在曲面衬底上制备微纳图形的问题。

[0116] 另外,本发明该实施例公开的方法其加工效率较高,无需复杂设备,成本也较低,进一步的实现利用静电场操控三维及曲面衬底微纳结构低成本、高效率、高精度成形的目的。

[0117] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0118] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

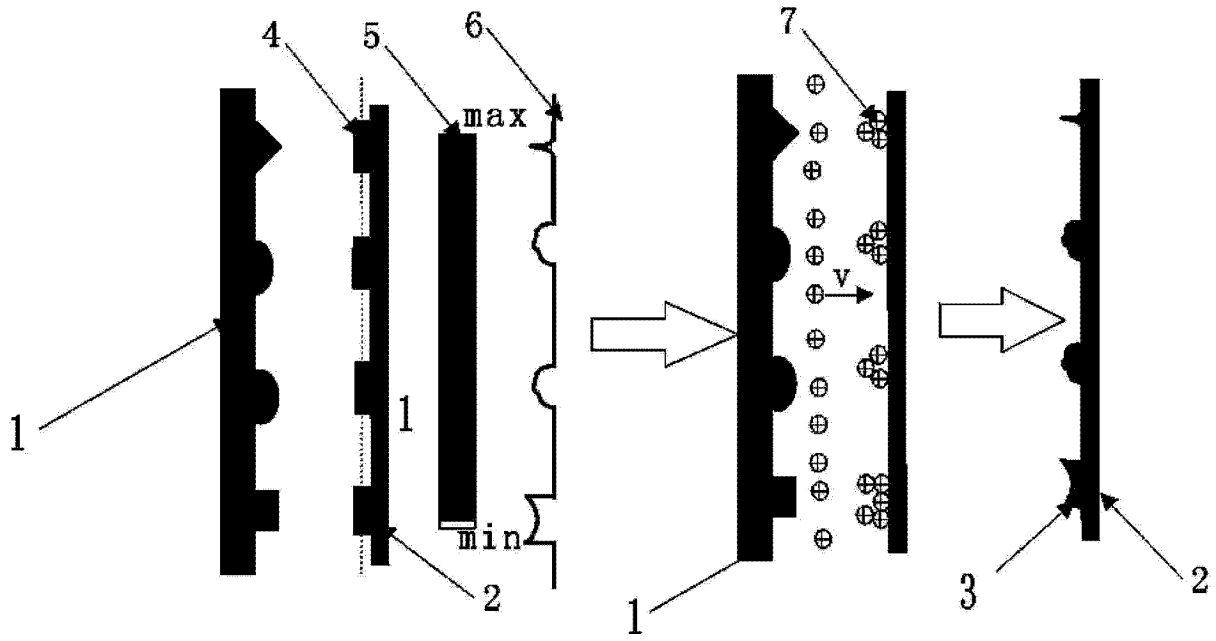


图 1

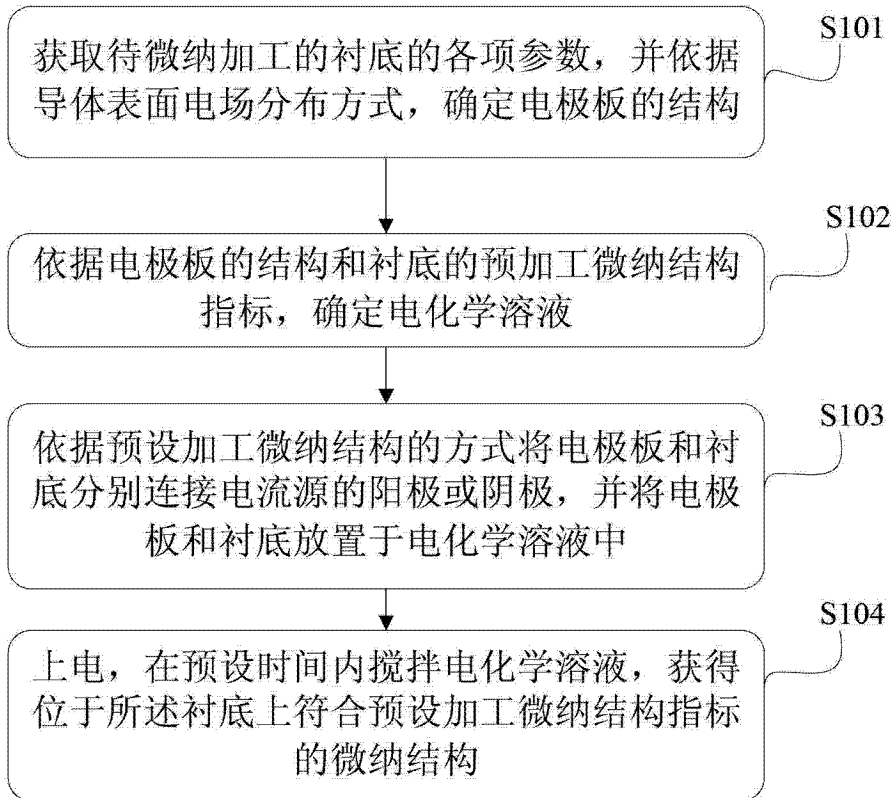


图 2

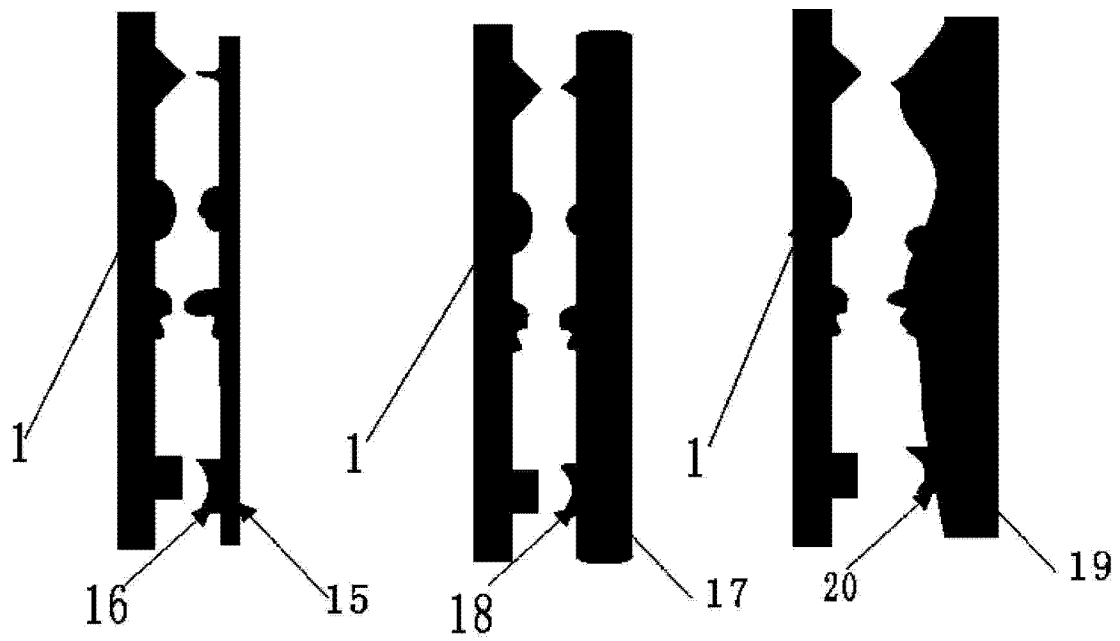


图 3

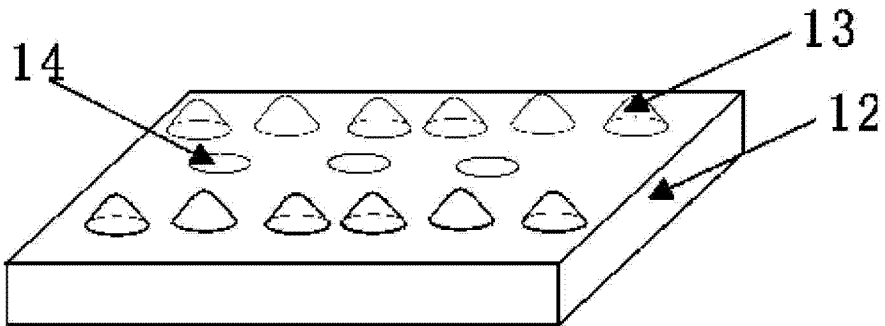


图 4

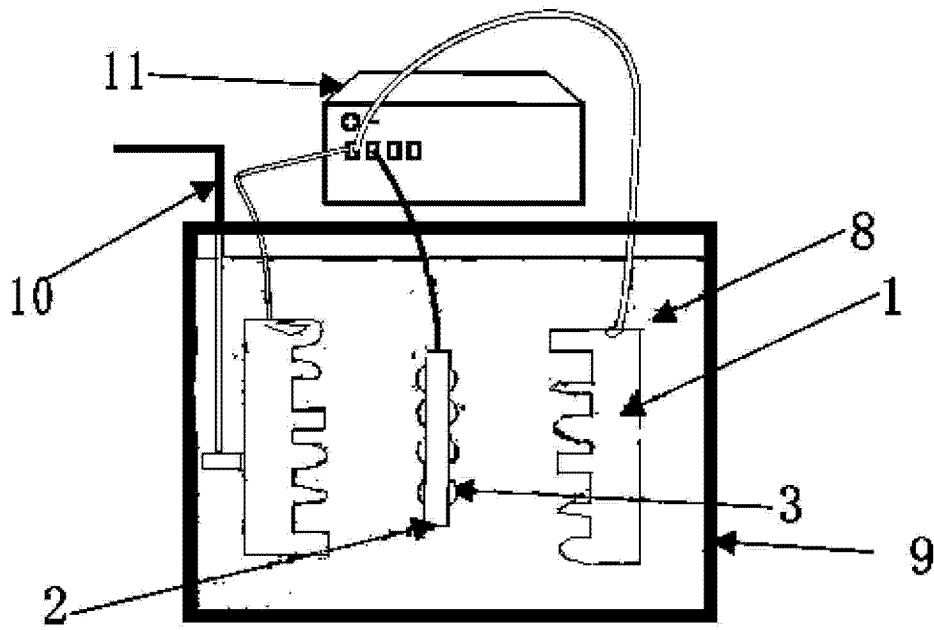


图 5

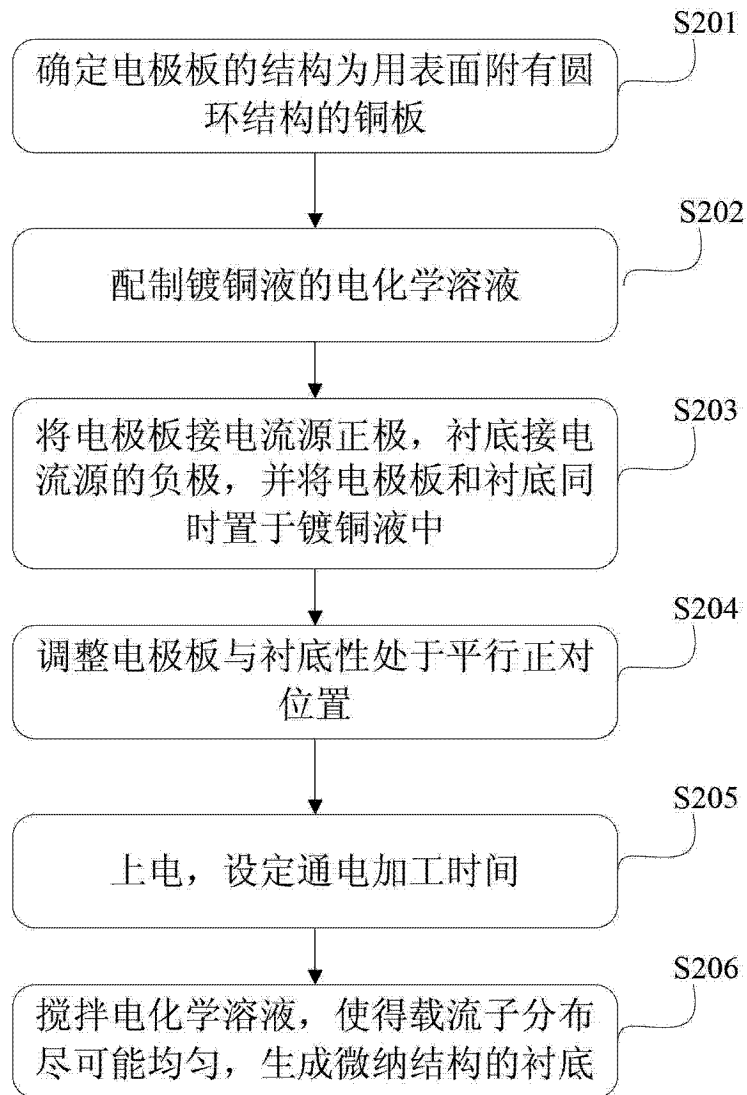


图 6