



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111001938 A

(43)申请公布日 2020.04.14

(21)申请号 201911260601.5

(22)申请日 2019.12.10

(71)申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72)发明人 银恺 吴志鹏 吴俊瑞 王华 何军

(74)专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司 11283

代理人 赵东方

(51)Int.Cl.

B23K 26/352(2014.01)

B23K 26/60(2014.01)

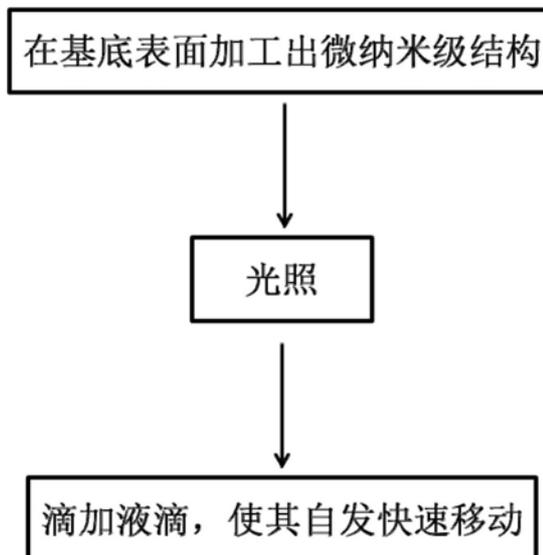
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种液滴自发快速运输方法

(57)摘要

本发明涉及液体运输技术领域,公开了一种液滴自发快速运输方法。该液滴运输方法包括如下步骤:(1)在基底表面上加工出超浸润性及高吸光率的微纳米级结构,所述微纳米级结构沿加工面的长度方向从一端延伸至另一端;(2)光照所述微纳米级结构;(3)将液体滴加在所述加工面一端,吸光后升温的微纳米级结构适于将液体逐滴的从加工面的一端自发快速地运输至另一端。该液滴运输方法简单方便,能够明显加快液滴的运输速率,而且环保无污染。



1. 一种液滴自发快速运输方法,其特征在于,包括如下步骤:
  - (1) 在基底表面上加工出超浸润性及高吸光率的微纳米级结构,所述微纳米级结构沿加工面的长度方向从一端延伸至另一端;
  - (2) 光照所述微纳米级结构;
  - (3) 将液体滴加在所述加工面一端,吸光后升温的微纳米级结构适于将液体逐滴从加工面的一端自发快速地运输至另一端。
2. 根据权利要求1所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,所述基底为固态金属基底。
3. 根据权利要求1或2所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,所述步骤(1)中,通过飞秒激光在基底表面扫描加工出微纳米级结构。
4. 根据权利要求3所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,所述步骤(1)中,飞秒激光的波长为1030nm,激光能量为10W,脉冲持续时间为250fs,重复频率为75KHz,加工速度为0.1-3.0m/s。
5. 根据权利要求1或2所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,所述微纳米级结构为条纹结构;相邻两个所述条纹间距为15 $\mu$ m。
6. 根据权利要求1或2所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,所述步骤(2)中还包括:将步骤(1)中的基底置于隔热的平台上,并将具有微纳米级结构的一面朝上放置。
7. 根据权利要求1或2所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,所述步骤(2)中,采用阳光照射。
8. 根据权利要求1或2所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,所述步骤(2)中,光照所述微纳米级结构并使所述微纳米级结构表面温度升高到45-55 $^{\circ}$ C。
9. 根据权利要求1或2所述的液滴自发快速运输方法,其特征在于,步骤(3)中,所述液体是水。

## 一种液滴自发快速运输方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及液体运输技术领域,具体地,涉及一种液滴自发快速运输方法。

### 背景技术

[0002] 能够实现液滴在固体表面的自发快速运输,在许多领域都有潜在的应用价值,例如微流体学、水处理技术、表面工程学、水体运输、原油运输等。近年来,固体表面液体自发快速运输技术受到了科学界及工业界的广泛关注。国内外许多研究者对此进行了大量研究,并已研发出一些相关的技术。到目前为止,实现液滴自发运输的方法有很多,比如:施加外加场(例如电场和磁场),利用特殊材料的光热效应和改变材料表面的浸润性等。其中,利用材料的光热效应由于其在能源方面的优势以及易于操控等特点受到了广泛关注。

[0003] 许多课题组对此进行了相关研究,例如Gao等人制备了一种使用 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 纳米颗粒嵌入聚二甲基硅氧烷合成的光敏有机凝胶表面。他们发现当暴露于特定的光波(近红外光,波长为808nm)时,有机凝胶表面能够产生温度梯度,该温度梯度的产生在降低液滴粘稠度的同时还能够促使液滴自发快速运输。但是,该方案还是存在一些问题:(1)该光敏有机凝胶材料主要使用化学方法,会对环境会造成一定的破坏,且其制备过程比较复杂,对人力物力的消耗也比较大;(2)该有机凝胶材料在应用中对光的波长有一定要求,这极大的限制了它的运用范围。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是提供一种液滴自发快速运输方法,该运输方法简单方便,能够明显加快液滴的运输速率,而且环保无污染。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种液滴自发快速运输方法,包括如下步骤:

[0006] (1)在基底表面上加工出超浸润性及高吸光率的微纳米级结构,所述微纳米级结构沿加工面的长度方向从一端延伸至另一端;

[0007] (2)光照所述微纳米级结构;

[0008] (3)将液体滴加在所述加工面一端,吸光后升温的微纳米级结构适于将液体逐滴从加工面的一端自发快速地运输至另一端。

[0009] 优选地,所述基底为固态金属基底。

[0010] 优选地,所述基底为不锈钢基底。

[0011] 优选地,所述步骤(1)中,通过飞秒激光在基底表面扫描加工出微纳米级结构。

[0012] 进一步优选地,所述步骤(1)中,飞秒激光的波长为1030nm,激光能量为10W,脉冲持续时间为250fs,重复频率为75KHz,加工速度为0.1-3.0 m/s。

[0013] 优选地,所述微纳米级结构为条纹结构;相邻两个所述条纹间距为15  $\mu\text{m}$ 。

[0014] 优选地,所述步骤(2)中还包括:将步骤(1)中基底置于隔热的平台上,并将具有微纳米级结构的一面朝上放置。

[0015] 优选地,所述步骤(2)中,采用阳光照射。

[0016] 优选地,所述步骤(2)中,光照所述微纳米级结构并使所述微纳米级结构表面温度升高到45-55℃。

[0017] 优选地,步骤(3)中,所述液体是水。

[0018] 通过上述技术方案,本发明的有益效果如下:

[0019] 在基础技术方案中,本发明通过在基底的表面加工出具有超浸润性及高吸光率的微纳米级结构,滴加在该微纳米级结构上的液滴与微纳米级结构之间的表面张力能够带动液滴向微纳米级结构另一端移动;而且,该微纳米级结构能够吸收全波段的光波,且对于光能的吸收效率较高,能够通过光热转换使加工面的温度升高,以此加热微纳米级结构表面的液滴,从而降低液滴的粘稠度,减小与基底表面之间的粘附力,加快液体的吸收速率和运输速率。本发明所使用的激光加工技术是一种完全的物理方法,相比于其他工艺,该方法具有高效、简便和无污染的优点。

[0020] 有关本发明的其他优点以及优选实施方式的技术效果,将在下文的具体实施方式中进一步说明。

## 附图说明

[0021] 图1是本发明一个实施例的流程图;

[0022] 图2是本发明一个实施例中未加工的基底以及加工后的照片及扫描电子显微镜图;

[0023] 图3是本发明测试例1的稳定性测试数据图;

[0024] 图4是本发明测试例2的光反射率测量数据对比图。

[0025] 附图标记说明

[0026] (a) 未加工的基底的照片

[0027] (b) 加工后的基底的照片

[0028] (c) 未加工的基底的扫描电子显微镜图(200 $\mu\text{m}$ )

[0029] (d) 加工后的基底的扫描电子显微镜图(200 $\mu\text{m}$ )

[0030] (e) 加工后的基底的扫描电子显微镜图(1 $\mu\text{m}$ )

## 具体实施方式

[0031] 在本发明中所披露的范围的端点和任何值都不限于该精确的范围或值,这些范围或值应当理解为包含接近这些范围或值的值。对于数值范围来说,各个范围的端点值之间、各个范围的端点值和单独的点值之间,以及单独的点值之间可以彼此组合而得到一个或多个新的数值范围,这些数值范围应被视为在本文中具体公开。

[0032] 本发明提供一种液滴自发快速运输方法,如图1所示,包括如下步骤:

[0033] (1) 在基底表面上加工出超浸润性及高吸光率的微纳米级结构,所述微纳米级结构沿加工面的长度方向从一端延伸至另一端;

[0034] (2) 光照所述微纳米级结构;

[0035] (3) 将液体滴加在所述加工面一端,吸光后升温的微纳米级结构适于将液体逐滴从加工面的一端自发快速地运输至另一端。

[0036] 具体地,该微纳米级结构可以是任意形状,如长方形、正方形或不规则图形等。微

纳米级结构的大小可以根据基底的大小以及运输液体的量确定。本发明的实施例中的微纳米级结构的形状设置为长方形,大小设置为 $8\text{mm} \times 30\text{mm}$ ,当然这里并不是对该微纳米级结构的形状和大小的限制,具体可以根据实际情况设置。滴加液滴的量可以微纳米级结构的大小以及基底的上表面的表面积确定。

[0037] 所述基底可以采用固态金属材料作为基底,如合金材料或者纯金属材料。优选地,所述基底为不锈钢基底或钛合金基底。更优选地,所述基底为不锈钢基底。

[0038] 具体地,所述步骤(1)中,通过飞秒激光在基底表面扫描加工出微纳米级结构。可以采用任何装置或设备以控制在基底表面加工出微纳米级结构,具体地,可以采用控制模块(如计算机)以及具体光路设置控制飞秒激光器在基底表面加工出微纳米级结构,具体地,可以通过计算器和具体光路设置控制激光的波长、能量、持续时间、频率及加工速度等。其中,飞秒激光的波长为 $1030\text{nm}$ ,激光能量为 $10\text{W}$ ,脉冲持续时间为 $250\text{fs}$ ,重复频率为 $75\text{KHz}$ ,加工速度为 $0.1\text{--}3.0\text{m/s}$ 。本发明的实施例中采用的加工速度是 $0.1\text{m/s}$ ,但是如果加工速度采用 $0.5\text{m/s}$ 、 $1\text{m/s}$ 、 $2\text{m/s}$ 和 $3\text{m/s}$ 也能通过光照加快运输水的速度,其运输时间在一般是一分钟以上,相比于加工速度是 $0.1\text{m/s}$ 的加速效果差很多。

[0039] 所述微纳米级结构可以是网格状、条纹状或者其他形状,优选地,所述微纳米级结构为条纹结构,所述条纹可以为竖条纹或横条纹,例如,在长方形的微纳米级结构上,条纹与该微纳米级结构的长边平行;具体地,相邻两个所述条纹间距为 $15\mu\text{m}$ 。

[0040] 所述步骤(2)中还包括:将步骤(1)中基底置于隔热的平台上,并将具有微纳米级结构的一面朝上放置,既可以防止基底不平整影响液滴的运输速度,又可以保证微纳米级结构能够接收光照,而且还可以达到隔温的目的。

[0041] 所述步骤(2)中,光照可以采用可见光以及不可见光中的任意一种,优选为太阳光。

[0042] 更具体地,所述步骤(2)中,光照过程中,基底表面可以吸收光的能量并将其转化为内能以使所述微纳米级结构表面温度升高。当所述微纳米级结构表面的温度升高到 $45\text{--}55\text{C}$ ,其传递效果最佳。

[0043] 以下将通过实施例对本发明进行详细描述。以下实施例中,SEM图通过场发射扫描电子显微镜测得,该扫描电子显微镜购于泰斯肯有限公司,型号为MIRA3 LMU;不锈钢金属片通过商购得到。

[0044] 实施例1

[0045] (1) 设置激光参数:激光的波长为 $1030\text{nm}$ ,激光能量为 $10\text{W}$ ,脉冲持续时间为 $250\text{fs}$ ,重复频率为 $75\text{KHz}$ ,加工速度为 $0.1\text{m/s}$ ,扫描间隔距离为 $15\mu\text{m}$ ;选用不锈钢金属片作为基底,照片见图2(a),其微观结构见图2(c),并将其固定;按照上述参数在基底上扫描出 $8\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的条纹状微纳米级结构,其照片见图2(b),其微观结构见图2(d)和图2(e)。

[0046] (2) 将处理好的基底固定在隔热平台上,通过太阳光照射上述微纳米级结构,并使其温度升高至 $50\text{C}$ 。

[0047] (3) 在微纳米级结构的一端滴加 $16\mu\text{L}$ 的水,记录水滴从一端自发移动到另一端的时间为 $3.4\text{s}$ 。

[0048] 由图2(a)和图2(b)可知,经过加工后的不锈钢基底的表面由具有金属光泽的亮色变为黑色;由图2(c)、图2(d)和图2(e)可知,经过加工后的不锈钢基底表面由光滑平整变为

颗粒状的微纳米结构。

[0049] 实施例2

[0050] 与实施例1的区别在于:滴加水的体积为12 $\mu$ L,水滴从一端自发移动到另一端的时间为4.1s。

[0051] 实施例3

[0052] 与实施例1的区别在于:滴加水的体积为10 $\mu$ L,水滴从一端自发移动到另一端的时间为6.3s。

[0053] 实施例4

[0054] 与实施例1的区别在于:滴加水的体积为8 $\mu$ L,水滴从一端自发移动到另一端的时间为8.6s。

[0055] 实施例5

[0056] 与实施例3的区别在于:太阳光照射使微纳米级结构的温度升高至 35 $^{\circ}$ C,水滴从一端自发移动到另一端的时间为6.4s。

[0057] 实施例6

[0058] 与实施例3的区别在于:太阳光照射使微纳米级结构的温度升高至 45 $^{\circ}$ C,水滴从一端自发移动到另一端的时间为5.8s。

[0059] 实施例7

[0060] 与实施例3的区别在于:太阳光照射使微纳米级结构的温度升高至55 $^{\circ}$ C,水滴从一端自发移动到另一端的时间为4.9s。

[0061] 实施例8

[0062] 与实施例3的区别在于:太阳光照射使微纳米级结构的温度升高至 65 $^{\circ}$ C,水滴从一端自发移动到另一端的时间为6.9s。

[0063] 实施例9

[0064] 与实施例3的区别在于:太阳光照射使微纳米级结构的温度升高至 75 $^{\circ}$ C,水滴从一端自发移动到另一端的时间为6.7s。

[0065] 对比例

[0066] 与实施例3的区别在于:不光照直接滴加12 $\mu$ L的水,水滴从一端自发移动到另一端的时间为7.1s。

[0067] 通过实施例1-4的数据对比可知,当液体运输的体积低于液体运输的极限体积时,滴加的液体的体积越大,其渗入微纳米级结构后留在表面的液体的量就越多,受到的表面张力越大,其运输速度就越快。但是当液体运输的体积大于极限体积时,会导致饱和甚至溢出加工区域,则此时数据测量无意义,而液滴的可运输的极限体积有多种因素决定,如:加工区域大小,激光能量,扫描速度,液体种类,温度等等。我们可以通过改变这些因素来控制液体运输极限体积。

[0068] 由实施例1-4和对比例的数据对比可知,当光照照射到微纳米级结构上时,可以使基底表面的温度升高,从而间接加热液滴以改变其粘稠度,加快液滴的运输速度。

[0069] 测试例1

[0070] 待实施例3和对比例中的液滴干掉后,再次滴加12 $\mu$ L的水,记录水滴从一端自发移动到另一端的时间,如此重复多次,得到图3。

[0071] 由图3可以看出,经飞秒激光加工处理的不锈钢基底多次运输水滴的时间始终保持着:有光驱动时比无光驱动时耗时更短。说明其具有较好的可重复性。

[0072] 测试例2

[0073] 将实施例1中处理好的不锈钢基底和未处理的不锈钢基底在220-1400 nm的波长条件下进行光反射率测量,得到图4。

[0074] 由图4可以看出,经飞秒激光加工处理的不锈钢基底相对于未加工处理的不锈钢基底的光反射率明显降低,说明其吸光率明显增高,且能够吸收多种波段的光,而且在200-500nm处对光的反射率最低可达~2%,说明经飞秒激光加工后的不锈钢基底对200-500nm的光大部分吸收,微纳米级结构在吸收不同波段的光波后能够将光能转化为热能,达到加热的目的,从而降低水滴的粘附力,再通过表面张力与表面能的共同作用实现水滴在微纳米级结构上的自发快速运输。

[0075] 以上结合附图详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于此。在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种简单变型,包括各个具体技术特征以任何合适的方式进行组合。为了避免不必要的重复,本发明对各种可能的组合方式不再另行说明。但这些简单变型和组合同样应当视为本发明所公开的内容,均属于本发明的保护范围。

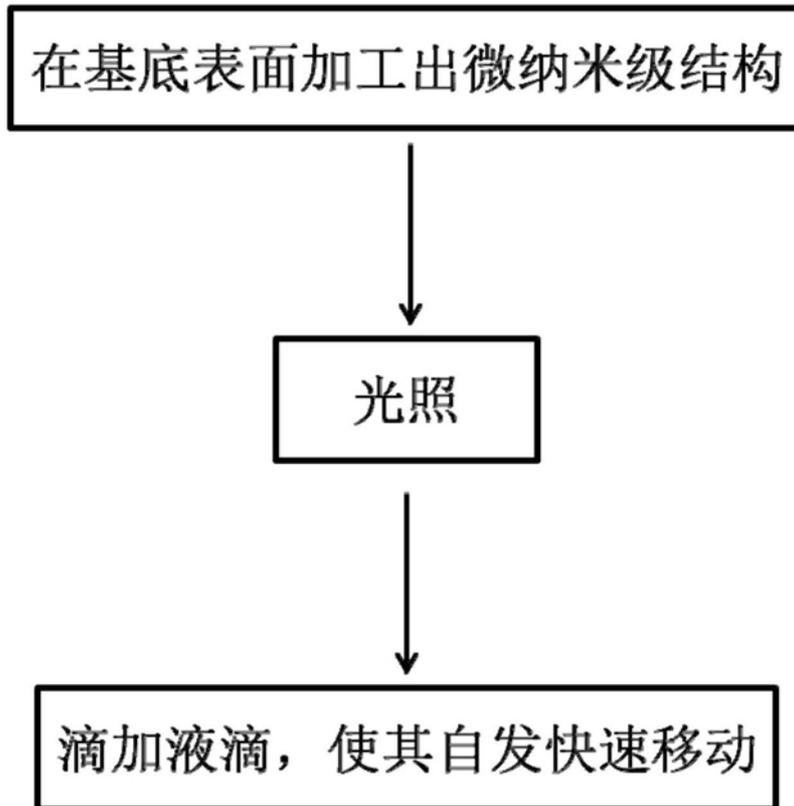


图1

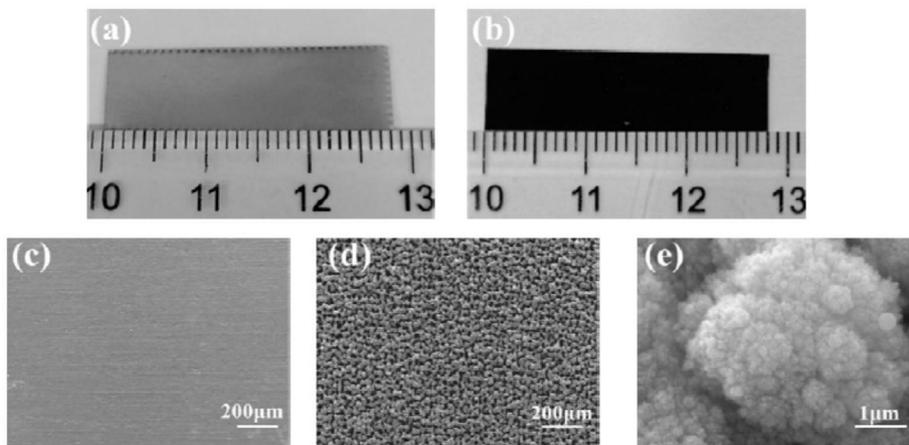


图2

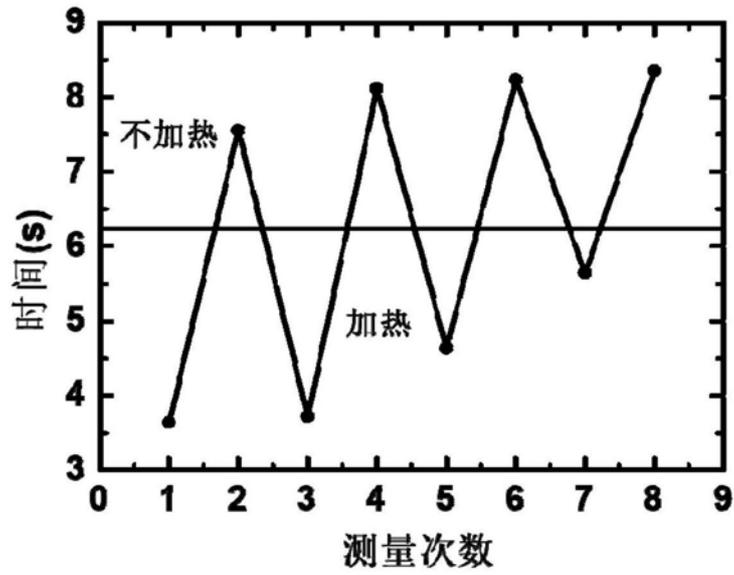


图3

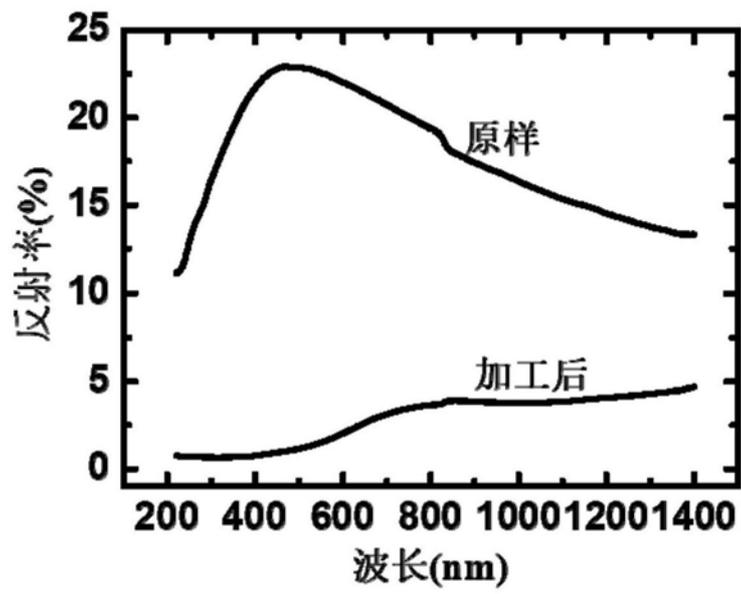


图4