



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111663149 A

(43)申请公布日 2020.09.15

(21)申请号 201910164085.X

(22)申请日 2019.03.05

(71)申请人 湖南早晨纳米机器人有限公司

地址 410300 湖南省长沙市浏阳经济技术  
开发区湘台路18号长沙E中心B3栋3层

(72)发明人 孙若为 孙一绮

(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 藏斌 赵青朵

(51)Int.Cl.

C25B 1/04(2006.01)

C25B 9/00(2006.01)

B81B 5/00(2006.01)

B81C 1/00(2006.01)

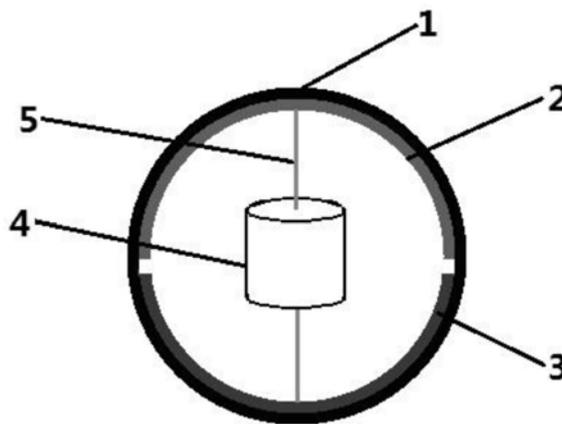
权利要求书1页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

一种纳米发动机及其提供动力的方法和应用

(57)摘要

本发明属于纳米科技领域,尤其涉及一种纳米发动机及其提供动力的方法和应用。本发明提供的纳米发动机包括:设置有开口的壳体,所述壳体内壁的第一区域有镀镍石墨层,第二区域有氧化铱层;和供电组件。本发明提供的纳米发动机以镀镍石墨层作为阴极基体,以氧化铱层作为阳极基体,对水分子具有较高的电解速率,可通过电解水分子提供充足且稳定的动力。本发明提供的纳米发动机提供动力的方法包括以下步骤:将上述纳米发动机置于电解液中,所述纳米发动机电解其壳体内腔内电解液中的水分子产生气泡,提供推动力。本发明以电解水分子产生的氢气和氧气作为纳米发动机的动力,水分子电解产生气泡速率容易控制,可以为纳米发动机提供足够的动能。



1. 一种纳米发动机,包括:

设置有开口的壳体,所述壳体内壁的第一区域有镀镍石墨层,第二区域有氧化铌层,所述镀镍石墨层与所述氧化铌层不相接;

和供电组件,所述供电组件设置在所述壳体的内腔中,通过导线分别与所述镀镍石墨层和所述氧化铌层连接。

2. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,还包括多个分管,所述多个分管的进口连通所述壳体的内腔,出口与所述壳体的开口的夹角 $\leq 90^\circ$ 。

3. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述壳体为一端开口的圆柱体。

4. 根据权利要求3所述的纳米发动机,其特征在于,所述镀镍石墨层位于所述壳体内壁沿径向的一侧,所述氧化铌层位于所述壳体内壁沿径向的另一侧。

5. 根据权利要求4所述的纳米发动机,其特征在于,所述氧化铌层与所述镀镍石墨层对称设置。

6. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述镀镍石墨层的厚度为10~50nm;所述氧化铌层的厚度为10~50nm。

7. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述供电组件的充电方式为电磁感应无线充电。

8. 一种纳米发动机提供动力的方法,包括以下步骤:

将权利要求1~7任一项所述的纳米发动机置于电解液中,所述纳米发动机电解其壳体内腔内电解液中的水分子产生气泡,气泡从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述电解液中含有碱金属氢氧化物。

10. 一种纳米机器人,其特征在于,所述纳米机器人的发动机为权利要求1~7任一项所述的纳米发动机。

## 一种纳米发动机及其提供动力的方法和应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于纳米科技领域,尤其涉及一种纳米发动机及其提供动力的方法和应用。

### 背景技术

[0002] 未来科学发展的一个主要方向即是向微观领域进军,人们一直希望能够研制出纳米级的微型机器,以代替人工完成各种精密的工作,从细胞分子的角度上对各种疾病进行预防和控制。微纳米级的机器人已经成为当前最热门的研究之一。随着纳米机器人的迅速发展,微型纳米发动机作为其关键的一部分,研究也至关重要。

[0003] 目前国内外微型纳米发动机的驱动方面的研究主要有化学能驱动、外部场驱动、激光供能等方式。其中激光供能是利用激光对纳米发动机进行加热,利用聚合物中包裹的金属离子聚集和分解过程中存储和释放能量的原理为纳米机器人提供动能,但能量的释放无法进行合理地控制,无法保障纳米机器人的运动速率。因此,科学家们想到了利用化学反应产生气体来推动纳米机器人的运动,在利用化学能转化为动能的过程中,化学物质、催化剂以及反应环境有各种各样的选择。目前多数采用在电解质溶液中发生氧化还原反应来产生无毒气体,利用气体释放的反冲原理来获得前进的动能。

[0004] 目前一种纳米发动机的制备采用阴极电化学反应 $2\text{H}_2\text{O}_2=2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2\uparrow$ ,在高锰酸根离子溶液中分解为水,同时释放氧气,在管道型微纳米发动机中通过气体释放产生向前的推动力,但是由于采用 $\text{MnO}_2$ 作为催化剂,其活性和催化效率有限,因此过氧化氢的分解速率很慢,提供的动能也相对较少,无法保证纳米机器人在运动过程中所需的能量。因此这类纳米发动机的工作效率比较低,只能通过提高过氧化氢溶液的浓度来保证化学反应的速率。另一方面,过氧化氢溶液因其具有较强的氧化性,是公认的低毒物质,当它进入人体血液等物质中,会造成血管栓塞等问题。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种纳米发动机及其提供动力的方法和应用,本发明提供的纳米发动机可通过电解水分子提供充足且稳定的动力。

[0006] 本发明提供了一种纳米发动机,包括:

[0007] 设置有开口的壳体,所述壳体内壁的第一区域有镀镍石墨层,第二区域有氧化铌层,所述镀镍石墨层与所述氧化铌层不相接;

[0008] 和供电组件,所述供电组件设置在所述壳体的内腔中,通过导线分别与所述镀镍石墨层和所述氧化铌层连接。

[0009] 优选的,所述纳米发动机还包括多个分管,所述多个分管的进口连通所述壳体的内腔,出口与所述壳体的开口的夹角 $\leq 90^\circ$ 。

[0010] 优选的,所述壳体为一端开口的圆柱体。

[0011] 优选的,所述镀镍石墨层位于所述壳体内壁沿径向的一侧,所述氧化铌层位于所

述壳体内壁沿径向的另一侧。

[0012] 优选的,所述氧化铱层与所述镀镍石墨层对称设置。

[0013] 优选的,所述镀镍石墨层的厚度为10~50nm;所述氧化铱层的厚度为10~50nm。

[0014] 优选的,所述供电组件的充电方式为电磁感应无线充电。

[0015] 本发明提供了一种纳米发动机提供动力的方法,包括以下步骤:

[0016] 将上述技术方案所述的纳米发动机置于电解液中,所述纳米发动机电解其壳体内腔内电解液中的水分子产生气泡,气泡从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。

[0017] 优选的,所述电解液中含有碱金属氢氧化物。

[0018] 本发明提供了一种纳米机器人,所述纳米机器人的发动机为上述技术方案所述的纳米发动机。

[0019] 与现有技术相比,本发明提供了一种纳米发动机及其提供动力的方法和应用。本发明提供的纳米发动机包括:设置有开口的壳体,所述壳体内壁的第一区域有镀镍石墨层,第二区域有氧化铱层,所述镀镍石墨层与所述氧化铱层不相接;和供电组件,所述供电组件设置在所述壳体的内腔中,通过导线分别与所述镀镍石墨层和所述氧化铱层连接。本发明提供的纳米发动机以镀镍石墨层作为阴极基体,以氧化铱层作为阳极基体,对水分子具有较高的电解速率,因此可通过电解水分子提供充足且稳定的动力。在本发明提供的优选技术方案中,纳米发动机壳体上还连通有多个特定方向的分管,可用来辅助控制纳米发动机在运动过程中的平衡,提高纳米发动机运动过程中的稳定性。在本发明提供的另一个优选技术方案中,纳米发动机供电组件的充电方式为电磁感应无线充电,在纳米发动机运动过程中,可通过不断移动送电线圈装置保证精密的电流输送,从而保证电解水分子提供动力的过程中供电组件可提供稳定的电流,进一步提高纳米发动机运动的稳定性。本发明提供的纳米发动机提供动力的方法包括以下步骤:将上述技术方案所述的纳米发动机置于电解液中,所述纳米发动机电解其壳体内腔内电解液中的水分子产生气泡,气泡从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。本发明以电解水分子产生的氢气和氧气作为纳米发动机的动力,水分子电解产生气泡速率容易控制,可以为纳米发动机提供足够的动能,具有工作效率高、持续工作时间长的优点,而且在安全环保方面也更具优势。在本发明提供的优选技术方案中,电解液中还含有一定量的碱金属氢氧化物,由于碱金属氢氧化物的存在可降低电解液的电阻,因此可进一步提高电解的速率,使纳米发动机可以提供更充足的动力。

## 附图说明

[0020] 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。

[0021] 图1是本发明实施例提供的从壳体开口处观察到的纳米发动机的结构示意图;

[0022] 图2是本发明实施例提供的设置有两个分管的纳米发动机的侧视图;

[0023] 图3是本发明实施例1提供的纳米发动机运动速度-时间曲线图;

[0024] 图4是本发明实施例2提供的纳米发动机运动速度-时间曲线图;

[0025] 图5是本发明实施例3提供的纳米发动机运动速度-时间曲线图。

## 具体实施方式

[0026] 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。

[0027] 本发明提供了一种纳米发动机,包括:

[0028] 设置有开口的壳体,所述壳体内壁的第一区域有镀镍石墨层,第二区域有氧化铌层,所述镀镍石墨层与所述氧化铌层不相接;

[0029] 和供电组件,所述供电组件设置在所述壳体的内腔中,通过导线分别与所述镀镍石墨层和所述氧化铌层连接。

[0030] 参见图1,图1是本发明实施例提供的从壳体开口处观察到的纳米发动机的结构示意图。图1中,1表示壳体,2表示镀镍石墨层,3表示氧化铌层,4表示供电组件,5表示导线。

[0031] 本发明提供的纳米发动机包括壳体1、镀镍石墨层2、氧化铌层3、供电组件4和导线5。其中,壳体1上设置有开口,作为纳米发动机电解生成气体的释放通道。在本发明提供的一个实施例中,壳体1的壁厚优选为50~200nm,具体可为50nm、60nm、70nm、80nm、90nm、100nm、110nm、120nm、130nm、140nm、150nm、160nm、170nm、180nm、190nm或200nm。在本发明提供的一个实施例中,壳体1的形状为一端开口的圆柱体,所述圆柱体的径向长度优选为350~500nm,具体可为350nm、360nm、370nm、380nm、390nm、400nm、410nm、420nm、430nm、440nm、450nm、460nm、470nm、480nm或500nm;所述圆柱体的轴向长度优选为500~1000nm,具体可为500nm、520nm、540nm、550nm、560nm、580nm、600nm、620nm、640nm、650nm、660nm、680nm、700nm、720nm、740nm、750nm、760nm、780nm、800nm、820nm、840nm、850nm、860nm、880nm、900nm、920nm、940nm、950nm、960nm、980nm或1000nm。在本发明提供的一个实施例中,壳体1的材质为二氧化钛。

[0032] 在本发明中,镀镍石墨层2作为纳米发动机的阴极基体设置在壳体1内壁的第一区域,氧化铌层3作为纳米发动机的阳极基体设置在壳体1内壁的第二区域,镀镍石墨层2与氧化铌层3不相接。在本发明提供的一个壳体1形状为一端开口的圆柱体的实施例中,镀镍石墨层2位于壳体1内壁沿径向的一侧,氧化铌层3位于壳体1内壁沿径向的另一侧,氧化铌层3与镀镍石墨层2优选对称设置。在本发明提供的一个实施例中,镀镍石墨层2的厚度优选为10~50nm,具体可为10nm、15nm、20nm、25nm、30nm、35nm、40nm、45nm或50nm。在本发明提供的一个实施例中,氧化铌层3的厚度优选为10~50nm,具体可为10nm、15nm、20nm、25nm、30nm、35nm、40nm、45nm或50nm。

[0033] 在本发明中,供电组件4设置在壳体1的内腔中,供电组件4通过导线5分别与镀镍石墨层2和氧化铌层3连接,用于为阴阳基体提供电解水分子所需的电能。在本发明提供的一个实施例中,供电组件4的充电方式为电磁感应无线充电。在本发明提供的一个实施例中,导线5的直径优选为5~20nm,具体可为5nm、10nm、15nm或20nm;导线5的长度优选为50~200nm,具体可为50nm、100nm、150nm或200nm。在本发明提供的一个实施例中,导线5为铜纳米线。

[0034] 在本发明提供的一个实施例中,为了辅助控制纳米发动机在运动过程中的平衡,所述纳米发动机还包括多个分管,所述多个分管的进口连通壳体1的内腔,出口与壳体1的

开口的夹角 $\leq 90^\circ$ 。在本发明提供的一个实施例中,所述分管的数量具体可为2、3、4、5、6、7、8、9或10。在本发明提供的一个实施例中,所述分管的内径优选为100~300nm,具体可为100nm、120nm、140nm、150nm、160nm、180nm、200nm、220nm、240nm、250nm、260nm、280nm或300nm;所述分管的长度优选为200~500nm,具体可为200nm、250nm、300nm、350nm、400nm、450nm或500nm。在本发明提供的一个实施例中,所述分管的出口与壳体1的开口的夹角优选 $< 90^\circ$ ,具体可为 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $35^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $80^\circ$ 或 $85^\circ$ 。在本发明提供的一个壳体1的形状为一端开口的圆柱体的实施例中,所述多个分管优选在壳体1的周向上均布。在本发明提供的一个实施例中,所述多个分管的材质为二氧化钛。

[0035] 在本发明中,对所述纳米发动机的制备方法没有特别限定,其中,壳体1或连通有多个分管的壳体1可采用模板法制备得到,镀镍石墨层2和氧化铈层3可以镀层的形式设置在壳体1内壁的相应位置,导线5可采用沉积法制备得到,导线5与镀镍石墨层2、氧化铈层3和供电组件4之间的连接可采用激光焊接。

[0036] 本发明提供的纳米发动机至少具有以下优点:

[0037] 1) 以镀镍石墨层作为阴极基体,以氧化铈层作为阳极基体,对水分子具有较高的电解速率,因此可通过电解水分子提供充足且稳定的动力。

[0038] 2) 在优选技术方案中,纳米发动机壳体上还连通有多个特定方向的分管,可用来辅助控制纳米发动机在运动过程中的平衡,提高纳米发动机运动过程中的稳定性。

[0039] 3) 在另一个优选技术方案中,纳米发动机供电组件的充电方式为电磁感应无线充电,在纳米发动机运动过程中,可通过不断移动送电线圈装置保证精密的电流输送,从而保证电解水分子提供动力的过程中供电组件可提供稳定的电流,进一步提高纳米发动机运动的稳定性。

[0040] 4) 在其他优选技术方案中,导线采用铜纳米线,其具有较好的导电性能和较高的性价比。

[0041] 本发明还提供了一种纳米发动机提供动力的方法,包括以下步骤:

[0042] 将上述技术方案所述的纳米发动机置于电解液中,所述纳米发动机电解其壳体内腔内电解液中的水分子产生气泡,气泡从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。

[0043] 在本发明提供的方法中,水分子在直流电的作用下电解会生成氢气和氧气,当电流通过水分子时,在阴极发生还原反应生成氢气,在阳极氧化反应生成氧气,反应方程式如下:

[0044] 阳极反应式: $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow$

[0045] 阴极反应式: $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\uparrow$

[0046] 可见,1mol水电解可以产生1mol氢气和0.5mol氧气,电解产生的两种气泡由纳米发动机的壳体开口排出,可以为纳米发动机提供足够的推动力。

[0047] 在本发明提供的方法中,水分子的电解速率与电流大小密切相关,当通过电流较大时,水分子的电解速率加快,产生更多气体,提供更大的动能。在本发明中,为了维持纳米发动机提供动力的稳定,所述纳米发动机优选在恒定电流条件下电解所述电解液中的水分子。同时,由欧姆定律 $I=U/R$ 可知,电流与电压成正比,与电阻成反比,因此提高电解的电压可使纳米发动机提供更为充足的动力,但提高电压会产生不安全因素,因此本发明方法的优选电解电压为0.5~1.5V,具体可为0.5V、0.6V、0.7V、0.8V、0.9V、1V、1.1V、1.2V、1.3V、

1.4V或1.5V。

[0048] 在本发明提供的方法中,所述纳米发动机通过电解电解液中的水分子提供动力。其中,所述电解液可以是纯水,也可以是水溶液。在本发明中,由于纯水的电阻值较大,导电能力比较弱,影响电解速率,因此所述电解液中优选还含有一定量的碱金属氢氧化物,以降低所述电解液的电阻值,所述碱金属氢氧化物包括氢氧化钠和/或氢氧化钾。在本发明中,所述碱金属氢氧化物的浓度对电解的速率也有很大的影响,随着电解反应进行,水中的碱金属氢氧化物的浓度降低时,阴阳离子的移动速度变慢,反应速率下降;反之,当水中碱金属氢氧化物的浓度过高时,水的含量也就相对减少,这样造成单位时间内与电极接触的 $\text{OH}^-$ 和 $\text{H}^+$ 减少,电解速率下降。因此,在本发明中,所述电解液中碱金属氢氧化物的浓度优选为5~25wt%,具体可为5wt%、10wt%、15wt%、20wt%或25wt%,可保证较为优异的电解速率。在本发明中,所述电解液的温度同样对电解的速率有很大的影响,电解液的温度越高,电解的速率越快。在本发明提供的一个实施例中,所述电解液的温度为20~50℃,具体可为20℃、24℃、30℃、35℃、40℃、45℃或50℃。

[0049] 本发明提供的方法至少具有以下优点:

[0050] 1) 以电解水分子产生的氢气和氧气作为纳米发动机的动力,水分子电解产生气泡速率容易控制,可以为纳米发动机提供足够的动能,具有工作效率高、持续工作时间长的优点,而且在安全环保方面也更具优势。

[0051] 2) 在优选技术方案中,电解液中还含有一定量的碱金属氢氧化物,由于碱金属氢氧化物的存在可以降低电解液的电阻,因此可进一步提高电解的速率,使纳米发动机可以提供更充足的动力。

[0052] 3) 在其他优选技术方案中,所述纳米发电机在恒定电流条件下电解水分子,从而可维持电解产气量的稳定,进而可为纳米机器人的稳定运动提供保障,使其能够顺利地完成任务。更进一步的,在本发明提供的技术方案中可通过调节电解液的浓度和电解电压的大小来控制电解电流的恒定。

[0053] 本发明还提供了一种纳米机器人,所述纳米机器人的发动机为上述技术方案所述的纳米发动机。本发明提供的纳米机器人装配有所述纳米发动机,可为纳米机器人的作业提供充足且稳定的动力,保障纳米机器人顺利地完成任务。

[0054] 为更清楚起见,下面通过以下实施例进行详细说明。

[0055] 实施例1

[0056] 1) 纳米发动机的结构:

[0057] 本实施例提供的纳米发动机包括二氧化钛材质的壳体,壳体的形状为一端开口的圆柱体,壳体壁厚为160nm,壳体径向长度为420nm,轴向长度为800nm。

[0058] 在本实施例中,壳体内腔的结构如图1所示,包括设置在壳体1内壁沿径向一侧的镀镍石墨层2,以及设置在壳体1内壁沿径向另一侧的氧化铌层3,镀镍石墨层2与氧化铌层3对称设置,且镀镍石墨层2与氧化铌层3不相接,镀镍石墨层2和氧化铌层3的厚度均为30nm,面积均为 $87920\text{nm}^2$ 。壳体1内腔中设置有可进行电磁感应无线充电的供电组件4,供电组件4通过导线5分别与镀镍石墨层2和氧化铌层3连接,导线5为铜纳米线,直径约10nm,长度100nm。

[0059] 在本实施例中,壳体上设置有两个分管,分管的进口连通壳体的内腔,出口与壳体

的开口的夹角为 $45^\circ$ ，如图2所示，图2是本发明实施例提供的设置有两个分管的纳米发动机的侧视图。在本实施例中，两个分管在壳体的周向上均布，分管的内径为180nm，长度为300nm，分管的壁厚以及材质与壳体一致。

[0060] 2) 纳米发动机的制备：

[0061] 采用模板法制备上述连通有两个分管的二氧化钛壳体，具体为：采用多孔阳极氧化铝或其他氧化金属作为模板，将纳米结构基本单元组装在模板孔洞中，使用电化学沉积方法在模板外得到二氧化钛纳米管，使用酸溶液盐酸和硝酸有选择地去除分解模板，从而得到连通有两个分管的二氧化钛壳体。

[0062] 采用沉积法制备铜纳米线，具体为：以氧化铝模板为工作电极，铜片为对电极，用较低的低-0.5V、-5V的恒电位沉积法制备得到铜纳米线。

[0063] 获得二氧化钛壳体以及铜纳米线后，在二氧化钛壳体的内腔上下两侧分别镀镍石墨层（作为阴极基体）和氧化铱层（作为阴极基体），之后使用铜纳米线连接供电组件与阴阳基体，构成通电路路。在本实施例中，所述连接的方式具体为：使用高能电子束直接作用连接部位，持续15min，接头局部受热熔化，实现焊接。

[0064] 3) 纳米发动机的使用情况评价：

[0065] 在温度为 $24^\circ\text{C}$ 的反应环境下，将本发明实施例提供的纳米发动机放入到初始浓度为10wt%的NaOH水溶液中，并采用电磁感应无线充电方式来对纳米发动机内部的供电组件进行电能输送，供电组件在获得电能后，通过铜纳米线向阴、阳极基体输出电能（输出电压稳定在0.5~1.2V），电解NaOH水溶液中的水分子，产生氢气和氧气。采用电子显微镜观测纳米发动机的运行情况，进行记录分析，结果如图3所示，图3是本发明实施例1提供的纳米发动机运动速度-时间曲线图。

[0066] 通过图3可以看出，纳米发动机先持续加速运动，再持续减速运动，运行平均速度约1.00mm/s，具体运行情况如下：在初始阶段 $t_0-t_1$ 时刻内（40s），其运行加速度约为0.006mm/s，在 $t_1$ 时刻的速度约为0.24mm/s；在 $t_1-t_2$ 时刻内（约90s），纳米发动机速度持续增加，由于电解水过程的进行，产生了大量的阴阳离子，破坏了溶液平衡，加速了电解速率，此时纳米发动机运动速度增加约为1.02mm/s；在 $t_2-t_3$ 时刻内（7min），纳米发动机加速度慢慢减少约为0；之后，随着电解水反应过程的进行，反应速率衰减，产生的动能下降，从而导致纳米发动机运动的反方向加速度持续增加，速度持续下降。

[0067] 在运动过程中，纳米发动机基本可以维持直线运动，会存在左右摇摆的情况（左右摇摆的位移在 $\pm 12\mu\text{m}$ 范围内），没有在液体中翻滚的情况。

[0068] 实施例2

[0069] 1) 纳米发动机的结构：

[0070] 本发明实施例提供的纳米发动机包括二氧化钛材质的壳体，壳体的形状为一端开口的圆柱体，壳体壁厚为160nm，壳体径向长度为420nm，轴向长度为800nm。

[0071] 在本实施例中，壳体内腔的结构如图1所示，包括设置在壳体1内壁沿径向一侧的镀镍石墨层2，以及设置在壳体1内壁沿径向另一侧的氧化铱层3，镀镍石墨层2与氧化铱层3对称设置，且镀镍石墨层2与氧化铱层3不相接，镀镍石墨层2和氧化铱层3的厚度均为30nm，面积均为 $87920\text{nm}^2$ 。壳体1内腔中设置有可进行电磁感应无线充电的供电组件4，供电组件4通过导线5分别与镀镍石墨层2和氧化铱层3连接，导线5为铜纳米线，直径约10nm，长度

100nm。

[0072] 在本实施例中,壳体上设置有两个分管,分管的进口连通壳体的内腔,出口与壳体的开口的夹角为 $45^\circ$ ,如图2所示,图2是本发明实施例提供的设置有两个分管的纳米发动机的侧视图。在本实施例中,两个分管在壳体的周向上均布,分管的内径为180nm,长度为300nm,分管的壁厚以及材质与壳体一致。

[0073] 2) 纳米发动机的制备:

[0074] 采用模板法制备上述连通有两个分管的二氧化钛壳体,具体为:采用多孔阳极氧化铝或其他氧化金属作为模板,将纳米结构基本单元组装在模板孔洞中,使用电化学沉积方法在模板外得到二氧化钛纳米管,使用酸溶液盐酸和硝酸有选择地去除分解模板,从而得到连通有两个分管的二氧化钛壳体。

[0075] 采用沉积法制备铜纳米线,具体为:以氧化铝模板为工作电极,铜片为对电极,用较低的电位-0.5V、-5V的恒电位沉积法制备得到铜纳米线。

[0076] 获得二氧化钛壳体以及铜纳米线后,在二氧化钛壳体的内腔上下两侧分别电镀镍石墨层(作为阴极基体)和氧化铱层(作为阳极基体),之后使用铜纳米线连接供电组件与阴阳基体,构成通电路径。在本实施例中,所述连接的方式具体为:使用高能电子束直接作用连接部位,持续15min,接头局部受热熔化,实现焊接。

[0077] 3) 纳米发动机的使用情况评价:

[0078] 在温度为 $24^\circ\text{C}$ 的反应环境下,将本发明实施例提供的纳米发动机放入到初始浓度为20wt%的NaOH水溶液中,并采用电磁感应无线充电方式来对纳米发动机内部的供电组件进行电能输送,供电组件在获得电能后,通过铜纳米线向阴、阳极基体输出电能,电解NaOH水溶液中的水分子,产生氢气和氧气。在本实施例中,通过微调NaOH浓度和电磁感应无线充电的强度,使纳米发动机供电组件的输出电流稳定在3mA。采用电子显微镜观测纳米发动机的运行情况,进行记录分析,结果如图4所示,图4是本发明实施例2提供的纳米发动机运动速度-时间曲线图。

[0079] 通过图4可以看出,纳米发动机先持续加速运动,再持续减速运动,由于加大了电解液浓度(即水溶液中氢氧化钠浓度),阴阳离子的移动速度提高,反应生成气泡的量增加,速度也得到了明显的提高,运行平均速度约1.64mm/s,具体运行情况如下:在初始阶段 $t_0-t_1$ 时刻内(40s),其运行加速度约为0.008mm/s,在 $t_1$ 时刻的速度约为0.32mm/s;在 $t_1-t_2$ 时刻内(约80s),纳米发动机速度持续增加,由于电解水过程的进行,产生了大量的阴阳离子,破坏了溶液平衡,加速了电解速率,此时纳米发动机运动速度增加约为1.64mm/s;在 $t_2-t_3$ 时刻内(4min),纳米发动机加速度慢慢减少至约为0;之后,随着电解水反应过程的进行,反应速率衰减,产生的动能下降,从而导致纳米发动机运动的反方向加速度持续增加,速度持续下降。

[0080] 在运动过程中,纳米发动机基本可以维持直线运动,会存在左右摇摆的情况(左右摇摆的位移在 $\pm 20\mu\text{m}$ 范围内),没有在液体中翻滚的情况。

[0081] 实施例3

[0082] 1) 纳米发动机的结构:

[0083] 本发明实施例提供的纳米发动机包括二氧化钛材质的壳体,壳体的形状为一端开口的圆柱体,壳体壁厚为160nm,壳体径向长度为420nm,轴向长度为800nm。

[0084] 在本实施例中,壳体内腔的结构如图1所示,包括设置在壳体1内壁沿径向一侧的镀镍石墨层2,以及设置在壳体1内壁沿径向另一侧的氧化铌层3,镀镍石墨层2与氧化铌层3对称设置,且镀镍石墨层2与氧化铌层3不相接,镀镍石墨层2和氧化铌层3的厚度均为30nm,面积均为 $87920\text{nm}^2$ 。壳体1内腔中设置有可进行电磁感应无线充电的供电组件4,供电组件4通过导线5分别与镀镍石墨层2和氧化铌层3连接,导线5为铜纳米线,直径约10nm,长度100nm。

[0085] 在本实施例中,壳体上设置有两个分管,分管的进口连通壳体的内腔,出口与壳体的开口的夹角为 $45^\circ$ ,如图2所示,图2是本发明实施例提供的设置有两个分管的纳米发动机的侧视图。在本实施例中,两个分管在壳体的周向上均布,分管的内径为180nm,长度为300nm,分管的壁厚以及材质与壳体一致。

[0086] 2) 纳米发动机的制备:

[0087] 采用模板法制备上述连通有两个分管的二氧化钛壳体,具体为:采用多孔阳极氧化铝或其他氧化金属作为模板,将纳米结构基本单元组装在模板孔洞中,使用电化学沉积方法在模板外得到二氧化钛纳米管,使用酸溶液盐酸和硝酸有选择地去除分解模板,从而得到连通有两个分管的二氧化钛壳体。

[0088] 采用沉积法制备铜纳米线,具体为:以氧化铝模板为工作电极,铜片为对电极,用较低的电位-0.5V、-5V的恒电位沉积法制备得到铜纳米线。

[0089] 获得二氧化钛壳体以及铜纳米线后,在二氧化钛壳体的内腔上下两侧分别镀镀镍石墨层(作为阴极基体)和氧化铌层(作为阳极基体),之后使用铜纳米线连接供电组件与阴阳基体,构成通电路径。在本实施例中,所述连接的方式具体为:使用高能电子束直接作用连接部位,持续15min,接头局部受热熔化,实现焊接。

[0090] 3) 纳米发动机的使用情况评价:

[0091] 在温度为 $45^\circ\text{C}$ 的反应环境下,将本发明实施例提供的纳米发动机放入到初始浓度为10wt%的NaOH水溶液中,并采用电磁感应无线充电方式来对纳米发动机内部的供电组件进行电能输送,供电组件在获得电能后,通过铜纳米线向阴、阳极基体输出电能(输出电压稳定在0.5~1.2V),电解NaOH水溶液中的水分子,产生氢气和氧气。采用电子显微镜观测纳米发动机的运行情况,进行记录分析,如图5所示,图5是本发明实施例3提供的纳米发动机运动速度-时间曲线图。

[0092] 通过图5可以看出,纳米发动机先持续加速运动,再持续减速运动,由于提高了反应环境的温度,反应生成气泡的量增加,速度也得到了明显的提高,运行平均速度约1.40mm/s,具体运行情况如下:在初始阶段 $t_0-t_1$ 时刻内(40s),其运行加速度约为 $0.0075\text{mm/s}^2$ ,在 $t_1$ 时刻的速度约为 $0.3\text{mm/s}$ ;在 $t_1-t_2$ 时刻内(约80s),纳米发动机速度持续增加,由于电解水过程的进行,产生了大量的阴阳离子,破坏了溶液平衡,加速了电解速率,此时纳米发动机运动速度增加约为 $1.40\text{mm/s}$ ;在 $t_2-t_3$ 时刻内(约5min),纳米发动机加速度慢慢减小约为0;之后,随着电解水反应过程的进行,反应速率衰减,产生的动能下降,从而导致纳米发动机运动的反方向加速度持续增加,速度持续下降。

[0093] 在运动过程中,纳米发动机基本可以维持直线运动,会存在左右摇摆的情况(左右摇摆的位移在 $\pm 16\mu\text{m}$ 范围内),没有在液体中翻滚的情况。

[0094] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人

员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

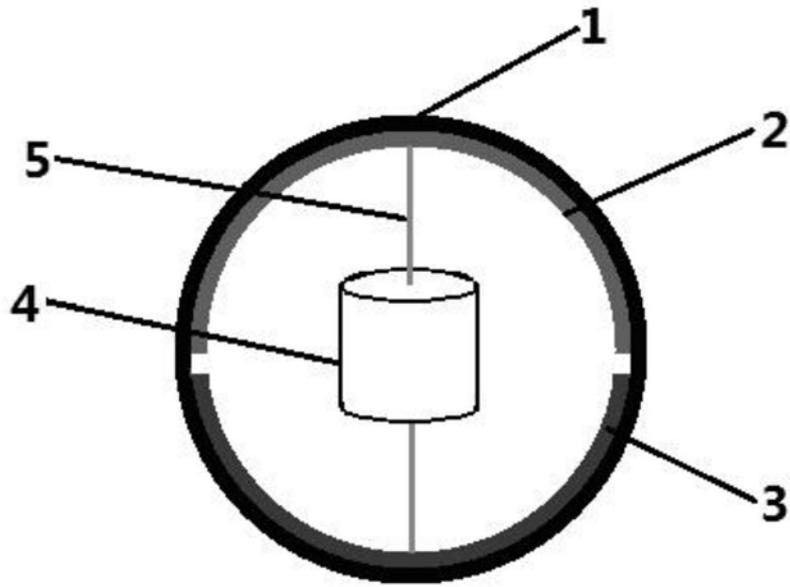


图1

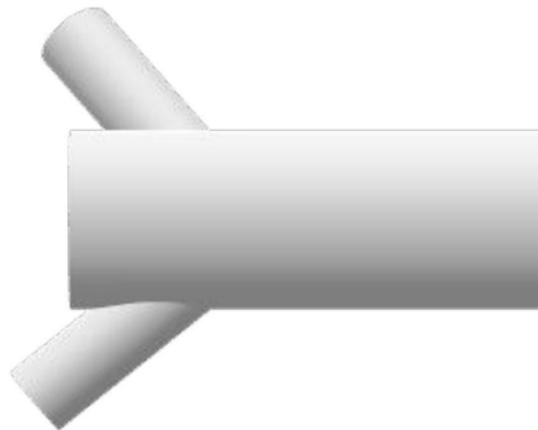


图2

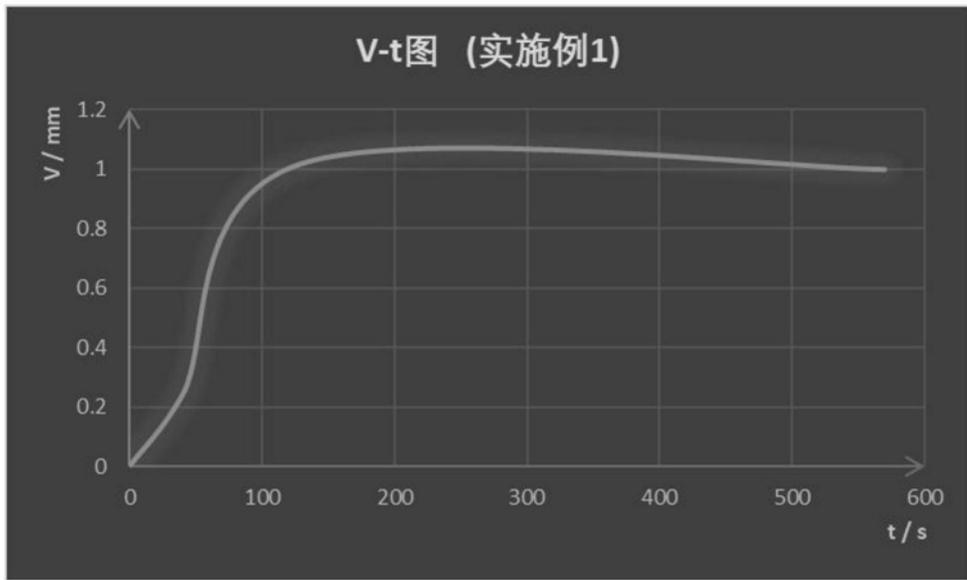


图3

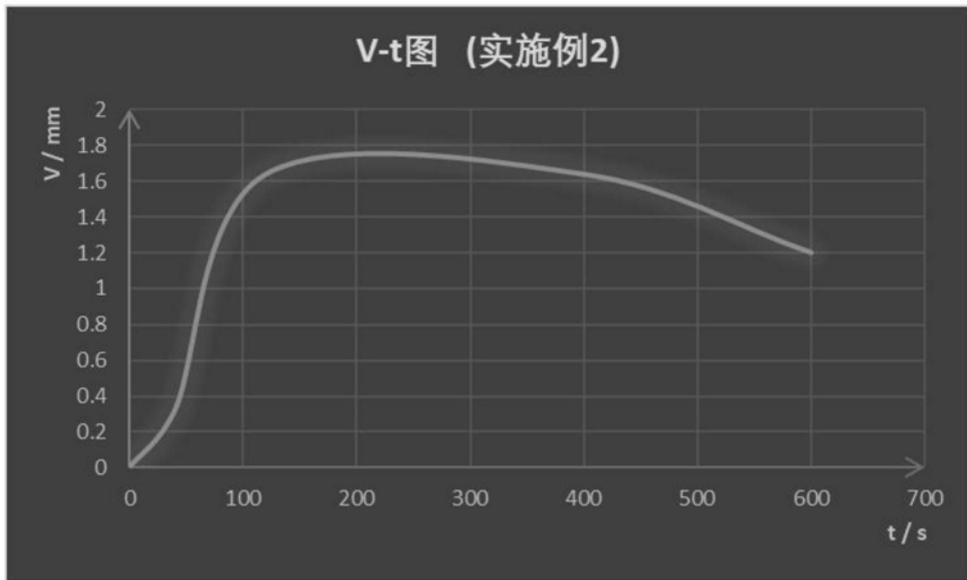


图4

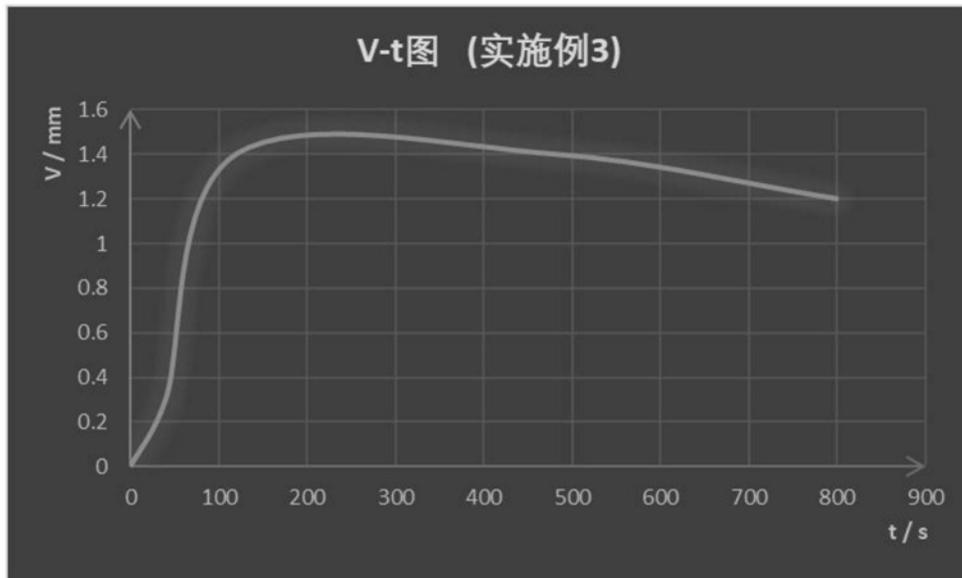


图5