



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111663995 B

(45) 授权公告日 2021.08.10

(21) 申请号 201910164094.9

(22) 申请日 2019.03.05

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111663995 A

(43) 申请公布日 2020.09.15

(73) 专利权人 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.

F02B 43/10 (2006.01)

F02B 43/12 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1730118 A, 2006.02.08

CN 107962548 A, 2018.04.27

CN 101554543 A, 2009.10.14

EP 2207703 B1, 2012.05.16

审查员 张博

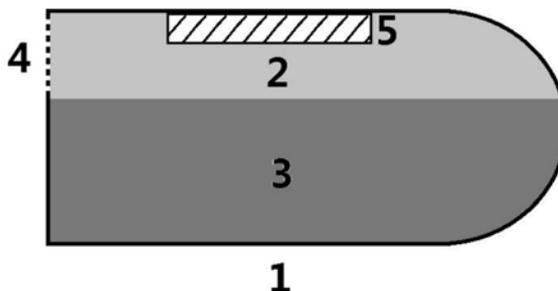
权利要求书1页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种化学能驱动的纳米发动机及其提供动力的方法和纳米机器人

(57) 摘要

本发明属于纳米科技领域,尤其涉及一种化学能驱动的纳米发动机及其提供动力的方法和纳米机器人。本发明提供的纳米发动机包括:壳体,壳体内上部为油层,下部为水层;壳体上部设置有开口,开口覆盖有允许气体通过的半透膜;和可脱离设置于壳体上部内壁的金属钠,金属钠的密度>油层。本发明提供的纳米发动机可利用金属钠与水反应释放大量氢气作为纳米发动机的推动力,可以很好的保证装配有该纳米发动机的纳米机器人的运动速率。同时,根据钠元素的化学性质,本发明提供的纳米发动机采用不同的液体构建双层反应空间,通过调整油层和水层的比例,可合理控制钠与水的反应速率,提高纳米发动机运转过程的安全系数,延长纳米发动机的制动时长有效。



1. 一种化学能驱动的纳米发动机,包括:
壳体,所述壳体内上部为油层,下部为水层;所述壳体上部设置有开口,所述开口覆盖有允许气体通过的半透膜;所述油层和水层的高度比为(7~20):34;
和可脱离设置于壳体上部内壁的金属钠,所述金属钠的密度>所述油层。
2. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述壳体沿水平方向的一端为半球形,所述开口设置在与之相对的另一端。
3. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述金属钠表面的部分区域覆盖有铝箔。
4. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述金属钠表面包裹有水溶性膜。
5. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述金属钠通过可热脱粘的粘合剂粘附在所述壳体上部内壁。
6. 根据权利要求1所述的纳米发动机,其特征在于,所述油层为煤油层。
7. 一种化学能驱动的纳米发动机提供动力的方法,包括以下步骤:
 - a) 提供根据权利要求1~6任一项所述的纳米发动机;
 - b) 将所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离;
 - c) 脱离后的金属钠与所述水层接触反应,反应产生的氢气从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。
8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,步骤a)中,纳米发动机内,所述金属钠通过可热脱粘的粘合剂粘附在所述壳体上部内壁;
所述步骤b)具体包括以下步骤:对所述纳米发动机的壳体进行加热,使所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离。
9. 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1~6任一项所述的纳米发动机。

一种化学能驱动的纳米发动机及其提供动力的方法和纳米机器人

技术领域

[0001] 本发明属于纳米科技领域,尤其涉及一种化学能驱动的纳米发动机及其提供动力的方法和纳米机器人。

背景技术

[0002] 纳米机器人是人们进军微观领域后最热门的研究之一,纳米机器人的兴起将会为人类提供极大的便利,解决大量的医学难题。为了给纳米机器人的运动供给足够的动能,保障其安全稳定的运动,人们从物理化学等多个领域对其关键部件—纳米发动机进行了探索。

[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 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。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种化学能驱动的纳米发动机及其提供动力的方法和纳米机器人,本发明提供的纳米发动机可提供充足且稳定的动力。

[0006] 本发明提供了一种化学能驱动的纳米发动机,包括:

[0007] 壳体,所述壳体内上部为油层,下部为水层;所述壳体上部设置有开口,所述开口覆盖有允许气体通过的半透膜;

[0008] 和可脱离设置于壳体上部内壁的金属钠,所述金属钠的密度>所述油层。

[0009] 优选的,所述壳体沿水平方向的一端为半球形,所述开口设置在与其相对的另一端。

[0010] 优选的,所述油层和水层的高度比为(7~20):34。

[0011] 优选的,所述金属钠表面的部分区域覆盖有铝箔。

[0012] 优选的,所述金属钠表面包裹有水溶性膜。

[0013] 优选的,所述金属钠通过可热脱粘的粘合剂粘附在所述壳体上部内壁。

[0014] 优选的,所述油层为煤油层。

[0015] 本发明提供了一种化学能驱动的纳米发动机提供动力的方法,包括以下步骤:

[0016] a) 提供上述技术方案所述的纳米发动机;

[0017] b) 将所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离;

[0018] c) 脱离后的金属钠与所述水层接触反应,反应产生的氢气从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。

[0019] 优选的,步骤a)中,纳米发动机内,所述金属钠通过可热脱粘的粘合剂粘附在所述壳体上部内壁;

[0020] 所述步骤b)具体包括以下步骤:对所述纳米发动机的壳体进行加热,使所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离。

[0021] 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。

[0022] 与现有技术相比,本发明提供了一种化学能驱动的纳米发动机及其提供动力的方法和纳米机器人。本发明提供的纳米发动机包括:壳体,所述壳体内上部为油层,下部为水层;所述壳体上部设置有开口,所述开口覆盖有允许气体通过的半透膜;和可脱离设置于壳体上部内壁的金属钠,所述金属钠的密度 $>$ 所述油层。该纳米发动机提供动力的方法包括以下步骤:a)提供上述技术方案所述的纳米发动机;b)将所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离;c)脱离后的金属钠与所述水层接触反应,反应产生的氢气从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。本发明提供的纳米发动机可利用金属钠与水反应释放大量氢气作为纳米发动机的推动力,由于钠与水的反应速率高,因此单位时间内转化的动能也越大,可以很好的保证装配有该纳米发动机的纳米机器人的运动速率。同时,根据钠元素的化学性质,本发明提供的纳米发动机采用不同的液体构建双层反应空间,通过调整油层和水层的比例,可合理控制钠与水的反应速率,提高纳米发动机运转过程的安全系数,延长纳米发动机的制动时长有效。此外,由于本发明提供的纳米发动机为封闭结构,从而避免了纳米发动机运转过程中来自外界环境的干扰,同时保障了纳米发动机运转过程中产生的反应物不会污染外部环境。

附图说明

[0023] 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。

[0024] 图1是本发明实施例提供的纳米发动机的结构示意图;

[0025] 图2是本发明实施例提供的部分区域覆盖有铝箔的长方体金属钠的结构示意图;

[0026] 图3是本发明实施例提供的纳米发动机的运动图像;

[0027] 图4是本发明实施例4提供的部分区域覆盖有铝箔的圆球体金属钠的结构示意图。

具体实施方式

[0028] 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。

[0029] 本发明提供了一种化学能驱动的纳米发动机,包括:

[0030] 壳体,所述壳体内上部为油层,下部为水层;所述壳体上部设置有开口,所述开口覆盖有允许气体通过的半透膜;

[0031] 和可脱离设置于壳体上部内壁的金属钠,所述金属钠的密度 $>$ 所述油层。

[0032] 参见图1,图1是本发明实施例提供的纳米发动机的结构示意图,图1中1为壳体,2为油层,3为水层,4为开口,5为金属钠。

[0033] 本发明提供的化学能驱动的纳米发动机包括壳体1,其中,壳体1的材质优选为二氧化钛;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沿水平方向的一端为半球形。在本发明提供的一个壳体1沿水平方向的一端为半球形的实施例中,壳体1中与所述半球形相接的部分为圆柱形。在本发明提供的一个实施例中,壳体1圆柱形部分的轴向长度为500~1000nm,具体可为500nm、520nm、550nm、570nm、600nm、620nm、650nm、670nm、700nm、720nm、750nm、770nm、800nm、820nm、850nm、870nm、900nm、920nm、950nm、970nm或1000nm。

[0034] 在本发明中,壳体1内上部为油层2,下部为水层3。其中,油层2优选为煤油层,水层3优选为蒸馏水层;油层2和水层3的高度比优选为(7~20):34,具体可为7:34、8:34、9:34、10:34、11:34、12:34、13:34、14:34、15:34、16:34、17:34、18:34、19:34或20:34。在本发明提供的一个实施例中,油层2的高度优选为70~200nm,具体可为70nm、80nm、90nm、100nm、110nm、120nm、130nm、140nm、150nm、160nm、170nm、180nm、190nm或200nm;水层3的高度优选为250~450nm,具体可为250nm、270nm、290nm、300nm、320nm、340nm、360nm、380nm、400nm、420nm或450nm。

[0035] 在本发明中,壳体1的上部设置有开口4。在本发明提供的一个壳体1沿水平方向的一端为半球形的实施例中,开口4设置在与所述半球形相对的另一端的壳体上部。在本发明中,开口4上覆盖有允许气体通过的半透膜,所述半透膜优选为纤维素半透膜。在本发明中,所述纤维素半透膜仅对氢气有较高的分离系数,可阻隔水油,并保障氢气顺利释放。

[0036] 在本发明中,所述纳米发动机还包括金属钠5,金属钠5可脱离地设置于壳体1上部内壁,其密度 $>$ 油层2;金属钠5的形状包括但不限于长方体或圆球体。在本发明提供的一个实施例中,金属钠5的形状优选为长方体,所述长方体的长优选为250~500nm,具体可为250nm、270nm、300nm、320nm、340nm、360nm、380nm、400nm、420nm、450nm、480nm或500nm;所述长方体的宽优选为50~150nm,具体可为50nm、60nm、70nm、80nm、90nm、100nm、110nm、120nm、130nm、140nm或150nm;所述长方体的高优选为50~150nm,具体可为50nm、60nm、70nm、80nm、90nm、100nm、110nm、120nm、130nm、140nm或150nm。在本发明提供的一个实施例中,金属钠5表面的部分区域覆盖有铝箔。在本发明提供的一个实施例中,金属钠5表面包裹有水溶性膜,优选为水溶性PVA膜。在本发明提供的一个金属钠5的表面既覆盖有铝箔又包裹有水溶性膜的实施例中,铝箔位于金属钠5和水溶性膜之间。在本发明提供的一个实施例中,金属钠5实现可脱离地设置于壳体1上部内壁的方式为:通过可热脱粘的粘合剂将金属钠5粘附在壳体1的上部内壁。

[0037] 本发明还提供了一种上述技术方案所述的纳米发动机提供动力的方法,包括以下步骤:

[0038] a) 提供上述技术方案所述的纳米发动机;

[0039] b) 将所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离;

[0040] c) 脱离后的金属钠与所述水层接触反应,反应产生的氢气从所述纳米发动机的壳体开口处释放,提供推动力。

[0041] 在本发明提供的方法中,首先提供所述纳米发动机,之后将所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离。对于金属钠通过可热脱粘的粘合剂粘附在壳体上部内壁的纳米发动机而言,其实现脱离的方式可以为:对所述纳米发动机的壳体进行加热,使所述金属钠从所述纳米发动机的壳体上部内壁脱离。其中,所述加热的方式可以为激光加热。

[0042] 金属钠从壳体上部内壁脱离后,由于其密度介于油层和水层之间,因此金属钠会位于油层和水层之间,一半左右的表面积与水层接触反应,反应化学方程式为: $2\text{Na}+2\text{H}_2\text{O}=2\text{NaOH}+\text{H}_2\uparrow$ 。反应产生的氢气从纳米发动机的壳体开口处释放,为纳米发动机提供推动力。

[0043] 本发明提供的纳米发动机至少具有以下优点:

[0044] 1) 本发明提供的纳米发动机可利用金属钠与水反应释放大量氢气作为纳米发动机的推动力,由于钠与水的反应速率高,因此单位时间内转化的动能也越大,可以很好的保证装配有该纳米发动机的纳米机器人的运动速率。

[0045] 2) 本发明提供的纳米发动机采用水和油构建双层反应空间,可减少金属钠与水的接触面积,从而合理控制钠与水的反应速率,提高纳米发动机运转过程的安全系数,延长纳米发动机的制动时长有效。其具体原理如下:金属钠的密度介于油层和水层之间,因此在纳米发动机运行过程中,金属钠会位于油层和水层之间,相当于金属钠一半左右的表面积与反应物水接触,在受到产生氢气的影响下,金属钠会不间断的在水层和油层之间跳动,仅在接触到下层水时,发生反应释放气体。

[0046] 3) 本发明提供的纳米发动机为封闭结构,从而避免了纳米发动机运转过程中来自外界环境的干扰,同时保障了纳米发动机运转过程中产生的反应物不会污染外部环境。

[0047] 4) 在本发明的优选技术方案中,金属钠表面的部分区域覆盖有铝箔,从而可进一步减少金属钠与水的接触面积,从而更好的调控钠与水的反应速率,提高纳米发动机运转过程的安全系数,延长纳米发动机的制动时长有效。

[0048] 5) 在本发明的优选技术方案中,金属钠表面包裹有水溶性膜,从而可以有效地阻隔金属钠接触外部环境,防止金属钠在与水层接触之前与环境中的其他物质发生反应。

[0049] 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。

[0050] 为更清楚起见,下面通过以下实施例进行详细说明。

[0051] 实施例1

[0052] 1) 纳米发动机的结构:

[0053] 一种如图1所示结构的纳米发动机,包括:壳体1,壳体1的材质为二氧化钛,厚度为120nm;壳体1沿水平方向的一端为半球形,与所述半球形相接的壳体部分为圆柱形,壳体1半球部分和圆柱部分的内径为480nm,圆柱部分的轴向长度为820nm;壳体1内下部为水层3,

水层3的高度为340nm,填充的是蒸馏水;壳体1内上部为油层2,油层2的高度为140nm,填充的是 $\rho=0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 的煤油;壳体1中与半球形相对的另一端的上半部分(以油层2和水层3的交界面为界)为壳体1的开口4,开口4上覆盖有纤维素半透膜,所述纤维素半透膜仅对氢气有较高的分离系数,可阻隔水油。

[0054] 在本实施例中,壳体1的上部内壁粘接有金属钠5($\rho_{\text{金属钠5}}=0.9788\text{g}/\text{cm}^3$),金属钠5的形状为长方体($360\text{nm}\times 80\text{nm}\times 80\text{nm}$);金属钠5的表面部分区域覆盖有条形铝箔,覆盖位置如图2所示,图2是本发明实施例提供的部分区域覆盖有铝箔的长方体金属钠的结构示意图,其中A表示金属钠,B表示覆盖在金属钠表面的铝箔条;在本实施例中,铝箔条宽度为金属钠宽度的1/3,铝箔条位于长方形金属钠各面的中间位置;在本实施例中,覆盖有铝箔条的金属钠5的表面还包裹有水溶性PVA膜。

[0055] 在本实施例中,包裹有水溶性PVA膜的金属钠5通过可热脱粘的粘合剂与所述内壁进行粘接。

[0056] 2) 纳米发动机的制备:

[0057] 采用模板合成法制备空心的 TiO_2 壳体,得到壳体1;

[0058] 以N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)为溶剂溶解纤维素制备纤维素半透膜;

[0059] 将金属钠压缩成长方体,之后在其表面的部分区域覆盖铝箔条,接着在最外面包裹一层水溶性PVA膜,得到水溶性PVA膜包裹的覆盖有条形铝箔的金属钠5;

[0060] 将壳体1水平放置,通过开口4向纳米发动机内注蒸馏水至与开口4的下沿齐平;在金属钠5的一侧涂抹可热脱粘的粘合剂,使用磁性装捡将金属钠5从开口4放入纳米发动机内,并粘附到壳体1的上部内壁;最后通过开口4向纳米发动机内注满煤油,并通过纤维素半透膜将开口4封闭,得到纳米发动机。

[0061] 3) 纳米发动机的使用情况评价:

[0062] 在模拟温度为 37°C 的运行环境下,将本实施例上述提供的纳米发动机置于半径为 $300\mu\text{m}$,密度约为 $\rho=1.05\sim 1.06\text{g}/\text{cm}^3$,流体比重约为 $\rho\text{g}=1.04\times 10^4\text{N}/\text{m}^3$,黏度大约保持为 3.6cP 的模拟混合溶液中。

[0063] 采用高精度扫描电子显微镜观测该纳米发动机在混合溶液中的运行情况,进行数据记录分析,结果如下:

[0064] 采用外部激光照射加热纳米发动机顶部,金属钠快从内腔顶部脱落并下沉至水层上端。纳米发动机进入反应环境后,金属钠块表面包覆的水溶性PVA薄膜在约5秒后会溶解在水中,此时纳米发动机启动完成。

[0065] 纳米发动机的运动可以基本描述为一个持续加速-匀速-减速过程。在起始时刻 t_0 至 t_1 时刻,纳米发动机处于加速阶段,由于此时金属钠与水接触表面积较大,纳米发动机的速度从0持续增大。在 t_1 时刻观测到纳米发动机的运动速率为最大 $V_{\text{max}}=1.82\text{mm}/\text{s}$ 。在 t_1-t_2 时间段内,纳米发动机速度可描述为匀速运动,此时纳米发动机运动速率趋于稳定。在 t_2-t_3 时间段内,随着钠块与水反应过程的持续进行,钠块体积不断减小,反应接触面积随之变小。纳米发动机运动速度缓慢持续减小直至停止。运动图像如图3。

[0066] 在纳米发动机的整个运动过程中,可以维持稳定、连续的运动,当外部加上交变调控磁场,纳米发动机可以准确避开虚拟障碍物,对运动方向进行高精度控制,进行转弯或上升下降运动。在运动过程中纳米发动机不存在翻滚、骤停等现象。

[0067] 实施例2

[0068] 1) 纳米发动机的结构:

[0069] 一种如图1所示结构的纳米发动机,包括:壳体1,壳体1的材质为二氧化钛,厚度为120nm;壳体1沿水平方向的一端为半球形,与所述半球形相接的壳体部分为圆柱形,壳体1半球部分和圆柱部分的内径为480nm,圆柱部分的轴向长度为820nm;壳体1内下部为水层3,水层3的高度为340nm,填充的是蒸馏水;壳体1内上部为油层2,油层2的高度为140nm,填充的是 $\rho=0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 的煤油;壳体1中与半球形相对的另一端的上半部分(以油层2和水层3的交界面为界)为壳体1的开口4,开口4上覆盖有纤维素半透膜,所述纤维素半透膜仅对氢气有较高的分离系数,可阻隔水油。

[0070] 在本实施例中,壳体1的上部内壁粘接有金属钠5($\rho_{\text{金属钠5}}=0.9788\text{g}/\text{cm}^3$),金属钠5的形状为长方体(360nm \times 80nm \times 80nm);金属钠5的表面部分区域不再覆盖有条形铝箔。在本实施例中,金属钠5的表面包裹有水溶性PVA膜。

[0071] 在本实施例中,包裹有水溶性PVA膜的金属钠5通过可热脱粘的粘合剂与所述内壁进行粘接。

[0072] 2) 纳米发动机的制备:

[0073] 采用模板合成法制备空心的TiO₂壳体,得到壳体1;

[0074] 以N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)为溶剂溶解纤维素制备纤维素半透膜;

[0075] 将金属钠压缩成长方体,接着在最外面包裹一层水溶性PVA膜,得到水溶性PVA膜包裹的金属钠块5;

[0076] 将壳体1水平放置,通过开口4向纳米发动机内注蒸馏水至与开口4的下沿齐平;在金属钠5的一侧涂抹可热脱粘的粘合剂,使用磁性装捡将金属钠5从开口4放入纳米发动机内,并粘附到壳体1的上部内壁;最后通过开口4向纳米发动机内注满煤油,并通过纤维素半透膜将开口4封闭,得到纳米发动机。

[0077] 3) 纳米发动机的使用情况评价:

[0078] 在模拟温度为37℃的运行环境下,将本实施例上述提供的纳米发动机置于半径为300 μm ,密度约为 $\rho=1.05\sim 1.06\text{g}/\text{cm}^3$,流体比重约为 $\rho_g=1.04\times 10^4\text{N}/\text{m}^3$,黏度大约保持为3.6cP的模拟混合溶液中。

[0079] 采用高精度扫描电子显微镜观测该纳米发动机在混合溶液中的运行情况,进行数据记录分析,结果如下:

[0080] 采用外部激光照射加热纳米发动机顶部,金属钠块从内腔顶部脱落并下沉至水层上端。纳米发动机进入反应环境后,金属钠块表面包覆的水溶性PVA薄膜在约5秒后会溶解在水中,此时纳米发动机启动完成。

[0081] 纳米发动机的运动可以基本描述为一个持续变加速-减速过程。在起始时刻 t_0 至 t_1 时刻,纳米发动机处于变加速阶段,由于在本实施例中金属钠块表面不再覆盖铝箔条,此时金属钠块表面与水直接接触,纳米发动机的速度从0持续增大,加速度不断提高。在 t_1 时刻观测到纳米发动机的运动速率为最大 $V_{\text{max}}=2.12\text{mm}/\text{s}$ 。在 t_1-t_2 时间段内,随着钠块与水反应过程的持续进行,钠块体积不断减小,反应接触面积随之变小。纳米发动机运动速度缓慢持续减小直至停止。运动图像如图3。

[0082] 在纳米发动机的整个运动过程中,可以维持稳定、连续的运动,当外部加上交变调

控磁场,纳米发动机可以准确避开虚拟障碍物,对运动方向进行高精度控制,进行转弯或上升下降运动。在运动过程中纳米发动机不存在翻滚、骤停等现象。

[0083] 实施例3

[0084] 1) 纳米发动机的结构:

[0085] 一种如图1所示结构的纳米发动机,包括:壳体1,壳体1的材质为二氧化钛,厚度为120nm;壳体1沿水平方向的一端为半球形,与所述半球形相接的壳体部分为圆柱形,壳体1半球部分和圆柱部分的内径为480nm,圆柱部分的轴向长度为820nm;壳体1内下部为水层3,水层3的高度为340nm,填充的是蒸馏水;壳体1内上部为油层2,油层2的高度为140nm,填充的是 $\rho=0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 的煤油;壳体1中与半球形相对的另一端的上半部分(以油层2和水层3的交界面为界)为壳体1的开口4,开口4上覆盖有纤维素半透膜,所述纤维素半透膜仅对氢气有较高的分离系数,可阻隔水油。

[0086] 在本实施例中,壳体1的上部内壁粘接有金属钠5($\rho_{\text{金属钠}}=0.9788\text{g}/\text{cm}^3$),将金属钠5的形状制成为球体图4(半径60nm);金属钠球的表面部分区域覆盖有条形铝箔,覆盖位置如图4所示,图4是本发明实施例4提供的部分区域覆盖有铝箔的圆球体金属钠的结构示意图,其中“十字”部分为覆盖的铝箔条;在本实施例中,铝箔条覆盖范围为金属钠球表面半径为40nm的两个圆环之间区域,铝箔条位于金属钠球表面的中间位置;在本实施例中,覆盖有铝箔条的金属钠5的表面还包裹有水溶性PVA膜。

[0087] 在本实施例中,包裹有水溶性PVA膜的金属钠5通过可热脱粘的粘合剂与所述内壁进行粘接。

[0088] 2) 纳米发动机的制备:

[0089] 采用模板合成法制备空心的 TiO_2 壳体,得到壳体1;

[0090] 以N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)为溶剂溶解纤维素制备纤维素半透膜;

[0091] 将金属钠压缩成圆球体,之后在其表面的部分区域覆盖铝箔条,接着在最外面包裹一层水溶性PVA膜,得到水溶性PVA膜包裹的覆盖有条形铝箔的金属钠5;

[0092] 将壳体1水平放置,通过开口4向纳米发动机内注蒸馏水至与开口4的下沿齐平;在金属钠5的一侧涂抹可热脱粘的粘合剂,使用磁性装捡将金属钠5从开口4放入纳米发动机内,并粘附到壳体1的上部内壁;最后通过开口4向纳米发动机内注满煤油,并通过纤维素半透膜将开口4封闭,得到纳米发动机。

[0093] 3) 纳米发动机的使用情况评价:

[0094] 在模拟温度为 37°C 的运行环境下,将本实施例上述提供的纳米发动机置于半径为 $300\mu\text{m}$,密度约为 $\rho=1.05\sim 1.06\text{g}/\text{cm}^3$,流体比重约为 $\rho\text{g}=1.04\times 10^{-4}\text{N}/\text{m}^3$,黏度大约保持为 3.6cP 的模拟混合溶液中。

[0095] 采用高精度扫描电子显微镜观测该纳米发动机在混合溶液中的运行情况,进行数据记录分析,结果如下:

[0096] 采用外部激光照射加热纳米发动机顶部,纳米发动机中哪球从内腔顶部脱落并下沉至水层上端。纳米发动机进入反应环境后,金属钠块表面包覆的水溶性PVA薄膜在约5秒后会溶解在水中,此时纳米发动机启动完成。

[0097] 纳米发动机的运动可以基本描述为一个持续加速-匀速-减速过程。在起始时刻 t_0 至 t_1 时刻,纳米发动机处于加速阶段,由于此时金属钠与水接触表面积较大,纳米发动机的

速度从0持续增大。在 t_1 时刻观测到纳米发动机的运动速率为最大 $V_{\max}=2.02\text{mm/s}$ 。在 t_1-t_2 时间段内,纳米发动机速度可描述为匀速运动,此时纳米发动机运动速率趋于稳定。在 t_2-t_3 时间段内,随着钠块与水反应过程的持续进行,钠块体积不断减小,反应接触面积随之变小。纳米发动机运动速度缓慢持续减小直至停止。运动图像如图3。

[0098] 在纳米发动机的整个运动过程中,可以维持稳定、连续的运动,当外部加上交变调控磁场,纳米发动机可以准确避开虚拟障碍物,对运动方向进行高精度控制,进行转弯或上升下降运动。在运动过程中纳米发动机不存在翻滚、骤停等现象。

[0099] 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。

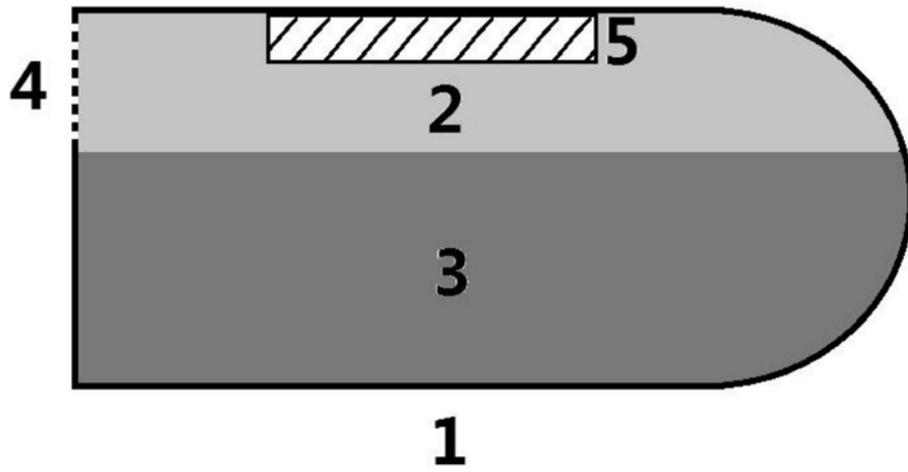


图1

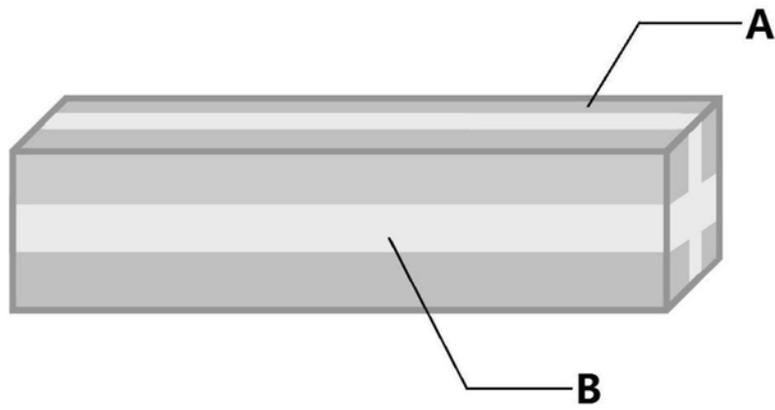


图2

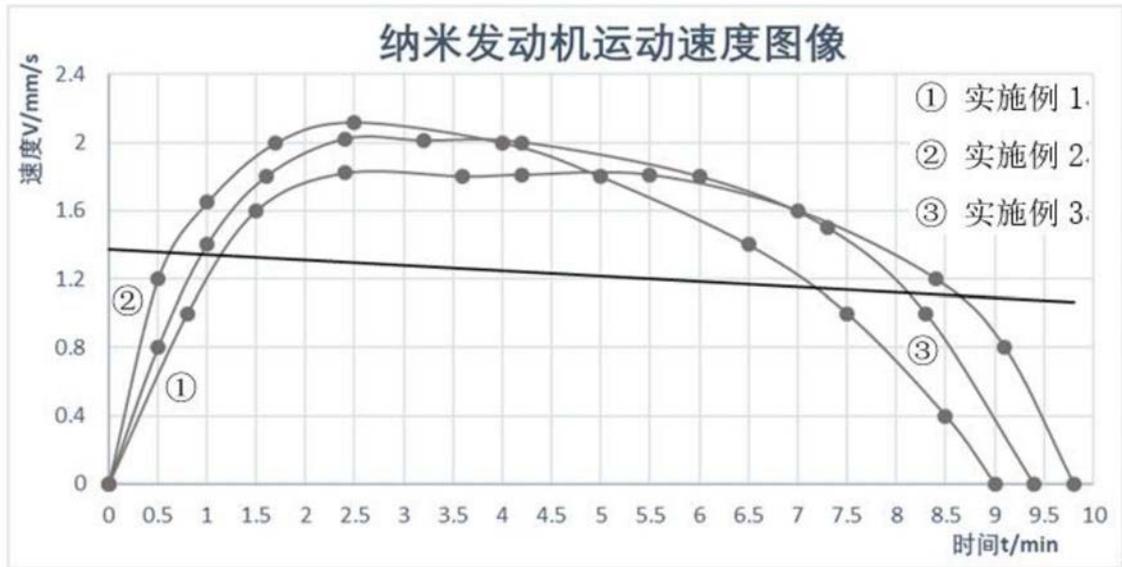


图3



图4