



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101288839 B

(45) 授权公告日 2011. 09. 14

(21) 申请号 200810090283. 8

(22) 申请日 2008. 04. 17

(30) 优先权数据

07104029. 0 2007. 04. 17 HK

(73) 专利权人 港大科桥有限公司

地址 中国香港薄扶林道香港大学创新科技
培育馆一楼

专利权人 香港城市大学

(72) 发明人 梁国熙 梁耀彰 任永昌 吴子柏
关利平

(74) 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理
有限公司 11280

代理人 王勇

(51) Int. Cl.

B01J 19/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2001-104460 A, 2001. 04. 17, 图 3、
说明书第 0017 段。

CN 1882380 A, 2006. 12. 20, 说明书摘要。

CN 1624394 A, 2005. 06. 08, 说明书摘要。

CN 2640468 Y, 2004. 09. 15, 说明书摘要。

CN 2652395 Y, 2004. 11. 03, 说明书摘要。

审查员 贾钧琳

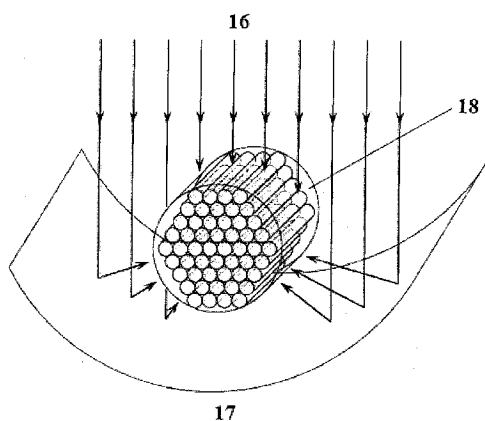
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

透光性管状蜂巢式光催化反应器

(57) 摘要

本发明涉及一种新颖的光催化反应器, 其能够有效进行太阳能辅助的光催化净化水和空气。所述的净化机制包括通过羟自由基同时分解有毒有机化合物和破坏致病微生物。所述光反应器具有由多个透光管构成的管状蜂巢结构。所述光催化反应也可以由用目光集束反射器的太阳辐射触发。同时, 所述光催化空气消毒效果可以通过将静电荷引入蜂巢光反应器而提高, 使得不带电的空气传播的微生物会被吸引到反应性光催化剂涂层, 并且随后被逐渐破坏。



1. 一种透光性管状蜂巢形光催化反应器,所述管状单元的内表面和外表面包覆有光催化剂薄膜,其特征在于,所述光催化反应器可选择的具有一个或多个透明窗口,所述光催化反应器的外罩的内表面设有光反射器。

2. 根据权利要求1所述的光催化反应器,其特征在于,所述催化剂薄膜为溶胶-凝胶 TiO_2 薄膜或 TiO_2 纳米管薄膜。

3. 根据权利要求1所述的光催化反应器,其特征在于,所述透明窗口为紫外光透明窗口。

4. 根据权利要求1所述的光催化器,其特征在于,所述管状单元为硼硅酸盐玻璃管或石英管。

5. 根据权利要求1-4中任一项所述的光催化反应器,其特征在于,所述反应器包括一个或多个灯,灯光直接或通过所述透明窗口照射所述管状单元。

6. 根据权利要求5所述的光催化反应器,其特征在于,所述灯为紫外光灯。

7. 根据权利要求1-4中任一项所述的光催化反应器,其特征在于,所述光反射器为抛物面形。

8. 根据权利要求1-4中任一项所述的光催化反应器,其特征在于,所述光反射器为紫外光反射器。

9. 根据权利要求1-4任一项所述的光催化反应器,其特征在于,包括反射器,用于将日光反射进入所述反应器中。

10. 根据权利要求9所述的光催化反应器,其特征在于,所述反射器为聚光反射器。

11. 根据权利要求10所述的光催化反应器,其特征在于,所述聚光反射器为抛物面形,所述反应器设置在所述抛物面的焦点上。

12. 根据权利要求9任一项所述的光催化反应器,其特征在于,还包括用于分离日光中的紫外光,并使其照射进入所述反应器的部件。

13. 根据权利要求12所述的光催化反应器,其特征在于,所述部件为固定在所述反射器上的紫外光二向色反射器。

14. 根据权利要求12所述的光催化反应器,其特征在于,所述部件为设置在所述反射器与所述反应器之间光路上的可见光和/或红外光过滤器。

15. 根据权利要求1-4任一项所述的光催化反应器,其特征在于,所述反应器还包括静电场发生器,用于产生静电场以对粒子施加静电力并将其拉向单元壁。

16. 根据权利要求15所述的光催化反应器,其特征在于,所述静电场发生器分别为每个单元提供独立的静电场。

17. 根据权利要求15所述的透光性光催化反应器,其特征在于,所述静电场发生器包括至少一对分别带有正电荷和负电荷的极板,所述管状单元设置在所述极板之间的电场中。

18. 根据权利要求15所述的透光性光催化反应器,其特征在于,所述粒子为有机化合物颗粒和微生物。

19. 根据权利要求18所述的透光性光催化反应器,其特征在于,所述微生物为细菌、真菌和病毒。

20. 根据权利要求2所述的光催化反应器,其特征在于,所述 TiO_2 纳米管薄膜为经过金

属修饰的 TiO_2 纳米管薄膜。

21. 根据权利要求 20 所述的光催化反应器,其特征在于,所述金属为金、银、铂或铜。

22. 权利要求 1-4 任一项所述的光催化反应器,其特征在于,该反应器用于分解水以获取氢气和氧气。

透光性管状蜂巢式光催化反应器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光催化反应器,特别是一种透光性管状蜂巢式反应器,其中,光催化剂固定在透光性管状蜂巢的表面。本发明的光催化反应器特别适合于净化受污染的水和空气,以及将水分解成氢气和氧气。

背景技术

[0002] 各种空气和水污染问题已经对我们的环境造成了严重的不利影响。悬浮在空气和水中的致癌化学品和致病微生物对我们的健康形成了严重威胁。需要采取有效的控制措施来对抗污染物。光催化技术可以用于针对空气和水的强力净化机制中。当光线入射到光催化剂上时,会产生具有强氧化作用的羟自由基,并被输运到催化剂表面。羟基可以破坏微生物,将有机化合物分解为无害的简单化合物。这些现象可以使用到空气和水的处理中。

[0003] 在光催化水净化中,向盛有污水的水池中加入 TiO_2 粉末,形成泥浆。使泥浆通过对紫外光透明的光反应器,该泥浆可以被人造紫外光或太阳紫外光活化,引发光催化净化机制。经过沉淀后, TiO_2 粉末可以被回收。或者, TiO_2 催化剂可以固定在光反应器内表面形成涂层。被紫外光照射的光反应器可以净化污水。无须经过沉淀来回收 TiO_2 。

[0004] 对空气处理而言,由于很难从气流中回收 TiO_2 粉末,主流的光反应器设计都采用将 TiO_2 固定在一个基底上来实现光催化的空气净化。传统的空气净化光反应器包括一个覆盖有透明 TiO_2 涂层的机械结构(过滤器、网眼或蜂巢)。紫外光灯设置在气流中并靠近光反应器,照射到覆有涂层的表面上。在这种设计的结构中,紫外光照射的分布通常很差,甚至有很大一部分的 TiO_2 根本没有被照射到。

[0005] 光催化剂也可用于将水分离成氢气和氧气,所产生的氢气可用作发电的清洁燃料。而通过日光作为光源照射,可以产生回收的氢气。

[0006] 在公开号为特开 2001-104460 的日本专利申请中,公开了一种空气清净通路装置,包括由圆管状单元构成的蜂巢式光催化反应器,圆管状单元的内壁上覆盖有 TiO_2 涂层,使空气从圆管状单元内部流通经过,空气中的病菌等微生物受到透明 TiO_2 涂层的氧化作用而被破坏,并进一步指出了可以在管状蜂巢式光催化反应器中利用日光进行辅助催化,然而,由于反应器自身所能接收到的日光能量十分有限,而其中对光催化反应起主要作用的位于紫外光波段的光就更少,无法满足光催化反应的需要。

[0007] 另外,现有的光催化反应器中,气流在光催化反应器中只流过一次,气流中的有机化合物颗粒和微生物只有一部分依附在 TiO_2 上被氧化和破坏,而另一部分悬浮在气流通过光催化反应器中,很难被彻底破坏,因此,降低了反应器的催化效率。

发明内容

[0008] 本发明的第一个目的是,克服现有日光辅助光催化反应器的缺陷,以改善日光辅助的光催化效果,增强蜂巢式光反应器中固定的纳米管催化剂与空气/水污染物之间的反应,对水和空气进行有效的光催化净化,从而实现光催化解毒(分解有机化合物)和光催化

消毒（破坏微生物）。

[0009] 本发明的第二个目的是，实现有效的日光辅助的水和空气的光催化净化并通过分离水产生氢气。通过聚光反射器增加日光照射，以改善日光辅助的光催化效果。

[0010] 本发明的第三个目的是，使蜂巢式反应器内部所有地方都受到充足照射，以活化全部的催化剂，从而提供一种可以高效破坏气流或水流中悬浮微生物的透光性光催化反应器。

[0011] 本发明的第四个目的是，通过空气中微生物和固定的光催化剂之间的静电吸附来增强光催化的空气消毒效果。

[0012] 本发明的第五个目的是，通过日光照射为光源的纳米光催化反应器实现有效的水分解生成氢气，所生成的氢气可作为发电的清洁燃料。

[0013] 本发明的第一个目的可以通过用光催化剂薄膜涂覆的透光材料制成的反应器来实现，其中光催化剂薄膜可以是溶胶-凝胶 TiO_2 薄膜或 TiO_2 纳米管制成的 TiO_2 薄膜。当暴露在激活的照射之下，这种薄膜可以吸收有毒有机化合物并将其分解为无害的简单化合物。例如， TiO_2 薄膜主要吸收波长为紫外线的照射（波长从 300nm 到 400nm）。而当微生物（细菌、真菌、或病毒）接触或吸附于受到照射的光催化薄膜时，被活化的光催化剂产生的羟基将破坏细胞壁、脱氧核糖核酸（DNA）、和核糖核酸（RNA），达到光催化消毒效果。

[0014] 根据本发明，提供了一种日光辅助的透光性管状蜂巢式光催化反应器，其特征在于，包括反射器，用于将日光反射进入所述反应器中。与现有技术中向反应器内透射日光的方案相比，反射器的使用，使得反应器内部所有地方都受到充足的照射，提高催化剂的反应效率。特别是，透光性材料通过内部反射还导致光纤机制的光传输。结果，固定的光催化剂可以有效地吸收光。将一些管状单元移除后，发出适当波长辐射的灯可以被设置在蜂巢内部，对固定的催化剂进行照射。蜂巢外罩的内表面为一个反射器，因此，辐射能量可以被充分利用。为了便于维护，蜂巢状反应器外罩的一侧可以由透明性物质制成，以形成一个窗口，带有反射器的活化用灯可以设置在蜂巢外面。藉此本发明的上述第一和第二个目的得以实现。

[0015] 在本发明的日光辅助的透光性管状蜂巢式催化反应器中，所述反射器优选地为聚光反射器，例如抛物面形，并且将所述反应器设置在所述抛物面的焦点处。

[0016] 根据本发明，将蜂巢状反应器的窗口朝上以接受太阳光照射。当需要降低 TiO_2 反应器中太阳光的吸热时，可以在窗口使用可见光和 / 或红外过滤器，使得仅有有用的紫外光通过并进行催化剂活化。上述光催化反应器中，还优选地包括用于由从日光中分离出紫外光，使其照射进入所述反应器的部件。所述部件优选固定在所述聚光反射器上的紫外光二向色反射器；或者优选地是围绕所述反应器的可见光和 / 或红外光过滤器，藉此实现本发明上述第三个目的。

[0017] 根据本发明，还提供了一种透光性光催化反应器，包括管状单元，其内表面和 / 或外表面包覆有光催化剂薄膜，其中，所述反应器还包括与之相连的静电场发生器，用于产生静电场以对粒子施加静电力并将其拉向单元壁，其中所述粒子包括有机化合物颗粒和微生物，例如细菌、真菌和病毒等，从而实现本发明第四个目的。

[0018] 在本发明的上述光催化反应器中，所述静电场发生器优选地分别为每个单元提供独立的静电场。根据本发明的一个实施例中，所述静电场发生器还可以优选包括至少一对

分别带有正电荷和负电荷的极板,所述管状单元设置在所述极板之间的电场中。

[0019] 本发明的第五个目的,可以通过将水通过活性光催化纳米反应器分解成氢气和氧气来实现。可以将生成的氢气收集起来作为清洁燃料。

[0020] 根据本发明的透光性光催化反应器,其特征在于,包括用于将日光反射进入所述反应器中的反射器。该反射器例如可以是聚光反射器。当使用抛物面聚光反射器时,可以将反应器设置在抛物面的焦点上。在本发明的实施例中,还包括用于分离日光中的紫外光,并使其照射进入所述反应器的部件。所述部件例如可以为固定在所述反射器上的紫外光二向色反射器,设置在所述反射器与所述反应器之间光路上的可见光和 / 或红外光过滤器。

[0021] 根据本发明的透光性管状蜂巢式光催化反应器,通过使用管状单元来构建蜂巢式结构,以增强反应器中固定的催化剂与空气 / 水污染物的反应。计算流动力学分析表明,相比于六角形、四边形和三角形单元,管状单元可以导致空气中微生物和固定的催化剂之间更多的物理接触。因此,管状蜂巢具有更好的消毒效果。

[0022] 根据本发明的透光性管状蜂巢式光催化反应器,通过将透明性材料用于蜂巢结构,使得反应器内部所有地方都收到充足的照射,以活化全部固定的催化剂。

[0023] 因此,根据本发明的第一个方面,提供了一种透光性管状蜂巢形光催化反应器,其特征在于,所述管状单元的内表面和外表面包覆有光催化剂薄膜,且所述光催化反应器可选择的具有一个或多个透明窗口。

[0024] 根据本发明的第二个方面,所述催化剂薄膜为溶胶-凝胶 TiO_2 薄膜或 TiO_2 纳米管薄膜。

[0025] 根据本发明的第三个方面,所述透明窗口为紫外光透明窗口。

[0026] 根据本发明的第四个方面,所述管状单元为硼硅酸盐玻璃管或石英管。

[0027] 根据本发明的第五个方面,所述反应器包括一个或多个灯,灯光直接或通过所述透明窗口照射所述管状单元。

[0028] 根据本发明的第六个方面,所述灯为紫外光灯。

[0029] 根据本发明的第七个方面,所述反应器外罩的内表面设有光反射器。

[0030] 根据本发明的第八个方面,所述光反射器为抛物面形。

[0031] 根据本发明的第九个方面,所述光反射器为紫外光反射器。

[0032] 根据本发明的第十个方面,包括反射器,用于将日光反射进入所述反应器中。

[0033] 根据本发明的第十一个方面,所述反射器为聚光反射器。

[0034] 根据本发明的第十二个方面,所述聚光反射器为抛物面形,所述反应器设置在所述抛物面的焦点上。

[0035] 根据本发明的第十三个方面,还包括用于分离日光中的紫外光,并使其照射进入所述反应器的部件。

[0036] 根据本发明的第十四个方面,所述部件为固定在所述反射器上的紫外光二向色反射器。

[0037] 根据本发明的第十五个方面,所述部件为设置在所述反射器与所述反应器之间光路上的可见光和 / 或红外光过滤器。

[0038] 根据本发明的第十六个方面,所述反应器还包括静电场发生器,用于产生静电场

以对粒子施加静电力并将其拉向单元壁。

[0039] 根据本发明的第十七个方面,所述静电场发生器分别为每个单元提供独立的静电场。

[0040] 根据本发明的第十八个方面,所述静电场发生器包括至少一对分别带有正电荷和负电荷的极板,所述管状单元设置在所述极板之间的电场中。

[0041] 根据本发明的第十九个方面,所述粒子为有机化合物颗粒和微生物。

[0042] 根据本发明的第二十个方面,所述微生物为细菌、真菌和病毒。

[0043] 根据本发明的第二十一个方面,所述 TiO_2 纳米管薄膜为经过金属修饰的 TiO_2 纳米管薄膜。

[0044] 根据本发明的第二十二个方面,所述金属为金、银、铂或铜。

[0045] 根据本发明的第二十三个方面,该反应器用于分解水以获取氢气和氧气。

[0046] 根据本发明的第二十四个方面,提供了一种水热法制备二氧化钛纳米管的方法,包括以下步骤:

[0047] (1) 将 1.5g 二氧化钛粉末与 140ml 浓度为 10mol/L 的 NaOH 溶液混合;

[0048] (2) 将上述混合液在密封容器中于 150℃ 下水热处理 48 小时;

[0049] (3) 过滤、清洗并干燥;

[0050] (4) 最后将上述步骤 (3) 得到的产物在 300-900℃ 下于空气中煅烧 2 小时,得到二氧化钛纳米管。

[0051] 根据本发明的第二十五个方面,所述清洗步骤包括使用浓度为 0.1mol/L 的盐酸溶液和蒸馏水进行清洗,直到清洗溶液的 pH 值达到 6.5 为止。

[0052] 根据本发明的第二十六个方面,所述干燥步骤包括在真空炉中于 80℃ 下干燥 8 小时。

[0053] 本发明优点在于:

[0054] 1. 实现有效的日光辅助的水和空气的光催化净化。通过聚光反射器增加日光照射,以改善日光辅助的光催化效果;

[0055] 2. 通过空气中微生物和固定的光催化剂之间的静电吸附增强了光催化的空气净化效果。

[0056] 3. 使用二氧化钛纳米管制作光催化剂薄膜,大大提高了光催化效率。

[0057] 4. 本发明不但适用于对流体(例如水和空气)进行消毒和净化,还可以对水进行分解,获得氢气和氧气。

附图说明

[0058] 图 1 示出了一种由内部光源活化的透明性管状蜂巢式光催化反应器;

[0059] 图 2 示出了一种由外部光源活化的透明性管状蜂巢式光催化反应器;

[0060] 图 3 示出了一种由日光照射活化的透明性管状蜂巢式光催化反应器;

[0061] 图 4 示出了具有日光聚光反射器的透明性管状蜂巢式光催化反应器;

[0062] 图 5 为蜂巢单元中悬浮微生物的静电极化和吸附的示意图;

[0063] 图 6 示出了使用金属修饰二氧化钛前后,所对应的吸收波长的变化。

具体实施方式

[0064] 根据本发明的一个实施例的透明性管状蜂巢式光催化反应器,如图 1 所示,由多个透明管 1(例如硼硅酸盐或石英)构成。每条管的内表面和外表面都包覆有光催化剂薄膜,例如溶胶-凝胶二氧化钛薄膜或 TiO_2 纳米管薄膜。单端管状灯 2 设置于蜂巢中并于管状单元平行。蜂巢侧面板的内表面为用于增加内部照射的光反射器 3。

[0065] 图 2 所示的另一种照射方法便于系统的安装和维护。蜂巢装满包覆有光催化剂的玻璃管 4。灯 5 和光反射器 6 设置在蜂巢的一边以产生平行光线 7。正对着灯的侧面板是可以允许活化照射通过的窗口 8。其它三个侧面板的内表面是光反射器 9。如果活化照射不足以照射到蜂巢的远端,照射可以在蜂巢两个相对侧面得到补充。

[0066] 对图 3 所示的太阳光辅助的光催化来净化水或空气而言,装满带有光催化剂涂层的玻璃管 10 的蜂巢被放在室外,并使透明窗口 11 朝上以收集太阳光照射 13。另一侧的面板为光反射器 12。对于 TiO_2 光反应器,可以通过在窗口上设置可见光和红外光过滤器来降低太阳光的吸热。输入的受污染的水/空气 14 受到光催化氧化处理,成为更高品质的水/空气 15。

[0067] 为了增加日光能量,可以将上述蜂巢状反应器的窗口朝上以接受太阳光照射。在本发明的一个实施例中使用抛物线形的聚光反射器,如图 4 所示,输入的日光照射 16 可以由抛物面形反射器 17 会聚。光线被反射到抛物面的焦点,而透明性管状蜂巢式光催化反应器 18 就设置于此。蜂巢的外罩是圆形的,以便于收集反射光。

[0068] 随着进入反应器中的日光能量增加,反应器的温度不断上升。而在一些情况下,这种反应器温度的升高会带来许多负面影响,例如,在使用光催化反应器对室内空气进行消毒和净化时,如果光催化反应器温度过高,会抬高室内空气温度,从而使得空调系统不得不消耗更多能量来降低室温至较舒适的温度。

[0069] 在需要降低 TiO_2 光催化反应器中太阳光的吸热的情况下,可以在窗口使用可见光和/或红外过滤器,使得仅有有用的紫外光通过并进行催化剂活化。为了增加太阳光能量,可以使用抛物线形的聚光反射器。可以选择使用二向色反射器来降低反射光线中可见光和红外成分,以使蜂巢状光反应器的吸热达到最小。

[0070] 日光各种成分中,主要是对可见光和红外光的吸收导致反应器温度升高,而这部分成分对于 TiO_2 光催化反应几乎没有贡献,因此,为了控制 TiO_2 光催化反应器的日光吸热,降低反应器温度,在另一实施例中使用二向色反射器降低反射光线中可见光和红外光成分,将日光中的紫外光单独反射进入光催化反应器,并忽略日光中的可见光和红外光成分。

[0071] 在本发明又一实施例中,使用一个普通的反射器将日光反射进入反应器,并在反射器与反应器之间的光路上设有可见光和红外光过滤器,例如将可见光和红外光过滤器设置在光催化反应器的透明外罩上或者透光窗上。同样可以起到仅允许日光中紫外光进入反应器,以降低其温度的目的。

[0072] 另一方面,如前所述,在现有的光反应器中,通常气流在光反应器中只流过一次,由于滞留时间较短,不太可能彻底破坏其中的悬浮微生物,而如果使气流或水流多次流过光催化反应器,则不但增大了反应器的体积,而且降低了反应器的催化效率。为了克服上述的这些缺陷,提高反应器的催化效率,在本发明的一个实施例中,在蜂巢式光催化反应器中包括一个静电场发生器,使得蜂巢可以带正电荷或负电荷。如图 5 所示,静电场发生器(图

中未示出)的负极电连接至蜂巢式光催化反应器,通过沿轴向的静电场发生器使受到静电绝缘支撑的光催化反应器蜂巢单元 19 内壁上的二氧化钛薄膜带负电荷,在充有负电荷的蜂巢单元 19 的内部形成电场,从而引起极化效应,使得气流中悬浮的微生物被极化并形成偶极子 20。所述电场同时还施加静电力使极化的微生物移动到蜂巢单元壁上。粘附于受到照射的 TiO_2 的微生物将被逐步氧化直至被彻底破坏。在较佳的实施例中,静电场发生器为分别为每个蜂巢单元提供独立的静电场。当然,为了加强对微生物的极化,还可以使蜂巢单元的内外壁同时带有相同种类的电荷,从而使得蜂巢单元内部电场得到进一步增强。另外,电场的形成方式并不限于上面一种,例如,还可以在光反应器的两个相对的侧壁上分别设置正极板和负极板,从而产生由正极板指向负极板的电场,该电场横跨所有的蜂巢单元,同样可以实现对微生物的极化和破坏。

[0073] 另外,还可以将上述日光反射器与静电场发生器相结合使用,在充分利用日光,节约能量的同时,还提高了反应器的净化效率。

[0074] 目前,纳米材料各种优异的性能引起人们极大的研究兴趣,人们尝试制备出各种纳米材料,并研究其性能相比于宏观材料有无提高, TiO_2 作为一种常用的光催化材料,主要的制备方法包括模板辅助法(参考 P. Hoyer, 二氧化钛纳米管阵列的制备, *Langmuir* 12(1996)1411-1413)、溶胶-凝胶法(T. Kasua, M. Hiramatsu, A. Hoson, T. Sekino, K. Niihara, 二氧化钛纳米管的制备, *Langmuir* 14(1998)3160-3163.)、电化学阳极氧化法(H. Tsuchiya, J. M. Macak, L. Taveira, E. Balaur, A. Ghicov, K. Sirotna, P. Schmuki, 在含有氟化铵的醋酸电解液中制备自组装 TiO_2 纳米管 Self-organized TiO_2 nanotubes prepared in ammonia fluoride containing acetic acid electrolytes, *Electrochemistry Communications* 7(2005)576-580.),以及水热处理法(D. Wang, F. Zhou, Y. Liu, W. Liu, 使用钛粉末制备具有均匀直径的锐钛型 TiO_2 纳米管及其性质, *Materials Letters* 62(2008)1819-1822 和 H. H. Ou, S. L. Lo, 通过水热法制备二氧化钛纳米管的综述:制备、改性及应用, *Separation and Purification Technology* 58(2007)179-191)。并且,二氧化钛纳米管材料可以从市场上购得。高质量的 TiO_2 纳米管可以在纳米尺度上具有均匀的直径,由于纳米材料的比表面积非常大,可以达到 $100\text{m}^2\text{g}^{-1}$ or 更大,因此,具有更大的总反应表面积和改善的吸附动力学,从而增强了光催化反应。

[0075] 此外,本发明也提供了一种水热法制备 TiO_2 纳米管的方法,包括以下步骤:

[0076] (1) 将 1.5g TiO_2 粉末(P25)与 140ml 浓度为 10mol/L 的 NaOH 溶液混合;

[0077] (2) 将所述混合液放置在容积为 200ml 的、镀有聚四氟乙烯衬里的反应釜中,在 150°C 下进行水热处理 48 小时;

[0078] (3) 经过水热反应后,进行过滤,并使用浓度为 0.1mol/L 的盐酸溶液和蒸馏水对过滤产物进行清洗,直至清洗溶液的 pH 值达到 6.5 为止;接着在真空炉中,于 80°C 下干燥 8 小时;

[0079] (4) 最后,将经过干燥的样品在 $300-900^\circ\text{C}$ 下(例如 300°C 、 500°C 、 700°C 或 900°C)于空气中煅烧 2 小时,得到 TiO_2 纳米管材料。

[0080] 上述方法中,所述步骤(2)还可在其他合适的反应釜中进行,另外也可以使用其他合适的条件对水热反应的产物进行过滤、清洗和干燥,这对本领域普通技术人员来说是熟知的。

[0081] 上述水热法制备 TiO_2 纳米管材料的优点是：

[0082] (1) 为获取纳米管形态提供了一种简单、便捷的方式，将该 TiO_2 纳米管材料用于制作上述光催化反应器中的 TiO_2 纳米管薄膜，可以获得优异的光催化效果；

[0083] (2) 可广泛用于多种应用中；

[0084] (3) 可以在水热法基础上，使用多种金属对 TiO_2 纳米管进行修饰，从而改进其性质。

[0085] 基于上面所述的第 (3) 点，在本发明的又一个实施例中还使用金属离子修饰 TiO_2 纳米薄膜，所述金属包括但不限于 Au, Ag, Pt 和 Cu，经过金属离子修饰的 TiO_2 纳米薄膜可以将入射光引致的电子 - 空穴对进行有效的电荷分离，从而提高 TiO_2 纳米薄膜的催化效果。

[0086] 图 6 给出了二氧化钛光催化剂在使用金属修饰前后，所对应的吸收波长的变化。从图中可以看到，经过金属修饰后的二氧化钛光催化剂的吸收带向可见光波长移动。这种使得在可见光下能够进行有效的光催化反应，这样，在前面所述的日光辅助的光催化反应器中，日光中的紫外光和可见光都能够作为光催化反应的光源，从而使日光得到进一步地有效利用。

[0087] 根据本发明的又一个实施例，将上述各实施例中的光催化反应器用于分解水，以获得氢气和氧气。由于二氧化钛的导带低于用于产生氢气的产氢能级，且二氧化钛的价带高于用于有效产生氧气的水氧化能级。所以，具有强催化能力、高光学稳定性和长寿命电子 / 空穴对的二氧化钛被广泛用作分解水的光催化剂。

[0088] 另外，由于二氧化钛纳米薄膜的比表面积大，其分解水的效率相比普通二氧化钛薄膜高出很多，特别是经过金属离子修饰的 TiO_2 纳米管薄膜，这种薄膜的活化光波长由紫外光区移动到可见光波段，从而降低了电子 - 空穴复合率，进一步提高了分解水的效率。

[0089] 并且，如果在上面实施例所述日光辅助的光催化反应器中，使用经过金属离子修饰的 TiO_2 纳米管薄膜作为光催化剂，进行水的分解，以获取氢气和氧气，则不失为一种获取清洁能源的有效途径。

[0090] 最后应说明的是，以上各附图中的实施例仅用以说明本发明的透光性管状蜂巢式光催化反应器，但并不代表对本发明的限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明，本领域的普通技术人员应当理解，对本发明的技术方案进行各种组合、修改或者等同替换，都不脱离本发明技术方案的精神和范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

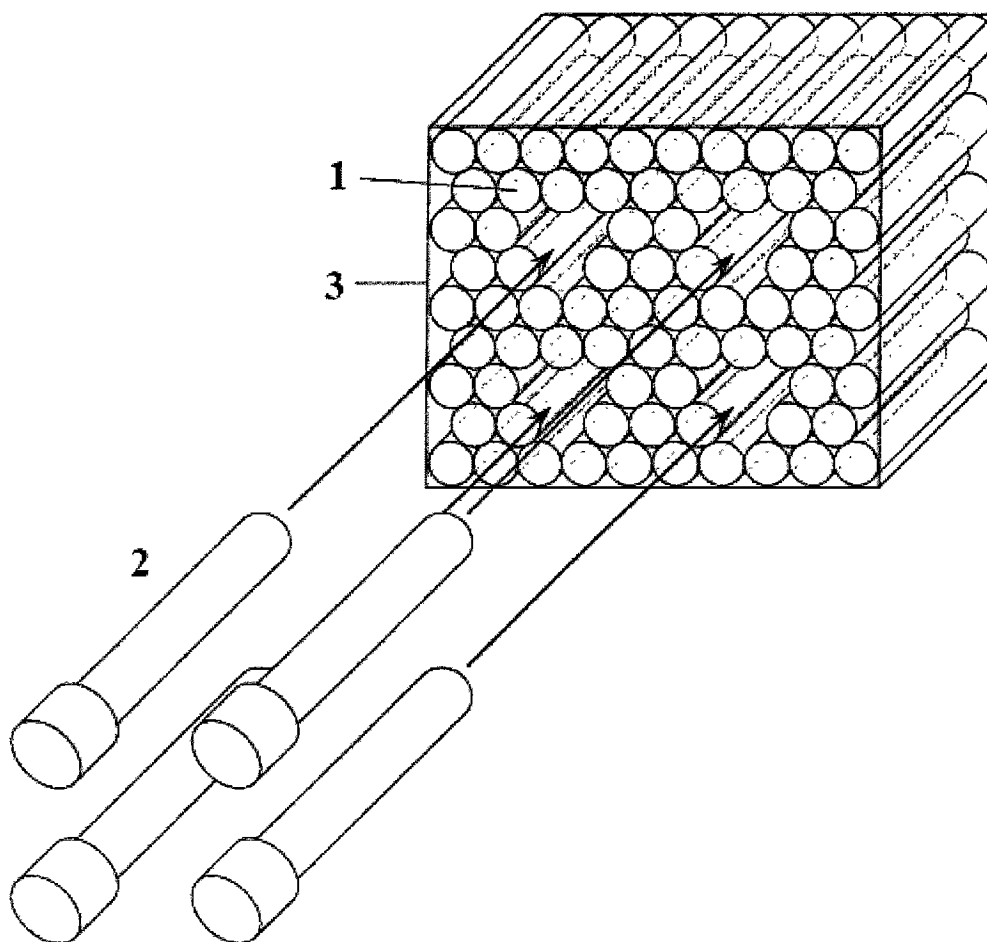


图 1

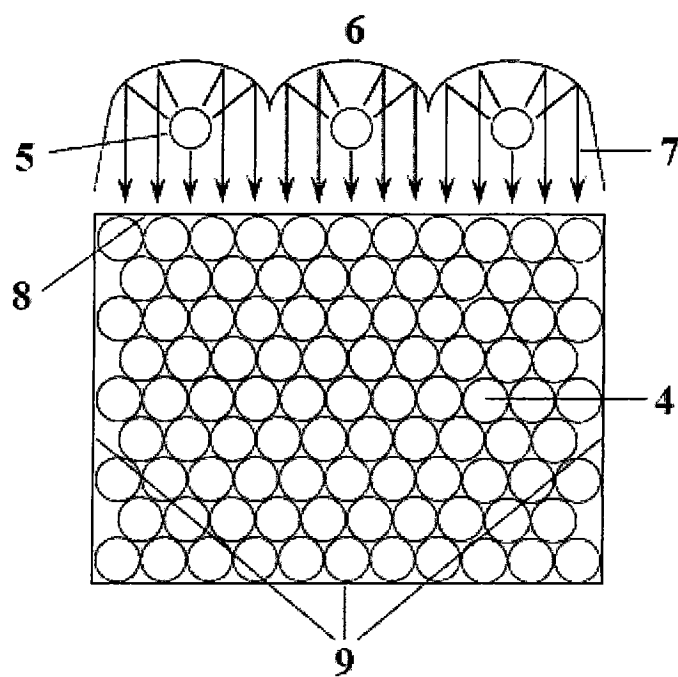


图 2

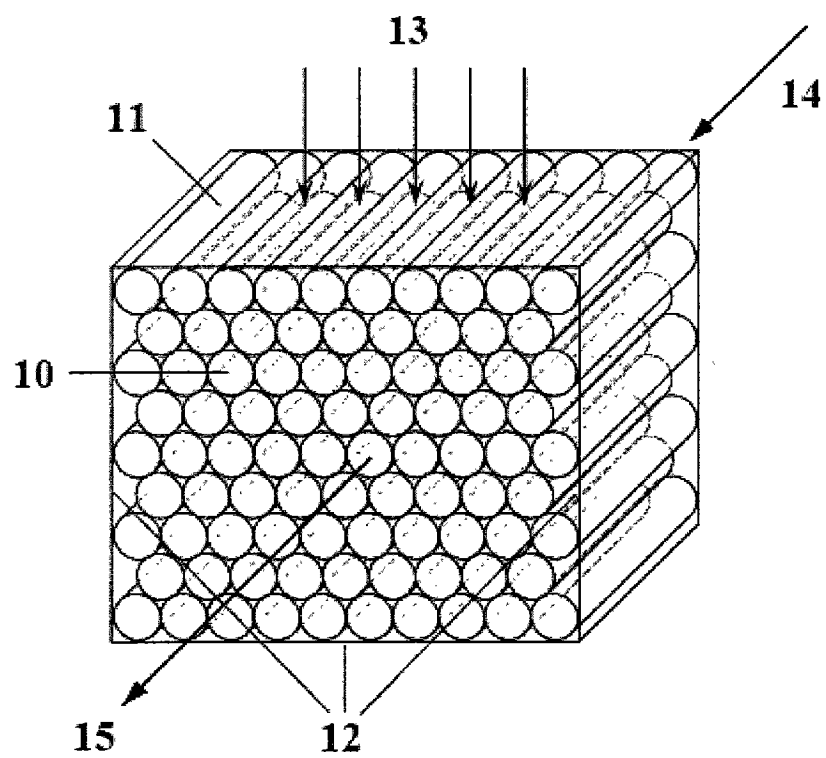


图 3

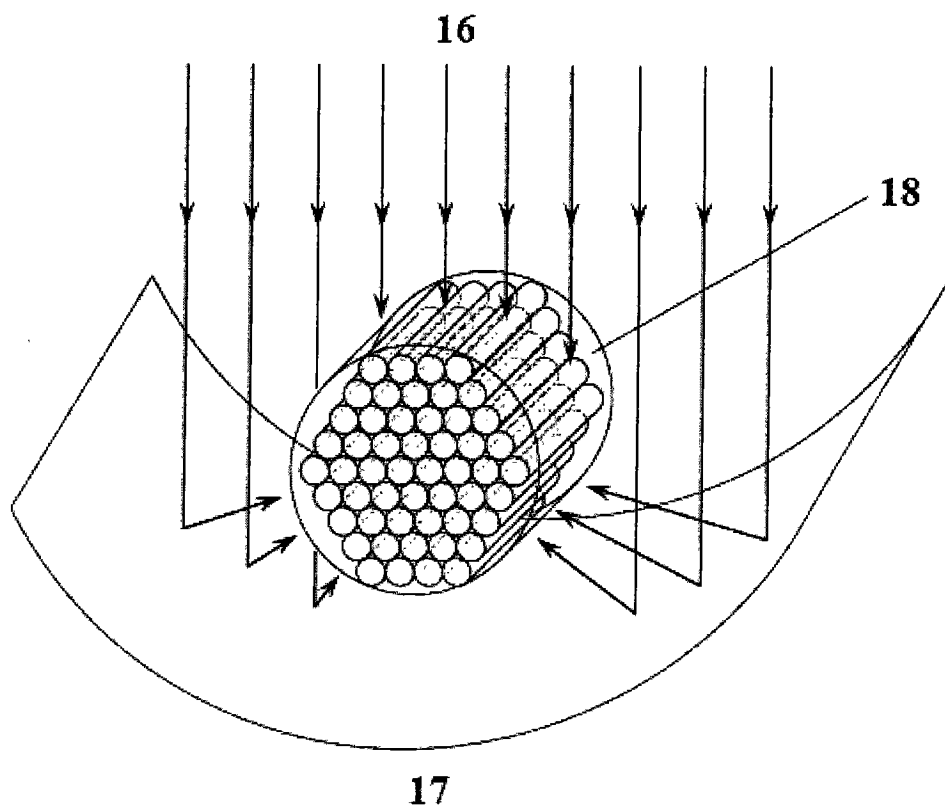


图 4

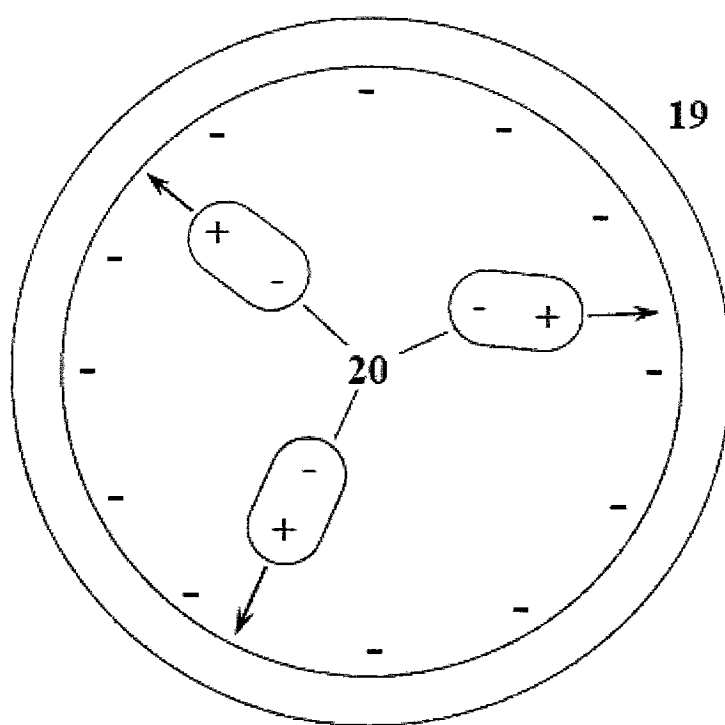


图 5

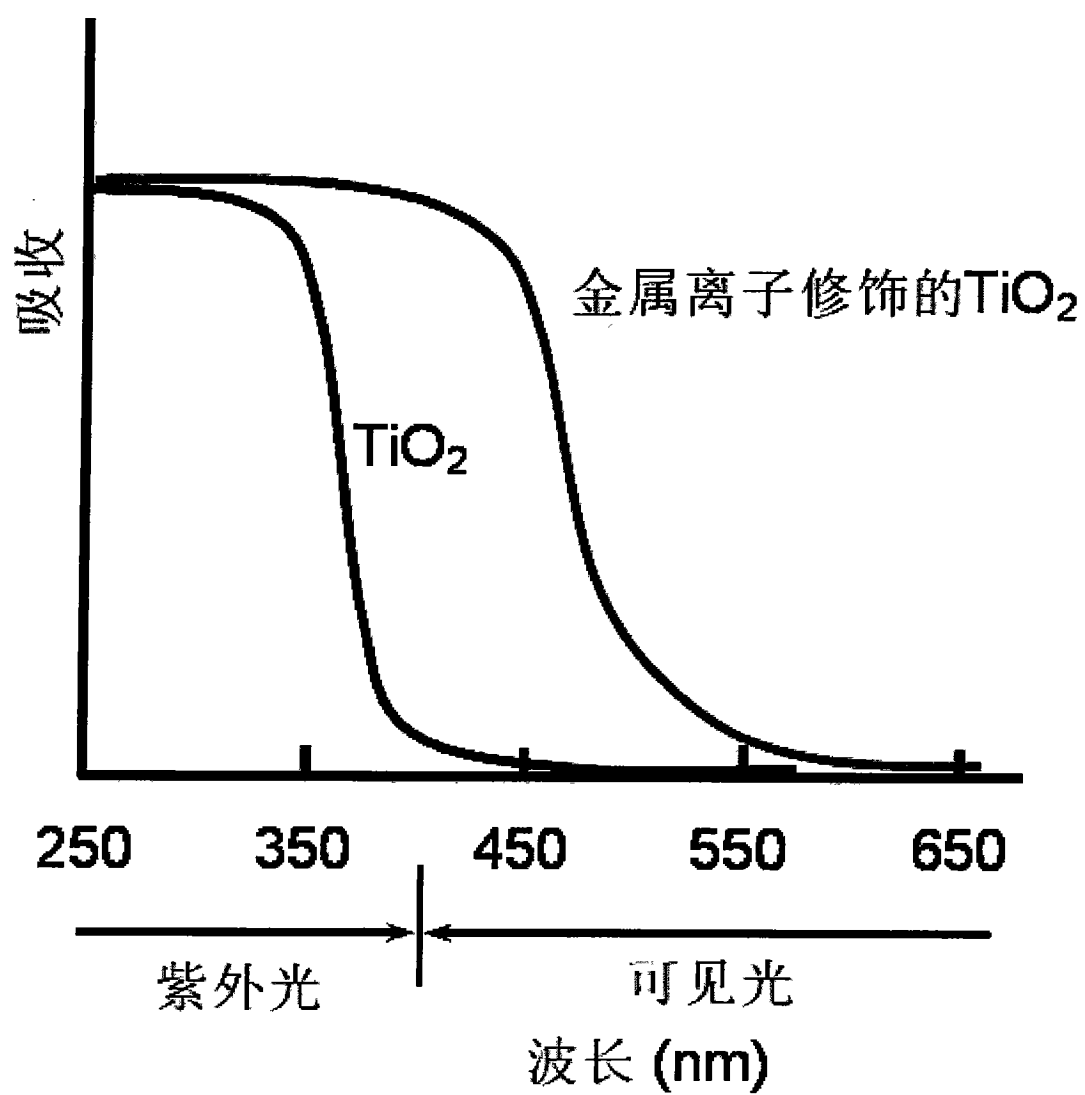


图 6