



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108786792 B

(45) 授权公告日 2021.03.26

(21) 申请号 201810663546.3

CN 105289565 A, 2016.02.03

(22) 申请日 2018.06.25

CN 1872417 A, 2006.12.06

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107955303 A, 2018.04.24

申请公布号 CN 108786792 A

WO 2007066934 A1, 2007.06.14

US 2014213427 A1, 2014.07.31

(43) 申请公布日 2018.11.13

Song Yi Moon et al.. "Photocatalytic

(73) 专利权人 福州大学

activity of metal-decorated SiO₂@TiO₂

地址 350000 福建省福州市闽侯县上街镇

hybrid photocatalysts under water

大学城学园路2号福州大学新区

splitting". 《Korean Institute of Chemical

Engineers》. 2016, 第33卷(第8期),

(72) 发明人 徐艺军 张楠 唐紫蓉

Song Yi Moon et al.. "Photocatalytic

(74) 专利代理机构 福州君诚知识产权代理有限

activity of metal-decorated SiO₂@TiO₂

公司 35211

hybrid photocatalysts under water

代理人 戴雨君

splitting". 《Korean Institute of Chemical

(51) Int. Cl.

Engineers》. 2016, 第33卷(第8期),

B01J 23/42 (2006.01)

胡金林等. "介孔二氧化钛功能纳米材料的

C01B 3/04 (2006.01)

合成与应用". 《化学进展》. 2013, 第25卷(第12

期),

(56) 对比文件

审查员 何晓英

CN 103915259 A, 2014.07.09

CN 106824272 A, 2017.06.13

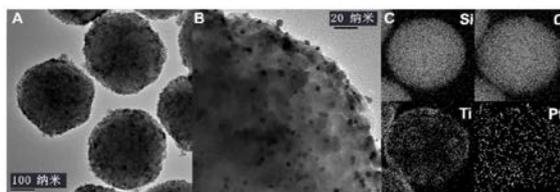
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种金属/半导体复合光催化剂及其制备与应用

(57) 摘要

本发明公开了一种金属/半导体复合光催化剂及其制备与应用,以二氧化硅为载体,通过溶胶凝胶法,制备得到二氧化硅@二氧化钛核壳结构(SiO₂@TiO₂),对其进行表面正电化之后,与表面负电性的金属铂纳米粒子进行库仑力自组装,得到铂纳米粒子在SiO₂@TiO₂表面上均匀分布的金属/半导体复合光催化剂SiO₂@TiO₂/Pt-SA。本发明方法通过优化铂纳米粒子在SiO₂@TiO₂表面的空间分布情况,可以有效提高SiO₂@TiO₂/Pt-SA对于可见光的吸收性能及其在紫外-可见光光照下的光催化分解水产氢反应中的活性与稳定性,该方法简单有效易行,有利于构筑具有宽光谱响应、可用于太阳能转化的高效金属/半导体复合光催化材料。



CN 108786792 B

1. 一种金属/半导体复合光催化剂的制备方法,其特征在于:其包括以下步骤:

(1) 将 SiO_2 纳米球与乙醇溶液混合,超声分散均匀,再加入钛酸正丁酯,搅拌15-25 min,得到混合溶液;

其中, SiO_2 纳米球与钛酸正丁酯的用量比为0.1g : 0.08-0.12 mL;

(2) 将聚乙烯吡咯烷酮溶解于乙醇-去离子水混合溶液中,搅拌均匀,所得溶液加入到上述混合溶液中,搅拌1-1.5h,离心,将沉淀洗涤、烘干,得到 $\text{SiO}_2@TiO_2$ 复合材料;

其中,聚乙烯吡咯烷酮与 SiO_2 纳米球的用量比为0.28-0.32 g : 0.1 g;

(3) 将 $\text{SiO}_2@TiO_2$ 复合材料与乙醇混合,超声分散均匀,再加入3-氨丙基三乙氧基硅烷中,55-65 °C反应2-2.5 h,然后离心,将沉淀洗涤、烘干,得到表面正电化的 $\text{SiO}_2@TiO_2$ -APTES;

其中, $\text{SiO}_2@TiO_2$ 复合材料与3-氨丙基三乙氧基硅烷的用量比为0.1 g : 0.45-0.55 mL;

(4) 将 $\text{SiO}_2@TiO_2$ -APTES分散于去离子水中得到 $\text{SiO}_2@TiO_2$ -APTES溶液,然后将Pt胶体溶液逐滴加入到 $\text{SiO}_2@TiO_2$ -APTES溶液中,离心,将沉淀洗涤、烘干,得到 $\text{SiO}_2@TiO_2/Pt$ -SA复合材料,即所述金属-半导体复合光催化剂;

所述 $\text{SiO}_2@TiO_2$ -APTES与Pt胶体溶液的用量比为0.05-0.1g : 21mL;

所述Pt胶体溶液的制备方法为:将26 mL浓度为2.8 mmol/L的柠檬酸三钠溶液加入到50 mL浓度为0.4 mmol/L的氯铂酸水溶液中,搅拌混合均匀后,逐滴加入5 mL浓度为12 mmol/L的硼氢化钠溶液,室温下反应3.5-4.5 h,得到Pt胶体溶液。

2. 根据权利要求1所述的一种金属/半导体复合光催化剂的制备方法,其特征在于:步骤(1)中,所述 SiO_2 纳米球的制备方法为:将2 mL质量分数为30%的氨水、1 mL去离子水、40 mL异丙醇混合,搅拌均匀后,加入2 mL正硅酸四乙酯,室温下反应2-2.5 h,得到 SiO_2 纳米球。

3. 根据权利要求1所述的一种金属/半导体复合光催化剂的制备方法,其特征在于:步骤(2)中,所述聚乙烯吡咯烷酮与乙醇-去离子水混合溶液的用量比为0.28-0.32 g : 21 mL。

4. 根据权利要求1所述的一种金属/半导体复合光催化剂的制备方法,其特征在于:步骤(2)中,所述乙醇-去离子水混合溶液中,乙醇与去离子水的体积比为20 : 1。

5. 根据权利要求1所述的一种金属/半导体复合光催化剂的制备方法,其特征在于:步骤(2)、(3)中的沉淀均用乙醇洗涤,步骤(4)中的沉淀用去离子水洗涤。

6. 根据权利要求1所述的一种金属/半导体复合光催化剂的制备方法,其特征在于:步骤(2)、(3) (4)中的烘干温度为55-65°C。

7. 根据权利要求1-6任一制备方法得到的金属/半导体复合光催化剂。

8. 根据权利要求7所述的金属/半导体复合光催化剂在光催化分解水产氢中的应用。

一种金属/半导体复合光催化剂及其制备与应用

技术领域

[0001] 本发明属于光催化材料领域,具体涉及一种金属/半导体复合光催化剂及其制备与应用。

背景技术

[0002] 光催化技术为利用太阳能缓解日益凸显的能源危机提供了一条可能的绿色途径,将太阳能转化为氢能已经得到越来越多的研究关注。在常用的光催化剂中,二氧化钛(TiO_2)因其具有化学稳定、廉价易得等优点,成为目前研究最为广泛的半导体光催化剂之一。但是,由于 TiO_2 较宽的禁带宽度(3.2 eV)以及电子和空穴的高复合率,其不能吸收利用可见光,且单独的 TiO_2 光催化活性较低。如何改善 TiO_2 的光吸收性能及其光催化活性一直是光催化材料研究方面的热点之一。

[0003] 在已提出的改善 TiO_2 性能的策略中,与金属组分复合是一种有效的方法,其不仅可以在一定程度上拓展 TiO_2 的光吸收范围,还可以作为电子接收体,促进 TiO_2 中电子-空穴对的分离。其中,金属Pt不仅具有宽波段的光学响应、高的功函数(5.65eV),而且对于产氢反应具有较低的反应过电位,因此常被用作助催化剂,提高半导体材料的光催化分解水产氢性能。目前常用的金属Pt与半导体 TiO_2 的复合方法,是将金属Pt简单负载或沉积于 TiO_2 表面,通过以上方法得到的复合材料,在液相反应中,金属组分Pt存在易浸出流失的问题,从而导致复合材料的稳定性不高。如将Pt纳米粒子包裹于半导体组分内部,则会遮挡其表面的产氢反应活性位点,导致无法利用其较低的产氢过电位之优势。因此,开发具有宽光谱响应、高光催化分解水产氢活性以及良好稳定性的金属Pt-半导体 TiO_2 复合材料,对于构建高效稳定的光催化分解水产氢体系具有重要的科学研究意义和实际应用价值。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种金属/半导体复合光催化剂及其制备与应用,旨在通过优化微观结构提高金属Pt/半导体 TiO_2 复合光催化材料在分解水产氢反应中的活性和稳定性的。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种金属/半导体复合光催化剂的制备方法,包括以下步骤:

[0007] (1)将 SiO_2 纳米球与乙醇溶液混合,超声分散均匀,再加入钛酸正丁酯,搅拌15-25 min,得到混合溶液;

[0008] 其中, SiO_2 纳米球与钛酸正丁酯的用量比为0.1g : 0.08-0.12 mL;

[0009] (2)将聚乙烯吡咯烷酮(PVP)溶解于乙醇-去离子水混合溶液中,搅拌均匀,所得溶液加入到上述混合溶液中,搅拌1-1.5h,离心,将沉淀洗涤、烘干,得到 $\text{SiO}_2@ \text{TiO}_2$ 复合材料;

[0010] 其中,聚乙烯吡咯烷酮与 SiO_2 纳米球的用量比为0.28-0.32 g : 0.1 g;

[0011] (3)将 $\text{SiO}_2@ \text{TiO}_2$ 复合材料与乙醇混合,超声分散均匀,再加入3-氨丙基三乙氧基硅烷(APTES)中,55-65 °C反应2-2.5 h,然后离心,将沉淀洗涤、烘干,得到表面正电化的

SiO₂@TiO₂-APTES;

[0012] 其中, SiO₂@TiO₂复合材料与3-氨丙基三乙氧基硅烷的用量比为0.1 g : 0.45-0.55 mL;

[0013] (4)将SiO₂@TiO₂-APTES分散于去离子水中得到SiO₂@TiO₂-APTES溶液,然后将Pt胶体溶液逐滴加入到SiO₂@TiO₂-APTES溶液中,离心,将沉淀洗涤、烘干,得到SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料,即所述金属-半导体复合光催化剂。

[0014] 通过上述的步骤(3)和(4),可以实现Pt纳米粒子在SiO₂@TiO₂表面上均匀分布,且所得到的复合材料,具有高效稳定的光催化分解水产氢性能。

[0015] 进一步,步骤(1)中,所述SiO₂纳米球的制备方法为:将2 mL质量分数为30%的氨水、1 mL去离子水、40 mL异丙醇混合,搅拌均匀后,加入2 mL正硅酸四乙酯,室温下反应2-2.5 h,得到平均直径为400 nm的SiO₂纳米球。

[0016] 步骤(2)中,所述聚乙烯吡咯烷酮与乙醇-去离子水混合溶液的用量比为0.28-0.32 g : 21 mL。

[0017] 步骤(2)中,所述乙醇-去离子水混合溶液中,乙醇与去离子水的体积比为20 : 1。

[0018] 步骤(4)中,所述Pt胶体溶液的制备方法为:将26 mL浓度为2.8 mmol/L的柠檬酸三钠溶液加入到50 mL浓度为0.4 mmol/L的氯铂酸水溶液中,搅拌混合均匀后,逐滴加入5 mL浓度为12 mmol/L的硼氢化钠溶液,室温下反应3.5-4.5 h,得到Pt胶体溶液。

[0019] 步骤(4)中,所述SiO₂@TiO₂-APTES与Pt胶体溶液的用量比为0.05-0.1g : 21mL。

[0020] 步骤(2)、(3)中的沉淀均用乙醇洗涤,步骤(4)中的沉淀用去离子水洗涤。

[0021] 步骤(2)、(3)、(4)中的烘干温度为55-65℃。

[0022] 本发明制备的SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料用于紫外-可见光下分解水产生氢气。光催化分解水产氢反应的具体步骤如下:

[0023] (1)将SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料超声分散于去离子水中,然后加入乳酸,混合搅拌均匀,加入到石英反应器中;

[0024] (2)将石英反应器内部抽真空;

[0025] (3)使用紫外-可见光(320 nm ≤ λ ≤ 780 nm)从石英反应器上方照射体系。

[0026] (4)使用气相色谱分析所得到的氢气产量。

[0027] 本发明采用以上技术方案,以二氧化硅为载体,通过溶胶凝胶法,制备得到二氧化硅@二氧化钛核壳结构(SiO₂@TiO₂),对其进行表面正电化之后,与表面负电性的金属铂纳米粒子进行库仑力自组装,得到铂纳米粒子在SiO₂@TiO₂表面上均匀分布的复合光催化剂SiO₂@TiO₂/Pt-SA。本发明通过调控优化Pt纳米粒子与TiO₂的复合方法及其微观结构,使Pt与TiO₂之间具有较强的库伦相互作用力,Pt纳米粒子可以在TiO₂表面均匀分布。此外,Pt纳米粒子还可以吸收利用TiO₂球形壳层的散射光,实现对可见光的良好响应,因此该复合材料对于分解水产氢反应,体现出高的光催化活性和稳定性。

[0028] 本发明的显著优点在于:

[0029] (1)本发明通过简单的表面修饰法优化金属-半导体复合材料的微观结构;

[0030] (2)与通过浸渍法制备的铂随机分布于二氧化硅@二氧化钛表面上的复合材料SiO₂@TiO₂/Pt-IM相比,通过优化铂纳米粒子在SiO₂@TiO₂表面的空间分布情况,可以有效提高SiO₂@TiO₂/Pt-SA对于可见光的吸收性能及其在紫外-可见光光照下的光催化分解水产氢

反应中的活性与稳定性。

[0031] (3)所制备的 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 复合光催化材料具有宽光谱响应、高的光催化分解水产氢活性和良好的循环稳定性；

[0032] (4)本发明操作简单、效果明显、应用前景广阔。

附图说明

[0033] 图1是 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 的(A,B)透射电子显微镜图和(C)元素分布图；

[0034] 图2是 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 的紫外-可见漫反射图；

[0035] 图3是 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 和 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-IM}$ 复合材料在紫外-可见光照射2 h下光催化分解水产氢的活性图；

[0036] 图4是 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 和 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-IM}$ 在紫外-可见光照射10 h下光催化分解水产氢的速率图。

具体实施方式

[0037] 本发明用下列实施例来进一步说明本发明,但本发明的保护范围并不限于下列实施例。

[0038] 实施例1

[0039] 金属/半导体复合光催化剂 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 的制备

[0040] (1)将2 mL氨水(质量分数30%)、1 mL去离子水加入到40 mL异丙醇中,混合搅拌均匀后,加入2 mL正硅酸四乙酯,室温下反应2 h,得到平均直径为400 nm的 SiO_2 纳米球；

[0041] (2)称取0.1 g的 SiO_2 纳米球,分散于2 mL乙醇溶液中,超声分散均匀,加入0.1 mL钛酸正丁酯,搅拌20 min；

[0042] (3)将0.3 g聚乙烯吡咯烷酮(PVP)溶解于含有20 mL乙醇和1 mL去离子水的溶液中,混合搅拌均匀,将所得到的溶液加入到上述溶液中,室温下混合搅拌1 h,离心得到相应的样品,用乙醇洗涤2次后60 °C烘干,得到 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ 复合材料；

[0043] (4)称取0.1 g的 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ 复合材料,分散于50 mL乙醇中,超声分散均匀,加入0.5 mL的3-氨丙基三乙氧基硅烷(APTES)中,60 °C反应2 h后离心,用乙醇洗涤2次,60 °C烘干,得到表面正电化的 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2\text{-APTES}$ ；

[0044] (5)将26 mL浓度为2.8 mmol/L的柠檬酸三钠溶液加入到50 mL浓度为0.4 mmol/L的氯铂酸水溶液中,搅拌混合均匀后,逐滴加入5 mL浓度为12 mmol/L的硼氢化钠溶液,室温下反应4 h,得到Pt胶体溶液；

[0045] (6)称取0.05 g的 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2\text{-APTES}$ 样品,超声分散于50 mL去离子水中,将21 mL的Pt胶体溶液,逐滴加入到 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2\text{-APTES}$ 溶液中,之后离心,用去离子水洗涤,60 °C烘干,得到 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 复合材料。

[0046] 从图1可以看出,Pt纳米粒子均匀分布在 $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ 表面。从图2可以看出, $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-SA}$ 在可见光区域具有明显的吸收响应。

[0047] 对比例1

[0048] $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2/\text{Pt-IM}$ 的制备

[0049] (1)将2 mL氨水(质量分数30%)、1 mL去离子水加入到40 mL异丙醇中,混合搅拌均匀

匀后,加入2 mL正硅酸四乙酯,室温下反应2 h,得到平均直径为400 nm的SiO₂纳米球;

[0050] (2)称取0.1 g的SiO₂纳米球,分散于2 mL乙醇溶液中,超声分散均匀,加入0.1 mL钛酸正丁酯,搅拌20 min;

[0051] (3)将0.3 g聚乙烯吡咯烷酮(PVP)溶解于含有20 mL乙醇和1 mL去离子水的溶液中,混合搅拌均匀,将所得到的溶液加入到上述溶液中,室温下混合搅拌1 h,离心得到相应的样品,用乙醇洗涤2次,后60 °C烘干,得到SiO₂@TiO₂复合材料;

[0052] (4)将26 mL浓度为2.8 mmol/L的柠檬酸三钠溶液加入到50 mL浓度为0.4 mmol/L的氯铂酸水溶液中,搅拌混合均匀后,逐滴加入5 mL浓度为12 mmol/L的硼氢化钠溶液,室温下反应4 h,得到Pt胶体溶液;

[0053] (5)称取0.05 g的SiO₂@TiO₂样品,超声分散于50 mL去离子水中,将21 mL的Pt胶体溶液,加入到SiO₂@TiO₂溶液中,通过旋转蒸发法去除掉大部分溶液之后,将样品60 °C烘干,得到SiO₂@TiO₂/Pt-IM复合材料。

[0054] 应用例1

[0055] SiO₂@TiO₂复合材料、SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料、SiO₂@TiO₂/Pt-IM复合材料的光催化分解水产氢试验

[0056] 以SiO₂@TiO₂复合材料、SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料和SiO₂@TiO₂/Pt-IM复合材料进行试验:

[0057] 将50 mg上述复合材料分别超声分散于72 mL去离子水中,然后加入8 mL乳酸,混合搅拌均匀,加入到石英反应器中。将石英反应器内部抽真空,使用紫外-可见光(320 nm ≤ λ ≤ 780 nm)从石英反应器上方照射体系,光照时间为2 h。使用气相色谱分析所得到的氢气产量。

[0058] 如图3所示,SiO₂@TiO₂、SiO₂@TiO₂/Pt-SA和SiO₂@TiO₂/Pt-IM在紫外-可见光照射2 h的条件下,产氢量分别为0.098 mmol/g、5.79 mmol/g和2.56 mmol/g。

[0059] 应用例2

[0060] SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料光催化分解水产氢的速率对比试验

[0061] 以SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料和SiO₂@TiO₂/Pt-IM复合材料进行试验:

[0062] 将50 mg的上述复合材料分别超声分散于72 mL去离子水中,然后加入8 mL乳酸,混合搅拌均匀,加入到石英反应器中。将石英反应器内部抽真空,使用紫外-可见光(320 nm ≤ λ ≤ 780 nm)从石英反应器上方照射体系,连续光照10 h。使用气相色谱分析所得到每小时的产氢量,并计算其产氢速率。

[0063] 如图4所示,在光照10 h内,SiO₂@TiO₂/Pt-SA的产氢速率保持在2.6 mmol/g h左右,而SiO₂@TiO₂/Pt-IM的产氢速率由开始的1.3 mmol/g h逐渐降低到1.0 mmol/g h。

[0064] 实施例2

[0065] 金属/半导体复合光催化剂SiO₂@TiO₂/Pt-SA的制备

[0066] (1)将2 mL氨水(质量分数30%)、1 mL去离子水加入到40 mL异丙醇中,混合搅拌均匀后,加入2 mL正硅酸四乙酯,室温下反应2 h,得到平均直径为400 nm的SiO₂纳米球;

[0067] (2)称取0.1 g的SiO₂纳米球,分散于2 mL乙醇溶液中,超声分散均匀,加入0.08 mL钛酸正丁酯,搅拌15 min;

[0068] (3)将0.28 g聚乙烯吡咯烷酮(PVP)溶解于含有20 mL乙醇和1 mL去离子水的溶液

中,混合搅拌均匀,将所得到的溶液加入到上述溶液中,室温下混合搅拌1.5 h,离心得到相应的样品,用乙醇洗涤2次后55 °C烘干,得到SiO₂@TiO₂复合材料;

[0069] (4)称取0.1 g的SiO₂@TiO₂复合材料,分散于50 mL乙醇中,超声分散均匀,加入0.45 mL的3-氨丙基三乙氧基硅烷(APTES)中,55 °C反应2.5 h后离心,用乙醇洗涤2次,55 °C烘干,得到表面正电化的SiO₂@TiO₂-APTES;

[0070] (5)将26 mL浓度为2.8 mmol/L的柠檬酸三钠溶液加入到50 mL浓度为0.4 mmol/L的氯铂酸水溶液中,搅拌混合均匀后,逐滴加入5 mL浓度为12 mmol/L的硼氢化钠溶液,室温下反应4 h,得到Pt胶体溶液;

[0071] (6)称取0.1 g的SiO₂@TiO₂-APTES样品,超声分散于50 mL去离子水中,将21 mL的Pt胶体溶液,逐滴加入到SiO₂@TiO₂-APTES溶液中,之后离心,用去离子水洗涤,55 °C烘干,得到SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料。

[0072] 实施例3

[0073] 金属/半导体复合光催化剂SiO₂@TiO₂/Pt-SA的制备

[0074] (1)将2 mL氨水(质量分数30%)、1 mL去离子水加入到40 mL异丙醇中,混合搅拌均匀后,加入2 mL正硅酸四乙酯,室温下反应2 h,得到平均直径为400 nm的SiO₂纳米球;

[0075] (2)称取0.1 g的SiO₂纳米球,分散于2 mL乙醇溶液中,超声分散均匀,加入0.12 mL钛酸正丁酯,搅拌25 min;

[0076] (3)将0.32 g聚乙烯吡咯烷酮(PVP)溶解于含有20 mL乙醇和1 mL去离子水的溶液中,混合搅拌均匀,将所得到的溶液加入到上述溶液中,室温下混合搅拌1 h,离心得到相应的样品,用乙醇洗涤2次后65 °C烘干,得到SiO₂@TiO₂复合材料;

[0077] (4)称取0.1 g的SiO₂@TiO₂复合材料,分散于50 mL乙醇中,超声分散均匀,加入0.55 mL的3-氨丙基三乙氧基硅烷(APTES)中,65 °C反应2 h后离心,用乙醇洗涤2次,65 °C烘干,得到表面正电化的SiO₂@TiO₂-APTES;

[0078] (5)将26 mL浓度为2.8 mmol/L的柠檬酸三钠溶液加入到50 mL浓度为0.4 mmol/L的氯铂酸水溶液中,搅拌混合均匀后,逐滴加入5 mL浓度为12 mmol/L的硼氢化钠溶液,室温下反应4 h,得到Pt胶体溶液;

[0079] (6)称取0.075 g的SiO₂@TiO₂-APTES样品,超声分散于50 mL去离子水中,将21 mL的Pt胶体溶液,逐滴加入到SiO₂@TiO₂-APTES溶液中,之后离心,用去离子水洗涤,65 °C烘干,得到SiO₂@TiO₂/Pt-SA复合材料。

[0080] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,凡依本发明申请专利范围所做的均等变化与修饰,皆应属本发明的涵盖范围。

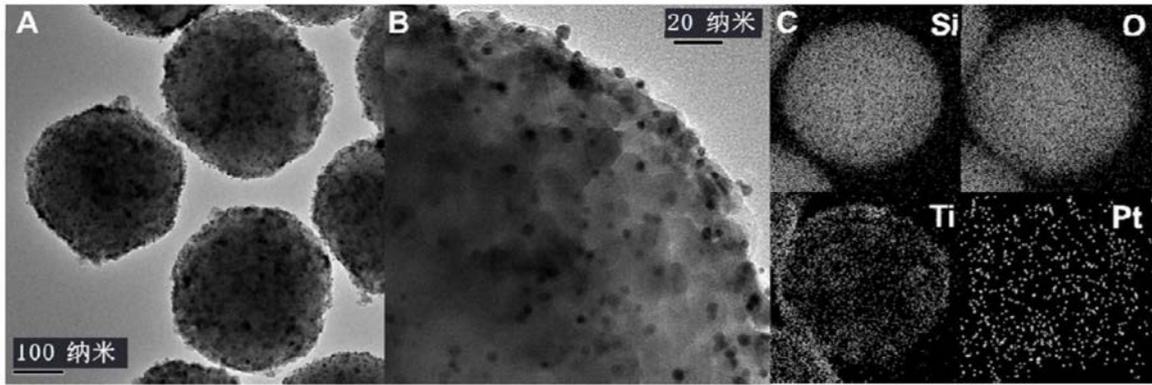


图1

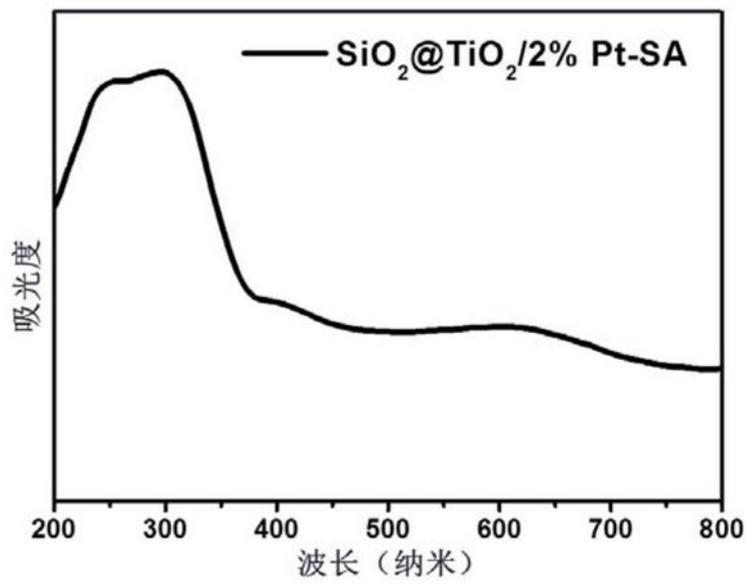


图2

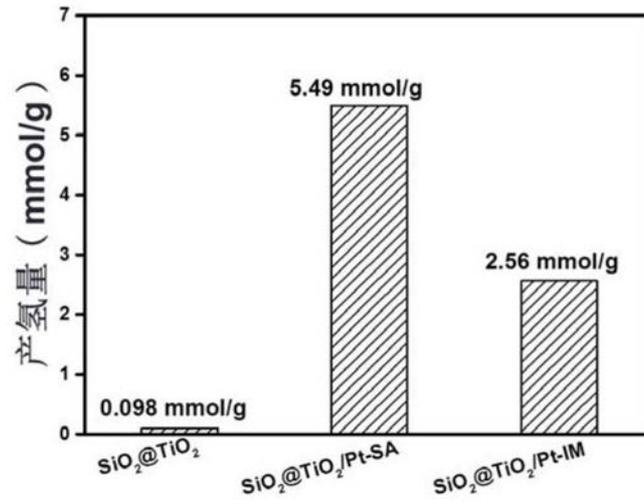


图3

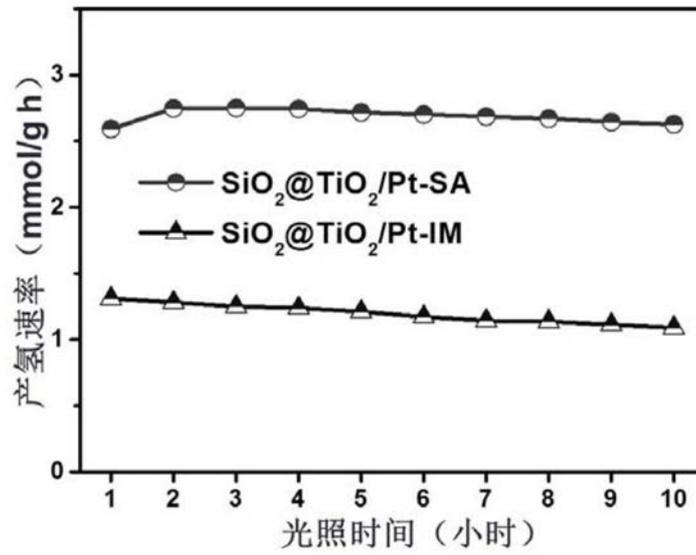


图4