



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101811044 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 04

(21) 申请号 201010155915. 1

(22) 申请日 2010. 04. 23

(73) 专利权人 华东理工大学

地址 200237 上海市徐汇区梅陇路 130 号

(72) 发明人 沈明 穆帅 杨晓晖 李向清

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

31002

代理人 缪利明

(51) Int. Cl.

B01J 23/648 (2006. 01)

B01J 23/68 (2006. 01)

B01J 23/847 (2006. 01)

B01J 31/36 (2006. 01)

B01J 23/20 (2006. 01)

C01B 3/04 (2006. 01)

A62D 3/176 (2007. 01)

A62D 3/10 (2007. 01)

A62D 101/28 (2007. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2003-126695 A, 2003. 05. 07, 实施

例 1、3.

CN 101402463 A, 2009. 04. 08, 实施例 5.

Geoffrey B. Saupe et al. *Nanoscale*

Tubules Formed by Exfoliation of Potassium Hexaniobate. 《*Chem. Mater.*》. 2000, 第 12 卷 (第 6 期), 1556-1562.

Gaohui Du et al. *Synthesis, modification and characterization of K4Nb6O17-type nanotubes*. 《*Journal of Materials Chemistry*》. 2004, 第 14 卷 1437-1442.

杨亚辉等. Ni、Co、Mn、Cu 掺杂对 K4Nb6O17 光催化活性的影响. 《*材料导报*》. 2005, 第 19 卷 (第 05 期), 117-119, 124.

审查员 史立红

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

铌酸钾纳米管光催化剂及其制备方法和应用

(57) 摘要

本发明公开了一种铌酸钾纳米管光催化剂的制备方法和应用, 将铌酸钾纳米粒子粉末分散在稀酸溶液中, 持续搅拌 3 ~ 4 天后过滤、水洗至中性, 得到酸化的铌酸钾; 然后将酸化的铌酸钾分散在去离子水中, 滴加烷基胺水溶液至 pH 为 9 ~ 10, 搅拌 2 ~ 3 天后将溶液静置分级, 得到铌酸钾纳米管光催化剂, 且可进一步负载金属、氧化物或染料, 在紫外或可见光条件下催化还原水溶液制氢、降解有机污染物。本发明的制备方法条件温和、周期短、绿色环保, 可以得到形貌均一、管径分布窄、催化效率高的铌酸钾纳米管催化剂。

1. 一种铈酸钾纳米管光催化剂的制备方法,其特征在于,所述制备方法包括以下步骤:

A)、酸化:将铈酸钾纳米粒子粉末,分散于稀酸溶液中,持续搅拌3~4天后将溶液过滤、水洗至中性,得到酸化的铈酸钾;

B)、剥落:将所述酸化的铈酸钾分散在去离子水中,滴加剥落剂至pH为9~10,持续搅拌2~3天;

C)、分级:将所述步骤B得到的溶液静置分级,离心分离得到铈酸钾纳米管光催化剂。

2. 如权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述铈酸钾纳米粒子通过高温固相法或水热法制备;所述高温固相法是指以碳酸钾与五氧化二铈的混合物为原料经研磨、高温煅烧、冷却至室温后得到铈酸钾纳米粒子;所述水热法是指将五氧化二铈分散于KOH溶液中,260℃条件下进行水热反应,所述水热反应结束后自然冷却至室温,然后经过滤、洗涤得到铈酸钾纳米粒子。

3. 如权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述剥落剂为烷基胺水溶液或四丁基氢氧化铵水溶液;所述烷基胺为 $C_nH_{2n+1}NH_2$,其中 $n=1,3,4,5,6,7,8,12,16$ 。

4. 如权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述制备方法还包括将所述步骤C得到的铈酸钾纳米管光催化剂负载金属、金属氧化物或染料的步骤。

5. 如权利要求4所述的制备方法,其特征在于,所述金属来源于氯化铜、氯铂酸、氯金酸、氯钯酸中的一种或几种的组合,相应的,所述负载金属为铜、铂、金、钯中的一种或几种的组合。

6. 如权利要求4所述的制备方法,其特征在于,所述金属氧化物来源于硝酸铜、氢氧化铜、硝酸镍中的一种或几种的组合,相应的,所述负载金属氧化物为氧化铜、氧化镍或氧化铜与氧化镍的组合。

7. 一种通过如权利要求1所述的制备方法制备的铈酸钾纳米管光催化剂的应用,其特征在于,在紫外或可见光条件下催化还原水制氢。

8. 如权利要求7所述的应用,其特征在于,所述催化还原水制氢过程中,以甲醇、乙醇、三乙醇胺、罗丹明B,甲基橙、维生素C或葡萄糖作为牺牲剂。

9. 如权利要求7所述的应用,其特征在于,所述铈酸钾纳米管光催化剂还用于降解有机污染物,所述有机污染物为对硝基苯酚、甲基橙或罗丹明B。

铌酸钾纳米管光催化剂及其制备方法和应用

技术领域

[0001] 本发明属于能源技术领域,具体的,涉及一种铌酸钾纳米管光催化剂及其制备方法和应用。

背景技术

[0002] 随着化石能源的逐渐枯竭和环境污染问题的加剧,人类急需寻找新型的可替代能源。太阳能取之不尽,用之不竭,把太阳能转化为氢能,不仅可以缓解能源危机,还可以从根本上解决环境问题。

[0003] 经过 30 余年的研究,以半导体光催化分解水制氢的多相光催化技术取得了飞速进展。目前,光解水制氢所用的催化剂体系主要有氧化物、硫化物、氮化物及其固溶体、层状金属氧化物及其柱撑改性产物等。目前一种新的催化剂体系 - 某些铌酸盐化合物如 Cu 掺杂的 $K_2Nb_4O_{11}$, $Sr_2Ta_{1-x}Nb_xO_7$, KNb_3O_8 和柱撑的 $HCa_2Nb_3O_{10}$, 相对于 TiO_2 体系具有更高的催化效果,从而引起了研究者的注意 (Journal of Solid State Chemistry, 2005, 178 :1968)。

[0004] 铌酸钾纳米管因具有如下特点而在制氢性能方面具有优势:①比表面积大,表面的活性位点多,吸附能力强;②一维管状结构有利于光生电子和空穴的分离,有利于提高催化剂的光催化反应产率;③易于插入客体分子,对主体结构进行有机、无机改性,提高其对太阳光的利用率及制氢效率。Geoffrey B. Saupe 等人虽已对铌酸钾纳米管的制备进行了研究 (Chemistry Materials, 2000, 12 :1556-1562),但问题是酸化铌酸钾纳米粒子须在 $40^\circ C$ 的条件下进行,其间更新盐酸 4 次,剥落后的溶液中须加入 NaCl 或 KCl 进行盐析,最后加入过量盐酸沉淀才能得到铌酸钾纳米管。Michael C. Sarahan 等人在 Geoffrey B. Saupe 制备铌酸钾纳米管的基础上进一步研究了铌酸钾纳米管的光催化还原水制氢的性能 (Journal of Solid State Chemistry, 2008, 181 :1678-1683),但在铌酸钾纳米管制备过程中酸化时间(五天)及剥落时间(六天)都较长,且没有做分级处理,在还原水选用甲醇作牺牲剂时,甲醇(20%)及催化剂(100mg)的用量大,管的产氢速率仅有 $0.25\text{mmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

[0005] 层状的 $K_4Nb_6O_{17}$ 在紫外光辐射下能够分解水产生氢气 (Journal of Photochemistry and Photobiology A :Chemistry, 2004, 166 :115-122)。但是由于光生电子/空穴对的重组以及不能利用可见光等原因,使得它的太阳能光催化裂解水的能量转化效率很低。国内杨亚辉等(材料导报, 2005, 19 :117-124)将高温固相合成的铌酸钾进行了一些过渡金属离子掺杂和贵金属负载,以提高铌酸钾纳米粒子对可见光的利用和铌酸钾纳米粒子光催化还原水制氢的效率,并取得了一定的结果。

[0006] 从文献和现有专利的结果看,现有铌酸钾催化剂大多负载量小,且结合力不牢固,稳定性差,在还原水过程中所用甲醇量大,在利用太阳能进行光催化方面还受到很大限制,所以在太阳能光催化研究中如何制备催化性能高的铌酸钾光催化剂并实现其对可见光的利用成为目前的研究热点之一。

发明内容

[0007] 本发明的第一个目的在于提供一种铌酸钾纳米管光催化剂的制备方法。

[0008] 本发明的第二个目的在于提供一种由该方法制备的铌酸钾纳米管光催化剂。

[0009] 本发明的第三个目的在于提供铌酸钾纳米管光催化剂的应用。

[0010] 本发明的制备方法,包括以下步骤:

[0011] A)、酸化:将铌酸钾纳米粒子粉末,分散于稀酸溶液中,持续搅拌3~4天后将溶液过滤、水洗至中性,得到酸化的铌酸钾;

[0012] B)、剥落:将所述酸化的铌酸钾分散在去离子水中,滴加剥落剂至pH为9~10,持续搅拌2~3天,离心分离得到铌酸钾纳米管光催化剂。

[0013] 优选的,所述步骤A中持续搅拌4天;所述步骤B中滴加剥落剂至pH为10,持续搅拌3天。

[0014] 进一步的,本发明的制备方法还包括步骤C)、分级:将所述步骤B得到的溶液静置分级,离心分离得到铌酸钾纳米管光催化剂。

[0015] 本发明的制备方法,所述步骤A中的铌酸钾纳米粒子是以摩尔比为2:3混合的碳酸钾与五氧化二铌为原料通过高温固相法制备得到,或者以五氧化二铌和KOH为原料,通过水热法制得。所述步骤B中的剥落剂为烷基胺水溶液或四丁基氢氧化铵水溶液,所述烷基胺为 $C_nH_{2n+1}NH_2$, $n = 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16$ 。

[0016] 进一步的,本发明的制备方法还包括将步骤C得到的铌酸钾纳米管负载金属、氧化物的步骤。所述金属来源于氯化铜、氯铂酸、氯金酸、氯钯酸中的一种或几种的组合,相应的,所述负载金属为铜、铂、金、钯中的一种或几种的组合;所述金属氧化物来源于硝酸铜、氢氧化铜、硝酸镍中的一种或几种的组合,相应的,所述负载金属氧化物为氧化铜、氧化镍或氧化铜与氧化镍的组合。优选的,本发明的制备方法得到的铌酸钾纳米管光催化剂负载Pt。

[0017] 采用本发明的制备方法制备的铌酸钾纳米管光催化剂可单独或负载在金属、ITO、FTO、活性炭或玻璃上使用,其管径为20-90nm,管长度为500nm-4 μ ,长径比高,可用于在紫外光条件下催化还原水制氢,在紫外光照射下还原水、甲醇、乙醇、三乙醇胺、罗丹明B,甲基橙、维生素C或葡萄糖的水溶液获得氢气,紫外光下的产氢速率为0.2-5mmol \cdot h⁻¹ \cdot g⁻¹;在紫外光及可见光下降解有机污染物,所述有机污染物为对硝基苯酚、甲基橙或罗丹明B。

[0018] 本发明的铌酸钾纳米管光催化剂的制备方法,包括酸化、剥落,分级等步骤,在室温条件下,水溶液中,在较短的酸化时间和剥落时间内制备得到铌酸钾纳米管,制备条件温和、周期短、绿色环保,通过对催化剂进行分级筛选,避免了由于剥落不彻底造成催化剂整体光催化性能低的缺点,得到的光催化剂比表面积大,活性位点多,性能稳定,金属、氧化物或染料的负载量高,金属或氧化物的负载量为0.1%-50%,不仅能被紫外光激发,还能被可见光激发,提高了铌酸钾纳米管对可见光的响应和光催化还原水制氢和光催化降解的性能,铌酸钾纳米管在紫外光下的光催化还原水制氢的性能是铌酸钾纳米粒子的4-6倍,负载后铌酸钾纳米管光催化剂较纯铌酸钾纳米管在紫外光下的催化活性提高20-30倍,是商品级P25TiO₂光催化剂的10-15倍。

附图说明

[0019] 图1为铌酸钾纳米管的TEM照片,其中a为分级得到的上层铌酸钾纳米管;b为分

级得到的下层铌酸钾纳米管。

[0020] 图 2 为铌酸钾纳米粒子, 上、下层铌酸钾纳米管及 1.5% Pt 负载的上层铌酸钾纳米管在紫外光下催化还原水制氢性能, 其中牺牲剂为 10% 的三乙醇胺水溶液。

具体实施方式

[0021] 以下结合具体实施例, 对本发明做进一步说明。应理解, 以下实施例仅用于说明本发明而非用于限制本发明的范围。

[0022] 在本发明的上下文中, 术语“牺牲剂”是指在光催化还原水制氢过程中为了保证催化剂复原而加入的、主要起还原剂作用的试剂。本发明中所用的牺牲剂包括: 甲醇、乙醇、三乙醇胺、罗丹明 B, 甲基橙、维生素 C、葡萄糖。“剥落剂”是指能进入到铌酸钾粒子的层间进而将层状铌酸钾撑开变成片状进一步卷曲成管的试剂。(正确)

[0023] 实施例 1 铌酸钾纳米粒子的制备

[0024] 1.1 高温固相法

[0025] 以摩尔比为 2 : 3 混合的碳酸钾与五氧化二铌为原料将其研磨、混合均匀后在 1100℃ 下煅烧 24 小时, 冷却至室温后即得到铌酸钾纳米粒子。

[0026] 1.2 水热法

[0027] 将 0.86g 五氧化二铌分散于 30mL $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KOH 溶液中, 于 250℃ 水热反应 8 小时, 反应结束自然冷却至室温, 然后过滤、洗涤后即得到铌酸钾纳米粒子。

[0028] 实施例 2 铌酸钾纳米管光催化剂的制备

[0029] 将铌酸钾纳米粒子粉末分散于稀酸溶液中, 持续搅拌 3 ~ 4 天后过滤, 水洗至中性, 得到酸化的铌酸钾; 然后将酸化的铌酸钾颗粒分散于去离子水中, 滴加剥落剂四丁基氢氧化铵水溶液至 pH 为 9 ~ 10, 持续搅拌 2 ~ 3 天, 离心分离即得到产物铌酸钾纳米管。

[0030] 此外, 将加入剥落剂持续搅拌后得到的溶液静置分级, 然后离心分离可得到分级后的铌酸钾纳米管。用透射电镜观察所得铌酸钾纳米管光催化剂的形貌, 如图 1 所示, a 为分级得到的上层铌酸钾纳米管, b 为分级得到的下层铌酸钾纳米管。由透射电镜结果可见, 上层产物都具有管状形貌, 管形完整, 管径分布窄, 平均为 20nm, 管长度为 800-1000nm, 长径比大; 下层则由于剥落不充分既存在长且粗的管状结构, 又存在片和大块状物质, 成管率较上层低。

[0031] 实施例 3 负载金属 / 金属氧化物的铌酸钾纳米管光催化剂的制备

[0032] 3.1 负载 Pt 的铌酸钾纳米管光催化剂的制备

[0033] 称量一定量的实施例 2 中分级得到的上层铌酸钾纳米管, 分散于甲醇溶液中, 滴加氯铂酸溶液, 使氯铂酸所含铂质量与铌酸钾纳米管的质量比为 1.5%, 通 N₂ 半小时, 然后在紫外光下照射半小时, 干燥, 即得到负载 Pt 的铌酸钾纳米管。

[0034] 3.2 ~ 3.7 重复实施例 3.1 中的制备过程, 不同点在于: 采用氯化铜、氯金酸、氯钼酸代替氯铂酸, 得到负载金属铜、金、钼的催化剂; 采用硝酸铜、硝酸镍、氢氧化铜代替氯铂酸, 通过金属硝酸盐或氢氧化物热分解法得到负载金属氧化物氧化铜、氧化镍的催化剂; 金属或金属氧化物与铌酸钾纳米管的质量比为 0.01% -50%。具体的, 如表 1 所示。

[0035] 表 1 实施例 3.2 ~ 3.7 的实验条件

[0036]

实施例	烷基胺 $C_nH_{2n+1}NH_2$ n 值	金属来源以及所含金属或金属氧化物 与铌酸钾纳米管的质量比
3.2	n = 1	硝酸铜 ;5%
3.3	n = 3	硝酸镍 ;0.01%
3.4	n = 4	氯金酸 ;1%
3.5	n = 5	氯钨酸 ;2%
3.6	n = 6	硝酸铜、硝酸镍 ;50%
3.7	n = 7	氢氧化铜 ;30%
3.8	n = 8	氯化铜 ;5%
3.9	n = 12	氯金酸、氯钨酸 ;3%
3.10	n = 16	硝酸铜、氢氧化铜 ;25%

[0037] 3.11 ~ 3.13 重复实施例 3.1 中的制备过程,不同点仅在于:铂质量与铌酸钾纳米管的质量比为 0.5-2%,具体的,如表 2 所示。

[0038] 表 2 实施例 3.11 ~ 3.13 的实验条件

[0039]

实施例	3.11	3.12	3.13
质量比	0.5%	1%	2%

[0040] 实施例 3.2 ~ 3.13 的实验结果表明,采用实施例 3.2 ~ 3.13 的实验条件,经分级后上层均可得到管状形貌完整,平均管径为 20 ~ 90nm,管径分布窄,长径比大,管长度为 500nm ~ 4 μ m,比表面积大的铌酸钾纳米管 / 负载金属或金属氧化物的铌酸钾纳米管。

[0041] 实施例 4 负载染料的铌酸钾纳米管光催化剂的制备

[0042] 将铌酸钾纳米管分散于曙红的乙醇溶液中,搅拌 6 小时,离心、干燥,即得到染料曙红负载的铌酸钾纳米管。

[0043] 采用卟啉、酞菁或芘代替曙红,重复上述制备过程,即得到不同染料负载的铌酸钾纳米管。

[0044] 实施例 5 光催化剂在降解对硝基苯酚,罗丹明 B,甲基橙中的应用

[0045] 以石英容器作为紫外光下降解的反应容器,高压汞灯和碘钨灯分别作为紫外和可见光的光源,附以磁力搅拌系统。

[0046] 测试时,将 60mg 催化剂和 60mL 15mg \cdot L⁻¹ 的待降解溶液加入到反应容器中,避光磁力搅拌半小时以达到吸附 - 脱附平衡。开启 300W 的高压汞灯或 1000W 碘钨灯照射下反应,每隔 10 分钟取样,经高速离心机离心分离,取上清液于紫外 - 可见分光光度计上测试其

在 313nm 处的吸光度,采用如下公式计算:

$$[0047] \quad \eta (\%) = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

[0048] 其中, η 为降解效率, A_0 为暗吸附之后对硝基苯酚溶液在最大吸收 313nm 处的吸光度, A 为光催化降解后对硝基苯酚溶液在 313nm 处的吸光度。

[0049] 光照 1h 后的降解结果如表 3 所示。

[0050] 结果表明:在可见光条件下曙红敏化的铌酸钾纳米管对甲基橙、罗丹明 B、对硝基苯酚等有明显的降解效果;在可见光条件下 CuO 负载的铌酸钾纳米管对对硝基苯酚有明显的降解效果。

[0051] 表 3 光催化剂在降解对硝基苯酚,罗丹明 B,甲基橙中的应用效果

[0052]

催化剂	待降解溶液	光源	η
曙红敏化的铌酸钾纳米管	对硝基苯酚	碘钨灯	55%
	罗丹明 B	碘钨灯	90%
	甲基橙	碘钨灯	85%
铌酸钾纳米粒子	对硝基苯酚	高压汞灯	33%
铌酸钾纳米管			50%
CuO 负载的铌酸钾纳米管			75%

[0053] 实施例 6 光催化剂在催化还原水制氢中的应用

[0054] 以石英容器作为主反应器,300W 的高压汞灯、1000W 碘钨灯分别作为紫外和可见光的光源,附以磁力搅拌及冷凝系统。

[0055] 测试时,将 40mg 催化剂和 50mL 牺牲剂溶液加入到石英反应器中,磁力搅拌,通氮气 40min 以除去溶液中的溶解氧,在 300W 的高压汞灯照射下反应一定的时间。光照一定时间后,用 GC112A(上海精密科学仪器有限公司)气相色谱测试产生氢气的百分含量并计算产氢的速率。

[0056] 图 2 为以 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 三乙醇胺溶液作为牺牲剂,40mg 光催化剂,具体的,光催化剂分别为铌酸钾纳米粒子,上、下层铌酸钾纳米管及 1.5% Pt 负载的上层铌酸钾纳米管在紫外光光照 2h 条件下催化还原水制氢的性能。由图中结果可知,上、下层铌酸钾纳米管在紫外光催化还原水制氢性能上差异明显,其中上层铌酸钾纳米管的产氢速率 ($82.04 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 是下层 ($36.64 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 的 2.2 倍,是铌酸钾纳米粒子 ($22.38 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 的 3.5 倍多。该催化剂稳定性高,循环使用产氢效率没有任何降低。对上层的铌酸钾纳米管进一步负载 Pt 后,紫外光催化还原水制氢的性能有了明显的提高,其中 1.5% Pt 负载的铌酸钾纳米管的产氢速率 ($2296.875 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 是负载前的 28.1 倍,是铌酸钾纳米粒子的 102.6 倍。

[0057] 表 4Pt 负载量不同的铌酸钾纳米管光催化剂的产氢速率

[0058]

催化剂来源	实施例 3.11	实施例 3.12	实施例 1	实施例 3.13

Pt 负载量	0.5	1	1.5	2
产氢速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	1180.75	1737.5	2296.875	1029

[0059] 以 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 三乙醇胺溶液作为牺牲剂,其他实验条件相同,得到 Pt 负载量不同的铌酸钾纳米管产氢速率的结果,如表 4 所示。

[0060] 可知,负载后铌酸钾纳米管光催化剂较纯铌酸钾纳米管在紫外光下的催化活性提高 12.6-28.1 倍,是商品级 P25TiO_2 光催化剂(产氢速率为 $0.245\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 的 4.2-9.5 倍。

[0061] 以 10% 甲醇溶液作为牺牲剂,其他实验条件相同,得到的产氢速率的结果如表 5 所示。文献 Journal of Solid State Chemistry 181(2008):1678-1683 报导了以 20% 甲醇作为牺牲剂时,铌酸钾颗粒的产氢速率为 $339.33 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,铌酸钾纳米管的产氢速率为 $246 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。可知本申请制备的上层铌酸钾纳米管、0.5% Pt 负载的铌酸钾纳米管的产氢速率显著提高。

[0062] 表 5 铌酸钾纳米管光催化剂的产氢速率

催化剂	铌酸钾纳米管		
	上层	下层	0.5%Pt 负载的
产氢速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	383.875	124.45	4206.5

[0064] 此外,采用负载后铌酸钾纳米管光催化剂或纯铌酸钾纳米管以乙醇、维生素 C、罗丹明 B 等水溶液作为牺牲剂制氢获得氢气的速率为 $0.2-5\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

[0065] 本发明的铌酸钾纳米管光催化剂的制备方法,可在室温条件下,水溶液中,在较短的酸化时间和剥落时间内制备得到铌酸钾纳米管,制备条件温和、周期短、绿色环保,得到的光催化剂比表面积大,活性位点多,性能稳定,金属、氧化物或染料的负载量高,金属或氧化物的负载量为 0.1% -50%,不仅能被紫外光激发,还能被可见光激发,提高了铌酸钾纳米管对可见光的响应和光催化还原水制氢和光催化降解的性能,铌酸钾纳米管在紫外光下的光催化还原水制氢的性能是铌酸钾纳米粒子的 4-6 倍,负载后铌酸钾纳米管光催化剂较纯铌酸钾纳米管在紫外光下的催化活性提高 20-30 倍,是商品级 P25TiO_2 光催化剂的 10-15 倍。

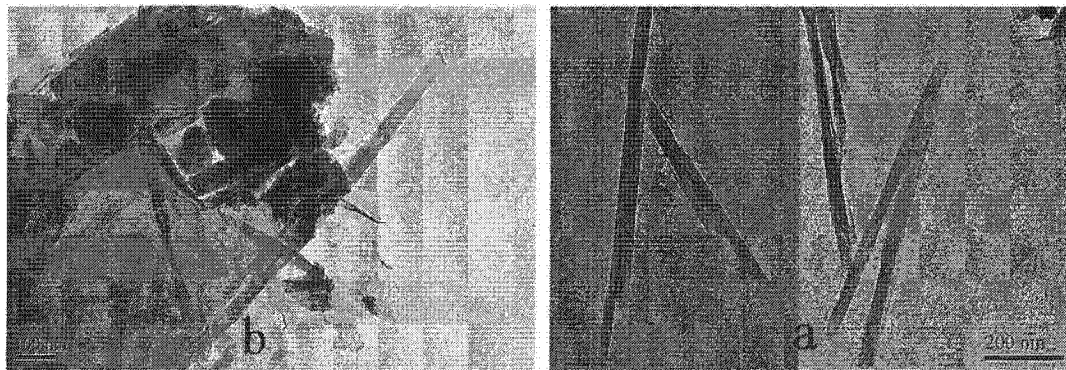


图 1

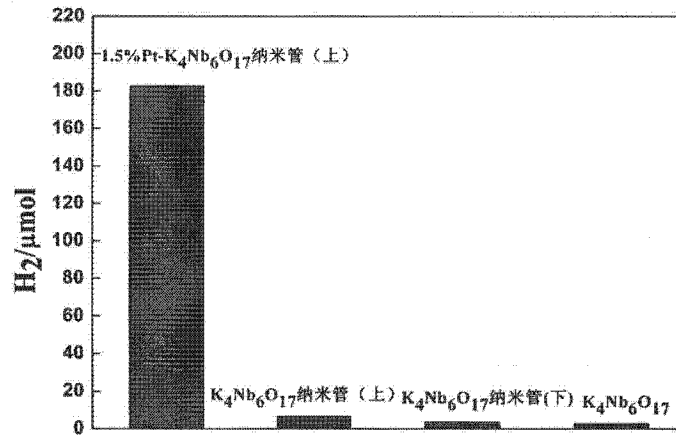


图 2