



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109569684 A

(43)申请公布日 2019.04.05

(21)申请号 201811331293.6

C02F 101/34(2006.01)

(22)申请日 2018.11.09

(71)申请人 浙江工商大学

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区
学正街18号

(72)发明人 张轶 袁晨晨 金东炎 周鸿
王琼胤 邱莹波 陈芷仟 王齐
丛燕青

(74)专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限
公司 33224

代理人 黄平英

(51) Int. Cl.

B01J 27/24(2006.01)

C02F 1/461(2006.01)

C02F 101/22(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

等离子体改性金属氧化物和g-氮化碳共修
饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂及其制备和应
用

(57)摘要

本发明公开了一种金属氧化物和g-氮化碳
共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂及其制备
和应用,(1)采用介质阻挡放电等离子体法分别
对金属氧化物和g-C₃N₄进行改性;或对金属氧化
物-g-C₃N₄复合物进行改性;(2)对改性金属氧化
物和改性g-C₃N₄进行分布电沉积或对改性金属
氧化物-g-C₃N₄复合物一步电沉积;(3)电沉积结
束后晾干然后在氮气氛围下煅烧即得。本发明制
备方法简单易制,制备得到的催化剂实际应用效
果稳定高效,能够协同降解苯酚和重金属六价铬
混合污染物。

1. 一种金属氧化物和 $g-C_3N_4$ 共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 采用介质阻挡放电等离子体法分别对金属氧化物和 $g-C_3N_4$ 进行改性;或采用介质阻挡放电等离子体法对金属氧化物- $g-C_3N_4$ 复合物进行改性;

(2) 先以含改性后金属氧化物的溶液为电沉积液、负载二氧化钛纳米棒的FTO导电玻璃为工作电极、钛片为对电极、Ag/AgCl电极为参比电极进行电沉积得中间电极,然后再以含 $g-C_3N_4$ 的溶液为电沉积液、所得中间电极为工作电极、钛片为对电极、Ag/AgCl电极为参比电极进行电沉积;

或以含改性后金属氧化物- $g-C_3N_4$ 复合物的溶液为电沉积溶液、负载二氧化钛纳米棒的FTO导电玻璃为工作电极、钛片为对电极、Ag/AgCl电极为参比电极进行电沉积;

(3) 电沉积结束后晾干然后在氮气氛围下煅烧即得。

2. 根据权利要求1所述制备方法,其特征在于,所述金属氧化物为 Ag_2O 或 Mn^{2+} 氧化物。

3. 根据权利要求1所述制备方法,其特征在于,步骤(1)中介质阻挡放电等离子体法改性的条件为:电压30~45V,时间10~40min。

4. 根据权利要求1所述制备方法,其特征在于,步骤(2)中含改性后金属氧化物的溶液为金属氧化物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物的浓度为0.2~0.8mg/mL;含 $g-C_3N_4$ 的溶液为 $g-C_3N_4$ 的乙醇溶液,该乙醇溶液中 $g-C_3N_4$ 的浓度为0.8~1.2mg/mL;含改性后金属氧化物- $g-C_3N_4$ 复合物的溶液为复合物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物- $g-C_3N_4$ 复合物的浓度为2~3mg/mL。

5. 根据权利要求1所述制备方法,其特征在于,所述金属氧化物- $g-C_3N_4$ 复合物由如下方法制备:

将 $g-C_3N_4$ 粉末和金属氧化物前驱体加入去离子水中,超声处理至吸附平衡后,然后在真空烘箱中烘干即得。

6. 根据权利要求1所述制备方法,其特征在于,步骤(2)中所有的电沉积过程条件为:-0.4~-0.8V条件下电沉积10~20min。

7. 根据权利要求1所述制备方法,其特征在于,步骤(3)中煅烧条件:为350~450°C恒温煅烧1~1.5小时。

8. 一种如权利要求1~7任一项权利要求所述制备方法制备得到的金属氧化物和 $g-C_3N_4$ 共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂。

9. 一种有机污染废水的电化学处理方法,其特征在于,包括如下步骤:

以权利要求8所述金属氧化物和 $g-C_3N_4$ 共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂为阳极、钛片为阴极、施加偏压2~4V,电解处理有机污染废水1.5~2.5h。

10. 根据权利要求9所述电化学处理方法,其特征在于,所述有机污染废水中污染物为苯酚和六价铬。

等离子体改性金属氧化物和g-氮化碳共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂及其制备和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种以介质阻挡放电等离子体辅助法合成金属氧化物和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光电催化剂的制备方法,属于光电催化材料技术领域。

背景技术

[0002] 近年来,光催化技术一直被认为是解决能源问题和环境污染最有潜力的手段。纳米TiO₂光催化剂是光催化材料家族中最受瞩目的一类,具有高效、化学性质稳定、无毒无害、廉价等优点,自1972年被发现以来,一直是最受关注的光催化剂。

[0003] 例如,公开号为CN105597723A的中国发明公开了一种负载型TiO₂光催化剂的制备方法,使用TiO₂溶胶中附着无机活性炭,通过马弗炉煅烧制备产生无机活性炭负载型TiO₂光催化剂。公开号为CN1105032479A的中国发明公开了一种TiO₂光催化剂的制备方法,涉及化工技术领域,本发明的制备方法以天然沸石为载体,以钛酸四丁酯为前驱物,采用酸催化溶胶-凝胶法制备天然沸石负载型TiO₂光催化剂。

[0004] 但纳米TiO₂在光催化效率和可见光的利用方面仍显不足,TiO₂的禁带宽度为3.2eV,只能对太阳光中的占总量不足5%的紫外光进行吸收和利用,而不能充分利用太阳能中的可见光部分,为了解决TiO₂该缺点,研究者们采用了半导体复合、离子掺杂、贵金属沉积等多种手段进行改性。

[0005] g-C₃N₄,因其具有很高的热稳定性和化学稳定性,以及电子特性,成为目前光催化领域研究的新宠。有学者用化学气相沉积法和电沉积法将TiO₂和g-C₃N₄复合在一起,获得了高效的光电催化性质,但是这些现有的催化剂都存在制备方法繁杂、反应条件苛刻或者催化剂性能有待进一步改进的问题。

发明内容

[0006] 本发明提供一种金属氧化物和g-氮化碳共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂及其制备方法和应用,制备方法简单易制,制备得到的催化剂实际应用效果稳定高效,能够协同降解苯酚和重金属六价铬混合污染物。

[0007] 一种金属氧化物和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

[0008] (1) 采用介质阻挡放电等离子体法分别对金属氧化物和g-C₃N₄进行改性;或采用介质阻挡放电等离子体法对金属氧化物-g-C₃N₄复合物进行改性;

[0009] (2) 先以含改性后金属氧化物的溶液为电沉积液、负载二氧化钛纳米棒的FTO导电玻璃为工作电极、钛片为对电极、Ag/AgCl电极为参比电极进行电沉积得中间电极,然后再以含g-C₃N₄的溶液为电沉积液、所得中间电极为工作电极、钛片为对电极、Ag/AgCl电极为参比电极进行电沉积;

[0010] 或以含改性后金属氧化物-g-C₃N₄复合物的溶液为电沉积溶液、负载二氧化钛纳米

棒的FTO导电玻璃为工作电极、钛片为对电极、Ag/AgCl电极为参比电极进行电沉积；

[0011] (3)电沉积结束后晾干然后在氮气氛围下煅烧即得。

[0012] 介质阻挡放电,作为代表性的冷等离子体发生器,“气体放电”指的是在大气压和中等气体温度下产生强烈的非平衡等离子体,在两个分离的电极之间产生电介质屏障。介质阻挡放电适用于污染物去除,纳米材料合成和分析应用等各个领域,这可归因于其独特的优点,包括温和放电,体积小,结构简单,功耗低。在放电过程中,与传统技术相比,提供了更高的能量密度。迄今为止,大多数研究仅限于在各种基质材料上原位还原贵金属离子,以使用 H_2 作为工作气体在介质阻挡放电等离子体中产生复合物。现有技术中,利用空气中的放电制造金属氧化物复合材料仍然是罕见且有限的。

[0013] 介质阻挡放电等离子体改性的石墨氮化碳可以大大提高g- C_3N_4 的比表面积,并通过O和N的掺杂改性,提高g- C_3N_4 的光电性能;介质阻挡放电等离子体改性的 Ag_2O 纳米材料表现出结晶性,衍射角略有偏移,这种材料即使在高温下也可以表现出优异的氧化还原性能。g- C_3N_4 和 Ag_2O 的组合具有良好的匹配性,可以很容易地制造p-n异质结,

[0014] 与传统复合材料相比,这将带来光生电子和空穴的更有效的界面转移。此外, Ag_2O 纳米颗粒分散在g- C_3N_4 的表面上,这可以大大减少Ag的使用以提高光催化活性。

[0015] 介质阻挡放电等离子体改性的g- C_3N_4 - Mn_3O_4 复合物具有显著影响,所得催化剂的尺寸变小,其比表面积更大,暴露更多活性位点。 Mn_3O_4 颗粒在g- C_3N_4 上具有较好分散性,促进污染物降解。这种介质阻挡放电等离子体辅助合成是无溶剂的,可以在室温下快速实施,无需额外的氧化剂/还原剂。

[0016] 所述g- C_3N_4 可市购也可由如下方法制备:

[0017] 称取一定量三聚氰胺放于坩埚中,在马弗炉中热处理,之后研磨1小时得到产物g- C_3N_4 。其中,热处理条件为:在马弗炉中,以 $5^\circ C/min$ 的升温速率升至 $520^\circ C$,保温4h。

[0018] 负载二氧化钛纳米棒的FTO导电玻璃为工作电极可市购也可由如下方法制备:

[0019] (1)FTO导电玻璃依次用丙酮、无水乙醇、去离子水超声清洗15min,后晾干;

[0020] (2)配制盐酸溶液置于50mL烧杯,覆以保鲜膜密封搅拌10min,再加入钛酸四丁酯搅拌5min;

[0021] (3)将洗干净的FTO导电玻璃斜放在高压釜釜体中,玻璃导电面朝上,加入上述配制溶液,拧紧高压釜置于烘箱, $170^\circ C$ 下加热4h,制得二氧化钛纳米棒。

[0022] 优选地,所述金属氧化物为 Ag_2O 或 Mn^{2+} 氧化物。

[0023] Ag_2O 可市购也可由如下方法制备:

[0024] 取NaOH于蒸馏水中并搅拌30分钟。在搅拌下逐滴加入0.1M $AgNO_3$,在黑暗条件下,将混合物连续搅拌30分钟,离心收集产物并用蒸馏水洗涤数次,最后,将固体产物在 $60^\circ C$ 下干燥过夜,得到 Ag_2O 。

[0025] Mn^{2+} 氧化物可市购也可由如下方法制备:

[0026] 将 $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 加入到去离子水中。超声处理30分钟,然后在真空烘箱中 $80^\circ C$ 下保持2小时,得到 Mn^{2+} 氧化物。

[0027] 优选地,步骤(1)中介质阻挡放电等离子体法改性的条件为:电压30~45V,时间10~40min。改性时间更优选为10~30min,最优选为20min。

[0028] 本发明中,采用等离子体处理来改变g- C_3N_4 表面性质,可提高g- C_3N_4 的比表面积,

促进粉末均匀分散,同时提高其光催化性能,显著增强光催化降解污染物的性能。经过介质阻挡放电等离子体反应器处理后的g-C₃N₄粉末对二氧化钛纳米棒的光电性能有着很大的提升,过长时间的等离子体改性容易破坏g-C₃N₄表面的活性点位以及材料的表面形貌,从而影响其催化性能,而过低时间的改性则达不到分散催化剂以及O、N活性物质的掺杂,也达不到催化剂改性的目的,因此通过优选条件控制催化剂的改性时间有利于催化剂改性最佳。

[0029] 优选地,步骤(2)中含改性后金属氧化物的溶液为金属氧化物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物的浓度为0.2~0.8mg/mL;含g-C₃N₄的溶液为g-C₃N₄的乙醇溶液,该乙醇溶液中g-C₃N₄的浓度为0.8~1.2mg/mL;含改性后金属氧化物-g-C₃N₄复合物的溶液为复合物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物-g-C₃N₄复合物的浓度为2~3mg/mL。

[0030] 进一步优选地,步骤(2)中含改性后金属氧化物的溶液为金属氧化物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物的浓度为0.4~0.6mg/mL;含g-C₃N₄的溶液为g-C₃N₄的乙醇溶液,该乙醇溶液中g-C₃N₄的浓度为0.9~1.1mg/mL;含改性后金属氧化物-g-C₃N₄复合物的溶液为复合物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物-g-C₃N₄复合物的浓度为2.4~2.6mg/mL。

[0031] 最优选地,步骤(2)中含改性后金属氧化物的溶液为金属氧化物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物的浓度为0.5mg/mL;含g-C₃N₄的溶液为g-C₃N₄的乙醇溶液,该乙醇溶液中g-C₃N₄的浓度为1mg/mL;含改性后金属氧化物-g-C₃N₄复合物的溶液为复合物的乙二醇溶液,该乙二醇溶液中金属氧化物-g-C₃N₄复合物的浓度为2.5mg/mL。乙醇为50%乙醇。

[0032] 上述优选条件下:在等离子体中,由氧分子和高能电子之间的碰撞和能量转移产生的含氧物质,包括O, •O₂⁻,O₃等,高度活跃,对分子氧具有更高的氧化能力,将与吸收的Ag⁺/Mn²⁺反应,形成在g-C₃N₄表面上改性的Ag₂O/Mn₃O₄。在介质阻挡放电等离子体的帮助下只需几分钟,就可以获得复合材料。这种介质阻挡放电等离子体辅助合成是无溶剂的,可以在室温下快速实施,无需额外的氧化剂/还原剂。

[0033] 优选地,所述金属氧化物-g-C₃N₄复合物由如下方法制备:

[0034] 将g-C₃N₄粉末和金属氧化物前驱体加入去离子水中,超声处理至吸附平衡后,然后在真空烘箱中烘干即得。随后将其置于等离子体放电反应器中进行放电处理。产物用去离子水冲洗干净以去除未反应的氧化物,最后在烘箱中烘干。

[0035] 步骤(1)中可单独等离子体改性Ag₂O、Mn₃O₄、g-C₃N₄,也可以对Ag₂O/g-C₃N₄、Mn₃O₄/g-C₃N₄混合物进行共改性;经步骤(1)改性后可得单独Ag₂O、Mn₃O₄、g-C₃N₄或Ag₂O/g-C₃N₄、Mn₃O₄/g-C₃N₄混合物。

[0036] 优选地,步骤(2)中所有的电沉积过程条件为:-0.4~-0.8V条件下电沉积10~20min。

[0037] 电压过高会影响电极材料稳定性,容易造成电极损伤或电极表面脱落,电压过低则无法有效沉积金属氧化物和g-C₃N₄,针对金属氧化物和g-C₃N₄为有效沉积电压。同时,沉积时间过长容易形成金属氧化物和g-C₃N₄沉积过多,电极表面沉积不均匀,容易造成脱落以及厚薄不均,影响电极的使用寿命,而沉积时间过短则无法在电极表面形成均匀致密的金属氧化物和g-C₃N₄薄膜,同样影响电极的制备。在上述优选范围内,制备得到的电极质量更好。

[0038] 进一步优选为:-0.4~-0.8V条件下电沉积15min;最优选为:-0.6V条件下电沉积

15min。

[0039] 优选地,步骤(3)中煅烧条件为350~450℃恒温煅烧1~1.5小时。

[0040] 本发明还提供一种如所述制备方法制备得到的金属氧化物和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂。

[0041] 本发明还提供一种有机污染废水的电化学处理方法,包括如下步骤:

[0042] 以所述金属氧化物和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化剂为阳极、钛片为阴极、施加偏压2~4V,电解处理有机污染废水1.5~2.5h。

[0043] 优选地,电解质溶液为0.1M Na₂SO₄,所选污染物为苯酚和铬(VI)。

[0044] 与现有技术相比,本发明使用介质阻挡放电等离子体辅助法合成金属氧化物和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光电催化剂的方法,带来的技术效果是:

[0045] (1) 本发明所用原料廉价,制备方法简单、成本低、效率高,制备过程中无任何污染物产生,有利于进一步实现规模化生产;

[0046] (2) 本发明的方法制得的纳米复合材料反应活性位点更多,由于光催化反应主要发生在光催化剂的表面,因此相对更大的比表面积具有较多的反应活性位点对于光催化剂的催化性能有明显的促进作用,从而提升污染物的降解率。

附图说明

[0047] 图1是实施例1中制备得到的以介质阻挡放电等离子体辅助法合成g-C₃N₄与二氧化钛纳米棒复合光催化电极的光电流图;

[0048] 图2是实施例1中制备得到的以介质阻挡放电等离子体辅助法合成g-C₃N₄与二氧化钛纳米棒复合光催化电极的扫描电镜图;

[0049] 图3是实施例2中以介质阻挡放电等离子体辅助法合成g-C₃N₄与二氧化钛纳米棒复合光催化电极降解苯酚以及六价铬在等离子体反应器中的降解效率图;

[0050] 图4是实施例3中以介质阻挡放电等离子体辅助法合成g-C₃N₄与二氧化钛纳米棒复合光催化电极降解苯酚以及六价铬以氙灯为光源的降解效率图;

[0051] 图5是实施例4中以介质阻挡放电等离子体辅助法合成Ag₂O和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化电极的光电流图;

[0052] 图6是实施例4中以介质阻挡放电等离子体辅助法合成Ag₂O和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化电极降解苯酚以及六价铬以氙灯为光源的降解效率图。

[0053] 图7是实施例6中制备得到的以介质阻挡放电等离子体辅助法合成Mn₃O₄和g-C₃N₄共修饰二氧化钛纳米棒复合光催化电极的光电流图。

具体实施方式

[0054] 实施例1

[0055] (1) 通过介质阻挡放电等离子体法对g-C₃N₄粉末进行改性

[0056] 取适量g-C₃N₄粉末于介质阻挡放电等离子体反应器中,使用空气作为工作气体,在30V电压下开始等离子体反应,反应时间为0~40min,更优选为10~30min,最优选为20min。

[0057] (2) g-C₃N₄修饰二氧化钛纳米棒电极的制备

[0058] 在100mL 50%的乙醇溶液中加入0.1g经过介质阻挡放电等离子体反应器改性的

g-C₃N₄粉末,不断搅拌后超声12小时,之后离心分离,取上清液,作为电沉积液。用电化学工作站采用三电极体系进行电沉积,以水热法制备的二氧化钛纳米棒为工作电极,钛片为对电极,Ag/AgCl电极为参比电极,在电沉积电压为-0.6V条件下电沉积15分钟。室温晾干后在氮气氛围下,以400℃的温度恒温煅烧1小时后制得g-C₃N₄修饰二氧化钛纳米棒电极。

[0059] 采用CHI660E电化学工作站对电极进行LSV表征,从LSV光电流图(如图1)可以看出经过介质阻挡放电等离子体反应器处理后的g-C₃N₄粉末对二氧化钛纳米棒的光电性能有着很大的提升,并且在g-C₃N₄粉末改性20min后,光电流密度提升了近三倍。

[0060] 采用场发射扫描电子显微镜(如图2)对实施例1制备的复合电极进行表面形貌表征,图中可以看出g-C₃N₄成功且均匀地分布在二氧化钛纳米棒上。

[0061] 实施例2

[0062] 使用实施例(1)制备的复合电极处理80μmol/L(100mL)六价铬溶液,10mg/L(100mL)苯酚溶液,以0.1M Na₂SO₄为电解质溶液,在介质阻挡放电等离子体反应器中进行降解,电压30V,10min取一次样,反应一小时。实验结果如图3所示,可见在10min后,六价铬完全去除。

[0063] 实施例3

[0064] 使用实施例(1)制备的复合电极处理80μmol/L(100mL)六价铬溶液,10mg/L(100mL)苯酚溶液,以0.1M Na₂SO₄为电解质溶液,外加偏压为3V,开启灯光电源前暗吸附30min,达到吸附脱附平衡。

[0065] 半小时取一次样,反应两小时。实验结果如图4所示,可见在2h后,六价铬去除率约为70%。

[0066] 实施例4

[0067] (1) Ag₂O-5/TiO₂-NRs的制备

[0068] 取0.05g经过等离子体改性5min的Ag₂O粉末溶于100mL乙二醇,超声分散30min。以该溶液为电沉积溶液,以水热法制备的二氧化钛纳米棒为工作电极,钛片为对电极,Ag/AgCl电极为参比电极,在电沉积电压为-0.6V条件下电沉积30min。沉积过程完成之后用去离子水冲洗,并烘干,得到Ag₂O/TiO₂-NRs;

[0069] (2) Ag₂O-5/g-C₃N₄-5/TiO₂-NRs的制备

[0070] 用电化学工作站采用三电极体系进行电沉积,以实施例1中所得溶液为电沉积溶液,以Ag₂O-5/TiO₂-NRs为工作电极,钛片为对电极,Ag/AgCl电极为参比电极,在电沉积电压为-0.6V条件下电沉积15分钟。室温晾干后在氮气氛围下,以400℃的温度恒温煅烧1小时,得到Ag₂O-5/g-C₃N₄-5/TiO₂-NRs。

[0071] 采用CHI660E电化学工作站对电极进行LSV表征,从LSV光电流图(如图5)可以看出经过介质阻挡放电等离子体反应器处理5min后的Ag₂O-5/g-C₃N₄-5粉末对比不改性g-C₃N₄粉末对二氧化钛纳米棒的光电性能有着很大的提升。

[0072] 实施例5

[0073] 使用实施例(4)制备的复合电极处理160μmol/L(100mL)六价铬溶液,10mg/L(100mL)苯酚溶液,以0.1M Na₂SO₄为电解质溶液,外加偏压为3V,开启灯光电源前暗吸附30min,达到吸附脱附平衡。半小时取一次样,反应两小时。实验结果如图6所示,在2h后,苯酚去除率约为70%。

[0074] 实施例6

[0075] $\text{Mn}_3\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 复合材料的制备:取2mL去离子水,分别加入0.2g,0.4g,0.6g,1.0g,1.5g的g- C_3N_4 粉末。接着将 Mn^{2+} 加入到溶有原始g- C_3N_4 粉末的2mL去离子水中。超声后在真空烘箱中80℃下保持2小时。随后将其置于等离子体放电反应器中,45V,10min。产物(表示为 $\text{Mn}_3\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4\text{-X}$,X表示g- C_3N_4 加入量)用去离子水冲洗干净以去除未反应的 Mn^{2+} ,最后在80℃的烘箱中烘干。

[0076] 分别取2.5mg/mL $\text{Mn}_3\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4\text{-X}$ 乙二醇溶液,超声分散30min。将制备好的长有 TiO_2 纳米棒的FTO电极浸泡在超声好的溶液中30min,导电面朝上。最后在 N_2 氛围下管式炉中以5℃/min的升温速度升至400℃,恒温1小时。

[0077] 图7为介质阻挡放电等离子体反应器处理后不同 $\text{Mn}_3\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4\text{-X}$ 粉末投加量对二氧化钛纳米棒的光电性能LSV光电流图。可以看出,初始g- C_3N_4 的加入量对所制备的电极的光电性能有明显影响, $\text{Mn}_3\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4\text{-0.4}$ 的光电流密度是 $\text{Mn}_3\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4\text{-1.5}$ 的近五倍。

[0078] 以上所述仅为本发明的具体实施案例,但本发明的技术特征并不局限于此,任何相关领域的技术人员在本发明的领域内,所作的变化或修饰皆涵盖在本发明的专利范围之内。

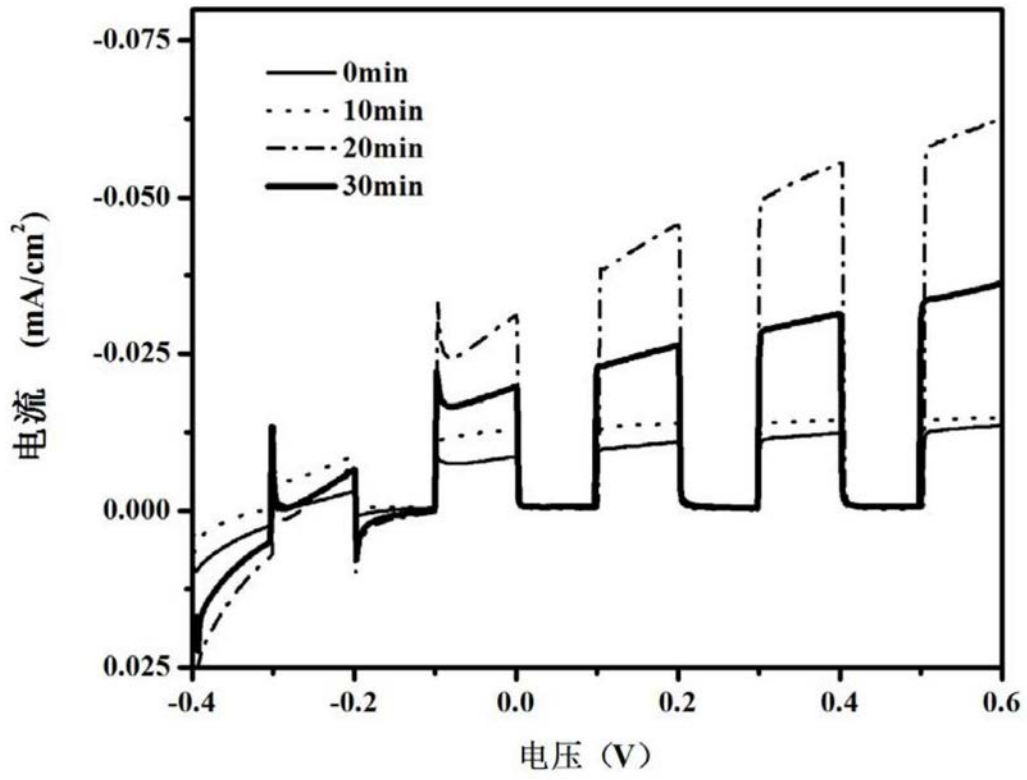


图1

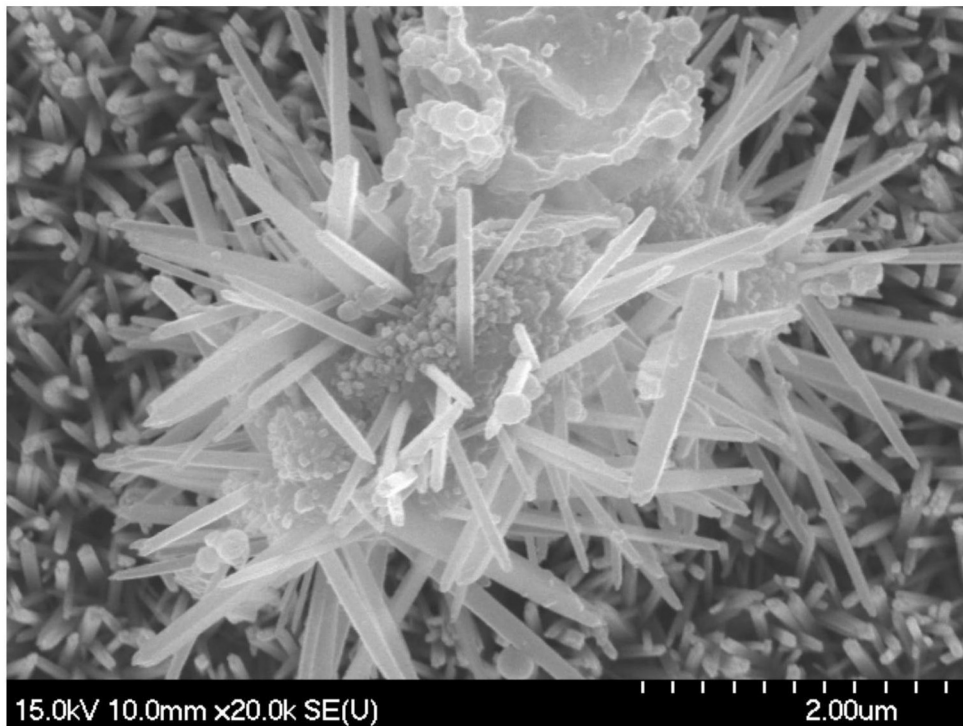


图2

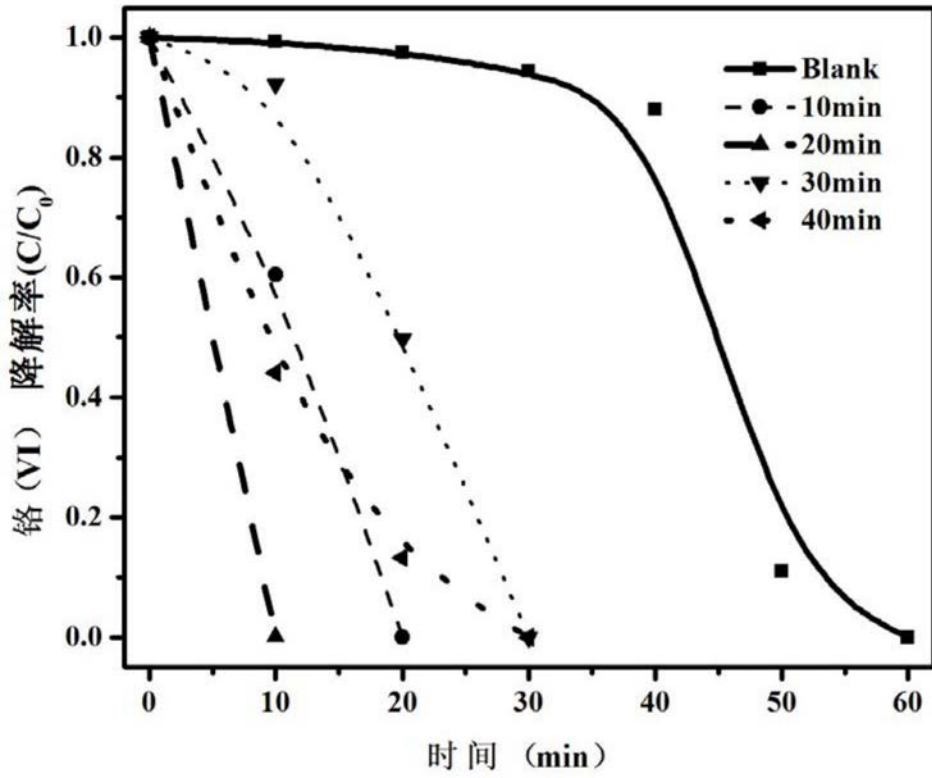


图3

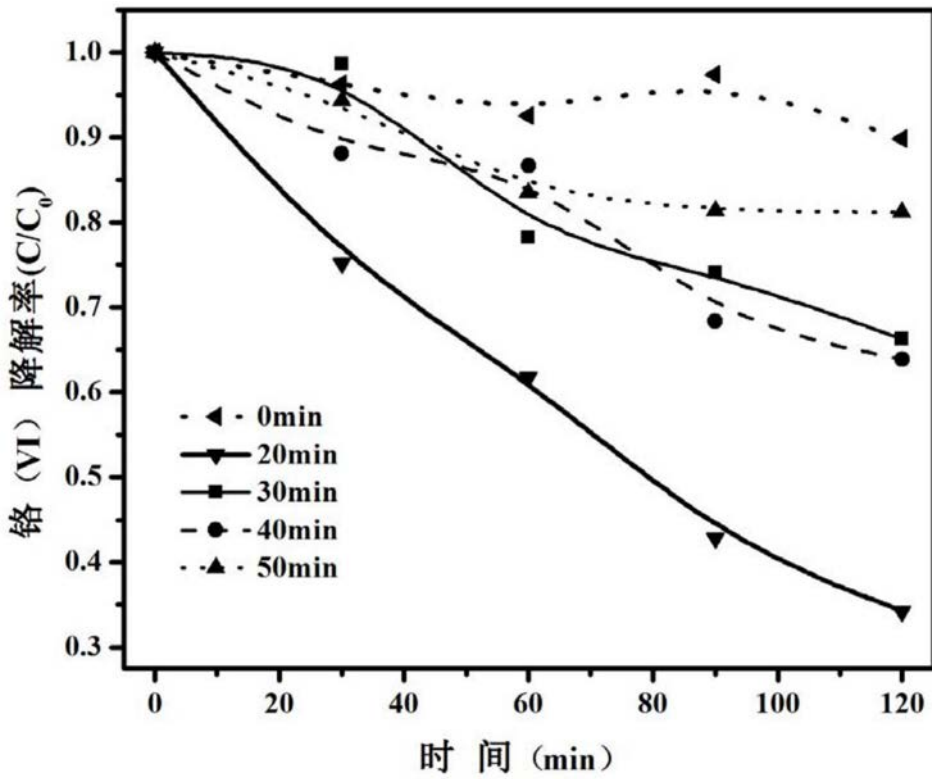


图4

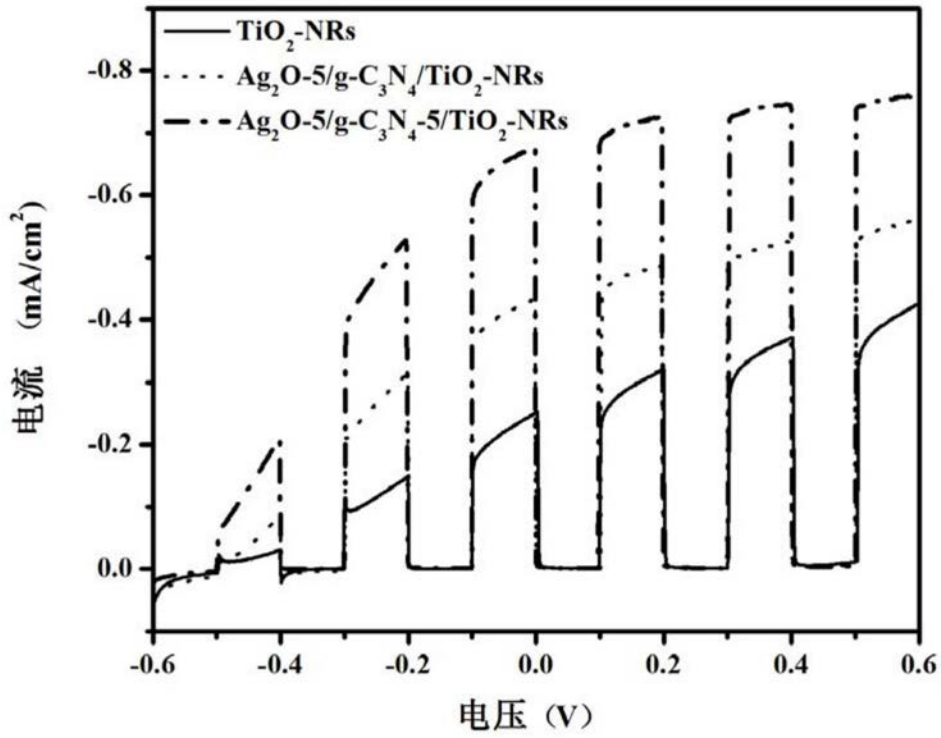


图5

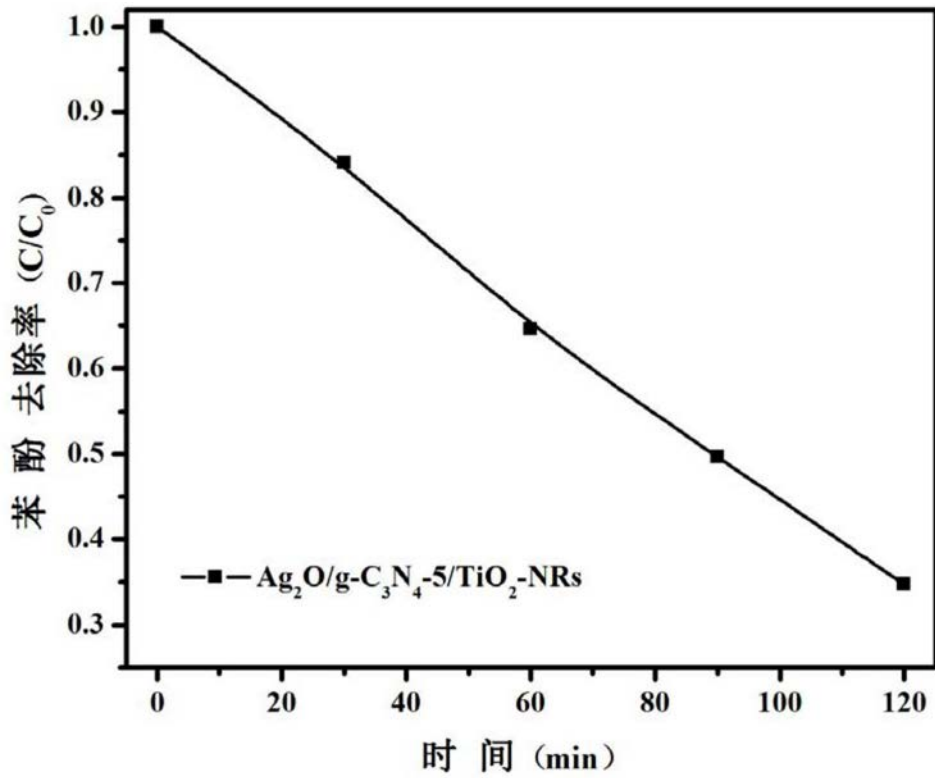


图6

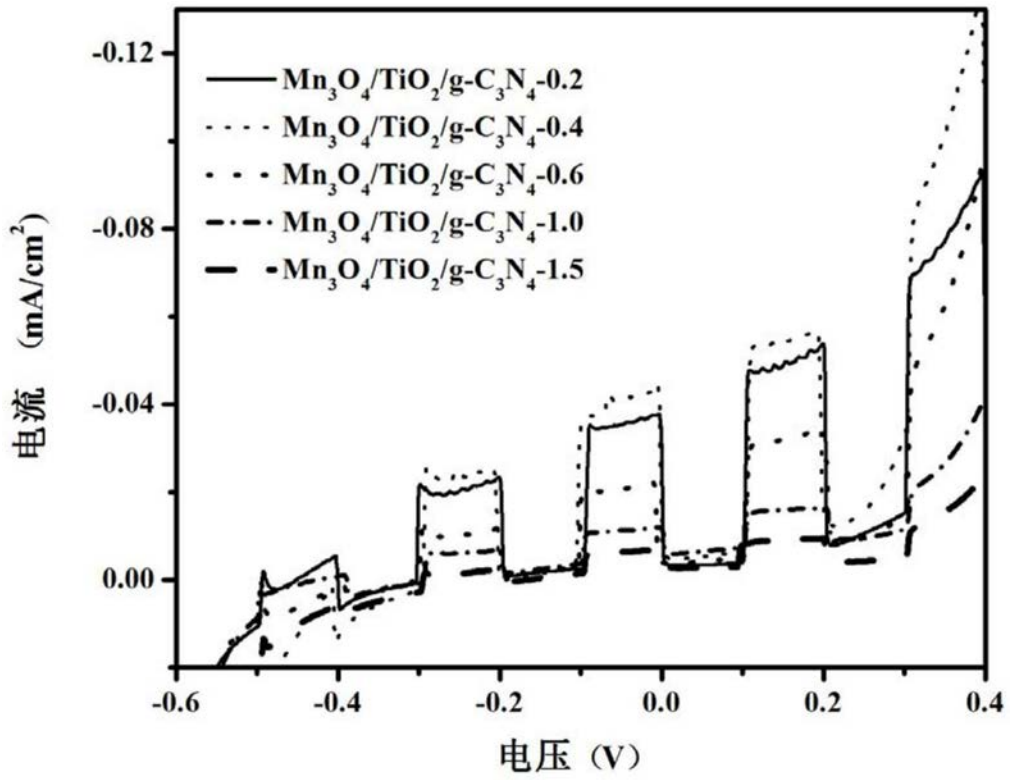


图7