



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110449177 B

(45) 授权公告日 2021.01.15

---

(21) 申请号 201910763201.X	B01D 53/72 (2006.01)
(22) 申请日 2019.08.19	B01D 53/86 (2006.01)
(65) 同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 110449177 A	(56) 对比文件 CN 109939712 A, 2019.06.28 CN 109999802 A, 2019.07.12 CN 102284077 A, 2011.12.21 CN 109939718 A, 2019.06.28
(43) 申请公布日 2019.11.15	
(73) 专利权人 联科华技术有限公司 地址 530028 广西壮族自治区南宁市中国 (广西)自由贸易试验区(南宁片区)盘 歌路4号碧园大厦2单元10层	审查员 柳杨璐
(72) 发明人 吴宇恩 赵超	
(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 付丽	
(51) Int. Cl. B01J 27/24 (2006.01)	权利要求书1页 说明书7页 附图3页

---

(54) 发明名称  
    一种用于空气综合净化的多功能单原子催  
    化剂及其制备方法

(57) 摘要  
    本发明提供了一种单原子催化剂,由碳载体  
    和第二过渡金属元素组成,所述碳载体由ZIFs系  
    金属有机框架材料中的第一过渡金属元素挥发  
    和二甲基咪唑碳化后形成;所述第二过渡金属原  
    子与所述碳载体中的N原子相互作用,且以单原  
    子的形式被所述碳载体包覆在内部。本申请还提  
    供了所述单原子催化剂的制备方法与应用。本发  
    明提供的单原子催化剂作为催化剂在空气综合  
    净化中表现出极大地应用潜力,具备广谱抗菌、  
    清除雾霾、清除甲醛等多重功能。

1. 单原子复合材料在广谱抗菌方面的应用;

所述单原子复合材料由碳载体和第二过渡金属元素组成,所述碳载体由ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素挥发和二甲基咪唑碳化后形成;所述第二过渡金属原子与所述碳载体中的N原子相互作用,且以单原子的形式被所述碳载体包覆在内部;所述第一过渡金属元素选自Zn,所述第二过渡金属元素选自Fe、Co、Ni和Mn中的一种或多种。

2. 单原子复合材料在雾霾净化上的应用;

所述单原子复合材料由碳载体和第二过渡金属元素组成,所述碳载体由ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素挥发和二甲基咪唑碳化后形成;所述第二过渡金属原子与所述碳载体中的N原子相互作用,且以单原子的形式被所述碳载体包覆在内部;所述第一过渡金属元素选自Zn,所述第二过渡金属元素选自Fe、Co、Ni和Mn中的一种或多种。

3. 单原子复合材料在甲醛清除上的应用;

所述单原子复合材料由碳载体和第二过渡金属元素组成,所述碳载体由ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素挥发和二甲基咪唑碳化后形成;所述第二过渡金属原子与所述碳载体中的N原子相互作用,且以单原子的形式被所述碳载体包覆在内部;所述第一过渡金属元素选自Zn,所述第二过渡金属元素选自Fe、Co、Ni和Mn中的一种或多种。

4. 根据权利要求1~3任一项所述的应用,其特征在于,所述单原子复合材料的制备方法,包括以下步骤:

将ZIFs系金属有机框架材料、有机溶剂和第二过渡金属化合物的水溶液混合,烘干后得到固体粉末;

将所述固体粉末进行煅烧,得到单原子复合材料。

5. 根据权利要求1~3任一项所述的应用,其特征在于,所述ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属原子与所述ZIFs系金属有机框架材料中氮原子的原子比为1:(20~50);所述ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素与所述第二过渡金属化合物的第二过渡金属元素的摩尔比为1:(5~20)。

6. 根据权利要求4所述的应用,其特征在于,所述煅烧在惰性气氛下进行,所述煅烧的温度为600~1000℃,时间为2~4h。

7. 根据权利要求1~3任一项所述的应用,其特征在于,所述ZIFs系金属有机框架材料的制备方法具体为:

将第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液混合,得到混合溶液;

将所述混合溶液采用甲醇离心洗涤,烘干,得到ZIFs系金属有机框架材料。

8. 根据权利要求7所述的应用,其特征在于,所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液的摩尔浓度为0.01~0.2mol/L,所述有机配体的甲醇溶液的摩尔浓度为0.1~1mol/L;所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液的体积比为1:1~1:10。

9. 根据权利要求4所述的应用,其特征在于,所述第二过渡金属化合物的水溶液的浓度为10~200 mg/mL。

## 一种用于空气综合净化的多功能单原子催化剂及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及净化技术领域,尤其涉及单原子催化剂、其制备方法及其应用。

### 背景技术

[0002] 由于人们对工业高度发达的负面影响预料不够且预防不利,导致全球性的环境污染问题日益严重,危害人类的健康生存与发展,因此,污染问题的治理已经迫在眉睫。目前,环境污染主要分空气污染、土壤污染和水体污染;其中空气污染对人们的影响最为直接,室内外细菌、雾霾颗粒(PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>)、甲醛及其他小分子等各种污染物持续影响人们的身体健康,每天都有人因接触了这些污浊空气而染上呼吸器官、视觉器官、癌症、白血病等疾病,在蓝天白云下自由自在地呼吸的情景离人们越来越遥远。为此,人们积极开发各类净化装置及材料,市场上广泛出售的商品包括空气净化器、3M防霾口罩、活性炭包以及净水机等层出不穷。

[0003] 上述商品的核心滤芯功能单一、结构复杂。其中,实现广谱抗菌的主要技术是强力紫外光、光催化产生活性氧以及纳米银催化剂的单一技术或双重技术。强力紫外光装置较贵且对身体有害;光催化材料需要严重依赖外界光源;纳米银材料价格昂贵且容易氧化失活。对甲醛来说,目前市场上的装置主要依赖于活性炭的高效吸附,不能从根本上有效地将甲醛进一步转化为二氧化碳,其威胁仍然存在。室温条件下快速高效地将甲醛转化为无害的二氧化碳尤为重要。因此,开发新型廉价、高效的材料用于空气综合净化受到广泛关注。

### 发明内容

[0004] 本发明解决的技术问题在于提供一种单原子催化剂,本申请提供的单原子催化剂可用于广谱抗菌、清除雾霾和清除甲醛,且具有较好的应用效果。

[0005] 有鉴于此,本申请提供了一种单原子催化剂,由碳载体和第二过渡金属元素组成,所述碳载体由ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素挥发和二甲基咪唑碳化后形成;所述第二过渡金属原子与所述碳载体中的N原子相互作用,且以单原子的形式被所述碳载体包覆在内部。

[0006] 优选的,所述第二过渡金属元素选自IB、II B和VIII中的一种或多种;具体的,所述第二过渡金属元素选自Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Mn和Zn中的一种或多种。

[0007] 本申请还提供了一种单原子催化剂的制备方法,包括以下步骤:

[0008] 将ZIFs系金属有机框架材料、有机溶剂和第二过渡金属化合物的水溶液混合,烘干后得到固体粉末;

[0009] 将所述固体粉末进行煅烧,得到单原子催化剂。

[0010] 优选的,所述ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属原子与所述ZIFs系金属有机框架材料中杂原子的原子比为1:(20~50);所述ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素与所述第二过渡金属化合物的第二过渡金属元素的摩尔比为1:(5~20)。

[0011] 优选的,所述煅烧在惰性气氛下进行,所述煅烧的温度为600~1000℃,时间为2~

4h。

[0012] 优选的,所述ZIFs系金属有机框架材料的制备方法具体为:

[0013] 将第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液混合,得到混合溶液;

[0014] 将所述混合溶液采用甲醇离心洗涤,烘干,得到ZIFs系金属有机框架材料。

[0015] 优选的,所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液的摩尔浓度为0.01~0.2mol/L,所述有机配体的甲醇溶液的摩尔浓度为0.1~1mol/L;所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液的体积比为1:1~1:10;所述第二过渡金属化合物的水溶液的浓度为10~200mg/ml。

[0016] 本申请还提供了所述的或所述的制备方法所制备的单原子催化剂在抗菌方面的应用。

[0017] 本申请还提供了所述的或所述的制备方法所制备的单原子催化剂在雾霾净化上的应用。

[0018] 本申请还提供了所述的或所述的制备方法所制备的单原子催化剂在甲醛清除上的应用。

[0019] 本申请提供了一种单原子催化剂,其由碳载体和第二过渡金属元素组成,所述碳载体由ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素挥发和二甲基咪唑碳化后形成;所述第二过渡金属原子与所述碳载体中的N原子相互作用,且以单原子的形式被所述碳载体包覆在内部。本申请提供的单原子催化剂中的第二过渡金属元素以原子的形式均匀的分布在碳载体内部;在广谱抗菌方面,单原子催化剂自身可以活化空气中的氧气产生活性氧,氧化细菌的细菌膜、蛋白质、遗传物质等将细胞杀死,对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草杆菌和绿脓杆菌等四种代表性菌种表现出>99%的去除率;同时,单原子催化剂中的碳载体具有较强的吸附性,可对雾霾颗粒表现出>99.9%的去除率;进一步的,单原子催化剂中的碳载体具有较强的吸附性,同时第二过渡金属原子可以活化空气中的氧气产生活性氧,在室温下10min内将甲醛氧化为二氧化碳和水,且长时间使用无明显的失活。

## 附图说明

[0020] 图1为本发明实施例1~4制备的Fe单原子、Co单原子、Ni单原子以及Mn单原子催化剂的透射和扫描电子显微镜下图像;

[0021] 图2为根据本发明实施例1~4制备的Fe单原子、Co单原子、Ni单原子以及Mn单原子催化剂的球差校正高角度环形暗场扫描透射电子显微镜图像;

[0022] 图3为根据本发明实施例1~4制备的单原子催化剂对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草杆菌、绿脓杆菌等四种代表性的菌种反应前后的细菌形貌;

[0023] 图4为根据本发明实施例1~4制备的单原子催化剂对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草杆菌、绿脓杆菌等四种代表性的菌种的抗菌性能图;

[0024] 图5为根据本发明的实施例1~4制备的单原子催化剂用于雾霾净化的示意图、实物图、装置图及性能图;

[0025] 图6为根据本发明的实施例1~4制备的单原子催化剂在甲醛清除转化实验中的测试图。

## 具体实施方式

[0026] 为了进一步理解本发明,下面结合实施例对本发明优选实施方案进行描述,但是应当理解,这些描述只是为进一步说明本发明的特征和优点,而不是对本发明权利要求的限制。

[0027] 鉴于净化方面的需求,本申请提供了一种单原子催化剂及其制备方法,该催化剂对应用于空气空气净化方面具有较好的效果;具体的,本申请提供了一种单原子催化剂,由碳载体和第二过渡金属元素组成,所述第二过渡金属原子与所述碳载体中的N原子相互作用,且以单原子的形式被所述碳载体包覆在内部;所述碳载体由ZIFs系列金属有机框架材料中的第一过渡金属元素挥发和二甲基咪唑碳化后形成。

[0028] 上述单原子催化剂,是由前驱体经过煅烧后得到的,所述前驱体由第一过渡金属元素、第二过渡金属元素和有机配体二甲基咪唑组成,其中第一过渡金属元素和有机配体形成ZIFs系金属有机框架材料,在煅烧的过程中,第一过渡金属元素高温挥发,二甲基咪唑有机配体碳化,由此形成非金属N原子掺杂的碳载体;第二过渡金属元素与碳载体中的非金属杂原子N原子相互作用,并被包覆在有机配体碳载体的碳层里面且以单原子的形式存在。

[0029] 本申请单原子催化剂中的ZIFs系金属有机框架材料为本领域技术人员熟知的有机金属框架材料,其中的第一过渡金属元素为Zn或Co,在本申请中,所述第一过渡金属元素为Zn;在本申请中,所述第二过渡金属元素选自IB、II B和VIII中的一种或多种;具体的,所述第二过渡金属元素选自Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Mn和Zn中的一种或多种。本申请还提供了所述单原子催化剂的制备方法,包括以下步骤:

[0030] 将ZIFs系金属有机框架材料、有机溶剂和第二过渡金属化合物的水溶液混合,烘干后得到固体粉末;

[0031] 将所述固体粉末进行煅烧,得到单原子催化剂。

[0032] 在上述制备单原子催化剂的过程中,本申请首先需要准备ZIFs系金属有机框架材料,其制备方法具体为:

[0033] 将第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液混合,得到混合溶液;

[0034] 将所述混合溶液采用甲醇离心洗涤,烘干,得到ZIFs系金属有机框架材料。

[0035] 在上述制备ZIFs系金属有机框架材料的过程中,首先将第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液混合,得到混合溶液,上述过程中,第一过渡金属化合物在具体实施例中选自硝酸锌或硝酸钴;所述有机配体为二甲基咪唑。所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液的摩尔浓度为0.01~0.2mol/L,所述有机配体的甲醇溶液的摩尔浓度为0.1~1mol/L;所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液的体积比为1:1~1:10,所述ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属原子与所述ZIFs系金属有机框架材料中杂原子的原子比为1:(20~50);在具体实施例中,所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液的摩尔浓度为0.08~0.15mol/L,所述有机配体的甲醇溶液的摩尔浓度为0.3~0.8mol/L,所述第一过渡金属化合物的甲醇溶液和有机配体的甲醇溶液的体积比为1:1~1:5。

[0036] 本申请然后将上述得到的混合溶液离心洗涤后烘干,即得到ZIFs有机金属框架材料。

[0037] 在上述ZIFs系有机金属框架材料之后,则将所述ZIFs系金属有机框架材料、有机溶剂和第二过渡金属化合物的水溶液混合,烘干后得到固体粉末;在此过程中,利用混合溶

剂浸渍吸附法对第二过渡金属元素进行吸附。所述有机溶剂选自体积比为1:1的乙醇和水的混合溶液,所述第二过渡金属化合物的水溶液的浓度为10~200mg/ml,所述ZIFs系金属有机框架材料中的第一过渡金属元素与所述第二过渡金属化合物的第二过渡金属元素的摩尔比为1:(5~20)。所述烘干为本领域技术人员熟知的烘干手段,对此本申请没有特别的限制,在具体实施例中,所述烘干在60~90℃的烘箱中进行。

[0038] 本申请最后将所述固体粉末进行煅烧,以使第一过渡金属元素挥发,从而形成未饱和N的空缺位点,而第二过渡金属元素与N空位结合形成单原子分散,同时有机配体碳化,形成非金属杂原子N掺杂的碳载体,其单原子包覆于碳载体内部。所述煅烧在惰性气氛下进行,所述惰性气氛可选子氮气或氩气,所述煅烧的温度为600~1000℃,时间为2~4h;在具体实施例中,所述煅烧的温度为800~900℃,时间为3h,以使第一过渡金属元素挥发和有机配体二甲基咪唑碳化。

[0039] 本申请还提供了所述上述单原子催化剂的应用,具体是在抗菌方面的应用、在雾霾净化上的应用以及在甲醛清除上的应用;所述单原子催化剂在上述三个方面的应用主要是指作为催化剂在上述三个方面的应用。

[0040] 所述单原子催化剂在抗菌方面的应用,是指单原子催化剂在广谱抗菌方面,其可以活化空气中的氧气产生活性氧,从而氧化细菌的细胞膜、蛋白质、遗传物质等而将细菌杀死。所述单原子催化剂在抗菌方面应用时,其可以为本领域技术人员熟知的形式,对此本申请没有特别的限制,示例的,此应用可进一步用于制作各种防护以及净化用品,包括抗菌口罩、抗菌纺织品、空气净化器、净水机以及新风系统等等。在本申请的具体实施例中,所述单原子催化剂主要针对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草杆菌和绿脓杆菌具有较高的去除率,对其他常见的菌种同样具有较好的去除率。

[0041] 所述单原子催化剂在雾霾净化方面的应用,在本申请中,所述单原子催化剂在雾霾净化方面的应用主要是指单原子催化剂可制备成滤膜、口罩等形式的过滤装置来实现雾霾的净化,即过滤装置为本领域技术人员熟知的,对此本申请没有特别的限制。在具体实施例中,所述单原子催化剂与医用无纺布复合成滤膜,利用该滤膜对甲醛进行清除;实验结果表明,单层滤膜对PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>等雾霾颗粒的清除率可达99%以上。

[0042] 所述单原子催化剂在甲醛清除上的应用,在本申请中,所述单原子催化剂在甲醛清除方面的应用主要是指单原子催化剂可以制备成炭包、净化装置等形式的甲醛清除装置来实现甲醛的清除,即甲醛清除装置为本领域技术人员熟知的,对此本申请没有特别的限制。实验结果表明,单原子催化剂作为催化剂可在10min内将甲醛100%转化为二氧化碳,且长时间测试均有很好的活性。

[0043] 本发明提供的单原子催化剂的制备方法简单易行,结构稳定、可批量生产,亦可用于制备其他各种单原子催化剂。本发明提供的过渡金属单原子分散的催化剂在空气综合净化中表现出极大地应用潜力,具备广谱抗菌、清除雾霾、清除甲醛等多重功能。本发明适用于房屋建材、家庭护理、个人防护以及日常用品等众多领域,能够推进空气污染综合治理市场的长足发展。

[0044] 为了进一步理解本发明,下面结合实施例对本发明提供的单原子催化剂、制备方法及其应用进行详细说明,本发明的保护范围不受以下实施例的限制。

[0045] 实施例1

[0046] 不同原子量Fe单原子分散的催化剂的制备:

[0047] (1) 配置0.125mol/L的六水合硝酸锌甲醇溶液,0.5mol/L的二甲基咪唑甲醇溶液;然后将30毫升的0.125mol/L六水合硝酸锌甲醇溶液加入到30毫升的二甲基咪唑甲醇溶液中,超声溶解,然后再将混合溶液搅拌过夜;

[0048] (2) 将得到的混合溶液用甲醇离心洗涤3~5次,在70℃烘箱中烘干过夜,得到金属有机框架材料固体粉末;

[0049] (3) 将上述得到的金属有机框架100mg分散在10mL的乙醇和水(v/v=1/1)的混合溶液,然后分别加入30ul浓度为10~100mg/ml的硝酸铁水溶液搅拌2~4h后洗涤烘干;

[0050] (4) 将得到的固体粉末放入瓷舟,再放入管式炉密封通入惰性气体,在惰性气氛下升温到900℃,煅烧3h,然后自然冷却降温到室温,取出在玛瑙研钵中研磨30min,得到Fe单原子分散的催化剂,材料形貌参见附图1,由图1可知,上述催化剂为均匀多孔的碳材料;如附图2所示,在电镜下观察到Fe单原子均匀地单分散在氮掺杂的碳基上。

[0051] 实施例2

[0052] 不同原子量Co单原子分散的催化剂的制备:

[0053] (1) 配置0.125mol/L的六水合硝酸锌甲醇溶液,0.5mol/L的二甲基咪唑甲醇溶液;然后将30毫升的0.125mol/L六水合硝酸锌甲醇溶液加入到30毫升的二甲基咪唑甲醇溶液中,超声溶解,然后再将混合溶液搅拌过夜;

[0054] (2) 将得到的混合溶液用甲醇离心洗涤3~5次,在70℃烘箱中烘干过夜,得到金属有机框架材料固体粉末;

[0055] (3) 将上述得到的金属有机框架材料100mg分散在10mL的乙醇和水(v/v=1/1)的混合溶液,然后分别加入30ul浓度为10~100mg/ml的硝酸钴水溶液搅拌2~4h后洗涤烘干;

[0056] (4) 将得到的固体粉末放入瓷舟,再放入管式炉密封通入惰性气体,在惰性气氛下升温到900℃,煅烧3h,然后自然冷却降温到室温,取出在玛瑙研钵中研磨30min,得到Co单原子分散的催化剂,材料形貌参见附图1,由图1可知,上述催化剂为均匀多孔的碳材料;如图2所示,在电镜下观察到Co单原子均匀地单分散在氮掺杂的碳基上。

[0057] 实施例3

[0058] 不同原子量Ni单原子分散的催化剂的制备:

[0059] (1) 配置0.125mol/L的六水合硝酸锌甲醇溶液,0.5mol/L的二甲基咪唑甲醇溶液;然后将30毫升的0.125mol/L六水合硝酸锌甲醇溶液加入到30毫升的二甲基咪唑甲醇溶液中,超声溶解,然后再将混合溶液搅拌过夜;

[0060] (2) 将得到的混合溶液用甲醇离心洗涤3~5次,在70℃烘箱中烘干过夜,得到金属有机框架材料固体粉末;

[0061] (3) 将上述得到的金属有机框架材料100mg分散在10mL的乙醇和水(v/v=1/1)的混合溶液,然后分别加入30ul浓度为10~100mg/ml的硝酸镍水溶液搅拌2~4h后洗涤烘干;

[0062] (4) 将得到的固体粉末放入瓷舟,再放入管式炉密封通入惰性气体,在惰性气氛下升温到900℃,煅烧3h,然后自然冷却降温到室温,取出在玛瑙研钵中研磨30min,得到Ni单原子分散的催化剂,材料形貌参见附图1,由图1可知,上述催化剂为均匀多孔的碳材料;如图2所示,在电镜下观察到Ni单原子均匀地单分散在氮掺杂的碳基上。

[0063] 实施例4

[0064] 不同原子量Mn单原子分散的催化剂的制备:

[0065] (1) 配置0.125mol/L的六水合硝酸锌甲醇溶液,0.5mol/L的二甲基咪唑甲醇溶液;然后将30毫升的0.125mol/L六水合硝酸锌甲醇溶液加入到30毫升的二甲基咪唑甲醇溶液中,超声溶解,然后再将混合溶液搅拌过夜;

[0066] (2) 将得到的混合溶液用甲醇离心洗涤3-5次,在70℃烘箱中烘干过夜,得到金属有机框架材料固体粉末;

[0067] (3) 将上述得到的金属有机框架材料100mg分散在10mL的乙醇和水(v/v=1/1)的混合溶液,然后分别加入30ul浓度为10~100mg/ml的硝酸锰水溶液搅拌2~4h后洗涤烘干;

[0068] (4) 将得到的固体粉末放入瓷舟,再放入管式炉密封通入惰性气体,在惰性气氛下升温到900℃,煅烧3h,然后自然冷却降温到室温,取出在玛瑙研钵中研磨30min,得到Mn单原子分散的催化剂,材料形貌参见附图1,由图1可知,上述催化剂为均匀多孔的碳材料;如图2所示,在电镜下观察到Mn单原子均匀地单分散在氮掺杂的碳基上。

[0069] 实施例5

[0070] 对制备实施例1~4制得的Fe、Co、Ni、Mn单原子分散的催化剂进行广谱抗菌实验测试:

[0071] 测试菌种为四种代表性的细菌:金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草杆菌和绿脓杆菌。一次接种细菌,培养生长16~18h,二次接种细菌,生长1.5h左右,然后离心,计数细菌,将其分散在PBS缓冲溶液中,将1mL的 $1.5 \times 10^6$ cfu/mL菌液与150uL的200μg/mL的催化剂分散液混合,放置在培养箱内培养,最后将培养的细菌铺平板的方式进行计数。抗菌反应前后的形貌变化参见附图3,性能结果参见附图4;由图3可以看出,反应后细菌出现明显的皱缩、破裂,这是由于单原子催化剂作为催化剂可以活化空气中的氧气产生活性氧,从而氧化细菌的细胞膜、蛋白质、遗传物质等将细菌杀死;从图4可以看出,单原子催化剂对上述四种代表性的细菌均表现出很好的清除功能,杀菌率均在99.9%以上。

[0072] 实施例6

[0073] 将制备实施例1~4制得的Fe、Co、Ni、Mn单原子分散的催化剂用于雾霾过滤测试:

[0074] 称取50mg所制备的单原子催化剂,将其分散在10mL的正丙醇和水(v/v=1/1)的混合溶液中,加入3mL质量浓度为5%的Nafion溶液,超声分散均匀,搅拌24h;然后将该催化剂溶液喷涂在5cm\*5cm的医用无纺布上,热压干燥,从而得到单原子催化剂滤膜。

[0075] 在雾霾颗粒测试装置中,两端分别放置PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>检测器,将单原子滤膜置于装置中间;在进口处连接的雾霾生成缸中点燃檀香,空气泵以20mL/min的流量进行测试,根据前后检测器评价单原子滤膜的过滤雾霾性能。装置及性能测试结果参见附图5;从图5可以看出,将催化剂与医用无纺布复合成滤膜之后,单层滤膜就可对PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>等雾霾颗粒的清除率达99%以上。

[0076] 实施例7

[0077] 将制备实施例1~4制得的Fe、Co、Ni、Mn单原子分散的催化剂用于甲醛转化测试:

[0078] 称取50mg催化剂,研磨压片,进一步制备成40~60目的颗粒,之后放入固定反应床进行测试。甲醛起始浓度:100ppm,流量:100mL·min<sup>-1</sup>,空速(GHSV):120,000mL·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,数据采集频次:5min/次,反应温度30℃。不同单原子催化剂性能测试结果参见附图6,图6中1、2、3、4分别代表不同的单原子催化剂;由图6可知,性能最好的单原子催化剂10min内即可

将甲醛100%地转化为无害的二氧化碳,长时间测试均有很好的活性。

[0079] 以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想。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,还可以对本发明进行若干改进和修饰,这些改进和修饰也落入本发明权利要求的保护范围内。

[0080] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

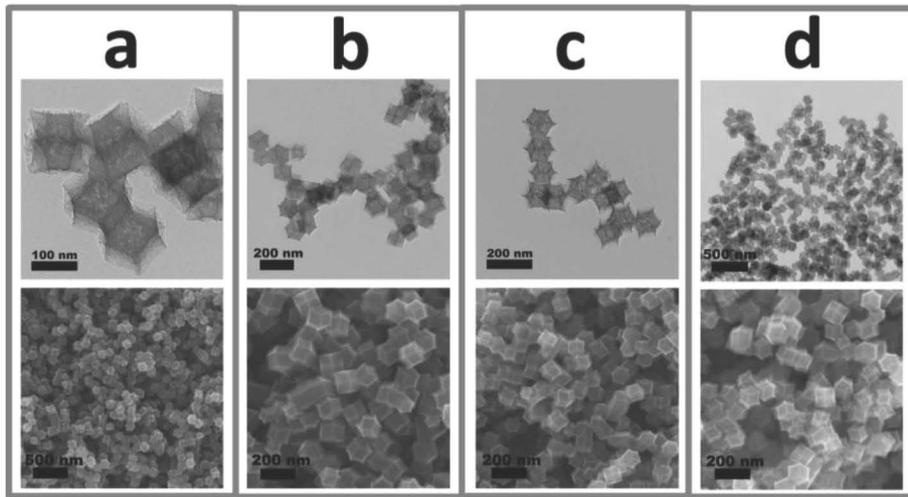


图1

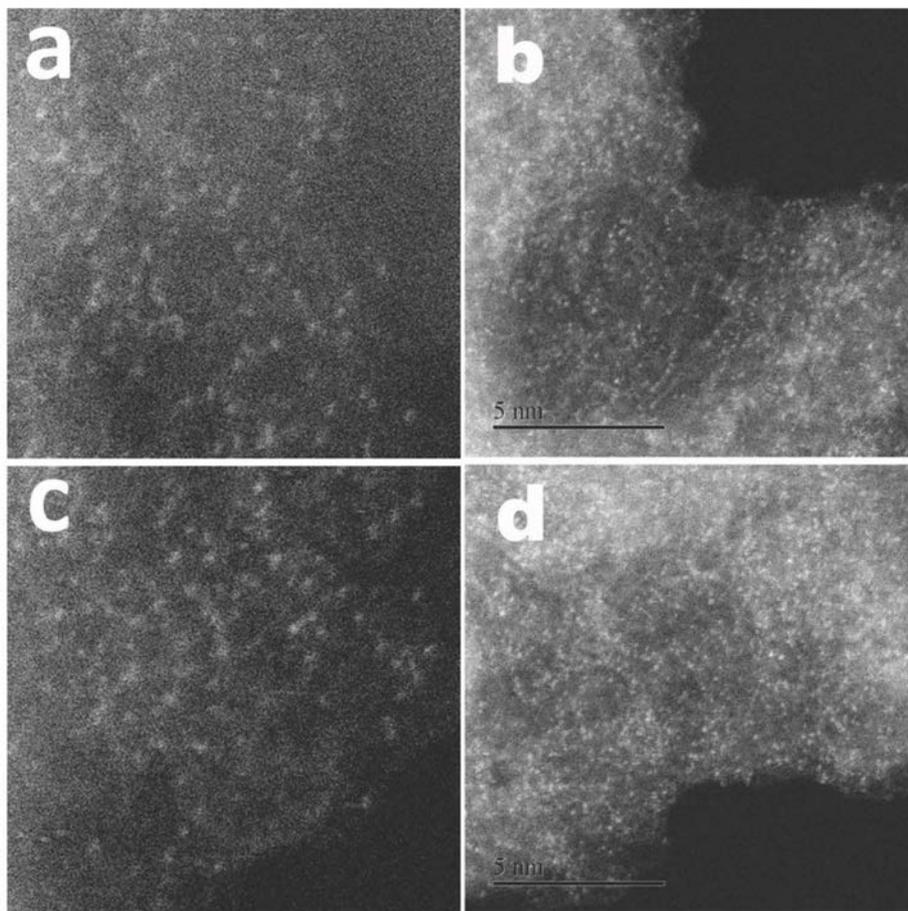


图2

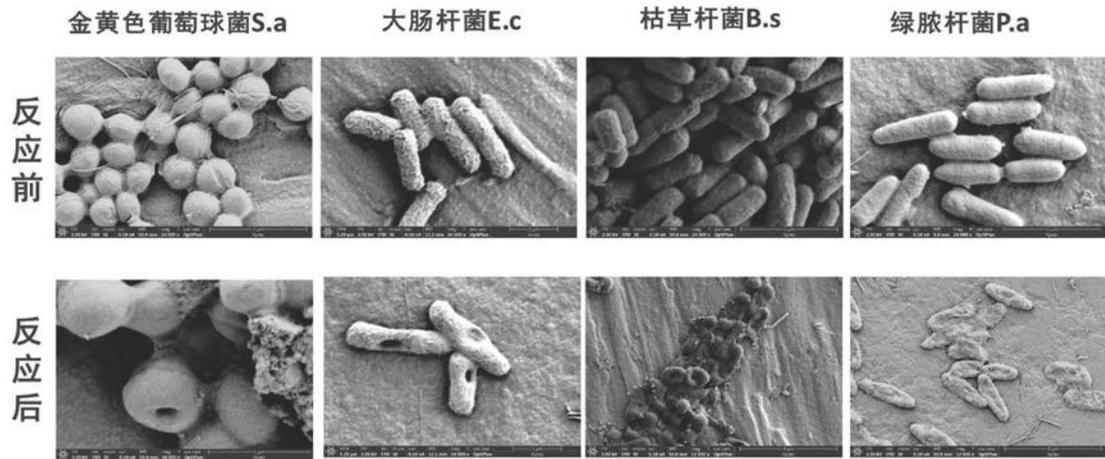


图3

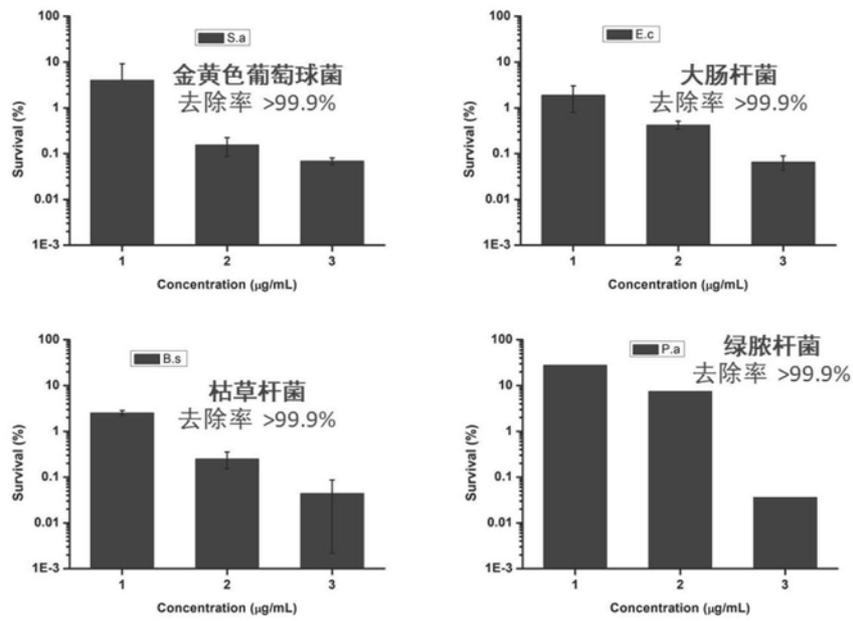


图4

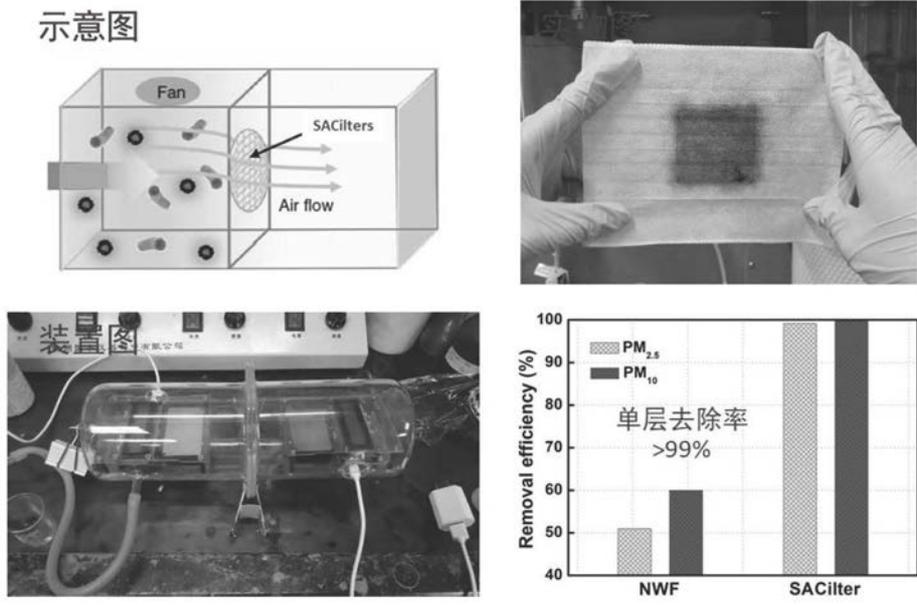


图5

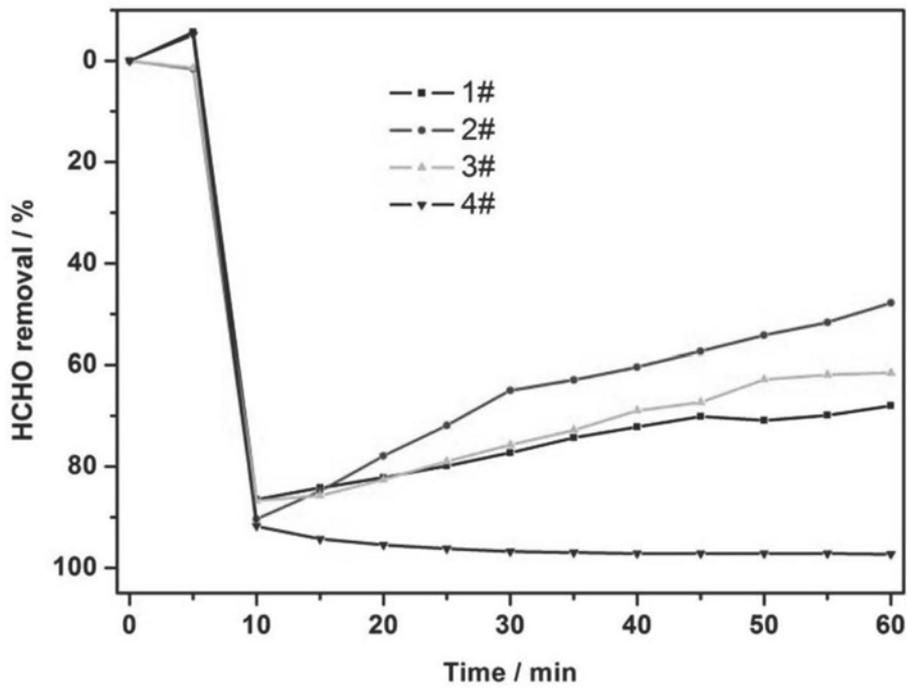


图6