

溶胶凝胶法制备 TiO_2 -Ag 的介孔微球 及其抗菌性能研究

周传凯^a, 于 斌^b, 孙 辉^a, 朱斐超^b

(浙江理工大学, a. 材料与纺织学院; b. “产业用纺织材料制备技术”浙江省重点实验室, 杭州 310018)

摘 要: 以钛酸丁酯和硝酸银分别作为钛源、银源, 聚乙二醇系为扩孔剂, 采用溶胶凝胶法制备 TiO_2 -Ag 介孔微球。通过调节煅烧温度优化煅烧工艺, 并通过热场发射扫描电子显微镜(EDS/EBS)、X 射线衍射仪(XRD)、傅里叶红外光谱仪(FT-IR)及比表面积及孔体积测量仪(BET)等对所得产物的形貌、晶体结构、化学组成和比表面积等进行分析。采用震荡法来评定 TiO_2 -Ag 介孔微球的抗菌性。研究表明: 采用溶胶凝胶法制备的 TiO_2 -Ag 介孔微球, 其 Ag 粒子在 TiO_2 表面均匀分布; 在煅烧温度为 500°C 下添加扩孔剂, 能有效提高 TiO_2 -Ag 介孔微球的比表面积, 增大 TiO_2 -Ag 吸附能力; TiO_2 -Ag 介孔微球具有良好的抗菌性能。

关键词: 溶胶凝胶法; 煅烧温度; TiO_2 -Ag 介孔微球; 抗菌性

中图分类号: TQ134.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2017)04-0485-06

0 引 言

介孔二氧化钛(TiO_2)作为重要的新型光催化剂^[1]、抗紫外剂、空气吸附剂、抗菌剂等, 在抗菌防霉^[2]、排气净化、自清洁、水处理、防污和汽车饰件防护^[3]等多个领域有着广阔的应用前景。制备介孔 TiO_2 多采用表面活性剂作为扩孔剂, 经过高温煅烧去除多余的扩孔剂。通常, 十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)、十二烷基磺酸钠(SDS)等表面扩孔剂由于其挥发性和毒性, 对生物及环境有着较大的危害, 所以选择合适的扩孔剂制备介孔 TiO_2 , 近年来已经越来越受人们的重视。

常规的 TiO_2 颗粒尺寸过大^[4], 难以发挥理想的吸附效果, 但尺寸过小又会发生团聚^[5], 不易与其他金属材料掺杂。而介孔材料以其比表面积大、易掺杂或负载其他元素而著称。其中, 银(Ag)掺杂的 TiO_2 纳米光催化剂因抗菌性优良、来源广泛、化学性质稳定等优点, 已经成为研究的热点。郭立雪

等^[6]将掺杂 Ag 的 TiO_2 复合粒子加入到钙钛矿薄膜中, 研究 TiO_2 -Ag 的含量对薄膜电池性能的影响, 孙娜等^[7]以苯乙烯为模版剂, 通过水热法制备掺杂 Ag 的 TiO_2 , 证明了 Ag 粒子的存在能增加 TiO_2 的光催化能力。以往制备 TiO_2 使用的扩孔剂大多有毒, 且不易清除; 而本文使用的扩孔剂为聚乙二醇 400, 具有安全无毒, 易清除, 不易引入新的杂质, 且扩孔效果优良的特点。目前制备 TiO_2 介孔微球, 以聚乙二醇 400 作为扩孔剂, 将 Ag 直接接枝到 TiO_2 表面, 该方法少有报道。另外, 以往制备 TiO_2 多采用水热法、共沉淀法, 这两种方法制备的 TiO_2 杂质较多^[8], 应用效果较差。而溶胶凝胶法制备纳米 TiO_2 及其产物纯度较高, 可以制成可控制的、高比表面的介孔结构材料。

因此, 本文以无毒的聚乙二醇 400 作为扩孔剂, 通过溶胶凝胶法制备纳米 TiO_2 -Ag 介孔微球材料, 对此介孔微球的反应条件和制备工艺进行了优化, 并研究了其形貌、晶体结构、化学组成和比表面积

收稿日期: 2016-11-02 网络出版日期: 2017-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(1201682-A); 浙江省公益性技术运用研究计划项目(2017C33077)

作者简介: 周传凯(1991-), 男, 湖北孝感人, 硕士研究生, 主要从事熔喷非织造材料方面的研究。

通信作者: 孙 辉, E-mail: 51878123@qq.com

等,同时通过震荡法研究了 TiO_2 -Ag 介孔微球材料的抗菌性。

1 实验部分

1.1 实验材料

钛酸四丁脂($\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Ti}$,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司);聚乙二醇 400(PEG400,分析纯,阿拉丁工业公司);无水乙醇($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$,分析纯,杭州高晶精细化工有限公司);硝酸银(AgNO_3 ,分析纯,常州市国宇环保科技有限公司);冰醋酸($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$,分析纯,杭州高晶精细化工有限公司);大肠杆菌和金黄色葡萄球菌由浙江理工大学抗菌实验室提供。

1.2 TiO_2 -Ag 的制备

取一定量的钛酸丁酯($\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Ti}$)溶液加入适量的无水乙醇中,在 30°C 条件下^[9],用磁力搅拌器强力搅拌 30 min,得到溶液,记为 A 液。再分别量取一定量的冰醋酸、去离子水、硝酸银(AgNO_3)和扩孔剂(PEG400),加入到同等体积的无水乙醇中,调节 pH 值,使溶液 $\text{pH} \leq 3$ ^[10],之后在温度 30°C 下剧烈搅拌 10 min,得到澄清的混合溶液,记为 B 液。然后,在剧烈搅拌下将溶液 A 缓慢滴入溶液 B 中,得浅黄色溶液,将此混合液放置于超声波反应器中,在温度为 40°C 、超声波频率为 45 Hz 条件下充分反应至形成凝胶,得到多孔含 Ag 粒子的 TiO_2 凝胶。

将上述制得的多孔含 Ag 粒子的 TiO_2 凝胶放在烘干箱内,烘干至恒重后,研磨,得到含银的 TiO_2 淡黄色胶体,然后将其置于马弗炉内焙烧一段时间后取出,自然冷却到室温下,得到多孔含银的 TiO_2 纳米粉末(TiO_2 -Ag 介孔微球粉末)。

1.3 TiO_2 -Ag 性能测试

将煅烧后的 TiO_2 -Ag 粉末,用德国蔡司光学仪器有限公司的 Ultra55 型热场发射扫描电子显微镜(EDS/EBSD)进行形貌分析,扫描电压 3 kV。

采用瑞士 Thermo ARL 公司的 ARL XTRA 型的 X 射线衍射仪(XRD)对 TiO_2 -Ag 粉末进行相结构分析,测试范围 $10 \sim 80^\circ$,扫描速度 $3^\circ/\text{min}$ 。

采用美国 Nicolet 公司的 5770 型红外光谱(FT-IR),将制备的 TiO_2 -Ag 粉末进行测试,测试范围 $4500 \sim 500\text{ cm}^{-1}$ 。

采用比表面积及孔体积测量仪(BET)对 TiO_2 和 TiO_2 -Ag 粉末的比表面积、孔径分布进行测试。

采用震荡法测试 TiO_2 -Ag 介孔微球的抗菌性,

所用的菌种为大肠杆菌(E)和金黄色葡萄球菌(S)。

2 结果与讨论

2.1 形貌分析

图 1 为制得试样的 SEM 图。从图 1(a)中可以看出, TiO_2 颗粒为团聚规则的球体,颗粒粒径在 220 nm 左右。从图 1(c)中可以看出,粘附 Ag 后, TiO_2 -Ag 仍然是一个规则的球体,但微球表面变得粗糙,粒径增加到 250 nm 左右,由此可以推断出,粘附在 TiO_2 表面的 Ag 粒子粒径约为 15 nm 左右。通过对比图 1(a)和图 1(c),可以看出,通过水解煅烧后,Ag 粒子均黏附在 TiO_2 微球表面,并无散落的银粒子的存在,这是因为水解得到的 TiO_2 表面显负电性,而 Ag 粒子本身是带正电,会吸引迁移到带负电性的 TiO_2 表面。另一方面,从图 1(b)看出,添加过 PEG400 的 TiO_2 颗粒,仍是个规则的球体,粒径从 220 nm 增加 380 nm 左右;从图 1(d)看出,添加过 PEG400 的 TiO_2 -Ag 是个球体,粒径从 250 nm 增加到 500 nm。通过比较图 1(a)~(d),加入 PEG400 对煅烧后 TiO_2 -Ag 的结构没有太大的影响,因为扩孔剂(PEG400)为有机物,在经过高温煅烧之后,分解成 CO_2 和 H_2O ,只起到扩孔的效果。

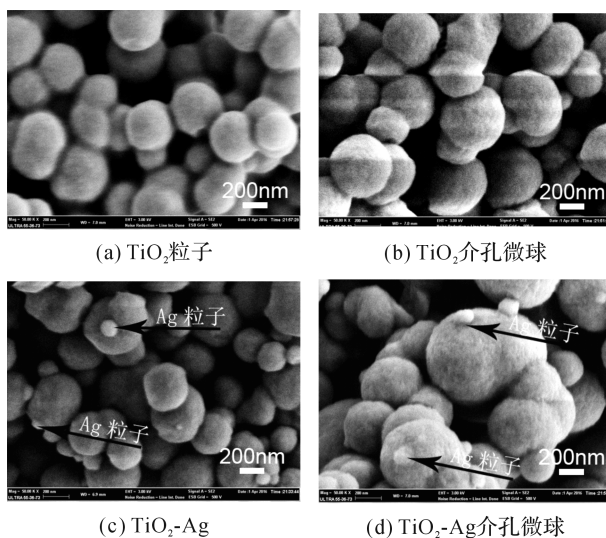
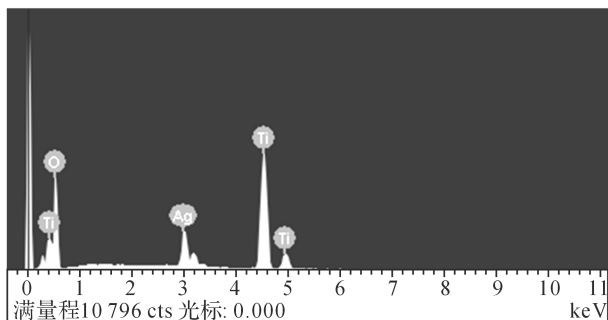


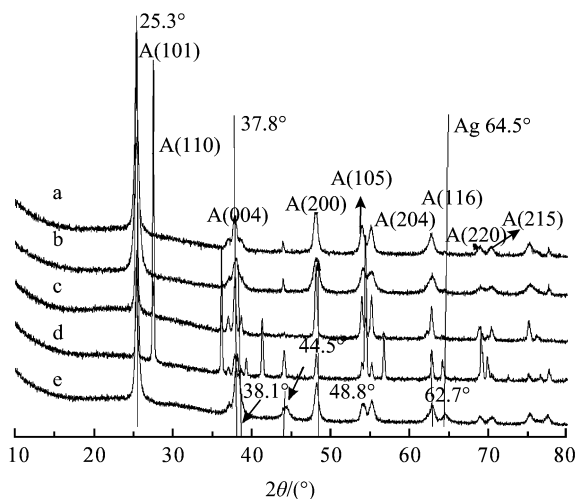
图 1 试样的 SEM 图

图 2 为 TiO_2 -Ag 介孔微球的 EDS 图。从能谱图中可以看出在 0.5、4.6 keV 和 5.0 keV 出现 Ti 元素,在 0.6 keV 处出现 O 元素,在 3.0 keV 出现 Ag 元素,在其他地方没有元素。该 TiO_2 -Ag 介孔微球由 Ag、Ti、O 三种元素组成,无其他的杂质元素。由此可知,纳米 TiO_2 介孔微球表面已经成功引入 Ag 粒子。

图2 TiO₂-Ag 介孔微球的 EDS 图像

2.2 XRD 分析

为了探索煅烧温度对掺杂 Ag 的 TiO₂ 介孔微球晶体结构的影响,对不同煅烧温度掺杂 Ag 的 TiO₂ 介孔微球进行 XRD 测试。图 3 是不同条件下 TiO₂ 的 XRD 图。由图 3 可以知道,当煅烧温度不高于 500℃ 时, TiO₂ 和 TiO₂-Ag 均为锐钛矿型, TiO₂ 的特征峰 $2\theta = 25.3^\circ$ 、 37.8° 、 48.8° 、 54.7° 、 62.7° 、 67.5° , 分别对应锐钛矿 TiO₂ 的 (101)、(004)、(200)、(105)、(204)、(116) 晶面。在煅烧温度达到 700℃ 时,在图 3d 在 $2\theta = 27.5^\circ$ 和 36.2° 出现金红石型的特征峰,对应的晶面为 (110) 和 (101), 说明样品此时出现了晶型转变,由此可以得出 TiO₂ 晶型随温度的转变。



a. 400℃ 煅烧的 TiO₂; b. 500℃ 煅烧的 TiO₂; c. 600℃ 煅烧的 TiO₂; d. 700℃ 煅烧的 TiO₂; e. 500℃ 煅烧的 TiO₂-Ag

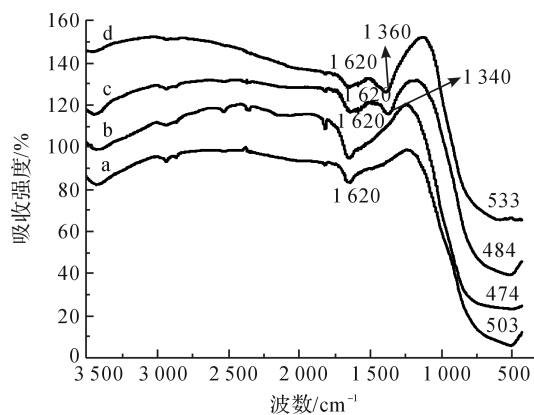
图3 不同煅烧温度的 TiO₂ 的 XRD 图

从图 3 中曲线 e 可以看出, Ag 在 XRD 谱图中的衍射峰位置在 $2\theta = 38.1^\circ$ (111)、 44.5° (200)、 64.5° (220) 处不明显,在文献[11]得以佐证。这可能由于 Ag 的部分衍射峰与 TiO₂ 衍射峰重叠^[12] 或者 Ag 晶型为无定型^[13]。Ag 粒子负载 TiO₂ 介孔微球后未出现 TiO₂ 的其他晶型特征峰,说明 Ag 粒子负载并没有改变 TiO₂ 晶型结构。

另一方面,随着煅烧温度的增加,试样衍射峰的强度也在增加,特别是 700℃ 时,衍射峰谱线强,波峰对称且尖锐;从衍射峰的半高峰宽窄的程度,可以推出:随着煅烧温度的增加, TiO₂ 结晶度增加,物相也趋于单相。根据 Scherrer 公式^[14] $D = K\lambda / B \cos \theta$ (其中 K 为 Scherrer 常数, λ 为 X 射线的波长, B 为半峰宽 (rad = $B/180^\circ$) 计算得出, 400、500、600℃ 和 700℃ 时,试样的晶粒尺寸分别为 2.651、3.774、7.773 nm 和 8.828 nm。可知随着温度的增加,晶粒也在变大,得出在煅烧温度 700℃ 下的晶粒的尺寸最大, 400℃ 下的晶粒的尺寸最小。但本实验选择煅烧温度为 500℃,一方面煅烧温度为 400℃,煅烧后所得到的 TiO₂ 不纯,还会残留其他物质;另一方面, TiO₂ 晶粒尺寸越小,相对的比表面积越大,其吸附能力就越强,因此煅烧温度为 500℃ 最佳。

2.3 FI-IR 分析

为了能探索扩孔剂 PEG400 对煅烧后 TiO₂ 及 TiO₂-Ag 基团的影响,将 PEG400 分别加入 TiO₂ 和 TiO₂-Ag,进行 FT-IR 分析, TiO₂ 和不同的添加物在煅烧温度为 500℃ 下煅烧后的产物 FT-IR 图如图 4 所示。谱线 a-d 的区别在于,谱图 b 和 d 是加了 PEG400 的试样。从图 4 可以看出,PEG400 的加入对于谱图没有太大的影响,这是因为在 500℃ 下煅烧,PEG400 已经被氧化成 H₂O 和 CO₂。而从谱图 c 和 d 可以看出,谱图在 1300~1400 cm⁻¹ 间出现了一个新的特征峰,归属于 Ag-O 伸缩运动的特征波峰^[15],表明纳米 TiO₂ 颗粒表面已经成功引入 Ag。

a. TiO₂; b. TiO₂ 介孔微球; c. TiO₂-Ag; d. TiO₂-Ag 介孔微球图4 经 500℃ 煅烧后 TiO₂-Ag 试样的红外图

此外,在波数为 1620 cm⁻¹ 位置处出现了结合水 O-H 弯曲振动形成的吸收峰,此波数证明了 TiO₂ 表面羟基的存在,在 500 cm⁻¹ 位置处的宽吸收峰,是由于晶体中 Ti-O 晶格伸缩振动形成的吸收峰。TiO₂ 或 TiO₂-Ag 原粉中加入的扩孔剂

PEG400 相关的吸收峰并未出现,说明,此时的水和有机物已经完全脱除,试样主要成分是 TiO_2 或者是 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 和 TiO_2 组成。

2.4 BET 分析

图 5 为 TiO_2 样品在不同条件下的氮气吸附脱附曲线。可以看出,对于 TiO_2 和 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 氮气吸附脱附曲线,在没有加入 PEG400 的情况下,虽然也会出现滞回环,但 P/P_0 值会超过 0.8。然而,对于加入 PEG400 的 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球,滞回环出现在 $P/P_0 = 0.4$ 和 $P/P_0 = 0.9$ 之间,根据 IUPAC 分类方法^[16], $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球对应曲线属于 IV 型。这说明所制备的 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球具有介孔结构。结合 SEM 和 TEM 图也可以看出所制备的 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔材料孔洞均匀分布、结构稳定,银粒子分散较好。

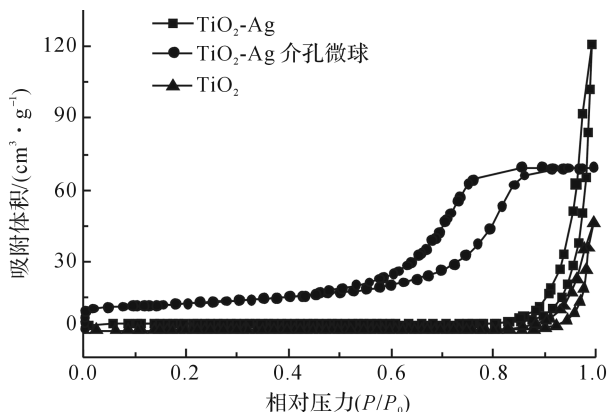


图 5 试样的氮气吸附脱附图

通过 N_2 吸附-脱附实验来分析 PEG400 对 TiO_2 、 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 和 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球比表面积、孔体积及孔径分布的影响,结果列于表 1。从表 1 可以看出,加过 PEG400 的 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球的平均孔径为从原来的 6.72 nm 增加到 7.35 nm,比表面积从 40.75 m^2/g 增加到 126.25 m^2/g ,这说明 PEG400 对 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球影响极大。因此可得,加入 PEG400 扩孔剂对 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球的吸附能力有明显的提升作用。这是因为介孔微球的比表面积大,其吸附能力越优良,表面原子数相对增多。

表 1 TiO_2 、 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 和 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球的氮气吸附脱附分析结果

试样	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	孔大小/nm	孔体积/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)
TiO_2	11.01	1.02	0.19
$\text{TiO}_2\text{-Ag}$	40.75	6.72	0.11
$\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球	126.25	7.35	0.54

2.5 抗菌性

图 6 为 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球震荡法测试其抗菌性的实验结果照片。其中图 6(a)为空白的金黄色葡萄球菌的抗菌实验图片,图 6(b)为空白的大肠杆菌的抗菌实验图片,图 6(c)为 TiO_2 在金黄色葡萄球菌的抗菌实验图片,图 6(d)为 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球在金黄色葡萄球菌的抗菌实验图片,图 6(e)为 TiO_2 在大肠杆菌的抗菌实验图片,图 6(f)为 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球在大肠杆菌的抗菌实验图片。通过对比图 6(a)–(f)可知,金黄色葡萄球菌和大肠杆菌与 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球接触 24 h 之后,两种菌种的菌落数从原来的 10^3 下降到 10^1 个,这说明 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球具有优异的抗菌性能。另一方面,通过对比图 6(a)、(c)和(d)及(b)、(e)和(f),可以发现用溶胶凝胶法制备的 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球抗菌性能明显优于单纯的 TiO_2 ,不同抗菌材料对不同的菌种的抑制有着不同的差异。这主要是因为 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球抗菌机理主要有两个:一是 TiO_2 和 Ag 二者存在能级差,可以有效促进电子分离,快速产生羟基自由基和超氧离子,从而氧化细菌,达到抑菌的效果;二是 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球中 Ag 粒子本身具有高的抗菌性,将 Ag 粒子接枝在 TiO_2 表面,能有效提高其抗菌性。

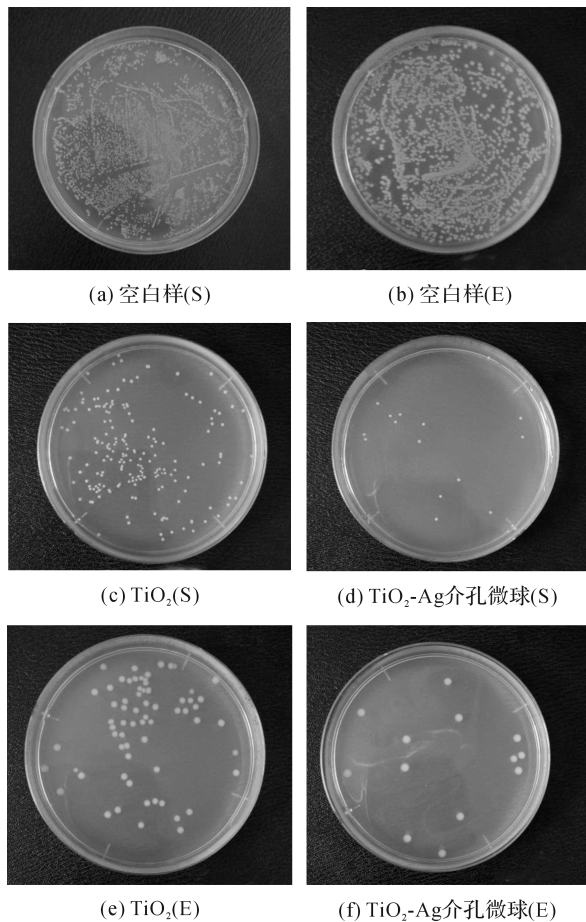


图 6 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球震荡法实验结果

3 结 论

a) 本文通过溶胶凝胶法,以钛酸四丁酯和硝酸银分别为钛源和银源,采用聚乙二醇(PEG400)作为扩孔剂制备出纳米微球 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 粉末。使用扫描电镜对制备的介孔微球 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 进行形貌表征,得出 Ag 粒子在 TiO_2 表面分布。

b) 通过 XRD 对制备出的纳米 TiO_2 及 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球粉末进行结晶结构表征,得出 TiO_2 晶型随煅烧温度的增大,由锐钛矿向金红石相转变,相应的晶粒尺寸也随之变大。由此得出,本文通过溶胶凝胶法制备 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球实验方案的最佳煅烧温度为 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 。

c) 通过 BET 测试对 TiO_2 、 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 及 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球进行比表面积及体积测试,得到 PEG400 作为扩孔剂制备的 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球具有较大的比表面积和较好的孔洞分布,比表面积能达到 $126.25\text{ m}^2/\text{g}$ 。由此可见,本文实验方案用 PEG400 作为扩孔剂具有可行性。

d) 采用溶胶凝胶法制备的 $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ 介孔微球对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有明显的抑制效果,是极好的抗菌剂。

参考文献:

- [1] WANG Y, XUE X, YANG H. Modification of the antibacterial activity of Zn/TiO_2 , nano-materials through different anions doped[J]. Vacuum, 2014, 101(3):193-199.
- [2] 朱燕峰,张娟,张义永,等. 溶胶-凝胶法制备改性 TiO_2 纳米薄膜及其防腐蚀性能[J]. 物理化学学报, 2012, 28(2):393-398.
- [3] LU Y, SUN J, ZHANG B. Preparation and lubricating properties of a new antibacterial emulsion containing nano- TiO_2 for cold rolling strips[J]. China Petroleum Processing & Petrochemical Technology, 2016, 18(3): 110-118.
- [4] TODAN L, DASCALESCU T, PREDA S, et al. Porous nanosized oxide powders in the MgO-TiO_2 , binary system obtained by sol-gel method[J]. Ceramics International, 2014, 40(10):15693-15701.
- [5] CAI H, MU W, LIU W, et al. Sol-gel synthesis highly porous titanium dioxide microspheres with cellulose nanofibrils-based aerogel templates [J]. Inorganic Chemistry Communications, 2015, 51(51):71-74.
- [6] 郭立雪,费成斌,李波,等. Ag@TiO_2 纳米颗粒等离激元效应增强钙钛矿太阳能薄膜电池性能[J]. 硅酸盐学报, 2016, 44(10):1393-1400.
- [7] 孙娜,赵祥,肖正刚. Ag-TiO_2 空心复合微球制备及其光催化性能[J]. 功能材料, 2015, 46(2):2115-2119.
- [8] ZHU Y, YANG X, PENG Y, et al. Photocatalytic oxidation of low molecular weight hydrocarbon gases over Pt-TiO_2 nanotubes [J]. Chinese Journal of Structural Chemistry, 2016, 35(9):1328-1338.
- [9] ANJUSREE G S, DEEPAK T G, NAIR S V, et al. Facile fabrication of TiO_2 nanoparticle- TiO_2 nanofiber composites by co-electrospinning-electrospraying for dye-sensitized solar cells [J]. Journal of Energy Chemistry, 2015, 24(6):762-769.
- [10] 朱晓东,李浩宇,易倩,等. Zn 掺杂 TiO_2 的制备与形貌研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2016, 35(3): 275-277.
- [11] 叶云,李巧玲. 介孔二氧化钛的制备与研究[J]. 分析仪器, 2012(6):68-76.
- [12] 黄强. 海蛎壳负载纳米 $\text{Cu}_2\text{O-TiO}_2$ 光催化复合材料的制备及其性能[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(10): 36-40.
- [13] 乔小宇,于洪斌,路莹,等. 金钼负载 $\text{TiO}_2\text{-rGO}$ 光催化降解 2,4-二氯苯酚[J]. 水处理技术, 2016(10): 53-57.
- [14] 樊雪敏,白春华,李光辉,等. 纳米二氧化钛光催化剂共掺杂的研究进展[J]. 无机盐工业, 2016, 48(10):7-10.
- [15] 李文强,刘湘. 石墨烯/S 掺杂 TiO_2 复合物的制备及其光催化活性[J]. 应用化工, 2015, 44(12):2271-2274.
- [16] 景茂祥,颜远瞻,平显航,等. 介孔二氧化钛微球光催化剂的结构与性能[J]. 材料科学与工程学报, 2014, 32(1):5-9.

Preparation of TiO_2 -Ag Mesoporous Microspheres by Gel-sol Method and Analysis of its Antibacterial Property

ZHOU Chuankai^a, YU Bin^b, SUN Hui^a, ZHU Feichao^b

(a. College of Materials and Textiles; b. Key Laboratory of Preparation of Industrial Textile Materials, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In this paper, the TiO_2 -Ag mesoporous microspheres were prepared by Sol-Gel method, in which the tetrabutyl titanate and silver nitrate were used as the titanium source and the silver source respectively, and polyethylene glycol series was used as the pore-expanding agent. The optimal calcination process was determined by regulating the calcination temperature. The morphology, crystal structure, chemical composition and specific surface area of the product were analyzed via scanning electron microscopy (EDS/EBSD), X-ray power diffraction analysis (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), and specific surface and pore diameter analysis methods (BET) respectively. The antibacterial property of TiO_2 -Ag mesoporous microspheres was evaluated by the method of shaking. The results show that Ag ions of TiO_2 -Ag mesoporous microspheres are evenly distributed on the surface of TiO_2 ; specific surface area of TiO_2 -Ag mesoporous microspheres can improve effectively, and its adsorption capacity could increase significantly when pore-expanding agent is added at the calcination temperature of 500°C. The antibacterial property of TiO_2 -Ag mesoporous microspheres is good.

Key words: Sol-gel method; calcination temperature; TiO_2 -Ag mesoporous microspheres; antibacterial property

(责任编辑: 唐志荣)