

溶胶-凝胶法制备 Ag/TiO₂ 纳米薄膜及其陶瓷表面抗菌性能研究

陈品鸿, 许良记, 李定帆, 周武艺*

(华南农业大学材料与能源学院, 华南农业大学材料与能源学院生物质 3D 打印研究中心, 广东 广州 510642)

摘要: 为提升 TiO₂ 在陶瓷表面的光催化性能和抗菌性能, 以钛酸四丁酯、无水乙醇、硝酸银为原料, 乙酰丙酮和硝酸作为催化抑制剂, 采用溶胶-凝胶法分别制备了 TiO₂ 溶胶和 Ag/TiO₂ 溶胶。以普通陶瓷片为载体, 采用浸渍-提拉法制备 TiO₂ 薄膜。以亚甲基蓝为目标降解物进行光催化降解实验, 并探讨在不同热处理温度下对 Ag/TiO₂ 薄膜光催化性能的影响。利用 X 射线衍射仪(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)、傅里叶红外光谱仪(FT-IR)等仪器对样品进行表征。实验结果表明: 在紫外灯照射下, TiO₂ 薄膜和 Ag/TiO₂ 薄膜对有机物都具有降解能力, 而 Ag/TiO₂ 的光催化活性更明显, 在光照 8 h 后其光催化降解率达到了 70%, 热处理最佳温度为 500 °C; Ag/TiO₂ 薄膜具有良好的亲水性, 并且对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有抑制作用。Ag/TiO₂ 薄膜有望应用到陶瓷用品上, 可有效减少材料表面的有机污染物, 并且经过高温处理后还可以保持良好的光催化性能。

关键词: 溶胶-凝胶法; TiO₂; 光催化活性; Ag/TiO₂ 纳米薄膜

中图分类号: TB383.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9981(2023)01-0142-07

引文格式: 陈品鸿, 许良记, 李定帆, 等. 溶胶-凝胶法制备 Ag/TiO₂ 纳米薄膜及其陶瓷表面抗菌性能研究[J]. 材料研究与应用, 2023, 17(1): 142-148.

CHEN Pinhong, XU Liangji, LI Dingfan, et al. Preparation and Properties of Ag/TiO₂ Nanofilms by Sol-Gel Method and Anti-bacterial Application for the Ceramic Surfaces[J]. Materials Research and Application, 2023, 17(1): 142-148.

TiO₂ 具有良好的化学惰性、较强的氧化能力及抗化学腐蚀等能力, 同时还有具有优良的介电、压电和光催化等性能, 因此被应用于涂料、纸张涂层填料、塑料及弹性体及其它用途^[1-4]。其中以锐钛矿型 TiO₂ 的光催化活性最高^[5-7], 市场销售主要是以粉末状为主。但粉末状 TiO₂ 存在许多缺点^[8], 如反应过程中必须搅拌、反应后催化剂难于分离回收、运行费用偏高等问题。其他形状的 TiO₂, 如 TiO₂ 纳米管^[9], 其制备方法与工艺要求严格、反应时间较长、实验结果重复性差等问题, 故阻碍了其在工业中的应用。利用胶状涂敷剂将材料与 TiO₂ 结合, 但该方法存在污染物之间接触面积小的缺点, 并且在流水

中涂敷剂容易剥离而严重影响了催化剂的耐久性。因此, 有必要寻求一种既能充分发挥 TiO₂ 的光催化性能, 又能够使其在物体表面分散均匀的制备方法。

制备薄膜化 TiO₂ 光催化剂的方法主要有两种途径: 一是, 先将 TiO₂ 的前驱体负载到载体之上, 然后再通过热处理使前驱体转变为 TiO₂, 主要包括溶胶-凝胶法^[10-13]、化学气相沉积法^[14]、浸渍法^[15]等; 二是, 将 TiO₂ 纳米粉末通过合适的方式直接负载到载体上, 如粉末料浆法和物理气相沉积法^[16]等。其中, 以溶胶-凝胶法的研究最为活跃, 该法所制备的 TiO₂ 膜与载体基底结合力强、不容易脱落, 通过控制焙烧温度可得到所需晶相的 TiO₂ 薄膜, 并且可以

收稿日期: 2022-07-07

基金项目: 广东省科技计划项目(2020A0505100050); 肇庆市科技计划项目(2020G1002); 佛山市促进高校科技成果服务产业发展扶持项目(2021SWYY04)

作者简介: 陈品鸿(1996-), 男, 广东高州人, 硕士, 从事功能材料研究, Email: 2815381947@qq.com。

通信作者: 周武艺(1976-), 男, 湖南耒阳人, 博士, 教授, 从事复合材料研究, Email: zhouwuyi@scau.edu.cn。

控制膜的厚度^[12-13]。同时,在溶胶体系中添加一定量的金属粒子(如 Ag、Cu),不仅可以提高 TiO₂ 薄膜的光催化活性,而且还可以提高 TiO₂ 的亲水性^[6, 14, 17-18]。

本文以钛酸四丁酯为 TiO₂ 前驱体、无水乙醇为溶剂、硝酸银为催化剂的水解体系、乙酰丙酮作为辅助水解体系,在一定的温度下使得 TiO₂ 缓慢水解而形成非晶态 TiO₂,其再经高温转变成具有催化活性的 TiO₂ 透明膜,并且可满足其在物体表面分散均匀的使用要求。

1 实验部分

1.1 实验试剂

钛酸丁酯(C.P),江苏强盛化工有限公司生产;无水乙醇(A.R),广东光华化学厂有限公司生产;硝酸银(A.R),国药集团化学试剂有限公司生产;硝酸(A.R),广州东红化工厂生产;乙酰丙酮(A.R),江苏强盛化工有限公司生产;亚甲基蓝(C.P),天津市化学试剂一厂生产。

1.2 实验方法

1.2.1 TiO₂ 溶胶的制备

称取 5.00 g 的 TiO₂ 和 8.00 g 的钛酸丁酯于三口烧瓶中,再往三口烧瓶中加 35.17 g 的无水乙醇和 1.21 g 的乙酰丙酮组成溶液 A,保持搅拌状态。称量无水乙醇 30.00 g 和去离子水 0.43 g 于烧杯中组成溶液 B。在磁力搅拌下把溶液 B 滴加到溶液 A 中,并滴加几滴硝酸以调节 pH=4,继续搅拌 2 h,得到橙黄色 TiO₂ 溶胶,整个搅拌过程保持恒温 40 ℃。

1.2.2 Ag/TiO₂ 溶胶的制备

称取 10.00 g 的 TiO₂,8.00 g 的钛酸丁酯于三口烧瓶中,再往三口烧瓶中加 35.17 g 无水乙醇和 1.21 g 乙酰丙酮,组成溶液 A 并持续保持搅拌状态。称取 0.50 g 的 AgNO₃ 于装有 0.43 g 去离子水的烧杯中,用玻璃棒搅拌使其充分溶解,然后称量无水乙醇 30.00 g 并磁力搅拌,得到溶液 B。将溶液 B 滴加到溶液 A 中,同时滴加几滴硝酸以调节 pH=4,继续搅拌 2 h 后得到橙黄色 Ag/TiO₂ 溶胶(颜色比 TiO₂ 溶胶深),整个搅拌过程保持恒温 40 ℃。

1.2.3 陶瓷片拉膜

采用浸渍-提拉法,在陶瓷片上制备 TiO₂ 和 Ag/TiO₂ 薄膜,提拉的速度为 8—10 cm·min⁻¹,取出拉膜陶瓷片后,首先在自然条件下晾干,然后在 80 ℃ 下烘干。

1.2.4 热处理

将已烘干的拉膜陶瓷片进行不同温度下的热处理,处理温度分别为 400、450、500、550 和 600 ℃,保温 2 h,冷却后待用。

1.2.5 光催化降解亚甲基蓝实验

以亚甲基蓝为目标降解物,量取 60 mL 亚甲基蓝(浓度为 20 mg·L⁻¹)放入 250 mL 烧杯中,加入热处理后的涂抹纳米二氧化钛薄膜的陶瓷片,置于 253.7 nm 的 ZF-20D 暗箱式紫外分析仪内光照 8 h,并在光照一段时间后利用 721 可见分光光度计测定亚甲基蓝在最大吸收波长 664 nm 的吸光度(A)。根据 Beer 定律计算脱色率 $A = \lg(1/T) = K \cdot b \cdot c$,式中 A 为吸光度、T 为透射比(透光度)是出射光强度(I)比入射光强度(I₀)、K 为摩尔吸光系数、c 为吸光物质的浓度、b 为吸收层厚度。

1.2.6 抗菌实验

将 Ag/TiO₂ 薄膜裁剪成直径为 6 mm 的圆形薄膜,将其置于紫外灯下光照 30 min,然后分别移至接种大肠杆菌(E. coli)和金黄色葡萄球菌(S. aureus)的固体培养基上,在 37 ℃ 下培养 24 h 后观察抑菌情况和测量抑菌圈直径。

1.2.7 材料表征

使用美国 Thermo Fisher 公司生产的 Nicolette IS10 傅利叶变换红外光谱仪,分析纳米 TiO₂ 中官能团变化情况。用日本株式会社理学生产的 Ultima IV X 射线衍射分析仪(XRD),分析纳米 TiO₂ 的晶相结构。利用 JSM-25S 的扫描电子显微镜(SEM),观察纳米 TiO₂ 的表面形貌。运用 JC2000C1 接触角测试仪,测试在光照 20、40 min 后的空白陶瓷片和经 500 ℃ 热处理涂抹纳米二氧化钛陶瓷片的表面接触角。

2 结果与分析

2.1 不同热处理温度对 TiO₂ 光催化活性的影响

图 1 为纯 TiO₂ 薄膜在经过不同温度热处理后在相同时间下光降解亚甲基蓝的时间-光降解率图。从图 1 可见:纯 TiO₂ 薄膜经光照 8 h 后,不同温度下亚甲基蓝的光降解率都在 50%—60% 之间,没有特别明显的差异;而经 500 ℃ 热处理后,TiO₂ 薄膜的光催化活性较好。

图 2 为经过不同温度热处理后 Ag/TiO₂ 薄膜光降解亚甲基蓝的时间-光降解率图。从图 2 可见,500 ℃ 热处理后的 Ag/TiO₂ 薄膜光降解亚甲基蓝效果最佳,经光照 8 h 后,其光催化降解率达到了 70%。

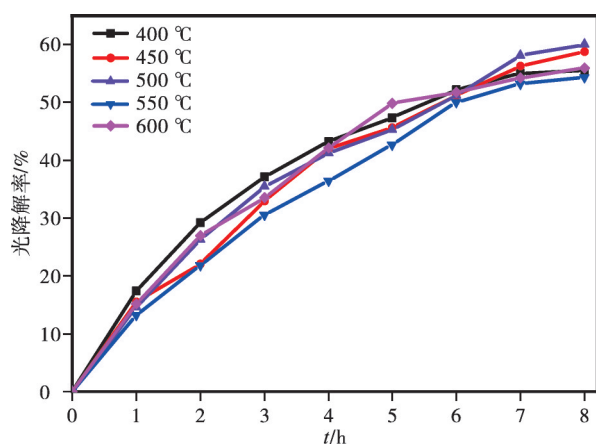


图1 经不同温度热处理后 TiO₂薄膜光降解亚甲基蓝的时间-光降解率图

Figure 1 Time-photodegradation rate diagram of TiO₂ film photodegradation of methylene blue after heat treatment at different temperatures

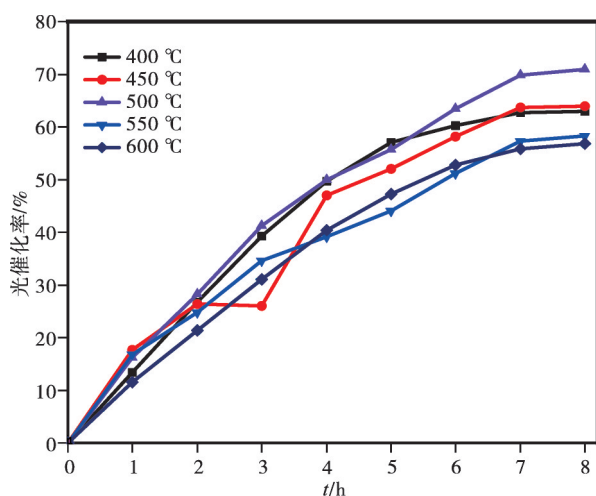


图2 经不同温度热处理后 Ag/TiO₂薄膜光降解亚甲基蓝的时间-光降解率图

Figure 2 Time-photodegradation rate graph of Ag/TiO₂ films photodegraded with methylene blue after heat treatment at different temperatures

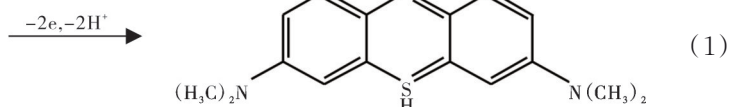
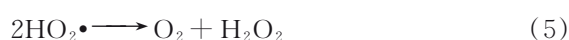
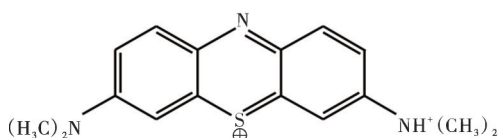
综上所述发现:在相同温度热处理下,添加了银粒子的纳米 TiO₂薄膜的光催化降解率比纯纳米

TiO₂薄膜的光催化降解率高,说明银粒子可以提高纳米 TiO₂薄膜的光催化活性;经 550 和 600 °C 热处理后,Ag/TiO₂薄膜的光催化活性比经 500 °C 热处理的 Ag/TiO₂薄膜差,这是因为热处理温度过高反而破坏了 Ag 与 TiO₂的键接结构,对光催化活性不利。

添加银粒子后,TiO₂薄膜的光吸收能并没有得到明显的提高,光催化过程中会产生·OH 和·O₂⁻等自由基,虽然薄膜对·OH 和·O₂⁻等自由基的吸附能力得到了增强,但是薄膜的比表面积减小,薄膜整体电荷转移能力并没有提高。添加银粒子后 TiO₂薄膜光催化效能的增强,主要因为其电荷分离能力的提高。由于 Ag 和 TiO₂的 Fermi 能级不同,电子会不断地从 TiO₂向 Ag 转移而形成了电荷差,TiO₂的能带将会向上弯曲,在 TiO₂表面处形成耗尽层^[11,19]。耗尽层会吸引空穴向 TiO₂薄膜表面移动并俘获薄膜内部电子,薄膜内光生电子-空穴的复合受到抑制,延长空穴的时间^[7,20]。TiO₂薄膜表面空穴浓度的提高,可以促进 TiO₂光催化氧化分解的反应,反应的起始速率也得到了一定的提高,并且在一定范围内 TiO₂薄膜表面空穴浓度越高,TiO₂薄膜的光催化速率越大^[19,21]。所以,当热处理的温度太低时纳米 TiO₂薄膜的光催化性能不能完全发挥,而当热处理的温度过高时反而影响纳米 TiO₂薄膜的光催化性能。

当纳米 TiO₂吸收一定波长的光激发后,导带上的电子受激发跃迁,同时在价带上产生空穴。这些电子和空穴可以自由迁移,当它们迁移到催化剂表面时可与被吸附在催化剂表面的化学物质发生化学反应,并且产生大量的具有高活性的自由基。然而,这些光生电子和空穴都不稳定,易复合并以热量的形式释放。

此外,因为表面空穴浓度的增加,使得 TiO₂薄膜表面带上正电荷,这将增大薄膜表面对·OH 和·O₂⁻等活性自由基以及亚甲基蓝等小颗粒的吸附作用,加快了对亚甲基蓝的分解速率。TiO₂光催化降解亚甲基蓝的机理如下所示。



2.2 XRD 分析

通过 XRD 衍射仪测试了经过不同温度热处理

的 Ag/TiO₂ 薄膜的晶型结构,其结果如图 3 所示。

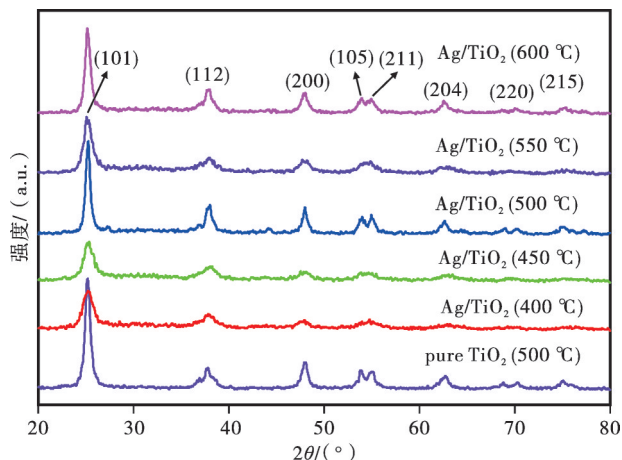


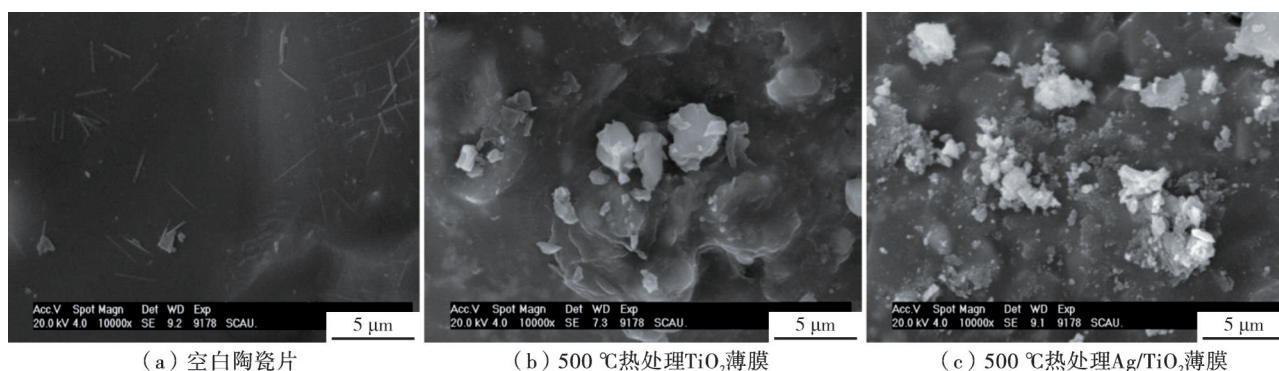
图 3 经不同温度热处理的 Ag/TiO₂ 薄膜的 XRD 图

Figure 3 XRD patterns of Ag/TiO₂ films after heat treatment at different temperatures

从图 3 可见:在 25.28 和 48.06° 处的特征衍射峰,分别对应 TiO₂ 锐钛矿相的 (101)、(200) 晶面;但并没有找到 TiO₂ 金红石相的特征峰,也没有出现锐钛矿相向金红石相转变的趋势,这说明实验使用的 TiO₂ 为光催化性能最好的锐钛矿晶型 TiO₂。通过比较不同温度热处理的 Ag/TiO₂ 薄膜 XRD 图谱,发现银粒子的添加并没影响 TiO₂ 晶型结构。经过 400 °C 和 450 °C 热处理的 Ag/TiO₂ 薄膜的衍射峰都比较平稳,没有其他温度热处理后 TiO₂ 的衍射峰尖锐,这主要是在较低温度下, TiO₂ 晶型尚未完全成型,因此 TiO₂ 的衍射峰趋向平稳。

2.3 SEM 分析

采用扫描电子显微镜观察了空白陶瓷片、500 °C 热处理 TiO₂ 薄膜、500 °C 热处理 Ag/TiO₂ 薄膜的表面形貌,其结果如图 4 所示。从图 4 可以看到,空白陶瓷片的表面光滑、平整,与 TiO₂ 薄膜相比,



(a) 空白陶瓷片

(b) 500 °C 热处理 TiO₂ 薄膜

(c) 500 °C 热处理 Ag/TiO₂ 薄膜

图 4 试样的 SEM 图

Figure 4 SEM image of the samples

Ag/TiO₂ 薄膜比表面积增大、颗粒粒径减小且分布相对均匀,颗粒粒径约为 50—100 nm。

2.4 FT-IR 分析

图 5 为不同温度热处理后的 Ag/TiO₂ 纳米薄膜的 FT-IR 图。从图 5 可见:在波长 480—540 cm⁻¹ 范围内的强烈振动谱带是 Ti—O—Ti 特征振动的吸收峰,在 3350—3410 cm⁻¹ 范围内的强烈吸收峰归属于表面吸附水的 H—O—H 键的弯曲振动及表面羟基峰,表明在 TiO₂ 样品的表面存在一些结合水^[3];随着热处理温度的升高, Ti—O—Ti 特征振动峰发生红移,这说明纳米 TiO₂ 能够吸收更大波长的能量,提高可见光的利用效率,从而提高光催化性能。

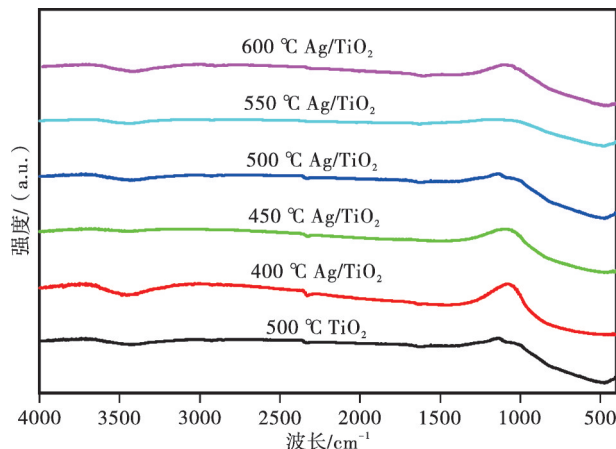


图 5 经不同温度热处理后的 Ag/TiO₂ 纳米薄膜的 FT-IR 图

Figure 5 FT-IR plots of Ag/TiO₂ film after heat treatment at different temperatures

2.5 亲水性测试

通过测试薄膜的水滴接触角来检验薄膜的亲水性(见图6)。从图6可见,经500℃热处理后,未经

光照的Ag/TiO₂纳米薄膜的水滴接触角为70°,而经紫外线灯光照20和40 min后的水滴接触角分别为50和47°,经光照后水滴的接触角逐渐变小,表明Ag/TiO₂薄膜具有良好的亲水性。

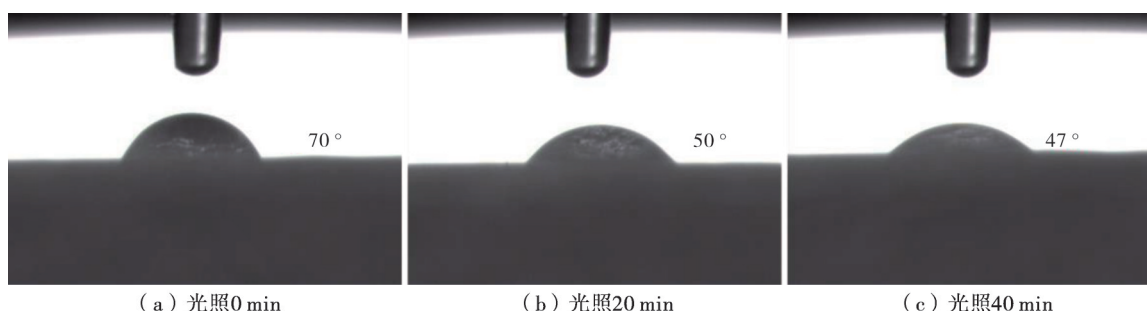


图6 经500℃热处理后Ag/TiO₂薄膜的水滴接触角

Figure 6 Water droplet contact angle plots of Ag/TiO₂ films after heat treatment at 500 °C

2.6 抗菌测试

图7为经不同温度热处理后的Ag/TiO₂纳米薄膜的抑菌圈直径图。从图7可见:经过不同温度热处理后的Ag/TiO₂纳米薄膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均具有抑菌效果和抗菌效果,对金黄色葡萄球菌的抑制效果和抗菌效果更为明显;纯TiO₂薄膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌没有明显的抑制效果,这是因为单纯的TiO₂难以发生电荷分离。

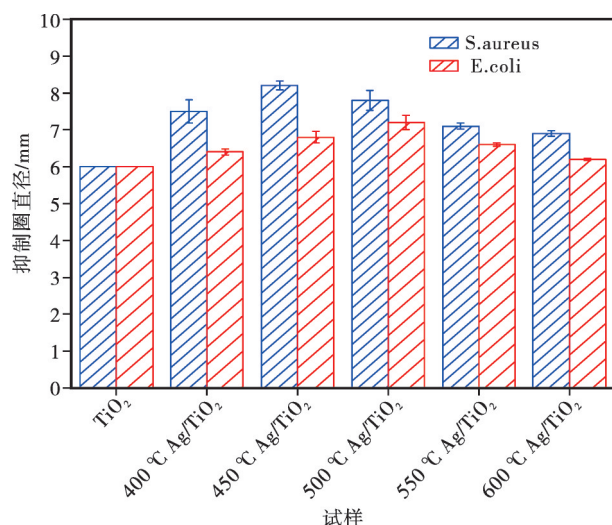


图7 经不同温度热处理后的Ag/TiO₂纳米薄膜的抑菌圈直径图

Figure 7 Diagram of the diameter of the inhibition circle of Ag/TiO₂ nanofilms after heat treatment at different temperatures

随着Ag粒子的加入,薄膜的抑菌效果明显提高。这是由于Ag和TiO₂能够产生电荷分离,进而产生活性氧自由基,并且Ag粒子本身具有较强的抗菌杀菌效果。不同温度的热处理后,薄膜对细菌的抑制效果有较大的差异。这是因为热处理温度过高,破坏了Ag与TiO₂的键接结构,影响了活性氧自由基的产生,造成对细菌的抑制效果下降。总体而言,Ag/TiO₂纳米薄膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有抑菌抗菌效果。

3 结论

采用了溶胶-凝胶法工艺在陶瓷表面制备TiO₂薄膜和Ag/TiO₂薄膜,研究了在添加银粒子后的TiO₂薄膜在不同热处理温度下的结构和光催化性能。结果显示,银粒子的加入提高了TiO₂薄膜对亚甲基蓝的光催化降解能力,500℃热处理后Ag/TiO₂薄膜的光催化效果最为理想。同时,利用XRD衍射仪对TiO₂薄膜晶体结构进行分析发现,TiO₂薄膜晶体构型为锐钛矿相。通过SEM观察后发现,TiO₂薄膜的粒径为纳米级,添加银粒子后其比表面积增大,并且颗粒分布也相对均匀。亲水性试验证实了Ag/TiO₂薄膜光照后具有良好的亲水性,通过抑菌圈法发现Ag/TiO₂薄膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌都具有抑菌抗菌效果。表明,采用溶胶-凝胶法将Ag/TiO₂涂抹到陶瓷表面,这可以有效减少材

料表面的有机污染物,经过高温处理后还可以保持良好的光催化和抗菌性能。

参考文献:

- [1] 李华鹏,董旭晟,孙彬,等. TiO₂/MXene 纳米复合材料的可控制备及在光催化和电化学中的应用研究进展[J]. 材料工程,2021, 49(08): 54-62.
- [2] 吴晓栋,宋梓豪,王伟,等. 气凝胶材料的研究进展[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 405-451.
- [3] 郑培烽,刘继武. 现代先进陶瓷的分类及技术应用[J]. 陶瓷,2009(4): 15-18.
- [4] 松张,徐大鹏,李佳佳. 纳米 TiO₂ 光催化剂的研究进展[J]. 西安工业大学学报,2022, 42(1): 1-12.
- [5] 陈欣,王立艳,张晓佳,等. 锐钛矿-金红石混晶 TiO₂ 纳米纤维的制备及光催化性能研究[J]. 吉林建筑大学学报,2021, 38(3): 57-62.
- [6] 周琴,唐茂,刘佳伟,等. 铜掺杂锐钛矿型二氧化钛光催化性能研究[J]. 山东化工,2021, 50(17): 22-23.
- [7] 杜意恩,牛宪军,安静. 高能晶面锐钛矿型 TiO₂ 纳米材料的水热合成及其光催化性能[J]. 云南大学学报(自然科学版),2020, 42(6): 1147-1158.
- [8] 刘静,高正阳,王杰,等. 共掺杂改性 TiO₂ 光催化剂的研究进展[J]. 材料导报,2021, 35(z1): 42-47.
- [9] 阮德强,上官天天,郭丽萍,等. TiO₂ 纳米管阵列的制备和应用最新研究进展[J]. 自然科学,2022, 10(3): 212-219.
- [10] LV X, YAN B, SHAO Y, et al. A core-shell composite pigment with rutile TiO₂ intensification for UV inhibition[J]. Particuology,2022, 67: 18-26.
- [11] MATSUDA A. Functionalities and modification of sol-gel derived SiO₂-TiO₂ systems for advanced coatings and powders[J]. Journal of the Ceramic Society of Japan,2022, 130(1): 143-162.
- [12] 刘发强,夏培蓓,李玉梅,等. 溶胶-凝胶法及焙烧处理制备 g-C₃N₄/TiO₂ 复合光催化材料的可见光催化活性分析[J]. 云南化工,2020, 47(3): 33-35.
- [13] 王竹梅,张天峰,李月明,等. 溶胶-凝胶法制备 S 掺杂 TiO₂ 纳米粉体的光催化性能[J]. 人工晶体学报, 2018, 47(4): 765-769, 776.
- [14] GONG X, ZOU T, DENG S, et al. Anti-coking application of TiO₂-Al₂O₃ composite coating prepared by MOCVD[J]. Transactions of the Institute of Metal Finishing,2020, 98(1): 37-41.
- [15] OLAK-KUCHARCZYK M, SZCZEPAŃSKA G, KUDZIN M H, et al. The photocatalytic properties of RGO/TiO₂ Coated Fabrics[J]. Coatings, 2020, 10(11): 1041.
- [16] KUSDIANTO K, HUDANDINI M, JIANG D, et al. Effect of heating rate on the photocatalytic activity of Ag-TiO₂ nanocomposites by one-step process via aerosol routes[J]. Catalysts,2022, 12(1): 17.
- [17] 李大玉,张文韬,张超. 不同种类金属掺杂改性 TiO₂ 材料光催化性能的研究进展[J]. 材料导报,2019, 33(23): 3900-3907.
- [18] 殷榕灿,崔玉民,李梦蝶. 稀土元素修饰改性 TiO₂ 光催化性能研究进展[J]. 稀土,2021, 42(1): 129-139.
- [19] 陈韶云,张行颖,刘奔,等. Ag 纳米粒子在 TiO₂ 四棱柱阵列上的可控生长及其 SERS 效应[J]. 高等学校化学学报,2021, 42(8): 2381-2392.
- [20] 唐文翰,房慧,李凡,等. Na 掺杂对 TiO₂ 基材料电子结构、电子迁移特性及光吸收性质的影响[J]. 人工晶体学报,2018, 47(5): 952-957.
- [21] 陈志鸿,方晓明,张正国. 暴露高能晶面锐钛矿型 TiO₂ 研究进展[J]. 化工进展,2013, 32(6): 1320-1330.

稿日期:2022-07-07

Preparation and Properties of Ag/TiO₂ Nanofilms by Sol-Gel Method and Antibacterial Application for the Ceramic Surfaces

CHEN Pinhong, XU Liangji, LI Dingfan, ZHOU Wuyi*

(Research Center of Biomass 3D Printing Materials, College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to enhance the photocatalytic and antibacteria properties of TiO₂ on ceramic surfaces, experiments were carried out to prepare TiO₂ sols and Ag/TiO₂ sols by the sol-gel method using tetrabutyltitanate, anhydrous ethanol and silver nitrate as raw materials and acetylacetone and nitric acid as

catalytic inhibitors, respectively. Ordinary ceramic sheets were utilized as carriers to prepare nano-TiO₂ films by the impregnation-lift method. The photocatalytic degradation experiments were conducted with methylene blue as the target degradation species and the effects on the photocatalytic performance of Ag/TiO₂ films were investigated under different heat treatment temperatures. The samples were characterized by X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscope (SEM), and Fourier infrared spectrometer (FT-IR). The experimental results show that both the TiO₂ and Ag/TiO₂ films had degradation ability for the organic matter under UV light irradiation, while the photocatalytic activity of Ag/TiO₂ was more obvious, and the photocatalytic degradation rate reached 70% after 8 h of light irradiation, where the optimal temperature of heat treatment was 500°C. The Ag/TiO₂ films were found to have good hydrophilic and inhibitory effects on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. This is expected to be applied to ceramic articles to effectively reduce organic contaminants on the surface of the material and to maintain excellent photocatalytic properties after high-temperature treatment.

Keywords: sol-gel method; TiO₂; photocatalytic activity; Ag/TiO₂ nano-film

(学术编辑:黎小辉)