

# Preparation of $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$ Composites and Their Photocatalytic Activities

Jixun Chen<sup>1</sup>, Ziquan Li<sup>1,2</sup>, Jiankang Chen<sup>1</sup>, Jinsong Liu<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>Institute of Advanced Materials, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu

<sup>3</sup>State Key Laboratory of Mechanics and Control of Mechanical Structures, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu

Email: \*jsliu@nuaa.edu.cn

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2019; accepted: Mar. 7<sup>th</sup>, 2019; published: Mar. 15<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In this paper, flower-like ZnO was synthesized by hydrothermal method using citric acid as inducer, and  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  was formed by loading the  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  on flower-like ZnO by chemical precipitation. The structure, morphology and optical properties of the synthesized samples were characterized by XRD, SEM, Uv-vis, DRS and PL characterization. The photocatalytic properties of the composite samples were investigated by using RhB and MB as the target degradants. It was found that  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  particles were successfully supported on the surface of ZnO, and the loading of  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  particles increased the response range of visible light and improved the separation efficiency of carriers. Compared with ZnO and  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  alone, the  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  heterojunction composite enhanced the photocatalytic degradation efficiency, and when the molar loading ratio of  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  reached 15%, the degradation efficiency for RhB and MB reached 96% and 88%. Further capture experiment found that superoxide radicals ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) and holes ( $\text{h}^+$ ) are active free radicals that play a major role in photocatalytic degradation.

## Keywords

$\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  Composite, Photocatalytic Degradation, Active Free Radical

# $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$ 复合催化剂的制备及其光催化性能

陈计荀<sup>1</sup>, 李子全<sup>1,2</sup>, 陈建康<sup>1</sup>, 刘劲松<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>南京航空航天大学材料科学与技术学院, 江苏 南京

\*通讯作者。

<sup>2</sup>南京邮电大学先进材料研究所, 江苏 南京

<sup>3</sup>南京航空航天大学, 机械结构力学与控制国家重点实验室, 江苏 南京

Email: \*jsliu@nuaa.edu.cn

收稿日期: 2019年2月21日; 录用日期: 2019年3月7日; 发布日期: 2019年3月15日

## 摘要

本文以柠檬酸为诱导剂, 采用水热法首先合成花状ZnO, 然后进一步通过化学沉淀法将Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>负载在花状ZnO上形成Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>/ZnO异质结复合物。并通过XRD、SEM、UV-vis、DRS和PL等手段对合成样品的结构组成、形貌和光学性能进行了表征, 并以RhB和MB为目标降解物, 探究了复合样品的光催化性能。结果发现, Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>颗粒成功地负载在ZnO表面, 提高了可见光的响应范围及载流子的分离效率, 相对于单独的ZnO和Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>, 构成的Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>/ZnO异质结复合物提高了光催化降解效率, 并且当Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>的摩尔负载比达到15%时, 对于RhB和MB的降解效率达到了96%和88%。更深一步的捕获实验发现, 超氧自由基( $\cdot\text{O}_2^-$ )和空穴( $\text{h}^+$ )是光催化降解过程中起主要作用的活性自由基。

## 关键词

Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>/ZnO复合物, 光催化降解, 活性自由基

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

社会工业革命的发展给我们带来了许许多多的好处, 但是同时由于生产出了许多的污染物也造成了环境的严重恶化, 不同化合物造成的化学污染和全球气候变化成为人类正面临的环境问题。在去除这些污染物的方法中, 非均相光催化是一种绿色环保的重要方法, 目前在不同污染物的降解, 微生物的消毒, 二氧化碳的光还原, 氢的产生和精细化学品的合成等方面得到了大量的应用[1] [2] [3]。尤其是半导体作为催化剂的光催化工艺有可能解决环境污染, 全球变暖, 能源短缺和环境污染领域的严峻挑战[4] [5], 成为目前研究的热点。在众多的半导体光催化剂中, 氧化锌(ZnO)由于其特殊的电子结构, 多样的形貌, 易于制造等优点已广泛应用于光催化工业[6] [7] [8]。然而, ZnO的带隙较宽(3.2 eV), 只能吸收约为整个太阳光谱4%的紫外线, 甚至紫外光激发的电子和空穴也很容易相互重组, 严重抑制了其光催化作用特别是可见光光催化性能。因此需要通过改性ZnO半导体来扩大光吸收范围以成功激发电子-空穴对[9]。

目前, 掺杂带边调制, 复合催化剂设计, 形貌控制合成等多种方法已被应用于提高ZnO的光催化性能[10]。通常, ZnO与窄带隙半导体的结合不仅可以增强可见光的吸收范围, 同时可以提高电子-空穴对的分离效率[11] [12]。近年来, Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>由于其约为2.2 eV的窄带隙而受到广泛关注。纯的Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>价格较高, 将其与低成本半导体相结合是一种可行的方法。因此, 通过Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>与ZnO型半导体复合形成异质结来构建内建电场可望提高载流子的分离效率[13]。

本文通过水热法首先合成花状ZnO, 然后进一步用化学沉淀法将Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>颗粒负载在ZnO上, 通过调节比例合成了不同的Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>/ZnO异质结复合材料, 通过降解RhB和MB溶液探究不同比例的Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>负载对光催化性能的影响, 并通过捕获实验对光催化的机理进行了探索。

## 2. 实验材料与方法

### 2.1. 实验材料

二水合醋酸锌( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), 一水合柠檬酸( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), 氢氧化钠( $\text{NaOH}$ ), 偏钒酸氨( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ), 硝酸银( $\text{AgNO}_3$ ), 氨水( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), 罗丹明 B( $\text{RhB}$ ), 亚甲基蓝( $\text{MB}$ )化学试剂都是分析纯。

### 2.2. 实验方法

#### 2.2.1. ZnO 的制备

将 0.24 g 的  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  和 0.11 g 的  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$  溶解于 30 mL 的去离子水中, 强力搅拌 5 分钟, 然后将  $\text{NaOH}$  (2 mol/L, 10 mL) 水溶液在强力搅拌下缓慢滴入溶液中, 并在玻璃烧杯中超声处理 30 分钟。随后, 将混合溶液转移到 50 mL 的聚四氟乙烯高压釜内衬中, 在  $150^\circ\text{C}$  下加热 12 小时, 冷却后取出通过离心分离白色沉淀物, 用蒸馏水洗涤, 在  $60^\circ\text{C}$  下干燥得花状  $\text{ZnO}$  用于下一个实验。

#### 2.2.2. $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$ 的制备

将 0.12 g 所得花状  $\text{ZnO}$  分散到含有 50 mL 去离子水的烧杯中。在室温下超声处理 5 分钟后, 向悬浮液中滴加  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  溶液(0.178 g 溶解在 40 mL 的去离子水中), 并磁力搅拌 30 分钟。然后, 剧烈搅拌下在黑暗中将 0.026 g 溶解在 0.1 mL 氢氧化铵(25wt.%  $\text{NH}_3$ )中的  $\text{AgNO}_3$  快速加入混合物中, 继续搅拌 12 小时。作为对比, 单独的  $\text{ZnO}$ 、 $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  以及摩尔比为 10%和 20%的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  的复合物均被合成出来。

### 2.3. 表征方法

通过 Rigaku D-max- $\gamma$ A 衍射仪( $\text{Cu K}\alpha$ ,  $\lambda = 0.154178 \text{ nm}$ )获得 X 射线衍射(XRD)曲线。场发射扫描电子显微镜(FESEM, S-4800 Hitachi)来表征样品的形貌。通过分光光度计(JASCO V-670 和 Edinburgh FL/FS900)分别测量 UV-可见吸收光谱和光致发光(PL,  $\lambda_{\text{ex}} = 325 \text{ nm}$ )。

### 2.4. 光催化降解实验

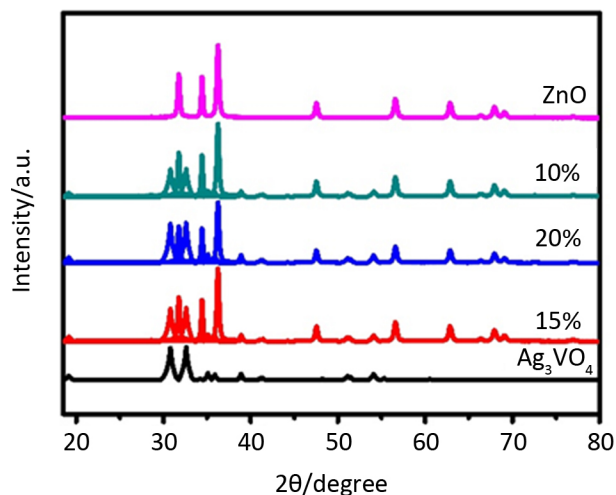
分别采用罗丹明 B 和亚甲基蓝作为目标降解物, 使用 150 W 的氙灯作为模拟可见光源, 分别称取 0.02 g 的催化剂放入 100 mL 的溶液中, 溶液浓度为 10 mg/L, 刚开始一小时吸附达到吸附平衡, 每隔半小时取一次样品, 光照实验后, 每隔 30 min 取一次样品, 然后离心取上清液进行吸光度测试。根据吸光度和浓度之间的函数关系, 确定上清液的浓度。最后根据公式(1)计算降解效率, 并采用一级动力学方程(2)对光催化降解数据进行处理, 计算出光催化降解反应速率常数  $k$ 。方程式中  $C_0$  和  $C_t$  代表在光催化降解过程中  $\text{RhB}$  的初始浓度和  $t$  时刻的浓度,  $t$  代表着光催化的降解时间,  $k$  值为直线的斜率也代表光催化降解的反应速率常数, 是衡量光催化性能速率的重要参数。为了计算数值  $k$ , 通常采用对数值  $t$  进行线性拟合, 其斜率就是  $k$  值。

$$D = (C_0 - C_t) / C_0 \quad (1)$$

$$-\ln(C_t / C_0) = kt \quad (2)$$

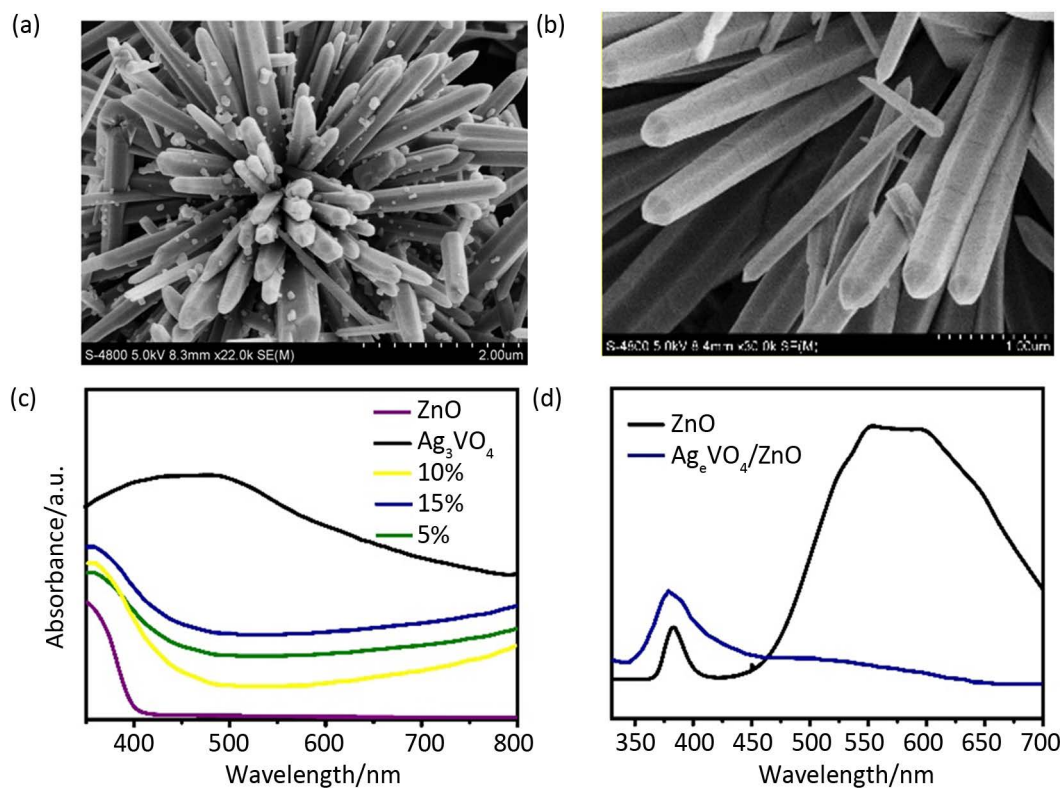
## 3. 结果与讨论

图 1 的 XRD 曲线显示, 单独的  $\text{ZnO}$  在衍射角度分别为  $31.74^\circ$ ,  $34.34^\circ$ ,  $36.16^\circ$ ,  $47.56^\circ$ ,  $56.54^\circ$ ,  $62.82^\circ$ ,  $67.96^\circ$  和  $69.02^\circ$  处对应的晶面分别为(100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112)和(201), 与  $\text{ZnO}$  的标准卡片 JCPDS No. 36-1451 一致。同样, 单独的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  也与 JCPDS No. 43-0542 标准卡片一致。不同比例的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  复合样品其衍射峰均显示出了  $\text{ZnO}$  和  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  的峰, 证明了异质结的形成。随着  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  比例的增加,  $\text{ZnO}$  的衍射峰强度逐渐降低,  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  的衍射峰强度逐渐增加。



**Figure 1.** XRD patterns of ZnO,  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  and their composites with different  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$

**图 1.** ZnO、 $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  及不同  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  含量负载复合物的 XRD 图

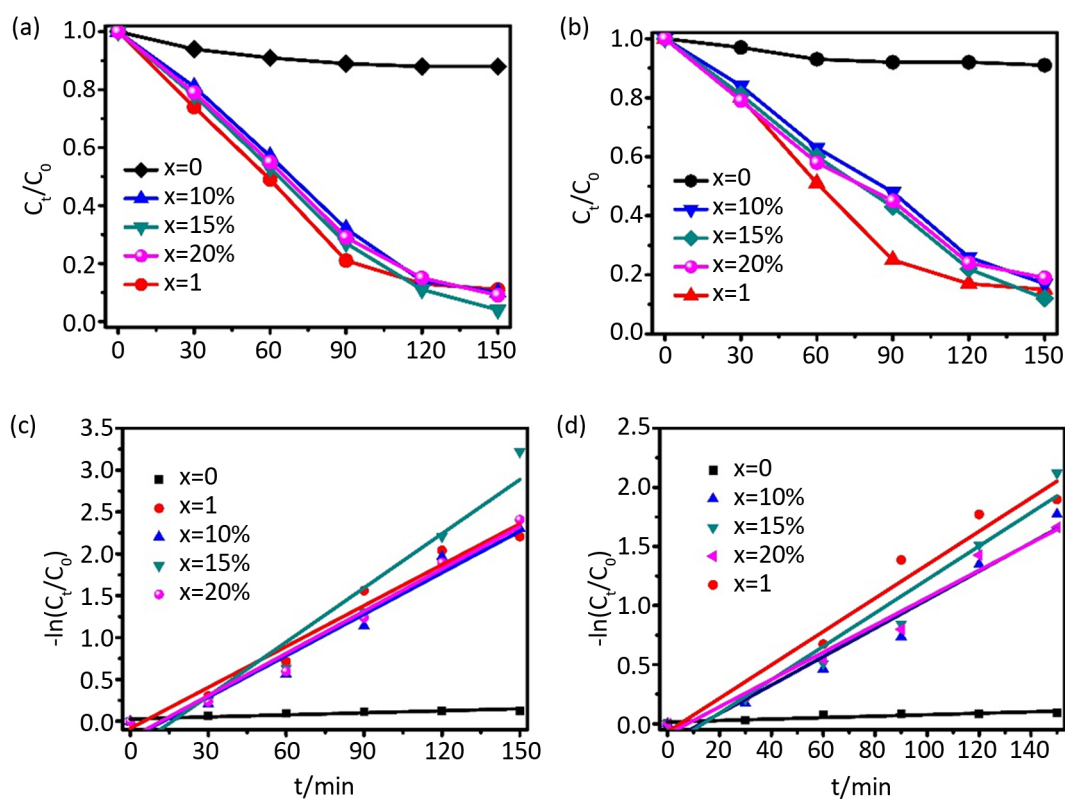


**Figure 2.** (a) SEM image of  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$ ; (b) FESEM image of ZnO; (c) Uv-vis DRS spectrum of different loading ratios; (d) PL spectrum of  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  (15%) and ZnO

**图 2.** (a)  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  的 SEM 图; (b) ZnO 的 FESEM 图; (c) 不同负载比例的 Uv-vis DRS 光谱图; (d) 单独 ZnO 和 15% 负载比例的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  的 PL 光谱图

从图 2a 和图 2b 可以看出, 花状 ZnO 是由许多的棒状 ZnO 组成, ZnO 棒的表面比较光滑, 其长度约在 3~10  $\mu\text{m}$  之间, 宽度在 1~2  $\mu\text{m}$  之间。而  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  颗粒均匀的附着在 ZnO 棒 的表面, 没有破坏 ZnO 的 原有的形貌, 保持了 ZnO 表面的光滑, 其颗粒尺寸大小约在 100~200 nm 左右。图 2c 是负载不同比例

$\text{Ag}_3\text{VO}_4$  异质结的紫外可见漫反射光谱图, 由曲线可知, 单独  $\text{ZnO}$  对可见光( $\lambda$  大于  $420\text{ nm}$ ) 几乎没有吸收能力。与纯的  $\text{ZnO}$  相比,  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  复合材料显示出明显的红移, 其吸收强度也比  $\text{ZnO}$  纳米棒强, 这表明通过在  $\text{ZnO}$  纳米棒表面上负载  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  纳米颗粒提高了吸光能力。值得注意的是, 当负载比例达到 15% 时, 表现出比其他  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  复合材料更强的吸收。复合材料位于  $\text{ZnO}$  和  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  之间的带隙可能有利于光吸收和抑制复合, 从而提高光催化性能。图 2d 为样品的 PL 光谱(光致发光光谱), 与  $\text{ZnO}$  相比,  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  纳米复合材料主发射峰的 PL 强度大大降低, 这可能归因于由  $\text{ZnO}$  和  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  之间的异质结构的形成引起的弱化复合。也就是说, 光生载流子可以在复合催化剂中快速分离和迁移, 从而减少重新结合并延长光生载流子的寿命。在紫外区( $\lambda$  小于  $420\text{ nm}$ ), PL 光谱的现象正好相反, 它来自  $\text{ZnO}$  的较大带隙, 在紫外光的照射下,  $\text{ZnO}$  产生的电子-空穴对由于具有宽的带隙可以使得载流子的复合几率降低从而提高了载流子的寿命, 而复合之后的异质结由于带隙较窄, 在紫外光的照射下产生的电子-空穴对容易复合, 所以出现了在紫外光区域复合异质结的强度大于单独的  $\text{ZnO}$  的 PL 峰强度。



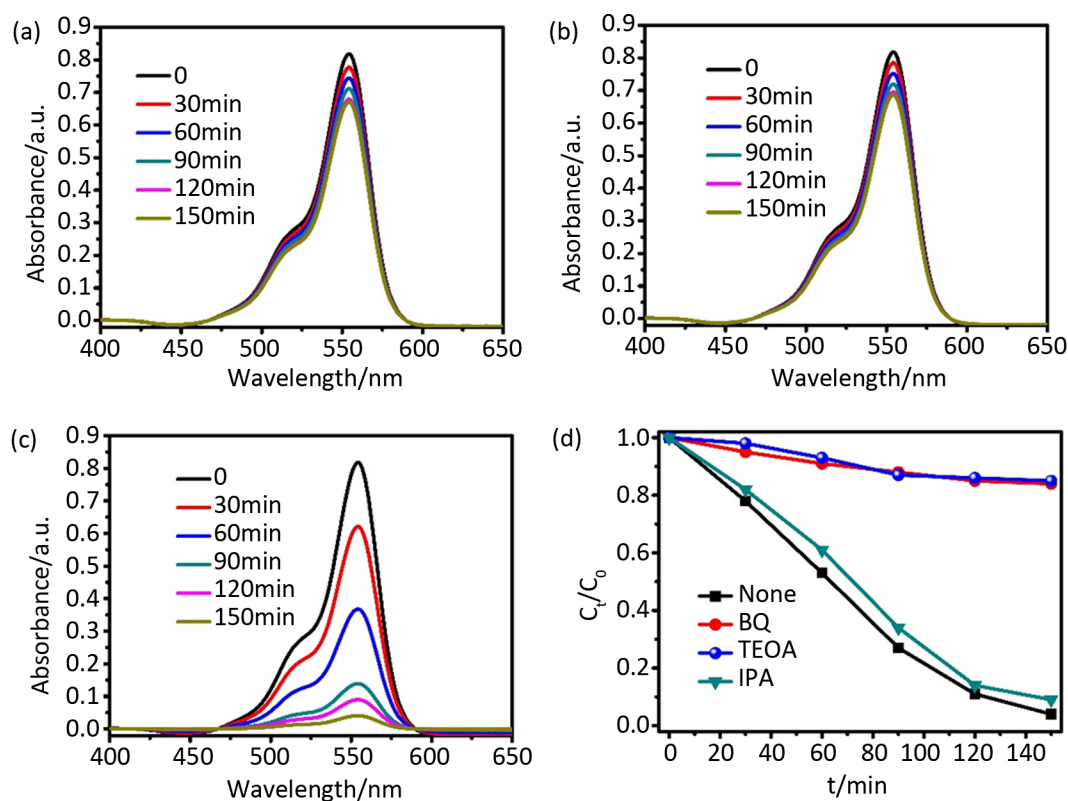
**Figure 3.** (a) (b) Degradation kinetics of RhB and MB solutions for samples with different loading ratios; (c) (d) Degradation kinetics simulation curves of RhB and MB solutions for samples with different loading ratios

**图 3.** (a)(b) 不同负载比例的样品对 RhB 溶液和 MB 溶液的降解动力学曲线; (c)(d) 不同负载比例的样品对 RhB 溶液和 MB 溶液的降解动力学模拟曲线

图 3a 和图 3b 为复合催化剂光催化降解 RhB 和 MB 的动力学曲线, 其中负载比为 15% 的催化剂分别降解了 96% 的 RhB 溶液和 88% 的亚甲基蓝溶液。单独的  $\text{ZnO}$  和  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$ 、负载比为 10% 和 20% 的降解 RhB 溶液和 MB 溶液的降解率分别为 12%、89%、90%、91% 和 9%、85%、88%、81%。图 3c 和图 3d 为模拟的降解动力学方程, 由此可以看出当负载量为 15% 时, 其曲线的斜率较大, 表明其降解速度是最快的。由以上结果可知, 随着  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  的负载量的增大, 光催化降解效率先增大后减小。当  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  的负载量处于 15% 时, 光催化性能最好, 低于或高于这个值时, 催化效率降低。这是因为电子-空穴对的分离

效率必须是某个空间区域的固定值，它总是受负载含量的影响。当添加过多的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  时，相应的空间电荷区域变窄，并且  $\text{ZnO}$  的光穿透深度可能超过空间电荷层，导致电子-空穴对的重组。类似地是，太少的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  减少了可用电子和空穴的量，导致光催化效率降低。因此， $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  的含量对  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  纳米复合材料的光催化活性极为重要

为了探究光催化的机理，我们进行了一系列的捕获实验。一般来说，不同半导体的带隙、导带和价带位置会影响其光催化行为，例如  $\text{ZnO}$  不能响应可见光，而单独的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  在光的激发下电子可以从价带迁到导带，并在价带上留下空穴。通常，光催化降解过程中的活性自由基主要包括超氧自由基( $\cdot\text{O}_2^-$ )、空穴( $\text{h}^+$ )和羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )等。当满足一定的电势时，可以产生自由基，如 $\cdot\text{OH}/\text{OH}^-$ 的电势要求为+1.99 eV vs. NHE， $\text{O}_2/\cdot\text{O}_2^-$ 的电势要求为-0.33 eV vs. NHE。为探究哪种自由基在起作用，采用 0.1 mmol 的 BQ，0.1 mmol 的 IPA 和 0.1 mL 的 TEOA 分别作为 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{h}^+$ 的捕获剂。由图 4a 和图 4b 可知，加入 BQ 和 TEOA 时，光照过程中曲线的降解下降的非常慢，表明几乎没有光催化效果，而图 4c 加入 IPA 时降解效果非常明显。图 4d 的捕获剂动力学实验也显示了同样的结果。由此表明，在光催化降解过程中电子和空穴起到了主要的作用。

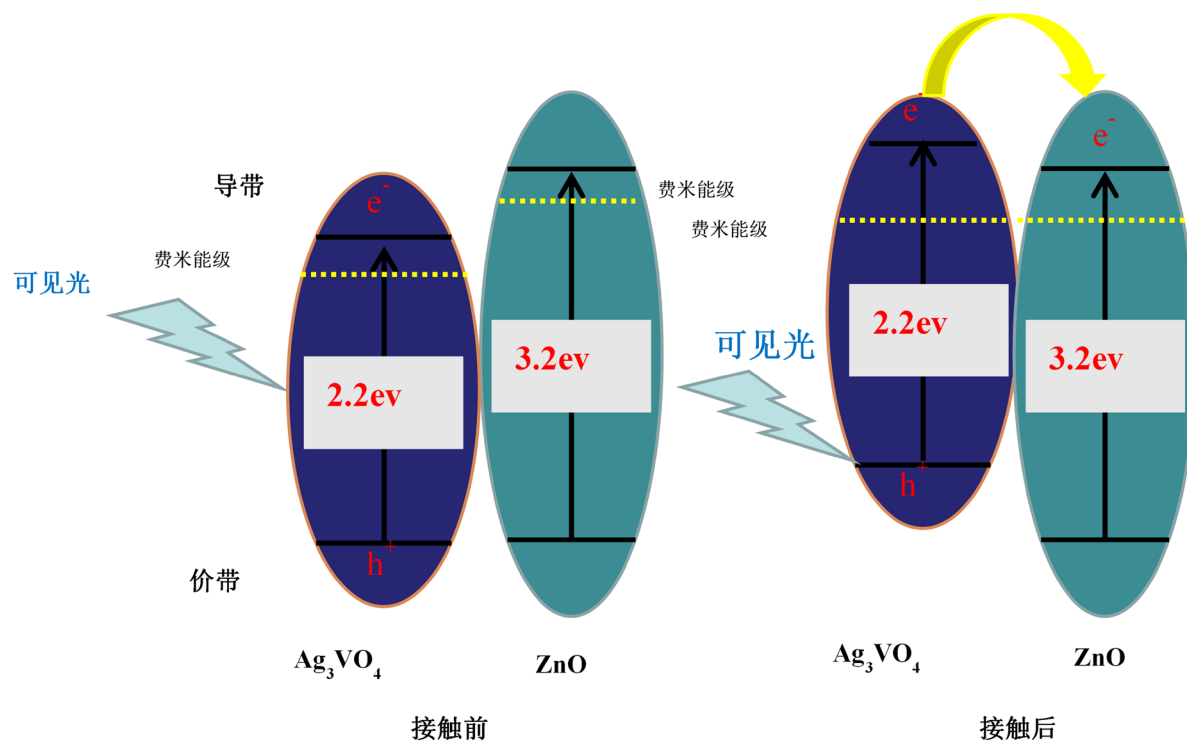


**Figure 4.** Free radical capture experiments of  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  composite catalyst with a 15% load ratio: (a) BQ; (b) TEOA; (c) IPA; (d) degradation kinetics curves of different capture agents

**图 4.** 负载比为 15% 的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4/\text{ZnO}$  复合催化剂的自由基捕获实验: (a) BQ; (b) TEOA; (c) IPA; (d) 不同捕获剂的降解动力学曲线

图 5 为根据上述结果推测的复合材料光催化过程中的电子-空穴对机理图。 $\text{ZnO}$  和  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  纳米结构都是 n 型半导体，它们的费米能级位于其导带附近。单独的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  和  $\text{ZnO}$  的费米能级分别为-0.28 eV 和-0.12 eV，光照之前还没接触时，其导带的位置分别为+0.04 eV 和-0.34 eV，价带位置分别为+2.24 eV 和+2.86 eV。接触之后，由于两者物质费米能级的不同，将会发生电荷的转移直至两者的费米能级相同。

由于单独 ZnO 的带隙较宽，当和钒酸银接触后，ZnO 的费米能级不动，单独的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  将会发生导带和价带位置的移动。单独的  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  的费米能级要上移 0.4 eV，此时，导带和价带的位置将分别为 -0.36 eV 和 1.84 eV。光照时  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  将会产生电子 - 空穴对， $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  导带上的电子将会转移至 ZnO 的导带，与溶解氧反应生成超氧自由基，与污染物反应生成二氧化碳和水。同时， $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  价带上的空穴直接与污染物反应达到降解污染物的目的。因此，由于在 n 型 ZnO 和  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  纳米结构之间形成 n-n 异质结，电荷载流子被有效地分离，导致电子 - 空穴对的寿命增加。然后，分离的电荷载体转移到纳米复合材料的表面以参与降解反应。



**Figure 5.** Schematic diagram of photocatalytic degradation  
**图 5.** 光催化降解原理图

#### 4. 总结

以柠檬酸为诱导剂，采用水热合成法首先制备出花状 ZnO，进一步通过溶液法将  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  颗粒均匀负载在 ZnO 上，XRD 和 FESEM 证实了异质结构的形成。与单独的 ZnO 和  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  相比，复合异质结构具有改善的光催化性能，表明在光照条件下具有了更好的电子 - 空穴对的分离效率。当  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  负载比为 15% 时，降解效果最好，对 RhB 溶液和 MB 溶液的降解效率分别 96% 和 88%。自由基捕获实验发现，光照时起作用的主要是电子和空穴，羟基自由基几乎不起作用。机理分析显示，光照时  $\text{Ag}_3\text{VO}_4$  产生的电子转移到 ZnO 上，与氧气反应产生超氧自由基，留下的空穴直接与污染物参与反应。接触后由于费米能级不同，形成的 n-n 异质结能提高载流子的分离效率。

#### 基金项目

感谢中央高校基本科研业务费专项资金(No. NS2017038)、江苏高校优势学科建设工程资助项目对本文的资助。

## 参考文献

- [1] Yang, K., Yu, C.L., Zhang, L.N., *et al.* (2012) Hydrothermal Synthesis and Photocatalytic Performance of BiOCl/ZnO Heterojunction Photocatalysts. *Journal of Synthetic Crystals*, **41**, 171-176.
- [2] Wang, X., Liao, M., Zhong, J., *et al.* (2012) ZnO Hollow Spheres with Double-Yolk Egg Structure for High Performance Photocatalysts and Photodetectors. *Advanced Materials*, **24**, 3421-3425. <https://doi.org/10.1002/adma.201201139>
- [3] Zirak, M., Akhavan, O., Moradlou, O., *et al.* (2014) Vertically Aligned ZnO@CdS Nanorod Heterostructures for Visible Light Photo-Inactivation of Bacteria. *Journal of Alloys and Compounds*, **590**, 507-513. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.12.158>
- [4] Feng, B., Wu, Z.Y., Liu, J.S., *et al.* (2017) Combination of Ultrafast Dye-Sensitized-Assisted Electron Transfer Process and Novel Z-Scheme System: AgBr Nanoparticles Interspersed MoO<sub>3</sub> Nanobelts for Enhancing Photocatalytic Performance of RhB. *Applied Catalysis B-Environmental*, **206**, 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.01.029>
- [5] Hou, Y.D., Liu, J.S., Li, Z.Q., *et al.* (2018) Construction of Novel BiOCl/MoS<sub>2</sub> Nanocomposites with Z-Scheme Structure for Enhanced Photocatalytic Activity. *Materials Letters*, **218**, 110-114. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.01.140>
- [6] Liu, Y.Y., Xie, Y., Ling, Y., *et al.* (2019) Facile Construction of a Molybdenum Disulphide/Zinc Oxide Nanosheet Hybrid for an Advanced Photocatalyst. *Journal of Alloys and Compounds*, **778**, 761-767. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.11.024>
- [7] Mondal, A., Giri, N., Sarkar, S., *et al.* (2019) Tuning the Photocatalytic Activity of ZnO by TM (TM = Fe, Co, Ni) Doping. *Materials Science in Semiconductor Processing*, **30**, 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.12.003>
- [8] Mahdavi, R. and Talesh, S.S.A. (2019) Enhancement of Ultrasound-Assisted Degradation of Eosin B in the Presence of Nanoparticles of ZnO as Sonocatalyst. *Ultrasonics Sonochemistry*, **31**, 230-240. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.020>
- [9] Xie, H.F., Ding, F. and Mu, H.C. (2019) Effects of Au Nanoparticles and ZnO Morphology on the Photocatalytic Performance of Au Doped ZnO/TiO<sub>2</sub> Films. *Nanotechnology*, **30**, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aaf197>
- [10] Zarrabi, M., Haghghi, M. and Alizadeh, R. (2019) Enhanced Sono-Dispersion of Bi<sub>5</sub>O<sub>7</sub>I and Bi<sub>2</sub>ClHO<sub>3</sub> Oxides over ZnO Used as Nanophotocatalyst in Solar-Light-Driven Removal of Methylene Blue from Water. *Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry*, **45**, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.10.007>
- [11] 杨凯, 余长林, 张丽娜, 等. BiOCl/ZnO 异质结型复合光催化剂的水热合成及其光催化性能[J]. 人工晶体学报, 2012, 41(1): 171-176.
- [12] 宣沛沛, 付红普, 高晓明, 等. Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>/ZnO 复合光催化剂的制备及其光催化降解含酚废水的研究[J]. 化学研究与应用, 2015, 27(1): 63-69.
- [13] Kiantazh, F. and Habibi-Yangje, A. (2015) Ultrasonic-Assisted One-Pot Preparation of ZnO/Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub> Nanocomposites for Efficiently Degradation of Organic Pollutants under Visible-Light Irradiation. *Solid State Sciences*, **49**, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2015.10.002>

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)