

# Preparation and Photocatalytic Property of MoO<sub>3</sub>@MoS<sub>2</sub> Composite

Ruogu Song, Qingyang Xi, Xiaofan Shi, Haohao Lv, Kai Liu, Xinhai Chen, Jiankang Chen, Ziquan Li, Jinsong Liu\*

College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu  
Email: [jsliu@nuaa.edu.cn](mailto:jsliu@nuaa.edu.cn)

Received: Apr. 28<sup>th</sup>, 2018; accepted: May 13<sup>th</sup>, 2018; published: May 22<sup>nd</sup>, 2018

## Abstract

In this paper, MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub> composite catalyst was successfully obtained by uploading MoS<sub>2</sub> particles on the surface of MoO<sub>3</sub> nanobelts via a simple hydrothermal method. The products were characterized and analyzed by XRD, SEM, and EDS techniques. The results showed that MoS<sub>2</sub> nanoparticles were loaded on the surface of MoO<sub>3</sub> nanobelts for MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub> composite. The photocatalytic performance test showed that MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub> composite has the better degradation effects of RhB than MoS<sub>2</sub> and MoO<sub>3</sub>. The degradation rate can reach 75% under visible light irradiation in 60 min, and the degradation rate constant is 0.02304. This good catalytic activity under visible light came from the rapid separation of electrons and holes in the MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub> composite.

## Keywords

Hydrothermal Method, MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub> Composite, Photocatalytic Property

## MoS<sub>2</sub>@MoO<sub>3</sub>复合结构的制备及光催化性能

宋若谷, 奚清扬, 史潇凡, 吕浩浩, 刘凯, 陈心海, 陈建康, 李子全, 刘劲松\*

南京航空航天大学, 材料科学与技术学院, 江苏 南京  
Email: [jsliu@nuaa.edu.cn](mailto:jsliu@nuaa.edu.cn)

收稿日期: 2018年4月28日; 录用日期: 2018年5月13日; 发布日期: 2018年5月22日

## 摘要

本文采用简单的水热法通过在MoO<sub>3</sub>纳米带表面上负载MoS<sub>2</sub>颗粒成功地获得了MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub>复合催化剂。产物通过XRD、SEM、EDS等手段进行表征, 结果显示, MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub>复合物由MoO<sub>3</sub>纳米带表面负载MoS<sub>2</sub>

\*通讯作者。

文章引用: 宋若谷, 奚清扬, 史潇凡, 吕浩浩, 刘凯, 陈心海, 陈建康, 李子全, 刘劲松. MoS<sub>2</sub>@MoO<sub>3</sub> 复合结构的制备及光催化性能[J]. 材料科学, 2018, 8(5): 535-541. DOI: [10.12677/ms.2018.85062](https://doi.org/10.12677/ms.2018.85062)

纳米颗粒组成。产物的光催化性能测试表明,  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物展示了比单体  $\text{MoS}_2$  和  $\text{MoO}_3$  更优异的降解 RhB 特性, 在 60 min 的可见光照射下降解率可达到 75%, 对应的降解速率常数为 0.02304, 这种更好的可见光催化活性来自于  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合结构中电子与空穴的快速分离。

## 关键词

水热法,  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物, 光催化性能

Copyright © 2018 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

自第一次工业革命以来, 全球工业水平的飞速发展促进社会不断进步的同时也造成了许多的环境污染问题[1]。其中, 对污染水资源的处理与再利用成为目前重点关注的要点之一, 净化效率高、二次污染小的新的处理手段急需开发[2] [3]。光催化氧化技术是消除水污染较好的一种方法, 近年来得到了广泛的关注和研究[4] [5]。它利用半导体吸收太阳光产生光生载流子, 进而生成一系列具有强氧化性的自由基来实现对污染物分子的降解, 将废水中的有机污染物氧化还原成  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  等小分子物质, 达到高效率处理废水的目的。一般来讲, 光催化所用的半导体材料例如  $\text{MoO}_3$ 、 $\text{MoS}_2$ 、 $\text{CuO}$  等需要具有合适的禁带宽度(带隙能  $E_g$ ), 当更大能量的光照射半导体材料时, 价带上的电子( $e^-$ )将吸收光子获得足够的能量被激发, 形成的电子空穴便具备了强的还原性和氧化性, 经过反应产生的强氧化还原性的自由基使有机物分解[6]。

在众多光催化半导体材料中,  $\text{MoO}_3$  有着丰富的储量, 并具有化学稳定性高、制备成本低等诸多优点, 在光催化应用领域具备潜在的应用价值[7]。但  $\text{MoO}_3$  带隙较宽(3.1 eV), 难以在可见光下产生响应, 并且载流子迁移速率较慢, 通常采用与其它半导体复合的方法加以改善[8]。例如, 甄延忠等[9]采用化学沉积法将  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  纳米颗粒负载到  $\text{MoO}_3$  纳米带上得到  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MoO}_3$  复合光催化剂, 发现可见光下催化剂异质结能够快速分离光生电子和空穴, 40 min 内对 RhB 的降解效率高达 99%。揣宏媛等[10]将静电纺丝技术与溶胶-凝胶法相结合, 成功制备了  $\text{V}_2\text{O}_5/\text{MoO}_3$  纳米纤维。发现 Mo/V 摩尔比为 1:6 时降解去除率达 97.24%。Honglin Li 等[11]采用计算和实验的方法对负载  $\text{MoS}_2$  纳米颗粒的  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合光催化剂进行了研究, 结果发现, 复合光催化剂能够更高效地利用可见光能量, 同时促进电子、空穴分别向  $\text{MoO}_3$  导带和  $\text{MoS}_2$  价带转移, 进而有效提升光催化活性。我们课题组[12]采用化学沉淀法在  $\text{MoO}_3$  纳米带表面负载了 AgBr 量子点, 制备的 AgBr/ $\text{MoO}_3$  不仅对 RhB 溶液具有超强的光催化氧化降解效果, 还对噻吩等有机物具有明显可见光催化效果。由此可见, 两种半导体的复合可以利用不同半导体的能带位置差, 有效地将电子、空穴转移到不同的半导体上, 从而实现光催化效率的提升。

$\text{MoS}_2$  是目前广泛应用于光催化领域的半导体材料, 其带隙较窄, 能够有效地在可见光下激发[13] [14]。基于此, 本文在前期  $\text{MoO}_3$  纳米带研究的基础上, 探索其与  $\text{MoS}_2$  的复合制备, 期望获得催化性能良好的复合体系, 用于有机污染物的有效光降解去除。

## 2. 实验材料和方法

### 2.1. 实验材料

钼粉(Mo), 分析纯, 阿拉丁; 硫氰化钾(KSCN), 分析纯, 南京化学试剂有限公司; 过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ ),

30%纯度, 南京化学试剂有限公司; 钼酸钠( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ), 分析纯, 阿拉丁; 硫代乙酰胺( $\text{CH}_3\text{CSNH}_2$ ), 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 无水乙醇( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), 分析纯, 南京化学试剂有限公司; 罗丹明 B( $\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{ClN}_2\text{O}_3$ , RhB), 分析纯, 阿拉丁。

## 2.2. 样品制备

### 2.2.1. 单独 $\text{MoO}_3$ 的制备

称取 0.72 g 钼粉置于 35 mL 的去离子水中, 磁力搅拌 5 min。然后逐滴缓慢滴加 10 mL 浓度为 30% 的过氧化氢溶液, 每次滴加 1 mL, 分十次滴加, 其中时间间隔为 10 s, 持续搅拌 30 min, 直到溶液逐渐由浑浊的深灰色转变为澄清的亮黄色。接着将制得的前驱体溶液转移到聚四氟乙烯反应釜内衬中, 将反应釜放入 180℃ 烘箱中保温 12 h。冷却后收集固体粉末, 用去离子水和无水乙醇分别清洗过滤去除杂质, 70℃ 烘干, 得到白色  $\text{MoO}_3$  粉末备用。

### 2.2.2. $\text{MoS}_2@/\text{MoO}_3$ 复合光催化剂的制备

称取上述制备的 0.1 g 的  $\text{MoO}_3$  置于烧杯中加入 40 mL 去离子水中。再加入 2 mg 的钼酸钠和 4 mg 的硫代乙酰胺, 将混合溶液磁力搅拌 30 min, 混合均匀后转移至反应釜中, 180℃ 下保温 24 h。随炉冷却后收集粉末样品, 用去离子水和无水乙醇分别洗涤两次, 80℃ 干燥得  $\text{MoS}_2@/\text{MoO}_3$  复合光催化剂。单独的  $\text{MoS}_2$  采用 0.1 g 的钼酸钠和 0.2 g 的硫代乙酰胺的水热反应获得, 用于对比。

## 2.3. 样品表征

采用日本理学的 Miniflex 600 X-射线衍射仪进行物相表征分析, 测试条件为: 电流、电压分别为 15 mA、40 KV; Cu 靶  $K_\alpha$  激发; 衍射角  $2\theta$  测试范围: 10°~70°; 扫描速度: 10°/min。采用美国 FEI 公司 S-4800 型场发射扫描电子显微镜对样品进行微观形貌表征及能谱测试。

## 2.4. 染料标准曲线绘制

在暗吸附及光催化实验中, 染料溶液的浓度无法直接测得。由于不同浓度的染料溶液在紫外-可见分光光度计下的吸光度值不同, 从而可利用吸光度通过换算得到待测溶液中的染料浓度。根据朗伯比尔定律(Lambert-Beer law):

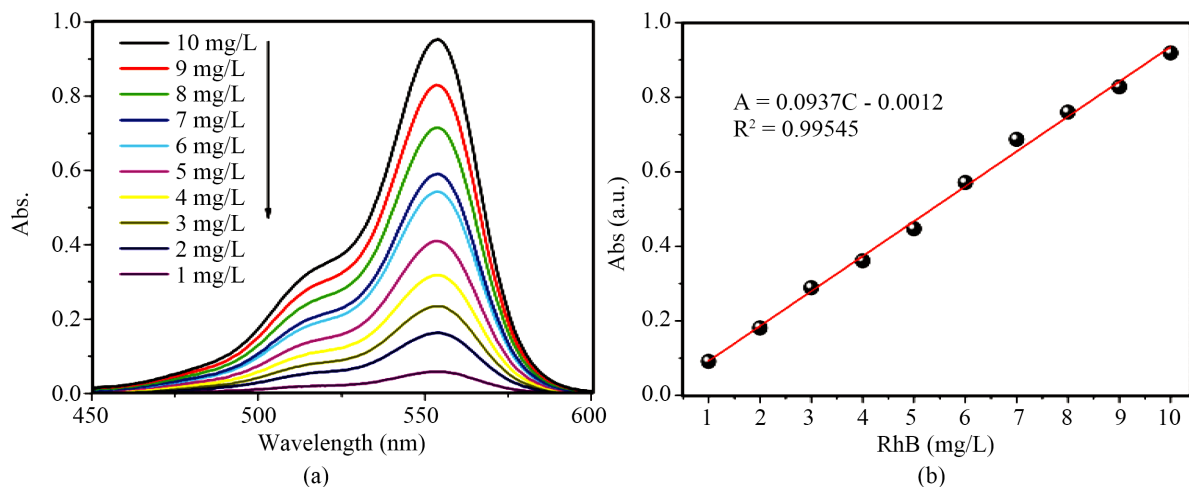
$$A = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = \lg\left(\frac{1}{T}\right) = kcd \quad (1)$$

其中,  $A$  为测试样品的吸光度;  $I_0$  和  $I$  分别为入射光强和透射光强;  $T$  为透射比, 即透射光强与入射光强之比( $I/I_0$ );  $k$  为吸光比例系数;  $c$  为待测样品溶液浓度;  $d$  为光程, 即盛放溶液石英槽的透光厚度。据此可知, 溶液的吸光度与其浓度存在线性关系, 因此我们可以配置一系列已知浓度的染料溶液并进行线性拟合, 再根据得出的线性方程计算被测染料溶液的浓度。

试验中使用的染料是 RhB。染料溶液标准曲线的绘制过程为: 首先使用 1 L 的容量瓶配置浓度为 100 mg/L 的 RhB 溶液, 然后稀释一定的倍数配置出浓度为 1~10 mg/L 的 RhB 溶液, 并对每份样品溶液进行光吸收度测试。不同浓度标准溶液的紫外-可见吸收光谱如图 1(a)所示。由图谱可知 RhB 溶液的特征吸收峰位于 553 nm 处, 样品溶液的浓度和特征吸收峰处吸光度的对应关系如图 1(b)所示: RhB 染料的标准曲线拟合方程为  $A = 0.0937C - 0.0012$ , 相关性系数为 0.99545。

## 2.5. 光催化测试

光催化反应实验过程中一直磁力搅拌保证实验样品与染料溶液能够充分接触。另外, 光催化反应的



**Figure 1.** (a) Standard absorbance spectrum of different concentrations of the RhB solution; (b) Absorbance fitting curve of concentration and characteristic absorption peak

**图 1.** (a) 不同浓度 RhB 溶液的标准吸光度图谱; (b) 浓度-特征吸收峰吸光度拟合曲线

过程中采用循环水冷凝,防止溶液在强光照射下由于吸收能量使得自身温度过高而蒸发,影响溶液浓度,降低实验的精准度。可见光下光催化实验使用的光源是功率为 150 W 的氙灯,波长为 400 nm~800 nm。

实验中以 RhB 溶液为模拟有机污染物,称取待测物质 15 mg,量取 100 mL 浓度为 10 mg/L 的 RhB 溶液。将溶液倒入烧杯中,然后加入待测物质磁力搅拌,在黑暗条件下搅拌 1 h 使待测物质与染料分子之间达到吸附-脱附动态平衡。暗态吸附结束后进行光照,每隔 10 min 从烧杯中抽取 5 mL 上层溶液离心后测试。使用 UV-3600 型紫外-可见分光光度计测试暗态吸附及光催化过程中的染料溶液,根据特征峰 (553 nm) 对应的光吸收度,换算得到所测溶液的浓度,计算出光催化降解度。公式为:

$$E_t = (C_o - C_t) \div C_o \times 100\% \quad (2)$$

式中  $E_t$  为光催化进行到  $t$  时刻的光催化降解效率,  $C_o$  为暗态吸附结束后染料溶液的浓度,  $C_t$  为光催化进行到  $t$  时刻使染料的浓度。

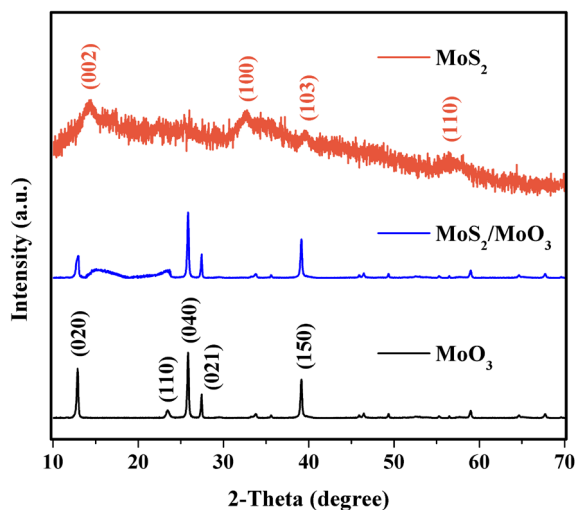
### 3. 结果与讨论

#### 3.1. X-射线衍射分析(XRD)

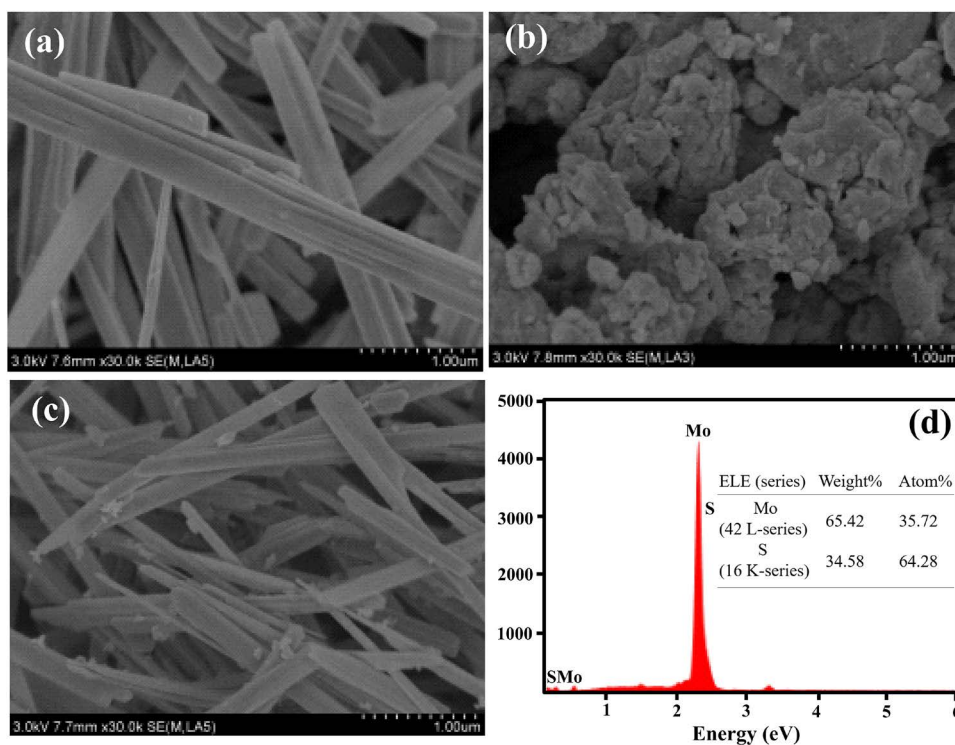
图 2 为单体  $\text{MoO}_3$  和  $\text{MoS}_2$  以及  $\text{MoO}_3@/\text{MoS}_2$  复合物的 XRD 图谱。通过与标准 JCPDS 卡对照发现,单体  $\text{MoO}_3$  的衍射峰与正交晶系的  $\alpha\text{-MoO}_3$  相对应(JCPDS #05-0508,  $a = 0.3962$  nm,  $b = 0.1385$  nm,  $c = 0.3697$  nm),相应的(020)、(110)、(040)、(021)、(150)等主要衍射峰明显而尖锐,表明其结晶度较高[15]。而单体  $\text{MoS}_2$  的衍射峰对应于标准六方相  $\text{MoS}_2$ (JCPDS #37-1492),其中  $2\theta = 14.52^\circ$ 、 $32.56^\circ$ 、 $40.67^\circ$  和  $57.60^\circ$  处的衍射峰分别对应于  $\text{MoS}_2$  的(002)、(100)、(103)和(110)晶面[16]。相比之下,  $\text{MoO}_3@/\text{MoS}_2$  复合结构样品的衍射峰包含  $\text{MoO}_3$  和  $\text{MoS}_2$  的衍射峰,只是(020)晶面对应的  $\text{MoO}_3$  衍射峰强度明显下降,  $2\theta$  约  $15^\circ$ 、 $33^\circ$  位置处的强度较弱、跨度较宽的峰对应于  $\text{MoS}_2$  的(002)和(100)晶面。这种结果可以确认  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合催化剂的成功合成,并且水热反应过程中  $\text{MoO}_3$  的晶体结构保持稳定,  $\text{MoS}_2$  可能优先在  $\text{MoO}_3$  的(020)晶面形核生长。

#### 3.2. 表面形貌分析

图 3(a)为单体  $\text{MoO}_3$  的 SEM 照片,可以看出,白色的  $\text{MoO}_3$  呈相互堆叠交织的纳米带结构,纳米带



**Figure 2.** XRD patterns of monomer  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{MoS}_2$  and  $\text{MoS}_2@/\text{MoO}_3$  composite sample  
**图 2.** 单体  $\text{MoO}_3$ 、 $\text{MoS}_2$  及  $\text{MoS}_2@/\text{MoO}_3$  复合样品的 XRD 图谱



**Figure 3.** SEM images of different samples: (a), (b), (c) surface morphology of  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{MoS}_2$  and  $\text{MoS}_2@/\text{MoO}_3$  composite sample; (d) EDS energy spectrum of loaded particles  
**图 3.** (a)  $\text{MoO}_3$  和 (b)  $\text{MoS}_2$  以及 (c)  $\text{MoS}_2@/\text{MoO}_3$  复合样品的 SEM 图; (d) 负载颗粒的 EDS 能谱

的宽度在 2~5  $\mu\text{m}$  之间，且表面及边缘均清晰、光滑，相关研究表明， $\text{MoO}_3$  的带状形貌与水热反应溶液的强酸性环境有关。而黑色的单体  $\text{MoS}_2$  为板片状结构，板片由 1~3  $\mu\text{m}$  的  $\text{MoS}_2$  团聚而成，如图 3(b) 所示。图 3(c) 为  $\text{MoS}_2@/\text{MoO}_3$  复合物的 SEM 照片，由图可以看出，复合样品中  $\text{MoO}_3$  纳米带表面出现明显的  $\text{MoS}_2$  纳米颗粒。根据相关光催化研究经验， $\text{MoS}_2$  的催化活性位点主要分布于其侧面边缘，这些位置存留着大量的悬挂键和晶体缺陷，但是在范德华力的作用下，单相  $\text{MoS}_2$  常产生较为严重的团聚现象，

不可避免的使边缘活性位点数量大幅度下降, 导致其催化活性降低[17][18], 因此弥散分布的负载颗粒保证了催化活性位点不会因为团聚而消失, 有利于载流子的迁移, 从而提高了整体的催化能力。图 3(d)为  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物中负载颗粒的 EDS 能谱, 可以发现 Mo、S 的原子比接近 1:2, 这表明  $\text{MoO}_3$  纳米带表面生长的纳米颗粒为纯净的  $\text{MoS}_2$ , 进一步证实了  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物的形成。

### 3.3. 样品的光催化性能

图 4(a)为吸附平衡后单体  $\text{MoO}_3$ 、 $\text{MoS}_2$  以及  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物的光催化降解 RhB 的曲线。从图中可以看出, 单体  $\text{MoO}_3$  和单体  $\text{MoS}_2$  在 60 min 的可见光照射下浓度几乎没有变化, 这表明这种条件下 RhB 并没有得到降解。归其原因在于单体  $\text{MoO}_3$  带隙过宽, 可见光下无法有效激发出电子、空穴, 故不显示光催化活性; 而单体  $\text{MoS}_2$  虽然带隙窄小, 可见光下可以激发出大量电子、空穴, 但电子、空穴复合严重, 因而也不显示光催化活性。然而,  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物显示了较高光催化活性, 在 60 min 的可见光照射下降解率可达到 75%。通过光催化降解 RhB 曲线变换得到  $\ln(C/C_0) \sim t$  曲线, 拟合后可以计算出产物的降解速率常数, 如图 4(b)所示。单体  $\text{MoO}_3$  和单体  $\text{MoS}_2$  的降解速率常数几乎为 0, 这与其几乎不显示光催化活性的结果一致, 而  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物的降解速率常数为 0.02304, 远远大于单体的降解速率常数。在可见光的照射下,  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物中的  $\text{MoS}_2$  价带的电子( $e^-$ )跃迁至导带, 在价带留下强氧化性的空穴( $h^+$ )。一部分空穴直接氧化降解 RhB 分子, 另一部分与溶液中的  $\text{OH}^-$  反应生成强氧化性的羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ ), 进而氧化 RhB 分子。同时, 激发至导带的  $e^-$  向  $\text{MoO}_3$  导带转移, 因而  $e^-$  与  $h^+$  实现了快速分离, 故复合催化剂表现出较好的可见光催化活性。

## 4. 结论

通过水热法成功地获得了  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合催化剂, SEM 显示复合物由  $\text{MoO}_3$  纳米带表面负载  $\text{MoS}_2$  纳米颗粒组成, XRD 和 EDS 进一步确认了  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物的形成。产物的光催化性能测试表明,  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合物展示了比单体  $\text{MoS}_2$  和  $\text{MoO}_3$  更优异的降解 RhB 特性, 在 60 min 的可见光照射下降解率可达到 75%, 对应的降解速率常数为 0.02304, 这种更好的可见光催化活性来自于电子与空穴的快速分离。

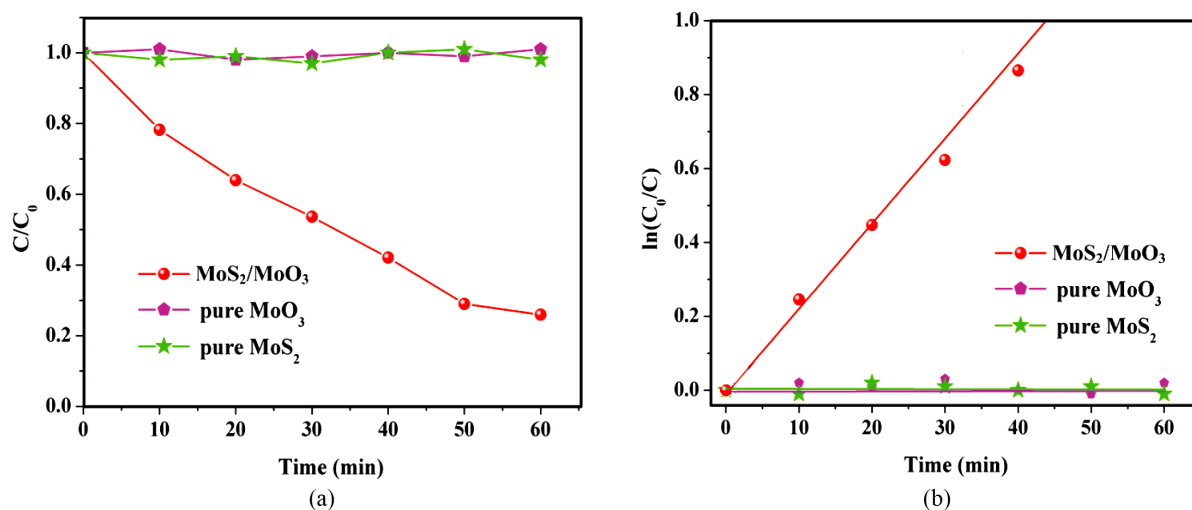


Figure 4. (a) Photocatalytic degradation curves of monomer  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{MoS}_2$  and  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  composite sample; (b) Corresponding photocatalytic reaction rate fitting curve

图 4. (a) 单体  $\text{MoO}_3$ 、 $\text{MoS}_2$  及  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_3$  复合样品的光催化降解 RhB 曲线; (b) 对应的光催化反应速率拟合曲线

## 致 谢

感谢大学生创新训练计划项目(No. 2017CX00608)和中央高校基本科研业务费专项资金(No. NS2017038)对本文的资助。

## 参考文献

- [1] Tong, H., Ouyang, S., Bi, Y., *et al.* (2012) Nano-Photocatalytic Materials: Possibilities and Challenges. *Advanced Materials*, **24**, 229-251. <https://doi.org/10.1002/adma.201102752>
- [2] 金玲. 离子体协同光催化剂处理微污染水[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2011.
- [3] 王慧. 磁性纳米材料在有机染料污染物去除中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [4] 黄垒, 彭峰. 可见光光催化机理研究进展[J]. 工业催化, 2007, 15(3): 5-11.
- [5] 兰永清. 高效光催化剂的制备及催化消除水中细菌和偶氮染料的研究[J]. 环境水质学国家重点实验室, 2006.
- [6] Watanabe, T., Takizawa, T. and Honda, K. (1977) Photocatalysis through Excitation of Adsorbates. 1. Highly Efficient N-Deethylation of Rhodamine B Adsorbed to Cadmium Sulfide. *The Journal of Physical Chemistry*, **81**, 1845-1851. <https://doi.org/10.1021/j100534a012>
- [7] 郭荣辉, 杨晓青, 秦文峰. 电致变色三氧化钼薄膜研究进展[J]. 中国铝业, 2005, 29(5): 39-42.
- [8] 张会斌. 基于氢基钛酸纳米管的新型半导体复合技术及光催化应用研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [9] 甄延忠, 王杰, 王丹军, 等. 一维  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\alpha\text{-MoO}_3$  异质结的制备及其可见光光催化性能[J]. 人工晶体学报, 2017, 46(1): 55-62.
- [10] 揣宏媛.  $\text{V}_2\text{O}_5/\text{MoO}_3$  异质结构材料的制备及光催化性能[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春工业大学, 2014.
- [11] Li, H., Yu, K., Tang, Z., *et al.* (2016) High Photocatalytic Performance of a Type-II  $\alpha\text{-MoO}_3@/\text{MoS}_2$  Heterojunction: From Theory to Experiment. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **18**, 14074-14085. <https://doi.org/10.1039/C6CP02027E>
- [12] Feng, B., Wu, Z., Liu, J., *et al.* (2017) Combination of Ultrafast Dye-Sensitized-Assisted Electron Transfer Process and Novel Z-Scheme System: AgBr Nanoparticles Interspersed  $\text{MoO}_3$ , Nanobelts for Enhancing Photocatalytic Performance of RhB. *Applied Catalysis B Environmental*, **206**, 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.01.029>
- [13] Chen, H., Zhao, J., Wu, J., *et al.* (2011) Isotherm, Thermodynamic, Kinetics and Adsorption Mechanism Studies of Methyl Orange by Surfactant Modified Silkworm Exuviae. *Journal of Hazardous Materials*, **192**, 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.014>
- [14] Butler, S.Z., Hollen, S.M., Cao, L., *et al.* (2013) Progress, Challenges, and Opportunities in Two-Dimensional Materials beyond Graphene. *ACS Nano*, **7**, 2898-2926. <https://doi.org/10.1021/nn400280c>
- [15] Amini, M., Pourbadiiei, B., Ruberu, T.P.A., *et al.* (2014) Catalytic Activity of  $\text{MnO}_x/\text{WO}_3$  Nanoparticles: Synthesis, Structure Characterization and Oxidative Degradation of Methylene Blue. *New Journal of Chemistry*, **38**, 1250-1255. <https://doi.org/10.1039/C3NJ01563G>
- [16] Ho, W., Yu, J.C., Lin, J., *et al.* (2004) Preparation and Photocatalytic Behavior of  $\text{MoS}_2$  and  $\text{WS}_2$  Nanocluster Sensitized  $\text{TiO}_2$ . *Langmuir*, **20**, 5865-5869. <https://doi.org/10.1021/la049838g>
- [17] Li, Y., Wang, H., Xie, L., *et al.* (2011)  $\text{MoS}_2$  Nanoparticles Grown on Graphene: An Advanced Catalyst for the Hydrogen Evolution Reaction. *Journal of the American Chemical Society*, **133**, 7296-7299. <https://doi.org/10.1021/ja201269b>
- [18] Firmiano, E.G., Cordeiro, M.A., Rabelo, A.C., *et al.* (2012) Graphene Oxide as a Highly Selective Substrate to Synthesize a Layered  $\text{MoS}_2$  Hybrid Electrocatalyst. *Chemical Communications*, **48**, 7687-7689. <https://doi.org/10.1039/c2cc33397j>

**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)