

# 一维 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ 纳米纤维的电纺制备及光催化研究

赵婕<sup>1\*</sup>, 杨明辉<sup>2</sup>

(1. 寿光卫东化工有限公司, 山东 潍坊 262714; 2. 寿光卫东腾冠化工有限公司, 山东 潍坊 262714)

**摘要:**通过静电纺丝技术和煅烧过程成功制备了一维(1D)  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构的纳米纤维。在 650°C 煅烧 2 h 后得到  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构的纳米纤维,其直径在 200~300 nm 之间。通过差示扫描量热和热重法(TG-DSC)、X-射线衍射仪(XRD)、扫描和透射电子显微镜(SEM和TEM)、紫外-可见光谱仪(UV-Vis DRS)对所制备的样品进行表征。结果表明,经模拟太阳光照射, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构对亚甲基蓝(MB)的降解率高于纯相  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  纳米纤维,异质结构的构建能有效地抑制光生电子和空穴的再结合。

**关键词:**一维; $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结;静电纺丝;光催化

中图分类号:TQ426.6

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2025)03-0222-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.03.039

## Synthesis of one-dimensional $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ nanofiber by electrospinning process and study on its photocatalytic activity

ZHAO Jie<sup>1\*</sup>, YANG Ming-hui<sup>2</sup>

(1. Shouguang Weidong Chemical Co., Ltd., Weifang 262714, China;

2. Shouguang Weidong Tengguan Chemical Co., Ltd., Weifang 262714, China)

**Abstract:** One-dimensional (1D)  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  heterojunction nanofiber is prepared via the electrospinning technology in combination with the calcination process. After it has been calcined at 650°C for 2 h,  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  heterojunction nanofiber with diameter between 200–300 nm is obtained. The as-prepared samples are characterized by means of thermogravimetric and differential scanning calorimetry (TG-DSC), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM) and UV-Vis diffuse reflectance spectrum (UV-Vis DRS). Photocatalytic degradation tests reveal that the obtained  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  heterojunction exhibits higher degradation rate to methylene blue than pure  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  nanofiber under the simulated sunlight irradiation. The construction of  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  heterojunction can effectively impede the recombination of photoelectrons and holes. Possible photocatalytic mechanism is also explored in detail.

**Key words:** one-dimensional;  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  heterojunction; electrospinning; photocatalysis

光催化技术是一种在光催化材料的作用下将光能转化成化学能降解污染物的技术,在治理污染方面具有降解充分、高效清洁等巨大优势,为全球环境问题提供了一种解决方法<sup>[1]</sup>。

$\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  是一种典型的层状 Aurivillius 型氧化物,是以共角、畸变的八面体  $\text{MoO}_6$  将片状  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$  夹在中间的结构。这种层状结构有利于提高光生载流子的迁移率,对光催化过程至关重要。研究表明, $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的禁带宽度在 2.5~2.8 eV 之间,吸收边在 450~500 nm 之间<sup>[2-5]</sup>。然而单一光催化剂仍存在量子产率低、光生电子-空穴复合较快的问题,影响了光催化效果。为了克服单一半导体的缺陷,由其他化合物与  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  组成的异质结构光催化剂,在

降解污染物方面的潜力大,已成为研究热点<sup>[6-7]</sup>。同时,与其他形态相比,静电纺丝制备的一维异质结构因为具有较大的比表面积和较高的长宽比表现出较高的光催化活性<sup>[8]</sup>。 $\text{In}_2\text{O}_3$  作为一种间接禁带的可见光吸收半导体材料,不仅可以单独作为光催化剂,还可以和其他半导体复合而具有较高的光催化效率<sup>[9]</sup>。因此,构建一维(1D)  $\text{In}_2\text{O}_3$  与  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结可以有效地抑制光生电子空穴对的复合,达到提高光催化效率的目的。

目前,采用静电纺丝技术直接制备 1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构纳米纤维的报道较少, Wang 等<sup>[10]</sup>通过静电纺丝结合煅烧制备出核壳结构的  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  微米带,但  $\text{In}_2\text{O}_3$  以片状分布于

$\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  颗粒组成的带状结构表面,因此,异质结构仅存在于微米带表面。

通过静电纺丝技术结合煅烧过程成功合成了 1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构纳米纤维,既具有纳米效应,又因为  $\text{In}_2\text{O}_3$  与  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  颗粒相互掺杂,异质结构遍布整个纤维而具有更高的光催化活性。

## 1 实验部分

### 1.1 药品与试剂

柠檬酸、硝酸铋 [ $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ]、钼酸铵 [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ]、硝酸铟 [ $\text{In}(\text{NO}_3)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ]、聚乙烯吡咯烷酮 (PVP, K90,  $M_w = 1\,300\,000$ )、无水乙醇、硝酸 (15 mol/L),均为分析纯。

### 1.2 制备过程

前驱体溶胶的制备:将 2.500 g 柠檬酸溶解到 20 mL 去离子水中。然后将 0.442 g  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、2.425 g  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  和 4 mL 浓硝酸 (15 mol/L) 分别加入到上述溶液中。搅拌 1 h 后得到均一透明的溶液,记为溶液 1。

将 1.004 5 g  $\text{In}(\text{NO}_3)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  溶解到溶液 1 中,并记为溶液 2。随后将 2 mL 溶液 2 和 1 mL 浓硝酸先后加入到 10 mL 无水乙醇中,最终得到的混合液标记为溶液 3。 $\text{Bi}^{3+}$  和  $\text{In}^{3+}$  的初始摩尔比为 2:1。充分混合后,将 0.8 g PVP (K-90) 溶解到溶液 3 中,搅拌 8 h 后即可得到透明均匀的前驱体溶胶。

通过静电纺丝技术制备 1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ :将所要电纺的前驱体溶胶转移到 20 mL 连接不锈钢针的塑料注射器内。内径为 1 mm 不锈钢针连接到 18 kV 电源,且注射器的推进速度为 2.27 mL/h。大气相对湿度大约是 28%,针尖和收集板之间的距离为 16 cm。收集制得的纤维置于 75℃ 的干燥箱中干燥 12 h,然后在 650℃ 煅烧 2 h 即可得到 1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构纳米纤维。

作为对照, $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  亦可通过以下方法制备:将 2.500 g 柠檬酸溶解到 20 mL 去离子水中。然后将 0.442 g  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、2.425 g  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  和 4 mL 浓硝酸 (15 mol/L) 分别加入到上述溶液中。搅拌 1 h 后得到均一透明的溶液,记为溶液 a。2 mL 溶液 a 和 1 mL 浓硝酸加入到 10 mL 无水乙醇中,再将 0.8 g PVP (K-90) 溶解到溶液中即得到  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  前驱体溶胶。通过静电纺丝和煅烧过程制备  $\gamma\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$  的其他步骤与制备的  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构纤维步骤相一致。

### 1.3 样品的表征

通过热重分析仪 (TGA/SDTA 851e Mettler) 得到 TG-DSC 曲线。室温条件下,当电压为 40 kV、电流为 20 mA 时,通过带有石墨单色器和 Cu K $\alpha$  射线 ( $\lambda = 0.154\,18\text{ nm}$ ) 的 X-射线衍射仪 (Rigaku D/Max 2200PC) 在 10~70° 范围内对  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构的物相进行测定。利用 SEM (Hitachi S-520, JXA-840) 和 TEM (JEM 100-CX II) 对样品的形貌和微观结构进行表征。通过 UV-2550 分光光度计 (Shimadzu) 测量样品在 200~800 nm 波长范围内的紫外-可见漫反射光谱和吸收光谱。

### 1.4 光催化测试

用 500 W 氙灯模拟太阳光并通过亚甲基蓝 (MB) 的降解率来测定  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构的光催化活性。光降解实验中,将 0.1 g P25、 $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  和  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  光催化剂分别分散到 40 mL 初始质量浓度为 20 mg/L 的 MB 溶液中。实验在一个封闭的黑箱中进行,氙灯放置在带有循环水的石英冷阱中冷却 MB 和阻止染料的热分解。将溶液在黑暗条件下搅拌 30 min 以获得良好的分散性并在 MB 与催化剂表面形成吸附解吸平衡。然后将溶液置于氙灯下照射,每隔 0.5 h 取出 4 mL 溶液以作分析。反应液中 MB 的浓度通过 UV-2550 分光光度计来测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 TG-DSC 曲线

电纺凝胶纤维的热重分析曲线如图 1 所示。

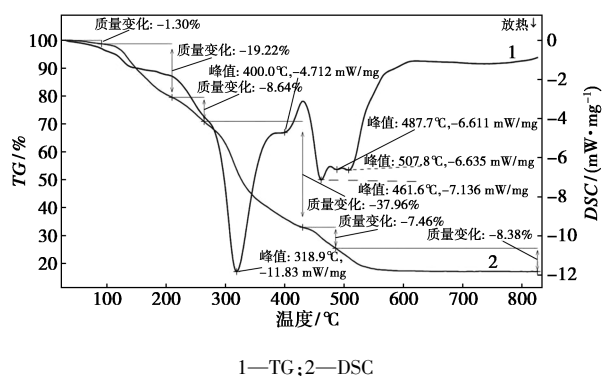


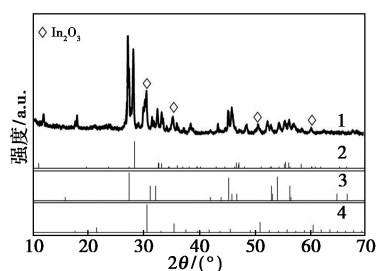
图 1 凝胶纤维的 TG-DSC 曲线

从图 1 可以看到,所有的挥发性物质 (水、乙醇)、有机成分 (PVP、柠檬酸) 和  $\text{NO}_3^-$  离子在 560℃ 之前被完全去除,从而形成  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构。最初到 200℃ 失重约 20%,这是因为水和残留乙醇溶剂的挥发以及被吸收的水分。硝酸盐中结晶

水分子的去除是在 200~260℃,该过程较缓慢,失重约 8.6%。在 280~400℃有一个明显的失重过程,大约为 30%,这是因为柠檬酸的完全分解和 PVP 的降解,这涉及分子内和分子间的转移反应。DSC 曲线上 318.9℃和 400℃处的 2 个放热峰分别对应于柠檬酸的分解和 PVP 的降解<sup>[11-12]</sup>。最后的失重过程发生在 420~550℃的阶段,并在 461.6、487.7℃和 507.8℃伴随着 DSC 曲线上的放热峰,通常认为是由于硝酸盐的连续分解。最终,样品的质量保持稳定,总失重达 83%。所以,在 650℃煅烧 2 h 后,样品中没有有机成分残余。

## 2.2 XRD 分析

XRD 可用于研究样品的晶体结构和物相组成,如图 2 所示。从图 2 可以看出,凝胶纤维在 650℃煅烧 2 h 后可以得到  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构,所得样品的衍射峰与  $\text{In}_2\text{O}_3$  (JCPDS No.06-0416)、低温相  $\gamma\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$  (JCPDS No.21-0102) 和高温相  $\gamma'\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$  (JCPDS No.22-0112) 的衍射峰一致。Sankar 等<sup>[13]</sup>的研究发现, $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  在煅烧过程中会发生晶型的转变,由低温  $\gamma\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$  相转变为高温  $\gamma'\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$  相,在 715℃热处理后得到纯相的  $\gamma'\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$ <sup>[14]</sup>。因此,在 650℃煅烧 2 h 后得到了低温相和高温相共存的  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  三元异质结构。



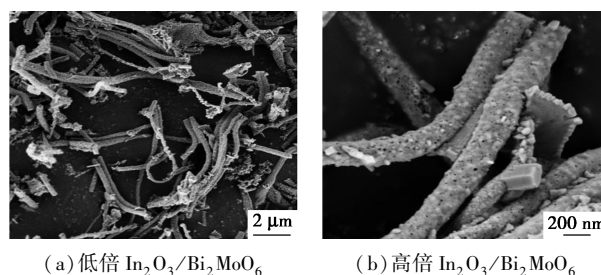
1— $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ ; 2— $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  (JCPDS No.21-0102);  
3— $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  (JCPDS No.22-0112); 4— $\text{In}_2\text{O}_3$  (JCPDS No.06-0416)

图 2 650℃煅烧 2 h 后得到的  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的 XRD 谱图

## 2.3 样品的 SEM 和 TEM 表征

650℃煅烧 2 h 得到的异质结构纤维的 SEM 图如图 3 所示。

从图 3 可以看出,煅烧后  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  仍保持着一维结构,纤维由细小颗粒组成,直径约 200~300 nm。因为  $\text{MoO}_6$  和  $\text{In}_2\text{O}_3$  同为八面体晶型,可形成二者将片状  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$  夹在中间的结构,该结构有利于提高光生载流子的迁移率,可提高光催化剂的



(a) 低倍  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  (b) 高倍  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$

图 3 650℃煅烧 2 h 得到的  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的 SEM 图

光催化性能。

650℃煅烧 2 h 后的  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  透射图如图 4 所示。从图 4 可以看出,纤维由细小颗粒组成,纤维的直径约 200~300 nm,与 SEM 表征结果相符。从图 3 和图 4 中可以看出,组成纤维的颗粒大小均匀,说明  $\text{In}_2\text{O}_3$  与  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  形成了异质结。

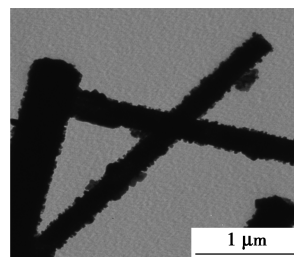


图 4  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  样品的 TEM 图

1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构的制备过程原理如图 5 所示。材料的制备过程分两步进行:首先,通过静电纺丝技术喷射制得复合纤维;然后将凝胶纤维在 650℃煅烧 2 h 得到 1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构。

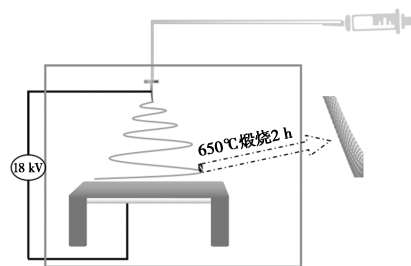


图 5 电纺制备 1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  复合纳米纤维的原理图

## 2.4 样品的紫外-可见漫反射光谱

650℃煅烧 2 h 得到的  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构的紫外-可见漫反射光谱如图 6 所示。从图 6 可以看出, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的吸收边在 650 nm 附近,其带隙约在 2.75 eV,而具有表面异相结的  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的吸收边在 550 nm 附近。 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构

增强的光吸收性能是因为  $\text{In}_2\text{O}_3$  和  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的相互作用<sup>[15]</sup>。

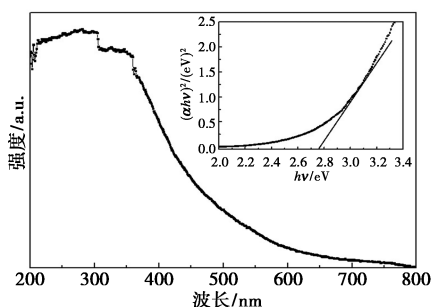
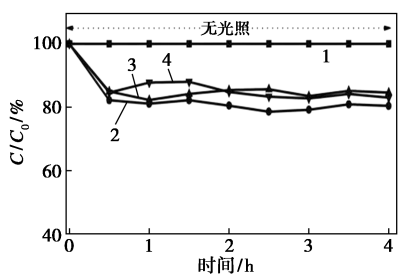


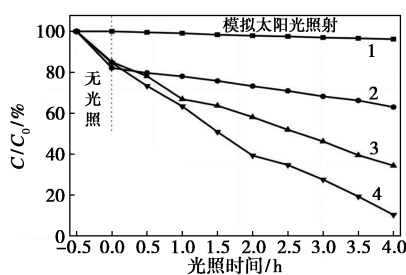
图6  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构的紫外-可见漫反射光谱

## 2.5 样品 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ 的光催化活性

选择 MB 为模型污染物,分别评估样品  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构、 $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  纳米纤维和 P25 的光催化活性,结果如图 7 所示。



(a) 无光照条件



(b) 模拟太阳光照射

1—空白;2—P25;3— $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ ;4— $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$

图7  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结、 $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  纳米纤维和 P25 的光催化活性

从图 7(a) 中可以看出, MB 溶液的脱色是在波长为 664 nm 处测得,暗反应 30 min 后,溶液在 MB 和光催化剂表面达到吸附-解吸平衡,且在没有光照条件下,继续反应 4 h 后 MB 没有明显降解。从图 7(b) 中可以看出,模拟太阳光照射 4 h 后,MB 在 P25、 $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  和无催化剂催化下的降解率分别为 35%、64.9%、91.2% 和 3.6%。经模拟太阳光照, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  对降解 MB 具有最高的光催化活性。

## 2.6 光催化机理及光催化性能增强原理

$\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结对 MB 的光催化机理如图 8 所示。

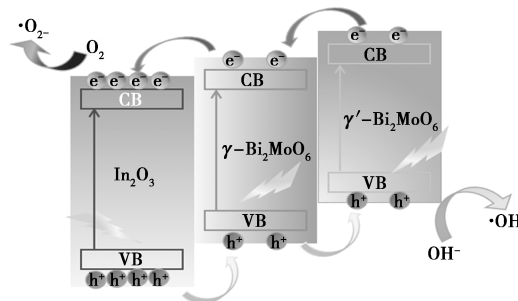


图8  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构经模拟太阳光照射的光催化机理

当样品受到模拟太阳光照射时,  $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  和  $\gamma'$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的价带 (VB) 分别被激发产生的光生电子 ( $e^-$ ) 转移到各自的导带 (CB) 上,光生空穴 ( $h^+$ ) 仍留在 VB 上。由于带隙越窄催化剂越容易被激发,因此,  $\gamma'$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ 、 $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$  先后依次被激发,光生电子 ( $e^-$ ) 从  $\gamma'$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  迅速转移到  $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ , 然后又进一步迁移到  $\text{In}_2\text{O}_3$ , 而光生空穴 ( $h^+$ ) 则容易从  $\text{In}_2\text{O}_3$  迁移到  $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ , 并最终到达  $\gamma'$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ 。光生电子和空穴被各自分开。电子可以与溶解在溶液中的水分子反应生成超氧自由基阴离子  $\cdot\text{O}_2^-$ , 再与水反应形成羟基自由基  $\cdot\text{OH}$ , 这是一种可以降解有机污染的超强氧化剂。同时, VB 上的空穴也可与溶液中的碱性离子  $\text{OH}^-$  反应, 产生活性的  $\cdot\text{OH}$  自由基。反应产生的活性物质如  $h^+$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$  和  $\cdot\text{OH}$  都可直接氧化降解有机污染物。

$\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构光催化性能增强的原因: 首先, 根据紫外-可见漫反射光谱的分析,  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  在 550~650 nm 的表现出增强的可见光吸收并能吸收更多的可见光,  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的光催化活性更高; 第二, 在异质结构光催化剂中,  $\text{In}_2\text{O}_3$  与  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  间三元异质结的形成能进一步遏制光生电子和光生空穴的再结合; 而且, 表面异相结的形成也有利于光生电子从高温相转移到低温相。这能更有效地增强光生电子空穴对的有效分离<sup>[16]</sup>。因此, 将有更多的光生电子和光生空穴参与光催化氧化还原反应来降解有机污染物, 从而提高了  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  的光催化性能。

## 3 结论

1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结构纳米纤维可通过静

电纺丝技术和煅烧过程合成。SEM 和 TEM 表征结构,纤维由细小颗粒组成,说明  $\text{In}_2\text{O}_3$  与  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  相互掺杂形成了  $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  和  $\gamma'$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  三元异质结。光催化性能研究表明,1D  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  纳米纤维比  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  和 P25 在降解 MB 方面具有更高的光催化活性,这与较大的光吸收范围、 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  异质结及  $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  和  $\gamma'$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  表面异相结有关。

### 参考文献

- [1] 李先学,陈彰旭,沈高扬,等.  $\text{TiO}_2$  光催化降解染料废水的研究进展[J]. 染料与染色, 2010, 47(2): 42-45, 36.
- [2] Zhou L, Wang W Z, Zhang L S. Ultrasonic-assisted synthesis of visible-light-induced  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  ( $M = \text{W}, \text{Mo}$ ) photocatalysts [J]. J Mol Catal A: Chem, 2007, 268(1/2): 195-200.
- [3] Xie H D, Shen D Z, Wang X Q, et al. Microwave hydrothermal synthesis and visible-light photocatalytic activity of  $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  nanoplates [J]. Mater Chem Phys, 2007, 103: 334-339.
- [4] 陈亚, 陈建林, 姚三丽, 等.  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  可见光催化去除 4BS 染料实验研究 [J]. 环境化学, 2009, 28(6): 809-812.
- [5] Zhang M Y, Shao C L, Mu J B. Hierarchical heterostructures of  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  on carbon nanofibers: controllable solvothermal fabrication and enhanced visible photocatalytic properties [J]. J Mater Chem, 2012, 22: 577-584.
- [6] Zhang T, Huang J F, Zhou S, et al. Microwave hydrothermal synthesis and optical properties of flower-like  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  crystallite [J]. Ceram Int, 2013, 39: 7391-7394.
- [7] Li G P, Mao L Q. Magnetically separable  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  sub-micrometre composite: Facile synthesis, high visible light-driven photocatalytic efficiency, and good recyclability [J]. RSC Adv, 2012, 2: 5108-5111.
- [8] Chaudhari S, Srinivasan M. 1D hollow  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  electrospun nanofibers as high performance anode material for lithium ion batteries [J]. J Mater Chem, 2012, 22: 23049-23056.
- [9] 李卫兵, 补钰煜, 于建强.  $\text{ZnO}/\text{In}_2\text{O}_3$  复合空心球的制备及其光电催化葡萄糖降解性能 [J]. 物理化学学报, 2012, 28(11): 2676-2682.
- [10] Wang Q Y, Lu Q F. Coaxial  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  heterostructured nanobelts with enhanced photoelectrocatalytic performance [J]. J Nanopart Res, 2019, 21: 142-155.
- [11] Miao Y C, Pan G F, Huo Y N, et al. Aerosol-spraying preparation of  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ : A visible photocatalyst in hollow microspheres with a porous outer shell and enhanced activity [J]. Dyes Pigm, 2013, 99: 382-389.
- [12] Shamshi Hassan M, Amna T, Khil M S. Synthesis of High aspect ratio  $\text{CdTiO}_3$  nanofibers via electrospinning: Characterization and photocatalytic activity [J]. Ceram Intern, 2014, 40: 423-427.
- [13] Sankar G, Roberts M A, Thomas J M, et al. Probing the Structural Changes in the Phase Transitions of a  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  Catalyst: The nature of the intermediate-temperature phase [J]. J Solid State Chem, 1995, 119(1): 210-215.
- [14] Zhao J, Lu Q F, Wang C Q, et al. One-dimensional  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  nanotubes: controllable synthesis by electrospinning and enhanced simulated sunlight photocatalytic degradation performances [J]. J Nanopart Res, 2015, 17: 189-199.
- [15] Mor G K, Prakasam H E, Varghese O K, et al. Vertically oriented Ti-Fe-O nanotube array films: toward a useful material architecture for solar spectrum water photoelectrolysis [J]. Nano Lett, 2007, 7: 2356-2364.
- [16] Yuan B, Wang C H, Qi Y, et al. Decorating hierarchical  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  microspheres with uniformly dispersed ultrafine Ag nanoparticles by an in situ reduction process for enhanced visible light-induced photocatalysis [J]. Colloids Surf A, 2013, 425: 99-107. ■

## 中化蓝天氟橡胶产品荣获国家专利密集型产品认定

近日,国家专利密集型产品备案认定试点平台公布《2024年度专利密集型产品名单》,中化蓝天旗下中昊晨光化工研究院有限公司(以下简称“中昊晨光”)“氟橡胶”成功入选,被认定为“2024年度专利密集型产品”。截至目前,中昊晨光累计获得氟橡胶授权专利 52 件,在此次认定中涉及专利总数 17 项。

中昊晨光始终专注于关键技术自主开发和专利布

局,在氟橡胶特种单体制备技术和能力方面成果显著,突破多项关键技术难题,主持制定我国首部氟橡胶国家标准《氟橡胶通用规范和评价方法》。此外,中昊晨光还率先开展新一代过氧化物硫化氟橡胶研制,实现耐低温型氟醚橡胶、全氟醚橡胶、粘结用氟橡胶等系列高性能氟橡胶的国产化。

(中化蓝天)