

制备方法对 SrTiO₃ 可见光光催化活性的影响

潘烈群¹, 卢晗锋², 殷操¹, 俞河¹, 黄海凤^{1*}

(1. 浙江工业大学生物与环境工程学院 浙江 杭州 310014; 2. 浙江工业大学化学工程与材料科学学院 绿色化学合成技术国家重点实验室培育基地, 浙江 杭州 310014)

摘要: 采用分步沉积法、溶胶-凝胶法和共沉淀法分别制备了 SrTi-F, SrTi-S 和 SrTi-C 三种 SrTiO₃ 复合氧化物, XRD, UV-Vis, BET, SEM, TEM 和 EDX 对样品进行了表征, 并考察了 SrTiO₃ 降解亚甲基蓝的可见光光催化活性。结果表明, SrTi-S 和 SrTi-C 样品表现为纯钙钛矿晶相, SrTi-F 样品除钙钛矿晶相外还掺杂有少量的 Sr₂TiO₄ 杂晶相。光催化活性测试表明, SrTi-F 表现出最高的活性, 其一级反应速率常数是商用 P25 样品的 4.6 倍。杂晶相 Sr₂TiO₄ 的存在有利于 SrTiO₃ 复合氧化物光生电子和空穴的传导, 可提高催化剂光催化活性。

关键词: SrTiO₃; 可见光; 亚甲基蓝; 光催化; 稀土

中图分类号: O643.32 文献标识码: A 文章编号: 1000-4343(2011)03-0284-06

ABO₃ 钙钛矿结构稀土复合氧化物是一类性能优异、应用广泛的新型功能材料, 具有稳定的晶体结构、独特的电磁性能以及很好的氧化还原、氢解、异构化、光催化等活性。人们对其磁性、电导性及催化性能做了较为深入的研究^[1-2]。光催化是钙钛矿催化剂当前的研究热点, 已报道钙钛矿光催化剂有 SrTiO₃, CaTiO₃, ATiO₃ (A = Na, K, Li)^[3-5], 以及层状钙钛矿稀土复合氧化物 K₂La₂Ti₃O₁₀ 等^[6-7], 其中 SrTiO₃ 是一种最具有应用前景的光催化材料。

SrTiO₃ 作为光催化剂在分解水制氢^[8-11]、光降解有机污染物^[12-15] 和光化学电池^[16, 17] 等方面的应用是目前国内外研究热点。但对 SrTiO₃ 的研究主要集中在离子掺杂^[18, 19]、贵金属沉积^[9, 20] 和多种氧化物复合^[10, 11] 等改性上, 并且 SrTiO₃ 光催化剂的合成条件各不相同, 无法在统一的标准下进行比较。而制备方法的不同会直接影响 SrTiO₃ 氧化物的晶相、表面性质和晶粒大小等, 从而影响光生电子和空穴的复合概率和光催化活性。因此, 研究 SrTiO₃ 制备方法有助于加深理解钙钛矿类复合氧化物光催化作用机理, 制备出具有较高可见光活性的催化剂。本文采用分步沉积法、溶胶-凝胶法和共沉淀法三种不同方法制备钙钛矿型 Sr-

TiO₃ 催化剂, 以亚甲基蓝为降解对象, 考察催化剂的光催化活性, 探讨制备方法对 SrTiO₃ 复合氧化物结构和光催化性能的影响。

1 实验

1.1 SrTiO₃ 催化剂制备

1.1.1 分步沉积法 将 6.8 ml 钛酸四丁酯分散于 20 ml 无水乙醇, 搅拌并缓慢滴加去离子水使钛酸四丁酯水解, 得到钛凝胶过滤, 并与预先溶解了 4.2281 g 硝酸锶的 20 ml 溶液混合, 60 °C 旋转蒸干, 放入 110 °C 干燥箱干燥 12 h, 研磨后置于马弗炉中 400 °C 预烧 4 h, 然后于 700 °C 焙烧 4 h, 得到 SrTi-F 样品。

1.1.2 溶胶-凝胶法 取 6.8 ml 钛酸四丁酯溶于 20 ml 无水乙醇中, 配得钛酸四丁酯醇溶液(溶液 A); 将 4.2281 g 硝酸锶溶于 20 ml 水中, 配得硝酸锶溶液(溶液 B); 称取 6.073 g 草酸溶于 40 ml 水中, 配得草酸溶液(溶液 C); 配置 5% 的 PEG-4000 水溶液 20 ml(溶液 D)。将溶液 A 以 1 滴/秒的速度缓慢滴入剧烈搅拌的溶液 B 中, 待混合均匀后向溶液中滴加溶液 C, 直至混合液的 pH = 1.0, 加入溶液 D, 将此前驱物于常温陈化 4 h, 过滤后经去离子水反复洗涤 3 次, 放入 110 °C 干燥 12 h, 研

收稿日期: 2010-12-02; 修订日期: 2011-01-24

基金项目: 浙江省教育厅资助项目(20070312)

作者简介: 潘烈群(1985-), 女, 硕士研究生; 研究方向: 水污染控制

©1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

* 通讯联系人(E-mail: hhf66@zjut.edu.cn)

磨后置于马弗炉中 400 °C 预烧 4 h, 然后于 700 °C 焙烧 4 h, 得到 SrTi-S 样品。

1.1.3 共沉淀法 称取 4.2281 g 硝酸锶溶于 20 ml 水中, 加入 6.8 ml 钛酸四丁酯, 有淡黄色凝固颗粒产生, 然后用氨水调节 pH 到 8.0, 60 °C 旋转蒸干于 110 °C 干燥箱中干燥 12 h, 研磨后放入马弗炉中焙烧, 400 °C 预烧 4 h, 700 °C 焙烧 4 h, 得到 SrTi-C 样品。

1.2 催化剂表征

XRD 采用 ARL SCINTAG X'TRA 型 X 射线衍射仪分析样品的物相, Ni 滤波, 辐射源为 Cu K α , 电压为 45 kV, 电流为 40 mA, 扫描范围 $2\theta = 10^\circ \sim 80^\circ$ 。紫外-可见光漫反射吸收光谱由 Shimadzu UV-2500 光谱仪测试, 以 BaSO₄ 为参比。BET 比表面积用 Micromeritics ASAP 2010C 型吸附仪测定, 样品测定前经 250 °C 脱气处理 4 h。采用 Philips XL-30 扫描电子显微镜进行 SEM 观察, 扫描前进行喷金处理。样品的微观形貌在透射电子显微镜 (JEOLJEM-200CX, 160 kV) 上测定。

1.3 光催化降解反应

光催化降解反应在自制的圆柱形耐热玻璃反应器中进行, 整个反应在暗箱中进行, 排除外界光源的干扰, 如图 1 所示。反应器中心为镝灯 (400 W), 置于 2 mol·L⁻¹ 的亚硝酸钠溶液中。亚硝酸钠溶液作为滤光片将光源散发出的 400 nm 以下的光阻隔, 得到可见光。夹层通循环水控制反应温度, 反应保持在 25 °C。最外面为 1000 ml 的高型烧杯, 催化剂和模拟染料废水 (亚甲基蓝溶液) 注入其中, 磁力搅拌使催化剂与溶液充分混合。实验采用亚甲基蓝作为

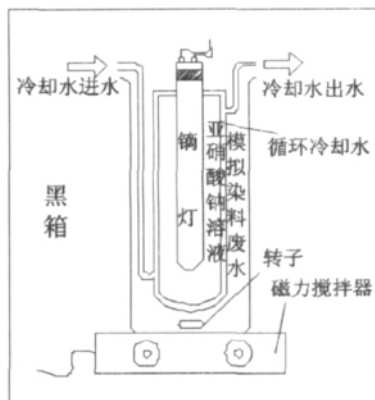


图 1 光催化反应装置图

降解对象。将 500 ml 浓度为 10 mg·L⁻¹ 的亚甲基蓝水溶液注入自制的套层玻璃反应器中, 催化剂用量为 2.0 g·L⁻¹。在磁力搅拌下, 暗吸附 20 min, 打开镝灯 (400 W), 光稳定 10 min 后, 开始计光照反应时间, 每隔一定的时间取样, 用紫外-可见分光光度计 (UV-759S, 上海精密科学仪器有限公司) 在 650 nm 处测其吸光度的变化, 由此计算亚甲基蓝的脱色率。

2 结果与讨论

2.1 催化剂表征

不同方法制备的 SrTiO₃ 催化剂 XRD 如图 2 所示。参照 PDF 卡号 86-0179 可知, SrTi-S 和 SrTi-C 为纯钙钛矿晶相, 而 SrTi-F 则同时含有少量 Sr₂TiO₄ 晶相 (PDF 卡号 39-1471)。在分步沉积制备过程中, 钛酸四丁酯水解形成氢氧化钛的凝胶, 硝酸锶通过旋蒸方式沉积于氢氧化钛颗粒表面, 高温焙烧后硝酸锶和钛凝胶发生分解, Sr 和 Ti 相互作用形成了内核为钙钛矿晶相的 SrTiO₃ 物质, 外部则形成了 Sr 更为丰富的 Sr₂TiO₄ 晶相结构, 得到核壳结构的 SrTiO₃ 复合氧化物。而溶胶-凝胶和共沉淀法的制备过程中 Ti 和 Sr 均为同步生成凝胶或沉淀物, 且相对摩尔比例相同, 得到了单一钙钛矿晶相的 SrTiO₃ 复合氧化物。

表 1 给出了三种样品的 BET 数据, 比表面积由小到大的顺序为: SrTi-C < SrTi-F < SrTi-S, 比表面积最大的是 SrTi-S 样品, 溶胶-凝胶法制备过程

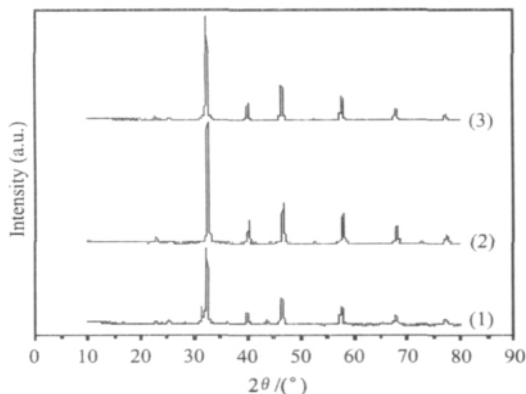


图 2 不同方法制备的 SrTiO₃ 样品的 XRD 谱图

Fig. 2 XRD patterns of SrTiO₃ catalysts prepared by different methods

(1) SrTi-F; (2) SrTi-S; (3) SrTi-C

表 1 样品晶粒大小及比表面积

Table 1 Crystallite size and surface area of samples

| Samples | BET surface | Crystallite | Particle size |
|---------|---|-------------|---------------|
| | area/($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) | size/nm | SEM/nm |
| SrTi-F | 4.0 | 24.4 | 87 |
| SrTi-S | 21.2 | 31.5 | 115 |
| SrTi-C | 1.1 | 30.0 | 154 |

中用无水乙醇作为溶剂,可以控制水解程度,加入聚乙二醇(PEG)起到稳定溶胶以及避免粒子在煅烧过程中出现烧结的作用^[21]。而分步沉积法和共沉淀法制备过程中水解过程迅速完成,水解速度无法控制,从而导致生成颗粒物间容易团聚,比表面积小。

图 3 为 SrTiO₃ 催化剂的 SEM 表征,由图可知,不同制备方法所获得的样品颗粒的大小和均匀性都有明显的差异。SrTi-F 样品颗粒分布最均匀,团聚最小。SrTi-S 和 SrTi-C 样品则分布不均匀,颗粒均出现明显团聚现象,大部分在 3 μm 以上,这与 XRD 的结果是一致的。SrTi-S 样品呈片状,表面粗糙,有规则的团聚成簇,SrTi-C 样品颗粒极不均匀,团聚成不规则块状。从制备过程看,SrTi-F 样品由于生成了硝酸锶包覆的氢氧化钛凝胶,从而使表面羟基不易暴露在外面,在热处理过程中,氢氧化钛直接和硝酸锶发生反应生成 Sr-Ti-O 复合氧化物,而不与周边氢氧化物颗粒相互反应,从而遏制了颗粒的增大。而 SrTi-S 和 SrTi-C 由于在制备过程中同时生成 Sr 和 Ti 的沉淀物,沉淀物表面暴露较多的羟基,在热处理过程中,颗粒之间易发生团聚,形成具有较大尺寸的二次颗粒。

图 4 所示 SrTiO₃ 样品的紫外-可见漫反射光

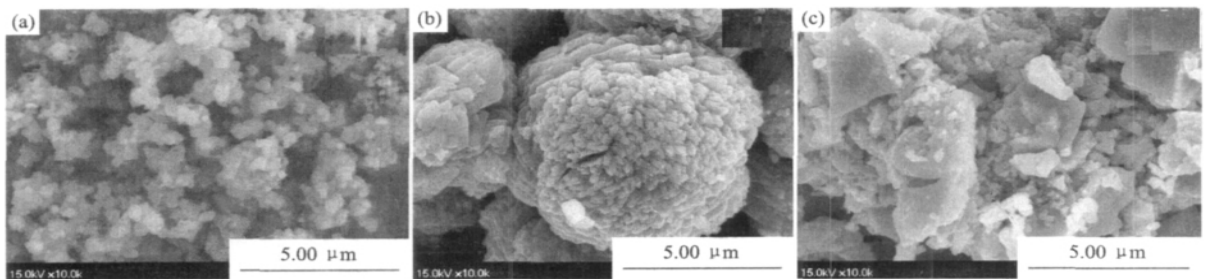
谱。由图 4 可知,三种方法制备的 SrTiO₃ 光催化剂均在 390 nm 光波长左右发生吸收,表明 SrTiO₃ 对可见光吸收较弱。与 SrTi-F 样品相比,SrTi-S 和 SrTi-C 样品的吸收波长均发生了红移,对可见光吸收能力增加,尤其是 SrTi-C 样品的红移最为明显,这表明样品中具有完整的钙钛矿结构更有利于对可见光的吸收。因此,钙钛矿型稀土复合氧化物具有完整的钙钛矿结构对可见光吸收有利。

2.2 光催化降解实验

图 5 和表 2 给出了在可见光照射下各样品的光催化降解亚甲基蓝活性,并以商用光催化剂 Degussa-P25 为参考标准。可以看出,SrTi-F 表现出了最高的光催化活性,其一级反应速率常数达到 0.0319 min^{-1} ,是商用 P25 样品(0.0069 min^{-1})的 4.6 倍。而用溶胶-凝胶法制备的 SrTi-S 和共沉淀法制备的 SrTi-C 光催化活性与 P25 样品相当。

从 UV-Vis 漫反射光谱的表征看,SrTi-F 样品并没有表现出最强的可见光吸收能力,但是其光催化活性最佳。这可能是 SrTi-S 和 SrTi-C 样品的吸收光谱虽然有红移,产生的光生电子数较多,但由于电子与空穴容易复合,导致光催化活性较低。但是,SrTi-F 样品 Sr₂TiO₄ 杂晶相存在使催化剂产生混晶效应^[21],结晶过程中在 SrTiO₃ 表面形成 Sr₂TiO₄ 晶相,通过 Sr₂TiO₄ 晶相有效提高 SrTiO₃ 中电子和空穴的分离效率,光催化活性高。

一般来说,钙钛矿型稀土复合氧化物光催化剂具有较小的晶粒及较大的比表面积,对光催化反应有利。而从 BET 表征结果看,SrTi-S 样品具有最大的比表面积,是 SrTi-F 样品的 5 倍多,但其一级反应速率常数仅为 SrTi-F 样品的 1/5.5。这可能是 SrTi-F 样品中表面掺杂少量的 Sr₂TiO₄ 杂晶相,

图 3 3 种不同方法制备的 SrTiO₃ 催化剂的 SEM 像Fig. 3 SEM images of SrTiO₃ catalysts prepared by different methods

(a) SrTi-F; (b) SrTi-S; (c) SrTi-C

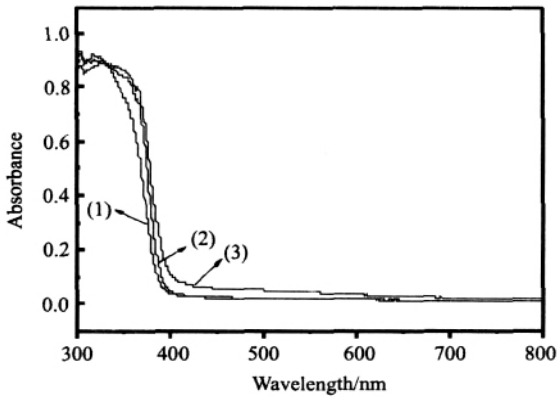


图4 不同方法制备的 SrTiO₃ 的紫外-可见漫反射光谱
Fig. 4 UV-Vis diffuse reflection spectra of SrTiO₃ catalysts prepared by different methods

(1) SrTi-F; (2) SrTi-S; (3) SrTi-C

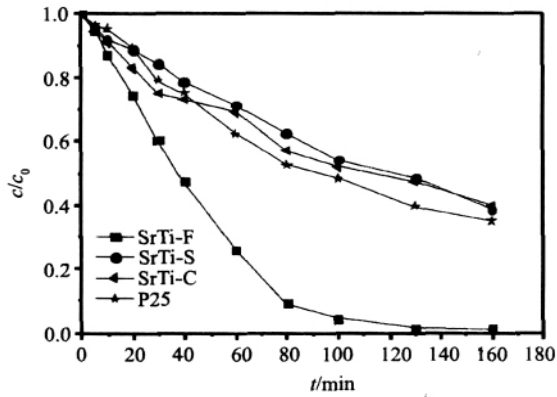


图5 不同方法制备的 SrTiO₃ 对亚甲基蓝的降解作用
Fig. 5 Decolorization ration of methylene blue by SrTiO₃ catalysts prepared by different methods
P25: commercial TiO₂ from Degussa Company; c_0 : initial methylene blue concentration (10 mg·L⁻¹)

表2 样品光催化降解亚甲基蓝一级反应速率数据

Table 2 Photocatalytic activities of the samples for the photodegradation of methylene blue

| Samples | $k/$ min^{-1} | Initial reaction rate/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$ | Surface area/ $(\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1})$ | Initial area rate/ $(\mu\text{mol}\cdot$ $\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2})$ |
|---------|---------------------------|--|--|---|
| P25 | 0.0069 | 0.1845 | 51 | 0.0036 |
| SrTi-F | 0.0319 | 0.8532 | 4.0 | 0.2133 |
| SrTi-S | 0.0058 | 0.1551 | 21.2 | 0.0073 |
| SrTi-C | 0.0053 | 0.1417 | 1.1 | 0.1288 |

由文献[22]可知,有电子掺杂的 Sr₂TiO₄ 具有良好的电导性,导致 Sr₂TiO₄ 成为很好的电子转移层,在光催化过程中, SrTiO₃ 受光照射产生的电子

很快转移到 Sr₂TiO₄ 表面,有效降低了电子与空穴的复合几率,从 XRD 表征也可看出, SrTi-F 样品具有内核为 SrTiO₃ 钙钛矿、外壳为 Sr₂TiO₄ 晶相的核壳结构,能促进 SrTiO₃ 晶相中光生电子与空穴的传输。

2.3 SrTi-F 样品的微观结构分析

图6为 SrTi-F 样品的 TEM 图像和 EDX 图,从 TEM 图可以看出, SrTi-F 样品存在两种物质的形貌,表明该样品中同时存在 SrTiO₃ 钙钛矿晶相和杂晶相。又从 EDX 图可以看出 O 和 Sr 的含量明显高于 Ti,说明杂晶相为 SrO 和 SrTiO₃ 的合成物质,即 Sr₂TiO₄,与 XRD 表征结果也是一致的。由此,我们认为 SrTi-F 样品表面存在 Sr₂TiO₄ 杂晶相。

因此,催化剂活性不仅取决于催化剂的比表面积,也取决于催化剂的晶相结构,有效的杂晶有利于增加催化剂表面可利用的活性位数目,对光催化效率有很大提高。

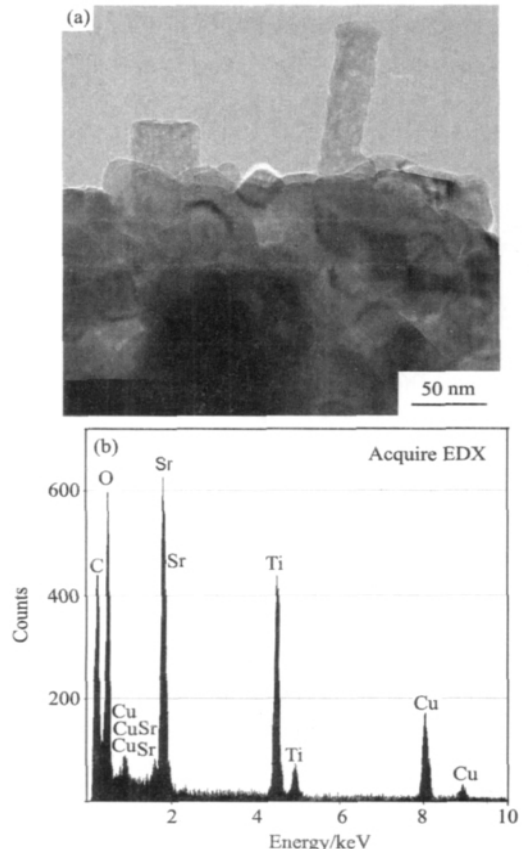


图6 SrTi-F 催化剂的 TEM 像 (a) 和 EDX 图 (b)
Fig. 6 TEM image (a) and EDX (b) of SrTi-F catalyst

3 结 论

1. 分步沉积法制备的 SrTi-F 催化剂具有最高的催化活性,其一级反应速率常数达到 0.0319 min^{-1} ,比同样条件下商用 P25 样品(0.0069 min^{-1})提高了 4.6 倍。而用溶胶-凝胶法制备的 SrTi-S 和共沉淀法制备的 SrTi-C 光催化活性与 P25 样品相当。

2. 从光催化降解效果看,催化剂比表面大小与光催化活性、光生电子-空穴的复合速率并没有明显的对应关系, SrTiO₃ 催化剂中存在的 Sr₂TiO₄ 杂晶相,对光催化剂的活性有很大的影响。这一结论为 ABO₃ 钙钛矿型稀土复合氧化物在光催化降解有机物方面的进一步研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] Kurokawa H, Yang L M, Jacobson C P, Jacobson C P, De Jonghe L C, Visco S J. Y-doped SrTiO₃ based sulfur tolerant anode for solid oxide fuel cells [J]. *J. Power Sources*, 2007, 164(2): 510.
- [2] 黄海凤,唐伟,陈银飞,陈碧芬. 纳米晶粒钙钛矿型 La_{1-x}Sr_xCoO₃ 催化剂的制备及其对 VOCS 催化燃烧的研究 [J]. *分子催化*, 2005, 19(5): 351.
Huang H F, Tang W, Chen Y F, Chen B F. Preparation of Ultra-fine La_{1-x}Sr_xCoO₃ perovskite catalyst and the study of combustion in VOCs [J]. *Journal of Molecular Catalysis*, 2005, 19(5): 351.
- [3] Demydov D, Klabunde K J. Characterization of mixed metal oxides (SrTiO₃ and BaTiO₃) synthesized by a modified aerogel procedure [J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2004, 350: 165.
- [4] Mizoguchi H, Ueda K, Orita M, Moon S C, Kajihara K, Hirano M, Hosono H. Decomposition of water by a CaTiO₃ photocatalyst under UV light irradiation [J]. *Mater. Res. Bull.*, 2002, 37(15): 2401.
- [5] Kudo A. Development of photocatalyst materials for water splitting [J]. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2006, 31(2): 197.
- [6] 魏胜林,吴季怀,黄均昉,范乐庆,林建明,黄妙良,蔡坤荣. 钒掺杂改性层状钙钛矿 K₂La₂Ti₃O₁₀ 的光催化性能 [J]. *华侨大学学报(自然科学版)*, 2008, 29(4): 545.
Wei S L, Wu J H, Huang Y F, Fan L Q, Lin J M, Huang M L, Cai K R. Study on photocatalytic property of layered perovskite-type photocatalyst K₂La₂Ti₃O₁₀ doping with V⁽⁵⁺⁾ ion [J]. *Journal of Huaqiao University (Natural Science)*, 2008, 29(4): 545.
- [7] Huang Y, Wei Y, Cheng S, Fan L, Li Y, Lin J, Wu J. Photocatalytic property of nitrogen-doped layered perovskite K₂La₂Ti₃O₁₀ [J]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2010, 94(5): 761.
- [8] Luo W J, Li Z S, Jiang X J, Yu T, Liu L F, Chen X Y, Ye J H, Zou Z G. Correlation between the band positions of (SrTiO₃)_{1-x}(LaTiO₂N)_x solid solutions and photocatalytic properties under visible light irradiation [J]. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2008, 10: 6717.
- [9] Puangpetch T, Sreethawong T, Chavadej S. Hydrogen production over metal-loaded mesoporous-assembled SrTiO₃ nanocrystal photocatalysts: Effects of metal type and loading [J]. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2010, 35: 6531.
- [10] Yan J H, Zhu Y R, Tang Y G, Zheng S Q. Nitrogen-doped SrTiO₃/TiO₂ composite photocatalysts for hydrogen production under visible light irradiation [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2009, 472: 429.
- [11] Boumaza S, Boudjema A, Bouguelia A, Bouarab R, Trari M. Visible light induced hydrogen evolution on new hetero-system Zn-Fe₂O₄/SrTiO₃ [J]. *Applied Energy*, 2010, 87: 2230.
- [12] Chang C A, Ray B, Paul D K, Demydov D, Klabunde K J. Photocatalytic reaction of acetaldehyde over SrTiO₃ nanoparticles [J]. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2008, 281: 99.
- [13] Wang D, Kako T, Ye J. New Series of solid-solution semiconductors (AgNbO₃)_{1-x}(SrTiO₃)_x with modulated band structure and enhanced visible-light photocatalytic activity [J]. *J. Phys. Chem. C*, 2009, 113: 3785.
- [14] Chen L, Zhang S C, Wang L Q, Xue D F, Yin S. Preparation and photocatalytic properties of strontium titanate powders via sol-gel process [J]. *Journal of Crystal Growth*, 2009, 311: 746.
- [15] Tsumura T, Sogabe K, Toyoda M. Preparation of SrTiO₃-supported TiO₂ photocatalyst [J]. *Materials Science and Engineering B*, 2009, 157: 113.
- [16] Bhardwaj A, Burbure N V, Gamalski A, Rohrer G S. Composition dependence of the photochemical reduction of Ag by Ba_{1-x}Sr_xTiO₃ [J]. *Chem. Mater.*, 2010, 22: 3527.
- [17] Zhang J, Bang J H, Tang C C, Kamat P V. Tailored TiO₂-SrTiO₃ heterostructure nanotube arrays for improved photoelectrochemical performance [J]. *American Chem. Society*, 2010, 4(1): 387.
- [18] Onishi T. The theoretical study on the bandgap change in the nitrogen-doped perovskite-type titanium oxide of SrTiO₃ [J]. *Top Catal.*, 2010, 53: 566.
- [19] Galinetto P, Casiraghi A, Mozzati M C, Azzoni C B, Norton D, Boatner L A, Trepakov V. Magnetic and structural studies in Co- and Mn-implanted SrTiO₃ single crystals [J]. *Ferroelectrics*, 2008, 368(1): 120.
- [20] Wei W, Dai Y, Guo M, Zhu Y Z, Huang B B. Density functional theory study of Ag adsorption on SrTiO₃(001) surface [J]. *J. Phys. Chem. C*, 2010, 114: 10917.

[21] 刘守新, 刘 鸿. 光催化及光电催化基础与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. 121.
Liu S X, Liu H. Foundation and Application of Photocatalysis and Photoelectrocatalysis [M]. Beijing: Beijing Chemical Industry Press, 2006. 121.

[22] Lee K H, Ishizaki A, Kim S W, Ohta H, Koumoto K. Preparation and thermoelectric properties of heavily Nb-doped SrO (SrTiO₃) epitaxial films [J]. J. Appl. Phys., 2007, 102 (3): 033702.

Effects of Preparation Methods on Photocatalytic Activity of SrTiO₃ under Visible Light Irradiation

Pan Liequn¹, Lu Hanfeng², Yin Cao¹, Yu He¹, Huang Haifeng^{1*} (1. College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base of Green Chemistry-Synthesis Technology, College of Chemical Engineering and Materials Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The SrTiO₃ powders (SrTi-F, SrTi-S and SrTi-C) were prepared by three methods: fractional-precipitation, sol-gel and coprecipitation. The samples obtained were characterized by UV-Vis spectroscopy, XRD, BET, SEM, TEM and EDX. The photocatalytic activity of degrading methylene blue was also studied under visible light. The results showed that SrTi-S and SrTi-C exhibited perovskite phase. Besides per-

ovskite phase, SrTi-F showed Sr₂TiO₄ crystalloid. The photocatalytic activity tests showed that the first-order reaction rate constants were 4.6 times higher than Degussa-P25 photocatalyst. The existence of impurity-crystalloid Sr₂TiO₄ was good for the conduction of electrons and holes, and improved the photocatalytic activity of SrTiO₃.

Key words: SrTiO₃; visible light; methylene blue; photocatalysis; rare earths