

[Article]

www.whxb.pku.edu.cn

## 海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜的制备及其光催化活性

王梦晔 王成林 谢鲲鹏 孙 岚\* 林昌健

(厦门大学化学化工学院化学系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 采用电化学阳极氧化法在钛表面构筑了海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜. 应用扫描电子显微镜(SEM) 和 X 射线衍射(XRD)对膜层的形貌和晶型进行了分析和表征, 考察了阳极氧化时间对膜层厚度的影响, 并通过海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜对甲基橙的光催化降解研究了膜层厚度与光催化活性的关系. 结果表明, 海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜对甲基橙具有光催化降解作用, 而且随着膜层厚度的增加, 光催化降解速率显著增大, 厚度为 2.2 μm 的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜对甲基橙的光催化降解速率是厚度为 480 nm 的 6.4 倍.

**关键词:** 阳极氧化; 光催化活性; 海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜

**中图分类号:** O643

## Fabrication of a Spongelike Nanostructured TiO<sub>2</sub> Film and Its Photocatalytic Activity

WANG Meng-Ye WANG Cheng-Lin XIE Kun-Peng SUN Lan\* LIN Chang-Jian

*(Department of Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China)*

**Abstract:** A spongelike nanostructured titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) film was fabricated on a titanium substrate by electrochemical anodic oxidation. Scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) experiments were performed to characterize the morphology and crystalline phase of the spongelike nanostructured TiO<sub>2</sub> films. The effect of anodizing time on the thickness of the layers was examined. The relationship between the thickness of the spongelike nanostructured TiO<sub>2</sub> film and its photocatalytic activity was investigated by the degradation of methyl orange solution. Results showed that the spongelike nanostructured TiO<sub>2</sub> film had a high photocatalytic activity. The photocatalytic degradation rate of a methyl orange solution increased with the film thickness. The photocatalytic degradation rate by the spongelike nanostructured TiO<sub>2</sub> film with a thickness of 2.2 μm was 6.4 times as large as that by the spongelike nanostructured TiO<sub>2</sub> film with a thickness of 480 nm.

**Key Words:** Anodic oxidation; Photocatalytic activity; Spongelike nanostructured TiO<sub>2</sub> film

二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)是一种重要的、具有多重功能的半导体材料, 在传感器、介电材料、自清洁材料、太阳能电池、光催化降解污染物等高科技领域有着重要的应用前景. 采用电化学阳极氧化法制得的 TiO<sub>2</sub> 纳米管阵列由于具有独特的结构与优异的性能, 近年

来已成为国内外竞相研究的热点之一<sup>[1-4]</sup>, 研究者们已经在氢氟酸体系<sup>[5-8]</sup>、氟化物体系<sup>[9-12]</sup>、含水有机体系<sup>[13-15]</sup>及非水体系<sup>[16,17]</sup>的电解液中利用阳极氧化法成功地制得了多种 TiO<sub>2</sub> 纳米管阵列, 通过改变阳极氧化电压、电解液组成、电解液 pH 值和阳极氧化时

Received: July 1, 2009; Revised: September 11, 2009; Published on Web: October 14, 2009.

\*Corresponding author. Email: sunlan@xmu.edu.cn; Tel: +86-592-2184655.

The project was supported by the Natural Science Foundation of Fujian Province, China (U0750015), Technical Programs of Fujian Province (2007H0031) and Xiamen City, China (3502Z20073004), and National Found for Fostering Talents of Basic Science, China (J0630429).

福建省自然科学基金(U0750015), 福建省科技计划重点课题(2007H0031), 厦门市科技计划(3502Z20073004)和国家基础科学人才培养基金(J0630429)资助项目

© Editorial office of Acta Physico-Chimica Sinica

间可以控制纳米管的管径、管长以及壁厚<sup>[8,18-21]</sup>,从而获得管长 0.2–1000  $\mu\text{m}$ 、管径 20–200 nm、壁厚 10–70 nm 的  $\text{TiO}_2$  纳米管阵列. 本课题组研究了金属 Ti 在 0.5%(w)HF 电解液中的阳极氧化性能,发现通过控制阳极氧化电压可以获得具有纳米孔、纳米管和无序海绵状纳米结构的三种  $\text{TiO}_2$  膜层<sup>[22]</sup>,其中海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜经氟硅烷修饰后表面具有超高的疏水性和对水滴的超低粘滞力<sup>[23]</sup>,可应用于微流体无损传输、自清洁表面、粘滞带以及高抗凝生物材料等高科技领域. 然而,在酸性体系中,由于化学溶解速率较大,致使氧化物的溶解速率与  $\text{TiO}_2$  阻挡层的生成速率在短时间内达到平衡<sup>[5]</sup>,因而,采用这一体系制备的海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的厚度是有限的(约 500 nm)<sup>[22,23]</sup>. Dittrich 等<sup>[24]</sup>在 0.2 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{NH}_4\text{F}$  溶液中,在 60 V 电压下阳极氧化制备了海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜,研究了其光伏特性; Hwang 等<sup>[25]</sup>在 1 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$ +0.25% HF 的电解液中 40 V 电压下阳极氧化得到了海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜. 然而这些报导并未对海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的膜厚、结构和形成过程进行系统分析. 此外,我们在对  $\text{TiO}_2$  纳米管阵列膜层厚度对其光催化活性影响的研究中发现<sup>[26]</sup>,甲基橙溶液的光催化降解速率随着纳米管阵列膜厚的增加而增加,当膜厚大于 2.5  $\mu\text{m}$  时,光催化降解速率变化不大,而对海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的光催化性能的研究未见报道. 因此,若能增加海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜层的厚度,并对其光催化性能进行研究,有望开发其在光催化降解有机污染物领域的应用.

本文采用阳极氧化法以 0.3%(w) $\text{NH}_4\text{F}$ +0.2%(w) $\text{H}_2\text{O}_2$  的乙二醇溶液为电解液,在纯 Ti 表面制备海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜,考察阳极氧化时间对海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜层厚度的影响. 利用扫描电子显微镜(SEM)和 X 射线衍射(XRD)对海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的形貌和结构进行表征. 以甲基橙为目标污染物,考察海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的光催化活性,并研究膜层厚度对光催化活性的影响.

## 1 实验部分

### 1.1 纳米结构 $\text{TiO}_2$ 膜层的制备

工业纯 Ti 板(纯度>99%)由福建冶金工业研究所提供. 所用试剂  $\text{NH}_4\text{F}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ (w, 下同 30%)和 HF(40%)均为分析纯,且均为国药集团化学试剂有限公司生产.

将 Ti 板用水磨砂纸逐级打磨至表面无划痕,然后依次用丙酮、无水乙醇、去离子水超声清洗. 以 Ti 板为阳极,铂片为阴极,分别在 0.3%  $\text{NH}_4\text{F}$ +0.2%  $\text{H}_2\text{O}_2$  的乙二醇溶液和 0.5% HF 的水溶液两种电解液体系中 50 V 电压下于室温进行电化学阳极氧化. 反应结束后,将制得的样品用大量去离子水冲洗,干燥后放入马弗炉中 500  $^\circ\text{C}$  热处理 2 h.

### 1.2 纳米结构 $\text{TiO}_2$ 膜层的表征

应用德国里奥公司生产的 LEO 1530 场发射高倍电子扫描电镜(SEM)对海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的形貌进行表征. 使用荷兰 Philips 公司生产的 Panalytical X'pert 衍射仪测定  $\text{TiO}_2$  膜层的晶体结构. 用数字万用表记录阳极氧化过程中每个时刻的电流值.

### 1.3 光催化分析方法和实验过程

应用日本岛津公司生产的 UV-2100 型紫外-可见分光光度计测定光催化过程中甲基橙的吸光度变化,确定当 pH=3 时,甲基橙水溶液在波长为 508 nm 下的吸光度(A)与溶液浓度(c)有良好的线性关系( $A=0.12337c+0.02022$ ). 光催化实验在自制的石英双层夹套反应装置中进行,采用 200 W 高压汞灯(特征波长为 365 nm)为紫外光源. 具体过程为:将经过热处理的样品(10 mm×10 mm)于暗态下在 20 mL, 20 mg·L<sup>-1</sup> 甲基橙水溶液中浸泡 1 h,并持续通入纯净空气,以使样品与甲基橙溶液之间达到吸、脱附平衡. 在光照的同时开始计时,测定溶液吸光度随时间的变化,以此计算甲基橙溶液的残余浓度. 根据一级动力学公式  $\ln(c_0/c_t)=kt$ (其中  $c_0$ 、 $c_t$  分别为起始和光照  $t$  时间后溶液的浓度),线性拟合实验数据,可求出光催化降解的表观反应速率常数  $k$ ,用以判断和比较催化剂的光催化活性.

## 2 结果与讨论

### 2.1 海绵状纳米结构 $\text{TiO}_2$ 膜的形貌表征

图 1(a)为纯 Ti 在 0.3%  $\text{NH}_4\text{F}$ +0.2%  $\text{H}_2\text{O}_2$  电解液中 50 V 电压下阳极氧化 5 h 制备的  $\text{TiO}_2$  膜层的 SEM 图. 可以看出,  $\text{TiO}_2$  膜层表面为均匀的海绵状纳米结构. 从其侧面图中(图 1(b))可以看出,海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜层的平均厚度约 2.2  $\mu\text{m}$ . 其底部 SEM 图(图 1(e))显示,  $\text{TiO}_2$  膜层底部是一层薄而致密的阻挡层,阻挡层上部为均匀分布的、海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜层,阻挡层把 Ti 基体和海绵状纳米结构隔开,构成海绵状纳米膜层/阻挡层/基体钛三层

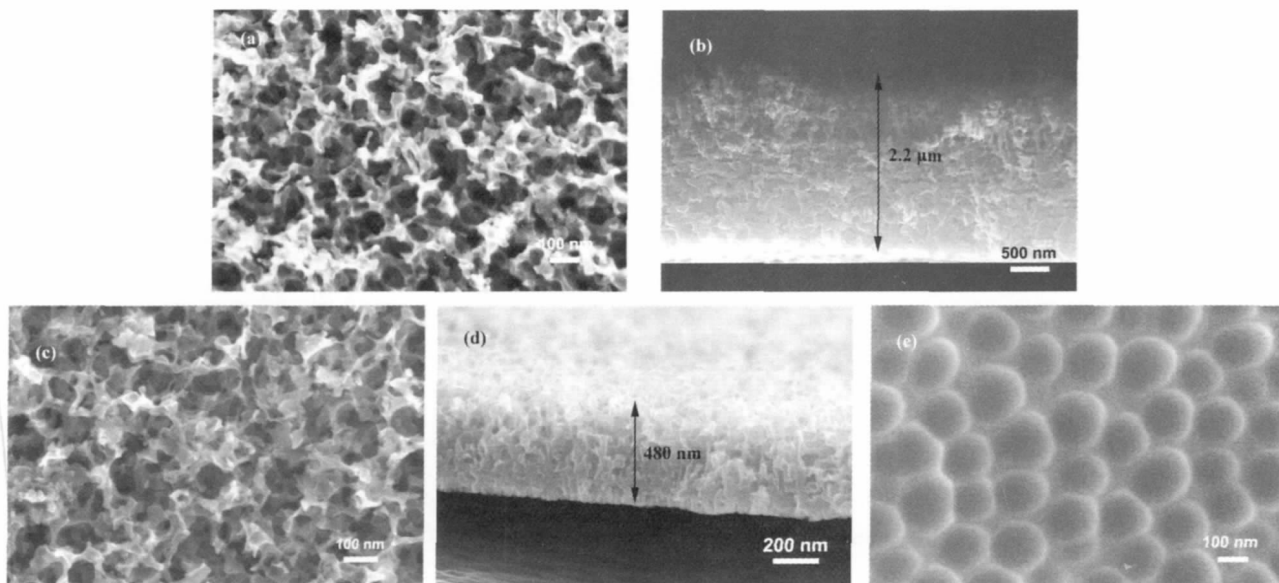


图1 分别在 0.3% NH<sub>4</sub>F+0.2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(a, b, e)和 0.5% HF(c, d)两种电解液中制得的 TiO<sub>2</sub> 膜层的 SEM 图  
Fig.1 SEM images of nanostructured TiO<sub>2</sub> films prepared in 0.3% NH<sub>4</sub>F+0.2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (a, b, e) electrolyte and 0.5% HF (c, d) electrolyte

(a, c) top view; (b, d) cross-sectional view; (e) bottom view

结构. 这种形貌的 TiO<sub>2</sub> 也可通过 Ti 在 0.5% HF 电解液中 50 V 电压下阳极氧化 20 min 获得<sup>[24]</sup>. 图 1(c, d)分别为 0.5% HF 电解液中制得的 TiO<sub>2</sub> 膜层的正面和侧面图. 可以看出, 膜层表面为均匀的海绵状纳米结构, 膜层的平均厚度约 480 nm.

## 2.2 海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜层的形成机理分析

为了进一步弄清 Ti 板阳极氧化期间海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜的形成机理, 测试了 Ti 电极在 0.3% NH<sub>4</sub>F+0.2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 电解液中 50 V 电压下阳极氧化的瞬时电流曲线. 如图 2 所示, 瞬态电流的变化趋势与 Ti 箔在含有 HF 的电解液中阳极氧化形成 TiO<sub>2</sub> 纳米管阵列的情况<sup>[18,27]</sup>相似. 这意味着与 TiO<sub>2</sub> 纳米管阵列的形成过程相同, 海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜的形成也经历了三个过程, 即氧化钛阻挡层的形成、氧化层的化学溶解以及形成和溶解的平衡. 其反应可由以下三个反应式表示:



在氧化的最初阶段, 即阻挡层形成阶段, 金属 Ti 在电解液中快速阳极溶解, 产生大量的 Ti<sup>4+</sup>离子(反应式(1)), 电解液中的含氧离子(O<sup>2-</sup>/OH<sup>-</sup>)直接与 Ti<sup>4+</sup>相互作用<sup>[28]</sup>, 致使电流非常大. 随着 Ti 表面氧化层的形成(反应式(2)), 导致电阻增大, 电流密度急剧降低, 这是因为在电场作用下含氧离子(O<sup>2-</sup>/OH<sup>-</sup>)要通

过阻挡层才能达到阻挡层-金属界面与 Ti<sup>4+</sup>反应<sup>[28]</sup>. 在氧化的第二阶段, 即海绵状纳米结构层的初始形成阶段, 在场助溶解效应和电解液对 TiO<sub>2</sub> 的化学溶解(反应式(3))的共同作用下, 阻挡层的表面溶解出最初的小坑, 并且随着氧化时间的增加, 小坑的数目和尺寸也在不断地增加, 最后扩大为孔, 在小坑逐渐转变为孔的过程中, 相同电场强度下, Ti<sup>4+</sup>可较容易地穿过阻挡层与 Ti<sup>4+</sup>结合生成新的阻挡层, 因此这个阶段电流开始逐渐回升. 高电压导致氧化物/电解液界面处的氧化物产生场助化学溶解<sup>[18]</sup>, 管状结构难以形成. 此外由于击穿作用, 在已存在的孔内又有

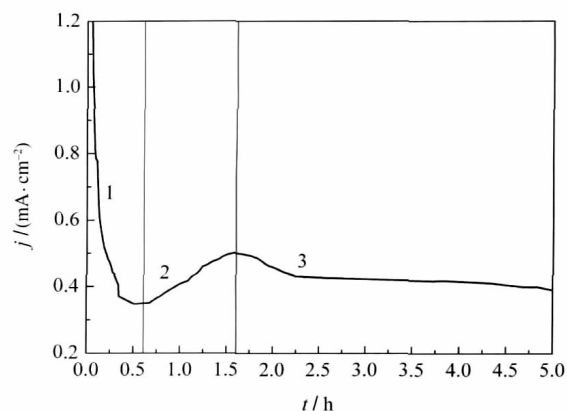


图2 Ti 阳极氧化过程中的瞬时电流-时间响应  
Fig.2 Transient current-time response during the anodization of a titanium electrode  
1, 2, 3 represent Eqs.(1), (2), (3) reactive processes, respectively.

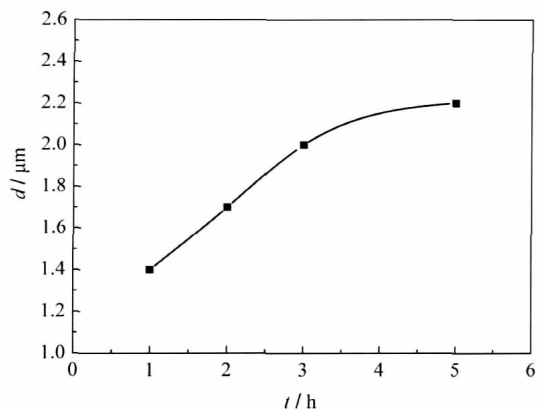


图3 海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜层的厚度与阳极氧化时间的关系

Fig.3 Thickness of the spongelike nanostructured  $\text{TiO}_2$  films as a function of the anodization time

蚀孔形成, 从而形成海绵状纳米结构膜. 在氧化的第三个阶段, 即海绵状膜层的稳定生长阶段, 电流完全由发生在阻挡层两侧的离子迁移提供, 从而形成相对稳定的电流. 由上述分析可以确定金属 Ti 表面阳极氧化形成海绵状  $\text{TiO}_2$  膜的结构可分为三层: 最上面的是海绵状纳米结构氧化钛层, 海绵状结构层的底部是氧化钛阻挡层, 接着是没有氧化的金属钛基底. 这与 SEM 得到的结果(图 1)相一致.

阳极氧化时间对海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的形貌几乎没有影响, 但与膜层的厚度有很大的关系. 图 3 为 50 V 电压下, 在 0.3%  $\text{NH}_4\text{F}+0.2\%$   $\text{H}_2\text{O}_2$  电解液中阳极氧化获得的海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜层的厚度与阳极氧化时间的关系曲线. 阳极氧化 1 h 时, 膜层的平均厚度为 1.4  $\mu\text{m}$ ; 阳极氧化 3 h 之后, 膜厚的增加有所减缓; 阳极氧化 5 h 时, 平均膜厚达 2.2  $\mu\text{m}$ . 进一步延长阳极氧化时间, 膜层的厚度无明显增加. 可以看出, 膜厚与氧化时间呈现抛物线的关系, 这与纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的生长机理有关, 当膜层表面/电解液界面处的  $\text{TiO}_2$  的化学溶解速率与膜层底部金属/氧化物界面向金属 Ti 基底推进速率相当时, 膜层的厚度将保持不变<sup>[9]</sup>.

### 2.3 海绵状纳米结构 $\text{TiO}_2$ 膜的 XRD 分析

图 4 为未经热处理的样品和不同电解液中制备的样品 500  $^\circ\text{C}$  热处理后的 X 射线衍射图. 未经热处理的样品只出现 Ti 基底的衍射峰, 表明膜层为无定型的  $\text{TiO}_2$ . 样品经热处理后, 谱图出现锐钛矿(101)、(200)和(105)晶面(JCPDS No.21-1272)的特征峰, 即无定型的  $\text{TiO}_2$  已转变为锐钛矿相  $\text{TiO}_2$ .

### 2.4 海绵状纳米结构 $\text{TiO}_2$ 膜的光催化性能

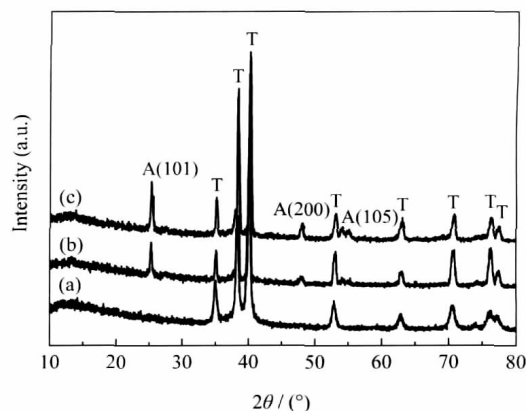


图4 Ti 表面海绵状  $\text{TiO}_2$  纳米结构膜的 X 射线衍射谱  
Fig.4 XRD patterns of spongelike nanostructured  $\text{TiO}_2$  films on Ti surface

(a) no annealed; (b) 500  $^\circ\text{C}$ , 0.5% HF; (c) 500  $^\circ\text{C}$ , 0.3%  $\text{NH}_4\text{F}+0.2\%$   $\text{H}_2\text{O}_2$ ; A: anatase; T: titanium

为了考察海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的光催化性能, 选择甲基橙为目标污染物, 在紫外光照下进行光催化降解实验. 以在 0.3%  $\text{NH}_4\text{F}+0.2\%$   $\text{H}_2\text{O}_2$  电解液中阳极氧化 5 h 制得的海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜作为催化剂, 甲基橙溶液光催化降解过程中吸收光谱随光照时间的变化如图 5 所示. 可以看出, 在暗态下持续搅拌吸附 1 h 后, 甲基橙溶液在其最大吸收峰 508 nm 处的吸收大幅降低. 这表明海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜由于具有大的比表面积而对染料具有很强的吸附能力. 在紫外光照射下, 甲基橙溶液在 508 nm 处的吸收峰值随光照时间的增加而显著降低. 光照 40 min 后, 400–600 nm 范围内的吸光度曲线已基本呈水平线, 这表明甲基橙溶液的脱色率已达 99%, 几乎完全降解.

海绵状纳米结构  $\text{TiO}_2$  膜的光催化性能与其膜

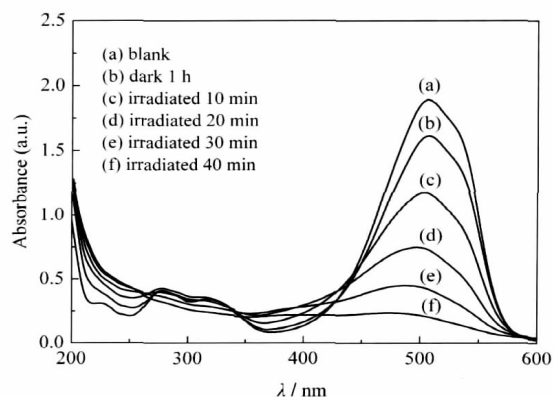


图5 光催化降解过程中甲基橙水溶液吸收光谱的变化  
Fig.5 Changes in absorption spectra during the photodegradation of methyl orange solution

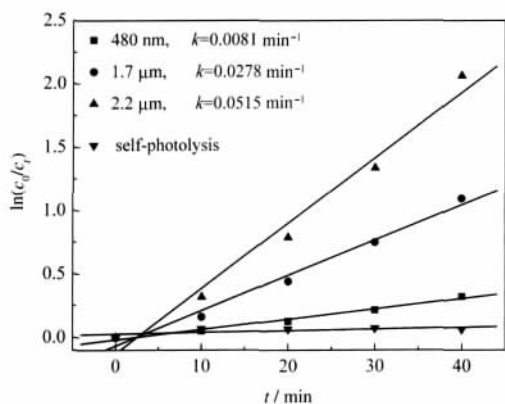


图6 厚度不同的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜对甲基橙溶液的光催化降解速率(k)

Fig.6 Photocatalytic degradation rates (k) of methyl orange by spongelike nanostructured TiO<sub>2</sub> films with different thickness

层厚度有着密切的关系. 图6为膜厚分别为480 nm、1.7 μm和2.2 μm的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜光催化降解甲基橙的  $\ln(c_0/c_1)-t$  关系图. 从图中可明显地看出, 海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜光催化降解甲基橙的反应符合一级反应动力学. 在没有 TiO<sub>2</sub> 光催化剂的情况下, 甲基橙溶液在高压汞灯照射下不能够降解; 当海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜作为光催化剂时, 甲基橙的光催化降解速率随着膜层厚度的增加而显著提高. 根据公式  $\ln(c_0/c_1)=kt$  线性拟合实验数据, 可求出膜厚分别为480 nm、1.7 μm和2.2 μm的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜光催化降解甲基橙的表观速率常数  $k$  分别为0.0081、0.0278和0.0515 min<sup>-1</sup>. 结果表明, 与 TiO<sub>2</sub> 纳米管阵列膜一样, 海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜也具有优异的光催化性能, 而且随着膜层厚度的增加, 光催化降解速率明显增大, 0.3% NH<sub>4</sub>F+0.2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 电解液中阳极氧化5 h 制备的海绵状 TiO<sub>2</sub> 纳米结构膜的光催化效率是0.5% HF 电解液中制备的海绵状 TiO<sub>2</sub> 纳米结构膜的6.4倍. 其原因在于海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 纳米管阵列一样, 随着膜厚的增加, 膜层与溶液的接触面积增大, 有机污染物、水分子或溶解氧的吸附量增加, 光生载流子可快速地传递和转移到表面吸附物种<sup>[20]</sup>, 有利于光生电子-空穴对的分离, 提高参与固/液界面光催化化学反应的几率, 从而表现出良好的光催化活性.

### 3 结论

在0.3% NH<sub>4</sub>F+0.2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的乙二醇溶液中采用电化学阳极氧化法, 在纯 Ti 基底表面制备了厚度达

2.2 μm 的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜. 金属 Ti 表面阳极氧化形成的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜呈三层结构: 最上面是海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 层, 其底部是致密的氧化钛阻挡层, 基底是金属 Ti. 经热处理后具有锐钛矿晶型的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜对甲基橙光催化降解反应具有优异的光催化性能, 且随着膜层厚度的增加, 光催化活性显著增加. 在0.3% NH<sub>4</sub>F+0.2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液中, 阳极氧化5 h 制得的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜(平均厚度为2.2 μm)表现出最高的光催化活性, 其对甲基橙的光催化降解速率是0.5% HF 电解液中制得的海绵状纳米结构 TiO<sub>2</sub> 膜(平均厚度为480 nm)的6.4倍.

### References

- Mor, G. K.; Varghese, O. K.; Paulose, M.; Shankar, K.; Grimes, C. A. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **2006**, *90*: 2011
- Macak, J. M.; Tsuchiya, H.; Ghicov, A.; Yasuda, K.; Hahn, R.; Bauer, S.; Schmuki, P. *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, **2007**, *11*: 3
- Ghicov, A.; Schmuki, P. *Chem. Commun.*, **2009**: 2791
- Liu, J.; Cao, G.; Yang, Z.; Wang, D.; Dubois, D.; Zhou, X.; Graff, G. L.; Pederson, L. R.; Zhang, J. G. *ChemSusChem*, **2008**, *1*: 676
- Gong, D.; Grimes, C. A.; Varghese, O. K. J.; Hu, W. C.; Singh, R. S.; Chen, Z.; Dickey, E. C. *J. Mater. Res.*, **2001**, *16*(12): 3331
- Beranek, R.; Hildebrand, H.; Schmuki, P. *Electrochem. Solid State Lett.*, **2003**, *6*(3): B12
- Ruan, C.; Paulose, M.; Varghese, O. K.; Grimes, C. A. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **2006**, *90*: 1283
- Bauer, S.; Kleber, S.; Schmuki, P. *Electrochem. Commun.*, **2006**, *8*(3): 1321
- Macak, J. M.; Tsuchiya, H.; Schmuki, P. *Electrochim. Acta*, **2005**, *50*(18): 3679
- Macak, J. M.; Tsuchiya, H.; Schmuki, P. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2005**, *44*(14): 2100
- Paulose, M.; Mor, G. K.; Varghese, O. K.; Shankar, K.; Grimes, C. A. *J. Photochem. Photobiol. A-Chem.*, **2006**, *178*(1): 8
- Kim, H. J.; Lee, K. H. *Electrochem. Solid State Lett.*, **2009**, *12*(3): C10
- Macak, J. M.; Tsuchiya, H.; Taveiral, L.; Aldabergerova, S.; Schmuki, P. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2005**, *44*(45): 7463
- Paulose, M.; Shankar, K.; Yoriya, S.; Prakasam, H. E.; Varghese, O. K.; Mor, G. K.; Latempa, T. A.; Fitzgerald, A.; Grimes, C. A. *J. Phys. Chem. B*, **2006**, *110*(33): 16179
- Shankar, K.; Mor, G. K.; Prakasam, H. E.; Yoriya, S.; Paulose, M.; Varghese, O. K.; Grimes, C. A. *Nanotechnology*, **2007**, *18*: 065707
- Tsuchiya, H.; Macak, J. M.; Taveira, L.; Balaur, E.; Ghicov, A.; Sirotna, K.; Schmuk, P. *Electrochem. Commun.*, **2005**, *7*(6): 576
- Albu, S. P.; Ghicov, A.; Macak, J. M.; Schmuki, P. *Phys. Stat. Sol.*

- (*RRL*), **2007**, **1**(2): R65
- 18 Zhao, J. L.; Wang, X. H.; Chen, R. Z.; Li, L. T. *Solid State Commun.*, **2005**, **134**: 705
- 19 Ghicov, A.; Tsuchiya, H.; Macak, J. M.; Schmuki, P. *Electrochem. Commun.*, **2005**, **7**(5): 505
- 20 Cai, Q. Y.; Paulose, M.; Varghese O. K.; Grimes, C. A. *J. Mater. Res.*, **2005**, **20**: 230
- 21 Paulose, M.; Prakasam, H. E.; Varghese, O. K.; Peng, L.; Popat, K. C.; Mor, G. K.; Desai, T. A.; Grimes, C. A. *J. Phys. Chem. C*, **2007**, **111**: 14992
- 22 Lai, Y. K. Ph. D. Dissertation. Xiamen: Xiamen University, 2008 [赖跃坤. 博士学位论文. 厦门: 厦门大学, 2008]
- 23 Lai, Y. K.; Lin, C. J.; Huang, J. Y.; Zhuang, H. F.; Sun, L.; Nguyen, T. *Langmuir*, **2008**, **24**: 3867
- 24 Aggour, M.; Dittrich, T.; Belaidi, A.; Sieber, I.; Rappich, J. *Phys. Stat. Sol. C*, **2005**, **2**(9): 3344
- 25 Eswaramoorthi, I.; Hwang, L. P. *Diam. Relat. Mat.*, **2007**, **16**: 1571
- 26 Zhuang, H. F.; Lin, C. J.; Lai, Y. K.; Sun, L.; Li, J. *Environ. Sci. Tech.*, **2007**, **41**: 4735
- 27 Mor, G. K.; Varghese, O. K.; Paulose, M.; Grimes, C. A. *Adv. Funct. Mater.*, **2005**, **15**: 1291
- 28 Mor, G. K.; Varghese, O. K.; Grimes, C. A. *J. Mater. Res.*, **2003**, **18**(11): 2588
- 29 Berandk, R.; Tsuchiya, H.; Sugishima, T.; Macak, J. M.; Taveira, L.; Fujimoto, S.; Kisch, H.; Schmuki, P. *Appl. Phys. Lett.*, **2005**, **87**: 243114

## 中国化学会第 27 届学术年会

主题: 创新型社会与化学的责任

2010 年 6 月 20-23 日

福建省厦门市·厦门大学

主办单位: 中国化学会·承办单位: 厦门大学

协办单位: 中国科学院福建物质结构研究所

### 会议负责人

主席: 白春礼 执行主席: 朱崇实 执行副主席: 孙世刚

秘书长: 姚建年、黄培强、杨振忠

### 会议设置及交流内容

分会:

- |            |                        |                     |
|------------|------------------------|---------------------|
| 1 分会 绿色化学  | 7 分会 聚合物科学中的理论、模拟和计算研究 | 13 分会 胶体与界面化学       |
| 2 分会 环境化学  | 8 分会 现代无机化学的现状和发展趋势    | 14 分会 理论化学方法和应用     |
| 3 分会 化学生物学 | 9 分会 分析化学              | 15 分会 化学信息学与化学计量学   |
| 4 分会 纳米化学  | 10 分会 电化学与能源化学         | 16 分会 超分子组装与软物质     |
| 5 分会 应用化学  | 11 分会 催化化学             | 17 分会 化学教育          |
| 6 分会 有机化学  | 12 分会 光化学              | 18 分会 化学研究中的新仪器、新方法 |

论坛: 1. 化学的创新与发展论坛; 2. 海峡两岸化学论坛; 3. 中日青年化学家论坛

展览: 新技术、新产品与新仪器成果展

● 会议第一轮通知详见: <http://www.ccs.ac.cn>

中国化学会联系人: 唐 惠

通讯地址: 北京 2709 信箱转中国化学会 邮编: 100190

电话: 010-62625584; 传真: 010-62568157; 电子信箱: maria@ccas.ac.cn