

DOI: 10.13208/j.electrochem.140227

Artical ID:1006-3471(2015)01-0078-08

Cite this: *J. Electrochem.* 2015, 21(1): 78-84

Http://electrochem.xmu.edu.cn

# 钛基金属氧化物电极制备及其 氨氮废水降解性能

李 雪<sup>1</sup>, 薛 梦<sup>1</sup>, 黄 令<sup>1\*</sup>, 李君涛<sup>2</sup>, 孙世刚<sup>1</sup>

(1. 厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005, 2. 厦门大学能源研究院, 福建 厦门 361102)

**摘要:** 采用热分解方法制备了 4 种电极钛基金属氧化物:  $\text{Ti/SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ti/SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{IrO}_2$ 、 $\text{Ti/SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{RuO}_2$  和  $\text{Ti/SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$ . X-射线衍射分析表明  $\text{Ti/SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$  电极的  $\text{CeO}_2$  晶体结构完好, 连续工作较长时间电极表面没有明显析氧. 使用该电极电解氧化氨氮模拟废水(降解 2 h), 氨氮模拟废水从高浓度( $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )降解为较低浓度( $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 降解效率可达 64%, 电解活性最佳.

**关键词:** 氨氮; 电化学氧化; 钛基氧化物电极

**中图分类号:** O646

**文献标识码:** A

氨氮的超标排放将导致藻类和水草的迅速生长, 水体富营养化, 过量的氨氮对水体鱼类和其他生物有毒害<sup>[1]</sup>. 目前, 去除氨氮的方法有折点加氯<sup>[2]</sup>、生物处理<sup>[3-4]</sup>以及空气吹氮<sup>[5]</sup>等, 其中有的工艺在氨氮脱除过程还带来二次污染<sup>[6]</sup>.

近年文献曾报道电化学氧化可使氨氮有效降解<sup>[10]</sup>, 氨氮废水在电极直接氧化或间接氧化而将氨氮转化成氮气<sup>[11]</sup>. 该方法使用外加电流调控调节化学反应, 反应条件温和(常温常压), 兼具气浮、絮凝、杀菌作用, 工艺清洁, 设备简单<sup>[13-15]</sup>.

本文选用  $\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$  中间层, 该中间层对酸或碱具有稳定性. 若掺杂改性贵金属 Ir、Ru 或稀土金属 Ce 活性层, 可提高电极电催化活性. 其中 Ir、Ru 等贵金属有极强的耐蚀性、优良导电性和极高析氯活性<sup>[16]</sup>, 稀土金属 Ce 的内层 4f 轨道未成对电子多、原子磁矩高, 可望得到较高的电催化氧化活性. 使用 SEM、XRD、EDS 等技术观察测试电极形貌与组成, 并通过电解氧化检测电极对氨氮模拟废水的降解性能.

## 1 实验

### 1.1 钛基涂层电极

#### 1) 基底预处理

将钛板(99.95%, 宝鸡鑫泽)砂纸打磨, 经水

洗、碱洗、除油、水洗、草酸刻蚀, 并置于 1% 的草酸溶液备用, 每次水洗后丙酮超声清洗.

#### 2) 中间层

将体积分数为 0.02% 的盐酸滴入异丙醇溶液中, 超声 1 min, 加入一定比例的  $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{SbCl}_3$  ( $n_{\text{Sn}}:n_{\text{Sb}} = 9:1$ ), 超声均匀, 即得中间层涂液. 将该中间层涂液均匀涂覆于钛基底, 在 130 °C 烘箱保持 10 min, 再转入 450 °C 的马弗炉煅烧 10 min, 反复操作 10 次, 最后在马弗炉中氧化 1 h, 冷却即得涂覆中间层钛电极.

#### 3) 活性层

将体积分数为 0.02% 的盐酸滴入异丙醇溶液中, 超声 1 min. 据表 1 金属盐比例配置活性层涂液. 将活性层涂液均匀涂覆于中间层钛电极, 130 °C 烘箱保持 10 min, 再转入 450 °C 的马弗炉下煅烧 10 min, 如此反复操作 10 次, 最后在马弗炉氧化 1 h 随之冷却, 即得钛基金属氧化物电极.

### 1.2 电极形貌与结构表征

使用 Philips Analytical X-pert 射线衍射仪(荷兰帕纳科)测试样品 XRD 谱图,  $\text{Cu K}\alpha$  靶,  $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ , 管电压 40 kV, 管电流 30.0 mA, 扫描范围 10° 或 20° ~ 90°, 扫描步长为每步 0.0167°, 步进间隔为 15 s. 使用 S-4800 场发射扫描电子显微镜

表 1 钛基氧化物电极活性层组分物质的量比  
Tab. 1 The molar ratios of elements in Ti-based electrode middle coatings

Electrode	Sn	Sb	Ir	Ru	Ce
Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9	1	-	-	-
Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +IrO <sub>2</sub>	9	-	5.13	-	-
Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +RuO <sub>2</sub>	9	-	-	5.13	-
Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +CeO <sub>2</sub>	9	-	-	-	5.13

(SEM, 日本电子株式会社)观察样品的形貌和选区电子衍射(SAED),并用能谱仪测定电极表面元素组成.

1.3 电解氧化

由钛基金属氧化物阳极、钢板对电极(两电极间距保持 1 cm)和支持电解质 2 g·L<sup>-1</sup> NaCl(调节

pH 值 11)组成电解体系,电流密度为 20 mA·cm<sup>-2</sup>.

2 结果与讨论

2.1 钛基涂层电极(电解氧化前)特性

图 1 示出四种电极的 XRD 谱图.从谱图看出,主要成分为 SnO<sub>2</sub>(JCPDS:00-041-1445)与 Ti(JCPDS:01-089-3725),无 Sb 氧化物组分,这可能是由于 Sb 组分含量太低. TiO<sub>2</sub> 组分也不存在,可见 Sn-Sb 氧化物中间层较致密,可防止 Ti 的氧化,保证涂层间紧密结合. Ir 与 Ru 掺杂改性后(图 1B、C),并没有观察到 Ir、Ru 氧化物峰,这说明其氧化物可能属非晶态结构,结晶度不好. Ce 掺杂改性(图 1D)电极有明显的 CeO<sub>2</sub> 峰(JCPDS:00-034-0394),其 CeO<sub>2</sub> 结晶度好,晶型结构完整.

图 2 示出的是四种电极电解前的 SEM 表征图,该钛基氧化物涂层的表面呈不同程度的“泥裂状”.其中,Sn-Sb 电极与掺杂 Ru 的电极表面裂痕较

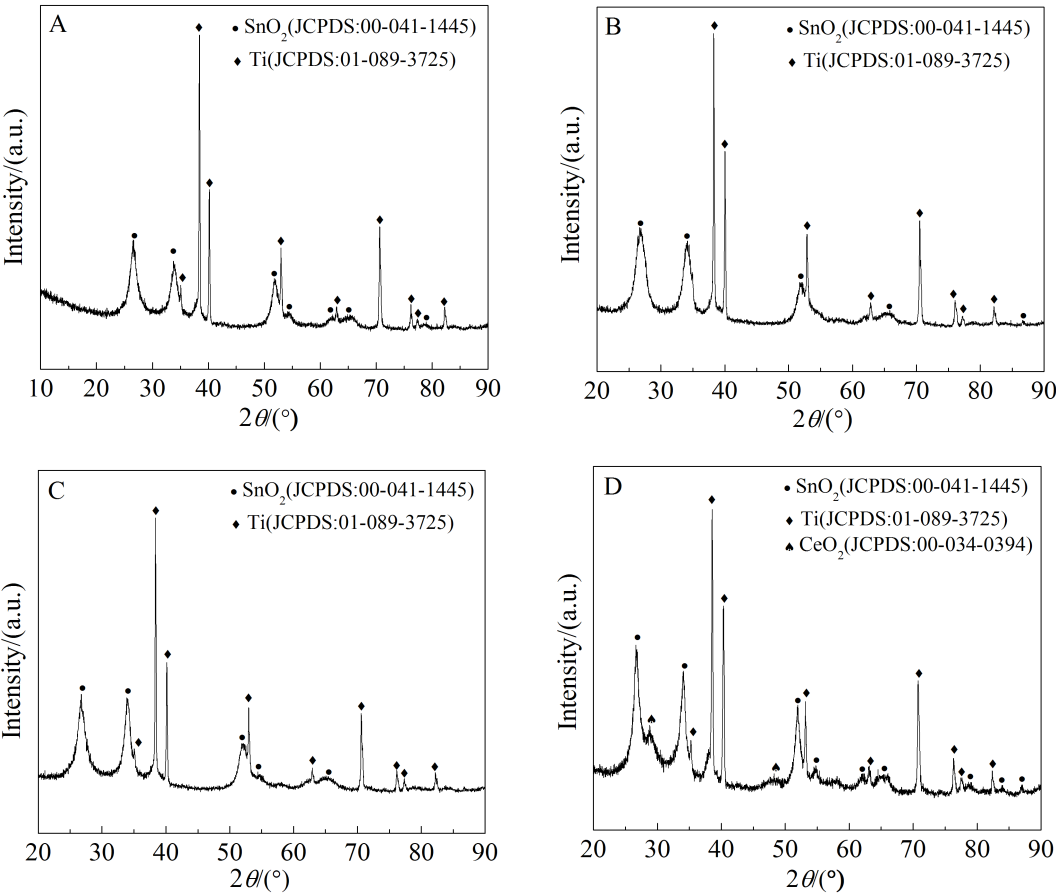


图 1 四种电极的 XRD 衍射谱图  
A. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+IrO<sub>2</sub>; C. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+RuO<sub>2</sub>; D. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+CeO<sub>2</sub>  
Fig. 1 XRD patterns of different Ti-based electrodes  
A. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+IrO<sub>2</sub>; C. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+RuO<sub>2</sub>; D. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+CeO<sub>2</sub>

深,掺杂 Ir 与 Ce 的电极表面裂痕较浅,表面晶粒细小,具有较大的比表面积,预示着较好的电催化活性。

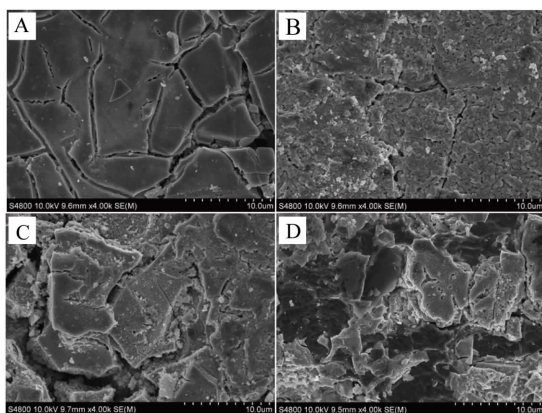


图 2 四种电极材料电解氧化前的 SEM 照片  
A. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+IrO<sub>2</sub>; C. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+RuO<sub>2</sub>; D. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+CeO<sub>2</sub>

Fig. 2 SEM images of different Ti-based electrodes before electrolytic oxidation  
A. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+IrO<sub>2</sub>; C. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+RuO<sub>2</sub>; D. Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+CeO<sub>2</sub>

表 2(图 3)示出四种电极(电解氧化前)EDS 谱图. 贵金属与稀土金属掺杂改性的 Ti 基电极,仅有较少的 Ti 元素,说明掺杂改性氧化物活性层较致密,与 Ti 基体结合较好. 三种掺杂改性的电极均

没有观察到 Sb 元素,说明活性层间层之间有较好的附着性与致密性.

表 3 给出四种电极电解氧化前的元素的物质的量比. 其中,掺杂改性 Ir 电极的 SnO<sub>2</sub> 与 IrO<sub>2</sub> 量比为 3.18:1;掺杂改性 Ru 电极的 SnO<sub>2</sub> 与 RuO<sub>2</sub> 量比 1.58:1;掺杂改性 Ce 电极的 SnO<sub>2</sub> 与 CeO<sub>2</sub> 量比 5.70:1. 而 Sn 与掺杂改性活性金属的投入物量比为 1.75:1,掺杂改性 Ir 或 Ce 涂层热分解制备过程时掺杂改性元素均有一定损失,可能是由这两种金属盐较易水解造成.

表 3 四种电极电解氧化前的元素的物质的量比

Tab. 3 Elemental ratios of Ti-based oxide electrodes before electrolytic oxidation

Sample	$n(\text{Sn}):n(\text{M})$ Input	$n(\text{Sn}):n(\text{M})$ Output
M = Sb	9.00	5.26
M = Ir	1.75	3.18
M = Ru	1.75	1.58
M = Sn	1.75	5.70

## 2.2 模拟废水电解氧化

图 4 给出四种电极电解氧化模拟废水的氨氮去除率-时间曲线. 从图 4 看出,掺杂 Ce 改性活性层电极电解性能最佳,电解氧化 2 h 后氨氮模拟废水从高浓度 (500 mg·L<sup>-1</sup>) 降解为较低浓度 (180

表 2 四种电极电解氧化前的元素分析

Tab. 2 Elemental compositions of Ti-based oxide electrodes before electrolytic oxidation

Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +IrO <sub>2</sub>		Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +RuO <sub>2</sub>		Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +CeO <sub>2</sub>	
Element	Wt%	Element	Wt%	Element	Wt%	Element	Wt%
C	5.10	C	15.97	C	6.37	C	6.98
O	26.81	O	24.80	O	29.02	O	27.86
Al	0.58	Cl	1.40	Al	0.40	Ti	9.75
Si	0.59	Ti	9.92	Si	0.64	Sn	45.91
Cl	0.80	Sn	31.75	Cl	1.46	Ce	9.50
Ti	30.64	Ir	16.16	Ti	6.04		
Fe	9.09			Fe	17.33		
Sn	22.07			Ru	13.56		
Sb	4.30			Sn	25.18		

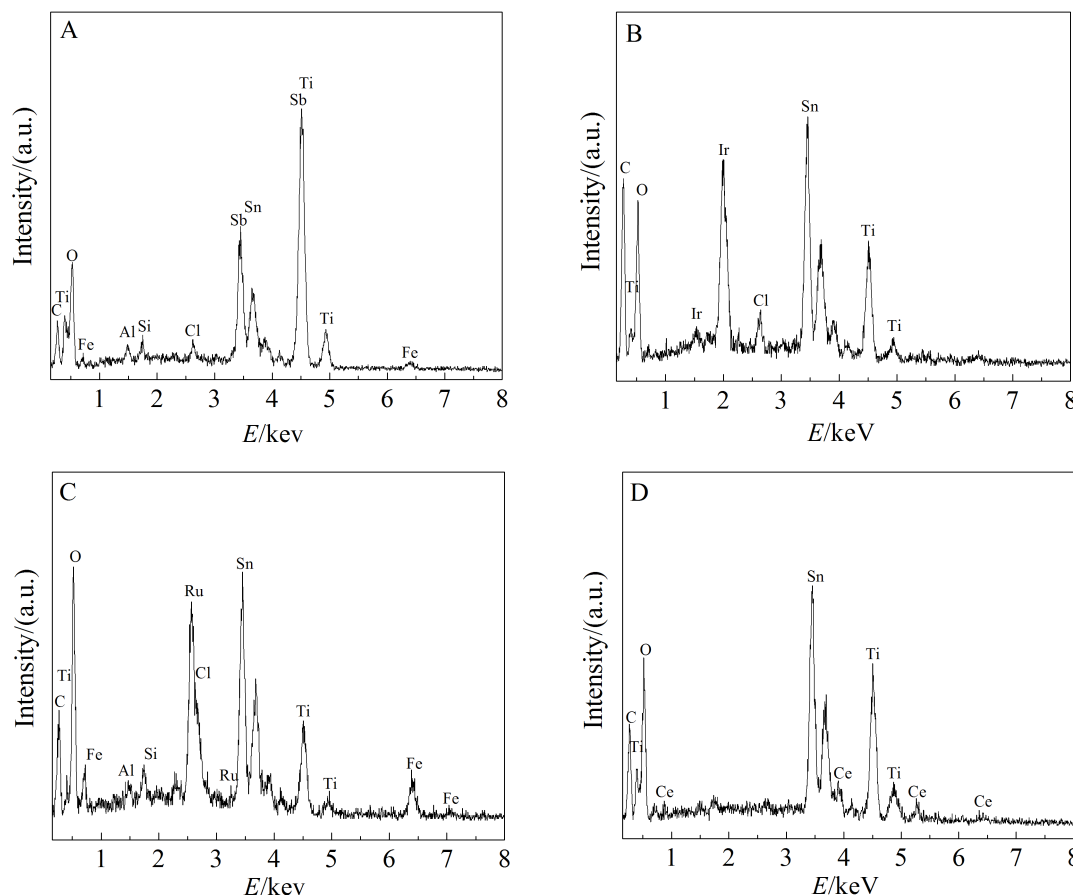


图 3 四种电极电解氧化前的 EDS 谱图  
A.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$ ; B.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{IrO}_2$ ; C.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{RuO}_2$ ; D.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$   
Fig. 3 EDS patterns of different Ti-based electrodes before electrolytic oxidation  
A.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$ ; B.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{IrO}_2$ ; C.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{RuO}_2$ ; D.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$

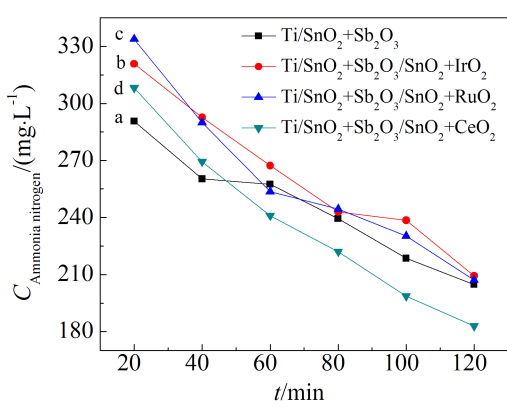


图 4 四种电极电解氧化模拟废水氨氮去除率-时间曲线  
Fig. 4 Concentrations of ammonia nitrogen removal during the electrolytic oxidation of simulative wastewater by different Ti-based electrodes

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),降解效率达 64%. 而其它三种电极电解性

能类似, 电解 2 h 氨氮浓度均降至  $210\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 电解过程降解曲线出现不同程度的平台期, 说明电极有不同程度的钝化. 然而, 掺杂改性 Ce 电极在电解过程中其速率几乎保持不变, 未出现钝化, 电催化活性稳定, 不易发生毒化.

2.3 钛基涂层电极电解氧化后的特性

图 5 示出 4 种电极材料电解氧化 2 h 的 SEM 照片. 从图 5 可以看到, 电解后 Sn-Sb 氧化物与掺杂改性 Ru 电极表面出现许多细小的气孔, 这可能是电解过程中析氧、氯所致, 氯气析出有利于氨氮的降解, 而氧气析出则损耗电能. 掺杂 Ir 与 Ce 电极电解后表面结构无较大变化, 没有裂痕与气孔, 这将在一定程度上确保电极电催化稳定性, 减少电能损耗.

从图 6、表 4 给出四种电极电解氧化 2 h 的 EDS 谱图和表面元素分析可以看出, 前三种掺杂

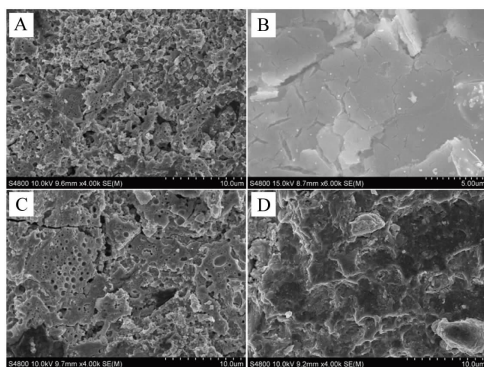


图 5 四种电极材料(电解氧化后)SEM 照片  
A.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$ ; B.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{IrO}_2$ ;  
C.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{RuO}_2$ ;  
D.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$

Fig. 5 SEM images of different Ti-based electrodes after electrolytic oxidation

- A.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$ ; B.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{IrO}_2$ ;  
C.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{RuO}_2$ ;  
D.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$

改性电极电解后均无 Sb 元素,电解过程仅损耗活性层,且电解后活性层仍较为密致. 掺杂改性 Ce 电极,电解后 Ce 元素全部参与了反应,掺杂改性 Ir 与 Ru 电极,电解后 Sn 元素含量有所降低而活性元素量微增,电解过程主要是 Sn 元素参与反应而部分损耗掉.

### 3 结 论

掺杂改性 Ir、Ru 电极的 EDS 谱图未发现 Ir、Ru 氧化物峰,氧化物非晶态掺杂改性. Ce 电极的 EDS 谱图观察到  $\text{CeO}_2$  峰,其结晶度好,晶型结构完整.

电解前掺杂改性 Ir、Ce 电极表面裂痕浅,晶粒细小,比表面积较大. 电解后掺杂改性 Ir、Ce 电极表面未产生气孔,可能电极没有明显析氧,电能效率较高,活性层仍较密致.

掺杂改性稀土金属 Ce 电极电解氧化氮氮模

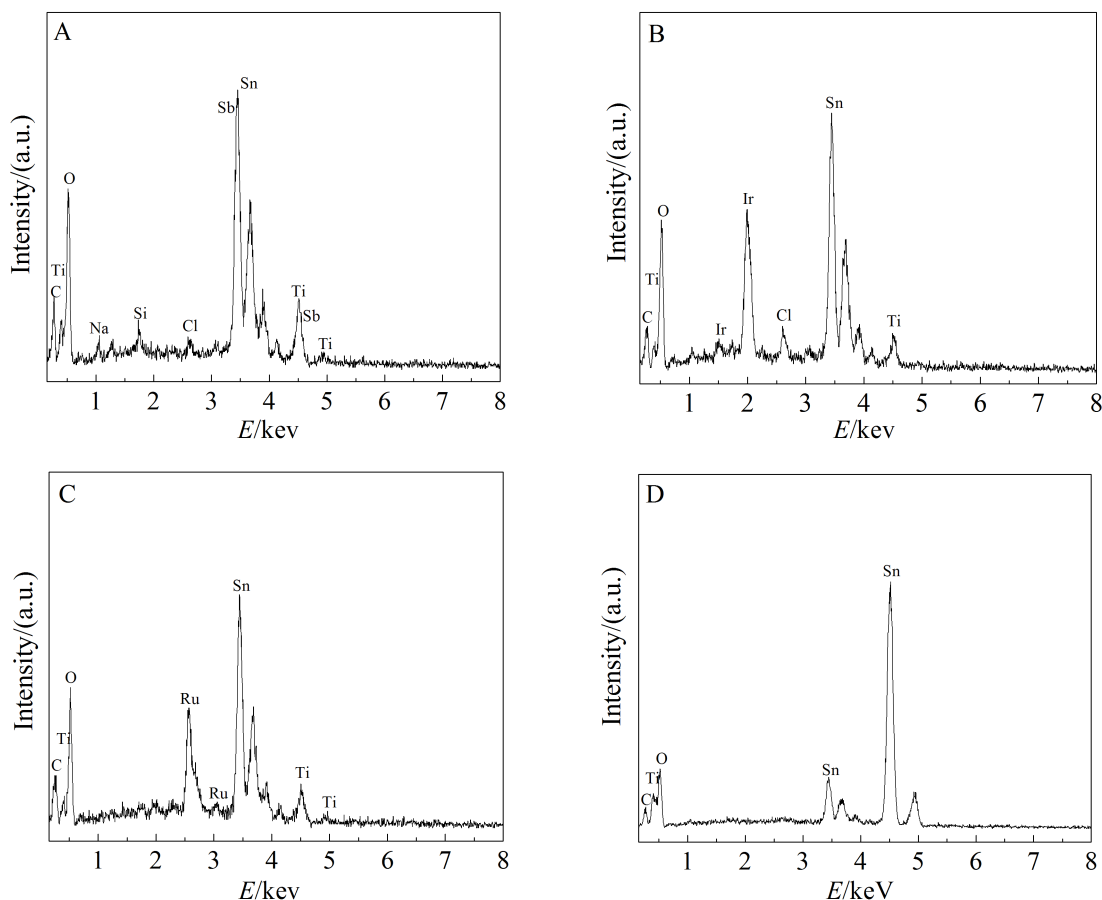


图 6 四种电极(电解氧化后)EDS 谱图

- A.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$ ; B.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{IrO}_2$ ; C.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{RuO}_2$ ; D.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$

Fig. 6 EDS patterns of different Ti-based electrodes after electrolytic oxidation

- A.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$ ; B.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{IrO}_2$ ; C.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{RuO}_2$ ; D.  $\text{Ti}/\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2+\text{CeO}_2$



表 4 四种电极电解氧化后的元素分析  
Tab. 4 Elemental compositions of Ti-based oxide electrodes after electrolytic oxidation

Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +IrO <sub>2</sub>		Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +RuO <sub>2</sub>		Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SnO <sub>2</sub> +CeO <sub>2</sub>	
Element	Wt%	Element	Wt%	Element	Wt%	Element	Wt%
C	4.55	C	4.82	C	3.45	O	59.83
O	34.24	O	28.49	O	34.32	Sn	40.17
Na	0.93	Cl	1.13	Ti	4.14		
Si	0.58	Ti	6.31	Ru	13.28		
Cl	0.60	Sn	35.17	Sn	44.80		
Ti	6.74	Ir	24.08				
Sn	45.05						
Sb	7.31						

拟废水 2 h, 从高浓度 (500 mg·L<sup>-1</sup>) 降解为较低浓度 (180 mg·L<sup>-1</sup>), 降解效率达 64%, 电催化活性最佳, 且掺杂改性 Ce 电极较掺杂改性贵金属元素电极价格低廉, 有望用于电解氧化高浓度氨氮废水。

参考文献(References):

[1] Wang Z X(王兆熊), Guo C T(郭崇涛), Zhang Y(张英), et al. Chemical environment protection and “three wastes” treatment technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press (化学工业出版社), 1982: 212

[2] Huang H M(黄海明), Xiao X M(肖贤明), Yan B(晏波). Experimental research on the treatment of low concentration ammonia nitrogen wastewater by breakpoint chlorination [J]. Technology of Water Treatment(水处理技术), 2008, 34(8): 63-66.

[3] Bernet N, Delgenes N. Combined anaerobic SBR for the treatment of piggery wastewater[J]. Water Research, 2003, 34(2): 611-619.

[4] Koren D W, Gould W D. Biological remove of ammonia and nitrate from simulated mine and mill efflunets [J]. Hydrometallurgy, 2000, 56(2): 127-144.

[5] Charng G J, Ju S H, Hsieh K C. Performance evaluation of single-sludge reactor system high strength nitrogen wastewater[J]. Journal of Hazardous Materials, 2001, 85 (3): 213-227.

[6] Kim S, Choi W. Visible-light-induced photocatalytic degradation of 4-chlorophenol and phenolic compounds in aqueous suspension of pure titania: Demonstrating the existence of a surface-complex-mediated path[J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2005, 109(11): 5143 -5149.

[7] Martinez-Huitle C A, Ferro S. Electrochemical oxidation of organic pollutants for the wastewater treatment: Direct and indirect processes[J]. Chemical Society Reviews, 2006, 35(12): 1324-1340.

[8] Hou J Y(侯峰岩), Wang W(王为). Electrochemical technology and environmental protection[J]. Chemical Industry and Engineering Progress(化学工业与能源进展), 2003, 22(5): 471-476.

[9] Janssen J J, Koene L. The role of electrochemistry and electrochemical technology in environmental protection[J]. Chemical Engineering Journal, 2002, 85(2/3): 137-146.

[10] Lin H B(林海波), Fei J M(费建民), Zhang H B(张恒彬). Investigation on electrocatalytic oxidation treatment of the effluent wastewater in a fertilizer plant[J]. Industry Water Treatment(工业废水处理), 2004, 24(4): 36-38.

[11] Zhang H, Li Y L, Wu X G, et al. Application of response surface methodology to the treatment landfill leachate in a three-dimensional electrochemical reactor [J]. Waste Management, 2010, 30(11): 2096-2102.

[12] Chiang L C, Chang J E, Wen T C. Indirect oxidation effect in electrochemical oxidation treatment of landfill leachate[J]. Water Research, 1995, 29(2): 671-678.

[13] Van Hege K, Verhaege M, Verstraete W. Electro-oxidative abatement of low-salinity reverse osmosis membrane concentrates[J]. Water Research, 2004, 38(6): 1550-1558.

[14] Moraes P B, Bertazzoli R. Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor[J]. Chemosphere, 2005, 58(1): 41-46.

[15] Zhou L, Cheng Y F, Amerein M. Fabrication by electrolytic deposition of platinum black electrocatalyst for oxidation of ammonia in alkaline solution[J]. Journal of Power Sources, 2008, 177(1): 50-55.

[16] Wang X(王欣), Tang D(唐电), Zhou J N(周敬恩). Effect of RuO<sub>2</sub> on the microstructure, morphology and solid phase

of RuO<sub>2</sub>+SnO<sub>2</sub>+TiO<sub>2</sub>/Ti anode[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society(中国陶瓷科学), 2002, 30(1): 49-52.

## Preparation and Properties of Titanium Based Metal Oxide Electrodes for Ammonia Nitrogen Wastewater Treatment

LI Xue<sup>1</sup>, XUE Meng<sup>1</sup>, HUANG Ling<sup>1\*</sup>, LI Jun-tao<sup>2</sup>, SUN Shi-gang<sup>1</sup>

(1. Department of Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; 2. College of Energy, Xiamen University, Xiamen 361102, Fujian, China)

**Abstract:** In this paper, four types of titanium based metal oxides electrodes were prepared by thermal decomposition method: Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+IrO<sub>2</sub>, Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+RuO<sub>2</sub>, Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+CeO<sub>2</sub>. The XRD results show that CeO<sub>2</sub> in Ti/SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>+CeO<sub>2</sub> displayed a good crystal structure, and there was no significant oxygen evolution reaction occurred after electrolytic oxidation. Compared with the other three electrodes, the Ce-doped electrode exhibited the best electro-catalytic activity: the degradation of the simulated wastewater with high concentration (500 mg·L<sup>-1</sup>) was 180 mg·L<sup>-1</sup>, and the degradation efficiency was up to 64%.

**Key words:** ammonia nitrogen; electrochemical oxidation; Ti-based electrode