

# 稀土 Y 掺杂 Ti/SnO<sub>2</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极的电化学性能研究

褚秋霞<sup>1</sup>, 梁镇海<sup>2</sup>, 孙颜发<sup>2</sup>, 王荣鹏<sup>2</sup>, 樊彩梅<sup>2</sup>

(1. 山西旅游职业学院, 山西 太原 030031)

(2. 太原理工大学, 山西 太原 030024)

**摘 要:** 采用热分解和电沉积的方法制备了稀土元素 Y 掺杂 Ti/SnO<sub>2</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 耐酸阳极。用 XRD、SEM 表征了电极的物相和表面形貌, 用 CV、EIS 测定了电极的电化学性能, 并研究了 Y 掺杂对电极在强酸性溶液中使用寿命的影响。结果表明: Y 以 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的形式与 SnO<sub>2</sub> 形成半导体固溶体, 使电极在高电流密度(4 A/cm<sup>2</sup>)下的预期使用寿命达到 70 h; 同时该电极的析氧电位高达 2.1 V, 且电极表面呈蘑菇状, 电催化性较好, Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极是一种较理想的耐酸阳极材料。

**关键词:** 稀土 Y; Ti/SnO<sub>2</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极; 耐酸阳极

**中图分类号:** TG 146.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2009)05-0821-05

钛基二氧化铅电极(Ti/PbO<sub>2</sub>)由于具有较高的析氧电位、良好的耐腐蚀性能和较低的价格等优点, 已广泛应用于电镀、冶炼、废水处理、阴极防腐等领域<sup>[1]</sup>。但人们逐渐发现在强酸性溶液中, 由析氧反应产生的活性氧可与Ti基体生成不导电的TiO<sub>2</sub>, 使电极失去活性, 电极涂层的脱落或溶解, 大大缩短了电极的使用寿命。为了克服上述缺点, 可以将一些离子或氧化物(F<sup>-</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Bi<sup>5+</sup>、TiO<sub>2</sub>)<sup>[2,3]</sup>直接掺杂到PbO<sub>2</sub>活性层中或在基体和活性层间添加结构稳定的中间层(SnO<sub>2</sub>+Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sup>[4]</sup>。选择耐腐蚀、结构稳定的涂层材料, 已成为国内外研究的热点<sup>[5-7]</sup>。有的学者将氟树脂掺杂到β-PbO<sub>2</sub>层中<sup>[8]</sup>, 可以明显增加电极的寿命; 还有将纳米级的TiO<sub>2</sub>掺杂到β-PbO<sub>2</sub>层中<sup>[9]</sup>, 使镀层的脆性大大降低, 在H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液中镀层不会从基材剥落; 因稀土元素特殊的4f电子结构<sup>[10]</sup>, 有的学者将稀土氧化物Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CeO<sub>2</sub>掺杂到PbO<sub>2</sub>层中<sup>[11]</sup>, 可明显改善电极的性能。为了有效阻止由于活性氧的扩散而对涂层的破坏, 本工作添加和PbO<sub>2</sub>结构相似的金属氧化物SnO<sub>2</sub>+MnO<sub>x</sub>作为中间层, 并将稀土元素Y掺杂其中, 重点考察掺杂对电极寿命的影响, 为耐酸性阳极材料的选择提供理论和实验依据。

## 1 实 验

将尺寸为 70 mm×10 mm×2 mm 的钛片用 120#金

相砂纸打磨后, 于 100 °C, 浓度为 20%左右的草酸中处理 3 h, 使表面呈均匀麻面, 将处理好的钛片放在 1%的草酸溶液中保存、待用。

将 SnCl<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 YCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 按一定的比例混合后配成盐酸-正丁醇溶液, 涂于钛基表面, 于 100 °C 左右烘干, 500 °C 左右热分解, 这样反复涂刷 15 次, 最后一次热分解 1 h。

配制镀液 100 mL, 其中含 13.2 g Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0.5 g HNO<sub>3</sub>, 0.13 g NaF 和少量的 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O, 电镀过程中, 加入 PbCO<sub>3</sub> 以保持镀液 pH=1~2, 在 1.0 A/cm<sup>2</sup> 的电流密度下进行阳极电沉积 2 h, 得到所需的电极。

用 AMRAY-1000B 型扫描电子显微镜, 在 25 kV 加速电压下观察电极表面形貌; 用 Rigaku D/max-2500 型 X 射线衍射仪确定电极涂、镀层的物相, X 射线源为 Cu 靶 K $\alpha$  射线。

采用高电流密度下加速寿命的实验方法来考察电极的预期使用寿命。研究电极为阳极, 铜电极为阴极, 4 A/cm<sup>2</sup>、60 °C 的条件下, 1.0 mol/L 的硫酸溶液中, 电解初期槽电压维持在 3~8 V, 一段时间后槽电压急剧上升到 10 V 以上, 电流急剧减小, 表明电极已失效。槽电压上升前电极所经历的时间为其预期使用寿命<sup>[12]</sup>。

采用三电极体系, 制备电极为研究电极, 辅助电极为 Pt 电极, 参比电极为饱和甘汞电极, 用 VMP3 型恒电位仪和 EC-Lab 软件测量制备电极在 25 °C, 0.5

收稿日期: 2008-06-17

基金项目: 国家自然科学基金(20771080); 山西省自然科学基金(20031024)

作者简介: 褚秋霞, 女, 1952 年生, 副教授, 山西旅游职业学院, 山西 太原 030031; 通讯作者: 梁镇海, 博士, 教授, 电话: 0351-6018193, E-mail: liangzhenhai@tyut.edu.cn

mol/L 硫酸溶液中的循环伏安曲线和交流阻抗图谱。

## 2 结果和讨论

### 2.1 电极的表征

#### 2.1.1 XRD 表征物相

图 1 为 Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极中间层的 XRD 图谱。可见，检测到的物相有金红石相的 SnO<sub>2</sub>(26.6°, 34.1°, 38.0°, 52.0°)、MnO<sub>2</sub>(28.9°, 38.0°, 59.9°)、Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(32.3°, 36.1°, 59.9°)，C 型稀土化合物结构的 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(29.6°, 34.1°, 48.6°)。Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极 PbO<sub>2</sub> 活性层的 XRD 图谱如图 2 所示。由图可以看出，活性层物相主要为 β-PbO<sub>2</sub>，而 β-PbO<sub>2</sub> 有好的导电性和耐蚀性<sup>[13]</sup>。

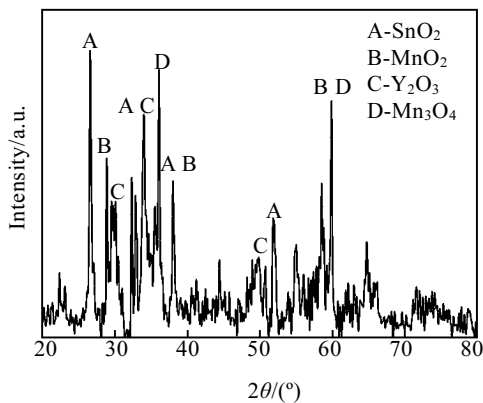


图 1 SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub> 中间层的 XRD 图谱

Fig.1 XRD pattern of SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub> intermediate layer

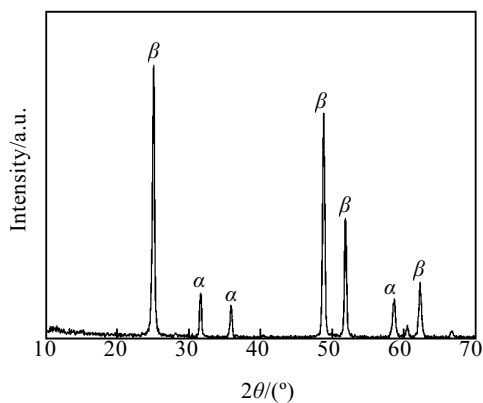


图 2 PbO<sub>2</sub> 活性层的 XRD 图谱

Fig.2 XRD pattern of PbO<sub>2</sub> active layer

#### 2.1.2 SEM 表征形貌

电极中间层表面的致密程度对有效阻止氧的扩散，防止绝缘二氧化钛的形成，延长电极寿命起着重要作用；而活性层表面形貌主要对电催化性能有影响，

表面积大的涂层有利于提高电极的催化活性和放电容量<sup>[2]</sup>。Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极中间层形貌如图 3 所示。由图 3 可以看出，中间层表面致密，没有裂纹，虽有一些坑洼结构，但彼此间没有连在一起，且数量较少，致密的表面可有效地阻止新生态氧的扩散，延长电极的使用寿命。活性层表面形貌如图 4 所示。可见，表面形貌成蘑菇状，表面积较大，有利于增加电极表面的催化活性点，提高电极的催化活性。

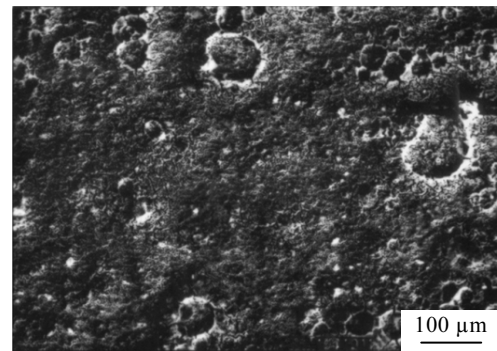


图 3 SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub> 中间层表面 SEM 形貌

Fig.3 SEM morphology of SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub> intermediate layer

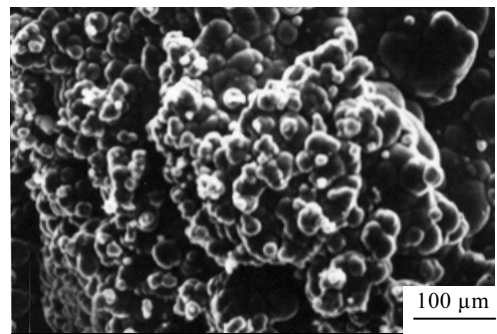


图 4 PbO<sub>2</sub> 活性层表面 SEM 形貌

Fig.4 SEM morphology of PbO<sub>2</sub> active layer

### 2.2 电极寿命

几种钛基 PbO<sub>2</sub> 电极在 60 °C、高电流密度(4 A/cm<sup>2</sup>) 和 1mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中的预期使用寿命如表 1 所示。可见，Ti/PbO<sub>2</sub> 电极在 4 h 后就失去活性，寿命较短，由于晶体非平衡生长使晶粒边界能量增加，晶粒偏离平衡态的方向使镀层产生了内部应力(拉应力和压应力)，应力使涂层与基体结合力变弱，使用过程中涂层很容易成片脱落到电解液中<sup>[9]</sup>；再加上新生态氧原子扩散到 Ti 基体上形成 TiO<sub>2</sub> 绝缘层，生成畸变的 n 型混合晶，导致电阻增大，使电极很容易失活。由表 1 可以看出，加入中间层的电极，

预期使用寿命明显增加, Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极的寿命可达到 70 h, 如此长的寿命主要由中间层的结构和导电性 2 个因素决定的。

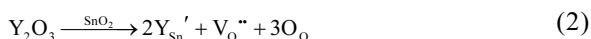
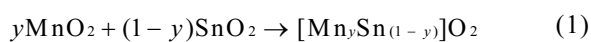
表 1 几种钛基氧化物电极在 60 ℃, 高电流密度 4 A/cm<sup>2</sup> 和 1 mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中的寿命

Table 1 The service life of some Ti-supported oxide electrodes at 60 ℃, high electric current density 4 A/cm<sup>2</sup> and 1 mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Electrodes	Service life/h
Ti/PbO <sub>2</sub>	4
Ti/SnO <sub>2</sub> /PbO <sub>2</sub>	10
Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /PbO <sub>2</sub>	16
Ti/SnO <sub>2</sub> +Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO <sub>2</sub> /PbO <sub>2</sub>	45
Ti/SnO <sub>2</sub> +Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO <sub>x</sub> /PbO <sub>2</sub>	70

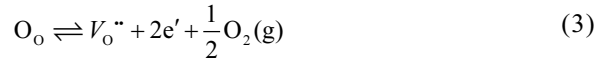
中间层结构的稳定性直接影响电极的寿命。在 MO<sub>2</sub> 的金红石结构中, M<sup>4+</sup> 处于配位数为 6 的八面体中, 而 O<sup>2-</sup> 周围有 3 个近于正三角形配位的 M<sup>4+</sup>, 由八面体 [MO<sub>6</sub>] 那样共点连接而成, SnO<sub>2</sub> 与 MnO<sub>x</sub> 同属金红石结构, 结构相似易形成固溶体; 因稀土元素特殊的 4f 电子结构, 使得稀土原子极易因极化发生形变, 从而以填隙或置换的方式进入金属氧化物晶格内部, 在半导体材料内形成缺陷, 如空位、空穴等, 这些缺陷对电极材料性质的影响很大<sup>[10,11]</sup>, 从氧化物配位数为 6 的结晶离子半径和半径比规则看(如表 2 所示), SnO<sub>2</sub> 与 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的 R<sup>+</sup>/R<sup>-</sup> 在 0.414~0.732 之间, 即形成正离子配位数为 6 的八面体形, 结构相似易形成固溶体, 而结构稳定的固溶体可增加电极的耐蚀性, 延长电极寿命<sup>[14]</sup>。

中间层的导电性间接影响电极的寿命。导电性好的氧化物可降低涂层间的电阻, 消除涂层间的内应力, 增加电极的寿命<sup>[15]</sup>。根据 Hume-Rothery 经验规则: 当 Δr=r<sub>1</sub>-r<sub>2</sub>/r<sub>1</sub><15% 时, 溶质(杂质原子或离子)和溶剂(基质晶体)之间可以形成连续固溶体, 当 Δr=15%~30% 时, 溶质和溶剂之间只能形成有限型固溶体, 当 Δr>30% 时, 溶质和溶剂之间很难形成固溶体或不能形成固溶体, 而易形成中间相化合物。Sn<sup>4+</sup>、Mn<sup>4+</sup>、Y<sup>3+</sup> 的离子半径分别为 71、54、88 pm, Mn<sup>4+</sup>、Y<sup>3+</sup> 与 Sn<sup>4+</sup> 的 Δr 分别为 24% 和 19%, 因此 MnO<sub>2</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 SnO<sub>2</sub> 可能形成有限型固溶体, MnO<sub>2</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 以置换的方式进入 SnO<sub>2</sub> 晶格内部, 固溶方程式为:



氧空位(V<sub>O</sub>'')的产生, 必然增加 SnO<sub>2</sub> 中氧的扩散, 从而增加 SnO<sub>2</sub> 的导电性; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 属 C 型稀土化合物结构

(立方晶系, 配位数为 6), 这种结构有时会歪曲成单斜晶系, 结构中的稀土离子向沿链方向接近, 具有半导体的性质; 实际上金红石型的 SnO<sub>2</sub> 通常是非化学计量化合物(MO<sub>2-y</sub>), 由于氧离子不足, 在晶体中存在氧空位:



由于氧空位的迁移, 在禁带内形成 E<sub>d</sub>=-0.15 eV 的施主能级, 向导带提供 10<sup>15</sup>~10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup> 浓度的电子, 使 SnO<sub>2</sub> 具有 n-型半导体性质, 从而使导电性增加<sup>[16]</sup>。

表 2 正离子配位数为 6 的氧化物离子半径

Table 2 Ion radii of oxide for 6-coordination positive ion

Ion	Mn <sup>4+</sup>	Ti <sup>4+</sup>	Sb <sup>3+</sup>	Sn <sup>4+</sup>	Y <sup>3+</sup>
R <sup>+</sup> /nm	0.054	0.068	0.090	0.071	0.088
R <sup>+</sup> /R <sup>-</sup> (O <sup>2-</sup> =0.14 nm)	0.39	0.48	0.64	0.51	0.63

## 2.3 电化学性能

### 2.3.1 循环伏安分析

Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极在硫酸介质中的循环伏安曲线如图 5 所示。可见, 在 5 mV/s 的扫描速率下, 电极在 1.9 V 左右有 1 个氧化峰, 对应了 PbSO<sub>4</sub>+2H<sub>2</sub>O-2e<sup>-</sup>=PbO<sub>2</sub>+4H<sup>+</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的过程, 而在 0.8 V 左右的还原峰对应了 2PbSO<sub>4</sub>+6H<sup>+</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>+4e<sup>-</sup>=PbSO<sub>4</sub>·PbO+3HO 的过程, 在 20 mV/s 的扫描速率下没有观察到氧化峰, 这可能是由于扫描速率较快, 峰型不明显。Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极在 2.1 V 左右开始析氧, 析氧电位较高, 可作为较理想的耐酸阳极材料。

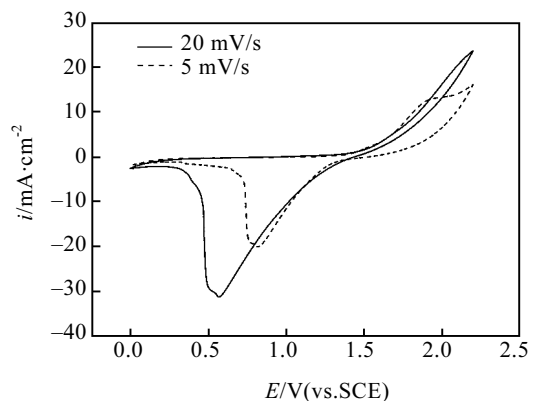


图 5 不同扫描速率下 Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极的循环伏安曲线

Fig 5 Cyclic voltammograms of the Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> electrode at different scanning speed

2.3.2 交流阻抗分析

阻抗测定的测量电位为1.9 V(S.C.E)析氧电位, 扫描频率为100 kHz~10 mHz, 信号幅度为±10 mV, 所得数据采用Zsinpwin软件进行模拟分析。阳极的等效电路可用 $LR_s(Q_{dl}R_{ct})(Q_fR_f)$ 表示, 其电路图如图6所示。等效电路中的 $L$ 表示电感, 主要和阳极表面复杂的微观结构有关,  $R_s$ 为溶液的电阻,  $(Q_fR_f)$ 主要反映金属氧化物涂层内表面和钛基体之间的物理阻抗,  $(Q_{dl}R_{ct})$ 对应电极和溶液界面的电化学反应阻抗, 即双电层的阻抗<sup>[18]</sup>。

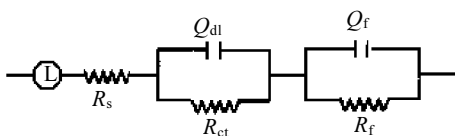


图 6 Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极的等效电路图

Fig.6 Equivalent circuit diagram of the Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> electrode

图7是在进行强化寿命实验的不同时间后, 阳极在0.5 mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液中1.9 V析氧电位下的交流阻抗谱图。当电极强化电解70 h后, 阻抗谱图上出现了2个半圆弧, 前1个代表高频段(100 kHz)的半圆弧, 后1个代表低频段(10 mHz)的半圆弧, 高频段的半圆弧是随着电解时间的增加而逐渐变得清晰, 表明电极已经失活<sup>[19]</sup>。

用Zsimpwin软件对阻抗谱图进行拟合, 得出模拟电路的各参数值, 其值表3所示。可见 $R_{ct}$ 和 $R_f$ 随着电解时间的加长, 都逐渐的增大,  $R_{ct}$ 增大是由于随着电解的进行, PbO<sub>2</sub>活性层在H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液中逐渐溶解或从电极上脱落, 裸露出的中间层电催化活性较差所致;  $R_f$ 增大则是因活性氧扩散到Ti基体上, 生成了不导电的TiO<sub>2</sub>。 $Q$ 是常相位角元件CPE, 主要是用来描述电容的参数发生偏离时的物理量, 随着电解的进行, 电极的活性逐渐下降,  $Q_{dl}$ 和 $Q_f$ 也逐渐减小。

表 3 Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极阻抗谱的拟合值

Table 3 Impedance parameter fitting date to the equivalent circuits diagram of the Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> electrode

Anodization time/h	$R_s/\Omega \cdot \text{cm}^2$	$R_{ct}/\Omega \cdot \text{cm}^2$	$Q_{dl}/\text{mF} \cdot \text{cm}^{-2}$	$R_f/\Omega \cdot \text{cm}^2$	$Q_f/\text{mF} \cdot \text{cm}^{-2}$
0	0.43	0.078	0.42	0.66	0.038
30	0.33	3.80	0.20	8.68	0.026
70	0.38	22.8	0.038	31.41	0.00019

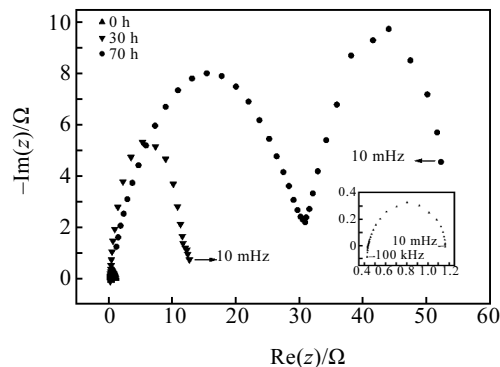


图 7 强化电解不同时间Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub>电极的 Nyquist图

Fig.7 Nyquist plots of the Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> electrode at different electrolysis time

3 结 论

稀土元素 Y 掺杂制备了 Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极, Y 以 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的形式与 SnO<sub>2</sub> 形成了半导体固溶体中间层, 使电极在 4 A/cm<sup>2</sup> 的高电流密度下的预期使用寿命达到了 70 h; 且电极表面呈蘑菇状, 活性面积较大, 催化性较好; 同时该电极的析氧电位高达 2.1 V, 失活后, 涂层间的电阻  $R_f$  和涂层与溶液间的电阻  $R_{ct}$  都急剧升高; Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> 电极是一种较理想的耐酸阳极材料。

参考文献 References

[1] Zhang Zhaoxian(张招贤). *Titanium Electrode Engineering*(钛电极工学)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2003: 200

[2] YusairieMohd, Derek Pletcher. *Electrochimica Acta*[J], 2006, 52: 786

[3] Velichenko A B, Amadelli R et al. *Electrochimica Acta*[J], 2000, 45: 4341

[4] Wang Yaqiong(王雅琼), Wang Peng(王 鹏) et al. *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2007, 36(3): 424

[5] Montilla F, Morallo'n E, Battisti De A et al. *J Phys Chem B*[J], 2004, 108: 5036

[6] Lee Jaeyoung, Varela Hamilton et al. *Electrochemistry Communications* [J], 2000(2): 646

[7] Shen Peikang, Wei Xiaolan. *Electrochimica Acta*[J], 2003, 48: 1743

[8] Zhou Minghua, Dai Qizhou et al. *Environ Sci Technol*[J], 2005,

- 39(1): 363
- [9] Cai Tianxiao(蔡天晓), Ju He(鞠鹤) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2003, 32(7): 558
- [10] Fan Hongfu(范洪富), Wang Lei(王磊) *et al. Journal of the Chinese Society Rare Earths*(中国稀土学报)[J], 2007, 25(3): 299
- [11] Kong Jiangtao, Shi Shaoyuan *et al. Electrochimica Acta*[J], 2007, 53: 2048
- [12] Liang Zhenhai(梁镇海), Zhang Fuyuan(张福元), Sun Yanpingtian(孙彦平). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2006, 35(10): 1605
- [13] Zhou Donglan, Gao Lijun. *Electrochimica Acta*[J], 2007, 53: 2060
- [14] Montilla F, Morallo'n E *et al. J Phys Chem B*[J], 2004, 108: 5044
- [15] Chen Xueming, Chen Guohua. *Electrochimica Acta*[J], 2005, 50: 4155
- [16] Correa-Lozano B, Comninellis Ch, Battisti De A. *Journal of Applied Electrochemistry*[J], 1997, 27: 970
- [17] Wang Yaqiong(王雅琼), Tong Hongyang(童宏扬), Xu Wenlin(许文林). *Journal of Inorganic Material*(无机材料学报)[J], 2003, 18(5): 1033
- [18] Huang Yuntao(黄运涛), Peng Qiao(彭乔). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程) [J], 2006, 35(10): 1610
- [19] Leonardo Da Silva M, Karla Fernandes C *et al. Electrochimica Acta*[J], 2004, 49: 4893

## Study of Electrochemical Properties of Ti/SnO<sub>2</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> Electrode Doped with Rare Earth Y

Chu Qiuxia<sup>1</sup>, Liang Zhenhai<sup>2</sup>, Sun Yanfa<sup>2</sup>, Wang Rongpeng<sup>2</sup>, Fan Caimei<sup>2</sup>

(1. Shanxi Institute of Tour Profession, Taiyuan 030031, China)

(2. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Acid-proof Ti/SnO<sub>2</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> anode doped with rare earth Y was prepared by thermal decomposition method and electrodeposited method. The surface characterization of the electrode was characterized by scanning electron microscopy(SEM) and the element composition of layers was analyzed with X-ray Diffraction(XRD). The electrode electrochemical properties were analyzed with Cyclic Voltammogram (CV) and Electrochemical Impedance Spectroscopic (EIS). The influence of Y doping on the service life of the electrode in strong acid solution was emphatically studied. The results indicated that the semiconductive solid solution was formed between Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SnO<sub>2</sub>, which made the service life of electrode reaching 70 h in high electric density(4 A/cm<sup>2</sup>); At the same time the oxygen evolution reaction(OER) potential of this electrode reached 2.1 V. The rougher of the surface was, the better its electric catalytic properties were. Ti/SnO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> electrode is an ideal acid-proof anode material.

**Key words:** rare earth Y; Ti/SnO<sub>2</sub>+MnO<sub>x</sub>/PbO<sub>2</sub> electrode; acid-proof anode

Biography: Chu Qiuxia, Associate Professor, Shanxi Institute of Tour Profession, Taiyuan 030031, P. R. China; Corresponding Author:

Liang Zhenhai, Ph.D., Professor, Tel: 0086-351-6018193, E-mail: Liangzhenhai@tyut.edu.cn