

# 缓冲溶液和分散剂对共沉淀法制备纳米级 ITO 粉体的影响

张雪利, 刘家祥

(北京化工大学 材料电化学过程与技术北京市重点实验室 化工资源有效利用国家重点实验室, 北京 100029)

**摘要:** 用化学共沉淀法制备 ITO 粉体。制备过程中, 分别将  $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{NH}_4\text{AC}$  溶液作为缓冲溶液, 保持反应过程中 pH 值基本不变。采用可溶性淀粉、PVP、十二烷基磺酸钠作为分散剂。借助 XRD、TEM、BET 及四探针电阻仪, 研究缓冲溶液和分散剂对制得粉体的物相、形貌、分散性及导电性能的影响。结果表明: 采用缓冲溶液制备出的粉体为单相  $\text{In}_2\text{O}_3$  粉体。采用  $\text{NH}_4\text{AC}$  作为缓冲溶液, 用淀粉作为分散剂, 当 pH 值为 6~7 时, 所制粉体的粒径在 10 nm 左右, 颗粒为立方体形, 粒度均匀, 分散性能好, 电阻率相对较低。

**关键词:** ITO 粉体; 缓冲溶液;  $\text{NH}_4\text{AC}$  溶液; 分散剂

中图分类号: TF123.2<sup>+</sup>4

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2017)06-1714-05

铟锡氧化物 (tin-doped indium oxide, ITO) 是一种重要的透明导电氧化物材料, ITO 薄膜由于具有良好的导电性、透光性和高的红外反射性<sup>[1]</sup>, 而被广泛应用于大屏幕液晶显示器、彩色等离子体显示器和电场致发光显示器等高科技领域。目前工业上一般采用 ITO 靶材作为原料, 通过磁控溅射等途径制备 ITO 薄膜<sup>[2]</sup>, 这就促进了 ITO 靶材近年来的快速发展。用于生产高端 ITO 导电薄膜的靶材, 相对理论密度要大于 99.5%, 晶粒尺寸微细均匀, 组织均一无偏析现象, 具有高耐热冲击性<sup>[3]</sup>, 而制备出颗粒粒径小、分布范围窄、分散性良好的单相 ITO 粉末是获得性能优良的 ITO 靶材的关键<sup>[4]</sup>。

目前, 制备 ITO 粉末的方法有很多种, 如共沉淀法、溶剂热法<sup>[5-8]</sup>、溶胶凝胶法<sup>[9,10]</sup>等, 其中共沉淀法已在工业上得到广泛应用。共沉淀法制备 ITO 粉末的传统方法是把沉淀剂直接滴加入 In-Sn 的混合盐溶液中, 产生的氢氧化物前驱体经过煅烧得到 ITO 粉末。反应过程中 pH 值变化范围较大, 前驱体生长环境不稳定, 导致制得粉体颗粒均匀性、粒度等受影响。本实验采用  $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4\text{AC}$  溶液作为缓冲溶液, 将氨水以一定速度与混合盐溶液同时滴加入缓冲溶液中, 使溶液 pH 值基本不变, 这使得前驱体生长环境稳定, 有利于制备颗粒粒度均匀、形貌规则的粉体。采用  $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$  作为沉淀剂,  $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$  作为缓冲溶液

时, 不会过多掺入新的离子, 并且这 2 种混合溶液缓冲 pH 值范围为 7~11, 而  $\text{NH}_4\text{AC}$  作为缓冲溶液时缓冲 pH 值范围为 6~8。本工作采用这 3 种缓冲溶液可以满足实验过程中对 pH 值的要求, 同时研究 3 种不同缓冲溶液对粉体形貌及导电性的影响。在制备 ITO 粉末时, 为了保持粉体良好的分散性, 通常选择加入分散剂, 本实验选用 PVP、可溶性淀粉、十二烷基磺酸钠作为分散剂, 比较这 3 种分散剂对 ITO 粉体分散性的影响, 以期制备出分散性更好的粉体。

## 1 实验

称取一定量的金属铟加入到 65%~68% 的浓  $\text{HNO}_3$  溶液中完全溶解。按照  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$  质量比 9:1, 称取一定量  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  白色晶体加入到铟盐溶液中, 利用恒温磁力搅拌器搅拌得到混合盐溶液。制备不同 pH 值的  $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4-\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{NH}_4\text{AC}$  溶液作为缓冲溶液, 分别在缓冲溶液中加入 PVP、十二烷基磺酸钠 (SDS)、可溶性淀粉 (soluble starches) 作为分散剂。在反应过程中, 将混合盐溶液放入分液漏斗中, 通过转动活塞, 保持溶液的滴加速度为 3 mL/min, 将氨水以一定速度与混合盐溶液同时滴加入缓冲溶液中。滴加过程中, 调节氨水滴加速度, 使溶液 pH 值基本不变。反应完全后, 将沉淀陈化 3 h。然后真空抽滤, 用去离子水洗涤, 超声分散, 再抽滤, 反复操作, 直至滤液中无  $\text{Cl}^-$  为止。然后用无水乙醇洗 7~8 次, 把

收稿日期: 2016-05-30

基金项目: 北京市自然科学基金 (2142025)

作者简介: 张雪利, 女, 1987 年生, 硕士生, 北京化工大学材料科学与工程学院, 北京 100029, 电话: 010-64446432, E-mail: 1031421032@qq.com

所得的前驱体在室温下放置 12 h, 自然晾干, 最后将白色前驱体粉末在 800 °C 下煅烧 4 h, 得到黄色 ITO 粉末。

利用 Rigaku D/Max-2500 型 X 射线衍射仪对前驱体及粉体进行物相分析, 利用 Tecnai G220 型透射电镜对粉体分散性及形貌进行表征, 利用 ASAP-2020 型比表面积测试仪对粉体比表面积进行测试, 利用 SX1934 (SZ-82) 型数字式四探针电阻仪对粉体电阻率进行测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 前驱体及粉体 XRD 分析

图 1 为传统方法和分别使用  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4\text{AC}$  作为缓冲溶液制备的前驱体的 XRD 图谱。从图中可以看出, 前驱体中含有  $\text{In}(\text{OH})_3$  和  $\text{InOOH}$  两相,  $\text{In}(\text{OH})_3$  为主晶相。这说明  $\text{Sn}^{4+}$  能够很好地掺入到前驱体中, 利于单相 ITO 粉体的制备。

图 2 为不同分散剂及不同缓冲溶液条件下所制备 ITO 粉体的 XRD 图谱。由图可知, 当采用  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{NH}_4\text{AC}$  溶液作为缓冲溶液时, 在  $2\theta$  为  $21.373^\circ$ ,  $30.460^\circ$ ,  $35.339^\circ$ ,  $50.682^\circ$ ,  $60.461^\circ$  处出现衍射峰。用 Jade5 软件进行分析可知, 各衍射峰与编号为 06-0416<sup>#</sup> 的标准卡片上立方结构  $\text{In}_2\text{O}_3$  的数据基本一致。当使用传统方法制备粉体时, 除了上述衍射峰, 在  $2\theta$  为  $32.350^\circ$  处出现  $\text{In}_2\text{SnO}_5$  相的衍射峰。 $\text{SnO}_2$  在  $\text{In}_2\text{O}_3$  中的固溶度为  $6\text{at}\% \sim 8\text{at}\%$ , 超出固溶度会生成新相, 较低温度时新相为  $\text{In}_2\text{SnO}_5$ , 较高温度时生成  $\text{In}_4\text{Sn}_3\text{O}_{12}$ <sup>[11]</sup>, 在本研究中使用传统方法制备粉体时, 在 800 °C 煅烧后, 出现新相  $\text{In}_2\text{SnO}_5$ ; 而采用  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{NH}_4\text{AC}$  缓冲溶液作为基底液制备粉体时, 800 °C 煅烧后, 只含有单相  $\text{In}_2\text{O}_3$ 。这说明缓冲溶液使得沉淀更均匀, 防止局部浓度过高, 超出固溶限。同时, 因为主晶相为  $\text{In}_2\text{O}_3$ , 说明  $\text{Sn}^{4+}$  能很好地掺杂进入  $\text{In}_2\text{O}_3$  晶格内。

### 2.2 粉体的分散性分析

在制备纳米粉体过程中, 由于表面能大, 容易造成粉体团聚, 影响粉体性能。本研究采用不同分散剂增加粉体的分散性, 以期得到分散性良好的粉体。图 3 为不同分散剂条件下制备的 ITO 粉体的 TEM 照片。十二烷基磺酸钠是阴离子型表面活性剂, 其阴离子活性基团与纳米 ITO 颗粒之间既有静电力, 又存在范德华力, 形成双电层, 达到静电排斥效应。同时十二烷基磺酸钠具有长碳链, 形成空间位阻作用; 而可溶性淀粉与 PVP 属于高分子型表面活性剂, 具有长碳链, 主要通过空间位阻起到分散作用。从图 3 可知, 可溶性淀

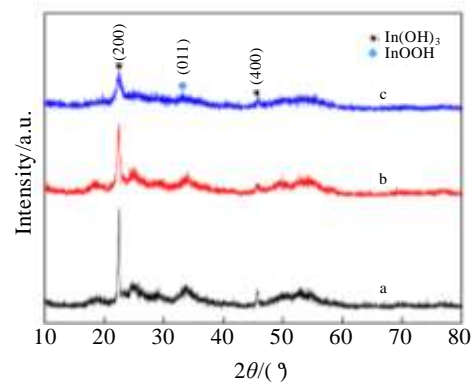


图 1 不同方法制备的前驱体的 XRD 图谱  
Fig.1 XRD patterns of precursors prepared with different methods (a-traditional chemical precipitation method at pH=7~8, b- $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  as buffer solution at pH=7~8, and c- $\text{NH}_4\text{AC}$  as buffer solution at pH=6~7)

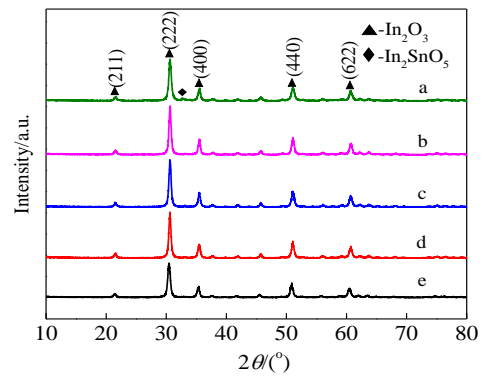


图 2 不同分散剂及不同缓冲溶液条件下制备的 ITO 粉体的 XRD 图谱  
Fig.2 XRD patterns of ITO nano-particles prepared with different dispersant (a-PVP, traditional chemical precipitation method, pH=7~8; b-soluble starches,  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ , pH=7~8; c-SDS,  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ , pH=7~8; d-PVP,  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ , pH=7~8; e-soluble starches,  $\text{NH}_4\text{AC}$ , pH=6~7)

粉作为分散剂时所得粉体分散性最好, 颗粒尺寸分布比较均匀, 为 20~30 nm。这可能是因为高分子型分散剂的碳链比较长, 导致空间位阻作用比较明显, 而空间位阻作用对分散性的影响大于静电排斥作用。同时从图 3 可以看出, 用  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  作为缓冲溶液时, 所得粉体的颗粒形貌不规则, 有近球形, 有短棒状。

### 2.3 团聚系数分析

利用比表面积测试仪对不同分散剂所制粉体的比表面积进行测试, 再利用下式将测试结果换算成比表面积等直径粒径  $d_{\text{BET}}$ <sup>[12]</sup>:

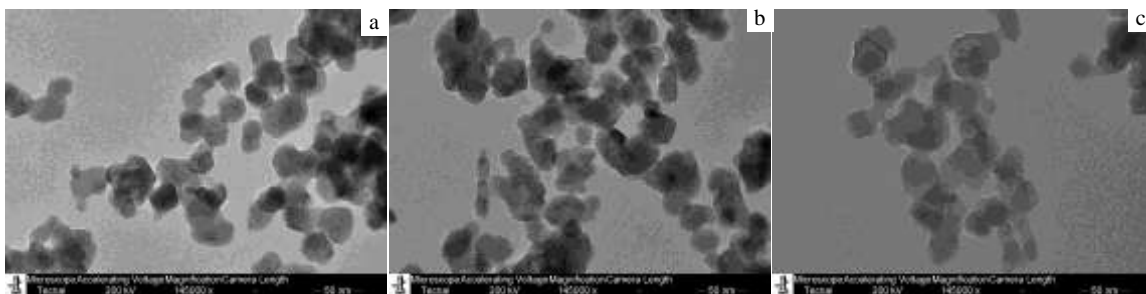


图 3 pH=7~8时不同分散剂所制ITO粉体的TEM照片

Fig.3 TEM images of ITO nano-particles prepared at pH=7~8 with different dispersants: (a) soluble starches, NH<sub>4</sub>Cl-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O, (b) SDS, NH<sub>4</sub>Cl-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O, and (c)PVP, NH<sub>4</sub>Cl-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O

$$d_{BET} = \frac{6}{\rho S_{BET}} \quad (1)$$

式中， $\rho$ 为颗粒密度，在此取为7.2 g/cm<sup>3</sup>， $S_{BET}$ 为颗粒比表面积。

团聚系数( $A_F$ )计算公式为：

$$A_F = \frac{d_{BET}}{d_0} \quad (2)$$

式中， $A_F$ 为团聚系数， $d_0$ 为由Jade软件计算出的平均晶粒尺寸。

利用上述团聚系数公式，可以计算出不同分散剂条件下，所得粉体的团聚系数，将结果列于表1中。团聚系数越小，证明粉体分散性越好。从表1可知，采用传统方法，用PVP作为分散剂时，制备的粉体团聚最严重。而使用缓冲溶液后，粉体分散性都得到一定程度改善。其中用淀粉作为分散剂时，粉体分散性较其他几种分散剂更好，这与图3的透射电镜所示结果一致。并且使用NH<sub>4</sub>AC作缓冲溶液时，粉体分散效果较NH<sub>4</sub>Cl-NH<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O作为缓冲溶液更好，团聚系数最小。这可能是由于用传统方法制备出来的粉体晶粒尺寸最小，容易造成团聚；同时采用缓冲溶液时，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>吸附在前驱体表面，形成双电层，静电排斥作用增强，从而减小团聚；pH为6~7的NH<sub>4</sub>AC溶液所制备的粉体团聚系数最小，分散性最好，这可能是由于NH<sub>4</sub>AC溶液中不含容易造成团聚的Cl<sup>-</sup>离子。

### 2.4 不同缓冲溶液对ITO粉体形貌的影响

在制备前驱体过程中，前驱体的生长环境（如pH值、缓冲溶液、反应温度等）对所得粉体性能影响很大。下面分析不同pH值及不同缓冲溶液对粉体颗粒、形貌的影响。图4为不同缓冲溶液条件下，所得ITO粉体的TEM照片。从图4中可以看出，用(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O作缓冲溶液时，在pH=7~8时，所得粉体颗粒粒度不均匀，为10~40 nm，颗粒形貌不规则，有立方体形、短棒状(图4a)。在pH=8~9时，所得粉体粒度较均匀，为15~20 nm，形貌较规则，多为立方体形(图4b)；而用NH<sub>4</sub>AC作缓冲溶液时，在pH=7~8时，颗粒粒度为25~40 nm，形貌为多面体和立方体(图4c)。在pH=6~7时，颗粒粒度均匀，为10 nm左右，多为立方体(图4d)；采用NH<sub>4</sub>Cl-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O作为缓冲溶液，pH为7~8时，所得粉体颗粒粒度不均匀，形貌不规则(图4e)。

由此得出，用(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O作为缓冲溶液，pH为8~9，和用NH<sub>4</sub>AC作缓冲溶液，pH为6~7时，制备出的ITO粉体颗粒较小、粒度分布均匀、为立方体。这是因为采用NH<sub>4</sub>Cl-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O作为缓冲溶液时，制备前驱体后，Cl<sup>-</sup>含量较多，如果洗涤不干净，在后期烧结过程中，容易造成团聚，同时前驱体可能在NH<sub>4</sub>AC和(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>O溶液环境下生长，更利于形成粒径均匀，形貌规则的颗粒。

表 1 不同分散剂条件下制备的ITO粉末的团聚系数

Table 1 Agglomerate factors ( $A_F$ ) of ITO nano-particles prepared with different dispersants

Different dispersants	$d_0$ /nm	$S_{BET}/m^2 g^{-1}$	$d_{BET}/nm$	$A_F$
Soluble starches, NH <sub>4</sub> Cl-NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O, pH=7~8	21.2	29.2576	28.48	1.343
SDS, NH <sub>4</sub> Cl-NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O, pH=7~8	20.9	26.7523	31.15	1.490
PVP, NH <sub>4</sub> Cl-NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O, pH=7~8	21.2	26.3330	31.65	1.493
PVP, pH=7~8	18.0	27.6171	30.17	1.676
Soluble starches, NH <sub>4</sub> AC, pH=6~7	18.4	38.6146	21.58	1.173

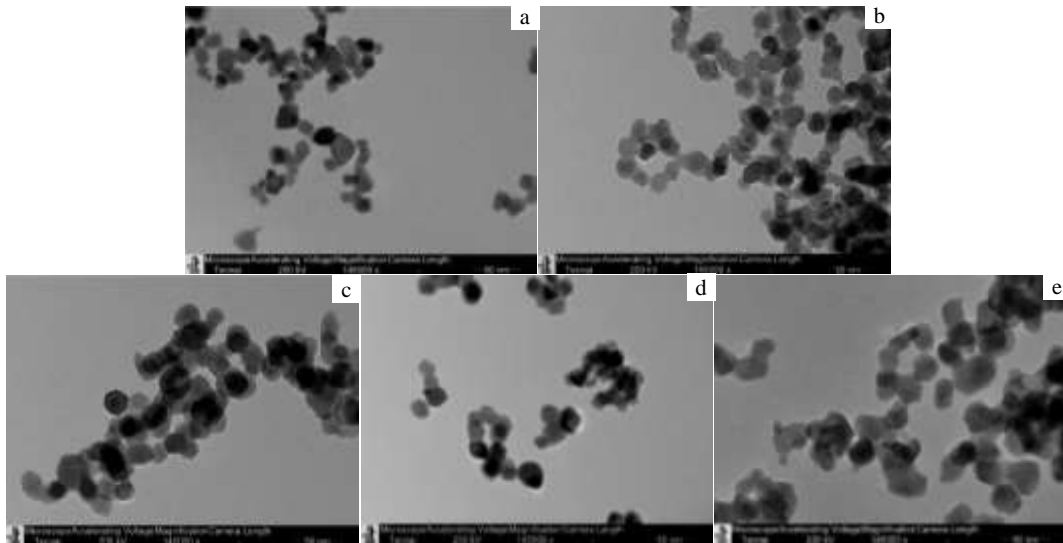


图4 不同缓冲溶液条件下 ITO 粉体的 TEM 照片

Fig.4 TEM images of ITO nano-particles prepared in different buffer solutions: (a)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-NH}_3 \text{H}_2\text{O}$ , pH=7~8, (b)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-NH}_3 \text{H}_2\text{O}$ , pH=8~9, (c)  $\text{NH}_4\text{AC}$ , pH=7~8, (d)  $\text{NH}_4\text{AC}$ , pH 6~7, and (e)  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3 \text{H}_2\text{O}$ , pH=7~8

## 2.5 不同缓冲溶液对ITO粉体导电性能的影响

ITO粉体的导电性能主要由两个方面决定: 载流子数量和界面电阻<sup>[13]</sup>。载流子数量主要是与Sn掺杂量有关, 在一定范围内, Sn掺杂量越大, 载流子数量越多, 电阻越小; 界面电阻主要由颗粒间接触因素决定, 接触面积越大, 越均匀, 越有利于电子的传递。所以形貌和粒度对ITO粉体的电阻都会有影响。图5为不同缓冲溶液条件下, 所得粉体的电阻率。从图5可知, 当采用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-NH}_3 \text{H}_2\text{O}$ 作为缓冲溶液, pH为7~8时, 电阻率最低, 而采用 $\text{NH}_4\text{AC}$ 作为缓冲溶液, pH为6~7

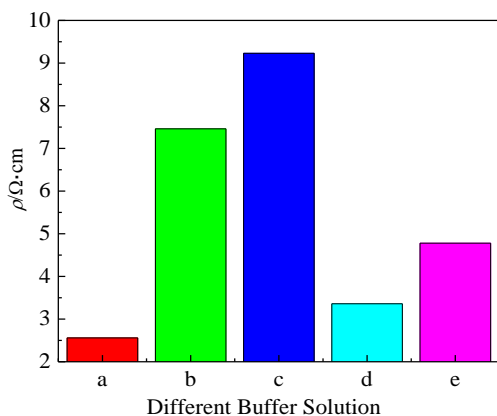


图5 不同缓冲溶液条件下 ITO 粉体的电阻率

Fig.5 Resistivity of nano-particles prepared in different buffer solutions (a- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-NH}_3 \text{H}_2\text{O}$ , pH=7~8; b- $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4\text{-NH}_3 \text{H}_2\text{O}$ , pH=8~9; c- $\text{NH}_4\text{AC}$ , pH=7~8; d- $\text{NH}_4\text{AC}$ , pH=6~7; e- $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_3 \text{H}_2\text{O}$ , pH=7~8)

时, 电阻率次之。结合图4, 当采用 $\text{NH}_4\text{AC}$ 作为缓冲溶液时, 颗粒为立方体形, 粒度在10 nm左右, 粒径均匀, 为面与面接触, 接触面较大, 则电阻率相对较小<sup>[13]</sup>。综合考虑, 采用pH=6~7的 $\text{NH}_4\text{AC}$ 溶液作为缓冲溶液制备的粉体各方面性能较好。

## 3 结论

1) 采用缓冲溶液制备 ITO 粉体时, 由于前驱体生长环境更加稳定均匀, 防止了局部浓度过高, 最终得到单相的  $\text{In}_2\text{O}_3$  晶体; 而传统方法制备的粉体中主相为  $\text{In}_2\text{O}_3$ , 同时含有  $\text{In}_2\text{SnO}_5$  相。

2) 用淀粉作为分散剂时, 由于长碳链所起的空间位阻作用, 使得所得粉体的分散性能较好, 而使用 $\text{NH}_4\text{AC}$ 作缓冲溶液时, 得到团聚系数最小的粉体。

3) 当用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-NH}_3\text{H}_2\text{O}$ 作为缓冲溶液, pH为8~9时, 粉体颗粒粒度为15~20 nm, 多为立方体; 当用 $\text{NH}_4\text{AC}$ 作缓冲溶液, pH为6~7时, 颗粒粒度10 nm左右, 形貌规则, 为立方体形。

4) 采用 $\text{NH}_4\text{AC}$ 作为缓冲溶液, 用淀粉作为分散剂, 当pH值为6~7时, 所制粉体的粒径在10 nm左右, 颗粒粒度均匀, 分散性能好, 形貌为立方体形, 电阻率相对较低。

## 参考文献 References

[1] Dobrikov G H, Rassovska M M, Andrdv N M *et al. Thin Solid Films*[J], 2009, 518(4): 1091

- [2] Kentaro Utsumi, Osamu Matsnaga. *Thin solid Films*[J], 1998, 334: 30
- [3] Medvedovski E, Alvarez N, Yankov O. *Ceramics International*[J], 2008, 34: 1173
- [4] Yuan Zhen(袁 振), Yi Jianhong(易健宏), Sun Benshuang(孙本双) *et al. Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy*(粉末冶金材料科学与工程)[J], 2011, 16(3): 392
- [5] Jhon L Cuya Huaman, Nobuyoshi Hironaka, Shinya Tanaka *et al. Cryst Eng Comm*[J], 2013, 15: 729
- [6] Joseph J P Roberts, Kim T Vuong, Royce W Murray *et al. Langmuir*[J], 2013, 29: 474
- [7] Xu Huarui, Yu Aibing. *Materials Letters*[J], 2007, 61: 4043
- [8] Qin Liping(秦利平), Gu Yingying(古映莹), Liu Xueying (刘雪颖). *Chinese Journal of Rare Metals*(稀有金属)[J], 2009, 33(4): 543
- [9] Justin R, Jeyadevan B. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*[J], 2011, 72: 1212
- [10] Li Xiuhua, Xu Xiujuan. *Particuology*[J], 2011(9): 471
- [11] Kim Sung-Min, Seo Kyung-Han, Lee Joon-Hyung *et al. Journal of the European Ceramic Society*[J], 2006, 26: 73
- [12] Duan Xuechen, Zhu Xiebin. *Nanoscience & Technology*[J], 2005, 5: 39
- [13] Takafumi Sasaki, Yosuke Endo, Masafumi Nakaya *et al. Journal of Materials Chemistry*[J], 2010, 20: 8153

## Effects of Buffer Solution and Dispersant on Indium Tin Oxide Nanopowders Prepared by Co-precipitation

Zhang Xueli, Liu Jiexiang

(Beijing Key Laboratory of Electrochemical Process and Technology for Materials, State Key Laboratory of Chemical Resource Engineering,

Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** ITO nanopowders were prepared by chemical co-precipitation.  $\text{NH}_4\text{Cl}$ - $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_4\text{AC}$  solutions were used as buffer solution to remain the pH value unchanged; in the meantime, the powders were prepared with different dispersants. The effects of buffer solution and dispersant on phase structure, morphology, conductivity and the dispersion were characterized by XRD, TEM, Four point probe and BET. The results show that the powders prepared with the buffer solution is single-phase  $\text{In}_2\text{O}_3$  structure. When it is prepared with  $\text{NH}_4\text{AC}$  as the buffer solution and soluble starches as the dispersant, in the pH range from 6 to 7, the powder of inerratic cubic shape possesses uniform particle size, good dispersibility, and lower electrical resistivity with about 10 nm particle size.

**Key words:** ITO powders; buffer solution;  $\text{NH}_4\text{AC}$  solution; dispersant

---

Corresponding author: Liu Jiexiang, Professor, School of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, P. R. China, Tel: 0086-10-64446432, E-mail: ljxpost@263.net