电子陶瓷用氧化钇的制备及其机制研究

程佳瑶[1,2,3]，马升峰[1]，张晓伟[2,3]，候少春[1]，冯　伟[1]，高　凯[1]

(1. 包头稀土研究院 白云鄂博稀土资源研究与综合利用全国重点实验室，内蒙古 包头　014030；
2. 内蒙古科技大学 稀土产业学院，内蒙古 包头　014010；
3. 轻稀土资源绿色提取与高效利用教育部重点实验室，内蒙古 包头　014010)

摘要：研究了以氨水-碳酸氢铵两步沉淀法制备适用于工业化生产的电子陶瓷用氧化钇晶体，考察了料液浓度、沉淀剂浓度、表面活性剂添加量、反应温度、加料速度、搅拌速度、陈化方式及时间、前驱体焙烧方式及时间等因素对制备氧化钇粉体粒度的影响，并探讨了前驱体分解机制及其动力学。结果表明：采用硫化铵对 99.9%的氧化钇提纯除杂，可有效去除金属杂质；在室温、$Y(NO_3)_3$ 溶液质量浓度 100 g/L、NH_4HCO_3 溶液质量浓度及滴加速度分别为 200 g/L 和 6 mL/min、搅拌速度 370 r/min、搅拌陈化时间 1 h、表面活性剂添加量 2.5%、微波加热干燥 10 min、前驱体焙烧温度 800 ℃和焙烧时间 2 h 最佳工艺条件下，可制备 D_{50} = 1.018 μm、BET = 31.32 m^2/g 的球状立方相 Y_2O_3 晶体，该晶体符合电子陶瓷用氧化钇粉体指标要求；前驱体碳酸钇分解生成氧化钇的过程与机制分析结果表明，$Y_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$ 经过 Y_2CO_5 中间态转化为 Y_2O_3，前驱体经 3 个阶段分解转化为氧化钇，分解 3 个阶段的活化能分别为 61.68、564.22、590.103 kJ/mol，对应的反应级数分别为1.836 9，0.896 4和 0.972 2。该法可实现电子陶瓷用氧化钇工业化制备，整个流程操作简单，成本低，环保无污染，经济效益和社会效益显著，具有广阔的应用前景。

关键词：电子陶瓷；氧化钇；制备；两步沉淀；分解机制

中图分类号：TF845.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1009-2617(2026)02-0196-12

DOI：10.13355/j.cnki.sfyj.2026.02.009

电子陶瓷被誉为电子工业的“神经”，是构成电子设备中的许多关键功能部件的基础，其性能的优劣直接决定电子设备的稳定性、可靠性，以及整体性能[1]。氧化钇因具有耐高温、抗腐蚀，以及独特的物理化学特性在电子陶瓷中应用广泛。电子陶瓷用氧化钇一般要求具有纯度高、粒度小、高比表面积大、分散性强，以及球形颗粒均匀等特性。但目前，由于此类产品的制备工艺技术存在难度大、流程复杂、难以实现工业化量产等问题，这已成为导致氧化钇价格较高、难以大规模应用的主要瓶颈之一。

目前，制备氧化钇超细粉体的方法主要有燃烧法[2]、沉淀法[3]、水热法[4]、溶胶-凝胶法[5]等。但这些方法均存在一些缺点，如工艺条件苛刻、制备周期长、废水处理困难等，难以实现工业化生产[6-9]。

为了简化工艺流程、降低生产成本、减少废水污染、提高生产效率，研究了采用氨水-碳酸氢铵两步沉淀法制备特定晶型、粒径均一、高分散、高活性的超细氧化钇粉末，以期在保障高浓度、高产量前提下，通过有效控制沉淀速度，辅之以动态陈化，改善前驱体的均匀一致性，获得细粒度、高比表面积的球形氧化钇产品。

1　试验部分

1.1　试验试剂及仪器

主要试剂：氧化钇(Y_2O_3，99.9%)、硝酸(HNO_3，65%～68%)、氨水(NH_3，25%)、碳酸氢

收稿日期：2025-10-30；**修订日期**：2025-12-02

基金项目：北方稀土项目(BFXT-2023-0034)。

第一作者简介：程佳瑶(2002—)，女，硕士研究生，主要研究方向为稀土功能材料合成。

通信作者简介：马升峰(1985—)，女，博士，正高级工程师，主要研究方向为稀土冶金及功能材料合成。E-mail：12134449@qq.com。

铵(NH_4HCO_3)、PEG-4000、无水乙醇(C_2H_6O)、正丁醇($C_4H_{10}O$)，均为优级纯，天津科密欧化学试剂有限公司。

主要仪器：BT100-1L 型蠕动泵，保定兰格恒流泵有限公司；PE20 实验室 pH 计，梅特勒—托利多仪器上海有限公司；A104 电子天平，梅特勒—托利多仪器上海有限公司；可控温马弗炉，北京太光节能技术有限公司；SHB-ⅢA 循环水式多用真空泵，陕西西康生物科技有限公司；8401-2 数显远红外高温干燥箱，杭州蓝天化验仪器厂；XH-300A 电脑微波超声波催化合成/萃取仪，北京祥鹄科技发展有限公司。

1.2　试验原理

将氧化钇溶于硝酸中，可得到硝酸钇溶液；但氧化钇中的金属杂质铁、钙、锰等元素也会溶于硝酸，为减少杂质，须加入硫化铵将 Fe^{3+}、Ca^{2+}、Mn^{2+} 转化为硫化物沉淀。原料中可溶的阴离子杂质，经过浓缩结晶步骤而去除。反应式如下：

$$Y_2O_3+6HNO_3=\!=\!=2Y(NO_3)_3+3H_2O$$

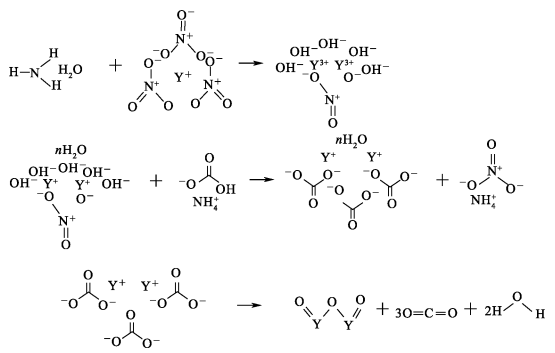
$$2Fe^{3+}+3(NH_4)_2S=\!=\!=6NH_4^++2FeS\downarrow+S\downarrow$$

$$Fe^{2+}+(NH_4)_2S=\!=\!=2NH_4^++FeS\downarrow$$

$$Ca^{2+}+(NH_4)_2S=\!=\!=2NH_4^++CaS\downarrow$$

$$Mn^{2+}+(NH_4)_2S=\!=\!=2NH_4^++MnS\downarrow$$

两步液相沉淀法的第一步是采用氨水滴加硝酸钇溶液，调节溶液 pH 在 5～6 之间，在 $n(OH^-):n(Y^{3+})<3$ 条件下，将硝酸钇转化为 $Y_2(OH)_5(NO_3)\cdot nH_2O$ 无定型沉淀[6]；第二步是采用 NH_4HCO_3 溶液滴加，使无定形沉淀转化为 $Y_2(CO_3)_3\cdot nH_2O$ 晶体，为保证碳酸钇晶体稳定性，同时避免钇沉淀不完全而造成损失，将上清液 pH 调至 7.8，此时过滤可得 $Y_2(CO_3)_3\cdot nH_2O$ 沉淀，该沉淀物在一定条件下焙烧，可得氧化钇粉体。涉及到的反应式如下：



第 1 步向溶液中滴加氨水，OH^- 浓度增大，可为沉淀反应创造适宜的碱性环境，提供的 OH^- 的物质的量不足以达到 Y^{3+} 物质的量 3 倍，Y^{3+} 先与 OH^- 结合形成碱式盐 $Y_2(OH)_5(NO_3)\cdot nH_2O$ 初级粒子，能为第 2 步沉淀提供晶核；第 2 步碳酸氢铵沉淀，以初级粒子为晶核，$Y_2(OH)_5(NO_3)\cdot nH_2O$ 脱除 OH^- 后转化为 $Y_2(CO_3)_3\cdot$。体系中 OH^- 和表面活性剂的存在能避免晶粒间团聚晶核长大，从而实现两步沉淀法制备分散均匀、粒度细小、无团聚的氧化钇前驱体。通过第 1 步沉淀滴加氨水减少了第 2 步碳酸氢铵滴加量，降低了碳的排放，此外，初级粒子的形成能使 $Y_2(CO_3)_3\cdot$ 的合成相对平缓，有利于氧化钇前驱体颗粒的生长和形貌的控制，有效避免了粒子间的团聚。

1.3　试验方法

取 100 g 氧化钇(99.9%)，缓慢溶解于 7.5 mol/L的硝酸溶液中；为加快溶解速度，将溶液加热至 70 ℃；搅拌直至白色粉末全部溶解，之后加水稀释，得硝酸钇溶液，作为后续提纯、沉淀原料。

1)提纯除杂。将硝酸钇溶液加热至 40～50 ℃，加入硫化铵溶液中；用硝酸或 Y_2O_3 粉体调节溶液 pH 至 2～3 之间；搅拌反应 30 min 后过滤，滤液加热浓缩，待温度达 130 ℃时冷却，缓慢搅拌，析出白色晶体；过滤，得高纯硝酸钇晶体，备用。

2)两步沉淀。将上述高纯硝酸钇晶体溶于水，配制不同浓度的硝酸钇溶液，之后加入表面活性剂；在搅拌状态下滴加氨水，调节溶液 pH 至 5～6之间；然后逐滴加入碳酸氢铵溶液，调节溶液 pH 至 7.8，陈化，过滤，洗涤，干燥；之后再在一定温度下焙烧一定时间，得到白色氧化钇粉体。制备工艺流程如图 1 所示。

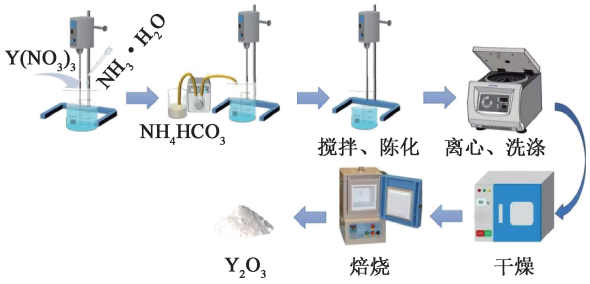


图 1　Y_2O_3 的制备工艺流程

Fig. 1　Flowchart of preparation of Y_2O_3 process

1.4 产品的表征

采用 PW1400 型 X 射线衍射仪(荷兰菲力浦)分析产品物相(辐射源采用 Cu Kα 辐射,管电压 40 kV,管电流 20 mA,扫描角度 20°～80°);采用 BT-9300Z 型激光粒度分布仪(丹东百特科技有限公司)分析产品粒度及其分布;采用 STA8000 型热重分析仪(珀金埃尔默股份有限公司)对产品进行 TG-DSC 分析;采用 TENSOR 27 型傅里叶变换红外光谱仪(德国布鲁克公司)分析产品结构;采用 SIGMA500 型场发射扫描电镜(德国布鲁克公司)分析产品形貌。

2 试验结果与讨论

2.1 杂质的去除

用硫化铵去除氧化钇原料中的铁、钙、锰等金属杂质,再通过浓缩结晶去除阴离子杂质,除杂前、后各杂质质量分数见表 1,硝酸钇中钙、铁、锰阳离子质量分数均小于 1×10^{-5},氯、氟、硫阴离子质量分数也均小于 2×10^{-5}。说明经过除杂工序,阳离子和阴离子杂质均分别得到了有效去除。根据《超细氧化钇》(GB/T 3503—2015)可知,除杂后氧化钇原料中杂质含量符合电子陶瓷用氧化钇产品质量要求。

表 1 硝酸钇晶体中杂质质量分数

Table 1 Mass fraction of impurities in Yttrium nitrate crystals 10^{-6}

工序	CaO	Fe_2O_3	MnO_2	Cl^-	F^-	SO_4^{2-}
除杂前	10	10	10	50	50	30
除杂后	5	1	5	<20	<20	<20

2.2 制备条件对氧化钇产品粒度的影响

在氨水沉淀环节,选用浓度为 13% 的氨水(浓氨水按体积比 1∶1 稀释配制),将其逐滴添加至硝酸钇溶液中,直至体系 pH 处于 5 ～ 6 的弱酸性范围。此操作可有效抑制后续滴加 NH_4HCO_3 时,因局部碱度急剧升高而引发的反应失控现象,避免 Y^{3+} 快速团聚或生成氢氧化物沉淀,保障 Y^{3+} 与 HCO_3^- 的反应平稳、均匀进行,从而提升沉淀过程的稳定性。在氨水沉淀操作中,鉴于氨水采用逐滴添加方式,滴加速度较为缓慢且滴加量较少,仅须着重控制体系 pH,其他因素对初级粒子的影响甚微。与之形成对比的是,在碳酸氢铵沉淀法里,各工艺条件对氧化钇前驱体的形貌、形态及粒度均会产生显著影响。因此,重点探究碳酸氢铵沉淀过程中各条件对制备过程的影响,并确定最优工艺条件。

2.2.1 碳酸氢铵溶液质量浓度的影响

在硝酸钇质量浓度 100 g/L、碳酸氢铵滴加速率 6 mL/min、搅拌速度 370 r/min、表面活性剂 PEG-4000 添加量 2.5%(相对于 Y_2O_3 质量,下同)、室温、陈化时间 1 h 条件下,考察不同反应温度下,碳酸氢铵溶液质量浓度对氧化钇粒度的影响,结果如图 2 所示。

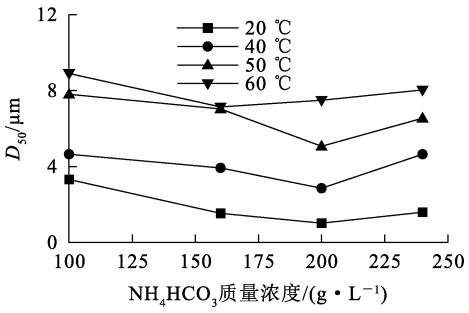


图 2 NH_4HCO_3 质量浓度对氧化钇粒度的影响

Fig. 2 Effect of NH_4HCO_3 mass concentrations on particle size of yttrium oxide

由图 2 看出:相同温度下,随碳酸氢铵溶液质量浓度升高,氧化钇颗粒平均粒径呈先减小后增大趋势,当碳酸氢铵溶液质量浓度升至 200 g/L 时,D_{50} 达最小值。这是因为在碳酸氢铵质量浓度较低的溶液中,Y^{3+} 含量相对较高,溶液处于过饱和状态,易诱发大量晶核形成,且高成核速率可增加颗粒之间相互碰撞与团聚概率,导致粒径偏大;而随碳酸氢铵质量浓度升高,溶液过饱和度逐渐下降,晶核生成速率减缓,而沉淀过程主要通过异相成核及表面沉积方式进行,晶体趋于稳定生长阶段;与此同时,依据同离子效应,HCO_3^- 发生水解产生的 CO_3^{2-} 浓度升高,会降低碳酸盐溶解度,使碳酸钇沉淀速率加快,有利于形成均匀的晶体颗粒[10];碳酸氢铵质量浓度进一步升高时,过多的 HCO_3^- 会水解产生更多 OH^-,这些 OH^- 会与部分 Y^{3+} 离子结合生成 $Y(OH)_3$,使游离 Y^{3+} 浓度降低,此时晶核的生长速率超过新核生成速率,导致颗粒逐渐长大并趋向团聚。为兼顾晶粒细化与体系稳定性,确定 200 g/L 为最优碳酸氢铵溶液质量浓度。

由图 2 还可看出，室温下沉淀所得氧化钇颗粒粒径最小。从晶体生长动力学看，晶粒的成核速率达到峰值时的温度明显低于其生长速率最快的温度。因此，在较低温度下，成核占优、长大受限[11]，更易获得细小粒径的晶体；随温度升高，更多的溶质在溶液中溶解，溶液饱和度增大，成核速率继续增大，单颗粒粒径趋于减小[12]；但与此同时，颗粒间的团聚能力也会增强，最终导致粒度增大。综上，选择在室温下进行试验更为适宜。

2.2.2　硝酸钇质量浓度的影响

在碳酸氢铵溶液质量浓度 200 g/L 及滴加速率 6 mL/min、搅拌速度 370 r/min、表面活性剂 PEG-4000 添加量 2.5%、室温、陈化时间 1 h 条件下，考察硝酸钇质量浓度对氧化钇粒度的影响，结果如图 3 所示。

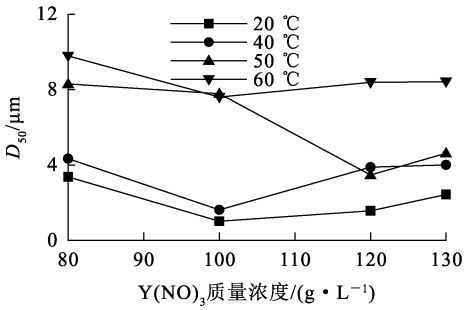


图 3　硝酸钇质量浓度对氧化钇粒度的影响

Fig. 3　Effect of yttrium nitrate mass concentration on particle size of yttrium oxide

由图 3 看出：随硝酸钇质量浓度升高，氧化钇粉体粒径先减小后增大，当硝酸钇质量浓度升至 100 g/L 时，D_{50} 降至最小。沉淀过程包括晶核的形成与晶体的生长 2 个阶段，通过调控沉淀条件，使晶核生成速率超过晶体生长速率，可获得粒径较细的粉体。当硝酸钇浓度较低时，溶液过饱和度较小，成核与生长速率均较低，只有较大粒径的晶核能够稳定存在于溶液中，因此所得氧化钇粒径较大；随硝酸钇浓度升高，溶液过饱和度增大，促使成核动力增强，成核速率显著加快，在溶液中瞬间产生大量粒径较小的晶核，同时硝酸钇浓度迅速下降、溶质结晶化速率下降，使得晶核形成速率始终高于晶体生长速率[13]，所得粒径氧化钇颗粒减小；但当硝酸钇浓度过大时，大量晶核同时生成，晶核间碰撞和合并的可能性显著增加，导致团聚现象严重，无法获得小粒径的颗粒。综合考虑，设定硝酸钇溶液质量浓度为 100 g/L。

2.2.3　表面活性剂添加量的影响

在碳酸氢铵溶液质量浓度 200 g/L 及滴加速率为 6 mL/min、硝酸钇质量浓度为 100 g/L、搅拌速度为 370 r/min，室温、陈化时间 1 h 条件下，考察表面活性剂 PEG-4000 添加量对氧化钇粒度的影响，结果如图 4 所示。

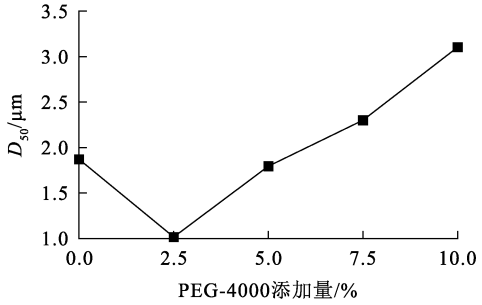


图 4　PEG-4000 添加量对氧化钇粒度的影响

Fig. 4　Effect of PEG-4000 addition amount on particle size of yttrium oxide

由图 4 看出：随 PEG-4000 添加量增大，氧化钇粒径先减小后增大，PEG-4000 添加量增至 2.5%时，D_{50} 达最小值。这是因为 PEG-4000 添加量小于 2.5%时，PEG-4000 分子以单分子形式吸附于氧化钇颗粒表面，其亲水基团与水相相互作用形成立体屏障，通过空间位阻效应抑制颗粒团聚，且随添加量增加，颗粒表面吸附覆盖率提升，分散效果持续优化，使得粒径逐渐减小[14]；当 PEG-4000 添加量超过 2.5%后，溶液中 PEG 分子浓度突破临界胶束浓度，过量分子形成胶束结构，同时溶液黏度显著增大，导致颗粒扩散受阻、碰撞团聚概率增加，进而使二次团聚现象加剧，粒径呈增大趋势[15]。

在沉淀过程中，通过引入表面活性剂 PEG-4000，其分子中的亲水基团可与水分子发生相互作用而形成氢键，并在沉淀颗粒表面形成一层亲水性保护膜，该保护膜通过占据颗粒间的部分空间，发挥空间位阻效应，同时赋予颗粒间静电排斥作用，二者的协同作用有效抑制了团聚体的形成[16]，使沉淀颗粒维持分散状态。在干燥过程中，由于颗粒表面已吸附聚乙二醇分子，使表面羟基间的相互作用被削弱，颗粒间的氢键作用随之消除，阻止氧桥键的形成，进而有效抑制硬团聚的产生。在焙烧过程中，聚乙二醇发生热分解并以气体形式逸出，最终可获得分散性良好的氧化钇粉体。因此，选择 2.5%作为表面活性剂 PEG-4000 的最佳添加量。

2.2.4 搅拌速度和碳酸氢铵滴加速度对氧化钇粒度的影响

在硝酸钇质量浓度 100 g/L、碳酸氢铵溶液质量浓度 200 g/L、表面活性剂 PEG-4000 添加量 2.5%、室温、陈化时间 1 h 条件下，考察不同搅拌速度下，碳酸氢铵滴加速度对氧化钇粒度的影响，结果如图 5 所示。

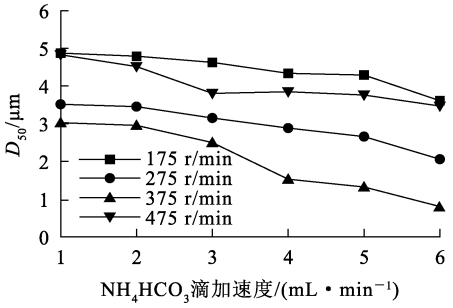


图 5 搅拌速度和碳酸氢铵滴加速度对氧化钇粒度的影响

Fig. 5 Effect of stirring speed and NH_4HCO_3 droplet acceleration on particle size of yttrium oxide

由图 5 看出，随搅拌速度增大，氧化钇粒径呈先减小后增大趋势。这是因为随搅拌速度增大，体系的混合与传质条件显著改善，溶质在短时间内充分扩散并均匀分布，有效抑制局部浓度梯度形成，促进颗粒均匀分散；搅拌速度进一步增大时，颗粒间有效碰撞频次显著增加，引发大颗粒之间的摩擦，使氧化钇粒径逐步减小，有利于晶体的细化，该现象在溶质浓度较高条件下尤为明显[12]；此外，搅拌速度增大会引起体系流体动力学条件变化，从而改变颗粒在液体中的运动与沉降行为。较大的搅拌强度通常会加速颗粒的下沉过程，使其在液体中的停留时间缩短。而对于粒径较小的颗粒而言，布朗运动的影响更加显著，使其在流体中悬浮时间较长，这一特征有助于延长颗粒与溶液中溶质分子的相互接触，从而在一定程度上促进颗粒的进一步溶解与反应过程[12]。搅拌能加快扩散速度，进而加快沉淀反应速率，并避免局部过浓而导致颗粒团聚现象发生[5,17]。综合考虑，确定搅拌速度以 375 r/min 为宜。

由图 5 还可看出：相同搅拌速度下，氧化钇粒径随碳酸氢铵滴加速度增大而逐渐减小；搅拌速度为 375 r/min、碳酸氢铵滴加速度为 6 mL/min 时，氧化钇粒径可减小至 0.853 μm，分散均匀。这是因为碳酸氢铵滴加速度增大可导致体系瞬间溶质浓度升高，并使反应速率加快，颗粒生成速度也加快，成核速度大于生长速度，从而降低颗粒粒径[5]。因此，确定最佳碳酸氢铵滴加速度为6 mL/min。

2.2.5 陈化方式及时间的影响

在硝酸钇质量浓度 100 g/L、碳酸氢铵质量浓度 200 g/L 及滴加速率 6 mL/min、搅拌速度 370 r/min、表面活性剂 PEG-4000 添加量 2.5%、室温条件下，选取静态陈化、搅拌陈化、超声波陈化、微波-超声波陈化等不同方式进行陈化，由于陈化时间会对沉淀结晶化程度会产生直接影响[3]，因此考察陈化方式及时间对氧化钇粒径的影响，结果如图 6 所示。

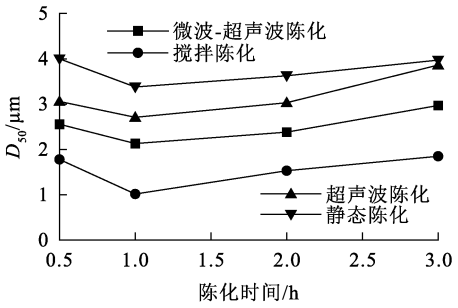


图 6 陈化方式和时间对氧化钇粒度的影响

Fig. 6 Effect of aging methods and aging time on particle size of yttrium oxide

由图 6 看出，采用搅拌陈化方式时，氧化钇粒径随陈化时间延长呈先减小后增大趋势：陈化在 1 h 内时，初始生成的颗粒存在大量亚稳态微晶、晶格缺陷及假性团聚体，热力学驱动下亚稳态结构溶解并再结晶为晶格完整、尺寸均匀的细小稳定晶粒，同时颗粒表面杂质脱附，细化效应主导使得粒径减小[10]；随陈化时间延长，较小粒径的颗粒逐渐减少[18]，颗粒间碰撞、融合和团聚概率增大，从而加剧了沉淀物团聚，使最终获得的氧化钇粉体粒径相对较大。综合考虑，确定最佳搅拌陈化时间为 1 h。

由图 6 还可看出：相同陈化时间下，搅拌陈化方式的氧化钇粒径最小。这是因为采用搅拌陈化方式时，搅拌桨旋转产生的溶液速度梯度能引发剪切力，有效破坏碳酸钇沉淀团聚体内部的结合力，使大型团聚体解体为较小颗粒，甚至单分散颗粒[13]；同时，搅拌过程中产生的小尺度涡旋能通过高频碰撞促进颗粒进一步细化，大尺度涡旋能

促进宏观层面的均匀混合，从而使沉淀颗粒在整个溶液中均匀分布[19-22]，避免颗粒在局部区域内发生团聚，确保后续热处理过程中氧化钇颗粒生长的一致性，缩小 D_{50} 的波动范围。

2.2.6　干燥方式的影响

为去除前驱体表面的水分并降低颗粒团聚程度，试验选用了 3 种不同方式干燥。取经去离子水洗涤除杂后的氧化钇前驱体样品 3 份，分别采用烘箱加热、正丁醇蒸馏、微波加热方式进行干燥：第 1 份直接置于 80 ℃烘箱中缓慢加热4 h，最终形成了坚硬的较大颗粒且粉体呈现暗沉色；第 2 份中加入正丁醇，并在搅拌条件下进行加热蒸馏 3 h，随蒸馏时间延长，沸点逐渐升高，直至正丁醇完全挥发，从而获得了结构疏松且呈纯白色的粉体；第 3 份在微波干燥仪中，于功率 1 000 W、温度 80 ℃下处理 10 min，获得了细腻疏松、相对密度较小的粉体。将 3 份干燥后的前驱体同时送入马弗炉中焙烧，测定氧化钇粒子的粒径及比表面积，结果如图 7 所示。

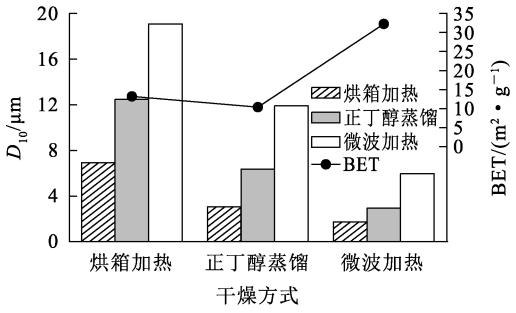


图 7　干燥方式对氧化钇粒度的影响

Fig. 7　Effect of drying methods on particle size of yttrium oxide

试验中发现：采用烘箱加热干燥时，出现明显的团聚现象，氧化钇颗粒硬度较高及较大的粒径，这是因为用烘箱干燥时，水分去除方式主要是表面水分直接蒸发，内部水分再向表面扩散后蒸发，与此同时，液相蒸发伴随毛细收缩效应，粉体物料比表面积变小，促进颗粒团聚；采用正丁醇蒸馏干燥时，可获得疏松细腻且团聚度较低的粉体，但其比表面积(BET)较小，无法满足电子陶瓷原料的要求，这是因为正丁醇沸点较高(117～118 ℃)，常用于蒸馏脱水过程，在加热过程中水分子先蒸发，当温度升至沸点时，正丁醇挥发，但在蒸馏过程中，相邻颗粒表面的羟基可能发生缩合反应，形成氧桥键，进而引起纳米颗粒之间的硬团聚[22]，使得比表面积变小；而采用微波干燥时所得粉体粒径比上述 2 种方式都小，而比表面积相对较大，且颗粒分散性较好，这是因为在微波加热过程中，样品内部与表面同时受热，但由于表面散热速度比内部快，内部温度高于表面会使表面水分优先汽化，形成内部与表面之间的水分梯度，进而产生内部压力梯度，促使内部水分快速蒸发并迅速扩散至表面挥发，显著缩短干燥时间，此外，微波加热过程中，内部水分子汽化生成的水蒸气受热膨胀，粉体裂成微小碎片，同时水分子以气体形式排出，使比表面积增大，避免粉体团聚。烘箱加热干燥法耗时数小时才能完全干燥；正丁醇蒸馏干燥反应剧烈，可能生成有毒气体；而微波干燥法仅需 10 min左右即可完成干燥，绿色高效。因此，确定选择微波加热方式对氧化钇样品进行干燥处理。

2.2.7　焙烧时间的影响

将硝酸钇和沉淀剂碳酸氢铵反应得到的氧化钇前驱体进行洗涤、微波加热干燥 10 min，之后置于马弗炉中，以 3 ℃/min 速度升温至800 ℃，考察焙烧时间对氧化钇粒度的影响，结果如图 8 所示。

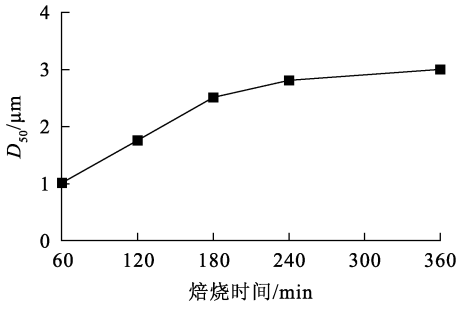


图 8　焙烧时间对氧化钇粒度的影响

Fig. 8　Effect of roasting time on particle size of yttrium oxide

由图 8 看出，随焙烧时间延长，氧化钇颗粒的平均粒径呈逐渐增大趋势。主要成因在于，焙烧过程能够降低体系的自由能，进而促使晶粒生长。在焙烧初期，由前驱体形成的颗粒内部存在大量微孔和界面，晶粒之间大多为点接触状态，这使得体系处于较高的表面能状态。随着焙烧的持续进行，颗粒内部开始发生晶粒生长[22]：晶界逐渐形成并发生迁移，较大的晶粒借助晶界运动吞并较小的晶粒，导致小晶粒逐渐缩小直至完全消失。与此同时，颗粒内部的孔隙被压缩或者排出，使得颗粒内部结构逐渐趋

于致密[23]。上述一系列过程的结果表现为晶粒明显长大,结构进一步致密化,材料整体强度也因此得到提高。综合考虑,选择 2 h 作为最佳焙烧时间。

2.3 氧化钇前驱体的热分解反应机制及动力学分析

2.3.1 热分解反应机制

在最佳沉淀和陈化等条件下所得氧化钇前驱体的 XRD 和 SEM 分析结果如图 9 所示。由图 9(a)看出,前驱体的特征峰与 $Y_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$ 标准卡片(PDF # 24-1419)基本一致,没有其他杂峰出现,说明产品结晶度较好;由图 9(b)看出,前驱体呈均匀分布的颗粒状结构,形貌近似球形,整体分散性良好,未出现明显的硬团聚现象。

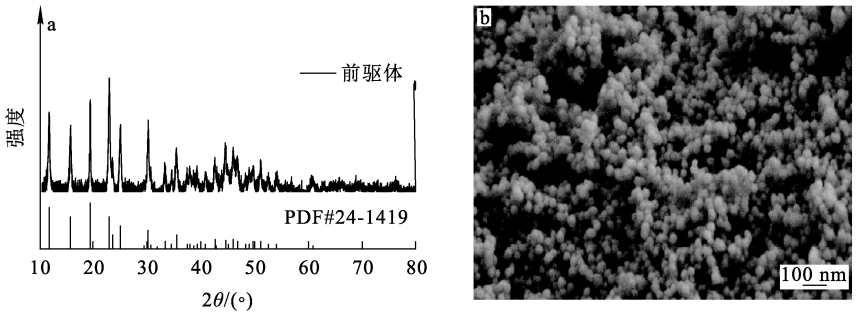


图 9 前驱体的 XRD(a)和 SEM(b)分析结果

Fig. 9 XRD (a) and SEM (b) analysis results of precursor

试验选取升温速率为 10 K/min 下的前驱体热分解数据研究反应机制,图 10 为 TG-DSC 曲线。由 TG 曲线看出,前驱体的热分解过程存在 3 个明显的失重台阶,但每个阶段的衔接平台短暂,说明反应过程中的反应界限模糊。DSC 曲线存在 3 个吸热峰,初步说明前驱体 $Y_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$ 的热分解分为 3 个阶段[20]:第 1 阶段为 0～93.7 ℃,失重率为 3.08%,是一个失去自由水的过程;第 2 阶段为 93.7～593 ℃,失重率为 32.82%,与理论上失去 2 个 H_2O 分子和 2 个 CO_2 的失重率(30.39%)接近,可认为是失去自由水和 CO_2 的过程;第 3 阶段为 593～733 ℃,是失去另一半碳酸根的过程。根据上述分析推测第 2、3 分解反应方程式如下:

$$Y_2 \cdot (CO_3)_3 \cdot 2H_2O \longrightarrow Y_2 \cdot (CO_3)_3 + 2H_2O\uparrow$$

$$Y_2 \cdot (CO_3)_3 \longrightarrow Y_2CO_5 + 2CO_2\uparrow$$

$$Y_2CO_5 \longrightarrow Y_2O_3 + CO_2\uparrow$$

为进一步验证前驱体碳酸钇热分解过程分析结果,前驱体在不同温度(100、200、300、400、500 ℃)下焙烧 2 h,焙烧所得产物的 XRD 图谱如图 11 所示。可以看出:在 100、200 ℃下焙烧所得产物的特征衍射峰与 $Y_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$ 标准图谱(PDF # 24-1419)相吻合,此阶段的初始失重是因为自由水的脱除,未发生物相转变;在 300、400 ℃下焙烧得到了无定型产物,说明发生了物相转变[19],且在 400 ℃下焙烧后前驱体尚未分解生成氧化钇;500 ℃下焙烧所得产物的特征衍射峰与 Y_2O_3 标准图谱(PDF # 86-1326)相似,但峰宽较宽且强度较弱。

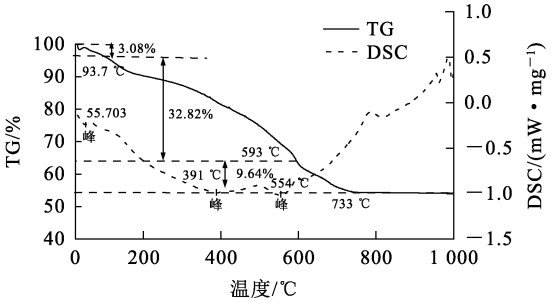


图 10 前驱体的 TG-DSC 曲线

Fig. 10 TG-DSC curves of precursor

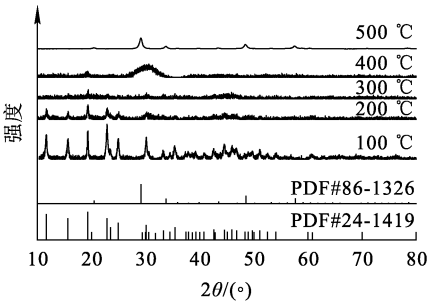


图 11 前驱体在不同温度下焙烧所得产物的 XRD 图谱

Fig. 11 XRD patterns of products obtained by calcination of precursors at different temperatures

为验证前驱体在不同温度下焙烧后的存在形式，采用傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)对前驱体及其在不同温度下焙烧所得产物进行分析，结果如图 12 所示。可以看出，在 300、400 ℃下焙烧所得产物的吸收特征峰较为相似。结合相关文献[11,24-26]研究结果可知，在 3 400 cm^{-1}附近出现的宽峰对应于吸附水分子的伸缩振动，是制备及干燥过程中残留水分所致；在 1 500 cm^{-1}附近的宽吸收带为 CO_3^{2-} 基团的特征振动峰，表明样品中仍存在碳酸根结构；在 600～800 cm^{-1}区域出现的吸收峰，其峰形较窄，根据峰宽判断，归因于O═Y和 CO_3^{2-} 的 ν_4 振动谱峰[20]，可推断出中间产物为 $Y_2O_2CO_3$。

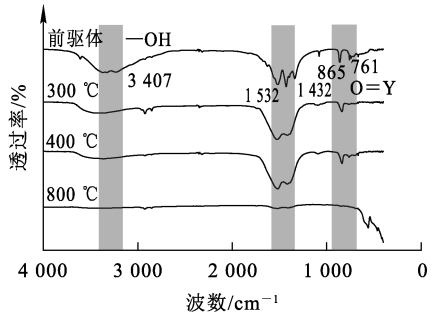


图 12　前驱体在不同温度下所得焙烧产物的的 FT-IR 图谱

Fig. 12　FT-IR spectra of calcination products of precursor at different temperatures

由图 12 还可看出，在 800 ℃下焙烧所得产物未出现上述特征峰，可能是中间相随温度升高而逐渐分解，最终转化为稳定的 Y_2O_2 晶体颗粒所致。

2.3.2　热分解动力学分析

采用 Ozawa-Flynm-Wall 法[27]分析前驱体分解动力学，此法利用不同升温速率下 TG 曲线上相同转化率 α 所对应温度 T 与升温速率 β 之间的关系进行动力学分析，其计算方程式如下：

$$\lg\beta = -\frac{0.456\,7E_a}{RT} + c$$

以 $\lg\beta$ 对 $1/T$ 作图，并以最小二乘法进行线性拟合得直线斜率带入上述方程式，经计算可得 E_a。为减小试验误差，通常采用在不同升温速率下的 TG 曲线进行计算得到更准确的试验结果[28]。因此，绘制 5 组升温速率(5、10、15、20、25 K/min)下所得前驱体碳酸钇在 N_2 气氛下的 TG 曲线，结果如图 13 所示。根据图中数据计算可得每个阶段在不同转化率 α (0.05、0.1、0.2、0.3、0.4)下对应的温度 T；分别将 3 个阶段的 TG 曲线对应转化率的温度带入方程式，以 $\lg\beta$ 为纵坐标，$1/T$ 为横坐标，以最小二乘法线性拟合作图，利用直线斜率求出 3 个反应阶段的 E_a 平均值，结果分别为 101.68、564.22、590.103 kJ/mol。

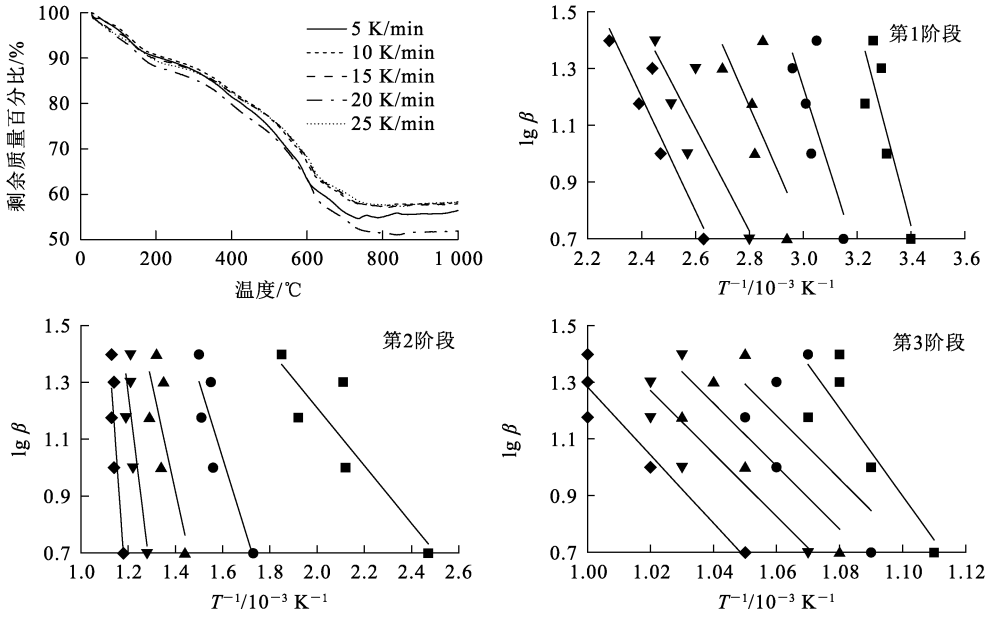


图 13　前驱体 TG 曲线及 3 个阶段的 lg β-1/T 的线性拟合曲线

Fig. 13　TG curves of precursor and linear fitting curves of lg β-1/T at three stages

试验采用 Crane 法计算热分解反应级数，利用不同升温速率下的曲线峰值温度 T_{max} 和升温速率 β 的关系进行动力学分析，其计算公式如下：

$$\frac{\mathrm{d}\ln\beta}{\mathrm{d}T_{max}^{-1}}=\frac{E_a}{nR}+T_{max}$$

用 $\ln\beta$ 对 $1/T_{max}$ 作图且以最小二乘法线性拟合，将直线斜率 $-E_a/nR$ 和 Ozawa 法得到的活化能相结合，可计算出反应级数 n，结果见表 2，线性拟合曲线如图 14 所示。从表 2 看出，利用 Crane 法计算的超细碳酸钇 3 个阶段分解过程中，第 1 阶段反应级数为 1.8 369，第 2 阶段反应级数为 0.896 4，第 3 阶段反应级数为 0.972 2。

表 2 前驱体热分解反应过程中各阶段的反应级数 n

Table 2 Reaction order n at each stage during thermal decomposition reaction of precursor

阶段	斜率	E_a/(kJ·mol^{-1})	n
第 1 阶段	−6 199.93	101.68	1.836 9
第 2 阶段	−56 740.87	564.22	0.896 4
第 3 阶段	64 455.86	590.103	0.972 2

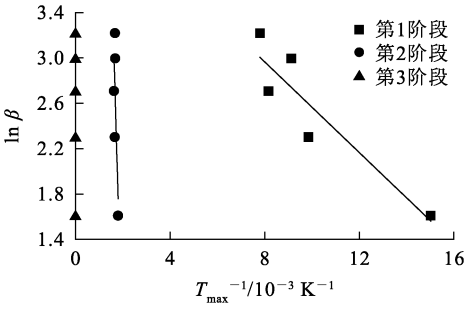


图 14 3 个阶段的 ln β-1/T_{max} 的线性拟合曲线

Fig. 14 Linear fitting curves of ln β-1/T_{max} in three stages

3 氧化钇粉体的表征

3.1 XRD 分析

将最佳工艺条件下（$Y(NO_3)_3$ 质量浓度为 100 g/L、$(NH_4)HCO_3$ 溶液浓度和滴加速率分别为 200 g/L 和6 mL/min、搅拌速度为 370 r/min、室温、搅拌陈化时间为 1 h、PEG-4000 添加量为 2.50%、微波加热干燥时间为 10 min）制备的前驱体在不同温度下焙烧 2 h，之后采用 XRD 分析所得产物的物相，结果如图 15 所示。可以看出：所得产物的衍射峰与立方相氧化钇 PDF 标准卡（PDF # 86-1326）基本吻合；所得产物在 20.40°、29.12°、33.69°处的特征衍射峰归属于（2 1 1）、（2 2 2）、（4 0 0）、（4 4 0）晶面；图谱中未观察到其他杂质的明显衍射峰，说明成功制备了纯相立方氧化钇。

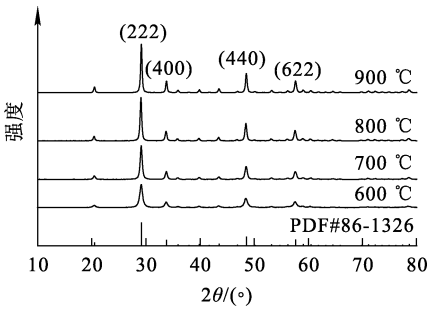


图 15 不同焙烧温度下所得产物的 XRD 图谱

Fig. 15 XRD patterns of product obtained at different calcination temperatures

3.2 SEM 分析

将最佳工艺条件下（$Y(NO_3)_3$ 质量浓度为 100 g/L、$(NH_4)HCO_3$ 溶液质量浓度和滴加速率分别为200 g/L和 6 mL/min、搅拌速度为 370 r/min、室温、搅拌陈化为 1 h、PEG-4000 添加量为2.50%、微波加热干燥时间为 10 min）制备的前驱体，在 800 ℃下焙烧 2 h，之后采用 SEM 分析前驱体及产物的形貌，结果如图 16 所示。可以看出：前驱体主要呈球形，且粒径大小较均匀，所得产物也呈球形，分散性良好。

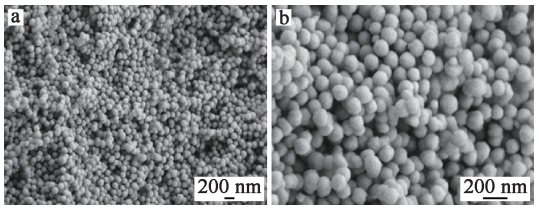


图 16 碳酸钇前驱体(a)和所得产物(b)的 SEM 照片

Fig. 16 SEM images of yttrium carbonate precursor (a) and product obtained (b)

综合 $Y(NO_3)_3$ 浓度、NH_4HCO_3 浓度、反应温度、陈化方式、洗涤工艺、干燥工艺、焙烧工艺等各项因素的影响，在优化工艺条件制得粒径均一、呈球形且分散性良好的纳米氧化钇，其主要性能指标见表 3。可以看出：Y_2O_3 产品的 D_{50} 为 1.018 μm，比表面积为 31.32 m^2/g，基本符合电子陶瓷对氧化钇的性能要求[29]。

表 3　Y_2O_3产品的主要性能参数

Table 3　Main performance parameters of Y_2O_3 product

D_{10}/μm	D_{50}/μm	D_{90}/μm	BET/ ($m^2 \cdot g^{-1}$)
0.111	1.018	1.670	31.32

4　结论

以 99.9%的氧化钇为原料，采用除杂—两步沉淀—焙烧分解工艺制备适用于电子陶瓷用的高分散、细粒度、高比表面积的高纯氧化钇晶体，研究结论如下：

1）通过加入硫化铵，可去除 Fe^{3+}、Ca^{2+}、Mn^{2+}等阳离子杂质，再经过浓缩结晶可去除可溶的阴离子杂质；除杂后所得高纯硝酸钇中阳离子（钙、铁、锰））质量分数$<5\times10^{-6}$，阴离子（Cl^-、F^-、SO_4^{2-}）质量分数$<2\times10^{-5}$，符合电子陶瓷对氧化钇纯度的要求。

2）采用氨水-NH_4HCO_3 两步水相沉淀法制备氧化钇的最佳工艺条件为：$Y(NO_3)_3$ 溶液质量浓度为 100 g/L，NH_4HCO_3 溶液质量浓度及滴加速度分别为 200 g/L、6 mL/min，室温，搅拌速度为 370 r/min，搅拌陈化时间为 1 h，表面活性剂 PEG-4000 添加量为 2.5%。

3）氧化钇前驱体经水洗、微波加热干燥 10 min、800 ℃下焙烧 2 h 可制得 D_{50} = 1.018 μm、BET = 31.32 m^2/g 的球状立方相 Y_2O_3晶体，符合电子陶瓷对氧化钇纯度的要求。

4）氧化钇前驱体分解机制与动力学的分析结果表明，$Y_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$ 经过 Y_2CO_5 中间态转化为 Y_2O_3，前驱体经 3 个阶段分解转化为氧化钇，分解 3 个阶段的活化能分别为61.68、564.22、590.103 kJ/mol，对应的反应级数分别为1.836 9，0.896 4和0.972 2。

该法具有操作简单、成本低、环保无污染等优点，经济效益和社会效益显著，具有一定应用价值。

参考文献：

[1] 张文毓. 电子陶瓷的研究与应用[J]. 陶瓷，2020(4)：45-51.
ZHANG Wenyu. Research and application of electronic ceramics[J]. Ceramics，2020(4)：45-51.

[2] ANANDHI D V，SELVANANDAN S，NEETHA MEHATHAJ M，et al. Structural and magnetic studies on the yttrium-doped zinc-copper ferrite nanoparticle synthesized by the solution combustion method[J]. Bull Mater Sci，2025，48. DOI：10.1007/s12034-025-03424-3.

[3] ZHOU H P，GUO J F，ZHU G J，et al. Highly efficient preparation of crystalline yttrium carbonate in sodium carbonate system：formation and growth mechanism[J]. Journal of Rare Earths，2025，43(7)：1492-1501.

[4] ABDALKREEM T M，SWART H C，KROON R E. Comparison of Y_2O_3 nanoparticles synthesized by precipitation，hydrothermal and microwave-assisted hydrothermal methods using urea[J]. Nano-Structures & Nano-Objects，2023，35. DOI：10.1016/j.nanoso.2023.101026.

[5] ISIK M，YILDIRIM T，GASANLY N M. Thermoluminescence behavior of yttrium-doped ZnO nanoparticles synthesized by sol-gel method[J]. Luminescence，2025，40(28)：14561-14569.

[6] 闻雷，孙旭东，王介强，等. Y_2O_3超微粉及其透明陶瓷的制备[J]. 东北大学学报，2002(12)：1151-1154.
WEN Lei，SUN Xudong，WANG Jieqiang，et al. Synthesis of unltrafine yittria powder and fabrication of transparent yttria ceramics[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science)，2002(12)：1151-1154.

[7] WANG S J，ZHONG S L，WEN Z B，et al. Synthesis and characterization of yttrium hydroxide and oxide microtubes[J]. Rare Metals，2009，28(5)：445-448.

[8] HAJIZADEH-OGHAZ M，RAZAVI R S，BAREKAT M，et al. Synthesis and characterization of Y_2O_3 nanoparticles by sol-gel process for transparent ceramics applications[J]. Sol-Gel Sci Technol，2016，78：682-691.

[9] ZHAO Y Y，ZHANG X Y，LI X，et al. Monodispersed spherical Y_2O_3 and $Y_2O_3:Eu^{3+}$ particles synthesized from modified homogeneous urea precipitation process[J]. Journal of Alloys and Compounds，2020，829. DOI：10.1016/j.jallcom.2020.154562.

[10] LI X W，XIA X M，XU H L，et al. High-temperature high pressure synthesis of monoclinic Y_2O_3[J]. Materials Letters，2019，239：82-85.

[11] 乔军，张升强，王新宇，等. 用碳酸氢铵沉淀法制备大颗粒氧化铈试验研究[J]. 湿法冶金，2023，42(6)：628-637.
QIAO Jun，ZHANG Shengqiang，WANG Xinyu，et al. Preparation process of large particle cerium oxide by ammonium bicarbonate precipitation[J]. Hydrometallurgy of China，2023，42(6)：628-637.

[12] KOTKOWIAK M，TIM B，KOTKOWIAK M，et al. The role of the polyethylene glycol in the organization of gold nanorods at the air-water and air-solid interfaces[J]. Lang-

muir,2024,40(28):14561-14569.

[13] 张志刚,徐建荣,张啸,等.煅烧温度对低温固相合成 $NiFe_2O_4$ 纳米粉显微组织结构的影响[J].凝聚态物理学进展,2015,4(1):1-6.
ZHANG Zhigang,XU Jianrong,ZHANG Xiao,et al. Effect of calcination temperature on microstructure of $NiFe_2O_4$ nanopowders synthesized by low-temperature solid-state method [J]. Advances in Condensed Matter Physics, 2015, 4(1):1-6.

[14] 刘磊,许国华,彭婧,等.用碳酸钠沉淀法制备少钕碳酸稀土试验研究[J].湿法冶金,2023,42(2):178-184.
LIU Lei, XU Guohua, PENG Jing, et al. Preparation of rare earth carbonate with less neodymium by sodium carbonate precipitation[J]. Hydrometallurgy of China,2023,42(2):178-184.

[15] KUMAR S, MANDAL A. Thermodynamics of micellization,interfacial behavior and wettability alteration of aqueous solution of nonionic surfactants[J]. Tenside Surfactants Detergents,2017,54(5):427-436.

[16] HARRISON E, NICOL J R, MACIAS-MONTERO M, et al. A comparison of gold nanoparticle surface co-functionalization approaches using Polyethylene Glycol (PEG) and the effect on stability,non-specific protein adsorption and internalization[J]. Materials Science and Engineering: C,2016,62:710-718.

[17] 贾培杰,胡艳宏,柳召刚,等.稀土抛光粉制备工艺优化及性能研究[J].无机盐工业,2025,57(6):56-63.
JIA Peijie, HU Yanhong, LIU Zhaogang, et al. Study on preparation process optimization and properties of rare earth polishing powder[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2025,57(6):56-63.

[18] 杨新帅,王周福,王玺堂,等.低温固相反应法制备铈酸镧粉体及其烧结性能研究[J].粉末冶金技术,2021,39(2):159-164.
YANG Xinshuai, WANG Zhoufu, WANG Xitang, et al. Preparation and sintering properties of lanthanum cerium powders by low temperature solid state reaction[J]. Powder Metallurgy Technology,2021,39(2):159-164.

[19] 江学良,张姣,余露,等.水热法制备氧化钇空心纳米花及其吸附性能[J].无机化学学报,2016,32(8):1337-1344.
JIANG Xueliang,ZHANG Jiao,YU Lu,et al. Yttria hollow nano-flowers synthesized by hydrothermal method and their adsorption capacity[J]. Chinese Journal of Inorganic Chemistry,2016,32(8):1337-1344.

[20] 高国华.碳酸钠沉淀制备超细氧化钇的机理及工艺研究[D].赣州:江西理工大学,2020.

[21] 高国华,赖安邦,周小芳,等.碳酸钇沉淀结晶过程及其影响因素[J].中国有色金属学报,2020,30(10):2457-2474.
GAO Guohua, LAI Anbang, ZHOU Xiaofang, et al. Precipitation crystallization process of yttrium carbonate and its influencing factors[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals,2020,30(10):2457-2474.

[22] KONISHI Y, NODA Y, ASAI S. Precipitation stripping of yttrium oxalate powders from yttrium-loaded carboxylate solutions with aqueous oxalic acid solutions[J]. Ind Eng Chem Res,1998,37(6):2093-2098.

[23] 宋晓岚,邱冠周,曲鹏,等.纳米 CeO_2 在热处理过程中的结构和性能变化[J].中国有色金属学报,2004,14(11):1934-1939.
SONG Xiaolan,QIU Guanzhou,QU Peng,et al. Structure and property changes of CeO_2 nanocrystalline in thermal treatment process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals,2004,14(11):1934-1939.

[24] 杨明.大颗粒草酸钕前驱体的制备及热分解研究[D].赣州:江西理工大学,2015.

[25] 黄昕,李琴,杨明,等.大颗粒草酸钕热分解特性及动力学研究[J].中国稀土学报,2016,34(1):83-92.
HUANG Xin,LI Qin,YANG Ming,et al. Thermal decomposition and kinetics analysis of larger particle neodymium oxalate[J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2016,34(1):83-92.

[26] 周强,武斌,陈葵,等.磷尾矿热分解动力学机理与煅烧工艺研究[J].无机盐工业,2023,55(3):47-54.
ZHOU Qiang, WU Bin, CHEN Kui, et al. Research on kinetic mechanism and calcination process of thermal decomposition of phosphorus tailings[J]. Inorganic Chemicals Industry,2023,55(3):47-54.

[27] ZHAN G,YU J,XU Z,et al. Kinetics of thermal decomposition of lanthanum oxalate hydrate[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2012, 22(4): 925-934.

[28] 邓庚凤,谢耀,蔡晨龙,等.Y_2O_3 前驱体热分解过程及动力学研究[J].中国稀土学报,2019,37(1):105-113.
DENG Gengfeng, XIE Yao, CAI Chenlong, et al. Mechanism and kinetics of thermal decomposition of yttrium oxide precursor[J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths,2019,37(1):105-113.

[29] 全国稀土标准化技术委员会.超细氧化钇:XB/T 510-2019[S].北京:中国标准出版社,2019.

Preparation and Mechanism of Yttrium Oxide for Electronic Ceramics

CHENG Jiayao[1,2,3], MA Shengfeng[1], ZHANG Xiaowei[2,3], HOU Shaochun[1], FENG Wei[1], GAO Kai[1]

(1. *State Key Laboratory of Baiyunobo Rare Earth Resource Researches and Comprehensive Utilization, Baotou Research Institute of Rare Earths, Baotou* 014030, *China*;
2. *College of Rare Earth Industry, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *China*;
3. *Key Laboratory of Green Extraction and Efficient Utilization of Light Rare Earth Resources, Ministry of Education, Baotou* 014010, *China*)

Abstract: The preparation of yttrium oxide (Y_2O_3) crystals suitable for industrial production of electronic ceramics by a two-step precipitation method using ammonia water and ammonium bicarbonate was studied. The effects of solution concentration, precipitant concentration, surfactant addition amount, reaction temperature, feeding rate, stirring speed, aging method and time, and calcination method and time of the precursor on the particle size of the prepared Y_2O_3 powder were investigated. The decomposition mechanism and kinetics of the precursor were also explored. The results show that the use of ammonium sulfide to purify 99.9% of yttrium oxide can effectively remove metal impurities. Under the optimal conditions of room temperature, $Y(NO_3)_2$ solution mass concentration of 100 g/L, NH_4HCO_3 solution mass concentration and addition rate of 200 g/L and 6 mL/min, respectively, stirring speed of 370 r/min, aging time of 1 h, surfactant addition amount of 2.5%, microwave drying for 10 min, calcination temperature of 800 ℃, and calcination time of 2 h, spherical cubic Y_2O_3 crystals with D_{50} = 1.018 μm and BET = 31.32 m^2/g can be prepared, which meet the requirements of Y_2O_3 powder for electronic ceramics. The analysis of the decomposition process and mechanism of the precursor $Y_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$ to Y_2O_3 indicates that $Y_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$ is converted to Y_2O_3 through the intermediate state of Y_2CO_5. The decomposition of the precursor to Y_2O_3 occurs in three stages, with activation energies of 61.68, 564.22, and 590.103 kJ/mol, and corresponding reaction orders of 1.836 9, 0.896 4, and 0.972 2, respectively. The method can achieve industrial production of Y_2O_3 for electronic ceramics. The entire process is simple to operate, low-cost, environmentally friendly, and pollution-free, with significant economic and social benefits and broad application prospects.

Key words: electronic ceramics; yttrium oxide; preparation; two-step precipitation; decomposition mechanism