

## 粒径可控纳米 CeO<sub>2</sub> 的微乳液法合成

朱文庆<sup>1,2</sup> 许磊<sup>2</sup> 马瑾<sup>2</sup> 任建梅<sup>2</sup> 陈亚芍<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>应用表面与胶体化学教育部重点实验室, 陕西师范大学化学与材料科学学院, 西安 710062;

<sup>2</sup>西安工程大学环境与化学工程学院, 西安 710048)

**摘要:** 以十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)/正丁醇/正辛烷/硝酸铈(Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)水溶液(氨水)所形成的反相微乳液体系合成CeO<sub>2</sub>前驱体, 利用热重(TG)和X射线衍射(XRD)分析方法确定了得到纳米CeO<sub>2</sub>的适宜焙烧温度为550℃, CeO<sub>2</sub>前驱体经550℃焙烧后得到纳米CeO<sub>2</sub>。采用XRD、透射电镜(TEM)、紫外-可见(UV-Vis)分光光度计等表征手段, 分别对纳米CeO<sub>2</sub>的晶形、形貌、粒径及紫外吸收性质进行了表征, 该纳米CeO<sub>2</sub>粒子具有立方晶型结构, 分散性较好, 粒径范围为5-18 nm。考察了微乳液中正辛烷与正丁醇的质量比、Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>的浓度对纳米CeO<sub>2</sub>粒径的影响, 结果表明: 利用微乳液法, 通过改变微乳液中正辛烷与正丁醇质量比、Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>的浓度能够对纳米CeO<sub>2</sub>粒径进行有效控制; 纳米CeO<sub>2</sub>的粒径均随着正辛烷与正丁醇质量比和Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>浓度的增大而减小。同时, 对不同条件下制得的纳米CeO<sub>2</sub>的紫外吸收性质进行了考察。

**关键词:** 微乳液法; 纳米CeO<sub>2</sub>; 粒径可控; 合成; 紫外吸收性质

**中图分类号:** O648

## Size Controlled Synthesis of CeO<sub>2</sub> Nanoparticles by a Microemulsion Method

ZHU Wen-Qing<sup>1,2</sup> XU Lei<sup>2</sup> MA Jin<sup>2</sup> REN Jian-Mei<sup>2</sup> CHEN Ya-Shao<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Applied Surface and Colloid Chemistry, Ministry of Education, School of Chemistry and Materials Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, P. R. China; <sup>2</sup>College of Environmental and Chemical Engineering,

Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, P. R. China)

**Abstract:** Precursors of CeO<sub>2</sub> were synthesized in a reverse microemulsion composed of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), 1-butanol, 1-octane, Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> brine, and ammonia water. The optimum calcination temperature (550 °C) was derived from thermogravimetry (TG) analysis and X-ray powder diffraction (XRD). The CeO<sub>2</sub> nanoparticles were then prepared by calcining the precursors at 550 °C. The structures, morphologies, size, and UV absorption properties of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles were characterized by XRD, transmission electron microscopy (TEM), and UV-Vis spectroscopy. Cubic crystalline CeO<sub>2</sub> nanoparticles of 5-18 nm in size and with good monodispersity were obtained using this method. The influences of the mass ratio of 1-octane to 1-butanol and the concentration of Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> on the size of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles were studied. Results showed that CeO<sub>2</sub> nanoparticle size was dependent on the mass ratio of 1-octane to 1-butanol and the concentration of Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. The size of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles also decreased as the mass ratio of 1-octane to 1-butanol as well as the concentration of Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> increased. In addition, we studied the UV absorption properties of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles by UV-Vis spectroscopy.

**Key Words:** Microemulsion; CeO<sub>2</sub> nanoparticle; Controlled size; Synthesis; UV absorption property

Received: October 23, 2009; Revised: January 5, 2010; Published on Web: February 2, 2010.

\*Corresponding author. Email: yschen@snnu.edu.cn; Tel: +86-29-85303725.

The project was supported by the Science and Technology Research Project of Xi'an City (CX Y09026), and the Special Research Project of Shaanxi Provincial Department of Education, China (07JK268).

西安市科技创新支撑计划(CXY09026)和陕西省教育厅专项科研计划(07JK268)资助项目

© Editorial office of Acta Physico-Chimica Sinica

纳米  $\text{CeO}_2$  和铈基纳米材料因具有多方面功能特性, 被广泛应用于固体氧化物燃料电池<sup>[1-3]</sup>、高温氧敏半导体<sup>[4-5]</sup>、催化剂<sup>[6-8]</sup>、发光材料<sup>[9]</sup>、紫外吸收剂<sup>[10]</sup> 等领域. 人们注意到纳米  $\text{CeO}_2$  的结构和性能往往取决于其粒径和形貌, 但由于纳米颗粒粒径小, 比表面积大使得纳米粒子在高能状态下很不稳定, 从而使粒径和形貌难以控制, 因此纳米  $\text{CeO}_2$  的粒径和形貌的可控合成已成为研究热点<sup>[11-13]</sup>. 在众多纳米  $\text{CeO}_2$  的合成方法中, 微乳液法具有纳米粒子粒径可控、实验装置简单、反应条件温和、操作方便、分散性较好、界面性和稳定性好等优点<sup>[14]</sup>.

微乳液是由表面活性剂、助表面活性剂、油相和水相组成的各向同性的热力学稳定体系, 其中油包水型微乳液被称为反相微乳液<sup>[15]</sup>. 在反相微乳液中, 微小的“水核”被表面活性剂和助表面活性剂组成的单分子层界面包围, 这种“水核”不仅提供了良好的微环境, 可以避免粒子本身因表面界面效应而引发的团聚现象, 而且由“水核”所形成的微反应器, 能够限制粒子的粒径, 通过调节微乳液体系的参数, 能够可控地制得具有不同粒径的单分散纳米粒子<sup>[16-17]</sup>.

目前, 微乳液法应用于粒径可控纳米  $\text{CeO}_2$  的合成, 引起了人们的兴趣. 如 Hadi 等<sup>[18]</sup>采用微乳液法, 在 HTAB/正丁醇/正辛烷/硝酸铈水溶液(氢氧化钠)所形成的反相微乳液体系中, 研究了焙烧温度对纳米  $\text{CeO}_2$  粒径的影响, 并合成了粒径范围约 5–49 nm 的纳米  $\text{CeO}_2$ ; He 等<sup>[19]</sup>采用微乳液法, 在 CTAB/正己醇/环己烷/硝酸铈水溶液(草酸二甲酯)所形成的反相微乳液体系中, 研究了焙烧温度、助表面活性剂等因素对纳米  $\text{CeO}_2$  粒径的影响, 并合成了粒径范围约 58–90 nm 的纳米  $\text{CeO}_2$ . 因此, 选取适宜的微乳液体系以及寻找合适的反应条件, 对于控制纳米  $\text{CeO}_2$  粒径的大小是很有意义的. 本文采用微乳液法合成了纳米  $\text{CeO}_2$ , 利用 XRD、TEM、UV-Vis 光谱等表征手段, 分别对产物的晶形、形貌、粒径及紫外吸收性质进行了测试与分析, 并考察了反相微乳液体系中正辛烷与正丁醇的质量比、 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  的浓度等因素对产物粒径的影响.

## 1 实验部分

### 1.1 试剂和仪器

十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)为分析纯(天津市科密欧化学试剂开发中心); 正辛烷、正丁醇、氨水、无水乙醇均为分析纯(西安化学试剂厂); 硝酸铈为

分析纯(山东鱼台清达精细化工厂).

TGA/SDTA851e 热重同步分析仪(瑞士, 梅特勒公司); D/Max-3c 全自动 X 射线衍射仪(日本, Rigaku 公司); H-600 透射电镜(日本, Hitachi 公司); U-3310 紫外-可见分光光度计(日本, Hitachi 公司).

### 1.2 纳米 $\text{CeO}_2$ 的制备

#### 1.2.1 反相微乳液的制备

硝酸铈反相微乳液(A)的制备. 在 25 °C 时, 先按一定质量比的正丁醇与 CTAB 混合均匀, 再加入一定浓度和体积的硝酸铈水溶液, 最后加入正辛烷, 振荡, 即可得到澄清透明的硝酸铈反相微乳液(A).

氨水反相微乳液(B)的制备. 在 25 °C 时, 称取与上述质量比相同的正丁醇与 CTAB 混合均匀, 将再加入与硝酸铈水溶液相同体积、一定浓度的氨水溶液, 最后加入正辛烷, 振荡, 即可得到澄清透明的氨水反相微乳液(B).

#### 1.2.2 纳米 $\text{CeO}_2$ 的制备

将 A 和 B 两种反相微乳液混合搅拌熟化、静置使沉淀晶体充分生长, 放置 24 h 后, 离心分离, 用无水乙醇和蒸馏水交替洗涤 5 次, 并在 75 °C 真空干燥箱内干燥 5 h, 得  $\text{CeO}_2$  前驱体, 将  $\text{CeO}_2$  前驱体在 550 °C 下焙烧 2 h, 最后得到纳米  $\text{CeO}_2$ .

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\text{CeO}_2$ 前驱体焙烧温度的确定

图 1 为正辛烷与正丁醇的质量比为 16:1, 硝酸铈浓度为  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 所合成的  $\text{CeO}_2$  前驱体的 TG 谱图. 从图 1 可以看出, 从 25 到 550 °C 失重为 7.9%, 这可能对应于氢氧化物中羟基的脱除即氧化物的形成. 从图 1 中还可以看出, 400 °C 以后没有明显的失重, 表明氢氧化铈分解成  $\text{CeO}_2$  的过程基本

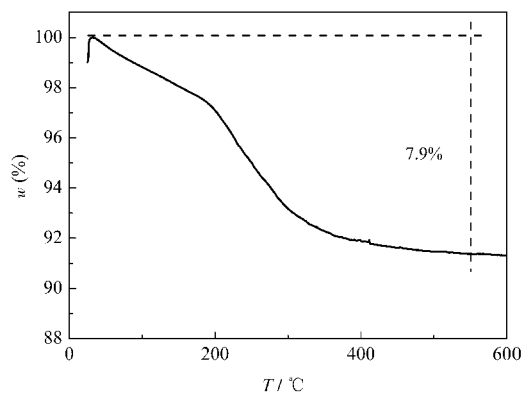


图 1  $\text{CeO}_2$  前驱体的 TG 曲线

Fig.1 TG curve of the precursor of  $\text{CeO}_2$

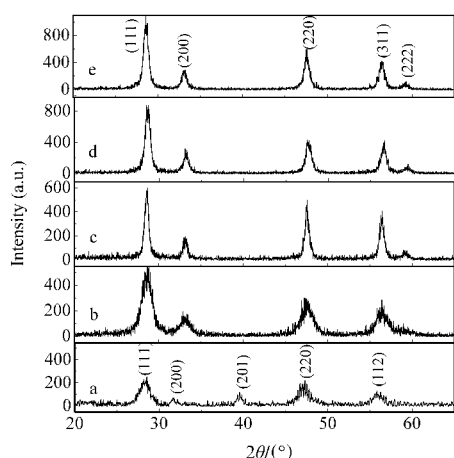


图2 前驱体(a)及不同焙烧温度下 CeO<sub>2</sub> 纳米颗粒(b-e)的 XRD 图谱

Fig.2 XRD patterns of the precursor (a) and CeO<sub>2</sub> nanoparticles at different calcination temperatures (b-e)

T/°C: (b) 400, (c) 500, (d) 550, (e) 600

完成。

图2为正辛烷与正丁醇的质量比均为16:1,硝酸铈浓度为 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,CeO<sub>2</sub>的前驱体及不同焙烧温度下所得CeO<sub>2</sub>的XRD谱图.从图2可以看出,CeO<sub>2</sub>前驱体的XRD谱图中的衍射峰(200)、(201)、(112)与Ce(OH)<sub>3</sub>标准卡片JCPDS(19-0284)相一致,而衍射峰(111)、(220)与CeO<sub>2</sub>标准卡片JCPDS(65-2975)相一致,表明前驱体中有部分Ce(OH)<sub>3</sub>已分解为CeO<sub>2</sub>,这与TG分析中前驱体的失重量小于Ce(OH)<sub>3</sub>理论失重量(14.1%)相一致.为了进一步确定前驱体的焙烧温度,对不同焙烧温度下的纳米CeO<sub>2</sub>进行了XRD分析.当焙烧温度为400℃时,所得纳米CeO<sub>2</sub>的XRD谱图与其标准卡片JCPDS(65-2975)相一致,表明此焙烧温度下前驱体已分解成为

CeO<sub>2</sub>,这与前驱体的TG分析的结果相一致,但X射线衍射峰强度较弱,纳米CeO<sub>2</sub>结晶不完全.比较焙烧温度分别为400、500、550、600℃时的纳米CeO<sub>2</sub>的XRD谱图可以看出,随着焙烧温度的升高,衍射峰(111)、(220)、(311)的峰强度增强,衍射峰趋于尖锐,表明纳米CeO<sub>2</sub>的结晶程度随焙烧温度的升高而趋于完善,而粒径趋于增大.这主要是因为焙烧是影响粒径大小的关键环节之一,在高温处理过程中,初级粒子的表面原子活性将进一步增强,有可能使晶粒长大.所以在既保证CeO<sub>2</sub>前驱体充分分解,又能够获得结晶良好的纳米CeO<sub>2</sub>的情况下,本实验适宜的焙烧温度为550℃.

## 2.2 正辛烷与正丁醇质量比对CeO<sub>2</sub>粒径的影响

图3为硝酸铈浓度为 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,不同质量比的正辛烷与正丁醇下制得前驱体在550℃下焙烧所得纳米CeO<sub>2</sub>的XRD图谱.将XRD谱图与CeO<sub>2</sub>的标准卡片JCPDS(65-2975)对照可知,纳米CeO<sub>2</sub>是纯立方晶相.由图3B可以看出,随着正辛烷/正丁醇质量比的增大,衍射峰(111)逐渐宽化.应用Scherrer公式<sup>[20]</sup>: $D = k\lambda_{k_{\text{ref}}}/\beta\cos\theta$ ,可以计算CeO<sub>2</sub>粒子的粒径,其中, $D$ 是计算所得的粒径; $k$ 是颗粒形状因子,取值为0.9; $\lambda_{k_{\text{ref}}}$ 为入射X射线波长,取值 $0.15406 \text{ nm}$ ; $\beta$ (radian unit)为从入射线 $k_{\alpha}$ 中分离出来的 $k_{\text{ref}}$ 单色线引起的半高宽; $\theta$ 是与之相对应的衍射角.当正辛烷与正丁醇的质量比依次为8:1、12:1、16:1、20:1时,计算所得纳米CeO<sub>2</sub>的粒径分别为12.7、12.2、11.0、9.6 nm,表明纳米CeO<sub>2</sub>的粒径随着正辛烷与正丁醇质量比的增大而减小.这主要是由于在Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>浓度确定的情况下,纳米CeO<sub>2</sub>的粒径主要取决于反相微乳液水核的大小,而反相微乳液水核的大小主

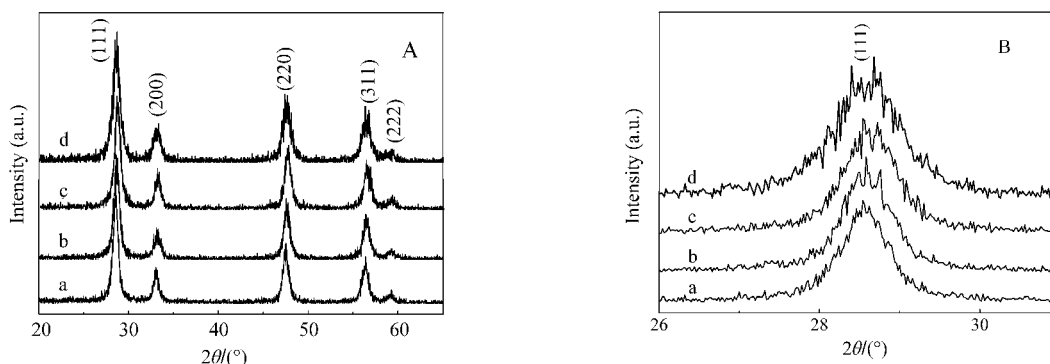


图3 正辛烷与正丁醇不同质量比下制得CeO<sub>2</sub>纳米颗粒的XRD图谱(A)及衍射晶面(111)的相应放大图(B)  
Fig.3 XRD patterns of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized with different mass ratios of 1-octane to 1-butanol (A) and the enlarged (111) surface (B)

$m(1\text{-octane}):m(1\text{-butanol})$ : (a) 8:1, (b) 12:1, (c) 16:1, (d) 20:1;  $c(\text{Ce}(\text{NO}_3)_3)=1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

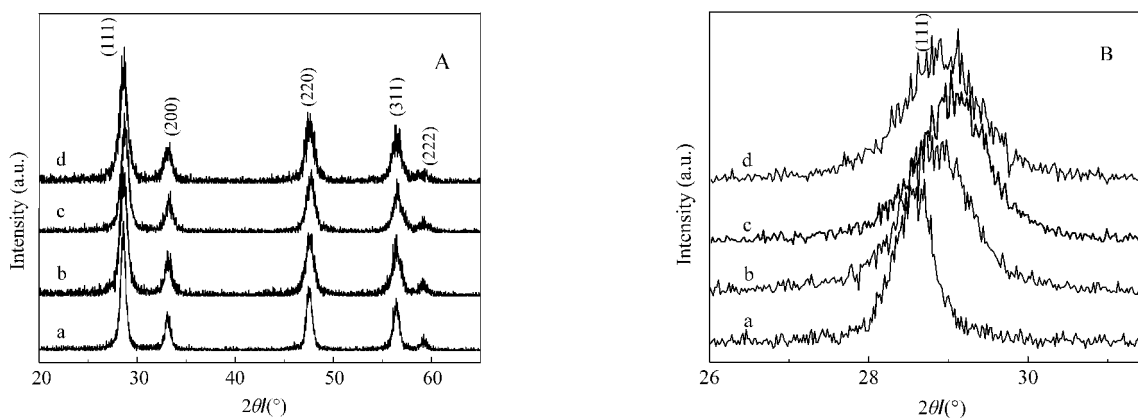


图4 不同反应物浓度下制得  $\text{CeO}_2$  纳米颗粒的 XRD 图谱(A)及衍射晶面(111)的相应放大图(B)

Fig.4 XRD patterns of the  $\text{CeO}_2$  nanoparticles synthesized with different reactant concentrations (A) and the enlarged (111) surface (B)

$c(\text{Ce}(\text{NO}_3)_3)/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ : (a) 0.5, (b) 1.0, (c) 1.5, (d) 2.0;  $m(1\text{-octane}):m(1\text{-butanol})=20:1$

要取决于  $\text{H}_2\text{O}$  与 CTAB 摩尔比的大小,随着正辛烷与正丁醇的质量比增加(依次为 8:1、12:1、16:1、20:1),对应的水与 CTAB 摩尔比减小(依次为 47、43、38、24),单位 CTAB 所占有的水量减小,导致水核变小,因此制得的纳米  $\text{CeO}_2$  的粒径减小。

### 2.3 反应物浓度对 $\text{CeO}_2$ 粒径的影响

图4为正辛烷与正丁醇的质量比为 20:1 时,不同反应物浓度下制得前驱体在  $550\text{ }^\circ\text{C}$  下焙烧所得纳米  $\text{CeO}_2$  的 XRD 图谱.将 XRD 谱图与  $\text{CeO}_2$  标准卡片 JCPDS(65-2975)对照可知,纳米  $\text{CeO}_2$  是纯立方晶相.由图 4B 可以看出,随着  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  浓度的增大,衍射峰(111)逐渐宽化,用 Scherrer 公式计算出的纳米  $\text{CeO}_2$  粒子的粒径为:当  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  浓度依次为 0.5、1.0、1.5、2.0  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,纳米  $\text{CeO}_2$  的粒径分别为 15.7、9.6、9.3、8.7 nm,即粒径随着  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  浓度的增大而减小.图 5 为正辛烷与正丁醇的质量比为 20:1 时,不同反应物浓度下制得前驱体在  $550\text{ }^\circ\text{C}$  下焙烧所得纳米  $\text{CeO}_2$  的 TEM 图片及粒径分布图.从图 5 可以看出,所得纳米  $\text{CeO}_2$  粒子均为球形,其粒径主要分布在 5–18 nm,而且随着  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  浓度的增加,其形貌没有变化,但平均粒径减小(分别为 13.3、10.7、8.9、8.4 nm).这与通过 XRD 计算所得的粒径大小基本一致,而且其粒径的变化趋势(随反应物浓度的增加,制得纳米  $\text{CeO}_2$  粒子的粒径减小)也相一致.这主要是由于在保持正辛烷与正丁醇质量比、CTAB 等一定的条件下,水核的大小不变,  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  的浓度越大,水核中所容纳  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  的量增加,体系的过饱和度也随之增加.根据 Von Weimarn 经验公式<sup>[21]</sup>,沉淀的分散度  $R$ (表示生成沉

淀颗粒的大小)与溶液的相对过饱和度关系为  $R=k(Q-S)/S$ ,其中,  $Q$  为加入硝酸铈瞬间沉淀物质的浓度;  $S$  为开始沉淀时沉淀物质的溶解度,表示对沉淀作用的阻力;  $Q-S$  为沉淀开始瞬间的过饱和度,它是引起沉淀作用的动力;  $(Q-S)/S$  为沉淀开始瞬间的相对过饱和度;  $k$  为一定温度下的比例常数.因此,在一定的相对过饱和度范围内,溶液的相对过饱和度越大,分散度也越大,形成的晶核数目就越多,得到的沉淀粒径也越小。

### 2.4 不同条件下 $\text{CeO}_2$ 的紫外吸收性质分析

将样品分散在无水乙醇中,样品的紫外-可见吸收光谱如图 6 和图 7 所示.图 6 为硝酸铈浓度为 1.0  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,不同质量比的正辛烷与正丁醇下制得前驱体在  $550\text{ }^\circ\text{C}$  下焙烧所得纳米  $\text{CeO}_2$  的紫外-可见光谱.从图 6 可以看出,纳米  $\text{CeO}_2$  在可见光区(400–780 nm)无特征吸收,透过性好,而在 280–400 nm 的紫外光区,均有良好的紫外吸收性质,而且随着正辛烷与正丁醇质量比的增大,波长为 300 nm 左右处的最大吸收峰不断蓝移(见表 1 中的  $\lambda_{\text{max}}$ ).这主要是

表 1 正辛烷与正丁醇不同质量比下制得  $\text{CeO}_2$  纳米颗粒的特性参数

Table 1 Characteristic parameters of the $\text{CeO}_2$ nanoparticles synthesized with different mass ratios of 1-octane to 1-butanol		
$m(1\text{-octane}):m(1\text{-butanol})$	$D_{\text{XRD}}/\text{nm}$	$\lambda_{\text{max}}/\text{nm}$
8:1	12.7	297
12:1	12.2	295
16:1	11.0	293
20:1	9.6	292

$D_{\text{XRD}}$ : the size of  $\text{CeO}_2$  calculated by the XRD patterns;  $\lambda_{\text{max}}$ : the maximum absorption wavelength

由于 CeO<sub>2</sub> 有一个 3.1 eV 的能带间隔, 在此能带区电荷转移在紫外区有很强的吸收, 吸收边界  $\lambda = hc/E_g = 1240/3.1 = 400$  nm (式中,  $\lambda$  为吸收波长;  $h$  为 Planck 常数;  $c$  为光速;  $E_g$  为能带间隔). 当纳米 CeO<sub>2</sub> 的粒径减小, 其带间能量增大, 最大吸收峰蓝移<sup>[22]</sup>. 因此, 随着正辛烷与正丁醇质量比的增大, 纳米

CeO<sub>2</sub> 的粒径趋于减小. 这与 XRD 粒径分析的结果相一致.

图 7 为正辛烷与正丁醇的质量比为 20:1 时, 不同反应物浓度下制得前驱体在 550 °C 下焙烧所得纳米 CeO<sub>2</sub> 的紫外-可见光谱. 从图 7 可以看出, 纳米 CeO<sub>2</sub> 在可见光区(400–780 nm)无特征吸收, 透过性

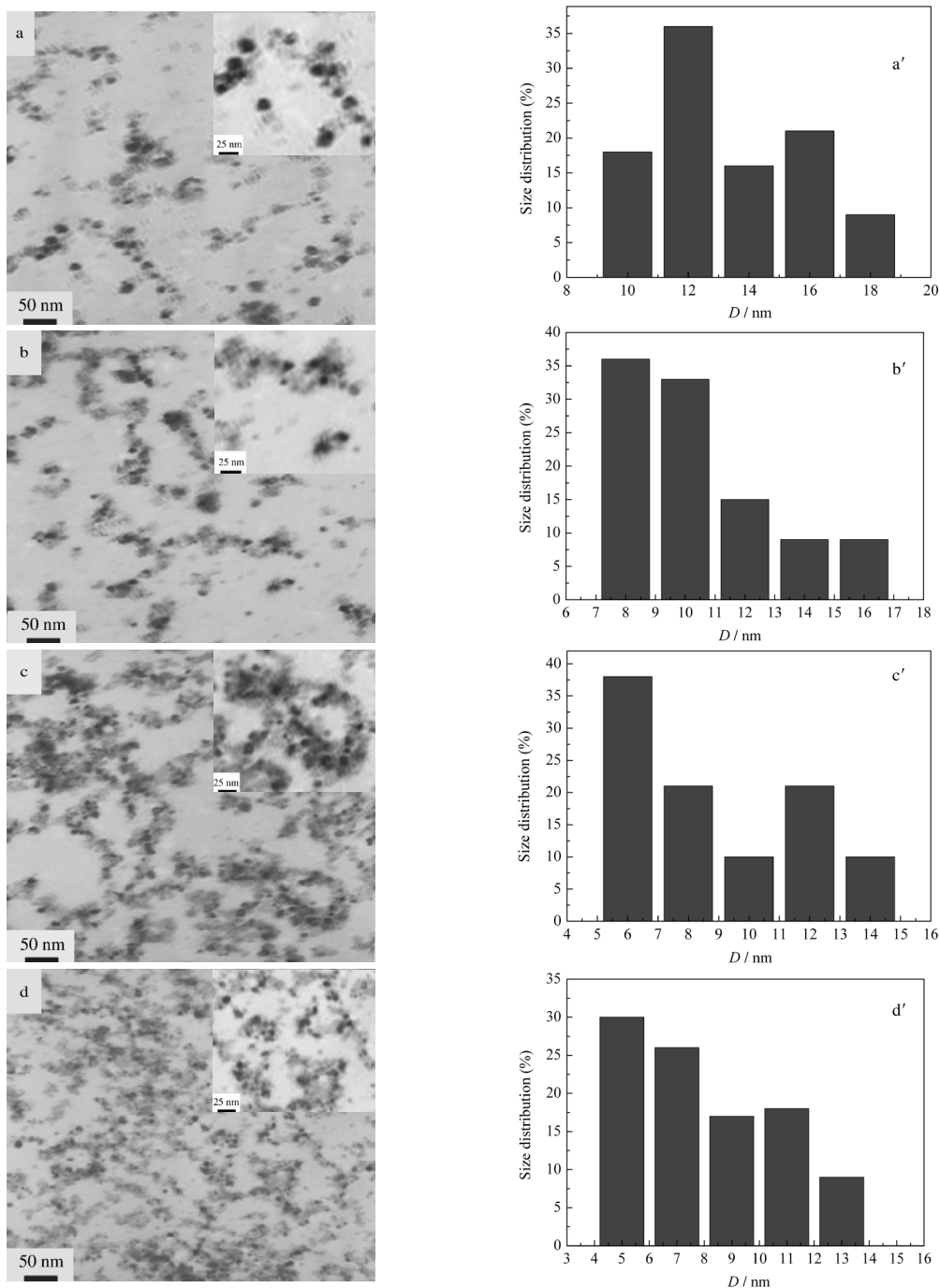


图 5 不同反应物浓度下制得 CeO<sub>2</sub> 纳米颗粒的 TEM 图片(a-d)及粒径分布图(a'-d')

Fig.5 TEM images of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized with different reactant concentrations (a-d) and particle size distribution pictures obtained by direct measurements in the TEM image (a'-d')

$c(\text{Ce}(\text{NO}_3)_3)/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ : (a, a') 0.5, (b, b') 1.0, (c, c') 1.5, (d, d') 2.0;  $m(1\text{-octane}):m(1\text{-butanol})=20:1$

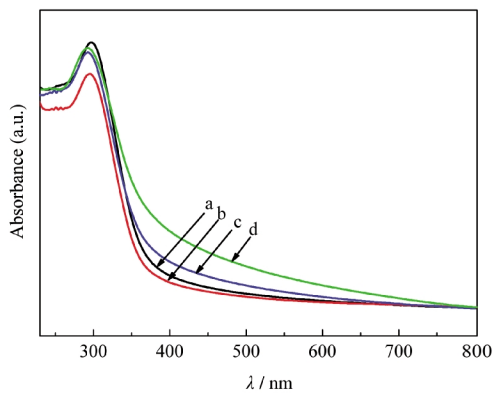


图6 正辛烷与正丁醇不同质量比下制得 CeO<sub>2</sub> 纳米颗粒的 UV-Vis 吸收光谱

Fig.6 UV-Vis absorption spectra of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized with different mass ratios of 1-octane to 1-butanol

$m(1\text{-octane}):m(1\text{-butanol})$ : (a) 8:1, (b) 12:1, (c) 16:1, (d) 20:1;  $c(\text{Ce}(\text{NO}_3)_3)=1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

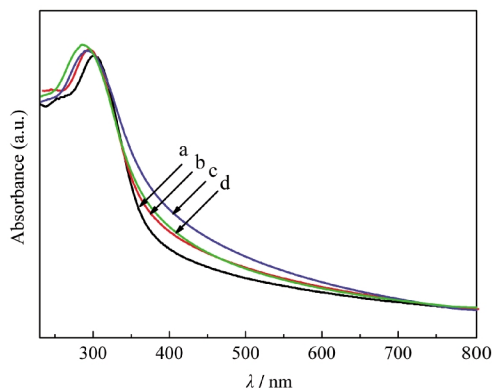


图7 不同反应物浓度下制得 CeO<sub>2</sub> 纳米颗粒的 UV-Vis 图谱

Fig.7 UV-Vis adsorption spectra of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized with different reactant concentrations

$c(\text{Ce}(\text{NO}_3)_3)/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ : (a) 0.5, (b) 1.0, (c) 1.5, (d) 2.0;  
 $m(1\text{-octane}):m(1\text{-butanol})=20:1$

(好,而在 280–400 nm 的紫外光区,均有良好的紫外吸收性质,而且随着 Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 浓度的增大,波长为 300 nm 左右处的最大吸收峰不断蓝移(见表 2 中的

表 2 不同反应物浓度下制得 CeO<sub>2</sub> 纳米颗粒的特性参数

Table 2 Characteristic parameters of the CeO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized with different reactant concentrations

$c(\text{Ce}(\text{NO}_3)_3)/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$D_{\text{XRD}}/\text{nm}$	$D_{\text{TEM}}/\text{nm}$	$\lambda_{\text{max}}/\text{nm}$
0.5	15.7	13.3	301
1.0	9.6	10.7	292
1.5	9.3	8.9	291
2.0	8.7	8.4	285

$D_{\text{TEM}}$ : the size of CeO<sub>2</sub> calculated by TEM images

$\lambda_{\text{max}}$ ). 表明纳米 CeO<sub>2</sub> 的粒径随 Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 浓度的增大而不断减小,这与 XRD 和 TEM 粒径分析的结果相一致.

### 3 结论

在 CTAB/正丁醇/正辛烷/Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 水溶液(氨水)所形成的反相微乳液体系中合成了 CeO<sub>2</sub> 的前驱体,该前驱体在适宜焙烧温度(550 °C)下得到纳米 CeO<sub>2</sub>. 进一步考察得出:利用微乳液法合成的纳米 CeO<sub>2</sub>,分散性较好,粒径范围为 5–18 nm,并且可以通过调节微乳液中正辛烷与正丁醇的质量比、Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 的浓度对其粒径进行有效控制;纳米 CeO<sub>2</sub> 的粒径随着正辛烷与正丁醇质量比的增大而减小,随着 Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 浓度的增大而减小.同时,对所制得的纳米 CeO<sub>2</sub> 的紫外吸收性质进行了测试与分析,结果表明最大吸收峰随纳米 CeO<sub>2</sub> 粒径减小而蓝移.

### References

- Fu, Y. P.; Chen, S. H.; Tsai, F. Y.; Hu, S. H. *Ceram. Int.*, **2009**, *35*: 609
- Yan, M.; Mori, T.; Zou, J.; Ye, F.; Ou, D. R.; Drennan, J. *Acta Mater.*, **2009**, *57*: 722
- Sun, X. F.; Wang, S. R.; Wang, Z. R.; Qian, J. Q.; Wen, T. L.; Huang, F. Q. *J. Power Sources*, **2009**, *187*: 85
- Fu, Y. P. *Ceram. Int.*, **2009**, *35*: 653
- Adamopoulos, O.; Björkman, E.; Zhang, Y.; Muhammeda, M.; Bog, T.; Mussmann, L.; Lox, E. *J. Eur. Ceram. Soc.*, **2009**, *29*: 677
- Zhang, D. S.; Yan, T. T.; Pan, C. S.; Shi, L. Y.; Zhang, J. P. *Mater. Chem. Phys.*, **2009**, *113*: 527
- Zhu, H. O.; Kim, J. R.; Ihm, S. K. *Appl. Catal. B: Environmental*, **2009**, *86*: 87
- Xiao, X. Y.; Lu, J. Q.; Su, X. W.; Guo, M.; Luo, M. F. *Acta Phys. - Chim. Sin.*, **2009**, *25*(3): 561 [肖小燕,鲁继青,苏孝文,郭明,罗孟飞.物理化学学报, **2009**, *25*(3): 561]
- Li, G. C.; Chao, K.; Peng, H. R.; Chen, K. Z.; Zhang, Z. K. *J. Phys. Chem. C*, **2008**, *112*: 16452
- Li, L.; Chen, Y. S. *J. Mater. Sci. Eng. A*, **2005**, *406*: 180
- Bumajdad, A.; Eastoe, J.; Mathew, A. *Adv. Colloid Interface Sci.*, **2009**, *147–148*: 56
- Phokaa, S.; Laokula, P.; Swatsitang, E.; Promarak, V.; Seraphin, S.; Maensirl, S. *Mater. Chem. Phys.*, **2009**, *115*: 423
- Zuo, X. F.; Shen, M.; Ma, G. L. *J. Chin. Rare Earth Soc.*, **2006**, *24*(2): 247 [左晓菲,沈明,马桂林.中国稀土学报, **2006**, *24*(2): 247]
- Ye, X. G.; Zhang, X. G.; Mi, H. Y.; Yang, S. D. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **2008**, *24*(6): 1105 [叶向果,张校刚,米红宇,杨苏东.物理化学学报, **2008**, *24*(6): 1105]

- 15 Hoar, T. P.; Schulman, J. H. *Nature*, **1943**, **152**: 102
- 16 Guo, W. J.; Su, L.; Zhang, P. Y.; Wu, Z. S.; Zhang, Z. J. *Acta Phys. - Chim. Sin.*, **2007**, **23**(3): 367 [郭文静, 孙磊, 张平余, 吴志申, 张治军. 物理化学学报, **2007**, **23**(3): 367]
- 17 Zeng, W.; Zhou, H. H.; Ying, X. F.; Zeng, Q. L.; Hu, W. Y.; Kuang, Y. F. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **2007**, **23**(5): 769 [曾伟, 周海晖, 英晓芳, 曾庆良, 胡伟亚, 旷亚非. 物理化学学报, **2007**, **23**(5): 769]
- 18 Hadi, A.; Yaacob, I. I. *Mater. Lett.*, **2007**, **61**: 93
- 19 He, Y. J.; Yang, B. L.; Cheng, G. X. *Mater. Lett.*, **2003**, **57**: 1880
- 20 Zhang, L. D.; Mo, J. M. *Nanomaterial and nanostructure*. Beijing: Science Press, 2001: 147-148 [张立德, 牟季美. 纳米材料和纳米结构. 北京: 科学出版社, 2001: 147-148]
- 21 Geng, S. H.; Zhu, W. Q.; Chang, P. M.; Chen, Y. S. *Acta Phys. - Chim. Sin.*, **2008**, **24**(9): 1609 [耿寿花, 朱文庆, 常鹏梅, 陈亚苟. 物理化学学报, **2008**, **24**(9): 1609]
- 22 Zhu, Z. W.; Long, Z. Q.; Cui, D. L.; Zhang, S. L.; Zhang, G. C. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, **2005**, **15**(3): 435 [朱兆武, 龙志奇, 崔大立, 张顺利, 张国成. 中国有色金属学报, **2005**, **15**(3): 435]