

CeO_2 及 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固态溶液的 现场拉曼光谱比较^①

缪建英 蔡俊修

(厦门大学化学系催化教研室 固体表面物理化学国家重点实验室 物理化学研究所 厦门 361005)

摘要 控制合成条件以湿化学法制备超细颗粒 CeO_2 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体. X 射线粉末衍射证实两者皆为立方相. 在氧化、还原气氛 50°C 到 650°C 条件下分别对样品进行原位拉曼光谱研究. 结果发现除 $440\sim 470\text{ cm}^{-1}$ 出现面心立方晶格 F_{2g} 拉曼活性模式对应的强拉曼谱峰外, $220\sim 280$ ($290\sim 320$), $400\sim 410$ 和 $560\sim 600$ ($570\sim 620$), $780\sim 840$ ($770\sim 790$) 及 $1150\sim 1180$ ($1160\sim 1190$) cm^{-1} 分别出现弱拉曼谱峰. 这些弱拉曼谱峰由不同原因引起的晶体结构改变造成. CeO_2 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的各拉曼弱峰变化情况不同. 弱拉曼谱峰的存在及变化趋势揭示了 CeO_2 和固溶体的结构特征, 同时也反映了 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体具有比 CeO_2 更高催化性能的结构方面的因素.

关键词 CeO_2 , $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体, 拉曼光谱, 萤石型结构

中国图书分类号 O 643 361

拉曼光谱是由紫外或可见光引起分子内电子极化产生的. 以频率为 ν 的单色光照射分子, 入射光的诱导引起分子内的电子极化, 发射出频率为 ν (瑞利散射) 和 $\nu \pm \nu'$ (拉曼散射) 的光 (ν' 表示振动频率). 在紫外或可见光区内观测得相对于入射光频率 ν 的拉曼位移即分子振动的频率. 从中可以获取许多关于简正振动的对称性信息, 进而得知化合物内有关化学键、分子空间构型以及相变等的信息, 因此拉曼光谱成为催化研究中越来越常用的结构表征方法之一. 在汽车废气治理的研究中, 近年来兴起的含 CeO_2 的“三效”催化剂, 因 CeO_2 具有较高储氧能力 (OSC), 能促进贵金属的分散, 增加氧化铝等载体的热稳定性, 促使水汽转化反应的进行, 直接与贵金属反应, 加速 CO 和烃的氧化等特性, 使得该催化剂体系的研究得到不断发展. 进一步研究发现, 当向 CeO_2 晶格中掺杂 Zr^{4+} 等离子之后形成的固态溶液, 其氧化还原反应性能和储氧能力均有很大提高^[1]. Francesca Zamar 等^[2]还发现 Ce-Zr-O 固溶体是甲烷燃烧的一种新颖而有效的催化剂. 系列 TPR 结果证实, 等摩尔铈/锆比的立方结构 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体具有最低还原温度, 最佳催化性能^[3]. 以拉曼光谱进行的含 CeO_2 催化剂体系结构性质的研究, 目前只获得常温下纯 CeO_2 和 $CeAlO_3/Al_2O_3$ ^[4]、 Pt/CeO_2 ^[5] 等的拉曼光谱图, 以及在 U 型管中真空加热处理后的 Pt/CeO_2 的拉曼光谱图^[6], 对氧化还原气氛下纯 CeO_2 和 Ce-Zr-O 固溶体的原位拉曼光谱研究未见报道. 本文比较了氧气氛和氢气氛中 50 到 650°C 不同温度条件下 CeO_2 及 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的结构改变在拉曼光谱中的表现, 从中间接得知两者不同的反应性能.

① 本文 1998-04-13 收到; 福建省自然科学基金资助项目 (B96006)

1 实验

1.1 样品的制备

1) CeO_2 的制备

将一定浓度的 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 溶液喷射到 $\text{pH} = 9 \sim 10$ 的氨水和碳酸铵混合溶液(预先溶解少量聚乙二醇)中并剧烈搅拌. 沉淀抽滤后以去离子水、丙酮和正丁醇分别洗涤. 再用适量正丁醇分散固体, 蒸馏至馏分中无水, 蒸干分散剂并于 100°C 干燥 24 h, 650°C 灼烧 2 h 后取出骤冷至室温可制得超细颗粒的立方相 CeO_2 样品.

2) $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 固溶体的制备

将等摩尔 Ce^{3+} 与 Zr^{4+} 的混合溶液同上喷射到沉淀剂中, 同等条件干燥. 灼烧后可制得超细立方 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 固溶体.

1.2 XRD 测试

晶相分析在 Rigaku Rotaflex D/m ax-C 型 X 射线粉末衍射仪上进行. $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 0.15406 \text{ nm}$) 作辐射源, 管压 40 kV, 管流 30 mA, 采用石墨单色器滤波. 在 $22 \sim 82^\circ$ 范围以 $4^\circ/\text{min}$ 的扫描速度测试并用自编程序计算晶胞参数.

1.3 原位拉曼光谱研究

超细颗粒 CeO_2 及 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 固溶体样品经 80~100 目过筛后装入石英管, 石英管插入原位拉曼样品池, 在 SPEX Ramalog V 型激光拉曼光谱仪上进行催化剂结构性质的原位拉曼光谱研究. 以波长为 514.5 nm 的氩离子激光器的强绿线作为激发光源, 激光功率为 150 mW, 在 $200 \sim 1500 \text{ cm}^{-1}$ 范围对样品进行扫描, 积分时间 0.5 s. 数据在 SPEX Datamate 上进行处理. 样品分别在氧气氛中 $50 \sim 150 \sim 650^\circ\text{C}$ 恒定 60 min 并扫描. 冷至室温并用 N_2 吹扫 3 h. H_2 与 N_2 的混合气于 $50 \sim 150 \sim 650^\circ\text{C}$ 恒温 60 min 后扫描.

2 结果与讨论

2.1 XRD 结果分析

湿化学法合成的固体颗粒, 其大小和均匀程度等受诸多因素影响. 在液相反应阶段、干燥和灼烧阶段分别控制颗粒的团聚, 可制备大小均一的超细颗粒^[7]. CeO_2 和 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 固溶体的 XRD 分析结果表明两者均为立方相(见图 1), 计算所得晶胞参数为 $a(\text{CeO}_2) = 0.5408 \text{ nm}$; $a(\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2) = 0.5325 \text{ nm}$. 固溶体晶胞参数的减小是由于半径较小的 Zr^{4+} 进入 CeO_2 晶格引起.

2.2 Raman 光谱研究结果

CeO_2 和 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 固溶体在不同温度氧化还原气氛下的原位拉曼光谱图分别见图 2-3 图中可见, CeO_2 和 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 固溶体在氧化、还原状态下均有 $440 \sim 470 \text{ cm}^{-1}$ 的强拉曼信号峰, 该峰对应于面心立方结构的 F_{2g} 拉曼活性模式, 这说明 CeO_2 和 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 固溶体为立方结构. 但该谱峰在不同条件下会因晶体结构的细微变化而偏移. 此外, 在低、高波数区另有一些弱峰, 这些弱峰与萤石结构的偏移有关. CeO_2 及固溶体的晶体结构因外界条件改变而发生一定程度的畸变, 并由此引起 t_{2g} 活性振动模式的分裂, 在低波数的拉曼非活性(但是红外活性)区出现区域中心横向光模式信号峰, 高波数区存在区域中心纵向光声子模式信号峰^[4]. 图 2-3 中, H 50...H 650 和 O 50...O 650 分别表示氢、氧气氛下 $50 \sim 650^\circ\text{C}$ 的拉曼光谱图. 萤石结构 CeO_2 的 F_{2g} 拉曼活性模式对应谱峰在氧气氛, $50 \sim 650^\circ\text{C}$ 时分别为 466, 464, 462, 460, 460,

454 450 cm^{-1} , 随温度升高移向低波数区. 样品冷至室温后, 于氢气氛 50… 650 $^{\circ}C$ 下扫描, 相应出现 466 462 462 460 456 456 452 cm^{-1} 拉曼峰, 亦随温度升高移向低波数. CeO_2 的低波数谱峰出现在 220~ 280 cm^{-1} , 部分情况在 400~ 410 cm^{-1} 出现很弱的肩峰. 高波数区有 560~ 600 cm^{-1} 的弱肩峰和 780~ 840 cm^{-1} 以及 1 150~ 1 180 cm^{-1} 的弱峰. 其中 220~ 280 cm^{-1} 弱峰在氧气氛下随温度升高逐渐增大, 至 450 $^{\circ}C$ 消失. 冷至室温并通氮气未再出现. 通 H_2 还原且升温, 该谱峰逐渐出现, 但至 450 $^{\circ}C$ 再次消失. 氢气氛中该谱峰比同温度下的氧气氛中弱. CeO_2 在 400~ 410 和 560~ 600 cm^{-1} 的弱肩峰在氧气氛中随温度升高稍减弱, 650 $^{\circ}C$ 处理后降至室温, 两肩峰基本消失. 通 H_2 升温后, 两肩峰逐渐显露. 780~ 840 cm^{-1} 弱峰是 CeO_2 经 O_2 350 $^{\circ}C$ 以上处理后逐渐出现的, 冷至室温该信号消失, 在氢气氛 450

$^{\circ}C$ 以上又出现, 但较微弱. 1 150~ 1 180 cm^{-1} 谱峰通 O_2 后随温度的升高稍增强且增宽, 通 N_2 H_2 升温后逐渐减弱但不完全消失. $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的原位拉曼光谱图中, F_{2g} 模式对应的拉曼谱峰强而尖锐地出现在 450~ 470 cm^{-1} . ν_2 活性振动模式因晶体结构改变而分裂产生的弱峰分别位于 290~ 320 570~ 620 770~ 790 和 1 160~ 1 190 cm^{-1} . 低波数区 290~ 320 cm^{-1} 弱峰在氧气氛下随温度由低而高逐渐长大, 氢气氛下则从低温到高温逐渐减弱至消失. 570~ 620 cm^{-1} 弱肩峰和 770~ 790 cm^{-1} 弱峰在氧、氢气氛下均随温度升高而明显增大. 1 160~ 1 190 cm^{-1} 宽而弱的小峰在氧气氛下随温度升高逐渐增强, 氢气氛下有微小减弱趋势. 除 440~ 470 cm^{-1} 的强拉曼峰外, CeO_2 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 的低、高波数区弱拉曼谱峰位置相近, 但不同条件下的变化情况不同, 说明晶体结构改变由多种原因造成, 进而影响各拉曼谱峰的表现. 反映出 CeO_2 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 有不同的结构特征及催化反应性能. CeO_2 发生氧化、还原反应的过程中, 氧化和还原是从表面开始的. 在 450 $^{\circ}C$ 以下, CeO_2 表面的 Ce^{3+} 、 Ce^{4+} 、 O^{2-} 、氧缺位以及吸附的氧化物等的数目与位置在不断地改变, 导致 CeO_2 晶体表面出现瞬间的极大形变, 引起 220~ 270 cm^{-1} 的拉曼谱峰信号. 温度超过 450 $^{\circ}C$, 氧气氛下, 氧化铈表面与本体的 Ce^{3+} 均氧化为 Ce^{4+} , 形成了较完整的 CeO_2 , 220~ 270 cm^{-1} 弱峰消失. 同样温度还原气氛下, CeO_2 的本体还原开始^[8], 表面还原趋于稳定, 表面各离子及空位的数目和相对位置变化不大, 表面瞬间形变消失, 形变导致的该弱峰也随之消失. 而 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的 290~ 320 cm^{-1} 弱谱峰由整个晶体结构畸变引起. 更小的等价阳离子 Zr^{4+} (0.084 nm) 取代 Ce^{4+} (0.097 nm) 后形成固溶体, 立方晶格收缩并相应产生晶格应力. 晶格中 Ce^{4+}/Ce^{3+} 氧化还原电对的存在, 使较大 Ce^{3+} (0.110 nm) 造成的晶格膨胀可部分均衡 Zr^{4+} 引起的晶格压缩, 晶格畸变程度相应减小. 氧化还原气氛下 Ce^{3+} 与 Ce^{4+} 的相互转化使 Zr^{4+} 导致的晶格收缩突出或得以抵消, 由此产生的 290~ 320 cm^{-1} 拉曼谱峰在氧化还原气氛下有不同表现.

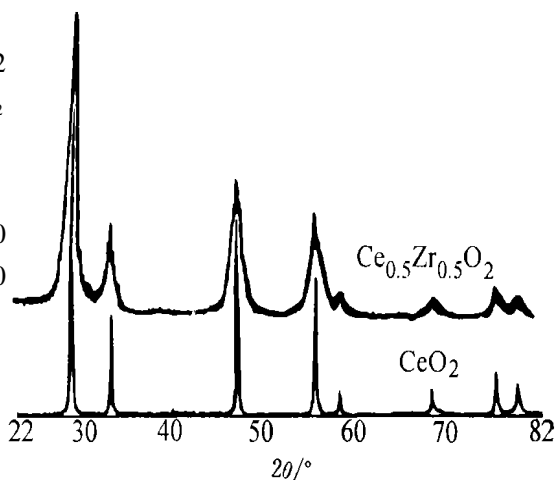


图 1 CeO_2 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的 X 射线衍射图

Fig 1 XRD diagrams of CeO_2 and $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ solid solution

CeO_2 在 $400\sim 410$ 和 $560\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 的弱肩峰由 $2CeO_2 \rightleftharpoons Ce_2O_3 + 1/2O_2$ 氧化还原平衡移动引起的晶体结构偏离萤石构型产生. 平衡移向 Ce^{3+} , 因 Ce^{3+} 半径大于 Ce^{4+} 半径, 晶格会膨胀. 同时为保持晶体呈电中性, 晶格中会失去部分氧形成氧缺陷. 晶格膨胀和氧缺陷导致的面心立方晶格的偏离就引起 $400\sim 410$ 和 $560\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 拉曼弱肩峰的出现. 样品经通氧、升温处理后, 逐渐形成较完整的 CeO_2 , 两弱肩峰逐渐消失. CeO_2 的还原在氢气中 200°C 时逐渐从表面开始, Ce^{3+} 及氧缺位的再次生成使 $400\sim 410$ 和 $560\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 的弱肩峰重新出现. 与 CeO_2 不同, $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的 $570\sim 620\text{ cm}^{-1}$ 弱肩峰变化情况与 $770\sim 790\text{ cm}^{-1}$ 弱峰的变化情况相似, 可能同样由下述原因引起.

CeO_2 的 $780\sim 840\text{ cm}^{-1}$ 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 的 $770\sim 790\text{ cm}^{-1}$ 弱峰变化情况类似, 由相同原因造成. 温度升高引起以格点平衡位置为中心振动着的原子脱离正常的平衡位置, 跑到邻近原子空隙中去后形成空位和间隙原子^[9], 进而导致晶体结构偏离正常面心立方结构, 在 Raman 光谱中出现该波数范围的谱峰. 但 CeO_2 该谱峰的出现与消失没有 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 的该谱峰明显, 说明固溶体中锆原子随机替代铈原子, 形成无序固溶体后, 格点位置上的某一原子受各方向不均衡的力, 更易因热振动加剧而脱离平衡位置, 在晶格中或晶体表面形成空位和间隙原子. 晶体结构发生不规则畸变的同时会产生较大晶格应力. 因此固溶体的该谱峰随温度升高明显增强, 降温后, 晶格中各原子逐渐恢复原有位置, 扭曲晶格复原, 强烈热振动产生点缺陷导致的拉曼谱峰减弱. 由此可见, Zr^{4+} 进入晶格后, 削弱了原子间的相互作用力, 固溶体易受外界氧化还原气氛及温度等的影响, 产生晶格缺陷和晶格应力, 晶体结构发生畸变, 其后果是晶格中离子的流动性增大,

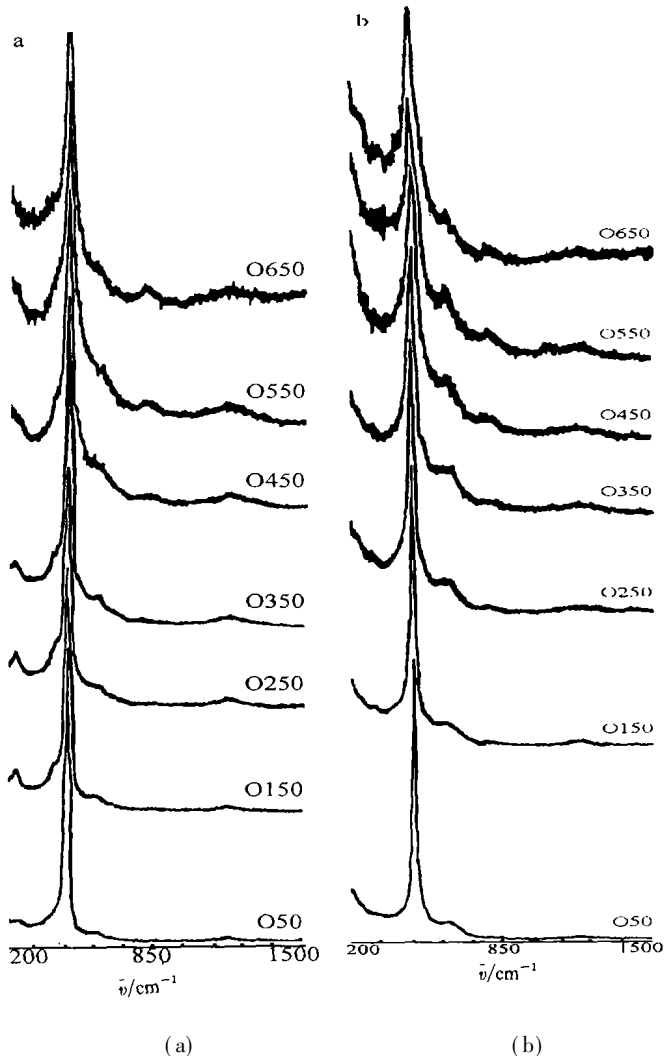


图 2 氧气氛中 CeO_2 及 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体原的位拉曼光谱图

a) CeO_2 b) $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$

Fig 2 *In situ* Raman spectra of CeO_2 and $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ solid solution in oxygen atmosphere

尤其是 O^{2-} 离子具有更高的流动性, 所以固溶体具有比 CeO_2 更大的催化反应性能和更高的储氧能力。

CeO_2 的 $1150 \sim 1180 \text{ cm}^{-1}$ 弱峰和固溶体的 $1160 \sim 1190 \text{ cm}^{-1}$ 弱峰也存在相似的变化情况。在氧气氛下随温度升高逐渐增强、增宽, 氢气氛下有微小减弱趋势, 该拉曼谱峰由 $A_{1g} + E_g + F_{2g}$ 混合模式引起^[10], 但也不能排除生成少量具有 $1100 \sim 1200 \text{ cm}^{-1} \nu(O_2^-)$ 振动的“超氧型”配位化合物。

3 结 论

湿化学法合成的立方相 CeO_2 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体, 在氧化、还原气氛 $50 \sim 650^\circ\text{C}$ 条件下进行的原位拉曼光谱研究结果发现, 除 $440 \sim 470 \text{ cm}^{-1}$ 出现面心立方晶格 F_{2g} 拉曼活性模式对应的强拉曼谱峰外, 在 $220 \sim 280$ ($290 \sim 320$), $400 \sim 410$ 和 $560 \sim 600$ ($570 \sim 620$), $780 \sim 840$ ($770 \sim 790$) 以及 $1150 \sim 1180$ ($1160 \sim 1190$) cm^{-1} 分别出现弱拉曼谱峰。 CeO_2 的 $220 \sim 280 \text{ cm}^{-1}$ 拉曼谱峰信号由表面 Ce^{3+} 、 Ce^{4+} 、 O^{2-} 、氧缺位以及吸附的

物种等的数目与位置在表面氧化还原过程中发生改变导致的 CeO_2 晶体表面瞬间极大形变产生。 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的 $290 \sim 320 \text{ cm}^{-1}$ 拉曼弱峰则由 Zr^{4+} 取代 Ce^{4+} 后造成的立方晶格收缩引起, 晶格中较大 Ce^{3+} 导致的晶格膨胀可部分抵消 Zr^{4+} 引起的晶格收缩, 使该拉曼谱峰发生相应变化。 CeO_2 的 $400 \sim 410$ 和 $560 \sim 600 \text{ cm}^{-1}$ 弱肩峰与晶格膨胀和氧缺陷导致的萤石型晶体结构的偏离有关。 CeO_2 中的 $2CeO_2 \rightleftharpoons Ce_2O_3 + 1/2O_2$ 氧化还原平衡移向 Ce^{3+} , 晶格膨胀, 晶格中会失去部分氧形成氧缺陷而保持晶体电价平衡。 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的 $570 \sim 620 \text{ cm}^{-1}$ 弱肩峰变化情况与 $770 \sim 790 \text{ cm}^{-1}$ 弱峰的变化情况相似, 形成原因与 CeO_2 的 $780 \sim 840 \text{ cm}^{-1}$ 谱峰一样, 温度升高引起以格点平衡位置为中心振动着的原子脱离正常的平衡位置, 跑到邻近原

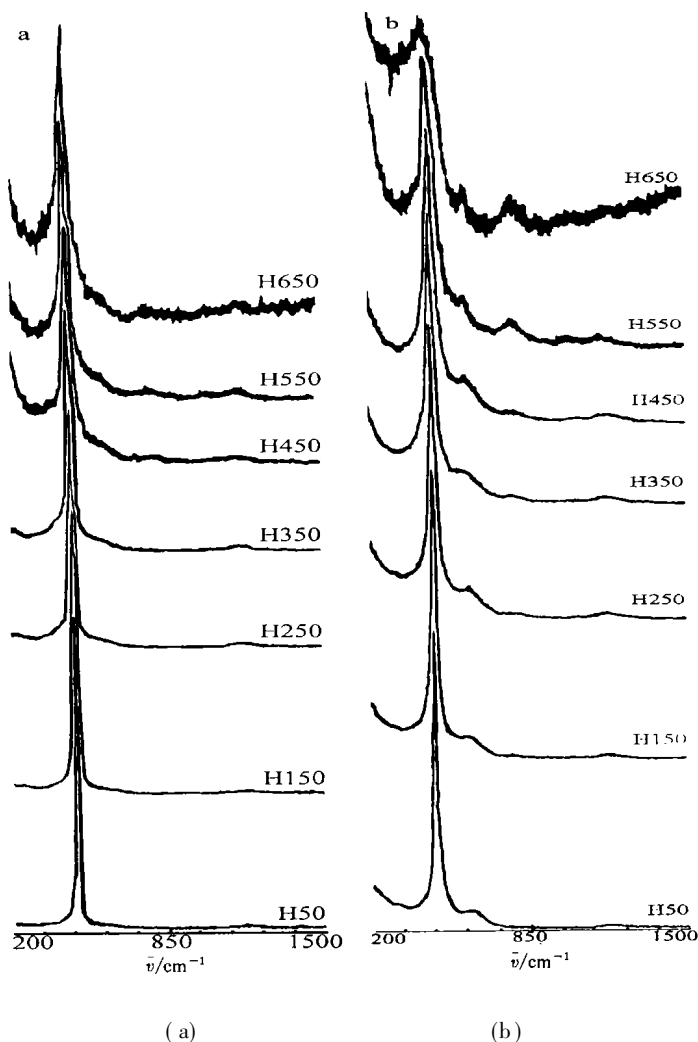


图 3 氢气氛中 CeO_2 和 $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 固溶体的原位拉曼光谱图

a) CeO_2 b) $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$

Fig. 3 *In situ* Raman spectra of CeO_2 and $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ solid solution in hydrogen atmosphere

子空隙中去后形成空位和间隙原子, 晶体结构偏离正常面心立方结构, 在 Raman 光谱中出现该波数范围的谱峰. CeO_2 的 $1150\sim 1180\text{ cm}^{-1}$ 拉曼弱峰和固溶体的 $1160\sim 1190\text{ cm}^{-1}$ 弱峰类似, 由 $A_{1g} + E_g + F_{2g}$ 混合模式引起, 但不排除少量 $1100\sim 1200\text{ cm}^{-1}$ $\nu(\text{O}^{2-})$ 振动“超氧型”配位化合物生成. 各拉曼弱峰的存在及变化揭示了两者的结构特征, 还反映了 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 比 CeO_2 有更高催化性能和储氧能力的结构方面的因素, 即 Zr^{4+} 掺杂到面心立方晶格中引起晶体结构改变并削弱原子间相互作用力, 产生晶格缺陷和晶格应力, 大大增加了晶格中氧离子的流动性.

参 考 文 献

- 1 Alessandro Trovarelli Catalytic properties of ceria and CeO_2 -containing materials. *Catal. Rev. Sci. Eng.*, 1997, 38: 439
- 2 Francesca Zanar, Alessandro Trovarelli, Carla de Leitenburg et al. CeO_2 -based solid solutions with the fluorite structure as novel and effective catalysts for methane combustion. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 1995: 965
- 3 Fornasiero P, Monte R Di, Rao G Ranga et al. Rh-loaded $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ solid solutions as highly efficient oxygen exchangers: Dependence of the reduction behavior and the oxygen storage capacity on the structural properties. *J. Catal.*, 1995, 151: 168
- 4 Shyu J Z, Weber W H, Gandhi H S. Surface characterization of alumina-supported ceria. *J. Phys. Chem.*, 1988, 92: 4964
- 5 Murrell L L, Tauster S J, Anderson D R. Laser Raman characterization of surface phase precious metal oxides formed on CeO_2 . A. Cmcq(Editor). *Catalysis and Automotive Pollution Control II*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., 1991: 275
- 6 Brogan M S, Dines T J, Cairns J A. Raman spectroscopic study of the Pt/ CeO_2 interaction in the Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2$ catalyst. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, 1994, 90(10): 1461
- 7 李继光, 孙旭东, 茹红强等. 湿化学法合成单分散陶瓷超微粉体的基本原理. *功能材料*, 1997, 28(4): 333
- 8 Vincent Perrichon, Alm ilou Laachir, Gerard Bergeret et al. Reduction of cerias with different textures by hydrogen and their redox oxidation by oxygen. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 1994, 90(5): 773
- 9 徐宝琨, 阎卫平, 刘明登. *结晶学*. 吉林: 吉林大学出版社, 1997: 136~ 175
- 10 Weber W H, Hass K C, McBride J R. Raman study of CeO_2 -2nd-order scattering, lattice dynamics and particle-size effects. *Phys. Rev. B. -Condensed Matter*, 1993, 48(1): 178

In Situ Raman Spectroscopic Study of CeO_2 and $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ Solid Solution

Miao Jianying Cai Junxiu

(Catal. Teach. and Res. Section of Chem. Dept., the Key Lab. of Solid Surf. for Phys. Chem., the Inst. of Phys. Chem., Xiamen Univ., Xiamen 361005)

Abstract CeO_2 and $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ solid solution were prepared by wet chemical preparation method. Their crystal structures are face-centered cubic (fluorite type), verified by powder X-ray diffraction. *In situ* Raman spectra of the catalysts from 50 to 650°C in oxygen and hydrogen atmosphere show the 440~470 cm^{-1} strong Raman peaks due to the F_{2g} Raman active mode of fluorite structure materials. 220~280 (290~320), 400~410 and 560~600 (570~620), 780~840 (770~790) and 1150~1180 (1160~1190) cm^{-1} weak Raman peaks are also present. These weak Raman peaks originated from the disorder of crystal structures with different reasons. The Raman peaks of CeO_2 and $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ solid solution have different changes with the alteration of environmental conditions. Characterization of CeO_2 and $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ solid solution can be given from the weak Raman peaks. These peaks also reveal the structural reasons of higher catalytic reactivity and larger oxygen storage capacity of the $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ solid solution.

Key words Ceria, $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ solid solution, Raman spectra, Structure of fluorite type