

文章编号 1004-924X(2014)05-1289-07

SiO₂/CeO₂ 复合磨粒的制备及在蓝宝石晶片抛光中的应用

白林山, 熊 伟, 储向峰*, 董永平, 张王兵
(安徽工业大学 化学与化工学院 安徽 马鞍山 243002)

摘要:采用均相沉淀法制备了 SiO₂/CeO₂ 复合磨料, 并利用 X 射线衍射仪(XRD)、透射电子显微镜(TEM)、傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)等对样品的相组成和形貌进行了表征。将所制备的 SiO₂/CeO₂ 复合磨料用于蓝宝石晶片的化学机械抛光, 利用原子力显微镜检测抛光后的蓝宝石晶片表面粗糙度。结果表明: 所制备的 SiO₂/CeO₂ 复合磨粒呈球形, 粒径在 40-50 nm; 在相同条件下, 经过复合磨料抛光后的蓝宝石晶片表面粗糙度为 0.32 nm, 材料去除速率为 16.4 nm/min, 而 SiO₂ 抛光后的蓝宝石晶片表面粗糙度为 0.92 nm, 材料去除速率为 20.1 nm/min。实验显示, 复合磨料的材料去除速率略低于单一 SiO₂ 磨料, 但它获得了较好的表面质量, 基本满足蓝宝石作发光二极管(LED)衬底的工艺要求。

关键词:蓝宝石晶片; 化学机械抛光; 表面粗糙度; SiO₂/GeO₂; 复合磨料

中图分类号: TN305.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20142205.1289

Preparation of nano SiO₂/CeO₂ composite particles and their applications to CMP on sapphire substrates

BAI Lin-shan, XIONG Wei, CHU Xiang-feng*, DONG Yong-ping, Zhang Wang-bing

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Anhui University of Technology,
Maanshan 243002, China)

* Corresponding author, E-mail: xfchu99@ahut.edu.cn

Abstract: SiO₂/CeO₂ composite abrasives were synthesized by homogenous precipitation method. The phase composition and morphology of the as-prepared composite nano-spheres were characterized by a X-ray Diffractometer (XRD), a Transmission Electron Microscopy (TEM), and a Fourier Transfer Infrared (FT-IR) spectrometer. The as-prepared composite nano-spheres were used as polishing abrasives for Chemical Mechanical Polishing (CMP) of a sapphire substrate, then the surface roughness of sapphire substrate after polishing with the composite abrasive slurry was measured by a Atomic Force Microscopy (AFM). The results show that the average roughness of the polished sapphire substrate is 0.32 nm and the material removal rate is 16.4 nm/min for composite abrasives, however, those are 0.92 nm and 20.1 nm/min for SiO₂ abrasive. It demonstrates that the material removal rate of composite abrasives is less than that of the SiO₂, but it has a good surface quality. These results mean that the SiO₂/CeO₂ composite satisfies the technical requirements for sapphire Light Emission Diode (LED) substrates.

Key words: sapphire substrate; chemical mechanical polish; surface roughness; SiO₂/GeO₂; composite abrasive

收稿日期: 2013-12-05; 修订日期: 2014-02-07.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50975002); 安徽工业大学创新团队项目 (No. TD201204); 教育部高校留学回国人员科研项目; 安徽工业大学研究生创新基金资助项目 (No. 2012029)

1 引言

蓝宝石($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)具有物理和化学性质稳定、透光性好、成本合适等优点,被广泛用作 GaN 基发光二极管外延衬底^[1-2]。目前 GaN 薄膜生长主要采用金属有机物化学气相沉积工艺在蓝宝石衬底晶片上生长,要求衬底晶片表面超光滑、无损伤^[3]。为获得光洁、无晶格缺陷的晶片表面,人们提出各种加工工艺,其中化学机械抛光工艺操作简单、加工效率高,表面粗糙度可达纳米级,且是目前唯一可以实现全局平坦化的抛光方法^[4]。

磨料是化学机械抛光中机械作用的实施者和传递者,磨料的粒子形状、硬度、粒径大小及粒径分布等性能都能影响化学机械抛光(Chemical Mechanical Polishing, CMP)的抛光提取效率^[5-6]。目前有大量文献报道蓝宝石晶片的化学机械抛光。Niu 等^[7]采用 15~25 nm SiO_2 作为磨料,研究了蓝宝石晶片抛光的机理以及 pH 值对蓝宝石晶片材料去除速率与表面粗糙度的影响;Zhu 等^[8]研究了 Al_2O_3 、Mono-diamond、Poly-diamond 等磨料对蓝宝石晶片化学机械抛光的影响;而单一的无机磨料往往得不到最佳的抛光提取效率^[6],CMP 模拟试验研究结果表明:磨粒直接冲击表面会造成对表面的“硬”冲击,产生较大划痕和凹坑等微观缺陷^[9];Singh 等^[10]研究表明在硬度较高的粒子表面包覆一层较软的物质可以减少抛光划痕和凹坑等缺陷;陈志刚课题组^[11-12]制备了包覆型 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 和 $\text{CeO}_2/\text{聚苯乙炔}$ 复合磨料并研究了它对硅片化学机械抛光影响。 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨料作为一种新型磨料目前还没有被应用到蓝宝石晶片的 CMP 上。本文采用均相沉淀法,先将纳米 SiO_2 颗粒悬浮于含有铈离子的溶液中,加入合适的沉淀剂,使溶液中的铈离子在颗粒表面形成沉淀物,从而制备纳米 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨料,并且研究了纳米 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨料对蓝宝石晶片的化学机械抛光性能的影响。

2 实验部分

2.1 纳米 CeO_2 粉体及其抛光液的制备

纳米 CeO_2 粉体的制备:配制 200 mL 浓度为 0.1 mol/L 的 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ (上海国药)溶液,在搅拌条件下,缓慢向溶液中滴加 0.3 mL 乙二醇(上

海国药),然后快速倒入 300 mL 浓度为 0.1 mol/L 的 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (上海国药)溶液。将产生的沉淀过滤,依次用去离子水和乙醇洗涤多次,烘干得到前驱体,将所得前驱体放入马弗炉中 400 °C 下热处理 2 h,即得到 CeO_2 粉体。

CeO_2 抛光液的制备:将制得的 CeO_2 粉体配制成质量分数为 1% 的悬浮液,加入适量的分散剂(六偏磷酸钠)、络合剂(如 EDTA)、氧化剂(过硫酸铵),再用氢氧化钾调节溶液 pH 值为 10~11,搅拌后超声分散。

2.2 纳米 SiO_2 抛光液的制备

量取一定量 SiO_2 (上海新安纳电子科技有限公司)配制成质量分数为 1% 的悬浮液,加入适量络合剂(如 EDTA)、氧化剂(过硫酸铵),再用氢氧化钾调节溶液 pH 值为 10~11,搅拌后超声分散。

2.3 纳米 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 粉体制备及其抛光液的制备

纳米 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 粉体制备:量取 200 mL 质量分数为 5% 的 SiO_2 (上海新安纳电子科技有限公司)悬浮液,在搅拌条件下分别加入 20 mL 浓度为 0.6 mol/L 的 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (上海国药)溶液和 20 mL 浓度为 0.3 mol/L 的 $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ (上海国药)溶液。将配好的混合液倒入三口烧瓶中,用套式恒温器加热至 100 °C,并用电动搅拌器搅拌,加热回流 7 h,反应完毕冷却至室温,离心分离并用去离子水洗涤 3 次,再于恒温干燥箱中 80 °C 烘干,研磨得到浅黄色粉体。

$\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 抛光液的制备:将制得的纳米 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 配制成质量分数为 1% 的悬浮液,加入适量的分散剂(六偏磷酸钠)、络合剂(如 EDTA)、氧化剂(过硫酸铵),再用氢氧化钾调节溶液 pH 值为 10~11,搅拌后超声分散。

2.4 样品的表征

采用日本理学生产的 D/max 2500 PC 型 X 射线衍射(X-Ray Diffraction, XRD)仪分析样品的物相结构,扫描角度为 10~80°;采用日本电子株式会社生产 JEM-2100 型透射电镜(Transmission Electron Microscope, TEM)观察样品形貌;采用美国尼高力公司生产 Nicolet 6700 型傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)对样品的红外吸收进行测定。

2.5 化学机械抛光实验

抛光试验在杭州智邦纳米有限公司生产 Nanopoli-100 型抛光机上进行,选用沈阳科技制造有限公司生产 P-PAD 型合成革抛光垫。抛光

样品为直径 50.9 mm, 厚度 0.6 mm 的蓝宝石晶片, 抛光基本参数: 压力约为 0.5 bar、下盘转速为 50 rpm/min, 抛光液流速为 60 ml/min, 温度为室温。

采用上海卓伦微纳米设备有限公司生产的 Micro Nano D-5A 扫描探针显微镜检测抛光后蓝宝石表面粗糙度 R_a (垂直分辨率为 0.1 nm, 水平分辨率为 0.2 nm, 扫描范围 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$) 值以及抛光前后的三维立体表面形貌。采用金诺 JF1004 型精度为 0.1 mg 的电子分析天平测量实验前后蓝宝石晶片的质量, 通过计算获得蓝宝石晶片材料去除速率。

3 结果与讨论

3.1 复合磨粒 XRD 分析

图 1 所示为 SiO_2 、 CeO_2 和 $\text{SiO}_2\text{-CeO}_2$ 复合磨粒的 XRD 谱。由图 1 可知, 复合磨粒的衍射特征峰 ($2\theta = 28.5, 33.1, 47.8$ 和 56.2°) 的位置和相对强度均与 CeO_2 的标准卡 (JCPDS card, No 34-0394) 相一致, 分别对应于 (111), (200), (220) 和 (311) 晶面, 由此可知复合磨粒中存在立方萤石结构的 CeO_2 。在复合磨粒的衍射特征峰 $2\theta =$

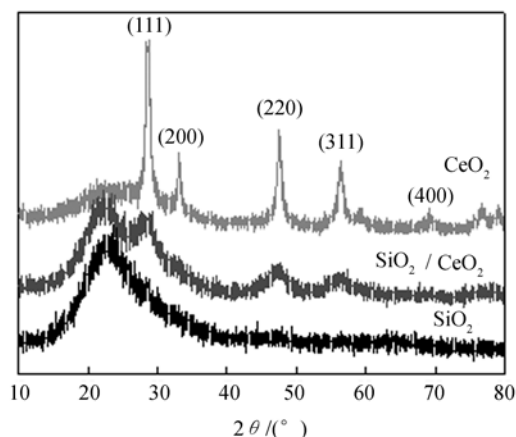


图 1 SiO_2 , CeO_2 和 $\text{SiO}_2\text{-CeO}_2$ 复合磨粒的 XRD 谱
Fig.1 XRD patterns of SiO_2 , CeO_2 and $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ composite particles

22.5° 左右出现的是 SiO_2 的非晶衍射峰^[13], 其强度低于 SiO_2 , 这可能是由于 CeO_2 包覆在 SiO_2 表面的所造成的。XRD 图谱表明复合磨粒中存在着 CeO_2 和 SiO_2 两种物质。

3.2 复合磨粒 TEM 分析

图 2 所示为 SiO_2 (b), CeO_2 (a) 和 $\text{SiO}_2\text{-CeO}_2$ (c, d) 复合磨粒的 TEM 照片。由图 2(a) 可

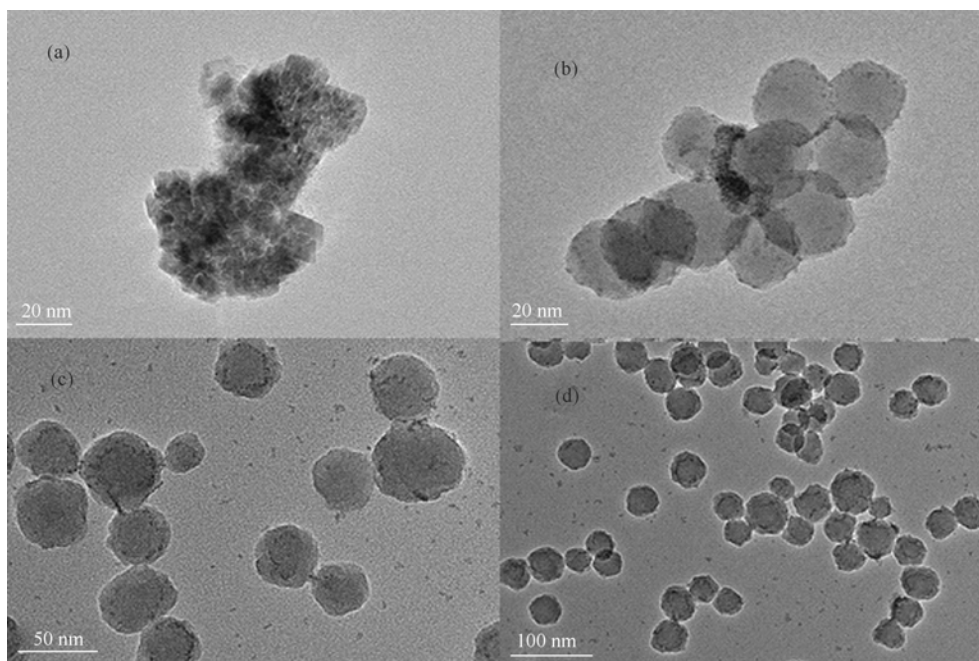


图 2 CeO_2 (a), SiO_2 (b) 和 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ (c, d) 复合磨粒 TEM 照片

Fig.2 TEM photographs of CeO_2 (a), SiO_2 (b), and $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ (c, d) composite particles

知, CeO_2 颗粒的外观呈现不规则状态, 虽然个别的颗粒呈现出片状, 但大部分颗粒的外观不是球形, 可能是由于颗粒的团聚严重, 分散性差; 由图 2(b)可知, SiO_2 颗粒呈球形, 粒径在 30~40 nm 左右, 分散性良好; 由图 2(c)与图 2(d)可知, 所制备的 $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ 复合粉体呈球形, 其粒径在 40~50 nm 左右, 可以看出 SiO_2 表面覆盖一层厚度约为 10 nm 的 CeO_2 薄膜。

3.3 复合磨粒 FT-IR 分析

图 3 所示为 CeO_2 、 SiO_2 以及 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨粒的 FT-IR 图谱。可知, 在 $3\,416\text{ cm}^{-1}$ 处对应着水分子 O-H 键的伸缩振动, $1\,619\text{ cm}^{-1}$ 对应着水分子的弯曲振动。而在 $1\,109\text{ cm}^{-1}$, 805 cm^{-1} , 481 cm^{-1} 处分别对应着 Si-O-Si 键的不对称拉伸振动、拉伸振动和弯曲振动^[14]。另外在 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨粒的 FT-IR 图谱上发现在 960 cm^{-1} 附近出现了一个新的吸收峰, 这可能是由于 Ce-O-Si 的振动引起的^[15]。从 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨粒的 FT-IR 光谱可以看出 SiO_2 的所有伸缩振动吸收峰, 说明复合磨粒样品中存在 SiO_2 。在 $1\,392\text{ cm}^{-1}$ 左右出现的峰为 Ce-O 键伸缩振动峰^[16], 说明样品中存在 CeO_2 , 由此可以证明形成了 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨粒。

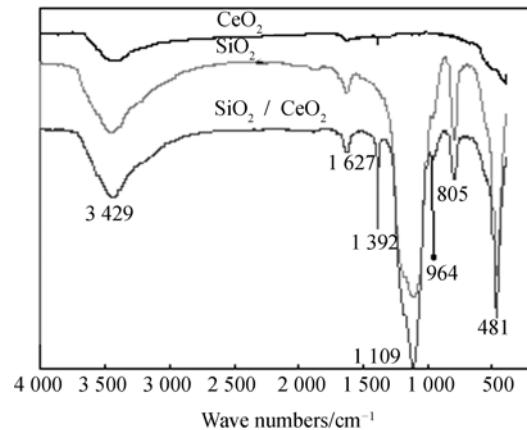


图 3 SiO_2 、 CeO_2 和 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ 复合磨粒的红外光谱
Fig. 3 FT-IR spectrum of SiO_2 , CeO_2 and $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ composite particles

3.4 3 种磨料对蓝宝石晶片化学机械抛光的影响

图 4 所示为在相同浓度下不同磨料对蓝宝石晶片抛光前后表面形貌。由图 4 可以看出, 抛光前蓝宝石晶片表面质量很差 ($R_a=32.67\text{ nm}$), 经不同磨料抛光后蓝宝石晶片表面粗糙度略有不同, 复合磨粒抛光后表面粗糙度处于最低, 表面平整, 无明显起伏 ($R_a=0.32\text{ nm}$); 而 CeO_2 (a),

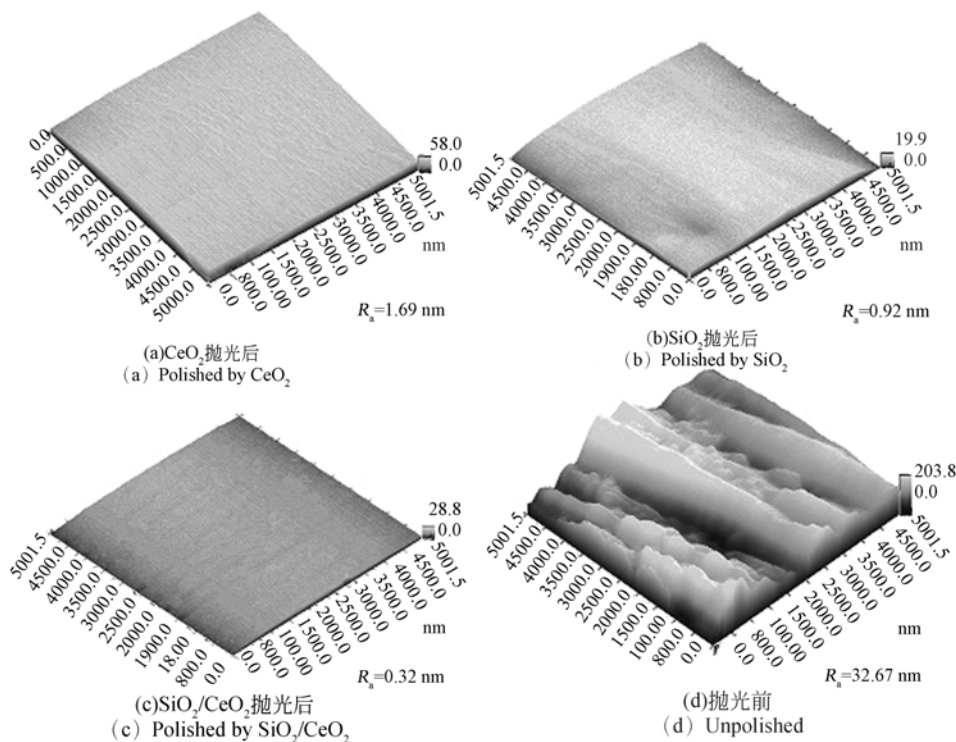


图 4 CeO_2 (a), SiO_2 (b) 和 $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ (c) 抛光后以及抛光前 (d) 蓝宝石的表面形貌

Fig. 4 AFM photographs of sapphire substrate unpolished (d) and polished by different abrasives CeO_2 (a), SiO_2 (b) and $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ (c)

($R_a=1.69$ nm)或 SiO₂ ($R_a=0.92$ nm)磨料抛光液抛光后表面质量相对较差。

图5所示为在相同浓度下不同磨料对蓝宝石晶片的去除速率和抛光后表面粗糙度。由图可知, SiO₂ 的去除速率最高 (MRR = 20.1 nm/min), 复合磨料次之 (MRR = 16.4 nm/min), CeO₂ 最低 (MRR = 13.9 nm/min)。采用化学沉淀法得到的 SiO₂/CeO₂ 复合粒子, CeO₂ 主要以物理吸附的方式包覆于 SiO₂ 表面^[17], 在 SiO₂ 表面是一层厚度约为 10 nm 的 CeO₂ 薄膜, 因此在蓝宝石晶片与复合磨料之间的接触区域内, 发生机械作用的是 CeO₂ 颗粒与蓝宝石晶片, 由于复合磨料壳层中的 CeO₂ 厚度仅 10 nm, 导致单个磨粒在蓝宝石晶片表面的压痕深度较小, 可以获得较低的表面粗糙度值^[18]。而 CeO₂ 的莫氏硬度低于 SiO₂^[19], 因此 SiO₂ 的机械作用大于复合磨料的机械作用, 这可能就是复合磨粒的材料去除速率低于 SiO₂ 的原因。而对于 CeO₂ 磨料来说, 颗粒粒径太小会发生团聚, 虽然加入了分散剂但其分散效果仍不理想(由 CeO₂ 的 TEM 照片可以看出, 其团聚现象严重), 容易造成蓝宝石晶片表面的机械损伤。

蓝宝石晶片的化学机械抛光过程中分为化学动力学过程与机械动力学过程。在化学动力学过程中, 抛光液中的氢氧根离子、络合剂等与晶片表面进行化学反应, 主要有氧化铝与氢氧根离子生成溶于水的偏铝酸根离子; 在机械动力学过程

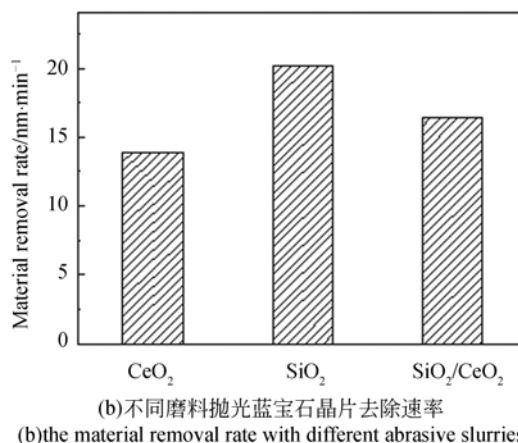
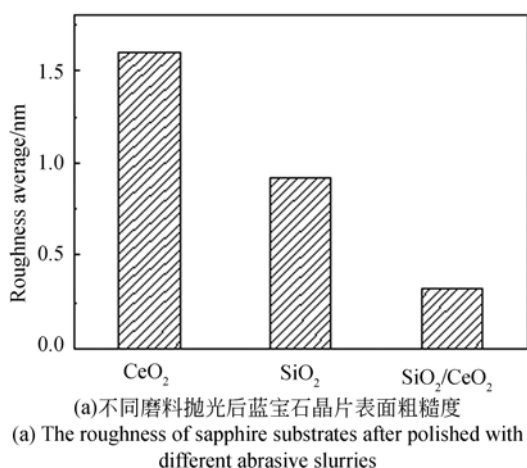


图5 抛光液中磨料与抛光后蓝宝石基片表面粗糙度、材料去除速率之间的关系

Fig. 5 Relation between abrasive and roughness of sapphire substrate after polishing, material removal rate

中, 通过磨料粒子与晶片表面机械摩擦, 使生成的偏铝酸根离子从晶片表面脱离, 并被抛光液带走^[20]。

在复合磨料抛光过程中是 CeO₂ 与蓝宝石表面直接接触, 并对蓝宝石进行抛光, 而 SiO₂ 起支撑体的作用。

4 结 论

本文采用均相沉淀法成功地制备了纳米 SiO₂/CeO₂ 复合磨料, 由 TEM 照片可以看出, SiO₂ 表面覆盖一层厚度约为 10 nm 的 CeO₂ 薄膜。通过抛光试验, 将复合磨料与单一磨料进行对比, 实验结果表明: 复合磨料的材料去除速率 (MRR = 16.4 nm/min) 略低于单一 SiO₂ 磨料 (MRR = 20.1 nm/min), 但它获得了较好的表面质量 $R_a=0.32$ nm (低于由单一 SiO₂ 磨料获得的 $R_a=0.92$ nm), 基本满足蓝宝石作为 LED 衬底的工艺要求, 这可能是因为较硬的粒子 (SiO₂) 外面包覆一层相对较软的物质 (CeO₂), 可以取得更好的表面质量。

参考文献:

[1] WANG G G, ZUO H B, ZHANG H Y, *et al.*

Preparation, quality characterization, service performance evaluation and its modification of sapphire crystal for optical window and dome application

- [J]. *Material and Design*, 2010, 31(2):706-711.
- [2] 崔林, 汪桂根, 张化宇, 等. 用于 GaN 基发光二极管的蓝宝石图形衬底制备进展 [J]. *无机材料学报*, 2012, 27(9):897-904.
- CUI L, WANG G G, ZHANG H Y, *et al.*. Progress in preparation of patterned sapphire substrate for GaN-based light emitting diodes [J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2012, 27(9):897-904. (in Chinese)
- [3] 王兵, 顾建峰, 何辉辉, 等. 蓝宝石晶片抛光过程运动仿真及实验分析 [J]. *现代制造技术与装备*, 2008, 185(4):17-18.
- WANG B, GU J F, HE H H, *et al.*. Analysis on the kinematic simulation and experiment of polishing for sapphire wafer [J]. *Modern Manufacturing Technology and Equipment*, 2008, 185(4):17-18. (in Chinese)
- [4] 卓志国, 周海, 徐晓明, 等. LED 用蓝宝石衬底抛光技术进展 [J]. *机械设计与制造*, 2013, 4(4):249-252.
- ZHUO Z G, ZHOU H, XU X M, *et al.*. The progress on polishing technology of sapphire substrate used in LED [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2013, 4(4):249-252. (in Chinese)
- [5] 张磊, 汪海波, 张泽芳, 等. 一种新型复合磨料对铜的化学机械抛光研究 [J]. *功能材料与器件学报*, 2011, 17(5):520-525.
- ZHANG L, WANG H B, ZHANG Z F, *et al.*. Performance of a novel composite abrasive in Cu chemical mechanical polishing [J]. *Journal of Functional Materials And Devices*, 2011, 17(5):520-525. (in Chinese)
- [6] 肖保其, 雷红. 纳米 SiO₂/CeO₂ 复合磨粒的制备及其抛光特性研究 [J]. *摩擦学学报*, 2008, 28(2):103-107.
- XIAO B Q, LEI H. Preparation of nano SiO₂/CeO₂ composite particles and their polishing performance [J]. *Tribology*, 2008, 28(2):103-107. (in Chinese)
- [7] NIU X H, LIU Y L, TAN B M, *et al.*. Method of surface treatment on sapphire substrate [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2006, (16):732-734.
- [8] ZHU H L, TESSAROTO L A, SABIA R, *et al.*. Chemical Mechanical Polishing (CMP) Anisotropy in Sapphire [J]. *Applied Surface Science*, 2004 (236):120-130.
- [9] 徐进, 雒建斌. 含纳米粒子溶液对单晶硅表面的冲刷磨损损伤实验研究 [J]. *摩擦学学报*, 2006, 26(1):7-11.
- XU J, LUO J B. An Investigation on the monocrystalline silicon surface damage caused by slurry erosion [J]. *Tribology*, 2006, 26(1):7-11. (in Chinese)
- [10] SINGH R K, BAJAJ R. Advances in chemical mechanical planarization [J]. *MRS Bull*, 2002, 27(10):743-745.
- [11] 陈志刚, 陈杨, 隆仁伟. 包覆型 CeO₂/SiO₂ 和 CeO₂/聚苯乙烯复合磨料的制备及其化学机械抛光能 [J]. *硅酸盐学报*, 2009, 37(11):1880-1885.
- CHEN ZH G, CHEN Y, LONG R W. Preparation and its oxide chemical mechanical polishing performance of ceria-coated silica and ceria-coated polystyrene nanoparticle [J]. *Journal of The Chinese Ceramic Society*, 2009, 37(11):1880-1885. (in Chinese)
- [12] 陆锦霞, 陈志刚, 隆仁伟. 不同粒径核壳结构聚苯乙烯(PS)-CeO₂ 复合磨料的制备、表征及其化学机械抛光性能 [J]. *中国有色金属学报*, 2011, 21(7):1777-1784.
- LU J X, CHEN ZH G, LONG R W. Preparation, characterization and performance of core-shell PS-CeO₂ composite abrasives with different particle sizes [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2011, 21(7):1777-1784. (in Chinese)
- [13] ZHAO X, LONG R, CHEN Y. Synthesis, characterization of CeO₂@SiO₂ nanoparticles and their oxide CMP behavior [J]. *Microelectronic Engineering*, 2010, 87(9):1716-1720.
- [14] 徐桂龙, 邓丽丽, 皮玉辉, 等. 溶胶凝胶法制备超疏水二氧化硅涂膜及其表面润湿行为 [J]. *无机化学学报*, 2010, 26(10):1810-1814.
- XU G L, DENG L L, PI P H, *et al.*. Preparation of super hydrophobic silica films by SolGel method and its wet ability [J]. *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*, 2010, 26(10):1810-1814. (in Chinese)
- [15] SONG X L, JIANG N, LIU D F, *et al.*. Synthesis of silicon dioxide/cerium oxide core-shell composite ultrafine particles by two-step method [J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 2008, 36(7):994-999.
- [16] KLUG H P, ALEXANDER L E. *X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous*

- phous Materials* [M]. New York: Wiley-VCH, 1974, 687-688.
- [17] 史运宝, 吴秋芳, 韩毅, 等. CeO₂ 包覆 SiO₂ 复合粉体的制备及其抛光性能研究[J]. 稀土, 2013, 34(1):53-58.
SHI Y B, WU Q F, HAN Y, *et al.*. Preparation of SiO₂@CeO₂ composite abrasive and its polishing performance [J]. *Chinese Rare Earths*, 2013, 34(1):53-58. (in Chinese)
- [18] 陈杨. 核壳结构 SiO₂/CeO₂、PS/CeO₂ 复合微球的可控合成及其 CMP 性能研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2012.
CHEN Y. *Controlled Synthesis of SiO₂/CeO₂, PS/CeO₂ Composite Microspheres with Core/Shell Structure and Their Chemical Mechanical Polishing Performances*[D]. Zhen Jiang: Jiangsu University, 2012. (in Chinese)
- [19] 魏齐龙, 孟玉堂, 何建国, 等. 氧化铈的抛光性能[J]. 稀有金属, 2010, 34(s1):113-118.
WEI Q L, MENG Y T, HE J G, *et al.*. Polishing properties of cerium oxide [J]. *Chinese Journal of Rare Metals*, 2010, 34(s1):113-118. (in Chinese)
- [20] 牛新环, 刘玉玲, 檀柏梅, 等. 蓝宝石衬底化学机械抛光的机理研究[J]. 功能材料, 2007(38):4096-4099.
NIU X H, LIU Y L, TAN B M, *et al.*. Study on chemical mechanical polishing mechanics of sapphire substrate [J]. *Journal of Functional Materials*, 2007(38):4096-4099. (in Chinese)

作者简介:



白林山(1963—), 男, 河南唐河人, 教授, 1987年于北京科技大学获理学硕士学位。2004年于北京理工大学获工学博士学位, 主要从事分离及吸附材料、天然产物化学、化学修饰电极及化学机械抛光方面的研究。E-mail: bails@ahut.edu.cn



熊伟(1989—), 男, 湖北仙桃人, 硕士研究生, 2011年于武汉纺织大学获得理学学士学位, 主要从事蓝宝石化学机械抛光液的研究。E-mail: xwahut@126.com

通讯作者:



储向峰(1967—), 男, 安徽岳西人, 教授, 硕士生导师, 1993年于中国科技大学获得硕士学位, 1999年于中国科技大学获得博士学位, 现为安徽工业大学化学与化工学院副院长, 主要从事气敏材料及其传感器的研究、化学机械平坦化(CMP)的研究。E-mail: xfchu99@ahut.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)