

· 光电器件与材料 ·

光纤高温传感器表面镀膜技术研究

高 健, 李仰军

(中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘 要: 温度在科研和生产中是一个十分重要的物理量, 当前许多研究对象需要测量的是幅值高、变化快的瞬态高温。在高温测试中, 光纤高温传感器具有独特的优势, 在制作光纤高温传感器过程中镀膜技术是一个关键的环节。根据高温测试需要, 选取了合适的镀膜材料, 对氧化锌(ZnO)和氧化镁铝(MgAl₂O₄)的物理化学性质进行了介绍, 同时根据材料特性选择了适合的镀膜方法, 分别适用于黑体腔温度传感器的头部镀层和光纤光栅传感器表面镀膜, 取得了良好的效果, 达到了预期的目标。

关键词: 光纤高温传感器; 镀膜技术; 高温测试

中图分类号: TP212.11

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 1255(2010)06 - 0034 - 02

A New Surface Coating Technology of the Fiber Optic Temperature Sensor

GAO Jian, LI Yang-jun

(Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement
Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Temperature is a very important physical indicator in science research and production process, presently many researchers always need to measure the high amplitude, fast transient changes temperature. It has a unique advantage with fiber optic temperature sensor in high temperature measurement, so the coating technology is a key part of the fiber optic temperature sensor. An appropriate coating material was selected for high-temperature test, the physical and chemical properties of ZnO and MgAl₂O₄ were also introduced. At the same time, according to the material properties, an appropriate coating method was chosen and used for the head coating of blackbody cavity temperature sensor and the Surface coating of the FBG sensor. This technology is proved feasible and achieved the desired goals.

Key words: fiber optic temperature sensor; surface coating technology; high-temperature testing

耐高温光纤的熔点在 2 000 ℃ 以上, 具有高硬度、高强度、高韧性、极高的耐磨性及耐化学腐蚀性等优良的物理化学性能, 可以满足工业和军事上对高温传感器的要求, 并且在陶瓷、耐火材料、机械、电子、光学、航空航天、生物、化学等多个领域获得了广泛应用。

在制作光纤高温传感器的过程中, 因为制备出的耐高温光纤为裸光纤, 需要进行镀膜处理才能应用于温度测量, 所以选择合适的镀膜材料和方法是制作光纤高温传感器的关键步骤。

根据光纤高温传感器测温方法的不同, 文中以蓝宝石高温光纤传感器为例, 介绍了 2 种不同传感器上镀膜方法的应用。

1 蓝宝石光纤黑体腔传感器表面镀膜方法

黑体探头是热辐射测量中的辐射敏感元件, 它的设计工作是蓝宝石光纤高温传感器研制的关键, 黑体腔的特性将直接决定该传感器的性能。因此探

收稿日期: 2010 - 10 - 20

作者简介: 高健(1985 -), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要研究方向为动态测试与智能仪器。

头的材料及镀膜工艺决定着传感器的测温上限、动态响应以及使用寿命,也决定着探头本身的热辐射特性,从而影响到传感器的测温精度、重复性与稳定性.黑体腔的基本结构如图 1 所示.在蓝宝石一端形成一层均匀的镀层,这层材料包围光纤形成一个圆柱腔,选择合适的参数可以使这个腔的辐射特性接近理想黑体的辐射特性.

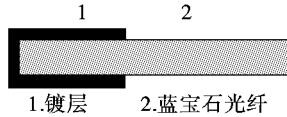


图 1 黑体腔探头结构

ZnO 具有熔点高(1 975℃)、化学稳定性好,原料易得到,制备成本低,工艺简单,外延生长温度低,对环境无毒无害等优点,是适合蓝宝石黑体腔传感器的镀膜材料.

具体镀膜方法为:用电子束蒸发设备,在蓝宝石光纤表面上生长 ZnO 薄膜.蓝宝石样品光纤长度为 10.00 mm,端面直径为 0.56 mm.制备前首先对光纤表面进行抛光处理,然后用无水酒精、去离子水对光纤及端面进行超声清洗.用比例为 $H_2SO_4:H_3PO_4=3:1$ 的混合溶液水浴加热到 100℃ 浸泡 10 min,去除光纤表面的油污及其他污染物.然后用去离子水加热冲洗 3 次并烘干,快速放入真空室.靶材是由高纯的 ZnO 粉末(99.99%)经研磨、锻压片、烧结而成的 ZnO 陶瓷.镀膜前真空室的真空度为 1.0×10^{-3} Pa,在镀膜过程中通氧 O_2 (99.999%),氧气分压为 8×10^{-3} Pa.生长温度为 250℃,沉积时间为 1 h.镀膜之后薄膜自然降至室温.利用 X 射线衍射仪对 ZnO 薄膜样进行结构分析.

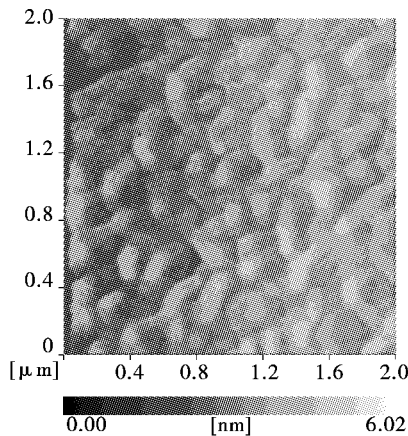


图 2 ZnO 薄膜的表面形貌

图 2 是利用接触式扫描模式观测到的 ZnO 薄膜的生长形貌图.从图 1 可以看出,利用电子束蒸发所制备的纳米 ZnO 薄膜表面比较平整致密,相比利用脉冲激光沉积(PLD)或溅射方法生长的 ZnO 薄膜表面粗糙度大于 10 nm,利用电子束蒸发得到的 ZnO 薄膜的粗糙度更小,其最大粗糙度约为 6.02 nm,而轮廓算术平均偏差为 0.6 nm.

2 蓝宝石光纤光栅表面镀膜技术

光纤光栅是一种参数周期性变化的波导,其纵向折射率的变化将引起不同光波模式之间的耦合,并且可以通过将一个光纤模式的功率部分或完全地转移到另一个光纤模式中去来改变入射光的频谱.在一根单模光纤中,纤芯中的入射基模既可能被耦合到反向传输模也可被耦合到前向包层模中,这依赖于光栅及不同传输常数决定的相位条件,即

$$K = \beta_1 - \beta_2 = 2\pi/\Lambda \quad (\Lambda \text{ 为光栅周期}) \quad (1)$$

式中, Λ 是由模式 1 耦合到模式 2 所需的光栅周期; β_1, β_2 分别为模式 1 和模式 2 的传输常数.

根据耦合模理论,长周期光栅光纤对其进行镀膜处理,也就是制作包层.镀膜所需的包层材料需要有较蓝宝石光纤低的折射率,并且需要与蓝宝石光纤的热膨胀系数相当,以及较高的熔点.

氧化镁铝($MgAl_2O_4$)的折射率是 1.72(蓝宝石的折射率是 1.76~1.77),熔点为 2 135℃,在 1 000℃ 高温下, $MgAl_2O_4$ 的热膨胀系数是 0.79%,接近于蓝宝石光纤的 0.83%.所以,采用氧化镁铝($MgAl_2O_4$)制作蓝宝石光纤包层是可行的.

$MgAl_2O_4$ 包层位置如图 3 所示,1 为光栅,2 为光纤包层,3 为蓝宝石光纤.

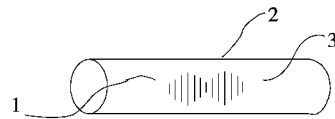


图 3 蓝宝石光纤及包层

对蓝宝石光纤表面生长 $MgAl_2O_4$ 包层采用化学沉积的方法,采用的原料是镁铝尖晶石,其具体的化学反应方程式如下.

在水混合条件下,尖晶石原料的化学反应,式中, R 为碳氢化合物.

(下转第 40 页)

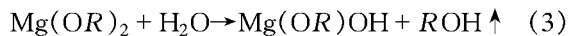
IEEE Photonics Technology Letters, 2002, 14(5): 678 - 680.

- [2] Chan C C, Shi C Z, Gong J M, et al. Enhancement of the measurement range of FBG sensors in a WDM network using a minimum variance shift technique coupled with amplitude - wavelength dual coding [J]. Optics Communications, 2003, 215: 289 - 294.
- [3] 康守强, 巨红兵, 杨广学. 波分复用加光栅谱形状复用的 FBG 传感解调技术[J]. 光电子·激光, 2009, 20(4): 466 - 469.
- [4] Chen S, Istepanian R H, Luk B L, et al. Signal processing applications using adaptive simulated annealing[C]//

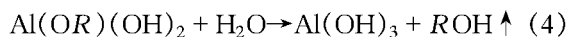
Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation(CEC 99), 1999, 2: 842 - 849.

- [5] 庞峰. 模拟退火算法的原理及算法在优化问题上的应用[D]. 吉林: 吉林大学, 2006: 6 - 13.
- [6] QI Ji - Yang. Application of improved simulated annealing algorithm in facility layout design[C]//Proceedings of the 29th Chinese Control Conference. Beijing, China, 2010, 7: 29 - 31.
- [7] Girdinio P, Nervi M, Rossi M. An improved simulated annealing algorithm for the channel allocation problem in cellular networks[C]//computing & informatics 2006, ICOCI'06 international conference, 2006: 1 - 7.

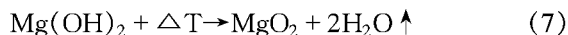
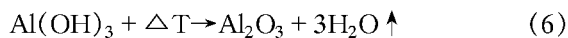
(上接第 35 页)



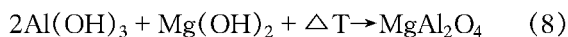
下式为形成凝胶状材料的化学反应



管式炉中加热阶段化学反应为



形成固体氧化镁铝的化学反应式为



根据化学反应方程式, 镀膜的方法为首先将镁铝尖晶石粉末加水, 制成凝胶, 将光纤如图 4 所示放置, 按箭头逐渐提拉, 包裹上凝胶后停留在空气中, 发生水解反应尖晶石凝胶凝固在光纤表面, 在充分反应后, 将包裹好凝胶的光纤放置于 1 000℃ 中的管式炉中加热 1 h 形成氧化镁铝包层。

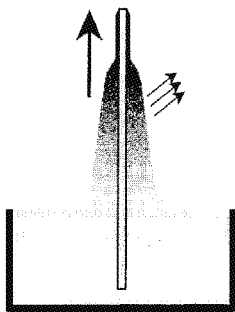


图 4 光纤镀膜凝胶吸附表面过程

3 结 论

文中提出了 2 种高温光纤传感器的表面镀膜技术, 分别适用于黑体腔温度传感器的头部镀层和光纤光栅传感器表面镀膜, 并且可以取得预期的效果, 用于高温光纤传感器的镀膜. 在制作过程中需要对镀膜的厚度和均匀进行控制, 是实现镀膜的一个难题.

参考文献

- [1] 叶林华, 沈永行. 蓝宝石光纤高温传感技术研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 1997(5).
- [2] 杨述平. 蓝宝石光纤黑体腔传感器定度技术研究[J]. 测试技术学报, 2005, 19(2): 186 - 189.
- [3] 郝晓剑, 周汉昌. 蓝宝石光纤黑体腔高温计[J]. 应用基础与工程科学学报, 2004, 12(2): 218 - 223.
- [4] Choopun S, Vispute R D, Noch W, et al. Oxygen pressure-tuned epitaxy and optoelectronic properties of laser-deposited ZnO films on sapphire[J]. Applied Physics Letters, 1999, 75(25): 3947 - 3949.
- [5] 陈肇友, 柴俊兰. 氧化亚铁与铁铝尖晶石的形成[J]. 耐火材料, 2005(3): 207 - 210.
- [6] Liu H L, Li N, Li Q. Study on properties of magnesia - hercynite brick[J]. China's Refractories, 2005, 14(2): 23 - 26.
- [7] 肖国庆, 张军战. 材料物理性能[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2005.
- [8] Ya ge Zhan, Hua Wu, Qinyu Yang, et al. Fiber grating sensors for high - temperature measurement[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2008, 46(4): 349 - 354.