

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0101-02

# 微米量级石英圆对称光学谐振腔

陈天江<sup>1,2</sup>, 王亚丽<sup>1,2</sup>, 普小云<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)  
<sup>2</sup>云南大学物理系, 云南 昆明 650091)

**摘要** 采用 CO<sub>2</sub> 激光熔融石英光纤制作了微米量级的高 Q 值石英球腔。设计并实现了烧蚀光纤的双光路光学系统, 采用监视系统实时观察烧蚀过程, 寻找到球腔的最佳熔融条件——完全成腔条件; 通过光学和原子力显微镜 (AFM) 对制成的石英球腔进行几何形状和表面形貌观测分析。结果表明, 在实验室条件下能够获得球腔直径在 30~300 μm 的微米级石英圆对称光学谐振腔。

**关键词** 光学器件; 石英球腔; 双光路; 耦合; 完全成腔条件

**中图分类号** TN242 **文献标识码** A

## Spherically Symmetric Optical Resonant Cavities with Diameter in Microns by Melting a Fused Silica Fiber

Chen Tian-jiang<sup>1, 2</sup>, Wang Ya-li<sup>1, 2</sup>, Pu Xiao-yun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)  
<sup>2</sup> Department of Physics, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091, China)

**Abstract** Ultrahigh-Q micro spherical cavities with micron dimension diameter is obtained by melting the tip of a fused silica fiber with two counter-propagating CO<sub>2</sub> laser beams. And the two counter-propagating light beams optical system is designed and realized. To acquire the optimal condition, the full cavity-formed condition, the ablation process is investigated in real time by a monitor system self-designed. The geometrical figures of built cavities and the surface topography are checked and recorded by an optical microscope and an atomic force microscope (AFM). The results show that perfect silica micro spheres with diameters of 30~300 μm are acquired.

**Key words** optical devices; silica micro spherical cavity; two counter-propagating light beams; coupling; full cavity-formed condition

## 1 引 言

微米尺度的光学球形谐振腔具有很高的品质因素, Q 值可达 10<sup>9</sup> 以上<sup>[1,2]</sup>, 其应用前景已经受到高度重视<sup>[3~6]</sup>。目前国际上对微型石英球腔的具体制作方法还没有相关的文献报道。本文通过烧蚀石英光纤尖端获得了石英圆对称光学谐振腔。在烧蚀过程中, 由于熔融石英的表面张力作用, 在光纤悬垂底端收缩成均匀球腔。通过控制烧蚀激光的功率与烧蚀时间, 可以获得不同直径的微米级石英对称球腔。

## 2 实验过程

对通信用光纤(参量如表 1 所示), 剥去其外覆

涂层, 置于质量分数为 40% 的氢氟酸中进行腐蚀, 从而获得不同初始直径的光纤, 在此基础上制作石英球腔。在一定的温度条件下, 腐蚀时间与球腔直径基本成线性关系。通过控制腐蚀时间, 可以获得烧蚀一定直径球形谐振腔相应尺寸的光纤。

表 1 石英光纤的相关参量

Table 1 Parameters of the silica fiber

	Mode field	Cladding	Jacket
Diameter / μm	9.01	124.8	247
Reflectivity	1.457	1.437	—

石英球腔的制作系统如图 1 所示。系统由 CO<sub>2</sub>

**基金项目:** 国家自然科学基金(10174060)资助课题。

**作者简介:** 陈天江(1978—), 男, 中国工程物理研究院应用电子学研究所研究实习员, 主要从事光学工程方面的研究。

E-mail: skyriverctj@sina.com

激光器(北京拓达公司生产)、红外( $10.6\ \mu\text{m}$ )分束器、红外反射镜、石英光纤、石英球腔熔融过程的显微视频监视器等元器件构成。一路经全反镜3,透镜1后聚焦于光纤熔融点附近;另一路经全反镜1,全反镜2,透镜2后也聚焦于光纤熔融点附近。具有对称性的双光路石英熔融系统保证了石英光纤熔融成球后的对称性。石英光纤的熔融过程采用 $10\times 10$ 倍显微视频监视器实时监控。

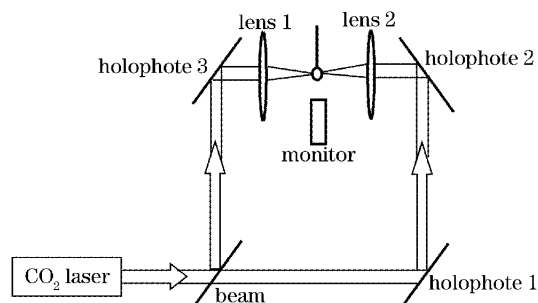


图1 石英微型谐振腔制作系统

Fig. 1 Optical system for shaping silica microsphere cavity

光纤烧蚀过程中,调整激光输出功率在 $10\ \text{W}$ 以上,以单触发的方式输出激光,时间控制在 $0.5\ \text{s}$ 左右,观察到光纤熔融过程中发出刺眼白光。触发结束,熔融石英收缩成球腔,如果光纤位置合适,满足下面两个条件则可以熔融成球腔,称之为完全成腔条件:1)光纤底端完全置于光路中;2)光纤两端所受光压平衡。

设球腔直径为 $D$ ,光纤直径为 $d$ , $\beta=D/d$ ,为得到尽可能完整的球腔,要求 $\beta$ 值尽可能大。事实上,在成腔过程中,由于表面张力与熔融石英所受重力需要平衡的原因, $\beta$ 值不可能无限扩大。目前在最佳实验状态下获得的 $\beta\approx 4$ 。

### 3 实验结果及分析

显微镜下石英光学谐振腔如图2所示,可以看

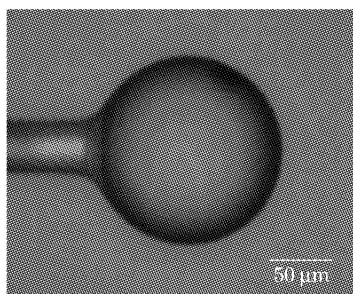


图2 显微镜下的石英谐振腔

Fig. 2 Microcavity observed via microscope

出几何球面度较好。目前可烧蚀出直径为 $28\sim 300\ \mu\text{m}$ , $\beta$ 值为4的不同尺寸的谐振腔。如果在真空环境开展烧蚀实验,将能获得 $10\ \mu\text{m}$ 以内,具有更高球面度的微腔。

原子力显微镜下观测到的微腔表面形貌如图3所示。可以看到,石英球腔表面形貌的起伏在 $0.2\ \text{nm}$ 以内,与Moon等<sup>[7]</sup>制作的表面形貌起伏在 $0.6\ \text{nm}$ 以内的石英球腔相比,应该具有更高的 $Q$ 值。

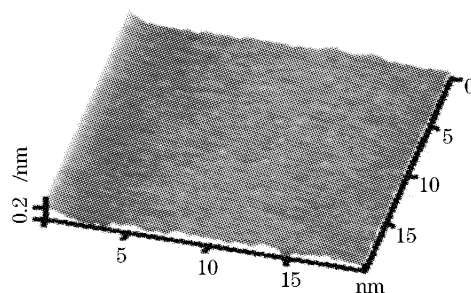


图3 微腔表面形貌

Fig. 3 Surface topography of microcavity

### 4 结 论

目前,国际光电子领域越来越重视对微腔实验的研究,对高 $Q$ 值微腔的追求也势在必行。作为这一系列研究实验的关键,微腔的地位也愈发突出。开展微腔实验所使用的谐振腔应该具备良好的几何球面度和较完美的表面形貌,才可能具有较高的品质因素。实验结果表明:在实验室条件下,能够获得球腔直径在 $30\sim 300\ \mu\text{m}$ 的较理想的微米级石英圆对称光学谐振腔。

### 参 考 文 献

- 1 D. W. Verwooy, V. S. Ilchenko, H. Mabuchi *et al.*. High- $Q$  measurements of fused-silica microspheres in the near infrared [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(4): 247~249
- 2 D. S. Weiss, V. Sandoghdar, J. Hare *et al.*. Splitting of high- $Q$  Mie modes induced by light backscattering in silica microspheres [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(18): 1835~1837
- 3 G. Bjork, A. Karlsson, Y. Yamamoto. Definition of a laser threshold [J]. *Phys. Rev. A*, 1994, **50**(2): 1675~1680
- 4 W. von Klitzing, E. Jahier, R. Long *et al.*. Very low threshold lasing in  $\text{Er}^{+3}$  plus doped ZBLAN microsphere [J]. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(20): 1745~1746
- 5 M. Cai, O. Painter, K. J. Vahala. Fiber-coupled microsphere laser [J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(9): 1430~1432
- 6 Yong-Seok Choi, Hee Jong Moon, Kyungwon A N. Ultrahigh- $Q$  microsphere laser based on evanescent-wave coupled gain [C]. *Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO-Technical Digest*, 2001, **2**: 428~429
- 7 Hee-Jong Moon, Kwang-Hoo Ko, Young-Chul Noh *et al.*. Observation of  $Q$ -spoiling effects on the resonance modes from a noncircularly deformed liquid jet [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(23): 1739~1741