

应用 CO₂ 激光器制备 STM 光纤探针的研究*晁军峰¹ 魏山城¹ 贾忠伟²(¹河南师范大学物理与信息工程学院, 河南 新乡 453007; ²新乡广播电视大学, 河南. 新乡 453003)

摘要 以普通的单模石英光纤为材料,改进熔融拉锥装置,利用有旋转曲面的凹面镜,实现了制作扫描隧道显微镜光纤探针的加工过程。实验表明,改进后的拉锥装置满足了制作纳米量级针尖曲率半径光纤探针的基本要求。

关键词 光纤探针 扫描隧道显微镜(STM) 熔融拉锥 凹面镜

Studying on the STM optical fiber probes with CO₂ laser¹Chao Junfeng ¹Wei Shancheng ²Jia Zhongwei(¹College of Physics and Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007²Radio and Television University, Xinxiang 453003)

Abstract The nanometer order optical fiber probes are fabricated from ordinary quartz fiber by means of combination of melting - pulling. Using a concave mirror with curve surface, realized the fabrication of the STM optical fiber. The experiment indicate that the equipment of pulling taper can fabricate the optical fiber probes which the radius of the needlepoint satisfied nanometer dimension.

Key words optical fiber probes; scanning tunneling microscopy (STM); melting - pulling; concave mirror

扫描隧道显微镜(STM)是一种新型的高分辨率的表面分析仪器,自从其发明以来,在表面科学、材料科学等许多领域得到了广泛应用^[1-3]。隧道探针是STM系统中的关键元件之一^[4],要制作隧道探针,一个至关重要的条件就是要有纳米量级的针尖曲率半径。

对于以普通的石英光纤为材料制成的光纤探针,多是通过腐蚀法^[5-9]和熔拉法^[10]或两种方法相结合^[11]而制成的。腐蚀法的主要不足是对环境和腐蚀液的苛刻要求,环境的洁净度必须极高,腐蚀液要求高纯度和高稳定性,而且制作出的探针表面较粗糙,利用显微镜观察可见明显的缺陷,易引起光的散射,降低针尖的质量。近来虽然曾有改进后的管腐蚀法^[12,13]的不断报道,但仍深受环境的局限和制约。熔拉法虽然避免了腐蚀法的种种不足,但熔拉装置造价昂贵,且拉制出的探针针尖由于受热不均造成针尖的锥角较小,光透过率较低,在应用上受到限制。

本文对光纤热拉伸装置进行了改进,引入了有旋转曲面的凹面镜,使待拉制的圆柱形光纤能够均

匀受热,满足了制作纳米量级针尖曲率半径光纤探针的基本要求,而且改进后的装置操作方便快捷,重复性好,成功率高。

光纤热拉伸装置的仪器构造

光纤热拉伸装置的仪器构造如图1所示。主要由:精密调节光纤固定架、CO₂激光器、有旋转曲面的凹面镜、转动轮毂、拉力计等器件组成。

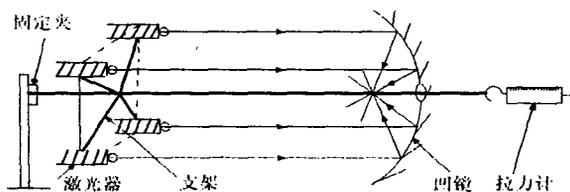


图1 光纤热拉伸装置系统简图

1. 有旋转曲面凹面镜的技术参数

① 材料: BK7、熔石英; ② 尺寸: $\phi 150\text{mm}$; ③ 角度精度: $\pm 3'$; ④ 光洁度: 40/20; ⑤ 面型精度: $\lambda/4$ 。

2. 激光器

实验中选用高稳定型 CO₂ 激光器的输出功率为 8W, 自带聚焦透镜, 光束质量小于 1.1 m^2 , 光腰直径

是 2.4mm,全发散角为 5.5mrad,功率稳定度为 $\pm 2\%$,波长输出为 10.3 - 10.8 μm ,上升时间和下降时间都是 200 μs ,电源电压为 28V,电源电流为 5A,要求强制空冷或水冷,用其作为光纤拉制时的加热源。

3. 拉力计

拉力计的拉力大小要均匀,由于制作出的探针的用途不同,拉力大小也不同,可制成细长锥形、双曲线形、抛物线形等多种锥尖。

工作原理

从凹面镜焦点中心处光源发出的光束经过凹面镜反射后都是近似平行射出的,其利用的原理是基本的光的反射原理:从凹面镜内中心轴上的一点发出的光线经过凹面镜反射后可以平行射出。其几何光路图如图 2 所示:

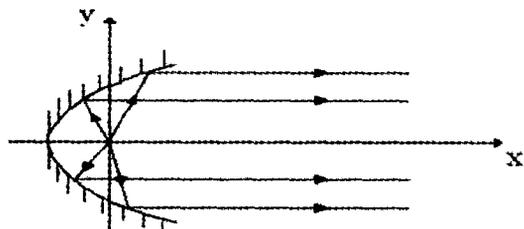


图 2 凹镜反射光线几何光路图

可见,凹面镜在平面直角坐标系中的投影图是以 X 轴为轴、焦点在原点的抛物线,其方程为

$$y^2 = 2c \left(x + \frac{c}{2} \right) \quad (1)$$

该抛物线以 X 轴为旋转轴的抛物面方程为

$$y^2 + z^2 = 2c \left(x + \frac{c}{2} \right) \quad (2)$$

式中 c 为常数。(2) 即为凹面镜的内反射曲面的方程。

由光线的可逆性得到,平行射入凹面镜中的光线必定会聚于焦点处。我们实验中用四套输出功率

相同的激光器,同时平行照射凹面镜凹面,其工作原理示意图如图 1 所示。把光纤固定在支架上,欲拉制的光纤尖端将产生在凹面镜焦点处,激光器射出的光束通过凹面镜会聚到焦点处,使焦点处能量集中,从而温度升高,用来熔融光纤。另一端用拉力计拉制,这样就可可在焦点处把光纤拉制成探针的针尖。如果欲拉制一定长度的锥形光纤,可以在拉力计上接上步进电机进行控制。

结论

取多段 8/125 光纤,去掉塑料保护套,并对端面进行光滑平整性处理,调节拉锥支架使之保持水平,用 CO₂ 激光器的输出功率为 7.5W 时,不断调整拉力计拉力,进行多次拉制,取制作出的质量较好的光锥利用扫描电镜检验可见直径在 50nm 左右锥尖表面光滑的探针针尖。

此种方法,拉制过程比较简单,容易实现人为控制,并且可以根据实际需要不断调节,从而拉制出满足各种需要的光纤探针。

参考文献

- [1] 陈成钧等,扫描隧道显微镜学引论,北京:中国轻工业出版社,1996:198.
- [2] 李锐等,光电子·激光,2002,13(1):7
- [3] 杨修文等,光电子技术,2002,22(3):153
- [4] 白春礼,扫描隧道显微术及其应用,上海科学技术出版社,1994.
- [5] 郭宁等,大连理工大学学报,1994,5(8):533
- [6] 李昌安等,光学学报,2004,24(11):1441
- [7] Ghaemi H, et al, *Ultramicroscopy*, 1995, 57: 165
- [8] Betzig Eric, et al, *Science*, 1992, 257: 189
- [9] Hoffmann Parek, et al, *Ultramicroscopy*, 1995, 61: 165
- [10] 张国平等,光电工程,1999,26(2):20
- [11] Valaskovic G A, et al, *Appl. Opt.*, 1995, 34 (7) : 1215
- [12] Stockl R, et al, *APL*, 1999, 75:160
- [13] 王慧等,激光技术,2004,28(4):417

(上接第 454 页)

参考文献

- [1] D. Anderson, et al, *Appl. Opt.*, 1984, 23(8), 1238
- [2] A. O'Keefe, et al, *Re. Sci. Instrum.* 1988, 59(12), 2544
- [3] G. Berden, et al, *R. Int. Rev. Phys. Chem.* 2000, 19(4), 565
- [4] 梁永辉,极高反射率测量仪.长沙:国防科学技术大学研究生院,2000,47-50

- [5] 孙福革等,中国激光,1999, A26(1):35-38
- [6] 易亨瑜等,强激光与粒子束,2004,16(8):993-996
- [7] 易亨瑜,中国激光,2006,33(3):399-404
- [8] 周炳琨等,激光原理,北京:国防工业出版社,2000(第四版),28-30
- [9] 何光渝,Visual C++ 常用数值算法集.北京:科学出版社,2002.466-517