

弯曲光纤针尖及其法向力压电探测技术*

张工力 白永林 党 群 侯 洵

(中国科学院西安光学精密机械研究所国家瞬态光学技术重点实验室, 西安 710068)
(西北大学光子学与光子技术研究所, 西安 710069)

摘 要 本文介绍一种弯曲光纤针尖及其法向力压电探测的新技术. 与目前普遍采用的方法不同, 弯曲针尖的制作是先利用电阻丝加热, 将光纤弯曲成所需的角度, 然后再在缓冲氢氟酸中腐蚀成针尖, 得到曲率半径为 300 μm , 弯曲角度为 120° , 长度为 500 μm 的弯曲针尖. 同激光或电弧熔拉、弯曲的方法相比, 这种方法工艺简单, 成本低廉. 由弯曲针尖与蜂鸣器压电片组成的悬臂, 利用压电片的正、逆压电效应实现弯曲针尖法向力的非光学法探测. 实验表明, 这种弯尖法向力的探测较直尖切变力具有更高灵敏度, 探测距离提高了一倍以上, 给实际应用带来很大的便利.

关键词 弯曲光纤针尖; 电阻丝加热; 化学腐蚀; 法向力; 压电探测

0 引言

作为唯一能够突破衍射极限的光学成像方法, 近场扫描光学显微镜(Near-field Scanning Optical Microscope-NSOM) 的关键在于光学探针的尺寸及其与样品之间的距离. 目前, NSOM 中最为广泛采用的是光纤探针和间距的切变力(shear force), 或称横向力(lateral force) 的控制¹. 光纤探针一般采用化学腐蚀或激光熔拉的方法制作, 间距的切变力控制则是通过光学或非光学的方法, 探测受迫谐振探针与样品的相互作用时, 其振幅或相位的变化来实现. 在切变力中, NSOM 的分辨率不仅取决于针尖的尺寸, 还与针尖横向振动的振幅有关. 此外, 由于光纤轴向的刚性较大, 探针与样品接触时很容易造成探针或样品的损坏. 而采用探测垂直于样品表面的法向力(normal force), 不但解决了上述问题, 还有利于反射式 NSOM 的远场收集, 是一种十分理想的间距控制方式.

为了实现法向力的探测, 必须采用弯曲的光纤探针, 但它的制作工艺有较大的难度, 目前国外只有极少数研究机构拥有这项技术, 他们一般采

用激光或电弧将已制作好的针尖部分加热弯曲. 对于弯曲针尖的法向力探测, 普遍沿用原子力显微镜(Atomic Force Microscope, AFM) 中的光学悬臂的方法^{2~5}. 这些制作和控制方法, 工艺复杂, 设备昂贵, 并且给 NSOM 的应用带来许多不利因素. 本文将介绍一种弯曲光纤针尖及其法向力压电探测的新技术, 我们采用电阻丝加热先将石英光纤弯曲, 然后进行化学腐蚀制作成弯曲光纤针尖, 并利用压电片的正、逆压电效应探测其法向力.

1 弯曲针尖的制作

弯曲针尖所使用的光纤是普通的石英光纤, 纤芯和包层的直径分别为 8 μm 、125 μm . 制作方法是先将光纤一端的护套剥去, 在一根直径 0.6mm 的电阻丝上将光纤加热到 1000°C 左右, 然后沿电阻丝弯成所需的角度, 如力 1(a) 所示. 考虑到由于光纤弯曲而会造成光传输的损失, 弯曲角度以 120° 左右为宜⁶. 然后将弯曲后的光纤垂直插入由氨水和氢氟酸(体积为 3.5 : 1) 组成的缓冲腐蚀液中⁷, 在室温下腐蚀 180 分钟就可得

*“九五”攀登计划资助预选项目子项目
中国知网 https://www.cnki.net
收稿日期: 2000-05-10

到弯曲的光纤针尖,如图 1(b) 所示,我们制作的弯曲针尖的弯曲角度为 120° ,曲率半径为 $\sim 300\text{ }\mu\text{m}$ (等于电阻丝的半径),长度为 $\sim 500\text{ }\mu\text{m}$. 应注意,光纤的插入位置非常重要,它决定着针尖的外形尺寸,为了减小弯曲针尖的长度,应尽量靠近圆弧的切点.

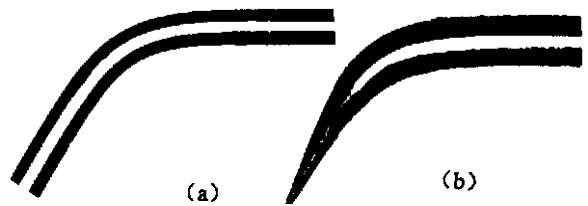


图 1 (a) 弯曲光纤和(b) 弯曲针尖的照片
Fig. 1 Photographs of (a) a bent fiber and (b) a bent tip

2 法向力的压电探测

与切变力压电探测的方法相似⁸,如图 2(a) 所

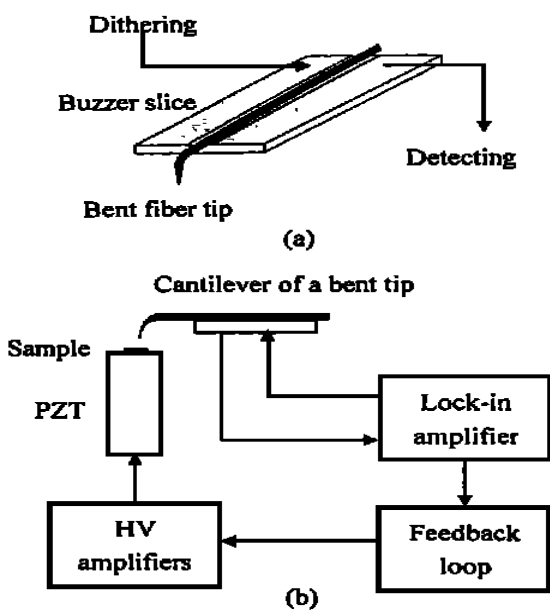


图 2 (a) 弯曲光纤针尖悬臂和(b) 反馈控制回路
Fig. 2 (a) cantilever of a bent fiber tip and (b) feedback loop

示,我们将弯曲光纤针尖粘结在一个电极被两等分的蜂鸣器压电片上($3\times 5\text{mm}^2$),光纤的伸出长度约 2mm ,由此构成了一个弯曲光纤针尖悬臂. 压电片中的一个电极用于施加激励信号,驱动弯曲针尖垂直于样品表面振动,另一个电极用于探测针尖与样品之间的相互作用力—法向力. 当以悬臂的谐振频率激励时,压电片的输出信号为最

大. 随着针尖与样品间距的不断减小,由于法向力对谐振针尖和阻尼越来越大,造成谐振频率漂移,压电片的输出信号将逐渐减小,我们以此作为反馈信号. 图 2(b) 为法向力压电探测的反馈控制回路. 激励信号(2mV) 由锁相放大器的内参考频率提供,探测信号经锁相放大器送入反馈回路控制针尖与样品之间的距离.

图 3(a) 弯曲针尖的频率响应曲线,悬臂的谐振频率为 5.79kHz ,品质因数为 34 ,与直尖切变力压电探测基本相同. (b) 是弯曲针尖与洁净玻璃表面的逼近曲线,从图中可以看到法向力的作用距离大于 40nm ,是直尖切变力的两倍以上⁸,说明这种弯尖悬臂具有较小的力常数.

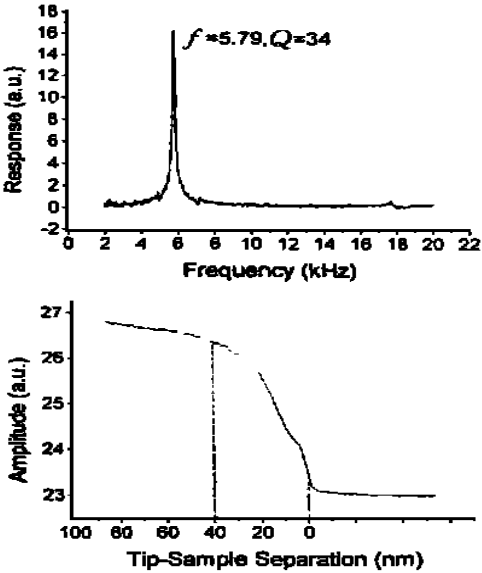


图 3 (a) 频谱响应曲线, (b) 逼近曲线
Fig. 3 (a) Frequency response curve of the bent tip cantilever and (b) Approach curve for the detection of normal force

3 结论

我们以电阻丝加热弯曲光纤和化学腐蚀针尖的方法,在国内首先制作出了弯曲针尖. 这种方法不但工艺简单,不需激光或电弧熔拉,弯曲过程中的精密定位和许多参量的确定,而且成本极低. 利用压电效应探测弯曲针尖的法向力,同直尖切变力相比,探测距离提高了一倍以上,对防止针尖与样品碰撞而意外受损非常有利,同时这种方法还消除了现有 AFM 光学探测给实际应用带来的许多限制,是一种十分理想的间距控制方法.

参考文献

- 1 Betzing E, Trautman J K, Harris T D, Weiner J S, Kostelak R L. Breaking the diffraction barrier optical microscopy on a nanometric scale. *Science*, 1991, 251(5000): 1468~1470
- 2 Lieberman K, Lewis A, Fish G, et al. Multifunctional, micropipette based force cantilevers for scanned probe microscopy. *Appl Phys Lett*, 1994, 65(5): 648~650
- 3 Talley C E, Cooksey G A, Dunn R C. High resolution fluorescence imaging with cantilevered near-field fiber optical probes. *Appl Phys Lett*, 1996, 69(25): 3809~3811
- 4 Lin H N, Lewlomphaisarl U, Chen S H, Lee L J. Controllable fabrication of bent near-field optical fiber optical probes by electric arc heating. *Rev Sci Instrum*, 1998, 69(11): 3843~3845
- 5 David T, Chicanne C, Richard N, et al. Application to dielectric, metallic, and magnetic sample of a transmission mode scanning near field optical microscope with normal force distance regulation on bent optical fibers. *Rev Sci Instrum*, 1999, 70(12): 4587~4594
- 6 Nakajima K, Muraastu H, Chiba N, Ataka T, Fujihira M. Optical processing by scanning near-field/atomic force microscopy. *Thin Solid Films*, 1996, 273(2): 327~330
- 7 张工力, 白永林, White J D, 侯洵. 一种高透过率光纤探针的制作. *光子学报*, 1999, 28(12): 436~439
- 8 白永林, 张工力, 任克惠, White J D, 侯洵. 一种探针一样品距离的切变力控制新方法. *光子学报*, 1999, 28(2): 120~123

TECHNIQUE OF BENT FIBER TIP AND ITS NORMAL FORCE DETECTION BY PIEZOELECTRIC EFFECT

Zhang Gongli, Bai Yonglin, Dang Qun, Hou Xun

Key State Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

Institute of Photonics and Photon Technology, Northwest University, Xi'an 710069

Received date: 2000-05-07

Abstract A simple, compact technique for a bent fiber tip and its normal force detection based on piezoelectric effect will be introduced. To fabricate a bent fiber tip, a fiber is first heated to $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ by a resistant wire and bent to a desired angle. Then, the bent fiber is etched in the buffered hydrofluoric acid. Compared to the conventional laser or spark discharge heating, the fabrication is easier to control and the cost is almost negligible. A bent tip at a bend angle of 120° with a radius of $300\text{ }\mu\text{m}$ and in length of $500\text{ }\mu\text{m}$ is achieved. The bent tip is glued to a buzzer slice whose electrode is divided into two parts as a cantilever and its normal force is detected by piezoelectric effect. The resonant frequency of bent tip is 5.79 kHz and Q factor 32 . Experimental result shows that control distance is more than 40 nm , the double in the case of shear force detection. It is superior to straight fiber tip and its shear force detection.

Keywords Bent fiber tip; Resistant heating; Chemical etching; Normal force; Piezoelectric effect



Zhang Gongli was born in Xi'an, China, in 1964. He received the B. S. degree from the South-China University of Technology, Guangzhou, China, in 1986. Since then, he has been with Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Xi'an, China, as a researcher. His current research interests are the near-field scanning optical microscopy (NSOM) and its applications to ultrafast phenomena.