

# 激光动态精密测微研究

吴世雄 许江彤 陈福耀 管志莲 方维坤 鲍良弼

(合肥工业大学)

**提要:** 提出一种新型动态精密测微方法, 能对  $10\sim 100\mu\text{m}$  的细丝作动态在线测量, 测量精度为  $0.5\%$ , 细丝走速  $0\sim 150\text{m/min}$  连续可调。本文列出了测量结果。

## Investigation on laser dynamic precision measurement of fine wire diameters

Wu Shixiong, Xu Jiangtong, Chen Fuyao, Guan Zhilian, Fang Weikun, Bao Liangbi

(Hefei University of Polytechnology, Hefei)

**Abstract:** A new method of dynamic precision measurement of fine wire diameters is presented which can be used to perform on-line dynamic measurement of diameters of  $10\sim 100\mu\text{m}$  with an accuracy of  $0.5\%$ . The velocity of the wire is  $0\sim 150\text{M/min}$  and can be continuously adjusted. The measurement results are given.

### 一、引言

随着科学技术的飞速发展, 在工业生产和科学实验中经常要对细丝直径作动态或静态的精密测量。传统测量法是称重法、电阻法等, 测出一定长度的细丝(如钨丝)的重量或电阻, 把细丝看成一细长均匀的圆柱体, 可算出其平均直径, 所以它们都是间接测量, 而且不能测细丝某一截面处的直径。激光扫描法虽能作动态非接触测量, 但由于激光光斑有一定大小等因素, 一般只能测量  $50\mu\text{m}$  以上的直径, 且精度较低。我们采用以光学傅里叶变换-频谱分析原理为基础, 以 CCPD (电荷耦合光电二极管摄像器件) 作光电转换器, 结合微机, 实现了  $10\sim 100\mu\text{m}$  的细丝直

径动态精密测量。

### 二、原理与结构

如图 1 所示, 准直的 He-Ne 激光照射细丝, 细丝位于变换透镜的前焦平面上, 在后焦平面上放置 CCPD。根据傅氏光学, 在后焦平面(频谱面)上的光场复振幅分布为其前焦

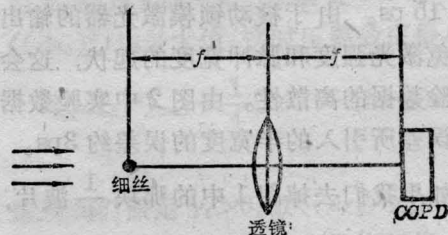


图 1

收稿日期: 1986年12月8日。

平面(输入面)光场振幅的傅氏变换。根据巴比涅互补原理,细丝可等价于一维狭缝,其振幅透过率的数学表达式为矩形函数:

$$g(x') = \text{rect}\left(\frac{x'}{d}\right)$$

式中  $d$  为细丝的直径。故在频谱面上的光场复振幅为:

$$G(f_x) = \mathcal{F}\left[E_0 \text{rect}\left(\frac{x'}{d}\right)\right] \\ = E_0 d \text{sinc}(df_x)$$

式中  $E_0$  为入射光振幅,

$$f_x = \frac{x}{\lambda f}$$

光强分布则为:

$$I(x) = I(0) \text{sinc}^2\left(\frac{dx}{\lambda f}\right) \quad (1)$$

式中  $\lambda$  为 He-Ne 激光波长,  $f$  为透镜焦距,  $I(0)$  为  $x=0$  处的光强。由(1)式可知,当:

$$\frac{dx_n}{\lambda f} = n, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots$$

时光强等于零,即为暗点。所以暗点位置:

$$x_n = \frac{\lambda f}{d} n$$

相邻两暗点的距离:

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda f}{d} \quad (2)$$

故只要测出  $\Delta x$ , 就可求得直径:

$$d = \frac{\lambda f}{\Delta x}$$

为求  $\Delta x$ , 在频谱面放置 CCPD, 它将光强信号转变为电压信号, 这一信号输入到电压比较器, 将  $\text{sinc}^2$  函数转换为一列方波, 如图 2 所示。(图中  $\phi_r$  为 CCPD 视频输出,  $V_0$  为 LM311 的比较电平,  $x$  坐标以光敏元数表示, 其中  $N_1, N_2, N_3, \dots$  为方波各间距中 CCPD 复位脉冲数, 而  $N_2, N_4, N_6, \dots$  为方波中的复位脉冲数)。

通过一定的门电路及计数器, 计下各方波及方波间距内 CCPD 复位脉冲  $\phi_r$  的脉冲数(它的一个脉冲对应于一个光敏元)。将相邻两方波的中点看作暗点, 则有:

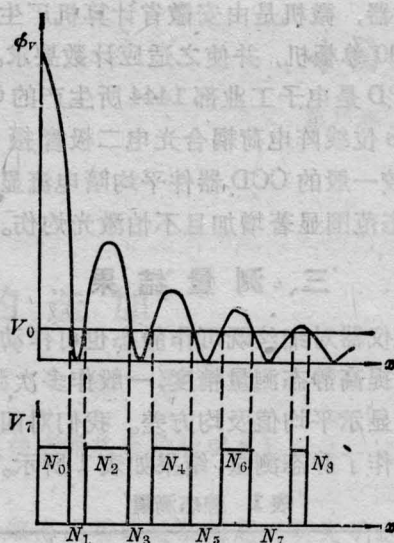


图 2

$$K \cdot \Delta x = \left( \frac{1}{2} N_1 + N_2 + N_3 + \dots \right. \\ \left. + N_{2K} + \frac{1}{2} N_{2K+1} \right) S_0 \\ = \left[ \sum_{i=1}^{2K+1} N_i - \frac{1}{2} (N_1 + N_{2K+1}) \right] S_0$$

$K$  为暗点间距的倍数,  $S_0$  为 CCPD 一个光敏元的大小。由此可求得相邻两暗点的间距:

$$\Delta x = \frac{S_0}{K} \left[ \sum_{i=1}^{2K+1} N_i - \frac{1}{2} (N_1 + N_{2K+1}) \right]$$

代入(2)式, 即可求得细丝直径。

为了测  $N_i$ , 需要一定的门电路及计数器, 如图 3 所示。将测得的  $N_i$  通过接口电路输入微机, 经计算就可将直径在数码管及 CRT 上显示, 也可通过打印机将结果打印出来。

为了提高测量精度, 傅氏透镜选用桂林光仪厂特制的 FJ-300 型, 其频谱线性误差小于 0.03%, 数据的采集用两路 16 位二进

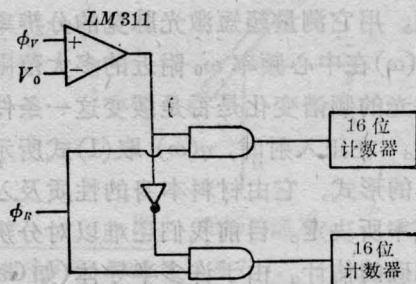


图 3



制计数器, 微机是由安徽省计算机厂生产的 MC-Z80 单板机, 并使之适应计数要求。所用 CCPD 是电子工业部 1444 所生产的 GZ07 型 2048 位线阵电荷耦合光电二极管摄像器件, 它较一般的 CCD 器件平均暗电流显著减小, 动态范围显著增加且不怕激光灼伤。

### 三、测量结果

本仪器对细丝既可作静态也可作动态测量。为提高静态测量精度, 一般作多次测量, 显示器显示平均值及均方差。我们对四个细丝样品作了静态测量, 结果如表 1 所示。

表 1 静态测量

	测量次数	测量值 ( $\mu\text{m}$ )	均方差 $\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )	相对误差 (%)
钨丝	20	12.79	$\pm 0.03$	0.23
镍铬丝 1#	20	20.05	$\pm 0.02$	0.07
镍铬丝 2#	20	31.84	$\pm 0.05$	0.15
镍铬丝 3#	20	41.09	$\pm 0.09$	0.23

为了检验动态测量的可靠性, 我们做了动静态比对实验。方法是对同一段钨丝 (长约 20 m), 先做动态单次测量得 10 个数据, 然后分十点做静态测量。两种测量的结果基

本一致, 说明动态测量是可信的。

### 四、分析讨论

$\text{sinc}^2$  函数在零点两侧是不完全对称的, 所以将两相邻方波的中点看作暗点, 带有一定的近似性。但是我们通过计算机作具体数值计算证明, 只要切割电平较低 (约为最小峰值的三分之一以下), 这种误差可完全忽略。事实上, 如用 A/D 转换, 由于暗点附近信号很小且变化平坦, CCPD 的不均匀性及噪声干扰等, 暗点位置反更不易测准。通过多次反复的实测证明我们所研制的测微仪精度高, 重复性、稳定性 (8 小时的误差在 0.1% 以下) 都很好。本仪器还具有下列特点:

1. 快速: 每点的测量时间为 1 ms, 所以可作动态在线检测, 走线速度 0~150 m/min 连续可调。

2. 非接触, 没有接触误差。

3. 测量的是一点的直径, 而常规方法测量的是一段细丝的平均直径。在不同方向测量, 本仪器还可测量细丝的椭圆度。

本仪器主要用于测量钨钼等金属丝, 但只要稍加改动, 也可用于测量其它微小尺寸。

(上接第 285 页)

反射倍频的有效作用长度为 13 nm 左右, 而距中心波长 (620 nm) 两侧近 100 nm 的两个频率分量在传播这一距离时所引入的光程差约为  $3 \times 10^{-17}$  s。所以在 fs 范围, 由于倍频介质引起的脉冲波形的色散畸变可以忽略。

由 (2) 式可见, 反射倍频中不存在位相匹配问题。用它测量超短激光脉宽的分辨率主要由  $\eta(\omega)$  在中心频率  $\omega_0$  附近的多大范围内相对激光的频谱变化是否是缓变这一条件来决定的。在正入射时,  $\eta(\omega)$  取 (1) 式所示的最简单的形式, 它由材料本身的性质及入射光的频率所决定。目前我们还难以对分辨率做出准确的估计。由于许多半导体 (如 GaP、InP 等) 都有很大的二阶非线性极化系数, 通

过对这些材料的  $\eta(\omega)$  的仔细测定与分析, 选取其中一种适合的材料, 从 (2) 式出发对实验数据作拟合, 这有可能找到一种新的更有效的测量 fs 激光脉宽的方法。

### 参 考 文 献

1. Armstrong J A. *Appl. Phys. Lett.*, 1967; 10(1): 16
2. Bloembergen N, Pershan P S. *Phys. Rev.*, 1962; 128(1~2): 606
3. Chang R K, Bloembergen N. *Phys. Rev.*, 1966; 144(2): 775
4. 刘一先 *et al.* 光学学报, 1986; 6(1): 1
5. Shank C V *et al.* Energy Beam-Solid Interaction and Transient Thermal Processing, Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol. 23, North-Holland, New York, Amsterdam, Oxford, 1984: 53