

扬氏光纤干涉仪测量激光谱线线宽

张哨峰 陈徐宗 梁培辉

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文介绍了一个用二根单模光纤组成的扬氏干涉仪来测量连续或脉冲激光谱线宽度的方法, 实测了几种激光的线宽及铜蒸气激光在一个脉冲时间内光谱线宽的时间过程。

关键词: 扬氏光纤干涉仪, 谱线宽度

Measuring laser linewidth with Young's optical fiber interferometer

Zhang Shaofeng, Chen Xuzong, Liang Peihui

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: In the present paper we report a method for measuring CW or pulsed laser linewidth with Young's optical fiber interferometer consisted of two single-mode fibers. We have measured several linewidths of lasers as well as the time evolution of single copper vapor lasers.

Key words: Young's optical fiber interferometer, laser linewidth

测量激光谱线线宽的方法一般可分为多光束干涉法和双光束干涉法两种。多光束干涉法具有分辨率高的优点, 但是这种方法要求膜板有很高的反射率。双光束干涉法利用光谱分布对双光束干涉的干涉条纹对比度的影响来测量光谱线宽。这类方法最常见的是迈克尔逊干涉仪法, 也有人用 Fizeau 干涉仪测量激光光谱线宽^[1]。上述几种方法具有不适用于脉冲激光或量程不可改变的缺点。本文介绍一个用两根单模光纤组成的扬氏干涉仪来测量激光线宽的方法, 这种方法可实时测量脉冲(或连续)激光的光谱线宽, 并且可测出脉冲激光线宽的时间过程, 装置结构简单, 测量范围大, 可自由改变量程。

一、测量装置及原理

测量装置如图 1 所示, A 、 B 为两根等长的单模光纤, 其截止波长为 520 nm, 光纤的输出端固定在夹头 Q 上, 两端点距离(t)约为 0.5 cm, B 路光纤的光输入端是固定的, A 路光纤的光输入端放在一个可沿光线方向前后精密移动的平台, 从而改变两路光的光程差。设 A 、 B 两路光的光程差为 k_0 , 在探测面上 x 处的光程差为

$$k = k_0 + xt/L \quad (1)$$

其中, L 为输出端到探测面的垂直距离。图中 P 为起偏镜, 用以消除光纤对入射光偏振方向的旋转而产生的对干涉条纹对比度的影响。 D 为光电二极管阵列 S_0 点为 $k_0=0$ 的位置。 M 为分光镜, L_1 、 L_2 为分光图镜, AC 为 A/D 变换器和计算机。

光谱分布为 Gauss 型, 中心频率为 $\nu_0=1/\lambda$, 线宽为 $\Delta\nu$ 的两束等光强的激光的干涉条纹对比度 O 与线宽的关系为^[1]

$$(\Delta\nu)_{\text{Gauss}} = \frac{1.665}{\pi k} (-\ln O)^{1/2} \quad (2)$$

一般地有 $k_0 \gg \pi t/L$, $k \approx k_0$,

$$(\Delta\nu)_{\text{Gauss}} \approx \frac{1.665}{\pi k_0} (-\ln O)^{1/2} \quad (3)$$

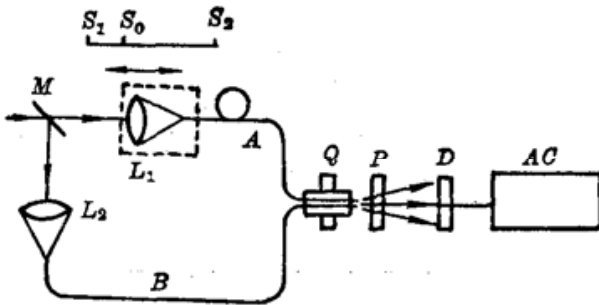


Fig. 1

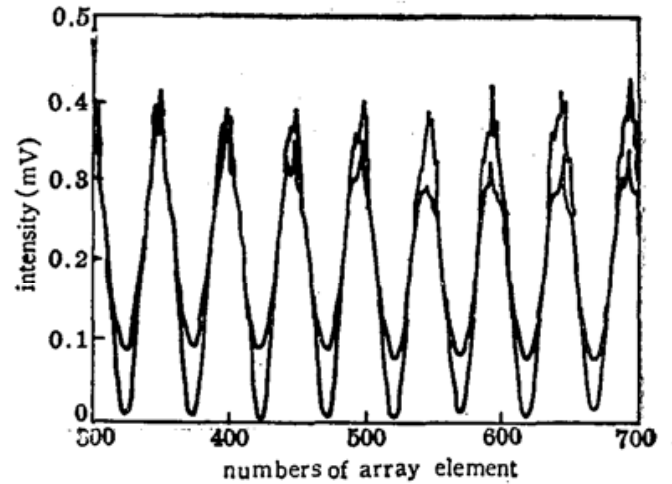


Fig. 2

不同的光程差其干涉条纹的对比度不同, 如图 2 所示。设光纤 A 在位置 S_1 、 S_2 , 对应有光程差 k_1 、 k_2 , 干涉条纹的对比度为 O_1 、 O_2 。由 (3) 式有

$$\Delta\nu = \frac{1.665}{\pi} \cdot \frac{[(-\ln O_1)^{1/2} \pm (-\ln O_2)^{1/2}]}{k_1 \pm k_2} \quad (4)$$

图 1 中, 当 S_1 与 S_2 在等光程点 S_0 的两侧, S_1 与 S_2 的间距为 k_1+k_2 , 当 S_1 与 S_2 在等光程点 S_0 的同侧, S_1 与 S_2 的间距为 k_1-k_2 。只要测出两个不同光程差点的干涉条纹对比度就可得到激光谱线线宽。

二、测量结果

Ar^+ 激光谱线为多普勒加宽, 其线型是 Gauss 线型。我们测量了 Ar^+ 激光 520nm 光的扬氏干涉条纹在不同光程差下的对比度, 用 (3) 式拟合这些数据点, 拟合结果为 $\Delta\nu=1.97\text{GHz}$ 。图 3 为 Ar^+ 激光的光程差 k 与干涉条纹对比度 O 关系的实验数据与拟合曲线的比较, 可以看出, Ar^+ 激光谱线是符合 Gauss 线型分布的。

表 1 为对三种不同线宽的激光, 用扬氏光纤干涉仪测量的线宽数值与用其它方法测量的结果的比较。

用扬氏光纤干涉仪还可以测量脉冲激光的线宽时间过程。我们用此装置测量了铜蒸气激光线宽的时间过程。铜蒸气激光器是高重复率、高增益的脉冲激光器, 重复频率为 6 kHz, 脉冲

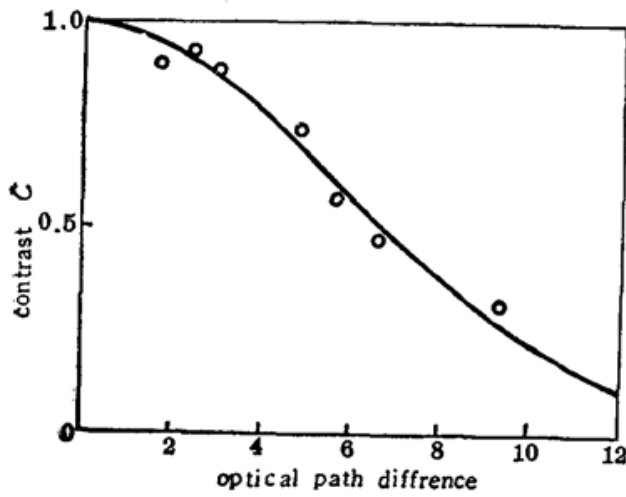


Fig. 3

Table 1 (unit: GHz)

method	laser		
	He-Ne (632.8nm)	Ar ⁺ (514.0nm)	OVL (578.2nm)
Young's	0.575	1.97	8.15
scanning etalon	0.577		
F-P		1.95	7.90

宽度为 30 ns。在一个脉冲时间内,其光谱线宽随着光振荡次数的增加会逐渐减小^[2],探测器用一个带狭缝的光电倍增管代替图 1 中的光电二极管阵列。将光电倍增管移到干涉条纹的最亮点和最暗点,用 Boxcar 记录仪记录下两点的脉冲波形,求出在一个脉冲时间内干涉条纹对比度随时间的变化。图 4 为铜蒸气激光在干涉最大、最小点的脉冲波形。由(4)式就可计算出一个脉冲时间内线宽随时间的变化。图 5 为铜蒸气激光 578 nm 光在一个脉冲时间内线宽随时间的变化曲线。

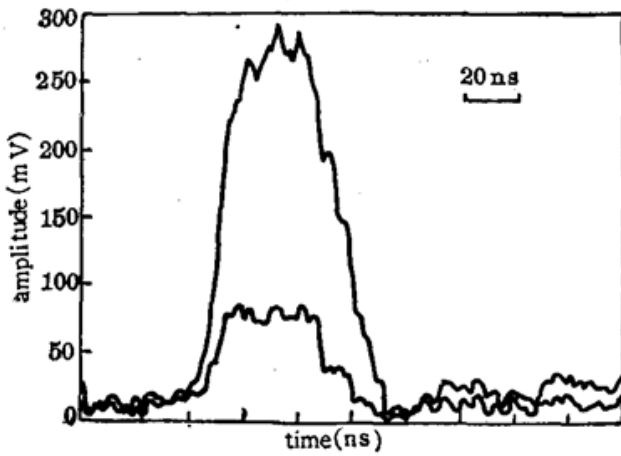


Fig. 4

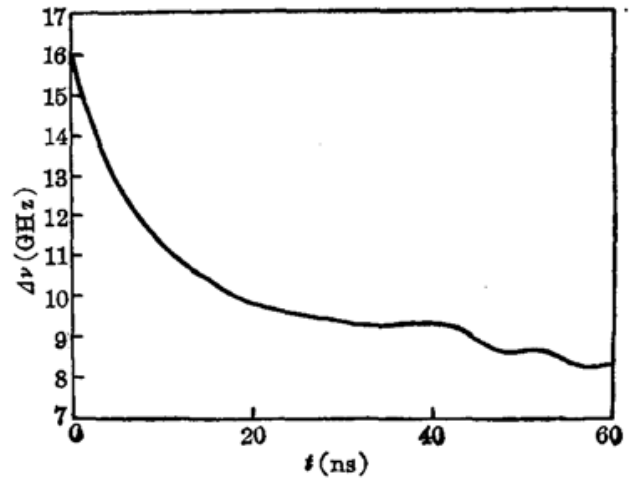


Fig. 5

三、讨 论

从表 1 可以看出,双光束干涉法测量激光线宽的结果总是偏大于实际线宽的。我们认为测量值的偏大,是由于干涉条纹对比度的测量对两束干涉光光强的一致和光路的调整要求相应苛求,对比度的测量值总是偏小于实际量,从而线宽的测量值总是偏大于实际值。

由于探测器件的噪声及 A/D 变换的精度的影响,用双光束干涉法测量线宽的方法在光程差为 k 时,可分辨最小的线宽为^[1]

$$\text{Gaussian FWHM}_{\min} = 0.129 / (\pi k) \tag{5}$$

在我们这个装置上, k 最大可到 20 cm, 最小可测线宽为 0.006 GHz。

光纤两臂移动的精度也会影响线宽的测量精度。由(2)式,

$$\delta(\Delta\nu)/\Delta\nu = \delta k/k \quad (6)$$

对于 20 cm 的臂长, 移动精度为 1 mm 时, 对测量精度的影响为 0.005。

在实际测量中, 光谱的线型也可能是 Lorentz 线型, 类似于(2)式的推导, 可导出 Lorentz 线型的测量公式^[1]

$$(\Delta\nu)_{\text{Lorentz}} = 2O/(\pi k) \quad (7)$$

在对比度 O 很小时, 用不同线型公式计算出的线宽可差一个数量级^[1]。因此确定激光谱线线型对于双光束干涉法来说是很重要的。实际上, 由对比度随光程差变化的曲线可以计算出光谱线型^[3]。

用两根光纤构成扬氏干涉仪不仅结构简单, 而且光纤还起着空间滤波器的作用, 消除了入射光波面的不规则对干涉条纹的影响。另外, 这种装置还可以进一步做成类似于双缝干涉仪的激光波长计。

参 考 文 献

- 1 Christopher Reiser *et al.*, *Opt. Lett.*, **13**(11), 981(1988)
- 2 A. 亚里夫, 量子电子学, 上海科学技术出版社, 1983, 292
- 3 M. 波恩, 光学原理, 科学出版社, 1978, 49

快 讯

6.5dB(78%)振幅压缩态的观察

量子噪声低于标准量子极限(SQL)的非经典光场(包括压缩态、非经典相关态和振幅压缩态等)对光通信和引力波测量等领域有很重要的潜在应用价值。振幅压缩态具有低于标准量子极限的振幅噪声, 常称为亚泊松分布光场。

我们采用电流负反馈半导体激光器来产生和观察振幅压缩态。半导体激光器(Sharp LT015 MP)直流驱动电流为 60 mA, 单模($\lambda=830$ nm)输出功率约为 10 mW, 微分量子效率为 0.8~1.2。输出激光的量子噪声用双通道平衡检测法测量(Balanced detection), 它包括: 分束镜、两个量子效率为 0.85~0.9 的 PIN 光电二极管、低噪声差分放大器(共模抑制 46 dB)和频谱分析仪等。其中低噪声差分放大器输出的噪声信号除用频谱分析仪测量外, 还反馈至半导体激光器的驱动电源, 用于控制半导体激光器的光子发射。

SQL 采用两种方法建立: 一种是无反馈时平衡检测系统测量到的量子噪声, 另一方法是采用恒流驱动大功率发光二极管。这两种方法建立的 SQL 与理论值比较表明准确度可达 0.5%。

当在半导体激光器中引入负反馈回路时, 即可观察到振幅压缩态。实验结果为: 在 0.2 MHz~2.0 MHz 频域内均观察到半导体激光的量子噪声低于 SQL 约 0.5~6.5 dB, 其中在低频区(0.2~1.2 MHz)很宽的频带内, 均观察到 6.5 dB 的宽带压缩, 这相当于 78% 的噪声压缩, 表明这种亚泊松分布光场的 Q 值为 $Q=-0.78$ 。

(中国科学院上海光机所 黎永青 王育竹 王长生 1991 年 1 月 28 日收稿)