

用 CCD 测量汞干涉条纹(谱线) 的宽度^{*}

傅思镜, 童洲森, 李 鸣

(中山大学光电材料与技术国家重点实验室 // 物理学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 介绍了运用鲁末—盖格板及棱镜光谱仪得到某一波长谱线的干涉条纹, 用 CCD 拍摄和计算机处理, 能快捷地得到该谱线宽度的方法。

关键词: 干涉条纹; 半高全宽 (FWHM); 电荷耦合器件 (CCD); 计算机程序

中图分类号: O433.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) 04-0114-03

谱线宽度的研究, 在理论及应用方面均有其重要意义。它可以了解放电区中激发原子或(离子)与原子及电子的碰撞过程。在进行光谱分析方法无法解决时, 就可以利用谱线宽度法进行光谱定量分析。它比一般方法优越。在光纤通信中, 谱线宽度是一个经常使用的概念。如何获得亮度尽可能高、谱线宽度尽可能窄的稳定激光光源, 如何获得隔离度尽可能高、信道谱线宽度尽可能窄的低插入损耗波分复用器件, 一直是现代光纤通信研究的重要课题。因此, “谱线宽度测量” 实验的研究对科研、教育部门具有重要的研究价值。

1 实验原理

实际的单色辐射都包含一定的波长范围。所谓谱线, 只不过是一个很狭窄的光谱区域辐射而已。在这区域辐射的能量分布, 从中心到边缘迅速递减, 如图 1 所示。通常规定在谱线强度等于峰值半处的宽度作为谱线宽度的标志及比较的标准, 称此宽度为半高全宽, 简称谱线宽度^[1]。

如图 2 所示, 汞灯光进入鲁末—盖格 (L-G) 板后, 在上下板面间多次反射和透射, 形成一系列平行相干光束, 在透镜焦面上产生上下对称的两组干涉条纹, 它们有固定的光程差

$$\Delta = 2h(n^2 - \sin^2 \Phi)^{1/2} \quad (1)$$

故在透镜焦面上形成干涉极大值 (亮条纹) 的条件为:

$$2h(n^2 - \sin^2 \Phi)^{1/2} = k\lambda, k = 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中, k 为干涉光谱数序, λ 入射光波的波长, h 为 L-G 板厚, n 为 L-G 板的折射率, Φ 为出射角。

设 $d\Phi$ 对应与光谱数序间隔 dk 的角距离, 则相邻光谱数序 ($dk = 1$) 的角距离为:

$$d\Phi = -\lambda(n^2 - \sin^2 \Phi)^{1/2}(h \sin 2\Phi)^{-1} \quad (3)$$

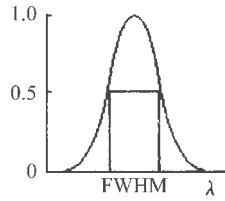


图 1 谱线强度曲线

Fig 1 Intensity of spectral line

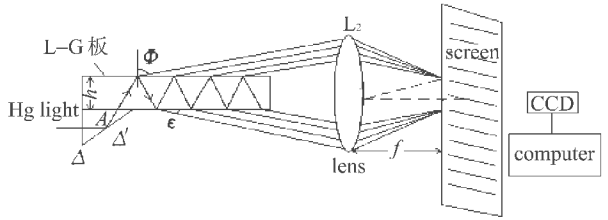


图 2 实验原理图

Fig 2 Chart of experiment principle

定义, $d\Phi/d\lambda$ 为盖格板的角色散。由式 (2) 微分 (k 不变) 得:

$$\frac{d\Phi}{d\lambda} = -2(\sin 2\Phi)^{-1} \left[\frac{n^2 - \sin^2 \Phi}{\lambda} - \frac{n dn}{d\lambda} \right] \quad (4)$$

当以 2 个不同波长 λ_1 、 λ_2 入射时对应有两套干涉条纹, 它们的位置有相对位移。当波长差 ($\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$) 大得使相邻数序重叠, 我们称这时的 $\Delta\lambda$ 值为色散范围。

一般 $\Phi \approx \pi/2$, 则色散范围为:

$$\Delta\lambda = \lambda^2(n^2 - 1)^{1/2}(2h)^{-1} \left[n^2 - 1 - \frac{n\lambda dn}{d\lambda} \right]^{-1} \quad (5)$$

当光线从板内掠面出射时 $\Phi = 90^\circ$, ϵ 很小, 可采用近似计算方法, 则有 $\sin \Phi \approx 1$, $\sin 2\Phi = (\pi -$

^{*} 收稿日期: 2001-11-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60178020); 广东省自然科学基金资助项目 (011204)

作者简介: 傅思镜 (1945—), 男, 副教授; E-mail: stfsj@zsu.edu.cn

2ε)。若 $ndn/d\lambda \leq (n - \sin^2 \Phi)/\lambda$ ，则式(3) - (5) 可化为：

$$\Delta \Phi = - \frac{\lambda(n^2 - 1)^{1/2}}{2h\epsilon}$$

(6)

$$\frac{d\Phi}{d\lambda} = - \frac{n^2 - 1}{\lambda\epsilon}$$

(7)

$$\Delta \lambda = \lambda^2(2h)^{-1}(n^2 - 1)^{-1/2}$$

(8)

则波长 λ 与 $\lambda - d\lambda$ 的干涉亮条纹相对角位移为：

$$d\Phi = \left[\frac{n^2 - 1}{\lambda\epsilon} \right] d\lambda$$

(9)

以 L 表示波长 λ 的干涉条纹相邻数序的线距离， l 表示波长 λ 与 $\lambda - d\lambda$ 的干涉条纹相同数序的线距离。若透镜与焦面的距离 f 足够大，而且 L 、 l 是在靠近干涉图样中心数序中测得的值，则有：

$$d\epsilon = l/f = d\Phi, \quad \Delta\epsilon = L/f = \Delta\Phi$$

所以 $d\Phi/\Delta\Phi = l/L$

(10)

结合式(6)，(7) 得：

$$d\lambda = (l/L)\lambda^2(2h)^{-1}(n^2 - 1)^{-1/2}$$

又由式(9) 得

$$d\lambda = (l/L)\Delta\lambda$$

(11)

则从干涉谱线图样上测得 l 、 L 值，已知 n 、 h 、 λ 值，从式(8) 算出 $\Delta\lambda$ 后，即可从式(11) 求出小波长差值 $d\lambda$ 。以小波长差值作横坐标波长单位，以某一干涉亮条纹强度值作纵坐标，画出谱线的强度分布，就可求出该谱线的宽度。

2 CCD 简介及计算机程序的设计

CCD 是一种新发展起来的集成半导体器件^[3]。

它集成度高，光敏元件间距小，几何尺寸严格，每个光敏元件可寻址。由 CCD 构成的图像传感器具有体形轻小，功耗低，寿命长，精度高，可进行非接触测量等优点。在本实验中，我们采用 CCD 来摄取光谱，代替了传统的用乳胶照片来拍谱的方法。

在实验中，采用了 OKC 30 黑白彩色两用图像采集卡。在程序设计时，以 OKC 30 系统软件^[3] 及 Microsoft C++ Builder 5.0^[4] 作为开发工具，开发了“谱线宽度测量软件”（软件介面见图 3）。

程序设计时，主要工作在于作图，求出 L 和求半宽度 3 个方面：

(1) 作图。首先，在拍摄到的干涉条纹中框选出需要作图的区域，如图 3 左上方所示。然后，计算机进行作图，它以矩形框的宽的中心线为扫描线，扫描线上的像点的像素值作为纵坐标（像素值代表光强值），像点的位置作为横坐标，作出谱线的光强曲线，如图 3 中间 3 条曲线所示。为了减小误差，运用了像素值叠加的方法，就是在扫描线垂直方向的两旁各 10 个像点范围都取其像素值，然后再累加起来，作为该点的纵坐标，即真正扫描的不是一条线，而是一条 20 像点宽的扫描带。

同时，为了扣除背景光的影响，使计算机在每次作图前，都先在黑暗处连续取 100 个像点的像素值，取其平均值，称为 bg ，然后，每个纵坐标的值都减去 bg 。

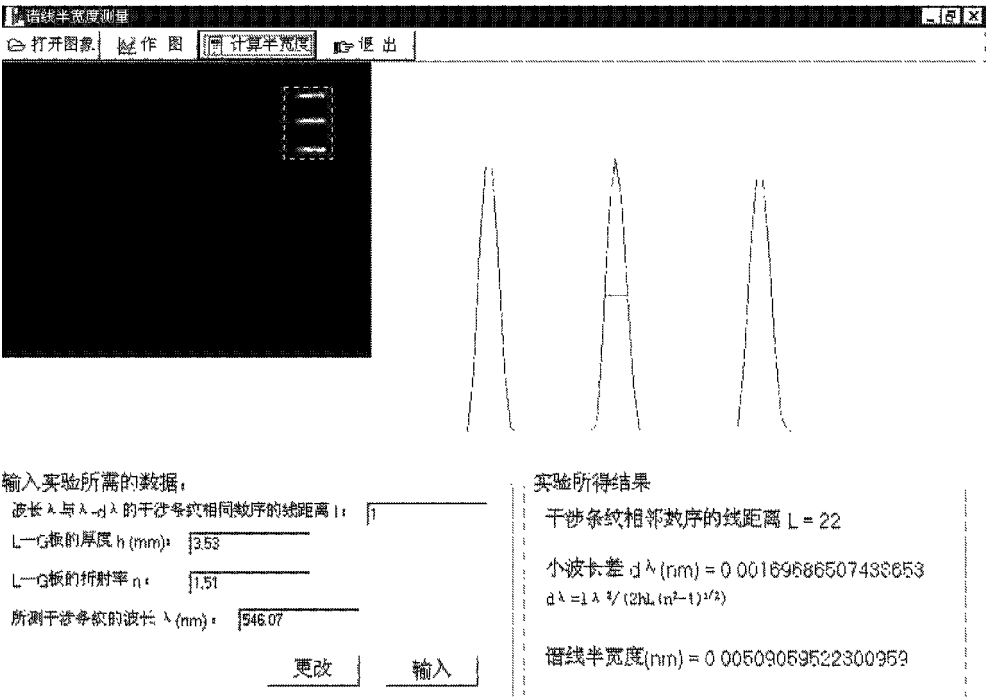


图 3 软件界面图

Fig 3 Interface of software

(2) 求 L 。 L 是 2 条干涉条纹最亮处之间的线距离。框选 3 条条纹, 分成相等宽度的 3 部分, 分别求出每部分的像素最大值 (用像点数表示) L_1, L_2 , 最后 $L = (L_1 + L_2) / 2$ 得到 L 的值。再代入公式, 可以求出小波长差 $d\lambda$ 的值。

(3) 求半宽度 (FWHM)。框选一条干涉条纹, 作出其强度曲线, 接着在峰值一半处作扫描线, 找到强度曲线跟扫描线的 2 个交点, 算出交点之间的距离 W (用像点表示)。谱线实际的半宽度就是 $W \times d\lambda$ 。程序设计流程图如图 4 所示。

3 实验方法

做实验时, 先调好光路以及 CCD, 得到清晰的干涉条纹, 并注意以下几点:

(1) 调整光路。摆好汞灯、透镜、LG 板的位置, 棱镜光谱仪的入射狭缝不宜开得太大。在出射窗口处放一块毛玻璃, 观察干涉条纹有没有弯曲变形, 是否清晰, 如果仍有问题, 就要重新调整光路。

(2) 调整 CCD 的位置, 使其镜头对准所要研究的某一波长的干涉条纹 (如绿光), 使干涉条纹出现在屏幕上 CCD 捕捉图像窗口的中间。接着, 调节棱镜光谱仪的入射狭缝, 使干涉条纹达到合适的亮度。然后, 调节 CCD 镜头上的焦距, 使干涉条纹达到最清晰的程度。

调节好之后就可以通过计算机软件把清晰的干涉条纹拍摄下来, 以后的工作就由计算机来作了。

4 实验结果与讨论

我们在实验选取的是波长为 546.07 nm 的汞

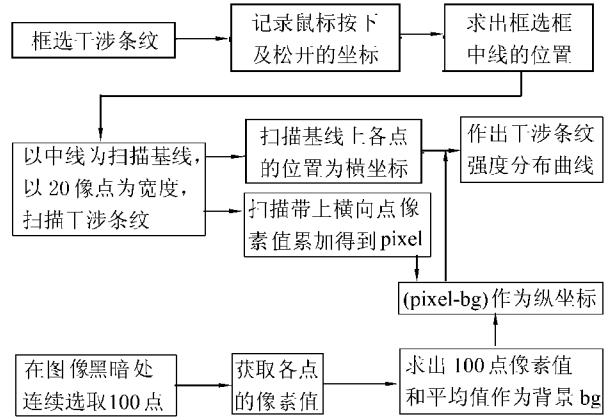


图 4 程序设计流程图

Fig 4 Program design flow chart

绿光光谱。其它的数据如下: $l = 1, n = 1.51, h = 3.53 \text{ mm}$ 。例如, 在某次测量求出 L 为 24 (点), $d\lambda$ 为 0.0016 nm, 谱线的半宽度为 0.0055 nm。该实验结果与传统的乳胶测光法的正确的实验结果吻合, 有推广价值。

参考文献:

[1] KAZOVSKY L G, BENEDETTO S, WILLNER A E. 光纤通信系统[M]. 张肇仪, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 1999: 38.

[2] 缪家鼎, 徐文娟, 牟同升. 光电技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1995: 189.

[3] 北京嘉恒中自图像技术有限公司. OK 系列 PCI 图像卡用户手册. 2000.

[4] 徐新华. C++ Builder5 高级编程技术—GUI 编程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.

Measurement of the Width of Interference Fringes (Spectral Line) of Mercury with Charge Coupled Device

FU Si jing, TONG Zhou sen, LI Ming

(State Key Laboratory of Photoelectric Material and Technology // Department of Physics, Sun Yat sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Lummer Gehrcke plate and prism spectrometer is used to get interference fringes of some wavelength spectral line. The data of the interference fringes are read with charge coupled device (CCD), and then the width of the spectrum can be got immediately.

Key words: interference fringes; full width half maximum (FWHM); charge coupled device (CCD); computer program