

FP60×100 型法布里-珀罗标准具

孙保定 冯仁林

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了一种法布里-珀罗标准具的设计考虑和检测结果。

Model 60×100 Fabry-Perot etalon

Sun Baoding, Feng Renlin

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

Abstract: The design considerations and the test results of a Fabry-Perot etalon are described in this paper.

法布里-珀罗标准具用于精确地比较波长和分析光谱线的精细结构,是精密计量和激光研究的重要工具。

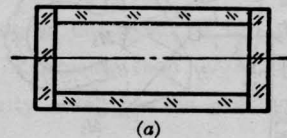
与棱镜光谱仪和光栅光谱仪比较,法布里-珀罗标准具有较高分辨本领,使用简便,价格也较低廉,但自由光谱范围较小。由于这些特点,它特别适用于测量激光的线宽、频谱等。

一、型式和技术要求

1. 型式

FP60×100 型标准具包括两种光学结构型式:组合式和整体式(图 1)。

组合式是由两块 K_9 光学玻璃的镀铝反射板和中间的熔石英隔圈组成,主要用于精确地比较波长。当标准具作这种用途时,两反射面间距和介质折射率在测量过程中必须保持不变。为此,标准具应作成组合式,以便将两反射板间的介质抽成真空;隔圈则应采用膨胀系数小的熔石英。



(a)



(b)

图 1 FP60×100 型标准具的光学结构形式

(a) 组合式 (b) 整体式

整体式是用整块 K_9 光学玻璃或熔石英制成,用于激光的频谱分析。由于厚度和折射率的变化对激光的频率间隔测量影响不大,故可以做成整体式并采用 K_9 光学玻璃。在频率稳定性要求较高时,则可选用熔石英。整体式标准具具有两反射面的平行度不需调整的优点。

标准具的通光孔径为 $\phi 46$ 毫米,具有较大的集光本领。组合式有 10、20、50、100 毫

收稿日期:1982 年 1 月 20 日。

米四种间距,整体式有 10、20、50 毫米三种厚度,可以互换。

2. 反射面镀膜

标准具反射面的镀膜,有真空镀铝和镀多层介质膜两种。镀铝可在从近紫外到近红外的光谱区内工作,但由于它的反射率较低,吸收较大,故标准具的条纹锐度和峰值透过率均较低。多层介质膜可以达到很高的反射率,吸收甚小,故标准具有良好的条纹锐度和峰值透过率,但光谱带宽受工艺条件限制,目前只能达到 1000 埃左右。对组合式标准具,由于需要同时在宽阔的光谱区工作,故其反射面采用真空镀铝;对整体式则采用了多层介质膜。为了使整体式标准具的光谱区能覆盖常用激光谱线,采取分段接宽的办法,对反射面镀制在 4000~5000 埃、5000~6000 埃、6000~7000 埃等多种波段工作的多层介质膜,以供选用。

标准具反射面镀膜的反射率愈高,条纹锐度愈好,但峰值透过率却要下降。因此,在确定镀膜反射率时,要兼顾条纹锐度和峰值透过率的要求。根据实验结果,确定镀膜的反射率如下:铝膜,对 $\lambda=5461$ 埃反射率为 80%;多层介质膜,在 1000 埃带宽内反射率为 93%。

3. 反射面的平面度和平行度

标准具反射面的误差包括两项:表面不平和互相不平行(图 2)。这两项误差的影响都是使反射面间距在孔径范围内各处不等,从而使反射面各处产生的多光束干涉的结果不同。

当反射面间距改变 ΔL 时,位相差改变

$$\Delta\delta = \frac{4\pi}{\lambda} n\Delta L,$$

故由反射面误差决定的条纹锐度 F_L (称为面形锐度)为

$$F_L = \frac{2\pi}{\Delta\delta} = \frac{\lambda}{2n\Delta L} \quad (1)$$

若将反射面误差引起的光学厚度差 $n\Delta L$ 表

示为 λ/q , 则 $F_L = \frac{q}{2}$ 。

在确定反射面间距变化与反射面误差的关系时,我们只考虑平面度和平行度的独立影响。当反射面只存在平面度误差时,设两反射面的平面度相等且误差相加,如图 2(a) 所示,可得

$$\Delta L = 2\varepsilon_1, \quad (2a)$$

式中 ε_1 为平面度。当反射面只存在平行度误差时,如图 2(b) 所示,则有

$$\Delta L = \varepsilon_2, \quad (2b)$$

式中 ε_2 为平行度。

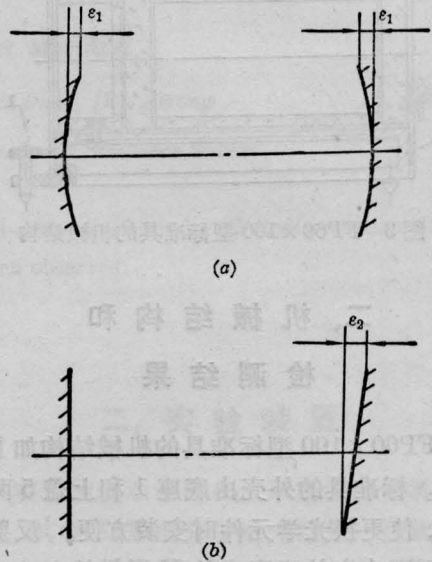


图 2 法布里-珀罗标准具反射面的误差
(a) 表面不平 (b) 表面不平行

面形锐度一般取为由反射率决定的条纹锐度(称为反射锐度)的 $1/2 \sim 2/3$ 。反射锐度 F_R 可由下式计算:

$$F_R = \frac{\pi \sqrt{R}}{1-R}, \quad (3)$$

式中 R 为反射率。

根据设定的反射率,由式(3)算得组合式标准具的反射锐度为 14,整体式标准具的反射锐度为 43。取组合式的面形锐度为 10,整体式的面形锐度为 22,由式(1)、(2)可算出

反射面的公差如下:

组合式: $\varepsilon_1 = \lambda/40$; $\varepsilon_2 = \lambda/20$ 。

整体式: $\varepsilon_1 = \lambda/132$; $\varepsilon_2 = \lambda/66$ (取 $n = 1.5$)。

根据工艺条件,参照以上计算结果,反射面的公差最后确定为:平面度 $\lambda/80$;平行度 $\lambda/20$ 。可以看出,我们的工艺水平还需进一步提高。

对组合式标准具,为了克服背景条纹的干扰,反射板做成楔形,楔度为 $10'$ 。

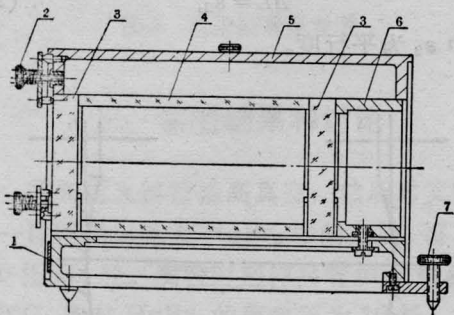


图3 FP60×100型标准具的机械结构

二、机械结构和检测结果

FP60×100型标准具的机械结构如图3所示。标准具的外壳由底座1和上盖5两半合成,使更换光学元件时安装方便。反射板3和隔圈4安放于底座的V形导轨上,后端面以具有补偿楔度的挡圈6定位。挡圈可以沿导轨移动,以适应反射面间距的改变。反射板的前端面以三个触点通过弹簧和杠杆作用压紧,压力可用螺钉2微调。反射板与隔圈及挡圈之间均为三点接触,接触点沿轴向对齐。对组合式标准具,通过压力微调使反射板与隔圈接触处的气膜厚度发生变化,可改善两反射面的平行度。整个标准具可用螺钉7作俯仰调节。

对FP60×100型标准具的分辨本领作了检测。测量方法是以不同腔长的单横模He-Ne激光管照明标准具,根据它能分开的

激光相邻纵模的最小波长间隔,可确定分辨本领的下限。检测装置如图4所示。

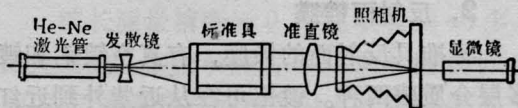


图4 FP60×100型标准具的检测装置

表1 FP60×100型标准具的分辨本领

间距 (毫米)	分辨本领 $\lambda/\Delta\lambda$ (对 $\lambda=6328$ 埃)			
	组合式		整体式	
	测量值	理论值 $=mF_R$	测量值	理论值 $=mF_R$
10	$<5.7 \times 10^5$	4.4×10^5	$>1.6 \times 10^6$	2.1×10^6
20	$>5.7 \times 10^5$	8.8×10^5	$>3.2 \times 10^6$	4.1×10^6
50	$>7.9 \times 10^5$	2.2×10^6	$>6.3 \times 10^6$	1.0×10^7
100	$>1.6 \times 10^6$	4.4×10^6		

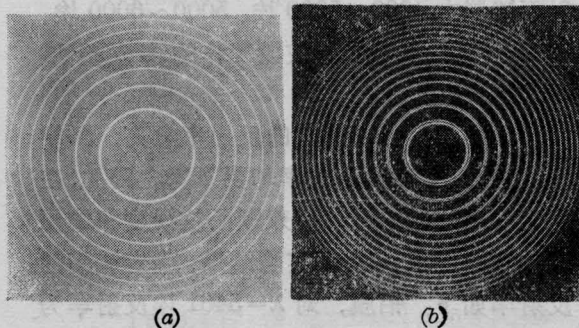


图5 FP60×100型标准具的干涉条纹

(a) 单色光(组合式 $L=10$), (b) 分开激光的两个纵模(整体式 $L=20$; 腔长250毫米激光管)

激光相邻纵模的波长间隔为

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2nL}, \quad (4)$$

式中 λ 为激光波长, n 为腔内折射率, L 为腔长。我们共采用了腔长为2米、1.5米、1米、500毫米、250毫米、180毫米六种 He-Ne 激光管,其纵模间隔分别为 1.0×10^{-3} 埃、 1.3×10^{-3} 埃、 2.0×10^{-3} 埃、 4.0×10^{-3} 埃、 8.0×10^{-3} 埃、 11×10^{-3} 埃。测得的标准具分辨本领见表1。图5是它的干涉条纹照片。

参 考 文 献

- [1] Max Born, Emil Wolf; 《光学原理》上册, 科学出版社, 1978, 421~445。