

法布里-珀罗标准具在染料激光器中的应用

金曼文

(北京光电技术研究所)

提要: 本文依照激光单色仪调试工作中和设计时遇到和解决的问题, 给出了腔内使用标准具时特别注意的方面, 包括各参数的选择和可能出现的现象及解决办法。文内引用的数据、照片均为激光单色仪调试时取得。

Application of Fabry-Perot etalon in dye lasers

Jin Manwen

(Beijing Institute of Optical and Electronic Technology)

Abstract: According to our experience in solving the problems of adjusting and designing laser monochrometer, the paper present some points which should be taken into account in applying etalon in the cavity: selection of parameters, some possible phenomena and their solutions. Data and photoes used in this paper were obtained in adjusting model WDJ-1 laser monochrometer.

F-P 标准具是高分辨率的干涉元件, 其分辨率可达 5×10^7 。是高分辨率光谱仪器中应用最广和效率最高的。又因其产生的干涉条纹十分细锐, 因而适用于测量超精细结构的光谱即用于高分辨率光谱分析, 在激光领域中 F-P 标准具可以在染料激光器中用作腔内压缩带宽。

当激光腔内插入 F-P 标准具后, 只有在原激光中符合标准具极大条件的那部分光才能透过标准具, 这样, 腔内插入标准具就对光栅衍射回来的光又进行一次选频, 起了窄带滤波器的作用。

图 1 为 F-P 标准具以及染料激光腔的

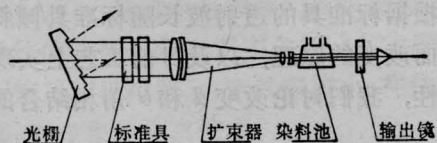


图 1

示意图。

一、腔内用标准具的主要参数选择

为了使插入腔内的标准具能够与腔内其它参数匹配, 必须选择恰当的标准具参数, 使其在腔内成为一个窄带滤光器。

我们用民德制造的 GDM-1000 光栅双单色仪测量腔内只用光栅调谐时输出激光的带宽。

在 $\lambda = 5985$ 埃时测得 $\Delta\lambda = 1.2$ 埃这样的带宽是与 GDM-1000 鉴别率卷积而成。

为了消除双单色仪鉴别率的影响, 我们又采用腔外加标准具照相测量的办法, 照相时标准具隔圈 $d = 1$ 毫米, 在会聚透镜 $f = 515$ 毫米焦平面上, 用 21DIN 全色胶片直接感光。

收稿日期: 1979 年 9 月 25 日。

测得 $\Delta\lambda = 0.8$ 埃

根据这样的线宽，我们选择如下参数的腔内标准具。

1. 自由光谱区的选择

自由光谱区为两相邻光谱级极大值的间距，它表示为在此波长范围 $\Delta\lambda$ 内，两相邻的光谱级不出现重迭。 F_σ 可由下式计算

$$F_\sigma = \frac{\lambda^2}{2d} \quad (1)$$

式中 d ——标准具腔长。

为了避免出现两个或多个标准具的模式，标准具自由光谱区的选择必须大于不使用标准具时激光带宽。

$$F_\sigma \geq \Delta\lambda$$

按上述测得的带宽计算所需标准具隔圈厚度。

设选取 $\Delta\lambda = F_\sigma = 1.2 \text{ \AA}$ 代入(1)式，改写(1)式求得 $d = 1.492$ 毫米。

按 $F_\sigma \geq \Delta\lambda$ 原则，可以选用 1 毫米厚隔圈标准具插入腔内。

2. 精细常数(也称锐度)

两干涉条纹的间距与条纹宽度的比值为标准具的精细常数。它由镜片反射系数来决定：

$$F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} \quad (2)$$

我们用的标准具镜片镀有多层介质膜，其反射率 $R = 90\%$ 。按(2)式计算此标准具的精细常数 $F = \frac{\pi\sqrt{0.9}}{1-0.9} = 29.80$ 。

据文献报导，标准具的锐度，取 20 这样高时，才能使标准具在衰减严重之前输出激光。

3. 分辨本领

标准具的分辨本领即为能鉴别最小的波长差值，一般用瑞利准则来定义，分辨率的公式为

$$R_0 = \frac{\lambda}{\delta_\lambda} = \frac{2nd}{\lambda} \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} \approx mF$$

把上面已得到的 d 、 R 值代入，按公式计算出

$$R_0 = 99582$$

由此就可以求得能鉴别的波长差为

$$\delta_\lambda = \frac{\lambda}{R_0} = \frac{5985}{99582} = 0.06 \text{ \AA}$$

腔内用的标准具应是高分辨率的，由于标准具的损耗和自由光谱区的限制，所能得到的线宽压缩约为 10 倍。图 2 为不用标准具及使用标准具时染料激光器光谱输出的相应曲线。图中 (a) 为光栅光谱输出曲线，(b) 为标准具的光谱输出曲线。

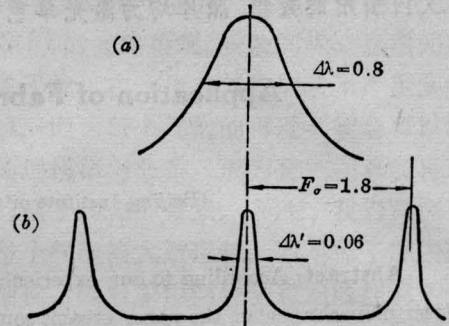


图 2

二、标准具倾角扫描的应用

腔内加 F-P 标准具压缩带宽及全波段范围内调谐，可以通过不同的途径来实现。

按干涉条件方程：

$$m\lambda = 2nd \cos \theta \quad (3)$$

通常有三种方法改变光程以达到调谐目的。

(a) 改变腔长 d ：更换不同厚度的隔圈，以及隔圈用压电晶体作电调节；

(b) 改变腔内气体折射率 n ：调节腔内气压便可得到；

(c) 标准具转角：使标准具倾斜改变角度 θ 。

根据标准具的透射波长随标准具倾斜角改变而改变的原理，以及目前工艺上实现的可能性，我们讨论改变 d 和 θ 角相结合的办法。

按标准具干涉方程式推导可知：

$$\lambda = \frac{2nd}{m} \cos \frac{\theta}{n} \quad (4)$$

将 $\cos \frac{\theta}{n}$ 按级数展开:

$$\cos \frac{\theta}{n} = 1 - \frac{\theta^2}{2!n^2} + \frac{\theta^4}{4!n^4} \dots\dots,$$

略去高次项, 得 $\cos \frac{\theta}{n} = 1 - \frac{\theta^2}{2n^2}$ 。当垂直入

射时, $\theta=0$, 所以, $\frac{2nd}{m} = \lambda_0$, 公式改写为:

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - \frac{\theta^2}{2n^2} \right) \quad (5)$$

式中, λ_0 ——垂直入射时 ($\theta=0$) 的通带波长;

θ ——标准具干涉腔法线与光束的夹角, 通常限制在很小的范围内, 约为 $0 \sim 100$ 毫弧度;

n ——腔内介质的折射率。

在设计时又要求从 $3800 \sim 8000 \text{ \AA}$ 范围内光谱的线宽均为 0.05 \AA 。根据标准具分辨率的计算公式, 求得在以上波段范围内的分辨本领为: $76000 \sim 160000$ 。相应地求得的腔长 d 为:

当 $\lambda_0 = 3800 \text{ \AA}$ 时, $d_1 = 0.485$ 毫米

$\lambda_0 = 8000 \text{ \AA}$ 时, $d_2 = 2.15$ 毫米

于是我们选用了七种不同的标准具腔厚 d 为: $0.5; 0.8; 1; 1.5; 2; 2.5; 3$ 毫米, 在用每种腔厚度时结合改变标准具转角 θ 就可以在全波段范围内压缩带宽及扫描。

三、F-P 标准具腔内调谐现象的分析

(a) 楔角的损失

因为标准具镜片设计成稍带楔角, 由于楔角的加工误差, 以及装配误差, 使组装后的标准具不是平行平板, 而是稍带楔角的光楔。由此而产生腔内附加损失。

我们对允许的楔角数值作如下估算:

已知: 染料池在扩束器端光斑尺寸 0.6×1.2 毫米², 染料池离扩束目镜距离 24 毫米, 扩束器放大倍率 $J = 23.608$ 倍。

计算: 扩束目镜对光斑张角:

$$\text{tg } \theta = \frac{0.3}{24} = 0.0125$$

$$\theta = 43'$$

通过扩束器后的张角应为:

$$\begin{aligned} \theta' &= \theta/J = 43'/23.608 = 1.822' \\ &= 1'49.22'' \end{aligned}$$

由于整组标准具楔角的存在, 形成了一光楔, 使从扩束器来的光束通过标准具后产生了一偏向角 δ (δ 按最小偏向角计算):

$$\delta = \theta'(n-1)$$

式中 θ' 是标准具楔角, n 是镜片的折射率。

当此 δ 的偏向角经光栅衍射回来, 再次进入标准具返回扩束器时, 偏向角变为 3δ 。因此在计算光楔角时, 只能允许折光角不大于 $\theta/3$ 。

按公式 $\delta/3 = \alpha(n-1)$

式中 α 为允许 F-P 的整体光楔角。

$$\alpha = \frac{\delta/3}{(n-1)} = \frac{36.44''}{0.4586} = 1'19.46''$$

应该说明的是上述计算只是按最小偏向角计算, 并且设所有因素都在最理想情况下, 而在实际光路中光线的偏向角要大些, 因此允许的标准具楔角也应该再小些。

(b) 楔角引起的输出波长变化

由于标准具有楔角, 光栅调谐时光栅的入射角也相应偏离了一角度, 因此使加标准具调谐输出的波长也有了相应的漂移。

(c) 平板标准具与带楔角标准具的比较

针对上述带楔角标准具给调试带来的麻烦及缺点, 我们提出将标准具镜片改成平镜的设想, 其优点是:

(1) 平镜加工比光楔易保持精度;

(2) 装配方便, 装配时不用测楔角, 对楔角;

(3) 输出波长无漂移。

担心非工作面的反射影象是否会干扰两工作面的干涉条纹, 试验证明是不会引起干扰的。

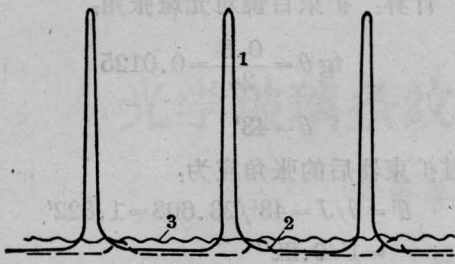


图 3

曲线 1—工作面的干涉极大值；曲线 2—工作面干涉值经非工作面反射后的影象；曲线 3—非工作面的双光束干涉图形

因为标准具工作面镀有 90% 的高反射膜，所以等倾干涉后的干涉环光很强，而非工作面又镀有反射率 $R_0 \leq 1\%$ 的增透膜，这样弱的反射光，即使是单色性很好，干涉长度很长的 He-Ne 激光，也形成不了可察觉的干涉条纹。

图 3 是干涉环与反射影象对比的示意

图，从图中可以看出干扰是可以不考虑的。

(d) 工作面的平面度对输出光斑的影响
标准具镜片工作面的平面性与装配后工作面的平行性对输出光斑模式的好坏影响很大。

平面性不好的标准具，装入腔内工作时，使输出的激光光斑受等厚条纹的影响，光斑就呈图 4 所示的形状，并且当径向转动标准具时，光斑条纹也随之转动。

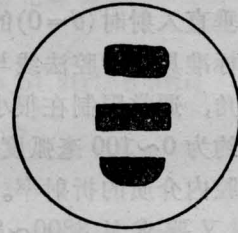


图 4