

双折射滤光片的激光调谐

汤星里 赵梅村 许世忠

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍用于染料激光调谐的组合式双折射滤光片。给出动态逐片装调方法和激光调谐实验结果。讨论了加工精度对激光调谐实验的影响。

Laser tuning by birefringent filters

Tang Xingli, Zhao Meicun, Xu Shizhong

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

Abstract: Birefringent filters used for tuning dye lasers are described. Aligning and installing methods and the results on laser tuning experiments are presented. Dependence of laser tuning on manufacturing tolerance is discussed.

用双折射滤光片调谐激光, 具有损坏阈值高、机械稳定性好等优点。近几年已广泛应用在可调谐激光器中。本文给出我们在氙灯泵浦染料激光器中的研究结果。

一、双折射滤光片的装调

双折射滤光片是经典利奥特滤光片^[1]的改进型。一束偏振光射入双折射晶体, 将被分成具有不同相位延迟的 o 光和 e 光。并且当 o 光、 e 光相差等于 2π 的整数倍时, 对某一波长才有最大的线偏振光透射。改变入射光与晶轴夹角, 如在通光面内旋转晶体, 最大透射光的波长也随之变化。两者不同的是利奥特滤光片具有分立的偏振元件和延迟元件。而用于激光调谐的双折射滤光片, 偏振元件与延迟元件合二为一。起偏是凭借滤光片法线与入射光呈布儒斯特夹角来实现的。应该

说明的是我们的激光器装置中染料管两窗口的法线皆与激光光轴呈布儒斯特角, 因此激光在未射入双折射滤光片时已是偏振光了。

为获取较窄线宽的激光, 我们设计使用了三片组合式石英晶体双折射滤光片。其结构如图 1 所示。三片厚度比是 $T:2T:9T$, 最薄片厚度为 0.6 毫米。组合装置的自由光谱范围由最薄片确定。而最厚片决定它透射主带的宽度。晶体光轴 o_1c_1 、 o_2c_2 、 o_3c_3 皆在通光面内。为了抑制滤光片的透射次峰, 应保证三晶片的透射峰在最薄片透射峰处重合(图 2)。这就要求我们严格地进行装调, 使三片的晶轴彼此平行。另外为了提高入射光的偏振度和减小损耗, 滤光片在谐振腔内的放置角度必须尽可能准确。为了方便装调, 我们采用的滤光片调整架既可保证变化滤光片法线与入射光束夹角, 又可保证三片整体地

收稿日期: 1981 年 4 月 1 日。

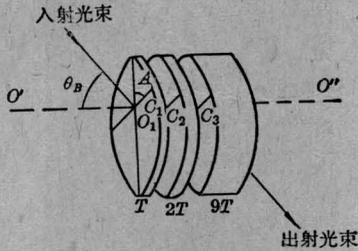


图1 组合式双折射滤光片装置

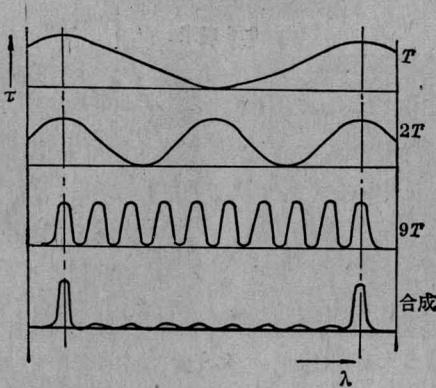


图2 T、2T、9T及三片组合装置之透射曲线

沿通光面法线 $o'o''$ 旋转。同时又允许每个分片可单独沿 $o'o''$ 轴微量旋转。

激光调谐实验装置示于图3。先将 T 片插入谐振腔内，激光以布儒斯特角入射至调谐片。然后射至平面光栅，经物镜会聚于屏。以 T 片法线为轴旋转滤光片，选择入射面与通光面交线和晶轴夹角在 45° 附近的调谐周期（为把组合滤光片透射次峰压抑得最小^[2]）。记下周期边缘屏上光斑位置和滤光片旋转手轮读数。之后固定 T 片，再放入 $2T$ 片。同样地旋转 $2T$ 片，调节二片调谐周期，直到波长调谐范围与 T 片的重合为止（在观察屏上看到此时的光斑位置与同 T 片时的重合）。此时 T 片和 $2T$ 片晶轴已调整平行了。固定 $2T$ 片后再插入 $9T$ 片。重复操作使 T 片调谐周期再现。三片装置就调整好了。这是一种简单和直观的装调方法。从不出现激光双线的调谐现象入手，反调三片的晶轴彼此平行。在晶片厚度加工精度保证的前提下是行之有效的。否则得用线色散较大的光栅摄谱仪装调才行。激光调谐实验

表明三个分片晶轴夹角小于 1° 是允许的。

我们在氙灯泵浦若丹明 6G 激光器上，测量了双折射滤光片在谐振腔内放置角度偏离布儒斯特角对激光输出的影响（图4）。石英晶体布儒斯特角为 $57^\circ 10'$ 。图4表明偏离 θ_B 角 $\pm 1^\circ$ ，激光幅度只下降 2.3%，此偏差被认为是许可的。

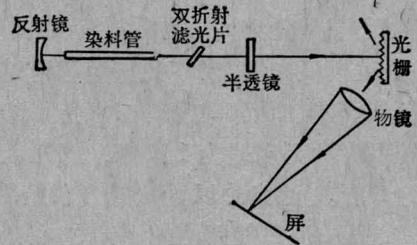


图3 滤光片装调示意图

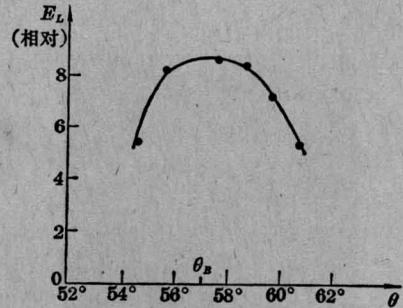


图4 滤光片腔内放置角度对激光输出的影响

二、激光调谐实验

使用上述双折射滤光片在直管氙灯泵浦 C_{522} 、Rh6G、RhB 和 Rh3B 激光器中成功地进行了激光调谐实验。获得的四种激光的调谐范围和谱线宽度如表所示。调谐范围用单色仪或光栅摄谱仪测定。谱线宽度用 2 毫米厚的实心石英标准具测量^[3]。图5给出了标准具后的干涉环照片。

激光染料	C_{522}	Rh6G	RhB	Rh3B
调谐范围 (Å)	5060~5320	5800~6100	6050~6375	6200~6470
谱线宽度 (Å)	<0.25	≤0.25	0.25	—

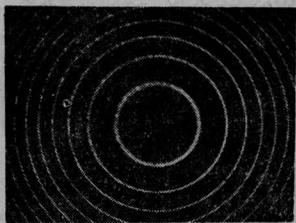


图5 F-P标准具后的干涉环照片

图6是在光栅摄谱仪上拍成的调谐过程中 C_{522} 激光谱线照片。第1行是汞灯谱，第2行是全波段激光谱。以下几行是调谐过程中的激光单线谱。相邻单线对应双折射滤光片的旋转手轮的刻度差为1毫米，晶片旋转角度大约2度。滤光片以其法线为轴旋转 20° 左右，实现一个完整周期的调谐。在调谐过程中激光皆呈单线，说明双折射滤光片的装调方法是可靠的。

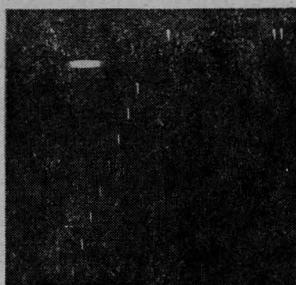


图6 香豆素 522 激光谱线图

我们在若丹明 6G 激光器上观察了使用单片 (0.6 毫米)、两片 (0.6 毫米+1.2 毫米) 和三片 (0.6 毫米+1.2 毫米+5.4 毫米) 滤光片三种情况下的调谐结果。从图7看到它们的激光调谐范围是相同的。但调谐后的谱线宽度不同，单片时的谱线宽度大约为两片时的2倍。

我们在若丹明 6G 染料激光器上测量了用组合式双折射滤光片调谐后的单线激光能量和未调谐时的全波段激光能量之比，结果示于图8(a)。结果表明双折射滤光片在不同波长处的透射率相差不大。因此图8(a)曲线形状主要是受染料激光增益曲线(图8(b))所制约。在若丹明 6G 增益峰值处(5900 Å)，



0.6 毫米

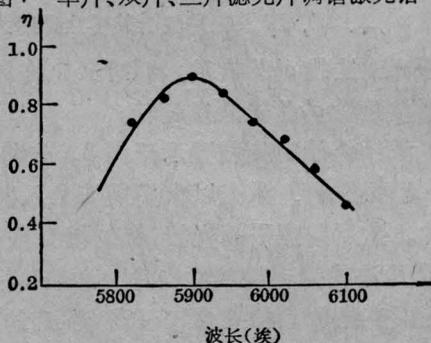


0.6 毫米+1.2 毫米

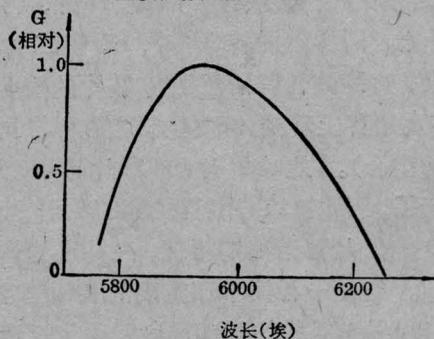


0.6 毫米+1.2 毫米+5.4 毫米

图7 单片、双片、三片滤光片调谐激光谱



(a) 调谐后的激光单线输出能量与全波段激光输出能量之比



(b) 若丹明 6G 激光相对增益曲线

图 8

(下转第 139 页)

但因为 n_u 和 Δn 在数量级上是一样的, 所以同时成立

$$\beta' \sim (E_u/h\nu\Delta n)_{\text{max}} \quad (36)$$

将(10)和(12)代入(29), 并利用(34)、(35)和(36)即得如下推论:

[推论 1] 对流动或非流动的气体激光器来说, 当

$$A\lambda^3 g(\nu) \varepsilon_{\text{max}}/8\pi h \ll 96 D_u \beta'/\lambda^2 \quad (37)$$

时, 烧孔将不存在。

在另一极端情况下, 类似可得:

[定理 2] 如果气体很稀薄, 以致光的波长 λ 与分子平均自由程 S 同量级或更小些

$$\lambda \lesssim S, \quad (38)$$

则空间烧孔被消除的条件(29)应改为

$$\tau_{\frac{\lambda}{4}, u} \ll \tau_{I_{\text{max}}}, \quad (39)$$

式中 $\tau_{\frac{\lambda}{4}, u}$ 称为分子矩程自由运动时间, 即分子以平均热运动速度 \bar{v} 运动 $\lambda/4$ 距离所需之时间:

$$\tau_{\frac{\lambda}{4}, u} = \lambda/4\bar{v}. \quad (40)$$

同样, [推论 1] 应改为如下的 [推论 2]。

[推论 2] 对气体激光器而言, 当

$$A\lambda^3 g(\nu) \varepsilon_{\text{max}}/8\pi h \ll 4\bar{v}\beta'/\lambda \quad (41)$$

时, 烧孔不存在。

不过, 即使在这一情况下, (29) 和 (37) 仍可作为烧孔消除的充分条件, 这是因为总有

$$\tau_{\frac{\lambda}{4}, u} < \tau_{D, \frac{\lambda}{4}, u^0}$$

所以, 如果 (29) 成立, 则 (39) 必成立; 如果 (37) 成立, 则 (41) 必成立。

感谢谈镐生教授、周光地教授的指导以及傅裕寿、严海星和徐纪华同志的宝贵意见。

参 考 文 献

- [1] 朱如曾; <光学学报>, 1982, No3.
- [2] W. E. Lamb, Jr.; *Phys. Rev.*, 1964a, **134**, A1429.
- [3] J. O. Hirschfelder et al.; "Molecular Theory of Gases and Liquids", N. Y. (1954).
- [4] 朱如曾, 封开印编译, 谈镐生审校; <激光物理>, 国防工业出版社, 1965, p. 27.

(上接第 142 页)

比值最大约等于 89%, 在增益曲线边缘将减小到 50% 左右。

我们还用光栅摄谱仪研究了晶片加工



图 9 (0.6+1.2+5.3) 毫米双折射滤光片调谐过程中的激光谱

精度对激光调谐的影响。作为例子, 我们把 $9T$ 片的厚度误加工成 5.3 毫米, 此时得到的组合双折射滤光片调谐激光谱示于图 9。晶片厚度误差虽然不大, 但调谐的结果却出现时而单线, 时而双线。可见晶片厚度误差百分之二就不能实现单线调谐激光。实验证明晶片厚度误差应小于百分之一。

参 考 文 献

- [1] John W. Evans; *JOSA*, 1949, **39**, No. 3, 229.
- [2] G. Holton, O. Teschke; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, **QE-10**, No. 8, 577.
- [3] 汤星里等; <激光>, 1981, **8**, No. 11, 26.