

染料激光的双折射滤光片调谐

李郁芬 金耀根

(复旦大学物理系)

提要: 本文研究了闪光灯泵浦的染料激光器用双折射滤光片做波长选择元件的调谐过程以及影响调谐性能的因素, 并对滤光片中晶片与玻片的合理安排进行了讨论。

Tuning of a dye laser with birefringent filters

Li Yufeng Jin Yuegen

(Department of Physics, Fudan University)

Abstract: Tuning properties of birefringent filters as elements for wavelength selection in flash lamp pumped dye lasers and some factors affecting tuning performances have been studied. Suitable arrangements of crystal plates and glass plates are discussed.

斜置式双折射滤光片由于它具有插入损耗低, 不需扩束而可达高分辨率以及对高强度激光的抗损伤等优点, 自 1973 年^[1]首次报导以来, 已被广泛地采用在连续波染料激光器中作为调谐与压缩谱线宽度的元件。

将一组平行于光轴切割且厚度成整数比的结晶石英片, 与激光束成布氏角插入谐振腔内, 如图 1 所示。图中 θ 为布氏角, ϕ 为入射面与晶片的交线与晶片光轴间的夹角, 晶片的光轴彼此平行。结晶石英是具有双折射性质的单光轴晶体, 在谐振腔内斜置成布氏角的晶片, 可使光束通过后发生偏振, 并使 o 光与 e 光间产生相位差

$$-2\delta = 2\pi(n_e - n_o)d \sin^2 \eta / \lambda \sin \theta,$$

式中 n_e 、 n_o 分别为 e 光、 o 光的主折射率; d 为晶片的厚度; η 为晶片内光线与光轴的夹角, 它与 ϕ 、 θ 的关系为: $\cos \eta = \cos \phi \cos \theta$ 。当晶

片对某波长 λ 为全波延迟时, 滤光片对这种波长的透射为极大。其它波长的光则因受到较大的损耗而被抑制, 不能产生激光振荡。当厚度为 d 的最薄晶片对波长 λ 为全波片时, 厚度为 rd (r 为整数) 的晶片也是全波片。绕晶片法线将双折射滤光片作整体转动时, 由于晶片有效折射率差 $(n_e - n_o) \sin^2 \eta$ 的改变而实现了输出激光的调谐。

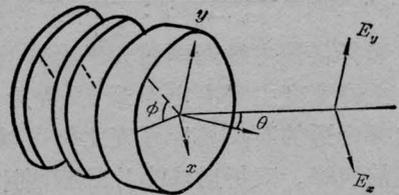


图 1 双折射滤光片放置示意图

作为调谐元件, 双折射滤光片最主要的

收稿日期: 1979 年 12 月 6 日。

性能是激光的调谐范围和谱线宽度。为了同时满足这些要求而必须采用数片晶片的组合时,调谐过程出现复杂的情况。图2是由两片石英晶片组成的双折射滤光片的透射谱(计算结果),横坐标为 δ 。因 $\delta \propto 1/\lambda$,故透射谱反映了不同波长的透射率。从图上可以看到,除了主峰外还有次峰,对峰外其它波长的透射率并不为0。调谐时要求只在主峰处产生激光,相邻主峰的间隔就是滤光片的自由光谱范围,谱线宽度则决定于主峰宽度。染料介质的增益曲线是均匀增宽的,为了使染料激光在整个增益范围内调谐时只在一个主峰波长上运转,双折射滤光片除了需有足够的自由光谱范围外,还必须注意排除主峰之外的波长的干扰,特别是次峰的干扰。

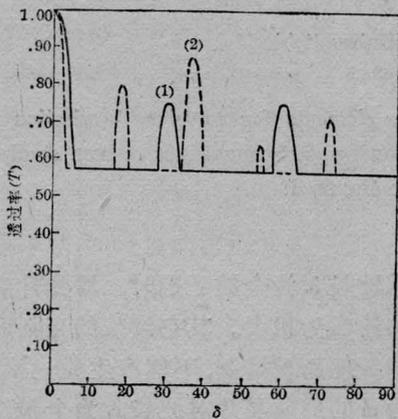


图2 双折射滤光片的透射谱

(1) 双折射滤光片(012) (2) 双折射滤光片(014)

自由光谱范围决定于最薄晶片的厚度 d ,如式 $\Delta\lambda_{FSR} = \frac{\lambda^2 \sin \theta}{(n_e - n_o)d \sin^2 \eta}$ 。一般说来,厚度 d 选择得使主峰间隔稍大于染料的增益带宽。主峰宽度主要决定于最厚晶片的厚度。选择合适的石英晶片厚度比例可以避免产生强的次峰。双折射滤光片最薄两片的厚度常取1:2的原因就在于此,见图2。为了抑制次峰,改善对主峰外波长的排除能力,要在晶片间插入玻片堆(也成布氏角)以提高偏振程度,但这样不可避免地增加了线宽及损耗。

因此玻片的插入位置和数量要作合理安排。根据双折射滤光片的琼斯变换矩阵,采用Hodgkinson等人^[2,3]提出的简化方法,我们对(214)型晶片组(表示晶片厚度比为2:1:4)进行了计算,图3就是计算的部分结果。图2和图3表示的都是法布里-珀罗谐振腔中的单程透射率。

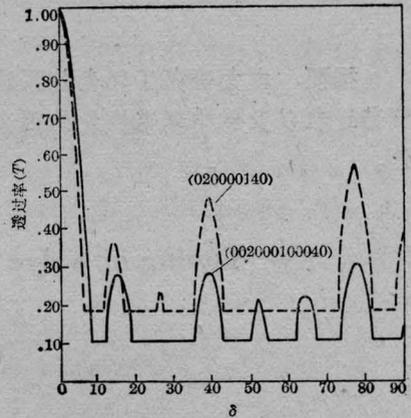


图3 (214)组双折射滤光片的透射谱

观察调谐过程的实验装置的示意图见图4。所用的是同轴型脉冲氙灯泵浦的染料激光器^[4];染料溶液为若丹明6G/乙醇溶液;平行平面腔。双折射滤光片装在架上成一体插入腔内,斜置成布氏角。所用的晶片是平行于光轴切割的。为了保证晶片光轴互相平行,把晶片依次放在正交尼格尔棱镜间,用He-Ne激光作光源进行调整,每片放入时都将之转动得使复归于暗。此时可能有两种情况,即光轴互相平行或互相垂直。如属平行则调谐正常,并可在调谐试验中进一步对光轴作细致调整以使调谐情况最为理想。

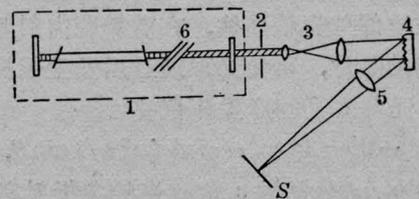
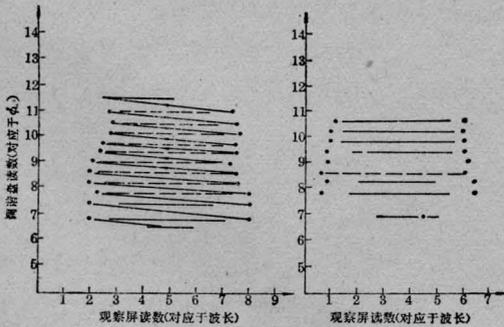


图4 观察调谐过程的实验装置示意图

1—激光器; 2—光闸; 3—扩束望远镜; 4—光栅;
5—透镜; 6—双折射滤光片; s—屏

输出激光经望远镜扩束准直后垂直照射到每毫米 1200 条线的光栅上,其一级衍射经焦距为 2 米的透镜聚焦于观察屏上,转动双折射滤光片就可在屏上直接观察调谐过程,并可从中估计调谐范围与谱线宽度。

图 5 是厚度为 2.3 毫米的单片石英晶片的调谐过程。图中纵轴为安装双折射滤光片的调谐盘读数,反映角度 ϕ 的变化;横轴表示观察屏上光点的位置,反映波长的变化。横轴上共存的两点就是相邻的两主峰,其间隔是滤光片的自由光谱范围,斜线表示波长的调谐,主峰间有连续线表明出现连续光带。左图表明晶片两侧有玻片时,在调谐中没有连续光带(非调谐成分)干扰的周期有 7~8 个,但右方取去玻片的图上这样的周期只剩了 2 个,可见玻片对主峰外波长的抑制作用。在实验中同时可看到取去玻片后屏上光点变小,表明玻片的插入会使谱线变宽。我们的实验表明在可调谐区中心,即 $\phi \sim 45^\circ$ 附近,滤光片对主峰外波长的排除最佳^[5],调谐一周所需转过的角度 $\Delta\phi_{\min}$ 也最小。



(a) 单片双折射滤光片 (010) $d=2.3$ 毫米 (b) 单片双折射滤光片 (无玻片) $d=2.3$ 毫米

图 5 单片双折射滤光片的调谐过程

图 6 是厚度分别为 2.3 毫米与 4.6 毫米的两晶片组成的滤光片的调谐过程,两侧仍有玻片。与单片相比最突出的不同是出现了次峰。与单片一样,以 $\phi \sim 45^\circ$ 为中心有几个完全可调谐的周期,即既不出现次峰又没有连续光带的周期,但由于次峰的干扰这种周

期的数目减少了。用厚度为 1.15 毫米与 2.3 毫米的双片组合调谐时,次峰的问题更为严重,这是因为自由光谱范围的扩大使调谐一周的 $\Delta\phi$ 增大,不利于对主峰外波长的排除,另一方面波长的变化范围愈接近增益曲线的边缘,愈有利于次峰的竞争。因此即使在最接近 $\phi \sim 45^\circ$ 的位置,当主峰调到增益曲线的边缘时,在增益曲线中央往往还会出现弱的中间次峰,与图 2 中 $\delta=60^\circ$ 、 120° 的两次峰相对应。

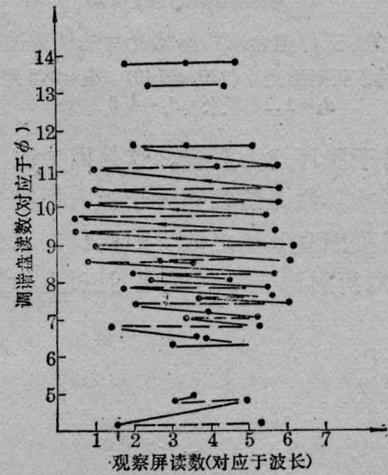


图 6 双片组合双折射滤光片的调谐过程
双片双折射滤光片 (0210) $d_1=4.6$ 毫米
 $d_2=2.3$ 毫米

采用双片组合一般仍难满足对滤光片性能的全面要求,现在普遍采用的是三片组合。我们试验了 (214) 组合的滤光片,其中最薄晶片的厚度为 1.15 毫米,为了抑制次峰插入玻片组成 (020000140) 片组,其中“0”表示插入的玻片。调谐过程示于图 7,其自由光谱范围约 300 埃,调谐一周所需转过的角度 $\Delta\phi$ 约为 10° 。用 0.47 毫米空气隙标准具测得用上述 (214) 型双折射滤光片调谐的激光线宽约为 1 埃,比按透射谱主峰宽度估计的要窄得多。

为了进一步压缩线宽,我们在腔内再插入厚 1.5 毫米的石英标准具。这样线宽可达 0.05 埃以下,但一般情况下在腔外用标准具

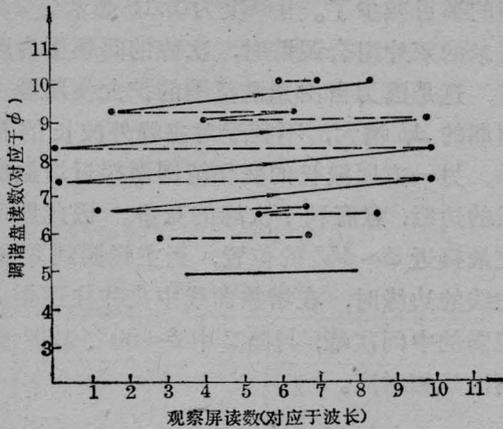


图7 三片组合双折射滤光片的调谐过程
 三片双折射滤光片(020000140) $d_1=2.3$ 毫米
 $d_2=1.15$ 毫米 $d_3=4.6$ 毫米

测量时干涉环均为双线。这是因为腔内没有插入标准具激光的线宽大于腔内标准具的自由光谱范围 0.8 埃之故。因此我们试验用的(214)双折射滤光片对线宽的压缩尚嫌不够,

应适当增加最厚晶片的厚度。

如果要求很宽的调谐范围,为了解决次峰干扰问题,可将晶片按光轴与晶片表面成 25° 的方向切割。用这样的晶片调谐同样的波长范围所需转过的 ϕ 角要比平行光轴切割的小得多^[5],如此就可使双折射滤光片在更接近于最佳条件 ($\phi \sim 45^\circ$) 下使用。这是我们的下一步工作。

参 考 文 献

- [1] J. M. Yarborough, J. Hobart; 1973 IEEE/OSA Conf. Laser Engineering & Applications, Washington D. C.
- [2] I. J. Hodgkinson, G. I. Vukusic; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 1944.
- [3] A. L. Bloom; *JOSA*, 1974, **64**, 447.
- [4] 吕诚哉等;《复旦学报》, 1978, No. 3, 95.
- [5] G. Holton, O. Teschke; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, **QE-10**, 577.