

# 自动扫描环形染料激光器的调谐机制

邵中兴 许凤鸣 于占海 李 斌 彭忠琦  
(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

## 提 要

本文描述了计算机控制环形染料激光器实现无间断自动扫描 10 THz 的光学调谐元件设计、运转机制及实验结果。

关键词: 自动扫描; 染料激光器。

## 一、引 言

连续单频环形染料激光器以其宽光谱范围、高分辨率和频率连续扫描(30 GHz)等特点而在种类繁多的激光器族类中占有相当重要的地位, 特别是几个研究小组<sup>[1, 2]</sup>和 Coherent 公司<sup>[3]</sup>成功地把计算机控制技术引入环形染料激光器(例如 R-699-29 型商品)后, 发展成为自动调谐波长和大范围(10 THz)自动扫描频率的“自动扫描光谱仪”(Auto-Scan spectrometer), 这种激光器达到了自动化, 智能化及实用化的更趋完美的水平, 这种“全自动型”激光器的波长寻找、监视、标定、频率扫描、直至功率输出的最佳化都是在计算机控制下迅速完成的, 从而结束了手工操作腔内调谐元件时, 繁琐的费时、费力和低效率的历史, 大范围(10 THz)连续自动扫描性能大大扩展了它的应用范围。

## 二、实 验 装 置

计算机控制的自动调谐环形染料激光器结构如图 1 所示, 高反射率曲面镜  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  和平面耦合镜  $M_4$  组成环形谐振腔, 腔长约 1.5 m, 腔模间隔 200 MHz 光学单向器 UDD 把环形腔内两路相对传播的驻波振荡变为行波传输, 消除了空间烧孔效应。

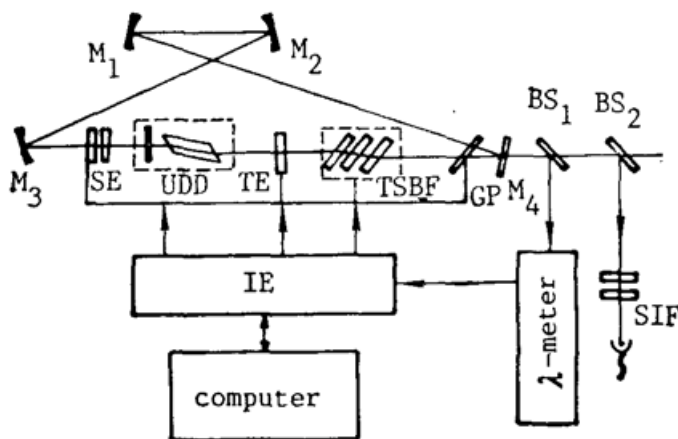


Fig. 1 The setup of a computer controlled ring dye laser

空气隙扫描标准具 SE 由镀有 30% 宽带反射模的两块熔石英片组成, 其中一块装在 PZT 上, 其空气间隙约 4 mm、检流计板 GP 是厚度为 3 mm 的熔石英平行平板。计算机接口 IE 的电子学系统控制扫描标准具 SE 和检流计板 GP 同步动作精细寻找预置波长和进行频率扫描。三片厚

度不同的光轴平行表面的石英晶片组成双折射滤光片 TSBF, 由步进电机通过机械传动机构驱动晶片组沿其法线在竖直平面内转动, 薄标准具 TE 是一块厚约 0.4 mm 的无镀膜熔石英片, 也是由步进电机通过机械传动机构驱动, 使其在水平平面内转动, 两个步进电机都受接口的电子学系统控制。

接口将波长计输入的电信号送入计算机 (Cromenco DJS-040) 处理, 并执行计算机指令控制扫描标准具和检流计板以及对折射滤光片和薄标准具,  $BS_1$ 、 $BS_2$  是二块低反射率的分束板, 扫描干涉仪 SIF (自由光谱范围 75 GHz) 用于监视频率扫描时激光模的运转情况。

### 三、调谐元件的设计

#### 1. 三片双折射滤光片

双折射滤光片是大范围调谐波长的有效元件, 平面偏振光经过滤光片后产生相位差的精确表达式<sup>[4]</sup>

$$\delta = \frac{2\pi t}{\lambda} \{ [n_e^2(\beta) - \sin^2 \theta]^{1/2} - (n_o^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \}, \quad (1)$$

式中  $t$  为晶片厚度,  $n_e(\beta)$  为折射光与光轴夹角  $\beta$  时光的折射率,  $\theta$  为入射角 (这里为布儒斯特角,  $n_o$  为  $o$  光的折射率,  $\lambda$  为光波长。实验中采用的双折射滤光片, 三片晶体厚度比为 1:4:16, 最薄的一片约 0.4 mm, 实验表明, 双折射滤光片的机械传动误差远大于它本身产生的波长误差, 特别是传动齿轮往复转动的复位精度约  $\pm 0.035$  nm ( $\pm 30$  GHz), 它是影响波长再现性的主要因素, 所以双折射滤光片的波长再现性的综合测量结果约为 0.08 nm (70 GHz)。另一方面, 因为染料是均匀加宽增益介质, 激光振荡存在着强烈的模式竞争。在腔内只有光学单向器和双折射滤光片的情况下, 激光线宽只有约 3 GHz, 所以, 双折射滤光片的调谐分辨率应  $< 0.004$  nm。

#### 2. 法布里-珀罗标准具

控制单纵模运转最有效器件是扫描标准具 SE, 本工作采用了自由光谱范围  $(FSR)_{SE} \sim 35$  GHz 的扫描标准具, 可以满足  $4 \times 10^{-7}$  的调谐精度要求。另一方面, 扫描标准具的参数设计还应考虑到尽量增大单次扫描范围:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\nu_s &= \{ [(FSR)_{SE} - \Delta]/2 \} + [(FSR)_{TE}/2\pi] \cdot \delta_2, \\ \Delta &= (FSR)_{SE} - (\delta_1 + \delta_2) [(FSR)_{TE}/2\pi], \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  是模  $(\nu_{st})_1$  和  $(\nu_{st})_2$  对应的薄标准具透过曲线上的相位因子, 由图 2 可知, 为了尽可能增大  $\Delta\nu_s$ , 并防止扫描过程中出现扫描标准具模间隔的频率跃变, 必须使振荡模  $(\nu_{st})_1$  与薄标准具透过峰中心  $(\nu_0)$  在扫描相反方向上有一定的失谐量  $\{ [(FSR)_{SE} - \Delta]/2 \}$ 。(2) 式表明,  $\Delta\nu_s$  正比于  $(FSR)_{SE}$ , 所以要得到尽量大的  $\Delta\nu_s$ ,  $(FSR)_{SE}$  不能取得太小。

为保证振荡只发生在一个确定的扫描标准具模上, 腔内插入无镀膜的  $(FSR)_{SE} \sim 250$  GHz 的实心标准具 TE, 实验测得其波长再现性为  $\sim 0.01$  nm ( $\sim 8.5$  GHz)、 $(FSR)_{TE}$  越小, 波长定位精度越高。但是, 过容可能会引起扫描标准具模间隔的跳模和影响  $\Delta\nu_s$ 。因为 (2) 式表明,  $\Delta\nu_s$  不仅正比于  $(FSR)_{SE}$  而且正比于  $(FSR)_{TE}$ , 薄标准具的调谐公式是熟知

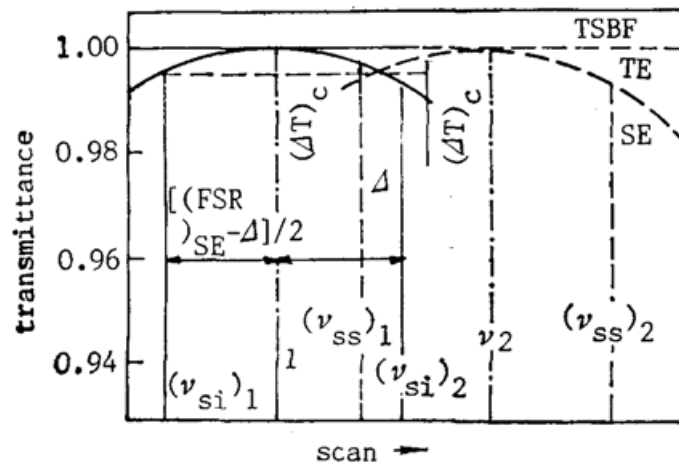


Fig. 2 Scheme of showing the relations between the peaks of TSBF, TE and SE as the laser frequency is scanning

的<sup>[5]</sup>。

$$2nt \cos \theta' = m\lambda_0 \quad (m=1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

#### 四、自动扫描 10 THz

在预置的扫描起始波长上,双折射滤光片和薄标准具的透过峰应被调整一致,如图 2 所示的  $\nu_1$  位置,试探扫描标准具  $SE$ ,发生扫描标准具模间隔的跳模后,薄标准具透过峰中心附近的扫描标准具模分布如图 2 中实线所示:振荡模  $(\nu_{si})_1$  和扫描方向上的相邻模  $(\nu_{si})_2$ 。驱动扫描厚标准具  $SE$  和检流计板进行自动扫描,当  $(\nu_{si})_1$  扫过一个单程( $\sim 20$  GHz)到达新频率位置  $(\nu_{ss})_1$  后,相应地  $(\nu_{si})_2$  到达  $(\nu_{ss})_2$ 。然后计算机根据(1)式和(3)式计算出双折射滤光片和薄标准具各自应旋转的角度,分别通过步进电机驱动使其到新位置  $\nu_2$ 。撤掉扫描电压,扫描标准具  $SE$  模的分布应恢复到初始状态,即  $(\nu_{si})_1$  和  $(\nu_{si})_2$  的位置。不同的是,振荡模已不再是  $(\nu_{si})_1$ ,而是  $(\nu_{si})_2$ ,  $(\nu_{si})_2$  与  $(\nu_{ss})_1$  之间存在着偏差  $\Delta$ ,根据  $\Delta$  的大小,将新振荡模  $(\nu_{si})_2$  调整到上一次扫描的终止频率  $(\nu_{ss})_1$  上作为下一次扫描的起始频率。

#### 五、实验结果

激光器正常运转后,双折射滤光片和薄标准具的角度位置是任意的,扫描标准具和检流计板的电压工作点也是任意的,调用自动扫描程序“AUTOSCAN”输入扫描起始和终止波长值,例如  $580 \sim 592$  nm ( $\sim 10$  THz),计算机自动将各调谐元件的透过峰调整好,并自动输出波长值  $580.000 \pm 0.001$  nm,改变加在扫描标准具的 PZT 上的电压工作点,试探扫描通过扫描干涉仪观察扫描标准具模的运转情况。发现跳模后,波长计再次测量出新波长值,新值与预置的起始值略有不同( $< 0.035$  nm)。此时加在扫描标准具上的电压工作点为起始电压,加锯齿波形电压扫描扫描标准具,激光频率以每单次  $\sim 20$  GHz 幅度扫描,扫描过程如图 3 所示,在扫描过程中,由于偶然因素,可能出现跃变,如图 3 中虚线所示。因为振荡模  $(\nu_{si})_1$ ,扫过  $\nu_1$  位置后是沿着薄标准具透过率减小的方向进行,所以跳模只可能发生在  $(\nu_{si})_1$

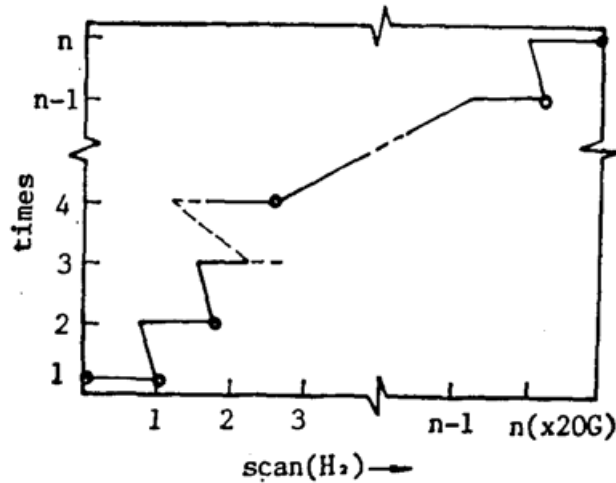


Fig. 3 Diagram of showing seamlessly autoscan up to 10 THz, each circle sign represents the frequency displayed by the computer screen

左侧的相邻模上。根据这个规律,计算机可以自动恢复到跳模前的频率上,继续执行扫描程序。另外,由于存在调谐精度误差( $1 \times 10^{-6}$ ),所以每相邻两次扫描要重叠一个小量,防止出现频率“裂缝”,完成 10 THz 扫描约需 1.5 hr.。已经实现了一次自动扫描  $\sim 20$  GHz。

## 六、讨 论

由前面的分析可知,激光运转是单频的,线宽只有  $\sim 20$  MHz(RMS),即使按扫描标准具的控制能力为一个腔模间隔,如要波长测量精确足够高,那么调谐精度可达到  $4 \times 10^{-7}$  以下。

与 CR-699-29 相比,本工作的“自动寻峰”方式不同,本文是利用输出光强信号的大小判断双折射滤光片和薄标准具峰的位置,结构简单,可以满足调整精度要求,但不如前者的灵敏,另外,本工作仍沿用了传统的空气隙扫描标准具结构,虽然不如 699-29 的“Air-speed optical solid Etalon”精度高,稳定性好,但易于在较宽的范围内选择自由光谱范围而且易于加工,这对于实验装置而言,无疑是很方便的。

作者感谢张铁军、陈方、王云霞及染料激光组其它同事们在实验过程中所给予的帮助。

## 参 考 文 献

- [1] M. Stuke, E. Marinero; *Appl. Phys.*, 1978, **16**, No. 3 (Jul), 303~308.
- [2] C. R. Pollock *et al.*; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 12 (15 Jun), 1907~1912.
- [3] Coherent CR-699 Ring laser, 1982, 19.
- [4] 邵中兴等;《光学学报》,待发表。
- [5] For example: refers to M. Born, E. Wolf; *Principles of Optics*, (Pergamon press, Oxford, 1975), 324~326.

## Tuning mechanism of autoscan ring dye laser

SHAO ZHONGXING, XU FENGMING, YU ZHANHAI, LI BIN AND PENG ZHONGQI  
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Changchun 130022)

(Received 25 June 1990; revised 3 September 1990)

### Abstract

The design of tuning elements, operation mechanism and experimental results for seamlessly autoscanning 10 THz in a computer-controlled ring dye laser are described in this paper.

**Key words:** autoscan, dye laser.