

# 可调谐微微秒染料激光脉冲宽度的 二次谐波相关测量

徐炳德 叶子青

(中国科学院长春光机所)

梁桂云

(长春光机学院)

**提要:** 本文讨论了二次谐波相关测量方案, 并对 Rh6G 环形染料激光器的主动锁模和被动锁模脉冲宽度作了二次谐波相关测量。

## SHG correlation measurement of picosecond pulses from a tunable dye laser

*Xu Bingde, Yie Ziqing*

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

*Liang Guiyun*

(Changchun College of Optics and Fine Mechanics)

**Abstract:** Two kinds of wavelength tuning schemes are discussed for SHG correlation measurement. The measurements of pulsewidth are performed by SHG correlation method for the actively and passively mode-locked CW rhodamine 6G ring laser.

### 一、引言

用二次非线性相关方法测量锁模激光脉冲宽度, 由于它具有简单、廉价、时间分辨率高等优点, 至今仍是测量微微秒-亚微微秒光脉冲宽度的一种流行方法。

虽然双光子荧光法和二次谐波法都可以实现二次非线性相关测量, 但二者各有长短。

双光子荧光方法由于它可以在一次光脉冲内完成相关曲线的记录, 而适用于象钕玻璃等低重复率巨脉冲锁模激光脉冲的测量。对于象连续波锁模染料激光器这种高重复率、低功率光脉冲, 则以采用二次谐波法较为适宜。特别是采用非共线相位匹配的零背景二次谐波相关测量, 还具有高信噪比, 以及对测量结果容易判释的优点。

收稿日期: 1982年4月29日。

## 二、非线性晶体设计

在二次谐波相关测量系统中，核心部分是产生强度相关信号的非线性晶体。测量可调谐连续锁模输出的微微秒脉冲，对非线性晶体设计的主要要求有：① 随着光脉冲中心波长的调谐，晶体也必须随之满足相位匹配条件。② 能产生足够探测的相关信号。③ 要有合乎要求的脉宽分辨率。

### 1. 三种波长调谐相位匹配方法

对于负单轴晶体，I类非共线相位匹配<sup>[4]</sup>有三种简单可行的波长调谐相位匹配方法。

固定两基波光束夹角，通过转晶体方法实现波长调谐非共线相位匹配，见图1。 $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 分别为两基波光束波矢方向和谐波光束波矢方向； $\beta$ 为晶体光轴  $OZ$  与基波光束入射的晶体几何表面  $AA'$  之间的夹角； $\alpha$ 、 $\theta$ 分别为基波光束在晶体外和在晶体内的半夹角； $\gamma_0$ 为波长调谐范围内中心波长相位匹配时，其谐波光束与光轴之间的夹角。此时，谐波光束垂直于晶体几何表面； $\gamma$ 为其它波长相位匹配时，谐波光束与光轴之间夹角； $\delta$ 为晶体转角，它由下式给出：

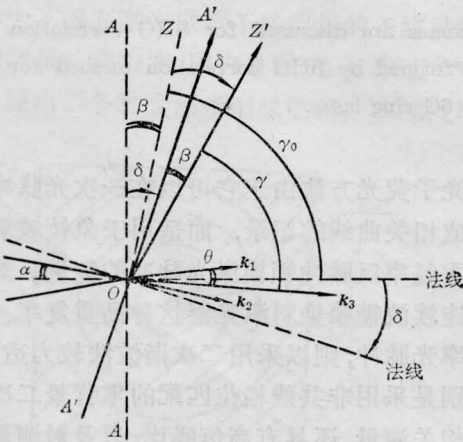


图1 转晶体方法实现波长调谐非共线相位匹配各量关系图

$$\begin{aligned} & [(n_e^{2\omega})^{-2} - (n_o^{2\omega})^{-2}] \sin^2 \\ & \times \left[ \gamma_0 - \frac{1}{2} \arcsin \left( \frac{1}{n_o^\omega} \sin(\delta + \alpha) \right) \right. \\ & \left. - \frac{1}{2} \arcsin \left( \frac{1}{n_o^\omega} \sin(\delta - \alpha) \right) \right] \\ & = (n_o^\omega)^{-2} \cos^{-2} \frac{1}{2} \left[ \arcsin \left( \frac{1}{n_o^\omega} \sin(\delta + \alpha) \right) \right. \\ & \left. - \arcsin \left( \frac{1}{n_o^\omega} \sin(\delta - \alpha) \right) \right] - (n_o^{2\omega})^{-2} \end{aligned} \quad (1)$$

式中， $n_o^\omega$ 为基波寻常光的折射率； $n_o^{2\omega}$ 和 $n_e^{2\omega}$ 为谐波非常光的主折射率。若固定谐波光束与光轴垂直，通过改变两基波光束夹角方法实现波长调谐非共线相位匹配，如图2所示。两基波光束在晶体外的半夹角 $\alpha$ 由下式给出：

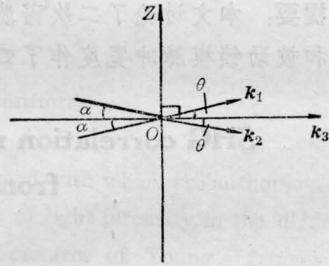


图2 改变基波光束夹角实现波长调谐非共线相位匹配各量关系图

$$\alpha = \arcsin \left[ n_o^\omega \sin \left( \arccos \frac{n_e^{2\omega}}{n_o^\omega} \right) \right] \quad (2)$$

还可以通过转晶体方法实现波长调谐的共线相位匹配，如图3所示。其晶体转角 $\delta$ 由下式给出：

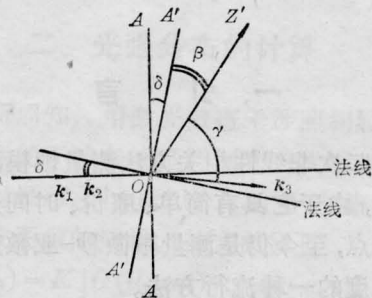


图3 转晶体方法实现波长调谐的共线相位匹配各量关系图

$$\delta = \arcsin \left\{ n_0^\omega \cos \left[ \beta + \arcsin \left( \frac{(n_0^\omega)^{-2} - (n_0^{2\omega})^{-2}}{(n_e^{2\omega})^{-2} - (n_0^{2\omega})^{-2}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (3)$$

### 2. 晶体厚度与脉宽分辨率

选取晶体厚度除了应能获得较强的相关信号外,更主要的要有合乎要求的脉宽分辨率。

所谓脉宽分辨率是指可正确测量的最小脉宽。如果晶体太厚,色散会使相关信号幅度饱和,从而使相关曲线发生畸变,这就带来了脉冲加宽问题<sup>[2,3]</sup>。这对于测量具有较宽光谱带宽的超短脉冲尤为重要。

从基波和谐波在晶体中具有不同的群速度出发,可以得出脉冲不被加宽的临界条件为被测脉冲宽度与群延迟相接近<sup>[9]</sup>。在共线相位匹配条件下晶体的脉宽分辨率 $\tau_s$ 为:

$$\tau_s = (\tilde{\alpha} - \tilde{\beta})l \quad (4)$$

在非共线相位匹配条件下:

$$\tau_s = (\tilde{\alpha} \cos \theta - \tilde{\beta})l \quad (5)$$

式中,  $\tilde{\alpha}$  和  $\tilde{\beta}$  分别为基波、谐波在晶体中群速度的倒数;  $l$  为晶体厚度。

相位匹配光谱带宽  $\Delta\lambda$  越宽,所能测量的最小脉宽越窄,晶体的脉宽分辨率也越高。在共线相位匹配情况下<sup>[4]</sup>:

$$\Delta\lambda = \frac{1.39\lambda}{2\pi \left[ \frac{\partial n_0^\omega}{\partial \lambda} - \frac{1}{2} \frac{\partial n_{e(r)}^{2\omega}}{\partial \lambda_2} \right]} \quad (6)$$

在非共线相位匹配情况下:

$$\Delta\lambda = \frac{1.39\lambda}{2\pi \left[ \frac{\partial n_0^\omega}{\partial \lambda} \cos \theta - \frac{1}{2} \frac{\partial n_{e(r)}^{2\omega}}{\partial \lambda_2} \right]} \quad (7)$$

式中,  $\partial n_{e(r)}^{2\omega}$  为谐波非常光与光轴成  $\gamma$  角方向上的折射率,  $\lambda_2$  为谐波波长。

### 3. 测量 Rh6G 染料锁模激光脉宽所用非线性晶体的设计

CW 锁模 Rh6G 染料激光波长调谐范围为 5300~6300 Å, 光谱带宽变换限制下的脉宽分辨率不低于 0.3 微微秒。我们选用 KDP 晶体由(1)、(2)、(3)式可计算出三种波长调谐方式的相位匹配波长调谐曲线, 见

图 4~图 6。由(7)式算得两种波长调谐非共线相位匹配的  $\Delta\lambda$  随波长变化曲线, 如图 7 所示。

由图 7 可以看出, 同样的晶体厚度, 改变基波光束夹角方法较转晶体方法具有较宽的相位匹配光谱带宽, 而且这种方法在波长调谐过程中, 谐波光束与光轴夹角一直保持 90°, 因此它具有非临界相位匹配所具有的一切优点。按照光谱带宽变换限制计算, KDP 晶体厚度取 1 毫米。

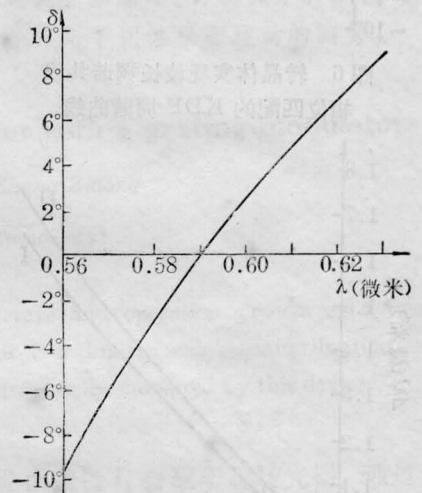


图 4 转晶体实现波长调谐非共线相位匹配的 KDP 调谐曲线

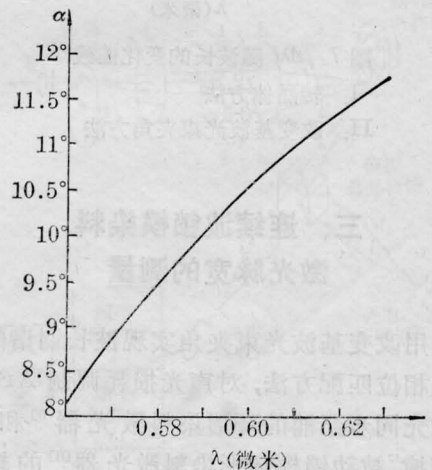


图 5 改变基波光束夹角实现波长调谐非共线相位匹配的 KDP 调谐曲线

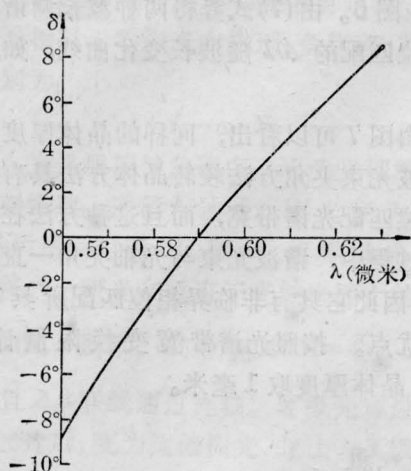


图6 转晶体实现波长调谐共线相位匹配的 KDP 调谐曲线

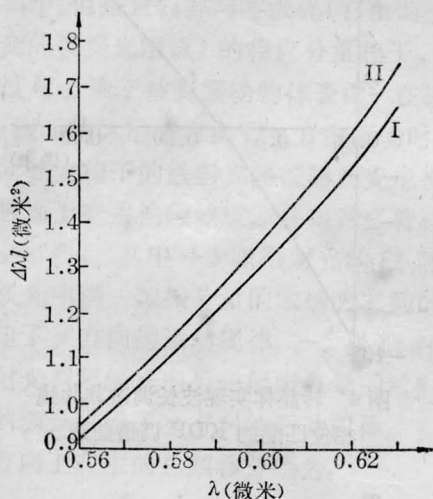


图7  $\Delta\lambda$  随波长的变化曲线

- I: 转晶体方法
- II: 改变基波光束夹角方法

### 三、连续波锁模染料激光脉宽的测量

用改变基波光束夹角实现波长调谐的非共线相位匹配方法,对声光损耗调制  $\text{Ar}^+$  锁模激光同步泵浦的环形染料激光器<sup>[5]</sup>和“脉冲相撞”被动锁模环形染料激光器<sup>[6]</sup>的输出脉冲进行了二次谐波相关测量。测量装置如图8所示。

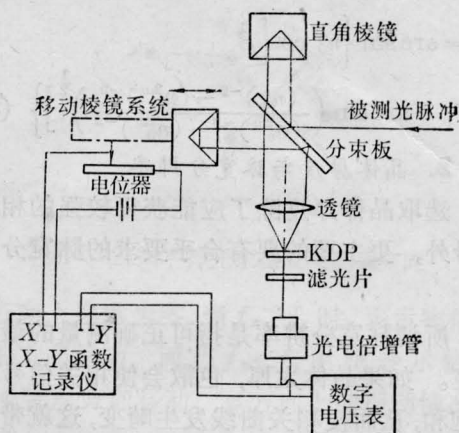


图8 测量装置示意图

被测光脉冲经分束板分为互相垂直的两束,由直角棱镜反射后,以一定距离平行地入射到聚焦透镜上,再以某一夹角非共线地入射到 KDP 晶体上,产生二次谐波。用紫外滤光片滤去基波,由光电倍增管接收强度相关信号。按图示方向移动一路棱镜,可连续改变两路脉冲的相对延迟。用数字电压表监视探测信号;用  $x-y$  函数记录仪记录出强度相关曲线。

当同时改变两直角棱镜相对于入射光束的位置时,便可改变两光束入射到透镜上的距离,从而改变两基波光束的夹角,实现波长调谐的相位匹配。

主动锁模激光脉冲和被动锁模激光脉冲的中心波长分别为  $5910 \text{ \AA}$  和  $6050 \text{ \AA}$ 。入射基波光束在晶体外夹角分别为  $20^\circ 16'$  和  $21^\circ 34'$ 。聚焦透镜的焦距为 55 毫米。由于光束聚焦,晶体实际作用长度变短,所测脉宽分辨率不低于 0.1 微微秒。

主动锁模激光脉冲的零背景强度相关曲线如图9所示,此时激光器处于较差的锁模状态。由于改变延迟系统移动较快,相关曲线中心处的窄相干尖峰没有画出。相关曲线上的周期波纹是由改变延迟的螺杆周期误差造成的,机械结构带来的误差小于 3 微微秒。被测脉冲的光谱带宽为  $20 \text{ \AA}$ 。图中已给出经换算后的时间标尺<sup>[7]</sup>,此时脉冲宽度为 44

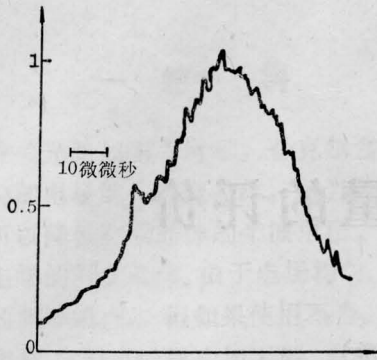


图9 主动锁模染料激光脉冲的零背景相关曲线

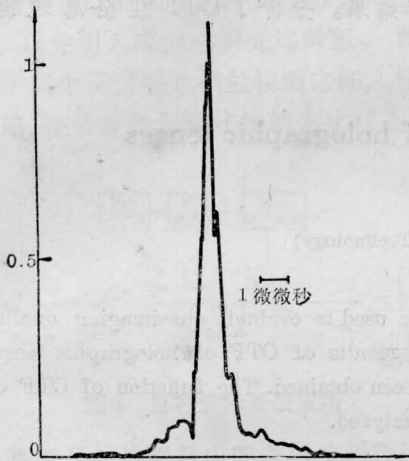


图10 被动锁模染料激光脉冲的零背景相关曲线

微微秒。

被动锁模的零背景相关曲线如图10所示。被动锁模输出脉冲光谱带宽为  $40 \text{ \AA}$ 。图中时间标尺也按高斯线型经换算后给出。由图可见，脉冲宽度为  $0.8$  微微秒。此时由于延迟改变较小，选用较精密的机械装置，机械结构带来的误差小于  $0.1$  微微秒。

用转晶体实现波长调谐的共线相位匹配方法，对上述被动锁模激光器在较好状态下的输出脉冲宽度进行了测量。所用的透镜焦距为  $100$  毫米，脉宽分辨率为  $0.26$  微微秒。图11为记录的非零背景强度相关曲线，图中

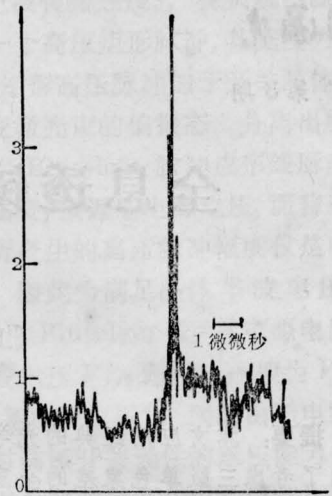


图11 被动锁模染料激光脉冲的非零背景相关曲线

最下面的直线为无激光输出时的零线。由相关曲线看出，脉冲宽度为  $0.3$  微微秒。

微微秒激光脉冲宽度相关测量的实践证明，测量系统的精细调节、谨慎对准以及稳定性也都是十分重要的。

本工作得到了长春光机所王乃弘同志的指导。在实验中，也得到该所八室许风鸣同志及染料组有关同志的帮助。在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Harry E. Bates; *JOSA*, 1973, **63**, 146.
- [2] W. H. Glenn; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1969, **QE-5**, 284.
- [3] J. Comly, E. Garmire; *Appl. Phys. Lett.*, 1968, **12**, 7.
- [4] R. C. Millett; *Phys. Lett.*, 1968, **26A**, 177.
- [5] S. Blit, C. L. Tang; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**, 16.
- [6] R. L. Fork *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, 671.
- [7] S. L. Shapiro; "Ultrashort Light Pulses", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1977, 88.