

三重斩波器与 Doppler-free 激光光声信号的检测

谭冠荣 杨文霞 郭明霞 隋燕

(南开大学电子科学系, 天津)

傅汝康 开桂云

(南开大学现代光学研究所, 天津)

Triple chopper and detection of Doppler-free laser opto-acoustic signals

Tan Guanrong, Yang Wenxia, Guo Minxia, Sui Yan

(Department of Electronic Science, Nankai University, Tianjin)

Fu Rulian, Kai Guiyun

(Research Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin)

提要:介绍了三重斩波器的结构及其在 Doppler-Free 激光光声信号检测中的作用, 讨论了如何选取斩波孔的孔数比, 以减少组合频率干扰, 提高 Doppler-Free 激光光声信号的信噪比。给出一些实验结果。

关键词: 三重斩波器, 信号检测

70年代后期出现了 Doppler-Free 激光光声光谱仪^[1~3], 由于消除了气体样品分子多普勒运动的影响, 具有很高的灵敏度和分辨本领, 可用来检测分子或原子能级的精细结构, 因此引起了科学工作者的浓厚兴趣。

与通常激光光声光谱仪^[4~6]不同的是, 在 Doppler-Free 激光光声光谱仪中采用的是一个三重斩波器而不是单路斩波器^[7~8]来对激光束进行斩波。本文将介绍这一新型斩波器的结构及其在 Doppler-Free 激光光声信号检测中的作用, 并讨论如何选取斩波器斩波孔的孔数比, 以便减少组合频率干扰, 提高 Doppler-Free 激光光声信号的信噪比。

一、三重斩波器的结构及其在 Doppler-Free 激光光声信号检测中的作用

三重斩波器的结构如图1所示, 由斩波叶片、微电机、光敏三极管和发光二极管组装而成。斩波叶片用金属薄片制成, 在微电机

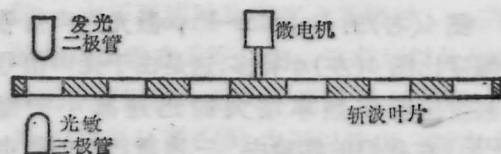


图1 三重斩波器的结构

收稿日期: 1988年7月11日。

• 国家自然科学基金资助项目。

带动下转动,叶片上有许多斩波孔,它们分布在三个不同半径的圆周上,而三个圆周的圆心都在微电机的转轴上。同一圆周上相邻两斩波孔的距离是一常数,最大圆周上的斩波孔数 F_3 等于另外两个圆周上斩波孔数 F_1 和 F_2 之和,如图 2 所示。光敏三极管和发光二极管位于斩波叶片两侧,相向地置于最大圆周附近。当斩波叶片转动时,发光二极管发出的光时断时续地进入光敏三极管,于是光敏三极管将产生一个矩形方波信号,其频率为 f_3 ,在用锁相放大器作 Doppler-Free 激光光声信号检测时,作为参考信号用。

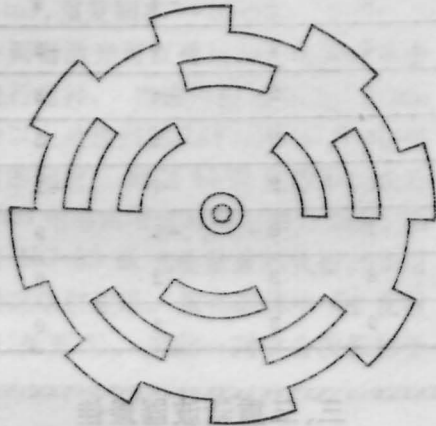


图 2 斩波叶片

本文研制的 Doppler-Free 激光光声光谱仪中,来自 CO_2 激光器的激光束,经分束器分成强度相同的两束激光,通过镀金反射镜反射后相向地进入光声室,其中一束由最小圆周上的斩波孔斩波,而另一束由中间圆周上的斩波孔斩波,如图 3 所示,斩波频率分别为 f_1 和 f_2 。显然斩波频率 f_1 和 f_2 以及参考信号频率 f_3 与三个斩波孔数 F_1 、 F_2 和 F_3 之间有如下关系:

$$\frac{f_1}{F_1} = \frac{f_2}{F_2} = \frac{f_3}{F_3} = v \quad (1)$$

式中 v 是微电机的转速。相向进入光声室的两束激光被光声室中的样品进行双光子共振吸收,吸收的部分光能因碰撞弛豫转化成分子的热能,引起光声室中样品气体的压强变化。由于样品吸收光能的吸收系数是随光强

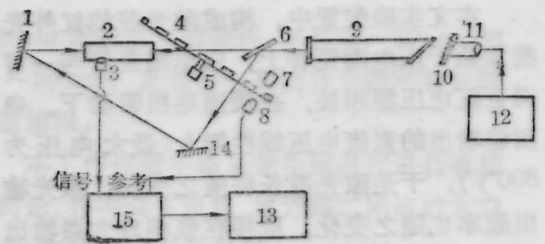


图 3 实验装置

1, 14—反射镜; 2—光声室; 3—微型话筒; 4—斩波叶片
5—微电机; 6—分束器; 7—发光二极管; 8—光敏三极管;
9— CO_2 激光器; 10—红外光栅; 11—压电陶瓷管; 12—可
调直电压源; 13—x-y记录仪; 14—锁相放大器

非线性变化,压强变化中将包含频率为

$$f_3 = f_1 + f_2 \quad (2)$$

的成分,这一频率成分的压强波由光声室侧面的高灵敏度微型话筒转换成频率为 f_3 的电信号,这就是 Doppler-Free 激光光声信号^[9,10]。这一激光光声信号与光敏三极管输出的参考信号分别送到锁相放大器的信号输入端和参考信号输入端,就能很好地测量出 Doppler-Free 激光光声信号来。所以三重斩波器的应用是实现 Doppler-Free 激光光声信号检测所必不可少的。

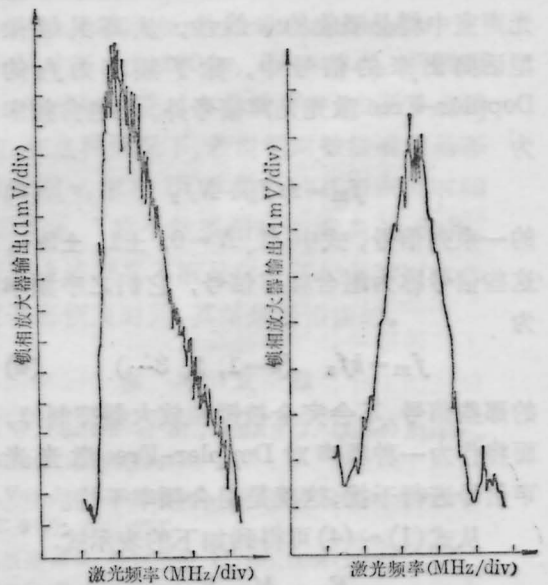


图 4

(左) 斩波孔数比为 $F_1:F_2:F_3=3:5:8$ 时的
Doppler-Free 激光光声信号谱线; (右)
斩波孔数比为 $F_1:F_2:F_3=13:19:32$ 时的
Doppler-Free 激光光声信号谱线

本文实验装置中,构成激光腔的红外光栅紧贴于压电陶瓷管上,压电陶瓷管与一可调直流电压源相接,在慢速电机带动下,电压源输出的直流电压线性增大(最大电压为800V),于是激光腔长将随之变化,激光输出频率也随之变化。联接在锁相放大器输出端的 $x-y$ 记录仪就能画出 Doppler-Free 激光光声光谱的谱线来,如图4所示。所用 CO_2 激光谱线是 $9P(18)$,其输出模式为基模,样品是无水乙醇。该图是在斩波孔数比 $F_1:F_2:F_3=3:5:8$ 时得到的。

二、组合频率干扰

从图4看出,所得到的激光光声信号中存在一定的噪声成分,它是由组合频率干扰造成的,在 Doppler-Free 激光光声光谱仪中,三重斩波器的采用,组合频率的干扰是一定存在的。

实际上,由于三重斩波器对相向进入光声室的两激光束进行不同频率的斩波,以及光声室中样品吸收的非线性,从高灵敏微型话筒出来的信号中,除了频率为 f_3 的 Doppler-Free 激光光声信号外,还包含频率为

$$f_{21} = Mf_1 + Nf_2 \quad (3)$$

的一系列信号,式中 $M、N=0, \pm 1, \pm 2, \dots$,这些信号称为组合频率信号,它们之中频率为

$$f_{21} = kf_3 \quad (k=1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

的那些信号,不会完全被锁相放大器抑制掉,而将作为一种噪声对 Doppler-Free 激光光声信号进行干扰,这就是组合频率干扰。

从式(1)~(4)可得到如下的表示式:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{M-K}{K-N} \quad (5)$$

当三重斩波器制成之后,斩波孔的比值 $\frac{F_2}{F_1}$ 就确定了,此时组合频率的各种组合方式可

用计算机计算出来。例如对于前面图2所示的斩波叶片, $F_2/F_1=5/3$,组合方式有9种,与它们相应的 $K、M$ 和 N 值列于表1,表中 Q 表示组合频率组合方式的编序号,在表1中没有列出 $K>3、M>10$ 和 $N>10$ 的组合方式,因为它们相应的组合频率信号的幅度很小,其干扰可以忽略不计。

表1 $F_2/F_1=5/3$ 时,组合频率各种组合方式的 $K、M$ 和 N 值

Q	K	M	N
1	1	-9	7
2	1	-4	4
3	1	6	-2
4	2	-8	8
5	2	-3	5
6	2	7	-1
7	3	-7	9
8	3	-2	6
9	3	8	0

三、三重斩波器最佳斩波孔数比的选取

显然,不同的斩波孔数比 F_2/F_1 ,组合频率的组合方式是不相同的,组合频率信号对 Doppler-Free 激光光声信号的干扰也不相同。为了粗略地比较不同斩波孔数比时的干扰程度,引入符号

$$A = \sum_Q \frac{1}{K^2(M^2+N^2)} \quad (6)$$

式中 \sum_Q 表示对各种组合方式求和, A 的数值愈大,组合频率的干扰就愈大。对于前面列举的斩波叶片($F_1:F_2:F_3=3:5:8$), $A=8.36 \times 10^{-2}$ 。

可以用计算机来计算与不同斩波孔数比 F_2/F_1 相应的 A 值,取其最小者,就可以得到最佳孔数比 $(F_2/F_1)_{opt}$ 。计算发现,当

(下转第549页)

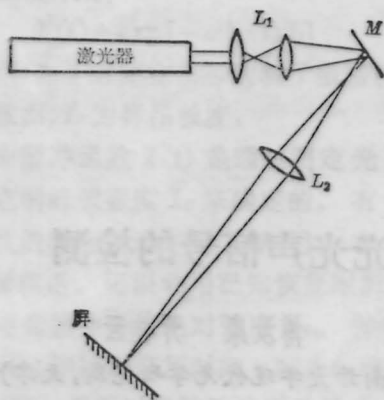


图 8

计算全息图。 L_2 为位置可调透镜。为了增加闪烁效果，光路中尚可插入由机械传动的振动光栅，图中未画出。

四、讨 论

根据前面分析，反射型计算全息图的偶数衍射级可消除，零级在空占比为 $1/2$ 时也

(上接第552页)

$F_2/F_1=19/13$ 时，不存在 $K < 3$ 、 $M < 10$ 和 $N < 10$ 的组合频率，因此 A 等于零，即 A 的值最小。所以，斩波叶片中三个不同半径的圆周上，斩波孔的数目分别为 13、19 和 32 时是最佳的。为了证实这一点，我们用这样的叶片作成的三重斩波器检测了 Doppler-Free 激光光声信号，与图 4 的激光光声信号相比，其组合频率干扰小多了，信噪比确实有了明显的提高。

图 4(右)的 Doppler-Free 激光光声信号的幅度比图 4(左)小得多，这是由于光声信号的幅度随斩波频率增大而迅速减小的缘故^[11]。在我们的实验中，三重斩波器的微电机转动速率是固定的，图 4(左)是采用孔数较少的斩波叶片 ($F_1:F_2:F_3=3:5:8$) 得到的，而图 4(右)是采用孔数较多的斩波叶片 ($F_1:$

可消除。实际做不到。原因是工艺水平不够。在显微镜下可观察到蒸镀的反射膜不够均匀和光滑。实际效率只能接近 30%，离理论值 40% 尚远。此外由于计算机绘图仪的精度 (主要是绘图笔出水不匀) 和照相底片及光刻精度的影响，使灰度等级分不开。

从现有条件出发尚可作以下改进。由于光不是正入射 $\theta_0 \neq 0$ ，再现像在衍射方向被拉长，也就是 (3) 式对 $\phi_1 - \theta_0$ 不是线性的。可以利用计算全息的灵活性，调整这个方向的取样点距以作弥补。

本工作得到江苏省科技局资助，赵炎生同志的协助。参加实验工作的还有南京大学信息物理系 83 级同学周凌云、杨洪涛、郑清、胡新特此致谢。

参 考 文 献

- 1 Gerhard Winzer *et al.* (ed.), *Lasergrafie* Verlag Georg D. W. Callway Munchen, 1975
- 2 A. W. Lohmann, D. P. Paris, *Appl. Opt.*, **6**, 1567 (1967)

$F_2:F_3=13:19:32$)，因而前者对两束激光的斩波频率比后者要小得多，得到的 Doppler-Free 激光光声信号的幅度就自然比后者大得多了。

参 考 文 献

- 1 E. E. Mazinero, M. Stuke, *Opt. Commun.*, **30**, 349 (1979)
- 2 C. Wieman, *et al. Phys. Rev. Lett.*, **36**, 1170 (1976)
- 3 D. C. Gerstenberger *et al.*, *Opt. Commun.*, **31**, 28 (1979)
- 4 明长江, *激光杂志*, **3**(55), 55 (1982)
- 5 N. Konjevic *et al.*, *Spectroscopy Lett.*, **12**, 359 (1979)
- 6 R. J. Rewer, *et al. Appl. Opt.*, **17**, 3746 (1978)
- 7 I. Mendas, *et al. Appl. Phys. B*, **33**, 119 (1983)
- 8 I. Mendas, *et al. Appl. Phys. B*, **24**, 1 (1984)
- 9 杨卫军 *et al.*, *中国激光*, **15**(1), 43 (1988)
- 10 W. J. Yang *et al.*, *Infrared Phys.*, **27**, 121 (1987)
- 11 N. C. Ferneliuss, *J. Appl. Phys.*, **51**, 1756 (1980)