

# 光参量振荡器中的多频振荡

吴路生 鲁士平

(中国科学院安徽光机所)

**提要:** 在双谱光参量振荡器中,首次在信号和空闲波段同时记录下多于一个“群”的振荡,并观察到输出频率的跳变,从实验上证实了“群集效应”。

## Multi-frequency oscillation in optical parametric oscillators

Wu Lusheng, Lu Shiping

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

**Abstract:** In a double resonant oscillator, oscillation of more than one cluster recorded simultaneously on the signal and idler waves is reported for the first time. Jumping change of the output frequency has been observed and the “cluster effect” is confirmed experimentally.

### 一、引言

本文详细叙述了在双谱光参量振荡器(DRO)中由于群集效应引起的多线振荡现象。自从Giordmain和Miller<sup>[1]</sup>提出DRO中存在“群集效应”后,一些作者<sup>[1~4,8]</sup>曾用它来解释实验点在理论曲线周围散开的现象。Bjorkholm<sup>[5]</sup>研究了OPO的输出光谱,出色地摄下了信号波的光谱,指出振荡可在多于一个“群”上发生。但是由于接收器件的限制,一直未见有空闲波段有类似报道。我们使用高分辨力光栅单色仪和高灵敏度探测器,成功地在信号和空闲波段同时记录下这种多线振荡现象,观察并记录了输出频率的跳变,证实了频率的“分立”结果。

### 二、实验装置与结果

振荡器由调Q YAG激光器泵浦,  $\lambda_p = 1.064$  微米,非线性材料为纯LiNbO<sub>3</sub>晶体,  $\theta = 50^\circ$ ,  $l = 23.7$  毫米, OPO腔为平行平面腔,腔长为29毫米。温度调谐及腔内方式运转,调谐范围从1.47~4微米。膜片反射带在1.5~1.7微米和3.7~3.0微米构成双谱。重复率为15次/秒。

OPO输出经WDS-3A型光栅单色仪分光(缝宽为0.03毫米),并自动进行波长扫描。用液氮冷却的InSb探测器接收,放大50倍后,再用示波器监视,同时用x-y函数记录仪进行记录,逐点记下不同温度时的光

收稿日期: 1983年6月22日。

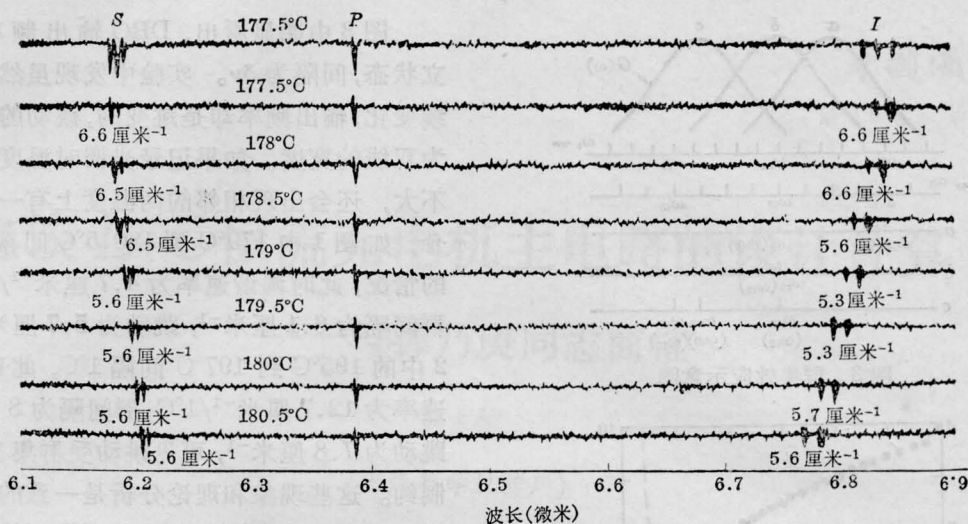


图1 记录的双线照片

S 为信号光 4 级谱; P 为泵浦光 6 级谱; I 为空闲光 2 级谱

谱。为了获得较高分辨力, 分别记录信号光 4 级谱、空闲光 2 级谱和泵浦光 6 级谱。

在高于阈值泵浦时, 大多数情况下观察到如图 1 的双线振荡。它具有这样一些特点: 空闲光和信号光都存在双线, 且波数差相等。一般表现为一根稳定振荡, 另一根不稳定(如 178°C 等)。不稳定线若在信号的长波出现, 在空闲波段则位于短波, 并在降低泵浦时消失。在某些点, 双线突然消失, 只有单线振荡。在某些点还存在三根线的情况, 分两种情形, 一种间隔相等(如图 1 中 177.5°C), 另一种则间隔不等(如图 2 中 192°C)。图 2 表示典型的单线、双线和三线光谱图。

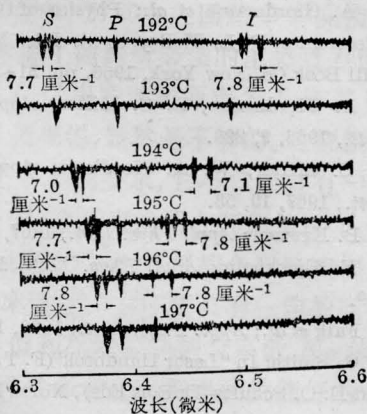


图2 多线振荡的光谱照片

(S、P、I 见图 1 说明)。

### 三、分析讨论

众所周知, 在双谱振荡器中, 信号和空闲两者均在腔内谐振。由于晶体的色散, 它们的纵模不能一一对准。正好对准的纵模(增益较高)一般要间隔很多个纵模, 而且呈现一群一群的分布, 这就是通常的“群集效应”。如图 3 所示, 双线情形显然是两个群振荡。当增益曲线位于“a”的位置,  $\omega_{s1}$ 、 $\omega_{i1}$  和  $\omega_{s2}$ 、 $\omega_{i2}$  可获得足够增益而起振; 而位于“b”时,  $\omega_{s2}$ 、 $\omega_{i2}$  将获得最高增益呈现单线振荡。由此可见, 实验现象完全证实了理论的分析。由简单推导可得群间隔为<sup>[7]</sup>:

$$\delta\nu = \left[ 2L \left( n_s - n_i + \omega_s \frac{\partial n_s}{\partial \omega_s} - \omega_i \frac{\partial n_i}{\partial \omega_i} \right) \right]^{-1} = 1/2bL$$

可见, 群间隔为小信号增益线宽的一半。对比计算结果(图 4 虚线), 与实验结果符合很好。

对于三条线的情况, 我们获得了两种结果。在 177.5°C 和 200°C 记录的三线, 间距相等且符合“群集效应”, 显然是三个群的振荡。而在 192°C、195°C、201°C、211°C 等点上记录的三线情况不同, 若仍归于三群振荡, 那么, 第一, 相邻两线间隔不等, 也不符合群集

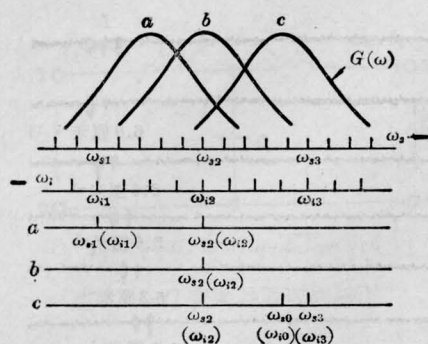


图3 群集效应示意图

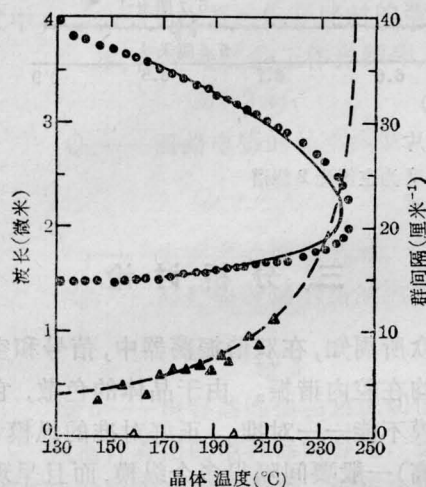


图4 调谐曲线及群间隔

实线和黑点分别为调谐曲线的计算和实验结果；  
虚线和三角分别为群间隔及双线间隔的结果

间隔的理论计算；第二，边缘两条为强线，中间一条为弱线(见图2)，可是增益曲线中间比边缘增益高，那么中间一条就不应该弱。然而，若暂时略去中间弱线，两边两条线的间隔与信号段双线间隔相等，且等于群间隔，完全符合两群振荡的结果。我们认为仍属两个群的情况。那么中间那条弱线如何解释呢？由图3可见，增益曲线位于“c”时，中心频率 $\omega_{i0}$ 或 $\omega_{s0}$ 及其附近的模式在泵浦足够高时也会起振。由于这时信号和空闲之间纵模的频率失配相当大，难以构成双谱形式，最大可能是以单谱的形式振荡。总之它们来自于增益曲线中心的那些模式。这类情形在空闲段较为明显，信号段也应有三条，大概是由于分辨不够而未能将其中两条分开。

图3中明显看出，DRO输出频率呈分立状态，间隔为 $\delta\nu$ 。实验中发现虽然温度连续变化，输出频率却是跳变的，跳动的幅度约为双线的宽度。如果记录光谱时温度点改变不大，还会出现相邻的两温度上有一条线重合，如图1中179°C到180.5°C间隔0.5°C的情况，此时调谐速率为4.7厘米<sup>-1</sup>/0.5°C，群间隔为6.1厘米<sup>-1</sup>，跳动为5.7厘米<sup>-1</sup>；图2中的195°C到197°C间隔1°C，此时调谐速率为12.7厘米<sup>-1</sup>/1°C，群间隔为8厘米<sup>-1</sup>，跳动为7.8厘米<sup>-1</sup>，可见跳动受群集效应的制约。这些现象和理论分析是一致的。但由于 $\lambda_p$ 和腔长的漂移，以及上面提到的其他因素的影响，并非整个调谐范围内都是理想的分布，而只在某些诸因素较稳定的场合才明显，然而跳变现象则是始终存在的。

为进行比较，我们用同一块晶体也作了单谱振荡器的实验，膜片在空闲段提供反馈而形成单谱。在绝大多数情况下没有双线，个别例外主要是膜片反射带的次峰形成了双谐。但在接近简并点时，也观察到在主振荡线附近附加有间隔约2厘米<sup>-1</sup>的窄线，这和[6]报导的结果差不多，至今尚无圆满解释。

作者感谢程时亮同志提供大量膜片及陈俊德同志提供大量测试手段。

### 参 考 文 献

- [1] J. A. Giordmaine *et al.*; *Physics of Quantum Electronics*, P. L. Kelley *et al.* Eds. McGraw-Hill Book Co. New York, 1966, pp. 31~42.
- [2] J. A. Giordmaine, R. C. Miller; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **9**, 298.
- [3] R. C. Miller, W. A. Nordland; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **10**, 53.
- [4] L. B. Kreuzer; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **10**, 336.
- [5] J. E. Bjorkholm; *Appl. Phys. Lett.*, 1968, **13**, 399.
- [6] J. Falk *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **14**, 245.
- [7] R. G. Smith; In "Laser Handbook"(F. T. Arecchi and E. O. Schultz-DuBois Eds), North Holland, Amsterdam, 837(1972).
- [8] 吴路生;《激光与光学》, 1980, No. 4, 1~3.