

分布反馈和外腔的双波长运转

韩全生 康 瑾

(中国科学院物理研究所)

提要: 通过分布反馈和外腔的联合运转, 获得了独立调谐的双波长激光, 并研究了两个振荡的模式竞争与相对起振时间的关系。

Two-wavelength operation with combination of distributed feedback and extra-cavity

Han Quansheng, Kang Jin

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: Operating a device combining distributed feedback and extra-cavity, we obtained an independently tunable two-wavelength laser. The mode competition as a function of the relative build-up time of two wavelenths is investigated.

一、引 言

动态分布反馈技术已经成功地被用来产生微微秒单脉冲激光^[1]。利用分布反馈和外腔相联合的机构, 可望方便地实现含有超短脉冲的可独立调谐的双波长激光器^[2]。

一般的激光器都是由提供增益的介质和提供反馈的谐振腔所组成。普通谐振腔大多由端面反射镜提供反馈, 靠腔模和色散元件实现选频。而分布反馈是一种布喇格型谐振腔, 由均匀分布于介质内部的布喇格散射提供反馈, 靠布喇格条件产生选频作用。由于二者振荡和选频的机制不同, 如果在宽谱带的增益介质中同时建立分布反馈振荡和外腔振荡的条件, 就可以实现两个波长的激光同时运转, 并且可以依据各自的选频原理实现

独立调谐。

分布反馈和外腔联合运转, 和一般的复合腔振荡一样, 存在着模式竞争的问题。但是, 由于两种方式的振荡在时间范围上有着较大的差别(分布反馈振荡是微微秒, 到亚毫微秒, 外腔振荡是毫微秒)。因此控制两个振荡的相对起始时间, 便可以调整模式的竞争和相对强度。如果调整泵浦光束, 使得两个振荡的增益区实现空间上分离^[3], 还可以完全避免出现模式竞争。

二、实验装置

将消色差的动态分布反馈染料激光器^[4]与一掠入射光栅式外腔联合, 经过适当的配置和调节, 即可构成所要的实验装置, 如图 1

收稿日期: 1984年7月28日。

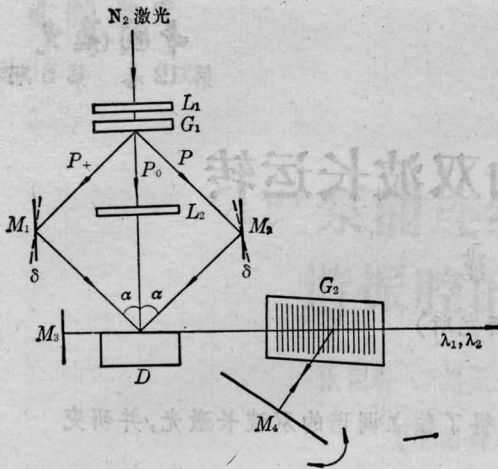


图1 实验装置示意图

L_1, L_2 —柱面镜; G_1, G_2 —全息光栅;
 M_1, M_2, M_3, M_4 —全反射镜; D —染料池

所示。一束氮分子激光经过石英柱透镜 L_1 (焦距 $f_1=10\text{cm}$), 由一块全息透过光栅衍射分成正、负一级和零级三束(分别以 P_+ 、 P_- 和 P_0 表示)。光栅条纹的方向与柱面镜的轴向垂直, 条纹密度为 $2400\text{条}/\text{mm}$ 。两衍射束 P_+ 和 P_- 约占总入射光能的 40% , 透过光束 P_0 约占 40% 。 P_+ 和 P_- 两衍射束分别经过全反射镜 M_1 和 M_2 反射后在染料池 D 的入射窗口处会合形成干涉, 干涉条纹与光栅条纹平行。从而沿着染料池的轴向诱导出周期性调制的增益区, 构成瞬时的分布反馈机构。当泵浦强度达到一定的数值之后, 通过布喇格散射的作用, 可以在染料池的两端产生窄带的激光输出。

由于染料泵浦区的高度和深度比长度小很多, 分布反馈腔可以近似地当作一维情况来处理。根据布喇格条件, 一级布喇格振荡的波长应该是调制周期 Λ 的 2 倍, 其输出激光的波长为

$$\lambda_1 = 2n\Lambda,$$

n 是染料溶液的折射率。由于干涉场的调制周期 Λ 与泵浦光束 P_+ 和 P_- 的入射角 α 有关:

$$\Lambda = \frac{\lambda_p}{2 \sin \alpha},$$

λ_p 是泵浦光波长, 因此通过反射镜 M_1 和 M_2 的方位来调节入射角 α , 就可以调节输出激光的波长。利用支撑在反射镜一边的压电陶瓷管, 可以对称地调节 M_1 和 M_2 的微小角度。设 M_1 、 M_2 相对于正置位置(与光栅 G_1 垂直)对称地调节一个小的角度 δ (如图 1 中虚线所示), 则输出激光波长为

$$\lambda_1 = \frac{n \lambda_p}{\sin \left(\arcsin \frac{\lambda_p}{d} - 2\delta \right)}$$

式中 d 是 G_1 的光栅常数。由此可见, 当 $\delta=0$ 时,

$$\lambda_1 = nd.$$

此时激光波长 λ_1 与泵浦光波长 λ_p 无关, 即装置具有消色差性。也就是说, 在此条件下, 即使泵浦光的单色性和相干性较差, 也可以获得清晰度很好的干涉场, 从而得到线宽很窄的激光输出。利用压电陶瓷对反射镜 M_1 和 M_2 在正置位置左右实现小范围调节, 可以对激光进行连续无跳模的调谐。但随着偏离角 δ 增大, 分布反馈激光的效率和线宽都将变坏。因此这种调谐方法一般只在小范围内 ($\sim 20\text{\AA}$) 可以利用。波长较大范围的可以更换具有不同折射率的染料溶剂, 或用不同光栅常数的光栅来实现。

泵浦光透过光栅 G_1 的光束 P_0 , 经过第二个石英柱透镜 L_2 ($f_2=10\text{cm}$), 调节 L_2 的前后位置, 使其焦点也落在染料池的入射窗口处。同时在染料池的两端设置全反射镜 M_3 、全息反射光栅 G_2 ($60 \times 30\text{mm}^2$, $2400\text{条}/\text{mm}$) 和条形全反射镜 M_4 ($60 \times 10\text{mm}$) 构成掠入射式外激光腔。光栅 G_2 的条纹方向与染料池轴向垂直, 光栅法线与染料池轴向约成 89° 角。当产生外腔振荡时, 入射至光栅的光束, 一部分衍射至条形反射镜 M_4 , 后再经原路返回腔内, 一部分通过光栅零级反射形成激光输出。通过条形反射镜 M_4 围绕铅垂方向旋转, 实现外腔振荡激光波长 λ_2 的调节。

三、实验结果和讨论

实验是在以下两种情况下进行的: (1) 泵浦光只有两个衍射束 $P_+ + P_-$ (P_0 束用屏幕挡住); (2) 衍射束和透过束 $P_+ + P_- + P_0$ 同时泵浦。为了便于比较, 我们分别对只有分布反馈和分布反馈加外腔两种情况做了测试。用作泵源的氮分子激光器单脉冲能量平均为 4mj, 脉冲宽度为 8ns。染料池的长度 (亦即是分布反馈的腔长) 为 10mm, 外腔长为 20cm。获得的主要实验结果如表 1 所列。

从表中可以看出, 不加外腔, 只有分布反馈振荡时, 两衍射束叠加干涉场的泵浦可以获得线宽很窄的染料激光输出。如果在泵浦光中增加透过束 P_0 , 泵浦能量增大一倍, 但激光输出的能量增加很少, 而线宽却有很大的增加。这一结果表明, 由于在泵浦光中加上 P_0 束, 干涉场的调制深度减小, 清晰度降低, 因而造成激光线宽增宽。要想增大激光输出而保持激光线宽, 必须在增大泵浦光能量的同时保持干涉场的清晰度。这只有通过增大泵浦光源的能量和提高光栅的衍射效率来实现。

在分布反馈和外腔同时操作的情况下, 我们获得了可分别调谐的两个波长的窄带激光。当泵浦光只有两衍射束 ($P_+ + P_-$) 时, 两个波长的可调谐范围较小。而增加 P_0 束泵浦光, 两个波长的激光输出能量有了成倍

的增加, 外腔振荡的调谐范围大大扩展, 但 λ_2 的调谐范围甚至更小, 而且线宽增大。此时由于存在着两种模式的振荡, 上述结果显然与模式竞争有关。

我们着重研究了只用衍射束 P_+ 和 P_- 泵浦时两个振荡的相对起振时间对模式竞争的影响。选用染料池的长度为 10mm, 此时分布反馈振荡的建立时间约为 1ns 左右^[5]。改变外腔的长度 L , 从而改变腔模振荡的建立时间。实验结果如图 2 所示。由图中可以看出, 当外腔腔长小于某一数值 (约 14cm) 时, 分布反馈振荡完全被抑制。随着腔长增加, 分布反馈激光的强度 I_{λ_1} 陡然增大, 而外腔振荡的激光强度 I_{λ_2} 迅速下降。随后 I_{λ_1} 很快趋于恒定, 而 I_{λ_2} 持续下降。

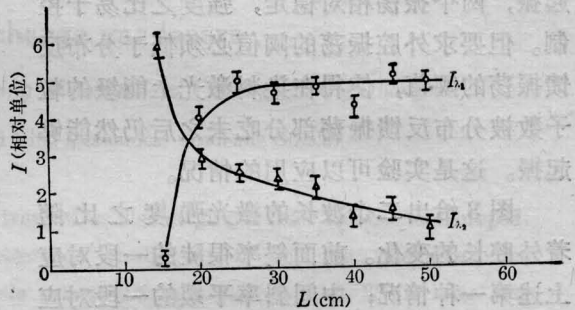


图 2 两个波长激光强度随外腔长的变化

按照 $2L/C$ 来估算外腔振荡的建立时间, 对应于分布反馈振荡被抑制的外腔起振时间大约为 1ns。这就说明, 一旦外腔振荡先建立起来, 分布反馈振荡就被抑制。这是由于外腔振荡将使介质增益下降和增益调制的深度减小, 从而使分布反馈振荡达不到阈

表 1

运转方式	泵浦光束	中心激光波长		单脉冲能量 $E_{\lambda_1} + E_{\lambda_2} (\mu\text{j})$	激 光 线 宽		调 谐 宽 度	
		$\lambda_1 (\text{nm})$	$\lambda_2 (\text{nm})$		$\Delta\lambda_1 (\text{\AA})$	$\Delta\lambda_2 (\text{\AA})$	$\lambda_1 (\text{\AA})$	$\lambda_2 (\text{\AA})$
分布反馈	$P_+ + P_-$	582		40	0.07		~30	
	$P_+ + P_- + P_0$	582		50	0.2		~30	
分布反馈 加 外 腔	$P_+ + P_-$	582	586	60	0.07	0.1	~20	~50
	$P_+ + P_- + P_0$	582	586	120	0.2	0.1	<20	~250

值。又由于分布反馈振荡是过耦合输出，脉冲持续时间很短(一般是亚毫微秒或更短)，随着外腔振荡建立时间的延长，两个振荡经过很短一段时间交叠后就会先后分开来。这就是随着外腔腔长的增加， I_{λ_1} 迅速增大后很快趋于恒定的原因。 I_{λ_2} 的持续下降，是由于腔长的增加致使激光效率下降，而不是模式竞争的结果。

经过分析，我们得出如下的结论：(1)只是当两个振荡的建立时间差不多时，才存在难以控制的模式竞争。这时往往由于两个振荡起振时间的涨落使得它们的相对强度不稳定。因此实验必须避免这一情况；(2)当两个振荡的建立时间错开时，如果外腔先起振，很容易将分布反馈振荡抑制。如果分布反馈先起振，两个振荡相对稳定，强度之比易于控制。但要求外腔振荡的阈值必须低于分布反馈振荡的阈值，使得在染料激光上能级的粒子数被分布反馈振荡部分吃去之后仍然能够起振。这是实验可以应用的情况。

图3给出二个波长的激光强度之比随着外腔长的变化。前面斜率很陡的一段对应上述第一种情况；中间斜率平缓的一段对应(2)中的后一情况；后一段斜率上升是因外腔振荡的激光效率下降致使 I_{λ_2} 下降所引

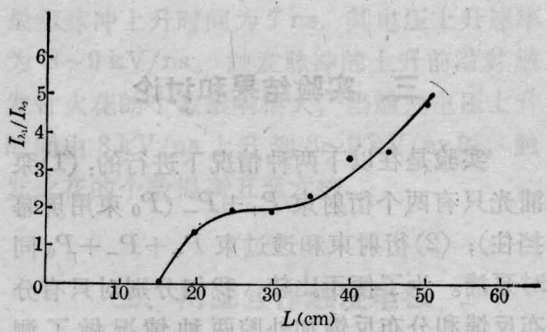


图3 $I_{\lambda_1}/I_{\lambda_2}$ 随外腔长的变化

起。

由于设备的限制，没有对两个振荡的脉冲时间进行细致的测量。我们相信，如果适当选择好两个振荡腔长的匹配，依据分布反馈脉冲串被激光猝灭的原理^[1]，可以使分布反馈振荡的脉冲宽度控制在几十微微秒以内。

参 考 文 献

- [1] Zs. Bor, F. P. Schafer; *Appl. Phys.*, 1983, **B31**, 209.
- [2] I. Golub *et al.*; *Appl. Phys.*, 1983, **B31**, 75.
- [3] 韩全生, 张治国; 《中国激光》1984, **11**, 321.
- [4] 韩全生; 《中国激光》; 1983, **10**, 121.
- [5] Zs. Bor; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, 517.

(上接第 352 页)

用倍频效应来稳定声光调制的工作点。这是值得探索的。当然，改进器件结构和激光系统也能不同程度地减轻热效应。但关键还在于提高晶体质量，降低光吸收和声衰减系数。

王本民同志对本工作曾给予很大帮助，任国鑫同志提供了宽带功率放大器，肖兵、周

永祥同志参加了部分工作，谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] R. R. Rice *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**, 3045.
- [2] 冯锡淇; 《新型无机材料》, 1980, **9**, No. 1, 88.
- [3] R. R. Rice *et al.*; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 1824.
- [4] J. D. Barry; Thied Conf. on the Laser, Ann. N. Y. Academy of Science, 1976, V. 267, 342.