

光栅掠入射脉冲染料激光器工作特性的研究

周建英 黄作柱 余振新 罗黎明

(中山大学超快速激光光谱学实验室, 广州)

摘要: 本文研究了无反馈腔结构的高损耗脉冲染料激光器和一般光栅掠入射结构的脉冲染料激光器的输出特性, 分别获得了时间平均频带宽度为1.2GHz和2.5GHz的输出, 本文还讨论了激光频带与腔参数的依赖关系, 给定了光栅掠入射染料激光器的最佳工作条件。

Study on the characteristics of grazing-incidence
grating pulsed dye lasers

Zhou Jianying, Huang Zuozhu, Yu Zhenxin, Luo Liming

(Ultrafast Laser Spectroscopy Laboratory, Zhongshan University)

Abstract: Output characteristics of a high loss grazing-incidence grating pulsed dye laser with a non-feedback cavity configuration and a conventional grazing-incidence grating pulsed dye laser are studied. The time-averaged bandwidths of 1.2GHz and 2.5GHz are obtained, respectively. The dependence of the laser bandwidth on the cavity parameters and the optimal operation of the lasers are discussed.

激光泵浦的窄频带染料激光器, 由于结构简单, 可调谐性好以及应用范围广泛而受到了关注。目前激光泵浦的窄频带染料激光器是基于Hänsch^[1]或Littman^[2]的设计思想制作的, 利用纵向泵浦和光栅掠入射短腔的方法, 可以获得单模振荡^[3], 但对于更普遍的泵浦光源为准分子或氮分子激光横向激励的染料激光器, 尚无简单的方法来获得单模输出, 通常, 必须在腔内插入两种甚至更多的选频元件来获得窄频带的激光输出^[4,5]。与其它结构的脉冲染料激光器相比, 光栅掠入射染料激光器的结构简单且输出频带较窄, 因此, 研究这种激光器最佳工作条件具有较大的实用价值。本文从实验观点出发, 研究光栅掠入射窄频带染料激光器在不同的工作状态对激光输出频带的影响, 并指出进一步改进的措施。

一、设计原理

图1为一般光栅掠入射染料激光器的结构, Littman曾对这种结构腔的激光器的频带作

出了估算^[4]，Hes对Littman的方法进行修正后得到了激光频带在半高度的全宽度公式为^[5]：

$$\Delta\lambda = 2\sqrt{2}\lambda / (\pi Lma) \quad (1)$$

式中， λ 为波长； m 为衍射级数； a 为单位长度的光栅条数； L 为光栅的照亮宽度；且满足

$$L\cos\theta_0 / (2d_2) = \lambda / (\pi W) \quad (2)$$

式中， W 为腰部半径； d_2 为掠入射时光栅中心到染料池的距离； θ_0 为掠入射角。由(1)式看出，为了获得窄频带的激光输出，在光栅常数、波长一定的情况下，增加光栅的照亮长度 L ，可减小单程线宽。

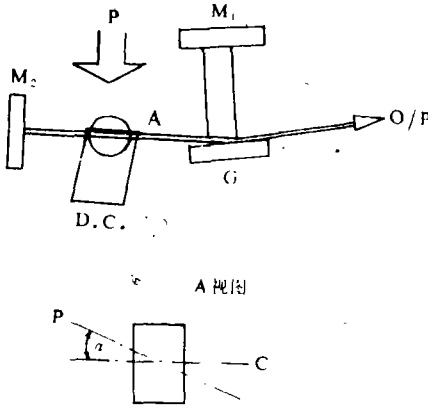


图1 光栅掠入射染料激光器

- α —泵浦区轴线与光腔轴线的夹角
- M_1 、 M_2 —全反镜 P—泵浦
- D.C.—染料池 G—掠入射光栅
- O/P—输出 C—光腔轴线

从(2)式可知，要获得大的光栅照亮长度，必须使 $\cos\theta_0 \rightarrow 0$ ，即掠入射光的入射角趋于 90° ，但是根据我们的测试，在这种情况下入射角稍为改变，激光腔的损耗即发生很大变化。为了测定单程损耗，我们对一个 1800 1/mm 、闪耀波长为 6000 \AA 、宽度为 40 mm 的闪耀光栅，在掠入射情况下的衍射效率进行了测试，所使用的激光为He-Ne激光，波长 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ，在一级衍射的角度上测量其效率。图2为衍射效率与光栅掠入射角的实验曲线，其中曲线a为在闪耀角方向入射的衍射效率，b为从相反一侧入射的衍射效率。

当激光在染料腔中穿行一次的时间与泵浦光的脉宽可相比拟时，Hänsch认为输出激光的带宽为腔内选频元件所选择的带宽^[1]。基于这个出发点，在Hänsch型的染料激光器中根据频带宽度的要求

可加入一种到数种色散元件，在Littman的光栅掠入射短腔中，当激光在腔内穿行次数较多时，由于模式竞争和较大的腔Q值也获得了窄频带的激光输出^[3]。我们研究在这两种情况下，介质增益、腔Q值以及其它参量对激光频带的影响。

图3是我们设计的一种高色散高损耗的激光器，泵浦光为XeCl准分子激光($\lambda = 308 \text{ nm}$)，泵浦光被裂分并由一石英柱面镜聚焦于染料池中A、B两条线上，染料为Rhodamin 6G，在染料池内B区域所发出的光经一直角镜反射后在A区域放大。为避免光栅掠入射角太大而引起损耗以及有效地利用光栅面积，在染料池和光栅中间插入了一个棱镜组扩束器^[6]，掠入射光栅为 2400 1/mm 的全息光栅，长度为 10 cm ，光经一级衍射后又经另一个与入射光栅相同的全息光栅按原路衍射回染料池的A、B部分加以放大。由于染料池壁与输出光形成 10° 的夹角，因此这个无源腔的Q值应等于零，

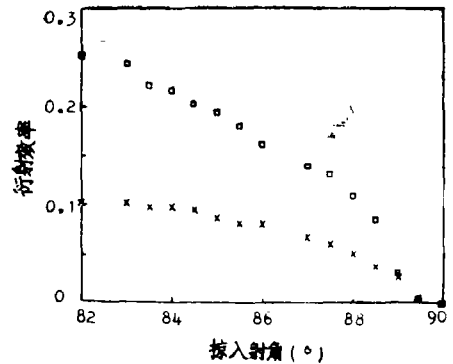


图2 光栅衍射效率与掠入射角的关系
□—沿闪耀方向入射
×—沿非闪耀方向入射

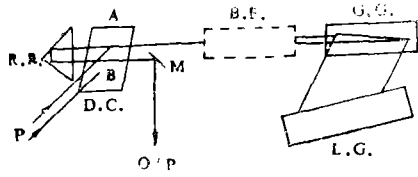


图3 无反馈腔结构的光栅掠入射染料激光器

A、B—激活区 R.R.—直角反射镜
P—泵浦光 M—反射镜 D.C.—染料池
O/P—激光输出 B.E.—棱镜扩束器
G.G.—掠入射光栅 L.G.—Littman光栅

这样就构成了一个高色散、高损耗的激光器。

我们还设置了一个如图1的染料激光腔，泵浦光仍采用XeCl准分子激光输出，染料为Rh6G，光栅为1800 l/mm、对6000 Å闪耀的光栅， M_1 、 M_2 为全反射镜。根据(1)、(2)式，改变光栅掠入射角则可改变光栅的照亮长度，从而可改变光腔的单程频带宽度。同时由图2可以看出，光腔的损耗也随光栅入射角的增加而增加。这样，我们就可以研究激光的输出频带与光腔的单程频带宽度以及光腔的Q值之间的关系。由于泵浦光经一石英柱面透镜聚焦于染料池内的一条线上，以泵浦光为轴，在垂直于泵浦光入射的平面内转动石英柱面透镜，就可以改变染料盒内泵浦光轴线与染料激光腔轴线之间的夹角 α ，这就可以研究激光频带与介质增益以及频带与夹角之间的依赖关系。

激光输出的频带宽度用法布里-珀罗标准具来测量，激光通过法布里-珀罗标准具所形成的圆环，可由一个一维的光电二极管阵列在条纹的焦平面上通过圆环中心接受后，再输出到示波器或计算机中进行数据处理，也可用拍照片的方法将圆环图象负片冲洗后用黑度计测量纹环直径及条纹宽度，进而算出光谱宽度。

二、结果与讨论

我们对图3所示的单程带宽作了估算，参考文献[6]，在所示的参数下，如果掠入射的光栅照亮长度为10cm，则激光器单程带宽的理论值为1.1GHz。

使用一个自由光谱区为3.3GHz、精细度为15的法布里-珀罗标准具对激光输出的频带进行了测量，在标准具条纹的焦平面上用一个一维的光电二极管阵列接收。图4为所记录的法布里-珀罗标准具条纹形状，所测得的频带宽度为1.2GHz。如果考虑到图3中Littman光栅的长度的限制，掠入射光栅的照亮宽度略小于10cm，再加上检测的标准具所具有的分辨能力，理论值与实验值是十分接近的。由此可以证明对于一个高损耗腔即在无源腔Q值很小的情形下，激光器输出光的频带，完全取决于腔内的色散元件。

从图4中可以看出，激光频带含有两个模式结构，模式间隔所对应的腔长，是Littman光栅中心到染料池的长度。此结果表明在没有形成反馈腔结构的条件下，由于染料的高增益效应，染料池内散射所提供的反馈，也可与Littman光栅一起满足腔的振荡条件。

对图1所示的激光腔，我们研究了频带与光栅掠入射角的依赖关系。利用一个自由光谱区为20GHz、精细度为20的法布里-珀罗标准具，用拍照的方法测量激光的频带宽度。在改变光栅掠入射角时，图

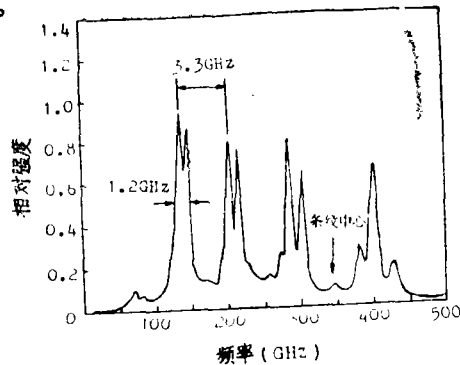


图4 无反馈腔激光器的频带特性

1中的夹角 $\alpha = 4^\circ$ ，当激光在腔内照亮整个掠入射光栅的长度时，所测得的激光带宽为 3 ± 1 GHz，而在同一条件下的单程带宽的理论值为6.25GHz。我们认为产生这一误差是由以下的原因造成的：1.参考图1，文献[2]和文献[6]在计算激光带宽时，仅考虑了光从染料池中心到掠入射光栅-反射镜组后再返回到染料池中心时由于色散所形成的带宽，然而计算单程带宽，应该考虑光在腔内一完整的往返过程，即考虑光经光栅-反射镜组后返回染料中，这样，因为 M_1 的反射，腔内的有效通光孔径将变小，因而频带的理论值也变小；2. 计算频带时，

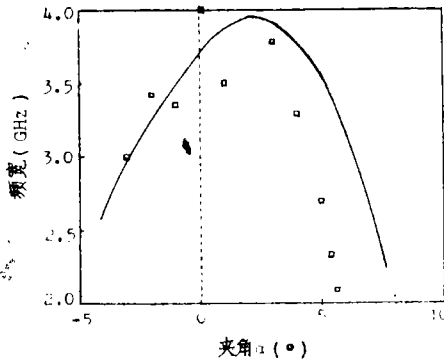


图5 激光频带与夹角 α 的关系

文献[2]和文献[6]都假设了光在腔内为高斯基模分布，而我们的测量表明，在横向泵浦的染料激光器中，即使在腔内插入数个光栅，激光也不是高斯分布，而接近一般的小孔衍射分布；3. 文献[2]和文献[6]的理论计算没有考虑增益介质的影响；4. 光在腔内多次穿行也将有效地压缩激光的带宽。

固定掠入射角为 89.6° ，激光频带随夹角 α 的变化而改变。当二者的夹角为 0° 时，激光频带变宽，自发辐射的背景增强。当二者夹角为 4.5° 时，从图5可看出，激光频带变窄，由法布里-珀罗标准具所观察到的激光干涉条纹呈现出的高反差可看出ASE背景光变小。

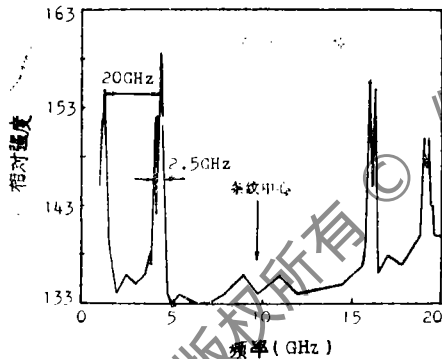


图6 单一脉冲的激光带宽

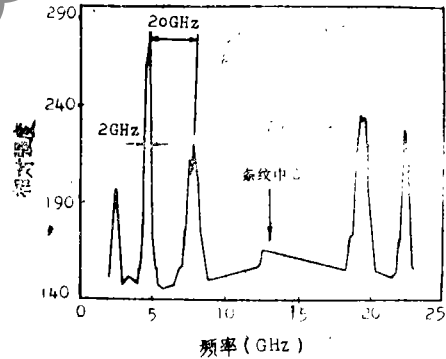


图7 20个脉冲的平均激光带宽

注意到以上的条件，并正确地调整激光腔两端面的反射镜，我们获得了单个脉冲的带宽为2GHz的激光输出和时间平均带宽小于2.5GHz的输出。图6和图7分别为单一激光脉冲与20个激光脉冲的平均带宽。

三、结 论

对无反馈腔的高色散脉冲染料激光器，由于增益因子高，仍可以形成窄频带的激光输出。对激光频带的分析表明，染料池的散射反馈可引起腔效应，因此激光泵浦的染料激光器可以在损耗很高的情况下工作，这就容许在染料激光器内插入高损耗、高色散的元件，此实验还为窄频带纳秒级激光的行波激光放大器提供了一些设计依据。对一般结构的光栅掠入射染料激光腔，在光栅的掠入射角以及染料池中泵浦光入射和光腔轴夹角得到较好的控制时，

激光全息实时法测量新鲜人体 下颌骨皮质骨骀龈方向泊松比

陈新民 赵云凤

(华西医科大学, 成都)

摘要: 本文应用激光全息干涉术测量了新鲜人体下颌骨皮质骨骀龈方向的泊松比, 采用微机光笔图象分析系统处理全息, 较之传统的方法简便、快速和精确。

**Measurement of poisson's ratio of cortical bone of the
fresh human mandible in the occlusogingival direction
by real-time holography**

实验所测得的实际频带宽度比单程线宽的计算值低出数倍甚至一个量级, 这就说明在色散不变腔Q值增大的情形下激光的频带变窄。如果在图1所示的染料激光腔用一个Littman光栅来替代光栅端面的反射镜, 可望获得更窄的单程线宽, 染料池与掠入射光栅间放置一个棱镜组扩充器, 还可以在压缩单程线宽的同时增加激光器的转换效率。

参 考 文 献

- [1] Appl. Opt., 1972, Vol. 11, P. 895.
- [2] Appl. Opt., 1978, Vol. 17, P. 2222.
- [3] Appl. Opt., 1984, Vol. 23, P. 4465.
- [4] Appl. Opt., 1980, Vol. 19, P. 3651.
- [5] Opt. Commun., 1981, Vol. 36, P. 399.
- [6] Appl. Opt., 1981, Vol. 20, P. 985.

作者简介: 周建英, 男, 1957年12月出生。获英国伦敦大学帝国理工学院物理系博士。现从事波导内的超快非线性光学研究。

黄作柱, 男, 1944年10月出生。讲师, 硕士。现从事CARS光谱及其应用研究。

罗黎明, 男, 1935年1月出生。副教授, 系副主任。主要研究成果有: 外加磁场提高激光显微发射光谱分析灵敏度的实验研究。

收稿日期: 1989年6月23日。

收到修改稿日期: 1990年1月8日。