

脉冲式可调谐染料激光器的性能研究

颜 炳 玉

(北京光电技术研究所激光器研究室)

提 要

本文给出脉冲式可调谐染料激光器的结构参数及其泵浦源的性能参数。重点介绍脉冲式染料激光器的波长覆盖范围及用光栅和法布里-珀罗标准具压缩谱线宽度等研究工作、实验结果及测试方法。简单给出染料激光器其他性能的实验数据。

Research on properties of pulsed tunable dye lasers

Yan Bingyu

(Laser Laboratory, Beijing Institute of Optoelectro-Technology)

Abstract

Constitutional parameters of the pulsed dye laser and properties of the pumping laser are given. Emphasis is put on the experimental research on its tunable range and the bandwidth narrowing with a diffraction grating and a Fabry-Perot etalon. Experimental results of the dye laser properties and their measurement methods are given.

自从可调谐染料激光器问世以来,发展是十分迅速的,这是由于它是激光光谱学不可缺少的手段之一。高分辨率激光光谱用来研究物质的超精细结构;超短脉冲的时间和空间高分辨率光谱用来研究物质的瞬态变化及微观动力学过程;在工业上用激光光谱可进行微量和超微量的高灵敏度的物质分析。此外可调谐染料激光器在同位素分离、光化反应等方面也有着极其重要的意义。

近年来我们研制了 QJR 2-1 型和 QJR 2-2 型可调谐染料激光器。在 QJR 2-1

型染料激光器的基础上,我们做了部分的修改,研究了染料激光器的性能。主要进行了波长调谐范围,用光栅和法布里-珀罗标准具压缩线宽等方面的实验研究。

一、实验装置及其结构参数

实验装置如图 1 所示。

1. 泵浦源

泵浦源为北京光电所研制的密封油浸式

收稿日期, 1979 年 8 月 16 日。

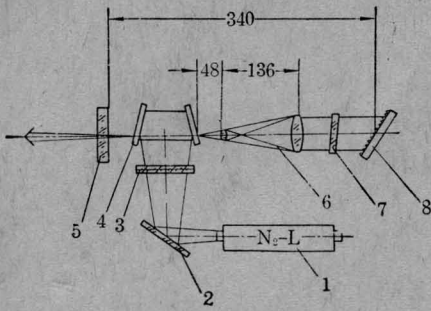


图1 可调谐染料激光器原理图

1—泵浦源—氮激光器 2—镀铝反射镜 3—柱面镜
4—染料池 5—谐振腔反射镜 6—扩束望远镜 7—法布里-珀罗标准具 8—光栅

氮分子激光器，其外形结构如图2所示。该氮分子激光器的具体技术参数如下：

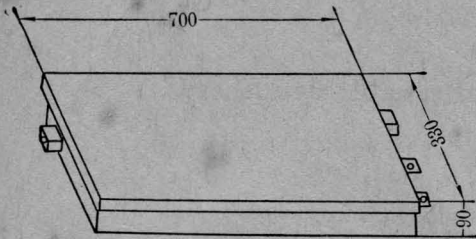


图2 密封油浸式氮激光器外形图

输出波长：337.1 毫微米

输出能量：3.3 毫焦耳/脉冲

脉冲宽度：4 毫微秒

脉冲重复频率：50 次/秒

密封油浸式氮激光器的主要优点是性能稳定，寿命较长，结构紧凑，没有臭氧，使用方便。过去曾使用由双面附铜印刷线路板制作的氮激光器，它的寿命可达250小时左右（电容击穿），此外它还受外界气候湿度的影响。而密封油浸式氮激光器至目前为止已使用500多小时，尚未出现过任何异常现象，外界气候对它毫无影响。

最近北京光电所又研制了大型密封式油浸氮激光器，电极长度为800毫米，最大输出功率可达2兆瓦。

2. 染料激光器的结构参数

谐振腔反射镜镀有宽带多层介质膜，中

心波长为590毫微米，反射率 $R=40\%$ 。染料池为不锈钢的，两端面夹角约 5° ，紫外光入射窗口为石英镜片，染料激光的输出窗口为镀可见光增透膜的光学镜片。柱面镜焦距 f 为45毫米，镀有紫外增透膜。扩束望远镜为20倍内调焦式。法布里-珀罗标准具由两块石英镜片和一钢制隔离环构成，两反射面的间隔 d 为2.35毫米，反射面镀有宽带多层介质膜，反射率 $R=87\%$ 。光栅为1800条/毫米的原刻光栅，闪烁波长为546.1毫微米。

由氮激光器输出的337.1毫微米波长的紫外光通过石英柱面镜在染料池底面上1毫米以内处聚焦，使染料产生超辐射光，超辐射光的谱线宽度是很宽的，根据不同的染料分子结构而不同。超辐射光的方向决定染料激光的光轴，染料激光器的其他部件的调整均应以它为准。对染料激光器除正确的选择各元件及相互配合的参数外，精心细致地和准确地调整是十分重要的，只有这样才能最后获得最佳的结果：较大的波长调谐范围、较窄的谱线宽度、较高的输出能量及较小的发散角等。

二、染料激光器的性能及测试方法

使用上面介绍的实验装置及泵浦源对可调谐染料激光器进行了以下诸方面的性能研究。

1. 染料激光器的波长调谐范围

我们分别对十几种染料进行了实验。用光栅调谐使用十种染料及其混合物可获得360.0~713.5毫微米的连续覆盖的波长调谐范围。对此范围所用染料、溶剂、浓度及输出波长等列于表1。染料激光器的输出波长用GDM-1000型光栅双单色仪测得，该仪器的测量范围为 $7500\sim 35000$ 厘米 $^{-1}$ ，精度为 ± 2 厘米 $^{-1}$ ，波长重复性为 ± 1 厘米 $^{-1}$ ，全程分辨率为 ± 1 厘米 $^{-1}$ 。

2. 染料激光器的输出谱线宽度

表 1 脉冲式可调谐染料激光器的波长覆盖范围

染料名称	溶剂	浓度(克分子/升)	波长范围(毫微米)	峰值波长(毫微米)*
PBD	乙醇	1×10^{-3}	360.0~388.3	367
POPOP	四氢呋喃	5×10^{-4}	410.9~448.7	427
四甲基伞形酮	乙醇	1×10^{-2}	390.0~540.0	489
香豆素	乙醇	1×10^{-2}	515.9~543.2	522
荧光素钠	乙醇	1×10^{-3}	539.0~574.1	556
二氯荧光素	乙醇	1×10^{-2}	546.8~599.4	563
若丹明 6G	乙醇	2×10^{-3}	564.0~607.2	581
若丹明 B	乙醇	2×10^{-3}	595.3~642.7	623
甲酚紫+R _B	乙醇	$2 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3}$	637.4~660.3	649
甲酚紫	乙醇	2×10^{-3}	647.3~692.8	679
耐尔兰	乙醇	$1 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-4}$	688.3~713.5	699

* 在此波长附近

染料激光器的输出线宽与很多因素有关,例如扩束镜的放大倍数,光栅常数及使用级次,法布里-珀罗标准具的自由光谱区及精细常数等。

我们使用 1800 条/毫米原刻光栅的一级衍射; 20 倍内调焦式扩束镜; 使用染料为若丹明 6G, 溶于乙醇中, 2×10^{-3} 克分子浓度。对 600 毫微米的波长, 仅用光栅而不加标准具调谐, 输出线宽为 0.03~0.04 毫微米。该线宽的测试用 GDM-1000 型光栅双单色仪进行。

如果在光栅和扩束镜之间加一法布里-珀罗标准具, 线宽可压缩一个数量级。压缩线宽所用标准具参数如下: 直径为 35 毫米, 两反射面的间距 $d=2.35$ 毫米, 石英镜片的平面度为 $\lambda/20$, 反射表面镀有宽带多层介质膜, 波长使用范围为 590 ± 50 毫微米, 对中心波长反射率 $R=87\%$ 。由此所得精细常数 $F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} = 22.5$; 自由光谱区 $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2nd} = 0.074$ 毫微米; 谱线宽度 $d\lambda = \frac{\Delta\lambda}{F} = 0.0033$ 毫微米。

染料激光器经标准具压缩后的谱线宽度是使用了一个测试法布里-珀罗标准具测得的。测试装置示于图 3。测试标准具的参数如下: 直径为 60 毫米, 平面度为 $\lambda/20$, 反射

镜面镀有宽带多层介质膜, 波长范围为 590 ± 50 毫微米, 对中心波长反射率 $R=94\%$ 。两反射表面间距 $d=20$ 毫米。由上面的参数可明显地看出, 测试标准具的分辨率远远优于染料激光器的分辨率, 它对测量线宽的影响可忽略不计。测试装置中所用聚光镜的焦距为 500 毫米。

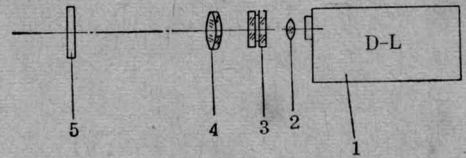


图 3 谱线宽度测量装置

1—染料激光器; 2—发散透镜; 3—测试标准具; 4—聚光镜; 5—底片盒

用上面的测试装置所拍摄的干涉条纹见图 4。我们对所拍的干涉条纹的直径用阿贝比长仪进行了测定, 并用下式进行计算^[1]:

$$d\lambda = \frac{d_2' - d_1'}{8f^2} \lambda \quad (1)$$

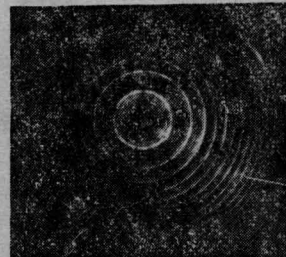


图 4 染料激光器输出线宽的干涉条纹

式中 $d\lambda$ 为标准具压缩后的染料激光器的线宽, d_1 及 d_2 分别为干涉条纹的内外直径, λ 为使用波长, f 为聚光镜焦距。

我们分别对拍摄的四个干涉条纹底片进行了测量, 按上式计算所得实际测量结果为: 1# 底片 $d\lambda_1=0.0035$ 毫微米; 2# 底片 $d\lambda_2=0.0030$ 毫微米; 3# 底片 $d\lambda_3=0.0032$ 毫微米; 4# 底片 $d\lambda_4=0.0032$ 毫微米, $d\lambda_{\text{平均}}=0.0032$ 毫微米。

此外在用光栅和标准具调谐的染料激光器中需考虑以下两个问题: 首先为了获得染料激光器的单模输出, 光栅调谐线宽与标准具的自由光谱区应有一定的匹配关系, 当二者近似相等或后者略大于前者时, 经常会有其他纵模出现, 虽然有时强度较弱, 但往往会影响使用, 为了消除其他纵模, 标准具的自由光谱区应为光栅线宽的 2~3 倍。其次在用光栅和标准具调谐时还应考虑二者的同步问题。光栅的输出峰值应与标准具的振荡波长相重合, 并在调谐过程中使二者同步, 使标准具跟踪光栅输出峰值振荡, 这样才能得到最佳的输出能量及最小的能量起伏。

3. 其他性能参数

染料激光器的发散角有着重要的意义, 一方面它直接影响染料激光器的线宽, 另一方面影响染料激光器的倍频效率。从文献[2]中我们知道, 为减小发散角, 扩束镜必须使用短焦距的目镜和长焦距的物镜。但目镜焦距短至几毫米是有限的, 可通过增大物镜焦距的方法减小发散角。物镜焦距的增大将导致腔长的增大, 由于泵浦源氮激光器的脉宽仅为 4~5 毫微米, 从而将影响到染料激光器的输出功率, 因此在选择这些参数时必须全面衡量。

我们使用扩束镜的目镜焦距 $f_1=9.20$ 毫米, 物镜焦距 $f_2=185.29$ 毫米。目镜至染料池的距离为 48 毫米、对 600 毫微米的输出

波长, 染料激光器的发散角(半角)约为 1~2 毫弧度。我们是通过多次测量和拍摄不同位置的光斑尺寸得到的。

染料激光器的脉冲宽度为 3.5 毫微米, 使用 SS-6300 示波器测得的。

三、结 束 语

我们使用输出功率为 825 千瓦的密封油浸氮激光器泵浦染料激光器。按照上面的结构装置获得染料激光器的性能参数归纳如下:

波长调谐范围: 360.0~713.5 毫微米

谱线宽度: 对 600 毫微米波长仅用光栅调谐线宽为 0.03~0.04 毫微米; 加标准具线宽为 0.0032 毫微米。

光束发散角: 对 600 毫微米波长为 1~2 毫弧度(半角)。

脉冲宽度: 3.5 毫微米。

为了满足有关方面的使用要求, 染料激光器需进一步改进与提高。首先为提高染料激光器的转换效率, 需增添一级、二级甚至于三级染料激光放大器。染料激光器对于短于 360 毫微米波长的输出需采用倍频器。波长调谐范围向近红外波段扩展主要决定于激光染料。为了满足高稳定性和高能量方面的需要, 脉冲式染料激光器除氮激光器外, 还可采用钇铝石榴石激光器、红宝石激光器及准分子激光器等做泵浦源。谱线宽度可选择不同的光栅和标准具进一步压缩。染料激光器的性能改进与提高将为激光光谱、激光化学、激光同位素分离等方面提供更为有利的研究工具。

参 考 文 献

- [1] H. G. Heard; Laser Parameter Measurements Handbook.
- [2] T. W. Hansch; *Appl. Opt.*, **11**, No. 14, 895 (1972).