

高重复率稳定输出的1.545  $\mu\text{m}$  Q开关钕玻璃激光器

本文介绍了最近研制的对光纤层错定位合适的长脉冲Q开关钕玻璃激光器。特制的无热棒可在5Hz重复频率下工作,并将荧光监控这种反馈稳定Q开关方法用于这种三能级激光系统。在输出能量为2mJ,脉宽为1 $\mu\text{s}$ 时获得功率稳定度(标准偏差)为 $\pm 3\%$ 。

作为一种有效的人眼安全固态激光器,人们对在1.5 $\mu\text{m}$ 谱带工作的钕玻璃激光器作了广泛的研究[1,2]。其应用包括测距[3]和光纤的层错定位,因为1.545 $\mu\text{m}$ 波长与硅光纤的最小损耗波长十分匹配。虽然已用1.32 $\mu\text{m}$  Q开关Nd:YAG激光器验证了光纤损耗为0.7dB/km,大约40km长单模光纤的层错定位[4,5],但是假定输出满足下述条件,那么用钕玻璃激光器可以实现更远距离的层错定位。

由瑞利后向散射光强度决定的最大可测层错定位距离,可以用增加输入到光纤的光脉冲能量的方法来加长。为了避免出现非线性光学现象,最大输入光峰功率限制在数瓦内[4,6]。因此,为了增加最大可测层错定位距离,脉宽加长到微秒量级较好[7],即用损失定位分辨率换取最大可测距离。然而象这种长脉冲几乎不能用闪光灯泵浦的固体激光器来实现,因而激光光源的设计就成了个重要因素。此外,高重复率工作和输出功率高稳定度是改进层错定位系统信噪比的关键因素。

上述要求已由下述方法达到。为实现高重复率,采用无热磷酸盐玻璃[8](类似于钕玻璃LHG-8的制作)作基质玻璃。有人曾报道用这种玻璃实现了30Hz[9]和连续[10]运转。要降低所需的泵浦能量,把Yb和Nd离子掺进玻璃作激活剂[11],其浓度选择得到高荧光强度。为了延长Q开关脉冲,普通的Q开关分析法[12]要求在低损耗腔内接近阈值工作。

由于激光输出能量脉动和泵浦能量脉动的比率在阈值附近工作时将增加,输出功率的稳定性是重要的。输出能量 $P_{out}$ 表示为 $S(P_{in} - P_{th})$ ,其中 $S$ ,  $P_{in}$ 和 $P_{th}$ 分别是微分子效率,泵浦能量和阈值能量。因此输出能量脉动 $\eta$ 表示为:

$$\eta = C / (1 - P_{th} / P_{in})$$

式中, $C$ 是泵浦能量脉动。例如,假定 $P_{in} / P_{th}$ 为1.1,则输出能量脉动大约是泵浦能量脉动的10倍。为了抑制这种脉动,我们采用了含有荧光监控的反馈稳定Q开关方法,如原先提出用于Nd:YAG[13]激光器的方法一样。当上能级的布居数达到预定的稳定能级,Q开关就触发。在不可避免的存在着闪光灯光强度脉动的情况下,用这种方法输出脉动可以大大降低。

然而,这种Q开关方法用于三能级钕玻璃激光器有如下技术问题,在三能级激光系统

中,反转强度取决于基态布居数密度,基态布居数密度随泵浦能量、棒温以及其他环境条件变化。由于荧光强度与基态布居数密度无关,不可能象 Nd:YAG激光器<sup>[13]</sup>那样获得输出高稳定度。此外,三能级工作所要求的高阈值泵浦能量在棒内引起相当大的热双折射和热透镜效应。这些都可能引起除输入能量脉动引起的脉动之外的一些附加激光输出脉动。因此利用无热棒和激光棒的温度稳定对于降低热致激光输出脉动是重要的。

图 1 示出振荡器的结构,一根直径为 3mm,长50mm 的玻璃棒用Xe闪光灯泵浦,用循环水冷却稳定到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。一个低损耗声光调制器用作Q开关,它具有高至 20%的衍射效率,并且在激光波长处传输损耗少于 2%。

荧光是用锗光电二极管监控的。一个滤光器消除了闪光灯的光,这种滤光器作起来没有困难,因为 $0.9\mu\text{m}$ 左右有效泵浦谱带离 $1.55\mu\text{m}$ 的荧光波长很远。Q开关中的比较器将荧光强度和预定强度相比较而确定Q开关时间<sup>[13]</sup>。比较器后随一掩蔽电路以防止在长达 $500\mu\text{s}$ 的荧光建立时间内由于比较器的抖动而引起的不规则Q开关触发。

根据荧光峰值强度和闪光灯输入能量之间的线性关系,由Q开关起始点的荧光强度估计出等效泵浦能量。在闪光灯输入能量固定在116J时,改变Q开关的起始点就改变了泵浦能量。

这种激光器的阈值泵浦能量约是 85J,在输出耦合系数为 11%时,微分量子效率为 $2 \times 10^{-4}$ 。图 2 示出Q开关脉冲长度与泵浦能量的特性曲线。在 $1\mu\text{s}$  Q开关脉冲长度时,输出峰值功率大于 1kW,这对于层错定位是足够强的。图 2 中的虚线从 Q开关速率方程式推导出来,在速率方程的计算中可调整的参数是内腔损耗。当假定损耗为 2.5%时,这条曲线与实验曲线非常接近。

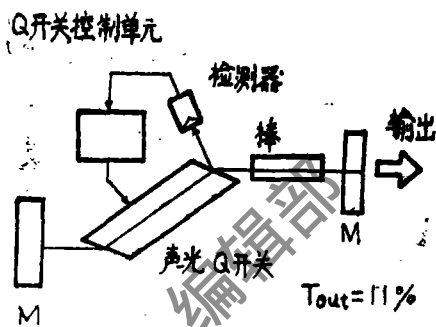


图 1 振荡器结构

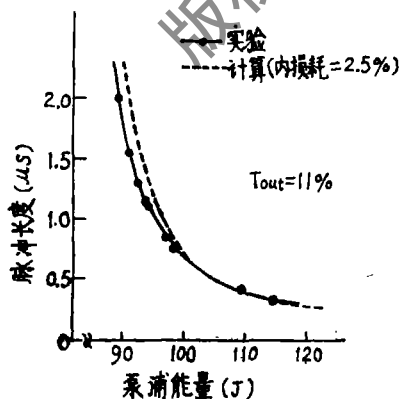


图 2 Q开关脉冲长度与泵浦能量特性曲线。虚线由 Q开关速率方程式与作为可调参数的内腔损耗得到。最适宜的谐振腔损耗为 2.5%

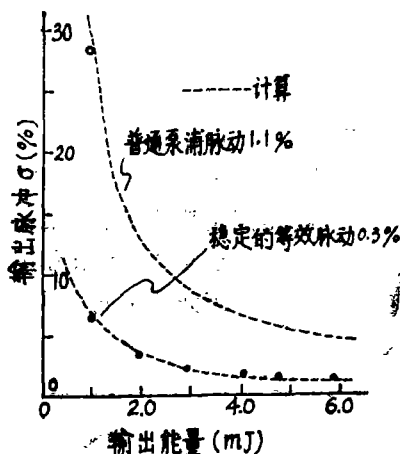


图 3 输出能量脉动与输出能量的特征曲线。黑点和圆圈分别是根据普通情况和稳定情况下测得脉动绘制的,计算曲线由方程(1)导出

图3以标准偏差绘制测得输出能量脉动特性。上面那条曲线由方程(1)计算出。在普通非稳定的情况下测得的泵浦脉动为1.1%。

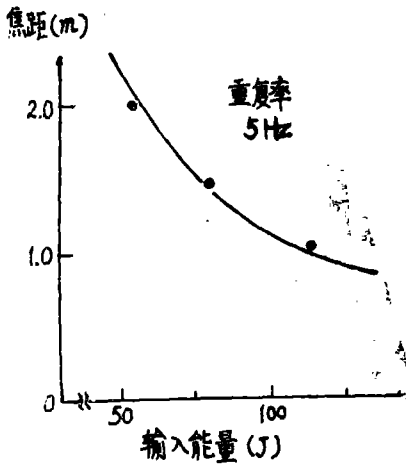


图4 棒焦距与输入能量的特性曲线

下边的那条曲线是稳定的情况,假定泵浦脉动为0.3%时,计算值与实验值接近。这些结果表示输出脉动压缩到非稳定情况的四分之一。在1 $\mu$ s脉冲长度2mJ输出能量的典型操作条件下(相应于相对泵浦能量为1.1P<sub>th</sub>)得到的输出脉动为 $\pm 3\%$ ,这一值与Nd:YAG四能级情况<sup>[13]</sup>相当,因而可以认为低得足以用于光纤层错定位。

图4示出测得的热透镜效应。即使在5Hz 116J的最大输入条件下,焦距大约为1m,它实质上比谐振腔长。在这些条件下容易制造稳定的激光谐振腔。在适合的电源下将得到更高脉冲重复率。热透镜效应减少到最小是因为前面描述的极好的无热特性引起的。

结论:已经实现了重复率5Hz, Q开关脉冲超过1 $\mu$ s,输出稳定的钕玻璃激光器。它很适用于超远距离(>100km)光纤的层错定位。为了实现高重复率和长脉冲,采用了包括荧光监控的反馈稳定的Q开关方法和低损耗声光调制器以及无热玻璃棒,还预期到这种人眼安全的激光器对其它方面的应用,包括光纤维标定和测距等。

#### 参 考 文 献 (略)

译自 Opt. Lett., 1984, Vol. 9, No. 5, P. 147~149.

王新菊 译 喻其寿 校

### 下 期 部 分 内 容 预 告

激光技术的发展前景及其对未来社会的影响  
舰载防空激光武器  
半导体激光器激励电路  
全内反射式片状Nd:YAG激光器

CO<sub>2</sub>激光器谐振腔的一种调试方法  
直接十进制频与短、中程相位测距  
激光锁模技术(讲座)  
光纤传感器专题文摘