

文章编号:1001-5078(2009)08-0861-04

· 激光器技术 ·

千赫兹二极管抽运 Nd:YAG 激光器

杨文是,于继承,吕明春,朱相帮,毛小洁,秘国江
(固体激光技术国家级重点实验室,北京 100015)

摘要:报道了一种采用双二极管抽运头、电光调 Q 实现高重频、窄脉宽 Nd:YAG 激光输出特性。在重复频率 1 kHz,二极管驱动电流 65 A, BBO 晶体电光调 Q 条件下,实现了平均功率 6.5 W,电光效率 10%,脉冲宽度 17.25 ns 的 TEM₀₀ 模 1064 nm 激光输出。研究了 KD*P 及 BBO 晶体的高重频工作特性,为下一步在高重复频率抽运时获得大能量的高光束质量激光输出奠定较好的基础。

关键词:激光技术;二极管侧面抽运;电光调 Q ;高重复率

中图分类号:TN248.2 **文献标识码:**A

LD-pumped electro-optic Q -switching master oscillator lasers with pulse repetition rates 1 kHz

YANG Wen-shi, YU Ji-cheng, LÜ Ming-chun, ZHU Xiang-bang, MAO Xiao-jie, BI Guo-jiang
(National Key Laboratory of Solid-State Laser Technology, Beijing 100015, China)

Abstract: The characteristic of a diode (LD) side-pumped Nd:YAG crystal, electro-optic Q -switching with high repetition rates, narrow pulse width and high beam quality is presented in this paper. The experimental results with incident pump current of 65 A, repetition rate of 1 kHz, BBO Q -switching, average power of 6.5 W, electro-optic efficiency is 10%, pulse width of 17.25 ns, TEM₀₀ laser is obtained. The characteristic of KD*P and BBO crystal with high repetition rate is studied. The study foundation was built up for the future experiments of high repetition rate, high energy and high beam quality laser.

Key words: laser techniques; LD side-pumped; electro-optic Q -switching; high repetition rates

1 引言

近年来,激光二极管(LD)在输出功率、转换效率和工作寿命等方面的巨大进步为二极管抽运的固体激光技术发展提供了有力的支持和保障,其封装形式及结构上的灵活性又为新思想、新技术的产生提供了广阔的发展空间。重复频率达千赫兹以上,脉宽纳秒量级的高重频、窄脉宽固体激光器在空间目标探测与通信、三维激光成像雷达、光学频率转换及激光精细加工等许多领域^[1-2]具有重要的应用价值^[3]而受到广泛重视。通常,声光调 Q 、被动调 Q 及电光调 Q 等技术是压缩激光脉宽、实现纳秒量级激光输出的有效方法,但声光 Q 开关速度慢,形成的脉宽一般较宽^[4-5],被动 Q 开关效率低,时间控

制精度差,因而电光调 Q 成为获得高重频、高光束质量和窄脉冲激光输出最可行,也是最为有效的技术手段。这种类型的激光器还可作为主振荡器,通过多级放大实现功率的进一步扩展。因此研究千赫兹电光调 Q 的激光器输出特性具有十分重要的意义。

2 实验装置

2.1 二极管侧面抽运聚光腔结构设计

大功率二极管侧面抽运聚光腔是本激光器系统的核心器件,设计时必须综合考虑抽运效率、抽运均匀性和冷却效果的关系。如图1所示为我们自行设

作者简介:杨文是(1975-),男,硕士,高级工程师,主要从事高功率固体激光方面的研究。E-mail:w_syang@126.com

收稿日期:2009-03-24;修訂日期:2009-07-07

计的五方向侧面抽运聚光腔结构示意图。

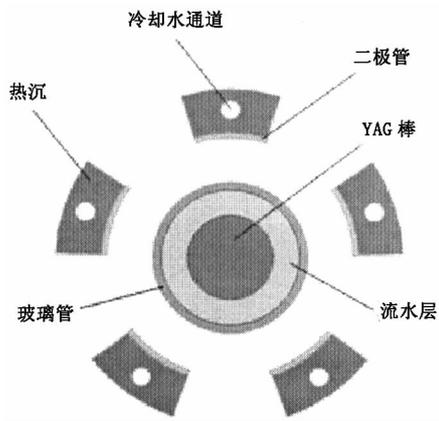


图1 聚光腔结构示意图

聚光腔总体布局上采用了五方向侧面抽运结构。每个方向上并行排布有5支国产LD,它们被封装在同一个热沉上。每个聚光腔由25只LD组成,每只LD的峰值功率最高可达100W,因此每个聚光腔的峰值抽运功率最高可达2500W。每个热沉内部加工有冷却通道,通过水冷实现温度控制,当工作温度为25℃时,LD的中心波长为808nm。聚光腔的中心为圆棒状激光工作物质Nd:YAG晶体,尺寸 $\phi 5\text{ mm} \times 80\text{ mm}$,掺杂浓度为1.0% at;Nd:YAG晶体外装有石英套管,石英套管与Nd:YAG间通水冷却。由于工作物质采用Nd:YAG晶体,因此每个抽运脉冲的泵浦时间设定为200 μs 。

虽然采用LD作为抽运源大幅降低了工作物质的热效应,但由于存在固有的量子损耗,工作物质的热效应仍不可避免,尤其是在高功率LD抽运条件下,这种热效应会非常显著。它不但与具体的抽运结构有关,还与抽运功率的大小密切相关,不同的抽运功率对应不同的热焦距。实验中,利用He-Ne激光光源实际测试了LD驱动电流70A时,Nd:YAG晶体的热透镜焦距随重复频率的变化情况,如图2所示。

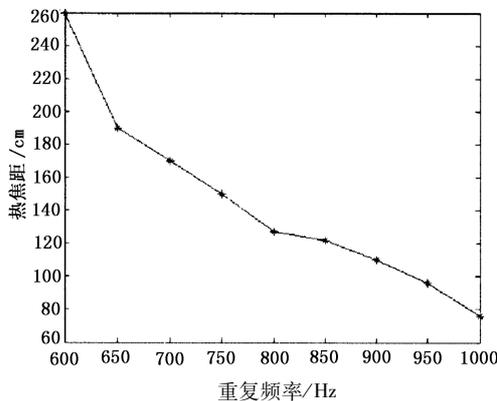


图2 Nd:YAG晶体的热焦距和重复频率关系

2.2 谐振腔特性分析和数值计算

实验装置如图3所示。

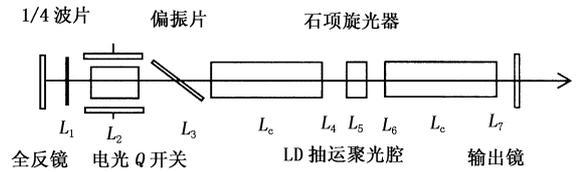


图3 实验装置示意图

激光器谐振腔采用直腔式结构,总长540mm,全反镜为平镜,输出镜为平高斯镜;谐振腔中采用了双聚光腔串接、级间加石英旋光器方式,用以补偿高功率LD抽运时工作物质的热致双折射效应,两个聚光腔间距285mm。

实验中,分别采用KD*P和BBO晶体作为电光Q开关材料,其1/4波长电压宽度约为120ns,上升沿为62ns,和1/4波片一起实现加压式调Q。

图中, L_1 代表全反镜前表面与调Q晶体前端面的距离; L_2 代表调Q晶体的长度; L_3 代表调Q晶体后端面与第一根Nd:YAG晶体前端面的距离; L_c 代表Nd:YAG晶体的长度; L_4 代表第一根Nd:YAG晶体后端面与石英旋光器前端面的距离; L_5 代表石英旋光器的长度; L_6 代表石英旋光器后端面与第二根Nd:YAG晶体前端面的距离; L_7 代表第二根Nd:YAG晶体后端面与输出镜前端面的距离。则谐振腔的往返矩阵为:

$$M = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_2/2n_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & L_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & L_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_5/2n_5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_6 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_7 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & L_6 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_5/2n_5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_c/2n_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & L_2/2n_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, n_c 为 Nd:YAG 晶体的折射率; n_2 为调 Q 晶体的折射率; n_5 为石英旋光器晶体的折射率; f_r 为 Nd:YAG 晶体的热透镜焦距, 利用 He - Ne 激光测得, 当 LD 驱动电流为 70 A 时, f_r 约为 76 cm。

根据谐振腔稳定性条件:

$$\left| \frac{A+D}{2} \right| \leq 1 \quad (2)$$

找出谐振腔的稳区。为使主振荡器紧凑, 谐振腔内各器件之间距离设计为 $L_1 = 8.75$ cm, $L_2 = 2.5$ cm, $L_3 = 12.25$ cm, $L_c = 8$ cm, $L_4 = 5.5$ cm, $L_5 = 1.5$ cm, $L_6 = 5.5$ cm, $L_7 = 2$ cm。其谐振腔的稳态图如图 4 所示。

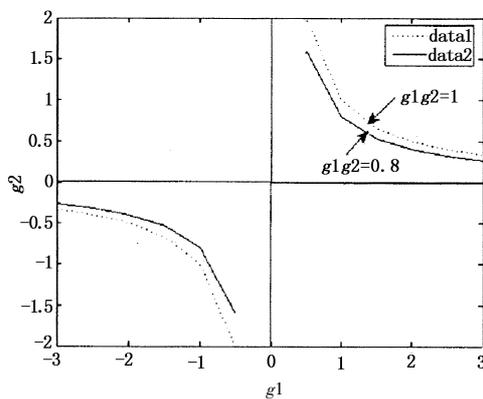


图 4 谐振腔稳态图

图中, 虚线表示理想状态的谐振腔稳态图, 其稳态参数为 $g1g2 = 1$; 实线表示实际所设计的谐振腔稳态图, 其稳态参数为 $g1g2 = 0.8$; 落在稳态区内, 说明设计的谐振腔是稳定的。

3 实验结果与分析

3.1 激光静态输出特性

首先, 用 EPM1000 型激光功率计测量了重复频率 1 kHz, 谐振腔内无调 Q 晶体及 1/4 波片时激光输出功率随输入电流的变化情况, 如图 5 所示。

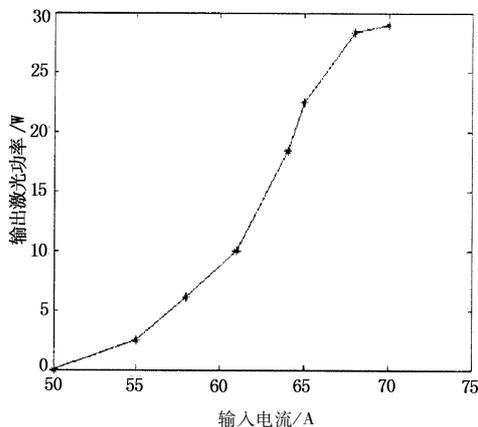


图 5 无调 Q 晶体时输出功率随输入电流的变化

从图 5 中可以看出, 阈值抽运电流为 50 A, 从 55 A 到 68 A 时, 输出功率增长迅速。输入电流超过 73 A 时, 输出功率增加缓慢。

3.2 KD*P 和 BBO 插入损耗性能测试

在谐振腔中分别插入 KD*P 和 BBO 晶体, 重复频率 1 kHz 时, 测量 KD*P 和 BBO 在非工作状态下激光输出功率随输入电流的变化情况, 如图 6 所示。

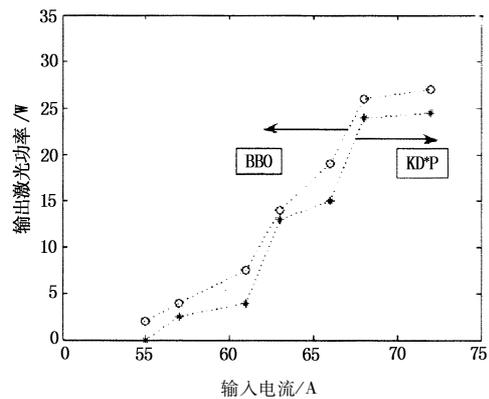


图 6 不调 Q 时输出功率随输入电流的变化

从图 6 中可以看出, 在谐振腔中插入 KD*P 晶体时阈值抽运电流为 55 A, 而在相同情况下插入 BBO 晶体时阈值抽运电流为 50 A, 比 KD*P 晶体的阈值抽运电流少 5 A, 说明 BBO 晶体的插入损耗比 KD*P 晶体的插入损耗小。但是随着 LD 驱动电流的增加, 无论是插入 KD*P 晶体还是 BBO 晶体, 输出功率都单调上升。由于抽运热量在 Nd:YAG 晶体上产生的热透镜效应, 使输出光斑减小, 所以在输入电流超过 72 A 时, 输出功率增加缓慢。

3.3 KD*P 和 BBO 调 Q 时的激光输出功率特性

在谐振腔中加入 1/4 波片, 分别用 KD*P 和 BBO 调 Q , 获得调 Q 时激光输出功率随输入电流的变化如图 7 所示。

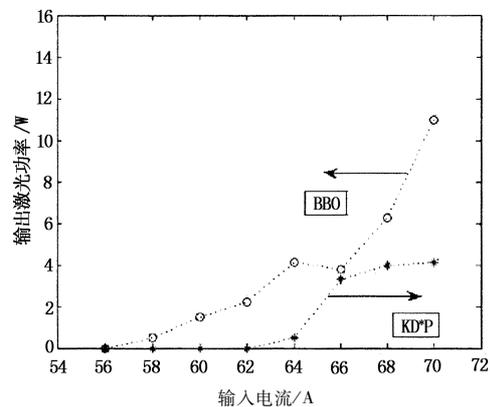


图 7 调 Q 时输出功率随输入电流的变化

从图7中可以看出,在谐振腔中插入KD*P晶体调Q时的阈值抽运电流为65 A,输出功率从66 A的0.4 W到67 A的3.6 W,增长迅速,但当输出功率超过3.6 W后,增长速度趋缓,到4.2 W后,随着驱动电流的增加,激光输出功率几乎不增长,这是因为KD*P晶体单通损耗约为2.5%,使得KD*P晶体在平均输出功率约为4 W时产生明显的热透镜效应,致使基模尺寸迅速减小,抵消了一部分光强的增长。

在谐振腔中插入BBO晶体调Q的阈值抽运电流为56 A,比KD*P晶体的阈值抽运电流少,而且随着抽运电流的增加,输出功率单调上升,到输出功率12 W时,还没有出现明显的输出功率滞长现象,这是因为BBO电光Q开关弱的压电振铃效应和上升时间短,使得BBO电光Q开关热性能稳定,热弥散效应小,热透镜效应在输出功率12 W时,还不十分明显。

3.4 BBO调Q时激光输出脉宽波形及光斑形状

在重复频率1 kHz,LD驱动电流65 A,激光输出功率6.5 W时,用泰克示波器 DSA70000 测量BBO晶体调Q激光输出脉冲波形如图8所示,脉冲宽度为17.25 ns。

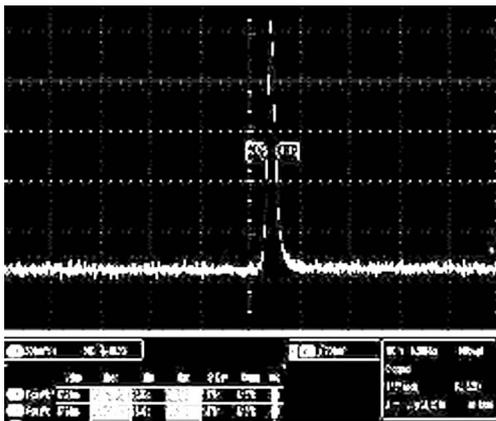


图8 BBO晶体调Q时激光输出脉冲波形

使用LBA-500型光束分析仪测得的输出光斑如图9所示。

从图9中可以看出,输出光斑为 TEM_{00} 模,光强分布理想,发散角为X方向:1.57 mrad,Y方向:

1.59 mrad。

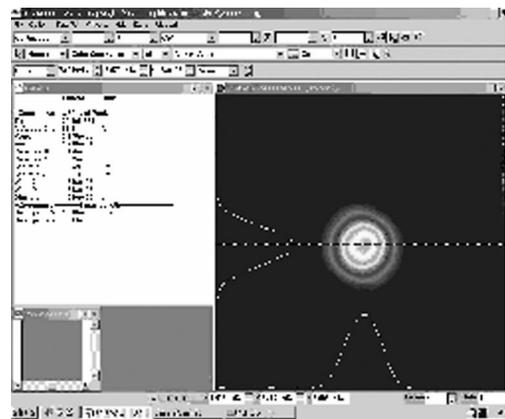


图9 BBO晶体调Q时输出激光光斑

4 结论

研究了双棒串接直通腔结构的单横模、高重频、窄脉宽主振荡激光器。在LD驱动电流68 A,重复频率1 kHz,采用BBO晶体电光调Q,获得最大功率达12 W的1064 nm基频激光输出。当LD驱动电流为65 A,重复频率1 kHz时,获得平均功率6.5 W,电光效率10%,脉冲宽度17.25 ns的1064 nm单横模激光输出,这一综合指标在当前国内高重频、电光调Q全固态激光器领域属领先地位。在保证光束质量的同时为进一步的功率放大打下了实验基础。

参考文献:

- [1] 刘立人. 卫星激光通信II地面检测和验证技术[J]. 中国激光,2007,34:147-155.
- [2] 杨洗陈,王雨,应朝龙,等. 高功率激光焊接船板的组织性能[J]. 中国激光,2007,34:866-870.
- [3] Zhimin Wang, Jian Qiu Xu, Weibiao Chen. High-power passively Q-switched ultra-thin slab lasers [J]. Chin. Opt. Lett.,2007,5(Suppl):36-38.
- [4] 冯永伟,戴殊韬,朱小磊. 热退偏损耗完全补偿的千赫兹电光调Q Nd:YAG激光器[J]. 中国激光,2007,34:1190-1193.
- [5] 李旭东,于欣,于俊华,等. 激光二极管双端抽运声光调Q高重复频率Nd:GdVO₄激光器[J]. 中国激光,2007,34:461-464.