

二极管近贴泵浦 Nd:YVO₄/Cr:YAG 被动调 Q 激光器^①

郑 权^② 叶子青 钱龙生

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130022)

摘 要 报道了采用国产 1W 连续激光二极管近贴式泵浦 Nd:YVO₄ 晶体,慢饱和吸收体 Cr:YAG 被动调 Q 结构的全固体、高效率、高稳定性、高重复频率 1064nm 红外激光器。在注入泵浦功率为 600mW 时,得到平均功率 138mW、脉冲宽度 19.8ns、重复频率 170.1kHz、峰值功率 40.96W 的被动调 Q 红外激光输出。在平均功率 100mW 下连续运转 1h,测得脉冲峰值稳定性优于 1.8%,周期稳定性优于 2%。

关键词 LD 近贴泵浦, Nd:YVO₄, Cr:YAG, 调 Q 激光器

0 引言

LD 泵浦的全固体激光器效率高、结构紧凑、光束质量好、性能稳定、寿命长,已日益引起人们的重视。尤其是调 Q 方式运转,具有脉冲宽度窄、峰值功率高、重复频率大等优点,在微加工、测距、遥感、激光雷达、光学数据存储、显微医学等领域有广泛的应用。

相对主动调 Q 方式,全固体被动调 Q 激光器不需要任何外部驱动装置,结构简单紧凑,成本低且易于使用。近几年,具有良好物理化学性能的慢饱和吸收晶体 Cr:YAG 的出现引起了国内外学者的极大兴趣^[1]。闪光灯泵浦或 LD 泵浦下的 Cr:YAG 被动调 Q 方式已经在 Nd:YAG、Nd:YLF 和 Nd:S-FAP 等红外激光器中成功地得到运用,输出了高重复频率脉冲红外激光^[2-4]。

由于 Nd:YVO₄ 的受激发射截面大(约为 Nd:YAG 的 5 倍)、激光上能级寿命短(仅为 Nd:YAG 的 1/2~1/3),人们一般认为它作为调 Q 激光器的增益介质时的储能效果不好,因此有关被动调 Q Cr:YAG/Nd:YVO₄ 红外激光器的研究报道很少^[5,6]。其中,文献[5]采用线性谐振腔结构,用 500mW 的 LD 直接泵浦 Nd:YVO₄/Cr:YAG 结构,仅获得脉宽 114ns、峰值功率约 0.3W 的脉冲激光序列;文献[6]报道了作者所在课题组用 1W 的 LD 经耦合光学泵浦 Nd:YVO₄/Cr:YAG 结构,获得了脉宽 32ns、峰值功率达 6W 的脉冲激光序列。

我们经过进一步研究发现,只要选取合适的设计参量,Nd:YVO₄/Cr:YAG 结构也可以获得高效稳定的 1064nm 调 Q 红外输出。另外,Nd:YVO₄/Cr:YAG 结构被动调 Q 激光器虽然峰值功率较低,但具有阈值低、效率高、脉冲和频率稳定的优点,仍具有一定的实用价值。

文中报道了一台使用国产 1W 连续激光二极管近贴泵浦 Nd:YVO₄/Cr:YAG 被动调 Q 激光器的实验结果;总结了调 Q 激光脉冲输出的平均功率、脉冲宽度、重复频率、脉冲能量和峰值功率随泵浦功率的变化规律。在注入泵浦功率为 600mW 时,得到平均功率 138mW、脉冲宽度 19.8ns、重复频率 170.1kHz、峰值功率 40.96W 的被动调 Q 脉冲红外激光输出。

1 实验装置

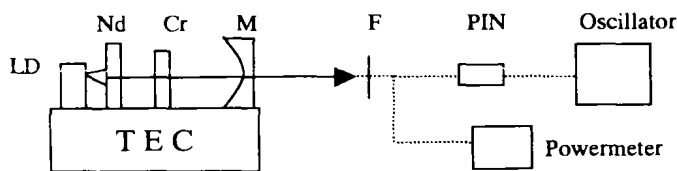
使用连续激光二极管泵浦 Nd:YVO₄ 晶体,可得到 1064nm 连续红外激光输出,然后在腔内再插入慢饱和吸收晶体 Cr:YAG,则可获得调 Q 的脉冲激光输出。

实验采用中科院半导体所生产的连续输出功率为 1W 的 LD 作为泵浦源;采用山东大学生长的 Nd:YVO₄ 晶体作为激光工作物质;采用中科院上海光机所生长的 Cr:YAG 作为 Q 开关;采用长春新产业公司提供的高稳定性驱动电源对 LD 提供稳定的电流,并对器件进行整体的高精度温度控制。这样,整台激光器实现了完全国产化。实验装置示意图如图

^① 863 计划(863-307-13-02,863-Z35-2B)。

^② 男,1973 年生,博士生;研究方向:大功率及高性能固体激光器,非线性频率变换技术;联系人。
(收稿日期:2001-04-10)

1 所示。



Nd—Nd:YVO₄; Cr—Cr:YAG; M—输出镜; TEC—制冷器; F—滤光片
PIN—快速硅光电二极管; Oscillator—示波器; Powermeter—功率计

图1 实验装置示意图

LD是一只连续输出1W的国产GaAlAs量子阱激光二极管,其发光结尺寸为 $1\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$, 18°C 下中心发射波长为807.3nm,发散角为 $(7.8\times 28.6)\text{deg}^2$ 。通过TEC严格的温控措施,使其波长调节为808.9nm,与Nd:YVO₄的吸收峰重合,从而最大限度地利用泵浦光。

通常,LD发出的光空间分布不对称且存在像散,需要经过圆化整形和聚焦后注入激光晶体,否则会因为模式匹配不好易产生多横模振荡,影响输出光斑质量^[7]。但我们在实验中采用了近贴泵浦方式,即LD发出的光直接入射到紧邻的Nd:YVO₄晶体上。

采用近贴泵浦主要是基于谐振腔内存在慢饱和吸收体Cr:YAG的考虑。具体地说,由于振荡光束在中心轴线附近具有最高的强度,从而最先漂白被动Q开关Cr:YAG在轴线中心及附近的位置;而对离轴线较远的位置来说则因其入射光功率密度低,不易漂白,从而损耗较大。因此,插入Cr:YAG总的结果相当于在腔内插入了一个“动态光阑”,导致高阶横模不易形成振荡,从而改善了输出光束的空间分布。另外,近贴泵浦方式避免光束传输和整形

过程中能量的损失,而且器件结构简单紧凑、成本低。

激光晶体Nd:YVO₄(厚度1.15mm,掺杂3at.%)的左端面镀808nm增透和1064nm高反膜作为激光器的一个腔镜,右端面镀1064nm增透膜;调Q晶体Cr:YAG(7mm×7mm×1.4mm,小信号通过率 $T_0=87\%$)两面均镀1064nm增透膜;输出平凹镜M左凹面(曲率半径50mm)对1064nm透过率为10%,右平面对1064nm增透。

原则上,为获得较窄的脉冲宽度,各元件尽可能地靠近以缩短腔长。但由于实验中机械调整结构的限制,使用的腔长约为9mm。

2 实验结果

实验结果测量前先滤去808nm的光干扰。用Coherent公司的LabMaster Ultima P540功率计、重庆光电所的PIN快速硅光电二极管(GT-106型)和瑞士产LeCroy数字示波器(500MHz带宽)对该激光器输出的调Q脉冲平均功率、脉冲宽度、周期等参数进行测量,脉冲重复频率、能量值和峰值功率可以计算得出。

测得泵光阈值约为142mW。在注入泵浦功率为600mW时,得到平均功率138mW、脉冲宽度19.8ns、重复频率高达170.1kHz、峰值功率40.96W的调Q脉冲激光输出。此时实验系统的光光转换效率高达23%。

表1给出了不同泵浦情况下调Q激光输出的平均功率、脉冲宽度、重复频率、脉冲能量和峰值功率值。

表1 不同泵浦功率下调Q输出平均功率、脉冲宽度、重复频率、脉冲能量和峰值功率值

注入泵浦功率 (mW)	输出平均功率 (mW)	脉冲宽度 (ns)	重复频率 (kHz)	脉冲能量 (μJ)	峰值功率 (W)
150	1				
225	18	24.5	45.4	0.396	16.16
300	38	22.2	83.3	0.458	20.63
375	58	21.5	102.0	0.569	26.47
450	82	21.0	122.6	0.669	31.86
525	107	20.4	140.2	0.763	37.40
600	138	19.8	170.1	0.811	40.96

由表 1 可以看出:随注入泵浦功率的增加,调 Q 脉冲输出的平均功率和重复频率显著增加、脉冲能量和峰值功率也相应增加,而脉冲宽度呈现略减小趋势。显然,这些规律与 Nd:YVO₄ 受激发射截面大、激光上能级寿命短、储能低的特点是一致的。

顺便指出,Nd:YAG 与 Nd:YVO₄ 不同。在 Nd:YAG/Cr:YAG 结构中,一旦泵浦功率超过阈值,调 Q 激光输出的脉冲能量、宽度和峰值功率基本上不随注入泵浦功率的增加而发生变化,只是平均功率和重复频率相应地增加^[2]。

图 2 是调 Q 激光输出平均功率为 100mW 时的远场光斑照片,说明是很好的基模输出。表明结合 Cr:YAG 的“动态光阑”效果,近贴泵浦条件下也能得到良好的激光束质量。



图 2 调 Q 脉冲激光的远场照片

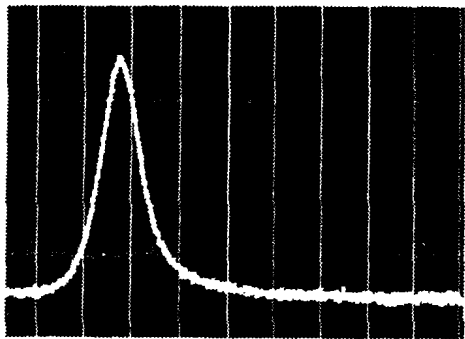


图 3 脉冲波形图(水平轴线刻度为 20ns/div)

图 3 是调 Q 输出的脉冲波形图。示波器上显示脉冲波形稳定。该激光器在平均功率 100mW 下连续运转 1h,测得脉冲峰值稳定性优于 1.8%,周期稳定性优于 2%。

3 结论

以上结果证明,所采用的连续激光二极管近贴泵浦 Nd:YVO₄ 晶体,慢饱和吸收体 Cr:YAG 被动调 Q 全固体激光器结构效率高、重复频率大、稳定性好,易于产品化。文中还对调 Q 脉冲输出的平均功率、脉冲宽度、重复频率、脉冲能量和峰值功率随泵浦功率的变化关系做了有益探索,得出了一些规律性结论。

另外,实验过程中未出现饱和现象,表明若采用大功率二极管或进一步缩短腔长,有可能会获得脉冲宽度小于 20ns、重复频率超过 200kHz、峰值功率近 50W 的调 Q 红外脉冲激光输出。

参考文献:

- [1] 欧阳斌,丁彦华,万小珂等. 光学学报, 1996, 16(12): 1665
- [2] Shimony Y, Burshtein Z, *IEEE J Quant Electron*, 1996, 32: 305
- [3] 王春,胡文涛,陈绍和等. 量子电子学报, 1997, 14(4): 359
- [4] Zhang X, Zhao S, Wang Q. *Opt Commun*, 1998, 155: 55
- [5] 王军民,李瑞宁,杨炜动东等. 中国激光, 1996, A23(12): 1057
- [6] 余锦. 光学精密工程, 2000, 8(1): 23
- [7] Paolo Laporta and Marcello Brussaard. *IEEE J of Quantum Electronics*, 1991, 27(10): 2319

LD-close-pumped Nd:YVO₄/Cr:YAG Passive Q-switched Laser

Zheng Quan, Ye Ziqing, Qian Longsheng
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130022)

Abstract

A design of LD-pumped all-solid-state, high-efficiency, stable and high repetition rate passively Q-switched Nd:YVO₄/Cr:YAG laser was presented in this paper. With 600mW incident pump laser, Q-switched laser with average power of 138mW, pulse width of 19.8ns, frequency of 170.1kHz and peak power of 40.96W was obtained. Measurement showed that peak power stability better than 1.4% and period variation less than 2% during 1h under the condition of average power of 100mW.

Key words: LD-close-pumped, Nd:YVO₄, Cr:YAG, Q-switched laser