

文章编号:1002-2082(2015)01-0126-04

光纤激光泵浦周期极化晶体双波段激光器

沈兆国,董 涛,孟冬冬,马俊岭,唐刚锋,羊 毅

(中航工业洛阳电光设备研究所,河南 洛阳 471009)

摘 要:针对激光定向干扰系统要求对抗 $1\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ 和 $3\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ 2 种类型探测器,需要输出相应 2 种波段激光,通过高重频调 Q 技术和种子注入光放大技术,获得高功率高质量 $1.06\ \mu\text{m}$ 光纤激光输出,外置起偏器获得 2 束激光输出,分别为泵浦周期极化钽酸锂和周期极化铌酸锂晶体,实现高功率 $1\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ 和 $3\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ 激光输出。在电源输入电流 60 A,调 Q 驱动频率 50 kHz 的条件下,获得最大功率 7.5 W 的 $2\ \mu\text{m}$ 激光和 4.2 W 的 $3.9\ \mu\text{m}$ 激光,频率转换效率为 39.5%。实验结果表明:通过光纤激光器泵浦光参量振荡器,可获得高功率 $1\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ 和 $3\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ 双波段激光输出。

关键词: 光纤激光器;调 Q;光参量振荡器

中图分类号: TN248

文献标志码: A

doi: 10.5768/JAO201536.0107002

Fiber laser pumped periodically poled crystal dual-band laser

Shen Zhaoguo, Dong Tao, Meng Dongdong, Ma Junling, Tang Gangfeng, Yang Yi

(Electro-Optical Equipment Research Institute of AVIC, Luoyang 471009, China)

Abstract: Aiming at the laser directed interference system, which counteracts two kinds of detectors of $1\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ and $3\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$, needing two corresponding wavebands outputs, we used the high repetition rate driving Q-switched technology and the seed injection magnifying technology to acquire high-power good-quality $1.06\ \mu\text{m}$ fiber laser output, the exterior polarizer got two beams laser outputs, the periodically poled lithium tantalate (PPLT) and periodically poled lithium niobate (PPLN) crystals were pumped to get high-power $1\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ and $3\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ laser outputs. As the input current was 60 A and the Q-switched frequency was 50 kHz, the $2\ \mu\text{m}$ laser output was obtained with up to 7.5 W power as well as the $3.9\ \mu\text{m}$ laser with a 4.2 W max power, the conversion efficiency was 39.5%. Experiment results indicate that using the fiber laser pumped optical parametric oscillator (OPO), the high power $1\sim 3\ \mu\text{m}$ and $3\sim 5\ \mu\text{m}$ dual-band laser output can be got.

Key words: fiber laser; Q-switched; optical parametric oscillator

引言

随着现代作战模式变换,在攻击对方武器同时要求保护自身目标,由于新一代制导导弹具有极高精度、超远距、发射后不管等鲜明特点,纷纷被各军事大国装备,在战争中威胁极大,特别某些大型军事作战设备由于自身的特点更易成为这类导弹的袭击目标,对付其最有效的方法就是激光

定向干扰系统。该类型系统利用高功率红外激光光源,使红外辐射光能量集中在导弹到达的小立体角内,并把告警装置系统和干扰装置系统一体化,使干扰光束能够及时准确地指向红外制导导弹的红外导引头内探测器,干扰、破坏甚至摧毁红外导引头上的探测器和电路,使导弹丢失目标,从而防护己方作战设备。该系统核心组成部分是红

收稿日期:2014-06-04; 修回日期:2014-11-03

作者简介:沈兆国(1981—),男,山东临沂人,工程师,硕士,主要从事激光技术及工程化应用研究。E-mail:shuiyuehun@qq.com

外激光器,其性能直接影响作战效果,为了实现对 $1\ \mu\text{m} \sim 3\ \mu\text{m}$ 和 $3\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 2 种类型探测器有效干扰,要求激光器也相应双波段输出。目前主要通过光参量振荡器利用晶体差频变换,实现大于 $1\ \mu\text{m}$ 激光输出,对于 $3\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 激光器,主要利用红外激光泵浦非线性周期极化晶体(例如,周期极化钽酸锂 PPLT,周期极化铌酸锂 PPLN)和磷锗锌(ZGP)^[1-3],国内相关研究单位均采用这 2 种技术途径实现高功率输出,由于前者采用 $1\ \mu\text{m}$ 激光泵浦,后者采用 $2\ \mu\text{m}$ 激光泵浦,目前 $1\ \mu\text{m}$ 激光种子源相对容易获得,因此文中采用第一种技术途径。 $1\ \mu\text{m}$ 激光激光器主要有灯泵激光器、半导体泵浦激光器、光纤激光器,灯泵激光器转化效率较低,半导体泵浦大功率激光器输出光束质量较差,同时灯泵激光器和半导体泵浦激光器体积较大,而光纤激光器具有光束质量好、寿命长、转换效率高、体积小、易集成等优点,非常适用于泵浦光参量振荡器^[4-7]。采用高重频高功率光纤激光器泵浦基于周期极化晶体的光参量振荡器,可以利用光纤激光器自由偏振输出特性,通过外加起偏器,实现双光束激光输出,泵浦 2 个光参量振荡器,实现双波段激光输出。

1 试验装置

通过高重频高功率光纤激光器泵浦周期极化晶体,的光参量振荡器,实现频率变换获得多波段激光输出,试验装置如图 1 所示,利用光纤激光器自由偏振输出特性,通过外加起偏器,实现双光束激光输出,泵浦 2 个光参量振荡器,实现双波段激光输出。其中 M1 为偏振片,M2 为光隔离器,M3 为 $1/2$ 波片,M4 为聚焦透镜,M5 为全反镜,M6 为周期极化晶体,M7 为输出镜,M8 为折转镜,M9 为光隔离器,M10 为 45° 全反镜,M11 为 $1/2$ 波片,M12 为聚焦透镜,M13 为全反镜,M14 为周期极化晶体,M15 为输出镜,M16 为准直镜,M17 为和束镜。

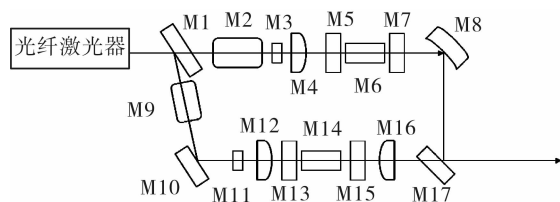


图 1 试验装置图

Fig. 1 Laser experiment setup

1.1 光纤激光器组成及参数

光纤激光器主要由脉冲种子源、预放大器、主放大级和耦合等组成。结构组成框图如图 2 所示。

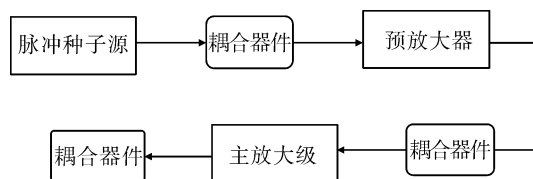


图 2 光纤激光器组成图

Fig. 2 Fiber laser setup

其中,激光脉冲种子源在窄脉冲驱动器作用下产生小信号脉冲种子激光(mW 级),为后续预放大级提供信号光。该种子源能够具备激光脉冲宽度可控、输出频率可调、信号功率可变等功能,因此,可以控制整个光纤激光器输出满足后续系统要求的激光脉宽和重复频率的激光。脉冲种子源信号光经过耦合器件(光隔离器和光束整形透镜组,光隔离器防止预放大级光返回损坏种子源部分光学器件,光束整形透镜组对信号光进行变换,满足预放大级光束匹配),激光预放大器可以将低能量、低功率的种子信号光进行能量和功率预先放大,得到相对较大能量和较高功率的信号光(W 级),同时控制脉冲质量。预放大级输出光经过耦合器件(光隔离器和光束整形透镜组,光隔离器防止主放大级光返回损坏预放大级部分光学器件,光束整形透镜组对信号光进行变换,满足预放大级光束模式匹配),功率主放大级可以进一步提升脉冲激光的能量和功率,经过输出耦合器件(隔离器和准直器),达到光纤激光器总体要求的技术指标。另外光纤激光器还有级间连接元件(模场适配器、滤波器等)用来实现控制激光输出参数、稳定性、滤除噪声及减小损耗等功能。最终该光纤激光器输出参数为功率 50 W,频率 50 kHz,光斑大小 3 mm,发散角小于 2 mrad,M 平方因子小于 2,脉宽 140 ns。

1.2 光参量振荡器装置

光参量振荡器是一种利用非线性晶体的混频特性实现光学频率变换的器件,同时它又是波长可调谐的相干光源^[8]。目前光参量振荡器利用周期极化晶体产生 $1\ \mu\text{m} \sim 3\ \mu\text{m}$ 和 $3\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 波段激光是较佳方式,常用的周期极化晶体为周期极化钽酸锂(PPLT)和周期极化铌酸锂(PPLN),PPLT 抗损伤阈值较高,但转化效率较低,PPLN 转

化效率较高,但损伤阈值较低,通常掺杂部分氧化镁以增加损伤阈值,由于 $1.06\ \mu\text{m}$ 泵浦周期极化晶体转化为 $2\ \mu\text{m}$ 波段转化效率明显高于 $3.9\ \mu\text{m}$,同时考虑 PPLT 比 PPLN 转化效率偏高,试验中产生 $2\ \mu\text{m}$ 波段激光采用 PPLT,产生 $3.9\ \mu\text{m}$ 波段激光采用 PPLN。采用 $1.06\ \mu\text{m}$ 光纤激光器产生基频光,经过起偏器,分为 2 束,一束通过耦合器进入光参量振荡器周期极化晶体 PPLN 内,产生 $1.46\ \mu\text{m}$ 信号光,信号光在腔镜的反馈下开始振荡,与入射的 $1.06\ \mu\text{m}$ 泵浦光在 PPLN 内发生差频作用 ($\frac{2\pi}{3.9\ \mu\text{m}} \approx \frac{2\pi}{1.06\ \mu\text{m}} - \frac{2\pi}{1.46\ \mu\text{m}}$),产生 $3.9\ \mu\text{m}$ 闲置光,闲置光工作重复频率与基频光工作频率一致。由于信号光随着温度会逐渐变化(如图 3 所示),为了实现稳定的 $3.9\ \mu\text{m}$ 闲置光输出,温度控制在 140°C 左右。另一束耦合器进入光参量振荡器周期极化晶体 PPLT 内,产生 $2\ \mu\text{m}$ 信号光,信号光在腔镜的反馈下开始振荡,与入射的 $1.06\ \mu\text{m}$ 泵浦光在 PPLT 内发生差频作用 ($\frac{2\pi}{2\ \mu\text{m}} \approx \frac{2\pi}{1.06\ \mu\text{m}} - \frac{2\pi}{2\ \mu\text{m}}$),产生 $2\ \mu\text{m}$ 闲置光,闲置光工作重复频率与基频光工作频率一致,温度控制在 160°C 左右。

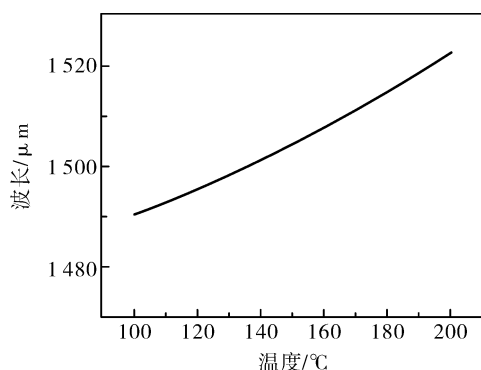


图 3 信号光与温度的关系

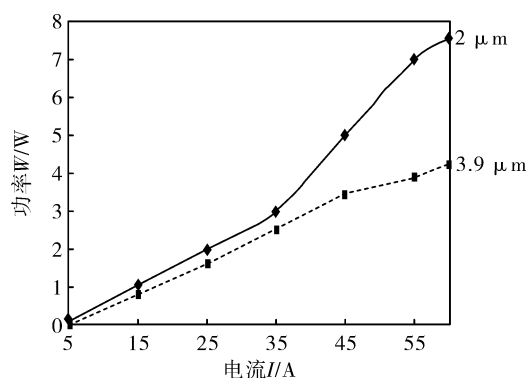
Fig. 3 Relation between signal light and temperature

由图 1 可知,光纤激光器输出激光器经过 M1 偏振片一分为二,其中一束 P 偏振,一束 S 偏振,P 偏振经过 M2 光隔离器,M3 二分之一波片,M4 聚焦透镜(平凸曲率 200 mm),进入 $3.9\ \mu\text{m}$ 光参量振荡器(由 M5 全反镜,M7 输出镜,周期极化晶体 PPLN 组成),M5 全反镜镀膜为 $1.06\ \mu\text{m}$ 高透, $1.4\ \mu\text{m} \sim 1.6\ \mu\text{m}$ 和 $3.7\ \mu\text{m} \sim 4.0\ \mu\text{m}$ 激光全反,M7 输出镜镀膜为 $1.06\ \mu\text{m}$ 、 $1.4\ \mu\text{m} \sim 1.6\ \mu\text{m}$ 全反、 $3.7\ \mu\text{m} \sim 4.0\ \mu\text{m}$ 激光增透,周期极化晶体 PPLN 为 $1.06\ \mu\text{m}$ 、

$1.4\ \mu\text{m} \sim 1.6\ \mu\text{m}$ 、 $3.7\ \mu\text{m} \sim 4.0\ \mu\text{m}$ 激光增透。S 偏振经过 M9 光隔离器,M10 45° 全反镜,M11 二分之一波片,M12 聚焦透镜(平凸曲率 200 mm),进入 $2\ \mu\text{m}$ 光参量振荡器,它由 M13 全反镜,M15 输出镜,周期极化晶体 PPLT 组成,M13 全反镜镀膜为 $1.06\ \mu\text{m}$ 高透, $2.0\ \mu\text{m}$ 激光全反,M15 输出镜镀膜为 $1.06\ \mu\text{m}$ 、 $2.0\ \mu\text{m}$ 激光增透,周期极化晶体 PPLT 为 $1.06\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 激光增透。M6 周期极化晶体 PPLN 周期极化数 $29\ \mu\text{m}$,厚度 1 mm,长度 50 mm,温控设置温度 140°C 左右,M13 周期极化晶体 PPLT 周期极化数 $32\ \mu\text{m}$,厚度 1 mm,长度 40 mm。通过聚焦泵浦 PPLN 产生 $3.9\ \mu\text{m}$ 激光,发散角比较大,需要整形,利用 M8 反射聚焦镜(一面镀膜为 $3.9\ \mu\text{m}$ 45° 全反, $2.0\ \mu\text{m}$ 45° 增透;另一面镀膜为 $2.0\ \mu\text{m}$ 45° 增透,曲率为 $-800\ \text{mm}$),得到一定改善,与另一束泵浦 PPLT 产生 $2\ \mu\text{m}$ 的激光(通过 200 mm 平凸透镜整形),经过 M17(一面镀膜为)合成光轴一致激光输出。

2 试验结果及分析

光纤激光器输出 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光经过起偏器,分为 2 束激光,经过周期极化频率变换技术实现 $2.0\ \mu\text{m}$ 和 $3.9\ \mu\text{m}$ 双波段激光输出。在电源输入电流 60 A,调 Q 驱动频率 50 kHz 的条件下,获得 $2\ \mu\text{m}$ 激光,最高输出功率为 7.5 W 和 $3.9\ \mu\text{m}$ 激光,最高输出功率为 4.2 W,差频转化效率为 39.5%。双波段输出功率与输入电流关系如图 4 所示。由图 4 可以看出,随着注入电流增大,双波段输出功率增大。在试验中除了人眼不可见的 $1.06\ \mu\text{m}$ 泵浦光、 $2.0\ \mu\text{m}$ 信号光和 $3.9\ \mu\text{m}$ 激光外,还能观察

图 4 $2\ \mu\text{m}$ 和 $3.9\ \mu\text{m}$ 输出功率与注入电压关系Fig. 4 Relation between output power and input current of $2\ \mu\text{m}$ and $3.9\ \mu\text{m}$ lasers

到绿光、红光以及黄光等可见光波段激光,主要由晶体倍频、和频等激光非线性作用产生。为了防止这些杂散激光反馈到光参量振荡器前光学系统,基频光和光参量振荡器之间可以添加一 45° 双色镜(45° $1.06\ \mu\text{m}$ 激光增透, 45° 可见光反射),从而保证返回的可见光经过该镜反射到腔外。

3 总结

通过光纤激光器,获得高功率、高重频、高光束质量、窄脉冲的 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光输出,经过起偏器分成 2 束正交偏振激光,采用 $1/2$ 波片,旋转成偏振态一致的 $1.06\ \mu\text{m}$ 基频光,利用基于 PPLN 和 PPLT 差频变换构成的光参量振荡器,实现 $2.0\ \mu\text{m}$ 和 $3.9\ \mu\text{m}$ 双波段高功率激光输出。在电源输入电流 60 A,调 Q 驱动频率 50 kHz 的条件下, $2\ \mu\text{m}$ 激光最高输出功率为 7.5 W 和 $3.9\ \mu\text{m}$ 激光最高输出功率为 4.2 W,差频转化效率为 39.5%,满足系统试验室应用要求。由于双波段输出功率较高,为下一步相关多波段技术研究及工程应用奠定基础。

参考文献:

- [1] Peng Yuefeng, Xie Gang, Wang Weimin, et al. High efficiency periodically poled lithium niobate with MgO optical parametric oscillator $2.7\ \mu\text{m}$ laser with 11.8 W output power[J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(9): 2262-2265.
彭跃峰,谢刚,王卫民,等. 11.8 W 高效率掺氧化镁的周期极化铌酸锂晶体光参量振荡 $2.7\ \mu\text{m}$ 激光器[J]. 中国激光, 2009, 36(9): 2262-2265.
- [2] Cui Qian, Xu Yiting, Zong Nan, et al. High power $2\ \mu\text{m}$ intracavity doubly resonant optical parametric oscillator[J]. Acta Physica, 2009, 28(3): 1715-1718.
崔前,徐一汀,宗楠,等. 高功率腔内双共振 $2\ \mu\text{m}$ 光参量振荡器特性研究[J]. 物理学报, 2009, 28(3): 1715-1718.
- [3] Yang Jian, Li Xiaoqin, Yao Jianquan, et al. High-power temperature-tunable periodically-poled lithium niobate optical parametric oscillator[J]. Chinese Journal of Lasers, 2008, 35(10): 1459-1462.
杨剑,李晓芹,姚建铨,等. 基于周期极化铌酸锂晶体的高功率可调谐光参量振荡器[J]. 中国激光, 2008, 35(10): 1459-1462.
- [4] Yang Dingzhong, Jiang Peipei, Chen Tao, et al. PPMgLN-based high power optical parametric oscillator pumped by a pulsed fiber laser[J]. Chinese J. Lasers, 2010, 37(1): 34-37.
杨丁中,姜陪陪,陈涛,等. 基于周期性畴极化反转掺镁铌酸锂晶体的脉冲光纤激光器抽运的高功率光参量振荡器[J]. 中国激光, 2010, 37(1): 34-37.
- [5] Wei Xingbin, Peng Yuefeng, Wang Weimin, et al. Research on optical parametric oscillator based on periodically poled LiTaO₃ crystal[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(6): 0614001-1-5.
魏星斌,彭跃峰,王卫民,等. 基于周期极化钽酸锂晶体的光参量振荡器技术研究[J]. 光学学报, 2011, 31(6): 0614001-1-5.
- [6] Lyu Xinjie, Zhao Gang, Li Guijun, et al. Mid-infrared laser with 1.2 W output power based on PPLT[J]. Science in China, 2009, 39(11): 1594-1598.
吕新杰,赵刚,李桂君,等. 基于 PPLT 晶体的瓦级中红外光参量振荡器研究[J]. 中国科学, 2009, 39(11): 1594-1598.
- [7] Shen Zhaoguo, Fu Jie, Tang Gangfeng, et al. Study on multi-beam pumping mid-IR laser[J]. Journal of Applied Optics, 2013, 34(3): 517-519.
沈兆国,付洁,唐刚锋,等. 多光束泵浦中红外激光器[J]. 应用光学, 2013, 34(3): 517-519.
- [8] Lei Shizhan. Laser technical manual[M]. Beijing: Science Press, 1992.
雷仕湛. 激光技术手册[M]. 北京: 科学出版社, 1992.