

1.57 μm 内腔式 OPO 激光输出特性的研究*

牛志强, 李宇飞, 孙渝明, 侯学元, 曲 瑜*

(山东大学信息科学与工程学院光学工程系, 济南 250100)

摘要:利用 Cr^{4+} :YAG 调 Q 的 1.06 μm Nd:YAG 激光腔抽运内腔式 KTP 晶体-光学参量振荡器(KTP-OPO)系统,实现了人眼安全 1.57 μm 信号光振荡输出。通过分析 Cr^{4+} :YAG 被动调 Q 特性,在保证单脉冲输出的情况下,讨论了 OPO 腔长变化对系统输出激光脉冲能量、发散角和脉宽的影响。结果表明,随着 OPO 腔长的增加,单脉冲输出能量、光束发散角减少,而脉冲宽度增加。

关键词:人眼安全激光; 光学参量振荡器(OPO); KTP 晶体; 非临界相位匹配

中图分类号:O437.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0086(2006)05-0641-03

Output Properties of 1.57 μm Intracavity Optical Parametric Oscillator

NIU Zhi-qiang, LI Yu-fei, SUN Yu-ming, HOU Xue-yuan, QU Yu*

(School of Information Science & Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract:By using Xenon flash pumped, Cr^{4+} :YAG Q-switched Nd:YAG cavity as the pump source, an intracavity KTP crystal-optical parametric oscillator (KTP-OPO) system lasing at 1.57 μm wavelength is realized. The Q switching effect of Cr^{4+} :YAG crystal is analyzed, and under the condition that the OPO has the single-pulse output, the influences of different OPO cavity length on the system output performance have been discussed. The result indicates that the single pulse energy and the angle of divergence of output laser decrease, but the pulse width of output laser increases with the increase of the OPO cavity length.

Key words:eye-safe laser; optical parametric oscillator(OPO); KTP crystal; noncritical phase-matching

1 引 言

在现代军事上,激光测距和激光精确制导武器得到了广泛应用,但目前 1.06 μm 激光测距机容易对人眼损伤甚至致盲,因此各国竞相研制新的人眼安全军用激光设备。

光学参量振荡器(OPO)可将 Nd:YAG 激光器的 1.06 μm 激光波长转换为 1.57 μm 人眼安全波长,它具有阈值低、转换效率高及重复频率高等特点,而且体积小、重量轻和可靠性高。与其它人眼安全激光器^[1,2]相比,OPO 可高重复频率工作,能满足军事运用上对激光器脉冲重复频率的要求,极大拓展了人眼安全激光器在军事上的应用领域。1991 年,Marshall 等人^[3~5]采用 Nd:YAG 泵浦 KTP 晶体

(KTP)-OPO,获得效率分别为 47 % 和 60 % 的人眼安全激光。美国 Schwartz 光电公司^[6]的此类 OPO 输出已达 500 mJ/pulse,重复频率为 10 Hz。Prasad 等人^[7]近年进行二极管泵浦 Nd:MgO:LiNbO₃ 的自参量 OPOP 器件的研究,其设计输出波长调到 1.54 μm ,输出能量为 15 mJ/pulse,脉宽为 10 ns,发散角为 6 mrad,最大工作重复频率 1 Hz。作为激光测距的光源,单脉冲能量、光束发散角和脉冲宽度是重要的技术指标,而这些技术指标在同一激光器中又相互制约,需根据需要综合考虑。鉴于目前尚没有文献报导对 OPO 腔长与激光输出特性关系的研究,本文利用 1.06 μm Nd:YAG 激光器泵浦内腔 OPO (IOPO),获得了 1.57 μm 人眼安全激光输出,研究了腔长变化对输出激光能量、发散角及脉宽的影响。

* 收稿日期:2005-08-11 修订日期:2005-11-20

* E-mail:quyu73076@sdu.edu.cn

2 实验装置

采用的 IOPO 如图 1 所示。 M_1 为一平面镜, 镀 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 全反膜; M_2 为一平面镜, 一面镀 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 增透膜, 另一面镀 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 增透膜和 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 全反膜; M_3 为一平面镜, 镀 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 全反膜和 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 部分透射膜。 M_1 、 M_3 构成 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 激光谐振腔, Nd:YAG 棒尺寸为 $\Phi 4\text{ mm} \times 50\text{ mm}$, 两通光面镀 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 增透膜, 选用掺钕石英氙灯作为激光器的泵浦源, 外形尺寸为 $\Phi 4\text{ mm} \times 67\text{ mm}$, 被动调 Q 晶体选用 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$, 小信号透过率 $T_0 = 18\%$ 。 M_2 和 M_3 构成 OPO 谐振腔, 内置于激光谐振腔中。非线性晶体为 KTP, 尺寸为 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 15\text{ mm}$, 根据相位匹配条件, 当 OPO 输出 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 时, 恰好可实现 II 类非临界相位匹配, 避免光走离效应, 晶体沿 X 轴切割, $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$, 两通光面各镀 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 和 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 增透膜。

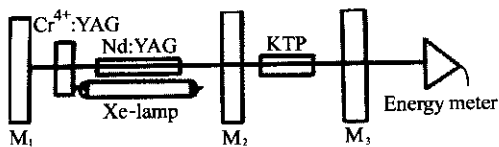


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental laser setup

3 实验结果与分析

$1.06\text{ }\mu\text{m}$ 光经过 KTP 时, 由于晶体的非线性效应, 有一部分泵浦光转换为 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 的信号光。当 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 光通过镜 M_3 时, 部分透射, 部分返回到 KTP 里继续放大, 当通过 M_2 时, 全部被返回, 再一次通过 KTP 放大, 以此循环, 由此 M_2 和 M_3 构成 OPO。用美国 Molectron 公司 EPM2000 型能量计测得输出信号光的能量, 由于腔内 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 振荡光功率密度很高, 在探测器前加 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 全反片, 滤掉逸出的 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 激光。输出脉冲波形利用美国 Judson 公司的 J16 型室温锗探测器接收和示波器 TEK-TDS3032B 存储示波器显示。当泵浦电压为 650 V 、OPO 腔长为 18 cm 时, $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 脉冲宽度为 $9.57\text{ }\mu\text{s}$, 波形如图 2 所示。根据实验研究, 采用 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 小信号透过率 $T_0 = 18\%$, $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 信号光输出镜透过率 $T = 30\%$, 此时 OPO 可获得较好的单脉冲输出性能。

在 Nd:YAG 激光腔内的 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 激光达到 IOPO 阈值前, KTP 和 OPO 谐振腔镜相当于线性损耗的光学元件, 逐渐增加氙灯的注入能量, 腔内的 1.06

μm 激光的功率密度也随着逐渐增大, 当达到 IOPO 的阈值以后, IOPO 开始工作, 从而产生 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 信号光, 通过 KTP 与 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 的泵浦激光经过多次耦合放大, 当达到稳态后由 IOPO 的输出镜 M_3 输出。由于 $3.3\text{ }\mu\text{m}$ 空闲光在腔内不能形成振荡, 故 OPO 系统为单谐振运转。

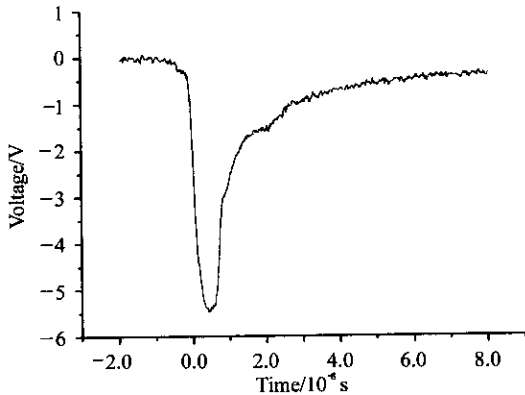


图 2 泵浦电压 650 V 、OPO 腔长 18 cm 时的输出脉冲波形图

Fig. 2 Output pulse shape at pump voltage of 650 V and cavity length of 18 cm

图 3 表明了不同 OPO 腔长时 KTP-OPO 系统输出单脉冲能量与泵浦电压的关系, 储能电容为 $40\text{ }\mu\text{F}$ 。为方便起见, 横坐标用氙灯电压表示。

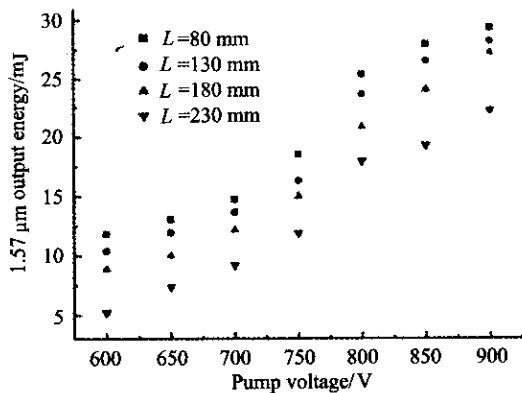


图 3 不同腔长下, 输出能量与泵浦电压的关系
Fig. 3 The dependence of output energy on pump voltage at different cavity length

随着泵浦电压的增加, OPO 系统的 $1.57\text{ }\mu\text{m}$ 信号光输出能量变大, 当泵浦电压升至 800 V 左右时, 信号光输出能量突增, 这是由于 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体 2 次漂白导致 OPO 系统输出从单脉冲变为双脉冲的缘故。在泵浦电压 $V_p = 750\text{ V}$ 时, 腔长 L 为 80 、 130 、 180 和 250 mm 的 OPO 系统获得的单脉冲信号光输出能量 E 分别为 19.9 、 18.5 、 16.3 、 14.9 和 11.8 mJ 。可看出, 随着腔长的增加, OPO 系统输出能量