

文章编号: 0258-7025(2010)09-2299-04

# 双波长自由切换输出固体激光器

程 勇 卢常勇 刘 旭 陆益敏 万 强 王会升

(武汉军械士官学校光电技术研究所, 湖北 武汉 430075)

**摘要** 提出了基于偏振控制的双波长切换激光器的概念,采用角锥腔电光调 Q-DPL(激光二极管抽运固体激光器)、环形腔 KTP-OPO(光参量振荡器)和电控偏振态切换技术,获得在小型轻量化、高可靠性、高效率、高重复频率和大能量输出等约束条件下,1064 nm/1570 nm 两种波长自由切换输出。其中 1064 nm 波长每脉冲 280 mJ 激光输出,1570 nm 波长每脉冲 125 mJ 激光输出,转换效率为 45%,且同轴输出指向稳定,可用于星载、机载、舰载激光测距/照射、激光雷达和激光环境监测等领域。

**关键词** 激光器;双波长;自由切换;电控偏振态;环形腔光参量振荡器

中图分类号 O734<sup>+</sup>.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20103709.2299

## Dual-Wavelength Switchable Solid State Laser

Cheng Yong Lu Changyong Liu Xu Lu Yimin Wan Qiang Wang Huisheng

(Institute Opto-Electronics Technology, Wuhan Ordnance Non-Commissioned Officers, Wuhan, Hubei 430075, China)

**Abstract** Electro-optic Q-switched diode pumped solid-state laser (DPL) with corner-cube, cross-resonator optical parametric oscillator (OPO) (CRO) and the technology of polarization controlled by electricity are used to acquire the output of dual-wavelength of 1064 nm and 1570 nm in the conditions that the laser must be smart and light, and have high reliability, high efficiency, high recurrence-frequency and large power output. Experiment gets laser pulse with 200 mJ each pluse at 1064 nm and 74 mJ each pluse at 1570 nm, and conversion efficiency of 45% together with output of stable orientation, so that it can be used as airborne, spaceborne, ship laser location, irradiation or radar, and used in the field of laser environmental monitoring.

**Key words** lasers; dual-wavelength; free switch; polarization controlled by electricity; cross-resonator optical parametric oscillator

### 1 引 言

双波长自由切换是指为了满足不同工作模式与功能的需要,在同一激光器中要求随意切换同轴输出两种激光波长。美军几乎所有的机载对地目标测照激光装备都实现了 1064 nm 和 1570 nm 两种激光波长输出能力,两种波长可以根据作战任务和应用场合自由切换,其中 1064 nm 波长用于作战模式“Tactical Mode”,1570 nm 波长用于训练模式“Training Mode”<sup>[1]</sup>。目前,在小型轻量化、高可靠性、高效率、高重复频率和大能量输出等约束条件下,实现双波长自由切换满足星载、机载激光设备的需要,是激光工程应用领域一个研究热点<sup>[2,3]</sup>。在

双波长的产生方面,国内外做了大量的研究<sup>[4-9]</sup>;在双波长切换输出方面,主要采用在基频光路中电伺服传动机构插入光参量振荡器(OPO)部分的途径<sup>[10]</sup>,实现双波长同轴输出。但这种切换方法结构复杂、切换速度慢且可靠性差,为了克服上述缺陷,本文提出了基于偏振控制的双波长切换激光器的概念,并采用自主研发的环形腔 KTP-OPO,电控偏振态切换技术,研制出满足恶劣环境要求的小型高效的 1064 nm/1570 nm 激光波长自由切换双工作模式固体激光器,实现两种波长在同一通道同轴自由切换输出。其指标为:几何尺寸 250 mm×120 mm×110 mm,质量 2.5 kg,OPO 转换效率 45%,重复频率 30 Hz,脉冲能量

收稿日期: 2010-06-20; 收到修改稿日期: 2010-07-12

基金项目: 国防预研基金(7131029)资助课题。

作者简介: 程 勇(1961—),男,博士,教授,主要从事军用激光技术与装备工程等方面的研究。E-mail: gdyjs@263.net

125 mJ(1570 nm)/280 mJ(1064 nm),连续工作时间为3 min,发散角6 mrad(1570 nm)/3 mrad(1064 nm)。该激光器可应用于星载、机载、舰载激光测距/照射、激光雷达和激光环境监测等领域。

## 2 双波长自由切换激光器设计

目前,国内外典型的双波长切换激光器指标如表1所示。

表1 典型的双波长切换激光器指标

Table 1 Index of typical dual-wavelength laser with switch

Research institute	Energy /mJ		Recurrence frequency/Hz	Style of switch	Structure of laser	Structure of OPO	Efficiency of OPO /%	Volume and weight
	1.06 $\mu\text{m}$	1.57 $\mu\text{m}$						
Raytheon company, USA	350	60~90	20	Machinery insert	Folded cavity of cross porro prisms	External straight OPO	17~26	Medium (DPL small and light)
Northrop Grumman company, USA	300	120	20	Machinery insert	Folded cavity of cross porro prisms	Cross resonator OPO	40	Small (DPL small and light)
North China research institute of electro-optics, China	437	83.5	20	Machinery insert	Resonator of flat-concave cavity with double bar	External straight OPO	19	Large (cooled by water)

从表1可见,双波长切换激光器设计应把握以下三个关键技术:

1) 基频光激光器单元的腔型结构选择是整个激光器获得大能量、高重复频率、稳定的线偏振光输出的关键之一。由于这类激光器通常应用于机载或卫星平台,对可靠性要求高,设计中应选择抗失调稳定性高的腔型,如交叉波罗棱镜折叠腔或角锥棱镜腔。

采用角锥棱镜腔退偏耦合输出、电光调Q和半导体抽运技术,获得高效稳定的线偏振光。众所周知,角锥棱镜具有退偏效应,一般情况下难以实现电光调Q。研究发现,采用偏振耦合输出结构即可利用该特性实现高效率的电光调Q,耦合输出量随角锥轴向旋转角度的变化而变化,如图1所示。可以得到输出透射率为40%~60%的偏振耦合输出效果,因此,利用角锥腔的退偏耦合输出电光调Q线偏振光<sup>[11,12]</sup>,可满足OPO的相位匹配条件。

2) OPO腔结构设计的关键是获得高转换效率与高可靠性。OPO转换效率高可以降低基频光抽运能量,进而降低激光器的热效应、提高光束质量和稳定性,同时也可获得相对较小的尺寸与质量。直腔式OPO结构简单,可以获得高转换效率,但在实际工程应用中存在反向传播的抽运光返回激光器使系统不稳定的问题,可靠性较差。环形腔OPO是解决这一问题的有效途径。可以同时获得高转换效

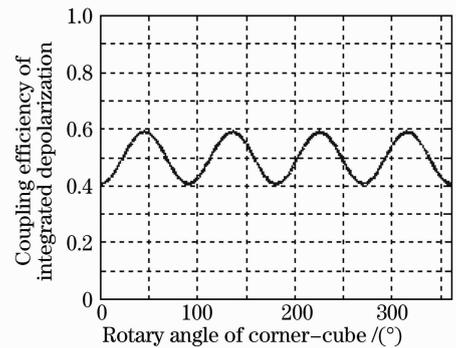


图1 六种反射次序综合退偏量

率和高可靠性,因此本研究使用环形腔OPO。

环形腔OPO的转换效率取决于抽运光的功率密度和腔内参量振荡晶体的增益长度,由于受到晶体长度造成走离效应的限制,一般有两块OPO晶体的矩阵模型<sup>[13]</sup>和三块OPO晶体的三角形模型<sup>[14]</sup>,其中前者的转换效率理论最大值约47%,后者可以达到50%以上。采用自主研发的三角形环形腔OPO,其原理和结构如图2所示,实验获得最大转换效率可达45%。

3) 切换方式是简化结构、优化整机性能的技术难点。目前采用的切换方式均为在基频光路中机械插入OPO晶体实现波长的切换,由于存在运动部件带来结构复杂、切换速度慢且可靠性差的弊端。

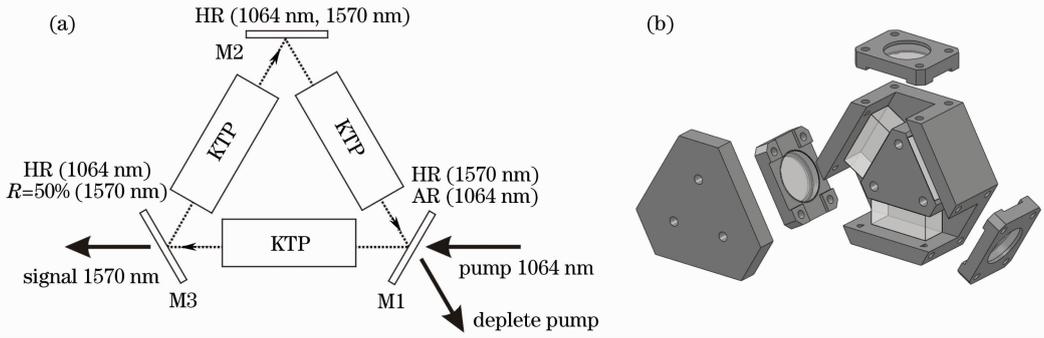


图 2 三角形环形腔 OPO 的原理(a)及其结构(b)示意图

Fig. 2 Principle (a) and structural (b) drawing of triangular cross-resonator OPO

采用偏振态控制是实现波长切换的一种有效途径，其优点是光路中没有移动物件，只是通过简单地加电或去电实现波长切换。电控偏振态切换方案具有结构相对简单、切换速度快且可靠性好的优点。采用 KD\*P 电光晶体，利用其电致双折射效应晶压控制实现电控波长切换。

双波长自由切换激光器光路设计如图 3 所示。其切换过程是：由角锥腔电光调 Q 半导体抽运激光器输出基频光 1064 nm，KD\*P 电光晶体未加电时，1064 nm 呈 S 偏振态，经反射折转直通输出；当 KD\*P 电光晶体加电时，1064 nm 呈 P 偏振态，透射进入 KTP 环形腔 OPO 中，产生 1570 nm 同轴输出。

出。输出脉冲能量由 EPM1000 测量，并由 TEKTD3052 型 500 MHz 示波器和 TEK-P6701A 型 Si-InGaSe 光电探头监测其脉宽及波形。

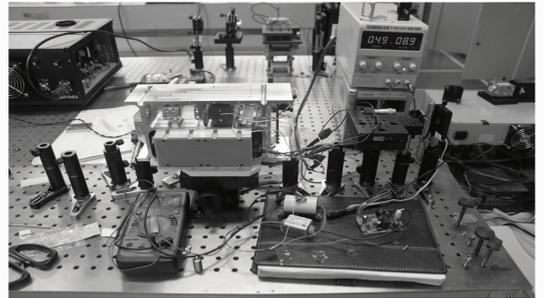


图 4 双波长自由切换激光器实验装置

Fig. 4 Equipment of dual-wavelength laser with free switch

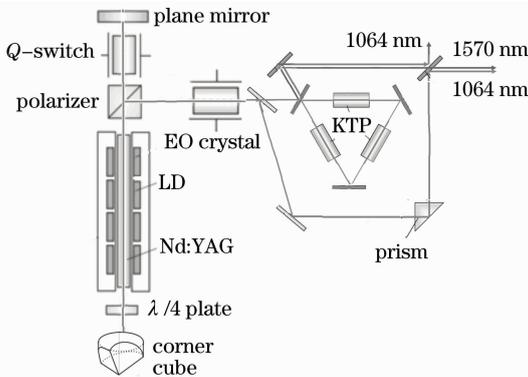


图 3 电控双波长自由切换激光器光路图

Fig. 3 Diagram of dual-wavelength laser with free switch controlled by electricity

### 3 实验研究

实验装置如图 4 所示，实验采用传导冷却半导体侧面抽运激光晶体结构，抽运电脉宽 240 μs，抽运电流 0~100 A，工作频率 1~30 Hz；采用角锥棱镜偏振耦合腔、加压机 KD\*P 电光调 Q；退压式 KD\*P 用于电控双波长自由切换；采用自主研发的三角形环形腔 OPO 器件，实现高转换效率大能量人眼安全激光输

在 LD 抽运脉宽 240 μs，重复频率 30 Hz，抽运电流 0~100 A 的条件下，测量了双波长激光器在不同波长光输出光能量及其 OPO 转换效率，如图 5 所示。抽运电流为 80 A 时，1064 nm 激光输出能量为 280 mJ，对应输出的 1570 nm 激光能量可达 125 mJ，OPO 转换效率为 45%。

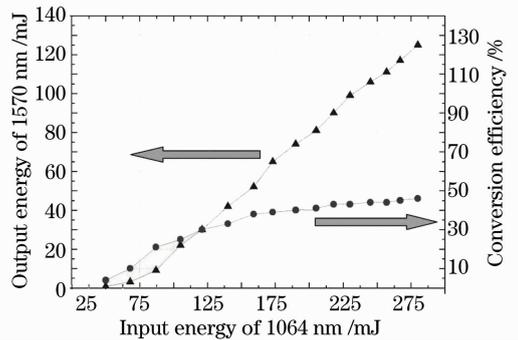


图 5 环形腔 OPO 实验结果

Fig. 5 Experimental result of cross-resonator OPO 经优化设计和封装，研制出实现上述技术指标且满足工程需要的样机，如图 6 所示。

该样机尺寸为 250 mm×120 mm×110 mm，质

量为 2.5 kg,其双波长自由切换过程如图 7 所示。



图 6 双波长自由切换激光器工程样机

Fig. 6 Engineering prototype of dual-wavelength laser with free switch

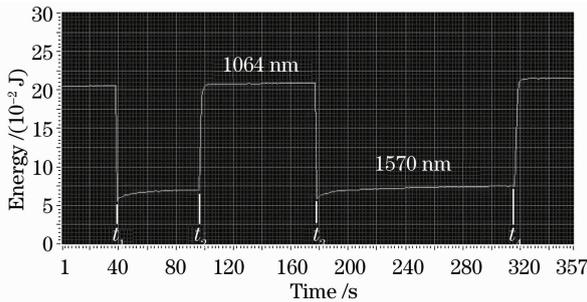


图 7 双波长自由切换输出的显示

Fig. 7 Display of the output of dual-wavelength laser with free switch

图中横坐标为时间轴,纵坐标为输出能量(高水平表示 1064 nm 输出能量,低水平为 1570 nm 输出能量); $t_1, t_2, t_3, t_4$  分别为双波长自由切换的时间点;1064 nm 输出能量比 1570 nm 输出能量更稳定。

## 4 结 论

为了满足不同工作模式对不同波长的需要,提出了电控偏振态双波长切换的思想,采用角锥腔电光调 Q-DPL,环形腔 OPO 和 KD\*P 电控偏振态切换技术,研制出性能可靠、转换效率高、小型轻量的双波长自由切换激光器。主要指标为:1064 nm 波长输出激光能量为每脉冲 280 mJ,1570 nm 波长输出激光能量为每脉冲 125 mJ,转换效率为 45%,且同轴输出指向稳定。为星载、机载、舰载激光测距/照射、激光雷达和激光环境监测等领域的应用提供了一定的参考价值。

## 参 考 文 献

- 1 严伟江. 高空之眼:美军新一代机载先进红外瞄准吊舱[EB/OL]. <http://mil.news.sina.com.cn/2004-12-30/1012254893.html>, 2004-12-30
- 2 Friedrich Ackermann. Airborne laser scanning-present status and future expectations[J]. *ISPRS J. Photogrammetry & Remote Sensing*, 1999, **54**: 64~67
- 3 Aloysius Wehr, Uwe Lohr Airborne. Laser scanning-an introduction and overview [J]. *ISPRS J. Photogrammetry & Remote Sensing*, 1999, **54**: 68~82
- 4 Han Lei, Wang Jiaxian, Zhang Juncheng *et al.*. Research on the LD pumping Nd:YAG laser with compound cavity and dual-wavelength output [J]. *J. Huaqiao University (Natural Science)*, 2010, **31**(2): 153~156
- 5 韩磊,王加贤,张峻诚等. LD 泵浦 Nd:YAG 复合腔双波长激光器[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2010, **31**(2): 153~156
- 6 Lin Yanfeng, Zhang Ge, Zhu Haiyong *et al.*. Mechanism of dual-wavelength oscillation in Nd:YAG Q-switched laser [J]. *Acta Physica Sinica*, 2009, **58**(6): 3909~3914
- 7 林燕凤,张戈,朱海永等. Nd:YAG 调 Q 激光器双波长振荡机理分析[J]. 物理学报, 2009, **58**(6): 3909~3914.
- 8 Huang Dexiu, Shu Xuewen, Wen Tao *et al.*. Novel multi-wavelength erbium-doped fiber ring laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(4): 313~316
- 9 黄德修,舒学文,文韬等. 一种新颖的多波长环形腔掺铒光纤激光器[J]. 中国激光, 2001, **A28**(4): 313~316
- 10 Zhang Ling, Wei Zhiyi, Feng Baohua. Simultaneous dual-wavelength Q-switched Nd:YAG laser operating at 1.06  $\mu\text{m}$  and 946 nm [J]. *Opt. Commun.*, 2006, **264**: 51~54
- 11 Feruz Ganikhanov, Silvia Carrasco, X. Sunney. Broadly tunable dual-wavelength light source for coherent anti-stokes Raman scattering microscopy[J]. *Opt. Lett.*, 2006, **31**(9): 1292~1294
- 12 C. M. Creelya, G. P. Singha, D. Petrov. Dual wavelength optical tweezers for confocal Raman spectroscopy [J]. *Opt. Commun.*, 2005, **245**: 465~470
- 13 Wang Meng, Zhu Xiangbang, Mao Xiaojie *et al.*. Experimental study on double wavelength laser [J]. *Laser & Infrared*, 2008, **38**(2): 126~127
- 14 王猛,朱相帮,毛小杰等. 双波长激光器的实验研究[J]. 激光与红外, 2008, **38**(2): 126~127
- 15 Zhang Hongbo, Xi Wenqiang, Sun Feng. Study on active Q-switched green solid-state laser of corner-cube orism cavity[J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2009, **7**(3): 5~7
- 16 张红波,席文强,孙峰. 角锥腔主动调 Q 绿光固体激光器的研究[J]. 光学与光电技术, 2009, **7**(3): 5~7
- 17 Cheng Yong, Lu Changyong, Liu Xu *et al.*. Diode pumped electro-optically Q-switched laser with corner-cube resonator[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(11): 2747~2751
- 18 程勇,卢常勇,刘旭等. LD 抽运角锥棱镜腔电光调 Q 固体激光器[J]. 光子学报, 2009, **38**(11): 2747~2751
- 19 Antoine Godard, Myriam Raybaut, Olivier Lambert *et al.*. Cross-resonant optical parametric oscillators: study of and application to difference-frequency generation[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2005, **22**(9): 1966~1978
- 20 Liu Xu, Lu Changyong, Cheng Yong *et al.*. Eyesafe laser based on ring-cavity KTP optical parametric oscillator [C]. *SPIE*, 2009, **7382**: 73822Y