

文章编号: 0258-7025(2008)07-0972-04

全固态激光器 14 kHz Q 脉冲实验研究

王希军¹ 岱 钦^{1,3} 耿小涛^{1,2} 李德胜^{1,2} 苏少昌^{1,2} 王亚军^{1,2}

(¹ 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130031
² 中国科学院研究生院, 北京 100039; ³ 沈阳理工大学理学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要 在激光二极管抽运固体激光器(DPSSL)中设计一种由无刷电机驱动,采用棱镜作为旋转反射镜的转镜 Q 开关。设计了 20 只棱镜的转盘,获得重复频率 14.3 kHz 的激光脉冲,实现了千赫兹高重复频率大功率关断能力的 Q 开关技术。在逐步提高转镜转速来缩短 Q 开关时间的实验中,激光脉冲序列相应递减,当棱镜转镜转速为 4.3×10^4 r/min 时,获得脉宽 89 ns,重复频率 14.3 kHz 的 1064 nm 高重复频率脉冲输出。当输入功率为 795 W 时,获得平均功率 100 W 脉冲输出,电-光转换效率为 12.5%,峰值功率达到 78.3 kW。实验结果说明,棱镜转镜 Q 开关是实现全固态激光器千赫兹 Q 脉冲输出的可行技术途径之一。

关键词 激光器;棱镜转镜 Q 开关;激光二极管抽运固体激光器;光学加速作用;千赫兹重复频率

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20083507.0972

Laser Diode Pumped Solid State Laser with 14 kHz Q Pulse Output

Wang Xijun¹ Dai Qin^{1,3} Geng Xiaotao^{1,2}

Li Desheng^{1,2} Su Shaochang^{1,2} Wang Yajun^{1,2}

¹ Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130031, China

² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

³ Institute of Sciences, Shenyang Ligong University, Shenyang, Liaoning 110168, China

Abstract A high speed spinning prism Q-switch driven by a brushless direct current (DC) motor (BLDC) has been designed with right-angle reflector in laser diode pumped solid state laser (DPSSL). Some laser pulse series disappear gradually and the number of the output pulses decreases gradually as decreasing the Q-switch shutting period with the increased spinning speed in the experiment, and as increasing the number of the prism to get to high pulse repetition rate, a spinning disk has been designed with 20 prisms, so at the spinning speed of 4.3×10^4 r/min, the minimum pulse duration is 89 ns, and the repetition rate is 14.3 kHz at the wavelength of 1064 nm. When the pumping power was 795 W, the output peak power of 78.3 kW was obtained at the repetition rate of 20 kHz, and the average output power of 100 W, electro-optic conversion of 12.5% were realized. The preliminary experimental results show that the spinning prism Q-switch as a feasible technology of kilohertz Q pulse plays an important turning-off-ability role in the high repetition rate and high-power DPSSL.

Key words lasers; spinning prism Q-switch; laser diode pumped solid state laser; optical accelerative power; kilohertz repetition rate

1 引 言

高速流场摄影、远程测距、非线性光学抽运以及现代加工中都要求激光二极管抽运固体激光器(DPSSL)输出高重复频率、窄脉宽和高脉冲能量的

激光。随着军事和民用的进一步需求,更高重复频率的激光二极管抽运固体激光器调 Q 激光器势必会受到青睐。目前,高重复频率固体激光器所采用的 Q 开关大多为声光器件。声光 Q 开关有调制电压

收稿日期:2007-11-12; 收到修改稿日期:2007-12-04

基金项目:国家重点实验室基金(DA04Q05)资助项目。

作者简介:王希军(1963—),男,吉林人,研究员,博士生导师,博士后,目前主要从事大功率固体激光器及其技术方面的研究。E-mail: xjwang@ciomp.ac.cn

低、声光介质热稳定性好、抗损伤阈值高等优点,但却有开关能力差、不宜用于高能调Q激光器的弱点。针对这些问题,研究人员在提高声光Q开关性能方面进行了大量研究^[1~5],在一定程度上提高了Q开关的关断能力,但没根本上找到关断能力强的高重复频率Q开关。而转镜Q开关以其重复频率可控、结构和调整简单、成本低、对偏振不灵敏等优点,近几年在高功率激光器领域受到人们的关注^[6~9]。

本文采用直角棱镜作为旋转反射镜设计了一种转镜Q开关并应用于激光二极管抽运固体激光器中,通过提高电机的转速和增加棱镜的数目,实现了千赫兹高重复频率大功率快速关断能力的Q开关技术,获得百纳秒以下脉宽输出。实验结果表明,棱镜转镜Q开关是实现全固态激光器千赫兹Q脉冲输出的可行技术途径之一。

2 转镜Q开关的设计及其光学加速作用

转镜Q开关激光器通过提高转镜转速来压缩Q开关时间,但转镜Q开关要成为快速Q开关,仅靠提高转速是不够的,而且提高电机转速,会带来机械上的困难。因此,需要寻找另外的机制来有效地缩短Q开关时间。

设计的转镜Q开关如图1所示,转镜为圆盘结构,20个反射棱镜等角距分布在其侧面,圆盘安装在一个三相高速无刷电机转子上,由电机带动旋转。增加转镜反射面可以提高重复频率,相当于等效地提高转镜的转速。转镜Q开关激光器谐振腔采用折叠腔型^[10],结构如图2所示,其中 M_1 为输出耦合镜, M_2 为转镜, M_3 为全反射镜。

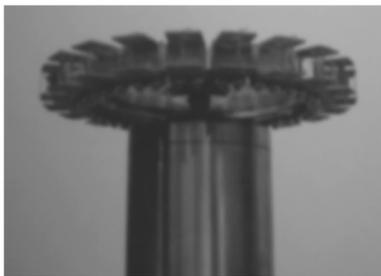


图1 转镜Q开关实物图

Fig. 1 Schematic of the Q-switch

当旋转棱镜转过 θ 角时,入射光线1被转镜 M_2 反射后,光线2以 2θ 角投射到反射镜 M_3 上,被反射后的光线3再经过 M_2 反射后变成光线4。从图2中光线的几何关系计算出光线1和光线4的夹角为

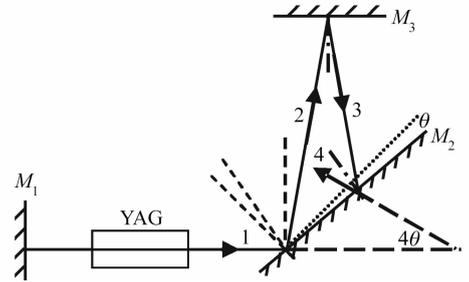


图2 谐振腔内光路示意图

Fig. 2 Optical paths in the resonant cavity

4θ ,当转镜转过 θ 角,光线在谐振腔内往返一次时,反射光线与入射光线偏离角为 4θ 。激光在谐振腔中完成一次振荡,得到有效光学转速为4倍的电机转速,通过提高电机转速,可加快系统的调Q速度,从而改善输出参数。

3 转镜Q开关与高重复频率输出关系

在连续抽运转镜Q开关激光器中,为得到高重复频率,可使用多边形旋转棱镜^[11]或增加棱镜数目,提高转镜电机转速来实现。

图3给出了旋转棱镜个数 m 分别取10,20,30时,激光器重复频率与转镜转速的关系。从图3中可以看出,转镜Q开关激光器的重复频率随转镜转速线性增加,在转镜转速一定的前提下,重复频率会随着旋转棱镜个数 m 的增加而等倍数增加。转镜转速测试光路如图4所示,He-Ne激光入射到转镜反射面上,利用光电探测器接收反射光,光电探测器与示波器相连。高速电机带动转镜旋转,测得转镜的速度,得到转镜Q开关的重复频率。设计的转镜Q开关为圆盘结构,20个反射棱镜等角距分布在其侧面,圆盘安装在一个三相高速无刷电机转子上,由电机带动旋转。测得电机最高转速为 6.0×10^4 r/min,计算对应重复频率为20 kHz。

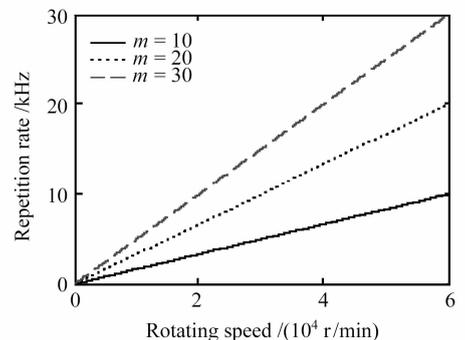


图3 重复频率与转速的关系

Fig. 3 Relationship of repetition rate and rotational speed

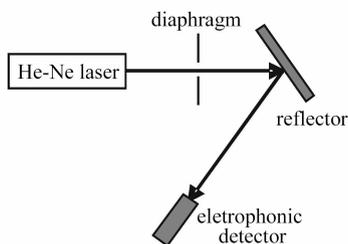


图 4 转镜转速测试光路图

Fig. 4 Rotational speed testing device

4 实验结果及讨论

在激光二极管抽运固体激光器中运用设计的棱镜转镜 Q 开关, 利用它的光学加速作用, 同时改变转镜转速, 在不同转镜 Q 开关时间下, 对 Q 开关时间和脉冲输出关系进行研究。可观测到, 通过逐步提高棱镜转镜的转速来缩短 Q 开关时间, 激光脉冲列相应递减, 最后获得单脉冲输出。采用泰克 TDS3000 系列示波器得到的输出激光脉冲波形如图 5 所示。

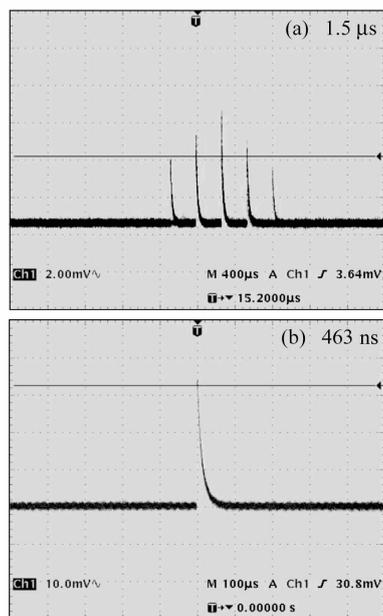


图 5 转镜 Q 开关时间不同时激光器输出脉冲波形

Fig. 5 Output pulse versus Q-switch time

图 5(a) 为转镜电机转速为 1.23×10^3 r/min, 对应 Q 开关时间为 $1.5 \mu\text{s}$ 时, 激光器输出的脉冲波形。从图中看出, 在一个增益区内出现多个脉冲, 是由于转镜转速太低, 使得 Q 开关开启时间大于脉冲建立时间; 激光输出峰值不稳定, 可能是转镜 Q 开关装置中的反射棱镜装调误差、机械加工误差以及电机振动等因素引起转镜旋转不稳定而造成的。进一步提高转镜转速, 缩短 Q 开关的开关时间, 抑制多脉冲产生, 获得单脉冲输出, 如图 5(b) 所示。对应转镜

电机转速为 3.7×10^3 r/min, Q 开关时间为 463 ns。

当转镜转速为 4.3×10^4 r/min, 开关时间缩短为 16.1 ns 时, 获得重复频率为 14.3 kHz, 输出脉宽 89 ns 的单脉冲输出, 波形如图 6 所示。激光输出功率利用 PM-500 型激光功率计测量, 当高速电机转速为 4.3×10^4 r/min 时, 1064 nm 激光输出功率随输入功率的变化曲线如图 7 所示。可以看出, 激光输出功率随输入功率线性变化, 没有出现增益饱和现象, 随着抽运功率的增大, 激光输出功率还可提高。当输入功率为 795 W 时, 激光器输出平均功率达到 100 W, 电-光转换效率为 12.5%, 脉冲宽度为 89 ns, 相应的峰值功率达到 78.3 kW。

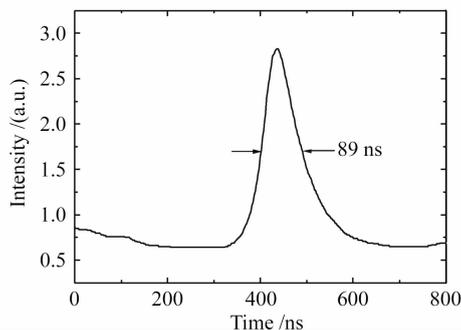


图 6 转镜 Q 开关激光器单脉冲输出波形

Fig. 6 Output pulse duration

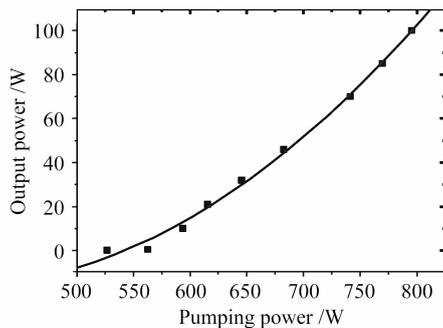


图 7 1064 nm 激光输出功率曲线

Fig. 7 Output power versus pumping power

5 结 论

采用棱镜作为旋转反射镜设计了一种棱镜转镜 Q 开关并应用于激光二极管抽运固体激光器中, 分析了转镜 Q 开关转速对关断时间以及脉宽的影响, 进行了抑制多脉冲、缩短脉冲宽度的实验, 通过增加棱镜数目同时提高转镜转速, 获得了高重复频率、窄脉冲激光输出。运用转镜 Q 开关技术对高功率固体激光器实现了关断, 获得高功率输出。实验结果表明, 棱镜转镜 Q 开关是实现全固态激光器千赫兹 Q 脉冲输出的可行技术途径之一。

参 考 文 献

- Li Qiang, Zheng Yijun, Wang Zhiyong *et al.*. Improving switch loss of Nd:YAG laser by double acousto-optic devices two-dimensional Q-switch [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(9):795~798
李 强,郑义军,王智勇等. 双声光二维 Q 开关提高 Nd:YAG 激光器关断损耗[J]. *中国激光*, 2003, **30**(9):785~788
- Li Xudong, Yu Xin, Yu Junhua *et al.*. Laser diode double-end-pumped acousto-optically Q-switched Nd:GdVO₄ laser with high repetition rate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4):461~464
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**(4):461~464
- Li Gang, Wang Fei, Yu Xin *et al.*. The research of increasing AO Q-switch's ability of switching in Nd:YAG laser by quarter-waveplate [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(4):490~493
李 港,王 菲,于 欣等. 波片提高声光 Q 开关关断 Nd:YAG 激光能力研究[J]. *光子学报*, 2006, **35**(4):490~493
- Feng Lichun, Huo Yujing, He Shufang *et al.*. LD-pumped acousto-optically Q-switched 532 nm laser with high repetition rate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(4):461~465
冯立春,霍玉晶,何淑芳等. 激光二极管抽运声光调 Q 高重复频率 532 nm 激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(4):461~465
- Hu Wentao, Zhou Fuzheng, Chen Youming *et al.*. A CW and high repetitive Q-switched Nd:YAG laser pumped by laser diode array [J]. *Acta Optica Sinica*, 1994, **14**(12):1281~1284
胡文涛,周复正,陈有明等. LD 泵浦 Nd:YAG 激光器的连续激光输出和高重复率调 Q [J]. *光学学报*, 1994, **14**(12):1281~1284
- Marko Marinček, Matjaz Lukač. Development of EM field in lasers with rotating mirror Q-switch [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, **29**(8):2405~2412
- Helena Jelínková, Michal Němec, Jan Šulc *et al.*. Er:YAG laser giant pulse generation [C]. *SPIE*, 2002, **4903**:227~232
- Liu Zhuping, Tang Jingping, Hu Lili *et al.*. Laser properties of rotating prism Q-switched Cr³⁺, Yb³⁺, Er³⁺: phosphate glasses [J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, **54**(9):4422~4426
柳祝平,唐景平,胡丽丽等. Cr³⁺, Yb³⁺, Er³⁺ 共掺磷酸盐铒玻璃转镜调 Q 激光性质研究[J]. *物理学报*, 2005, **54**(9):4422~4426
- Song Yanrong, Liu Yuanyuan, Li Ruining *et al.*. Q-switch laser using two synchronizing turned mirrors [J]. *Acta Sinica Quantum Optica*, 2000, **6**(3):110~112
宋晏蓉,刘媛媛,李瑞宁等. 同步双转镜调 Q 激光器[J]. *量子光子学报*, 2000, **6**(3):110~112
- Wan Daping, Wang Yumin, Gui Zhenxing *et al.*. A novel method for stability analysis and design of laser folded cavity [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(9):1217~1221
王大平,王裕民,归振兴等. 一种激光折叠腔稳定性分析及设计的新方法[J]. *中国激光*, 2007, **34**(9):1217~1221
- Eric J. Woodbury. 7. 3-five kilohertz repetition-rate pulsed YAG:Nd laser [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1967, **QE-3**:509

光学前沿——首届“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动的通知

为了进一步提高我国光学期刊的学术水平和论文质量,吸引和催生优秀稿件,鼓励和培育优秀作者,促进我国光学、激光科技事业发展,《光学学报》、《中国激光》、《Chinese Optics Letters》特发起“光学期刊优秀论文评选活动”,在光学泰斗王大珩先生的支持下,本活动特命名为光学前沿——首届“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动。自 2008 年起,期刊编辑部将每年举办优秀论文评选活动。

主办单位: 中国科学院上海光学精密机械研究所

联合主办单位: 相干(北京)商业有限公司

协办单位: 江西连胜实验装备有限公司

时间安排:

参评论文统计截止时间:2008 年 8 月 30 日。

论文作者提交申请材料时间:2008 年 7 月 1 日~9 月 30 日(论文被引的材料和论文所在项目或课题获奖的证明),请在中国光学期刊网上提交。

审核时间:2008 年 10 月 8 日~10 月 30 日。

编辑部将在 2008 年年底对获奖作者进行公开表彰,并颁发证书和奖金。

希望作者踊跃参加。

详情请浏览:<http://www.opticsjournal.net/Daheng.htm>

咨询电话:021-69918427 胡 冰 E-mail: hubing@siom.ac.cn

光学期刊联合编辑部

2008-06-16