

文章编号 : 0258-7025(2001)01-0004-03

LD 抽运 Nd:YAG 激光器声光调 Q 高效内腔谐波转换

王 杰 姚建铨 王 鹏 于意仲 施翔春

(天津大学精仪学院激光与光电子研究所, 国家教育部光电信息科学技术开放实验室 天津 300072)

摘要 报道了一台半导体激光器(LD)抽运的声光调 Q 高效内腔谐波转换 Nd:YAG 激光器,当注入抽运功率为 12 W 时,声光调 Q 的基频波(1.064 μm)输出平均功率为 2.6 W,采用内腔倍频技术,在简单腔情况下,二次谐波(532 nm)输出平均功率达到了 2.1 W,光-光转换效率分别达到 21.7%和 17.5%。

关键词 LD 抽运 声光调 Q,内腔倍频 高转换效率

中图分类号 :TN 248.1+3 文献标识码 :A

High Efficient Intracavity SHG in LD Pumped AO Q-switched Nd:YAG Laser

WANG Jie YAO Jian-quan WANG Peng YU Yi-zhong SHI Xiang-chun

(*Optoelectronic Information Science and Technology Lab, EMC, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

Abstract A LD pumped high efficient intracavity second frequency generation Nd:YAG laser is reported in this paper. The frequency of the high repetition Q-switched laser is up to 10 kHz. The laser average output power of 2.1 W at 532 nm and 2.6 W at 1.064 μm are obtained with 12 W LD pumping power. The optical-optical conversion efficiencies are 21.7% and 17.5% respectively.

Key words LD pumped, AO Q-switched, intracavity SHG, high efficiency

1 引 言

由于激光二极管抽运的高重复频率、高平均功率和内腔倍频绿光固体激光器同时具有高峰值功率、高平均功率和光子能量大、光束质量好、体积小、寿命长等特点,在空间通讯中具有重要意义^[1]。并已成为轴分离同位素所用染料激光器抽运源的潜在替代方案。由于绿光在海水中的良好穿透特性,在水下遥感和通讯中也具有重要应用前景。

半导体抽运固体激光技术不断成熟,效率不断提高,已经达到了 50%^[2]左右,提高声光调 Q 内腔倍频效率对提高总体绿光转换效率有重要意义。H. Hemmati 等 1994^[1]年报道了 30 W 光纤耦合的半导体激光器(LD)抽运 Nd:YAG 声光调 Q 内腔倍频输出 532 nm 激光 3.5 W,在基波连续运转时

1.064 μm 输出达 11 W。法国原子能委员会萨克纳研究中心报道了半导体激光阵列侧面抽运建成了 Nd:YAG 单台输出 75 ~ 100 W 的高功率声光调 Q 绿光激光器,总半导体激光功率 700 W。美国劳伦斯·里弗莫尔国家实验室已经实现了激光二极管纵向抽运 Nd:YAG 的 100 W 的声光调 Q 绿光输出^[3],半导体抽运功率超过 1100 W。我国在半导体抽运 Nd:YVO₄的内腔倍频连续绿光方面取得显著成绩,获得 5 W 连续绿光输出^[5],但 LD 抽运的高功率声光调制绿光还未见报道。

本文对半导体抽运的固体激光器声光调 Q,高效率内腔倍频从理论和实验两方面进行了研究,指出降低腔内基频波的损耗是提高谐波效率的关键。实验采用简单直腔,在输入 LD 抽运光 12 W 的情况下,利用 ϕ 4 mm \times 10 mm 的 YAG 晶体,得到了静态 1064 nm 3.3 W 的输出功率,在放入声光开关,10 kHz 的重复频率下,1064 nm 输出 2.6 W;采

用 KTP 晶体内腔倍频得到了 532 nm 绿光 2.1 W 的输出功率。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,实验使用 OPC 公司的光纤输出 15 W LD 作为抽运源,半导体激光由 12 根光线集成一束输出,集成后光纤束直径 1.55mm,发散锥角为 12°,25℃时中心波长为 805.7 nm。光纤输出光经过光学系统耦合到 Nd:YAG 的端面,激光介质为 φ 4 mm × 10 mm,一端镀 1.064 μm 高反射同时 808 nm 高透作为输入面和激光腔后反射镜,声光 Q 开关超声频率为 80 MHz,倍频晶体为 II 类位相匹配的 KTP 晶体,晶体尺寸为 φ 5 mm × 5 mm × 7 mm,输出镜为 R = 300 mm 平凹镜,对 1.064 μm 高反射同时 532 nm 高透,腔内放入谐波反射镜对 532 nm 单向输出,激光介质采用水冷方式。

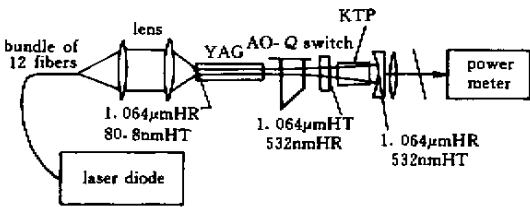


图 1 激光器结构示意图

Fig. 1 Schematic of the laser

在 1.064 μm 连续运转,采用输出透过率为 10% 的平凹镜 (R = 160 mm),腔内无声光 Q 开关及倍频晶体和谐波反射镜,最大有效抽运功率为 12 W 时(为了使 LD 波长匹配运转在较高温下,使输出功率下降,同时有光学耦合损耗),这时 1.064 μm 输出静态约 3.4 W,当腔内加入声光 Q 开关及输出透过率为 12% 的平镜时,在 10 kHz 重复率下最大平均输出功率 2.6 W,脉冲宽度约 20 ns;当腔内加入倍频晶体和谐波反射镜,并将输出镜换成 R = 300 mm,对 1.064 μm 高反射同时 532 nm 高透时,在 10 kHz 输出平均功率为 2.1 W 的 532 nm 绿光,激光脉冲宽度约为 30 ns 左右,绿光峰值功率约 7 kW,总体光-光转换效率达到 17.5%,虽然有谐波反射镜存在,输出倍频激光由两个光束叠加合成,测量其光束截面能量分布,发现激光接近基模输出。激光功率输出曲线如图 2 所示。

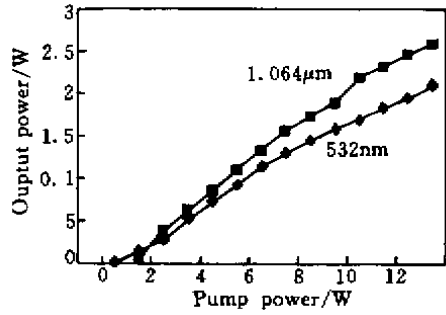


图 2 激光输出功率曲线

Fig. 2 Output power of the laser

3 结果分析

实验中,虽然基频光输出效率不高,但倍频光输出效率很高,接近基频光的输出效率,获得很高的内腔倍频效率。由此得出设计高转换效率的内腔倍频声光调 Q 激光的关键在于降低腔内倍频器件的插入损耗^[4~6]。理论研究指出,如果倍频晶体的插入损耗为零,同时设计合适的非线性单程转换效率,内腔倍频运转输出可以和基波运转输出相等的功率。由于倍频非线性项与光强有关,是随时间变化的,从速率方程很难得到输出二次谐波能量的解析解,在抽运水平一定的情况下,把非线性倍频等效为线性输出,并通过速率方程求解验证了具有相当的等效精度。这种等效下,可以很方便地得出内腔倍频激光器的最佳倍频参数。通过上述等效,可以得到同等抽运条件下声光调 Q 激光器在远离抽运阈值时,基频运转和内腔倍频运转的激光最佳输出功率之比

$$\eta_{2\omega} = \frac{P_{2out}}{P_{1out}} = \frac{T_n(\beta + T)}{T(\beta + \gamma + T_{nl})}$$

其中 T 为基频最佳输出透过率,β 为腔内其他损耗,T_{nl} 为非线性等效平均输出透过率,γ 为倍频晶体的插入损耗。

实际上并不是所有激光器都能实现高效率倍频转换的,这是由于在低功率激光器中,最佳输出透过率很低,而倍频器插入损耗 γ 一般很难小于 1% ~ 2%,导致效率降低,在高功率情况下最佳输出透过率 T 可达百分之十几以上,这时要实现高效率倍频转换需要非线性介质的单程倍频转化效率 T_{nl} 也要达到百分之十几。倍频效率在小信号情况下与光强成正比,一般情况下非线性晶体在连续功率激光器中很难达到这一条件,大多数情况下内腔倍频激光器基频运转时输出远大于内腔倍频运转

输出, 半导体抽运固体激光器容易做到高的腔内功率密度, 容易实现高效率内腔倍频运转。

4 结 论

通过实验和理论分析, 得到了半导体抽运声光调 Q 激光器内腔倍频高转换效率的设计依据, 同时在实验上获得高的谐波转换效率, 表明半导体激光抽运声光调 Q 倍频是获得高功率准连续短波段激光的有效手段, 三倍频和四倍频实验正在进行。

参 考 文 献

- 1 H. Hemmati, J. R. Lesh. 3.5-W Q -switched 532-nm Nd:YAG laser pumped with fiber-coupled diode lasers. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(17):1322 ~ 1324
- 2 Yushi Kaneda, Michio Oka, Hisashi Masuda *et al.*. 7.6 W of continuous-wave radiation in a TEM₀₀ mode from a laser-diode end-pumped Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(14):1003 ~ 1005
- 3 Eric C. Honea, Christopher A. Ebberts, Raymond J. Beach *et al.*. Analysis of an intracavity-doubled diode-pumped Q -switched Nd:YAG laser producing more than 100 W of power at 0.532 μm . *Opt. Lett.*, 1998, **23**(15):1203 ~ 1205
- 4 Yung-Fu Chen, Ting-Ming Huang, Chi-Luen Wang *et al.*. Compact and efficient 3.2-W diode-pumped Nd:YVO₄/KTP green laser. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(24):5727 ~ 5730
- 5 He Jingliang, Hou Wei, Zhang Hengli *et al.*. Continuous-wave output of 5.5 W at 532 nm by intracavity frequency doubling of a Nd:YVO₄ laser. *Chin. Phys. Lett.*, 1998, **15**(6):418 ~ 420
- 6 Yao Jianquan. Nonlinear Optical Frequency Conversion and Tunable Solid State Laser Technology. Beijing: Science Press, 1995. 109 ~ 132 (in Chinese)