

声光调 Q 衍射效率对脉宽压缩的影响研究*

王 刚 王石语 蔡德芳 文建国 过 振

(西安电子科技大学技术物理学院, 西安 710071)

摘 要 通过对衍射效率和反转粒子数密度的关系, 反转粒子数密度和脉冲宽度的关系的分析, 得出当通过提高泵浦速率来压缩脉宽时, 衍射效率必须与泵浦速率和重复频率相匹配. 并提出了匹配条件, 从匹配条件出发又得到了衍射效率与泵浦速率和重复频率的匹配关系式. 关系式中的衍射效率即为能够有效地压缩脉宽的最小衍射效率. 实验结果与理论分析符合较好.

关键词 声光调 Q; 脉宽压缩; 衍射效率; 泵浦速率

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

0 引言

声光调 Q 激光脉冲的压缩技术^[1~5]包括: 提高泵浦速率, 调整泵浦光以匹配腔内振荡光, 缩短腔长, 减小 Q 开关中光束半径内声场的渡越时间等. 其中提高泵浦速率, 调整泵浦光都是为了增大反转粒子数密度, 通过提高谐振腔的增益, 获得窄宽度的脉冲输出. 但是, 这种方法的效果会受到 Q 开关衍射效率的限制.

声光调 Q 是利用声光调制器的布喇格衍射改变激光谐振腔的损耗, 达到调 Q 的目的. 因而声光调 Q 激光器有两个阈值: Q 开关有衍射时的阈值(低 Q 阈值)和 Q 开关无衍射时的阈值(高 Q 阈值), 分别对应两个阈值反转粒子数密度 N_i 和 n_t , 其中 N_i 的值是由 Q 开关的衍射效率和谐振腔的损耗决定的. 所以在一定的谐振腔的条件下, 衍射效率如果不够大, 反转粒子数密度积累就会受限于 N_i , 从而影响到激光脉冲宽度的压缩. 在这种情况下, 即使增大泵浦速率也没有太大意义. 因而在增大泵浦速率的同时必须相应地增大 Q 开关的衍射效率, 提高 N_i , 才能达到压缩脉宽的目的.

增大 Q 开关衍射效率可以通过选用声光品质因子比较高的材料, 增加声光晶体的通光长度, 提高 Q 开关的激励功率等方法来实现. 但是 Q 开关的衍射效率越大, 其设计生产成本就越高, 增加晶体的通光长度, 会拉大腔长, 还增加腔的损耗. 因而有必要对衍射效率和泵浦速率的匹配关系进行研究, 用最小的衍射效率来满足压缩脉宽的要求.

1 理论分析

1.1 反转粒子数密度与脉宽的关系

文献[6]给出了脉冲宽度的表达式

$$t_p = \tau_c \frac{n_i - n_t}{n_i - n_t [1 + \ln(n_i/n_t)]} \quad (1)$$

τ_c 为腔内光子寿命, n_i 、 n_t 、 n_c 分别为初始、最终和阈值反转粒子数密度, 这三者的关系^[7]为

$$n_i - n_t = n_c \ln(n_i/n_t) \quad (2)$$

利用式(1), (2)得到 n_i/n_t 和 Δt_p 的关系, 如图 1(以 τ_c 为脉冲宽度的单位). 在一个恒定的谐振腔中 n_c 值恒定, 图 1 为 Δt_p 与 n_i 的关系曲线. 从图中可以看出脉冲宽度 Δt_p 随着 n_i 的增大而减小.

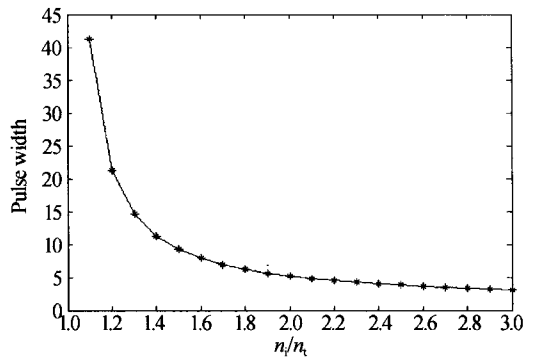


图 1 脉冲宽度和 n_i/n_t 的关系

Fig. 1 The relationship between pulse width and n_i/n_t

1.2 衍射效率与反转粒子数密度的关系

在声光调 Q 激光器中, 谐振腔的往返损耗^[6]

$$\gamma(\eta) = \gamma_0 - \ln R_1 R_2 - 2 \ln(1 - \eta) \quad (3)$$

式中 R_2 为输出镜反射率, R_1 为另一腔镜反射率, η 为 Q 开关的衍射效率, γ_0 为腔内的其他的往返损耗. 有衍射时阈值反转粒子数密度为^[6]

$$N_i = \frac{\gamma(\eta)}{2L\sigma_{21}} = \frac{\gamma_0 - \ln R_1 R_2 - 2 \ln(1 - \eta)}{2L\sigma_{21}} \quad (4)$$

式中 σ_{21} 为受激发射截面, L 为工作物质长度. 保持声光衍射效率为 η , 当激光器的反转粒子数密度达到 N_i 的时候, 衍射效率 η 将无法阻止激光振荡的产生, 激光器会输出连续激光, 反转粒子数密度也不会继续增加.

在一定谐振腔的条件下, 提高泵浦速率, 目的是增大 n_i 的值, 但是 $n_i \leq N_i(\eta)$, 即是 n_i 的提高受限于 N_i 的值. 所以, 通过提高泵浦速率来压缩脉宽时, 必须相应的提高衍射效率, 以提高 N_i .

在调 Q 的脉冲周期为 T , 泵浦速率为 W_p , 腔内损耗很大的条件下, 经过 T 时间的泵浦, 工作物质

* 国防重点实验室基金资助项目(编号: 51456050104DZ0101)
Tel: 029-88202574 Email: wwgang@sohu.com
收稿日期: 2004-10-25

中得到的反转粒子数密度^[5]为

$$n_m = n_\infty - (n_\infty - n_i) \exp(-T/\tau_i) \quad (5)$$

式中 $n_\infty = W_p \tau_i n_{i0}$ 为反转粒子数密度的渐近值, τ_i 为上能级粒子寿命, $T=1/f$, f 为重复频率. 在 T 时间内要使反转粒子数的积累不受 N_i 的限制, 必须满足

$$N_i \geq n_m \quad (6)$$

衍射效率与泵浦速率和脉冲重复频率匹配的条件, 也就是式(6)的临界条件, 为

$$N_i = n_m \quad (7)$$

综合式(3), (4), (5), (7)可以得到

$$\eta = 1 - \exp \{ \gamma_0 - \ln \sqrt{R_1 R_2} - 2 [n_\infty - (n_\infty - n_i) \exp(-t/\tau_i)] L \sigma_{21} \} \quad (8)$$

泵浦速率 W_p 增加时, 只要按式(8)相应地增加衍射效率, 就能够使反转粒子数的积累不受 N_i 的限制, 并且所采用的衍射效率是满足条件的最小值.

1.3 衍射效率对脉宽的影响

在重复频率一定的情况下, 由于 n_m 是由泵浦速率 W_p 和衍射效率 η 共同决定, 压缩脉宽就不能仅仅靠提高泵浦速率来实现, 而需要在提高泵浦速率的时候, 同时选择相匹配的衍射效率.

在一定的谐振腔和耦合系统中, 增大衍射效率, 脉冲宽度的变化情况如图 2(a), 吸收的泵浦功率为 12 W, 与之匹配的衍射效率值 $\eta=0.32$; 增大泵浦速率, 脉冲宽度的变化情况如图 2(b), 到达匹配值以

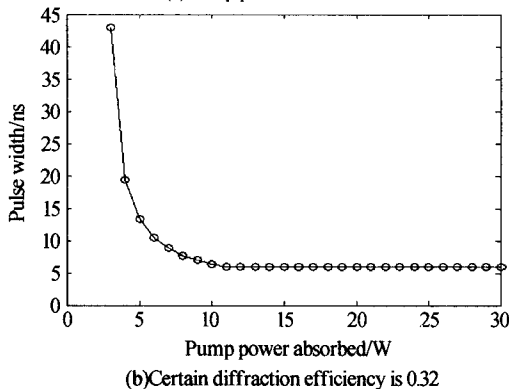
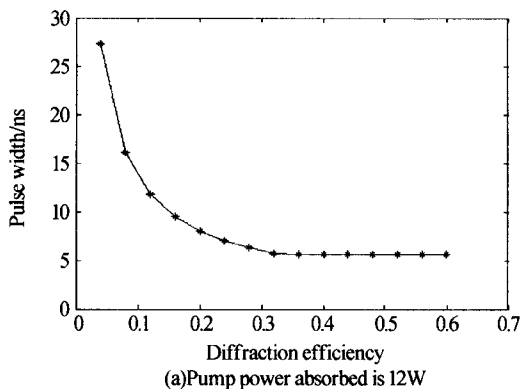


图 2 衍射效率对脉冲宽度影响的模拟曲线
Fig. 2 Simulated curves of the influence on pulse width of diffraction efficiency

后, 泵浦功率的继续增大没有能够压缩脉宽.

输出功率和能量的变化如图 3, 衍射效率和泵浦速率达到匹配值以后, 再相应的增大衍射效率和泵浦速率, 峰值功率和单脉冲能量都不能继续增大.

可见在一定的谐振腔和耦合系统中, 重复频率恒定, 则泵浦速率和衍射效率共同作用来决定脉冲宽度, 两者之间存在一个匹配关系, 在实际的应用中, 必须考虑这个关系. 并且峰值功率和单脉冲能量同样的受这一关系的影响.

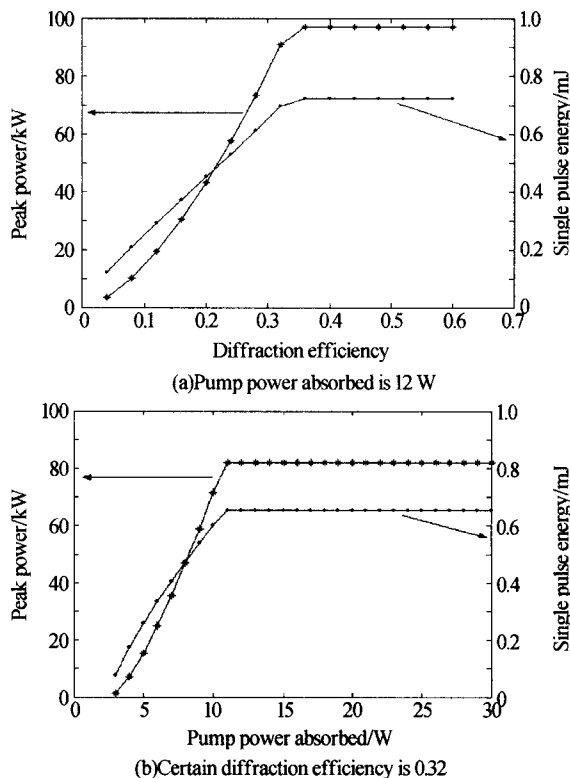


图 3 衍射效率对输出峰值功率和脉冲能量影响的模拟曲线
Fig. 3 Simulated curves of the influence on output peak power and pulse energy of diffraction efficiency

2 实验验证

采用长春光机学院 21# 光纤耦合 LD, 经组合透镜耦合泵浦 $\phi 4 \times 10$ mm 的 Nd:YAG 晶体. 晶体前端面镀对 1064 nm 激光全反、808 nm 激光增透的膜层, 后端面镀 1064 nm 激光增透膜. 天津海洋技术研究所 96 年生产的 Q 开关, 反射率为 84% 的输出镜, 用示波器显示脉宽. 在一定的泵浦功率下, 改变加在 Q 开关上的声功率来改变其衍射效率, 得到如图 4 的实验结果.

从图 4(a)可以看出在两个不同的泵浦功率下, 声功率小于某个值以后, 脉宽均被明显地展宽; 图 4(b)中, 在恒定的衍射效率下, 泵浦功率大于某个值以后, 泵浦功率的继续增大没有能够压缩脉宽. 这其中的临界值就是泵浦功率和衍射效率的匹配值.

实验中,当 Q 开关的衍射效率大于等于匹配值时,随声功率的变化,脉冲宽度基本保持恒定.

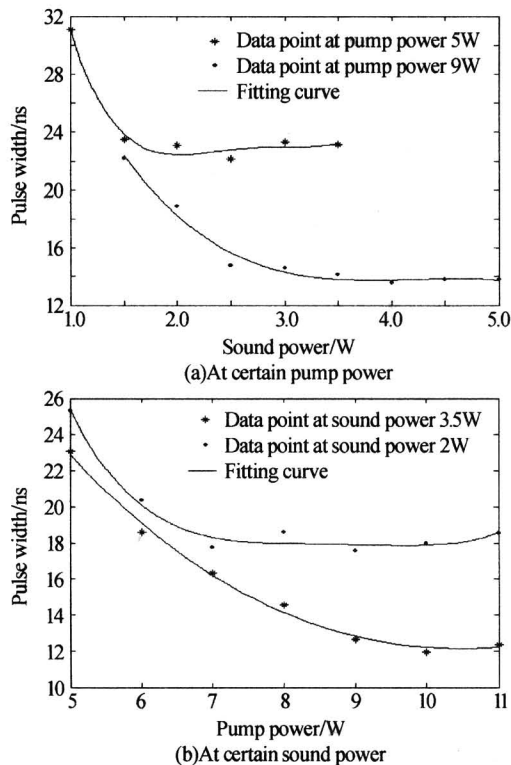


图 4 衍射效率对脉冲宽度影响的实验曲线
Fig. 4 Experimental curve of the influence on pulse width of diffraction efficiency

3 结论

以上通过理论分析和实验验证,得出了 Q 开关的

衍射效率是制约脉冲宽度的一个重要因素. 通过提高泵浦速率来压缩脉宽时, Q 开关的衍射效率必须与泵浦速率匹配,才能达到压缩脉宽的目的,文中所提出的匹配条件以及推导出的匹配关系式,对调 Q 激光实验系统的设计和具体的实验有重要的参考价值.

参考文献

- 1 过振,王石语,文建国,等. 高重复频率二极管泵浦激光器窄脉宽调 Q 技术. 红外与激光工程,2001,30(4):208~210
Guo Z, Wang S Y, Wen J G, et al. *Infrared and Laser Engineering*, 2001,30(4):208~210
- 2 王石语,薛海中,唐映德,等. 泵浦光束空间分布对 DPL 性能的影响. 西安电子科技大学学报,2003,30(1):75~80
Wang S Y, Xue H Z, Tang Y D, et al. *Journal of Xidian University*, 2003,30(1):75~80
- 3 Fan T Y, Byer R L. Diode laser-pumped solid-state lasers. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1988,24(6):895~912
- 4 王石语,过振,文建国,等. 连续激光二极管抽运的调 Q 高重复率 Nd:YAG 激光器研究. 光学学报,2000,20(11):1467~1472
Wang S Y, Guo Z, Wen J G, et al. *Acta Optica Sinica*, 2000,20(11):1467~1472
- 5 王刚,李武军,王石语,等. 声光调 Q 激光器所需最小衍射效率的研究. 光子学报,2005,34(11):1445~1447
Wang G, Li W J, Wang S Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005,34(11):1445~1447
- 6 Walter Keochner. *Solid-state Laser Engineering*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 469~479,501~507
- 7 Degnan J J. Theory of optimally coupled Q-switched laser. *IEEE J Quantum Electron*, 1989,25(5):214~220

Study on the Effect of Diffraction Efficiency on Pulse Compression of A-O Q-switched Laser

Wang Gang, Wang Shiyu, Cai Defang, Wen Jianguo, Guo Zhen

School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071

Received date:2004-10-25

Abstract The relationship between the two thresholds of inversion density in Q-switched laser, high Q value threshold and low Q value threshold is acquired. Through analyzing the relationship between pulse width and population inversion density and the relationship between diffraction efficiency and population inversion density, a conclusion is obtained that the pulse compression is gotten by increasing pumping rate only when diffraction efficiency is matched up to pumping rate and repetitive frequency in A-O Q-switched laser. And the matching formula between diffraction efficiency and pumping rate is acquired by the match condition. The diffraction efficiency in the formula is just the minimum one to effectively compress the pulse. The theoretical results are verified by the experiments.

Keywords Acousto-optical Q-switch; Pulse compression; Diffraction efficiency; Pumping rate



Wang Gang was born in Oct. 16, 1979 in Henan Province, China. He received his B. S. degree in photoelectronics from Zhengzhou University. His major is Q-switch of diode pumped solid-state lasers