

文章编号:1001-5078(2007)11-1165-03

二极管泵浦固体激光器脉冲宽度的优化设计

潘 虎,金煜坚,李久喜
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘 要:文章通过对激光调 Q 的理论分析,推导了二极管泵浦激光器脉冲宽度的理论计算公式,求出了脉冲宽度与激光晶体的直径、受激发射截面、腔长的关系,简化了二极管泵浦激光器的设计。

关键词:二极管泵浦固体激光器;调 Q ;脉宽
中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**B

Optimized Design on the Pulse Width of DPSSL

PAN Hu, JIN Yu-jian, LI Jiu-xi
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: This paper analyzes the theory of Q -switched laser, conducting the formula about pulse width, and the relations between pulse width and diameter of the laser-crystal, the stimulated-emission cross section and the length of cavity, in order to predigest the design of the diode-pumped solid-state laser.

Key words: DPSSL; Q -switch; pulse width

1 引 言

目前二极管泵浦固体激光器得到了越来越广泛的应用,不同的应用对激光输出的脉宽有不同的要求。有些应用希望峰值功率高,脉宽小于 10ns;有些应用为适应探测器的响应时间,希望脉宽在 15ns 左右。在设计激光器时需要对设计的参数计算,使其激光脉宽满足使用要求。目前有关激光的书籍和文章中还没有很方便的计算方法。我们在前人研究的基础上进行了推导,希望能找出简单实用的方法,为实际设计提供帮助。

2 调 Q 脉冲宽度的基本理论

在调 Q 技术中,巨脉冲的时间特性可由调 Q 脉冲激光器的典型速率方程求得^[1]:

$$\frac{d\phi}{dt} = \sigma_{21}\nu\phi N - \frac{N}{t_c} \quad (1)$$

$$\frac{dN}{dt} = -2\sigma_{21}\nu\phi N - 2N_2A_{21} + 2N_{21}W_{13} \quad (2)$$

式中, W 表示泵浦速率; N 表示粒子反转数; ϕ 为激光光子数密度。

调 Q 激光器光脉冲持续时间为几十纳秒。在

这样短的时间内自发辐射及泵浦激励的影响可以忽略不计,因此上述方程组可以简化为:

$$\frac{d\phi}{dt} = \sigma_{21}\nu\phi N - \frac{N}{t_c} = \left(\frac{N}{N_t} - 1\right) \frac{\phi}{t_c} \quad (3)$$

$$\frac{dN}{dt} = -2\sigma_{21}\nu\phi N = -2 \frac{N}{N_t} \frac{\phi}{t_c} \quad (4)$$

令 $\tau = \frac{t}{t_c}$, 我们可以得到腔内光子数密度 ϕ 的方程:

$$\frac{d\phi}{d\tau} = \phi \left(\frac{N}{N_t} - 1\right) \quad (5)$$

与粒子反转数方程:

$$\frac{dN}{d\tau} = -2\phi \frac{N}{N_t} \quad (6)$$

两式相除可得:

$$\frac{d\phi}{dN} = \frac{1}{2} \left(\frac{N_t}{N} - 1\right) \quad (7)$$

两端同时乘以 dN , 进行积分:

作者简介:潘 虎(1981 -),男,在职研究生,主要从事二极管泵浦固体激光器方面的研究。E-mail:ph310@sina.com
收稿日期:2007-07-06

$$\int_{\phi_i}^{\phi} d\phi = \int_{N_i}^N \frac{1}{2} \left(\frac{N}{N_i} - 1 \right) dN \quad (8)$$

式中, ϕ_i 为腔内初始光子数; N_i 为初始粒子数。积分可得:

$$\phi - \phi_i = \frac{1}{2} \left[N_i \ln \frac{N}{N_i} - (N - N_i) \right] \quad (9)$$

由于在 Q 值阶跃开始时, $\phi_i = 0$, 则:

$$\phi = \frac{1}{2} \left[N_i \ln \frac{N}{N_i} - (N - N_i) \right] \quad (10)$$

由式(6)可得:

$$d\tau = \frac{dt}{t_c} - \frac{N_i dN}{2\phi N} \quad (11)$$

将式(10)代入式(11)可得:

$$t = -t_c \int_{N_1}^{N_2} \frac{dN}{N \left(\ln \frac{N}{N_i} + \frac{N_i}{N_i} - \frac{N}{N_i} \right)} \quad (12)$$

这个积分不宜直接求得解析解,但可根据已给数据 $\frac{N_i}{N_t}$, 利用数值积分求得 t 的数值解。当式中 $N_1 = N_i$, $N_2 = N_t$ 时,可算出脉冲上升的波形; $N_1 = N_t$, $N_2 = N_f$ 时,可求出脉冲下降的波形。由于激光脉冲的宽度是以脉冲半功率点的宽度来计算的,设腔内光子数密度 ϕ 由 $\frac{\phi_m}{2}$ 上升至 ϕ_m 需的时间为 Δt_r , 由 ϕ_m 下降至 $\frac{\phi_m}{2}$ 所需的时间为 Δt_f , 则巨脉冲宽度为:

$$\Delta t = \Delta t_r + \Delta t_f \quad (13)$$

$\frac{N_i}{N_t}$ 是一个重要的参量,它不仅直接影响着器件的能量转换效率,而且脉冲宽度也与之密切相关。在 $\frac{N_i}{N_t}$ 取不同的值时,对脉冲形状有很大的影响,当 $\frac{N_i}{N_t}$ 增大时,激光脉冲的上升时间迅速缩短,而下降时间由于主要取决于光子在谐振腔中的自由衰减寿命 t_c , 因此,各脉冲波型的下降时间变化不大。

以上计算脉冲能量、脉冲宽度和峰值功率方程都以初始和最终的反转粒子数密度来表示。这两种反转粒子数密度不仅取决于选择的输出器耦合,而且它们的关系式是一个复杂的超越方程,需要利用数值积分求得其数值解。

3 激光器脉冲宽度的优化设计

Degnan^[2] 推导出了优化 Q 开关激光器运转的解析解。他指出,最佳反射率、输出能量、提取效率、脉宽和峰值功率等关键参量能够用单一的量纲为一

的参量函数 $z = 2g_0 l / L$ 来表示,式中, $2g_0 l$ 为对数小信号增益, L 为往返损耗, τ_c 为腔的时间常数。这个解析解大大简化了对激光器的优化设计过程。

对于所需要的激光脉冲宽度可以从以下几个方面着手:选取激光器谐振腔腔长、选取合适的激光晶体材料、选取合适的激光晶体直径等。

由 Q 开关脉冲的脉宽 Δt_p 和初始、最终,以及阈值反转粒子数密度 n_i, n_f, n_t 的关系:

$$\Delta t_p = \tau_c \frac{n_i - n_f}{n_i - n_t [1 + \ln(n_i/n_t)]} \quad (14)$$

根据 Degnan 对于优化 Q 开关激光器运转的解析解,把脉宽等参量用单一的量纲为一的变量函数 $z = 2g_0 l / L$ 来表示,式中 $2g_0 l$ 为对数小信号增益, L 为往返损耗, τ_c 为腔的时间常数。由:

$$z = 2g_0 l / L = 2\sigma n_i l / L \quad (15)$$

$$n_i = \frac{1}{2\sigma l} \left[\ln \left(\frac{1}{R} \right) + L \right] \quad (16)$$

$$\ln \left(\frac{1}{R} \right) = L \left[\frac{z - 1 - \ln z}{\ln z} \right] \quad (17)$$

计算推导得到:

$$\Delta t_p = \frac{t_r}{L} \cdot \frac{\ln z}{z - 1} \cdot \frac{1}{\frac{z}{z - 1} - \frac{1}{\ln z} \left[1 + \ln \left(\frac{z \cdot \ln z}{z - 1} \right) \right]} \quad (18)$$

其中, t_r 为往返时间。设激光器设计需要能量为 $E_{\max}$, 有:

$$E_{\max} = \frac{Ah\nu L}{2\sigma\gamma} (z - 1 - \ln z) \quad (19)$$

其中, A 为光束截面面积; $h\nu$ 为光子能量, 对于 $1.06\mu\text{m}$, $h\nu = 1.87 \times 10^{-19} \text{J}$; σ 为受激发射截面; γ 为光子简并度因子, 一般对于四能级系统取 $\gamma = 2$; g_0 为小信号增益系数; l 为谐振腔光学长度; L 为往返损耗。对于一定的设计输出能量 $E_{\max}$, 通过式(19)计算得到 z 值, 代入式(18)即可得到相应的调 Q 脉冲宽度。

通过计算可知,激光晶体受激发射截面越大时,激光脉冲宽度越窄。所以选取大的受激发射截面晶体,如 Nd:GdVO₄ (受激发射截面为 $7.6 \times 10^{-19} \text{cm}^2$) 等,对于宽的激光脉冲宽度是不利的。这里选取激光晶体为 Nd:YAG, 其受激发射截面为 $2.8 \times 10^{-19} \text{cm}^2$ 。图1模拟计算得到了当设计输出能量为 150mJ, 设往返损耗为 8%, 激光器腔长为 45cm, 激光晶体直径为 7mm, 光子简并度因子 $\gamma = 2$ 时, 受激发射截面与脉冲宽度的关系。图2模拟计算得到了当设计输出能量为 150mJ, 激光晶体直径为 7mm, 其他

条件不变时腔长与脉冲宽度的关系。图3模拟计算得到了当设计输出能量为150mJ,激光器腔长为45cm,其他条件不变时激光晶体直径与脉冲宽度的关系。

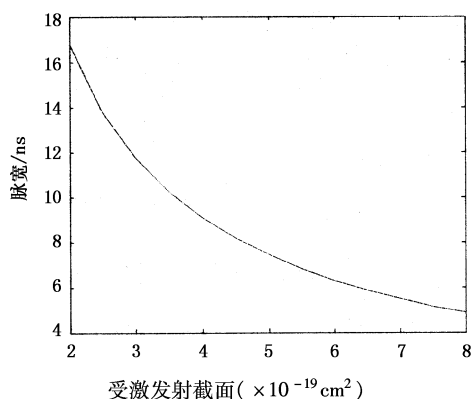


图1 受激发射截面与脉冲宽度的关系

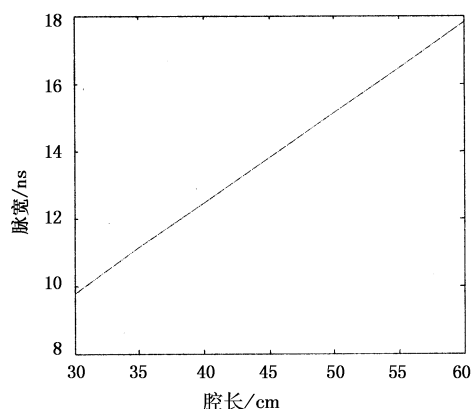


图2 其他条件不变时腔长与脉冲宽度的关系

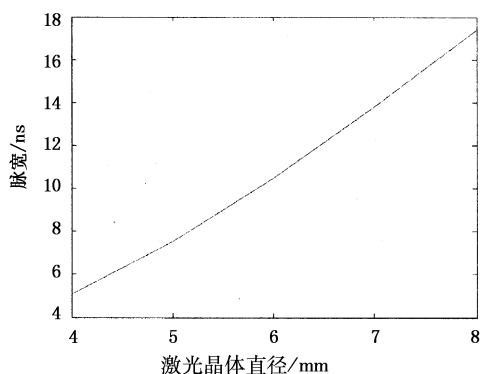


图3 其他条件不变时激光晶体直径与脉冲宽度的关系

4 结论

本文主要从与空间相关的速率方程出发,给出了速率方程解的过程,同时根据 Degnan 推导的优化Q开关激光器运转的解析解,求出了二极管泵浦激光器脉冲宽度与激光晶体的直径、受激发射截面、腔长之间的关系。此法计算过程简单,大大简化了激光器的设计;得到了腔长,晶体直径等等对激光脉冲的影响趋势。其计算结果与实际情况基本相符,对激光器参数的设计具有参考作用。

参考文献:

- [1] W 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 孙文,等译. 北京:科学出版社,2002.
- [2] John J Degnan. Theory of the optimally coupled Q-switched laser. [J]. IEEE J,1989, QE-25:214.

(上接第1155页)

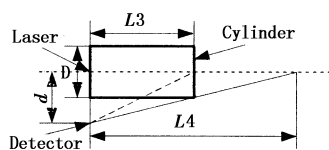


图7 遮光筒对测量结果的影响
Fig.7 effect of the cylinder

4 结论

在气泡尾流激光探测系统中,水体后向散射光信号较强,而气泡后向光散射信号较弱,因此,水体散射对气泡的后向光散射影响显著。对近距离水体的后向光散射信号进行抑制,可以显著提高接收信号的信噪比,从而有利于气泡尾流的探测。

参考文献:

- [1] Pereira F, Gharib M, Dabiri D, et al. Instantaneous whole

field measurement of velocity and size of air microbubbles [C]//Tenth International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Portugal, 2000, 38 (4): 1-11.

- [2] Zhang Xiaodong, Marlon Lewis. The volume scattering function of natural bubble populations[J]. Limnology & Oceanography, 2002, 47(5): 1273-1282.
- [3] Zhang Xiaodong, Marlon Lewis, Bruce Johnson. Influence of bubbles on scattering of light in the ocean[J]. Applied Optics, 1998, 37(27): 6525-6536.
- [4] Alexander A Kokhanovsky. Optical properties of bubbles [J]. Journal of Optics A, 2003, 5: 47-52.
- [5] Alexander A Kokhanovsky. Single light scattering: bubbles versus droplets [J]. American Journal of Physics, 2004, 72(2): 258-263.
- [6] 刘继芳, 雷卫宁, 冀邦杰. 光检测尾流特征中抑制背景干扰的方法[J]. 鱼雷技术, 2007, 15(2): 24-27.