

硼酸铝钕染料调Q激光器

阎平 魏光辉 邓仁亮 刘耀岗 王继扬

(北京理工大学, 北京) (山东大学, 济南)

摘要: 本文介绍如何借助计算机对BDN染料调Q NAB激光器巨脉冲形成过程进行模拟计算, 分析激光器各参数对调Q脉冲的影响, 并用高泵浦速率电源实现了有实用价值的调Q单脉冲, 其能量为5.25mJ, 脉宽3ns。

Q-switched NAB laser with BDN dye

Yan Ping, Wei Guanghui, Deng Renliang, Liu Yaogang, Wang Jiyang

(Beijing Institute of Technology) (Shan dong University)

Abstract: Simulation calculation by computer of Q-switching process of BDN dye Q-switched NAB laser was introduced and the influence of factors of NAB laser on Q-switched pulse was analysed in this paper. Meanwhile, we have obtained the valuable single Q-switched pulse, output energy of which is 5.25mJ and pulse duration is 3ns, by means of high pumping rate power supply.

一、引言

硼酸铝钕NdAl₃(BO₃)₄晶体, 简称NAB晶体是一种掺杂浓度高 ($5.4 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$)、荧光寿命短 (19μs)、物理化学性能良好的自激活晶体。它是一种综合性能较好的小型激光工作物质。目前, 我国在这种晶体的生长方面居世界领先地位。为了使NAB晶体尽快应用于实际, 对于常用的小型调Q NAB激光器的研究就显得很有必要。实验中选择了BDN染料片调Q方式, 以求NAB调Q激光器体积小、重量轻、价格低廉、调整维护方便等。

二、模拟计算与分析

采用四能级系统调Q反转集居数密度 $\Delta n(t)$ 和光子数密度 $N(t)$ 速率方程^[1]:

$$\frac{d\Delta n(t)}{dt} = -\Delta n(t) \sigma_{32} v N(t) \quad (1)$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = \Delta n(t) \sigma_{32} v N(t) - \frac{l}{L} N(t) - \frac{N(t)}{\tau_R} \quad (2)$$

模拟巨脉冲形成过程。式中， $\sigma_{32} = 8 \times 10^{-19} \text{cm}^2$ 为NAB晶体的受激辐射截面， v 为光在工作物质中的速度， l 为NAB晶体工作物质长度， L 为谐振腔长度， τ_R 为光子寿命，并有：

$$\tau_R = L' / \delta c \quad (3)$$

式中， L' 为谐振腔的光学长度， c 为真空中的光速， δ 为单程损耗因子。

为了分析BDN染料调Q激光器的脉冲形成过程，把染料片造成的损耗与谐振腔内的其它损耗一同并入单程损耗因子 δ ，有

$$\delta = \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \ln r_1 r_2 - \frac{1}{2} \ln T^2 \quad (4)$$

式中， α 为谐振腔往返净损耗， r_1 为谐振腔全反镜的反射率， r_2 为输出镜的反射率， T 为染料片的透过率，并有〔2〕：

$$T = T_0 \frac{1 + I_0 \sigma_{24} / I_s \sigma_{13}}{1 + I_0 / I_s} \quad (5)$$

式中， T_0 为染料片初始透过率， I_0 为入射光强， $I_s = 1.58 \text{MW/cm}^2$ 为BDN染料的饱和光强， σ_{13} 、 σ_{24} 分别为下标所示染料能级间的受激跃迁截面，并有： $\sigma_{24} / \sigma_{13} = 0.24$ 。

$$\text{由 (1) 式得：} \Delta n(t) = n_1' e^{-\sigma_{32} v N(t) t} \quad (6)$$

式中， n_1' 为染料片开始有明显饱和趋势时的反转集居数密度。在工作物质受泵浦初期，工作物质开始贮能，当反转粒子数刚超过染料片初始透过率 T_0 对应的阈值时（可以认为是调Q过程的第一阈值），由于腔内光强比较弱，不能使染料迅速饱和，泵浦大于受激辐射，继续贮能。只有当腔内光强增加到一定值时（可以认为达到第二阈值〔3〕），染料片开始具有很快的饱和趋势，调Q脉冲迅速形成。由于第二阈值没有确定的数值表示，我们不妨设此时腔内有 N_0 个光子（对应于 n_1' 个反转粒子数）。同时引入时间变量：光子在腔内走单程所用的时间 $\Delta t = L' / c$ ，为了计算精确取 $t = \Delta t / 10$ 作为单位时间。用计算机对（6）式、（2）式进行迭代计算，可模拟出NAB激光器的调Q脉冲形成过程。

图1表示了图中所示条件下模拟NAB激光器调Q过程的结果，其峰值功率密度为 34.2MW/cm^2 ，脉宽为 2.83ns 。可以看出：模拟结果与在相似条件下的实验结果（如图2）基本吻合。实验结果为输出能量 2mJ ，脉宽 2.84ns ，相当于峰值功率密度 14.26MW/cm^2 。从模拟计算可看出，当设腔内有 $N_0 = 10^{13}$ 个光子，即相当于腔内光强增到 $3.25 \times 10^{-2} \text{MW/cm}^2$ ，染料片此时透过率为 30.55% 时，认为达到第二阈值，BDN染料片开始迅速饱和，调Q脉冲迅速建立。

图3表示了对应不同的初始光子数密度 N_0 ，输出光强与时间的变化曲线。随着腔内初始光子数密度的增加，输出光强明显增强，脉冲的前沿和后沿同时变窄，只是后沿相对地变化较缓慢。因此，对于BDN染料调Q NAB激光器，要想得到高峰值功率的调Q脉冲，就要想办法提高贮能。

图4表示了对应不同的染料片初始透过率 T_0 ，输出光强与时间的变化曲线。随着染料片初始浓度透过率 T_0 的减少，输出光强增强。但染料初始透过率太小，会使激光器阈值增高。所以。在泵浦能量满足要求的情况下，可以选择较小透过率的染料片，以获得较高的峰值功率。

图5表示了对应不同的输出镜反射率 r_2 ，输出光强与时间的变化曲线。随着输出镜反射率的减小，调Q脉冲变窄，输出耦合增大；但同时也使腔内的损耗增加，腔内光强减弱，阈值提高。所以，为了得到最大输出光强，输出镜反射率存在一个最佳值。对于NAB激光器，

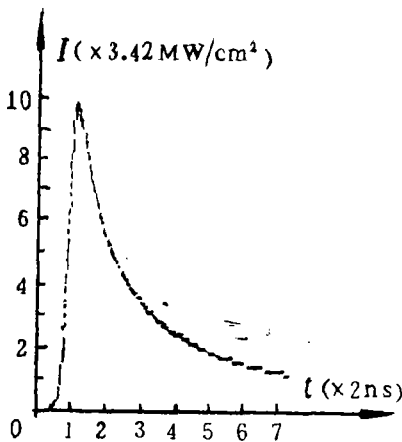


图1 模拟计算的调Q脉冲波形

NAB棒: $\phi 2.5 \times 9.3\text{mm}$ $r_2 = 20\%$ $T_0 = 30\%$
 $L = 40\text{mm}$ $r_1 = 100\%$ $\alpha = 0.01$ $N_0 = 10^{13}$

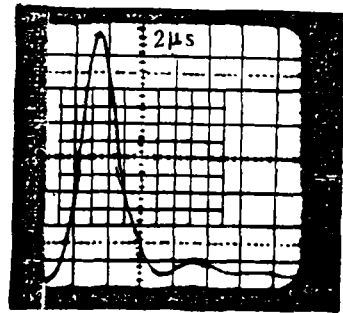


图2 实验获得的调Q脉冲波形

NAB棒、 r_1 、 r_2 同图1 $T_0 = 29.9\%$
 $L = 42\text{mm}$ 输入能量10.46J

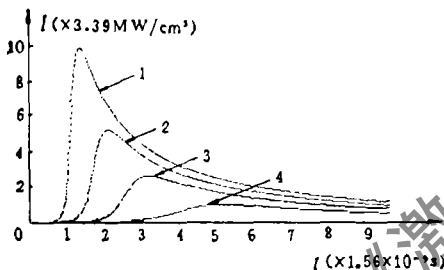


图3 不同 N_0 情况下的输出波形

NAB棒: $\phi 2.5 \times 9.3\text{mm}$ $L = 40\text{mm}$ $r_2 = 50\%$
 $r_1 = 100\%$ $T_0 = 20\%$ $\alpha = 0.01$ 1— $N_0 = 10^{16}$
 2— $N_0 = 10^{15}$ 3— $N_0 = 10^{13}$ 4— $N_0 = 10^{11}$

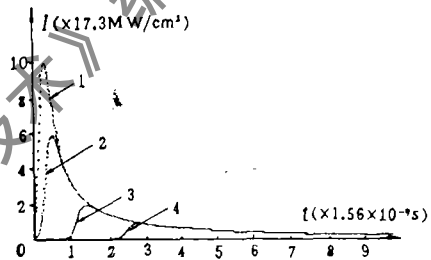


图4 不同 T_0 情况下的输出波形

NAB棒: $\phi 2.5 \times 9.3\text{mm}$ $L = 40\text{mm}$
 $r_2 = 50\%$ $r_1 = 100\%$ $N_0 = 10^{13}$
 $\alpha = 0.01$ 1— $T_0 = 0.2$ 2— $T_0 = 0.4$
 3— $T_0 = 0.6$ 4— $T_0 = 0.8$

计算结果表明最佳透过率为95%左右(这一结果与为了追求最大输出能量所得最佳透过率相比数值偏高)。考虑到实际应用,只有尽可能选取接近最佳透过率的输出镜,适当降低阈值。

三、NAB调Q激光器实验

NAB晶体的特点之一是荧光寿命短。我们知道:荧光寿命短会导致自发辐射严重,使激光器贮能困难,效率降低,这直接影响了调Q脉冲峰值功率的提高。与贮能直接有关的可控量是泵浦源,为此,我们提出了采用高泵浦速率电源来减小NAB晶体荧光寿命短对动态器件效率的不良影响。泵浦速率的提高可以使激光器阈值降低,激光器静态输出能量增加,从而增加了调Q激光器的贮能,使其峰值功率增大。实验也证实了这一点:我们用较高速率泵浦源,其泵浦脉宽约 $10\mu\text{s}$ 与较低速率泵浦源,其泵浦脉宽约为 $50\mu\text{s}$ 进行对比实验,发现在相同输入电能4.6J下(NAB棒: $\phi 3 \times 11.2\text{mm}$, $r_2 = 40\%$, $T_0 = 20.5\%$),用高泵浦速率电源获得了3.2mJ单脉冲能量,而用低泵浦速率电源只获得了1.34mJ单脉冲能量,并且高泵

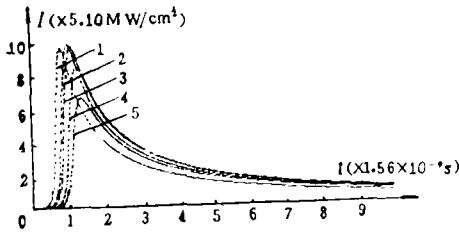


图5 不同 r_2 情况下的输出波形

NAB棒: $\phi 2.5 \times 9.3\text{mm}$ $L = 40\text{mm}$ $r_1 = 100\%$ $T_0 = 20\%$ $N_0 = 10^{13}$ $\alpha = 0.01$ 1— $r_2 = 0.005$ 2— $r_2 = 0.05$ 3— $r_2 = 0.1$ 4— $r_2 = 0.35$ 5— $r_2 = 0.5$

浦速率电源还可获得更窄的调Q脉宽。

根据图4、图5所示结果,目前,用 $\phi 3.5 \times 13.72\text{mm}$ 氙灯激励 $\phi 5 \times 14.24\text{mm}$ 的NAB棒, $r_2 = 60\%$, $L = 42\text{mm}$, $T_0 = 50.1\%$, 银紧包反射腔,用高泵浦速率电源,当输入电能8.19J时,获得了输出能量5.25mJ,脉冲宽度3ns调Q单脉冲,相当于峰值功率密度8.91MW/cm²

(在此条件下,理论模拟计算结果为:峰值功率密度29.02MW/cm²,脉冲宽度2.91ns)。

但从激光输出在照相纸上烧蚀的光斑发现:激光工作物质只能边缘起振。这说明泵浦量不够大和谐振腔型有待改进。另外,这也可能与NAB晶体掺钕浓度较高有关。

四、结 论

模拟计算能较好地与实验吻合,所得结果对实际有一定指导意义。NAB调Q激光器实验已获得了可应用于实际的调Q单脉冲,但应用推广仍存在问题,比如: NAB调Q激光器阈值没有预期的低,高泵浦速率电源下微型氙灯的寿命和NAB晶体最佳掺钕浓度等。为解决这些问题仍需进一步努力。

参 考 文 献

- [1] 周炳琨, 激光原理。北京: 国防工业出版社, 1983
- [2] Hercher M, Appl. Opt., 1967, 6(5): 947
- [3] Anthony E Siegman, Lasers, 1986

* * *

作者简介: 阎平, 女, 1965年出生。硕士, 现攻读博士学位。

魏光辉, 男, 1933年2月出生。教授。现从事光电子技术教学、科研工作。

邓仁亮, 男, 1935年6月出生。副教授。从事光学制导及固体激光技术方面的科研、教学工作。

刘耀岗, 男, 1938年1月出生。副教授, 山东大学晶体材料研究所副所长。从事功能晶体材料的生长工作。

王继扬, 男, 1946年6月出生。副教授, 国家人工晶体研究与发展中心办公室主任。1985至1986年在西德Köln大学作访问学者。现在山东大学晶体材料研究所从事激光、非线性晶体生长和性能研究工作。

收稿日期: 1989年12月11日。

收到修改稿日期: 1990年1月22日。