

文章编号: 1001-3806(2003)02-0085-03

Nd YAG 激光器电光调 Q 偏振片漏光现象的实验研究

赵 茗 黄维玲 胡 鹏 李志刚

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 对前级激光振荡、后级激光放大的脉冲 Nd YAG 激光器采用经典电光调 Q 的方法, 实现了最大输出峰值功率 50MW 左右, 脉宽为 13ns, 重复频率为 1Hz~20Hz 的调 Q 脉冲。实验中对偏振片侧面反射出较强激光的特殊现象做了深入的分析和探讨, 指出了该现象产生的原因及如何利用这种现象来指导电光调 Q 类激光器的调试, 最后给出了一些提高调 Q 效果的改进措施, 具有较强的实践意义和普遍适用性。

关键词: 电光调 Q 开关; 漏光; 偏振; 退偏度; 延时调节

中图分类号: O438 文献标识码: A

Study on leaked laser from the polarizer in E-O Q-switched laser system

Zhao Ming, Huang Weiling, Hu Peng, Li Zhigang

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: An E-O Q-switched solid-state Nd YAG laser system including an oscillator and an amplifier is introduced. Intensive discussion and analysis are focused on an abnormal phenomenon: a leaked laser beam with quite high energy is reflected from one side of the polarizer. The leaked laser is detected, then a profound analysis is given to point to illustrate the detected waveform. It has also been discussed in detail how to improve the efficiency of the laser quality on some aspects. Finally, it is concluded how to make use of this phenomenon's waveform to guide the debugging of this kind of lasers. The conclusion has a great importance in industrial manufacture of the lasers.

Key words: E-O Q-switch; leaked laser; poarization; depolarization; time-delay regulation

引 言

电光调 Q 因其具有开关时间短(约 10^{-9} s)、输出脉宽窄(10ns~20ns)、峰值功率高(几十兆瓦以上)、效率高等优点,是目前应用比较广泛的一种典型调 Q 方式。文中主要研究了由 KD*P 电光晶体和 Brewster 偏振片构成电光 Q 开关的脉冲 Nd YAG 激光器,在传统实验的方法上检测到偏振片侧面特殊的漏光现象,对此进行深入的分析,给出了一些有实践意义的结论,对电光调 Q 类激光器的具体调试操作起到一定的指导作用。

1 实验装置

系统结构如图 1 所示,整个激光器由振荡级和放大级组成。在振荡级中, KD*P 电光晶体和 Brewster 偏振片构成电光 Q 开关,谐振腔由全反镜

M_1 和透过率为 70% 的输出镜 M_2 构成。

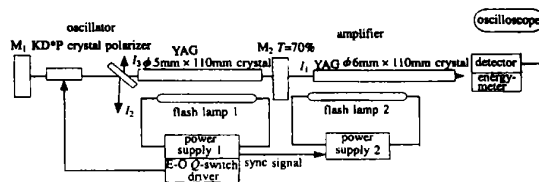


Fig. 1 Experiment setup for a Nd YAG laser with E-O Q-switch

2 实验结果及分析

试验中在精确调节光轴对准后,为得到理想的开关效果,在调制电光晶体加 $V/4$ 电压的状态下,绕光轴旋转晶体与偏振片的相对方位,直到激光不再振荡^[1]。撤掉晶体电压后,在输出激光调 Q 巨脉冲 I_1 的同时发现一种尚未见报道的特殊现象:在偏振片的一侧出射较强激光 I_2 (如图 1),进一步检测到不调 Q 时偏振片侧面也会出射一定能量的激光,同时还检测到另一侧也有类似微弱激光 I_3 输出。利用高速光电探测器和 100MHz 的高频示波器检测 I_2 和 I_3 的波形。如图 2(因 I_3 较弱,探测器灵敏度不够,此处仅以 I_2 的波形示意,后面将给出相应分

作者简介:赵 茗,女,1976 年 10 月出生。博士研究生。主要从事固体激光器和半导体激光器方面的研究。

收稿日期:2002-06-04;收到修改稿日期:2002-07-23

析)。图2是电光晶体3种情况下偏振片侧面出射 I_2 光脉冲能量波形图,将侧面出光的3种不同情况放在同一幅图上以便比较,此时光脉冲探测器损耗和示波器参数完全相同,故相对数值具有可比性。

第1种情况:电光晶体无高压无触发的 I_2 光脉冲波形。与一般没有采取任何调 Q 措施的脉冲激光器的光脉冲波形类似。第2种情况:电光晶体加高压不加触发的 I_2 光脉冲波形。可以看出其波形也与

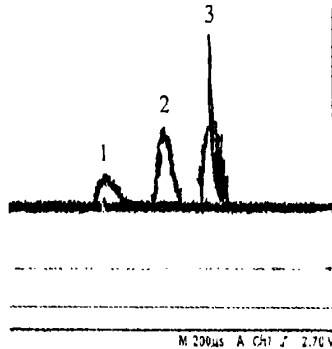


Fig. 2 Comparison between output laser pulses from the side of polarizer in different conditions

KD*P:1 - no voltage without trigger
2 - voltage without trigger 3 - voltage with trigger

未调 Q 的光脉冲波形类似,但激光的输出能量明显比第1种情况有所增加。第3种情况:电光晶体加高压加触发的 I_2 光脉冲波形。此时可明显的观察到在第2种情况的光脉冲波形基础上叠加了一个具有调 Q 特征的光脉冲,同时还发现调节延时会使调 Q 脉冲沿时轴移动并对基底脉冲起到一个“门开关”的截止作用:调 Q 脉冲出现的时刻设为 t_1 ,则 t_1 右的基底波形截止,仅有调 Q 脉冲。

对应图2的3种情况,分析其产生的原因如下(为简便起见,以偏振片的起偏效果对系统产生的影响为例进行详细分析,并假设偏振片的起偏方向为晶体 y 轴。由电光晶体性能和系统调节等其它因素造成的影响读者可参照分析)。

首先考虑第2种情况,即电光晶体加高压不加触发的情形。由于布氏偏振片的非完善性,在氙灯泵浦下YAG晶体发出的自然光(无规偏振光)通过偏振片后不可能完全变成沿 y 轴起振的线偏振光(P 支),而是在 x 轴也有很小分量(S 支)的部分偏振光。因此,往返通过加压的KD*P晶体后, P 支变为 S 支,不能通过偏振片被阻断;而 S 支变为 P 支,可通过偏振片回到腔内获得增益。又由于YAG晶体存在一定的退偏度,故腔内的近 P 支激光再次通过偏振片时首先会反射出少量激光(形成 I_3),然后往返经过KD*P后,偏振片又会将偏振方向与之垂直的分量反射出去(形成 I_2),与 I_3 相比,由于此时偏振片反射的是大部分 S 支光,故而 I_2 能量比较大。如此反复,激光振荡得以形成。从而推知,此

时正向输出的激光 I_1 并没有完全关断,实验中发现,由于正向输出 I_1 激光的微弱(与腔镜透过率以及腔内器件性能等因素有关),振荡级很难检测到激光输出,故而会在实验中造成正向输出 I_1 “伪关断”现象。本实验装置设有放大级,故通过放大级便可检验出激光没有关断(可利用此现象来判断和调节激光振荡的关断。但实际上由于器件的非完善性,很难达到理想状态下的完全关断)。

依上文分析,第1种情况由于没有调 Q ,电光晶体不起作用,故偏振片两侧反射的均为很小分量的偏振光(读者可参照上文进行分析),因而其波形幅值比第2种情况的波形幅值要小,且均与腔内自由振荡的激光脉冲波形 I_1 类似,与实测相符。

根据以上分析,可推知对应KD*P晶体的3种情况, I_1, I_2, I_3 的波形应该基本类似,所不同的只是波形幅度的大小。

现参照调 Q 激光脉冲的建立过程(图3)对第3种情况的 I_1 进行分析,其分析结果也适用于 I_2, I_3 。图3c中,1对应为有漏光输出时调 Q 脉冲所对应的反转粒子数,2为未关断激光振荡所对应的反转粒子数,3为理想状态所对应的反转粒子数,其最大值分别对应

n_1, n_2, n_3 。d图对应其反转粒子数给出了相应的激光脉冲波形1,2,3。

从调 Q 激光脉冲的建立过程可知,理想情况下,谐振腔在泵浦的大部分时间内均处于低 Q 值状态,故阈值很高不能起振,从而上能级粒子数不断积累,直至 t_0 时刻,粒子数反转达到最大 n_3 ,此时 Q 值突然升高(损耗下降),阈值降低,由于此时的上能级粒子数 $n_3 \gg n_t$ (阈值粒子反转数),故受激辐射增强非常迅速,激光介质存储的能量在极短的时间内转变为受激辐射的能量,产生一个峰值功率很高的窄脉冲。实验中,由于高损耗状态时腔内的激光未完全关断,故腔内的反转粒子会消耗一部分(图3c中曲线2),从而在 Q 值增大之前维持一激光振荡2(如图3d示)直到 Q 脉冲来临,且由于已经在腔内建立了前期振荡,有一定的光子数积累,故调

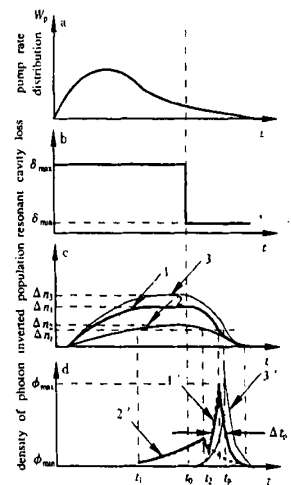


Fig. 3 The foundation of the Q-pulse laser

Q 巨脉冲将会直接从前期振荡时期的光子数密度开始增长并使其余的大部分的上能级粒子(图 3c 中曲线 1)瞬间输出(图 3d 中曲线 1),形成具有一本底脉冲的调 Q 脉冲(图 3d 图曲线 1 和 2 的实线包络波形)。由图 3c 可知,由于泵浦速率一致,故 1,2 两种状态的最大反转粒子数均可视为在 t_0 处达到。因为曲线 2 的反转粒子数远小于曲线 1 的反转粒子数,故 2 的反转粒子数消耗快,总是比 1 提前到达阈值(t_2),形成脉冲尖峰,而 1 却要等到 t_p 时刻才到达阈值形成巨脉冲尖峰。2 形成的激光脉冲 2 的发生时间不会受调 Q 触发信号改变时刻 t_0 的影响,且其幅值大小只与谐振腔内器件性能有关(如上面分析的偏振片的偏振度及 YAG 晶体的退偏度等),而 1 所形成的 Q 脉冲 1 效果和发生时间却与 Q 值突变的时刻有关:只有在 t_0 时刻才对应反转粒子数最大的时刻,此时得到的调 Q 效果最好,超前或滞后其峰值功率都会有所下降,且其脉冲波形的峰值发生时刻也会因 t_0 的改变而有所变化,同时也会影响到本底脉冲 2,即出现图 2 中第 3 种情况中所分析的开关现象。从图 3d 可以明显看出,由于腔内激光的未关断而造成的前期振荡 2 会消耗一部分反转粒子数,从而造成 1 峰值功率有所下降。

在实验中发现,由于 I_1 的调 Q 脉冲峰值功率太高,故用高频光电探测器探测时,为防止 PIN 管饱和,所加前级损耗较大,仅观测到调 Q 脉冲而观测不到其本底脉冲,无法判断 Q 值是否在反转粒子数最大时突变,调节触发延时具有一定的盲目性;而漏光 I_2 的调 Q 脉冲功率较小,探测器所加损耗也较小,故可探测到其本底脉冲。因此,根据漏光 I_2 的调 Q 脉冲波形来控制 Q 值反转的时刻 t_0 (触发延时调节)可较直观地将延时触发调节到最佳位置,从而获得高阈值调 Q 脉冲。实验中应用此结论并仔细调节触发延时,在无法消除由于系统器件性能造成偏振片漏光的情况下获得了最大输出的调 Q 脉冲。

同时,由于电光晶体的消光比不够高,晶体的光学性质不均匀,会导致通过偏振片(此时假设偏振片为理想状态)的线偏振光往返通过加压的电光晶体时在晶体快慢轴产生的相位差不是 π 相位,而形成了一个偏心率很大的椭圆,也会导致偏振片侧面输出漏光(读者可参照偏振片自行分析)。此外,因系统精度有限,若偏振片的起偏方向与晶体的 x 轴或 y 轴没有完全重合,存在一小角度差,也会造成偏振片漏光(读者也可参照偏振片进行分析)。

须特别指出的是,由于器件性能的差异,很可能在某些偏振片电光调 Q 类激光器中观测不到比较强的漏光现象,但实际上由于器件的不完善性,漏光现象不能完全避免,只是漏光的强弱以及探测器的灵敏度问题。所以,在实际的激光器调试中一定要注意安全,以防漏光辐射人体,造成不必要的伤害。

3 结 论

在实验中所发现的现象是采用这一类型调 Q 器件的激光器所共有的现象,通过对这类激光器的实际工作机理的深入研究可以得出以下结论:

1. 在电光调 Q 激光器调试过程中,由于激光器的电光调 Q 器件总会存在一定缺陷,故很难调至全关断(可在振荡级后加一放大级以便观测关断效果),但仍然可以输出调 Q 巨脉冲,只是峰值功率比理想状态略低。

2. 漏光现象的产生有多种原因,不仅与电光晶体和偏振片性能有关,还与系统调节精度以及激光晶体性能有关,要提高调 Q 效果,改善输出,根据上文分析,可从如下几个方面着手:(1)考虑到电光晶体的质量对调 Q 性能起着很重要的作用,因此,一定要选择消光比高(衡量电光 Q 开关性能的主要指标,取决于晶体折射率的均匀性)、透过率高(减少插入损耗)、破坏阈值高的电光晶体,且尽量提高电光晶体纵向电场的均匀性;(2)选择偏振度高的偏振片;(3)提高系统调节的精度;(4)尽量采用高质量的激光晶体;(5)为避免漏光输出可采用空气隙格兰-汤姆生棱镜(损伤阈值高),其起偏效果优于偏振片,但由于棱镜吸收漏光有一定发热,因此,向厂家购买时要注意其散热性。另外,采用棱镜作电光开关的起偏器的整机成本要比布氏偏振片高。

3. 在电光调 Q 激光器的调试中,如出现比较强的漏光,可利用此现象来指导调试工作。通过观察侧面出光的光脉冲波形可以比较容易地将 Q 开关延时调整到最佳位置,以获得最佳的输出效果。

深入探讨了偏振片侧面出光现象,对激光的工业应用有着一定的意义。按上面的理论指导开发出的电光调 Q 激光器已经在系统完善方面做了很多工作,并顺利地激光美容、激光除锈、激光内雕、掩模打标等应用领域发挥着巨大的作用。

参 考 文 献

- [1] 蒋民华. 晶体物理. 济南:山东科学技术出版社,1980:379.
- [2] 蓝信钜. 激光技术. 武汉:华中理工大学出版社,1995:69~78.