

一种时-空域同时整形的激光器设计

黄 骊 张少军 李延廷

(北京工业大学应用物理系,北京,100022)

摘要: 慢调 Q 腔倒空方法是一种能够对激光器输出脉冲进行时间域整形的技术,使用非均匀反射镜腔的激光器是一种能够对谐振腔内光波场的空间截面分布进行特定变换即空间域整形的激光器,将两种技术方法同时应用在同一台纳秒级 Nd:YAG 调 Q 脉冲激光器上实现同时具有时域和空间域整形能力。

关键词: 时-空域整形 非均匀反射镜腔 慢调 Q 腔倒空

Design of a laser renovating pulses in time and space field

Huang Liu, Zhang Shaojun, Li Yanting

(Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022)

Abstract: Adjusting Q slowly cavity flowing empty technology is a method that renovates pulses in the time field. The application of non uniform reflection mirror cavity is able to change the space section structure of the optical wave field. Hybrid application of these two technologies in a ns grade Q-switched pulse Nd:YAG laser makes it available to renovate pulses in time and space at the meantime.

Key words: renovating pulses in time and space non uniform reflective mirror cavity adjusting Q slowly cavity flowing empty

引 言

在一台激光器上同时实现激光束的空间域整形和时间域整形,这种激光器叫作时-空域同时整形的激光器。探讨在同一台激光器上实现时-空域整形的方法、理论、技术手段是很有意义的,在激光材料加工、光学信息处理、存储、临床医学、科研、工业、潜通讯等部门领域中,一部分应用都同时对输出激光束的时间域、空间域分布有一定要求。

我们给出一种实现方案的设计。采用非均匀反射镜腔^[1]来实现光波场空间截面上的分布变换即光束的空间整形;采用慢调 Q 腔倒空技术来实现光脉冲的时间域整形。两种整形机制在同一台激光器中结合,实现激光束的时-空域整形^[2]。

1 使用非均匀反射镜腔的激光束空间整形

用非均匀反射镜谐振腔来实现光波场空间分布变换调制的调 Q 激光器光路如图 1。为分析简便起见,仅讨论没有起偏器 QP₁,QP₂,电光调制晶体 P.C 的无源腔,如图 2。

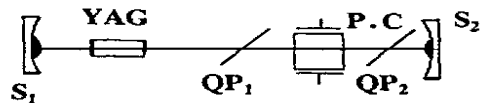


Fig. 1 Laser of non uniform mirror cavity

反射镜 S₁, S₂ 曲率半径分别为 R₁, R₂; S₁,

S₂ 的振幅反射率分别为:

$$t_{i1} = t_{i1}(0) \exp(-r^2 / r_1^2) \quad (1)$$

$$t_{i_2} = t_{i_2}(0) \exp(-r^2 / \frac{3}{2}) \quad (2)$$

满足 $t_{i_1}(0) / t_{i_1}(r) = e$ 的 r_i 值即为 $r_i (i=1, 2)$ 。

由于腔长 L 较反射镜线度大得多,故经过 q 次传播的光波场 $\xi_q(x_1, y_1)$ 从 S_1 上出射,到达 S_2 上被变换为 $\xi_{q+1}(x_2, y_2)$, S_2 为参考镜面有^[31]:

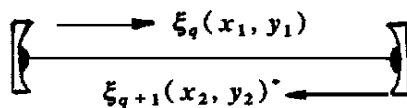


Fig. 2 Laser without source

$$\xi_{q+1}(x_2, y_2) = \frac{i}{L} \int_{S_1} \xi_q(x_1, y_1) \exp(-ikr) ds_1 \quad (3)$$

$$\text{往返 1 周后, 实现自再现。} \quad \xi_{2, q+2} = \xi_{2, q} \quad (4)$$

腔的本征方程为:

$$\xi_2(x_2, y_2) = \int_{S_1} \xi_1(x_1, y_1) k(x_1, y_1, x_2, y_2) ds_1 \quad (5)$$

满足(5)式的光波场 $\xi_2(x_2, y_2)$ 就是光腔的自再现模,即镜面 S_2 上的稳定光场空间截面上的分布。

采用这样的非均匀反射镜腔的激光器,用数值模拟的方法可解出:在腔镜 S_1, S_2 上的光波光强度呈平顶分布,如果 S_2 是透反镜,用作输出,则输出空间分布呈平顶的光束,见图 3。

如果反射率分布函数 $t_{i_1}(r), t_{i_2}(r)$ 不同,输出光束的空间截面也不同。对应的有源腔内放置起偏器 QP_1, QP_2 及电光调 Q 晶体 P. C 后,仅使腔内转化成偏振光运转状态,并产生时域上高斯脉冲,光波场的空间截面分布没有发生大的改变。

2 慢调 Q 腔倒空时域整形

S_1, S_2 全部是全反射镜,慢调 Q 腔倒空激光器如图 4。

使用简化的二能级速率方程模型分析 YAG 工作物质内的反转粒子数密度及腔内光子数变化规律。格兰棱镜 GL 与电光调 Q 晶体 P. C, S_2 构成一个变反射率系统。激活介质内的光子数和反转粒子数密度分别为 N, n , 则简化的速率方程为:

$$dN/dt = -n_{32}cN - N/R \quad (6)$$

$$dn/dt = -n_{32}cN \quad (7)$$

式中, σ_{32} 为发射截面, R 为腔内光子寿命。腔内光子寿命 R 取决于腔内损耗情况,实际上 R 表示损耗项。

上面的装置采用低 Q 抽运。加在电光调 Q 晶体上的电压为 $V_{1/4}$ 时,光腔内呈低 Q 值,激活介质内反转粒子数密度急剧增加,当调制电路使普克尔盒 $V_{P.C}$ 降为 0 时,光腔呈高 Q 值,腔内振荡迅速建立,并形成雪崩式激光泄倒输出。光腔内的振荡光呈偏振态运行。采用慢调过程调 Q,即在电光晶体上所加电压 $V_{P.C}$ 不是一次跳变,而是一个按预定曲线规律变化的,并在 20 ~ 100ns 内完成。而电光晶体所加电压值与光腔 Q 值有一一对应的关系,通过控制 $V_{P.C}$ 的变化规律来控制光腔 Q 值的变化规律。在 Q 值由高向低变化过程中,也是腔内巨脉冲形成并向腔外泻倒的过程,此时的激光输出迅速地改变和损耗腔内光子数,对工作物质中的反转粒子数密度影响不是很大,故有^[41]:

$$dn/dt = -n_{32}cN = 0 \quad (8)$$

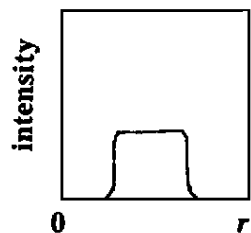


Fig. 3 Output laser beam

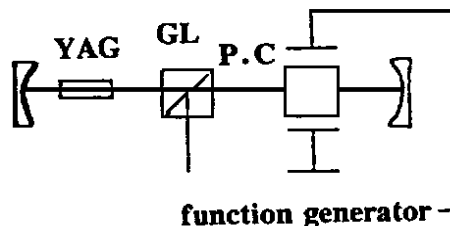


Fig. 4 Time renovation laser

于是,光子数的变化规律简化为:

$$dN/dt = -N/R \quad (9)$$

R 在慢调 Q 过程中是 $V_{P.C}(t)$ 的函数:

$$R(t) = f[V_{P.C}(t)] \quad (10)$$

经推导有:

$$dN/dt = (NC/2nL) \times \ln \left[1 - \sin^2 2 \sin^2 \frac{n_0^3 - 63}{0} V_{P.C}(t) \right] \quad (11)$$

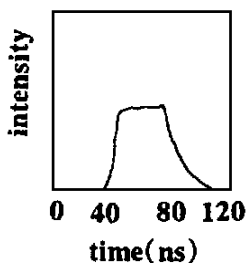


Fig. 6 Waveshape of the time field

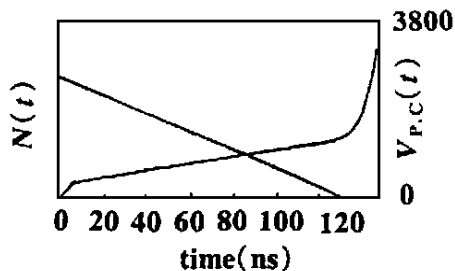


Fig. 5 $V_{P.C}(t)$ and $N(t)$

式中, n, L 分别为 Nd YAG 晶体的折射率和谐振腔腔长。数值分析求解(11)式,得出,在泄倒输出的激光脉冲呈平顶状时,光子数的变化规律及 $V_{P.C}$ 变化规律如图 5,图 6。

用具体的电路来实现上图给定的 $V_{P.C}(t)$ 规律。加不同的 $V_{P.C}(t)$ 对应不同的激光输出脉冲形状。

3 一种能同时进行时-空域整形的激光器设计

使用非均匀反射镜腔的激光器现已被生产为产品,该激光器能输出空间域平顶光束即均匀的光斑模式,这种技术无论从理论上还是在生产制造工艺方面都已较成熟了。

慢调 Q 腔倒空激光器经过几年的理论及实验室研究也取得了很大的进展,随着加在调 Q 晶体上的电压变化规律不同,输出脉冲的时域波形也随着改变。将以上两种技术综合在一起,即构成一种能同时进行时-空域整形的激光器(图 7)。图 7 所示的激光器,其输出的光束空间截面分布是平顶结构,即输出圆状均匀光斑,输出脉冲的时域波形形状可由 $V_{P.C}(t)$ 进行调制控制。

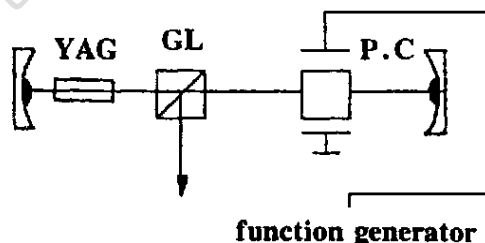


Fig. 7 Double renovating laser

4 结 语

将一定的空间域整形技术和另一种特定的时域整形技术同时使用在一台激光器中,可使之同时具有时-空域两种整形功能,这是一种新的探索,但我们相信:兼具优良的时-空域整形功能的激光器的研究将进一步深入,并朝着实用化方向发展。

参 考 文 献

- 1 吕百达. 激光光学. 2 版,成都:四川大学出版社,1992:299 ~ 301
- 2 Yasui K, Nishimae J. Opt Lett, 1992; 19(8): 560 ~ 562
- 3 叶一东,吕百达. 激光技术, 1996; 20(5): 276 ~ 280
- 4 Kochetkova M, Shlyonov S A. Proc SPIE, 1992; 1841: 33 ~ 39

作者简介:黄 骊,男,1937 年出生。博士生导师,教授。主要从事超短脉冲、固体激光器研究。