

单纵模 Littman 式谐振腔高效率 Ti : Sapphire 脉冲激光系统 *

邵中兴

(中国科学院长春光机所, 长春 130022)

Hao Tran, Cy Herring, J. G. Eden

(*Department of Electrical and Computer Engineering, Gaseous Electronic Laboratory,
University of Illinois, Urbana, IL 61801*)

提要 报道了由 Littman 式腔结构振荡器和一级单通放大器组成的高效率 Ti : Sapphire 激光系统。泵浦激光(532 nm Nd : YAG)能量为 140 mJ/pulse 时,该系统在 800 nm 附近单纵模输出为 22.5 mJ/pulse。转换效率为 16%。讨论了 Ti : Sapphire 的放大特性及此类系统的泵浦光聚焦位置等问题。

关键词 单纵模, Ti : Sapphire, 脉冲激光

单纵模可调谐脉冲激光兼顾了连续波激光线宽窄和脉冲激光功率高的优点,因而在一些高分辨率激光光谱技术中有独到的应用。Littman 式结构^[1,2]是设计单纵模可调谐脉冲激光谐振腔时的比较合理的选择。本文报道的 Ti : Sapphire 激光系统中的振荡器就是标准的 Littman 式光栅-反射镜谐振腔结构,如图 1 虚线方框所示。

表面镀铝膜光栅 G 刻线为 1800 线/mm,闪耀光波长为 800 nm,采用 $\sim 88^\circ$ 角掠入射装置,因而不需要腔内扩束光学系统,Brewster 角切制的 Ti : Sapphire 晶体尺寸为 10 mm \times 10 mm \times 10 mm, FOM (Figure of Merit) 数为 100。端镜 M_1 表面镀有 770~850 nm 波段的激光高反射膜。调谐镜 M_2 表面镀有 700~1000 nm 的宽带高反射膜。激光腔长 ~ 8 cm。

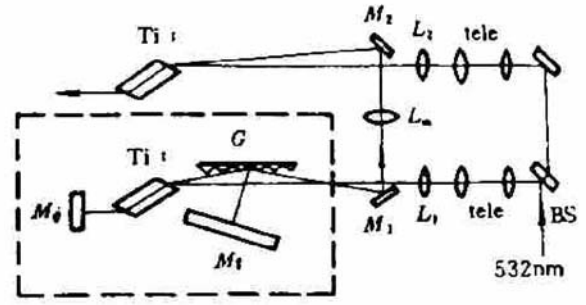
用脉宽为 ~ 10 ns, 重复率为 10 Hz 的 Spectra-Physics DCR-3 型 Nd : YAG 激光器的二次谐波 532 nm 作泵浦源。与前面研究者^[3]的工作不同的是,本实验把泵浦光的焦点聚在 Ti : Sapphire 晶体之后的适当距离处,而不是在其之前,无论振荡器还是放大器都是如此。这种作法的好处是使晶体内的泵浦吸收均匀些。很明显,泵浦光能量在晶体内部由于吸收而随泵浦深度指数率下降。同时,泵浦光截面面积也随泵浦深度作锥形递减,所以,泵浦长度会被利用得好些。此外,这里采用的泵浦光聚焦方式占用空间小。

* 本工作是在美国 Illinois 大学计算机和电气工程系完成的。

收稿日期: 1993 年 11 月 3 日;收到修改稿日期: 1994 年 1 月 19 日

Fig. 1 The setup of a Littman configuration Ti : Sapphire laser oscillator-amplifier system.

G : grating; M_1 : tuning mirror; M_2 : end mirror; T_1 : Ti : Sapphire brick; L_m : lens for matching the transversal modes; L_1, L_2 : convergent lenses; TELE: telescope; BS: beam splitter



放大器简单得就是一块与振荡器中使用的同样的 Ti : Sapphire 晶体,由于该系统的输出能量主要是从放大器获得,所以分配到放大器的泵浦光能量也较多,适当地分配振荡器和放大器的泵浦光能量 p_o/p_a ,是充分利用泵浦源实现高效率运转的重要措施。仔细调整振荡器各项参数使之最佳工作后,根据振荡器中 Ti : Sapphire 的泵浦-激光特性,考虑本工作的特点和要求,取 $p_o/p_a \approx 1/2$ 。本实验中放大器的泵浦光最大能量为 90 mJ/pulse,泵浦面积为 $1.5 \times 10^{-2} \text{cm}^2$ (直径为 1.4 mm),泵浦光强为 7J/cm^2 。

使用一块焦距为 35 mm 的透镜 L_m 匹配振荡器输出模和放大器的泵浦截面以获得满意的放大效率。两块 Ti : Sapphire 晶体都由循环水冷却,保持恒温工作。



Fig. 2 A photograph of the single-longitudinal-mode output fringes

自由光谱范围为 10 GHz,精细常数为 5(厚 15 mm,两表面镀 85%反射膜,中心波长为 800 nm)的实心标准具。用于测量 Ti : Sapphire 激光的单纵模工作。图 2 是放大器输出的单纵模激光透过标准具后的干涉环照片。因为激光腔长为 8 cm,可以估计出激光线宽小于 2 GHz。

该激光系统的输入-输出关系曲线如图 3 所示。泵浦光能量为 140 mJ/pulse 时,系统的单纵模输出能量为 22.5 mJ/pulse,转换效率为 16%。振荡器的泵浦阈值为 30 mJ/pulse。输出激光脉宽为 4 ns。由图 3 可见,该系统输出能量

随泵浦光能量线性递增。不再继续增加泵浦能量的原因是担心损坏 Ti : Sapphire 晶体和低损伤阈值的镀铝光栅。此外,20 mJ/pulse 的输出能量已满足该系统的设计要求(用作研究 He_2 的亚稳态 $2S\sigma a^3 \Sigma^+$ 和激发态 $3S\sigma d^3 \Sigma^+$ 间双光子顺序吸收光谱的激光光源之一)。

为了研究 Ti : Sapphire 的放大特性,保持放大器的泵浦能量 90 mJ/pulse,改变从振荡器输入到放大器的信号大小,测量其输入和输出的能量。图 4 给出放大率与输入信号的函数曲线。由图 4 可见,信号很小时,Ti : Sapphire 的放大率可以很大,例如信号约 0.25 mJ 时,放大率为 20。随输入信号的增强,放大率呈指数率下降,稳定的单纵模激光运转要求振荡器不宜高能量工作(增益过大可能破坏单纵模运转)。另外,兼顾放大率和大能量输出,输入到放大器的信号水平取在 0.5~1.0 mJ/pulse 之间,因为本系统只有一级单通放大器,着眼于获得高能量,输入到放大器的信号取得比较大,~2.5 mJ。如用多级放大或一级多通放大可考虑取适当的小信号输入,充分利用放大率。

证实泵浦光应聚焦在 Ti : Sapphire 晶体之前还是之后的实验如下:用焦距为 60 cm 的透镜直接会聚直径为~6 mm 的泵浦光束,其焦斑直径为 0.06 mm,共焦长度仅为 5 mm,分别置 Ti : Sapphire 振荡器于泵浦光束腰前或腰后的对称位置上,测量此时振荡器的输入-输出关系曲线结果示于表 1。

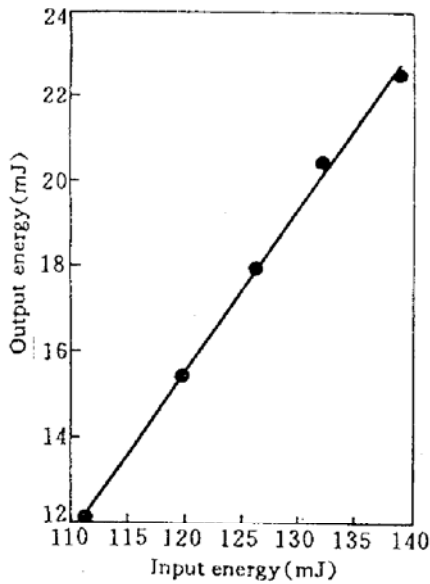


Fig. 3 Input-output curve of the Ti : Sapphire laser system

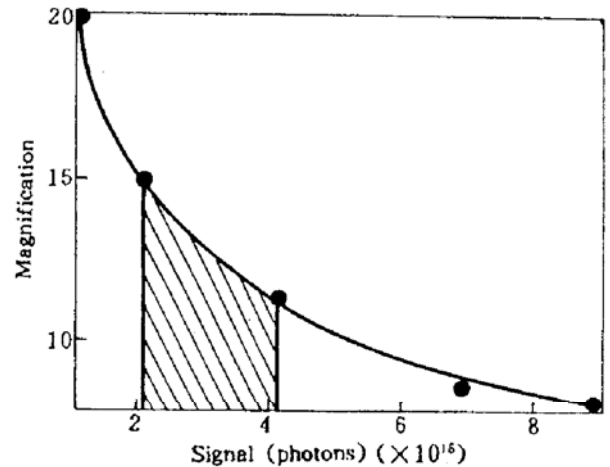


Fig. 4 Input-magnification curve of the Ti : Sapphire amplifier. The shadow area is suggested to be taken as the optimum signal magnitude

Table 1 The efficiency of the Littman configuration Ti : Sapphire oscillator when the focus of the pumping beam locates before (“+”) or after (“-”) the Ti : Sapphire crystal

Space (cm)	Input (mJ)	Output (mJ)	Eff. (%)
-10	30	1.8	6
-5	20	2.0	10
+5	30	2.0	6.7
+10	40	0.6	1.5

很明显,表 1 中所列数据证实了聚焦泵浦光于 Ti : Sapphire 之后,即表 1 中“-”离焦数据所示,激光效率较“+”离焦好。

本工作用 Littman 式振荡器和一级单通放大器组成的 Ti : Sapphire 脉冲激光系统,获得了单纵模高效率可调谐激光运转。如果将一级单通放大器改成多级放大或一级多通(例如两次或四次通过)放大器,虽然复杂了系统的结构,但会使激光运转更稳定,光学元件工作条件更合理、更安全。

参 考 文 献

- 1 M. G. Littman. Single-mode operation of grazing-incidence pulsed dye laser. *Opt. Lett.*, 1978, **3**(6) : 138
- 2 M. G. Littman, H. J. Metcalf. Spectrally narrow pulsed dye laser without beam expander. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(14) : 2224
- 3 K. W. Kangas, D. D. Lowenthal, C. H. Muller III. Single-longitudinal-mode, tunable, pulsed Ti : Sapphire laser oscillator. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(1) : 21

High Efficiency SLM Littman Configuration Ti : Sapphire Laser System

Shao Zhongxing

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Changchun 130022)

Hao Tran, Cy Herring, J. G. Eden

*(Department of Electrical and Computer Engineering, Gaseous Electronic Laboratory,
University of Illinois, Urbana, IL 61801 USA)*

Abstract A high efficiency Ti : Sapphire laser system consisted of a Littman configuration oscillator and one stage single pass amplifier is presented. While the pumping source (532 nm Nd : YAG) energy is 140 mJ/pulse, the SLM (single longitudinal mode) output of the system reaches 22.5 mJ in the vicinity of 800 nm. The conversion efficiency is about 16%. In addition, the amplification characteristics of the Ti : Sapphire and the focusing positions of the pump laser are discussed.

Key words single longitudinal mode, Ti : Sapphire, pulse laser

《国外激光》从 1995 年起改名《激光与光电子学进展》。