

文章编号: 0258-702X(2002)02-0101-03

高功率激光装置中的三倍频 Nd:YLF 模拟激光系统

李银柱, 戴亚平, 李良钰, 刘 诚, 程笑天, 朱健强

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提要 基于高功率激光装置——“神光 II”中的三倍频模拟激光光源的需要, 提出并研制了一套 Nd:YLF 调 Q 三倍频激光作为模拟光源, 采用氙灯抽运 Cr^{4+} :YAG 被动调 Q, KTP 晶体与 BBO 晶体的组合三倍频, 得到了 Nd:YLF 晶体的 $1.053 \mu\text{m}$ 波段的三倍频 $0.3510 \mu\text{m}$ 波长激光, 满足了系统的需求。

关键词 模拟激光, 被动调 Q, 三倍频

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

Third-harmonic Nd:YLF Simulating Laser System in High Power Setup

LI Yin-zhu, DAI Ya-ping, LI Liang-yu,

LIU Cheng, CHENG Xiao-tian, ZHU Jian-qiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract To meet the requirement of the high power setup-SG II, a set of Q-switched and tripling Nd:YLF laser system for simulating light source is developed, the flash-pumped Nd:YLF laser used Cr^{4+} :YAG crystal as the Q-switch, KTP and BBO crystal as the third-harmonic generator. Here a laser output of $0.3510 \mu\text{m}$ wavelength is got, and can satisfy the need of the SG II system.

Key words simulating laser source, passive Q-switch, third-harmonic generator

1 引 言

惯性约束核聚变(ICF)和强激光技术研究是一项重大的国际高科技研究课题。在 ICF 物理研究过程中, 用长波长激光打靶已完全不能适应物理实验的要求。随着 ICF 技术的发展, 人们进一步认识到利用短波长高功率激光打靶的优越性, 它不仅大幅度提高靶对激光的吸收率, 大量减少超热电子的影响, 而且受激 Raman 散射和 Brillouin 散射等现象都将随波长变短而减小。

目前世界上很多高功率固体激光装置都建立了三倍频系统, 利用短波长激光(三倍频)打靶取得了很好的结果。而我国的 ICF 实验研究一直采用长波长(基频光)打靶, 制约了 ICF 研究的发展。为了加速我国 ICF 实验研究, 高功率固体激光装置——“神

光 II”也将由基频光($1.053 \mu\text{m}, 1\omega$)打靶升级到三倍频光($0.3510 \mu\text{m}, 3\omega$)打靶, 原来作为精确靶定位的基频模拟光源将难以满足定靶的要求, 这主要是由于多数光学透射元件的折射率在红外波段(1ω)和近紫外波段(3ω)的差别较大, 所以在定靶时经靶镜聚焦后 1ω 和 3ω 光的焦点位置差别很大, 将给定靶带来很大的困难。为了精确而有效地定靶, 美国的里弗莫尔实验室采用了四百多纳米的激光模拟光源, 但仍需要通过一定的修正来补偿与 3ω 光的焦点位置差别。为了使定靶更加精确而有效, 我们提出并研制了一套三倍频激光模拟光源来取代原来的基频模拟光源, 取得了很好的实验效果。

2 基本原理

收稿日期 2001-08-28; 收到修改稿日期 2001-09-29

作者简介: 李银柱(1967—), 男, 博士, 主要从事激光与光电子研究。E-mail: liyzyr@sina.com

三倍频模拟光源的基本原理是将一台调 Q 的三倍频 Nd:YLF 激光系统输出的 351 nm 的三倍频激光束经过扩束望远镜扩束到 $\phi 200$ mm 后,再通过分光系统和平移反射镜耦合到主光路中,最后进入靶室进行精确定靶。因此,设计并研制一个高性能的三倍频激光系统将对精确定靶起着重要的作用。

图 1 所示的是研制的三倍频模拟激光系统,整个激光系统由振荡级、放大级、三次谐波发生器、激光电源及冷却循环系统组成。

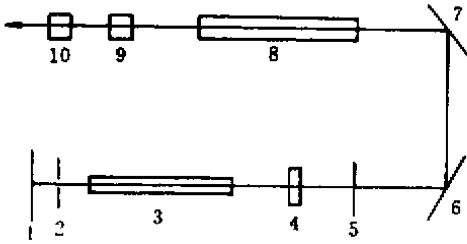


图 1 三倍频激光系统

1 全反镜 2 小孔光阑 3 振荡级 Nd:YLF 4 调 Q 晶体 5 输出耦合器 6 7 45°全反镜 8 放大级 Nd:YLF 9, 10 三次谐波发生器

Fig.1 Tripling Nd:YLF laser system

1: reflection mirror ($R = 100\%$); 2: diaphragm; 3: Nd:YLF crystal; 4: Q -switch crystal; 5: output coupler; 6, 7: 45° reflection mirror; 8: Nd:YLF crystal; 9, 10: third-harmonic generator

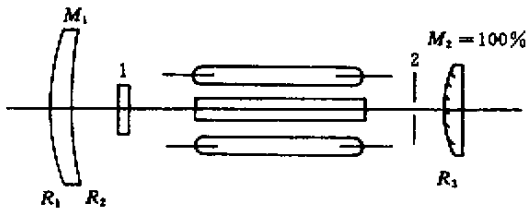


图 2 振荡级示意图

1 调 Q 开关 2 小孔光阑

Fig.2 Schematic diagram of laser resonator

1: Q -switch crystal; 2: diaphragm

2.1 振荡级

主要由谐振腔、工作物质、调 Q 晶体和小孔光阑组成。

2.1.1 谐振腔

选取腔长为 $L = 360$ mm,由全反镜 M_2 和耦合输出镜 M_1 组成凹凸稳定腔运转方式,并由小孔光阑来选取基模高斯光束,这种设计可以较大地提取增益介质的能量。另外通过合理地设计 R_1 的曲率半径可以得到基模平行光束输出。

2.1.2 工作物质

这里选用波长为 $1.053 \mu\text{m}$ 的 c 轴 Nd:YLF 晶体

棒 ($\phi 6 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$)。由于 c 轴的 Nd:YLF 晶体^[1] 的 $1.053 \mu\text{m}$ 的发光波长与 Nd:Glass 增益曲线相匹配,因而可以很好地作为这类增益介质的前级振荡源和预放装置。较好的热传导和热膨胀性能,以及折射率温度系数是负值使得 Nd:YLF 晶体具有很小的热透镜效应^[2],因而就有较低的波前畸变。较小的热透镜效应、较大的荧光线宽、固有的偏振振荡使其在 ICF 这类高功率激光装置中有很好的应用。Nd:YLF 晶体与常用的 Nd:YAG 晶体之间的特性对比如表 1。

表 1 Nd:YLF 晶体与 Nd:YAG 晶体的特性对比

Table 1 Characteristics of Nd:YLF and Nd:YAG crystal

Characteristics	YAG	YLF
Thermal expansion/ $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$	7.8	13.8 (a, c)
Thermal conductivity/ $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$	13	6
Young's modulus/ $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-2}$	31725	7650
$dn/dT/\text{K}$	7.3×10^{-6}	-4.3×10^{-6}

2.1.3 调 Q 部分

本机采用新型的饱和吸收体 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体作为被动 Q 开关。由于四价铬的掺入, $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体在 $0.9 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 波段范围具有饱和吸收特性^[3],因而可以作为各类 Nd 激光器的被动 Q 开关。与常用的有机染料及色心晶体 $\text{Li}:\text{F}_2^-$ 等被动 Q 开关相比, $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体具有热导性能好、吸收截面大、掺杂浓度高、饱和光强小、损伤阈值高、物化性能稳定等优点,在使用过程中具有稳定、可靠、耐用的特点,因此成为高功率、高重复频率激光器及小型全固化激光器的理想被动 Q 开关^[4]。实验所用的 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体片的尺寸为 $\phi 12 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$,其初始小信号透过率 $T_0 = 30\%$,可达到的调 Q 脉宽约为 15 ns。

2.2 放大级

采用单程一级放大方式,放大级晶体棒为一根 $\phi 8 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ 的 Nd:YLF 晶体。为了防止产生反馈,晶体端面镀有高增透膜,在调整过程中也可以将晶体微微调偏,以使晶体端面的反射光偏离主光束^[5]。

2.3 三倍频系统

由于现有的非线性材料的 $\chi^{(3)}$ 很小,通常的三倍频过程是利用二块非线性晶体串接来构成一个有效的三次谐波发生器。三倍频的关键是控制基波光和二倍频光的合理分配及选择合适的晶体参数^[6]。高效的三倍频技术有角度失配、偏振失配和偏振旁路等。本实验采用的是偏振失配的三倍频方式,由

一块 II 类的 KTP 二倍频晶体和一块 I 类的 BBO 三倍频晶体组成。其原理示意图如图 3 所示。

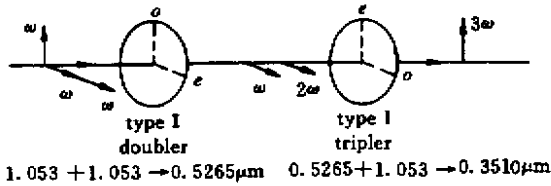


图 3 三倍频原理示意图

Fig.3 Tripling schemes

2.4 激光电源及冷却循环系统

激光电源采用开关型高精度电源,其精度优于 ±1 V (工作电压为 500 ~ 1000 V);冷却循环系统采用一定的恒温系统,其控温精度好于 ±1℃,这有利于提高器件的热稳定特性。

3 实验测试及结论

利用图 4 的实验装置测试了三倍频模拟激光系统的特征参数。其中主要器件的参数如下:

振荡级 Nd:YLF 晶体棒: φ 6 mm × 80 mm ;放大级 Nd:YLF 晶体棒: φ 8 mm × 90 mm ;全反镜:半径 R₃ = 119.12 mm,反射率 R = 100% ;输出镜:半径 R₂ = 485.6 mm,反射率 R = 40% ;Cr⁴⁺:YAG 晶体片:φ 12 mm × 2 mm,初始小信号透过率 T₀ = 30% ;三倍频晶体:KTP,SHG1053 nm Type II,11 mm × 11 mm × 5 mm ;BBO,THG1053 nm Type I,11 mm × 11 mm × 7 mm。

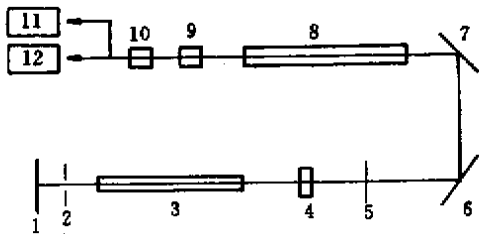


图 4 实验装置图

1 全反镜;2 小孔光阑;3 振荡级 Nd:YLF;4 调 Q 晶体;5 输出镜;6,7 45°全反镜;8 放大级 Nd:YLF;9,10 三次谐波发生器;11 能量计;12 示波器

Fig.4 Schemes for experiment set-up

1 : reflection mirror (R = 100%); 2 : diaphragm; 3 : Nd:YLF crystal; 4 : Q-switch crystal; 5 : output coupler; 6,7 : 45° reflection mirror; 8 : Nd:YLF crystal; 9, 10 : third-harmonic generator; 11 : energy meter; 12 : oscillograph

通过实验测试得到了如下的实验结果,图 5 是激光横模的空间强度分布,图 6 是激光脉冲的形状。

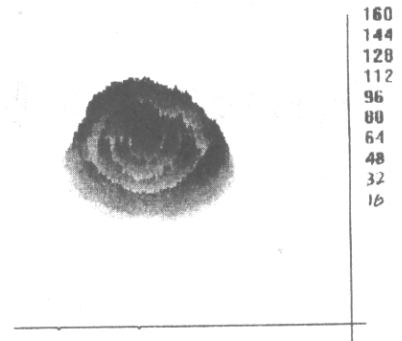


图 5 横模的光强分布

Fig.5 Laser intensity distribution

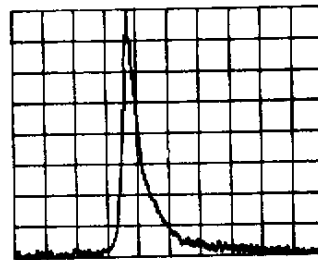


图 6 激光脉冲形状

Fig.6 Profile of laser pulse

该激光系统的其他输出为:

基频光(1.053 μm):400 mJ;三倍频光为(0.351 μm)60 mJ,脉宽约为 15 ns,倍频效率约为 15%。

该激光系统在高功率固体激光装置——“神光 II”由基频光(1.053 μm,1ω)打靶升级到三倍频光(0.3510 μm,3ω)打靶中,作为三倍频激光模拟光源来取代原来的基频模拟光源,进行精确靶定位,取得了很好的实验效果。

参 考 文 献

- 1 Dr. Walter Koechner, Arthur L. Schawlow. Solid-State Laser Engineering, Fourth Edition [M]. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1996. 60 ~ 63
- 2 James E. Murray. Pulsed gain and thermal lensing of Nd:LiYF₄ [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1983, QE-19(4):488 ~ 491
- 3 M. G. Knights, M. D. Thomas, E. P. Chicklis et al.. Very high gain Nd:YLF amplifiers [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1988, QE-24(5):712 ~ 715
- 4 A. G. Okhrimchuk, A. V. Shestakov. Performance of YAG:Cr⁴⁺ laser crystal [J]. Opt. Materials, 1994, 3(1):1 ~ 13
- 5 P. Yankov. Cr⁴⁺:YAG Q-switching of Nd:host laser oscillators [J]. J. Phys. D:Appl. Phys., 1994, 27(6):1118 ~ 1120
- 6 R. Stephen Craxton. High efficiency frequency tripling schemes for high-power Nd:glass lasers [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1981, QE-17(9):1771 ~ 1782