

高功率倍频激光系统信噪比测试

陈兰荣 支婷婷 蔡希洁 唐福林 吴蓬春

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 用硅光电导开关测试高功率激光系统的信噪比, 测试范围高至 10^6 。讨论了基频光与倍频光间的信噪比关系及如何测试倍频光信噪比等问题。

关键词 信噪比, 高功率, 倍频光

1 测试原理及测试方法

1.1 对于 $1.06 \mu\text{m}$ 二次谐波器件, 倍频光的转换途径是用 KDP 晶体的非线性倍频效应来实现的。理论和实践均已证明, 倍频转换效率是晶体长度、相位匹配及基频光功率密度等的函数。对某一选定的倍频晶体, 倍频光与基频光的对应关系, 基频光转换为倍频光的转换效率^[1]为

$$\eta = \frac{P_{2\omega}}{P_{\omega}} = 2 \left[\frac{\mu}{\epsilon_0} \right]^{3/2} \cdot \frac{\omega^2 \cdot d^2 \cdot L^2}{n^3} \cdot \frac{\sin^2(\Delta K \cdot L/2)}{(\Delta K \cdot L/2)^2} \cdot \frac{P_{\omega}}{A}$$

$\frac{P_{\omega}}{A}$ 为单位面积的功率, A 为光束截面积, 设上式中系数为 K , 则 $P_{2\omega} = K P_{\omega}^2$ 。

我们的实验条件是, 倍频晶体为 KDP, $1.053 \mu\text{m}$ 基频光的入射光斑直径为 $\phi 170 \text{ cm}$, 光脉冲宽度 $\sim 1 \text{ ns}$, $\Delta K \sim 0$, 计算出不同功率密度基频光强度与倍频光强度的转换关系曲线, 经过实验比对^[2]示于图 1。

1.2 激光系统信噪比是指主激光脉冲与主激光脉冲之前一纳秒内的小脉冲(预激光)所对应的能量比, 用 S/N 表示, 一台好的激光器件, S 的能量远大于 N 。目前在我们的实验中, 用硅光电导开关及示波器测试 $1.053 \mu\text{m}$ 基频光激光系统的信噪比, $r_{1\omega} = S_{1\omega}/N_{1\omega}$ 比值 $\sim 10^6$ 。据 1.1 所述, 在倍频情况下, 倍频光功率与基频光功率平方成正比, 即基波功率高, 则倍频效率也高, 因为信噪比是主脉冲信号与预脉冲信号能量之比, 倍频后主脉冲信号能量远大于预脉冲信号能量, 因此倍频后激光系统信噪比会远高于基频光系统信噪比。

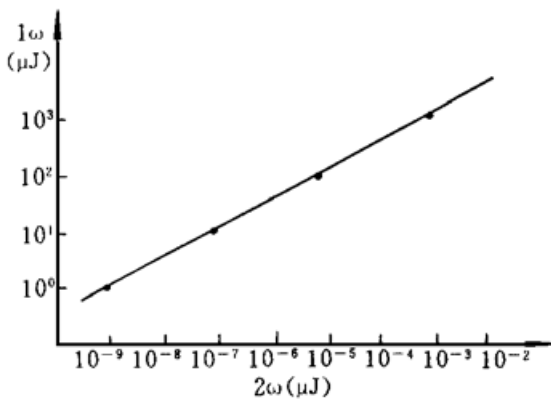


图 1 入射激光与倍频激光的转换关系曲线 (小信号范围)

Fig. 1 Conversion curve of the incident laser and the frequency doubled laser (small signal range)

我们研制的硅光电导开关^[3], 纳焦耳的光能就能驱动它, 对于几十毫焦耳的激励光能还能使它在线性区域工作, 而且损伤阈值高达百毫焦耳。也就是说这种探测器对光信号感应比较灵敏, 而且能承受较大的光信号冲击。它是动态量程较大的开关, 目前是测量 10^6 量级信噪比较好的探测器。但是据硅光电导开关的光电灵敏性和介质的破坏特性, 试图仍用它直接测倍频光 $> 10^6$ 的信噪比是不可能的, 为此我们寻找一种新的测量方法。

1.3 测量方法 在激光系统运行中, 用激光能量卡计测试出基频光的总能量, 用文献[4]中的方法测出基频光信噪比值, 测试实验装置如图 2。用公式 $r_{1\omega} = S_{1\omega}/N_{1\omega}$ ($S_{1\omega}$ 为主激光脉冲能量, $N_{1\omega}$ 为预脉冲能量) 计算出预脉冲能量值 $N_{1\omega}$, 利用图 1 基频光与倍频光的转换关系曲线, 查得预脉冲能量 $N_{1\omega}$ 所对应的倍频后的预脉冲能量 $N_{2\omega}$, 结合总体器件运行测得倍频光总能量 $S_{2\omega}$, 最后用公式 $r_{2\omega} = S_{2\omega}/N_{2\omega}$ 计算出激光系统倍频后的信噪比值。

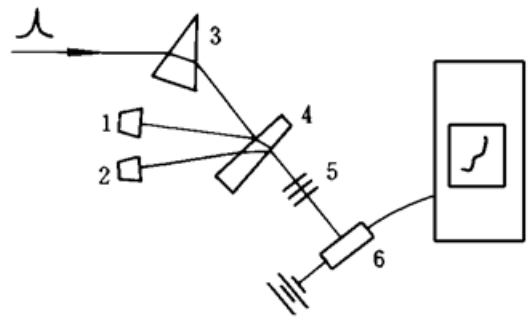


图 2 基频光信噪比测量装置示意图

- 1, 2: PIN 光电二极管; 3: 分束板;
- 4: 滤波片; 5: 光电开关

Fig. 2 Setup of measuring the signal to noise ratio of the fundamental

- 1, 2: PIN photodiode; 3: beam splitter;
- 4: filter; 5: photoconductor switch

2 测试结果

2.1 在低信噪比值时的倍频激光系统中, 用硅光电导开关及示波器直接测试倍频光的信噪比, 实验装置如图 3, 它是一台 Nd·YAG 被动锁模激光器, 经选脉冲开关选出单脉冲。因为该器件的信噪比不高, 可以用光电导开关和示波器直接测试, 测试结果如表 1。

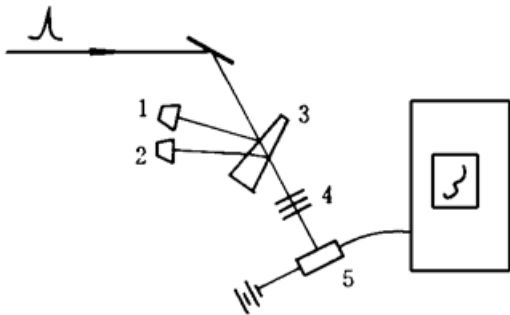


图 3 倍频光信噪比测量装置示意图

- 1, 2: PIN 光电二极管; 3: 色散棱镜; 4: 分束板; 5: 滤波片; 6: 光电开关

Fig. 2 Setup of measuring the signal to noise ratio of the frequency-doubled light

- 1, 2: PIN photodiode; 3: dispersion prism; 4: beam splitter;
- 5: filter; 6: photoconductor switch

2.2 在高信噪比值 ($> 10^6$) 的倍频激光系统中, 据上述分析, 目前用探测器和示波器直接测量倍频光系统信噪比是不可能的, 但可以按照上述的测量方法测出激光系统总的能量输出值 $S_{1\omega}$, $S_{2\omega}$, $r_{1\omega}$ 并计算出 $N_{1\omega}$, 在图 1 中查出 $N_{2\omega}$ 值, 最后用公式 $r_{2\omega} = S_{2\omega}/N_{2\omega}$ 计算出倍频光的信噪比, 其信噪比值见表 2。图 4, 5 分别为测基频光的定标与信噪比照片。

表 1 低信噪比

time	$r_{1\omega} = S_{1\omega}/N_{1\omega}$	$r_{2\omega} = S_{2\omega}/N_{2\omega}$
1	7.6×10^2	3.3×10^5
2	10	8.0×10^2
3	18	2.5×10^2
4	18	1.4×10^2

表 2 高信噪比

time	$r_{1\omega} = S_{1\omega}/N_{1\omega}$	$r_{2\omega} = S_{2\omega}/N_{2\omega}$
1	8×10^5	1.7×10^{11}
2	2.8×10^6	2.1×10^{12}
3	2.5×10^6	7.0×10^{12}

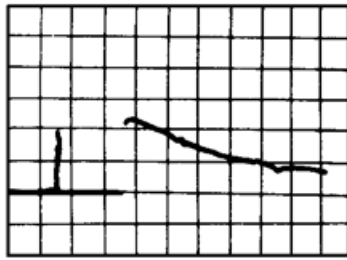


图 4 定标脉冲

Fig. 4 Calibration pulses

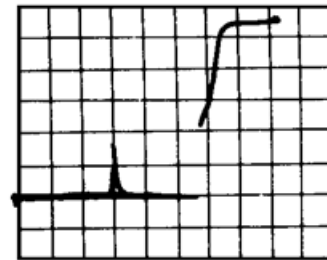


图 5 基频光信噪比

Fig. 5 The signal to noise ratio of the fundamental

一台好的激光器, 激光系统的预脉冲能量远小于主激光脉冲能量, 也就是倍频激光系统的预脉冲能量均处在由基频光信号转换为倍频光小信号范围。我们的预脉冲基频光向倍频光转换曲线符合小信号范围, 经公式理论和实验已得到验证^[1]。而 $S_{1\omega}$ 和 $S_{2\omega}$ 总能量值是实际测量值, 所以由 $r_{2\omega} = S_{2\omega}/N_{2\omega}$ 计算出倍频光信噪比值是可信的。

参 考 文 献

- 1 董孝义. 光波电子学——光通信物理基础. 天津: 南开大学出版社, 1987, 231
- 2 蔡希洁, 茅建华. 神光装置 $\phi 200$ 口径 KDP 晶体高功率倍频激光系统. 中国激光, 1994, A21(11): 853~859
- 3 陈兰荣, 支婷婷. 千伏微微秒光电子开关及其应用. 光学学报, 1984, 4(3): 247~252
- 4 支婷婷, 陈兰荣. 硅光电子开关及其应用. 光学学报, 1983, 3(4): 269~273

Singal-to-noise Ratio Measurement for High-power Frequency Doubled Laser System

Chen Lanrong Zhi Tingting Cai Xijie Tang Fulin Wu Fengcun

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

Abstract A photoconductor switch and an oscillograph were used to measure the signal to noise ratio (SNR) up to $\sim 10^6$. For laser fusion it needs some times to convert the fundamental laser to its frequency doubling. What is the relation of the SNR of the fundamental and its frequency doubled laser and how to measure the SNR of the frequency doubled laser are discussed.

Key words signal to noise ratio, high-power, frequency doubled laser