

应用于激光光谱学中的短脉冲光峰功率的测量

李兆霖 张道中 程丙英 陆志梁

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

摘要: 报道了应用于激光光谱学中直接测量短脉冲光峰值光功率的双通道测量系统。给出了两个通道的线性关系和频率响应曲线。实验表明此测量系统可以测量到脉宽为 10 ns 的脉冲光峰功率 1% 的放大和吸收。

关键词: 短脉冲光, 光探测, 激光光谱学

Measurement of peak power of short light pulses applied in laser spectroscopy

Li Zhaolin, Zhang Daozhong, Cheng Bingying, Lu Zhiliang

(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract: A dual channel measurement system applied in laser spectroscopy for direct measurement of peak power of short light pulses is reported. The linearities and the frequency responses for both channels are given, and the experimental results indicate that 1% of amplification or absorption in peak power of 10 ns light pulse (FWHM) from the optical medium can be identified by this system.

Key words: short light pulse, light detection, laser spectroscopy

在激光光谱学、激光物理及许多科技领域中,人们经常要对脉冲光与作用介质作用前后光功率的相对变化进行测量。其中 ns 量级的光脉冲峰功率的测量是较困难的。Boxcar 积分器或类似原理的仪器采用门积分和积累平均的原理较好地解决了提高信噪比的问题,但其价格昂贵,且在其定点模式下的测量,就其原理来说是测量脉冲波形面积^[1]。然而实际光脉冲波形有时会有较大变化,这时测量值将不能很好地反映实际峰功率。本文报道我们建立的测量短脉冲光峰值光功率的双通道光探测器-光电脉冲高度测量-微机数据采集、处理系统及其实验结果。此系统可测量短至 6 ns 脉宽的光脉冲峰功率的大于 1% 的相对变化。由于其原理不同于 Boxcar,在光波形变化的情况下仍能较好地反映实际情况,且制作容易,造价低廉。

图 1 所示是将该系统用于光谱学测量的一个典型实例。虚线内是双通道测量系统。进入 GD40 H 同轴型光电二极管探测器的光脉冲在其 50 Ω 负载上转换成电脉冲,该探测器有 0.35 ns 上升时间、40 mm 直径的接收面积和足够好的线性。入射光功率的衰减和精确控制可由发散透镜、衰减片和偏振片来实现。伏的量级(相应于瓦量级光功率)的脉冲高度直接进入脉冲高度测量仪,不需制作宽带前置放大器。脉高测量仪原理如图 2 所示。当脉冲上升和处于平

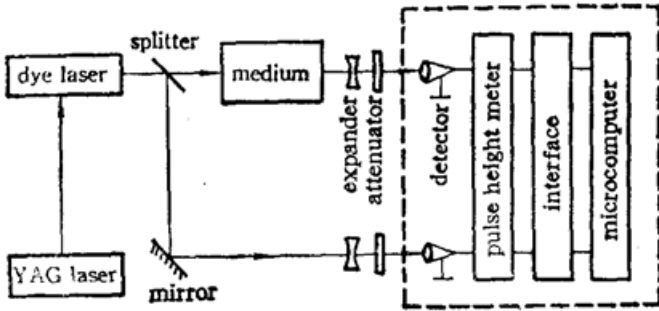


Fig. 1 Diagram of the measurement system and the experiment

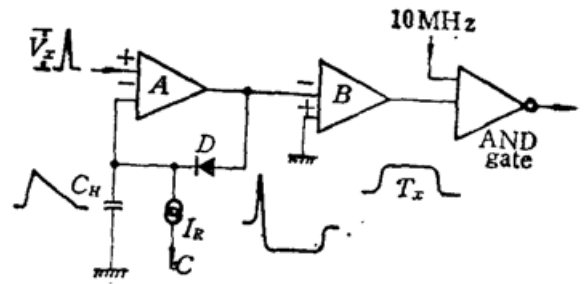


Fig. 2 Circuit for measuring electric pulse amplitude

顶时,前一级放大器 A 的“+”端相对于“-”端为正电平,二极管 D 导通, A 处于闭环跟随状态。电容器 C_H 被充电,充入的电荷量 Q 与被测脉冲高度 V_e 成正比。当被测脉冲开始下降时, A 的“-”端电位因电容 C_H 还来不及放电而不能立即下降,因而二极管 D 处于反偏置, A 处于开环状态,大的增益使其输出迅速下降到负的极限值。这时电容 C_H 通过恒流源 I_R 以电流 I_R 缓慢放电。设放电时间为 T_e ,因为 $Q = C_H \cdot V_e = I_R \cdot T_e$,所以 $T_e = (C_H / I_R) \cdot V_e$ 。这样,对未知脉高的测量转化为对放电时间 T_e 的测量。 C_H 放电结束后,放大器 A 的输出端恢复到正常值,这一宽度为 T_e 的负脉冲在比较器被反相,再去控制与门,对 10 MHz 的时钟脉冲计数,此计数正比于 T_e ,亦即正比于脉冲高度。与门输出的脉冲串被送入接口板上的计数器和寄存器,计数结果由计算机处理。其测量精度为 10 mV。我们把图 1 中经过作用介质的光束称为主光束(或 A 束),把另一束称为参考光束(或 B 束)。相应的采样数据分别用 A 和 B 表示, A/B 则是 A 信息的归一化结果。若当作用介质“不起作用”时测得多对 A 和 B 数据,当其“起作用”时测得多对 A' 和 B' 数据,若作用介质使峰值光功率放大了 η 倍,那么显然有下面关系(式中横线表示取平均):

$$\eta = \overline{(A'/B')} / \overline{(A/B)} \tag{1}$$

计算机可以方便地使测量系统以 A/B , $A \cdot B$ 和 $A - B$ 等方式工作并实时计算各种误差,用以指导实验的进行。

图 3 给出了电脉冲高度测量仪以脉宽为参量的两个通道的输出特性曲线,脉宽分别为 20 ns 和 6 ns。由图看出:在 2 V 以下的非线性约为 2%;另外,在 1.8 V 处 A 通道和 B 通道频率响应下降分别为 2% 和 5%。这意味着对 A/B 的影响约 3%,考虑到劣质光波形出现的几率不大,实际影响还要小些。图 4 给出了激光功率变化时二个通道测量值 A 和 B 的关系曲线。测量安排如图 1 所示,只是不加作用介质。在测量之前调节 A 或 B 通道光强的衰减比率,使得输出 A 和 B 相等。图中每点相应于 50 个光脉冲,脉冲半宽 10 ns,光峰功率涨落 $\pm 14\%$ 。拟合曲线斜率为 1.03,外推截距为 -0.03,接近零。斜率接近于 1 和截距接近于零表明测量系统本身两个通道有好的一致性。

为了进一步鉴定整个测量系统的性能,作了安排如图 1 的模拟实验。不同之处只是用 3# 片和 4# 片取代图 1 中的作用介质来模拟 A 光束峰值光功率的变化。表 1 列出了分别用 3# 片和 4# 片取代作用介质时测得的 A/B 值。 N 是原始数据的顺序号,每一数据相应于 20 个光脉冲。峰功率波动的标准偏差为 $\pm 7\%$ 。假定用 4# 片取代 3# 片相当于作用介质产生了增益 η ,则由(1)式可求得 η 。

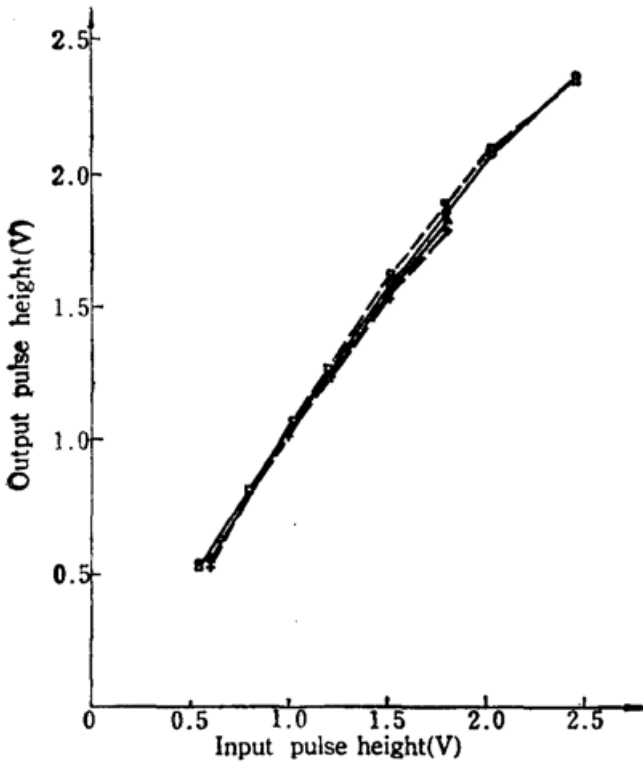


Fig. 3 Output characteristics of the circuit for measuring electric pulses

○—A, 20 ns; ▲—A, 6 ns; ■—B, 20 ns; +—B, 6 ns

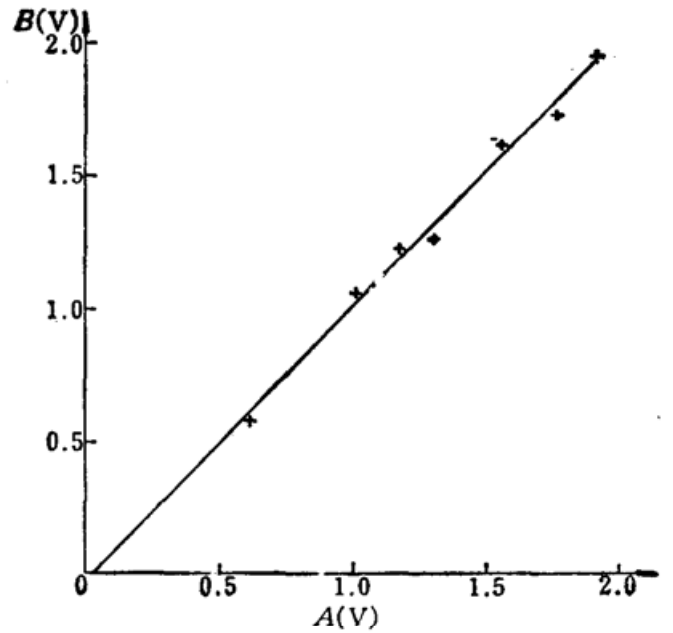


Fig. 4 Output B as a function of A

$$(B=1.03A-0.03)$$

Table 1 A/B measurement values of 3# and 4# flat

Attenuator No.	3#	4#	3#	4#	3#
N	3~7	8~12	13~17	18~21	22~26
A/B	0.960±0.002	1.02 ₉ ±0.003	0.960±0.002	1.04 ₁ ±0.002	0.969±0.003
A/B	0.958±0.002	1.02 ₄ ±0.003	0.961±0.003	1.02 ₄ ±0.004	0.965±0.003
A/B	0.960±0.002	1.02 ₅ ±0.002	0.959±0.003	1.00 ₅ ±0.004	0.965±0.002
A/B	0.962±0.002	1.02 ₆ ±0.002	0.967±0.002	1.02 ₀ ±0.002	0.971±0.002
A/B	0.942±0.019	1.02 ₄ ±0.003	0.976±0.002		0.980±0.002
		$\overline{(A/B)}_{3\#}=0.965\pm0.000_6$	$\overline{(A/B)}_{4\#}=1.02_6\pm0.00_4$		

$$\eta = \overline{(A/B)}_{4\#} / \overline{(A/B)}_{3\#} = 1.06_3 \pm 0.00_1$$

计算中把各个数据视作可比较量进行误差大小的加权平均。计算结果表明涨落引起的误差远小于测量系统的精度,因此结果应为 $\eta=1.06\pm0.01$ 。这与用德国蔡司 Specord UV VIS 双光束分光光度计测量的 4# 片和 3# 片的透过率 (分别为 48.0% 和 51.5%) 比值 1.07 ± 0.01 在测量误差范围内相等。分析表明,对 A/B 间接测量的相对误差可以小于 1%, 因此可认为对于 10 ns 脉宽, 光功率不稳定性 $\pm 7\%$ 的情况, 本系统可以测量到峰值光功率因作用介质引起的大于 1% 的相对变化。图 5 是与表 1 的 A/B 值对应的 A 和 B 值随 N 的变化情况, 虚线和实线分别对应于 \overline{A} 和 \overline{B} , 上方和下方实线分别对应于 4# 和 3# 片。由此图可直观地看到两个

染, 定能有效地提高振放链的效率; (b) 使用结构相同的 OVL 组成振放链, 损耗系数确定后, 这一振放链能输出的最大功率也就随之确定了。这是因为当放大器台数增加时, 增益系数随输入光强的增加而减小, 最终趋于损耗系数, 这时输出光功率便不再有明显增加而趋于一定值。

(5) 延时 t 与波形畸变量 H 的关系曲线如图 7 所示。所谓波形畸变量是指放大器输出光波形的峰值时间与输入光波形峰值时间之差。图 7 中实线是理论计算曲线, 虚线为实验曲线, 两者较接近。由图 7 可知: (a) 当放大器处于欠延时 ($t > 0$) 时, $H > 0$ 表示输出光脉冲峰值后移, 前沿变平, 后沿变陡; 当放大器处于过延时 ($t < 0$) 时, $H < 0$ 表示峰值前移, 前沿变陡, 后沿变平。(b) 欠延时 ($t > 0$) 时波形畸变量略小于过延时 ($t < 0$) 时的波形畸变量。计算结果表明: 欠延时的变化斜率为 0.44, 过延时的变化斜率为 0.46。实验结果表明: 欠延时的变化斜率为 0.55, 过延时的变化斜率为 0.69。两边斜率不等是由于欠延时时输入光脉冲的前沿消耗了一定数量的反转粒子数, 因而输入光脉冲后沿得到的放大倍率比过延时时输入光脉冲前沿得到的放大倍率要小。

参 考 文 献

- 1 M. J. Kushner, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17**(8), 1555(1981)
- 2 M. J. Kushner *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **51**(6), 3020(1980)
- 3 尹亮华 *et al.*, *光学学报*, **8**(3), 257(1988)

(上接第 905 页)

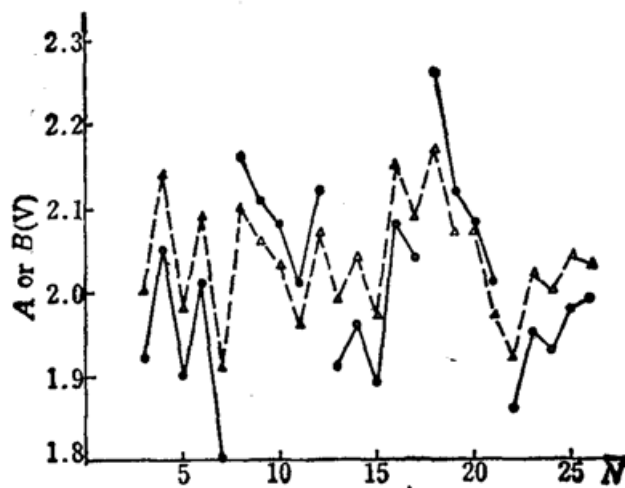


Fig. 5 Fluctuations of A and B

通道的一致性很好, 尽管涨落很大。

参 考 文 献

- 1 陈佳圭, *微弱信号检测*, 中央广播电视大学出版社, 1987 年 7 月, p. 127