

脉冲激光能量的自动监测

崔志光 周复正 沈丽青 陆来荣 吴同洋

(中国科学院上海光机所)

提要: 分析了半导体硅光敏元件的瞬态光电效应, 藉助电容充放电法测量脉冲激光能量。研制了相应的微能量自动监测器, 可探测 0.1 微焦耳激光能量。

Automatic monitoring of pulsed laser energy

Cui Zhiguang, Zhou Fuzheng, Shen Liqing, Lu Lairong, Wu Tongyang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechaics, Academia Sinica)

Abstract: The transient photo-electric effect of the photodiode is analyzed by means of capacitor discharge and charge. We have measured the pulsed laser energy and developed the corresponding automatic energy monitor. It can detect laser energy of down to 0.1 μ J.

一、引言

在激光实验中, 有时要测量微焦耳甚至更小的激光能量及其相对变化^[1,2]。通常测量激光能量的碳斗或吸收卡计具有“黑体”吸收和电-热直接定标的优点^[3], 但由于使用了热电偶、半导体热电堆做转换元件, 采用玻璃或碳层做吸收介质, 探测灵敏度受到了限制。而且由于热-电转换过程很慢(0.1~10秒), 在长时间响应过程中, 环境温度、气流、光都有一定的影响。特别是当用来测量1微焦耳或更小的能量时, 需用高放大倍数的低噪声直流放大器, 从而产生较大的零点漂移。

具有光电效应的半导体探测器灵敏度很高, 近几年来国内外发展很快^[4~6]。常用的光电测能量法是用一个快速响应光电管或半导体二极管接收激光, 得到线性响应电流波

形, 然后积分得到总能量^[7]。我们根据半导体内光电效应原理, 利用电源对电容充放电的方法, 使信号积分, 经阻抗变换为低抗传输, 再通过 A/D 变换进入计算机, 用程序来控制 and 同步触发, 最后以数字显示和自动打印输出。

二、脉冲能量自动监测仪

脉冲能量自动监测仪由探测器和微型计算机(下面简称微机)组成。探测器包括 PIN 二极管、滤光片、电磁屏蔽层和跟随器; 微机部分包括输入接口线路、单板机、显示、打印机和应用程序。仪器的框图如图 1 所示。

PIN 光敏二极管工作原理如图 2 所示。在一定的波长和光强条件下, 光生载流子与入射光强成正比, 并有较宽的线性范围^[8,9]。

收稿日期: 1982 年 11 月 3 日。

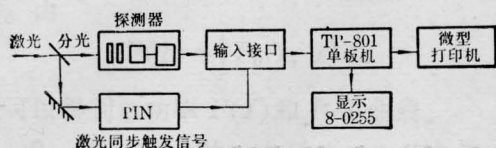


图1 脉冲能量自动测量方框图

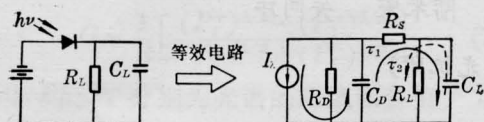


图2 PIN 光敏二极管工作原理

光电子在半导体内渡越时间约为^[10]:

$$T_r \approx \frac{1}{3}(W_p + W_I) \frac{1}{V_s} = 10^{-10} \text{ 秒}$$

式中 W_p 为 P^+ 层厚度; W_I 为 I 区厚度; V_s 为电子饱和漂移速度。由于激光作用时间(毫微秒)和光生载流子渡越时间(0.1毫微秒)都远小于光生载流子寿命(0.2毫微秒),故半导体结收集电荷与入射激光能量成正比。

结电容 CD 上的堆积电荷 Q_1 经串联电阻 R_s 向负载电容 C_L 充电,同时 C_L 上积累的电荷 Q_2 也向负载电阻 R_L 放电。由于 $R_s \ll R_L$, 因此放电的压降可忽略不计。这样 C_L 上的电压正比于入射激光能量,即

$$U_p = \frac{Q_2}{C_L} \approx Q_1 \propto E_L$$

于是,一个快速脉冲激光(微微秒或毫微秒量级)能量被转换成慢速(微秒或毫秒量级)的峰电信号拾取,如图3所示。

微机部分工作原理框图如图4所示。工作过程如下:用平板分光过来的一路PIN信号作为同步触发信号,送入接口电路,启动单板计算机(简称单板机)及 S/H (取样/保

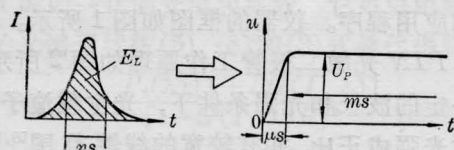


图3 信号转换原理图示

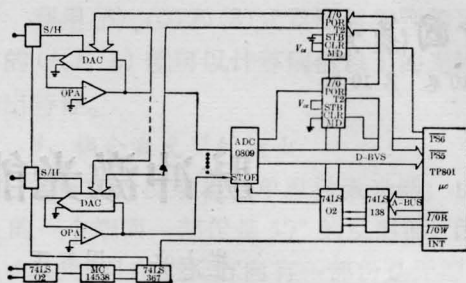


图4 微机测量系统框图

持)电路工作。与此同时,由各路探测器来的待测信号送入取样保持电路,经取样使之保持在峰值(需放大时送入自动控制增益调节放大器),送到 A/D 变换器 0809, 变换为数字信号后送入单板机,测量结果通过打印机自动打印出来,随后进入8路循环显示,等待下一次启动及待测信号送入,再重复上述过程。

TP-801 单板计算机及微型打印机的结构及工作原理从略,下面着重介绍接口及过程通道线路(以下简称接口线路)。我们先后采用了三种接口线路,第一种是由 CD-80-I 数据采集板 S/H 电路及常规集成电路组成,CD-80-I 由成都科仪厂生产。 S/H 电路采用 LF398 单片采样保持器,它有超高 DC 精度、高速采样和低下降率等特点。这一种接口线路的特点是基本通道为16路,采集板可现成购买,但价格高,而且采集板的线路结构使应用程序较长,影响了采集速度。

第二种接口线路采用 ADC 0809、 S/H 电路和中、大规模集成电路组成^[11]。由 ADC 0809 组成的过程通道比第一种简单,因为 CD-80-I 中用硬件解决 EOC 的定时问题,ADC 0809 中仅在实用程序中加了几个空操作就解决了定时问题,而且 ADC 0809 的应用程序简短,因为它不需要象 CD-80-I 的程序中的置1、置0及位判别。由于线路结构简单,再加上应用程序简短,所以它的采集速率比第一种接口线路快。

第三种接口线路采用了带有程序控制的自动增益调节放大器,由运算放大器 5G28

和 DAC0832 组成^[13]。这里的 DAC 是用来调节增益用, 根据 $V_0 = -V_i \frac{255}{D}$ 的关系, 变换 $D(0 \sim 255$ 数字) 即调节了放大器的增益, 使原来最低输入电压受 ADC 限制在 20 毫伏, 提高到 20 毫伏~200 微伏可变, 实现了自动换挡和扩大量程的功能, 框图结构如图 5 所示。

微机控制部分的应用程序由一个主程序及若干个子程序组成, 为块结构形式, 如图 6、

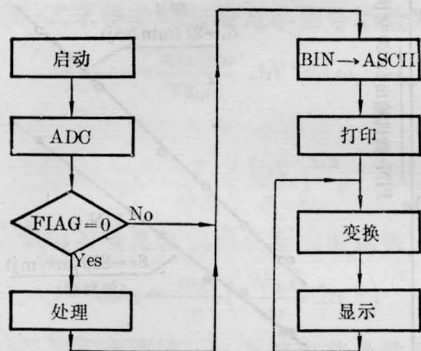


图 5 应用程序流程图

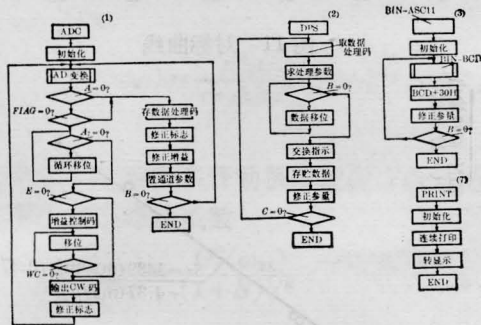


图 6 程序框图

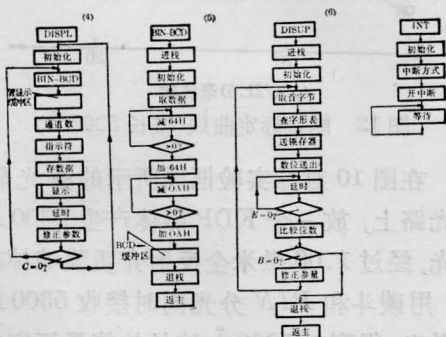


图 7 程序框图

图 7 所示。文字说明略。

在实际使用中, 探测器仅采用屏蔽的办法, 不能完全防止由于强干扰引起的误动作和干扰混入信号。对这种经过屏蔽后仍不能克服的强干扰, 我们在软件中采取了允许再进入措施, 使由干扰引起的不正常中断启动所进入的各个子程序都允许信号再次进入, 而不引起测量失误, 并从时序上把信号和干扰分离。这一措施非常有效, 使该能量自动测量仪可以在强干扰的环境下正常工作。

本仪器使用了微机, 如果工作条件和要求改变时, 在某些情况下, 可以不必改动硬件, 只要相应改变软件就可以达到要求, 而且可以很方便地在不增加硬件的情况下, 对测得的数据进行处理和修正。

该仪器主要参数如下:

测量能量范围: 0.01~1 微焦耳(脉宽小于 100 毫微秒);

能量灵敏度: 100~500 毫伏/微焦耳;

激光波长: 5300 Å~1.06 微米;

测量路数: 1~16 路;

工作方式: 光电同步触发, +5V_{P-P};

输出方式: 数字显示, 自动打印;

相对精度: ±5%;

微机部分主要技术指标为:

A: A/D 基本通道 8 路, 可扩展;

B: 字长 8 位;

C: A/D 变换时间 < 100 微秒;

D: 输入电压 0~5.12 伏;

E: 电压分辨率为 20 毫伏;

F: 总的不可调误差为 ±1LSB;

G: 取样采集时间 < 10 微秒;

H: 保持下降率 5 毫伏/分钟(在保持电容为 1 微法时)。

三、实 验

1. 定标

标定实验如图 8 所示。激光器为 LiF₂

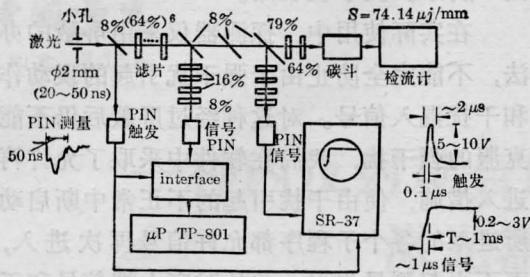


图8 标定实验光路

调 Q YAG 器件, 脉宽~50 毫微秒, 主激光入射到一个灵敏卡计上, 光路上用平板分光经强衰减后入射到探测器上。改变主激光光强, 观察卡计读数和微机测量值相对变化, 得到曲线如图 9 所示。由图可知, 即使在氙灯触发器和大电流放电强干扰的情况下, 由于采用合适程序控制, 仍然得到能量响应为线性的曲线。

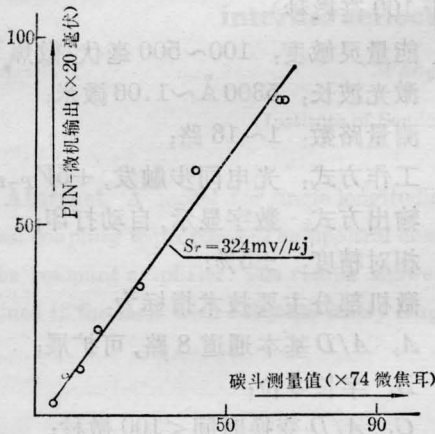


图9 能量标定曲线(波长 1.06 微米)

为了确定灵敏度, 用美国进口能量计 (ALC)^[13]、国产卡计和 PIN 探头一起对标。实验如图 10 所示, 曲线如图 11 所示。两个卡计均为黑体吸收型, 故成线性且通过原点, PIN 和 ALC 也有较好的线性关系, 直线不通过原点, 是由于极微弱光信号时光电二极管响应的非线性和暗电流噪声所至^[14]。由定标曲线的斜率得能量探测灵敏度为 324 毫伏/微焦耳, 由于微机的直接输入灵敏度为 20 毫伏, 故可探测能量为 0.1 微焦耳。

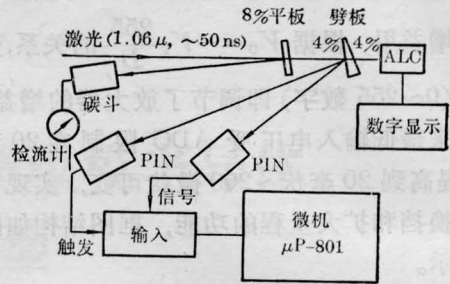


图10 对标实验方框图

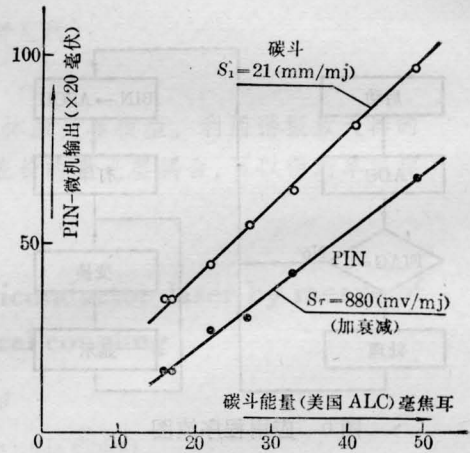


图11 对标曲线

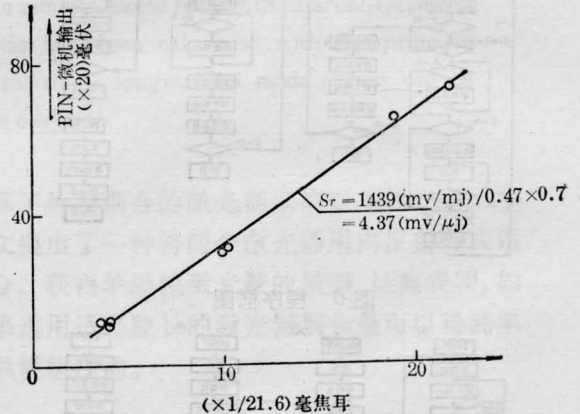


图12 能量标定曲线(波长 5300 Å)

在图 10 对标实验框图所示的激光输出主光路上, 放一个 KDP 晶体产生 5300 Å 倍频光, 经过 1.06 微米全反射介质膜滤掉基波后, 用碳斗和 PIN 分光同时接收 5300 Å 谐波激光, 得到对 5300 Å 波长的能量标定曲线如图 12 所示。测得灵敏度下降约 2 个量级。

这是由于硅光敏二极管通常具有红外灵敏的特点。

2. 监测

本仪器已用于 10^{11} 瓦大型激光器监测, 各级能量探头布局如图 13 所示。

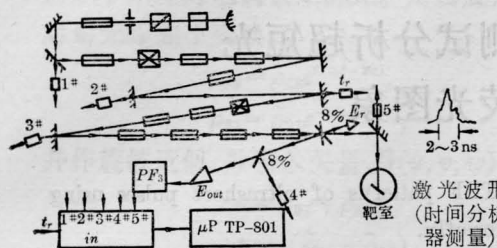


图 13 激光能量监测示意图

本装置作为监测的主要优点是：①灵敏度高, 不引入任何光学损耗, 仅用各级激光全反射膜后的 1% 透过光或介质端面的 4% 反射光, 即可实现监测作用; ②抗强电磁干扰; ③多路输入, 自动控制; ④可用程序修正参量, 给出终端结果。

在激光标定和监测过程中, 得到黄镇江、舒美冬、陈时胜、赵庆春、范滇元、高脐媛、林

康春等同志的大力协助。张宝生和邱机勇同志参加了部分工作, 在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] J. W. Shelton, J. A. Armstrong; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1967, **QE-3**, 696.
- [2] C. J. Kennedy et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1974, **32**, 419.
- [3] 林康春, 周复正等; 《激光》, (待发表)。
- [4] A. L. Smirl; *Rev. Sci. Instrum.*, 1978, **49**, 627.
- [5] *Opt. Spectra*, 1978, **12**, No. 3., 17.
- [6] 向立人; 《激光》, 1979, **6**, No. 9, 53.
- [7] 上海机械学院分析仪器教研室; 《仪器与仪表》, 1978, No. 1, 1.
- [8] J. B. Dance; *Photoelectronic Devices*, London Iliffe Books Ltd, 1969.
- [9] 伯托利尼·科什; 《半导体探测器》, 原子能出版社, 1975 年。
- [10] 《光敏探测器》, 上无十七厂资料。
- [11] *The Z-80 Microcomputer Handbook*, By William Barden, Jr.
- [12] *Analog-to-Digital Converter*, National Semiconductor, Corp.
- [13] *Volume Absorbing Calorimeters*, APOLLO laser, INC USA.
- [14] 黄昆, 韩汝琦; 《半导体物理基础》, 科学出版社, 1979 年。

简 讯

新型的激光器滤光材料

随着激光技术的发展, 要求一种在近红外 1.06 微米具有特征吸收的无机玻璃材料。

上海光机所和上海有色光学玻璃厂协作, 经过两年的摸索, 已经试制成功一种新型的含钐(Sm)平板玻璃。该平板玻璃作为滤光材料在固体激光器中使用时, 使激光工作物质不致因吸收氙灯泵浦中 1.06 微米辐射, 而降低激光器的粒子数反转, 即该滤光玻璃能有效抑制 1.06 微米辐射产生的工作物质“退泵浦效应”。

选择含 25% 的钐玻璃, 在试样厚度为 1.5 毫米时, 可见区透过率为 89%, 在 1.06 微米吸收为 88%。

最近, 上海光机所和上海有色光学玻璃厂又协作试制成功另一种新型的双掺杂滤光平板玻璃。该

滤光材料不仅可以滤除 3400 埃以下的紫外光, 而且在 1.06 微米吸收达 88%。两种材料基本差别就在于双掺杂后, 3400 埃以下的紫外光全截止。

双掺杂滤光材料在固体激光器中应用时, 可同时起到紫外滤光套和红外滤光套的作用, 实现了“一物两用”。

试验结果表明: 采用能吸收 1.06 微米的滤光平板玻璃, 可以使固体激光器激光输出增加 20% 以上。

这两种滤光平板玻璃特别适用全腔冷却的 Nd:YAG 固体激光器。

(中国科学院上海光机所 查贵根 朱斐章

1983 年 5 月 31 日收稿)