

# 激光脉冲探测仪\*

王春奎 傅裕寿 唐沧雅

(中国科学院力学研究所)

## 一、引言

在 CO<sub>2</sub> 脉冲激光器应用于工业加工时,影响加工质量和效果的非常重要的参数即是脉冲波形,在研究放电脉冲激光器的物理机制及等离子体研究中也是如此。例如,对 1 毫米厚不锈钢进行打孔,脉宽 1 微秒时,光束聚焦到 0.1 毫米几乎打不出孔,但脉宽 50 微秒时,很容易地打出一个 0.1 毫米的孔。因此,在研究加工应用时,激光脉冲波型测量就成为必不可少的一项工作。

碲镉汞探测器(77K)测光脉冲波型是一种类型,但该器件要求在低温下工作,设备复杂,制作困难,费用较大,使用很不方便。另一种则是光子牵引探测器,它具有响应快,损伤阈值高,设备简单,经济实用,结构紧凑,测量简便、有效,能在室温下运转和响应率可由样品参数来计算等优点。基于此,我们对后一种仪器进行了研制,参考一些研究成果,大多是对高压 CO<sub>2</sub> 脉冲激光器进行测量取得了一定的效果。我们针对具体应用对低气压下 CO<sub>2</sub> 脉冲激光器进行了测量研究,取得良好的效果,拍摄了在各种低气压下的脉冲波形。使用的 CO<sub>2</sub> 激光器为非稳定腔输出(峰值功率密度 1 千瓦/厘米<sup>2</sup>,脉冲上升时间 100 毫微秒),通过实验,初步认为该仪器可满足各种气压下脉冲 CO<sub>2</sub> 激光器的测量需要。

## 二、原理

光子牵引探测器的工作原理是利用半导体 P 型锗在激光照射下所发生的光子牵引效应。

根据红外光作用于半导体的原理, P 型锗单晶的价带间跃迁的吸收比带内跃迁吸收强得多。当 CO<sub>2</sub> 激光器所产生的红外光对 P 型锗单晶辐照时,光子与空穴相互作用,则空穴不仅获得了能量,也获得了动量,这时,在重质带和轻质带之间发生跃迁,致使空穴在光束传播方向上运动, P 型锗棒的一端空穴数目减少,另一端空穴数目增加,这种运动称为“光子牵引”。“光子牵引”的结果,使 P 型锗棒两端产生电动势,这种转换的电讯号可放大并用示波器显示出来。研究表明,光子牵引产生的电压与入射光强成正比,这样,测量出光子牵引的电压,就能测出入射光的波型。

光强为  $W$  的光束在空气中的动量运输率为  $u_0 = \frac{W}{C}$  (瓦·秒/厘米),辐照到锗棒上,见图 1,若锗棒吸收系数为  $K$  (厘米<sup>-1</sup>),则在  $dl$  范围动量运输率的变化为

$$-du = K u dl \quad (1)$$

(1)式即可解出

\* 收稿日期: 1978 年 1 月 16 日。

No. 4, 195~199.

[5] 中国科学院安徽光机所三室固体组,中国科学院北京植物所六室光合作用组,《激光》,1976, 3, No. 3,

25~28.

[6] R. E. Brooks et al., *IEEE. J., Quan. Elec.*, 1966, QE-2(8), 275.

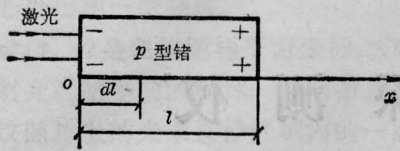


图 1

$$u = u_0 e^{-kl} = \frac{W}{C} e^{-kl} \quad (2)$$

设样品受光截面为  $A$ , 由于光被吸收, 光束的动量转换为锗中粒子的动量, 单位体积的动量输运率的变化则为

$$\frac{1}{A dl} du = \frac{K}{A} (-u) = -\frac{KW}{CA} e^{-kl} \quad (3)$$

在重掺杂的  $P$  型锗中, 可以认为光子流所减少的动量几乎全被空穴吸收, 在棒内建立起电场。在  $x=l$  处的场强由下式给出, 使每个空穴的动量输运速率等于电场对它产生的反向力, 设  $p$  为空穴浓度, 则有

$$\begin{aligned} V &= \int_0^{l_0} E dl = \int_0^{l_0} -\frac{WK}{ACpe} e^{-kl} dl \\ &= -\frac{W}{ACpe} (1 - e^{-kl_0}) \end{aligned}$$

考虑到  $P$  型锗棒的端面反射系数为  $R$ , 则开路电压为

$$V = \frac{W(1-R)}{ACpe} (1 - e^{-kl_0})$$

再考虑到在  $x=l_0$  处光强为  $W(1-R)e^{-kl_0}$ , 在  $x=l_0$  的端面光被反射回锗棒, 光方向相反, 产生的电场方向也相反, 经过多次反射则开路电压  $V$  为

$$\begin{aligned} V &= \frac{W(1-R)}{ACpe} (1 - e^{-kl_0}) [1 - Re^{-kl_0} \\ &\quad + (Re^{-kl_0})^2 - \dots + (-1)^{n+1} (Re^{-kl_0})^{n-1} \\ &\quad + \dots] = \frac{W(1-R)}{ACpe} \cdot \frac{1 - e^{-kl_0}}{1 + Re^{-kl_0}} \quad (4) \end{aligned}$$

式中  $pe = \frac{1}{\rho\mu}$ ,  $\rho$ ——样品的电阻率,  $\mu$  是空穴迁移率, 方程(4)可写成

$$V = \frac{W\rho\mu(1-R)}{AC} \frac{1 - e^{-kl_0}}{1 + Re^{-kl_0}} \quad (5)$$

对重掺杂  $P$  型锗,  $Kl_0$  相对来讲比较大, 因而方程(5)中第二项可近似用 1 代替, 因此方程

(5)成为

$$V = \frac{W\rho\mu(1-R)}{AC} \quad (6)$$

在室温下, 可以获得光子牵引电压对入射光强的线性关系, 此时, 式(6)中  $\frac{\rho\mu(1-R)}{AC}$  是一个常数, 它表征了探测器的响应率。只要知道  $P$  型锗单晶在室温下的电阻率  $\rho$ , 空穴迁移率  $\mu$ , 样品受光截面积  $A$  及端面反射系数  $R$ , 则响应率可立即算出。

### 三、制备工艺

在选择样品时, 考虑到各方面的因素, 例如, 提高响应率, 选择了电阻率为 5 欧姆-厘米的  $P$  型锗单晶, 方形棒 ( $5.52 \times 5.4 \times 22.7$  毫米<sup>3</sup>) 样品两端磨平, 抛成光学平面, 端面平行度没有严格要求; 为了减少端面的反射损耗, 在样品输入输出端都镀 ZnS 增透膜, 反射率  $R=2\%$ 。在靠近端面的方环上镀上钢, 镀层三次以保证钢有一定的厚度, 为加强牢固性, 镀完后到氢气炉中烧结, 在钢层上用铜丝焊上铜线作引出线, 上述工艺保证了在靠近样品端面的两端分别引出与锗单晶欧姆接触的电极。测得该样品的电阻为 38 欧姆, 则电阻率  $\rho = R \frac{S}{l} \approx 5$  欧姆-厘米, 式中  $l=2$  厘米,  $S=0.25$  厘米<sup>2</sup>。

在室温下  $\mu=1900$  厘米<sup>2</sup>/伏·秒时, 得响应率为:

$$\frac{V}{W} = 1.03 \times 10^{-6} \text{ 伏/瓦}$$

### 四、放大系统

放大器输入级采用两级跟随器与放大级连接。前级用了 3DOIE, 使放大器的输入阻抗提高, 并配有频率补偿式  $RC$  网络使通带加宽, 达到高阻输入, 低噪音, 宽频带的目的。为实现与放大级更好的隔离与匹配, 又采用

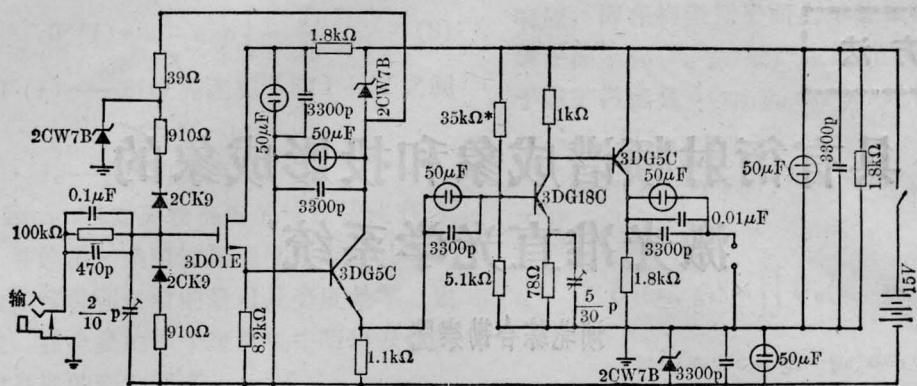


图2 放大器原理图

增益 20 分贝, 通频带不窄于 10 赫~30 兆赫

了一级 3DG5C 低噪音管组成的射极跟随器, 放大级作了高频补偿, 并加了射极跟随隔离级后与示波器连接 (示波器用 SB-11 双线脉冲示波器)。

为了防止各种电磁干扰, 整个放大器用了两层金属 (钢) 圆筒盒密封屏蔽。

整个放大器通频带不低于 30 兆赫, 上冲约在 5~7%; 电压增益约为 20 分贝。其原理线路图见图 2。

## 五、实验结果

在双放电系统中, 由于大面积出光, 功率密度平均值有时不够高。为了提高功率密度, 使探测元件更有效地反应波形, 本实验中使用了透镜组将光束密度进行调整, 实验方框示意图见图 3。其示波器波形照象见图 4。

## 六、讨论

本仪器试制过程中体积较大, 如放大器

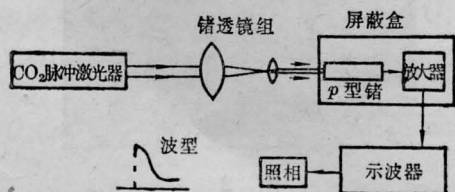
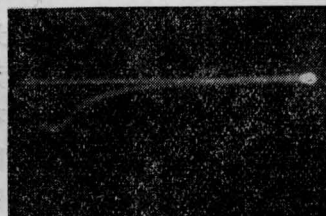
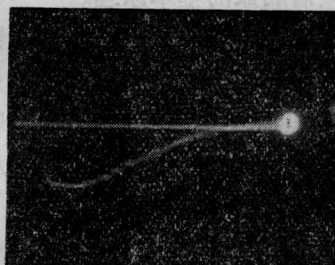


图3 实验方框示意图



(a)



(b)

图4 波形照片

(a) 气压 90 托,  $\text{CO}_2:\text{N}_2=1:1$  时的照片;  
(b) 气压 60 托,  $\text{CO}_2:\text{N}_2=2:1$  时的照片

改用集成电路系统, 体积可以缩小, 放大器作为低压到高压的脉冲  $\text{CO}_2$  激光器效果是良好的。但是为适应科研工作, 放大器灵敏度显得低了一些, 如果用二级以上的放大, 使放大倍数在 40 分贝以上, 在放大器选管时如用 3DO4 代 3DO1, 2G910 代 3DG18 等, 就会使放大器的噪声更低, 通频带更宽, 灵敏度更高些。