

# 硅光电子开关的应用

支婷婷 陈蓝荣

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

测得高功率激光系统内锁模脉冲信号比、普克尔盒电光开关能量隔离比,并同时监视预脉冲的位置和大小。显示出测量方法的简便、可靠和灵敏度高。

D. H. Aucton<sup>[1]</sup>和 C. H. Lee<sup>[2]</sup>等报道过微微秒脉冲作用半导体的研制。我们也研制成功 Si 和 GaAs 光电子开关<sup>[3]</sup>,它们的光电灵敏度、上升时间与微微秒同步的精度等方面,具有明显的优点,可供多方面应用<sup>[4~8]</sup>。

本工作中,把硅光电子开关作为探测器,对高功率光系统内锁模脉冲信噪比、普克尔盒电光开关能量隔离比进行测量,并可监视主脉冲前、后预脉冲的位置和大小。

## 一、开关结构和光电转换特性

开关结构见图1。硅块尺寸是长×宽×高=2×2×2(mm),电阻率 $\rho=2\sim 3\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}$ ,置于同轴式结构内。硅块两端涂金,锗和镍混合膜,作为电极。同轴结构内的导电芯子通过铜与硅电极粘结。整个结构连结50 $\Omega$ 阻抗的同轴电缆,开关输入电压为直流72V。

光电子开关在没有光照射时,静态下的电子或空穴密度应是:

$$n_e n_p = 4 \left( \frac{k_B T}{2\pi\hbar^2} \right)^3 (m_e m_h)^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right) \quad (1)$$

对于本征硅,上式具体参数为:禁带宽度 $E_g=1.14\text{eV}$ ;  $k_B$ 为玻尔兹曼常数,  $T$ 是温度,在常温下,  $k_B T=29.9\text{meV}$ 。令电子与空穴的有效质量分别为  $m_e$  和  $m_h$ , 取  $m_e/m_0=0.33$ ,  $m_h/m_0=0.5$ ,  $m_0$ 为电子质量,  $\hbar$ 是普朗克常数。从而算得  $n_e=n_p=1.7\times 10^{10}/\text{cm}^3$ 。在 Si 上施加72V电压时,硅上将流过的暗电流是:

$$I_d = e(n_e\mu_e + n_p\mu_h) \cdot h dV_0/l \quad (2)$$

这里,已知室温下的载流子迁移率  $\mu_e=1700$ ;  $\mu_h=350\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ , 从而算得  $I_d=71\mu\text{A}$ 。实验中,利用图1的同轴结构,测得暗电流为50~150 $\mu\text{A}$ ,与上面计算基本相符,说明在本征半导体内,流过的暗电流是很小的。

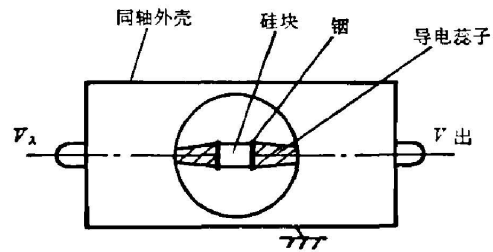


图1 同轴开关结构

Fig. 1 A coaxial silicon switch structure

当采用锁模 Nd:YAG 单脉冲激光, 经透镜聚焦照射在硅上时, 令  $I$  代表单位时间、通过单位面积的光子数,  $\alpha$  代表吸收系数,  $\beta$  为每个光子产生的电子-空穴对, 称为量子效率。根据“半导体物理”,  $I\alpha\beta = \Delta n/\tau$ ,  $\Delta n$  是产生的载流子,  $\tau$  为光电子寿命, 在光照总能量为  $W_0$  时,  $W_0/h\nu = N$ ,  $N$  是总的光子数。由(2)式, 推得激光照射电子开关后的光电流表达式是:

$$I_d = eW_0\eta(\mu_n + \mu_p)V_0/h\nu l^2, \quad (3)$$

这里  $\eta$  表示光照射硅表面的反射和透射损耗, 典型的<sup>[9]</sup>  $\eta = 0.7$ 。Nd:YAG 锁模单脉冲平均能量取  $20 \mu\text{J}$  时, 算得  $I_d = 35 \text{ A}$ 。这说明在微弱光照射下, 产生很浓的电子-空穴等离子体, 其电流增加迅速, 显示硅光电子开的光电灵敏性。

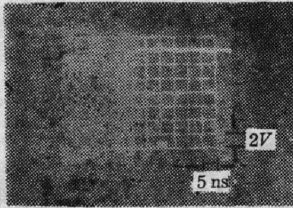


图 2 输出电信号照片  
Fig. 2 A typical osillogram of output signal from silicon coaxial switch using 72 V bias pulse

实验中, 在激光能量是  $\mu\text{J}$  量级、脉宽  $\sim 30 \text{ ps}$  情况下, 测得硅光电子开关输出电压波形(见图 2)。图 3 (a) 和 (b) 为两个不同硅开关的光电转换特性曲线, (a) 是在本实验室内测量, (b) 为“六束亚毫微秒高功率钕玻璃激光系统”<sup>[10]</sup> 的预脉冲探测。图 3 表明, 在 72 V 偏压下, 得到它们的饱和电压分别为 20 V 和 32 V。定义光电开关的效率  $\Delta = 2V_{\text{出}}/V_{\lambda}$ , 则按上面条件, 两个硅开关的输出电压  $V_{\text{出}}$  是 36 V 时, 效率最大。

但实际上, 本实验测得的效率分别为 56% 和 89%。开关效率偏低的原因, 是因为硅开关上的电阻  $R$  应由二部分组成, 即光照后的硅电阻和连结传输电缆时的接触电阻。若接触电阻偏大, 根据开关的输出电压:

$$V_{\text{出}} = V_{\lambda} Z_0 / 2Z_0 + R. \quad (4)$$

将造成开关效率偏低。因此, 研制开关时, 在工艺上提供开关电阻的大小很重要。

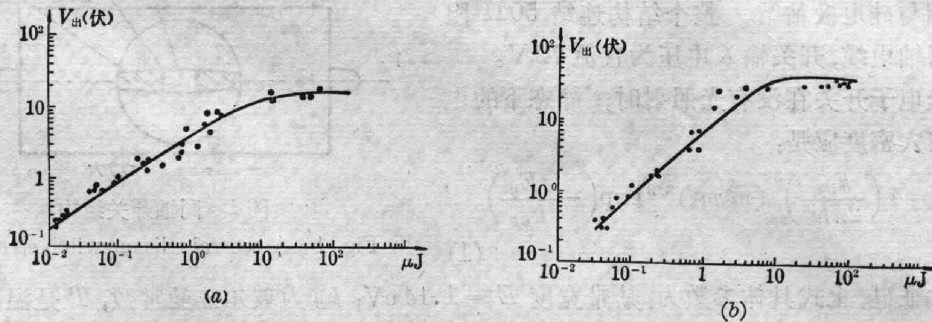


图 3 两个不同硅开关的光电转换特性曲线  
Fig. 3 The photo-electron convertible characteristic curves (a) and (b) measured on two different silicon switch

## 二、高功率激光系统隔离比和信噪比的测量

测量装置见图 4。从锁模脉冲序列中, 采用激光触发火花隙和普克尔盒开关产生  $1.06 \mu\text{s}$  单脉冲。锁模脉冲间隔为  $10 \text{ ns}$ 。分光镜  $P_1$  把单脉冲分为二部分: 一束进入强流光电管, 作

为基准脉冲用;另一束主脉冲由透镜聚焦,照射硅开关 A。这二束光的光电延迟小于 10 ns,它们产生的电脉冲由 7904 示波器显示。

测量本实验室内一台简易被动锁模 Nd:YAG 激光系统隔离比,拍得照片见图 5。信号波形前的多台阶形为普克尔开关的漏光部分,两台阶间隔,即为锁模序列二脉冲间隔 10 ns。参照图 3(a) 的特性曲线,算得主脉冲与序列中最大的漏光能量比,即称隔离比为 20:1。作为运转的锁模器件,为达到隔离比最大,可采用硅光电子开关,借助示波器观察,做到比较直观的调节。

图 6 为增加基准电脉冲信号,拍得的照片。主脉冲波形前的小台阶波形是预脉冲反映的电信号,位置处于主脉冲前 10 ns 以内。参照图 3(a),算得单脉冲与背底的能量比,即称为信噪比~200:1。

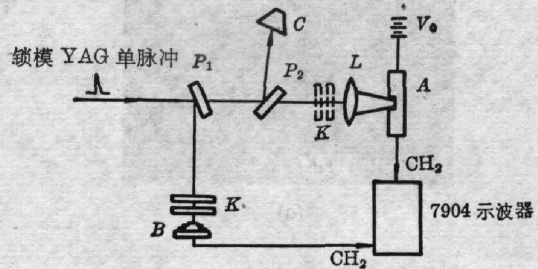


图 4 高功率激光系统隔离比和信噪比的测量装置

Fig. 4 Schematic arrangement for measuring the ratio of signal to noise and extinction ratio

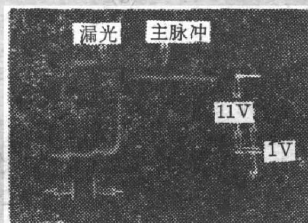


图 5 输出电信号照片

Fig. 5 Osillogram obtained on a 7904 oscilloscope for signal output of Si switch



图 6 测量信噪比所拍得的电信号照片

Fig. 6 Osillogram obtained for the ratio of signal to noise of passive moee-locked pulse in high power laser system

利用硅开关测量隔离比和信噪比,与以往光电管相比,除了在方法简单、观察直观等方面相似外,主要不同处表现在用示波器观察电信号时,硅开关输出的电脉冲,在一定能量照射下,就达到饱和。而用光电管测量时,电脉冲信号幅度随着光能的增加而增大,很容易脱离示波器屏幕,造成示波器损伤。

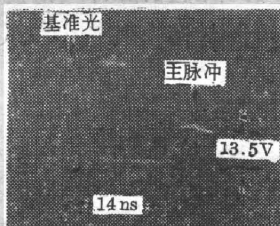


图 7 主脉冲前衰减  $T=0.1755 \times 10^{-4}$  后电信号照片

Fig. 7 Osillogram obtained for the attenuator  $T=0.1755 \times 10^{-4}$  in the front of the main pulse

本文采用以上测量方法,测量“六束亚毫微秒高功率钕玻璃激光系统”<sup>[11]</sup>。预脉冲情况如下:测量装置同图 4。二束光的光电延迟变为 14 ns。测量时首先在主脉冲前放置一定的衰减片,它的透过率  $T=0.1755 \times 10^{-4}$ ,用 7904 示波器拍得的照片如图 7 所示。然后,取走衰减片,拍得一组照片(见图 8)。令图 7 中基准电脉冲电压幅度为  $A_1$ ,主脉冲电信号对应的能量为  $I_1$ ;以后拍得的照片中基准电脉冲电压幅度是  $A_2$ ,出现预脉冲电信号对应的能量是  $I_2$ ,则算得信噪比(S/N):

$$S/N = \frac{A_2 \times I_1}{A_1 \times I_2 \times T} \quad (5)$$

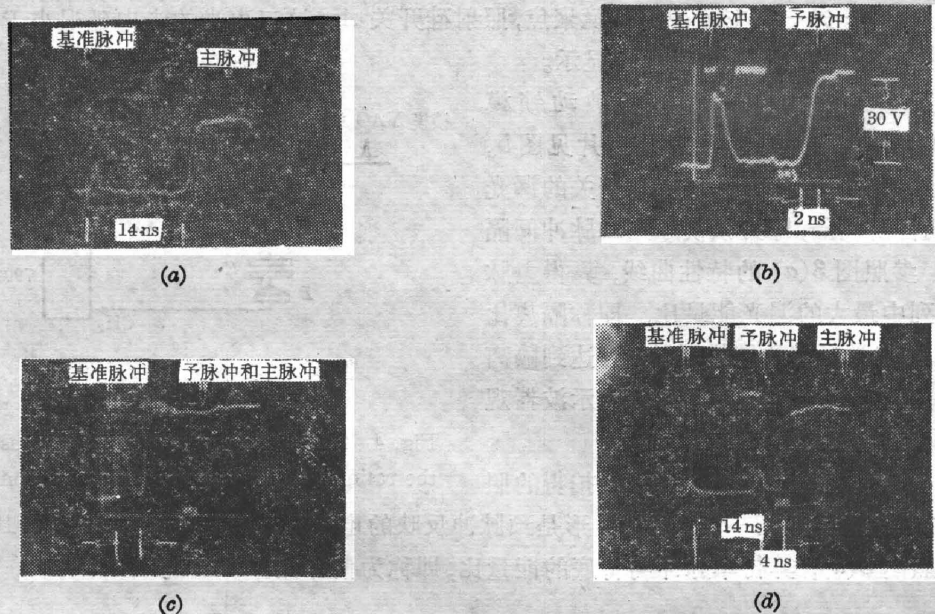


图 8 测量六路高功率激光系统预脉冲情况的一组照片

Fig. 8 Oscillograms obtained on a 7904 oscilloscope for the prepulses measured in the six-beam subnanosecond high power laser system

图 8(a)反映运转的激光器件输出单一脉冲,背底清晰,参照图 7、图 3(b)和公式(6),算得信噪比 $>3 \times 10^4:1$ ;在增加激光能量时,又拍照片(b),主脉冲前 2 ns 处有一预脉冲台阶,算得信噪比为 $1 \times 10^5:1$ ;"六束激光系统"运转几率较多的是位于上述两种情况。照片(c)和(d)是激光系统中普克尔盒开关运转不正常的情况。(c)反映普克尔盒开关选出了两个单脉冲,它们的间距为 10 ns(即振荡器输出锁模脉冲序列中的脉冲间距),前脉冲比后脉冲幅度小很多,它不能触发强流光电管,但硅开关比强流光电管灵敏,从而在基准脉冲后 4 ns 处出电脉冲信号。照片(d)反映普克尔盒开关也选出了两个单脉冲,但前脉冲与后脉冲幅度差不多,都能触发强流光电管。(b)中的预脉冲由振荡器的不完全锁模所产生;(c)、(d)由普克尔盒开关不稳定所产生。

实验还发现,当照射硅开关表面光能在几百 mJ 量级时,硅块表面损坏,须在 100 mJ 以内工作为妥。

在本实验中,硅块的制作由王海龙、朱筱春、曹根娣同志提供,并且得到周复正、黄观龙、陈时胜、赵庆春的帮助,在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] D. H. Auston; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **26**, No. 3 (Feb), 101.
- [2] C. H. Lee; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **30**, No. 2 (Jun), 84.
- [3] 陈蓝荣等;《激光》, 1982, **9**, No. 4 (Apr), 250.
- [4] G. Monron, W. Knox; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, No. 7 (Oct), 492.
- [5] I. Agostinell, G. Monron *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, No. 10 (Nov), 731.
- [6] P. Lefur, D. H. Auston; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **28**, No. 1 (Jan), 21.

- [ 7 ] A. Antonetti, M. M. Malley; *Opt. Commu.*, 1977, **23**, No. 3 (Dec), 435.  
[ 8 ] 吉田國雄、金边等;《应用物理》, 1981, **50**, No. 5 (May), 489.  
[ 9 ] J. F. Reintjes, J. Mc. Groddy; *Phys. Rev. Lett.*, 1973, **30**, No. 9 (May), 901.  
[10] 邓锡铭, 金文炎等;《光学学报》, 1981, **1**, No. 4 (Jul), 289.

## Application of Si photoconduction switcher to the measurement of the ratio of signal to noise and extinction ratio

ZHI TINGTING AND CHEN LANYONG

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

(Received 5 March 1982, revised, 17 August 1982)

### Abstract

The ratio of signal to noise of passive modelocked pulse in high power laser system and extinction ratio of Pockells electro-optical switcher have been measured using Si photoconduction switcher. The position and amplitude of prepulses have been observed. It's shown that measurement methods are simple, reliable and more sensitive.