

千伏、微微秒光电子开关及其应用

陈兰荣 支婷婷

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文分析了光电子开关在高压作用下的物理性能。用 $1.06\mu\text{m}$ 超短光脉冲控制光电子开关, 获得与锁模激光脉冲高精度同步的微微秒电脉冲, 电压幅值达 7kV 。用此电脉冲驱动快速普克尔盒, 测得其上升时间为 56ps 。

同轴型硅、砷化镓的 ps 光电子开关的结构及优点已论述过^[1, 2]。根据这种开关的特点(即时间抖动小、上升时间快、同步精度高和直接开启高压), 在国外有许多重要应用, 尤其是用于条纹象机高压偏转板的驱动、微微秒范围的主动式脉冲整形、激光核聚变的预脉冲抑制、驱动光尔盒和普克尔盒, 以及最近用于产生微微秒微波脉冲和进行主动锁模等。我们利用国产的硅和砷化镓材料, 改进制作开关的工艺过程, 采用脉冲加偏压方式, 分别成功地获得 3300V 及 7000V 的砷化镓与硅光电子开关的高压输出, 并用于驱动普克尔盒, 测得电信号的上升时间为 56ps 。

一、高压半导体开关的热学性质

1. 分析

不同的半导体材料, 在长时间电场作用下, 由暗电流引起的焦耳热会引起材料的温升, 从而使电阻率下降, 其关系式为:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2K}\right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right), \quad (1)$$

$$dT = \frac{V_0^2}{dcl^2\rho} dt, \quad (2)$$

式中 dT 为在时间 dt 内引起的温升; d 为质量密度; c 为比热; l 为电极间距; V_0 为初始偏压; E_g 为禁带宽度; K 为玻尔兹曼常数; ρ_0 和 ρ 为温度分别在 T 和 T_0 下的电阻率。

选择本征硅的 $\rho_0 = 2.11 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$, $l = 4\text{mm}$, 从(1)和(2)式算得图 1(a)和(b)所示的关系曲线。

从上面曲线可以看出, 4mm 间隙的光电子开关, 在加压 16000V , 加压时间 $10\mu\text{s}$ 时, 电阻率开始下降, $100\mu\text{s}$ 后, 电阻率明显下降。

2. 硅光电子开关暗电流的测量

在无光照射时, 光电子开关的暗电流是很小的, 一旦微弱光瞬间辐照它, 立刻产生光电

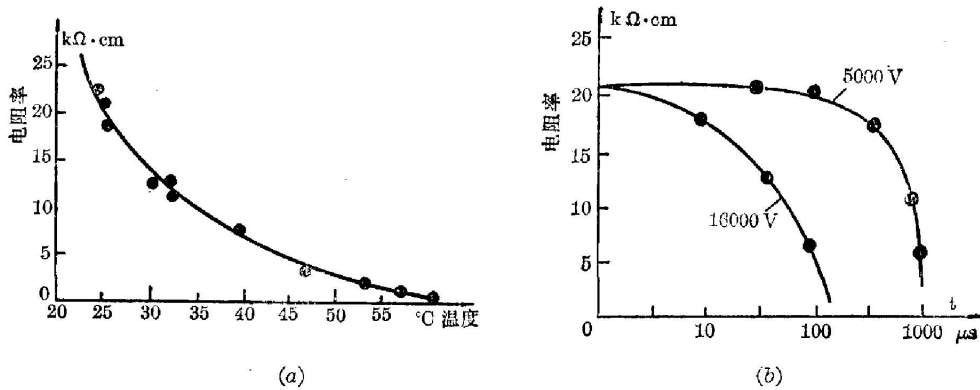


图 1

(a) Si 电阻率随温度变化关系曲线;
 (b) 在不同电压下,电阻率随所加电压时间的变化曲线

Fig. 1

(a) Dependence of Si resistivity on temperature;
 (b) Dependence of the resistivity on biased time for different voltages

导。由(1)和(2)式,知道半导体暗电流的大小依赖于电压作用时间。利用图 2 实验装置,图中: 1—延时触发器; 2—高压脉冲电源; 3—光电子开关; 4—检流计。采用电压宽度分别为 $10 \mu s$ 、 $40 \mu s$ 和 $100 \mu s$, 测出电压和暗电流的关系曲线见图 3。

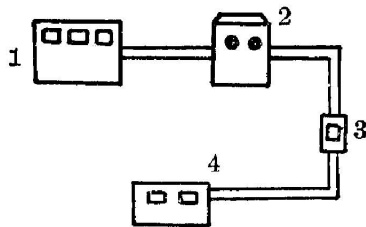


图 2 实验方框图

Fig. 2 Block diagram of the experimental configuration

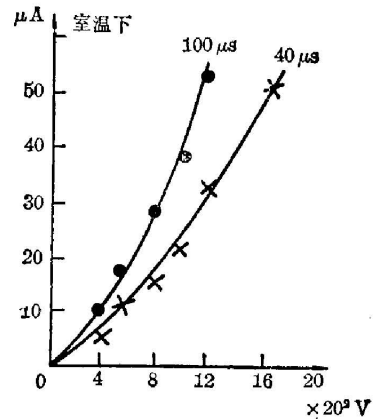


图 3 在一定加压时间下, Si 开关的暗电流随电压的变化关系曲线

Fig. 3 Dark current of the Si switch vs voltage for different biased times

从结果说明,同一电压下,加压时间越长,暗电流愈大;加压时间相同情况下,暗电流也随着电压的升高而变大。暗电流的急剧上升,将导致材料的温升加剧,电阻率下降,使光电子开关在光还未照射下已处于导通状态。这样,它就不能起到“开关”作用。为了解决这个问题,采用低温处置或脉冲式加压。我们是采用了后一种方式,克服热效应,获得高压输出。

二、高压开关实验

已报道过的同轴型砷化镓^[1]开关,由于长时间的加电压,开关输出仅 1000 V。硅的电

阻率为 $2.1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$, 远低于砷化镓的电阻率 ($\rho = 1.2 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$), 如果长时间的加压于开关上, 更易使开关导通。我们采用脉冲式加压以后, 获得了 7 kV 的高压输出。

实验装置如图 4 所示, 图中 1 为振荡器部分; 2、3、4、5 为选单脉冲部分; 6 为放大器; 7 为供开关加电压用的激光击穿火花隙 (简称 LTSG); 8 为硅光电子开关; 9 为高压示波器; 10、11 为反射镜; 12 为直角棱镜。从被动锁模 Nd:YAG 激光器选出单个光脉冲, 脉宽 50 ps, 经两级 Nd:YAG 放大器放大, 单脉冲输出接近 13 mJ。分光镜 10 反射光能的 70% 击穿 LTSG, 当 LTSG 加 V_0 直流偏压时, 则产生 $V_0/2$ 的高压矩形脉冲, 供给光电子开关 8。本实验中的硅光电子开关是把硅装在与 50Ω 阻抗匹配的、充有惰性气体的密封室中。我们选用的 LTSG 成形电缆为 120 cm, 得高压矩形脉宽为 60 ns, 高压矩形脉冲幅度为 16 kV。为使透过分光镜 10 的光脉冲与 LTSG 产生的高压脉冲同步的到达光电子开关上, LTSG 必须调整到最佳状态, 即选择 LTSG 的合适气压, 控制击穿 LTSG 的激光功率, 以及用高压示波器监测它的抖动时间, 做到此抖动时间最小。这样, 从光电子开关输出的电信号, 由 LTSG 输出的 ns 上升时间电压矩波变成 ps 上升时间的电压矩波, 并排除了 LTSG 带来的抖动。最后, 利用 $13.5 \times$ 的衰减器, 在 OK-19 高压示波器上拍得 7 kV 的照片如图 5 所示。矩波顶部的振荡, 是由于传输中的阻抗不匹配引起的。

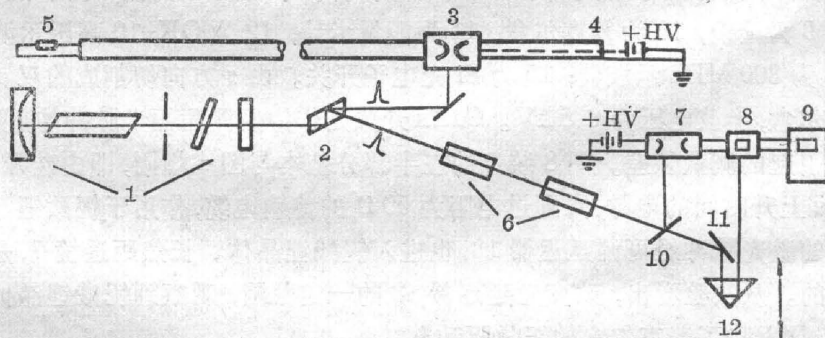


图 4 实验装置图

Fig. 4 A schematic diagram of experimental arrangement

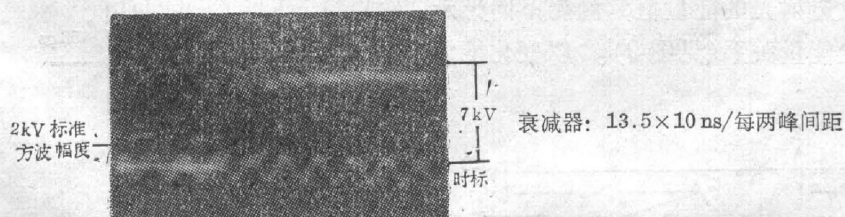


图 5 光电子开关输出的高压矩形脉冲

Fig. 5 The high voltage rectangular pulse from the photoelectronic switch.

Abscissa: 10 ns/div; single attenuator: $13.5 \times$

为了得到输出电压矩波的前后沿都是微微秒量级, 可在装置图 4 中再加入第二个硅光电子开关, 见图 6, 其中 1 为 LTSG; 2 为第一个硅光电子开关; 3 为第二个光电子开关; 4 为 OK-19 高压示波器; 5 为可调延迟器。第二个开关内的材料其两端电极中的一端接地, 在激光辐照于此开关时, 促使开关导通后迅速短路, 起到截断电脉冲的作用。并改变这两个光电

子开关间的光延迟,即可得到不同宽度的、前后沿都是微微秒量级的矩波,图7为拍得的照片。矩波前扫描线的凸起,受光脉冲前的预脉冲所影响。

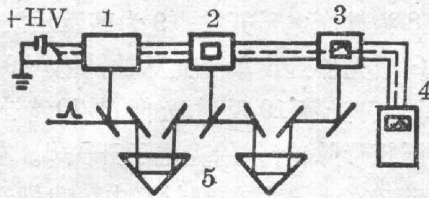


图6 实验装置简图

Fig. 6 A schematic diagram of the experimental arrangement

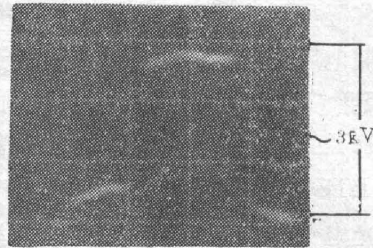


图7 微微秒前后沿的高压矩形脉冲

Fig. 7 The voltage pulse of picosecond rise and drop time. Abscissa: 20 ns/div, ordinate: 2 V/div, single attenuator: 600 ×

三、无抖动的、微微秒上升时间的高压脉冲驱动普克尔盒

测量装置如图8所示。其中1为LTSG; 2、3、4、5、6为反射镜; 7为长焦距透镜; 8为GaAs开关; 9为透镜; 10为普克尔盒; 11为能量卡计; 12为OK-19高压示波器; 13为直角棱镜; 14为300 MHz示波器; 15为Si光电子开关。由z方向切割成的双45° 铌酸锂开关组成普克尔盒,半波电压为6.5 kV。GaAs开关是作为监测超短光脉冲的,便于排除锁模脉冲不稳定引起的测量误差。图8装置的左半部分基本与图4相同,即由硅开关15输出的无抖动的、ps上升时间的电脉冲,通过电阻为50Ω的传输电缆,作用于铌酸锂晶体上。被分光镜5分束的激光脉冲经可调延迟器13,也进入铌酸锂晶体。长焦距透镜7,是为了避免光发散所采用的。从实验看出,改变光延迟器13的一定范围,观察到铌酸锂晶体透射光脉冲强度的变化,这反映了普克尔盒的正常驱动。

为了具体测量在ps上升时间高压脉冲作用下的普克尔盒上升时间,采用能量卡计11来测量普克尔盒透射光的能量值,测得不同光延迟下与透射光能量关系(见图9)。以变化能量

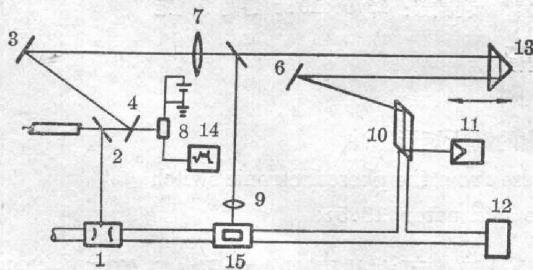


图8 普克尔盒上升时间的测量装置

Fig. 8 The experimental arrangement used to measure the rise time of the Pockels cell

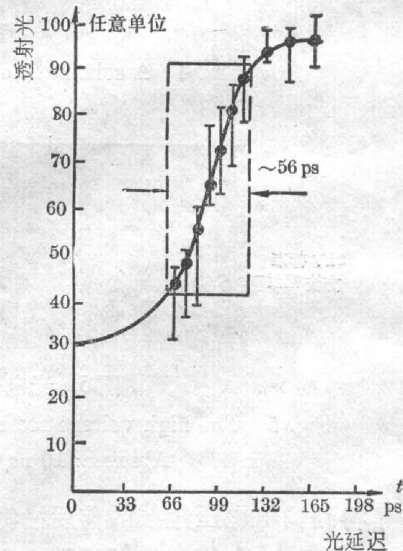


图9 普克尔盒透射光能量与光延迟的关系曲线

Fig. 9 Dependence of the transmitting light of the Pockels cell on the light delay

的 10~90% 定义为普克尔盒的上升时间, 测得为 56 ps。此上升时间实际上应包括被作用电脉冲的上升时间、被动锁模选出的单脉冲脉宽不稳带来的抖动时间及普克尔盒本身的响应时间。

四、结 论

从上述实验结果, 得到了与微微秒激光脉冲高精度同步的电脉冲, 电压幅度达 7 kV, 运转较稳定。这种电脉冲可代替一般采用 LTSG 所获得的电脉冲, 它具有无抖动、上升时间为 ps 的特点, 可用以驱动普克尔开关, 测得普克尔盒上升时间为 56 ps。此外, 对这种高压电脉冲, 在光与电的高精度同步的应用方面, 提供了很好的方法。

在本工作中, 半导体工艺技术得到王海龙、朱筱春、曹根娣等同志协助, 高压衰减器由朱鑫铭同志提供, 毕业实习学生邱立新、任俊琪和胡晨也分别参加了不同部分的实验, 在此表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- [1] 朱鑫铭, 陈兰荣, 支婷婷;《光学学报》, 1983, 3, No. 3 (May), 276.
- [2] 支婷婷, 陈兰荣;《光学学报》, 1983, 3, No. 4 (Jul), 369.

Multikilovolt picosecond optoelectronic switch and its application

CHEN LANRONG AND ZHI TINGTING

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

(Received 29 July 1983, revised 26 September 1983)

Abstract

The physics of optoelectronic switching under high voltage is discussed. Using the ultrashort pulse at 1.06 μm to control switching element, picosecond electrical pulse synchronized precisely with the mode-locked laser pulse is produced. Voltage up to 7 kV has been switched. This voltage has been used to drive a fast Pockels cell and the rise time of 56 ps has been obtained.