

# 用光导开关产生高压、高功率超快电脉冲

牛燕雄

(军械工程学院, 石家庄, 050003)

**摘要:** 基于半导体材料的光导效应, 设计并制做光导开关, 在偏压为 4000V, 负载电阻  $Z_0$  为 50 $\Omega$  时, 用脉宽为 ~12ns 的激光脉冲辐照光导开关, 得到脉宽为 ~16ns, 峰值电压为 ~1.8kV, 峰值功率为 ~65kW 的电脉冲, 本文并对光导开关的技术关键进行了分析。

**关键词:** 光导开关 光导效应 电脉冲

## Generation of the ultrashort, high-voltage and high-power electrical pulse using a photoconductive switch

*Niu Yanxiong*

(College of Ordnance Engineering)

**Abstract:** Based on the photoconductive effect of the semiconductor, the photoconductive switch has been developed. The photoconductive switch is biased at 4kV bias voltage, and can generate a electrical pulse in 50 ohm load with peak voltage ~1.8kV, peak power ~65kW and 16ns duration, when the switch is triggered by a laser pulse with 12 ns pulsewidth. In this paper, the key-technologies of the photoconductive switch, such as dark resistance, carrier life, constant resistance etc., are described.

**Key words:** photoconductive switch photoconduction effect electrical pulse

### 一、引 言

随着科学技术的发展, 在国民经济及军事方面, 越来越需要一种高压、高功率超快电脉冲。现在, 大都是利用雪崩二极管、火花隙等电子器件来产生, 由于受原理的局限性, 产生的电脉冲远不能满足需要, 因此, 需要寻求一种新型的装置, 产生高压、高功率超快电脉冲。

本文基于 GaAs 光导效应, 设计并制做了光导开关<sup>[1,2]</sup>, 实验证明用光导开关产生高压、高

功率超快电脉冲的可行性,并具有电压幅值高、响应时间快、抖动小、控制方便等优点。

## 二、半导体的光导效应及实验装置

当光量子的能带比半导体材料的禁带宽  $E_G$  大时,光辐照半导体材料产生自由电子和空穴,使半导体电导率增加。设自由电子和空穴的浓度分别用  $\Delta n, \Delta p$  表示,则半导体材料的电导率  $\sigma$  表示为<sup>[3]</sup>:

$$\sigma = \sigma_0 + \Delta\sigma$$

式中,  $\sigma_0 = q(n_0\mu_e + p_0\mu_n)$  为热平衡状态下的电导率,称为暗电导;  $\Delta\sigma = q(\Delta n\mu_e + \Delta p\mu_n)$  为光辐射引起的电导率,称为光电导。  $n_0, n_p$  分别为无光辐射时材料内的电子和空穴浓度,  $\mu_e$  和  $\mu_n$  分别为电子和空穴的迁移率。

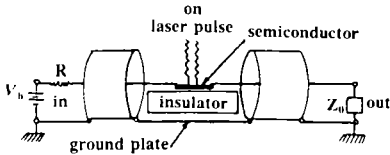


Fig. 1 The experimental arrangement of photoconductive switch

半导体材料两端加电压,无光照时,对于高阻材料的半导体,  $\sigma_0 \rightarrow 0$ , 半导体中的电流  $I_0 \rightarrow 0$ ; 当有光辐射时,由于半导体材料吸收光子而产生自由载流子,在电场作用下,有电流流过半导体材料,这时半导体材料电导率  $\sigma \approx \Delta\sigma$ , 半导体做为一种导体。

基于半导体材料的光导效应,在半导体材料两端镀膜电极可制成光导开关,用激光脉冲控制光导开关

的状态,可产生电脉冲。实验装置原理示意图如图 1 所示。其中  $Z_0$  为负载电阻,  $R$  为电源内阻,  $V_b$  为电压。

设激光脉冲辐照光导开关,  $R_s(t)$  表示光导开关的导通电阻,  $R_s(t)$  表示为:

$$R_s(t) = [l_{gap}^2 / N(t)q\mu] + R_c$$

式中,  $l_{gap}^2$  为光导开关的缝带长度,  $N(t)$  为光生载流子数(与光能量有关),  $R_c$  为电极与半导体材料的接触电阻,  $\mu$  为载流子迁移率。

由图 1 实验装置原理示意图很容易得到,负载  $Z_0$  上的电压  $V_{out}$  为:

$$V_{out} = \frac{V_b Z_0}{R + Z_0 + R_s(t)}$$

由于半导体材料如 GaAs, Cr:GaAs 等具有很高的耐击穿能力、光电导很快的响应且时间抖动小等优点,利用光导开关可产生高压超快强电脉冲。

## 三、实验结果及技术关键

### 1. 实验结果

实验中所用的 GaAs 光导开关,是在半导体材料 GaAs 两端镀合金电极而成,其参数如附表所示。

Table The parameteys of GaAs photoconductive switch (PS)

|                      |       |                         |                                    |
|----------------------|-------|-------------------------|------------------------------------|
| gap width $W_{gap}$  | 1.5mm | dark resistivity $\rho$ | $\sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ |
| gap length $l_{gap}$ | 4.0mm | carrier lifetime $\tau$ | $\sim 5\text{ns}$                  |
| PS thickness $d$     | 1.0mm |                         |                                    |

触发光导开关的光源为 JYM-1 激光器输出经过倍频后的光脉冲,光波长为  $0.53\mu\text{m}$ , 脉冲宽度为  $\sim 12\text{ns}$ , 能量为  $\sim 1.0\text{mJ}$ , 光斑直径为  $\sim 5\text{mm}$ , 限流电阻  $R$  为  $50\Omega$ , 负载电阻  $Z_0$  为  $50\Omega$ , 在偏压  $V_b$  为  $4\text{kV}$  时, 负载  $Z_0$  上的电脉冲波形如图 2 所示。

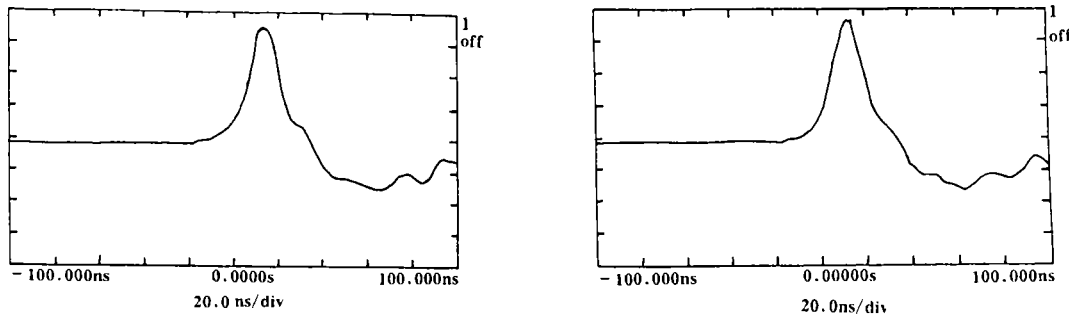


Fig. 2 The electrical pulse waveform generated by GaAs photoconductive switch  
peak voltage:  $\sim 1.8\text{kV}$  peak power:  $\sim 65\text{kW}$  pulse width:  $\sim 16\text{ns}$

若偏压  $V_b$  再升高, 激光脉冲宽度再窄, 可得峰值电压、峰值功率更高、脉宽更窄的电脉冲。其中  $V_b \leq l_{\text{gap}} E_{\text{Br}}$ ,  $E_{\text{Br}}$  为材料的击穿电场强度。

## 2. 技术关键

用光导开关产生高压、高功率超快电脉冲, 光导开关是最为核心的部件, 因此, 产生高压、高功率超快电脉冲的技术关键主要在于:

(1) 光导开关的暗电阻 用光导开关产生电脉冲, 就是基于半导体材料的光导效应, 即无光辐照时显高阻状态, 有光辐照时显低阻状态。为了提高开关的耐压能力, 而不至于在直流偏压或脉冲预偏压下发生热击穿, 材料的电阻率必须足够大。例如, Diamond(IIa) 的电阻率  $\rho > 10^{16}\Omega \cdot \text{cm}$ , 介质可承受场强为  $1\text{mV/cm}$ 。耐压能力是光导开关的一个重要参数指标。为了提高光导开关的耐压能力, 需对材料进行处理, 增大材料的暗电阻率。例如, 通常对半导体材料进行喷砂, 利用杂质或缺陷来形成陷阱提高材料电阻率。

(2) 载流子的复合寿命  $\tau$  半导体材料内的光生载流子的产生和消失都需要一定的时间, 因此, 激光辐照光导开关时, 光导开关不能立即响应, 而有一个弛豫过程, 这个过程与自由载流子的复合寿命  $\tau$  有关,  $\tau$  越大, 弛豫时间越长, 响应越慢; 相反,  $\tau$  越小, 光电导响应越快<sup>[3]</sup>。为了减小光电导的弛豫时间, 提高光导开关的响应速度, 应尽可能减小半导体材料的自由载流子的复合寿命  $\tau$ , 通常可对半导体材料掺杂、高能质子轰击、低温 MBE 生长等技术实现。例如, 本征 GaAs 的载流子复合寿命为  $\sim 5\text{ns}$ , 而 Cr:GaAs 载流子的复合寿命  $\tau < 1\text{ns}$ 。

(3) 光导开关电极的接触电阻  $R_c$  光导开关的导通电阻  $R_s(t)$  表示为:

$$R_s(t) = R_{\text{on}}(t) + R_c$$

式中,  $R_{\text{on}}(t) = l_{\text{gap}}^2 / N(t) e \mu$

由实验装置原理示意图可得到负载电阻  $Z_0$  上的电压  $V_{\text{out}}$  和功率  $P_{\text{out}}$ , 分别表示为:

$$V_{\text{out}} = \frac{V_b Z_0}{R + Z_0 + R_{\text{on}}(t) + R_c}$$

$$P_{\text{out}} = \frac{V_b^2 Z_0}{(R_0 + Z_0 + R_{\text{on}}(t) + R_c)^2}$$

版权所有 © 《激光技术》编辑部