

InP:Fe光导开关产生超短电脉冲实验研究*

林维涛** 阮成礼 杨宏春

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】利用高阻特性的InP:Fe材料,制成间隙分别为2 mm和3 mm的横向型光导开关,在不同高压情况下,用ns和ps光脉冲触发进行实验研究,并对实验结果进行分析,得到了响应速度快、脉冲宽度窄、性能稳定的电脉冲信号。该实验不仅可以应用于超宽带电磁脉冲的产生方面,同时也为进一步的理论分析研究提供了依据。

关键词 光导开关; 超短电脉冲; 实验研究; 横向型

中图分类号 TN201 文献标识码 A

Experiment Investigation of Ultra-Short Electrical Pulse Generated by InP:Fe Photoconductive Semiconductor Switches

Lin Weitao Ruan Chengli Yang Hongchun

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, 2mm-gap and 3mm-gap lateral high resistive InP:Fe Photoconductive semiconductor switches are fabricated. These switches are triggered by nano-second and pico-second laser pulse. Experiment are given out and a fast time, narrow pulse duration and stable performance waveform is received. This experiment not only can be applied in Ultra-wideband signal's generation but also supplies important reference for the theory investigation.

Key words photoconductive switches; ultra-short electrical pulse; experiment investigation; lateral

1975年文献[1]利用Si材料研制出光导开关(Photon Conductive Semiconductor Switches, PCSS),并首次报道了用ps激光源产生千伏纳秒电脉冲的实验结果。光导开关在产生和控制各种电信号方面具有其独特的优点:控制和被控制器件之间的理想隔离;不用为大阵列系统作射频馈电;避免了电磁干扰;理想的超高速响应(ps量级);非常高的功率密度容量;效率高、体积小、重量轻、可集成化。正是这些独特的优点,PCSS已备受半导体学界、光电学界和微波领域的关注,并成为近些年来研究热点。光导开关的研究主要沿着两个方向,其一是高功率方面,目前利用光导开关所产生的高功率电脉冲输出功率可达几十MW^[2],脉冲宽度为ns量级;其二是产生超短电脉冲方面,利用PCSS所产生的超短电脉冲的脉宽已达到几个fs^[3],所加的电压一般为几个mV。近年来随着微波脉冲电源、脉冲雷达、高功率微波的发展,对超短电脉冲的要求也越来越高,超短电脉冲不但要脉宽窄(ps)同时还要具有足够大的功率(MW),承受足够大的电压(kV)。这就对超短电脉冲的产生系统提出了更高的要求。现在国内外主要集中在研究Si和GaAs材料制作的光导开关上,并制作出了不少性能优良的器件用于超宽带信号的产生^[4,5]。本文制作了高阻特性的InP:Fe横向型PCSS,分析了其工作原理,并进行了实验测试,给出了测试数据与波形,同时与GaAs光导开关进行了比较分析,结果表明在线性状态下,InP:Fe光导开关具有更广阔的应用前景。

2003年8月29日收稿

* 国家863基金资助项目,编号:2002AA837030;国家重点实验室基金资助项目,编号:514250201DZ02;总装武器装备预研基金资助项目

** 男 24岁 硕士生 主要从事超宽带电磁学方面的研究

1 PCSS的工作原理

PCSS器件是根据皮秒光电效应原理工作的半导体光电器件，它是一个三端器件即输入端、输出端和一个光控制端。一般由光导材料和宽带传输线相连而组成。光导材料的一端通过一段充电传输线与一直流电源或脉冲电源相连，另一端通过传输线与一匹配负载相连，其理想的转化效率为50%，结构如图1所示。

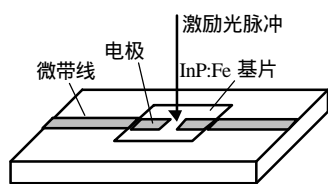


图1 PCSS结构原理图

光导开关存在两种工作模式，即线性与非线性。当激励光能量和偏置电压中的任一参量低于其阈值条件时，光导开关输出电脉冲与激励光脉冲具有相似波形，呈线性变化关系，称光导开关的该种工作模式为线性工作模式。

在线性工作模式下，开关的闭合与关断由时变光脉冲决定，激励光脉冲产生的光生载流子的时变特性决定开关的工作状态。当激励光能量和偏置电压参量同时高于对应阈值条件时，激励光脉冲消失后，只要偏置电压维持在某一高压，光导开关将继续处于导通状态，此时，开关的工作状态不再由是否存在光脉冲决定，激励光脉冲只起触发开关导通的作用，称该工作模式为光导开关的非线性工作模式^[6]。本文主要研究InP:Fe开关的线性工作状态。

2 实验与测试电路

材料的选取：实验选用具有高阻特性的InP:Fe半导体材料，其暗电阻率 $3.6 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ ，迁移率 $2\ 000 \text{ cm}^2/\text{VS}$ ，位错 $<5 \times 10^4 \text{ EPD}/\text{cm}^2$ ，晶向 $\langle 100 \rangle$ ，芯片厚度 $580 \mu\text{m}$ ，芯片的外形尺寸为 $6.0 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ 。

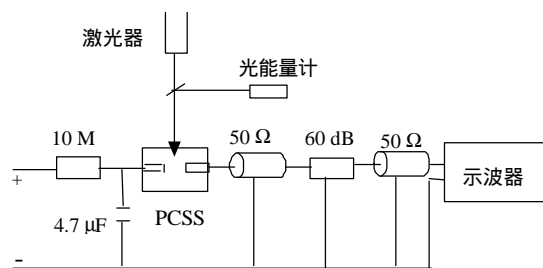


图2 测试线路

开关机械结构与加工工艺：开关的电极尺寸设计为 $2 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ ，电极间隙宽度设计为 2 mm 和 3 mm 。为了保证电极与InP:Fe之间的欧姆接触，选用电子束蒸发工艺在芯片上蒸发了Au/Ni/Ge合金制成合金化电极。整个芯片放置在标准微带线上，考虑到微带线的损耗和介质基片的导热性能，实验选用介电常数为9.9，厚度为 1 mm 的陶瓷基片，微带线的特性阻抗设计为 50Ω ，金带宽度 0.94 mm ，微带线的金带与半导体电极之间采用 $800 \mu\text{m}$ 的金带焊接。

测试电路：为了保持PCSS器件所固有的宽带特性，开关的输入输出端选用标准的L16同轴接头与同轴线相连接，开关的测试线路如图2所示。测试线路中的触发光源选用对撞脉冲主被动锁模Nd: YAG激光器；同轴衰减器型号为TS100-60 dB，带宽 $0 \sim 4 \text{ GHz}$ ；光能量计型号为Rj-7200；示波器为Lecroy 8600 A，带宽 6 GHz 。

3 实验结果

3.1 纳秒光脉冲的测试结果

用对撞脉冲主被动锁模Nd: YAG激光器经KTP倍频后输出波长为 532 nm 、脉冲宽度为 9 ns 的激光作为触发源，触发间隙为 2 mm 的InP:Fe光导开关，在示波器上所观察到输出波形相当稳定。图3给出了偏压 $2\ 500 \text{ V}$ ，光强 0.267 mJ ，30次触发时的示波器输出波形，其峰值电压为 92 mV ，上升沿为 3.93 ns ，脉宽为 10.38 ns ；当光强变为 0.508 mJ 时，其峰值电压变为 202 mV ，脉宽 10.3 ns 。对于 3 mm 开关进行触发也得到类似结果。



图3 ns光脉冲触发2mm开关输出波形

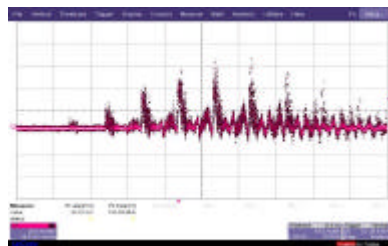


图4 ps光脉冲串触发2mm开关输出波形

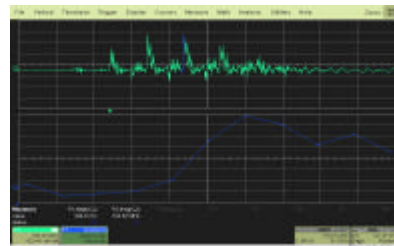


图5 ps光脉冲串触发3mm开关输出波形

3.2 皮秒光脉冲实验测试结果

当用波长532 nm, 光脉冲宽度40 ps, 激光能量0.5 mJ的激光作为触发源, 光脉冲串个数6个, 重叠20次, 在偏压1 000 V时, 得到图4所示的输出脉冲串, 峰值电压分别为52.27 mV。对3 mm开关进行测试, 得到的输出波形如图5所示, 脉冲宽度为亚纳秒量级。图下方的细线是将上方图中的上升沿拉长, 清晰可见电脉冲的上升时间小于200 ps。这与目前利用GaAs光导开关(3 mm)所产生的电脉冲最短的上升沿相同^[6]。

4 结果与讨论

从以上实验结果来看, 在ns光脉冲触发时, 输出信号性能相当稳定。在ps光脉冲串触发下, 波形的稳定性要稍差一些, 但脉冲序列仍然相当清晰。输出脉冲的峰值电压随着偏置电压和激光能量的增大而增大, 图6是根据实验数据所绘出的线性状态下2 mm开关在光强0.267 mJ条件下的输出脉冲峰值电压与偏压的关系(幅度衰减1 000倍), 基本为一线性关系。输出脉冲的上升沿和脉冲宽度主要是由激励的光脉冲决定, 光脉冲越短, 上升沿越短, 脉宽越窄。触发光能和偏压虽然对其也有影响, 但在变化不大的情况下, 与光脉冲相比影响较小。另外所有波形的后面均有较小幅度振荡波形, 这主要是由于测试线路中的高频振荡和连接端口的反射所引起的, 对信号影响不大。

In:Fe光导开关, 在线性状态下得到的电脉冲信号响应很快、脉宽很窄、性能稳定并且无抖动性, 上升沿极为陡峭。信号可用于超宽带通信、超宽带雷达、光电采样等众多领域。当然GaAs材料在线性状态下也具有与此相近的特性, 但是由于GaAs材料的阈值电场较低为4.3 kV/cm左右, 而InP:Fe的阈值电场高达14.4 kV/cm, 要想得到性能稳定的高功率超宽带信号, 在线性状态下In:P比GaAs更有选择的余地; 由于InP:Fe的禁带宽度为1.29 eV, 小于GaAs的禁带宽度1.43 eV, 所需要的触发光能也小于GaAs导通时所需要的激光能量, 同时也降低了开关导通时对激光器的要求。

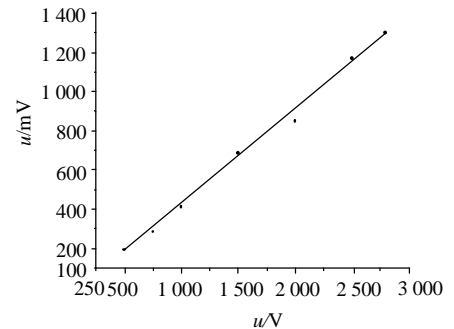


图6 3 mm 光导开关输出峰值电压随偏置电压的变化曲线

5 结论

本文给出了2 mm和3 mm的InP:Fe光导开关在不同光脉冲触发下所输出的电脉冲数据和波形。从实验数据中可以看出输出电脉冲的上升沿、脉宽、峰值电压和光脉冲宽度以及开关间隙有着明显的关系。峰值电压随着偏压和触发光能的增大而增大, 上升沿和脉宽基本上由触发光而决定, 触发光脉冲越短, 上升沿越陡峭、脉宽越短。在同样的偏置横向型InP:Fe光导开关输出波形的上升时间与目前国内所作的最好GaAs光导开关输出波形相比。但线性状态下InP:Fe光导开关的电压选择范围较宽, 对触发光源的能量要求也小于GaAs光导开关的要求, 因此不论在超高速还是在高功率方面InP:Fe光导开关都具有更广泛的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Auston D H. Picosecond optoelectronic switching and gating in silicon[J]. Appl Phys Lett, 1975, 26(3): 101-103
- [2] Nunnally W C, Hammond R B. 80-MW photoconductor power switch[J]. Appl Phys Lett, 1984, 44: 920-980
- [3] Mikulics M, Zheng X, Adam R, *et al.* High-speed photoconductive switch based on low-temperature GaAs[J], IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15(4): 528-530
- [4] Zutavern F, Loubriel M G Mallwy M W, *et al.* Photoconductive semiconductor switch experiments for pulsed power applications[J]. IEEE Transactions On Electron Devices, 1990, 37(12): 528-530
- [5] Schoenberg S J, Burger W J, Tyo S J, *et al.* Ultra-wideband source using gallium arsenide photoconductive semiconductor switches[J]. IEEE Transactions On Plasma Science, 1997, 25(2): 327-334
- [6] 施 卫, 赵 卫, 张显斌. 用光激开关产生高功率亚纳秒电脉冲的研究[J]. 强激光与粒子束, 2001, 13(6): 734-737