

文章编号: 2095-4980(2014)06-0804-04

## 半导体激光二极管触发 GaAs 光导开关

吴朝阳<sup>a</sup>, 范昭奇<sup>a</sup>, 陆巍<sup>a</sup>, 杨周炳<sup>a</sup>, 罗剑波<sup>b</sup>

(中国工程物理研究院 a.应用电子学研究所; b.电子工程研究所, 四川 绵阳 621999)

**摘要:** 半导体激光二极管触发下砷化镓(GaAs)光导开关工作于雪崩模式, 为此设计了异面体结构的 GaAs 光导开关以提高开关场强。设计的开关芯片厚度为 2 mm, 电极间隙为 3 mm, 利用半导体激光二极管对开关进行触发实验。当开关充电电压超过 8 kV 后, 开关输出脉冲幅度显著增强, 输出脉冲前沿快于光脉冲, 开关开始雪崩工作模式。随着开关电场不断增加, 开关输出电压幅值也线性增加, 但开关输出波形没有改变。对开关抖动进行测试, 其测试结果显示开关偏压对抖动影响很大, 随着开关偏压增加, 开关抖动减小, 当开关偏压升至 15 kV 时, 开关获得最小抖动约 500 ps。

**关键词:** 砷化镓; 光导开关; 非线性; 半导体二极管

**中图分类号:** TN31

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201406.0804

## Semiconductor laser diode triggered GaAs Photoconductive Semiconductor Switch

WU Zhao-yang<sup>a</sup>, FAN Zhao-qi<sup>a</sup>, LU Wei<sup>a</sup>, YANG Zhou-bing<sup>a</sup>, LUO Jian-bo<sup>b</sup>

(a.Institute of Applied Electronics; b.Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

**Abstract:** Semiconductor laser diode triggered GaAs Photoconductive Semiconductor Switch(PCSS) works in avalanche mode, therefore, a vertical GaAs PCSS with bulk structure is fabricated to enhance the switch field. The proposed switch is of 2 mm thickness and 3 mm gap, and triggered by laser diode. When charge voltage exceeds 8 kV, the amplitude of output voltage impulse increases rapidly, and the output impulse front is faster than that of the laser impulse, which shows PCSS turning into avalanche mode. Along with the enhancement of switch electric field, the output voltage increases linearly, nevertheless, there are no changes on the output waveform. The switch jitter is tested, and the results show that switch bias voltage has great influence on switch jitter. Along with the increasing of switch bias voltage, the switch jitter reduces; and when bias voltage up to 15 kV, the lowest jitter of 500 ps is obtained.

**Key words:** GaAs; Photoconductive Semiconductor Switch; nonlinear; semiconductor diode

光导开关是基于半导体材料光电效应原理, 使材料从初始绝缘状态转变到高电导状态<sup>[1]</sup>的一种新型开关器件。自 1977 年, Lee C H 等人研制出 GaAs 光导开关以来<sup>[2]</sup>, 光导开关技术就一直飞速发展。光导开关与气体火花开关相比具有较高的工作频率和较低开关抖动, 与半导体固态开关相比, 如金氧半场效晶体管(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET)和绝缘栅双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)等, 具有较高的输出功率和较快的开关速度, 其利用脉冲激光进行触发的特点使其还具有良好的光电隔离优点。这些优点使光导开关在诸如脉冲功率技术、THz 源、超宽带微波系统等领域得到了重要应用<sup>[3-6]</sup>。

自 GaAs 光导开关的非线性模式<sup>[7-8]</sup>被发现后, 利用半导体激光二极管触发光导开关成为了可能, 但需要开关承受较高场强以工作于雪崩模式。光导开关常制作于 0.6 mm 的 GaAs 芯片上, 其结构包括共面和异面等, 主要依靠拉大开关间隙横向距离以提高开关耐压<sup>[9-10]</sup>, 这对开关沿面闪络抑制有很高要求。为提高开关耐压并降低沿面闪络抑制难度, 本文在 2 mm 厚半绝缘 GaAs 芯片上设计了异面体结构光导开关, 并利用半导体激光二极管进行了触发实验, 实现了快脉冲输出, 同时也对偏置电压与开关抖动的关系进行了实验研究。

收稿日期: 2014-06-03; 修回日期: 2014-07-09

基金项目: 高功率微波技术重点实验室基金资助项目(2013HPM-01)

### 1 开关结构

实验中采用的光导开关为异面结构, 见图 1。开关芯片选用半绝缘 GaAs 材料, GaAs 晶片厚度为 2 mm, 电阻率约  $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ , 电子迁移率约  $4\,000 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。电极尺寸为  $10 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ , 圆角半径 1.2 mm, 电极间间隙为 3 mm。电极材料选用 Au/Ge/Ni 合金, 通过电子束蒸发、沉积以及高温退火等工艺在材料表面形成欧姆接触, 开关芯片置于陶瓷基板上, 通过导电胶与外电路连接。

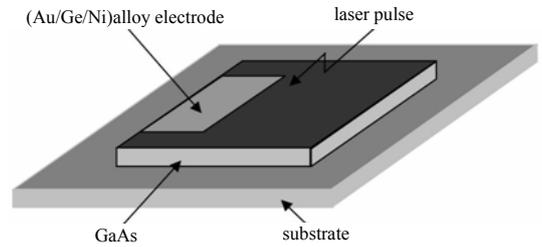


Fig.1 Vertical GaAs PCSS  
图 1 异面 GaAs 光导开关

### 2 实验装置及原理

实验中采用脉冲高压电源对 Blumlein 同轴传输线充电, Blumlein 同轴传输线起传输和储能的作用。同轴 Blumlein 线的设计见图 2。

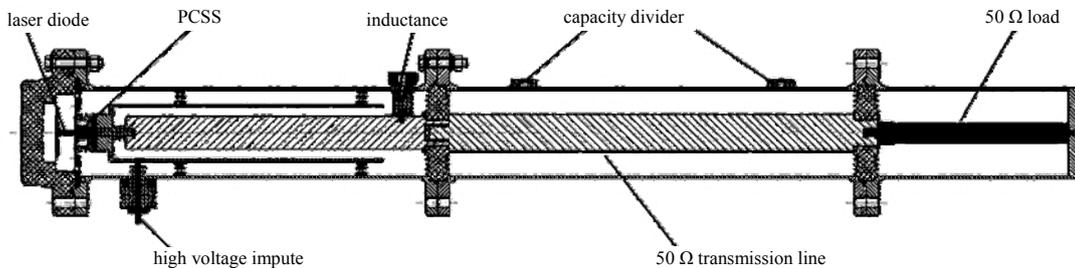


Fig.2 PCSS experimental facility  
图 2 光导开关实验装置图

内筒外筒阻抗分别为  $25 \Omega$ , 长度为 0.3 m, 由公式(1)可知, 在  $50 \Omega$  负载上获得的理性脉冲宽度为 2 ns。另外, 由公式(2)可知, 作为储能功能, Blumlein 同轴线电容值约为  $80 \text{ pF}$ 。

$$\tau = \frac{2l}{v} \tag{1}$$

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln \frac{a}{b}} \tag{2}$$

式中:  $\tau$  为脉冲宽度;  $l$  为 Blumlein 同轴线长度;  $v$  为光速;  $C_0$  为单位长度同轴线分布电容;  $a$  和  $b$  为同轴线的外筒和内筒半径。

开关实验原理见图 3。信号延时控制系统触发第 1 路信号控制高压脉冲电源对 Blumlein 形成线充电, 经过约  $6 \mu\text{s}$  延时, 同轴上的电源充到最大值。此时, 信号延时控制系统控制第 2 路信号触发激光二极管发光导通光导开关, 开关输出波形通过分压器、衰减器后直接进入示波器显示。在实验中, 为了对比开关输出波形和触发波形, 同时也为测试开关抖动, 设计 2 组完全一致的脉冲激光二极管驱动系统: 1 组用于直接接触导通开关作用, 另 1 组通过光电探测器将光信号转换为电信号输入示波器用于对比测试。

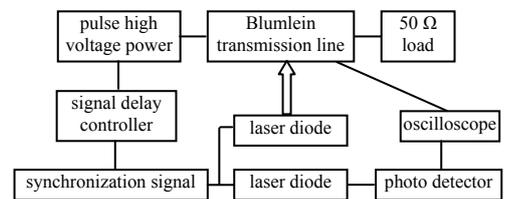


Fig.3 PCSS experiment principle  
图 3 光导开关实验原理

### 3 实验结果及分析

光导开关触发实验中使用的光源为功率 200 W 的脉冲激光二极管, 其波长为 905 nm, 脉冲前沿约为 50 ns, 脉冲宽度约为 150 ns, 其输出光波形见图 4。

在开关两端加上脉冲高压, 其随着偏置升高, 开关输出也逐

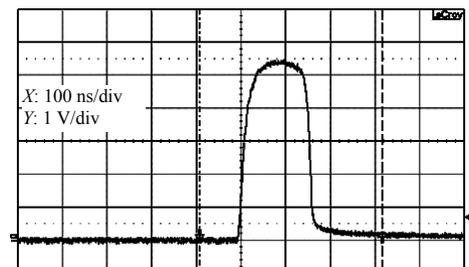


Fig.4 Pulse laser diode output waveform  
图 4 脉冲激光二极管输出光波形

渐增加,当开关偏压超过 8 kV 时,其输出脉冲幅度明显增加,波形见图 5。由图可知,开关输出脉冲前沿约为 5 ns,半高宽约为 6.5 ns,明显小于光脉冲前沿和脉宽,表明开关工作于雪崩模式。随着开关偏压的增加,开关输出幅值也线性增加,但开关输出波形没有变化,脉冲前沿和半高宽仍然保持一致。当偏压约 16 kV 时,开关输出电压脉冲幅度约 8.3 kV。开关输出幅值随着偏压的变化关系见图 6。

从图 5 及图 6 可以看出,开关在 50  $\Omega$  负载上并未产生 2 ns 脉冲宽度的方波,负载上得到的电压幅值也仅仅只有充电电压的一半左右。由公式(3)可知,当 Blumlein 同轴传输充电到 16 kV 时,其存储的能量约为  $1 \times 10^{-2}$  J,由公式(4)可知,理论上在 50  $\Omega$  负载上获得的电压应为 8.7 kV,与实验值相近。由于开关电感及系统结构电感的限制,开关上升前沿增大(大于设计脉冲宽度),从而导致在负载上获得的脉冲未能到达或接近充电电压幅值。

$$E = \frac{1}{2} C U_0^2 \quad (3)$$

$$U_{\text{load}} = \sqrt{\frac{E \times R}{\tau}} \quad (4)$$

式中:  $E$  为能量;  $C$  为 Blumlein 传输电容;  $U_0$  为充电电压;  $U_{\text{load}}$  为负载电压;  $\tau$  为脉冲半高宽;  $R$  为负载电阻。

抖动是光导开关性能的一个重要参数,在线性工作模式下,光导开关抖动主要取决于触发光脉冲的抖动,而在雪崩工作模式下,开关抖动与偏置电压有关。对在不同偏置电压下的开关抖动进行了测试,结果见图 7。

开关的抖动测试是通过计算触发光脉冲与输出电压脉冲之间的均方根而获得的,每改变一次偏置电压,记录 20 次输出波形。从图上可以看出,在较高充电电压下开关抖动明显降低,在 15 kV 左右,开关获得了最低的抖动,约 500 ps。

## 4 结论

在厚度为 2 mm 的 GaAs 晶圆片上制作了异面体结构光导开关,并利用半导体激光二极管实现了对开关的触发。当偏置电压超过 8 kV 后,开关开始工作于雪崩模式,在负载上获得了快脉冲输出。随着偏置电压的增加,输出脉冲幅度线性增加,但其脉冲前沿和半高宽保持一致,与偏置电压的变化无关。对开关的抖动进行了测试,发现偏置电压的增加可以较为明显地减小开关抖动,当开关充电电压约为 15 kV 时,获得了最小 500 ps 的开关抖动。

### 参考文献:

- [1] 刘锡三. 高功率脉冲技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2005. (LIU Xi-shan. High Power Pulse Technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005.)
- [2] Lee C H. Picosecond optoelectronic switching in GaAs[J]. Appl. Phys. Lett., 1977,30(2):84-86.
- [3] Nunnally W C. Critical component requirements for compact pulse power system architectures[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2005,33(4):1262-1267.
- [4] Mourou G, Staneam Piano C V, Blumenthal D. Picosecond Microwave pulse Generation[J]. Appl. Phys. Lett., 1981,38(6):470-472.
- [5] Schoenberg J H, Burger J W, Tyo J S, et al. Ultra-wideband source using gallium arsenide photoconductive semiconductor switches[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 1997,25(2):327-334.
- [6] Zutavern F J, Armijo J C, Cameron S M, et al. Optically activated switches for low jitter pulsed power applications[C]// Proc. of 14th IEEE IPPC. Dallas, TX, USA: [s.n.], 2003:591-594.

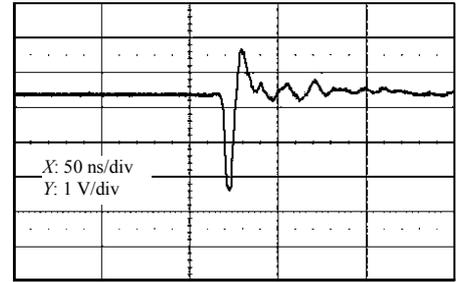


Fig.5 PCSS output waveform under avalanche mode  
图5 光导开关雪崩工作模式下的输出波形

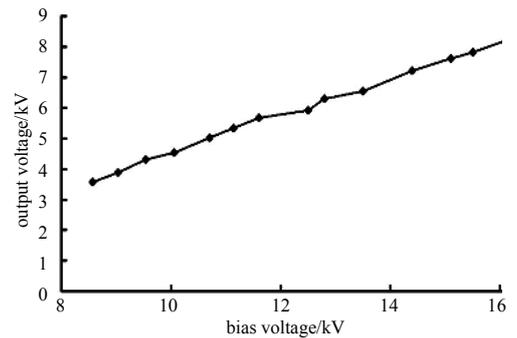


Fig.6 Relationship between bias voltage and output voltage  
图6 开关输出电压和偏置电压关系

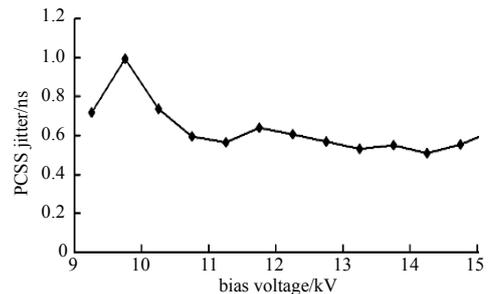


Fig.7 Relationship between bias voltage and jitter  
图7 开关抖动和偏置电压关系