

一种光导开关线路功率合成方法

尚丽平¹, 廖小春¹, 高 扬², 邓 琥¹, 夏祖学¹

(1. 西南科技大学信息工程学院, 四川绵阳 621010; 2. 中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川绵阳 621900)

摘 要: 本文针对提高光导开关输出辐射功率的问题, 尝试性地提出了一种基于电子线路的功率合成方法, 采用双电容分别对两个光电开关进行驱动, 简化了功率合成的电路设计, 实验结果表明通过串联倍压对光导开关输出功率进行合成是可行的, 且合成效率高。

关键词: 光导开关; 线路功率合成; 激光激发

中图分类号: TM836 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 3A-061-03

One Method for Photoconductive Switch Power Combining Based on Circuit

SHANG Li-ping¹, LIAO Xiao-chun¹, GAO Yang², DENG Hu¹, XIA Zu-xue¹

(1. School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China;

2. Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract: To improve photoconductive switch's radiation power output, a power combining method, based on circuit, was put forward on trial. Two capacitors were used to drive the two photoconductive switches respectively, and the power combining circuit design was simplified. Experimental results revealed that photoconductive switch's output power combining, by doubling the offset voltage serially, was feasible, and had high combining efficiency.

Key words: photoconductive switch; circuit power combining; laser excitation

1 引言

近些年来,随着激光技术、光电子技术和微波技术的不断发展和相互融合,超快电子器件得到了迅速的发展。其中较为典型和热点的就是光导开关。光导开关的全称为光控光导半导体开关 PCSS (Optically Controlled Photo-conductive Semi-conductor Switch), 是一种利用超快脉冲激光器与光电导体产生高频电磁辐射的新型开关器件。光导开关有线性与非线性两种工作模式; 其开关响应速度快、触发稳定、灵敏度高、光电隔离性好、耐高压、可承受大电流等特点, 使之在超快电子学、高功率微波脉冲形成等领域得到了广泛的应用。

微波辐射领域一直较为关注的问题是如何协调和平衡高频率、高效率和高功率这三个指标。在频率一定和效率最优的情况下, 提高功率的方法主要有两种功率合成方式: 线路功率合成与空间功率合成。线路功率合成主要由功率分配器和定向耦合器^[1]等无源微波器件实现; 空间功率合成分为紧凑阵和稀疏阵, 已获广泛应用的空间功率合成技术主要有多波束和相控阵两种。国

内光导天线功率合成方法的研究主要集中在微波器件设计以及提高天线辐射功率的方向; 在国外特别是日本, 光导天线功率合成方法主要依赖于通过集成光导天线阵列的方式, 提高光导天线的总辐射功率^[2]。

本文根据光导开关线性工作模式下的激发原理, 实现了一种基于线路的光导开关激发能量的功率合成方法。较之通过微波器件进行功率合成需要进行新的器件设计^[3]以及大量的实验调整; 此方法突出的优点是电路简单、无需微波器件, 系统适应性强、调节简便, 合成效率高。

2 光导开关激发原理

在没有光照的情况下, 光导材料电阻率很高, 能通过光导开关的电流很小, 其基本处于阻断状态。而当激光照射到光导材料上以后, 会在极短的时间内在光导材料内部产生大量的电子-空穴对, 使得光导材料的电阻率急剧下降, 光导开关从阻断状态转移至可导通状态。这一转换过程所需时间与光导材料的特性参数、激发光脉冲的波长、脉冲宽度有关, 一般在皮秒甚至亚皮秒级。

所以光导开关常常用来产生高频辐射^[4].

光导开关工作模式主要由光导开关两极的偏压决定:较高的偏压使其工作在非线性模式.在线性工作模式下,光导开关的电导率和输出的电脉冲幅度与激发光脉冲的强度呈线性关系.在非线性工作模式下,即使照射到光导开关的激发光脉冲被撤消,光导开关仍然有输出^[5].

在施加了适当偏压的基础上,量子能量大于光导材料能隙的激发光脉冲的光子照射在电极间隙中,将会在光导材料表面产生大量自由载流子.这些光生载流子在偏置电场的作用下加速运动,并将储存的静电势能以电磁脉冲的形式释放出来.其两电极间的电流密度可表示为:

$$J(t) = N(t)e\mu E_b \quad (1)$$

其中 $N(t)$ 是光生自由电子的密度, e 是电子电荷量, μ 是电子的迁移率, E_b 是偏置电场的场强.

对应于电流密度变化的电磁辐射场强的表达形式为:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 z} \frac{\partial J(t)}{\partial t} = \frac{Ae}{4\pi\epsilon_0 c^2 z} \frac{\partial N(t)}{\partial t} \mu E_b \quad (2)$$

其中 A 为光生载流子照射的面积, ϵ_0 为真空介电常数, c 为真空光速, z 为测量点距离辐射源的距离.该式假设了激发光源各处的偏置电场和自由载流子都是等值的,测量点位于光导开关的法线上,并且测量点与辐射源之间的距离远大于辐射源的尺寸.

如果考虑到晶片具有一定的导电性质,而不再是单纯的纯介电物质.由电荷运动所产生的电场将反过来屏蔽外加的偏置电场.这时光导开关中光生电流密度可表示为:

$$J(t) = \sigma(t)E_b \left/ \left[1 + \frac{\sigma(t)\eta_0}{1+n} \right] \right. \quad (3)$$

其中 σ 为光导材料的电导率, η_0 表示空气的阻抗为 377Ω , n 为光导材料的折射率.其中 σ 由激发光光强 I_0 决定.则此时的电场强度为:

$$E \propto \frac{d\sigma(t)}{dt} \left/ \left[1 + \frac{\sigma(t)\eta_0}{1+n} \right]^2 \right. \propto \frac{I_0}{(1+kI_0)^2} \quad (4)$$

由此可见,当激发光光强增加到一定程度时,电场也随之饱和^[6].

3 系统电路结构

本文所提出的光导开关线路功率合成的电路如图 1(a)所示.

此电路由五只电阻 $R_1 \sim R_5$ 、两只电容 $C_1 \sim C_2$ 及两只光导开关 PCSS1 ~ PCSS2 组成,电源接高压 HV = 10kV. $R_1 = R_2 = 10M\Omega$, $R_3 = 1M\Omega$, $R_4 = 25\Omega$, $R_5 = 0.1\Omega$, $C_1 = C_2 = 2000pF$, PCSS1 与 PCSS2 均为间隔 3mm 横向 GaAs 结构如图 1(b)所示.

激发光源未照射光导开关时,高压电源 HV 通过 R_1 给电容器 C_1 充电,同时通过 R_2 、 R_3 给电容器 C_2 充电,在两个光导开关的两极形成偏置电压. PCSS1 与 PCSS2 并排放置固定后,放入油盒中,进行防击穿和绝缘处理.

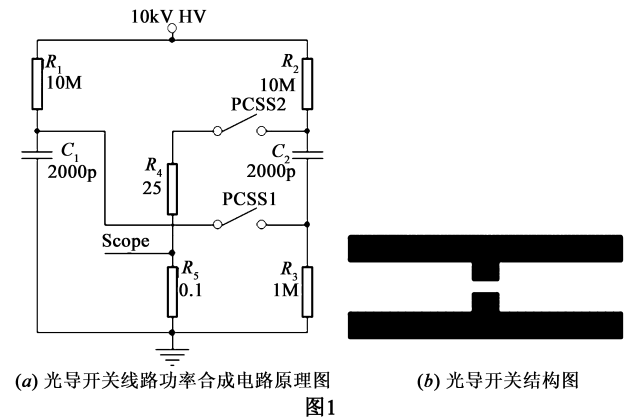


图1 (a) 光导开关线路功率合成电路原理图 (b) 光导开关结构图

激发光源分两路,

同步进行激发照射时,激光触发两个光导开关同时导通,储能电容器 C_1 、 C_2 经 PCSS1、PCSS2 串联给 R_4 、 R_5 放电,如图 2 所示.通过示波器测得放电电流流经 R_5 所产生压降信号作为分析功率合成效果的参数.由于 R_3 远大于 R_4 与 R_5 之和,经由 R_4 与 R_5 的放电时间常数远小于经由 R_3 进行放电的时间常数,因而在分析时可以不考虑 R_3 对于放电参数的影响.

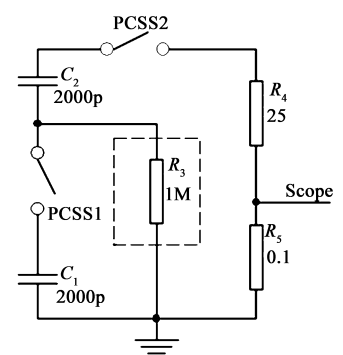


图2 线路功率合成放电电路原理图

4 仿真与实验

根据本文对光导开关激发原理的分析,在 Matlab 平台下,对光导开关在不同强度的激发下所产生的电磁辐射进行仿真模拟,并归一化为电压单位作为参照与实验数据进行对比分析.仿真结果如图 3 所示,实线为激发电流为 I 时所产生的电磁脉冲波形,加号线为激发电流为 $2I$ 时所产生的电磁脉冲波形.最大辐射强度被归一化为 400mV,电磁脉冲宽度被归一化为 20ns.可看出,激发电流倍增时,辐射强度也变为原值的 2 倍.

物理实验的电路结构与器件参数如图 1(a)所示,电路电源高压为 10kV,两个光导开关并置通过有机玻璃棒相连,整个电路系统浸置于油盒中.实验所用的光导开关如图 1(b)所示,为间隔 3mm 横向 GaAs 结构.激发光源所采用的激光器输出光脉冲能量约 3mJ、宽度

$20\text{ns} \pm 5\text{ns}$ 、激光波长 1064nm 、重复频率 10Hz 。

测试参数为放电电流流经 R_5 时的压降。测试所用的示波器为 LeCroy WavePro950 1GHz 数字示波器。

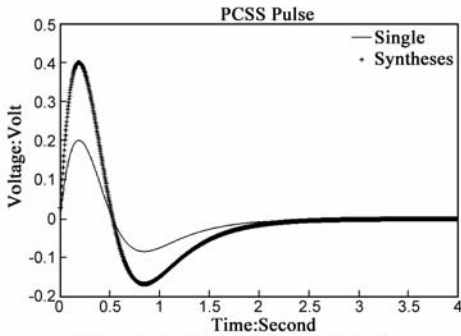


图3 光导开关辐射脉冲仿真波形

光导开关单电容放电电压波形如图4所示,横坐标时间轴每一格为 20ns ,纵坐标电压轴每一格为 100mV 。可见仅由一个电容器进行放电时,输出的脉冲波形宽度大约为 20ns ,最大幅值约为 200mV 。

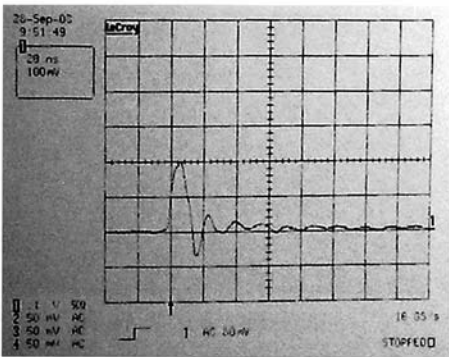


图4 光导开关单电容器放电电压波形

如采用本文所提出的线路功率合成方法及电路设计,可测得光导开关串联倍压放电电压波形如图5所示,横坐标时间轴每一格为 20ns ,纵坐标电压轴每一格为 200mV 。测试结果表明,通过线路功率合成,输出的脉冲波形宽度约仍为 20ns ,输出脉冲的幅度有一定的抖动。抖动产生的原因主要来自于电路中分布电感和分布电容的影响;实际应用时应该合理设计线路的分布参数,恰当地选择元器件的尺寸。脉冲最大幅值的均值

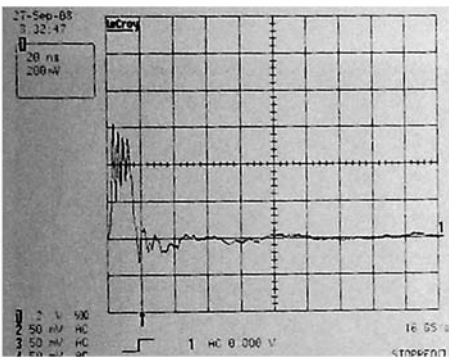


图5 光导开关串联倍压放电电压波形

大约倍增为 400mV ,达到了功率合成的目标,合成效率非常高。

5 结论

本文针对在一定频段上,如何提高光导开关输出功率的问题,尝试性地提出了一种通过线路进行功率合成的方法。该方法通过两个电容分别对两个光导开关施加偏压和提供电场能量以增强光导开关在空间的辐射强度。实验结果表明,通过电子线路对光导开关输出的功率进行合成是可行的,合成效率高;电路实现简便,是一种值得进一步研究和利用的方法。

参考文献

- [1] David M Pozar. Microwave Engineering[M]. 北京:电子工业出版社, 2006. 351 - 353.
- [2] Naofumi Shimizu, Tadao Nagatsuma. Photodiode-integrated microstrip antenna array for subterahertz radiation[J]. IEEE Photonics Technology Letters. 2006, 18(6): 743 - 745.
- [3] 袁学松, 鄢扬, 刘盛纲. 大半径同轴谐振腔太赫兹回旋管研究[J]. 电子学报, 2009, 37(02): 334 - 337.
Yuan Xue-song, et al. Theoretical study on a large radius coaxial cavity terahertz gyrotron[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(02): 334 - 337. (in Chinese)
- [4] 袁建强, 谢卫平, 周良骥, 陈林, 王新新. 光导开关研究进展及其在脉冲功率技术中的应用[J]. 强激光与粒子束, 2008, 20(01): 171 - 176.
- [5] 郑伟. 基于光导开关的时域天线空间功率合成技术研究[D]. 四川成都:电子科技大学, 2009: 9 - 18.
- [6] 许景周, 张希成. 太赫兹科学技术和应用[M]. 北京大学出版社, 2007: 27 - 37.

作者简介



尚丽平 女, 1968 年出生于黑龙江省黑河市。2002 年获燕山大学博士学位, 2002 年 11 月至 2004 年 12 月在南开大学物理学博士后流动站从事博士后研究工作。现为西南科技大学教授, 主要从事光谱分析与检测技术方面的研究工作。
E-mail: shangliping@swust.edu.cn



廖小春 男, 1983 年出生于四川省巴中市。2008 年获中国科技大学硕士学位。现为西南科技大学讲师, 主要从事检测技术与图像分析方面的研究工作。