

文章编号: 1001-3806(2017)06-0803-04

905nm InGaAs 脉冲激光二极管驱动电流特性分析与测试

李勇军, 邹建*, 甘泉露, 邓文剑
(重庆大学 光电工程学院, 重庆 400044)

摘要: 为了实现高功率 905nm InGaAs 脉冲激光二极管脉冲宽度和峰值功率可调, 采用现场可编程门阵列产生触发脉冲、集成模块 EL7104C 作为金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 驱动、以 MOSFET 为核心开关器件控制高压模块和储能电容之间充放电的方法, 设计了脉冲激光二极管驱动电路, 对驱动电流特性进行了理论分析和实验验证, 取得了不同电容和高压条件下的电流脉宽和峰值数据, 分析了具体变化关系, 并以此进行了光谱和功率-电流特性测试。结果表明, 影响驱动电流脉宽和峰值电流的关键因素是电容大小和充电高压, 脉冲激光二极管驱动电流峰值在 0A ~ 40A、脉宽 20ns ~ 100ns 时可调节, 脉冲激光二极管最大峰值功率输出可达 40W, 实现了脉冲式半导体激光器输出功率和脉冲宽度的可控调节。该设计与分析对近红外高功率脉冲激光器的可控驱动设计具有一定的实用参考意义。

关键词: 激光技术; 可控调节; 峰值电流; 脉宽; 高压; 电容

中图分类号: TN248.4 文献标志码: A doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2017.06.007

Analysis and measurement on drive current characteristics of 905nm InGaAs pulse laser diodes

LI Yongjun, ZOU Jian, GAN Quanlu, DENG Wenjian

(College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to realize the adjustment of pulse width and peak power of a high power 905nm InGaAs pulse laser diode, field-programmable gate array (FPGA) was adopted to generate trigger pulse, the integrated module EL7104C was used as the driver of metal oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET) and the switching device with MOSFET as the core was used to control the charging and discharging between the high voltage module and energy storage capacitor. The pulsed laser diode driver circuit was designed. The driving current characteristics were theoretically analyzed and experimentally verified. Pulse width and peak data were obtained under different capacitance and high voltage conditions. The specific change relationship was analyzed. The spectrum and power-current characteristics were tested. The results show that, the key factors affecting the driving current pulse width and peak current were the capacitor size and charging voltage. The pulse laser diode can be controlled with peak drive current from 0A to 40A and pulse width from 20ns to 100ns. The maximum peak power output of pulsed laser diode is up to 40W. The controllable modulation of output power and pulse width of a pulsed semiconductor laser is realized. The design and analysis have practical reference significance for the controllable driving design of near infrared high power pulsed lasers.

Key words: laser technique; controllability and regulation; peak current; pulse width; high voltage; capacitance

引言

半导体脉冲激光器体积小、成本低、易于控制和重复操作性强^[1-2], 通常几十安培的脉冲电流就可实现数十瓦的激光脉冲峰值功率, 所以脉冲激光二极管在激光测距、雷达、激光测速、外形轮廓扫描、汽车安全与智能等领域应用广泛^[3-4], 特别是在激光测距中, 远距离漫反射式激光测距都会选用大功率的近红外脉冲激光二极管, 一般波长在 905nm 左右, 因为 905nm 近红外

激光在大雾天气中衰减相对较小^[5], 光能量损失较少, 因此为了实现远距离的测距, 首先选择 905nm InGaAs 近红外激光器, 再使激光脉冲的峰值功率尽可能大, 这样才能在大气环境中传输更远。同时对于高精度的激光测距方案, 激光脉冲的宽度和上升沿质量对后续时间间隔的精确测量具有重要意义。

脉冲激光二极管应用中主要考虑驱动电流脉冲的峰值、脉宽、占空比。目前, 半导体脉冲激光器的驱动设计都是基于金属氧化物半导体场效应晶体管 (metal oxide semiconductor field effect transistor, MOSFET) 或雪崩三极管作为开关器件, 通过前端触发信号的控制实现储能电容的充放电, 形成脉冲电流^[6]。由于现场可编程门阵列 (field-programmable gate array, FPGA) 设计

作者简介: 李勇军 (1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事远距离激光测距方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zoujian@cqu.edu.cn

收稿日期: 2016-11-25; 收到修改稿日期: 2016-12-23

灵活,便于更改和控制,因此选用 ALERA 公司的 CYCLONE IV (型号为 EP4CE6F17C8N) 作为触发信号的设计^[7]。选取 EL7104C 作为 MOSFET 专用驱动模块,由于场效应管的开关时间快、延迟时间短^[8],因此选用 IRF640 作为开关器件,而储能电容选用耐高压的 BBC 电容。通过实际电路的制作,发现了影响脉冲电流峰值和脉宽的主要因素,并分析了它们的具体关系,通过光谱与功率-电流 ($P-I$) 曲线测试,进一步验证了分析结果的可靠性。

1 脉冲激光二极管驱动电路设计

脉冲激光器驱动电路系统设计如图 1 所示。主要包括 FPGA 触发信号、场效应管驱动、充放电回路及高压 (high voltage, HV) 模块。

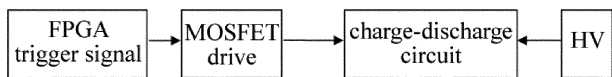


Fig. 1 Component of pulse laser diode drive circuit

1.1 FPGA 触发信号模块

利用 FPGA 内部频率为 50MHz 的晶振作为时钟信号,通过倍频模块锁相环 (phase locking loop, PLL) 实现脉宽可调,再把倍频模块倍频出来的时钟信号给计数器计数,计数值的设定就是占空比的设定,从而实现脉宽、占空比可调的触发信号。例如倍频到 20MHz,则计数脉冲的周期就是 50ns,计数器设置计数值为 4000,则计数器输出的脉冲脉宽为 50ns,频率为 5kHz。原理图设计如图 2 所示。通过调试接口 (joint test action group, JTAG) 下载后,用 Saleae Logic 16 逻辑分析仪 80MHz 采样频率采集脉冲波形数据,导出数据格式为 Csv,对导出数据绘制曲线如图 3 所示。纵坐

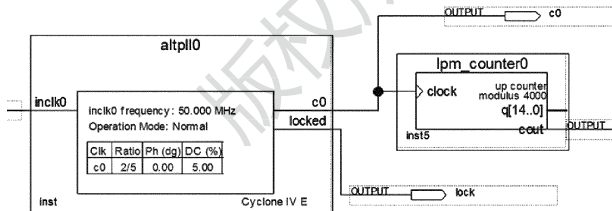


Fig. 2 Schematic diagram of FPGA trigger signal design

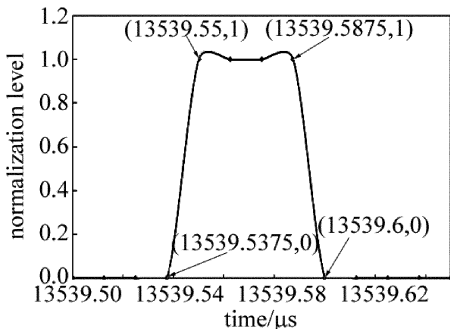


Fig. 3 Waveform collected by logic analyzer

标为采样数据与标准输出 3.3V 的高电平作归一化后处理得到的相对高低电平,从横坐标显示的采样时间序列上可知,脉宽约为 50ns。

1.2 MOSFET 驱动模块

场效应管具有良好的开关特性,其开关速度受到栅极驱动电平的控制,当高电平到来时打开,低电平关断,相对于雪崩晶体管性能更有优势^[9],但是由于场效应管存在内部电容,只有栅极输入高电平远高于开启电压且带动能力强,才能实现瞬间快速打开^[10-11],因此选用专用 MOSFET 驱动芯片。EL7104C 最大供电电压为 16.5V,输出电流最大可达 1A,响应速度快,上升沿时间为 20ns,足以完全快速打开场效应管,产生大电流^[12-13]。设计中采用 12V 直流供电,FPGA 开关信号直接输入,输出电压作为后续场效应管的驱动信号,使得 MOSFET 快速打开与关断。

1.3 充放电回路模块

选用 0V ~ 200V 直流可调高压模块对储能电容进行充放电,场效应管选用 IRF640,漏极电流原理图如图 4 所示。当 FPGA 触发脉冲经过 EL7104C 放大后,低电平时场效应管未打开,高压经功率电阻 (20W) 对电容进行充电,经过反向稳压二极管形成充电通路;当栅极高电平到来时,场效应管瞬间打开,电容上储存的电荷瞬间释放,经过敏感电阻和激光器形成放电回路,敏感电阻上的电压波形转换为电流值就是峰值电流的大小,电压波形脉宽就是实际通过激光器的驱动电流的脉宽^[5]。根据总电荷量守恒的原理可知,理论上高压 U 、电容 C 、峰值电流 I 和脉宽 T_p 之间存在如下关系式:

$$C \times U = I \times T_p \quad (1)$$

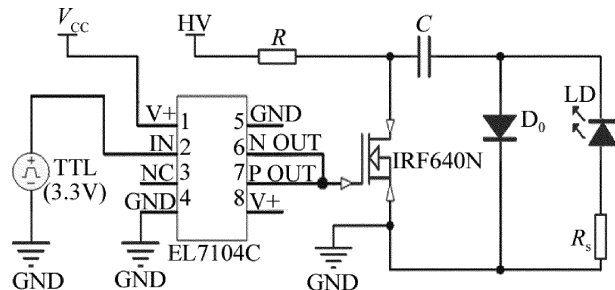


Fig. 4 Drive circuit of pulse laser diode

以上仅为理论上的关系公式,电路中存在大量寄生电感和电容,实际上参与储能电容充放电的电容量不止电路图中给的电容,有布局布线和场效应管以及激光管管脚等带来的寄生电容和电感,所以实验数据中的电容只是一个数据趋势参考,可以进行定性分析。峰值电流主要和高压有关系,而脉宽主要和电容有关系^[14]。为此通过改变高压和电容的大小,分别测试峰

值电流和脉宽的大小,对驱动电流的特性进行了具体分析。

2 实验数据与分析

图 5 是利用示波器查看电阻 R_s 上的电压波形,以此监测脉冲电流的峰值电流和脉宽及波形。此时电压波形峰值接近 3V,脉宽约 20ns,电阻为 0.2Ω ,则相应峰值电流大小为 15A。

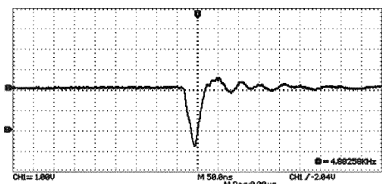


Fig. 5 Pulse current waveform

当高压不变、改变电容的值时,分别测量峰值电流和脉宽,由测试数据做出相应的变化曲线,如图 6 所示。可以看出,脉宽随着电容增大而展宽,近似成线性关系;峰值电流开始时随着电容增大而增大,当电容增加到一定容量时,峰值电流几乎不再随着电容的变化而变化,趋于稳定。

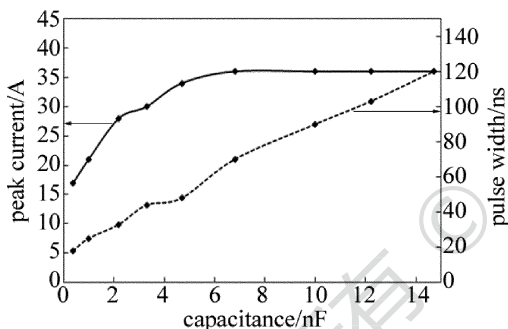


Fig. 6 Relationship of peak current, pulse width and capacitance

当电容不变、改变高压时,分别测量峰值电流和脉宽,由测试数据做出相应的变化曲线,如图 7 所示。可以看出,脉宽随着高压的变化保持稳定不变,峰值电流随着高压的升高而增大,当升高到一定程度时趋于饱和。

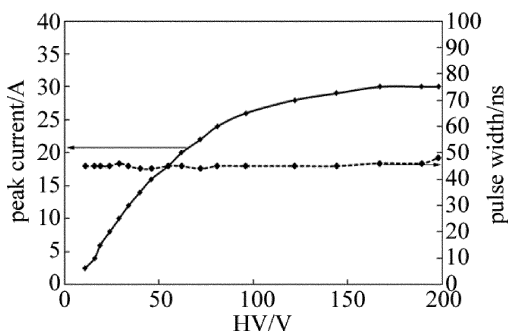


Fig. 7 Relationship of peak current, pulse width and high voltage

为了进一步确定此时脉冲激光二极管是否已产生

激光,利用赛凡光电 7IGF10 光谱仪测试了脉冲激光二极管的光谱,将采集数据导出后绘制光谱曲线,如图 8 所示。纵坐标为相对光强,光谱宽度约为 6nm,峰值波长为 905nm,确实已经产生激光。

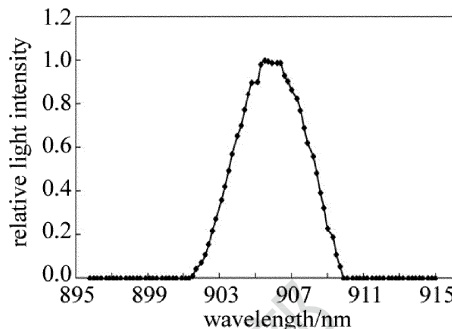


Fig. 8 Relationship between relative light intensity and wavelength of 905nm InGaAs pulse laser diode

利用上述实验分析可知,驱动电流峰值主要随高压变化,脉宽随变容变化,通过改变高压,即改变峰值电流来测试 905nm InGaAs 脉冲激光二极管峰值功率。其中峰值功率的计算表达式为:

$$P = \frac{\bar{P} \times T}{T_p} \quad (2)$$

式中, P 为激光脉冲峰值功率, \bar{P} 为光功率计所测平均功率, T 为脉冲周期, T_p 为激光脉冲的宽度^[15-16]。

当选择频率为 5kHz、脉宽为 20ns 时,测得 $P-I$ 曲线如图 9 所示。由于实验室采用的光功率计型号为 TEKTOP200,最大测量平均功率不能超过 +3dBm,所以当平均功率超过 3dBm 时,为了防止光功率计损坏,加入了 15dB 衰减器,衰减器连接时存在插入损耗和可重复性问题,所以在峰值功率接近 20W 时, $P-I$ 曲线存在一些局部跳跃。

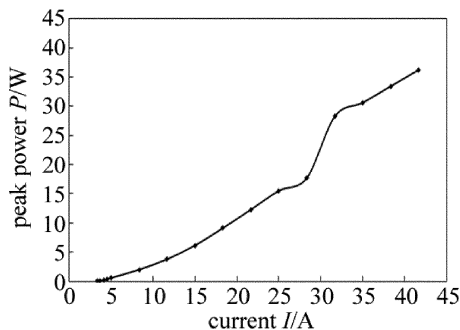


Fig. 9 Relationship between peak power and current of 905nm InGaAs pulse laser diode

3 结论

通过对近红外 905nm InGaAs 脉冲激光器驱动电路的设计与分析,发现了影响脉冲激光器驱动电流的关键因素是储能电容的大小和所加高压。通过改变高压和电容的大小,对驱动电流的峰值大小和脉宽进行

了定量实验与分析,发现了驱动电流峰值、脉宽与高压、电容的变化关系。以此为理论依据,设计了电流(最大可达40A)和脉宽(20ns~100ns)可调的驱动电路,并测试了脉冲激光二极管的光谱特性与*P-I*曲线,峰值功率最大可达40W,进一步验证了变化关系的准确性。在光电技术和工程领域的应用中,激光脉冲的驱动电流特性是基础和核心,本文中的设计与分析对近红外高功率脉冲激光器的可控驱动设计具有一定实用参考意义,可广泛应用于激光测距、智能汽车、激光雷达、激光扫描等领域的前端基础设计。

参 考 文 献

- [1] LIU F. Development and application of the pulsed LD rangefinder [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(2): 10-14 (in Chinese).
- [2] LIU X Sh, LIN J L, ZHANG H M, *et al.* The study of nanosecond pulsed diode laser driver[J]. *Laser Technology*, 2006, 30(4):111-114(in Chinese).
- [3] WANG W, XIA L Sh, CHENG Y, *et al.* Laser diode driver used for triggering photoconductive semiconductor switch[J]. *Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology*, 2013, 11(1): 150-160(in Chinese).
- [4] ZHAO Q, MENG Q A, JIANG Z W, *et al.* Study on parameter measurement precision of high energy laser beam with large aperture[J]. *Laser Technology*, 2015, 39(1):104-107(in Chinese).
- [5] JIANG X L. The research of vehicle anti-collision system based on the infrared laser ranging technology[D]. Changsha: Hunan University, 2011:7-9(in Chinese).
- [6] LIU Y, ZOU J, XIE P Y, *et al.* A high-peak and narrow-width pulsed source of LD[J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 1992, 14(6):27-29 (in Chinese).
- [7] ZHANG X F, ZHAO K X, ZHANG S N. Design of waveform module in a pulse generator based on FPGA[J]. *Journal of Changchun University of Technology*, 2011, 32(3):56-60(in Chinese).
- [8] ZHANG Y Ch, SUN L J, FU Sh Y, *et al.* Research on adjustable high power high pulse-repetition-frequency compact LD power supply [J]. *Laser Technology*, 2012, 36(6):731-734(in Chinese).
- [9] GAO J B. Design of pulse semiconductor laser ranging circuit and system[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2006:19-23(in Chinese).
- [10] ZHANG Sh Q, LOU Q H, ZHOU J, *et al.* Design of drive circuit for continuously adjustable ns pulse LD[J]. *Laser Technology*, 2008, 32(4):396-398(in Chinese).
- [11] SUN D G, TANG H F. Study on the PWM driver circuit of LD for laser fuze[J]. *Laser Technology*, 2007, 31(2):217-219(in Chinese).
- [12] SUN X X. The hardware design of pulse laser range finder[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2014:30-33(in Chinese).
- [13] DING R M. The circuit research of long distance ranging system based on high-frequency laser[D]. Changsha: Zhongnan University, 2012:16-17(in Chinese).
- [14] YANG Y, YU D H, WU Y F, *et al.* Design of a novel drive power for narrow pulse laser diode[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2011, 38(2):0202003(in Chinese).
- [15] ZHU M, LU Y D, MAN Ch Y, *et al.* Peak power measurement of high power and high speed diode laser[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2006, 17(11):64-66(in Chinese).
- [16] HAN G, YAN B. Study on testing method for peak power and average power of pulse laser[J]. *Industrial Measurement*, 2008, 18(6):9-11(in Chinese).