

# 新型窄脉冲半导体激光器驱动电源的研制

杨 燕<sup>1,2</sup> 俞敦和<sup>1,2</sup> 吴姚芳<sup>1,2</sup> 侯 霞<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800  
<sup>2</sup> 上海市全固态激光器与应用技术重点实验室, 上海 201800)

**摘要** 研制了一种新型窄脉冲半导体激光器的驱动电源,包括驱动电路和温控电路两部分。驱动电路采用高速金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)作开关,为激光器提供一个重复频率高(0~50 kHz)、前沿快(2.2~4.9 ns)、脉宽窄(4.6~12.1 ns)、脉冲峰值电流大(0~72.2 A)的脉冲信号,且输出的激光脉冲波形平滑。对不同的激光器,改变电路中电源电压、电阻、电容参数,可获得不同的重复频率、前沿、脉冲宽度、脉冲峰值电流。温控电路采用高精度的比例积分微分(PID)温控,保证了激光器输出功率和中心波长的稳定。此激光器驱动电源不仅可以作为一般高速、窄脉冲半导体激光器的驱动电源,也是大能量、窄脉宽的半导体激光器种子光源的理想驱动电源。

**关键词** 半导体激光器;窄脉冲;高速金属氧化物半导体场效应晶体管;温度控制

**中图分类号** TN86;TN248.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201138.0202003

## Design of a Narrow Drive Power for Narrow Pulse Laser Diode

Yang Yan<sup>1,2</sup> Yu Dunhe<sup>1,2</sup> Wu Yaofang<sup>1,2</sup> Hou Xia<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)  
(<sup>2</sup> Shanghai Key Laboratory of All Solid-State Laser and Applied Techniques, Shanghai 201800, China)

**Abstract** A novel drive power for narrow pulse laser diode, which is composed of driving circuit and temperature controlling circuit, has been designed. High speed metal-oxide-semiconductor field effect transistor (MOSFET) is applied in the driving circuit as the switch to provide the laser diode with smooth pulse of high repetition rate (0~50 kHz), fast rise time (2.2~4.9 ns), narrow pulse width (4.6~12.1 ns) and high peak pulse current (0~72.2 A). According to the requirements of variety of laser diodes, different repetition rates, rise time, pulse widths and peak pulse currents can be achieved by varying the voltage, resistor, capacitor in the circuit. A precise proportional-integral differential (PID) temperature controlling module is adopted in the circuit to ensure the stability of the output power and the central wavelength of the laser diode. The drive power can be not only used as the power supply for the traditional high speed, narrow pulse width laser diode, but also an ideal drive power for the high energy, narrow width pulse laser diode.

**Key words** laser diode; narrow pulse; high-speed metal-oxide-semiconductor field effect transistor; temperature controlling

**OCIS codes** 140.2010; 140.2020; 140.3538; 140.3480

## 1 引 言

随着半导体激光器的发展,重复频率高、前沿快、脉宽窄、峰值功率高的半导体激光器在工业、军事、科研等领域获得了广泛应用,特别是在激光测距、激光雷达、激光通信等领域<sup>[1~3]</sup>。高功率半导体激光器要获得一个大能量、窄脉宽的光脉冲,就需要一个能提供良好光脉冲的种子光源,其不仅要求输出的光脉冲有高的重复频率、快的上升沿、窄的脉冲宽度、一定幅值的脉冲电流,而且输出的光脉冲的波

形一定要平滑,激光输出的功率和中心波长一定要稳定。

国内现有的采用金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)作为驱动的脉冲激光驱动电源,其输出脉宽都大于15 ns<sup>[4~8]</sup>。采用雪崩晶体管的窄脉冲激光驱动电源<sup>[9~12]</sup>,其输出脉宽可达纳秒级,但其输出脉冲信号的前沿、脉宽、频率、峰值电流都受限于雪崩晶体管本身的参数特性,不能随意调节。本文研制的窄脉冲半导体激光器的驱动电源,针对不

收稿日期:2010-08-12;收到修改稿日期:2010-09-14

作者简介:杨 燕(1970—),女,工程师,主要从事激光器电源方面的研究。E-mail:yzzzz@163.com

同的激光器,可通过改变电路中电源电压、电阻、电容参数获得不同的重复频率、前沿、脉冲宽度和脉冲峰值电流,且输出的激光脉冲波形平滑。

## 2 窄脉冲半导体激光器驱动电源

研制的新型窄脉冲半导体激光器驱动电源,包括驱动电路和温控电路两部分。其中驱动电路为激光器提供一个前沿快、脉宽窄、脉冲峰值电流大的脉冲信号,且平滑输出的激光脉冲波形。温控电路为激光器提供高精度的温度控制,保证激光器输出功率和中心波长的稳定。

### 2.1 驱动电路

窄脉冲半导体激光器驱动电源中驱动电路的框图如图 1 所示,首先由振荡器产生一个频率可调的方波(0~50 kHz),通过整形电路得到一定脉宽的晶体管晶体管逻辑电路(TTL)脉冲信号。此 TTL 脉冲信号经高速 MOSFET 驱动芯片转换为互补金属氧化物半导体(CMOS)电平脉冲信号,为高速 MOSFET 提供快速上升沿、足够驱动电流的栅极驱动信号。储能电容为激光二极管(LD)提供稳定的电源电压,偏置电流可平滑输出的激光脉冲波形,防止 LD 被反向电压损坏。LD 驱动电路主回路如图 2 所示。

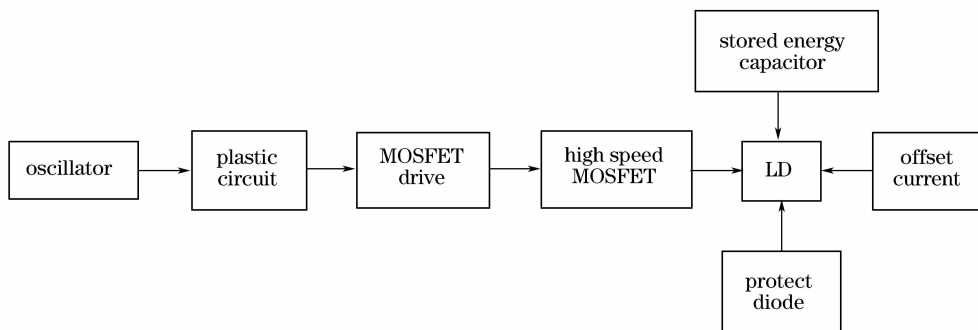


图 1 驱动电路单元框图

Fig. 1 Block diagram of drive circuit unit

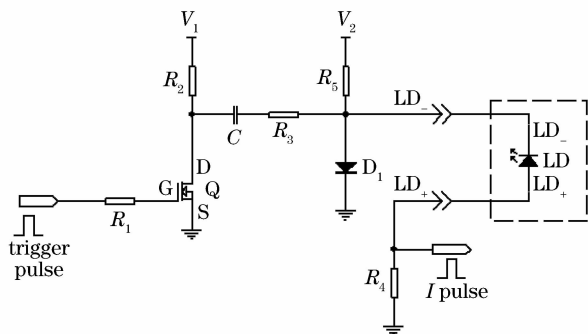


图 2 驱动电路主回路

Fig. 2 Main circuit of the driver

高速 CMOS 电平触发脉冲经电阻  $R_1$  后输入到 MOSFET Q 的栅极。当 MOSFET Q 的栅极端为低电平时, MOSFET Q 截止;  $V_1$  通过电阻  $R_2$ , 电容  $C$ , 电阻  $R_3$ , 二极管  $D_1$  和地回路为电容  $C$  充电, 最大充电电平为  $+V_1$ 。当 MOSFET Q 的栅极端有正脉冲输入时, MOSFET Q 导通, 电容  $C$  上储存的电荷通过 MOSFET Q、地、电阻  $R_4$ 、LD 和电阻  $R_3$  回路迅速释放, 在 LD 两端产生一个快速的电压跳变, 在电荷释放的瞬间, LD 受激输出脉冲激光。

电容  $C$  为放电回路提供稳定的工作电压, 使其

不受外部电源波动的影响, 提高了输出脉冲的稳定度。电阻  $R_4$  为电流采样电阻, 采样放电回路中的脉冲电流, 以监测激光器是否在安全的电流范围内工作。二极管  $D_1$  为快响应二极管以快速释放激光器处的反向电压, 保护激光器不被反向电压损坏。电源  $V_2$  通过电阻  $R_5$  为 LD 提供所需的偏置电流  $I_b$ , 以平滑激光器输出的光脉冲波形。

为保证激光脉冲的前沿、脉宽、电流达到要求, 必须选用开关速度快、内阻小的 MOSFET。现选用的 MOSFET(DE275)内阻小:  $R_{DS(on)} = 0.5 \Omega$ , 开关速度快:  $T_{on} = 2 \text{ ns}$ ,  $T_{off} = 5 \text{ ns}$ ; 电流  $I_D$  最大为  $16 \text{ A}$ , 电压  $V_{DSS}$  最高为  $500 \text{ V}$ 。改变驱动电路主回路中  $V_1$ ,  $C$  和  $R_3$  的值, 可改变脉冲的峰值电流 ( $I_p$ )、前沿 ( $T_f$ )、脉宽 ( $I_{pw}$ ); 且改变任一参数, 脉冲的峰值电流、前沿、脉宽都会有所改变。调节  $V_2$ , 可改变偏置电流  $I_b$  的值, 以平滑激光脉冲波形。

针对各个激光器的具体参数, 调节  $V_1$ , 选用不同的  $C, R_3$  参数即可获得不同激光器所需的脉冲前沿、脉宽、峰值电流。图 3 为  $C = 1000 \text{ pF}$ ,  $R_3 = 3 \Omega$ ,  $R_4 = 0.1 \Omega$  时, 改变  $V_1$ , 从取样电阻  $R_4$  上监测到的脉冲峰值电流波形。图 3(a):  $V_1 = 493.2 \text{ V}$  时,  $I_p =$

72.2 A,  $T_{pw}=12.1$  ns,  $T_f=4.87$  ns; 图 3(b):  $V_1=345.6$  V 时,  $I_p=42.1$  A,  $T_{pw}=10.7$  ns,  $T_f=3.2$  ns; 图 3(c):  $V_1=83.9$  V 时,  $I_p=17.8$  A,  $T_{pw}=9.6$  ns,  $T_f=2.2$  ns。图 4 为  $V_1=345.6$  V,  $R_3=3 \Omega$ ,  $R_4=0.1 \Omega$  时, 改变  $C$ , 从  $R_4$  上监测到的脉冲峰值电流波形。图 4(a):  $C=1000$  pF 时,  $I_p=42.1$  A,  $T_{pw}=10.7$  ns,  $T_f=3.2$  ns; 图 4(b):  $C=$

510 pF 时,  $I_p=31.4$  A,  $T_{pw}=7.5$  ns,  $T_f=3.5$  ns; 图 4(c):  $C=300$  pF 时,  $I_p=17.2$  A,  $T_{pw}=9.2$  ns,  $T_f=3.6$  ns。图 5 为  $C=1000$  pF,  $V_1=297.8$  V,  $R_4=0.1 \Omega$  时, 改变  $R_3$ , 从  $R_4$  上监测到的脉冲峰值电流波形。图 5(a):  $R_3=3 \Omega$  时,  $I_p=39.1$  A,  $T_{pw}=10.6$  ns; 图 5(b):  $R_3=1.89 \Omega$  时,  $I_p=40.5$  A,  $T_{pw}=8.3$  ns; 图 5(c):  $R_3=1.2 \Omega$  时,  $I_p=41.6$  A,  $T_{pw}=8.2$  ns。

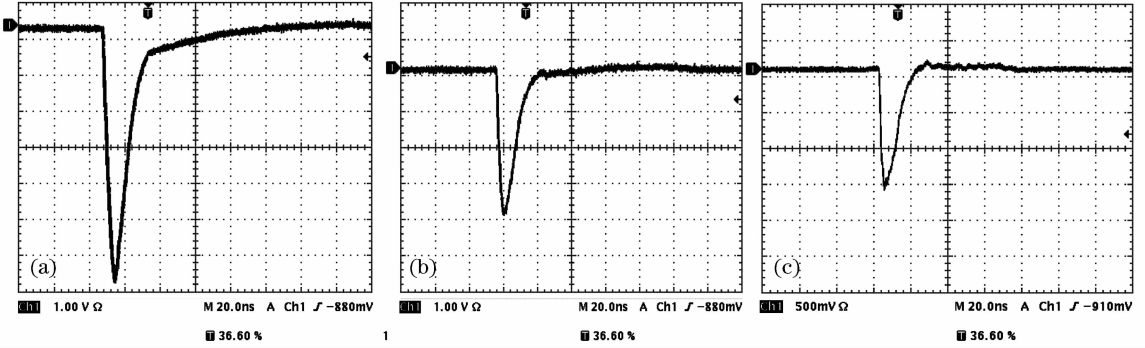


图 3 改变  $V_1$  值时 LD 电流脉冲波形

Fig. 3 Current pulses of LD when  $V_1$  value changes

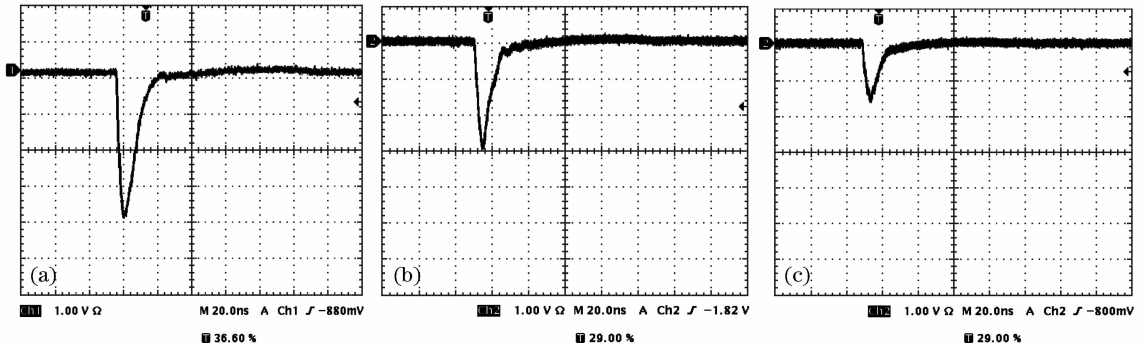


图 4 改变  $C$  值时 LD 电流脉冲波形

Fig. 4 Current pulses of LD when  $C$  value changes

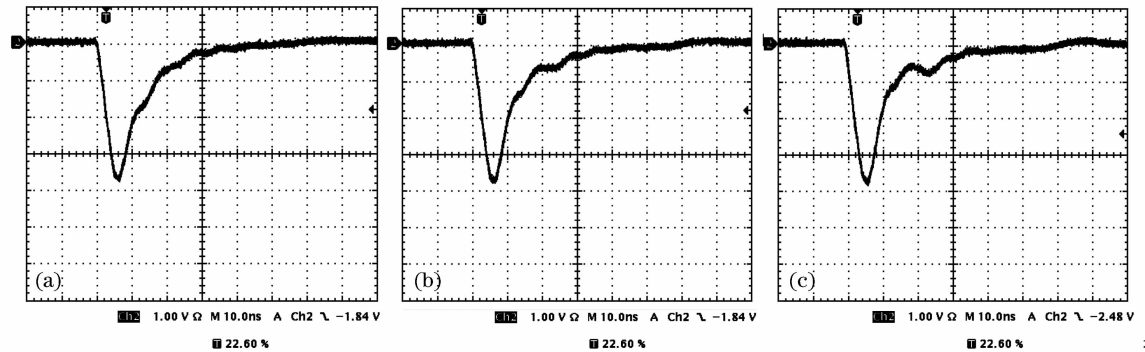


图 5 改变  $R_3$  值时 LD 电流脉冲波形

Fig. 5 Current pulses of LD when  $R_3$  value changes

由于输出的激光脉冲是一个快速、窄脉冲信号, 电流脉冲从零上升的时间到激光开始发光的时间之间有延时。在产生激光脉冲时, 开始会出现瞬态过

激, 然后又出现弛豫振荡, 结果输出的激光脉冲波形不太理想, 如图 6 中的激光脉冲波形。为了给后续的激光放大提供波形好的激光脉冲, 需要对此激光

脉冲进行优化。在激光驱动电路主回路中叠加一个直流偏置电流  $I_b$ , 偏置电流值  $I_b$  根据激光器的阈值电流  $I_{th}$  的值选取。加上直流偏置后, 产生的激光脉冲就没有了明显的瞬态过激和弛豫振荡, 变得很平滑, 如图 7 所示。

### 2.2 温控电路

半导体激光器随着温度的变化, 其输出的功率和中心波长都会随之飘移。为保证激光器输出功率和中心波长的稳定, 要对激光器进行温度控制<sup>[13,14]</sup>。比例积分微分(PID)控制是根据系统的误差, 利用比例、积分、微分计算出控制量进行控制。PID 温控电路结构简单、稳定性好、工作可靠, 可快

速、平稳、准确地获得满意的温控效果, 其电路框图如图 8 所示, 电源通过精密电压参考芯片, 产生一个可靠的基准电压, 保证其不受外部电源扰动的影响, 提高了抗干扰能力和温控的精度。通过 4 个精密电阻的分压, 为 LD 设定工作时所需的标准温度(如 25 °C)。比较器比较, 设定温度值和激光器工作时温度传感器测得的实际温度值, 输出信号到 PID 控制电路。PID 的运放都选用低噪声、低飘移的精密运算放大器, 降低了回路的噪声, 提高了温控的精度。PID 输出信号控制 2 个三极管的导通或截止, 通过半导体制冷器(TEC)实现对激光器的制冷或加热, 最终实现对激光器的温度控制, 控温精度达  $\pm 0.1$  °C。

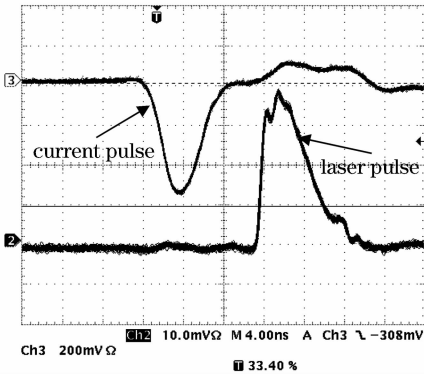


图 6 优化前的 LD 电流脉冲波形和激光脉冲波形

Fig. 6 Current pulse and laser pulse of LD before optimization

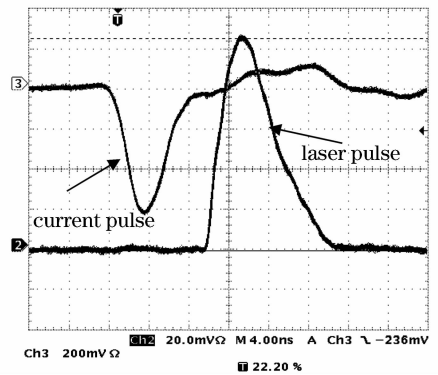


图 7 优化后的 LD 电流脉冲波形和激光脉冲波形

Fig. 7 Optimized current pulse and laser pulse of LD

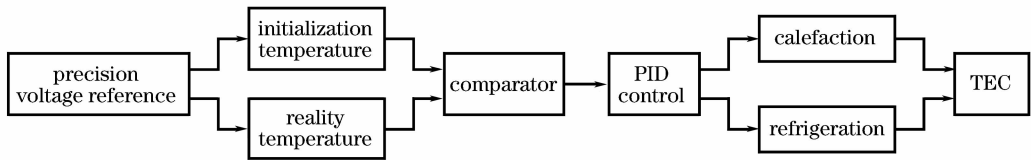


图 8 PID 温控单元电路框图

Fig. 8 Block diagram of PID temperature control unit

### 3 应用测试

选用 Bookham 公司的半导体激光器接入本驱动电源中, 其工作参数如表 1 所示。

表 1 2 A-LD 电光特性参数

Table 1 Electrical and optical charactertic parameters of 2 A-LD

Parameter	Min	Typical	Max
Operating peak power /W	0.7		1
Operating peak current /A			2
Pulse width /ns	5		500
Pulse repetition rate /kHz			500
Rise time /ns			1.6
Center wavelength /nm	1063	1064	1065
Threshold current $I_{th}$ /mA	10	30	50

参考此激光器的极限工作参数, 实际电路选用的工作参数为: 重复频率为 50 kHz, 上升沿小于 4 ns, 脉宽小于 10 ns, 最大峰值电流小于 2 A, 且输出的激光脉冲波形平滑。

在半导体激光器驱动电路主回路中(图 2), 当选用参数  $V_1 = +36$  V,  $R_2 = 5$  k $\Omega$ ,  $C_1 = 100$  pF,  $R_3 = 1$   $\Omega$ ,  $R_4 = 1$   $\Omega$ ,  $V_2 = -2$  V,  $R_5 = 50$   $\Omega$  时, 其电流脉冲波形和激光脉冲波形如图 9 所示。图中时间扫速为 4 ns, Ch3 的电压灵敏度为 100 mV, Ch4 的电压灵敏度为 500 mV。从图中可以看出, 该电流脉冲的宽度约为 6.1 ns, 峰值电流为 1.7 A; 激光脉冲的脉宽为 8.7 ns, 上升沿为 3.8 ns, 且其波形是一个基本对称且非常平滑的脉冲波形。激光器的工作频

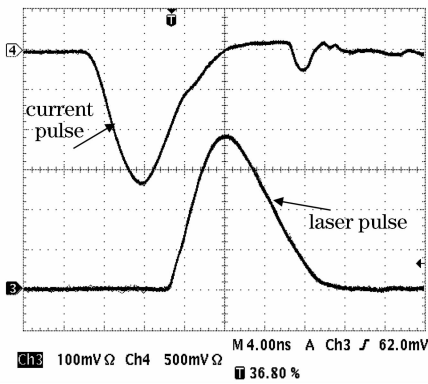


图 9 2 A-LD 电流脉冲波形和激光脉冲波形

Fig. 9 Current pulse and laser pulse of 2 A-LD

率为 50 kHz, 测得激光器输出的平均功率为 378.2  $\mu$ W, 其峰值功率为 865.4 mW, 激光脉冲序列稳定度小于 4%。温控精度达到了  $\pm 0.1$   $^{\circ}$ C, 保证了激光器输出功率的稳定, 激光的中心波长为 (1064  $\pm 0.1$ ) nm。

选用 EG&G 公司的半导体激光器接入本驱动电源中, 其工作参数如表 2 所示。

表 2 60 A-LD 电光特性参数

Table 2 Electrical and optical characteristic parameters of 60 A-LD

Parameter	Min	Typical	Max
Operating peak power /W	48		51
Operating peak current /A			60
Pulse width /ns		160	
Pulse repetition rate /kHz		100	
Center wavelength /nm	895	905	915
Threshold current $I_{th}$ /A		3	

此激光器的脉冲峰值电流为 60 A, 在半导体激光器驱动电路主回路中(图 2), 当选用参数  $V_1 = +495.2$  V,  $R_2 = 3$  k $\Omega$ ,  $C_1 = 800$  pF,  $R_3 = 1$   $\Omega$ ,  $R_4 = 0.1$   $\Omega$ ,  $V_2 = -2.5$  V,  $R_5 = 1$   $\Omega$  时, 重复频率为

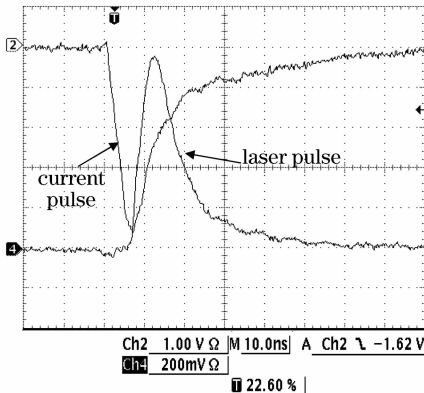


图 10 60 A-LD 电流脉冲波形和激光脉冲波形

Fig. 10 Current pulse and laser pulse of 60 A-LD

10 kHz, 其电流脉冲波形和激光脉冲波形如图 10 所示。图中时间扫描为 10 ns, Ch2 的电压灵敏度为 1 V, Ch4 的电压灵敏度为 200 mV。从图中可以看出, 该电流脉冲的宽度约为 10.3 ns, 峰值电流为 48.2 A; 激光脉冲的脉宽为 10.4 ns, 上升沿为 4.8 ns, 且其波形是一个基本对称且平滑的脉冲波形。温控精度为  $\pm 0.1$   $^{\circ}$ C, 激光中心波长稳定, 为 (905  $\pm 0.1$ ) nm。

## 4 结 论

研制的新型窄脉冲半导体激光器驱动电源包括驱动电路和温控电路两部分。驱动电路可获得重复频率高(0~50 kHz)、前沿快(2.2~4.9 ns)、脉宽窄(4.6~12.1 ns)、脉冲峰值电流大(0~72.2 A)的脉冲信号, 且激光脉冲波形对称而平滑。同时, 高精度的温控电路保证了激光器输出的光功率和激光中心波长的稳定。根据各个激光器不同的参数要求, 调节电路中电压  $V_1$ , 电容  $C$ , 电阻  $R_3$  的参数, 可改变激光器输出激光脉冲的前沿、脉宽、脉冲峰值电流; 调节电源  $V_2$ , 可改善输出光脉冲的波形。该激光器驱动电源不仅可作为一般高速、窄脉冲半导体激光器的驱动电源, 也是大能量、窄脉宽的半导体激光器种子光源的理想驱动电源。

## 参 考 文 献

- Feng Yutong, Du Songtao, Yang Yan *et al.*. All-fiber laser based on LD pulse-modulated MOPA architecture [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(8):1932~1936  
冯宇彤, 杜松涛, 杨 燕等. 基于 LD 脉冲调制的全光纤 MOPA 结构激光器[J]. *中国激光*, 2009, **36**(8):1932~1936
- Chen Yi, Guo Ying, Yang Jun *et al.*. Study of high-precision pulsed laser range finding techniques [J]. *Infrared*, 2010, **31**(6): 1~4  
陈 奕, 郭 颖, 杨 俊等. 脉冲式高精度激光测距技术研究 [J]. *红外*, 2010, **31**(6):1~4
- Sun Degang, Tang Haifeng. Study on the PWM driver circuit of LD for laser fuze [J]. *Laser Technology*, 2007, **31**(2):217~219  
孙德刚, 唐海峰. 脉冲式激光引信用连续可调 LD 驱动电路的研究 [J]. *激光技术*, 2007, **31**(2):217~219
- Chen Wei, Miao Qimei, Sun Feng *et al.*. Design of high current narrow width pulsed power supply of laser diode [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2010, **22**(6):1223~1227  
陈 伟, 苗琪媚, 孙 峰等. 脉冲激光器大电流窄脉冲驱动设计 [J]. *强激光与粒子束*, 2010, **22**(6):1223~1227
- Zhang Shouqi, Lou Qihong, Zhou Jun *et al.*. Design of drive circuit for continuously adjustable ns pulse LD [J]. *Laser Technology*, 2008, **32**(4):396~398  
张寿棋, 楼祺洪, 周 军等. 连续可调纳秒脉冲 LD 驱动电源的研制 [J]. *激光技术*, 2008, **32**(4):396~398
- Duan Yunfeng, Huang Bangcai, Zhang Peng *et al.*. All-fiber laser pulse amplifier [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(10): 1379~1382

- 段云锋,黄榜才,张 鹏等. 全光纤结构的脉冲光纤放大器[J]. 中国激光, 2007, **34**(10):1379~1382
- 7 Yan Bing. Analysis of pulsed laser diode driver circuit [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2008, **6**(4):1~4  
严 兵. 脉冲半导体激光器电源电路分析[J]. 光学与光电技术, 2008, **6**(4):1~4
- 8 Li Yao, Zhu Chen, Wang Xiongfei *et al.*. Experimental study on hundred-watt output power high repetition rate narrow pulse duration fiber lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(2):281~284  
李 尧,朱 辰,王雄飞等. 百瓦级高重复频率窄脉宽光纤激光器实验研究[J]. 中国激光, 2009, **36**(2):281~284
- 9 Zhang Haiming, Liu Xusheng, Lu Xiaoyuan *et al.*. Design of laser diode driver with high peak current and narrow pulse width [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2009, **30**(2):313~315  
张海明,刘旭升,陆晓元等. 大电流窄脉冲半导体激光驱动器的设计[J]. 半导体光电子学, 2009, **30**(2):313~315
- 10 Liu Xusheng, Lin Jiuling, Zhang Haiming *et al.*. The study of nanosecond pulsed diode laser drive [J]. *Laser Technology*, 2006, **30**(4):445~448  
刘旭升,林久令,张海明等. 纳秒脉冲半导体激光驱动器的研究[J]. 激光技术, 2006, **30**(4):445~448
- 11 Liang Buge, Zhu Chang, Zhang Guangfu *et al.*. The design of high-power nanosecond pulser based on microwave PCB and its application [J]. *Journal of National University of Defense Technology*, 2004, **26**(6):38~43  
梁步阁,朱 畅,张光甫等. 高功率全固态微波纳秒级脉冲源的设计与应用[J]. 国防科技大学学报, 2004, **26**(6):38~43
- 12 Lai Yiping, Cai Tao, Peng Zhihong *et al.*. Multi-current 1550 nm laser driving circuit based on avalanche transistors [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, **36**(Suppl.):349~352  
赖艺平,蔡 涛,彭志红等. 基于雪崩晶体管的多电流 1550 nm 激光驱动电路[J]. 红外与激光工程, 2007, **36**(增刊):349~352
- 13 Huang Qingchuan, Ma Jing. Semiconductor laser temperature control circuit analysis and testing [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2006, **4**(3):46~48  
黄青川,马 静. 半导体激光器温控电路分析与测试[J]. 光学与光电技术, 2006, **4**(3):46~48
- 14 Sun Lifei, Tian Xiaojian, Ai Baoli. Temperature controller system for high-power laser-diode based on fuzzy + PID [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2005, **22**(3):382~386  
孙丽飞,田小建,艾宝丽. 大功率半导体激光器的精密模糊 PID 温控系统[J]. 量子电子学报, 2005, **22**(3):382~386