

文章编号 1004-924X(2009)04-0695-06

用于纳秒级窄脉冲工作的大功率半导体激光器模块

陈彦超, 赵柏秦, 李 伟

(中国科学院 半导体研究所, 北京 100083)

摘要:介绍了一种将脉冲半导体激光器发射系统中的脉冲整形电路、驱动电路、激光器保护电路、激光器集成封装成一个激光器模块的方式。当激光器工作于纳秒级窄脉冲状态下时,激光器封装引脚产生的电抗会使得耦合进激光器的脉冲波形劣化,导致能量损失。为得到上升时间短,波形半宽窄,峰值功率大的光输出,改进了激光器管芯的结构并采用混合光电子集成的方式将驱动电路和激光器管芯封装在一个模块内,使得窄脉冲电信号高效地耦合进半导体管芯。分析验证表明,改进后的激光器模块的各项输出参数均得到改善。同等条件下,改进后的模块在光脉冲宽度为 4.5 ns 时,峰值功率比单独封装激光器提高 6 倍多。测试了激光器模块 $U-P$ 曲线,得到了脉冲宽度 7 ns 左右,峰值光功率 176 W 的光脉冲输出。

关键词: 高峰值功率; 半导体激光器阵列; 窄脉冲; 激光器模块

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A

High peak power semiconductor laser module for producing nanosecond pulse

CHEN Yan-chao, ZHAO Bai-qin, LI Wei

(*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: A laser module was packaged by a pulse width regulated circuit, a driving circuit, a laser protection circuit and laser chips to use in a pulse semiconductor laser sending system. When a laser pulse width was around several nanoseconds, the pins of packaged lasers would introduce resistances to distort the waveform shape and to reduce the energy coupling into the laser chips. To get a high peak power laser pulse with short pulse width and fast risetime, the structure of the laser chips was improved, and an optoelectronic hybrid integration was used to package the driver and the laser chips together into a module. In this way, the short current pulses could be coupled into laser chips effectively. Analysis and experiments prove that the improved laser module can produce optical pulses with better output parameters. On the same condition, the peak optical power produced by the proposed laser module is 6 times larger than that produced by traditional packaged lasers with the same driving circuit under a pulse width around 4.5 ns. The $U-P$ curve of the laser module was tested at a pulse width around 7 ns, and the result shows that it can obtain a peak optical power of 176 W.

Key words: high peak power; semiconductor laser diode array; short pulse; laser module

收稿日期: 2008-07-25; 修订日期: 2008-08-12.

基金项目: 总装备部十一五计划项目资助课题

1 引言

脉冲式半导体激光器有着广泛的应用。例如激光测距,激光雷达,泵浦固体激光器,脉冲多普勒成像,3D 图像系统,光纤测温传感器等。而高功率,窄脉宽,快的上升沿可以提高相关传感器分辨率,并提高激光器作用距离。如在基于拉曼散射的分布式光纤测温系统中,携带温度信息的拉曼散射光较弱,需要加大激光器的光功率以提高信噪比,从而提高温度分辨率。该系统利用光纤时域反射仪测量距离,其距离分辨率为 $\Delta L = W \times v/2$ 。(W 为光脉冲宽度, v 为光纤中的传播速度),可见其距离分辨率会随着光脉冲宽度减小而提高。若取 $v = c/n = 2 \times 10^8$ m/s,则实现 1 m 以下的分辨率,要求光脉冲宽度 < 10 ns。在激光近距探测系统中,对于激光器脉冲前沿都要求越陡越好,因为它直接影响激光探测系统的动态测试精度,前沿越陡,测距精度越高^[1-4]。

目前虽然有关于得到窄脉冲(纳秒级)的驱动电路的研究文献^[1-2,5-6],但是关于在电路驱动下的激光器输出窄脉冲光的报导较少。而当脉冲压窄到 10 ns 以下的时候,需要考虑的不仅是驱动电路的输出能力,激光器管芯的结构以及其与驱动电路的连接方式都会影响到激光的输出。本文从上述两个方面对激光器进行了改进,并设计了一种将激光器管芯和驱动电路中窄脉冲部分集成到一起的激光器模块。实验验证了这种改进激光器结构的模块对改善输出光脉冲作用明显,分析了作用原因。

2 设计和分析

基于半导体激光器的应用系统原理图如图 1 所示,主要包括:时钟电路、脉冲整形电路、驱动电路、激光器保护电路、激光器以及电源,应用时可将封装好的激光器连接到驱动电路板上。驱动电路板包含了时钟电路、脉冲整形电路、驱动电路、激光器保护电路及保护电路。这种安装方式方便简单,但是整个系统体积较大,集成度不高。更关键的是由于脉宽变窄而使得信号能量分布向高频转移,当脉宽减小到 ns 量级的时候,分布效应开始变得明显,电路板过长的走线和激光器封装(如

引脚)所带来的分布元件使得系统难以得到高功率值和良好波形质量的窄脉冲光波形。

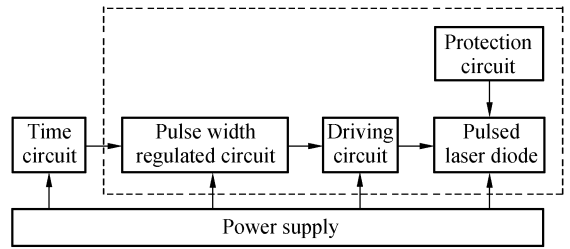


图 1 激光器应用系统的原理图

Fig. 1 Scheme of laser application system

因此,本文考虑将驱动电路和激光器管芯直接相连,即将驱动电路或驱动电路的一部分和激光器管芯集成到一个封装体内,构成一个激光器模块。由于省去了单独的激光器封装,减小了电路板体积,降低了电路回路尺寸,使得信号衰减和失真变小,有利于得到良好的输出波形质量。

考虑激光器应用系统中时钟电路可以是固定频率的方波触发脉冲,也可以是信号编码,不同场合有不同的应用要求,难以统一,所以模块中不包含此部分。而电源体积较大不利于集成,故多为外接。最终将图 1 方框中的脉冲整形电路、驱动电路、激光器保护电路、激光器管芯集成到一个模块内。这样激光器模块最终包含一个信号输入引脚和若干个电源、地端引脚。

对于激光器管芯,目前常用的多管芯激光器为阵列激光器,如图 2 所示,多个激光器管芯通过硅热沉上的电极和金丝压焊来实现串并联,然后再用金丝和管壳管脚相连,硅衬底和铜管座相连,金丝引线直径 $40 \mu\text{m}$ 。采用这种结构的激光器散

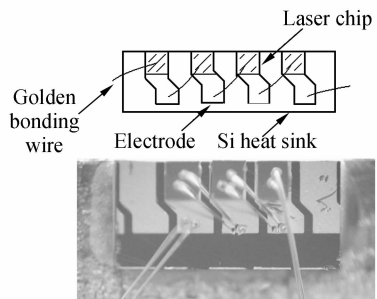


图 2 多管芯阵列排列示意图

Fig. 2 Scheme and image of multi-chips in a laser

热良好,键合方便,制作简单。但是由于管芯间的串联是通过多次金丝引线连接的,所以寄生电感较大,不利于激光器在窄脉冲模式下工作。图2仅为列阵排列激光器的结构示意图,实际实验中采用的激光器具体结构采用4个多管芯激光器bar条,通过金丝压焊串联,每个多管芯bar条含5个发光单元,这样实现了五并四串共20个发光单元。

为了减小寄生效应,改进后的激光器多管芯之间采用如图3所示的叠层方式,激光器bar条通过铜烧结成若干层,通过陶瓷热沉来实现和管座的绝缘。实验中采用的具体结构为:四个激光器bar条通过铜烧结,每个bar条上5个发光单元,同样为五并四串共20个发光单元,引线为1 mm宽的铜箔。在这种激光器结构下,激光器之间的串联是通过用铜直接烧结而成,即用叠层的方式省去了引线连接,在与驱动电路连接的时候也是通过宽的铜箔连接的,这种引线电感比细的金丝引线要小的多。管芯和驱动电路的电极通过此铜箔直接相连,省去了激光器封装所带来的寄生元件。

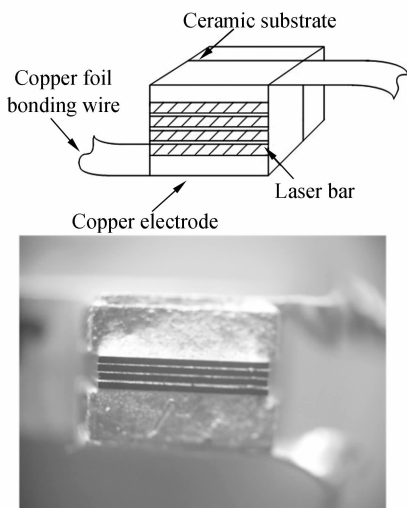


图3 改进后多管芯叠层排列示意图

Fig. 3 Schematic and image of improved multi-chips in a laser

图4为激光器的等效电路图^[7],其封装等效的分布参数为 L_p, R_p, C_p ,管芯等效的分布参数为 L_c, R_c, C_c ,其它是本征激光器。激光器通过端口 a_1, a_2 连接到驱动电路相应电极上。如果改进激光器管芯的结构及其与驱动电路的连接方式,将

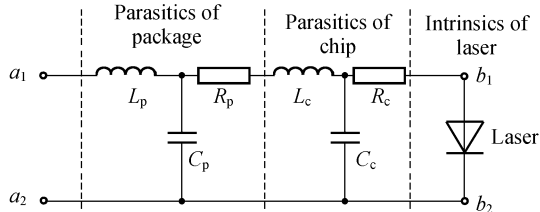


图4 激光器的等效电路图

Fig. 4 Equivalent circuit of laser with package

减小分布参数的值。那么在窄脉冲工作状态下,会使得损失在这些分布参数上的能量减小,从而可以得到更大功率的激光输出。在激光器和驱动电路分开的情况下,激光器单独封装,即使采用低电感的封装形式,封装所带来的电感也达到5.2 nH^[3],而对于驱动电路和激光器集成封装的方式,这部分分布参数只存在于连接管芯和驱动电路的铜箔导线上。经过计算可知其引入的电感值仅约为0.14 nH。此外,电波形的上升时间正比于 L_{tot}/R_{tot} ,其中 L_{tot} 为电路的总寄生电感, R_{tot} 为总的串联电阻^[8],模块的脉冲上升时间会比单独封装小。

3 实验结果和分析

本文通过实验结果证实了上述分析。

图5到图7比较了单独封装激光器(即采用图2所述结构的单独封装激光器和分立的驱动电路板)和模块(即采用图3所述结构的带驱动激光器模块)在窄脉冲段的输出。其测试条件为固定频率10 kHz,供电电压50 V,横坐标均为电脉冲宽度。电脉冲宽度为驱动电路在负载为1 Ω电阻时测得的输出脉冲宽度值。选取1 Ω电阻是由于激光器工作的动态内阻约1 Ω。同一个横坐标意味着同样的驱动电路参数取值,变化的只是负载。如图5左侧纵坐标则比较了单独封装激光器和模块的光峰值功率。右侧纵坐标表明了相应驱动电路的驱动能力。电路的驱动能力,即输出电流脉冲的峰值,通过将电路负载由激光器改成1 Ω电阻测得。

如图5所示,模块输出的峰值光功率始终比独立封装激光器输出要大,尤其当脉宽减小到10 ns以下时,独立封装激光器的输出峰值功率急剧下降,在脉宽最窄处(此时光脉冲宽度约4~6 ns,

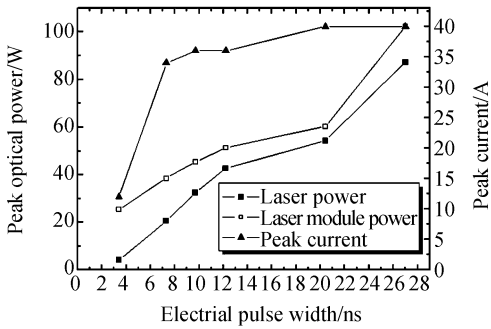


图 5 激光器和激光器模块输出窄脉冲功率的比较以及驱动电路输出随脉宽变化图

Fig. 5 Comparison of short pulse peak powers from laser and laser module along with driver's output changes with pulse width changes

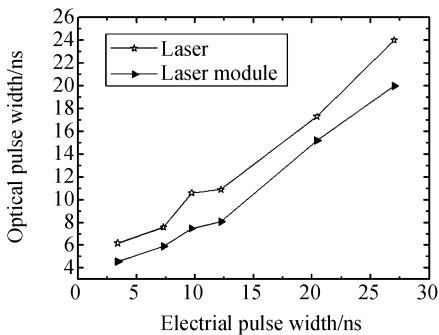


图 6 激光器和模块光脉宽的比较

Fig. 6 Comparison of optical pulse widths from laser and laser module

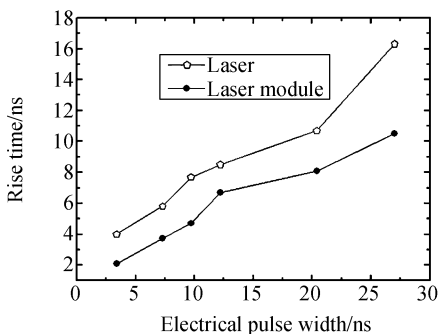


图 7 激光器和模块上升沿的比较

Fig. 7 Comparison of optical pulse risetime from laser and laser module

单独封装激光器和模块的光脉冲宽度如图 6 有所不同)只有 4.2 W,相比较而言模块的输出功率虽然也随脉宽变窄而减小,但是脉宽减小到 10 ns

以下时,随脉宽变窄功率下降的相对比较缓慢。在脉宽最窄处仍然有 25.3 W。脉宽变窄输出峰值功率变窄,一方面是由于驱动电路的输出能力下降,即图 5 中峰值电流曲线随着脉宽减小而下降,另一方面是由于脉宽变窄使得信号能量分布向更高频率段转移,而高频分量更容易被消耗在寄生元件上。图 6 和图 7 分别为同样电路参数下激光器和模块的脉冲宽度和脉冲上升时间的比较。可以看到模块的输出光波形的脉冲宽度和上升时间都要比激光器的,即采用激光器模块的方式,可以改善光输出的波形质量,得到更窄更陡的光脉冲,满足相关应用的要求。

通过以上实验可知,通过改进激光器结构和将激光器管芯(不通过单独封装)直接和驱动电路相连接的方式,可以明显地改善波形质量,得到更窄的脉宽、更陡的上升沿,即可在窄脉宽下得到更大的光功率。采用激光器模块的方式将激光器管芯和驱动电路直接、紧凑地连接到一起的,和改进激光器多管芯间互联方式一样都是为尽量减小引线的长度,减小因引线所带来分布参数的影响。模块得到的良好输出特性是以上两点改进共同作用的结果。若只改进一项,如将改进后的叠层激光器管芯单独封装成激光器,测试其输出特性,表明其输出特征介于列阵激光器单独封装和模块两者之间。这两点改进对输出的影响从原理上一致,在对输出特征改善效果上也一致。

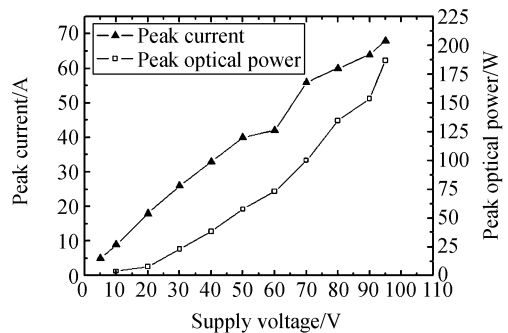


图 8 模块的 $U-P$ 曲线和驱动电路的 $U-I$ 曲线

Fig. 8 $U-P$ curve of module and $U-I$ curve of driver

图 8 给出激光器模块的 $U-P$ 曲线和驱动电路的 $U-I$ 曲线。测试条件为脉冲频率 10 kHz,供电电压 5~95 V,100 V 为模块工作电压的上限。通常会给出激光器的 $I-P$ 曲线,但是由于本文采用的激光器工作时候动态内阻低(如上所述约

1 Ω),使得对激光器工作的电流取样很困难,引入取样电阻不仅会损耗可观比例的功率,而且在纳秒级窄脉冲工作状态下会影响激光器模块的输出脉冲波形,所以本文采用 $U-P$ 曲线来描述模块的输出特性,并给出了驱动电路的 $U-I$ 曲线来表明驱动电路在窄脉冲下的电流输出能力。图中电流脉冲宽度为 10.9 ns,光脉冲宽度为 7.28 ns,需要说明的是在电压从 5 V 变到 95 V 的时候,电流脉冲宽度和光脉冲宽度都会有 <1 ns 的轻微变化,电流脉冲 10.9 ns 光脉冲 7.28 ns 指的是电压为中间值 50 V 的取值。脉冲宽度的变化是因为在电压变化的时候,放电回路中作为开关元件的 MOS 管的内阻以及作为负载的激光器的动态内阻发生变化,使得输出脉冲宽度发生变化。

图中可以看到在电源电压为 95 V 的时候,模块的峰值光功率达到 176.9 W。峰值光功率随着电压变化趋势与常见半导体激光器的 $I-P$ 曲线基本一致。图中电压 <10 V 的时候由于测试仪器的量程因素,已经无法测得其峰值光功率。由于不同模块因为激光器管芯而存在一致性问题,所以不同只模块测得的数据会略有差异,上图表明模块输出的基本变化趋势。

本文所采用的探测器为快速 Si PIN 光电二极管,其中光敏面直径为 0.1 mm,结电容 <1.0

pF,响应时间可达到 700 ps。光谱响应为 500~1100 nm,在波长 870 nm 响应度为 0.3 A/W(电压 15 V)。示波器采用泰克 3052B 示波器,带宽 500 M。激光器管芯为由 MOCVD 生长的 GaAs 单量子阱结构,腔长 900 μm ,中心波长 870 nm,谱宽 10 nm。

4 结 论

为了得到高功率的纳秒级激光窄脉冲输出,改进了激光器管芯的结构以及激光器管芯和驱动电路的连接方式,提出一种将产生窄脉冲驱动电路的部分和激光器管芯集成封装到一个激光器模块内的方式。比较了独立封装下的激光器和激光器模块在同样驱动方式下输出的差异。证实了通过采用模块的方式,可以得到更高的峰值功率(尤其在脉宽很窄的时候(<10 ns)),如在脉宽 4.5 ns 左右将模块峰值功率相对于单独封装的激光器提高了 6 倍多,并且光波形的脉宽和上升沿都得到了相应的改善。测试了激光器模块的 $U-P$ 曲线,在激光器模块极限工作电压附近 95 V,得到了峰值光功率 176.9 W,脉冲宽度 7.2 ns 的脉冲光输出。

参考文献:

- [1] 朱娜,林久令,王广济,等.雪崩晶体管在纳秒脉冲驱动电路中的应用[J].光电子技术与信息,2005,18(6):29-32.
ZHU N, LIN J L, WANG G J, et al.. Application of avalanche transistors in nanosecond pulse driver [J]. *Optoelectronic Technology and Information*, 2005,18(6):29-32. (in Chinese)
- [2] 张在宣,刘天夫,张步新.激光拉曼型分布式光纤温度传感器[J].光学学报,1995,15(11):1585-1589.
ZHANG Z X, LIU T F, ZHANG B X. Laser Raman-type distributed optical fiber temperature sensor system[J]. *Acta Optica Sinica*, 1995,15(11):1585-1589. (in Chinese)
- [3] 王金花,姚洪宝,薛正君,等.激光近距离动态探测系统发射电路设计研究[J].红外与激光工程,2006,35:709-712.
WANG J H, YAO H B, XUE ZH J, et al.. Design of sending circuit for laser short range dynamic detection system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006,35:709-712. (in Chinese)
- [4] 尧舜,套格套,路国光,等.68.5 W 连续输出 1060 nm 波段半导体激光器阵列模块[J].光学精密工程,2006,14(1):8-11.
YAO S, TAO G T, LU G G, et al.. 1060nm wavelength high power diode array module [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(1):8-11. (in Chinese)
- [5] 岱钦,宋文武,王希军.高频半导体激光器的驱动设计及稳定性分析[J].光学精密工程,2006,14(5):745-748.
DAI Q, SONG W W, WANG X J. Design and stability analysis of high frequency LD's driving circuit [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(5):745-748. (in Chinese)
- [6] 江小华,陈炳林,张河,等.脉冲激光引信用 PFM 和 PWM 式 LD 驱动电路的研究[J].强激光与粒子束,2004,16(11):1449-1452.
JIANG X H, CHEN B L, ZHANG H, et al..

Study on the PFM and PWM driver circuit of LD for laser fuze [J]. *High Power Laser and Particle Beam*, 2004, 16(11):1449-1452. (in Chinese)

- [7] CHENG C, NIN H Z, SHANG J Z, *et al.*. Characterization of parasitics in TO-packaged high-speed laser modules [J]. *IEEE, Trans. Adv. Packag.*,

2007, 30:97-103.

- [8] VAINSHTEIN S N, KOSTAMOVAARA J T, KILPELA A J, *et al.*. High speed, high current driver for operation with low ohmic load [J]. *Electronic Letters*, 1997, 33(10):904-906.

作者简介:



陈彦超(1983—),男,山西人,中国科学院半导体研究所在读博士生,研究方向为大功率窄脉冲半导体激光器模块。E-mail: cyc@semi. ac. cn

赵柏秦(1960—),男,江苏徐州人,研究员,博士生导师,研究方向为新型半导体器件及应用。E-mail: bqzhao@semi. ac. cn

李 伟(1955—),男,陕西府谷人,工程师,1986年于吉林大学获学士学位,研究方向为大功率半导体激光器和脉冲半导体激光器。E-mail: liwei@semi. ac. cn

● 下期预告

新型光纤环镜在光栅传感解调系统中的应用

张锦龙^{1,2},王葵如¹,余重秀¹,林妹妹¹,赵德新¹,李 成¹

(1. 北京邮电大学 电子工程学院 教育部光通信与光波技术重点实验室,北京 100876;

2. 河南大学 物理与电子学院,河南 开封 475001)

为实现高稳定性、高精度的波长干涉解调,对保偏光纤环镜在波长解调结构中的应用进行研究,设计并搭建了一种基于光纤环境的新型光纤布拉格光栅传感器解调系统。依据传统的矩阵光学原理建立理论模型,分析采用保偏光纤环境实现干涉解调的基本原理,深入研究其结构参数对解调精度的影响并进行数值仿真验证。在理论指导的基础上,搭建光路模块,基于 LabVIEW 软件设计能够消除系统结构参数误差的测定软件与解调系统监控软件,研制电路模块,构成完整的传感解调系统。经传感检测实验验证,该系统在 20~90℃ 的范围内对温度的分辨率为 0.03℃,准确度可达±0.1℃。实验结果与理论分析相吻合,这充分展示了该系统具有良好的稳定性,较高的检测灵敏度和较强的适用性。