

## 带驱动级的环氧封装脉冲激光二极管

纪亚飞, 罗达新, 赵柏秦

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

**摘要:** 文中介绍了一种新型低成本、抗冲击、窄脉宽且自带驱动电路的脉冲半导体激光二极管。该激光二极管采用了一种基于环氧树脂材料的椭球形光束整形透镜对出射的激光光束进行整形。该透镜的设计既满足了激光二极管对体积的要求, 同时也简化了封装的步骤且节约了成本。为了缩小体积, 减小电路中的寄生效应对窄脉宽信号的影响, 该激光二极管采用裸芯代替了常用的独立封装芯片, 以多芯片模块的方式制作了驱动电路, 并采用金属支架作为散热和信号输入的引脚。激光二极管制作完成后, 采用驱动电路对激光二极管进行了测试。实验结果显示该激光二极管在快轴方向的发散角约为  $1.1^\circ$ , 在慢轴方向发散角约为  $3.3^\circ$ , 其脉宽可以达到 50 ns 以下, 峰值功率可达 35 W。

**关键词:** 低成本; 抗冲击; 环氧封装; 激光二极管

中图分类号: TN216 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2015)S-0178-05

## Pulsed laser diode packaging with epoxy resin with integrated driver stage

Ji Yafei, Luo Daxin, Zhao Baiqin

(Institute of Semiconductor, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A new laser diode feature in low cost, shock resistance, narrow pulse was introduced. The laser diode was packaged with epoxy resin which can not only satisfies the requirement of the space but also makes the packaging easier for the shaper could be fabricated with the packaging. To reduce the size and the influence of the parasitic effect of the circuit, a multi-chip module was used to make up the driving circuit and a set of unpacked chip was used to replace the common packed chip. A metal bracket was used as the pins and the cooler of the laser diode. In the test of the laser diode, the divergence angle of the laser diode with the shaper is  $1.1^\circ$  in the fast-axial direction and  $3.3^\circ$  in the slow-axial direction. The max peak power of the laser diode in this kind of packaging is 35 W and the width of the optical pulse is less than 50 ns.

**Key words:** low cost; shock resistance; epoxy resin; laser diode

收稿日期: 2015-10-12; 修订日期: 2015-12-11

作者简介: 纪亚飞(1988-), 男, 博士生, 主要从事激光器驱动电路及激光器封装方面研究。Email: jyfzrzh11988@sina.com

导师简介: 赵柏秦(1961-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 研究方向为脉冲半导体激光器、传感器件及应用模块等。

Email: bqzhao@semi.ac.cn

## 0 引言

半导体激光二极管具有体积小、重量轻、成本低、效率高等优点,被广泛应用于工业、医疗、通信、军事等领域中。而将半导体激光二极管系统的多个功能部件集成在一起,不仅可以进一步减小系统体积,而且可以降低电路回路中寄生效应带来的影响,从而得到更加理想的电信号和更好的器件性能。

目前一些公司已经推出了类似产品。但是其不足之处是驱动电路过于简单,因此对输入信号的要求较高,另一方面,由于半导体激光二极管的发散角较大,这些产品没有相关的光束准直功能,因此大大降低了其可用性。针对这些问题,文中设计了一种带驱动的半导体激光二极管系统,采用了一种基于环氧树脂封装的光束整形透镜,并采用多芯片模块的方式对驱动电路进行了制作,使激光二极管系统体积更小,光束整形效果更好,使用更加方便。

## 1 整形透镜设计

半导体激光二极管发散角大、光束质量差、功率较小,在工业和军事领域的发展都受到限制。因此,如何减小半导体激光二极管的发散角,提高其光亮度和光束质量是国内外研究的重点之一。常用的光束整形技术有光纤耦合技术、棱镜堆重组技术、波长复合技术、空间复合技术、偏振复合技术、微光学元件压缩技术等。

由于低成本、抗冲击的要求,文中的半导体激光二极管采用环氧树脂对系统进行封装。将激光二极管包裹入整形透镜,在封装激光二极管、驱动模块的同时完成光束整形透镜的制作,不仅可以大大减小系统体积,而且简化了系统的制作流程。

以下将具体讨论该透镜的设计方案。

### 1.1 快轴方向光束整形及椭球方程

通常情形下,激光谐振腔发出的基模辐射场,其横截面的振幅分布遵守高斯函数。对某公司生产的半导体激光器管芯出射的激光进行实际测量,其发散角在快轴方向约为  $30^\circ\sim 40^\circ$ ,其在慢轴方向约为  $15^\circ$ 。

考虑使用椭球面对该光束进行整形,激光器安装在环氧封装的椭球内  $O$  点位置,如图 1 所示,半导体激光二极管在快轴方向的出射光可以等效为点光源。

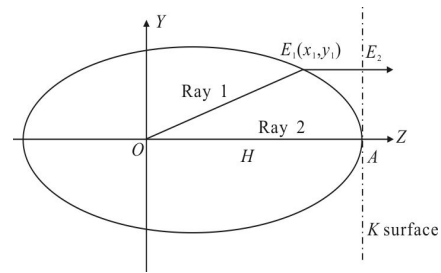


图 1 在快轴方向通过整形透镜的光束

Fig.1 Optical path through the ellipsoidal lens in the fast-axial direction

根据费马原理,光从一点到另一点是沿光程为极值的路径传播的,即光沿光程为极小、极大或常量的路径传播。

具体到图 1 中光束,在  $YZ$  平面内其从  $O$  点到  $K$  面的光程应为一常量,如公式(1)所示。

$$n^*OE_1+n_0^*E_1E_2=n^*OA \quad (1)$$

式中: $n$  为环氧树脂折射率; $n_0$  为空气折射率。将  $y, z$  带入该方程可得:

$$n^*\sqrt{z^2+y^2}+n_0^*(H-z)=n^*H \quad (2)$$

式中: $H$  为椭球后焦点到椭球前轴端点的距离,同时也是激光器在椭球封装中的安装深度。

空气折射率近似为 1,化简公式(2)可得:

$$\frac{y^2}{\left(H^*\sqrt{\frac{n-1}{n+1}}\right)^2}+\frac{\left(z-\frac{H}{n+1}\right)^2}{\left(\frac{n^*H}{n+1}\right)^2}=1 \quad (3)$$

进一步可得其椭球面方程:

$$\frac{x^2}{\left(H^*\sqrt{\frac{n-1}{n+1}}\right)^2}+\frac{y^2}{\left(H^*\sqrt{\frac{n-1}{n+1}}\right)^2}+\frac{\left(z-\frac{H}{n+1}\right)^2}{\left(\frac{n^*H}{n+1}\right)^2}=1 \quad (4)$$

实际设计时对椭球短轴有固定的尺寸要求,为 2.5 mm。使用的环氧树脂折射率为 1.45。以上条件可列为:

$$H^*\sqrt{\frac{n-1}{n+1}}=2.5 \quad (5)$$

$$n=1.45 \quad (6)$$

联立以上方程组可得椭球方程和安装深度  $H$ 。由公式(8)可知理想安装深度为 5.83 mm。

$$\frac{x^2}{(2.5)^2}+\frac{y^2}{(2.5)^2}+\frac{(z-2.38)^2}{(3.45)^2}=1 \quad (7)$$

$$H=5.83 \quad (8)$$

### 1.2 轴向安装误差的讨论

如图 2 所示,安装激光器时会出现激光器的安

装误差问题。即实际安装深度  $h$  并不等于理想安装深度  $H$ , 如公式(9)所示。

$$h=H\pm\Delta \quad (9)$$

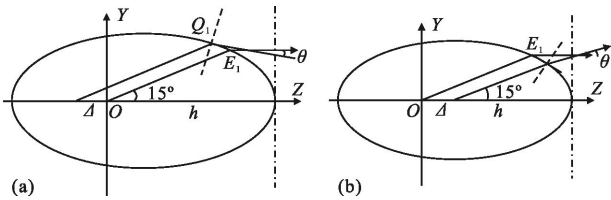


图 2 安装误差

Fig.2 Error of the installation

为了简化计算,这里只讨论边缘光线,即图中与光轴夹角为  $15^\circ$  的光线。如果激光器安装位置在  $O$  点左侧,其出射光线会向下偏折,如果激光器安装位置在  $O$  点右侧,其出射光线会向上偏折。如果已知偏离的距离  $\Delta$ , 这两种情况的发散角  $\theta$  可以由  $Q$  点切线方程及折射率公式推出。由于公式形式过于复杂,这里仅给出发散角  $\theta$  与安装误差  $\Delta$  的关系的仿真曲线(见图 3)。

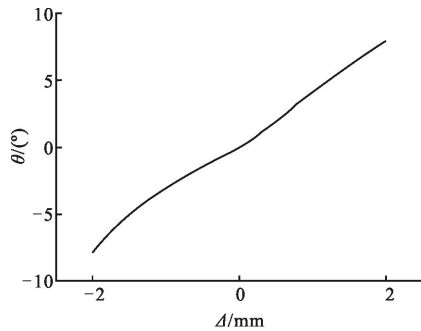


图 3 发散角与安装误差的关系

Fig.3 Relationship between the divergence angle and the installation error

由此曲线可以看出  $\Delta$  在  $-2\sim 2$  mm 区间内大致与偏折角度  $\theta$  成正比。

### 1.3 慢轴方向的光束讨论

激光二极管腔长为  $300\ \mu\text{m}$ , 其在慢轴方向可以看做线光源, 此时考虑其慢轴方向的发散角可以视作将原点光源向后移动一定距离, 如图 4 所示。

其对应的安装误差为:

$$\Delta = \frac{0.3}{2 \cdot \tan 7.5^\circ} \approx 1.14 \quad (10)$$

再由  $O'Q_1$  的方程和椭圆方程可以解得  $Q_1$  坐标从而求得边缘光线  $O'Q$  对应发散角约为  $2.3^\circ$ 。可知理想状况下慢轴发散角约为  $2.3^\circ$ 。

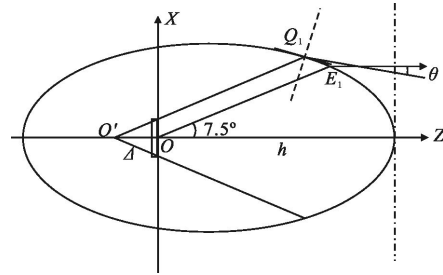
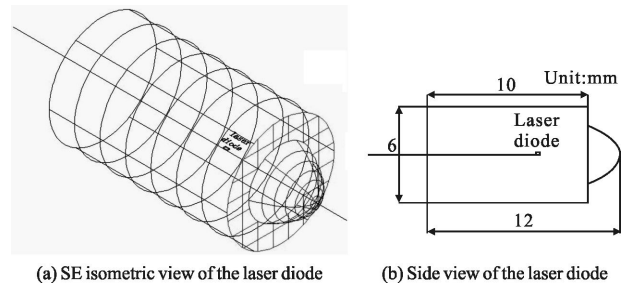


图 4 在慢轴方向通过整形透镜的光束

Fig.4 Optical path through the ellipsoidal lens in the slow-axial direction

同时, 为了使激光二极管封装更好地容纳驱动电路, 需要扩展激光二极管封装的尾部。实际激光二极管的封装模具结构示意图如图 5 所示。



(a) SE isometric view of the laser diode

(b) Side view of the laser diode

图 5 激光二极管封装示意图

Fig.5 View of the laser diode

## 2 驱动电路设计

半导体激光二极管在使用过程中需要拥有稳定输入的电信号, 避免电冲击和噪声, 因此对激光二极管的驱动电路要求较高。驱动电路需要提供的信号技术指标如表 1 所示。

表 1 驱动电路指标

Tab.1 Index of the driving circuit

	Pulse width/ns	Repetition frequency/K	Rise or fall time/ns
Index	50	10	10

针对以上指标设计的驱动电路如图 6 所示。

如图所示, 第一部分由 ICM7555 构成, 用于产生一定频率的方波。第二部分是脉冲整形电路, 该驱动需要产生纳秒级脉冲, 因此必须对方波进行整形, 这里使用由电阻和电容组成的微分电路达到这一目的。调节电容和电阻的大小可以改变得出的脉冲宽度。脉冲的半高宽可以通过调节电容电阻值得到。

图中 TPS2812 芯片有两个作用: (1) 信号在经过

微分电路后,可以再次利用施密特触发器增加信号上升沿的陡峭程度;(2)提高信号的幅度,更好地驱动后面的 MOSFET。电路最后一部分是激光二极管驱动电路,由功率 MOSFET 组成。

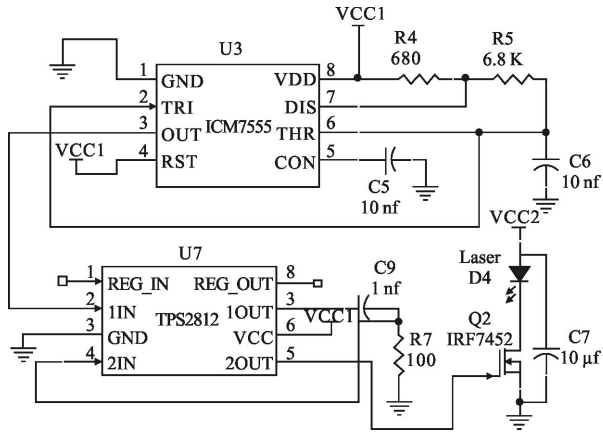


图 6 驱动电路图

Fig.6 Diagram of the drive circuit

实际封装时,由于封装模具体积限制,仅将 TPS2812 和功率 MOSFET 封装进去。并引出 5 个引脚。如图 7 所示。

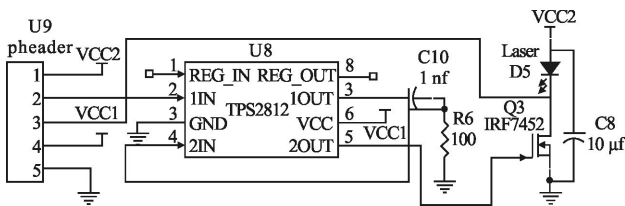


图 7 激光二极管内部的电路

Fig.7 Circuit in the laser diode

引脚 1 接驱动激光二极管的电源 VCC2,引脚 2 接一方波信号,引脚 3 可作为激光二极管的测试引脚,引脚 4 接 TPS2812 的电源 VCC1,引脚 5 接地。

实际实现该电路时,TPS2812 和 IRF7452 均采用裸片,并用金线将其引脚引出,在 PCB 板上实现互联。

### 3 激光二极管的安装

激光二极管整体封装示意图如图 8 所示。

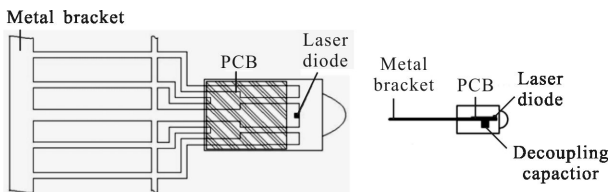


图 8 金属支架组装示意图

Fig.8 Schematic diagram to show how to assemble the metal bracket

制作好的激光二极管成品大小为  $\varphi 8\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ ,如图 9 所示。

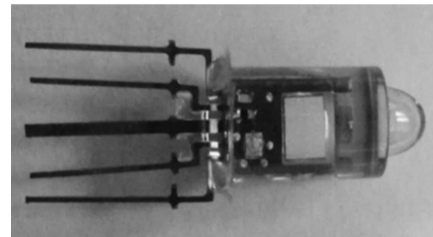


图 9 激光二极管成品

Fig.9 Finished laser diode

## 4 实验与测试

### 4.1 电路测试

将激光二极管驱动电路其余部分制作成测试电路,如图 10 所示。

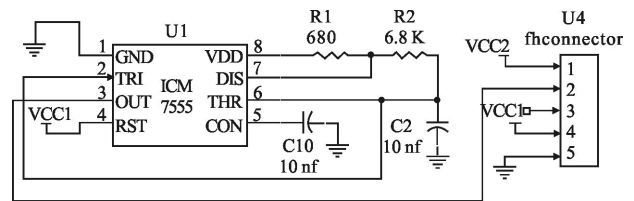


图 10 激光二极管外接电路

Fig.10 Diagram of the circuit of the external power source of the laser diode

使用驱动电路对激光二极管进行测试,并采用光电探测器接收光信号,测得该激光二极管封装目前可以得到的最大峰值功率约为 35 W,得到的光脉冲波形如图 11 所示。

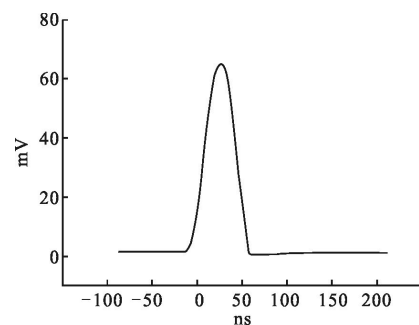


图 11 光脉冲波形

Fig.11 Waveform of the optical pulse

### 4.2 灌封测试

由前文讨论可知,激光器的理想安装深度为 5.83 mm,实际制作安装时,由于金属支架和激光器

的相对位置,金属支架和模具的相对位置都会有误差。为了减小安装误差,找出最佳的安装深度,改善出射光束发散角,调节安装深度  $h$ ,并观测实验结果。

如表 2 所示,实际发散角最小位置出现在 5.93 mm 位置。光斑如图 12 所示,该光斑长度约为 30 cm,宽度约为 10 cm。经计算可得其在快轴方向的分散角约为  $1.1^\circ$ ,在慢轴方向分散角约为  $3.3^\circ$ 。

表 2 安装深度与 5 m 处发散角

Tab.2 Installation depth and the divergence angle at 5 m

H/mm	Fast-axial/( $^\circ$ )	Slow-axial/( $^\circ$ )
5.73	2.3	5.3
5.83	1.7	4.1
5.93	1.1	3.3
6.03	1.8	4.7
6.13	2.5	6

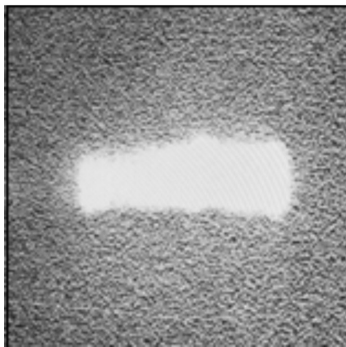


图 12 5 m 处光斑

Fig.12 Output beam at 5 m (window size: 0.5 m $\times$ 0.5 m)

## 5 结论

文中设计了一种基于环氧封装的自带驱动电路的激光二极管,将半导体激光二极管、驱动模块、金属支架封装在一起,并使用测试电路对其进行了测试。

实验结果证明该激光二极管的驱动电路及封装

较好地满足激光二极管的大电流窄脉宽的驱动要求。而在光束整形方面,激光二极管未整形时发散角在快轴方向约为  $30^\circ$ ,其在慢轴方向约为  $15^\circ$ ,该激光二极管在快轴方向的分散角为  $1.1^\circ$ ,在慢轴方向分散角为  $3.3^\circ$ 。实验结果说明该整形透镜起到了一定的整形作用。

文中设计的激光二极管具有体积小、成本低、抗冲击、效率高、易制作等优点,解决了驱动电路简单,无光束整形功能的问题,可以广泛应用于工业、医疗、通信、军事等领域,具有较高的使用价值。

## 参考文献:

- [1] Luo Daxin, Zhao Baiqin. Laser beam shaping and packaging system [C]//Proceedings of SPIE -The International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Advanced Optical Manufacturing Technologies, 2012, 8416(6): 1010-1015.
- [2] Ma Xiaoyu, Wang Jun, Liu Suping. Present situation of investigations and applications in high power semiconductor lasers [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(2): 189-194. (in Chinese)  
马晓宇,王军,刘素平.国内大功率半导体激光器研究及应用现状[J].*红外与激光工程*,2008,37(2):189-194.
- [3] Xin Guofeng, Zhai Ronghui, Cheng Gaoting. Packaging techniques of high power semiconductor laser arrays [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2005, 42(8): 54-57. (in Chinese)  
辛国锋,翟荣辉,程高婷.大功率半导体激光器阵列的封装技术[J].*激光与光电子进展*,2005,42(8):54-57.
- [4] Guo Mingxiu, Shen Guangqun, Lu Yutian. The laser beam shaping technology of the laser diode [J]. *Laser Technology*, 2003, 27(4): 357-361. (in Chinese)  
郭明秀,沈光群,卢雨田.激光二极管的光束整形技术[J].*激光技术*,2003,27(4):357-361
- [5] Wang S H, Tay C J, Quan C. Study of collimating laser diode beam by a graded-index optical fibre [J]. *Opt*, 2001, 112(11): 531-535.