

# 半导体激光器的光学准直<sup>\*</sup>

李 贤<sup>\*\*</sup> 周 宇 曾广荣

(电子科技大学应用物理所 成都 610054)

**【摘要】** 对半导体激光器进行光学准直是空间光通信系统必须进行的重要工作。文中简述了准直通常使用的方法,测试了使用单透镜对一种 35 mW 半导体激光器的准直结果,准直效率约为 60%,准直后的发射角为 0.4~0.75 mrad。

**关键词** 半导体激光器;光学准直;发散角;光通信

中图分类号 TN248.4

半导体激光器的体积小、重量轻、寿命长等优点,是其他种类的激光器所无法比拟的,是光通信系统首选的激光器,对光纤通信系统是如此,对空间光通信系统也是主要的激光光源。

对于一个具有搜索、捕获和跟踪(ATP)功能的半导体激光通信系统,常采用信标光和信号光分离的方法。因此,对于这样的通信系统,就要求有二只不同的激光器。通常,信标光由于发射角较大,常采用输出功率较大的激光器;信号光由于有传输码率的要求,多选用输出功率较小、调制频率较高的激光器,这是由于大功率激光器受结电容的影响,限制了调制频率的提高。

为了在通信系统的接收端获得足够的光功率,发射端应以适当的发射角发出激光。我们可以根据传输方程,计算接收端收到的光功率大小。传输方程可写为

$$P_L = P_0 \eta_T \eta_R e^{-\alpha L} \left( \frac{d_R}{\theta_L L} \right)^2 \quad (1)$$

式中  $\eta_T$  为发射天线效率;  $\eta_R$  为接收天线效率;  $d_R$  为接收天线口径;  $L$  为传输距离;  $\alpha$  为大气衰减系数;  $\theta_L$  为光源发射角;  $e^{-\alpha L}$  为大气吸收和散射损耗,  $\left( \frac{d_R}{\theta_L L} \right)^2$  项表征了光功率的几何损耗。可以看出,接收端收到的光功率与光束发射角的平方成反比。

对于地面大气中传输的通信系统,传输距离常为几公里至十几公里,光功率几何损耗较小,但大气衰减很大,较差的天气下,其损耗可达 3~9 dB/km;对于卫星间的光通信系统来说,虽然不考虑大气衰减,但由于传输距离远(几千公里至几万公里),其几何损耗也是很大的。我们不可能仅靠增加发射光功率和接收口径来增加,因此必须选择足够小的光束发射角  $\theta_L$ ,以保证获得足够的光功率。当然,过小的发射角将使对准和跟踪产生困难。对工作距离为数公里的地面光通信系统,信标光的发射角可选择数毫弧度,信号光可选择零点几毫弧度。对于工作于数万公里的卫星间光通信系统,其信标光发射角常为数十至数百微弧度,信号光为十到几十微弧度。可见,对发射激光器进行发射角的压缩是必须进行的重要工作。

## 1 半导体激光器的发射角

图 1 为最简单的半导体激光器,同质结半导体激光器的结构简图<sup>[1]</sup>。其发光区为  $d \times w$ ,对于输出功率在零点几至几毫瓦的激光器, $d$  为 0.1~0.2  $\mu\text{m}$ , $w$  为 5~15  $\mu\text{m}$ 。对于输出功率在几

1998 年 8 月 30 日收稿

\* 国家科委 863 高科技项目,基金号:863.31.3.5.2

\*\* 男 54 岁 大学 副教授

百毫瓦至几瓦的较大功率的激光器,  $d$  为  $1 \sim 2 \mu\text{m}$ ,  $w$  为一至几百微米。由于其激活区均为狭长的矩形, 其长宽的差异导致了输出激光发射角的两向异性。这种各向异性是由于垂直于 p-n 结的激活区厚度狭窄, 衍射作用较强, 而平行于 p-n 结方向的激活层有较大的宽度, 相应的衍射作用较弱的缘故。

由于激活区是一个狭长的区域, 可以用单缝衍射公式来计算光束发射角

$$\theta = \arcsin\left[\frac{\lambda}{\alpha}\right] \quad \text{了准 (2)}$$

式中  $\lambda$  为光波波长;  $\alpha$  为狭缝宽度: 对  $\theta_{\perp}$ ,  $\alpha = d$ ; 对  $\theta_{\parallel}$ ,  $\alpha = w$ 。

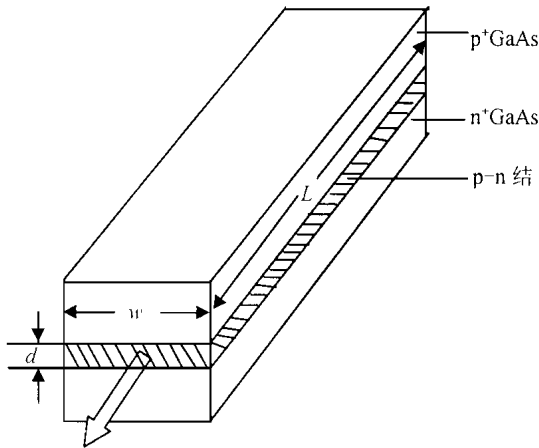


图 1 同质结半导体激光器结构简图

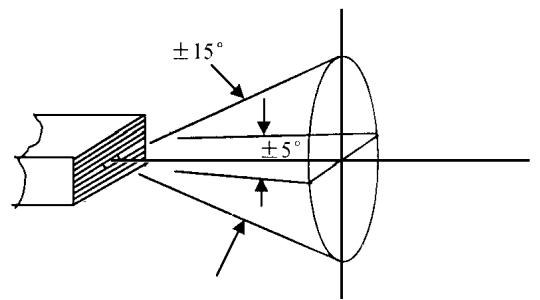


图 2 激光器的发射角

图 2 为半导体激光器激光输出发射角的示意图<sup>[2]</sup>。对于不同的激光器其发射角的区别很大,  $\theta_{\parallel}$  通常在几到十几度之间,  $\theta_{\perp}$  常为十几到几十度之间。 $\theta_{\perp}/\theta_{\parallel}$  的差别也很大, 大的可达到 6:1。这给发射角的压缩造成了困难。

## 2 单透镜准直系统

由于对激光器发射角的压缩倍率很高, 可达数百倍以上, 因此, 较适宜于采用单透镜准直而不采用望远镜系统。使用 3 到 4 片球透镜组成的胶合镜其效果优于使用一块透镜, 这类系统的  $F$  数一般都在 1 左右。

使用单透镜对一只输出功率为 35 mW 的激光器进行了光束压缩。图 3 为 60 m 处的光斑形状测试结果。

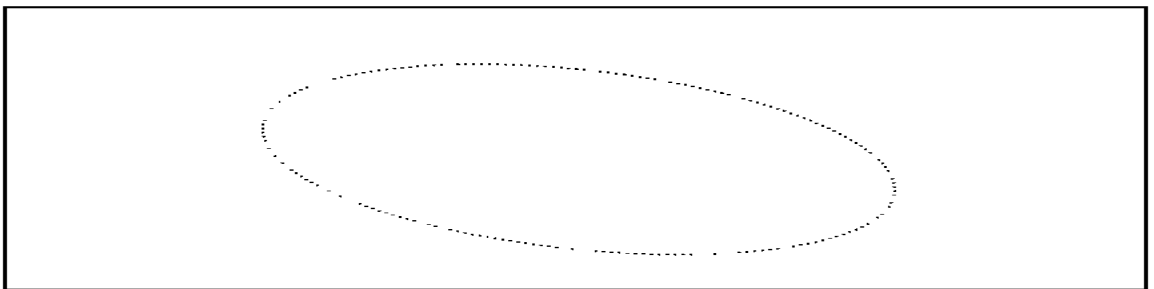


图 3 60 m 处的光斑形状

可见其光斑仍为一椭圆, 其长轴为 4.5 cm, 短轴为 2.4 cm, 其发射角为  $\theta_{\parallel} = 0.75 \text{ mrad}$ ,  $\theta_{\perp} = 0.4 \text{ mrad}$ 。对其在 40 m 处进行同样的测试, 得到几乎相同的光斑形状和发射角。

对准直后的光功率进行测试, 输出功率为 21.4 mW, 其准直效率为  $21.4/35=60\%$ 。

### 3 大功率半导体激光器的准直

大功率半导体激光器激活层的长宽比太大, 一般为数百比 1。仅使用单透镜系统进行准直, 效率较低, 同时准直效果也不大理想, 准直后往往形成椭圆形, 且长轴与短轴之比很大, 可到 4:1~5:1。这样的光斑不但能量分散, 且对 ATP 系统的误差信号提取产生很大的困难。这种情况下, 可另加一柱面镜, 仅对进行压缩, 可获得较理想的发射角。

另一种方法是先将激光器的输出耦合入一光纤中, 通常耦合于一多模光纤中, 耦合效率可达到 30%~50%。光纤输出端使用一只棒透镜, 使发射角得以压缩。光纤可打乱激光高斯分布的相位, 使光束质量得以改善。经过棒透镜后的输出光束具有较好的光束质量和准直特性, 再经过适当的透镜或望远系统将光束发射角压缩到合适的程度。

### 4 讨论

在空间激光通信系统中, 发射光束必须具有合适的发射角。在保证 ATP 能正常工作的前提下, 较小的发射角有利于信噪比的提高和增加工作距离, 小功率激光器的准直相对比较容易, 且准直效率也较高。大功率激光器准直比较困难, 且效率也较低。由于激光器发射角的离散性, 准直光学系统应和激光器配合起来精心调整, 更换参数差别较大的激光器, 准直光学系统通常应重新调整或重新进行参数设计, 这给应用带来一定困难。国内在小功率激光器方面相对较成熟, 大功率激光器的准直还有许多工作需要进行研究。

#### 参 考 文 献

- 1 高炜烈, 张金菊. 光纤通信. 北京: 人民邮电出版社, 1993
- 2 赵梓森. 单模光纤通信系统原理. 北京: 人民邮电出版社, 1988

## Optical Collimation of Semiconductor Laser

Li Xian Zhou Yu Zeng Guangrong

(Institute of Applied Physics, UEST of China, Chengdu 610054)

**Abstract** In laser space communication systems, the optical collimation of semiconductor laser is important. In this paper, general ways of the collimation is described, and the semiconductor laser of 35mW is collimated using one len. The results are given. The efficiency of the collimation is about 60% and the angle of divergence is about 0.4~0.75mrad

**Key words** semiconductor laser; optical collimation; angle of divergence; optical communication