

文章编号: 1001-3806(2003)03-0243-02

脉冲式半导体激光器准直光学系统的设计

陈炳林 张 河 孙全意

(南京理工大学 204 教研室,南京,210094)

摘要: 根据具体的探测环境和探测精度,通过理论分析,提出了脉冲式半导体激光器准直光束的单透镜设计方法和柱面透镜的设计方法,并且给出了具体的设计参数。可以获得高斯光束的准直发散角为 1.48mrad;高斯光束的腰粗为 0.325mm。

关键词: 脉冲式半导体激光器;准直光学系统;透镜

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A

Collimating optical systems of the pulse semiconductor laser

Chen Binglin, Zhang He, Sun Quanyi

(204 Staff Room, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094)

Abstract: Based on the required precision and actual detection background, single-lens and cylinder lens design methods are proposed to collimate the beam of pulse semiconductor lasers and their design parameters are presented. With these methods, beam divergence of 1.48mrad and waist diameter of 0.325mm can be obtained.

Key words: pulse semiconductor laser; collimating optical system; lens

引 言

半导体激光器由于体积小、光电转换率高、易于集成、可高速直接调制等优点越来越受到青睐。它广泛应用于各个领域,尤其探测方面。激光发射光学系统是激光探测系统的重要组成部分,它直接影响探测的效果。鉴于准直光学系统设计的复杂性和体积大的缺点,在参考了大量国内外文献的基础上,根据半导体激光器的高斯光束的特点,通过理论推导和实验分析,得出了脉冲式半导体激光器单级发射光学系统的准直方法,并且给出了设计方案。

1 脉冲式激光准直发射光学系统的设计

由理论分析可知,半导体激光器的光束是空间矩形球面波,周向发散角不一样(如图 1 所示),所以,给设计光学系统带来了诸多不便。根据理论分析和实验数据结果,总结了单透镜光学系统和柱面光学系统的设计方案。

1.1 单透镜光学系统的设计

单级准直光学系统一般用于激光照明、激光近

作者简介:陈炳林,男,1977 年 3 月出生。博士研究生。主要从事激光探测和目标识别的研究。

收稿日期:2002-06-14;收到修改稿日期:2002-07-24

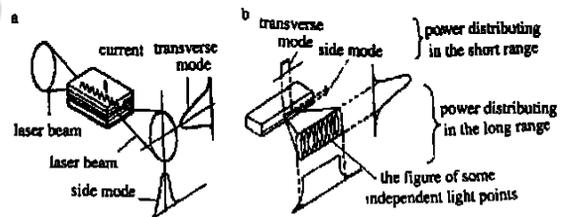


Fig. 1 The spatial mode structure of semiconductor laser
a—transverse mode and side mode of semiconductor laser
b—the short range and long range of semiconductor laser with side modes

程探测等方面。在从事激光近炸引信(用于迫弹)的实验中,为了减小引信的体积,降低引信成本,半导体激光器的光学准直系统一般都不采用 2 级或多级光学准直系统,而是采用单级单透镜光学系统。在设计光学系统的时候,应全面考虑系统的性能:不但要满足准直性能,而且也要满足功率和体积等其它方面的要求,这就关系到透镜的焦距、孔径等参数。一般激光器在水平方向发散角较小,垂直方向的发散角较大。如果系统物方孔径角全部包容,那么系统的体积就会变的很大,使系统像差矫正困难。综合考虑,可以根据高斯光束的特点,利用切割整型的方法,在保证功率的前提下,摒弃边缘的一小部分,使体积和发射功率等方面得到统一,如图 2 所示。另外,这样可使它的水平发散角和垂直发散角变小,并且接近。

为了减小准直光学系统的体积,可以把发射准直光学系统做一个直径为18mm的接收光学系统里面,选择的发射光学系统的透镜的直径为8mm,这样可以使发射准直光学系统和接收光学系统的总

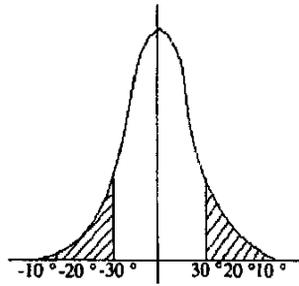


Fig. 2 The sketch of beam of light incised perpendicularity

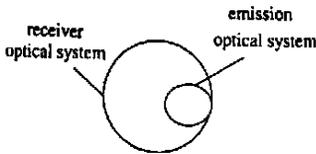


Fig. 3 The sketch of optical system

体积大大减小。图3是实验时用的光学系统的示意图。

经过多次实验,选择的单级准直系统高重复频率半导体激光器的发射波长为0.910μm,驱动电流小于20A,发散角为40°×10°,发光功率为5W,脉冲宽度为100ns~200ns,重复频率为100kHz。根据高斯光束的传播特性可知,在单透镜的情况下,当入射高斯光束的束腰处在透镜的焦平面上时,准直后的发散角最小。但从原理上讲,单透镜是不可能把高斯光变成平面波的;因此,应把半导体激光器的发光有源层放置在焦点上,这样探测到的激光的回波信号经处理电路后也很清晰。图4是在探测背景是水泥时,得到的探测回波信号。

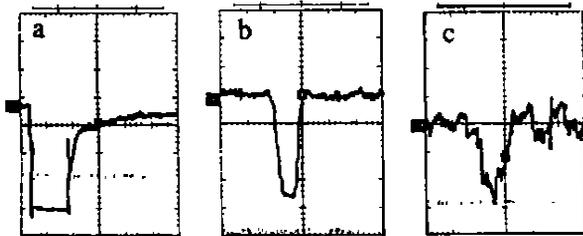


Fig. 4 The echo signal detected when the background is concrete
a—echo signal when the range detected is 1m b—echo signal when the range detected is 3m c—echo signal when the range detected is 10m

根据探测信号情况分析,该单透镜的准直系统比较实用。在阴雨天、晴天、雨雾天分别以水泥、灌木丛、木板为目标进行实验。结论是:该单透镜的准直系统既能满足探测的精度、体积大小的要求,又能满足经济方面的要求;一般可用于激光近程探测、激光近炸引信的迫弹上面。当然,国外也有一些把激光近炸引信的激光探测系统做成2级或多级系统,如美国“响尾蛇”导弹的激光近炸引信和AGM-88A型高速反雷达导弹近炸引信,它们多用于导弹上。

1.2 柱面光学系统的设计

这种光学系统虽然满足了在10m以内的探测精度,但是在10m以外它就无能为力了。从实验的结果看,在探测距离为10m时信噪比已经严重恶化,原因是它并不是严格意义上的准直系统。想得到准直性能很高的光学系统,必须对半导体激光器的垂直方向和平行方向分别进行准直。根据准直倍率可以知道,透镜的焦距越长准直效果就越好,但焦距增大的同时必须增大其通光孔径,否则将减少转换率。对于单结半导体激光器,可以通过增大其数值孔径的方法来提高其准直效果;对于阵列型激光器而言,它的发光区的间距已经确定了,用只有一个厚度变量的透镜无法真正校正边光球差和带光球差,那么,只能通过控制透镜的面形来达到效果。一种方法是利用折射和衍射混合的方法来进行准直,另一种方法就是采用柱面透镜的方法来分别进行垂直方向和水平方向上的发散角的校正。下面对于第2种方法进行详细分析并给出设计方案。

透镜的两个重要参数是数值孔径和焦距。对于发射波长为904nm的半导体激光器,高斯光束的发散角为30°×10°,这样可以得出透镜的数值孔径在垂直方向: $NA = \sin(30^\circ \times 1.7/2) = 0.430511$;在平行方向: $NA = \sin(10^\circ \times 1.7/2) = 1.47809$ 。由于半导体激光器的光束是高斯光束,在设计光学系统时要考虑高斯光束的透镜变换特性。在理论分析方面可以得到:在垂直或水平某一方向上它符合透镜成像公式。假设透镜的焦距 $f = 5\text{mm}$,物距 $L = 6\text{mm}$,由透镜的变换公式: $1/L + 1/L = 1/f$ (1) 通过理论分析数学推导可以分别求出经过透镜折射后的横模和侧模的束腰位置 z_1, z_2 和它们的束腰半径 r_1, r_2 。由于在横模和侧模方向的发散角不同, z_1 和 z_2 的位置也不同,且 $z_1 > z_2$,束腰半径 $r_1 > r_2$ 。假设在 z_1 处放置一正柱面透镜 m_1 ,在 z_2 处放置一负柱面透镜 m_2 ,它们的焦距分别为 f_1, f_2 ,正柱面透镜的焦距 f_1 为 z_1 和 z_2 的间隔距离,负柱面透镜的焦距为: $f_2 = (\dots) \sqrt{ (\dots)^2 - 1}$ (2) 式中, r_0, r_0' 分别是半导体激光光束准直前的平行方向的束腰半径和垂直方向的束腰半径。这样,在横模光线经负柱面透镜后,就以平行的形式传播,它的束腰位置就在负柱面透镜处;而侧模的光线经正柱面透镜后,会以平行的光线传播,也满足了 $r_1 = r_2$ 。假设透镜的轴向像散不是很大,在 $f = 5\text{mm}$, $L = 6\text{mm}$, $\lambda = 910\text{nm}$ 的条件下,可以求得:负柱面透镜 (下转第247页)

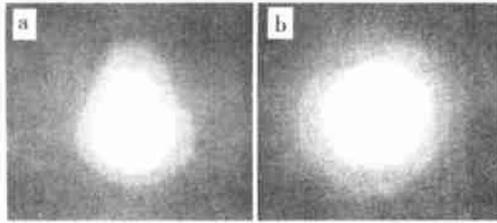


Fig. 5 a—the beam shape with one BBO
b—the beam shape with two BBO

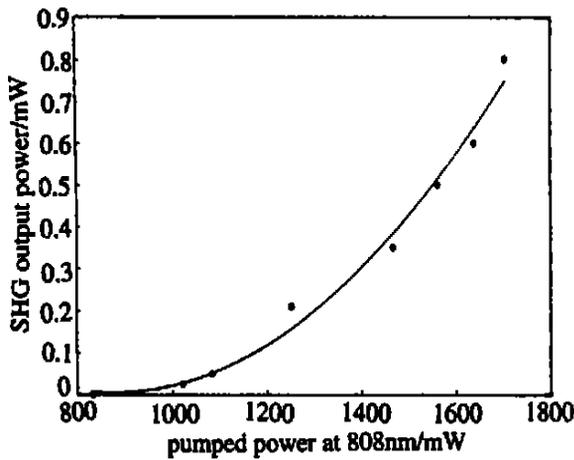


Fig. 6 The SHG output power at 473nm with two BBO crystals via the pump power at 808nm

因是在谐振器内放入两个 BBO 倍频晶体,增加了谐

振腔内的插入损耗,阈值功率也随之增加,LD 的泵浦功率接近于激光器运行的阈值功率,因此,造成倍频光输出功率偏低。如果采用大功率 LD 作为泵浦源,精确控制倍频晶体的温度,则倍频光输出功率应迅速增加。

从上述理论和实验可以看出,对于 LD 泵浦的腔内倍频激光器,可以利用两个倍频晶体成 180° 放置的方法,使走离效应在两个倍频晶体中抵消或得到补偿,从而改善 BBO 晶体的走离效应对倍频过程的影响。这种方法不仅增加了 BBO 晶体的有效相互作用长度并提高了光斑质量,为 BBO 晶体在腔内倍频激光器中应用开拓了前景。

参 考 文 献

- [1] Gaebler V, Liu B N, Eichler H J. Opt Lett, 2000, 25(18): 1343 ~ 1345.
- [2] Matthews D G, Conroy R S, Sinclair B D. Opt Lett, 1996, 21(3): 198 ~ 200.
- [3] Zeller P, Peuser P. Opt Lett, 2000, 25(1): 34 ~ 36.
- [4] Du G G, Ruan S Ch, Zhu Q. Acta Photonica Sinica, 2001, 30(11): 1392 ~ 1394.
- [5] 亚里夫 A. 量子电子学. 上海: 科学技术出版社, 1983: 443 ~ 447.
- [6] 蓝信钜. 激光技术. 北京: 科学出版社, 2000: 231 ~ 236.

(上接第 244 页)

的焦距 $f_1 = 12.5733\text{mm}$, 正柱面透镜的焦距 $f_2 = 24.343\text{mm}$ 。这样得到的准直光束腰粗为 0.325mm , 发散角为 1.48mrad 。对于不同发散角的激光器, 得到的准直光束的腰粗、发散角虽然各不相同, 但是它们的指标基本上都能满足实验的需要。

采用的脉冲高峰值功率半导体激光器的发射波长为 $0.910\mu\text{m}$, 驱动电流小于 35A , 发散角为 $40^\circ \times 10^\circ$, 发光功率为 30W , 脉冲宽度为 $100\text{ns} \sim 200\text{ns}$, 重复频率小于 5kHz , 体积为 120mm^3 , 直径为 10mm , 峰值功率为 50W 。

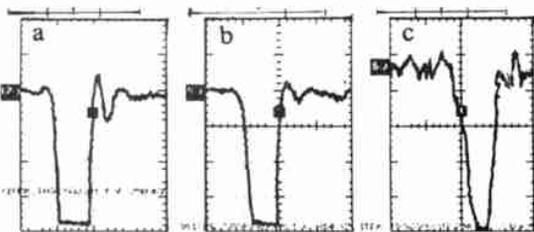


Fig. 5 Detected echo signal when the background is concrete at the detected range of a—100m b—150m c—200m

图5是利用该光学系统进行实验的结果。从

实验结果采集的回波信号可分析到, 该系统的光学准直性能很高, 在探测到 200m 时, 得到的回波信号还是很强的, 但该系统的体积却随之增大。一般情况下, 探测距离增加是以体积的增大和系统的复杂作为牺牲的。该光学系统一般可用于中距离的探测。

2 结 论

根据半导体激光器的光束的特点, 在精度允许的情况下, 用单透镜实现准直, 既简单、方便又经济实用; 在探测距离远时, 利用柱面透镜进行准直, 可以做到准直性能很高的系统。

参 考 文 献

- [1] 张登臣, 郁道银. 实用光学设计方法与现代光学系统. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [2] 黄德修, 刘雪峰. Semiconductor lasers and their application. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [3] Housand B J. Combined laser/optics system. United States Patent: 6359681, 1997-04-01.
- [4] Buus J. Semiconductor lasers for WDM systems. IEEE 17th International Conference. Toronto, 2000.
- [5] 杨志文. 光学测量. 北京: 北京理工大学出版社, 1992.