

半导体激光器激光光束的研究^{*}

张倩琳^{**}

(电子科技大学 成都 610054)

摘要:分析了半导体激光器的特征,从激光束的半宽度和激光光束发散角两个方面分析了高斯光束的结构特性,研究了激光束通过薄透镜的变换规律,求出会聚后高斯光束腰的宽度和位置,根据束腰位置与焦距的大小关系讨论了高斯光束的聚焦问题。研究了利用柱面透镜对激光光束的准直整形实验原理及实验装置、方法,在此基础上讨论了激光光束发散角的测量方法。

关键词:高斯光束;准直整形;发散角

中图分类号: TN24 · 9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 4550 (2006) 07 - 0022 - 03

Study on the Laser Beam of Semiconductor Laser

ZHANG Qian-lin

(University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract: This paper discusses the characteristic of Semiconductor Laser Disk, and analyzes Gauss Beam's structure characteristic from two aspects: half width and divergence angle. It also studies the transformation law of Gauss Beam passing through thin lens, and then gets the values of half width and location of Gauss Beam's waist. According to the size relation between focal length and location, this paper discusses the focusing of Gauss Beam. And then a study on principles and the method of collimation and cribbing with cylindrical lens is carried out, and a method to measure the divergence angle of laser beam is put forward.

Key words: Gauss beam; collimation and cribbing; divergence angle

1 引言

20世纪60年代激光的出现给人们提供了一种崭新的强相干光源。激光具有亮度高、单色性好、方向性强等优点,因而应用在激光加工、激光精密测量与定位、光学信息处理和全息术、光通信等诸多领域。但无论是哪方面的应用,都离不开激光束的传输。学习激光束光学的知识,了解激光束传输和变换的规律,将会帮助我们解决实用的激光光学系统设计和计算问题,这也是激光技术应用的一个重要问题。

2 半导体激光器特性

半导体激光器是用半导体材料作为工作物质的

一类激光器,其结构示意图如图1所示。图中二极管作用区的厚度在 $0.1\mu\text{m}$ 左右。两个端面抛光成平行平面,别处两个面进行粗磨以便抑制在这个方向上的振荡。光束的模向尺寸约在 $40\mu\text{m}$ 左右,远大于满打满算区宽度($1\mu\text{m}$)。由于半导体的谐振反射镜很小,且垂直与水平方向大小不均,造成半导体激光器方向性不够好,且不均匀。其水平方向光束发散角半角度约 5° ;垂直方向上约 30° 。

3 高斯光束特性

由于谐振腔中光波的衍射,激光光束是高斯光束,沿 z 轴传播的激光光束的截面上光强分布 (X, Y) 和复振幅分布的模函数 $|U(X, Y)|$ 分别为:

^{*} [收稿日期] 2006 - 06 - 20; [修改日期] 2006 - 07 - 15

^{**} [作者简介] 张倩琳(1985 -),女,本科生,就读于光电信息学院。

$$I(x,y) = I_0 e^{-2(x^2+y^2)/2(z)}$$
 (1)

$$|U(x,y)| = U_0 e^{-(x^2+y^2)/2(z)}$$
 (2)

激光光束的半宽度定义为 $|U(X,Y)|$ 减少到中心最大值的 $1/e$, 或光强为中心最大值的 $1/e^2$ 处到中心的距离, 如图 2 所示。

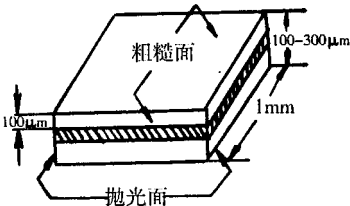


图 1 半导体激光器结构示意图

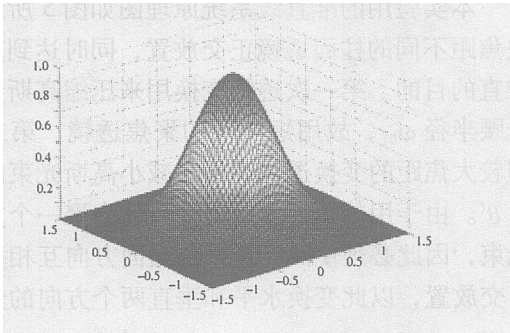


图 2 激光光束光强分布立体图

由式 (1)、式 (2) 得到半宽度 (z) :

$$(z) = 0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{f}\right)^2} = 0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{0}\right)^2}$$

高斯球面波在截面 $X - Y$ 上的复振幅分布为 :

$$U(x,y) = U_2 e^{-(x^2+y^2)/2(z)} e^{-i(x^2+y^2)/R}$$

令

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{R} - i \frac{1}{2(z)} \tag{3}$$

则

$$U(x,y) = U_0 e^{-(x^2+y^2)/q}$$

其中, q 为复曲率半径, 包含激光光束波面的曲率半径 R , 也包含激光光束截面上振幅按高斯分布的特性。

高斯光束在传播过程中, 曲率半径在不断变化, 光束最细处称为光腰, 且取作 z 轴的原点 $R(0) =$, 光腰的半径宽度记为 $0 = (0)$, q_0 为 $Z=0$ 处的值, 于是:

$$q(z) = q_0 + z \tag{4}$$

$$q_0 = i \frac{0}{2} \tag{5}$$

由式 (3)、式 (4) 和式 (5), 得到

$$R(z) = \left\{ 1 + \frac{0}{2(z)} \right\}$$

$$^2(z) = \left\{ 1 + \frac{^2 Z}{4} \right\}$$

激光光束沿传输方向的轨迹为双曲线, 光腰部位光束口径最小, 越偏离光腰, 光束口径越大, 所以激光光束应是一束发散的光束, 其发散角 2 可用双曲线渐进线之间的夹角表示。由激光光束半宽度可定义其远场发散角为:

$$1/e^2 = \lim_{z \rightarrow 0} \frac{2(z)}{z} = 2 \frac{0}{0} =$$

$$0.0636 \frac{7}{0} = 2 \sqrt{\frac{f}{f}} = 1.128 \sqrt{\frac{f}{f}}$$

4 薄透镜对高斯光束的变换

我们已知透镜成像公式: $\frac{1}{l} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f}$, 其中 f 为透镜焦距。高斯光束通过薄透镜变换的情形如图 3 所示。

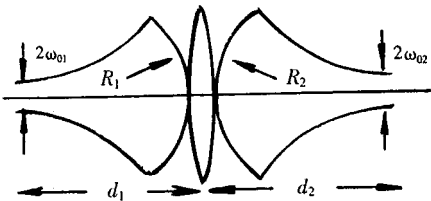


图 3 高斯光束通过薄透镜变换示意图

入射高斯光束腰宽 2_{01} , 腰位于透镜前距离处 d_1 ; 入射高斯球面波半径为 R_1 , 入射光束射到透镜前面时宽度为 2_{1} 。光束通过透镜后出射光束宽度为 2_{2} , 球面波半径为 R_2 , 会聚光束的腰宽 2_{02} , 光腰在透镜后距离 d_2 处。入射波复曲率半径为 q_1 , 出射波复曲率半径为 q_2 。

$$\frac{1}{q_1} = \frac{1}{R} - i \frac{1}{^2_1(z)}$$

$$\frac{1}{q_2} = \frac{1}{R_2} - i \frac{1}{^2_2(z)}$$

对于薄透镜 $\begin{cases} 1 = 2 \\ \frac{1}{q_2} = \frac{1}{q_1} - \frac{1}{f} \end{cases}$ 根据传播规律 $\begin{cases} q_1 = q_{01} + d_1 \\ q_2 = q_{02} + d_2 \end{cases}$

得到

$$\begin{cases} q_{01} = i \frac{^2_{01}}{0} \\ q_{02} = i \frac{^2_{02}}{0} \end{cases}$$

由以上六式即可求出会聚后高斯光束腰的宽度 $_{02}$ 和位置 d_2 分别为:

$$\frac{1}{d_2} = \frac{1}{d_1} \left[\left(1 - \frac{d_1}{f} \right)^2 + \left(\frac{d_1}{f} \right)^2 \right]$$

$$d_2 = f - (f - d_1) / \left[\left(1 - \frac{d_1}{f} \right)^2 + \left(\frac{d_1}{f} \right)^2 \right]$$

5 高斯光束的聚焦

情况 1. $d_1 < f$: 随 d_1 减小, d_2 也减小, 当 $d_1 = 0$ 时, d_2 达最小值。即当透镜位于入射高斯光束腰部, 出射高斯光束的腰部变细 $d_2 < d_1$, 且 $d_2 < f$ 。

情况 2. $d_1 > f$: 当 d_1 增大, d_2 减小。

情况 3. $d_1 = f$: 此时 d_2 是极大值 $d_2 = \frac{f}{0}$, $d_2 = f$ 。

若所用透镜焦距较短, 会聚的光束腰部也较细。

6 高斯光束的整形与准直

半导体激光器 (LD) 的光束的空间分布用近场和远场来描述。近场是指激光器输出反射镜面上的光强分布, 远场是指离反射面一定距离处的光强分布。近场和远场是由谐振腔 (有源区) 的横向尺寸, 即平行于半导体 PN 结平面的宽度 a 和垂直于结平面的厚度 b 所决定, 称为激光器的横模。平行于结平面的谐振腔宽度 a 由宽变窄, 场图呈现出由多横模变为单横模, 垂直于结平面的谐振腔厚度 b 很薄, 这个方向总是单横模。典型半导体激光器的远场辐射特性如图 4 所示。图中 θ_1 和 θ_2 分别为垂直于结平面和平行于结平面的辐射角, 且 $\theta_1 > \theta_2$, 因此整个光束的横截面呈椭圆形。为了达到整形目的, 即让光束的横截面趋于圆, 必须采用两块焦距不同的柱面透镜分别对垂直方向光束和水平方向光束进行不同程度的聚焦, 以达到在白屏上投影出理想的圆形光斑。

为了应用目的常常需要准直的激光光束。准直意味着发散角趋于 0。由发散角定义

$$\theta = \frac{d}{f}$$

再根据 θ 的计算式得到:

$$\theta = \sqrt{\frac{1}{f^2} \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 + \frac{1}{f^2} \left(\frac{d_2}{2} \right)^2}$$

当 $d_1 = -f$ 时, $\theta = \frac{d_2}{f}$

— 24 —

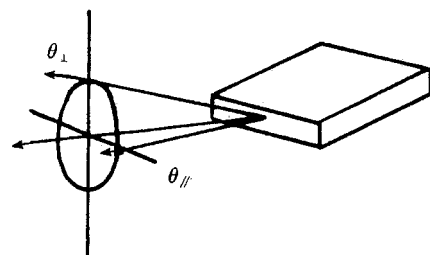


图 4 半导体激光器的远场辐射特性示意图

可见要想获得较小的 θ , 必须减小 d_1 和加大 f 。

7 实验装置的原理及组成

本实验用的准直线系统原理图如图 5 所示, 两块焦距不同的柱面透镜正交放置, 同时达到整形与准直的目的。第一次透镜变换用来压缩高斯光束的光腰半径 d_1 , 故用短焦距的聚焦透镜; 第二次使用较大焦距的变换透镜, 用来减小高斯光束的发散角 θ 。由于用的是柱面透镜, 只能会聚一个方向的光束, 因此必须使两个透镜的凸面方向互相垂直即正交放置, 以此变换水平和垂直两个方向的光束。

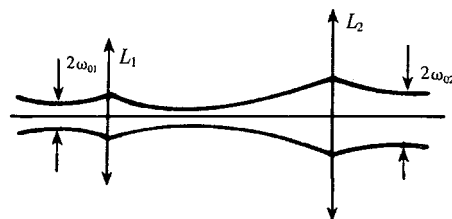


图 5 准直系统原理图

实验装置如图 6 所示。从左至右依次为: 带游标刻度尺的测量白屏, 柱面透镜 L_1 、 L_2 , 带驱动模块的半导体激光器。

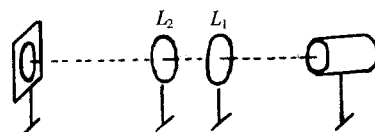


图 6 实验装置图

8 讨论

高斯光束的传播问题不能用几何光学的方法进行研究, 必须用物理光学中的衍射理论来研究。激光器发射的激光要通过光学系统输出, 这类光学系统的设计与一般光学仪器如望远镜、显微镜中的光学系统是有差别的。

本实验在激光整形中用到的柱面透镜不能由一
(下转第 144 页)

从图 1 中, 我们可以看出方程的两个平衡点。平衡点 $A(1, 0)$, 此时艾滋病在总人口中的比例为 100%。整个国家只有感染者, 已经失去了控制艾滋病的意义。在平衡点 $B(\frac{k_2}{(1-k_1)}, 0)$, 此时感染者的增长率为 0。一个国家的感染者占总人口的比例应对应 OA 中的某一点 C , 当 C 点位于 BA 之间, 艾滋病的感染者占总人口中的比例 i 将增大, 当 C 点位于 OB 之间, i 将减小。

平衡点 B 取决于三个参数, k_1, k_2 , 代表了艾滋病病人和健康者的接触情况。 x_2 和 k_1 分别代表了预防性水平和治疗性水平。通过提高治疗性措施和预防性措施的水平, 将平衡点 B 右移, 可以降低艾滋病的传染率。

通过微分方程定性分析所得出的结论, 我们可以得出控制艾滋病的不同方法的效果。

1) 只采取预防性措施。

只保护健康者, 而忽略对感染者的治疗。在模型中也就是将 k_1 置 0, 则

$$\frac{di}{dt} = hi - k_2 h (k_1 = 0)$$

将预防性水平提高, 艾滋病的增长率将出现负增长。

2) 只采取治疗性措施。

只对艾滋病的患者进行治疗而忽视对健康者的预防, 在模型中也就是将 k_2 置 0, 则

$$\frac{di}{dt} = (1 - k_1) hi (k_2 = 0)$$

如果治疗性水平可以达到 100%, 则可以抑制艾滋病感染者的增长。

如果治疗性水平小于 1, 艾滋病感染者将保持低速增长。

3) 同时采取预防性措施和治疗性措施。

同时对艾滋病采取治疗性措施和预防性措施, 并合理调整治疗性措施和预防性措施的水平可以有

效地降低艾滋病的增长率。

不同的控制措施, 对于艾滋病的发展有不同的影响。一个国家采取不同的措施, 资金消耗也是不同的。大量资料表明, 治疗性措施的花费远大于预防性措施。由于资金的限制, 贫穷的国家应当花费更多的资金用于预防性措施, 以降低艾滋病的增长率, 通过采用预防性措施与治疗性措施相结合的方法, 富裕的国家已经很好地控制了艾滋病的传播。

4 模型的评价

我们的预测模型对于艾滋病的传播机理给与了详细的刻画, 同时模型也具有相当的灵活性, 可以考虑更多的因素来更好地体现艾滋病的传播机理, 比如: 根据传播方式的不同, 考虑各个组别艾滋病人群的转化; 艾滋病组别年龄段的进一步细化等; 也可以将艾滋病的控制措施可能产生的影响加入到模型中, 以评估艾滋病的控制力度和采取措施后, 艾滋病的发展情况。此时, 只要在模型中修改相应的参数值即可。

5 结束语

通过对大量数据的分析, 我们建立了一个递推模型, 预测了艾滋病的感染人数。利用了微分方程定性分析的方法, 得出治疗 and 预防性措施都会降低艾滋病传染率以及 ADS 患者的人数的减少只能通过治疗性措施的结论。依据这一结论, 我们根据不同国家的经济状况提出了其相应的控制艾滋病传播的建议。

参考文献

- [1] 徐全智, 杨晋浩. 数学建模 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [2] 姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [3] 安连生. 应用光学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [4] 叶玉堂, 饶建珍, 肖峻. 光学教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 安连生. 应用光学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.

(上接第 24 页)

般球面透镜所替代, 否则将达不到整形目的。有助于学习者对高斯光束的结构特性有更透彻的理解。

参考文献

- [1] 潘笃武, 贾玉润, 陈善华. 光学 [M]. 上海: 复旦大