

文章编号:1001-5078(2004)06-0425-03

# 一种医用半导体激光光疗系统的设计

张小林<sup>1</sup>, 梁忠<sup>2</sup>

(1. 南昌航空工业学院电子工程系, 江西 南昌 330034; 2. 江西省科学院物理所, 江西 南昌 330029)

**摘要:**针对半导体激光器的工作机理及其出射光束的特点,设计了医用半导体激光照射仪的光束变换系统和激光恒流驱动电路,有效地稳定了光功率密度。介绍了系统的组成和工作原理。

**关键词:**激光;功率密度;光束变换;恒流电流

**中图分类号:** TN248.4;R312 **文献标识码:** B

## Laser Diode System for Physic Irradiation

ZHANG Xiao-lin, LIANG Zhong

(1. Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034, China;

2. Institute of Applied Physics, Jiangxi Academy of Science, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** According to the working mechanism of laser diode and the characteristic of light beam, transform system for beam of light and circuit of invariableness current were developed. Laser power density is steadied effectively. The structure and basic principle are described.

**Key words:** laser; power density; transform system for beam of light; power of invariableness current

### 1 引言

光学疗法已经有很长的历史。激光医疗使光疗有了更为广泛和深入的发展,不仅提高了疗效,诊疗范围也大为扩展。目前,在医学大部分领域的临床实际中,激光被广泛使用。

在中功率及低功率激光治疗中,医疗的效果与激光辐射参数(即:激光剂量、照射时间等)有密切的关系,存在所谓的“剂量效应”<sup>[1]</sup>。激光剂量是指激光功率密度和照射时间的乘积。剂量效应具体表现为:激光的功率密度必须大于一个阈值才会产生疗效;存在一个最大剂量值,当实际使用的剂量大于这个最大值时,疗效会降低,甚至起反作用;在治疗过程中,应当逐渐适当加大剂量才能确保疗效。

与其他类型激光器相比,半导体激光器具有小型化,电流驱动,无需高压,使整机系统具有紧凑、安全、高效和容易控制的特点。但半导体激光器发出的激光发射角大,在垂直于结平面的发散角可达 $30^\circ \sim 40^\circ$ ,平行于结平面的发散角一般为 $10^\circ \sim 20^\circ$ <sup>[2]</sup>,因

此,在离激光器不同距离处,激光功率密度有很大变化。医用激光器的功率和光束控制是系统设计时应着重解决的问题。本文对该系统的光束变换和驱动激光器的恒流电源进行了讨论。

### 2 激光束变换系统

#### 2.1 半导体激光的远场图

激光束的空间模式由近场图和远场图来描述。在输出激光的解理面处的光强分布称为近场图;远场图是指以光束轴线为中心、到解理面的距离远大于其激光波长的空间上的激光功率分布,它与光束发散角的大小相关。光束的准直和聚焦系统就决定了远场图。对于边发射的半导体激光器,其内部发光区的波导结构通常是非圆形对称的,有源层的

作者简介:张小林(1969-),讲师,毕业于吉林工业大学光电技术专业,主要研究方向为激光应用及光通信,现为南京航空航天大学在读硕士。Email:EXL.cn@163.com

收稿日期:2004-04-06

宽度比有源层的厚度大得多,所以,有源层截面相当于一个狭缝,利用狭缝衍射理论,可以算出远场中任意一点  $P(x,y)$  处光波的电场  $E(x,y)$ ,再根据傅立叶变换可将  $E(x,y)$  表示为  $U(x,y)$  的函数,并且将激光器中的电场强度近似视为高斯分布,从而得到旁轴条件下当  $I(\infty)/I(0) = 1/2$  时的发散角  $\theta$  [2]

垂直于有源层方向(称横向)的发散角:  

$$\theta_x = 1.2 / d \tag{1}$$

平行于有源层方向(称侧向)的发散角:  

$$\theta_y = \lambda / w \tag{2}$$

其中  $d$  是有源层的厚度,  $w$  表示有源层的宽度。由于  $w$  比  $d$  大得多,可见激光束在横向的发散角比侧向的发散角  $\theta_y$  更大,激光束的远场图呈椭圆形。

### 2.2 光束准直和扩束

由于半导体激光器发出的光束是各方向发散角均很大的椭圆形高斯光束,为在使用时保证一定距离范围内激光功率密度相对恒定,必须对激光束进行变换。由于该系统是用于中功率以下的体外照射,主要考虑的指标是激光功率密度的相对恒定以及一定的光照面积,基于这一点,为降低系统的复杂程度,采用图 1 所示的光学系统进行激光的准直和扩束。

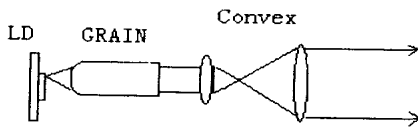


图 1 光学系统

根据半导体激光束的上述特点,采用自聚焦透镜(GRAIN 透镜)对激光进行准直。自聚焦透镜是折射率在径向以近似为抛物线分布的一段光纤,其折射律分布可表示为:

$$n_{(r)}^2 = n_0^2 [1 - 0.5(gr)^2] \quad r < a \tag{3}$$

$r$  是离光纤轴心的距离,  $a$  为纤芯的半径,  $n_0$  是纤芯中心处的折射率,  $g$  是折射率分布系数。近轴光线在自聚焦透镜内的轨迹为周期性的正弦曲线,所以有类似于普通透镜聚焦功能,运用光线矩阵法可求得其焦点到端面的距离(称为截距)为 [3]:

$$S = [n_0 g \tan(gz_0)]^{-1} \tag{4}$$

$z_0$  是自聚焦透镜的长度。可见,焦点的位置随透镜的长度作余切变化。当棒长  $z_0 < P/4$  或  $P/2 < z_0 < 3P/4$  ( $P$  为周期长度,  $P = 2 / g$ ) 时,透镜的焦点在透镜之外,其光线轨迹与普通透镜相似。因此,如果将半导体激光器看成是点光源,并且将激光器调整到

位于自聚焦透镜端面之外的焦点处,则自聚焦透镜的出射光就近似为平行光束。为降低耦合损耗,将自聚焦透镜的一端研磨成球面,以提高数值孔径 NA。

透镜  $L_1$  和  $L_2$  构成的重焦开普勒望远镜用于扩束。严格来说,从 GRAIN 透镜出射的光仍是高斯光束,只是各处波阵面的曲率半径  $R(z)$  均比较大,可近似为平面波。设它的腰斑半径为  $w_0$ ,则开普勒望远镜出射的高斯光束的腰斑半径为 [4]:

$$w_2 = (f_2/f_1) w_0 \tag{5}$$

其中  $f_1, f_2$  分别是  $L_1$  和  $L_2$  的焦距。可见,光束扩大了  $M (= f_2/f_1)$  倍。同时,根据高斯光束的远场发散角公式 [3]:  $\theta = \lambda / (\pi w_0)$ ,可知,扩束后激光的发散角得到了进一步的压缩,有利于保持光功率的恒定。

### 3 激光恒流电源的设计

#### 3.1 激光器对电源的要求

半导体激光器是 P-N 结器件,光功率与电流之间的关系曲线见图 2。显然, P-N 结所能承受的正向电流、正向电压、反向电压必须严格控制,并抑制尖峰状电脉冲出现。

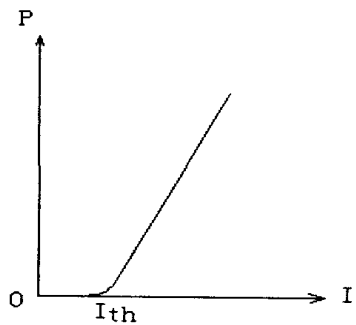


图 2 输出功率与驱动电流关系

#### 3.2 电源的结构和工作原理

为提高驱动电流的稳定度,设计了图 3 所示的激光恒流电源。

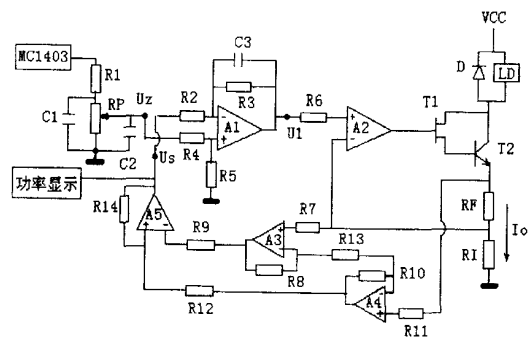


图 3 LD 的电源图

电路由两部分组成:恒定电流产生电路和电流自动调节电路。

恒流电路中的基准电压由 MC1403 提供。MC1403 是一种高精度、低温漂、采用激光修正的带隙基准电压源,典型值是 2.500 V,电压稳定系数可达  $10 \cdot 10^{-6}/$ ,当输入电压在 10 ~ 4.5V 内变化时,其输出变化仅 0.1mV。运放 A1 同相端的输入由 MC1403 的输出电压通过精密可调电阻 RP 分压得到,作为基准电压 ( $U_z$ ),固定电阻 R1 用于限制  $U_z$  的最高值,该值也限定了最大输出电流。运放 A1、A2、场效应管 T1、三极管 T2、电阻 RF、RI 组成的正向通路是恒流形成电路。显然,输出电流为:

$$I_0 = U_1 / R_1 \quad (6)$$

$U_1$  是 A1 的输出电压。先考虑无反馈的情形,这时  $U_s = 0$ ,取  $R_2 = R_4$ 、 $R_3 = R_5$ ,则比较放大器 A1 的输出为:

$$U_1 = U_z \cdot R_3 / R_2 \quad (7)$$

所以

$$I_0 = U_z \cdot R_3 / (R_2 \cdot R_1) \quad (8)$$

因  $U_z$  是恒定的,故输出电流  $I_0$  也是恒定的。由于运放的输出电流一般仅为十几毫安,为满足大电流输出的要求,用场效应管 T1、大功率三极管 T2 进行电流扩展。二极管 D 用于防止激光器 LD 上出现大的反向电压。

引入电流负反馈,对  $I_0$  的波动进行自动调整,以采样电阻 RF 上的压降  $U_f$  作反馈信号,为抑制  $U_f$  中的共模成分,并将差动信号转换成单端输出,采用由运放 A3、A4、A5 组成的精密差分放大电路将信号反馈到比较放大器 A1 的反相输入端。设反馈回路的放大倍数为 K,则反馈电路的输出  $U_s$  为:

$$U_s = K \cdot U_f = K \cdot I_0 \cdot R_F \quad (9)$$

加入反馈后,则输出电流  $I_0$  为:

$$I_0 = (U_z - U_s) \cdot R_3 / (R_2 \cdot R_1) \quad (10)$$

若由于某种因素使  $I_0$  发生变化,稳定电流反馈过程如下:

$$I_0 \quad U_s \quad (U_z - U_s) \quad I_0$$

$$I_0 \quad U_s \quad (U_z - U_s) \quad I_0$$

负反馈电路还使得放大电路的频带得到展宽,有利于提高对输出电流中快速变化脉冲的自动调整能力,电源的动态特性进一步得到了改善,实测稳流系数  $S_1 < 0.2\%$ 。

实际系统使用的是波长为 780nm、功率为 200mW 的半导体激光器,电路最大输出电流设计为 0.7A。RF 和 RI 分别选用 0.5 和 1 的大功率电

阻,选用大功率扩流管  $T_2$  时,应依据电路中该功率管以下三个实际参数是:最大集电极工作电流  $I_{Cmax}$ ,最高工作电压  $U_{CEmax}$ ,最大集电极损耗功率  $P_{Cmax}$ 。由于激光电源负载是电阻性的,根据一般的经验,管子的极限参数应满足:  $BV_{CEO} > U_{imax}$ ,  $I_{CM} > (2 \sim 3) I_{Cmax}$ ,  $P_{CM} > (2 \sim 3) P_{Cmax}$ 。另外,由于运放受环境温度、电源电压等因素的影响而存在零点漂移和低频噪声,这对输出电流的稳定性有很大影响,所以,运算放大器选用低失调电压、低温漂、高精度的 OP07,而且它不需要调整元件,也无需频率补偿,利于整机的小型化。电容 C1 的作用是实现激光器的软启动:开机后,工作电压从 0V 逐渐上升,以防止有阶跃电流加在激光器两端。同时,C1 的充电过程形成延时,避免了开机时产生的尖峰脉冲对激光器的冲击。RP 选用的是精密线绕电阻,并安装在仪器面板上以便进行激光功率调节。C2、C3 用于消除高频干扰。由于激光功率 P 与输出电流  $I_0$  之间是线性关系,所以反馈输出电压  $U_s$  也用于对激光功率监测。

#### 4 结束语

本系统利用 GRIN 透镜对光路的自聚焦及球形端面数值孔径大的特点,对大发散角的半导体激光进行变换,较好地解决了耦合效率和光平行度这两方面的问题,同时使光学系统的结构更加紧凑。用重焦开普勒望远镜结构进行激光扩束,满足了临床应用中对光斑面积的要求。恒流电源采用了高稳定度的电压源作基准,电流反馈回路反应灵敏,从而保证了电流有良好的稳定度。电路结构新颖,维护方便,实用性较强。该系统在江西医学院第一附属医院和江西省中医院的临床应用中,整机性能得到了用户的肯定。

#### 参考文献:

- [1] 孙承纬.激光辐照效应[M].北京:国防工业出版社,2002:444 - 447.
- [2] 江剑平.半导体激光器[M].北京:电子工业出版社,2000:88 - 89.
- [3] 刘德森,高应俊.变折射率介质的物理基础[M].北京:国防工业出版社,1991:314 - 323.
- [4] 魏光辉,朱保亮.激光束光学[M].北京:北京工业学院出版社,1988:144 - 149.
- [5] 薛学明,王志宏.稳定电源及其电路实例[M].北京:中国铁道出版社,1990:36 - 64.