

## 医用半导体激光器的温度控制

韩晓俊 李正佳 朱长虹

(华中理工大学激光研究院, 武汉, 430074)

**摘要:** 主要叙述了用作激光针灸的半导体激光器温度控制的原理及初步设计, 经 PID 模拟反馈回路调节, 能在宽范围维持  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  的温度控制精度, 阈值电流有所降低, 辐射波长稳定, 输出功率最大值明显提高, 并且线性较好。

**关键词:** 半导体激光器 温度控制 激光针灸

### Temperature control of medical laser-diode appliance

Han Xiaojun, Li Zhengjia, Zhu Changhong

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** In this paper, the principle and basic design of laser diode's temperature control were described. With the PID circuit, the surround temperature accuracy could be controlled within  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . The threshold current decreased and the output power increased apparently with good linear.

**Key words:** laser diode temperature control laser acupuncture

### 引言

我们所述的医用半导体激光器为单量子阱半导体激光器, 输出  $810 \pm 4\text{nm}$  的红外光。经扩束的半导体激光束能穿过真皮到达皮下组织十几毫米深处, 与传统毫针的进针深度类似, 因此, 是很好的激光针。与其他激光针灸相比, 半导体激光器的优势在于它的体积小, 驱动电源简单, 光电转换效率大于 25%。激光热作用及生物刺激作用是主要的生物效应, 其机理是激光作用于穴位点, 组织分子吸收光子能量后, 其振动和转动加剧, 在宏观上表现为受照射的局部组织逐渐变热, 皮温升高。同时, 适当剂量的激光作用于穴位点, 作为回答性反应, 在分子水平上是调整蛋白质和核酸的合成, 影响 DNA 的复制, 调节酶的功能, 在细胞水平上是动员代偿、营养、修复、免疫和其它防御机制来消除病理过程。从穴位临床应用的最浅进针记录可以看到, 大约 52% 的主穴和 75% 的备用穴在 12.5mm 深以内, 半导体激光器发出的激光能有效地达到这些穴位; 有大约 38.5% 的主穴和 13.3% 的备用穴在 25mm 深处, 能微弱地感受到激光的刺激作用<sup>[1]</sup>。

### 一、半导体激光器的工作特性

半导体激光器的工作物质为 PN 结, 特点是极易受温度的影响, 阈值电流和功率稳定性对温度敏感。其原因主要是温度对有源层增益系数的影响。即随着温度的增加, 需要有更多

\* \* \*  
作者简介: 李大义, 男, 1940 年 6 月出生。副教授。现从事非线性光学、光纤通信的教学和研究工作。

周小红, 女, 1966 年 4 月出生。讲师。现从事传感技术及半导体激光器方面的教学和研究工作。

的载流子注入来维持所需的粒子数反转<sup>[2]</sup>。

1. 温度对阈值电流密度的影响由式:  $J_{th}(T) = J_{th}(T_r) \exp[(T - T_r)/T_0]$  (1)

给出。  $T$  为半导体激光器的工作温度,  $T_r$  为室温,  $J_{th}(T)$  为工作温度下的阈值电流密度,  $J_{th}(T_r)$  为室温下的阈值电流密度,  $T_0$  是表征半导体激光器温度稳定性的特征温度, 它与激光器所使用的材料及结构有关, 其数值在 130~ 160 °C 之间。

2. 温度的变化也影响半导体激光器的发射波长,  $\lambda = 2nL/m$  (2)

式中,  $n$  为折射率,  $m$  是模数, 波长  $\lambda$  随折射率  $n$  和腔长  $L$  而变化。对于那些导带底到价带顶的跃迁产生的激光辐射(即光子能量接近于能隙), 温度的变化会给折射率  $n$  和长度  $L$  较大程度的影响。波长  $\lambda$  对  $T$  微分, 这里, 折射率是温度和波长的函数<sup>[3]</sup>, 即:

$$(1/\lambda)(d\lambda/dT) = (1/n)(\partial n/\partial \lambda)_T(d\lambda/dT) + (1/n)(\partial n/\partial T)_\lambda + (1/L)(dL/dT) \quad (3)$$

最后一项线性膨胀  $(1/L)(dL/dT) \approx 10^{-6}$ , 可以忽略, 得:

$$(1/\lambda)(d\lambda/dT) = (1/n)(\partial n/\partial T)_\lambda [1 - (Mn)(dn/d\lambda)_T]^{-1} \quad (4)$$

为了写成较容易测量的形式, 将(2)式写成  $m\lambda = 2nL$ , 再对  $\lambda$  微分, 得

$$\lambda(dm/d\lambda) + m = 2L(dn/d\lambda) \quad (5)$$

对于单模间隔  $d\lambda \sim \Delta\lambda$ ,  $dm = -1$ , 得  $[1 - (Mn)(dn/d\lambda)_T] = [1/(2nL)](\lambda^2/\Delta\lambda)$  (6)

综合(4), (6)式得  $(\partial n/\partial T)_\lambda = [1/(2L)](\lambda^2/\Delta\lambda)[(1/\lambda)(d\lambda/dT)]$  (7)

由此很容易看出折射率对温度的依赖关系以及对波长的影响。实验测得, 当温度升高时, 自发发射峰向长波长方向移动。如图 1 所示。

3. 激光器输出功率、寿命也受温度的影响。激光器在阈值以上连续输出功率下工作, 对可靠性有极高的要求。半导体激光器的工作电流密度高, 因此半导体激光器的可靠性很大程度上取决于激光器的散热条件。低的阈值电流密度固然是异质结激光器在室温下连续工作所必需的, 但还要求激光器有尽可能小的温升。我们假设忽略激光器所发射的光功率, 而认为加在激光器上的电功率全部转变为热。用这种假设所估计的温升比实际器件大一些, 但不会造成很大的差别。器件所耗散的电功率为  $P = (IV + I^2 r_s)$  (8)

$I$  为加于激光器上的电流,  $V$  为结区电压降,  $r_s$  为串联电阻, 平衡时结区温升为

$$\Delta T = r_T (IV + I^2 r_s) = r_T P \quad (9)$$

$r_T$  为器件的热阻, 单位是 K/W 或 °C/W。连续工作时, 对  $r_s$  和  $r_T$  的要求更苛刻。直流工作时激光器结区工作温度为  $T = T_s + \Delta T = T_s + (VJ + R_s J^2) R_T$  (10)

式中,  $T_s$  为初始温度,  $J$  为电流密度,  $R_s$  为总的串联电阻,  $R_T$  为总热阻。设  $S$  为强区的面积, 则  $R_s = r_s S$ ,  $R_T = r_T S$ , 要求  $R_s < 1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。降低结区温度来稳定激光器的输出功率, 这一点非常重要。

## 二、温控原理及实验装置

由以上分析可知, 无论是输出功率还是阈值电流或波长都与温度有密切的关系, 仅用直流风机及散热器驱散热量是不能很好地控制工作温度的。对半导体激光器还必须采取合理的致冷措施和控制以维持激光器在恒定温度下工作, 这是保证激光器工作的稳定性和可靠性的最

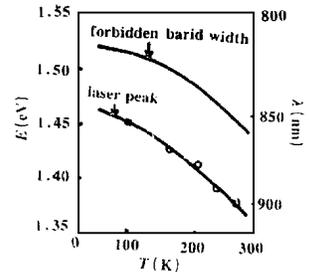


Fig. 1 Wavelength-temperature curve

重要的措施。

温度控制电路框图如图 2 所示。用 AD590 作温度传感元件(图中黑色小块)。当工作区域温度升高时, AD590 输出与温度相关的电流, 通过 I-U 转换电路, 被转换成相应电压量, 接到 PID 调节电路的输入端<sup>[4]</sup>, 放大后的电压量接到互

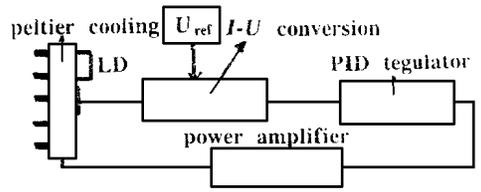


Fig. 2 Temperature control principle

补推挽功率级上, 用来驱动珀尔帖元件。珀尔帖元件装在散热器上, 是转移热量的热电半导体器件。

1. IC 温度传感器 AD590 的电流温度灵敏度是 1μA/K, 在整个工作温度范围内非线性误差小于 ±0.5℃。但是封

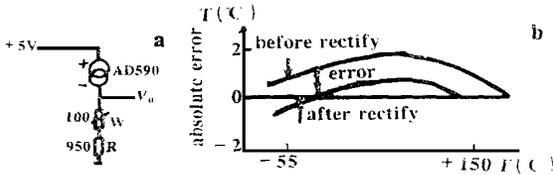


Fig. 3 a—Single point rectify circuit b—Rectify the error

装后的传感器的灵敏度可能偏离 1μA/K, 采用单点校正电路对传感器校正<sup>[5]</sup>。如图 3 所示, 在一定温度下, 调节电位器 W 使电阻上的输出 V<sub>0</sub> 的毫伏数刚好等于绝对温度值, 这时, 输出电压 V<sub>0</sub> 的灵敏度为 1mV/K, 校正大大减小了误差, 同时也减小了误差对温度的依赖。

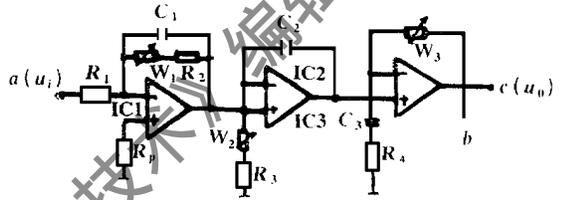


Fig. 4 PID regulate circuit

2. PID 调节电路 图 4 为调节电路简图, a 输入端接 I-U 转换器输出, b 端接限流电路, c 端接至功放电路, 控制珀尔帖元件的输出。PID 相当于一个放大倍数可调的放大器, 用比例运算和积分运算来提高调节精度, 用微分运算加速过渡过程, 较好地解决了调节速度与精度的矛盾。

3. 珀尔帖元件散热器 珀尔帖元件装在散热器上, 散热器必须将所有功耗排到周围空气中。致冷却器效率<sup>[6]</sup>  $\epsilon = Q_a/P = (Q_p - Q_j/2 - Q_k)/P$  (11) 式中,  $Q_a$  为致冷功率,  $P$  是半导体激光器消耗的总功率,  $Q_p$  是致冷器中产生的珀尔帖热,  $Q_j$  为电路中的焦耳热,  $Q_k$  是沿两个电极从激光二极管到珀尔帖的传导热, 它们的值与电流  $I$  两电极截面有关, 选择最佳电流和最佳截面, 可使致冷效率达到最大值。

### 三、实验结果

为对比增设温度控制回路前后的情况, 进行两组实验, 环境温度 22℃。

由图 5 和附表可得 出以下结论:

	no temperature control	with temperature control
$T(^{\circ}C)$	22~ 31	22±0.5
$I_{th}(A)$	0.567	0.513
max $P_{out}(W)$	0.351	0.900
$I(A)$	1.410	1.450

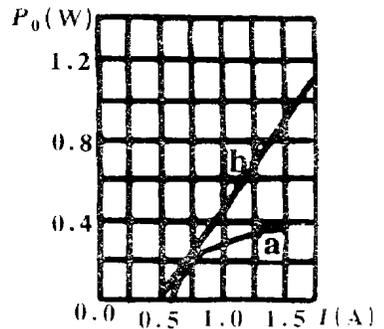


Fig. 5 Compared the output a—no temperature control b—with temperature control

## 激光雕刻中的笔划失真

胡 兵 何云贵 刘小东

(华中理工大学激光工程研究院, 武汉, 430074)

摘要: 详细分析了激光光栅扫描雕刻中笔划失真的原因, 从激光电源的快速响应方面提出了解决的途径。

关键词: 激光雕刻 激光电源响应

### Study on strokes distortion in laser engraving

*Hu Bing, He Yungui, Liu Xiaodong*

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** In this paper the course of strokes distortion in laser raster scanning engraving is analysed in detail and a method based on the responding of laser power supply is presented.

**Key words:** laser engraving responding of laser power supply

1. 未经温度控制反馈回路的调节, 半导体激光器温度随着输出功率的增加, 上升至  $31^{\circ}\text{C}$ , 输出功率到  $0.35\text{W}$  左右就趋于饱和;
2. 增设控制回路后温度控制精度达  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , 阈值电流有所降低, 最大输出功率明显上升, 并且线性较好。微分量子效率达  $0.79\text{W/A}$ 。

### 四、结 束 语

另外, 还有几点有待改进: 1. 增加激光二极管的启动瞬时态保护电路; 2. 若用运放构成的窗式比较器及 LED 显示有助于直观地了解温控情况; 3. 提高恒流源的质量, 应使直流纹波小于  $10^{-4}$ 。用石英光导纤维传输激光, 准确地将激光作用于穴位上, 起到针灸的作用; 还可将激光作用于体表或腔体的病灶处, 作理疗辐射治疗。

### 参 考 文 献

- 1 李文瑞. 实用针灸学. 北京: 人民卫生出版社, 1982: 97~ 226
- 2 黄德修. 半导体光电子学. 成都: 电子科技大学出版社, 1994: 120~ 140
- 3 天津大学精仪系编. 激光技术. 北京: 科学出版社, 1972
- 4 Schumann F, Tietgen K H. Elektronik, 1984; (11): 59~ 62
- 5 马英仁. 温度敏感器件及其应用. 北京: 科学出版社, 1988: 271~ 274
- 6 钟广学. 半导体致冷器件及其应用. 北京: 科学出版社, 1991: 56~ 134

作者简介: 韩晓俊, 女, 1972 年 10 月出生。现在华中理工大学攻读硕士学位。主要从事医用半导体激光器的研究工作。

收稿日期: 1997-08-05 收到修改稿日期: 1997-12-08