

# 小功率半导体激光二极管的稳定控制及其在原子实验中的应用

孙番典 杨世琪 刘琼发

(华南师范大学物理系, 广州 510631)

**摘要:** 介绍一种高稳定的半导体激光二极管恒温、稳流控制方式。使用该方式电路, 室温下半导体激光二极管注入电流波动为  $10^{-5}$ , 温度波动优于  $10^{-4}$ 。并介绍高稳定半导体二极管激光在原子超精细跃迁线形吸收谱和塞曼相干共振谱观测中的应用。

**关键词:** 半导体激光二极管, 恒温稳流, 线性吸收谱线, 塞曼相干共振谱线

## A stable control method for low power semiconductor laser diode and it's application in atomic experiments

Sun Fandian Yang Shiqi Liu Qiongf

(South China Normal University, Guangzhou 51031)

**Abstract:** Introduced a set of high stable control circuits for case temperature and injection current of semiconductor laser diode. Using the circuits, the fluctuation of injection current is  $10^{-5}$  and the fluctuation of case temperature is better than  $10^{-4}$  under the room temperature. An application of the diode laser in atomic experiments also be introduced.

**Key words:** semiconductor laser diode, temperature and current stabilization, linear absorb spectrum line, Zeeman coherent resonance spectrum line

## 1 引言\*

小功率半导体激光二极管(LD)在原子分子波谱学, 高分辨光谱学, 量子计量学, 光纤通信, 激光致冷实验, 量子频率标准等一系列基础研究和高科技产品开发方面已经得到了广泛的应用<sup>[1-5]</sup>。在半导体激光二极管的应用中, 通常遇到的问题是半导体激光二极管的输出波长对其自身的工作温度和注入电流的变化极为敏感。尤其在原子能级探测、量子频标及精密稳频等应用中, 高稳定的注入电流与工作温度控制更成为必不可少。因此, 需要通过外设恒温、稳流电路加以控制, 以达到激光输出波长稳定和在小范围内连续可调的目的。本文介绍一种半导体激光二极管高稳定恒温、稳流控制电路结构, 以及高稳定半导体二极管激光在原子能级跃迁观测中的应用。

## 2 电路结构及其工作原理

为半导体激光二极管提供注入电流的稳流电路, 应具有很高的电流稳定度; 接近从零起调的精密可调性和较宽的调节范围; 并能抑制、消除瞬态浪涌电流对激光管的冲击损伤。本电路结构通过采用高精度可调节基准电压设置注入电流工作点, 并与流经半导体激光二极管的注入电流上的取样反馈电压相比较, 来实现注入电流的稳定。此外, 通过设置电源滤波稳压与软启动保护电路来消除浪涌电流冲击, 确保半导体激光二极管安全工作。

注入电流稳定电路结构如图 1 所示。其中的电压基准由高精度基准电压 IC 块 LM399 及其外围电路组成; 注入电流工作点设置调节由精密线绕多圈电位器及射极跟随器组成。为避免精密线绕多圈电位器使用过程可能产生的尖刺干扰, 在其输入端串接 RC 滤波电路。注入电流稳定部分的主要工作原理为: 由电压基准提供高精度的固定基准电压, 经隔离与注入电流工作点设置调节的粗、细调构成可调基准电压(这是由于不同型号的半导体激光二极管或同型号不同的管所需的工作电流都有所不同)。通过改变这个电压基准

值, 可置半导体激光二极管工作于不同的注入电流值。将可调基准电压与流经半导体激光二极管的注入电流回路的取样放大信号电压一起输入比例放大器, 由比例放大器的输出控制场效应调整管的栅极(栅极)。这个门调整流过激光管及取样电阻上的注入电流, 由此达到恒定激光管注入电流的目的。电路的电源滤波稳压与软启动保护电路部分主要为: 在电源变压器初级加设通用噪声滤波器 NF 对超快速的脉冲干扰起吸收作用避免浪涌冲击。在变压器的初、次级分别加设压敏电阻, 使当出现高于限定的峰值浪涌时呈短路状态使浪涌被吸收。由达林顿管 TIP142 与电阻、电容组成电压缓升电路, 使电源开启时到激光管上的电压为一缓升过程。而两个  $\pi$  滤波电路及大电容, 使当电源关闭时, 激光管上的注入电流维持较长时间才降为零, 起电流缓降的作用。本电路可使注入电流在 0~150mA 范围内连续可调(小功率激光二极管的注入电流一般为 50mA 左右), 注入电流的波动为  $1\mu\text{A}$ 。

半导体激光二极管工作时, 其自身发热和环境温度的变化会促使管温变化而影响半导体激光输出波长和功率的稳定。以常用的小功率近红外半导体激光二极管为例。其工作温度引起工作频率的变化约  $10\sim 30\text{GHz}/^\circ\text{C}$ <sup>[6]</sup>。因此, 需从外部控制管温, 保证半导体激光二极管不因自身发热和环境温度的变化而出现较大的温度波动。此外, 半导体激光二极管的工作波长与温度有关。因此, 实用的半导体激光二极管控温电路应能够在一定范围内任意设置半导体激光二极管的工作温度点; 并且能够随时检测半导体激光二极管工作温度的微小波动, 加以校正。

图 2 为一种激光二极管温度控制电路结构: 其输出电流随外界环境的绝对温度的变化作线性变化。为了提高输出的灵敏度。将 LM334 与晶体管组合放大器, 改组后的放大电路也是一输出电流与绝对温度成正比的恒流源。温度工作

\* 2003 年 3 月 10 日收稿  
广东省科技攻关项目资助课题  
广东省高教厅自然科学基金重点项目资助课题

点设置部分则由 IM399、其外围电路和温度点设置电位器组成。控温电路工作时，温度传感器将探测到的温度转化成与绝对温度成正比的电流，经过放大器放大后，与温度设置参考电流相比较（参考电流与所需控制的温度有关），比较后的电流经电流—电压转化，完成温差—电压变换，其电压的波动值与温度传感器探测到的温度波动成正比。经低通滤波，

滤除非温度波动干扰信号后，馈送到比例—微分—积分电子自动调节系统并进行比较。然后由驱动电路控制半导体致冷器工作（加热或制冷），来校正温差，达到温度控制的目的。配合与外界良好热绝缘的激光管座（与半导体致冷器的一个面，通常为致冷面，良好的热接触），采用本电路结构控温可达到  $10^{-4}$  的温度稳定度。

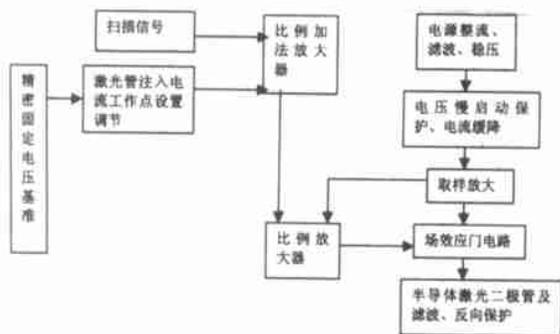


图1 注入电流稳流控制电路结构框图

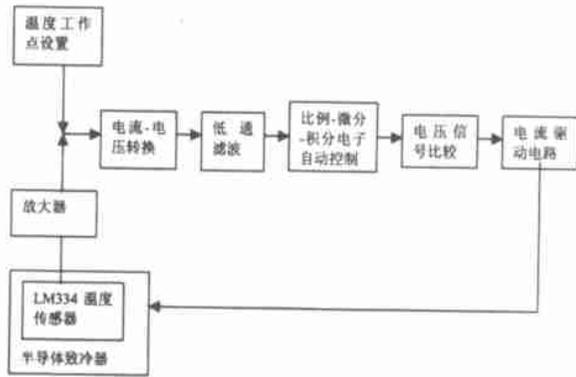


图2 半导体激光二极管工作温度控制电路框图

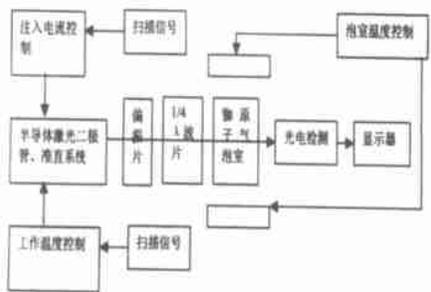


图3 铷原子 D2 线的线性吸收谱线探测实验装置示意图

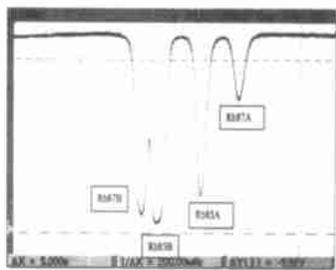


图4 铷原子 D2 线的线性吸收谱

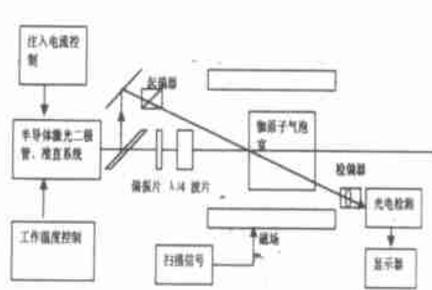


图5 铷原子塞曼级跃迁谱线探测实验装置示意图

### 3 在铷原子能级跃迁谱线观测中的应用

高稳定的半导体激光二极管控制电路在加上适当的扫描和调制信号后，可用于观测原子的能级跃迁。铷原子线性超精细能级跃迁的线性吸收谱和塞曼能级跃迁的观测就是其中的例子。

由于用于原子能级跃迁激励和信号观测的原子汽泡室室温对信号的强弱具有一定影响，实验时，对作为样品室的原子汽泡室也需要进行恒温控制。一般认为原子汽泡室温度过高，蒸汽原子密度增加，原子间或与器壁之间的碰撞增加，加强了弛豫作用。使原子偏极化减少，信号较弱；泡温太低，原子数量减少也使信号减弱，例如，铷原子温度在  $40^{\circ}\text{C}$ — $50^{\circ}\text{C}$  左右时<sup>[6]</sup>，信号较强。实际的最佳温度需通过实验确定。由于泡室温控要求不高，可采用一般的恒温电路。

利用半导体激光二极管激励、探测铷原子  $D_2$  线的线性吸收谱线的实验装置如图3所示。实验中调节半导体二极管激光的输出波长至  $780\text{nm}$  以激励汽泡室吸收泡中的铷原子，使铷原子从基态  $5^2S_{1/2}$  跃迁到激发态  $5^2P_{3/2}$  而产生  $D_2$  线吸收。处于激发态的原子经约  $10^{-8}$  秒的弛豫时间后自发辐射

能量返回基态。通过检测吸收泡光强的变化可观测铷原子  $D_2$  线的吸收。实验中通过扫描半导体二极管激光的工作温度来观察  $D_2$  线的线性吸收谱。也可通过扫描注入电流的方式来观察  $D_2$  线的线性吸收谱。在采用扫描半导体二极管激光注入电流的方式时，由于注入电流的改变会引起激光功率的改变，在使用单一光电管接受信号时，所观察到的谱线会迭加在一倾斜的功率背景上。为消除这一背景可采用差分放大技术：即在激光管激光输出处加一分束镜分出另一束光，该光不经吸收泡直接由另一光电管接收，两光电管接收的信号经差动放大后输出。图4为一组通过扫描半导体激光二极管的工作温度得到的铷原子  $D_2$  线的线性吸收谱。

图5所示为利用半导体二极管激光产生与探测铷原子塞曼相干的实验装置：将半导体激光二极管输出的激光分为两束。一束较强的为泵浦光，用于激励原子系统；另一束较弱的为探测光（线偏振光），利用其通过已激励的原子系统时产生的偏振方向的改变，来检测相干信号。探测光束与泵浦光束成一较小的夹角，探测光通过样品后经正交检偏器进入光电检测器，由连接光电检测管的显示器和绘图仪反映相干信号。实验中，铷原子塞曼相干谱线可通过扫描脉冲调制或扫描磁场的方式得到。在观察  $\Delta m = 1$  的塞曼相干时，光路

中置  $\lambda/4$  波片以获得园偏振泵浦光。在观察  $\Delta_m=2$  的塞曼相干时将  $\lambda/4$  波片去掉。

本文介绍了一种小功率半导体激光二极管的稳定控制方式。利用该方式电路,通过更换不同工作波长的单纵模小功率半导体激光二极管,能得到多种波长,并可以在小范围内连续可调的高稳定泵浦光,可方便地在普通实验室进行原子能级的探测实验研究。作为例子,本文介绍了其中的一种应用。作为一种经济而方便的精密可控、可调制的光激励源,高稳定的半导体二极管激光在精密频率控制,原子能级探测,高精度的时间计量等领域正获得广泛的应用,进一步的工作仍在进行中。

参考文献

[1] Weiman C E, Hollberg I. Using lasers for atomic physics. Rev. Sci. In-

strum., 1992, 62(1):1-20

[2] Fox R W., Weimer C S., Hollberg et al. The diode laser as a spectroscopic tool. Spectro. Acta. Rev., 1993, 15: 291-299

[3] 马树元, 梁晋文, 章恩耀. 以半导体激光器为光源的准直研究. 计量学报, 1993, 14(3): 173-176

[4] 王力列, 易玺林, 谢麟振. 用于频分复用相干光纤通信的半导体激光器稳频系统. 中国激光, 1991, 18(11): 811-815

[5] 白家岭等. 半导体激光器的应用与市场. 激光与红外, 1995, 25(3): 13-17

[6] 谢毅. 将 1500 外腔半导体激光器稳定到氨分子吸收谱线上. 计量学报, 1991, 12(2): 150-152

[7] 吴思诚, 王祖铨. 近代物理实验. 北京: 北京大学出版社, 1986: 421-436

·激光医学与医学·

# CO<sub>2</sub> 激光和微波治疗宫颈炎疗效观察

党诚一

(锡山人民医院激光科, 无锡 214000)

## 1 临床资料

2001 年 2 月~2002 年 12 月我院激光科用 CO<sub>2</sub> 激光器和微波治疗仪共治疗 438 例慢性宫颈炎, 其中重度糜烂 282 例, 中度糜烂 156 例. 按随机配对的原则分成微波组 228 例, 激光组 210 例. 微波组年龄 21~50 岁, 激光组年龄 24~48 岁. 所有病例均作以下检查: 血常规加血型, 白带常规, 宫颈涂片. 经后 3~7 天内治疗.

## 2 仪器与方法

①仪器 a: 微波治疗仪, 输出功率 0~150W 可调.

b: 激光器采用上海光机所 LTL25~C 激光器, 输出功率 1~25W 可调, 光斑直径 0.4mm.

②治疗方法: 手术时病人取膀胱截石位, 清洁外阴后置入阴道窥镜, 暴露宫颈, 用洗必泰消毒宫颈, 5% 冰醋酸涂擦宫颈外口, 充分暴露宫颈糜烂面.

激光组: 将 CO<sub>2</sub> 激光功率调至 25W, 连续输出档光斑直径 0.4~2 毫米. 光束对宫颈表面进行照射碳化, 先下唇后上唇, 颈管处汽化成锥形. 微波组: 打开微波电源, 将功率调至 46W 左右, 根据糜烂程度调正微波输出时间 3~4 秒, 脚踏起动定时器控制微波输出时间. 先用颈管电极治疗颈管外口一圈, 再凝固宫颈表面变白至微黄.

术毕宫颈局部用云南白药粉. 术后略有水肿, 10 天左右脱痂出血. 持续约为 15 天. 术后 1、2、3 月随访.

## 3 疗效评定和治疗结果

①治愈: 宫颈表面及宫颈外口光滑, 新生鳞状上皮覆盖.

②有效: 宫颈糜烂面改善 I 级或 I 级以上.

③无效: 治疗前后无变化.

结果见表格.

微波组

宫颈糜烂	例数	治愈		有效		无效	
		例数	%	例	%	例	%
II°	88	88	100				
III°	140	128	91.4	12	8.5		
合计	228	216	94.7	12	5.2		

激光组

宫颈糜烂	例数	治愈		有效		无效	
		例数	%	例	%	例	%
II°	68	53	78	15	22		
III°	142	72	51	70	49		
合计	210	125	60	85	40		

采用 X<sup>2</sup> 检验法进行统计学处理, 两组疗效比较, 微波组明显优于激光组, 有显著差异性(P<0.01).

## 4 讨论

激光和微波为治疗慢性宫颈炎的二种常用物理方法. CO<sub>2</sub> 激光主要是通过热效应, 使组织在几毫秒时间内引起 200~1000℃ 左右的温升, 或使组织中温度达到 45~50℃ 并持续 1 分钟左右, 从而引起蛋白质变性凝固, 细胞受损, 组织坏死. 由于 CO<sub>2</sub> 激光波长为 10600 纳米, 易被病变组织中较多水份吸收或被治疗出血时的血液吸收, 或 CO<sub>2</sub> 激光在组织表面引成焦痂. 影响了热能向深部渗入, 所以造成治疗宫颈重糜时效果不佳. 而微波频率介于高频与激光之间, 是以生物组织本身作为热源的内部加热, 生物组织在微波场作用下, 组织内水分子随微波频率高速运动, 使之互相磨擦产生热量, 使病变组织在很短时间内出现高温, 蛋白凝固, 组织变性坏死, 从而达到治疗目的. 由于宫颈炎症的组织充血水肿, 微波对这种含水份多的炎症组织尤其适用, 且术中出血少, 所以微波治疗慢性宫颈炎效果优于 CO<sub>2</sub> 激光, 微波是治疗慢性宫颈炎理想的手术器.