

■ 四川大学电子信息学院 张宏  
大唐电信光通信分公司 傅华锋

# DWDM 系统光发射机温度控制电路的优化设计

**摘要:** 本文提出了一种在激光发射机温度控制电路中提高控制精度、降低功耗、增加集成度的有效方法,给出了波长的热电温度控制原理及测试结果。

**关键词:** 密集波分复用; 波长稳定; 热电温度控制

## 引言

近年来, DWDM(密集波分复用)技术不断发展,为了尽可能地传输更多的信道,要求光源峰值波长的间隔尽可能小,提高各信道光发射机的工作波长稳定性是极其必要的。而且, DWDM系统一般采用  $40 \times 10\text{G}$ 、 $80 \times 10\text{G}$  甚至更高的信道复用形式,系统中每个子架用到的光发射机越来越多,电路集成度以及散热问题也成为了激光器设计的关键。因此,在 DWDM 系统激光发射机温度控制电路中提高控制精度、降低功耗、增加集成度成为设计的核心。

本文提出了一种采用 ADI 公司的 ADN8830 芯片进行激光器管芯

温度控制的方法,它具有波长控制精度高、电路体积小的优点并且由于其功耗低,大大降低了系统功耗,缓解了系统的散热问题。

## 热电温度控制原理

在 DWDM 系统中,对波长稳定性的要求十分严格。例如,对于采用  $0.8\text{nm}$  信道间隔的 DWDM 系统,一个  $0.4\text{nm}$  的波长变化就能把一个信道移到另一个信道上。在典型的系统中,光源波长稳定是通过控制激光器管芯温度而实现的。通过热电制冷器(TEC),管芯的温度可以被稳定在一个恒定的值上,普通的激光器波长的温度依赖性典型约为  $0.08\text{nm}/\text{C}$ 。

TEC 控制器按输出的工作模式可以分成线性模式和开关模式。传统 WDM 的热电温度控制多采用线性模式的 TEC 控制器,虽然具有电流纹波小且容易设计和制造的优点,但功率效率低、波长控制精度不高,电路集成度较低。

本文采用的 ADN8830 芯片是开关模式的单芯片 TEC 控制器,其原理框图如图 1 所示。它是一个闭环控制系统,通过负温度系数热敏电阻检测附于 TEC 上的激光器管芯温度并将其转换为电压值,与来自于 DAC 的模拟输入温度设置电压进行比较,产生一个误差信号经由 PWM(脉宽调制)控制器驱动 TEC 来稳定激光二极管的温度。系统的反馈环路通过高稳定性,低噪声的 PID(比例积分控制)补偿网络构成,通过调整 PID 参数可以改变系统响应特性。

ADN8830 单芯片 TEC 控制器的主要优点:(1)控制精度高。采用高精度误差放大器作为输入级,它具有自校正、自稳零、低漂移的特性,最大漂移电压低于  $250\mu\text{V}$ ,在

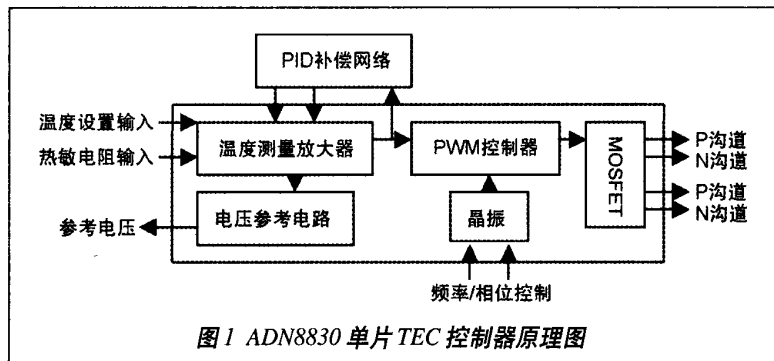


图1 ADN8830 单片TEC控制器原理图

典型应用中,使目标温度误差低于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。(2)系统功耗低。在线性模式控制器中,一般采用推挽电路作为输出级,其功率效率低;开关模式控制器采用 MOSFET 开关管,导通时电阻很小,大大降低了系统功耗。(3)集成度高。它采用 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$  LFCSP封装,所有的控制器件都集成到一颗芯片里。

### 性能测试结果分析

采用电吸收调制激光器、VSC7937 调制驱动器和 ADN8830 TEC 温度控制器构成光发射机,进行了高低温测试。

采用 ADVANTEST Q8326 波长计,在环境温度为室温( $26^{\circ}\text{C}$ )、高温( $52.1^{\circ}\text{C}$ )、低温( $-20^{\circ}\text{C}$ )条件下,对光发射模块波长稳定性进行测试。

温度实验测试结果见表1所示。

测试结果表明,在环境温度变化的过程中,模块发射的光波长基本稳定不变,得到很好的锁定。实验证明该控制方式具有很好的波长稳定能力。

### 优化设计

光发射模块在无调制信号时,用 TEK CSA8000 示波器对发射机光信号进行测试,测试结果如图2所示,发现光信号中有很多噪声,这势必影响光发射机的眼图质量。分析光发射机印制板设计发现,由于采用开关模式温度控制方法,激光器的偏置电流很容易受到 ADN8830 脉宽调制信号的干扰。

为了克服脉宽调制信号对其它信号的干扰,对电路原理和 PCB 设计进行了改进。在优化设计中,除了 ADN8830 芯片采用低电压模式供电

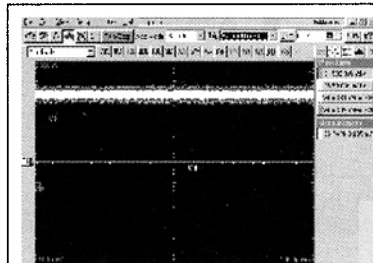


图2 改进前直流信号波形

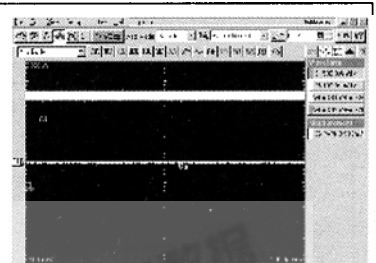


图3 改进后直流信号波形

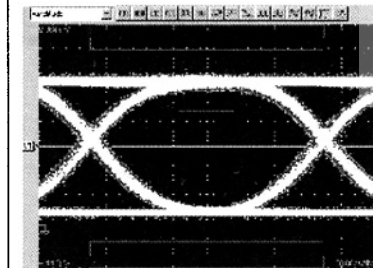


图4 传输前的眼图

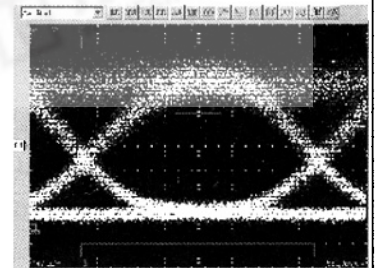


图5 传输后的眼图

表1 不同温度下发射光波长锁定情况

温度( $^{\circ}\text{C}$ )		发射光波长 (nm)	发射光频率 (THz)
环境温度	模块温度		
-20.0	-12.7	1554.931	192.8010
26.0	40.0	1554.938	192.8001
27.9	38.6	1554.938	192.8002
52.1	65.0	1554.941	192.7998

以外,主要解决办法是优化电路板布局:(1)采用四层电路板设计,为了减小开关输出电流对低噪声模拟电流的干扰,将涉及 PWM 的电源、地与其它电源、地平面隔离。(2)使输出级电流路径最小,减小了高频电流的寄生电感,从而减小电源、地弹跳。(3)PWM 信号尽量远离激光器偏置输入和调制输入。经过以上改进,有效消除了光噪声,如图3所示。

对该发射机模块加载速率 10Gbps 的伪随机电信号进行 40 公里传输实验,实现了 24 小时无误码传输,传输前后的眼图特性如图4、图5所示。

### 结语

通过本文中的优化设计,消除了 ADN8830 芯片中脉宽调制信号

对其它模拟电路的干扰。利用该方法设计的密集波分复用光发射机光波长控制精度高、模块功耗低、集成度高,缓解了系统的散热问题,成功地应用到实际系统中。■

### 参考文献

- 1 周炳琨,高以智.激光原理(第4版).北京:国防工业出版社,2000.
- 2 江剑平.半导体激光器.北京:电子工业出版社,2000.
- 3 Govind P.Agrawal.Fiber-optic communication system(2nd ed).New York,1997.
- 4 AD.ADN8830 Preliminary Technical Data,2000.

(收稿日期:2002-11-27)

作者: [张宏](#), [傅华锋](#)  
作者单位: [张宏\(四川大学电子信息学院\)](#), [傅华锋\(大唐电信光通信分公司\)](#)  
刊名: [电子设计应用](#)  
英文刊名: [ELECTRONIC DESIGN & APPLICATION WORLD](#)  
年, 卷(期): 2003, ""(3)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(4条)

1. 周炳琨, 高以智 [激光原理](#) 2000
2. 江剑平 [半导体激光器](#) 2000
3. Govind p Agrawal [Fiber-optic communication system](#) 1997
4. AD. ADN8830 [Preliminary Technical Data](#) 2000

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 [许文海, 朱炜, 赵学增 集成检波模块的高精度激光波长稳定系统 -光电子·激光2004, 15\(8\)](#)

基于半导体激光器(LD)波长和温度之间的变化原理,对LD输出波长的稳定性进行了实验研究.采用集成有检波器件的LD组件,设计了高精度的激光波长稳定系统.该系统不需要添加任何附加装置,利用温度对波长漂移进行补偿控制,实现了波长的实时锁定.通过增加注入电流、改变设定温度的方法对系统进行验证.实验表明,该系统的波长控制精度 $\leq \pm 2$  pm;在整个激光器的寿命周期内,系统的波长稳定度 $\leq 2$  pm.

2. 学位论文 [王秀琳 长波段掺铒光纤超荧光光源研究](#) 2009

掺铒光纤超荧光光源(SFS)由于其优异的特性已经广泛应用于密集波分复用系统、光纤传感系统和光纤陀螺中.特别地,掺铒SFS是高精度光纤陀螺的首选光源之一.过去十几年来,人们研究了基于C波段(1525~1565nm)放大自发辐射的掺铒SFS,通过结构的合理设计与参数优化,获得了稳定的平均波长输出特性.然而,C波段的SFS由于自然荧光谱的尖峰结构导致超荧光谱线过窄,必须通过设计线宽扩展方案来获得较大线宽的超荧光.L波段(1565~1605nm)的掺铒SFS具有更平坦的输出光谱,L波段的自然荧光谱在40nm范围具有内在的平坦性,光谱纹波一般不会超过11dB,因此其相应线宽也较C波段宽,较大的光源线宽可以减少光纤陀螺系统相干噪声、光纤瑞利散射引起的位相噪声以及光克尔效应引起的位相漂移,因此L波段SFS更适合作为高精度光纤陀螺的理想光源.据文献调研,迄今为止的研究都没有报道具有平均波长稳定特性的L波段SFS.本文正是以平均波长稳定的L波段SFS为研究目标,拟通过设计新型光源结构,使L波段SFS中心波长具有高的稳定性,与此同时还将考虑将L波段SFS线宽的拓展特性.当然,光纤通信业务的飞速发展对带宽的要求使得本文研究的高效率线宽拓展的L波段SFS在密集波分复用系统中也将得到很好的应用.

本文的工作主要包括以下三个部分:

首先,以传统的两级级联前向抽运结构为研究目标,通过光源结构的优化设计,使得L波段SFS输出功率得到有效的提高以及线宽得到有效的拓展.提出一种同步抽运技术,克服两级独立抽运引起的平均波长的飘动.在此基础上,发展了基于一段非抽运光纤的单前向抽运结构的稳定L波段SFS.

其次,对具有高抽运转换效率的单级双向抽运结构进行研究,采用同步抽运技术获得平均波长随总抽运功率飘动稳定的L波段SFS.针对单级双向抽运的L波段SFS在线宽上的可调性较差的不足,提出了基于一段非抽运光纤的改进型双向同步抽运结构的L波段SFS.

第三,创新性地提出一种采用后向抽运的两级级联的掺铒光纤L波段SFS的新型结构,运用同步抽运技术对两级掺铒光纤按比例进行同时后向抽运,从而实现高效率且平均波长稳定的L波段SFS输出.在此基础上,发展了基于一段非抽运光纤的单后向抽运结构,我们讨论了非抽运光纤对光源输出特性的影响,通过分析和研究,获得了单抽运结构的新型L波段稳定SFS.

本文以福建省新世纪人才项目和福建省自然科学基金等项目为研究背景,论文的研究成果为顺利完成这些项目起到了重要作用.

本文创新点和特色:

1. 在国际上首次提出并实现利用掺铒光纤中放大自发辐射获得具有平均波长稳定特性的L波段超荧光光源,L波段的SFS具有光谱平坦度好、光谱输出线宽大、输出功率高等优点,是应用于高精度光纤陀螺的理想光源.
2. 创新性地提出一种采用后向抽运的两级级联的掺铒光纤L波段SFS的新型结构,运用同步抽运技术对两级掺铒光纤按比例进行同时后向抽运,从而实现高效率且平均波长稳定的L波段SFS输出.
3. 基于非抽运光纤的改进型单抽运结构(单前向和单后向)实现高稳定的L波段SFS,克服了同步抽运结构带来的结构复杂以及较为严格的结构参数要求,从而使得L波段SFS应用于高精度光纤陀螺向实用化发展迈进.

3. 期刊论文 [王翠珍, 李廷军, 唐金元, 王颖 超密集波分复用光纤通信关键技术分析 -现代电子技术2002, ""\(9\)](#)

分析了超密集波分复用(UDWDM)光纤通信中的光源波长稳定技术、复用/去复用技术、掺铒光纤放大器(EDFA)和光纤的性能改善技术等关键技术.

4. 学位论文 [叶锋 FWM对DWDM系统的影响及改进措施研究](#) 2005

光纤通信技术正向着超高速、大容量通信系统发展,并且逐步向全光网络演进.DWDM+EDFA是充分挖掘光纤带宽能力,实现大容量、高速通信、长距离的最佳手段.特别是近年来WDM的广泛应用,骨干网IP业务指数增长趋势及每比特传输成本的下降对光传送系统提出了新的要求,这就是在提高容量的基础上进一步降低传输成本.限制DWDM技术发展的激光器的波长稳定和光色散可以得到解决,并且EDFA的使用克服了光纤损耗对系统限制.但随着光纤中的信道数增多、光功率增加,已使光纤非线性效应成为限制WDM系统性能的主要因素.系统设计者必须意识到这些限制因素,并采取措施以减少或消除这些有害因素.但是在DWDM通信光纤上由不同信道相互作用产生FWM会把信号的相当部分能量转移到由FWM产生的新光波上,这样的能量转移导致了特定信道的功率损耗,而新光频又导致了信道串话,从而降低系统性能.并且FWM效应一旦发生,附加的FWM信号是不可能用任何方法消除的,因此必须预先防范.本论文在前人研究的基础上,对DWDM光纤通信系统中的FWM进行了具体研究,改进、验证和发展了已有理论,提出了一种新的改善FWM效应的方法.本论文包括以下主要工作:(1)系统全面的介绍了FWM的概念、产生机理.FWM对DWDM传输性能的影响以及常见的减小FWM的措施分析,所得结论对系统的设计工作有一定的指导意义.(2)本文首次从FWM在光纤中的基本光场波动方程出发,应用一些符合实际的假设,直接推导出FWM功率信号在WDM系统中传播所服从的非线性传输方程.该方程描述了光脉冲在WDM光纤系统中的传输行为,它可直接适用于WDM光纤传输系统的FWM效应的研究.

(3)利用上述FWM在光纤中的传输模型,进行了数值计算,并利用Optisystem仿真了DWDM中FWM效应改善前后的系统传输特性,得到的结论是经过合理的光纤的设计可以减小光纤链路中的FWM效应,此结论也验证了前面的理论分析.结果表明理论分析结果和软件仿真结果是一致的.

5. 期刊论文 [朱炜, 许文海, 赵学增, ZHU Wei, XU Wen-hai, ZHAO Xue-zeng 一种DWDM光源混合式控制器设计 -光纤与电缆及其应用技术2006, ""\(2\)](#)

分析了数字控制器和模拟控制器在DWDM(密集波分复用)光源控制器设计中的优缺点,提出了一种混合式控制器的设计.该控制器的核心是模拟控制器



,能够较好地保证系统的稳态精度.同时利用数字控制器对其进行监控,调整控制参数,保证DWDM光源的长期工作稳定.实验研究表明,该系统工作波长稳定性在0.005 nm以内,而且能够对系统参数漂移进行自校正.

## 6. 期刊论文 [王翠珍, 邱丽波, 李廷军, 唐金元](#) [UDWDM光纤通信及其关键技术分析](#) -[海军航空工程学院学报](#)2002, 17(6)

分析了波分复用(WDM)光纤通信的工作原理和应用特点,重点分析了目前研究中的超密集波分复用(UDWDM)光纤通信中的光源波长稳定技术、复用/去复用技术、掺铒光纤放大器(EDFA)和光纤的性能改善技术等关键技术.

## 7. 学位论文 [刘规东](#) [980nm光纤光栅外腔半导体激光器的研制](#) 2010

光纤通信系统中的密集波分复用(DWDM)技术对发射光源有很高的要求,要求发射波长精确、输出线宽窄等.光纤光栅外腔半导体激光器在很大程度上能够符合DWDM光纤通信系统的要求,近些年来成为该领域的一个研究热点;980nm半导体激光器被广泛应用于泵浦掺铒光纤放大器,它与单模光纤(SMF)通过合理的模型耦合,不仅能改善掺铒光纤放大器的性能,而且直接影响光纤传输的中继距离,因而日益受到人们的重视.

本论文采用楔形柱透镜光纤光栅(FBG)形成外腔,获得了激光波长稳定的980nm光纤光栅外腔半导体激光器.其主要内容可概括如下:

- (1)对光纤光栅外腔半导体激光器的工作原理作了详细的分析,包括发光机制、模式选择理论、等效腔理论、速率方程、激光器与光纤的耦合理论等.
- (2)基于等效腔理论,考虑半导体激光器端面反射率、外腔长度及光纤光栅三者的共同作用,利用Matlab仿真模拟了它们对光纤光栅外腔半导体激光器输出特性(如阈值增益、输出功率、线宽和边模抑制比)的影响,并获得了优化的参数.
- (3)分析了均匀光纤布拉格光栅的光学特性,结合优化的光纤光栅反射率,确定了光纤光栅其它参数,包括周期、长度.
- (4)针对980nm半导体激光器与楔形柱透镜光纤耦合,利用matlab软件仿真计算出优化的光纤微透镜参数(楔形柱透镜曲率半径和半楔角)及激光器与透镜光纤端的最佳距离.
- (5)介绍980nm光纤光栅外腔半导体激光器的蝶形模块封装工艺.
- (6)通过对器件输出特性的测试来证实理论计算出的优化模型的准确性.

关键词: 外腔半导体激光器 光纤光栅 光谱线宽 楔形柱透镜

## 8. 期刊论文 [赵江海, 史仪凯, 单宁, 袁小庆, ZHAO Jiang-hai, SHI Yi-kai, SHAN ning, YUAN Xiao-qing](#) [一种非本征光](#)

### [纤珀声发射传感系统的研制](#) -[传感技术学报](#)2007, 20(8)

针对光纤珀声发射传感器输出信号衰减与失真问题,设计一种采用改进的双波长稳定技术的传感系统.分析系统工作原理,建立双波长稳定优化模型与设计光电检测前置放大电路.采用1×2密集波分复用器产生两路处于正交状态的输出信号,密集波分复用器(DWDM)滤波波长用优化模型求解.试验结果表明当法珀腔长度变化在0~2 μm范围内,双波长最大正交误差为11%,能够满足光纤法珀声发射传感器工作点的稳定要求.通过对振动与断铅笔芯信号检测,初步验证这种传感系统可用于构件的损伤检测.

## 9. 学位论文 [吕昌贵](#) [光纤布拉格光栅传输特性理论分析及其实验研究](#) 2005

论文首先综述了光纤光栅在WDM高速全光通信和传感领域的应用,总结了目前光纤光栅制作方法以及传输特性理论分析方法的进展,并在现有耦合模理论和实验基础上对光纤布拉格光栅(FBG)的传输特性进行了理论分析,对光栅的制作和应用进行了实验研究.

耦合模理论通常被用来分析光纤光栅的传输特性.对于均匀正弦光纤布拉格光栅,耦合模方程组存在解析解.结合分段均匀的传输矩阵法,该方法可以分析各种非均匀的光纤光栅.采用这种方法,我们分析了单模均匀正弦光纤布拉格光栅Fabry-Perot(F-P)腔的传输特性.这种F-P腔的谐振峰只出现在光栅的反射峰内;由于光栅的反射相位因子影响,在光栅的第一对零点带宽内总是存在多个谐振峰;由于光栅反射峰边缘反射率逐渐减小到零,当F-P腔谐振谱线间隔大于光栅3db带宽的一半时,腔就处于单模运转状态.根据光纤光栅和光纤光栅F-P腔的传输特性,论文给出了如何设计F-P腔的结构来实现腔在光栅的中心耦合波长处的单模运转,为线性腔光纤激光器的设计提供理论依据.

由于这种单模运转的光纤光栅F-P腔在同一根光纤材料上制作,其光谱形状随温度变化和应变的整体线性漂移特性,使其具有潜在的开发实用前景,如可调的窄带滤波器,带宽比光纤布拉格光栅带宽小几个量级,可调特性与光纤布拉格光栅相同.我们首次将这种单模运转的光纤光栅F-P腔滤波器作为环形腔光纤激光器的内腔选频元件,实现了稳定的单频输出.由于不存在增益介质长度的限制,这种结构的环形腔光纤激光器还具有大功率可调谐输出的潜在优点.

多模光纤布拉格光栅正成为一个新的研究热点.一方面,多模光纤易与其他光源耦合,并且相对较小的色散使其适用于光纤通信系统,特别是在接入网应用中.另一方面,多模光纤布拉格光栅较为复杂的光谱特性也为光纤传感提供了更多的选择.我们首次采用耦合模理论分析了多模光纤布拉格光栅的模式耦合及传输特性,模拟了多模光纤布拉格光栅的反射光谱.由于多模光纤中存在传播常数不同的多个传输模式,多模光纤布拉格光栅中模式的相互耦合形成多个反射峰.各个模式携带的能量将影响着这些反射峰的大小,这也使得多模光纤布拉格光栅的反射谱形状依赖于光栅中模式的激发条件.

当光纤中存在的模式数量较多时,耦合模方程组因数量太多而不利于求解.针对多模光纤中各个模式的角向分布规律不同,我们因此还提出了适用于具有圆柱对称结构波导中光传输的考虑了角向分布的三维标量时域有限差分法,并模拟了光纤中光的传播.使用此方法分析多模光纤布拉格光栅的工作还没有完善,在此基础上我们还需要能够将反射场与激发场分离开以便分析波导的反射和透射光谱特性.

作为实验研究的基础,我们系统研究了光纤布拉格光栅的制作与封装,建立了一套基于相位掩模法的光纤光栅扫描刻写系统,紫外光源采用输出功率约100mW的连续倍频离子激光系统(输出波长244nm).在此基础上,我们提出并实现了面向该光栅生产制作过程的计算机逆向程序辅助设计.该逆向设计首先需要在不同条件下刻写的两根光栅的参数作为刻写系统的标准参数,然后根据所需光栅的特性直接给出采用该系统制作光栅的实验刻写条件.在很多应用中,如光纤激光器的稳定单频输出、密集波分复用DWDM的中心波长稳定等,为保证器件性能都要求光纤光栅的光谱特性对环境温度是稳定的.因此我们设计了一种单端温度补偿的封装结构,其结构简单,成本低.另外,我们提出了一种新的利用光栅周期渐变来补偿折射率切趾引起的自致啁啾效应的切趾布拉格光栅刻写方法,这种光栅折射率调制相对于纤芯折射率不存在突变.在光栅刻写过程中总是或多或少地存在着各种随机扰动,我们因此还分析了光栅周期随机涨落和折射率调制横向分布不均匀对布拉格光栅反射特性的影响.

最后,我们研究了有机双光子吸收介质中动态光栅的建立,以及因而产生的反向受激瑞利散射现象.由于存在双光子共振吸收,光致折射率变化得到共振增强,介质的非线性折射率系数 $n_2$ 相对较大.因此我们建议在双光子共振吸收材料制作的纤维上建立动态光纤光栅作为激光器的外腔反射镜来实现全光波长转换器.

## 10. 期刊论文 [外腔长度变化对光纤光栅外腔LD激光波长的影响](#) -[激光技术](#)2005, 29(5)

密集波分复用(DWDM)光纤通信系统对光源的波长稳定性有很高的要求.主要就可供DWDM系统选用的光源之一光纤光栅外腔半导体激光器(FGSL)的波长稳定性进行讨论.通过计及半导体激光器(LD)、外腔及光纤光栅(FG)三者的共同作用,根据光纤光栅外腔半导体激光器的相位条件确定FGSL的激光纵模分布后,理论上研究了FGSL的激光波长随FG外腔长度的变化.结果表明,外腔较短时,外腔长度的微小变化可以导致FGSL的激光波长产生显著的变化;外腔较长(大于10cm)时,外腔长度的变化对FGSL的激光波长基本没有影响.

1. [周进军](#). [元秀华](#). [李博](#) [用ADN8830实现半导体激光器的自动温度控制](#)[期刊论文]-[光学与光电技术](#) 2005(2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_dzsjyy200303003.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzsjyy200303003.aspx)

授权使用: 哈尔滨医科大学 (hebykdx), 授权号: 148a90e0-56da-4ce3-a0ca-9e19015b432a

下载时间: 2010年10月24日