

一种基于垂直腔面发射的光传输用多波长稳定光源

程康,邱黛君,张瑞锋,郭波,孔炜,黄清波

(山东省计量科学研究院,济南 250014)

摘要:针对光通信应用中一些光源输出波长和功率稳定性差的问题,研制了一种基于垂直腔面发射(VCSEL)的光传输用多波长稳定光源。详细描述了稳定光源的结构和工作原理,测试了其输出波长分别为 660 nm、850 nm、1310 nm、1490 nm 和 1550 nm 时的中心波长、输出功率以及输出功率的短时间和长时间稳定性。测试结果表明:该稳定光源具有良好的性能,适合作为光通信传输用的稳定光源。

关键词:垂直腔面发射;光传输;光通信;多波长;稳定光源

中图分类号:TN248.4 文献标志码:A 文章编号:1002-5561(2020)09-0030-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.09.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Multi-wavelength stable light source for optical transmission based on vertical cavity surface emission

CHENG Kang, QIU Daijun, ZHANG Ruifeng, GUO Bo, KONG Wei, HUANG Qingbo

(Shandong National Institute of Metrology, Jinan 250014, China)

Abstract: Aiming at the poor stability of output wavelength and power of some light sources in optical communication applications, a multi wavelength stable light source for optical transmission based on vertical cavity surface emission (VCSEL) is developed. The structure and working principle of the stable light source are described in detail. The central wavelength, output power and short-term and long-term stability of the output power are measured at 660 nm, 850 nm, 1310 nm, 1490 nm and 1550 nm respectively. The test results show that the stable light source has good performance and is suitable for optical communication transmission.

Key words: vertical cavity surface emission; optical transmission; optical communication; multi-wavelength; stable light source

0 引言

光传输用的稳定光源(简称为稳定光源)以光纤方式输出特定波长的激光,在光通信线路铺设、线路检查、设备维护和光纤衰减测量等应用中不可或缺,是光通信领域重要的光器件^[1-3]。在应用过程中,稳定光源发出已知波长和功率的光,并结合其它光通信器件完成测量工作。输出光中心波长、功率以及功率稳定度是选择稳定光源最重要的指标,在某些特殊应用上还需考虑谱宽、偏振度和偏振态等参数。近年来,随

着光通信技术和设备的不断发展,对光源输出功率的要求越来越高。与发光二极管(LED)光源相比,激光二极管(LD)光源输出功率大、转换效率高,因此 LD 在光通信领域得到了更为广泛的应用^[4]。

光源在光通信领域的应用中,输出光器件与光纤的耦合是较为关键的技术,直接影响到光源的输出光效率。垂直腔表面发射激光器(VCSEL)是 LD 光源的一种,它将谐振腔镜放在有源增益区的上、下表面,光从器件的表面发出,因而 VCSEL 没有明显的衍射效应,这有利于输出激光器件与光纤的耦合^[5]。此外,由于 VCSEL 有较宽范围的半导体材料作有源增益区,因此 VCSEL 输出激光的波长范围包含了可见光区的 630~690 nm^[6]、可用在多模光纤系统的 780~870 nm^[7]以及用在单模光纤系统的 1300~1600 nm^[8],非常适合在光通信领域中作为光传输用稳定光源。然而,VCSEL 独特的短腔型结构导致了其输出波长和功率对工作

收稿日期:2020-04-14。

作者简介:程康(1986—),男,博士,高级工程师,现就职于山东省计量科学研究院,从事光学计量方面的工作,主要研究方向为激光、光通信器件及其它光学相关的计量与测试技术,曾参与多个省部级科研项目。



温度的变化极为敏感。当工作温度变化较大时,VCSEL的输出波长和功率的稳定性也会随之变差,这极大限制了VCSEL在光通信领域的应用^[9]。基于上述问题,本文通过对VCSEL工作温度的有效控制,研制一种光传输用多波长稳定光源。

1 稳定光源的结构及工作原理

1.1 结构

VCSEL结构一般由上分布布喇格反射镜(DBR)、有源增益区、下DBR和衬底等构成。当输入到有源区的电流达到阈值条件时,相干性极高的光束会在DBR之间反射,形成谐振腔,最后从VCSEL顶部输出激光。为了减少工作温度变化对VCSEL输出激光波长和功率的影响,本文在VCSEL的衬底结构下设计加装一组温控器件,如图1所示。该器件为半导体热电制冷片,其内部结构是一个利用珀尔帖效应实现加热和制冷的半导体P-N结。通过内置热敏传感电阻的反馈,调整制冷片内部的电流大小和方向,从而实现对VCSEL工作温度的控制。

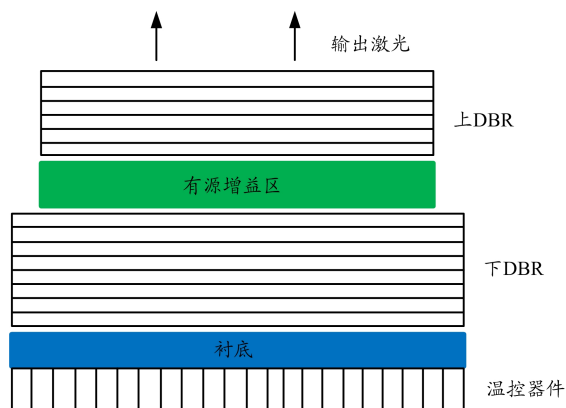


图1 设计后的VCSEL结构图

1.2 工作原理

加装温控器件的VCSEL与未装温控器件的VCSEL输出功率稳定度的对比结果如图2所示。二者在相同条件下以初始输出功率10 dBm为例,每间隔5 min读取功率值,可以看出未装温控器件的VCSEL在25 min后输出功率明显下降,而加装温控器件的VCSEL在50 min内输出光功率更为稳定,适合长时间工作。

与传统的端面发射或边发射不同,该稳定光源的输出激光是从VCSEL的表面发射的,这令其具有圆形对称光斑,虽然比边发射稍大,但是发散角非常小,使VCSEL输出光器件与光纤的耦合效率非常高。由于

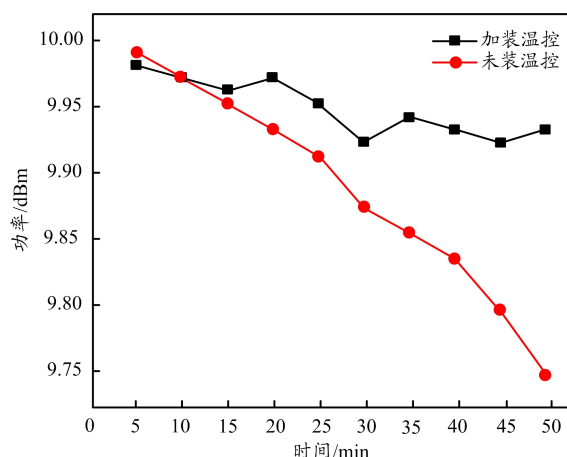


图2 加装温控器件与未装温控器件的VCSEL输出功率对比结果

VCSEL的阈值电流非常低,这样不但耗电量很少,而且散失的热量也比边发射激光器少,使其能在很宽的温度和电流范围内都以单纵模工作,成品率高、价格低。DBR的结构一般由40~60层、每层厚度为 $\lambda/4$ 和折射率周期高低变化的交替膜组成。DBR选择性地反射窄带波长的光束,只有特定波长的光束才能返回光器件,使之得到进一步的放大,这就使得输出激光限制在单频的状态。

由于VCSEL谐振腔腔长很短,为了获得更加稳定的输出激光,VCSEL有源增益区的材料增益必须足够大。使用不同的半导体材料作为有源增益区的增益介质,可实现可见光区、单模光纤系统及多模光纤系统等波段范围内的激光输出。经过外延生长和封装等重要程序步骤,本文实现了660 nm、850 nm、1310 nm、1490 nm和1550 nm这5个光通信常用波长的稳定光源,并将5种VCSEL集成为一体,方便携带使用。该稳定光源基于加装半导体热电制冷片的VCSEL结构,与光纤耦合效率高、稳定性强、成品率高且价格低廉,非常适合在光通信领域中作为光传输用的稳定光源。

2 稳定光源的测试

为了测试基于VCSEL的光传输用多波长输出的稳定光源波长及输出功率的性能,本文按照JJG958-2000《光传输用稳定光源》国家计量检定规程^[10](下文简称为规程)对其进行检定。检定期间确保实验室的温度为 $(20\pm 5)^\circ\text{C}$,相对湿度小于85%,实验室无剧烈震动和影响测量结果的电磁干扰。

2.1 稳定光源中心波长的检定

中心波长是定义稳定光源最基本的参数,它的准确度直接影响到稳定光源的使用。检定稳定光源中心

程康,邱黛君,张瑞锋,等:一种基于垂直腔面发射的光传输用多波长稳定光源

波长所用的标准器为经上级法定计量技术机构溯源的光谱分析仪,由中国科技集团第四十一研究所生产,型号为 AV6362(技术指标:工作波长为 600~1700 nm;分辨率为 0.001 nm)。由于该型号光谱分析仪的最大接收功率小于待检稳定光源的输出功率,因此还需用到光衰减器,光衰减器同样经过上级溯源,由美国 EXFO 生产,型号为 IQ-206(光衰减模块),其动态衰减范围为 0~60 dB,插入损耗 ≤ 1.5 dB。

预热被检稳定光源、光衰减器及光谱分析仪后,使用相应模式光纤依次连接稳定光源、光衰减器和光谱分析仪,设定合适光衰减值,对稳定光源的中心波长依据规程的方法和步骤进行检定,其结果如表 1 所示。

表 1 稳定光源中心波长的检定结果

输出波长/nm	检定结果/nm	不确定度(k=2)
660	660.011	0.015
850	849.985	0.015
1310	1310.008	0.016
1490	1490.012	0.017
1550	1549.992	0.016

不确定度是与检定结果关联的一个参数,用于表征合理赋予被测量值的分散性; k 为置信因子,用于表征不确定度的置信概率。本文中的不确定度依据《GB/T 27418-2017 测量不确定度评定和表示》国家标准^[10]规定的方法和公式计算得出。表 1 中不确定度评定的分量包含了光谱分析仪的误差引入的不确定度分量、中心波长测量重复性引入的不确定度分量和光纤连接光衰减器引入的不确定度分量。由表 1 可知,稳定光源 5 种波长的中心波长与名义值都较为符合。其中,相差最大的为多模光纤系统的波长光源输出波长为 850 nm 时,其检定结果为 849.985 nm,与名义波长相差仅为 0.015 nm,证明了稳定光源的中心波长检定结果完全符合规程和应用的要求。

2.2 稳定光源输出功率的检定

2.2.1 输出功率的稳定度

输出功率是评价稳定光源最重要的技术指标,包括最大输出功率、短时间的稳定度和长时间的稳定度。检定输出功率所用的标准器为标准光功率计,需经上级溯源。标准光功率计为美国 EXFO 公司生产,型号为 IQ-206(光功率模块),其功率测量范围为 +20~-80 dBm,分辨率为 0.001 dBm。

预热被检稳定光源及标准光功率计后,挑选光纤连接稳定光源和标准光功率计,对稳定光源的输出功

率及其结果的不确定度依据规程和标准分别进行检定和计算,其结果如表 2 所示。

表 2 稳定光源输出功率的检定结果

输出波长/nm	检定结果/dBm	不确定度(k=2)%
660	12.14	2.2
850	11.78	2.2
1310	12.65	2.1
1490	10.88	2.2
1550	12.87	2.1

输出功率的不确定度以相对的形式表示,主要有 4 个因素组成,分别是标准光功率计误差引入的不确定度分量、输出功率测量重复性引入的不确定度分量、被检光源的稳定度引入的不确定度分量和光纤连接线的不稳定性引入的不确定度分量。由表 2 可知,稳定光源 5 种波长的输出激光功率均大于 10 dBm,其中 1550 nm 波长的光源达到了 12.87 dBm。表 2 结果说明稳定光源各波长的输出激光功率完全可以满足光通信传输用稳定光源的要求。

2.2.2 输出功率的短时间和长时间的稳定度

输出功率的短时间稳定度和长时间稳定度同样是稳定光源的 2 个重要指标。将短时间稳定度的时间设定为 15 min、长时间稳定度的时间设定为 5 h。分别在设定时间内间隔读取 10 次功率值,并根据规程检定稳定光源输出功率的短时间和长时间稳定度,结果分别如表 3 和表 4 所示。

表 3 稳定光源输出功率短时间稳定度的检定结果(15 min)

输出波长/nm	测量结果(每间隔 1.5 min, dBm)					稳定度/dB
660	12.14	12.14	12.15	12.14	12.14	0.004
	12.13	12.12	12.12	12.12	12.12	
850	11.79	11.78	11.77	11.79	11.77	0.004
	11.78	11.77	11.76	11.76	11.76	
1310	12.65	12.63	12.63	12.64	12.63	0.005
	12.63	12.63	12.62	12.62	12.61	
1490	10.88	10.88	10.87	10.86	10.87	0.004
	10.86	10.87	10.87	10.86	10.85	
1550	12.87	12.86	12.88	12.87	12.86	0.005
	12.86	12.86	12.87	12.85	12.85	

由表 3 可知,稳定光源 5 种波长的输出功率在 15 min 内的短时间稳定度最大值仅为 0.005 dB,满足规程中规定的 ± 0.02 dB 的要求。

表4 稳定光源输出功率长时间稳定度的检定结果(5 h)

输出波长/nm	测量结果(每间隔 30 min, dBm)					稳定度/dB
660	12.13	12.11	12.10	12.10	12.09	0.02
	12.08	12.06	12.06	12.04	12.02	
850	11.79	11.76	11.77	11.73	11.72	0.02
	11.71	11.70	11.71	11.69	11.68	
1310	12.64	12.63	12.62	12.63	12.60	0.02
	12.58	12.59	12.56	12.54	12.52	
1490	10.87	10.88	10.86	10.84	10.82	0.02
	10.81	10.80	10.79	10.78	10.76	
1550	12.87	12.86	12.85	12.82	12.80	0.02
	12.79	12.78	12.77	12.75	12.75	

由表4可知,稳定光源5种波长的输出功率在5 h内的长时间稳定度均为0.02 dB,同样满足规程中 ± 0.2 dB的要求。测试结果表明:该稳定光源的中心波长、输出功率、短时间和长时间的稳定度等检定项目均满足规程的要求,可作为光通信领域中光传输用光源。

3 结束语

针对VCSEL结构对工作温度变化较为敏感的问题,本文在VCSEL衬底下加装了温控器件,实现了5种波长输出的光通信传输用稳定光源,输出波长分别为660 nm、850 nm、1310 nm、1490 nm和1550 nm。通

过对比实验及测试,结果证明了该稳定光源的性能优良,其中心波长、输出功率和输出功率短、长时间稳定度均优于规程和使用的要求,非常适合作为光通信领域中的光传输用稳定光源。该稳定光源在最大输出功率上还有提升空间,这是今后实验中重点研究的内容。

参考文献:

- [1] PALAIS J C. 光纤通信[M]. 王江平,刘杰,闻传花,等译. 北京:电子工业出版社,2006.
- [2] 冯平兴,张洪波. 基于10G-class器件的NRZ-FTN 100G NG-PON2传输算法[J]. 光通信技术,2019,43(9):53-57.
- [3] 宋丽君,张鹏飞,王鑫,等. 光纤环形谐振腔的频率锁定及其特性[J]. 物理学报,2019,68(7):153-160.
- [4] 张定梅. 基于半导体环形激光器的宽带混沌信号的获取[J]. 湖北大学学报(自然科学版),2019,41(6):620-625.
- [5] 张颖艳,岳蕾,傅栋博,等. 光通信仪表与测试应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2012.
- [6] BALLMANN T, ROSSBACH R, BUTENDEICH R, et al. Red VCSEL for high-temperature applications[J]. Journal of Crystal Growth, 2004, 272(1): 549-554.
- [7] 周广正,兰天,李颖,等. 高温稳定25 Gbit/s 850 nm垂直腔面发射激光器[J]. 发光学报,2019,40(5):630-634.
- [8] 刘丽杰,吴远大,王玥,等. 1310 nm垂直腔面发射激光器芯片制备技术的研究进展[J]. 发光学报,2016,37(7):809-815.
- [9] 梁雪梅,张星,张建伟,等. 910 nm高功率垂直腔面发射激光光源[J]. 红外与毫米波学报,2019,38(5):668-673.
- [10] 全国光学计量技术委员会. 光传输用稳定光源检定规程:JJG958-2000[S]. 北京:信息产业部通信计量中心,2000:1-5.
- [11] 全国认证认可标准化技术委员会. 测量不确定度评定和表示国家标准:GB/T27418-2017[S]. 北京:中国合格评定国家认可中心,2017:1-17.