

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.06.04

用于光纤光栅解调仪表的 SGDBR 光源研究

杜泽翰, 隋广慧, 高超

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 取样光栅分布布拉格反射型 (Sampled Grating Distributed Bragg Reflector, SGDBR) 光源是一种电流驱动的波长可调谐激光光源。本文介绍了该光源的原理特性, 通过搭建自动标定系统确立该光源驱动电流组合和输出光波长的对应关系, 再将此对应关系用于电路设计中, 并对该光源输出的光谱参数进行了实验验证, 得到一种可用于光纤光栅解调仪表中的低成本波长扫描光源。

关键词: SGDBR 光源; 自动标定系统; 光电系统设计

中图分类号: TB96

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)06-0015-05

Research on SGDBR Light Source used in Fiber Bragg Grating Interrogator

DU Zehan, SUI Guanghui, GAO Chao

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement of AVIC, Beijing 100095, China)

Abstract: Sampled Grating Distributed Bragg Reflector (SGDBR) light source is a current driven wavelength tunable light source. This paper introduces the principle characteristics of the light source, through the platform of automatic calibration system to establish the relationship between the driving current and the output light wavelength, then the relationship are validated by experiment ally. We have successfully developed a low cost wavelength-scanning light source which can be used in the fiber Bragg grating interrogator.

Key words: SGDBR light source; automatic calibration; photoelectric system design

0 引言

近年来, 光纤光栅的传感特性在光学计量中应用广泛。光纤光栅传感系统是由光纤光栅传感器 (FBG) 和解调仪表组成的, 其中的核心部分是解调仪表, 而光源作为解调仪表中的重要部件, 其好坏直接影响到解调精度与负载能力。目前国内解调仪表中的光源大多数为带宽 40 nm 的 ASE 宽带光源, 其光谱线宽较宽, 扫描频率较低, 不能满足更宽波长范围和更多测量通道的光纤光栅解调要求。国外高精度的解调仪表中采用高精度可调谐 F-P 滤波器或者高像素 CCD 成像元件, 光学系统复杂, 很难降低解调仪表的硬件成本。本文提出的 SGDBR 光源符合低成本大容量的要求。目前 SGDBR 光源作为可调谐备用光源广泛运用在光纤通信中, 属于工程应用成熟的产品, 对这一技术加以改进, 完全可以用于光纤光栅解调仪表中^[1]。

1 背景介绍

SGDBR 光源是一种可调谐半导体激光器^[2], 它的来源与发展历程可以简单地由图 1 所示的框图来概括。

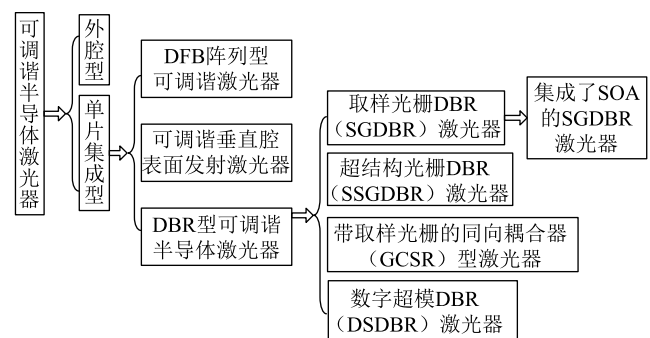


图 1 SGDBR 激光器的来源与发展示意图

本文中的 SGDBR 光源是集成有半导体放大器 SOA 的 SGDBR 激光器^[3-4]。半导体光放大器 SOA 不仅可以调节控制光源不同中心波长的光功率, 而且可在扫描光源波长切换时减弱可能出现的瞬态模式。

图 2 为 SGDBR 光源各区段的功能结构。光源中有两个取样光栅区, 它有梳状的反射谱, 其原理类似于

收稿日期: 2017-09-09

作者简介: 杜泽翰(1993-), 男, 硕士研究生, 从事光纤传感方面的研究工作。

游标卡尺,最大的特点是可以用前、后两个取样光栅区来筛选滤波,从而实现远大于传统DFB和DBR激光器的波长调谐范围^[5]。

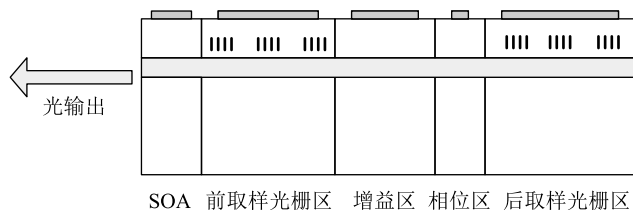


图2 SGDBR光源功能结构

本文中所采用的SGDBR光源芯片输出光信号波长的可调谐范围可以覆盖整个C波段(1528~1568 nm);输出光功率在9~13 dbm(8.0~20 mW)之间;最大的工作电压 ≤ 3 V;增益区电流值 $I_{GAIN} < 160$ mA;前、后光栅区电流值(I_F, I_R) < 50 mA;相位区电流值 $I_{PHASE} < 10$ mA;光放大器电流值 $I_{SOA} < 240$ mA。温度调节TEC模块的 $I_{TEC} < 1.2$ A, $U_{TEC} < 3.5$ V。

SGDBR光源需要六个电流源驱动。其中 I_{TEC} 控制光源的工作温度, I_F, I_R, I_{PHASE} 控制光源的光谱特性, I_{GAIN} 控制光功率, I_{SOA} 提高功率、消除瞬态模式^[6]。解调仪表中光源工作温度在25℃左右, I_{TEC} 只需把SGDBR光源的工作温度稳定在25℃即可。 I_{GAIN} 可调节光功率,保持其他电流不变,将 I_{GAIN} 从0 mA逐渐增大到100 mA,可测得SGDBR光源在20 mA以下没有输出功率,在20~100 mA里 I_{GAIN} 与输出光功率呈线性关系。这两个电流值仅用于调整工作温度和光功率,不影响扫描光谱的中心波长。

主要影响SGDBR光源中心波长值的是 I_F, I_R, I_{PHASE} 。调节 I_F, I_R 可以改变梳状反射峰的位置,光谱变化很大且无明显规律,甚至可能会出现光纤光栅解调中不希望看到的宽线宽光谱、多模光谱的情况;调节 I_{PHASE} 改变光源中激光器的腔模,可以在小范围内实现光谱微调。需要遍历这三个电流的组合,然后判定输出光谱是否满足解调仪表光源的指标要求,筛选得到的光谱参数,建立“波长—电流”对应关系。

2 SGDBR光源的自动标定系统设计

遍历筛选电流组合的工作量相当巨大,如果使用手动调试的方法,则工作量繁重且容易出错。为此需要软件编程来控制测试设备,开发一套自动化标定平台。图3为自动标定系统框图。

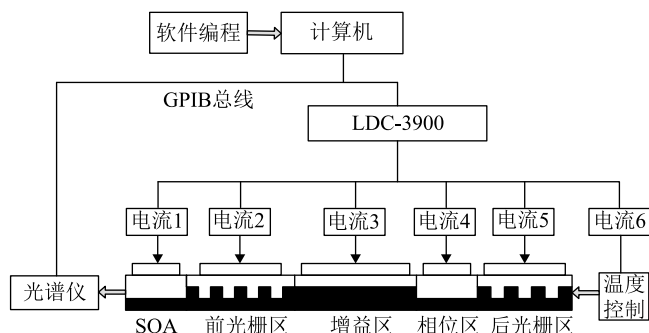


图3 SGDBR光源自动标定系统框图

图3中ILX Lightwave公司的LDC-3900是专为SGDBR光源提供驱动电流的设备,可以同时提供六个电流范围为0~200 mA,分辨力为0.01 mA的电流源。该设备可以用GPIB总线连接计算机,通过编程对各个电流源的输出电流进行遍历,可以解决电流组合过多所导致的手动采集数据量过大的问题。

利用LabVIEW中的VISA库函数可以对多个仪器设备收发指令,从而同时对LDC-3900和光谱仪进行控制。自动标定系统的程序流程图如图4所示。

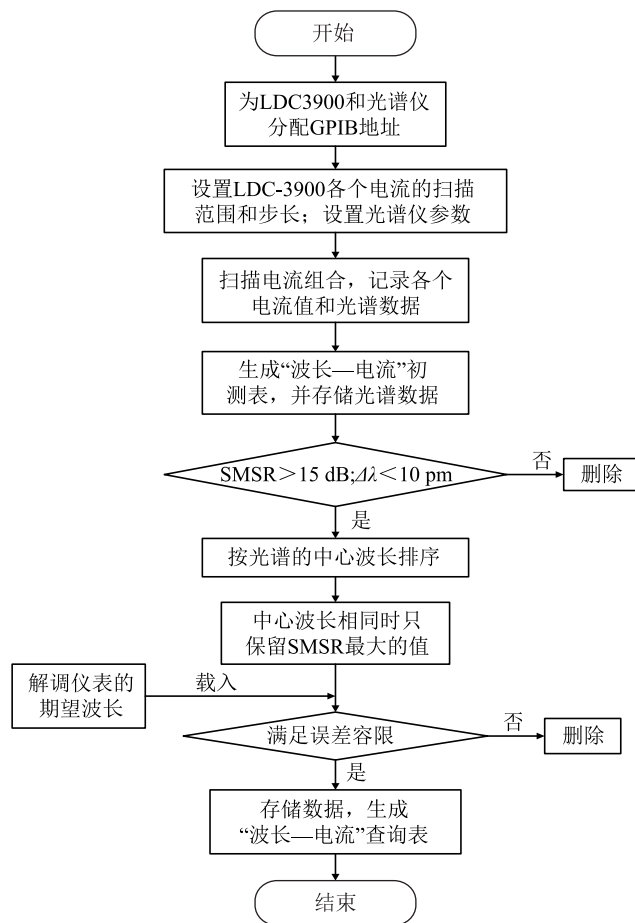


图4 自动标定系统的程序流程图

首先需要为 LDC-3900 和光谱仪提供 GPIB 地址；接着设置光谱仪的参数，如中心波长、波长范围、取样点等；同时设置扫描电流的范围和步长，程序将会把电流组合范围内所有的测试数据，包括 SGDBR 光源各个区段的电流值以及输出光谱信息保存生成“波长—电流”初测表。

对光源驱动电流的扫描主要是对 SGDBR 光源的前、后取样光栅区和相位区进行扫描。根据 SGDBR 芯片的特性，相位区的扫描范围是 0~5 mA，扫描步长为 0.01 mA；前、后取样光栅区的扫描范围均为 0~30 mA，扫描步长为 0.01 mA。

SGDBR 光源是可调谐的窄带光源，解调仪表中主要关注的几个参数指标是中心波长 λ_c ，光谱线宽

(3dB 带宽) $\Delta\lambda$ ，边模抑制比 SMSR 以及光功率 P 。根据光纤光栅解调仪表的需求，拟定了如下的光谱判定标准：3 dB 带宽 $\Delta\lambda < 10 \text{ pm}$ ；边模抑制比 SMSR $> 15 \text{ dB}$ 。

对于同一个中心波长的输出光信号仅保留一组最优的电流组合。在得到“波长—电流”初测表过后，首先对前述“波长—电流”初测表中所有的测试结果进行判断，保留边模抑制比大于 15 dB 且 3 dB 带宽小于 10 pm 的数据。再将所得数据按中心波长排序，当波长相同时保留 SMSR 最大的测试点。最终将得出满足光纤光栅解调仪表光源的“波长—电流”数据查询表。表 1 节选了一部分筛选出来的理想光谱数据来简单说明“波长—电流”查询表的样式。

表 1 “波长—电流”数据查询表

序号	TEC/°C	$I_{\text{GAIN}}/\text{mA}$	I_{SOA}/mA	$I_{\text{PHASE}}/\text{mA}$	I_{F}/mA	I_{R}/mA	3 dB 带宽/pm	边模抑制比/dB	中心波长/nm
1	25	98.00	102.47	2.12	3.50	2.29	5.715	15.97	1567.859
2	25	98.00	97.68	0.52	0.80	0.73	6.072	20.148	1564.149
3	25	98.00	105.97	1.84	8.16	7.64	4.563	20.325	1560.122
4	25	98.00	101.93	1.18	3.18	4.20	4.635	20.930	1556.062
5	25	98.00	100.08	0.47	0.99	2.15	7.473	21.647	1552.012
6	25	98.00	105.08	0.43	8.89	1.14	5.335	15.093	1548.017
7	25	98.00	107.93	0.96	3.91	8.83	4.059	15.427	1544.045
8	25	98.00	113.53	0.57	19.98	5.55	3.170	16.542	1540.076
9	25	98.00	111.57	1.52	9.96	2.96	5.274	19.03	1536.130
10	25	98.00	108.57	2.48	4.37	1.45	4.512	23.867	1532.206
11	25	98.00	115.61	1.09	21.18	10.54	4.186	20.45	1528.308

3 SGDBR 光源的光电系统设计

目前，光纤光栅传感解调仪表小型化是大势所趋，不可能将体积庞大的 SGDBR 激光器电流驱动设备直接用到光纤光栅解调仪表中。因此，需要把 SGDBR 激光器输出光纤光栅解调所需光信号的功能用更为小型化的电路板模块来实现。

SGDBR 光源电路板可用上位机来控制，实现光源各个驱动电流的快速改变，从而实现波长扫描。理论上讲，电流改变速度越快，SGDBR 光源波长切换速度越快，扫描频率越高。利用光谱仪和示波器可以看到波长切换过程中波长和功率的变化情况。

光电系统的总体设计框图如图 5 所示，用含有 FPGA 芯片的电流控制板查找 SGDBR 光源的“波长—电流”数据查询表，控制输出六个电流源的电流值组合，

得出相应的光波长值。

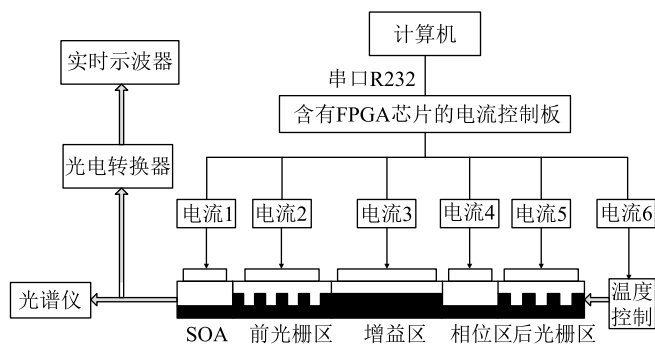


图 5 总体设计框图

FPGA 在查找、输出过程中，每一次输出光信号之前都要判别光源的工作温度是否稳定，以确保光电系统所输出的光信号是有效的。

另外,光源的使用伴随着热效应,会影响中心波长和光功率。光电系统需要设计一个自动控制 SGDBR 光源工作温度的电路,使其稳定工作在 $(25 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 。

当实时监测的管芯温度稳定在目标温度时,LED 指示灯会常亮;当实时监测的管芯温度在目标温度附近时,LED 指示灯会以 1 秒的时间间隔闪烁;当实时监测的管芯温度不在目标温度附近时,则电路中的 LED 指示灯不亮。温度控制的电路板实物图如图 6 所示。

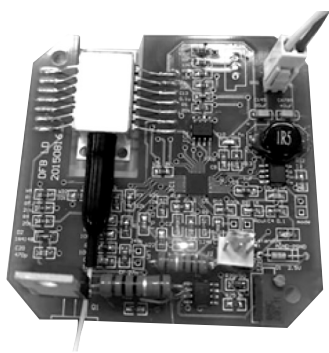


图 6 温度控制模块电路板实物图

4 SGDBR 光源的实验验证

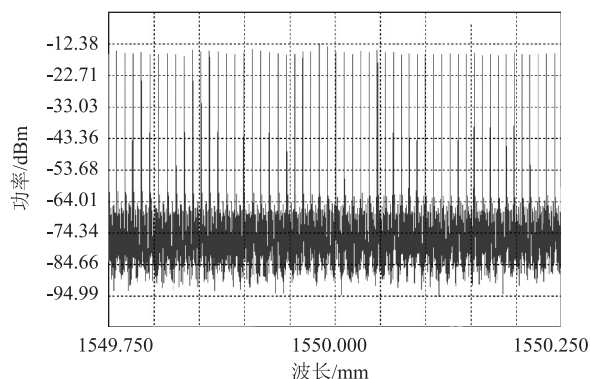
SGDBR 光源上电后需要预热 30 s 左右的时间,通信串口波特率为 9600,无校验位,数据位为 8,停止位为 1。在使用光源之前,需要通过串口 RS-232 配置其扫描起点、终点和步长。在稳定性允许的前提下,扫描步长越小,仪表的解调精度越高。

将 SGDBR 光源接入光谱仪,测试其光谱参数。在 1529~1569 nm 范围内任意选取三个不同范围的扫描光谱,其光谱图如图 7 所示。

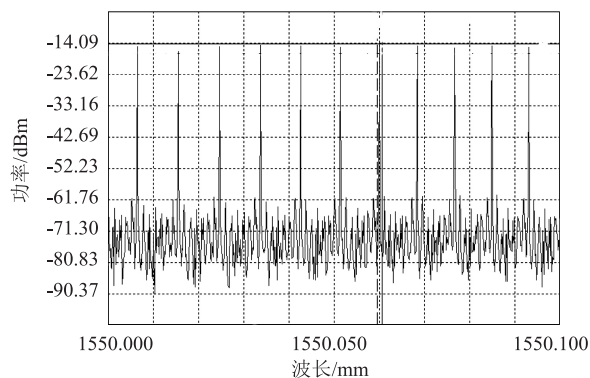
分析其光谱参数,得到:①扫描光源的波长范围是 1529~1569 nm,相邻 2 次扫描的步长为 8 pm;②每个扫描步长输出光谱的线宽在 2 pm 左右;③每个扫描步长输出光谱的边模抑制比在 30 dB 左右;④光源输出的光功率稳定在 4.8~5.5 mW 之间。以上参数满足光纤光栅传感解调仪表对于扫描光源的要求。

5 结论

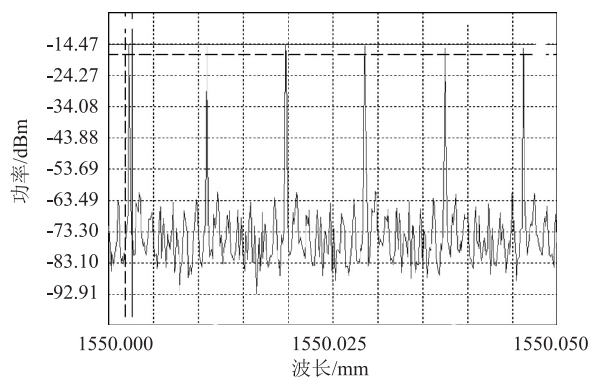
本文对 SGDBR 光源的基本原理和特性分析进行介绍,针对光纤光栅传感解调对于光源的要求,搭建了 SGDBR 光源的自动标定系统得到驱动电流和输出光信号的对应关系,并设计了电路板级的 SGDBR 光源光电系统,经实验验证可以输出 1529~1569 nm 范围内连续可调谐的扫描光信号,光功率、线宽、边模抑制比等



(a) 0.5 nm 范围的扫描光谱



(b) 0.1 nm 范围的扫描光谱



(c) 0.05 nm 范围的扫描光谱

图 7 三种不同选取范围下的光谱图

都满足光纤光栅解调仪表的要求。

参考文献

- [1] Coldren L A, Fish G A, Akulova Y, et al. Tunable semiconductor lasers: a tutorial[J]. Journal of Lightwave Technology, 2004, 22(1): 193-202.
- [2] Barton J S, Skogen E J, Masanovic M L, et al. A widely tunable high-speed transmitter using an integrated SGDBR laser-semiconductor optical amplifier and Mach-Zehnder modulator[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2003, 9(5): 1113-1117.
- [3] 姜攀. SOA 在单片集成可调谐半导体激光器中的应用[D].

武汉：华中科技大学，2008.

[4] Mason B, Barton J, Fish G A, et al. Design of sampled grating DBR lasers with integrated semiconductor optical amplifiers [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2000, 12(7): 762-764.
 [5] Larson M C, Akulova Y A, Coldren C W, et al. High perform-

ance widely-tunable SG-DBR lasers[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2003, 4995: 66-80.

[6] 孙义斌. 用于光纤解调仪表的 SOA 扫描光源研究[J]. 计测技术, 2016(s1): 5-9.

(上接第 14 页)

2 仿真分析

仿真分析的边界条件：舱体内外恒温 60℃；壳体舱壁厚为 2.5 mm，外壁直径为 180 mm；法兰盘厚度 16 mm，直径 176 mm；法兰盘与壳体一体成型。

某牌号导热绝缘垫片：压缩后 1.4 mm，导热系数 6.5 W/(k·m)；某牌号镁合金导热系数 105 W/(k·m)；加载顺序：先 15 min 满载，后 15 min 半载。

应用 Icepak 软件进行分析，可知在 150 s 时已经达到热平衡，热平衡过程如图 4 所示；热平衡后印制板温度云图如图 5 所示，分析得出电子元件最高温度在 63℃ 附近。依据要求元件工作最高允许温度为 75℃，并预留热冗余 5%，即元件工作温度不超过 70℃ 时，可维持元件正常工作，软件分析最高温度不超过 65℃，理论分析证明此种结构设计符合要求。

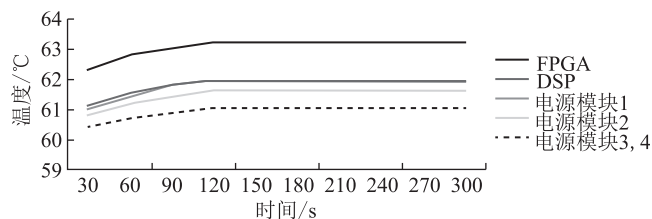
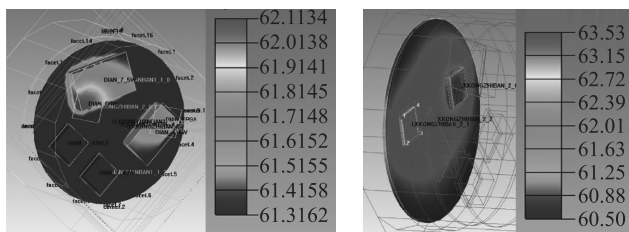


图 4 系统达到热传导平衡时间示意图



(a) 电源模块印制板温度云图 (b) FPGA与DSP印制板温度云图

图 5 印制板热平衡后温度分布云图

3 实验验证

50℃ 工作环境下，实测工作元器件升温后的温度是否在 70℃ 以下，进行 10 次试验，结果如表 2 所示。

表 2 中的 10 次测试结果表明：在工作温度环境

下，元器件的最高温度均在允许工作温度以下，进而说明此设计是满足要求的。

表 2 元器件热试验结果表

试验次序	热测试结果/℃
第一次试验	65.0
第二次试验	66.0
第三次试验	64.5
第四次试验	65.8
第五次试验	66.2
第六次试验	65.8
第七次试验	66.0
第八次试验	67.4
第九次试验	66.2
第十次试验	67.2

4 总结

应用本文结构设计方案的单机通过了试验验证，证明热结构设计合理且具有可行性。在传统设计思路的基础上，预先应用理论计算与仿真分析相结合的方式对结构设计进行指导，在满足设计要求，同时考虑降低成本的前提下，应用价格低廉的材料以及加工工艺进行生产。成功解决了如何降低研发成本与材料成本的难题。此种理论计算与仿真计算相结合的设计思路为将来的散热结构设计提供了参考及指导。

参考文献

[1] 梁斌, 方伟, 田静, 等. 电子设备结构优化设计支撑软件技术[J]. 电子技术, 2007, 47(2): 189-193.
 [2] 崔巍, 祝渊, 袁轩一, 等. 高导热高绝缘导热硅脂的制备及性能表征[J]. 稀有金属材料与工程, 2011, 40(S1): 443-446.
 [3] 何锡源, 张旭, 张福甲. 封装用高热导率硅胶性能的研究[J]. 光电子技术, 2011, 31(2): 141-144.
 [4] 电子工业部第十四研究所. 电子设备冷却设计手册[M]. 南京: 电子工业部第十四研究所, 1984.
 [5] 张永存, 乔赫廷. 关于最优导热结构设计的数学模型探讨[C]//CSMO-2009 论文集. 大连, 2009: 582-592.