

数据通信用光电集成智能化 CSFP 光模块

刘希^{1,2} 薛原^{1,2} 徐红春^{1,2} 胡广文^{1,2}

(¹ 光纤通信技术和网络国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

² 武汉电信器件有限公司, 湖北 武汉 430074

摘要 为满足光模块产品低成本、高链路容量的发展需求,提出了一种紧凑型小型化可热插拔(CSFP)光收发模块的设计方案及测试方法。简要说明了CSFP的应用背景,并详细论述了CSFP中的光电集成技术及其优势,针对模块发送、接收及控制等关键电路提出了符合CSFP MSA协议的模块设计方案,并根据此设计方案制作了样品模块,通过测试和分析其性能参数,证实了方案的可行性,为实际的产品化生产提供了参考,达到了预期目标。

关键词 光通信;紧凑型小型化可热插拔;光电集成;光波导;眼图

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.110602

Optoelectronic Integrated CSFP Intelligent Transceiver in Data Communication

Liu Xi^{1,2} Xue Yuan^{1,2} Xu Hongchun^{1,2} Hu Guangwen^{1,2}

(¹ State Key Laboratory of Optical Communication Technologies and Networks,
Wuhan, Hubei 430074, China
² Wuhan Telecommunication Devices Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract To meet the further demand of low cost and high link capacity to optical module products, a kind of design and test method for compact small form-factor pluggable (CSFP) optical transceiver module is provided. Above all, the CSFP application background is briefly explained, and the photoelectric integration technology in CSFP and its advantage is discussed, and then a general design scheme according to CSFP MSA agreement from sending, receiving and controlling circuit is put forward. After testing and analysing the performance parameters of CSFP sample module, the results confirmed the feasibility of the scheme, which provides a reference for the actual production of products.

Key words optical communication; compact small form-factor pluggable; optoelectronic integration; optical waveguide; eye diagram

OCIS codes 060.2300; 060.3510; 140.2020; 230.2090

1 引言

近几年来,随着光纤到户、全光网络等热点应用的兴起,通信业正面临带宽和速度的双重挑战,大容量、高速率和高质量的光纤通信已成为信息产业发展的必然趋势。光收发模块是光网络建设的重要组成部分,其核心功能就是在各种传输网络之间提供光电接口,完成光电或电光转换,确保通信网的连接。目前应用较广的光模块类型是小型化可热插拔(SFP)模块系列产品。在当前的主流通信容量和速率下,它基本能满足通信的要求。但随着一系列热点应用的兴起以及对光模块产品低成本、高链路容量的进一步需求,紧凑型小型化可热插拔(CSFP)光收发模块便应运而生。在现在流行的SFP工业封装基础上,通过采用双通道,甚至四通道的设计,CSFP不改变现有接口形式,但将外形尺寸缩小到现有标准的1/2或1/4,通过组合还可灵活配置通道数量。采用高集成度光电回路和封装技术研制的CSFP光模块继承了SFP所有的技术优势,大幅度减小光模块和通信系统设备的外形尺寸,成倍提升端口密度及信息吞吐量的同时也降低了系统成本,商业

收稿日期: 2012-05-21; 收到修改稿日期: 2012-07-16; 网络出版日期: 2012-09-10

作者简介: 刘希(1984—),男,硕士,工程师,主要从事光收发模块方面的研究。E-mail: liuxi@wtd.com.cn

价值巨大。

本文旨在研究和设计出一种集成两路传统单纤双向(BIDI)SFP的CSFP模块,并对其性能进行测试,通过进一步分析数据结果,验证产品性能,证实设计方案的可行性,为CSFP光模块的实际生产提供理论依据。

2 CSFP中的光电集成技术

光电集成技术的出现是光学器件和系统发展的必然趋势,也是当今光电子学领域的前沿技术,它主要研究如何将光学器件与电子元件集成封装在一起以完成传统有源、无源光元件的功能。将半导体激光器、探测器等有源器件集成在同一平面衬底上,并用光波导、耦合器、隔离器和滤波器等无源器件连接起来,构成实现微型化、集成化和薄膜化的微型光学系统称为集成光路。如果同时与如电阻、电容等电子元件集成,则构成混合光电集成系统^[1]。

混合光电集成可以实现作为基础光元件体系的光波导和有源器件的自由结合,所以可以较容易制作出各种功能的光集成器件,生产成本较低,是目前最合适的实用集成途径。图1是混合集成的一个典型例子。它通过在硅衬底光波导上集成芯片,实现了一个双向光通信收发器的混合光器件体系。半导体激光器、光探测器等有源器件和构成波导基础光路所必需的无源元件,各自选择最合适的材料,采用不同的制造工艺,组成最合适的器件形式,这是混合集成的最大特征^[2]。正因为如此,大多数混合集成元件在研究初期就可以具备满足实用化条件的性能。

混合光集成的一个困难之处在于将光有源器件装配到无源波导衬底上,目前通过平面光波回路(PLC)技术可有效解决这个难题。图2是具有石英-硅台面的PLC平台结构。这种平台用具有台面区域的硅代替常规的平坦硅衬底,其主要由PLC区、器件装配区和导线区3部分组成。在PLC区中的埋入式光波导的传输损耗非常小(小于0.1 dB/cm),这是因为其形成在紧邻台面硅衬底的基平面附近。器件装配区含有硅台面,其对于光电子器件可以起到对准和散热的作用。在硅台面上形成厚度大约为0.5 μm的二氧化硅(SiO₂)电绝缘层,再在这个绝缘层上面做焊料图型。由于在事先设计时已经使波导区与光电器件有源层距焊料表面的距离相同,所以将光电器件倒放在焊料上, SiO₂光波导和光电器件便可以容易的实现垂直校准。导线区的一个主要优点就是导线可以做在石英层上,而不是在硅衬底上。通常硅衬底导线由于硅表面本身具有微弱导电性,所以在传输高速电信号时会有很大的损耗和电容。而这个问题可以用石英层导线解决。所以,PLC平台还充当了光器件性能优异的导线基板。

相比传统的分立光器件,集成光学系统主要具备如下优点:1)体积小、重量轻。光学器件集成封装在毫米级衬底上,大大缩减了元件的体积和重量。2)集成器件内光路的高度稳定性。集成光学技术可以在同一块衬底上直接集成若干器件,可以较好的保持部件的稳定性,因而不存在传统分立光器件所具有的同轴组装问题,所以它对机械震动等环境因素的适应性也较强。3)功率密度高。光波导尺寸较小,器件空间布局紧凑,单位面积内功率密度提高,阈值减小。

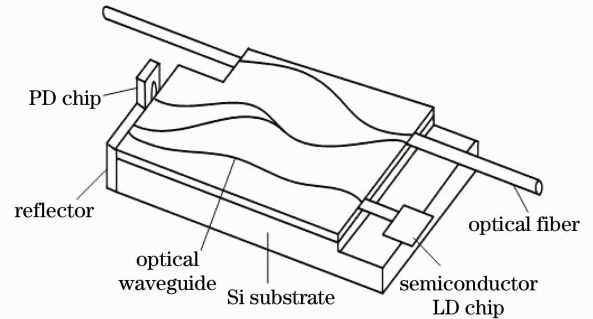


图1 混合光电集成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of hybrid optoelectronic integration

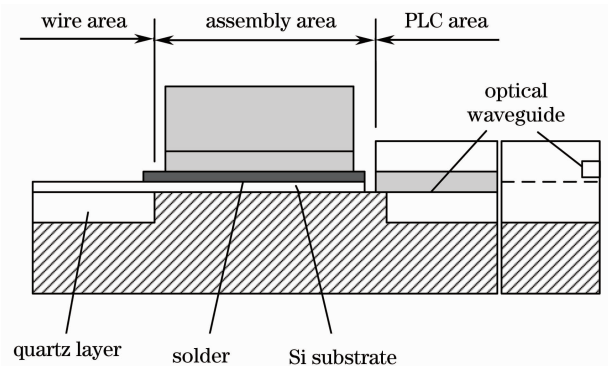


图2 基于石英-硅台面的PLC平台

Fig. 2 PLC platform based on quartz-Si substrate

3 工作原理

CSFP 光模块在传统 SFP 模块外型尺寸上,集成了两个 BIDI SFP 模块。该模块由两个 PLC BOSA 来实现原来同一外型尺寸下两个通道的双向收发。引脚定义和监控量与传统的 SFP 模块有较大不同,其他功能基本一样,其结构如图 3 所示,其中 LOS 为告警信号,IC 为集成芯片,MCU 为微控制器,EEPROM 为电可擦除只读存储器,BOSA 为光收发组件。

由图 3 可以看到,CSFP 完成了两个传统的单纤双向 SFP 模块的功能集成,其结构中包含两路独立的光发射接收通道,每路通道由一个 PLC BOSA 器件负责完成光信号的接收和电信号的发射,是 CSFP 模块的核心部件。

发射部分由 BOSA 中的发射器和三合一芯片中驱动电路组成,而发射器主要由激光二极管(LD)及监控发射光功率的背光二极管(PD)组成。驱动电路的作用在于提供激光器所需的偏置电流和调制电流,前者用于开启激光器工作状态,后者主要用来将电接口接收到的调制信号加载到输出光信号上。目前的驱动电路一般都具备自动功率控制(APC)功能,可以保证激光器全程发光功率恒定,其原理是根据监控二极管的背光电流大小来动态调节偏置电流^[3]。

接收部分主要包括 BOSA 中的接收器及三合一芯片中的限幅放大器,其中接收器又由探测器和前置放大器组成。探测器将接收到的光信号通过光电转换变成带有数据信息的微弱电信号,但此时电信号的摆动幅度很大且含有较多噪声,需要输入到前置放大器中放大。前置放大器又称跨阻放大器,具备自动增益控制(AGC)功能,可以大大减小输出电信号的摆动幅度。最后主放大器完成二级放大功能,将电信号放大到所需的电平范围后输出。

微控制器主要对激光器驱动电路、主放大器及 EEPROM 进行控制。EEPROM 的基本单元主要用于存储产品型号、序号、生产日期等相关产品固定信息,而 CSFP 模块数字诊断监控(DDM)功能的实现还需要增加用于转换采集信号的转换电路^[4]。这些电路用于模块输出光功率、输入光功率、工作电压、温度和偏置电流等参数的实时监控和上报。采集电路将这些参数对应的瞬时电压值送至转换电路,输出的数字信号存储在 EEPROM 的相应单元^[5],具体监控方式如图 4 所示,其中 TX 为发送端电信号,SPI 为串行外围设备接口。

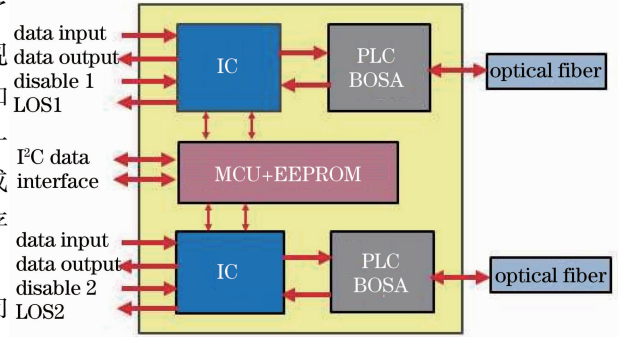


图 3 CSFP 光模块结构

Fig. 3 CSFP optical module structure

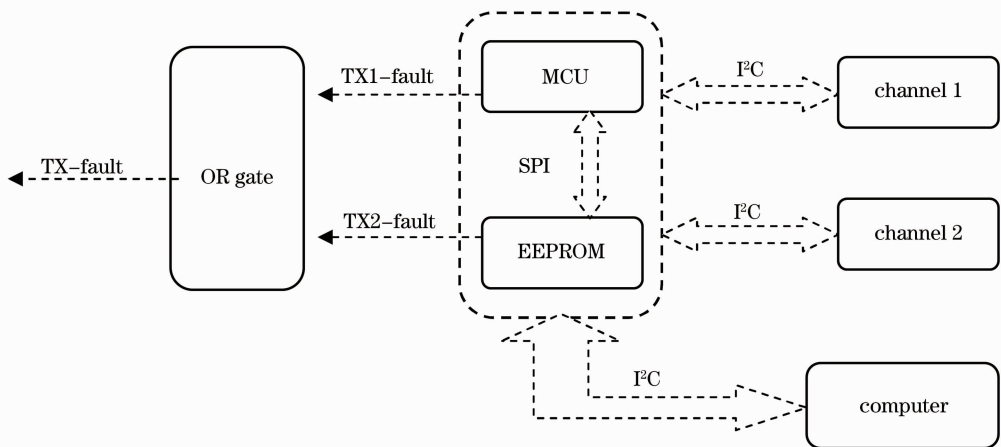


图 4 CSFP 光模块的监控通信方式

Fig. 4 Monitoring communication mode of CSFP optical module

图 4 中,CSFP 模块与上位机系统之间的接口采用 I²C 总线方式,即时钟线(SCL)和数据线(SDA)的方式,通过金手指实现电接口,完成上位机对光模块的信息读写。MCU 与存储元件 EEPROM 之间的数据传递是通过 SPI 总线,即时钟线、数据输入线和数据输出线的方式。MCU 通过 I²C 总线对两路通道进行监控,

一旦检测到某个通道主要参数的异常变化,MCU 就分别报 TX1-Fault 或 TX2-Fault,表示通道 1 或通道 2 出错。MCU 的 TX1-Fault 和 TX2-Fault 输出引脚同时连接到一个或门的输入端,只有当两路通道都正常工作时,模块金手指的 TX-Fault 引脚才不会向上位机报警。否则,任一路传输通道出现异常,模块发出报警信号。

4 测试与分析

根据上述工作原理研制出了如图 5 所示的两种 CSFP 光模块,工作速率同为 1.25 Gb/s,工作波长为发射 1310 nm 和接收 1490 nm 或发射 1490 nm 和接收 1310 nm,两种模块彼此配对工作,满足 CSFP MSA 协议标准,与传统 SFP 模块封装完全一致,外接双 LC 接口单模光纤,主要应用于 1000BASE-BX 以太网。

4.1 测试方案

CSFP 模块的测试平台如下图 6 所示。将待测的 CSFP 模块插入一个标准的 CSFP 测试主板,主板与电源连接并有可选择的 2 线接口。测试时先选择测试第一路或者第二路,选定后把误码仪上的数据线与测试板的接口相连。一台串联的误码仪(BERT)用来产生和接收 1.25 Gb/s 下的 PRBS-23 数据流,通过测试板加载到 CSFP 模块上,经过模块后转换成相应的光信号,光信号由高速示波器观察,然后返回到接收端或连接到一个光衰减器上,光衰减器的输出连接到 CSFP 模块的接收端上。电源为模块提供 3.3 V 工作电压,电脑通过串口、并口或 USB 接口对模块进行监控和读写操作。为方便起见,本次主要测试发送波长 1490 nm 的 1.25 Gb/s CSFP 模块。



图 5 1.25 Gb/s CSFP 配对模块样品

Fig. 5 1.25 Gb/s CSFP matched modules samples

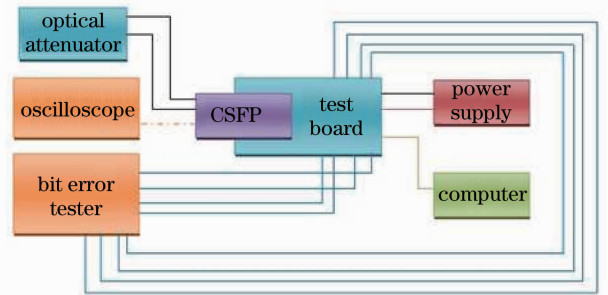


图 6 CSFP 光模块测试平台

Fig. 6 Testing platform of CSFP optical module

4.2 测试数据与分析

因为 CSFP 光模块具备双通道传输能力,所以在数据测试上也相应的体现出来。首先测试时只分别连接单独一路通路,另一路通路不工作,保持无调制状态,这样做主要考察单路通路工作的最佳状态。具体测试数据如表 1 所示。

表 1 CSFP 光模块单通道测试数据
Table 1 CSFP test data by single channel

| | Channel 1 | | | Channel 2 | | |
|--------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | 0 °C | 25 °C | 75 °C | 0 °C | 25 °C | 75 °C |
| Power/dBm | -4.4 | -4.5 | -4.4 | -4.6 | -4.5 | -4.6 |
| Extinction /dB | 11.9 | 12.1 | 12.4 | 12.2 | 12.3 | 12.7 |
| Sensitivity /dBm | -26.8 | -27.0 | -26.5 | -27.0 | -26.6 | -26.2 |
| Los assert /dBm | -31.5 | -31.2 | -30.4 | -31.3 | -30.0 | -30.2 |
| Los de-assert /dBm | -29.5 | -29.0 | -28.1 | -29.1 | -28.2 | -28.3 |
| 10 km fiber transmission | No error | No error | No error | No error | No error | No error |

由于两路通路集成在一块主板上,并且可以同时双工工作,因此测试一路时必须考虑到另一路的通信是否会对本路的正常工作造成影响,这是模拟 CSFP 光模块正常应用的重要考核,具体测试数据如表 2 所示。

在实际测试中,除了获取参数的具体数值,还可以通过示波器观察眼图对信号传输质量进行综合的评

价。根据眼图的眼形、线条的粗细等可以比较直观的反应码间串扰或噪声影响的程度,为进一步改善传输性能提供了参考依据。

图 7 和图 8 列出了发射波长为 1490 nm 的 1.25 Gb/s CSFP 光模块两个通道在 0 °C、25 °C 和 70 °C 环境下双路工作的眼图。

表 2 CSFP 光模块双通道测试数据

Table 2 CSFP test data by double channels

| | Channel 1 | | | Channel 2 | | |
|--------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | 0 °C | 25 °C | 75 °C | 0 °C | 25 °C | 75 °C |
| Power /dBm | -4.4 | -4.5 | -4.5 | -4.6 | -4.5 | -4.5 |
| Extinction /dB | 11.9 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.7 |
| Sensitivity /dBm | -25.3 | -26.0 | -25.3 | -25.8 | -25.5 | -25.2 |
| Los assert /dBm | -31.5 | -31.2 | -30.2 | -31.0 | -30.5 | -30.0 |
| Los de-assert /dBm | -29.7 | -29.2 | -28.1 | -29.2 | -28.4 | -28.3 |
| 10 km fiber transmission | No error | No error | No error | No error | No error | No error |

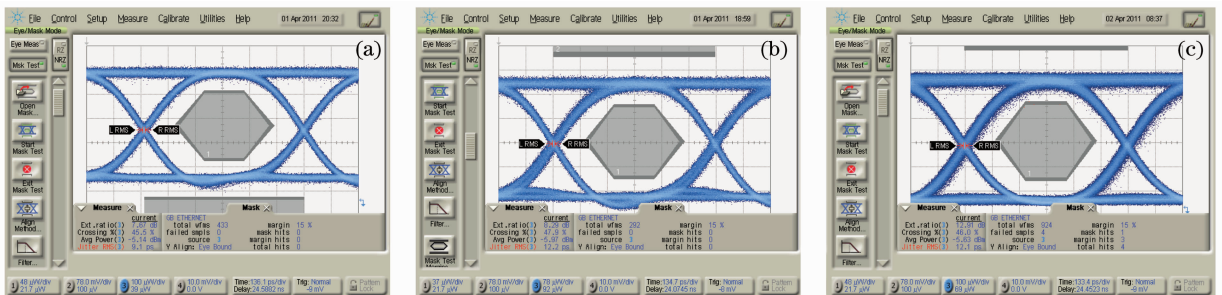


图 7 CSFP 模块双路工作眼图(通路 1)。(a) 0 °C ; (b) 25 °C ; (c) 70 °C

Fig. 7 Eye diagram of CSFP module by double channels (channel 1). (a) 0 °C ; (b) 25 °C ; (c) 70 °C

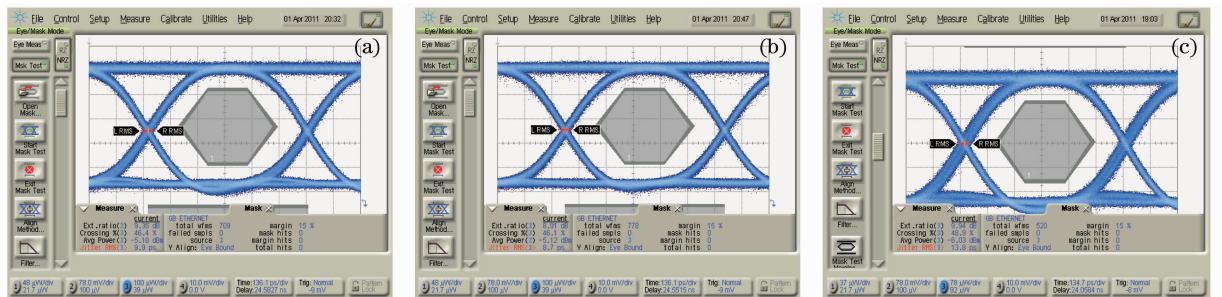


图 8 CSFP 模块双路工作眼图(通路 2)。(a) 0 °C ; (b) 25 °C ; (c) 70 °C

Fig. 8 Eye diagram of CSFP module by double channels (channel 2). (a) 0 °C ; (b) 25 °C ; (c) 70 °C

从测试数据可以看出,在 CSFP 光模块单路工作时,各通路包括光功率、消光比和灵敏度等重要参数都在规范范围内,并且在全温范围内波动很小,说明模块具备良好的稳定性。接收方面,告警与告警恢复全温范围内基本保持 2 dBm 的功率间隔,有效避免了某些情况下光模块在告警点上的反复报警。CSFP 光模块双路工作时,除了灵敏度降低约 1 dBm 外,其他重要参数基本保持不变,达到国内外同类产品领先水平。眼图方面,眼形饱满规整,张开度较大且交叉点适中,套上千兆模板后仍留有 不少余量,由于器件内部及模块电路仍有部分寄生参数未完全匹配,还有进一步调校的空间。

5 结 论

采用本方案设计及研制的 CSFP 光模块样品完全符合 CSFP MSA 标准,性能达到同类产品先进水平,

具有较高的可行性,为 CSFP 光模块产品的实际生产提供了参考。

参 考 文 献

- 1 Li Junjie. Development of photonic integration technology and its influence to WDM transmission system [J]. *Telecommunications Science*, 2008, (5): 1~4
李俊杰. 光子集成技术的发展及其对 WDM 系统的影响[J]. 电信科学, 2008, (5): 1~4
- 2 Xu Hongchun. Technology evolution of optical integration in active optical devices [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, **47**(1): 48~51
徐红春. 光有源器件中的光集成技术演变 [J]. 激光与光电子学进展, 2010, **47**(1): 48~51
- 3 Xue Yuan. Research on 4.25 Gb/s Small Form-Factor Pluggable Optical Transceiver Based on Fiber Channel[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006
薛 原. 基于光纤通道的 4.25 Gb/s 小型化可热插拔光模块的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006
- 4 Wu Xu. Realization of digital diagnostics for SFP optical transceivers [J]. *J. Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering)*, 2006, (11): 156~159
吴 旭. 智能 SFP 光模块数字诊断功能的实现[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2006, (11): 156~159
- 5 Shao Hongzhou, Xie Xianzhong. Intelligent SFP modules and applications [J]. *Optical Communication Technology*, 2006, (6): 14~16
邵红洲, 谢显中. 智能 SFP 光模块及应用[J]. 光通信技术, 2006, (6): 14~16