Website: ycyk.brit.com.cn Email: ycyk704@163.com

面向宇航应用光传输微系统集成技术

高苏芳,陈龙飞,孙程程,仇 轲,万欢欢,郑东飞 (西安微电子技术研究所 西安 710119)

摘要:为了满足宇航系统对高速、宽带数据和图像传输产品小体积、轻质化的需求,研究光传输高速高密度集成 技术。基板采用带状差分线设计和叠层组装工艺,提高集成密度、缩小体积提升了系统组装的空间,并通过建模仿真 设计分析高速信号完整性;将光器件设计在外壳底板上,实现高效散热结构设计,同时提高了光器件使用可靠性;采 用混合集成微组装工艺,硅转接基板实现芯片级三维立体集成,采用二次封装技术解决了光纤高效耦合与气密共实现 的难题。微系统模块体积≤27 mm×24 mm×5 mm,气密封装漏率≤5×10⁻⁹Pa·m³/s(He)。

关键词: 硅转接板; 信号完整性; 光纤耦合; 气密封装 中图分类号: TN491 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2021)05-0012-05 DOI: 10.12347/j.ycyk.20210520001 引用格式: 高苏芳, 陈龙飞, 孙程程, 等. 面向宇航应用光传输微系统集成技术[J]. 遥测遥控, 2021, 42(5): 108-112.

Optical transmission micro-system integration technology for aerospace applications

GAO Sufang, CHEN Longfei, SUN Chengcheng, QIU Ke, WAN Huanhuan, ZHENG Dongfei (Xi'an Microelectronics Institute, Xi'an 710119, China)

Abstract: In order to meet the small size and light weight requirements of aerospace systems for high-speed and broadband data and image transmission products, this paper has developed an high-speed and high-density integration technology for optical transmission. The substrate adopts symmetrical strip difference line design, and laminated assembly to provide integration density and reduce volume. The high-speed signal integrity is analyzed through modeling and simulation. The optical device is innovatively designed on the bottom of the housing to achieve an efficient heat dissipation structure while improving the reliability of the optical device. By hybrid integrated micro-assembly technology, silicon interposer achieves chip-level three-dimension integration, and by multiple packaging technology, the problem of optical fiber coupling and sealing synchronization is also solved with the volume of the manufactured micro system module $\leq 27 \text{ mm} \times 24 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, and the leak rate of the sealed package $\leq 5 \times 10^{-9} \text{Pa.m}^3/\text{s}$.

Key words: Silicon interposer; Signal integrity; Optical fiber coupling; Sealed package

DOI: 10.12347/j.ycyk.20210520001

Citation: GAO Sufang, CHEN Longfei, SUN Chengcheng, et al. Optical transmission micro-system integration technology for aerospace applications[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(5): 108–112.

引 言

随着航天器型号功能、性能的不断提升,宇航系统对信息处理能力的要求越来越高,对智能化、小型化、轻质化、高性能等需求也日益迫切。对照国外先进技术的发展趋势,宇航系统应具备高速互联、高速信息传输与处理等能力。针对宇航系统数据传输和图像高速传输中"带宽瓶颈"、高速光互连的迫切需求,本文基于混合集成电路微组装工艺技术,实现光传输系统的各项关键技术,重点解决多路高速光传输集成化时的信号完整性、集成化时光器件的散热、多场强光纤阵列高效耦合和光传输气密性封装等高速高密度集成技术问题。研制出集成多路并行光传输微系统模块,尺寸: ≤27 mm×24 mm×5 mm; 光传输系统模块具有数字监测和诊断功能,可对系统的工作电压、工作温度、接收功率、光传输状态等 功能进行监测和诊断; 主要性能指标:光传输并行4路发射4路接收一体,单路高速 I/O 口传输速率和 光传输速率≤12 Gbps,消光比≥4 dB,灵敏度≤-12 dBm; 组装工艺指标: 三维立体组装和多次封装工 艺;可靠性指标:全密封封装,漏率≤5×10⁻⁹Pa·m³/s(He),具有一定的抗总剂量、单粒子和中子的能力。

1 光传输系统方案设计

1.1 光传输系统原理

宇航用光传输微系统模块,主要由微控制器 MCU (Microcontroller Unit)、Flash、低压差线性稳压器 LDO(Low Dropout Regulator)、晶振、发射驱动器、接收放大器、VCSEL(Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser)激光器阵列、PD (Photo Diode Detector)检测器阵列、MT/FA 跳纤和结构件组成,完成光传输系统中光信号的收发,其原理如图 1 所示。光传输微系统模块主要把带信息的高速电信号 CML (Current Mode Logic)经驱动放大器后输出可驱动 VCSEL 激光器阵列工作的电流信号,采用直接调制的方式把信息加载到光信号中用耦合方式通过光纤传输出去;含有信息的光信号从光纤传输到 PD 检测器阵列、检测器把光信号转换为电流信号,经接收放大器放大并转换为标准的电平信号传输出去;在光传输的过程中微控制器对光传输的状态进行监制和监测,主要有驱动器和放大器初始化和自诊断功能,存储模块的固定配置信息和数字监控信息,对激光驱动器调制\偏置电流、发射光功率、消光比等各参数的调整和检测,对接收放大器信号放大、均衡、预加重等各参数的调整和检测,并通过 I2C 双线实现诊断功能,监控光电模块温度、供电电压等参数变化情况,实现智能监控和故障告警指示功能。



图 1 光传输系统原理框图 Fig. 1 Frame of optical transmission micro-system

1.2 光路方案设计

采用 45°斜面光纤进行光信号传输,即把多模光纤直径 为 50 μm/125 μm 的端面,加工成 45°斜面,采用全反射原 理与激光器和检测器进行直接耦合,示意图如图 2 所示。 光纤 45°倾斜面经软处理后在其端面形成具有一定曲率的 微透镜,可在光束耦合过程中有效地提高耦合效率及光束 质量。

1.3 工艺方案设计

由于该光传输微系统体积小,采用混合集成工艺。基板分为高速基板1(PCB1)、普通基板2(PCB2)和陶瓷



图 2 光路耦合图 Fig. 2 Optical fiber coupling

基板 3(Substrate3),高速基板 1 只设计了差分带状线和差分线,基板 2 通过焊接工艺组装在基板 1 上 实现电连接;基板 2 采用双面组装元器件,在基板 1 相应位置设计直通开放腔,实现基板 2 背面元器件

组装设计,基板2正面立体集成了微控制器 MCU、硅转接板和 Flash,硅转接实现子 MCU 与 FLASH 互联,同时把外引脚归一化引出。为了实现良好的散热,LDO设计在基板3上,基板3直接组装在底板 上。外壳设计时考虑到光器件的散热,在底板上设计了散热凸台,底板采用散热良好的导热材料,一方 面为了光器件的散热,另一方面实现光耦合和光的高效可靠传输。

光纤尾纤采用局部焊接工艺,实现尾纤与壳体边框的气密性封装,微系统模块采用平行缝焊工艺实 现二次气密封装。

该光传输微系统结构如图 3 所示。



(c) 总结构

(c) General structure

图 3 光传输微系统结构图

(b) Assembly of three substrates

Fig. 3 Structure of optical transmission micro-system

2 高速信号完整性

陶瓷基板 3 分结构图

(a) Section of pcb1, pcb2 and substrate3

2.1 高速信号版图设计

高速信号板1主要设计高速差分信号(光发射部分),如图4(a)所示,差分线两个端头设计分别 与外壳外引脚和内部芯片键合、因此差分线两个端头设计了台阶、裸露出的差分线采用微带线差分线设 计,基板内部的差分线采用带状差分设计,实现差分信号性能同时提高了组装的空间;差分线设计时, 在保证差分阻抗满足要求的同时需要考虑阻抗的连续性。传输线的阻抗不连续,会引起信号的发射,从 而引起信号本身的畸变和衰减。为保证阻抗连续性设计,差分线的两个端头设计渐变过渡或圆滑过渡, 保证差分线阻抗参数的连续性。

2.2 高速信号仿真

采用 Ansoft 公司的 HFSS (High Frequency Structure Simulator) 软件,对高速信号的版图进行建模 仿真设计,如图 4(a) 所示。根据实际情况,仿真得到光传输系统中 4 个发射通道(A01~A04)的 S 参数(SD21 为差分信号插入损耗, SD11 为差分信号回波损耗)和 TDR 曲线,图4(b)、图4(c)是 以 A01 为例, 其 S 参数和 TDR 仿真结果。从图 4 中可以看出, 仿真结果满足设计要求。



(a) 差分信号模型 (a) Model of differential signal





3 热设计

该光传输微系统体积小、集成度高、功率密度较大。如果散热条件差就会导致电路内部电和光元器 件失效。该电路中形成温升的主要热源是 MCU(LC801E)、激光器阵列、驱动器、放大器和 LDO 线 性稳压器,它们所产生的热量以热传导、辐射、对流等方式向周围环境散热。体现形式是发热器件与其 接触面之间形成的热阻。设计版图时分散热点,是该电路热设计的主要内容。通过导热胶粘接降低热阻, 把光芯片直接组装在散热台,散热凸台与底板采用一体化设计,提高光器件的使用寿命和可靠性。

设置环境温度为 25℃,通过对模块进行建模仿真设计,常温和高温下光传输模块的仿真结果温度云 图如图 5 所示。 Temperature (degC) Temperature (degC)

由图 5 所示的热仿真云图 可以看出,光传输微系统模块 环境温度与内部芯片结温差最 高约为 26℃。在环境温度 80℃ 时,芯片结温最高为 106℃,该 微系统可以正常可靠地工作。

4 光传输微系统测试

4.1 高速信号板差分线的实 测 TDR

高速差分信号板 PCB1 实



物如图 6(a)所示,采用高速采样示波器的 TDR 功能对基板的差分线进行差分阻抗测试,实际测试值 在 98 Ω~130 Ω之间,实际测试值较仿真值偏大,可以通过调试激光驱动器的输入均衡寄存器和均衡放 大寄存器进行端口阻抗补偿。

4.2 光传输微系统测试结果

光传输微系统模块实物如图 6(b)所示,对该系统模块测试的光眼图如图 6(c)所示。从光眼图 可以看出,该光传输微系统工作传输速率为 10.312 5 Gbps 时,其消光比为 6.5 dB;其接收灵敏度/误码 率达到–12 dBm/10⁻¹²。



(a) 差分信号板 PCB1 (a) Differential signal pcb1



(b) 微系统模块
(b) Micro-system module
图 6 实物图与测试结果图
Fig. 6 Sample and results of measure



(c)光信号眼图 (c) Eye diagram of optical signals

5 结束语

本文研究了面向宇航应用光传输微系统集成技术,多个基板采用多层布线密度较大,且采用立体叠 层和平面组装结合,芯片通过硅转接基板实现立体集成,热点分散的同时实现了基板高密度集成;光器 件高效耦合同时实现了气密封装,不仅封装效率高,而且提高了集成度和可靠性,实现了光传输系统小 型化和轻质化;可广泛应用于宇航系统数据传输和图像传输等领域。

参考文献

- [1] 祝宁华. 光电子器件微波封装和测试[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] ZHANG Z, LIU Y, AN J, et al. 112 Gbit/s transmitter optical subassembly based on hybrid integrated directly modulated lasers[J]. Chinese Optics Letters, 2018, 16(6): 062501-1–062501-5.
- [3] ZHANG Z, LIU Y, WANG J, et al. Three-dimensional package design for electro-absorption modulation laser array[J]. IEEE Photonics Journal, 2016, 8(2): 1–12. DOI: 10.1109/JPHOT.2016.2540360.
- [4] 邵良滨,黄春跃,黄伟,等.光互连模块关键位置焊后对准偏移分析[J].中国电子科学研究院学报,2016,11(6):672-676. SHAO Liangbin, HUANG Chunyue, HUANG Wei, et al. Study on optical interconnect module key position alignment offset post welding[J]. Journal of CAEIT, 2016, 11(6): 672-676.
- [5] 毛久兵,杨伟,冯晓娟,等.光电互联电路中激光器与光纤间接耦合仿真分析[J]. 电子机械工程, 2019, 35(1): 50–54. MAO Jiubing, YANG Wei, FENG Xiaojuan, et al. Simulation and analysis of indirect coupling for laser and optical fiber in electro-optical interconnection circuit[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2019, 35(1): 50–54.
- [6] BAZZOTTI A, FERE M, MAGGI L, et al. Silicon pho-tonics assembly industrialization[C]//European Micro-electronics and Packaging Conference, 2015: 1–6.
- [7] NIEWEGLOWSKI K, LORENZ L, LUENGEN S, et al. Optical coupling with flexible polymer waveguides for chip-to-chip interconnects in electronic systems[J]. Microelectronics Reliability, 2018, 84: 121–126.
- [作者简介]

高苏芳	1976年生,硕士,	研究员,主要研究方向为混合集成电路、光电子混合集成技术。
陈龙飞	1988年生,硕士,	工程师,主要研究方向为 Sip 技术。
孙程程	1989年生,硕士,	高级工程师,主要研究方向为 Sip 技术。
仇轲	1995年生,硕士,	助理工程师,主要研究方向为光电子混合集成技术。
万欢欢	1994年生,硕士,	助理工程师,主要研究方向为混合集成电路。
郑东飞	1985年生,博士,	研究员,主要研究方向为混合集成电路、Sip 技术。

(本文编辑:潘三英)