

2.5 Gb/s 混合集成光发射机*

冯 军^{1,†} 时 伟² 缪 瑜¹ 李连鸣¹ 张 军² 王志功¹ 江 山²

(1 东南大学无线电系 射频与光电集成电路研究所, 南京 210096)

(2 武汉光迅科技有限责任公司, 武汉 430074)

摘要: 介绍了适用于光纤通信系统且具有完全自主知识产权的混合集成光发射机的研制. 该发射机采用薄膜电路和激光焊接耦合技术将高速集成电路和光电子器件进行混合集成, 其中高速集成电路是采用 $0.35\mu\text{m}$ 硅 CMOS 工艺实现的单片 4 × 1 复接器加激光驱动器芯片, 光电子器件是采用湿法腐蚀、聚合物平坦和 lift-off 等技术实现的激光器芯片, 最终混合集成模块采用蝶形管壳进行封装, 体积小、性能优良. 该发射机工作速率为 2.5 Gb/s, 波长为 1550nm, 输出光功率为 5.5 dBm, 消光比为 9.4 dB.

关键词: 光纤通信; 混合集成; 光发射机; 复接器; 激光驱动器

EEACC: 6260C

中图分类号: TN91

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)09-1681-05

1 引言

在信息呈爆炸式发展的今天, 光纤通信已成为现代信息网络的主要传输手段, 近几年国家干线网大部分仍采用 2.5 Gb/s 系统, 10 Gb/s 系统正在积极研制开发, 目前已有光缆线路总长度超过 100 万千米. 全国光纤通信网的大规模建设估计将持续 10 到 20 年的时间. 要提供宽带多媒体业务, 不仅要有宽带的传输网络, 而且信息高速公路的“最后一公里”, 即用户接入网更为关键, 所以这些系统所用收、发模块的需求是巨大的.

本文介绍的光发射机系统由复接器、激光驱动器和激光管构成. 整机工作情况是: 复接器在时钟信号控制下将 4 路低速信号复接成一路高速信号, 经由激光驱动器放大, 驱动激光管将电信号转换为光信号再通过光纤进行传输.

该系统涉及到光电器件和微电子电路两个部分, 通常这是两个分开的部分, 多采用不同的工艺在不同材料上制作, 然后将封装好的光电子器件和集成电路用常规方法在一块介质基板上实现. 因此发射机的实现就不仅是两个部件的最佳研制结果, 还应包括它们之间的耦合、封装. 另外, 在常规方式中, 器件的封装和器件之间的连线会产生一定的寄生电感、电容, 最终的器件体积大、价格居高不下. 实验表明, 在高达 2.5 Gb/s 高速率调制的情况下, 发射机电路中的寄生参数对性能有显著影响. 因此, 缩短两

部件间的间距, 减小寄生参数的影响, 是提高性能的关键所在.

本文介绍具有完全自主知识产权的混合集成光发射机的研制成果, 其中采用具有图形电极的 AlGaInAs/InP 2.5 Gb/s 脊波导管芯制作技术制作的 DFB-LD 激光器是由武汉光迅公司自行研制的^[1], 而 $0.35\mu\text{m}$ CMOS 工艺设计制作的单片 4 × 1 复接器加激光驱动器电路是由东南大学射频与光电集成电路研究所自行研制的, 混合集成光发射机是在武汉光迅公司完成的. 这是一种准单片集成技术^[2], 是一种 SOP(system on packaging)形式, 很适合当前国内从事光通信器件制造和研究的企业和单位的研究开发路线^[3,4].

2 器件性能

2.1 DFB-LD

高速激光器管芯的制作材料是我们首先考虑的问题, AlGaInAs 材料的 $E_c = 0.72 E_g$, 大于 InGaAsP 的 E_c ($E_c = 0.4 E_g$). 在高温下注入载流子不易泄露, 因而制作出的激光器的特征温度 T_0 要高于 InGaAsP 材料, 容易获得高温特性好的激光器. 同时 AlGaInAs 材料的载流子由高能态散射跃迁到低能态的驰豫时间缩短, 容易实现器件的高速率调制. 因此, 在高速直接调制激光器管芯的研究中, AlGaInAs 材料成为首选. 其次是结构问题, 由于脊波导结构的材料生长和管芯制作工艺简单、成

* 国家高技术研究发展计划资助项目 (批准号: 2001AA312010)

† 通信作者. Email: fengjun_seu@seu.edu.cn

品率高,还可以避免制作过程中有源区暴露所引起的 Al 氧化问题,所以成为高速直接调制激光器管芯研究中人们普遍采用的结构.通过采用湿法腐蚀、聚合物平坦和 lift-off 等技术,我们成功制作出高速率倒台形脊波导结构的无致冷 AlGaInAs/InP 直接调制激光器,主要技术如下:

(1) 对量子阱结构进行优化设计并完成 MOCVD 生长;MOCVD 外延材料为 AlGaInAs 材料,分别限制层采用了折射率渐变结构,它可以提高载流子限制作用,提高光模场限制因子,降低阈值电流密度.

(2) 用倒台型脊波导结合聚合物掩埋平坦化来减小 RC 参数,提高管芯光电特性.

(3) 采用 lift-off 图形电极结合电镀工艺技术提高器件的高频响应特性.

(4) 采用短腔结合端面高反膜技术提高器件的高频响应特性.

对制作出的器件进行测试,结果显示器件的 I_{th} 为 15mA,电阻为 6 Ω ,外微分量子效率为 0.15mW/mA,小信号高频响应的 3dB 带宽大于 10Gb/s,其频响曲线如图 1 所示,图中曲线自左向右的测试电流由 25mA 逐渐增加到 55mA.

2.2 集成电路芯片设计

单片集成光发射集成电路功能框图如图 2 所

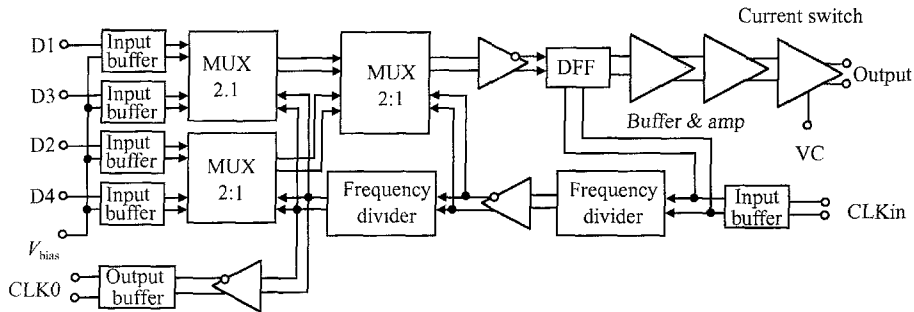


图 2 单片集成光发射集成电路功能框图

Fig. 2 Block diagram of the monolithic ICs transmitter

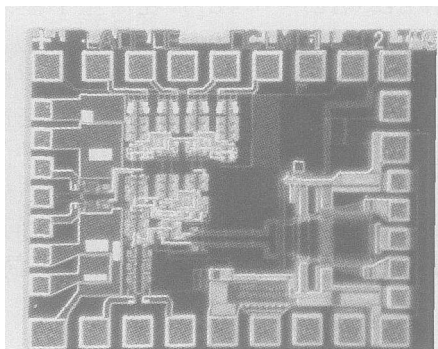


图 3 复接+驱动集成电路芯片照片

Fig. 3 Microphotographs of the transmitter

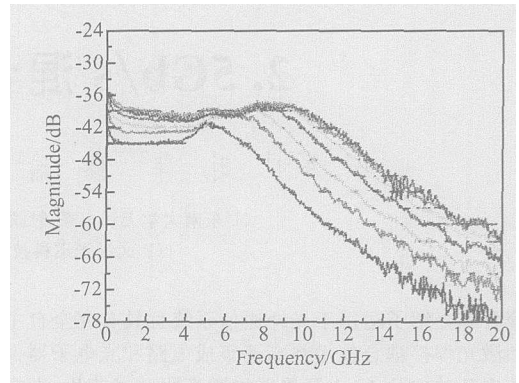


图 1 激光器管芯小信号频响曲线

Fig. 1 Magnitude response of laser diode

示.复接器采用全时钟复接的树形结构,先将 4 路 622Mb/s 信号按比特两两复接成两路 1.25Gb/s 的信号,然后再复接成一路 2.5Gb/s 信号,最后经整形输出.激光驱动器由放大和电流开关构成^[5].芯片采用台湾 TSMC 0.35 μ m CMOS 工艺设计并实现,芯片面积 1.4mm \times 1.01mm,芯片照片如图 3 所示.图 4 给出了探针台在芯片测试的结果,其中图 4(a)为验证复接功能的瞬态波形,从上到下 4 路输入信号,1 路输出信号,输入为编码信号,D1~D4 依次为:0001,1000,0010,0100,时钟为 2.5GHz.匹配负载为 50 Ω ,输出信号幅度为 2.45V.图 4(b)为加入四路 625Mb/s 伪随机信号时,50 Ω 匹配负载上的眼

图,图中 RMS 抖动为 12.6ps,上升和下降(10%~90%)时间分别为 211 和 200ps,电路最高速率可达 3.6Gb/s.

3 混合集成

在本发射机混合集成模块的设计中除了前面提到的芯片间的耦合、光电子器件与光纤的耦合、缩短两部件间的间距,减小寄生参数影响的问题外,还有一个实际问题,由于本模块集成度较高,完成了复用到驱动的功能,所以功耗较大,相对于较小的芯片面

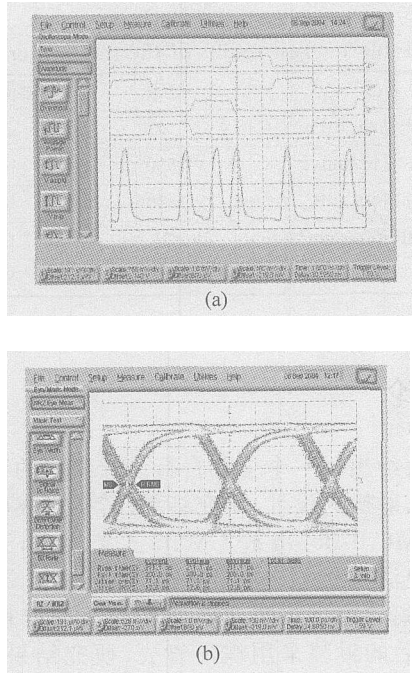


图 4 发射芯片测试结果 (a) 输入/输出波形; (b) 2.5 Gb/s 速率上的眼图

Fig. 4 Test results of the transmitted IC (a) Input/output data waveforms of the transmitted IC; (b) Output eye diagram in 2.5 Gb/s rate

积, 散热问题突显而出. 针对这些问题, 我们采用了蝶形管壳、薄膜电路、激光焊接耦合、TEC 控制等技术, 使模块具有较小的体积和优良的性能. 2.5 Gb/s 混合全集成发射机外观如图 5 所示.

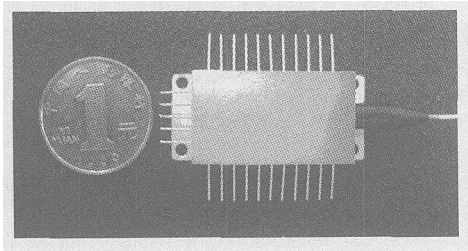


图 5 2.5 Gb/s 混合全集成发射机外观

Fig. 5 Aspect of 2.5 Gb/s mixed-integrated optical transmitter

在这里, 蝶形管壳封装技术有利于阻抗匹配设计, 可改善模块的高频性能, 而且蝶形封装有利于散热. 薄膜电路设计可以提高集成度, 大大缩短器件间连线的长度, 减小寄生效应, 提高互连的性能, 同时又可减小整个发射机的体积. 本次设计通过合理的布线, 一改原先薄膜电路和 PCB 板相结合的方法^[2], 提高了模块的稳定性, 使整机性能成功达到或超过任务指标. 发射模块装配示意图如图 6 所示. 其中集成电路被用导电胶粘在薄膜电路上, 所有的连接均通过金丝球焊键合技术实现. 由于 LD 和薄膜

电路的膨胀系数有差异, 当温度变化时二者之间就会产生应力, 影响 LD 的工作稳定性. 因此采用先将 LD 焊接到氮化铝基的过度热沉上, 再将过度热沉焊接到热沉上的方式. 这样做的同时还在很大程度上改善了散热性能, 提高了组件的温度特性. 在集成电路到过度热沉之间的基片上有匹配的 RLC 元件, 调整这些元件的数值可以改善 LD 的调制性能, 得到漂亮的眼图.

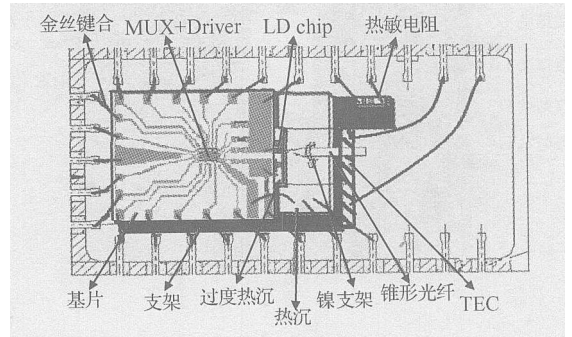


图 6 发射模块装配示意图

Fig. 6 Assemblage diagram of the transmitted module

就发射机而言, 其主要功能就是调制光输出, 所以光的耦合效率和耦合状态的稳定性是非常重要的因素. 在一般发射机中, 光的耦合通常采用同轴耦合的激光器方式, 其耦合效率一般在 15% 以下, 而传统的固定光纤的方法是点胶法, 胶的性质决定了这种耦合存在不稳定性. 在本设计中, 我们利用金属化的锥形光纤, 采用激光焊接技术大大提高了光的耦合效率, 使其耦合效率超过 60% 以上, 出光功率大是本混合集成发射机的一大优点. 同时激光焊接方法也解决了耦合状态的稳定性问题, 只是模块的体积略有增加. 混合集成发射机, 由于其功率较大, 而体积较小, 如果不采取措施, 将会导致工作状态下整个器件温度上升, 发射光的功率下降, 消光比下降, 波长发生“红移”. 严重时可能会导致 IC 芯片工作不正常, 所以本模块的设计还采用了 TEC 技术, 可以保证整个电路部分温度稳定在室温, 因而模块的各种指标受环境温度变化的影响很小, 这种发射机很适合于远距离传输.

4 性能指标

本发射模块在东南大学射频与光电集成电路研究所进行了测试, 测试电路如图 7 所示. 左面为 4 路低速信号输入端, 下面为差分时钟输入端和分频输出端, 上面为光纤输出. 该模块的 863 计划项目要求指标和实际测试结果如表 1 所示, 可见全部优于计划指标要求. 图 8(a) 为 4 路速率为 622 Mb/s 非等长的 PRBS 码作为输入信号时, 光纤输出 2.5 Gb/s 的

光眼图,由于帧码信号源的输出信号本身的质量不是很好,所以所测眼图中的抖动指标比实际有所下降.信号源的输出波形和相应的输出眼图如图 8(b)所示,图中上波形为一路 622Mb/s 帧码信号源的输出,下波形为 2.5Gb/s 的光眼图.

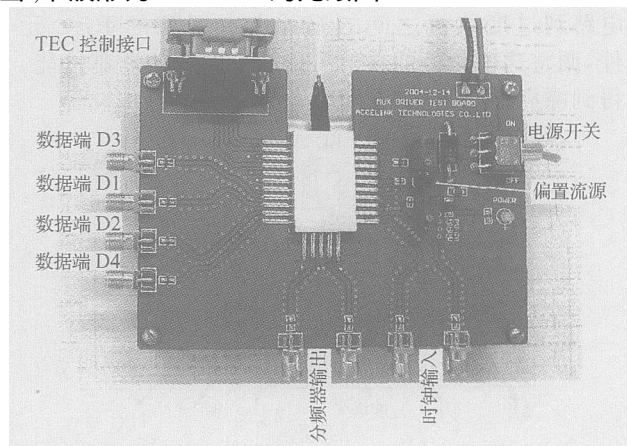


图 7 发射机及其测试电路

Fig. 7 Transmitter and test circuit

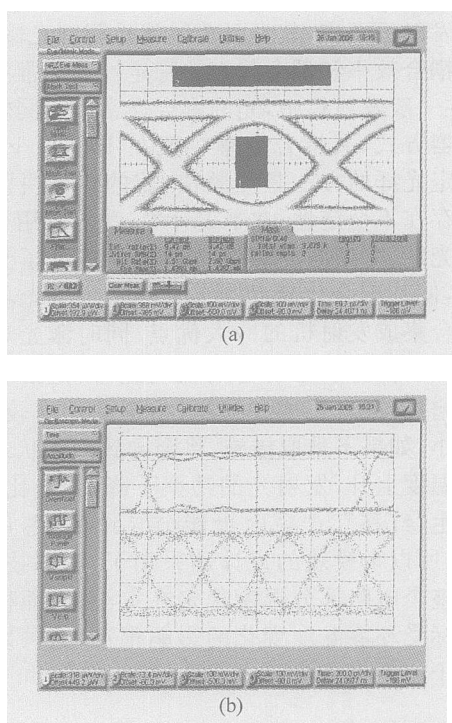


图 8 光发射机测试波形 (a) 2.5Gb/s 下输出光眼图;(b) 输入、输出眼图

Fig. 8 Test wave of the optical fiber transmitter (a) Output photic eye diagram in 2.5Gb/s rate;(b) Input/output eye diagram

表 1 发射机测试结果

Table 1 Test results of the transmitter		
参数	要求	实测结果
输出光功率/dBm	2	5.5
中心波长/nm	1550	1550
边模抑制比/dB	> 30	47
-20dB 谱宽/nm	< 1	0.6
消光比/dB	8.2	9.4

5 结论

本文给出了一个全部自行设计实现的混合集成高速光发射机的设计、研究结果.其中集成电路设计采用 TSMC 0.35 μ m 硅 CMOS 工艺实现;光电子器件采用湿法腐蚀、聚合物平坦和 lift-off 等技术实现;混合集成则采用薄膜电路和激光焊接耦合技术实现;最后的封装采用蝶形管壳.研究结果表明,混合集成设计、研制方案可行,发射机工作速率高、体积小、性能优异、性价比高.这一具有完全自主知识产权的成果不但填补国内空白,一旦转化成产品将会在未来市场占据一定份额,为国家创造巨大财富.

参考文献

- [1] Zhang Jun, Wang Dingli, Liu Yingjun, et al. 1.3 μ m 10Gb/s uncooled directly modulated AlGaInAs FP lasers. OFCIO, NanJing, 2003: 625 (in Chinese) [张军, 王定理, 刘应军, 等. 1.3 μ m 10Gb/s 无致冷直接调制 AlGaInAs FP 激光器. 2003 年全国第十一次光纤通讯暨第十二届集成光学学术会议. 南京, 2003: 625]
- [2] Feng Jun, Zhang Jun, Li Lianming, et al. 2.5Gb/s Mixed-integrated optical transmitting OEIC. Chinese High Technology Letters, 2005, 15(2): 43 (in Chinese) [冯军, 张军, 李连鸣, 等. 2.5Gb/s 混合集成光发射 OEIC. 高技术通讯, 2005, 15(2): 43]
- [3] Koh Hanjun, Choi Minho, Chun Hongjun, et al. On-wafer process for mass production of hybridly integrated optical components using passive alignment on silicon motherboard. Proceedings of IEEE. Electronic Components and Technology Conference, 1999: 216
- [4] Uno Tomoaki, Mitsuda Masahiro, Kito Masahiro, et al. Optical transceiver formed with fiber-embedded lightwave circuit on silicon substrate. Digest of Technical Papers of IEEE Solid-State Circuits Conference, 1999: WP. 22. 7
- [5] Li Lianming, Huang Ting, Feng Jun, et al. 2.5Gbit/s 0.35 μ m CMOS laser diode driver. Journal of Southeast University, 2004, 34(4): 423 (in Chinese) [李连鸣, 黄颀, 冯军, 等. 2.5Gbit/s 0.35 μ m CMOS 激光驱动器. 东南大学学报, 2004, 34(4): 423]

2.5 Gb/s Mixed-Integrated Optical Transmitters^{*}

Feng Jun^{1,†}, Shi Wei², Miao Yu¹, Li Lianming¹, Zhang Jun², Wang Zhigong¹, and Jiang Shan²

(1 Institute of RF & OE-ICs, Southeast University, Nanjing 210096, China)

(2 Accelink Technologies Co, Ltd, Wuhan 430074, China)

Abstract: A transmitter for fiber optical communication is realized using hybrid integration technology. The laser diode and the chip of the laser diode driver and the 4 × 1 multiplexer, which are realized in different materials and processes, are fabricated on one same ceramic substrate using a film circuit to make up one optoelectronic integrated circuit, i.e., an OEIC. The chip and the diode are realized with a 0.35 μm CMOS process and with wet etching, polymer planar, and lift-off technologies, respectively. The module is encapsulated with a wing shell. Some parameters of the transmitter are summed as follows: bit rate: 2.5 GB/s, wave length: 1550 nm, output optical power: 5.5 dBm, extraction ratio: 9.4 dB.

Key words: optical communication; hybrid integration; optical transmitter; multiplexer laser driver

EEACC: 6260C

Article ID: 0253-4177(2006)09-1681-05

^{*} Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2001AA312010)

[†] Corresponding author. Email: fengjun_seu@seu.edu.cn