

0.125 μm CMOS 工艺实现的 31.25 Gb/s @12 通道 VCSEL 驱动器阵列

黄 婷, 王志功, 李连鸣, 王晓明, 乔庐峰

(东南大学射频与光电集成电路研究所, 江苏南京 210096)

摘 要: 本文介绍了一种利用 0.125 μm CMOS 工艺实现的 12 通道垂直腔面发射激光器(VCSEL)阵列驱动器电路。该电路采用 3.3V 单电源供电, 单通道最大输出调制电流超过 30 毫安, 单通道工作速率达到 31.25Gb/s, 12 个并行通道的总带宽为 371.5Gb/s。

关键词: 甚短距离; 垂直腔面发射激光器; CMOS; 激光驱动器

中图分类号: TN722 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 02-0323-03

Monolithically Integrated 0.125 μm CMOS VCSEL Driver Array for 31.25Gb/s @12 Channels Parallel Optical Interface

HUANG Ting, WANG Zhi2gong, LI Lian2ming, WANG Xiao2ming, QIAO Lu2feng

(Institute of RF2& OE2ICs, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: A 12-channel vertical-cavity-surface-emitting laser (VCSEL) array driver chip has been realized in a 0.125 μm CMOS technology. The maximum output modulation current of a single channel is over 30 mA. Experimental results show that a single channel has a speed of 31.25Gb/s and a total capacity of 371.5Gb/s can be obtained from 12 channels.

Key words: VSR; VCSEL; CMOS; laser driver

1 引言

甚短距离 (very short reach, VSR) 光传输技术是一种新兴起的超高速并行光互联技术。随着数据通讯系统的迅猛发展, 越来越多的网络设备如高速路由器、交换机、光交叉连接设备 (OXC) 以及 DWDM 等被运营商所采用, 由此就产生了在 10Gb/s 甚至 40Gb/s 速率上的短距离光互联的需求。由于目前工作在这些速率上的激光器成本很高, 光互联论坛 (OIF) 提出了 VSR 技术规范, 指导采用相对低速的并行光传输技术以降低成本。

VSR 并行光传输系统的发送模块主要采用波长为 850nm 的垂直腔面发射激光器 (VCSEL: Vertical-Cavity-Surface-Emitting Laser) 阵列作为发光器件, 由激光驱动器为其提供足够的偏置和调制信号电流来保证适当传输距离的要求。同时, 为了便于系统集成, 驱动器芯片应具有较小的尺寸。国外已经有一些大学和研究机构发表了符合光互联论坛 (OIF) 所发布的 VSR2.1 和 VSR2.3 规范的激光驱动电路的研究成果^[1,2]。相信随着 OIF 新的 VSR 规范的制订, 会有更多的研究成果涌现。

本文给出了利用 0.125 μm 标准 CMOS 工艺设计、制造的 VCSEL 阵列驱动器集成电路, 单通道工作速率高达 31.25Gb/s, 适用于 VSR2.4 和正在制定的 VSR2.5 规范光互联应用系统。

2 电路设计

为了减少成本和便于集成, 我们选用了 0.125 μm 标准 CMOS 工艺。根据 VSR2.4 和 VSR2.5 规范的要求, 以及目前市场上 VCSEL 阵列的物理尺寸, 我们将 12 路并行驱动器设计集成在一块芯片上, 每一路的驱动器都具有独立的输入和输出端口, 每个通道的输出焊盘中心间距为 250 μm 。

驱动器阵列的 12 个单元电路都有一致的电路结构, 采用适用于高速电路的差分结构, 由两级放大器和最后的电流开关组成, 如图 1 所示。前两级放大器提供足够的增益, 使得最后的差分电流开关获得幅度恒定的输入信号, 即使驱动器输入电压信号幅度只有 100mV, 也可以保证其输出的恒定。在放大器 and 电流开关之间用一对源极跟随器连接, 其作用是电平

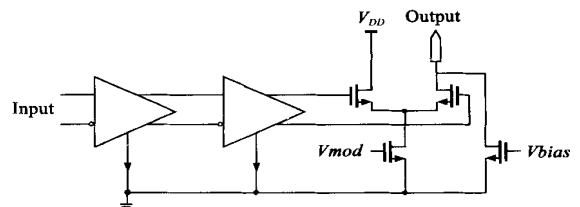


图 1 驱动器单元电路原理图

移位和阻抗变换. 电流开关差分输出的一端同电源相接, 另一端和直流偏置输出端一起同 VCSEL 的阴极相接. 电源电压为 3.3V. 输出信号电流的摆幅可以通过改变 Vmod 端的电压来控制. 同样, 直流偏置电流也可以通过 Vbias 端来调整以适合不同 VCSEL 的阈值电流. 为了提供足够的功率给发射器以保证不低于 300 米的传输距离, 电流开关必须有较大的尺寸以提供超过 30mA 的调制电流. 每个单元电路中分别集成了一个电流源负责为对应的 VCSEL 提供直流偏置, 所以无需外置的偏置结构, 有利于提高发射模块的集成度. 另外, 在电路设计和版图绘制中进行了特别优化以减少寄生效应, 特别是寄生电容的影响^[3, 4], 这样可以减小输出信号的上升沿和下降沿以提高性能. 同时, 每个通道间采用宽地线隔离, 信号地与衬底地隔离分接, 这些手段都可以有效降低通道间的串扰.

3 芯片照片和测试结果

我们设计的 VCSEL 阵列驱动器通过美国南加州大学的 MOSIS 工程利用台积电 TSMC 的 0125Lm 标准 CMOS 工艺完成了芯片制造. 驱动器芯片的显微照片如图 2 所示, 其面积为 4117@0145mm².

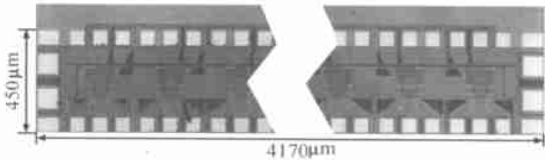


图 2 驱动器芯片的显微照片

我们利用 508 共面波导探头在 CASCADE 的芯片测试台上对驱动器电路进行了在芯片功能测试. 主要测试设备有 12Gb/s 脉冲信号发生器 (Advantest DB186) 和 50GHz 示波器 (Agilent 86100A) 等. 图 3、4 分别是在比特率为 2.5Gb/s 和 3.125Gb/s 的输入信号下测得的输出信号眼图, 其测试特性数据如表 1 所示. 测试是在 12 个通道一起工作的条件下进行的. 在 VSR 并行光发射器中保持信号的一致性是非常重要的, 所以要求各通道的物理信号差异要小. 我们的芯片在 313V 工作电压下, 偏置电流通过设置 Vbias 从 0 到 13mA 连续可调, 12 路偏置电流输出差异小于 3%. 在同样的工作电压下, 调制电流通过设置 Vmod 从 0 到 32mA 连续可调, 通道间调制电流输出差异小于 2%, 优于参考文献[2]的测试结果, 具体通道测试结果如图 5 所示. 电路在电源电压从 311V~315V 均工作正常.

表 1 眼图测试结果

参数 速率	上升时间 10% ~ 90% (ps)	下降时间 10% ~ 90% (ps)	峰2峰抖 动值 (ps)	眼图幅 度 (V)
215Gbps, 2 ²³⁻¹ PRBS	130	168	14	1153
31125Gbps, 2 ²³⁻¹ PRBS	129	164	18	1151

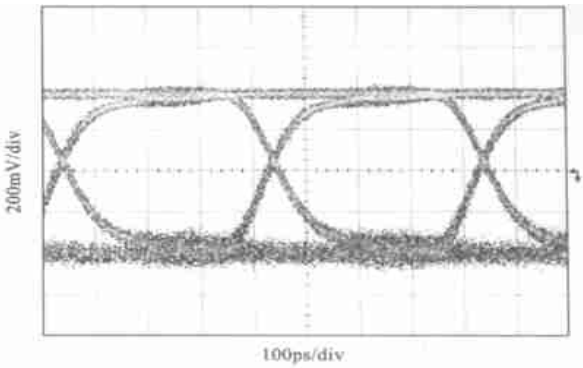


图 3 输出信号眼图@215Gb/s 2²³⁻¹ PRBS Vmod = 1V

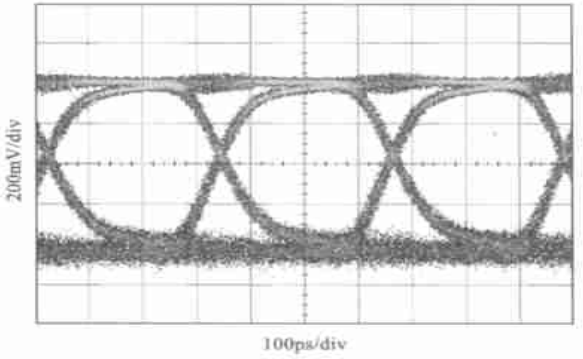


图 4 输出信号眼图@31125Gb/s 2²³⁻¹ PRBS Vmod = 1V

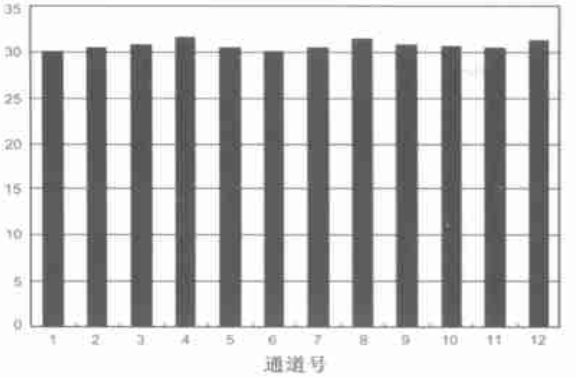


图 5 通道间调制电流输出平均差异小于 2% Vmod = 11.5V

4 总结

利用 0125Lm 标准 CMOS 工艺实现了 VCSEL 阵列驱动器芯片, 其单通道工作速率高达 31125Gb/s, 并行 12 通道共可获得高达 3715Gb/s 的数据容量, 可应用于 VSR24 和正在制定的 VSR25 规范超高速并行光互联应用系统中.

参考文献:

[1] B Madhavan, A F J. Levi: Low power 215Gb/s VCSEL driver in 015Lm CMOS technology [J]. Electronics Letters, 1998, 34(2): 178- 179.
[2] Fouad E Kamilev, Ashok V. Krishnamoorthy: A high speed 32 channel

- CMOS VCSEL driver with built-in self-test and clock generation circuitry [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, March/April, 1999, 5(2): 287-295.
- [3] Zhigong Wang, Manfred Berroth, Ulrich Nowotny, Manfred Ludwig, Peter Hofmann, Axel Hulsrann, Klaus Kohler, Brian Raynor, Joachim Schneider. Integrated laser diode voltage driver for 20 Gb/s optical systems using 0.3 μm gate length quantum well HEMTs [J]. IEEE Journal of Solid State Circuits, 1993, 28(7): 829-834.
- [4] Xinhua CHEN, Ting HUANG, Ximing KE, Tingting XIE, Haitao CHEN, Zhigong WANG, Yi DONG, Shizhong XIE. 21.5 Gb/s 0.13 μm CMOS laser diode driver [A]. 4th International Conference On ASIC Proceedings [C]. Shanghai, China, 2001.

作者简介:

黄 男, 1973 年出生于甘肃省兰州市, 分别于 1996 年和 1998

年在东南大学物理系和无线电工程系获得学士和硕士学位, 1998 年 ~ 2001 年在东南大学无线电工程系任教, 现在东南大学无线电工程系电路与系统专业攻读博士学位, 主要从事超高速、射频及微波集成电路的设计和研发。

王志功 男, 1954 年出生于河南省荥阳市, 1981 年获得东南大学无线电工程系硕士学位; 1982 年赴同济大学任教; 1984 年赴德国波鸿鲁尔大学电子系进修并攻读博士学位, 1990 年博士毕业后赴德国弗朗霍夫协会所属的应用固体物理研究所做博士后, 两年后在该所任客座研究员, 从事以砷化镓工艺为主的超高速、微波和毫米波集成电路、光电集成电路设计, 1997 年 10 月回国定居工作, 受聘为东南大学无线电工程系教授, 博士生导师, 电路与系统学科带头人; 创立射频与光电集成电路研究所; 1998 年获得/ 国家杰出青年科学基金, 5 年以来担任国家 863 计划光电子材料及器件主题专家组成员, 现在领导研究梯队从事超高速、射频及微波集成电路的人才培养和科学研究。