

24 Gb/s GaAs PHEMT 激光二极管/调制器驱动器^{*}

李文渊 王志功

(东南大学射频与光电集成电路研究所, 南京 210096)

摘要: 采用 0.2 μm GaAs PHEMT 工艺设计并实现了超高速光纤通信系统用激光二极管/调制器集成驱动器电路. 整个电路由带源极跟随器的两级差分放大电路、电容耦合电流放大器和输出电路组成. 电路芯片面积为 1.0 mm × 0.9 mm. 测试结果表明, 采用单一 +5V 电源供电时直流功耗为 1.5 W, 输出最高电压幅度为 2.4 V, 电路最高工作速率高于 24 Gb/s, 可以应用于光纤通信 SDH(synchronous digital hierarchy) 传输系统.

关键词: PHEMT; 激光驱动器; 放大器; 光纤通信

EEACC: 1220

中图分类号: TN722 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2005)12-2455-05

1 引言

近年来,我国电信事业飞速发展,通信业务量成倍增长,数据传输的速率也越来越高. 光纤通信是一种以光波为载体,以光导纤维为传输介质的先进通信手段,已经被用于越来越高速的传输系统中. 目前我国同步数字序列(SDH)光纤网不断发展,2.5 Gb/s 速率的高速干线网络系统已经广泛应用,10 Gb/s 速率的干线系统也将得到推广应用. 因此,对于我国的信息高速公路建设而言,设计具有自主知识产权的光纤通信用高速集成电路芯片^[1]具有重大意义.

激光驱动器是光发射机的关键部件,对其大功率和高速率的要求导致其设计难度大. 由于国外微电子制造工艺先进,而且容易获得,在上世纪 90 年代已经研制出 20 Gb/s 的激光驱动器芯片^[2,3]. 但是,其输出电压幅度较低,大约为 1V. 我国已经设计出 10 Gb/s 以上速率的激光驱动器芯片^[4],但是采用的是单一负电源供电. 为了在系统应用中与复接器等单一正电源供电的芯片电源相一致,因此有必要设计单一正电源供电的激光驱动器.

光纤通信系统中的关键部件是光发射机和接收机. 在发射机中,由多路复接器(MUX)把几路并行

的低速数字信号复接为一路高比特率的数据流. 高速数据流通过激光二极管/调制器驱动器产生调制电压,调制激光器产生光信号^[1,5].

本文首先简单介绍光纤通信系统,然后介绍 24 Gb/s 的激光二极管/电吸收调制器的驱动器电路的设计、工艺实现和测试结果.

2 光纤通信系统简介

一个光纤通信系统主要由发射机、光纤、接收机三部分组成,如图 1 所示.

在发射端,由多路复接器 MUX 把多路并行的低速数字信号复接成一路高速(如 10 Gb/s)的数据流. 高速数据流通过激光二极管/调制器的驱动器,驱动激光器产生不同强度的光信号,使信号通过光纤传输到达接收端.

在接收端,由光电二极管接收通过光纤传送来的光信号,并转换成电流脉冲,经过低噪声前置放大器和随后的主放大器放大,送到时钟恢复和数据判决电路. 时钟恢复电路从数据信号中提取时钟,用来对数据进行判决和同步,恢复出高速的数据流. 然后,高速的数据流再经过分接器,恢复为原来的多路并行低速信号^[6].

^{*} 国家高技术研究发展计划资助项目(批准号:2001AA312020)

李文渊 男,1964 年出生,副教授,博士研究生,主要研究方向为模拟、光电和射频集成电路设计.

王志功 男,1954 年出生,教授,博士生导师,主要研究领域是光电、射频、微波集成电路研究.

2005-04-28 收到,2005-09-13 定稿

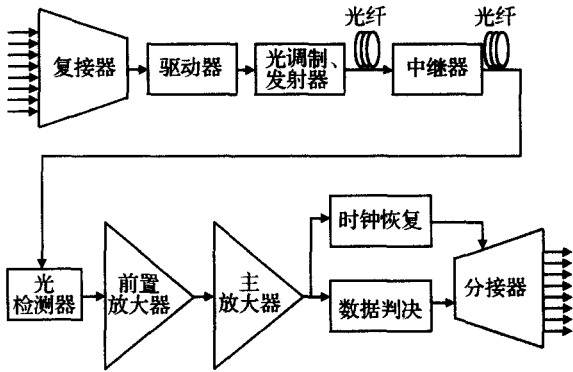


图 1 光纤通信系统的结构方框图

Fig. 1 Diagram of optic-fiber communication system

3 激光二极管/调制器驱动器的分析与设计

激光二极管/调制器驱动器是光纤通信系统中光发射机的重要组成部分之一。激光二极管/调制器驱动器在发射机中位于多路复接器和激光二极管/调制器之间,它的输入是一路高比特率的数字信号,信号幅度为几百 mV,输出是驱动激光二极管/调制器的电流或电压信号^[4],对于激光二极管,需要的调制电流往往大于 40mA;对于电吸收调制器,其调制电压要大于 2V。

3.1 设计指标和工艺参数

为了便于所设计的激光驱动器芯片与 +5V 电源电压供电的复接器等芯片一起构成光发射机,在电路设计中采用了单一 +5V 电源供电。根据光纤通信系统光发射机的要求,激光二极管/调制器驱动器

电路的设计指标如表 1 所示。

表 1 激光二极管/调制器驱动器电路设计参数

Table 1 Specification of laser/modulator driver circuit

参数	指标
工作电压	+5V
工作速率	>10 Gb/s
输入电平	400mV
输出电压	>2V
温度范围	-20 ~ 80

由于 GaAs 工艺对于实现高速、大功率电路有优越性,因此,在设计工艺的选择上,根据能够利用的工艺情况,我们采用了法国多项目晶圆工程(CMP)提供的 OMMIC 公司的 0.2 μ m 栅长标准 AlGaAs/InGaAs/GaAs PHEMT 工艺。该工艺提供两种晶体管:增强型晶体管(E-PHEMT)和耗尽型晶体管(D-PHEMT),晶体管的主要参数如表 2 所示。另外,该工艺提供了三种二极管、GaAs 电阻和金属镍镉电阻、两种电容,电感和空气桥等器件模型,在激光二极管/调制器驱动器的电路设计中,晶体管、电阻、电容、电感、二极管以及空气桥都得到了应用。

表 2 晶体管参数(0.2 μ m 栅长)

Table 2 Parameters of FET with 0.2 μ m gate length

晶体管	E-PHEMT	D-PHEMT
f_T	63 GHz	60 GHz
V_{th}	0.225V	-0.9V
I_{dss}	140mA/mm($V_{gs} = 0.7V$)	250mA/mm($V_{gs} = 0V$)
g_m	440mS/mm	420mS/mm
R_s	0.65 \cdot mm	0.54 \cdot mm

3.2 系统模块设计

图 2 所示为激光二极管/调制器驱动器电路的框图。

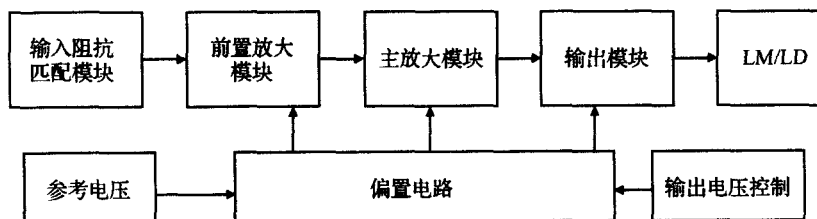


图 2 激光驱动器系统模块图

Fig. 2 Diagram of laser/modulator driver

输入阻抗匹配:对于高速电路的接口,输入阻抗 设计为 50 ,以实现电路阻抗的匹配,有效降低了传

输损耗. 阻抗匹配网络的设计同时考虑了输入信号电平.

第一级放大模块:利用差分放大器电路对输入信号进行放大,放大后的信号电平可以达到 1.2V 左右.利用源极跟随器,将第一级放大模块和第二级放大模块进行隔离,这样虽然增加了直流功耗,但是基本消除了前后两级放大器之间的相互影响.

第二级放大模块:为了给后续电路提供足够的驱动能力,该放大模块在第一级放大模块的基础上继续对信号进行放大,以满足输出级的需要.同时,在该级电路中,设计了电容耦合放大器^[2,3],减少了输出电压的下降时间,使输出电压的下降边沿变得更加陡峭,大大缩短了激光器的关断时间.

输出模块:利用两级源极跟随器来实现,最后一级用大宽长比的晶体管来输出驱动激光二极管/ 调制器的电压.

偏置模块:为整个电路提供直流偏置.

参考电压源:为偏置模块提供参考电压.

3.3 核心电路设计

激光二极管/ 调制器驱动电路的核心电路如图 3 所示.

由 R1, R2, R3, R4 构成输入匹配模块,其中 R1, R2 构成偏置电路,提供输入信号的直流偏置; R3, R4 均为 50 Ω ,其公共连接点对信号实现虚地,以实现输入阻抗匹配.

第一级放大模块由 D1, D2, R5, R6, M1, M2, M12 组成差分放大器,对输入信号进行放大.二极管 D1, D2 产生适当的电平位移.经过该放大器放大后,信号电平峰峰值可达到 1.2V,同时差分对称结构有利于抑制干扰. M3 ~ M6 和 M13 ~ M16 构成两级源极跟随器,将第一级放大器与第二级放大器进行缓冲隔离,并且实现电平位移.

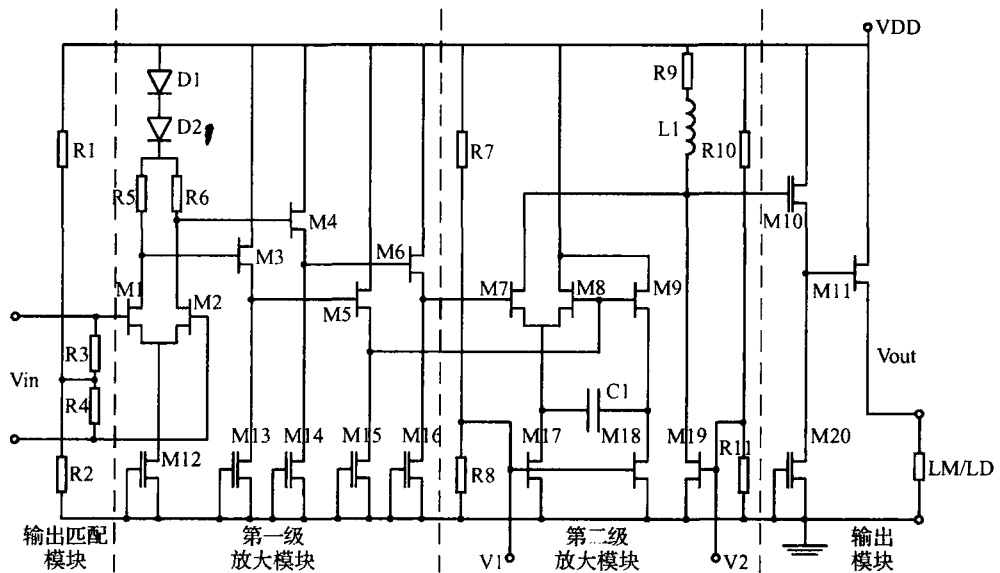


图 3 激光二极管/ 调制器驱动电路原理图

Fig. 3 Schematic of laser/ modulator driver

第二级放大模块中, R7 和 R8 提供直流偏置, 增强型晶体管 M7, M8, M9, M17, M18 和电容 C1 构成驱动器的主放大电路. 其中, M7, M9, C1 对于驱动信号, 构成电容耦合电流放大器. 每当输入数据从一个电平变化为另一个电平时, 电容 C1 就被充电或者放电, 动态电流流经 M9, C1, M17, 使 M7 漏极上的电流波形形成一个陡峭的下降沿. 这样, 使在 R9, L1 上形成的复合控制电压同样形成一个陡峭

的下降沿, 影响到输出端的电压, 使输出端激光二极管或者电吸收调制器关断的延迟和下降时间大大减少. 电容耦合电流放大器对于输出端驱动信号上升沿也有影响, 使信号上升沿有更陡峭的上升或者上冲, 但是, 它对于激光二极管或者电吸收调制器的开启过程影响很小^[1,3]. 电容耦合电流放大器对 R9, L1 上的电流影响示意图如图 4 所示, 粗线表示有电容耦合电流放大器时在 R9, L1 上的电流波形. M19

是用来控制 R9, L1 上的直流电平, R10, R11 用来为 M19 提供偏置; L1 是补偿电感.

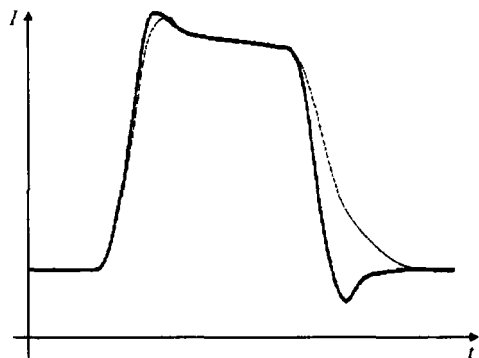


图 4 有、无电容耦合放大器时, R9 和 L1 上的电流波形

Fig. 4 Currents wave shape through R9 and L1 with/without capacitor-coupled circuits

输出模块采用了两级源极跟随器, 第一级采用耗尽型晶体管 M10, 它需要一个电流源, 用耗尽型晶体管 M20 构成; 第二级源极跟随器 M11 和激光二极管或者电吸收调制器构成, 这样, R9 和 L1 上的电压就被转移到激光二极管/电吸收调制器上了. 在这里, 激光二极管/电吸收调制器是用 50 Ω 等效电阻来代替, 进行模拟设计. 在实际工作时是驱动激光二极管/电吸收调制器.

采用上面的电路结构与采用双端输出的电路结构^[4]相比, 有下列优点: 输出仅需要尺寸较大的晶体管 M11, 而且不需要考虑米勒效应. 在双端输出的电路中, 需要两只相同尺寸的晶体管; 由于是单端输出, 只需要一只尺寸很大的补偿电感 L1. 双端输出的电路结构中, 需要两只同样尺寸的补偿电感, 这会增大芯片面积; 由于这种结构电路的负载是激光二极管或者电吸收调制器, 它接在电路的输出端和地之间, 而测试所使用的示波器输入端到地的阻抗是 50 Ω , 这与该电路结构的负载正好一致, 因此测试时, 可以直接将示波器接在电路的输出端进行测试. 如果采用双端输出的结构, 由于是正电源供电, 输出负载是在电源到输出端之间, 在目前的条件下无法在片测试.

电路芯片通过法国多项目晶圆工程, 在法国 OMMIC 公司完成制作, 芯片照片如图 5 所示, 芯片面积为 1.0mm \times 0.9mm.

4 测试结果

芯片测试的主要仪器包括脉冲发生器 ADVA-

NTSET D1386, Agilent 86100A 示波器及电源和芯片测试台. 芯片测试系统如图 6 所示.

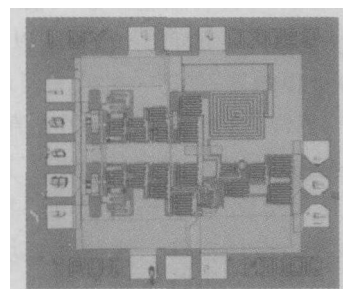


图 5 激光驱动器电路芯片照片

Fig. 5 Photograph of laser/modulator driver

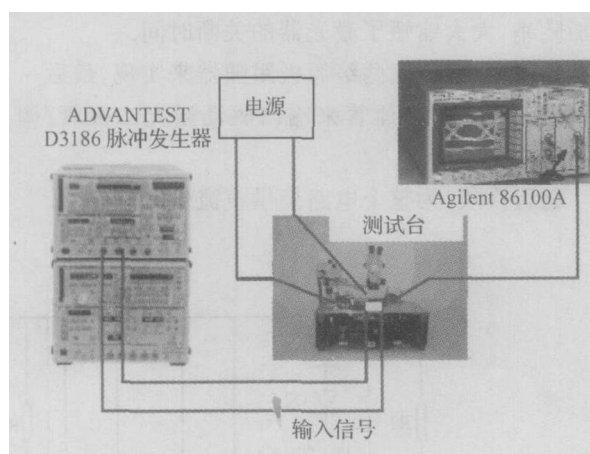


图 6 激光二极管/调制器驱动器测试系统

Fig. 6 Test environment of laser/modulator driver

按照设计方案, 芯片采用单一 +5V 电压电源供电, 我们给激光二极管/电吸收调制器驱动器芯片输入端加不同比特率、幅度为 500mV 的伪随机序列, 电路输出端直接接在示波器上(示波器的阻抗为 50 Ω), 从示波器上可以直接观察到输出信号眼图. 图 7 给出了在输入数据速率分别为 10, 20 和 24 Gb/s 情况下的眼图.

从测试得到的输出信号眼图可以看出, 在 24 Gb/s 速率下眼图的性能良好. 直流功耗 1.5W. 表明该电路的工作速率超过了 24 Gb/s, 输出电压幅度达到了 2.4V, 满足了设计要求.

5 结论

本设计采用 0.2 μ m GaAs PHEMT 工艺, 实现了用于 24 Gb/s 速率光纤通信系统光发射机的激光二极管/调制器驱动器的设计, 芯片采用单一 +5V

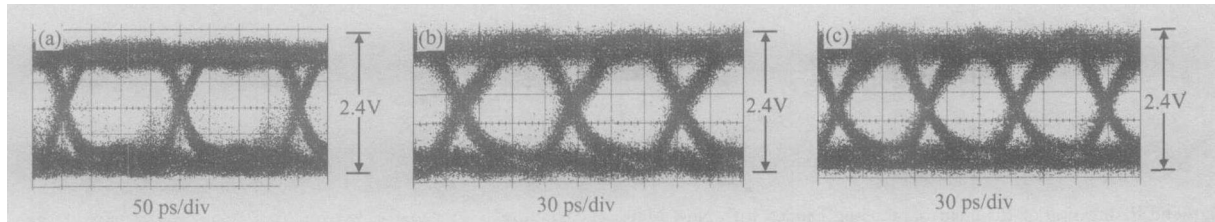


图 7 激光驱动器在不同速率数据输入下的输出眼图 (a) 输入 10 Gb/s 信号时输出眼图; (b) 输入 20 Gb/s 信号时输出眼图; (c) 输入 24 Gb/s 信号时的输出眼图

Fig. 7 Eye-diagram of driver at different bit rate input signals (a) Output eye-diagram at 10 Gb/s input signal; (b) Output eye-diagram at 20 Gb/s input signal; (c) Output eye-diagram at 24 Gb/s input signal

电源供电,最高工作速率达到 24 Gb/s 以上.

参考文献

- [1] Wang Zhigong. IC design for optic-fiber communications. Beijing: Higher Education Press, 2003 (in Chinese) [王志功. 光纤通信集成电路设计. 北京: 高等教育出版社, 2003]
- [2] Wang Z G, Berroth M, Nowotny U, et al. Integrated laser diode voltage driver for 20 Gb/s optical systems using 0.3 μ m gate length quantum well HEMT's. IEEE J Solid-State Circuits, 1993, 28(7): 829
- [3] Wang Z G, Berroth M, Nowotny U, et al. 15 Gbit/s integrated laser diode driver using 0.3 μ m gate length quantum well transistors. Electron Lett, 1992, 28(3): 222
- [4] Huang Ting, Wang Zhigong, Li Lianming. Ultra-high-speed laser/modulator driver. Chinese Journal of Semiconductors, 2005, 26(3): 576 (in Chinese) [黄颀, 王志功, 李连鸣. 超高速激光驱动器电路设计与研制. 半导体学报, 2005, 26(3): 576]
- [5] Montgomery R K, Ren F, Abernathy C R, et al. 10 Gbit/s AlGaAs/GaAs HBT driver IC for lasers or lightwave modulators. Electron Lett, 1991, 27: 1827
- [6] Li Wenyuan, Wang Zhigong, Wang Xiaoming, et al. Design of laser diode driver with 0.35 μ m CMOS. Microelectronic Technology, 2002, 30(5): 22 (in Chinese) [李文渊, 王志功, 王晓明, 等. 0.35 μ m CMOS 激光二极管驱动器的设计. 微电子技术, 2002, 30(5): 22]

A GaAs PHEMT Laser/ Modulator Driver for 24 Gb/s Optical Transmitters^{*}

Li Wenyuan and Wang Zhigong

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

Abstract: An integrated laser and optical modulator driver for ultra-high speed optic-fiber communication systems is designed and fabricated in a 0.2 μ m gate length AlGaAs/InGaAs/GaAs pseudomorphic high electron mobility transistor (PHEMT) process. The circuit consists of two stages of differential amplifiers with source follower pairs, a capacitive coupled current amplifier, and an output circuit. The driver IC occupies a die area of 1.0 mm \times 0.9 mm. Under a single supply of +5 V, the power consumption is about 1.5 W. Open eye diagrams are measured at a bit rate of up to 24 Gb/s with a 2.4 V_{pp} voltage swing. It can be used in synchronous digital hierarchy transmission systems of optic-fiber communication.

Key words: PHEMT; laser/modulator driver; amplifier; optic-fiber communication

EEACC: 1220

Article ID: 0253-4177(2005)12-2455-05

^{*} Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2001AA312020)

Li Wenyuan male, was born in 1964, associate professor, PhD candidate. His research interest is in the analog ICs, OE-ICs, and RF-ICs.

Wang Zhigong male, was born in 1954, professor. He is engaged in research on the design of OE-ICs, RF-ICs, and microwave ICs.

Received 28 April 2005, revised manuscript received 13 September 2005

©2005 Chinese Institute of Electronics