

10Gb/s 光调制器 InGaP/GaAs HBT 驱动电路的研制

袁志鹏,刘洪刚,刘训春,吴德馨

(中国科学院微电子中心,北京 100029)

摘 要: 采用自行研发的 4 英寸 InGaP/GaAs HBT 技术,设计和制造了 10Gb/s 光调制器驱动电路.该驱动电路的输出电压摆幅达到 $3V_{pp}$,上升时间为 34.2ps(20~80%),下降时间为 37.8ps(20~80%),输入端的阻抗匹配良好($S_{11} = -12.3\text{dB}$ @10GHz),达到 10Gb/s 光通信系统(SONET OC-192,SDH STM-64)的要求.整个驱动电路采用 -5.2V 的单电源供电,总功耗为 1.3W,芯片面积为 $2.01 \times 1.38\text{mm}^2$.

关键词: 光发射机;光调制器驱动电路;InGaP/GaAs HBT

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)11-1782-03

Research on 10 Gb/s InGaP/GaAs HBT Driver IC for Optic Modulator

YUAN Zhi-peng, LIU Hong-gang, LIU Xun-chun, WU De-xin

(Microelectronics R&D Center of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: A 10Gb/s driver IC for optic modulator has been implemented using our 4-inch InGaP/GaAs HBT process. The driver IC operates up to 10Gb/s with an output voltage swing of $3V_{pp}$ and 34.2ps(20 to 80%) of t_r and 37.8ps(20 to 80%) of t_f , and input return losses of -12.3dB at 10GHz, which make the driver suitable for 10Gb/s optic telecommunication systems (SONET OC-192, SDH STM-64). A single power supply V_{EE} is -5.2V, and the power consumption is 1.3W. The die size is $2.01 \times 1.38\text{mm}^2$.

Key words: optic transmitter; optic modulator; InGaP/GaAs HBT

1 引言

随着通信网络的数字化、宽带化、智能化,全球的信息量正以 30% 的年增长率递增.数据通信市场的迅速发展,推动着光纤通信技术向超高速、大容量、宽带、综合、低成本方向发展.目前,我国数据传输核心网主要采用 2.5Gb/s SDH 系统,部分干线采用 2.5Gb/s DWDM 系统,为满足未来发展的需要,我国电信传输网开始从 2.5Gb/s DWDM 系统向 10Gb/s DWDM 系统过渡.10Gb/s 光调制器驱动电路是 DWDM 光通信系统光发射机的关键部件,具有信号调制速率高、输出功率高、设计和制造难度大等特点,是 DWDM 光通信系统中要求最为苛刻的电路之一.研究 10Gb/s 光调制器驱动电路对于推动 DWDM 光通信系统中高速集成电路的国产化具有重要意义.

异质结双极晶体管(Heterojunction Bipolar Transistor, HBT)是微波毫米波领域中重要的高速固态器件之一,由于具有功率密度和增益高、相位噪声低、线性度好、单电源工作、芯片面积小和价格性能比低等特点,已逐步发展成为 MMIC 领域中一个非常有竞争力的技术. HBT 与 HEMT 和 MESFET 比较,具有几个方面的优势^[1-7]:(1) HBT 频率特性主要由外延层结构决定,对光刻水平要求低;(2) HBT 具有更高的跨导 g_m ;(3) HBT 的开启电压 V_{be} 由外延层决定,与工艺无关,偏差仅几个

毫伏(3mV 左右).对驱动电路来说,均匀的开启电压可以获得匹配良好的发射极耦合逻辑(ECL),减小输出失真;(4) HBT 具有更低的输出电导 g_o (共射);(5) HBT 的 $1/f$ 噪声比 MESFET 和 HEMT 低^[8,9];(6) HBT 的功率密度最高,线性度最好,在频率不是太高时,PAE 也是三者中最高的.

近年来,随着 MBE 和 MOCVD 技术的发展,In_{0.49}Ga_{0.51}P 发射极 GaAs HBT 的出现使 HBT 的可靠性大幅度提高($1 \sim 5 \times 10^6$ 小时),这对光通信系统来说是非常有吸引力的.因此,我们开展了 InGaP/GaAs HBT 的工艺研究,获得了截止频率高达 92GHz 的 HBT 器件($2 \times 10\mu\text{m}^2$)^[10].在器件制造的基础上,采用模拟退火算法提取了 InGaP/GaAs HBT 的 VBIC 模型参数. InGaP/GaAs HBT 器件制造和模型化工作的完成为研制具有自主知识产权的 10Gb/s 光调制器驱动电路创造了良好的条件.

2 光调制器驱动电路设计

光调制器驱动电路工作时,需要输出 2.5~3V 的电压(50~60mA 电流)来控制光调制器的通断,电路的有源器件工作在大信号状态,高数据速率和大信号输出将是一对矛盾,需要折衷考虑.由于光调制器驱动电路的信号速率很高,电路的阻抗匹配非常重要,否则输出眼图将产生严重的时间抖动(time

收稿日期:2003-06-26;修回日期:2004-06-29

基金项目:国家重大基础研究项目(No. G200006830403);中国科学院重大方向性项目(No. KGX2-101)

jitter),甚至会形成振荡.因此,我们在设计 10Gb/s 光调制器驱动电路时遵循了以下几个原则:(a)采用全差分对称的电路形式来抑制共模噪声,同时降低信号传输距离和寄生参量偏差引起的串扰;(b)采用多级差分结构提高电路的增益,级与级之间采用射极跟随器实现阻抗隔离;(c)为了降低微波信号在传输线中的损耗,所有信号通道都设计成 50 共面波导结构;(d)为了使电路更加实用,输出眼图的交叉点、电压摆幅和过驱动都可以通过控制端调节;(e)在版图设计时,除了要实现电学上的完全对称外,还要进行热设计,防止电路局部过热,这在 GaAs HBT 电路中尤为重要.根据上述原则我们设计的光调制器驱动电路包括输入缓冲级、两级差分放大、级间缓冲、输出缓冲级和偏置电路,电路框图如图 1 所示.驱动电路的输入信号为 ECL 电平(-0.9V ~ -1.7V),输出电压摆幅一般为 3V,这样电路的总增益为 12dB.由于 HBT 的电流增益较高、电流驱动能力强,因此电路只需要两级差分放大就可以达到 12dB 增益的要求(HEMT 驱动电路需要三级差分放大).我们设定第一级增益为 4dB,第二级增益为 8dB,那么电压从输入到输出的摆幅依次为 0.8V、1.26V 和 3V.

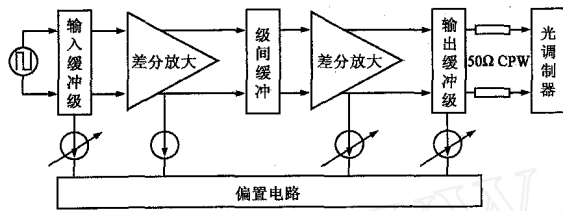


图 1 光调制器驱动电路框图

通过施加一个电平来控制芯片内部信号的变化已经被工业界广泛采用,然而 HBT 是电流型元件,输出电流与基极电压呈指数关系,外加电平的波动将导致 HBT 输出电流较大幅度的变化,对驱动电路来说,最终将使眼图不能清晰张开.为此,我们设计了一个射极跟随器缓冲电路来消除控制电平波动的影响,缓冲电路的拓扑结构如图 2 所示.如图 2 可见,两对反向二极管(BJT2-5)固定控制端电平,RC 网络(R3, C1)滤掉高频杂波.采用 R2、R4 和 BJT6-7 实现电平移位,保证射极跟随器(BJT8)正确偏置.在电流源(BJT1)的基极采用一个镇流电阻(R5)来稳定电平的变化.

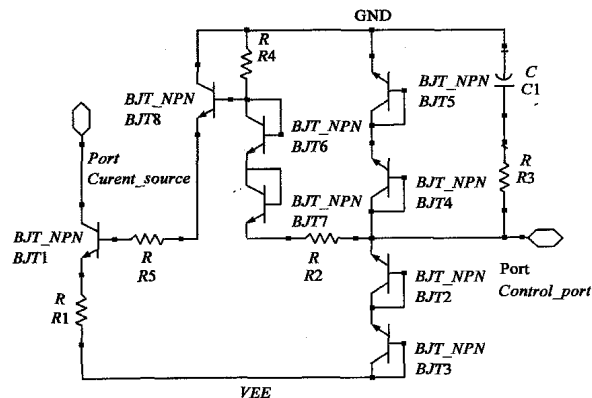


图 2 射极跟随器缓冲电路的拓扑结构

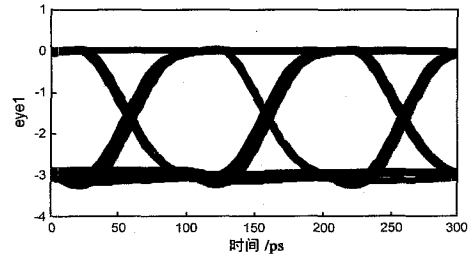


图 3 10Gb/s 光调制器驱动电路眼图仿真

采用中科院微电子中心 3μm 发射极 InGaP/ GaAs HBT VBIC 模型参数,在电路模拟器中对光调制器驱动电路进行了优化,最后的眼图仿真结果如图 3 所示.由图 3 可知,输出眼图清晰张开,交叉点位于摆幅的中间,时间 jitter 较小,电压输出摆幅可达 3V_{pp},上升时间为 34ps(20 ~ 80%),下降时间为 30ps(20 ~ 80%).

3 光调制器驱动电路制造与测试

采用 Kopin 公司提供的 4 英寸 InGaP/ GaAs HBT 外延片(500nm @3E16cm⁻³集电区,60nm @4E19cm⁻³基区),我们自行研制了六边形发射极三台面 InGaP/ GaAs HBT 制造工艺,图 4 给出的是自对准 InGaP/ GaAs HBT 的光学照片.发射极面积为 3 × 16μm²,基极金属宽度为 1.5μm,集电极金属宽度为 6μm,该器件的 F_t 和 F_{max} 都高于 60GHz,击穿电压 BV_{CEO} 大于 9V.



图 4 InGaP/GaAs HBT (3×16 μm²) 照片

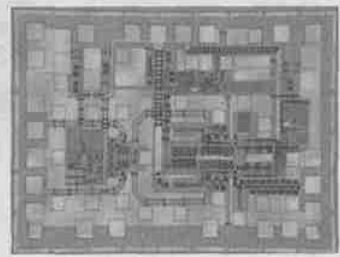


图 5 光调制器驱动电路的芯片照片

同时,我们完成了 NiCr 薄膜电阻、MIM 电容(SiO₂/ Si₃N₄ 双层介质)、空气桥螺旋电感以及背面通孔等工艺的开发,并在 4 英寸化合物半导体实验线上进行了流片,芯片照片如图 5 所示,芯片面积为 2.01 × 1.38mm².

我们采用 HP8510C 网络分析仪和 CASCADE 微波探针台在片测试了驱动电路的 S 参数,图 6 所示的是驱动电路输入端 S₁₁ 参数随频率的变化关系,图 6 的结果表明,10GHz 下输入端反射功率为 -12.3dB.测试结果表明:输入端 50 共面波导与 50 标准阻抗匹配良好,输入信号的功率只有 6% 被反射掉.

根据测量的 S 参数我们计算了驱动电路的小信号电流增益 h₂₁ 和最大稳定功率增益 MSG 随频率的变化关系,如图 7 所示.图 7 的结果表明,10GHz 下小信号电流增益 h₂₁ 为 13.29dB,最大稳定功率增益 MSG 为 7.89dB.10Gb/s 的光通信系统对电路带宽的要求为 7GHz,而光调制器驱动电路的增益要求为 12dB.按照这个标准,我们设计和制造的驱动电路的

带宽和增益满足 10Gb/s 光通信系统的要求。

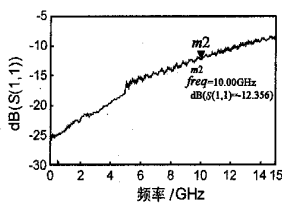


图 6 驱动电路的输入端 S11 参数

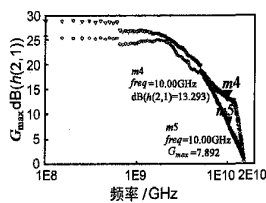


图 7 驱动电路 h_{21} 和 MSG 随频率的变化关系

我们采用 Agilent 公司的眼图测试仪和 CASCADE 微波探针台在片测试了光调制器驱动电路的眼图。图 8 给出的是比特率为 10Gb/s、幅度为 0.8V 的 ECL 输入信号的眼图,输入信号的上升/下降时间为 60ps(20~80%)。

图 9 给出的是比特率为 10Gb/s、幅度为 3Vpp 的输出眼图,眼图交叉点在输出幅度的 50% 处,上升时间为 34.2ps(20~80%),下降时间为 37.8ps(20~80%)。驱动电路专门设计了眼图交叉点、输出摆幅和电压过驱动调节模块,因此眼图的张开形状良好,上升沿和下降沿对称,没有出现驱动、时间抖动等现象,达到 10Gb/s 光通信系统(SONET OC-192,SDH STM-64)的要求。整个驱动电路采用 -5.2V 的单电源供电,总功耗为 1.3W。

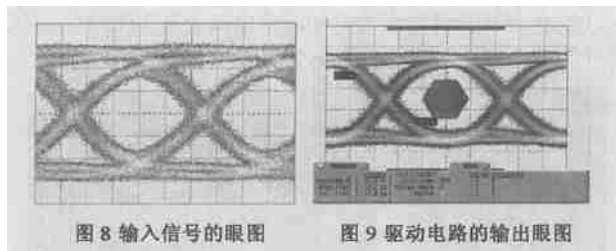


图 8 输入信号的眼图

图 9 驱动电路的输出眼图

4 结论

我们采用自行开发的 4 英寸 InGaP/GaAs HBT 技术,设计和制造了 10Gb/s 光调制器驱动电路。该驱动电路的信号速率达到 10Gb/s,上升时间为 34.2ps(20~80%),下降时间为 37.8ps(20~80%)。眼图的张开形状良好,上升沿和下降沿对称,没有出现驱动、时间抖动等现象。输入端的阻抗匹配良好($S_{11} = -12.3\text{dB}$ @10GHz),达到 10Gb/s 光通信系统(SONET OC-192,SDH STM-64)的要求。整个驱动电路采用 -5.2V 的单

电源供电,总功耗为 1.3W,芯片面积为 $2.01 \times 1.38\text{mm}^2$ 。

参考文献:

- [1] Tom Low, Tim Shirley, Craig Hutchinson, et al. InGaP HBT technology for RF and microwave instrumentation[J]. IEEE Solid-State Electronics, 1999, 43(8): 1437 - 1444.
- [2] Saeed Mohammadi, Jae-Woo Park, Dimitris Pavlidis, et al. Design optimization and characterization of high gain GaInP/GaAs HBT distributed amplifiers for high-bit-rate telecommunication[J]. IEEE Trans, Microwave Theory and Techniques, 2000, 48(6): 1038 - 1044.
- [3] K Runge, P J Zampardi, R L Pierson, et al. High speed AlGaAs/GaAs HBT circuits for up to 40 Gb/s optical communication[A]. IEEE GaAs IC Symp[C]. Anaheim, CA, USA, 1997. 211 - 214.
- [4] Bert K. Oyama, Brian P. Wong, GaAs HBT's for analog circuits[J]. Proceedings of the IEEE, 1993, 81(12): 1744 - 1761.
- [5] Christopher T M Chang, Han-Tzong yuan. GaAs HBT's for high-speed digital integrated circuit applications[J]. Proceedings of the IEEE, 1993, 81(12): 1727 - 1743.
- [6] Burhan Bayraktaroglu. GaAs HBT's for microwave Integrated circuits[J]. Proceedings of the IEEE, 1993, 81(12): 1762 - 1785.
- [7] M E Kim, A K Oki, G M Gorman, et al. GaAs heterojunction bipolar transistor device and IC technology for high-performance analog and microwave applications[J]. IEEE Trans Microwave Theory and Techniques, 1989, 37(9): 1286 - 1303.
- [8] Kenji Uchida, Ikuro Aoki, Hiroyuki Matsuura, et al. 104 and 134 GHz InGaP/InGaAs HBT oscillators[A]. IEEE GaAs IC Symp[C]. Monterey, CA, USA, 1999. 237 - 240.
- [9] M S Heins, T Juneja, D Caruth, et al. Impact of 1/f noise in Ka-band InGaP/GaAs HBT frequency sources[A]. IEEE MTTs Digest[C]. Boston, MA, USA, 2000. 1209 - 1212.
- [10] Liu Honggang, Yuan Zhipeng, He Zhijing, Wu Dexin. High performance InGaP/GaAs heterojunction bipolar transistor with hexagonal emitter[J]. Chinese Semiconductor Journal, 2003, 24(11): 1135 - 1138.

作者简介:

袁志鹏 男, 1973 年出生, 现为中国科学院微电子中心博士研究生, 研究兴趣包括: HEMT/HBT 器件与建模、MMIC 设计与制造等。

刘洪刚 男, 1974 年出生, 2003 年在中国科学院微电子中心获博士学位, 现为加拿大 Simon Fraser University 博士后, 研究兴趣包括: 微波器件模型、RFIC/MMIC 设计与制造、异质结器件物理和固态现象。