

# 一种简化的光调制器驱动电路

鄂辰熹 刘训春 王润梅 袁志鹏

(中国科学院微电子研究所, 北京 100029)

**摘要:** 在采用 IC-CAP 提取异质结双极晶体管器件的 VBIC 模型参数的基础上,设计出形式简洁的光调制器驱动电路. 电路功耗仅为 500mW,在 2.5GHz 信号下平均上升时间和下降时间(10%~90%)分别为 84ps 和 56ps,输出电压摆幅 2.6V. 而 FUJISTU 公司的同类产品 FMM3193VI 平均上升时间和下降时间(20%~80%)为 120ps,功耗为 2.1W.

**关键词:** 异质结双极晶体管; VBIC 模型; 光调制器驱动电路

**PACC:** 7340L EEACC: 2560F; 2550R; 1220

**中图分类号:** TN325+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2005)08-1635-05

## 1 引言

光纤通信有传输频带宽、通信容量大、衰减小、可传输距离远、串扰小、抗电磁干扰、保密性好、耐化学腐蚀、原材料来源丰富等一系列优点. 因此,近十多年来得到了飞速的发展. 时至今日,光纤通信、光纤网络和光纤有线电视已经成为现代信息网络的主要传输手段,成为现代信息高速公路的技术物质基础. 它的发展也给光纤通信相关器件带来了极大的发展空间.

激光器调制驱动电路是光纤通信中光发射机的重要组成部分. 由于它需要以每秒数千兆比特的高速工作,故电路通常采用 3-4 级源耦合场效应管逻辑(SCFL)差分放大器串连组成<sup>[1]</sup>或 2 级发射极耦合逻辑(ECL)差分放大器串连组成<sup>[2]</sup>. 差分放大器的级数越多,则所用元器件越多,电路总功耗越大,芯片所占面积也越大,这些因素会导致成品率降低和成本增加,电路速度也会受到影响.

为了解决上述问题,本文提出了一种仅由一级差分放大电路组成的激光调制驱动电路,有效地降低了功耗(仅为 500mW),减小了芯片面积约 1/3(仅为 1mm × 1.5mm),速度也明显提高(平均上升和下降时间为 84ps 和 56ps).

## 2 HBT 的 VBIC 模型参数提取

异质结双极型晶体管(HBT)具有优越的高频、高速性能和大电流驱动能力,在微波、毫米波领域有着广泛的应用. 精确的器件模型是各种电路设计成功的基础. 1995 年提出了一种新的工业标准模型,VBIC(vertical bipolar inter company)模型<sup>[2]</sup>. 这种模型改进了传统的 SGP 模型,很好地模拟了雪崩效应、自热效应和其他一些 SGP 模型所忽略的重要二级效应.

通过对 VBIC 模型的简化和对 HPIC-CAP 软件所提供的提取 VBIC 模型参数的测试流程和方法的改进,使之更适用于 InGaP/GaAs HBT<sup>[3]</sup>. 在参数初始化后,首先进行 BC 结、BE 结电容和 RE, RCX 电阻提取,再通过对正反向 Gummel 图,  $I-V$  曲线的拟合提取直流参数,然后是弱雪崩击穿参数和传输时间参数的提取,最后通过拟合器件不同偏置点下的  $S$  参数曲线提取交流参数. 表 1 为 HBT 主要参数的拟合结果和定义.

本文所采用的  $2\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$  U 形发射极 HBT 的直流放大倍数为 60,截止频率为 65GHz,最高振荡频率 123GHz. 器件的高频特性如图 1 所示.

鄂辰熹 男,硕士,从事化合物半导体器件和电路的研究.

刘训春 男,教授,从事化合物半导体器件和电路的研究.

2004-11-24 收到,2005-04-15 定稿

表 1 HBT 主要参数的拟和结果和定义

Table 1 Definition and extraction result of HBT's major parameters in VBIC model

RCX	2.584	Extrinsic collector resistance
RCI	4.267	Intrinsic collector resistance
RBX	31.59	Extrinsic base resistance
RBI	13.87	Intrinsic base resistance
RE	2.584	Emitter resistance
IS	2E-025	Transport saturation current
CBEO	12.29fF	Base-emitter small signal capacitance
CJE	33.97fF	Base-emitter zero-bias junction capacitance
CBCO	9.81fF	Extrinsic base-collector overlap capacitance
CJC	63.77fF	Base-collector zero-bias capacitance
IBEI	6.2E-027	Ideal base-collector saturation current
AVC2	7.525 V	Base-collector weak avalanche parameter2
TF	822.7fs	Forward transit time
QTF	0.31	Variation of Tf with base-width modulation
XTF	0.6	Coefficient of Tf bias dependence

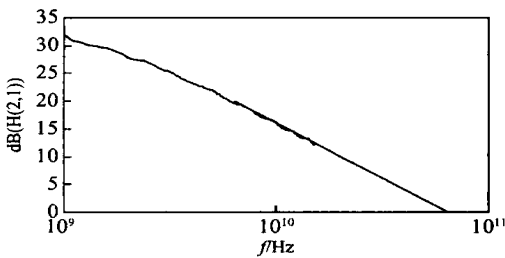


图 1 微波特性

Fig. 1 Microwave characteristics

### 3 激光调制驱动电路设计

激光器调制驱动电路的主要功能是直接给后面的 Er 调制器提供足够高的电压幅度. 与采用 3 - 4 级源耦合场效应管逻辑 (SCFL) 差分放大器串连组成或采用 2 级发射极耦合逻辑 (ECL) 差分放大器串连组成 (图 2) 的传统电路不同, 我们采用的是一种仅由一级差分放大电路组成的激光调制驱动电路, 见图 3. 电路工作原理简述如下: T1, T2, T3, T4 为差分对管, T5 为恒流源; T6, T7 分别为 T2, T3 的放电通路. T8 为 T1 倒相后的跟随器. R4 ~ R9 组成几路恒流源的偏置电阻. R10 为输出负载, R3 为 T1 的负载, R11 为 T2 的负载. 工作原理基本与差分放大器相同. 但为了加快电路的翻转速度, 引入了 C1, C2 和 T8. 当输入高电平时, T1 的集电极电流增加, 它使 T2 由原来的截止转为通导, 同时, 也通过 C1 对 T7 基极注入电流, 使 T7 集电极电流增加, 为 T3

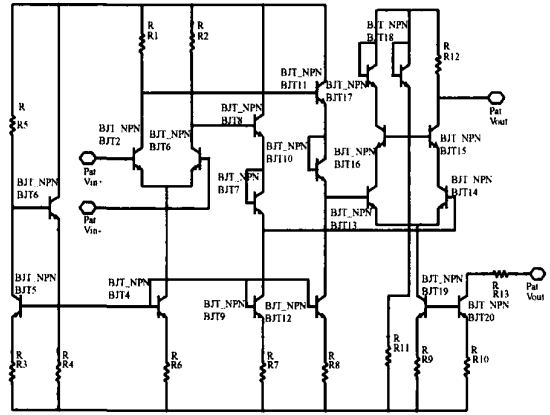


图 2 常规 bipolar 或 HBT 激光器调制驱动电路<sup>[2]</sup>

Fig. 2 General bipolar or HBT modulator driver<sup>[2]</sup>

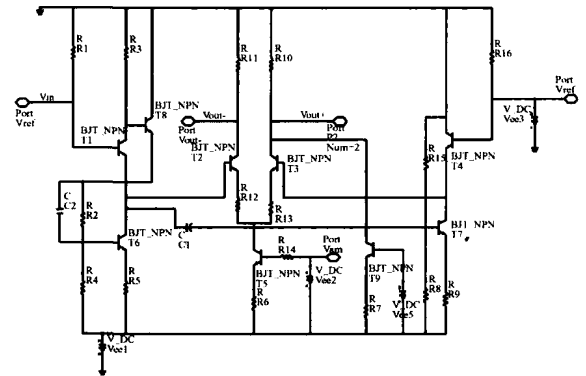


图 3 本文提出的 InGaP/GaAs HBT 激光器调制驱动电路

Fig. 3 Our InGaP/GaAs HBT modulator driver

的截止提供了更快的放电回路, 从而加快了 T1 和 T2 的翻转. 与此同时, T1 集电极电流的增加使 T8 基极电位下降, 通过 C2 耦合, 致使 T6 的基极电位下降, T6 集电极电流减小, 这有利于 T1 管的电流更多地流入 T2 管基极, 加速 T2 管的通导, 达到了提高电路工作速度的目的.

利用 Agilent 公司模拟软件 ADS 进行高频信号仿真, 得到如图 4 所示的模拟结果. 电路上升时间  $T_r = 142.3\text{ps} - 41.3\text{ps} = 101\text{ps}$ , 下降时间  $T_f = 156.3\text{ps} - 46.3\text{ps} = 110\text{ps}$ , 均满足设计指标  $T_r, T_f < 120\text{ps}$ .

加速电容 C1, C2 对于提高电路的速度有着显著的作用, 分别去除加速电容 C1 和 C2, 得到如图 5 和图 6 所示的仿真结果.

去掉加速电容 C1 后, 电路的上升时间  $T_r$  变为  $184.3\text{ps} - 46.3\text{ps} = 138\text{ps}$ , 下降时间  $T_f$  变为

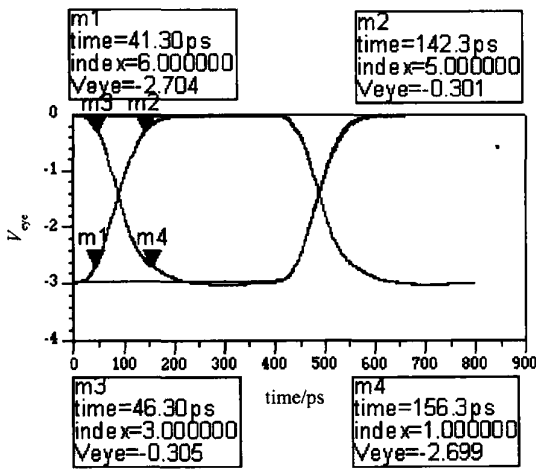


图 4 最终采纳电路的仿真结果

Fig. 4 Simulation result of the modulator driver

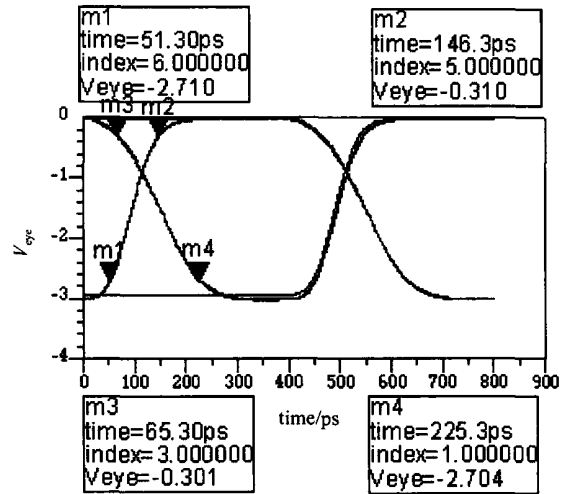


图 6 去掉 C2 后的仿真结果

Fig. 6 Simulation result lack of C2

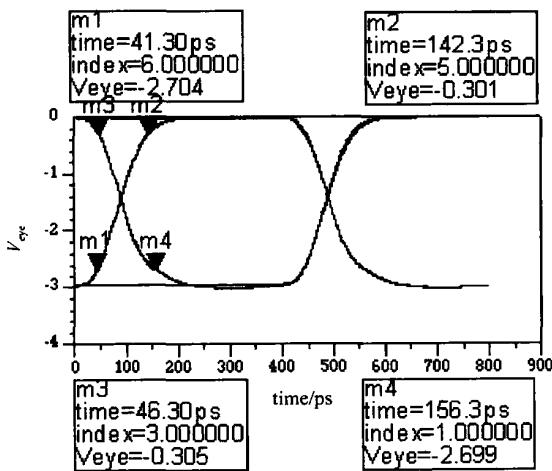


图 5 去掉 C1 后的仿真结果

Fig. 5 Simulation result of lack of C1

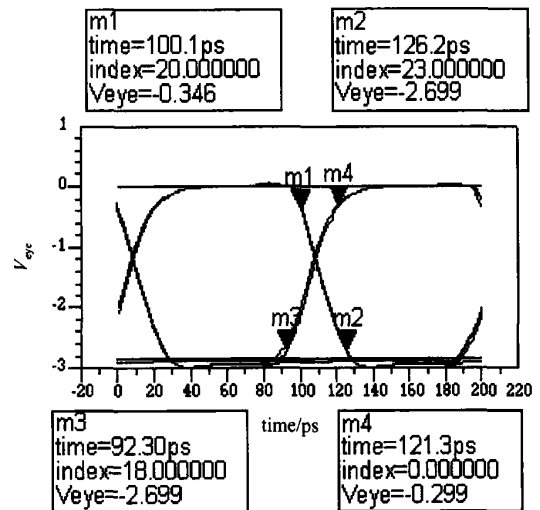


图 7 10G 信号下的仿真结果

Fig. 7 Simulation result under 10G

171. 3ps - 44. 3ps = 127ps, 分别增大了 36. 6 % 和 15. 5 %.

去掉加速电容 C2 后, 信号的上升边和下降边明显不对称, 上升时间  $T_r$  虽有微小改善, 变为 146. 3ps - 51. 3ps = 95ps, 但下降时间  $T_f$  变为 225. 3ps - 65. 3ps = 160ps, 增大了 45. 5 %.

另外, 模拟结果显示: 当采用 1. 5 $\mu$ m 发射极工艺, 并适当增大电路功耗, 该电路速度可提高到 10Gb/s. 表明该电路的速度是有较大潜力的.

电路上升时间  $T_r = 121. 3ps - 92. 3ps = 29ps$ , 下降时间  $T_f = 126. 2ps - 100. 1ps = 26. 1ps$ , 均满足设计指标  $T_r, T_f < 40ps$ , 电路功耗为 142mA  $\times$  5. 2V

= 744mW.

### 4 电路研制

该驱动电路在中国科学院微电子研究所第四研究室 100mm GaAs 研发工艺线上完成. 采用 2 $\mu$ m 发射极标准 HBT 工艺制作, HBT 平均参数如下: 放大倍数 60, 截止频率 65GHz, 最高振荡频率 123GHz. 电路中的电阻为 NiCr 薄膜电阻, 方块电阻 20  $\Omega$ ; 电路中的 MIM 电容击穿电压大于 3. 5  $\times 10^6$  V/cm, 相对介电常数  $\epsilon_r$  为 6. 6, 单位面积上电

容值为  $292\text{pF}/\text{mm}^2$ .

图 8 为已完成的驱动电路照片. 芯片面积为  $1\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ , 共有 19 个 HBT 晶体管. 该电路为高频电路, 所以版图的设计是以最大程度减小器件结电容、寄生电容为原则的. 差分对管采取完全对称的形式, 以降低时间抖动和自热效应.

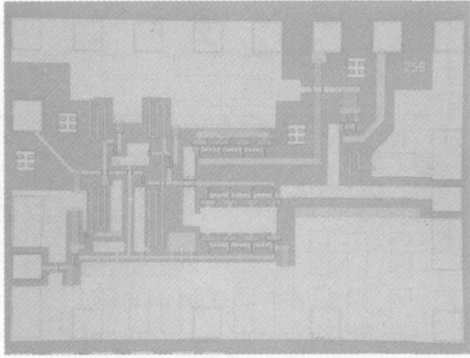


图 8 激光驱动器成品照片

Fig. 8 Micrograph of the modulator driver

## 5 电路性能测试

电路是用特征阻抗为  $50\ \Omega$  的微波探针进行在片测试的. 图 9 为电路在输入  $2.5\text{ Gbps}$  伪随机序列

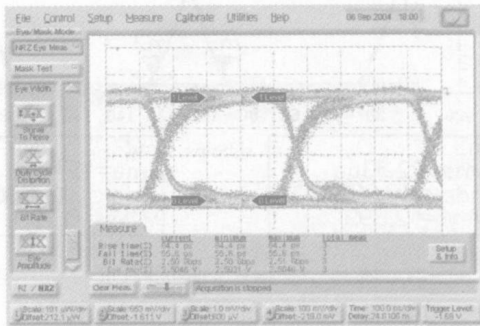


图 9 驱动器眼图测试

Fig. 9 Measured  $2.5\text{ Gbps}$  performance of the modulator driver

码时所输出的眼图. 输入电压峰峰值  $0.8\text{ V}$ , 平均输出电压峰峰值  $2.6\text{ V}$ , 电路对  $44\ \Omega$  的负载电阻输出电流为  $60\text{ mA}$ , 其中包括  $400\ \Omega$  的在片电阻和  $50\ \Omega$  的外部负载电阻. 电路平均上升时间为  $84\text{ ps}$ , 平均下降时间为  $56\text{ ps}$ , 最大时间抖动为  $35\text{ ps}$ . 电路总功耗为  $500\text{ mW}$ ,  $-5\text{ V}$  单电压供电, 参考电压 (用于调节交叉点)  $V_{\text{ref}} = -0.8\text{ V}$ , 峰值电流控制电压 (用于调节输出摆幅)  $V_{\text{ip}} = -3.19\text{ V}$ .

测试仪图表  $x$  方向每格代表  $100\text{ ps}$ ,  $y$  方向每格代表  $653\text{ mV}$ .

## 6 结论

本文用 IC-CAP 提取异质结双极晶体管器件的 VBIC 模型参数, 并在此基础上, 采用  $2\ \mu\text{m}$  U 型发射极 InGaP/GaAs HBT 技术成功研制出单片光调制器驱动电路. 电路形式简洁, 共使用 19 个 HBT, 电路总功耗仅为  $500\text{ mW}$ ,  $-5\text{ V}$  单电压供电, 电路在  $2.5\text{ Gbps}$  的频率下, 眼图清晰张开.

## 参考文献

- [1] Pedrotti K D, Zucca F, Zampardi P J, et al. HBT transmitter and data regenerator arrays for WDM optical communications application. IEEE J Solid-State Circuits, 1995, 30(10): 1141
- [2] Bai Dafu, Liu Xunchun, Wang Runmei, et al. Super performance InGaP/GaAs HBT with novel structure. Chinese Journal of Semiconductors, 2004, 25(7): 756
- [3] Sun Lingling, Liu Jun. A simplified VBIC model and InGaP/GaAs HBT wideband amplifier design. Chinese Journal of Semiconductors, 2005, 26(5): 994 (in Chinese) [孙玲玲, 刘军. 一种简化的 VBIC 模型和 InGaP/GaAs HBT 宽带放大器设计. 半导体学报, 2005, 26(5): 994]
- [4] Lao Zhihao, Thiede Andreas, et al.  $40\text{-Gb/s}$  high power modulator driver IC for lightwave communication systems. IEEE J Solid-State Circuits, 1998, 33(10): 1520

## A Simplified Modulator Driver IC for Light wave Communication Systems

E Chenxi , Liu Xunchun , Wang Ruimei , and Yuan Zhipeng

(*Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*)

**Abstract :** On the basis of extracting parameters in a VBIC model used on an InGaP/ GaAs HBT ,a simplified modulator driver IC for a lightwave communication system is designed. The circuit consumes only 500mW with an output voltage of  $2.6V_{pp}$  at 2.5Gb/s. The 10% to 90% rise time and fall time are 84ps and 56ps ,respectively. Correspondingly ,the FMM3139VI GaAs laser driver of the FUJISU company consumes 2.1W with an output voltage of  $3V_{pp}$ . The 20% to 80% rise time and fall time are both 120ps.

**Key words :** hetero-junction bipolar transistor; VBIC; modulator driver

**PACC :** 7340L      **EEACC :** 2560F; 2550R; 1220

**Article ID :** 0253-4177(2005)08-1635-05

---

E Chenxi male ,master. He is engaged in research on compound semiconductor devices and circuits.

Liu Xunchun male ,professor. He is engaged in research on compound semiconductor devices and circuits.

Received 24 November 2004 ,revised manuscript received 15 April 2005

©2005 Chinese Institute of Electronics