

一个简单光电集成回路的计算机辅助分析

陈维友 胡礼中 刘式墉
(吉林大学 电子科学系, 长春)

1989年5月3日收到

本文采用一适于光电集成回路(OEIC)的计算机辅助分析程序, 对含一个激光二极管(LD), 两个金属半导体场效应晶体管(MESFET)的混合和单片OEIC做了较详细的分析。主要考虑: LD的偏置情况 I_0/I_{th} (工作电流与阈值电流之比), 引线及封装产生的寄生参数对输出光的频率响应和小信号脉冲响应特性的影响。结果表明: 寄生电阻, 小于 5pF 的寄生电容影响不大, 而LD的偏置情况, 寄生电感对回路的频响和小信号脉冲响应有极大影响。室温下, 该混合OEIC芯片, 当LD工作在二倍阈值以上, 引线寄生电阻和电感分别取为 0.1Ω 和 0.3nH 时, 小信号调制带宽可达 4GHz 。由于单片集成极大地减小了寄生电感(主要是引线电感), 因此, 单片集成在提高OEIC的工作速度上具有很大的优越性。

主题词 光电集成回路, 计算机辅助分析, 频率响应特性, 瞬态响应特性, 调制带宽

一、引言

随着OEIC的发展, 用计算机对它进行辅助分析和设计显得越来越重要了。Tucker等人从LD单模速率方程出发, 推导出一个由简单电学元件组成的LD小信号等效电路模型^[1,2]之后, 使得用SPICEII对OEIC进行计算机辅助分析成为可能。用SPICEII对含一个LD和一个MESFET的简单OEIC进行小信号频响和瞬态分析, 国外已有报道^[3]。用SPICEII分析OEIC, 麻烦之处就在于分析之前要首先给出LD小信号等效电路中各元件的值, 这是很不方便的, 对一个较复杂的OEIC也几乎是不可能的。为免除这一麻烦, 适应OEIC发展的需要, 我们按照通常电路CAD(计算机辅助设计)的设计思想和计算技巧, 采用Tucker的LD小信号模型, 自行编写了一个用于OEIC的计算机辅助分析程序, 并在DPS8机上调试成功。

这个程序用FORTRAN 77写成, 采用自由格式输入, 电路描述简单, 模型参数输入灵活。可以进行直流工作点分析, 交流分析, 小信

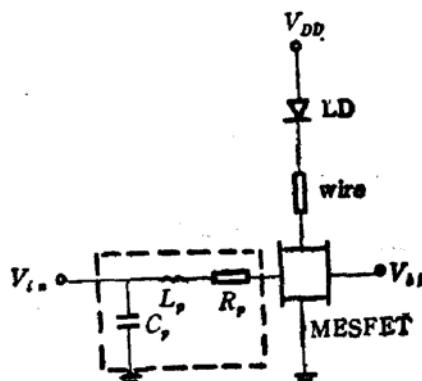


图1 一个考虑封装参数影响的OEIC

号瞬态分析。能以表格和曲线两种方式输出。

我们用这个程序对一个考虑封装参数影响的简单光电集成回路(见图1)的频响特性及小信号脉冲响应(无特别说明,以下简称脉冲响应)特性进行分析。主要考虑: LD 的偏置情况(实际集成片加于 LD 的直流偏置由偏置管的栅压,即图1中的 V_{bf} 决定,为了更清楚地描述 LD 的偏置情况,这里采用 I_o/I_{th}), 引线和封装寄生参数对回路小信号调制特性的影响,并与单片集成情况进行比较。

二、模型及参数

分析所用的器件是一对共漏凹栅 GaAs-MESFET 及生长在半绝缘 GaAs 衬底上的 GaAs/Ga_{0.75}Al_{0.25}As-BH-LD.

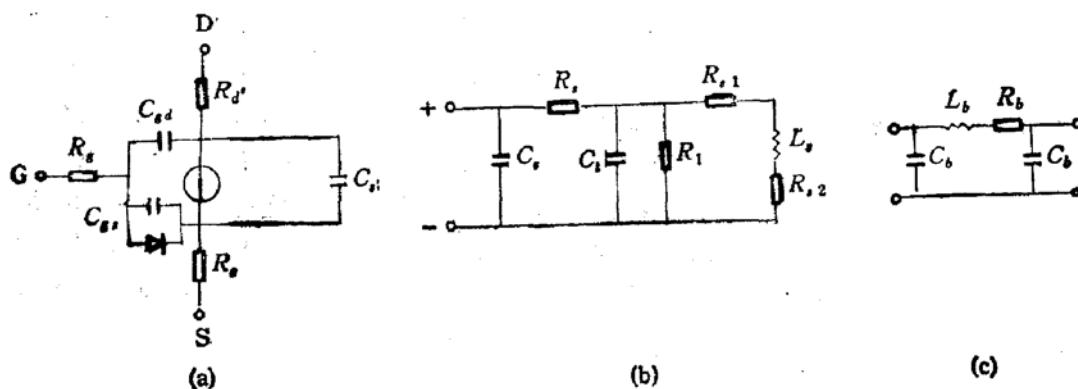


图2 (a) MESFET 小信号等效电路 (b) LD 小信号等效电路 (c) 引线高频等效电路

图2(a)给出了GaAs-MESFET 等效电路模型^[4], 其中, 非线性电压控制电流源由下式给出

$$I(V_{gs}, V_{ds}) = \beta(V_{gs} + V_r)^2 \cdot (1 + \lambda V_{ds}) \cdot \tanh(\alpha V_{ds})$$

这里, α 、 β 、 λ 是待定常数, 由上式与实验值的曲线拟合得到。本文忽略了栅下电子传输时间的影响。通常情况下, 栅漏反偏, C_{gd} 近似为一很小的常数。 C_{ss} 为一非线性电容, 解析表达式近似取为 $C_{ss0}/\sqrt{1 - V_{gs}/V_{BI}}$, V_{BI} 为内建电压。 C_{ds} 为源漏寄生电容。至于 $I(V_{gs}, V_{ds})$, C_{ss} , C_{gd} 的更精细的描述参见文献[5]。

图2(b)是LD小信号等效电路, 其中, R_t 是LD串联电阻, C_t 是LD欧姆接触层与有源层间寄生电容, $C_t = C_{sc} + C_d$, C_{sc} 为结电容, C_d 为扩散电容, R_1 , R_{t1} , R_{t2} , L_t 是从考虑有源区载流子横向扩散影响的LD的单模速率方程^[2]

$$\frac{ds_o}{dt} = \left\{ G(N_o)[1 - \varepsilon s_o] - \frac{1}{\tau_p} \right\} s_o + \beta \frac{N_o}{\tau_s}$$

$$\frac{dN_o}{dt} = \frac{I}{\alpha} - \frac{N_o}{\tau_s} - G(N_o)[1 - \varepsilon s_o] s_o$$

推导出来的等效元件。这里, N_o , s_o 分别是有源区电子密度与光子密度的平均值, $G(N_o)$ 为平均增益, $G(N_o) = \gamma(N_o - N_G)$, $\gamma = \Gamma P$, Γ 为限制因子, N_G , P 都为常数, β 是自

发射系数， τ_s, τ_p 分别为有源区电子寿命和光子寿命， $\alpha = qv, v$ 为有源区体积，
 $s = \gamma\tau_s/2(1 + h), h = (2\pi L_{eff}/W)^2$ ，

W 为有源区宽度， L_{eff} 为有源区电子有效扩散长度。其中，

$$R_1 = \alpha R_d / [\alpha + \gamma\tau_s\tau_p(I_o - I_{th})]$$

$$L_s = \alpha\tau_p R_d / [\alpha\beta + \gamma\tau_s\tau_p(I_o - I_{th})]$$

$$R_{s1} = \epsilon L_s (I_o - I_{th}) / \alpha$$

$$R_{s2} = \beta\tau_p I_{th} L_s / (I_o - I_{th})$$

$$R_d = 2kT/qI_{th}$$

$$C_s = C_{sc} + C_d$$

$$C_d = \tau_s / R_d$$

通常 C_{sc} 远小于 C_d ，可忽略。推导过程中发现，有源区内的小信号光子密度与 R_{s2} 支路的小信号调制电流成正比，这样就可以很方便地用这一小信号电流来分析 LD 的调制特性。

混合集成与单片集成的不同之处就在于电学驱动部分与 LD 的连接方式，前者是一根金属线（引线），后者则为一外延生长层（金属化层），引线的串联电阻较小，近似为零，寄生电感较大（0.1—1.0nH），而金属化层的串联电阻较大，对于20 μm 长，2.5 μm 厚，120 μm 宽，电阻率为 0.005 Ω · cm 的金属化层，其串联电阻为 3.3 Ω，寄生电感较小（0.01nH 量级）^[3]。引线用集总参数电路等效，见图 2(c)，其中， L_b 包括引线的自感和对地的镜面效应产生的互感，引线对地的寄生电容很小，常被忽略。

MESFET，LD，引线及金属化层的各种参数参见表 1。

表 1 MESFET、LD、引线及金属化层模型参数

MESFET	LD	引线
L_G 2 μm	L 250 μm	R_b ≈ 0
W_G 400 μm	W 6 μm	L_b 0.1—1.0 nH
d_c 0.2 μm	d 0.2—0.3 μm	金属化层
N_D $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$	R_s 10.0 Ω	R_b 3.3—10 Ω
V_{BI} 0.76 V	Γ 0.6	L_b 0.01 nH
V_T -2.4 V	β 1×10^{-1}	
$R_s (R_d)$ 5.2 Ω	I_{th} 20 mA	
R_s 2.0 Ω	L_{eff} 4 μm	
C_s 0.2 pF	τ_s 1.0 pS	
α 2.5 V ⁻¹	τ_s 2.0 nS	
β 0.0085 A V ⁻²		
λ 0.0001 V ⁻¹		

三、结果及讨论

分析时，我们对引线寄生参数和封装寄生参数的影响是分别考虑的。由于封装寄生电阻，电感对 OEIC 小信号调制特性的影响分别和引线寄生电阻，电感的影响类似，这里

不再给出。分析结果见图 3—图 6。

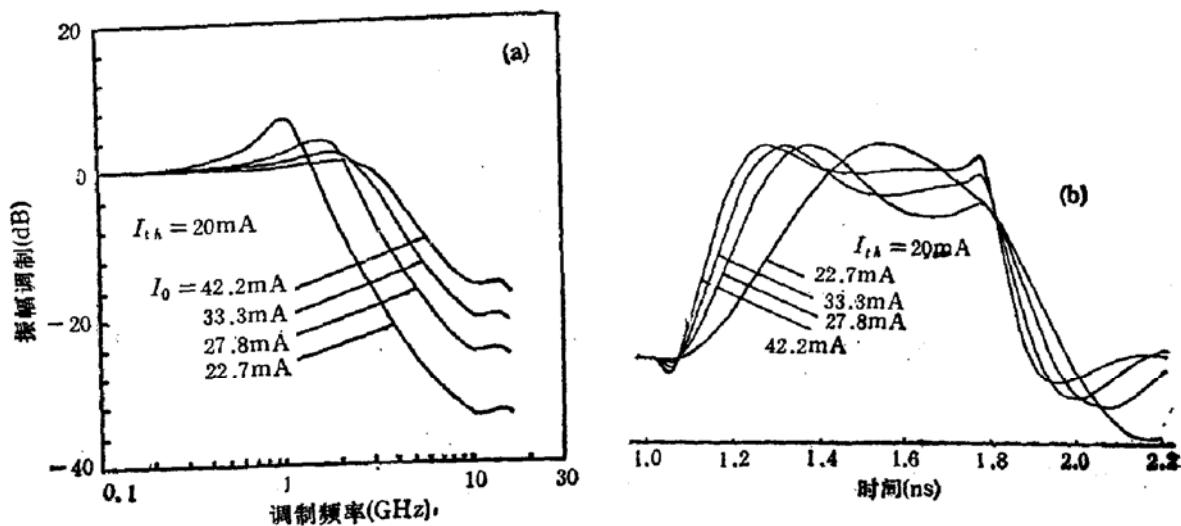


图 3 LD 偏置情况的变化对频响特性 (a), 脉冲响应特性 (b) 的影响,
 $R_b = 0.1\Omega$, $L_b = 0.3\text{nH}$, 没考虑封装参数

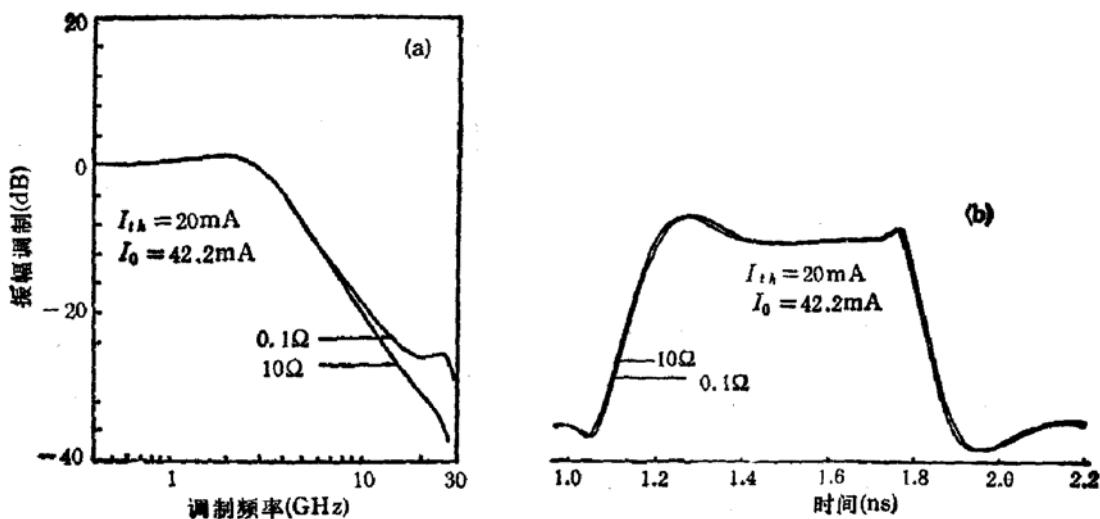


图 4 引线寄生电阻对频响特性 (a), 脉冲响应特性
(b) 的影响, $L_b = 0.1\text{nH}$

进行瞬态分析时, 调制源选为脉冲宽度为 0.7nS 的理想方波。尽管我们选 R_{in} 上的压降进行频响, 瞬态分析, 图 3—图 6 中的频响曲线就是输出光的振幅调制特性, 而脉冲响应波形并不是实际小信号输出光强, 而与实际小信号输出光强成一定的比例关系, 不同曲线之间可比较的只是波形的失真度, 上升时间和下降时间。特别对图 3(b), 不同偏置时, 响应波形的幅度差很大。为了比较方便, 本文把各曲线绘成等高的。

图 3 是混合 OEIC 芯片, 不同 LD 偏置情况下的频响和脉冲响应, $R_b = 0.1\Omega$, $L_b = 0.3\text{nH}$ 。当 LD 工作电流稍高于阈值时, 小信号调制带宽约为 1.5GHz , 脉冲响应波形失真严重, 随工作电流的增加, 小信号调制带宽增大, 波形失真减小, 上升和下降时间缩短, 接近 2 倍阈值时, 调制带宽达到 4GHz , 上升, 下降时间约为 0.2nS 。

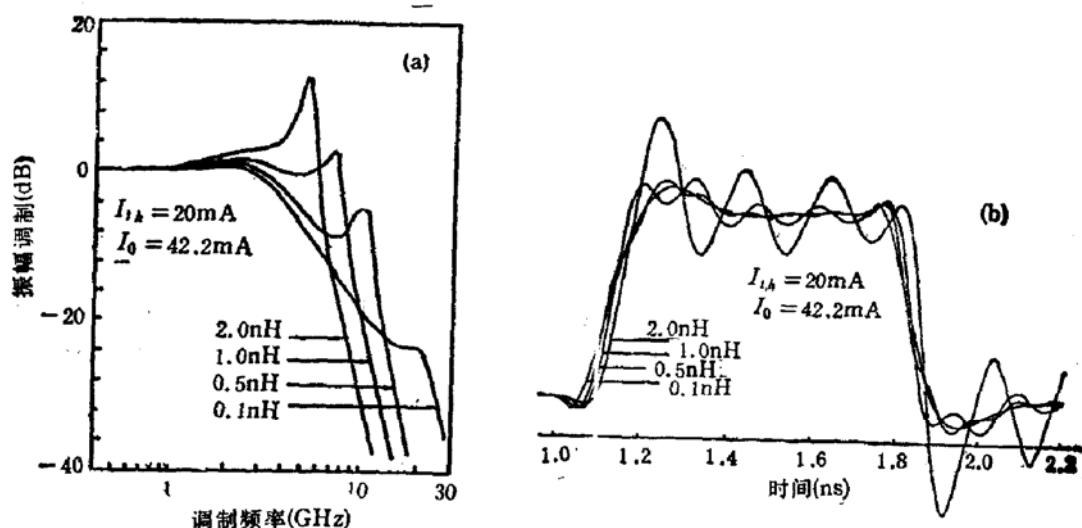


图 5 引线寄生电感对频响特性 (a), 脉冲响应特性 (b) 的影响, $R_s = 0.1\Omega$

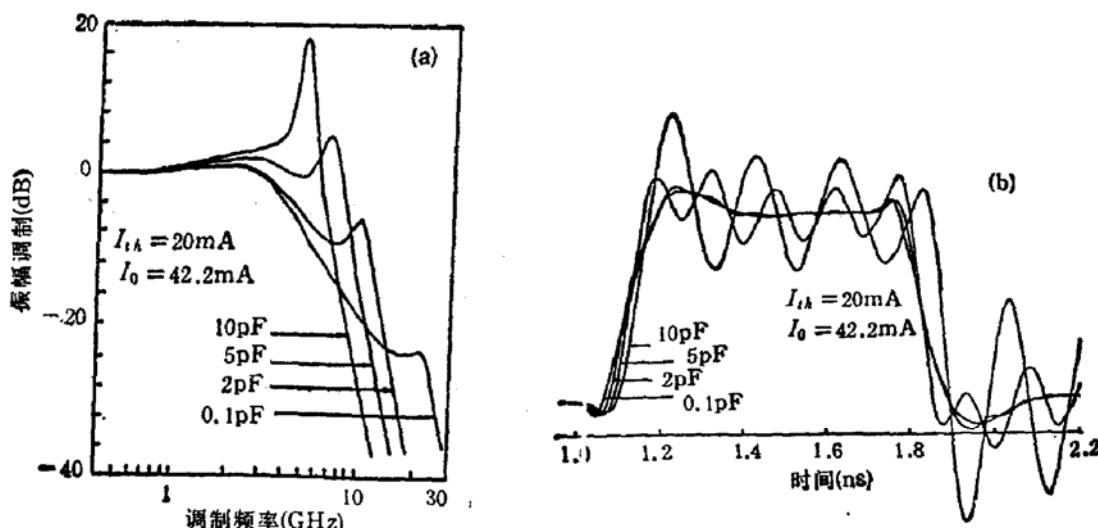


图 6 封装寄生电容对频响特性 (a), 脉冲响应特性 (b)
的影响, $L_s = 0.1 \text{ nH}$, $R_s = 0.1\Omega$

图 4, 图 5 表示混合 OEIC 芯片, LD 在 2 倍阈值偏置下, 引线寄生电阻及电感对回路小信号调制特性的影响。图中可见, 即使引线寄生电阻取为 1Ω , 对频响特性也几乎没有影响, 仅使脉冲响应波形产生微小的延迟, 而引线电感则很敏感地影响着回路频响及脉冲响应, 随引线电感增加, 类共振频率减小, 类共振峰增高, 张弛振荡幅度增大, 2.0 nH 的寄生电感就使响应波形严重失真。

图 6 给出封装寄生电容对回路小信号调制特性的影响。和引线电感的影响类似, 随 C_s 增大, 类共振频率减小, 类共振峰增高, 张弛振荡幅度增大。图中可见, C_s 小于 2 pF 时, 对频响特性影响不大, 仅使脉冲响应波形产生微小的波动, 而 C_s 大于 5 pF 时, 响应波形严重失真。

四、结 论

综上所述,寄生电阻对 OEIC 小信号频响特性影响不大,仅使脉冲响应波形产生很小的延迟,寄生电容大于 5pF 时,使脉冲响应波形严重失真,LD 偏置情况,回路中寄生电感则极敏感地影响着该 OEIC 的频响及脉冲响应。因此,在设计高速 OEIC 时,应使封装电容控制在 5pF 以下,尽可能地减小寄生电感,提高 LD 的电流偏置。室温下,该混合 OEIC 芯片,当 LD 工作在 2 倍阈值以上,引线寄生电阻和电感分别为 0.1Ω , 0.3nH 时,小信号调制带宽可达 4GHz 。由于单片集成极大地减小了寄生电感(主要是引线电感),因此,它在提高 OEIC 的工作速度上是很有前途的。

参 考 文 献

- [1] R. S. Tucker and D. J. Pope, *IEEE Trans., MTT-31*, 289(1983).
- [2] R. S. Tucker and D. J. Pope, *IEEE J., QE-19*, 1179(1983).
- [3] M. Nakamura, N. Suzuki and T. Ozeki, *IEEE J., QE-22*, 822(1986).
- [4] W. R. Curtice, *IEEE Trans., MTT-28*, 448(1980).
- [5] H. Statz, P. Newman, I. W. Smith, P. A. Pucel and H. A. Hays, *IEEE Trans., ED-34*, 160(1987).

Computer Aided Analysis of a Simple Optoelectronic Integrated Circuit

Chen Weiyou, Hu Lizhong and Liu Shiyong

(Department of Electronic Science, Jilin University, Changchun)

Abstract

Using a computer aided analysis program for optoelectronic integrated circuit (OEIC), the small-signal modulation characteristics of hybrid and monolithic OEIC of a laser diode (LD) and two metal-semiconductor field effect transistors (MESFET) are analyzed. It is considered that the LD bias I_0/I_{th} (I_0 is the operation current, I_{th} is the threshold current) and the parasitic parameters of interconnecting wire and package affect on the frequency-response characteristic and the small-signal pulse response characteristic of laser output. The results show that the effect of the parasitic resistance and the capacitance under 5pF is not evident, but for the LD bias and parasitic inductance, the effect is very strong. At room temperature, when I_0/I_{th} is larger than 2, and the resistance and inductance of interconnecting wire are 0.1Ω and 0.3nH , respectively, the small-signal modulation band of the hybrid OEIC chip is as large as 4GHz . Because the monolithic OEIC decreases the parasitic inductance, it is useful on high-speed OEIC.

Key words OEIC, Computer aided analysis, Frequency-response characteristic, Transient response characteristic, Modulated frequency bandwidth