

GaAs 双栅MESFET的PSPICE直流模型*

程知群 孙晓玮 夏冠群

(中国科学院上海冶金研究所 上海 200050)

摘要 提出了一种 GaAs 双栅MESFET 的 PSPICE 直流模型, 分析了 GaAs 双栅MESFET 漏极电流与两个控制栅偏置电压之间的关系, 给出了漏极电流表达式. 通过提取适当的模型参数, 其直流输出特性的模拟曲线与实测曲线基本吻合, 说明文中提出的 GaAs 双栅MESFET 的 PSPICE 直流模型是有效的.

EEACC: 2560B, 2560S, 1350, 1350H

1 引言

GaAs 双栅MESFET 自 70 年代初问世以来, 已为许多工作者研究. 实践证明 GaAs 双栅MESFET 是一种优越的多用途微波器件. 它在低噪声放大器、可变增益放大器、混频器、RF 功率限制器、倍频器、移相器和微波开关等电路中得到应用. 与 GaAs 单栅MESFET 相比, GaAs 双栅MESFET 具有两个优点: (1) 由于有两个独立的栅, 增加了它的使用功能. 如: 在双栅混频器中两个独立的栅将 RF 输入信号和本征信号自然隔开. (2) 降低反馈提高稳定性. 在 GaAs MMIC 的设计中, Curtice 和 Statz 等人分别提出了 GaAs 单栅MESFET 模型, 并广为引用. GaAs 双栅MESFET 低频或高频信号模型在文献中已有报道, 但由于其导电机理比较复杂, GaAs 双栅MESFET 直流特性 PSPICE 模型一直未见描述. 这给 GaAs 双栅MESFET 的电路设计带来了诸多的不便. 本文提出了用于微波单片集成(MMIC)混频器中双栅MESFET 的 PSPICE 直流模型, 给出了漏极电流-电压表达式, 通过提取适当的模型参数, 其直流输出特性的模拟曲线与实测曲线基本一致, 能较方便地分析MMIC 双栅混频器非线性特性.

2 模型的建立

GaAs 双栅MESFET 等效为两个单栅MESFET 的串接. 如图 1 所示, 一个为共源 FET, 一个为共栅 FET. 根据文献[7]给出的 PSPICE GaAs MESFET 的模型, 按图 1 等效关系, R_{12} 为两个单栅MESFET 的串接电阻, 得到其等效电路如图 2 所示, 是由一个本征

* 中国科学院重点项目基金资助

程知群 男, 1964 年出生, 博士, 现从事微波单片集成电路的研究

1998-06-15 收到, 1998-09-25 定稿

GaAs 双栅MESFET 在其漏极、源极和两个栅极各串接一个电阻组成。用 PSPICE 模拟 MESFET 的直流输出特性, 关键在于能否给出正确的漏极电流表达式。我们知道单栅

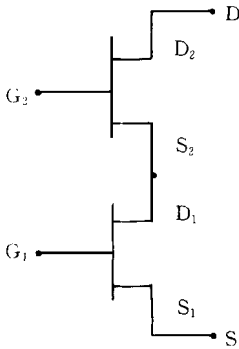


图 1 双栅MESFET 等效两个单管串联符号图

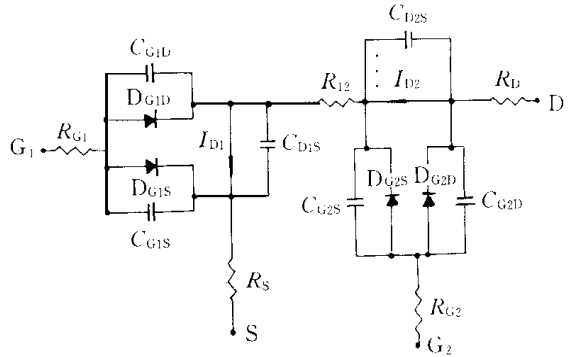


图 2 双栅MESFET 等效电路图

MESFET 的 PSPICE 直流模型分为两种, 一种是 Curtice 模型, 其漏电流表达式如下:

$$I_{ds} = \beta(V_{gs} - V_{To})^2(1 + \lambda V_{ds}) \tanh(\alpha V_{ds}) \tag{1}$$

另一种模型是 Staze 模型, 该模型考虑了 $\tanh(x)$ 用幂级数表示, 即 $\tanh(x) = 1 - \left(1 - \frac{x}{3}\right)^3$, 其漏电流表示为:

$$I_{ds} = \frac{\beta(V_{gs} - V_{To})^2}{1 + B(V_{gs} - V_{To})} \left[1 - \left(1 - \frac{\alpha}{3}V_{ds}\right)^3\right] (1 + \lambda V_{ds}) \quad 0 \leq V_{ds} \leq \frac{3}{\alpha} \tag{2}$$
$$I_{ds} = \frac{\beta(V_{gs} - V_{To})^2}{1 + B(V_{gs} - V_{To})} (1 + \lambda V_{ds}) \quad V_{ds} > \frac{3}{\alpha}$$

式中 $V_{To}, B, \alpha, \lambda, \beta$ 均为模型参数

由于 GaAs 双栅MESFET 多了一个栅, 其沟道导电机理变得比较复杂。漏极电流已不能简单地采用单栅MESFET 的漏极电流表达式。GaAs 双栅MESFET 的漏极电流不仅随栅 1 的偏置电压的变化, 而且受栅 2 的偏置电压的控制。尽管我们把双栅MESFET 等效成两个单栅MESFET 的串接, 但实际上我们不能单独地测出每个单管的直流输出特性, 因为浮点 D1 是不确定的。从图 1 可得如下关系式:

$$I_d = I_{d1} = I_{d2} \tag{3}$$

$$V_{ds} = V_{d1s} + V_{dd1} \tag{4}$$

$$V_{g2d1} = V_{g2s} - V_{d1s} \tag{5}$$

由上式, 可以推算出 GaAs 双栅MESFET 中每个单管的 DC 输出特性。这里提出 GaAs 双栅MESFET PSPICE 电流模型的漏极电流表达式:

$$I_{ds} = \beta(V_{g1s} - V_{To1})^m (V_{g2s} - V_{To2})^N (1 + \lambda V_{ds}) \tanh(\alpha V_{ds}) \tag{6}$$

式中 V_{g1s}, V_{g2s} 和 V_{ds} 分别为栅 1 源、栅 2 源和源漏电压, m, N 为幂指数, V_{To1} (或 V_{To2}) 为栅 2 (或栅 1) 零偏时, 双栅MESFET 处于截止状态下栅 1 (或栅 2) 的偏置电压, β 为跨导参数, λ 为输出电导参数, α 为描述直流输出曲线线性区和饱和区曲线参数。表达式中仍使用双曲正切函数, 这样就可以通过调节参数 α 拟合直流输出特性的线性区和饱和区。在单栅MES-

FET 中,对截止电压较低的器件,漏极电流为栅源电压的平方关系,如(1)式 而对于截止电压较高的器件,这种平方关系已不能精确地描述漏极电流随栅压的变化,特别是在 V_{gs} 较大时尤为突出 因此,对于后一种情况,采用 Statz 模型描述更为精确,如(2)式 但(2)式不如(1)式简单 我们提出双栅MESFET的漏极电流表达式既力求简单,又要能精确地描述双栅MESFET的直流输出特性 在(6)式中, m 不再是常数,它随控制栅 G_2 的偏压而变化 表示成函数关系为:

$$m = A V_{g2s} + B \quad A、B \text{ 为常数}$$

用 HP4145B 半导体参数分析仪对双栅MESFET的直流输出特性测试,给出跨导与 V_{g1s} 之间的关系,可确定常数 A 和 B 的值 λ 对沟道进行调制,直流输出阻抗与 λ 相关 这里 λ 是一个随两个栅压而变化的变系数:

$$\lambda = \lambda_0 [k_0 + (V_{g1s} + k_1)(V_{g2s} + k_2)] \quad \lambda_0, k_0, k_1, k_2 \text{ 均为常数}$$

从测试输出电导与漏源电压的关系可以确定上述表达式的系数 V_{T01} 和 V_{T02} 由 $I_{ds} \sim V_{g1s}$ ($i=1, 2$) 曲线横坐标的截距得到 N 大小表示控制栅 G_2 对漏极电流的影响程度 β 值与两个栅的栅长、栅宽、沟道厚度及沟道载流子浓度有关

3 GaAs 双栅MESFET 的制备

双栅MESFET用双面抛光的(100) $\pm 5^\circ$ 晶面 GaAs 为基片,采用双离子注入和红外快

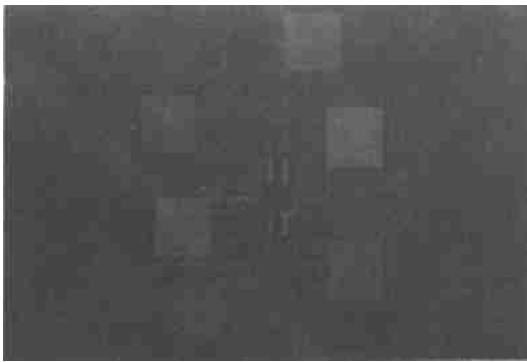


图3 双栅MESFET的显微镜照片

速退火形成 N 型有源区(载流子浓度 $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)和高浓度区(载流子浓度 $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$),用台面腐蚀隔离和挖槽工艺制备管芯, AuGeNi/Au 淀积在源漏区,合金后形成欧姆接触,电子束蒸发 Ti/Pt/Au 与有源层形成肖特基栅极 双栅MESFET的栅长分别为 $1\mu\text{m}$ 和 $2\mu\text{m}$,栅宽 $50\mu\text{m}$,源与栅1间距 $2\mu\text{m}$,栅1与栅2间距 $3\mu\text{m}$,栅2与漏间距 $3\mu\text{m}$. 有源层厚 $0.2\mu\text{m}$,欧姆接触高浓度区厚为 $0.05\mu\text{m}$. 图3为 GaAs 双栅MESFET的显微镜照片.

4 结果与分析

将制备的管芯用 HP4145B 半导体参数分析仪测量直流输出特性 图4为测得的一组特性曲线,图中可清楚地看出栅2的控制作用 当栅2负偏压加大, $I-V$ 曲线产生变形压缩,导致跨导变化 混频器件就是利用双栅MESFET的这种非线性特性产生的混频分量,达到变频目的 同时由于栅1偏压的作用,它对中频分量进行放大 因此,利用双栅MESFET设计加工MMIC混频器结构简单,便于集成,而且具有变频增益 图5是本文提出的双栅MESFET PSpice 模型计算机模拟结果,从图中可以看出,这种模型很好地描述了双栅MESFET的栅压控制特性,与实验结果比较基本一致

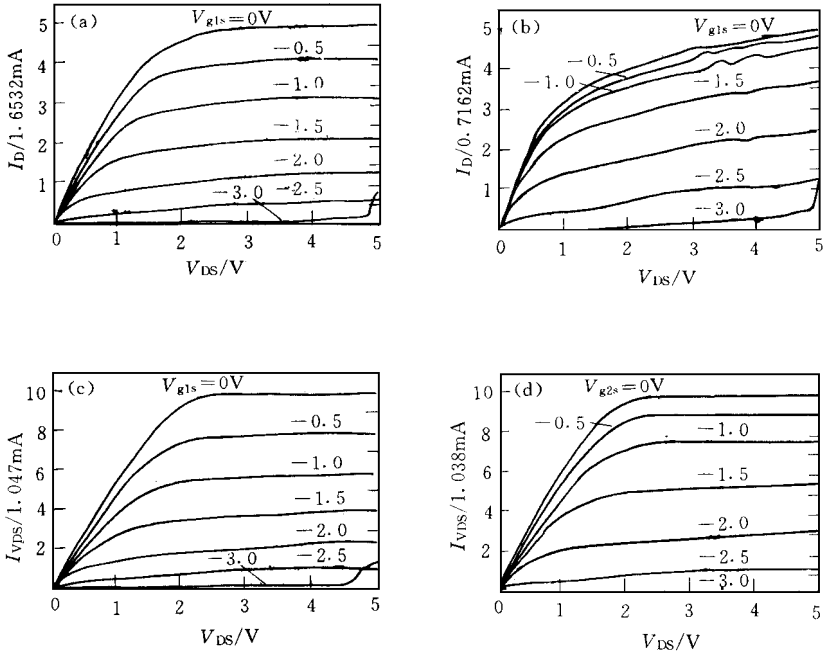


图 4 双栅MESFET 直流输出特性测试曲线

(a) $V_{g2s} = -1V, V_{g1s} = 0 \sim -3V$; (b) $V_{g2s} = -2V, V_{g1s} = 0 \sim -3V$; (c) $V_{g2s} = 0V, V_{g1s} = 0 \sim -3V$; (d) $V_{g1s} = 0V, V_{g2s} = 0 \sim -3V$.

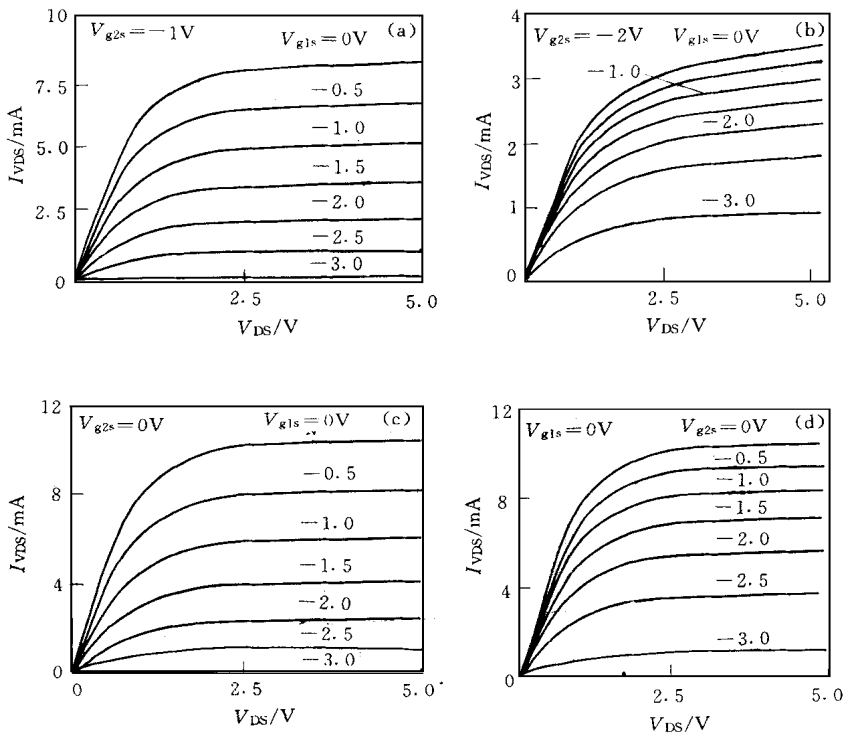


图 5 双栅MESFET 直流输出特性模拟曲线

5 结 论

本文提出了 GaAs 双栅 MESFET PSPICE 直流模型, 同时考虑两个栅偏压对漏极电流的影响 理论与实验分析结果表明直流输出特性的模拟曲线与实测曲线基本一致

参 考 文 献

- [1] Bumm an Kin, Hua Quen Tserng, Paul Saunier, IEEE Trans Microw. Theory Tech , 1984, **32**(3): 256
- [2] James R. Scott, Robert A. Minasian, IEEE Trans Microw. Theory Tech , 1984, **32**(3): 242
- [3] Jeff Conger, Michael S. Shur and Andrzej Peczkalski, IEEE Trans Electron Devices, 1992, **39**(10): 2415
- [4] Martin Schoon, IEEE Trans Microw. Theory Tech , 1994, **42**(2): 212
- [5] Anthony Edward Parker and David James Skellern, IEEE Trans Microw. Theory Tech , 1997, **45**(9): 1563
- [6] Sun Xiaowei, Cheng Zhiquan, Xia Guanqun, Dual-gate FET Mixer Design and Fabrication for MM IC'S, ICMM T'98, Beijing
- [7] 李本俊等, 电子电路计算机辅助分析与设计, 北京: 电子工业出版社, 1992 年 8 月, 187 页

GaAs Dual Gate MESFET DC Model for PSPICE

Cheng Zhiquan, Sun Xiaowei, Xia Guanqun

(Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050)

Received 15 June 1998, revised manuscript received 25 September 1998

Abstract A GaAs Dual Gate MESFET DC Model for PSPICE is put forward. The relation between source-drain current and bias voltages at two control gates are analyzed, and an expression is given. By extracting appropriate model parameters, the simulating results are basically in accordance with measuring results. It is shown that the PSPICE DC model of the GaAs dual-gate MESFET is very efficient.

EEACC: 2560B, 2560S, 1350, 1350H