

# 对 Fukui 法测量 MESFET 栅极串联电阻的改进\*

穆甫臣 李志国 张万荣 郭伟玲 孙英华 严永鑫

(北京工业大学电子工程系可靠性物理研究室 北京 100022)

**摘要** 本文描述了改进的 Fukui 法。利用改进的 Fukui 法可以精确地测量 GaAs MESFET 的栅极串联电阻。实测结果表明,漏-源电阻的测量受栅势垒内建电势影响较小而受夹断电压影响较大,从漏-源电阻与  $X$  ( $X$  为栅势垒内建电势、夹断电压和栅-源电压的函数) 关系曲线的弯曲方向可以定性地判断夹断电压的误差方向。

EEACC: 2560S, 2550F, 7310J, 0170N

## 1 引言

由于半导体器件尺寸日益减小,集成度日益提高,金属-半导体接触的尺寸也随之变小,寄生的金-半接触串联电阻对器件特性的影响显得越来越重要。由金-半接触退化而导致的接触电阻变大是影响 GaAs MESFET 可靠性的关键问题之一,接触电阻的精确测量则是金-半接触评估当中的关键。

近十年来,比较典型的有关串联电阻测量方面的研究有,Long Yang 等<sup>[1]</sup>提出了一个在小栅流下测量源电阻  $R_s$  和漏电阻  $R_d$  的方法,此方法需要预先知道二极管  $n$  值和  $V_t (= kT/q)$  值,用此方法实际测量时并不能满足作者提出的模型。Lee 等<sup>[2]</sup>和 Chaudhuri 等<sup>[3]</sup>提出的测量方法比较复杂,虽然结果较精确,但不适于金-半接触的可靠性评估。Fukui<sup>[4-6]</sup>提出的方法简便易行,能够测出  $R_s$ 、 $R_d$ 、 $R_g$  和  $R_o$  ( $R_g$  为栅极串联电阻,  $R_o$  为开路沟道电阻),但对  $R_g$  的测量不够精确。本方法对 Fukui 法进行了改进,可以更精确地测量栅极串联电阻。

## 2 测量 $R_s$ 、 $R_d$ 、 $R_g$ 和 $R_o$ 的 Fukui 方法<sup>[4]</sup>

Fukui 法所用模型如图 1 所示。具体测量方法如下:通过测量在三种不同接线方式下的

\* 本课题得到电子部“九五”预研项目和北京市科技新星项目资助

穆甫臣 男,1970 年出生,硕士生,研究方向为 GaAs MESFET 金-半接触可靠性

李志国 男,1940 年出生,教授,现从事微电子器件可靠性研究与教学工作

张万荣 男,博士,现从事化合物半导体器件可靠性研究

1997-10-08 收到,1997-12-02 定稿

栅电流(栅极正偏),即分别在源漏短路,只接源极(漏极悬空)和只接漏极(源极悬空)情况下测量,可得三个电阻值,设其分别为  $R_1、R_2、R_3$ , 则:

$$R_1 = U_1/I_1 = R_g + R_s R_d / (R_s + R_d) \tag{1}$$

$$R_2 = U_2/I_2 = R_g + R_s \tag{2}$$

$$R_3 = U_3/I_3 = R_g + R_d \tag{3}$$

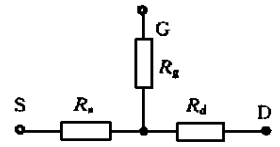


图 1 Fukui 法模型

定义  $R_{ds} = V_{ds}/I_d$ , 这个电阻是  $V_p$  (夹断电压),  $V_b$  (肖特基势垒内建电势) 和  $V_{gs}$  (栅源电压) 的函数, 在很小的  $V_{ds}$  (漏源电压) 下有:

$$R_{ds} = V_{ds}/I_d = R_s + R_d + R_o / \{1 - [(V_b - V_{gs}) / (V_b + V_p)]^{1/2}\} \tag{4}$$

令  $x = 1 / \{1 - [(V_b - V_{gs}) / (V_b + V_p)]^{1/2}\}$ , 则由  $R_{ds} \sim x$  直线的截距可得  $R_s + R_d$ , 其斜率为  $R_o$  (开路沟道电阻)。由于在方程 (1)、(2)、(3) 中忽略了  $R_o$ , 所以在图 1 中未画出 这便是 Fukui 法的近似之处 令:

$$R_4 = R_s + R_d \tag{5}$$

则 (1)、(2)、(3)、(5) 联立, 可解得

$$R_s = (R_2 + R_4 - R_3) / 2 \tag{6}$$

$$R_d = R_4 - R_s \tag{7}$$

$$R_g = R_2 - R_s \tag{8a}$$

$$R_g = R_1 - R_s R_d / (R_s + R_d) \tag{8b}$$

此方法中  $R_g$  包含部分沟道电阻, 当  $R_g$  很小时误差很大, 很难确定栅极串联电阻的变化 本文对 Fukui 法进行了改进, 可精确测量出  $R_g$

### 3 Fukui 法的改进

为了消除  $R_g$  中的沟道电阻部分, 我们建立了如图 2 所示的模型 与 Fukui 测量方法相同, 分别测出  $R_1、R_2、R_3$  和  $R_4$  如下:

$$R_1 = U_1/I_1 = 4R_s R_d + 2R_s R_o + 2R_d R_o + R_o^2 / [4(R_s + R_d + R_o)] \tag{9}$$

$$R_2 = U_2/I_2 = R_g + R_s + R_o / 2 \tag{10}$$

$$R_3 = U_3/I_3 = R_g + R_d + R_o / 2 \tag{11}$$

再由  $R_{ds} \sim x$  直线的截距和斜率得出  $R_s + R_d$  和  $R_o$ , 并设

$$R_4 = R_s + R_d \tag{12}$$

则 (9)、(10)、(11)、(12) 式联立, 解方程组, 得:

$$R_s = (R_2 + R_4 - R_3) / 2 \tag{13}$$

$$R_d = R_4 - R_s \tag{14}$$

$$R_g = R_2 - R_s - R_o / 2 \tag{15}$$

此方法较 Fukui 法更精确,  $R_g$  中不再包含开路沟道电阻

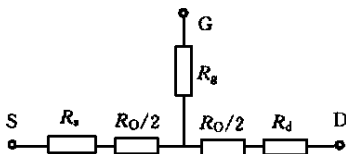


图 2 改进的 Kukui 法模型

部分, 可精确测量出  $R_g$

## 4 实验

实际测量采用的是 CS0531 型 GaAs MESFET, 用 Fukui 法和改进的 Fukui 法测量结果如表 1 所示

表 1 两种方法的测量结果

	$R_s/\Omega$	$R_d/\Omega$	$R_g/\Omega$	$R_O/\Omega$
Fukui 法	2.01	2.30	1.96	0.53
改进的 Fukui 法	2.01	2.30	1.69	0.53

结果表明, 用两种不同的方法测量的  $R_g$  相差  $0.27\Omega$ , 这是由于用 Fukui 法测量  $R_g$  时包含有部分沟道电阻 ( $R_O/2$ ), 致使  $R_g$  有 16% 的测量误差, 由此可见, 此法测量的  $R_g$  中沟道电阻部分占的比重很大, 尤其是当  $R_g$  很小时,  $R_g$  的测量误差更大. 用改进的 Fukui 法测量  $R_g$  大大地提高了  $R_g$  的测量精度

测量时还发现,  $R_{ds} \sim x$  曲线对  $V_p$  值很敏感, 而  $V_b$  的变化对其影响不大, 如图 3 和图 4 所示.  $V_p$  值偏大时,  $R_{ds} \sim x$  曲线向上弯曲, 偏小时曲线向下弯曲, 只有  $V_p$  值很精确时,  $R_{ds} \sim x$  才为线性关系, 此时由直线的截距而得出的  $R_4 = R_s + R_d$  才趋近于真实值. 由此可以便捷地判断  $V_p$  是偏大、偏小还是比较精确, 并最终确定  $V_p$  值. 对 CS0531 型管子的测量发现, 若在漏源电压  $V_{DS} = 2.5V$  下测量源漏饱和电流  $I_{DSS}$ , 以  $V_{DS} = 2.5V$ ,  $I_D = 5.0mA$  ( $I_D$  为漏极电流) 时测得的  $V_p$  值偏大, 如图 3 所示. 经反复测量表明, 以  $I_D$  下降到  $I_{DSS}$  的 7% 为标准测出的  $V_p$  值才是准确值. 测量结果还表明,  $R_{ds} \sim x$  曲线对内建电势  $V_b$  的变化不太敏感. 对 CS0531 型 GaAs MESFET, 我们取  $V_b = 0.45V$  进行了测量, 测量发现  $V_b$  上下浮动  $0.05V$  对测量结果影响不大, 如图 4 所示. 因此, 实际测量时可根据器件类型设定一个  $V_b$  值, 这对于更注重相对变化的可靠性研究来讲是完全可以的.

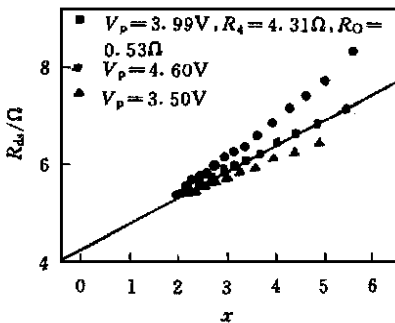


图 3 不同  $V_p$  下的  $R_{ds} \sim x$  曲线

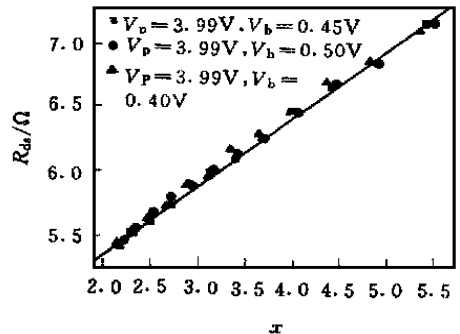


图 4 不同  $V_b$  下的  $R_{ds} \sim x$  曲线

## 5 结论

(1) 利用改进的 Fukui 法可以更精确地测量 GaAs MESFET 的栅极串联电阻  $R_g$ , 从而满足金-半接触可靠性研究的精度要求

(2)  $R_{ds} \sim x$  关系曲线受  $V_b$  的变化影响较小

(3)  $R_{ds} \sim x$  关系曲线对  $V_p$  十分敏感, 并可由  $R_{ds} \sim x$  关系曲线的弯曲方向判断  $V_p$  比真实值偏大还是偏小 当  $R_{ds} \sim x$  为线性关系时,  $V_p$  值精确

(4) 实验发现, 对 CS0531 型平面结构的 GaAs MESFET, 以  $I_D$  下降到  $I_{DSS}$  的 7% 为标准测得的  $V_p$  才趋近于真实值

致谢 感谢电子部 55 所提供了实验样管和王芙蓉同志的大力帮助

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Long Yang and Stephen I Long, IEEE Electron Device Lett , 1986, 7(2): 75~ 77.
- [ 2 ] K. Lee, M. Shur, K. W. Lee *et al* , IEEE Electron Device Lett , 1984, 5(1): 5~ 7.
- [ 3 ] S. Chaudhuri and M. Das, IEEE Electron Device Lett , 1984, 5(7): 244~ 246
- [ 4 ] H. Fukui, Bell Syst Tech. J. , 1979, 58(3): 771~ 797.
- [ 5 ] Kang W. Lee, Kw yro Lee, Michael S. Shur *et al* , IEEE Trans Electron Devices, 1985, 32(5): 987~ 992
- [ 6 ] 史常忻, 等编著, 高速 GaAs 集成电路, 上海: 上海交通大学出版社出版, 1991 年 1 月第 1 版, 1991 年 1 月第 1 次印刷

## Improvement of Gate Series Resistance Measurement of MESFET in Fukui Method

Mu Fuchen, Li Zhiguo, Zhang Wanrong, Guo Weiling, Sun Yinghua, Yan Yongxin

*(Reliability Physics Laboratory, Department of Electronic Engineering,  
Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)*

Received 8 October 1997, revised manuscript received 2 December 1997

**Abstract** An improved Fukui method is described in this paper. We can measure gate series resistance of GaAs MESFET more accurately using this improved Fukui method. The experiment results show that the measurement of drain to source resistance is affected by the built-in voltage of Schottky barrier much less than by pinch-off voltage, and the error directions of pinch-off voltage can be determined qualitatively by the curve of drain to source resistance vs  $x$  ( $x$  is a function of the built-in voltage of Schottky barrier, pinch-off voltage and the voltage between gate and source).

**EEACC:** 2560S, 2550F, 7310J, 0170N