

# MOS 器件“鸟嘴区”电学特性研究

戚盛勇 金晓冬

(复旦大学微分析中心 上海 200433)

**摘要** 随着 MOS 器件尺寸的缩小,“鸟嘴区”对窄沟器件的电学特性已产生了明显的影响。本文研究了窄沟器件 ( $W=1.2\mu\text{m}, 2\mu\text{m}$ ) 中“鸟嘴区”引起的栅电压对有效沟道宽度调制效应以及“鸟嘴”区域内载流子有效迁移率的变化规律,并对窄沟器件模型提出了修正公式。

EEACC: 2560R, 2530F, 2560B

## 1 引言

在集成电路中,由于集成度的不断提高,短沟器件、窄沟器件在电路中已被广泛使用,有许多作者已对短沟器件、窄沟器件中的边缘效应进行了深入的研究。但迄今为止,大部分的研究工作都集中在边缘效应对器件阈值电压的影响上。也有个别作者<sup>[1]</sup>研究了窄沟器件中“鸟嘴”区域引起的有效沟道宽度调制效应,但当时研究的窄沟器件最小的沟道宽度仍为  $4\mu\text{m}$ ,也未研究窄沟器件迁移率的变化规律,更未提出适当的模型。因此在目前电路设计中,通用的器件模型<sup>[2~4]</sup>都没有考虑沟道宽度调制效应,简单地把有效沟道宽度看作常数,而不随栅压变化,也未考虑“鸟嘴”区域内载流子有效迁移率不同于沟道区载流子的变化规律。所以目前的器件模型在模拟长沟器件、短沟器件特性时有较好的结果,但在模拟窄沟器件时却发生了不同程度的困难,并影响了器件模型的覆盖率。

本文在研究了窄沟器件的“鸟嘴”区域引起的栅压对有效沟道宽度调制效应和载流子有效迁移率的不同变化规律后,对器件模型提出了相应的修正公式,使窄沟器件的模拟有了明显的改进。

## 2 测试方法

为了研究栅压对有效沟道宽度的影响,我们采用沟道电阻法测量有效沟道宽度  $W_{\text{eff}}$  ( $W_{\text{eff}}=W_{\text{mask}}-\Delta W$ ) 随  $V_g$  的变化,测试了 PCM 图形中沟道宽度  $W$  不同,沟道长度  $L$  相同的 4 个 PMOS 器件的线性区输入特性,其宽长比分别为  $1.2/25, 2/25, 12/25, 25/25$ , 测试条

戚盛勇 男, 1937 年生, 复旦大学微分析中心副教授, 现从事器件建模的研究工作

金晓冬 男, 1970 年生, 复旦大学材料系九三级研究生

1995 年 9 月 1 日收到初稿, 1996 年 1 月 4 日收到修改稿

件为  $V_{gs}=0 \sim -10V$ ,  $V_{ds}=-0.05V$ ,  $V_{bs}=0, +1, +2, +3, +4, +5V$ . 该器件由上海贝岭微电子公司工艺线提供,采用典型的CMOS、N阱工艺,栅氧厚度为22nm,场氧厚度为450nm,沟道区掺杂浓度为 $1.1 \times 10^{16}/cm^3$ ,测试仪器为HP4155A,测量精度为 $10^{-12}A$ .

在线性工作区,考虑了漏源寄生电阻对漏源电流的影响后,

$$I_d = C_{ox}\mu_{eff} \frac{W_{mask} - \Delta W}{L_{eff}} (V_{gs} - V_{th}) [V_{ds} - (R_d + R_s)I_d] \quad (1)$$

令  $K = C_{ox}\mu_{eff}(V_{gs} - V_{th})/L_{eff}$  (2)

则  $1/R = I_d/[V_{ds} - (R_d + R_s)I_d] = K(W_{mask} - \Delta W)$  (3)

由于这4个器件在同一个PCM中,且 $L_{mask}$ 都相同,所以可以认为(2)式中的 $C_{ox}, \mu_{eff}, L_{eff}$ 都不随 $W_{mask}$ 变化. 若测得4个器件中 $|V_{gs} - V_{th}|$ 值相同条件下的 $I_d$ ,则(2)式和(3)式中的 $K$ 可认为是常数. 由于窄沟效应引起阈值电压增加,这4个器件的 $|V_{th}|$ 不完全相同. 我们测得 $W$ 为 $1.2\mu m, 2\mu m, 12\mu m, 25\mu m$ 的4个器件的 $|V_{th}|$ 分别为 $0.97V, 0.91V, 0.82V, 0.81V$ . 为保持 $|V_{gs} - V_{th}|$ 值相同,这4个器件的 $V_{gs}$ 就略有差别,在这样的条件下(3)式中的 $1/R$ 与 $W_{mask}$ 就为线性关系. 用直线拟合,可求得在某一个 $|V_{gs} - V_{th}|$ 条件下的 $\Delta W$ 值.

### 3 鸟嘴区引起的有效宽度调制效应

测量了不同 $|V_{gs} - V_{th}|$ 条件下的 $\Delta W$ 值. 其结果如图1中的“圆点”所示. 从图可见,随着 $|V_{gs} - V_{th}|$ 从9V减少到2V, $\Delta W$ 从 $0.13\mu m$ 增加到 $0.29\mu m$ ,增加了一倍以上. 它的原因如图2所示,当 $|V_{gs} - V_{th}|$ 较大时,由于在“鸟嘴”下面也处于反型状态,使 $W_{eff}$ 较大,则 $\Delta W$ 就较小. 当 $|V_{gs} - V_{th}|$ 减小后,“鸟嘴”下面的反型区逐渐收缩,使 $W_{eff}$ 缩短, $\Delta W$ 增大,MOS器件工艺的二维数值模拟<sup>[1]</sup>也证实了这一点.

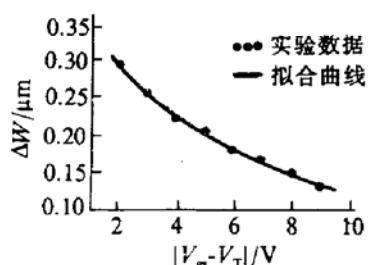


图1 有效沟道宽度调制效应

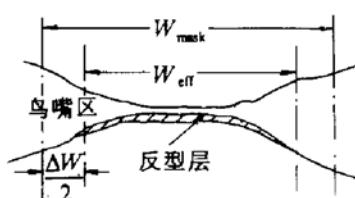


图2  $\Delta W$  变化示意图

有效沟道宽度调制效应可表示为:

$$W_{eff} = W_{mask} - \Delta W$$

$$\Delta W = \Delta W_0 - \alpha(V_{gs} - V_{th}) - \beta(V_{gs} - V_{th})^2 \quad (4)$$

其中  $\Delta W_0$  是当  $V_{gs} = V_{th}$  时的沟道宽度改变量;  $\alpha, \beta$  是其中的二个参数. 它们的值与“鸟嘴”区域的形状有关,与电路的工艺有关. 我们得到的  $\Delta W_0 = 0.366\mu m, \alpha = 0.042\mu m/V, \beta = -0.002\mu m/V^2$ , 拟合结果如图1实线所示.

## 4 鸟嘴区域对有效迁移率变化规律的影响

从上述器件的输入特性曲线中还可求得跨导  $g_m$  的变化规律。 $W=1.2\mu m$  和  $W=25\mu m$  的  $g_m \sim V_{gs}$  曲线如图 3、4 所示，图中曲线由上至下分别对应  $V_{bs}$  为 0, 1, 2, 3, 4, 5V。由图 3、4 可见窄沟与宽沟器件的线性区  $g_m \sim V_{gs}$  曲线有二点明显区别：(1) 随栅电压增加，窄沟器件的  $g_m$  下降缓慢，而宽沟器件的  $g_m$  下降相对较快。(2) 随衬偏电压  $V_{bs}$  增加，窄沟器件的  $g_m$  明显减小，而宽沟器件的  $g_m$  无明显变化。

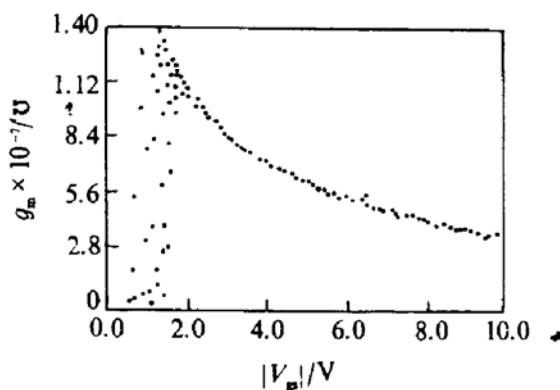


图 3  $W=25\mu m$  的  $g_m$  变化规律

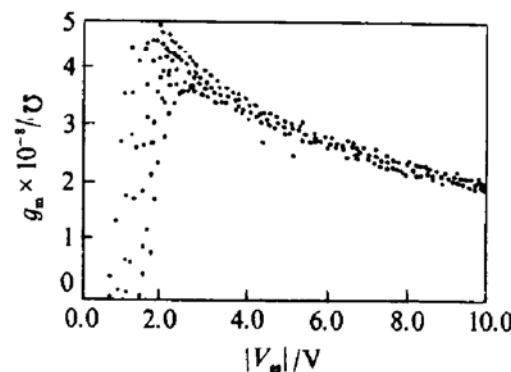


图 4  $W=1.2\mu m$  的  $g_m$  变化规律

$$\text{在线性工作区 } g_m \text{ 可表示为}^{[5]}: \quad g_m = \frac{W_{\text{eff}}}{L_{\text{eff}}} \mu_{\text{eff}} C_{\text{ox}} V_{ds} \quad (5)$$

在(5)式中  $\mu_{\text{eff}}$  是  $V_{gs}, V_{bs}$  的函数。

$$\text{从(5)式得: } \mu_{\text{eff}} = \frac{g_m L_{\text{eff}}}{W_{\text{eff}} C_{\text{ox}} V_{ds}} \quad (6)$$

我们的实验中,  $L_{\text{eff}} = 24.8\mu m$ ,  $T_{\text{ox}} = 22\text{nm}$ ,  $V_{ds} = -0.05\text{V}$ 。

把上一节讨论的  $W_{\text{eff}}$  与  $V_{gs}$  的关系代入, 则可得  $\mu_{\text{eff}} \sim V_{gs}$  曲线(以  $V_{bs}$  为参变量)。如图 5、6 中的实验点所示, 图中曲线由上至下分别对应  $V_{bs}$  为 0, 1, 2, 3, 4, 5V。从图 5、6 可见, 窄沟器件载流子的有效迁移率随  $V_{gs}$  与  $V_{bs}$  变化规律与宽沟器件也有明显差别。这是由于“鸟嘴”区域的氧化层较厚, 所以该区域下的反型层载流子散射受栅压  $V_{gs}$  的调制作用较弱, 导致  $\mu_{\text{eff}}$  相对较大, 而“鸟嘴”区域的势垒区较薄, 导致载流子散射受衬偏电压的调制作用相对较强, 使  $\mu_{\text{eff}}$  随  $V_{bs}$  增加而明显减小。窄沟器件中“鸟嘴”区域在  $W_{\text{eff}}$  中所占比例较大, 使得“鸟嘴”区域的特性在窄沟器件中得到了明显的反映。

在 BSIM-3 中, 载流子有效迁移率可表示为<sup>[3,4]</sup>:

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{\mu_0}{1 + U_a \left( \frac{V_{gs} + V_{th}}{T_{\text{ox}}} \right) + U_b \left( \frac{V_{gs} + V_{th}}{T_{\text{ox}}} \right)^2 + U_c V_{bs}} \quad (7)$$

正确地提取了  $\mu_0, U_a, U_b, U_c$  等参数后, (7)式能较好地模拟宽沟器件的  $\mu_{\text{eff}} \sim V_{gs}$  曲线如图 5 所示, 但对窄沟器件的模拟发生了一定的困难如图 6 虚线所示。若考虑“鸟嘴”区域对  $\mu_{\text{eff}}$  的影响及“鸟嘴”区域在不同沟道宽度的器件中所占的不同比例, 可在(7)式中引入“鸟嘴”区比例因子  $B$ ,

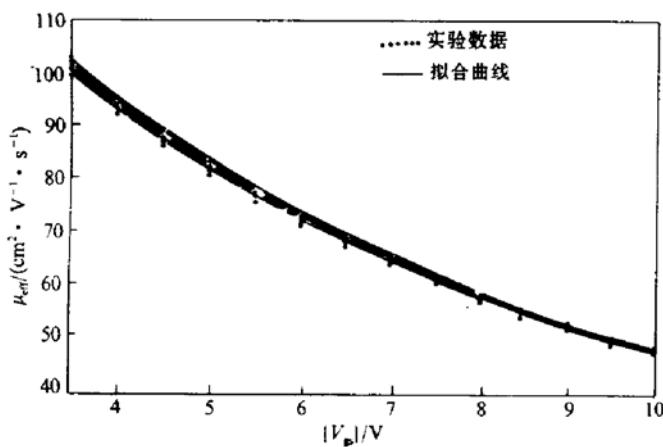


图 5 \$W=25\mu\text{m}\$ 的 \$\mu\_{\text{eff}}\$ 变化曲线

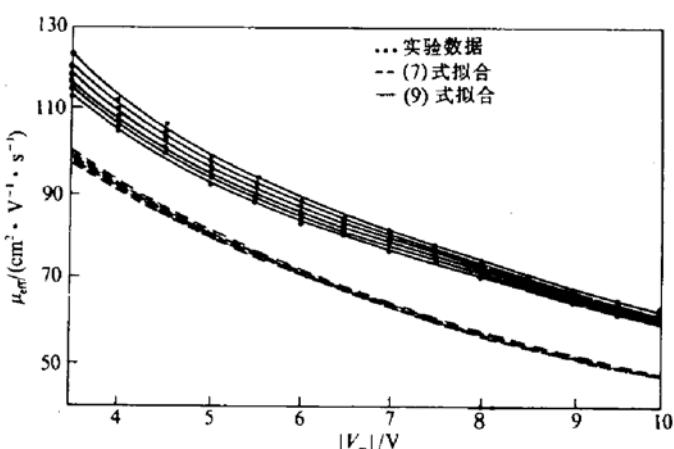


图 6 \$W=1.2\mu\text{m}\$ 的 \$\mu\_{\text{eff}}\$ 变化曲线

$$B = 1 - \frac{W_b}{W_{\text{eff}}} \quad (8)$$

其中 \$W\_b\$ 是新引入的参数, 它的大小与“鸟嘴”形状有关, 与工艺有关. 则(7)式改写为:

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{\mu_0}{1 + U_a B \left( \frac{V_{\text{gs}} + V_{\text{th}}}{T_{\text{ox}}} \right) + U_b B \left( \frac{V_{\text{gs}} + V_{\text{th}}}{T_{\text{ox}}} \right)^2 + \frac{U_c V_{\text{bs}}}{B^2}} \quad (9)$$

保持 \$\mu\_0, U\_a, U\_b, U\_c\$ 的参数不变, 取参数 \$W\_b=0.285\mu\text{m}\$ 代入(9)式, 拟合得到的 \$\mu\_{\text{eff}}\$ 如图 6 实线所示, 由(8)式可见, 对宽沟器件来说, \$B\$ 接近于 1, 所以由(7)式或(9)式拟合的结果差别不大; 而对窄沟器件来说, 由于 \$B\$ 明显地小于 1, 使 \$\mu\_{\text{eff}} \sim V\_{\text{gs}}\$ 曲线的拟合结果有了明显改善.

## 5 小结

从上述结果可见, 由于“鸟嘴区”的存在, 不仅使窄沟器件的开启电压增加, 且窄沟器件的有效沟道宽度随栅压的增加而增加. 窄沟器件的载流子有效迁移率受栅压的影响减少, 受衬偏电压的影响增加. 描述沟道宽度调制效应的(4)式和描述载流子有效迁移率变化规律的(8)、(9)式, 用于器件模型可提高窄沟器件的模拟精度.

**致谢** 本工作是在上海贝岭微电子公司的支持和杨崇和博士的关心下进行的, 得到了同事张刚和彭军的热心帮助, 作者在此表示衷心感谢.

## 参 考 文 献

- [1] A. M. Asenov, E. N. Stefanov, B. Z. Antov *et al.*, *Electronic Letters*, 1985, 14(21): 595.
- [2] Cadence Spice Reference Manual, Version 4.3, 1993, 2: 8~70.
- [3] Spectre Reference Manual, Version 4.3, 1994, 2: B-58.
- [4] J. H. Huang, Z. H. Liu, M. C. Jeng *et al.*, “BSIM3 Manual”, Version 2.0, University of Cali. at Berkeley, 1994, 24.
- [5] Y. P. Tsividis, “Operation and Modeling of the MOS Transistor” McGraw-Hill, Inc., 1987, 222.

# Study on Electronic Property of “Bird’s Beak” in MOS Device

Qi Shengyong and Jin Xiaodong

(Microanalysis Center, Fudan University, Shanghai 200433)

Received 1 September 1995, revised manuscript received 4 January 1996

**Abstract** In the narrow gate MOS device , the effective channel width modulation by gate voltage and the effective mobility of the carrier in the bird’s beak have been studied, and an improved model is provided.

**EEACC:** 2560R, 2530F, 2560B