

多晶硅发射区晶体管的解析模型

马平西 张利春 赵宝瑛 王阳元

(北京大学微电子学研究所 北京 100871)

摘要 在包括了更多的物理效应基础上,本文提出了一个新的多晶硅发射区晶体管的解析模型.把物理参数分为与多晶/单晶硅界面有关的界面物理参数和与纵向结构有关的纵向结构参数,建立了载流子传输机理的特征符号表示系统,给出了晶体管重要特性参数的解析表达式.应用这个模型详细分析了电流增益与两类物理参数之间的关系,并与部分实验结果进行了比较,得到了有关改善 RCA 器件, HF 器件和界面氧化层大面积破裂器件的电流增益的结论.

EEACC: 2560B, 2560J, 2530N

1 引言

多晶硅发射区晶体管(PET)自 1974 年问世以来^[1],由于它具有很高的电流增益、浅结、可以和 CMOS 工艺相容等一系列优点,现已成为超大规模双极集成电路的主流器件.为了说明 PET 电流增益增强的物理机理,目前已提出了以下四种理论模型:(1)载流子输运障碍模型^[2-4],认为少子在多晶硅发射区中的低迁移率是 PET 增益提高的主要因素.(2)界面氧化层隧道理论模型^[5-8],认为多晶硅和单晶硅之间存在一层氧化层,该层对空穴电流的阻碍作用降低了 PET 的基极电流.(3)统一考虑以上两方面因素的综合数值模型^[9,11].(4)界面杂质分凝模型^[12],认为杂质在多晶/单晶硅界面分凝对空穴将引入一势垒,使基极电流减小. PET 的电学特性之所以和金属接触的一般双极晶体管(MET)不同,主要是由于多子和少子输运通过多晶硅发射区和多晶/单晶硅之间的界面引起的.上述模型(1)、(2)和(4)都是在主要考虑了单一物理效应基础上建立起来的,只能解释特殊实验现象,模型过于简化.模型(3)虽然包括了较多的物理效应,但是它们主要是数值模型,其结果比较复杂不宜在工程中推广应用.1991 年 Suzuki 提出了综合解析模型^[13],得出了电流增益和基极电流的解析表达式.然而这个模型仍存在着严重不足.第一、模型中忽略了杂质在多晶/单晶硅界面分凝引起的势垒,而该效应结 PET 电学特性有极其重要的影响^[5,12].第二、模型中没有考虑少子在

马平西 男,1965 年生,博士后,目前主要从事高速双极器件和电路的模型、模拟和参数提取工作

张利春 男,1939 年生,教授,目前主要从事多晶硅发射超高速双极集成电路研究

赵宝瑛 男,1946 年生,副教授,目前主要从事双极集成电路的教学和科研工作

1994 年 2 月 5 日收到初稿,1994 年 5 月 10 日收到修改稿

界面氧化层左边界态上的复合. 第三、模型没有给出物理意义清晰简便实用的重要特性参数的解析表达式, 没有把理论结果同实验数据进行直接比较. 本文在包括了 Suzuki 模型中已有的物理效应基础上, 考虑了杂质在多晶/单晶硅界面分凝引起的势垒和少子在界面氧化层左边界态上的复合两种效应, 全面研究了 PET 的电流增益与界面物理参数之间的关系, 给出了物理意义清晰简便实用的重要特性参数解析表达式.

2 解析模型

根据实验结果, PET 的界面氧化层是不连续和不均匀的^[14-15]. 从物理模型上可以等效地把界面看成是由两种不同性质的部分组成: 一是厚度为 δ 的界面氧化层, 另一是单晶硅和多晶硅直接接触. 对于前者, 少子空穴不仅要以热发射的方式跃过杂质分凝引起的势垒, 还要隧穿界面氧化层; 对于后者, 少子空穴只是以扩散的方式向多晶硅中注入. 本文通过对少子不同传输机理的详细研究得出了 PET 重要特性参数的解析表达式.

2.1 单晶发射区中的少子传输

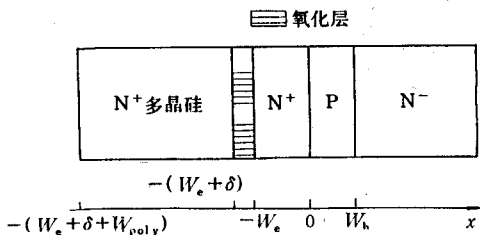


图1 PET的一维结构

设 j_{ps} 为 PET 的单晶发射区中传输电流. 如果按图 1 选取坐标, 在忽略少子复合的情况下, 对于任意的掺杂分布 $N_E(x)$, j_{ps} 可表示为:

$$j_{ps} = qC(-W_e)[n_{ic}^2(0)C_x - n_{ic}^2(-W_e)B_x] \quad (1)$$

式中, 定义 $C(x)$ 为特征符号^[16]:

$$C(x) = \left[\int_x^0 \frac{N_E(x)}{D_{pe}(x)} dx \right]^{-1} \quad (2)$$

$n_{ic}(x)$ 为单晶发射区中的有效本征载流子浓度;

W_e 为发射结结深; $C_x = \exp(V_{be}/V_T)$, $B_x = \exp$

(V_2/V_T) , 其中, V_{be} 为发射结上的电压降, V_2 为界面氧化层右边准费米能级的分开量, $V_T = kT/q$. 同理 MET 发射区中传输电流 j_{ps1} 可写成为:

$$j_{ps1} = qC(-W_e)n_{ic}^2(0)C_x \quad (3)$$

2.2 多子和少子在多晶/单晶硅界面的热发射及隧穿

设 j_{pt} 为少子以热发射的方式跃过杂质分凝势垒 Ψ , 并隧穿界面氧化层的电流. 如图 2 所示, 可求得其解析表达式为:

$$j_{pt} = qC_3 n_{ic}^2(-W_e)(B_x - A_x) \quad (4)$$

式中, 定义 C_3 为特征符号^[16]:

$$C_3 = \frac{1}{N_E(-W_e)} \left(\frac{kT}{2\pi m_p} \right)^{1/2} \frac{\exp(-b_h)}{1 - C_h V_T} \exp\left(-\frac{1 - C_h V_T}{V_T} \Psi_s\right) \quad (5)$$

而 $b_h = \frac{4\pi\delta}{h} (2m_{pi}qV_h)^{1/2}$, $C_h = \frac{2\pi\delta (2m_{pi}q)}{h V_h}^{1/2}$, m_{pi} 为空穴在界面氧化层中的有效质量, $V_h(x) = \chi_h - \Psi$, h 为普朗克常数; m_p 为空穴在半导体中的有效质量; $A_x = \exp(V_1/V_T)$, V_1 为界面氧化层左边准费米能级的分开量. 同理, 电子热发射和隧穿杂质分凝势垒 Ψ_s 和界面氧化层电子有效势垒 χ_e 的电流可以表示为:

$$J_{nt} = C_{33} V_0 \quad (6)$$

式中, 定义 C_{33} 为特征符号^[16]:

$$C_{33} = q^2 \frac{4\pi m_n k t}{h^3} e^{\varepsilon/V_T} \frac{e^{-b_n}}{1 - C_n V_T} \quad (7)$$

其中, $b_n = \frac{4\pi\delta}{h} (2m_n q V_n)^{1/2}$, $C_n = \frac{2\pi\delta}{h} \left(\frac{2m_n q}{V_n}\right)^{1/2}$, ε 为电子准费米能级与导带底之差, m_n 和 m_{ni} 分别为电子在半导体和界面氧化层中的有效质量, $V_n = \chi_e + \Psi_s$.

2.3 界面氧化层两边和破裂部分的界面态复合电流

在界面氧化层两边和其破裂部分硅的禁带中存在界面态. 如果假设电子和空穴准费米级之间的界面态是最有效的复合中心^[17], 复合电流可以统一求解为:

$$J_p = q C_2 n_{ie}^2 (-W_e) \exp(V/V_T) \quad (8)$$

式中, V 为准费米能级的分开量, 定义 C_2 为特征符号^[16]:

$$C_2 = \frac{1}{N_E (-W_e)} \sigma_p N_t \left(\frac{3kt}{m_p}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{\Psi_s}{V_T}\right) \quad (9)$$

σ_p 为俘获界面, N_t 为界面态密度. 假设界面氧化层左右两边的界面态和其破裂部分的界面态上复合电流密度分别为 J_{pL} 、 J_{pR} 和 J_{pbr} , 而对应于 C_2 和 N_t 的物理参数分别为 C_{2L} 、 C_{2R} 、 C_{2be} 和 N_{tL} 、 N_{tR} 、 N_{tbr} , 那么根据式(8)和(9), 可得到相关各电流分量, 其中在 C_{2br} 中没有包括势垒 Ψ_s .

2.4 多晶发射区中的少子注入电流

界面氧化层完整和破裂时注入空穴电流 J_{poly} 和 J_{poly1} 可写为:

$$J_{poly} = q C_{11} n_{ie}^2 (-W_e) A_x \quad (10)$$

$$J_{poly1} = q C_{11} n_{ie}^2 (-W_e) B_x \quad (11)$$

式中, 定义 C_{11} 和 C_{12} 为特征符号^[16]:

$$C_{11} = N_D^{-1} \frac{D_{poly}}{L_{poly}} \text{cth}\left(\frac{W_{poly}}{L_{poly}}\right) \quad (12)$$

$$C_{12} = N_D^{-1} \frac{D_{poly1}}{L_{poly1}} \text{cth}\left(\frac{W_{poly} + \delta}{L_{poly1}}\right) \approx C_{11} \quad (13)$$

其中, $N_D = N_E (-W_e)$, W_{poly} 为多晶硅厚度, D_{poly} 和 D_{poly1} 分别为界面氧化层完整和破裂时的少子空穴有效扩散系数, L_{poly} 和 L_{poly1} 则分别为其对应的有效扩散长度.

2.5 集电极电流

如果忽略电子在基区中的复合, 对于任意的基区杂质分布 $N_A(x)$, 可得到集电极电流 J_c 为:

$$J_c = q \cdot C_c(0) \cdot n_{ib}^2(0) \cdot C_x \quad (14)$$

式中, 定义 $C_c(x)$ 为特征符号^[16]:

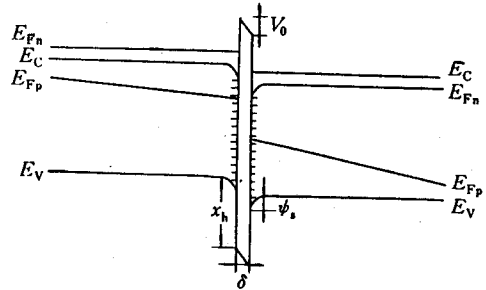


图2 界面氧化层完整时对多晶/单晶硅界面附近的能带结构
其中 E_C 为导带底, E_V 为价带顶, E_{Fn} 和 E_{Fp} 分别为电子和空穴的准费米能级, χ_n 为对多子电子的有效势垒高度

$$C_c(x) = \left[\int_x^{w_b} \frac{N_A(x)}{D_{nb}(x)} dx \right]^{-1} \quad (15)$$

其中, w_b 为基区宽度, D_{nb} 为电子在基区中的扩散系数; $n_{ie}(x)$ 为基区的有效本征载流子浓度.

2.6 界面氧化层左右两边的电流连续性条件方程

对于小注入, 界面氧化层左右两边的电流连续性条件方程可表示为:

$$J_{pt} = J_{pL} + J_{poly} \quad (16)$$

$$J_{ps} = (1 - b_1)J_{pR} + (1 - b_1)J_{pt} + b_1J_{pbr} + b_1J_{poly1} \quad (17)$$

其中, b_1 ($0 \leq b_1 \leq 1$) 为被裂的界面氧化层面积与总的多晶硅接触面积之比. 当 $b_1 = 0$ 时, 界面氧化层保持完整; 当 $b_1 = 1$ 时, 界面氧化层完全破裂. 假设 $\eta_1 = \frac{n_{ir}^2(0)}{n_{ie}^2(-W_e)}$, 求解方程(16)和(17)可得:

$$B_x = \frac{\eta_1}{1 + R} C_x \quad (18)$$

$$R = (1 - b_1) \frac{C_{2R}}{C} + b_1 \frac{C_{2br}}{C} + b_1 \frac{C_{12}}{C} + (1 - b_1) \frac{C_3}{C} \frac{C_{2L} + C_{11}}{C_3 + C_{2L} + C_{11}} \quad (19)$$

式中, $C = C(-W_e)$; 定义 R 为电流增益倒数增强因子.

2.7 基极电流和电流增益

基极电流可写为:

$$J_b = J_{ps} = qn_{ie}^2(0)CC_x\beta_{nor}^{-1} \quad (20)$$

根据电流增益 $H_{te} = J_c/J_b$ 可以得到:

$$H_{te} = G\beta_{nor} \quad (21)$$

$$G = \frac{C_c}{\eta_2 C} \quad (22)$$

$$\beta_{nor} = 1 + \frac{1}{R} \quad (23)$$

式中, G 为 MET 的电流增益; 定义 β_{nor} 为归一化电流增益; $\eta_2 = \frac{n_{ie}^2(0)}{n_{ib}^2(0)}$; $C_c = C_c(0)$; $C = C(-W_e)$.

2.8 载流子传输机理的特征符号表示系统

PET 的物理参数可以分为两大类, 表 1 示出了这个载流子传输机理的特征符号系统. 例如, 由式(22)和式(23)可知, PET 的电流增益是 MET 和 β_{nor} 倍, 电流增益的增强作用由倒数增强因子 R 来实现. 当界面态密度很高时, $R \rightarrow \infty$ 且 $H_{te} \rightarrow G$, PET 将失去电流增益的增强作用. 由此可见, 多晶发射区接触产生较低的界面态是实现电流增益增强的必要条件. 由式(20)和式(23)可以看出, 基极电流的大小也主要取决于 R . 通过表 1 中的特征符号清楚地表明了各处空穴传输机理对 R 的贡献大小.

表 1 载流子传输机理的特征符号表示系统

特征符号	传输机理	相关物理参数	参数分类
C_{2L}	空穴在界面氧化层左边的复合	N_{tL}, Ψ_s	界面物理参数
C_{2R}	空穴在界面氧化层右边的复合	N_{tR}, Ψ_s	
C_{2br}	空穴在氧化层破裂部分于多晶/单晶硅界面的复合	N_{tbr}	
C_3	空穴以热发射方式跃过势垒 Ψ_s 并隧穿界面氧化层	δ, Ψ_s	
C_{33}	电子热发射并隧穿势垒 Ψ_s 和界面氧化层	δ, Ψ_s	
C_{11}	空穴向氧化层完整部分对应的多晶硅中注入	W_{poly}	纵向结构参数
C_{12}	空穴向氧化层破裂部分对应的多晶硅中注入	W_{poly}	
$C(x)$	空穴在单晶硅中传输	W_e	
$C_c(x)$	空穴在基区中传输	W_b	

3 结果与讨论

本节从理论上研究了电流增益与两类物理参数之间的关系, 并与部分实验结果进行了比较.

3.1 计算中物理参数的选取

载流子迁移率和寿命及禁带变窄都是掺杂浓度的函数^[18]. 设多晶硅中少子空穴的有效迁移率和寿命分别为对应单晶硅的 R_{UM} 和 R_{UN} 倍. 界面氧化层有效势垒高度 χ_b 作为其厚度的函数可由文献^[19]得到. 表 2 示出了全文理论计算中所用到的部分常数^[16]. 其中, N_D 和 N_A 分别为发射区和基区的掺杂浓度.

表 2 理论计算中所用到的常数

常数	R_{UM}	R_{UN}	$W_e(\mu\text{m})$	$W_b(\mu\text{m})$	$N_D(\text{cm}^{-3})$	$N_A(\text{cm}^{-3})$
数值	0.05[2]	0.5	0.05	0.1	1×10^{20}	2×10^{18}

3.2 电流增益与界面氧化层厚度的关系

在界面氧化层完整的情况下, 选取 $W_{poly} = 0.4 \mu\text{m}$, 根据简化式:

$$R = \frac{C_{2R}}{C} + \frac{C_3}{C} \frac{C_{2L} + C_{11}}{C_3 + C_{2L} + C_{11}} \quad (24)$$

可以得到归一化电流增益 β_{nor} 与界面氧化层厚度 δ 的关系如图 3 所示. β_{nor} 随 δ 的变化大体可分为三种情况: 第一, δ 较大 (例如 $\delta \geq 1.6 \text{nm}$); 第二, δ 较小 (例如 $\delta \leq 1 \text{nm}$); 第三, δ 取中间值 (例如 $1 \text{nm} \leq \delta \leq 1.6 \text{nm}$). 对于第一种情况, 当 δ 增加时, β_{nor} 的增大趋于平缓; β_{nor} 随 Ψ_s 的增加而增大, 随 N_t 的增加而减小. 在这种情况下, $C_3 \ll C_{2L} + C_{11}$, 式(24)可简化为:

$$R = \frac{C_{2R}}{C} + \frac{C_3}{C} \quad (25)$$

根据特征符号系统, 这时的电流增益主要取决于少子界面氧化层右边的复合以及少子以热

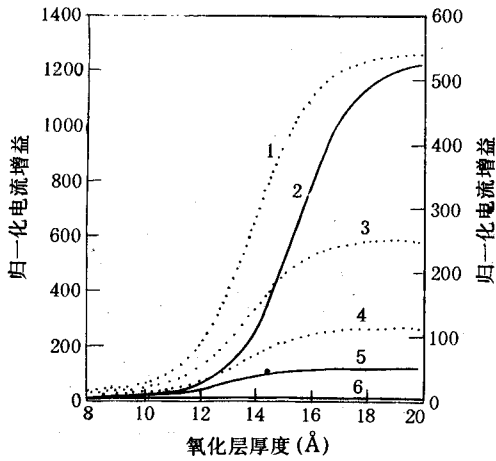


图3 归一化电流增益与界面氧化层厚度的函数关系
其中 N_t 为界面氧化层左右两边相等的界面态密度

发射的方式跃过势垒 Ψ_s 并隧穿界面氧化层. 这与 Suzuki 的结果相同^[13]. N_t 的增加增大了少子在界面氧化层右边的复合使 β_{nor} 减小; Ψ_s 的增加减小了少子在界面氧化层右边的复合以及少子以热发射的方式跃过势垒 Ψ_s 并隧穿界面氧化层的几率, 从而使 β_{nor} 增大. 当 N_t 较大时 (例如 $N_t \geq 1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$), β_{nor} 随 δ 增加基本保持不变, 这是由于 $C_3 \ll C_{2R}$, 式(25)可简化为 $R = C_{2R}/C$ 的缘故. 对于第二种情况, 当 δ 增加时, β_{nor} 基本保持不变; 在 N_t 不是很大的情况下 (例如 $N_t \leq 10^{13} \text{cm}^{-2}$), $C_3 \gg C_{2L} + C_{11}$, 倒数增强因子 R 可以简化为

$$R = \frac{C_{2R} + C_{2L}}{C} + \frac{C_{11}}{C} \quad (26)$$

根据特征符号系统可知, 这时的电流增益主要取决于少子在界面氧化层左右两边的复合以及少子向多晶硅中的注入, β_{nor} 随 δ 的增加基本保持不变. 这有别于 Suzuki 忽略了少子在界面氧化层左边界面态上复合的结果^[13]. 在图中 N_t 和 Ψ_s 的取值范围内, 式(26)可以简化为 $R = C_{11}/C$, 即这时的电流增益主要取决于少子向多晶硅中的注入, 所以 β_{nor} 对 N_t 和 Ψ_s 的变化不敏感. 对于第三种情况, 传输机理由第一种情况向第二种情况转化. 对于 RCA 器件 ($\delta = 1.4 \text{nm}$), 由计算可知传输机理仍可用式(25)表示, 这时它正处于向式(26)表示的少子传输机理的转化之中. 当 δ 增加时, β_{nor} 迅速增大并且在 N_t 越小或 Ψ_s 越大的情况下其增加幅度越大. 因此要获得大电流增益, 一般应尽力在保持较大 δ 的情况下减小 N_t 增大 Ψ_s .

3.3 电流增益与界面氧化层破裂比率的关系

对于 RCA 器件 ($\delta = 1.4 \text{nm}$) 和 HF 器件 ($\delta = 0.8 \text{nm}$), 选取 $W_{poly} = 0.4 \mu\text{m}$ 可以计算得出归一化电流增益 β_{nor} 与界面氧化层破裂比率 b_1 的关系如图 4 所示. 对于 HF 器件, 在 N_t 不是很大的情况下 (例如 $N_t \leq 1 \times 10^{13}$), 无论界面氧化层破裂情况如何, β_{nor} 都主要取决于少子空穴在界面态上的复合及少子空穴向多晶硅中的注入, β_{nor} 随 b_1 的增加基本保持不变; 对于 RCA 器件, b_1 的增大减弱了势垒 Ψ_s 和界面氧化层对少子空穴的阻碍作用, 使 β_{nor} 逐渐取决于少子空穴向多晶硅中的注入. 由于势垒 Ψ_s 和界面氧化层对少子空穴的阻碍作用强于多晶硅的空穴低迁移率效应, 所以 RCA 器件的 β_{nor} 将随着 b_1 增大而减小.

3.4 电流增益与多晶硅厚度的关系

计算出的 HF 器件归一化电流增益 β_{nor} 与多晶硅厚度 W_{poly} 的关系如图 5 所示. β_{nor} 随 N_t 的增加而减少. 当 W_{poly} 增加时, β_{nor} 在 W_{poly} 开始增加阶段迅速增大然后趋于饱和. N_t 越小, W_{poly} 对 β_{nor} 的影响范围就越大. 同理对于 RCA 器件可得: β_{nor} 随 W_{poly} 的增加基本保持不变. 这个结果很容易用上述理论得到解释. 因此要获得电流增益较大的 HF 器件, 一般应保持大于少子扩散长度的多晶硅厚度.

3.5 解析理论与实验结果的比较

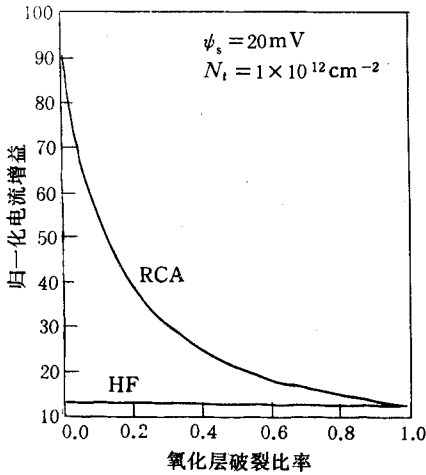


图4 HF器件和RCA器件的归一化电流增益与界面氧化层破裂比率之间的关系
其中相等的界面态密度 $N_t = 1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$

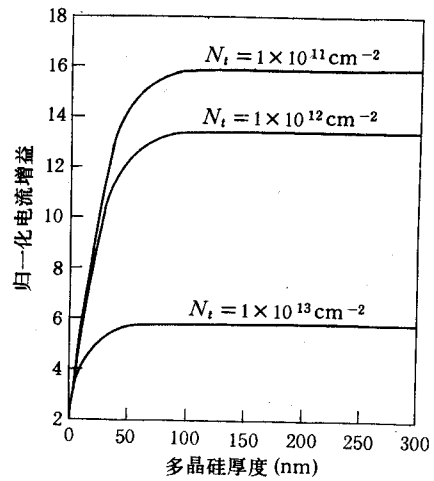


图5 HF器件的归一化电流增益与多晶硅厚度之间的函数关系
其中 N_t 为界面氧化层左右两边相等的界面态密度

样品为一界面氧化层几乎完全破裂的HF器件,其具体的工艺参数详见文献[16].考虑发射极和基极的串联电阻,计算得到的Gummel图如图6所示, I_c 和 I_b 分别为集电极电流和基极电流, V_{BE} 为发射极和基极间的电压降.在界面氧化层完全破裂的情况下, R 可以简单地表示为

$$R = \frac{C_{2br}}{C} + \frac{C_{12}}{C} \quad (27)$$

由特征符号表示系统可知,电流增益主要取决于少数空穴在多晶/单晶硅界面的复合以及少数向多晶硅中的注入.当 $N_{ibr} = 8 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 时,理论计算的基极电流与实验结果相符.在非线性区中,集电极电流理论计算值偏离实验结果,这主要是没有考虑除串联电阻以外的其它大电流效应造成的,例如电导调制效应和基区扩展效应.

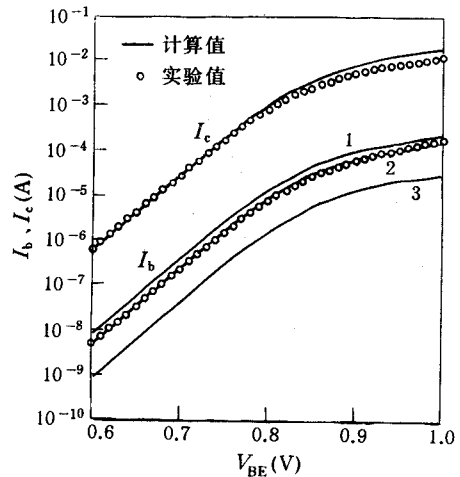


图6 理论计算的Gummel图与实验结果的比较

4 结论

PET的电流增益与两大类物理参数密切相关,对于RCA器件、HF器件和界面氧化层大面积破裂器件可得到如下的结论:

- (1) RCT器件的电流增益主要取决于少数空穴在界面氧化层右边的复合和少数以热

发射的方式跃过热垒 Ψ 。并隧穿界面氧化层。减小界面态密度和增大 Ψ 。可以提高电流增益。界面氧化层破裂将使电流增益减小。

(2) 在界面态密度不是很高的情况下(例如 $N_t \leq 1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$), HF 器件的电流增益主要取决于少子空穴在界面氧化层左右两边的复合和少子向多晶硅中的注入。一般减小界面态密度并保持大于少子扩散长度的多晶硅厚度可获得较大的电流增益。

(3) 界面氧化层大面积破裂器件采用界面氧化层完全破裂时的理论来描述。其电流增益主要取决于少子空穴在多晶/单晶硅界面的复合和少子向多晶硅中的注入。一般在工艺上努力减小界面态密度并保持多晶硅具有大于少子扩散长度的厚度, 便可以获得较大电流增益的双极器件。

致谢 作者对北京大学微电子所工艺实验室的全体同志在制备样品方面所给予的支持表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- [1] M. Takagi, K. Nakayama, C. Tevada and H. Kamioko, J. Jpn. Soc. Appl. Phys. , (Suppl.), 1973, **42**:101.
- [2] T. H. Ning and R. D. Issac, IEEE Trans. Electron Devices, 1980, **27**:2051.
- [3] J. G. Fossam and M. A. Shibib, IEDM Tech. Dig. , 1980, 280.
- [4] 马平西, 张利春, 王阳元, 电子学报, 1993, **21**:18.
- [5] H. C. Degraff and J. G. Degroot, IEEE Trans. Electron Devices, 1979, **26**:1771.
- [6] H. Schabar, B. Benna, L. Treitinger and A. W. Wieder, IEDM, Tech. Dig. , 1984, 738.
- [7] P. V. Halen and D. L. Pulfrey, IEEE Trans. Electron Devices, 1985, **32**:1307.
- [8] N. G. Tarr, D. L. Pulfrey and D. S. Cammporese, IEEE Trans. Electron Devices, 1983, **30**:1760.
- [9] A. A. Eltoukhy and D. J. Roulston, IEEE Trans. Electron Devices, 1982, **29**:1826.
- [10] Z. Yu. , B. Ricco and R. W. Dutton, IEEE Trans. Electron Devices, 1984, **31**:773.
- [11] 魏希文, 李建军, 马平西, 邹赫麟, 王阳元, 张利春, 吉利久, 半导体学报, 1992, **13**:528.
- [12] C. C. Ng and E. S. Yang, IEDM Tech. Dig. , 1986, 32.
- [13] K. Suzuki, IEEE Trans. Electron Devices, 1991, **38**:1868.
- [14] G. L. Patton, J. C. Bravman and J. D. Plummer, IEEE Trans. Electron Devices, 1986, **33**:1754.
- [15] J. C. Bravman, G. L. Patton J. D. Plummer, J. Appl. Phys. , 1985, **57**:2779.
- [16] 马平西, 北京大学博士研究生学位论文, 1993, 36.
- [17] H. C. Card and E. S. Yang, IEEE Trans. Electron Devices, 1977, **24**:397.
- [18] L. A. Verhoef and W. C. Sinke, IEEE Trans. Electron Devices, 1990, **37**:210.
- [19] P. Ashburn and B. Soerowirdjo, IEEE Trans. Electron Devices, 1984, **31**:853.

Analytical Model of Polysilicon Emitter Transistor

Ma Pingxi, Zhang Lichun, Zhao Baoying and Wang Yangyuan

(Institute of Microelectronics, Peking University, Beijing 100871)

Received 5 February 1994, revised manuscript received 10 May 1994

Abstract Based on more effects than the previous papers did, a new analytical model of polysilicon emitter transistor (PET) is proposed. A symbolical system of carrier transport mechanisms is designed by classifying the physical parameters into interfacial physical parameters and vertical structural parameters. The analytical expressions of PET's important property parameters are given. Using this model, the relations between current gain and the two classificatory physical parameters are studied. Some theoretical results are compared with the corresponding experimental results. The conclusions about current gain of RCA devices, HF devices and the devices with large area breaking oxide are presented.

EEACC: 2560B, 2560J, 2530N