

# 表面注入 P-top 区 double RESURF 功率器件表面电场模型

李 琦 李肇基 张 波

(电子科技大学 IC 设计中心, 成都 610054)

(2007 年 3 月 14 日收到 2007 年 4 月 12 日收到修改稿)

提出表面注入 P-top 区 double RESURF 功率器件表面电场和击穿电压解析模型. 基于分区求解二维 Poisson 方程, 获得 double RESURF 表面电场的解析式. 借助此模型, 研究了器件结构参数对表面电场和电势的影响; 计算了漂移区长度和厚度与击穿电压的关系, 给出了获得最大击穿电压和最小导通电阻的途径. 数值结果, 解析结果和试验结果符合较好.

关键词: 表面注入, double RESURF, 表面电场, 击穿电压

PACC: 7340Q, 0420J

## 1. 引 言

近年来, RESURF(降低表面电场)技术广泛的应用于功率半导体器件. single RESURF(即均匀漂移区)技术中, 要获得高击穿电压, 漂移区浓度必须足够低以使外延层全部耗尽, 否则靠近源端的 p-n 结电场将过早达到临界值使击穿电压降低<sup>[1, 2]</sup>. double RESURF 是一种新的高压低阻功率器件设计技术, 其在 single RESURF 结构的漂移区中部表面引入导电类型相反的掺杂区, 改善表面电场分布, 提高击穿电压, 同时提高最优漂移区掺杂浓度, 降低导通电阻. 当前人们对 double RESURF 技术从数值仿真和试验研制进行了大量研究<sup>[3-6]</sup>, 结果表明: double RESURF 技术可以在提高漂移区掺杂浓度近两倍时仍能保持较高的击穿电压, 改善了击穿电压和导通电阻的折衷关系. 但是关于硅基 double RESURF 理论模型的研究进展缓慢, 大多数模型都是关于 single RESURF<sup>[7-10]</sup>, 方健等建立了电荷非平衡 super junction 的二维电场分布<sup>[11]</sup>, 由于 RESURF 结构纵向和横向电场存在强烈的耦合作用, 采用简单的一维分析很难准确地揭示 RESURF 效应的物理机理, 尤其对于硅基器件而言, 衬底耗尽层与漂移区直接相连, 建立其二维模型显得尤为必要.

本文通过分区求解表面注入 P-top 区 double RESURF 功率器件的二维 Poisson 方程, 建立了其表

面电场和击穿电压模型. 基于此模型, 分析结构参数对表面电场的影响, 研究其耐压机理, 计算结构参数与击穿电压的关系, 给出了获得最大击穿电压和最小导通电阻的途径, 数值结果, 解析结果和试验结果符合较好.

## 2. 结构和模型

图 1 是 double RESURF LDMOS 结构图.  $n^-$  型漂移区浓度和厚度为  $N_c$  和  $t_e$ , 漂移区长度为  $n^+$  漏极与  $p^+$  阱之间的距离  $L_d = L_4 - L_0$ , 下面的讨论中: 掺杂浓度正值表示 n 型掺杂, 负值表示 p 型掺杂.  $t_g$  为栅氧层厚度, 场板长度为  $L_g = L_1 - L_0$ . 沿 P-top 区边界把漂移区分为 5 个区, 其边界分别为  $x = L_0, L_1, L_2, L_3, L_4$  和  $y = 0, t_{top}, t_e$ . 衬底掺杂浓度

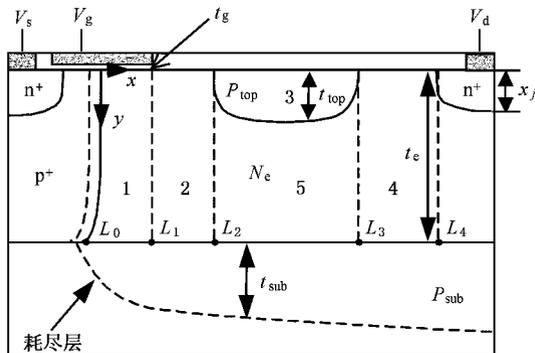


图 1 double RESURF LDMOS 结构

为  $P_{\text{sub}}$ , 耗尽层深度为  $t_{\text{sub}}$ , 体硅和二氧化硅的相对介电常数分别为  $\epsilon_{\text{si}}$  和  $\epsilon_{\text{ox}}$ . 栅压为  $V_g$ , 衬底和源极分别接地, 漏极加正电压  $V_d$ .  $x_j$  为漏极结深.

表面注入 P-top 区掺杂浓度采取高斯分布:

$$P_{\text{top}}^{\text{eff}} = N_e + \frac{\int_0^{t_{\text{top}}} P_{\text{top}}(x, y) dy}{t_{\text{top}}} = \begin{cases} N_e + \sqrt{\pi} N_p \text{erf}\left(\sqrt{\ln(|N_p|/N_e)}\right) (2\sqrt{\ln(|N_p|/N_e)}), & |N_p| > N_e, \\ N_e, & N_p = 0. \end{cases}$$

在器件反偏且完全耗尽时, 漂移区各区电势

$\varphi_i(x, y)$  满足二维 Poisson 方程

$$\frac{\partial^2 \varphi_i(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_i(x, y)}{\partial y^2} = -\frac{qN_i}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5. \quad (1)$$

将电势  $\varphi_i(x, y)$  沿  $y$  方向进行 Taylor 展开, 可得

$$\varphi_i(x, y) = \varphi_i(x, 0) + \frac{\partial \varphi_i(x, 0)}{\partial y} y + \frac{\partial^2 \varphi_i(x, 0)}{2\partial y^2} y^2, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (2)$$

$$\varphi_5(x, y) = \varphi_5(x, t_{\text{top}}) + \frac{\partial \varphi_5(x, t_{\text{top}})}{\partial y} (y - t_{\text{top}}) + \frac{\partial^2 \varphi_5(x, t_{\text{top}})}{2\partial y^2} (y - t_{\text{top}})^2. \quad (3)$$

边界条件为

$$\left. \frac{\partial \varphi_1(x, y)}{\partial y} \right|_{y=0} = \frac{\epsilon_{\text{ox}}(\varphi_1(x, 0) - V_g)}{\epsilon_{\text{si}} t_g}, \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_i(x, y)}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad i = 2, 3, 4, \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_i(x, y)}{\partial y} \right|_{y=t_e} = -\frac{2\varphi_i(x, t_e)}{t_{\text{sub}}}, \quad i = 1, 2, 4, 5, \quad (6)$$

$$\varphi_1(L_1, 0) = \varphi_2(L_1, 0),$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_1(L_1, y)}{\partial x} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial \varphi_2(L_1, y)}{\partial x} \right|_{y=0}, \quad (7)$$

$$\varphi_2(L_2, 0) = \varphi_3(L_2, 0),$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_2(L_2, y)}{\partial x} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial \varphi_3(L_2, y)}{\partial x} \right|_{y=0}, \quad (8)$$

$$\varphi_3(L_3, 0) = \varphi_4(L_3, 0),$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_3(L_3, y)}{\partial x} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial \varphi_4(L_3, y)}{\partial x} \right|_{y=0}, \quad (9)$$

$$\varphi_5(x, t_{\text{top}}) = \varphi_5(x, t_{\text{top}}),$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_5(x, y)}{\partial y} \right|_{y=t_{\text{top}}} = \left. \frac{\partial \varphi_5(x, y)}{\partial y} \right|_{y=t_{\text{top}}}, \quad (10)$$

$P_{\text{top}}(x, y) = N_p \exp[-(\sqrt{\ln(|N_p|/N_e)}y/t_{\text{top}})],$  其中:  $N_p$  是表面峰值浓度,  $t_{\text{top}}$  是 P-top 区结深. 采取近似: 用平均浓度  $P_{\text{top}}^{\text{eff}}$  对 P-top 区浓度高斯分布进行等效:

$$\varphi_1(L_0, 0) = 0, \quad \varphi_4(L_4, 0) = V_d, \quad (11)$$

其中  $N_1 = N_2 = N_4 = N_5 = N_e$ ,  $N_3 = P_{\text{top}}^{\text{eff}}$  (4) 式基于栅氧化层和漂移区硅层界面上电位移的连续性, 假定栅氧层  $y$  方向电场为均匀分布. (5) 式考虑表面纵向电场远小于横向电场<sup>[12]</sup>, (6) 式基于漂移区和衬底界面处的纵向电场和耗尽层厚度的关系, (7)–(10) 式分别表示 1–2, 2–3, 3–4 和 3–5 区界面上电场和电势的连续性. (11) 式为外加电压. 在边界条件 (4)–(6) 和 (10) 下, 把 (2) 和 (3) 式代入方程 (1) 中, 可得

$$\frac{\partial^2 \varphi_i(x, 0)}{\partial x^2} + \frac{\varphi_i(x, 0)}{t_i^2} = -\frac{qN_i^{\text{eff}}}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (12)$$

其中  $N_1^{\text{eff}} = N_e + \frac{\epsilon_0 \epsilon_{\text{ox}}(1 + 2t_e/t_{\text{sub}})V_g}{qt_g(t_e + t_e^2/t_{\text{sub}})}$ ,  $N_2^{\text{eff}} = N_4^{\text{eff}} = N_e$ ,  $N_3^{\text{eff}} = P_{\text{top}}^{\text{eff}} + \frac{-P_{\text{top}}^{\text{eff}} + N_e}{t_e^2 + t_e t_{\text{sub}}}((t_e - t_{\text{top}})^2 + t_{\text{sub}}(t_e - t_{\text{top}}))$ ,  $t_1 = \sqrt{\frac{t_e + t_e^2/t_{\text{sub}}}{2/t_{\text{sub}} + \epsilon_{\text{ox}}(1 + 2t_e/t_{\text{sub}})(\epsilon_{\text{si}} t_g)}}$  和  $t_2 = t_3 = t_4 = \sqrt{\frac{t_e^2 + t_e t_{\text{sub}}}{2}}$ .

采取一级近似  $t_{\text{sub}}$ :

$$t_{\text{sub}} = \sqrt{\left(1 + \frac{N_4^{\text{eff}}}{|P_{\text{sub}}^{\text{eff}}|}\right) t_e^2 + \frac{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}} V_d}{q|P_{\text{sub}}^{\text{eff}}|} - t_e}.$$

在边界条件 (11) 求解方程 (12) 得到第  $i$  区的表面电势  $\varphi_i(x, 0)$  和电场  $E_i(x, 0)$  分布

$$\varphi_i(x, 0) = \frac{qN_i^{\text{eff}} t_i^2}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}} + \left( V_i - \frac{qN_i^{\text{eff}} t_i^2}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}} \right) \frac{\text{sinh}((x - L_{i-1})/t_i)}{\text{sinh}((L_i - L_{i-1})/t_i)} + \left( V_{i-1} - \frac{qN_{i-1}^{\text{eff}} t_{i-1}^2}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}} \right) \frac{\text{sinh}((L_i - x)/t_i)}{\text{sinh}((L_i - L_{i-1})/t_i)}, \quad (L_{i-1} \leq x < L_i), \quad (13)$$

$$E_i(x, 0) = \left( V_i - \frac{qN_i^{\text{eff}} t_i^2}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}} \right) \frac{\cosh((x - L_{i-1})/t_i)}{t_i \text{sinh}((L_i - L_{i-1})/t_i)} - \left( V_{i-1} - \frac{qN_{i-1}^{\text{eff}} t_{i-1}^2}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}} \right) \frac{\sinh((L_i - x)/t_i)}{t_i \text{sinh}((L_i - L_{i-1})/t_i)}$$

$$- \left( V_{i-1} - \frac{qN_i^{\text{eff}} t_i^2}{\epsilon_0 \epsilon_{\text{si}}} \right) \frac{\cosh((L_i - x)t_i)}{t_i \sinh((L_i - L_{i-1})t_i)}, \quad (L_{i-1} \leq x \leq L_i), \quad (14)$$

其中  $i = 1, 2, 3, 4$ .  $V_i$  是边界  $L_i$  处的表面电势, 可以把 (13) 和 (14) 式代入边界条件 (7)–(9) 和 (11) 式中获得. 当  $P_{\text{top}}^{\text{eff}} = N_e$ , 即为 single RESURF 结构.

### 3. 结果与讨论

为了验证耐压的解析模型, 使用半导体仿真软件 MEDICI 对相同结构进行数值仿真. 在后面的讨论中符号点为 MEDICI 的数值结果, 实线为从解析模型得到的解析结果.

器件发生击穿时通常在表面. 电场沿漂移区长度方向积分即为横向耐压, 当发生击穿时, 相应的漏电压为横向击穿电压. 下面主要通过讨论结构参数变化对表面电场的影响, 获得改善器件性能的方法、途径.

图 2 为 single RESURF 和 double RESURF 表面电场和电势沿漂移区分布的解析和数值结果, 可以看到二者符合较好. 在各区的分界处有一定的偏差, 这是因为在模型的求解中忽略的结曲率半径, 场板的边缘效应以及 P-top 区采用有效浓度近似等因素的影响, 但是对耐压的讨论影响很小. single RESURF 的三个电场峰值分别出现在  $p^+n$  结, 场板

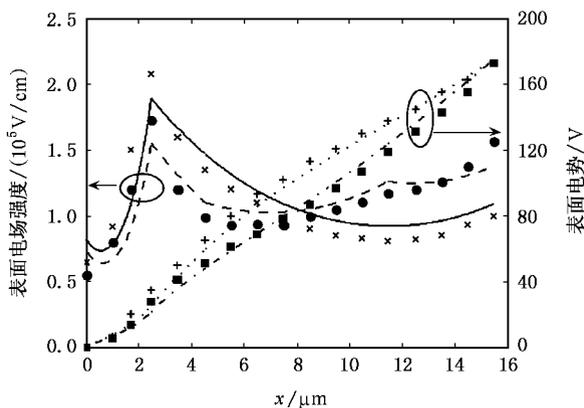


图 2 single RESURF 和 double RESURF LDMOS 表面电场和电势沿漂移区分布 (single RESURF:  $N_p = 0$ , double RESURF:  $N_p = -4.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $t_{\text{top}} = 1 \mu\text{m}$ ,  $t_e = 6 \mu\text{m}$ ,  $t_g = 0.1 \mu\text{m}$ ,  $N_e = 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $P_{\text{sub}} = -1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $V_g = 0 \text{ V}$ ,  $V_d = 175 \text{ V}$ )

末端和  $n^+n$  结. 由于 P-top 区的引入, double RESURF 在漂移区中部出现一个新的电场峰值, 使  $x = L_0, L_1$  的电场峰值下降, 漂移区中部和末端电

场上升, 整个漂移区的电场分布较为平坦、均匀. single RESURF 场板末端电场远大于 double RESURF, 且沿漂移区长度急剧下降, 在漂移区中心部分达到极小值, 很明显, 整个漂移区的电场分布是严重不均匀的. 器件的击穿电压因边界的高峰值电场而受到限制. 对于非优化的单漂移区结构, 因电场分布的非对称性加剧, 击穿电压还会大大下降. P-top 层的作用降低了  $p^+n$  结电场, 增大  $n^+n$  结电场, 从而降低了高漂移区浓度时  $p^+n$  结的高电场, 同时在漂移区中部引入新电场峰值, 改善表面电场分布, 有利于在实现高耐压的同时降低导通电阻. single RESURF 漂移区表面电势在漂移区始端上升较快, 末端上升较缓, 同时说明了表面电场分布的不均匀性. 作为对比, double RESURF 的表面电势分布近似为一条直线, 说明电场分布平缓, 接近理想的电场分布, 从而可获得很高的击穿电压.

图 3(a) 为不同 P-top 区结深, 表面电场分布. 随着 P-top 区结深的增加, 漂移区中总的 n 型电荷减少, 使场板末端电场减小, 漂移区中部和末端电场增大. 在  $x = L_2$  和  $L_3$  之间存在一个很小的电场变化, 这是因为表面电场在场板末端和漂移区末端相反的变化, 在该处正好相消, 所以该处的电场几乎不变. 图 3(b) 中, 随着漂移区厚度的增加, 漂移区总的 n 型电荷增加, 使场板末端电场增大, 漂移区末端电场减小, 这与 single RESURF 结构的变化规律相似<sup>[8]</sup>. 因为掺杂类型不同, P-top 区和漂移区电荷对表面电场分布的影响正好相反. 随着 P-top 区注入结深(掺杂浓度)的增加, 或漂移区厚度(掺杂浓度)的降低,  $x = L_0, L_1$  处的电场降低, 而  $x = L_3, L_4$  处的电场增大; 当 P-top 区注入结深增加(或漂移区厚度降低)到临界值时, 场板末端和漂移区末端的电场相等, P-top 区注入结深再增加, 表面最高的峰值电场从  $x = L_1$  转移到  $x = L_4$ , 击穿点也从  $x = L_1$  转移到  $x = L_4$ . 在器件设计中, 为了降低场板末端的电场, 可以增加 P-top 区 p 型电荷, 通过增加结深或掺杂浓度, 但需满足 P-top 区完全耗尽, 使器件充分耐压; 减小漂移区厚度也可以降低场板末端电场, 但漂移区厚度决定着器件的最高耐压, 同时漂移区厚度越低, 导通电阻也越大. 在器件的优化中, P-top 区和漂移区参数需要折衷考虑, 以满足设计者的要求.

图 4 为不同的场板长度  $L_g$ , 表面电场分布. 场板作为一种结终端技术, 通过结构的改变, 引入附

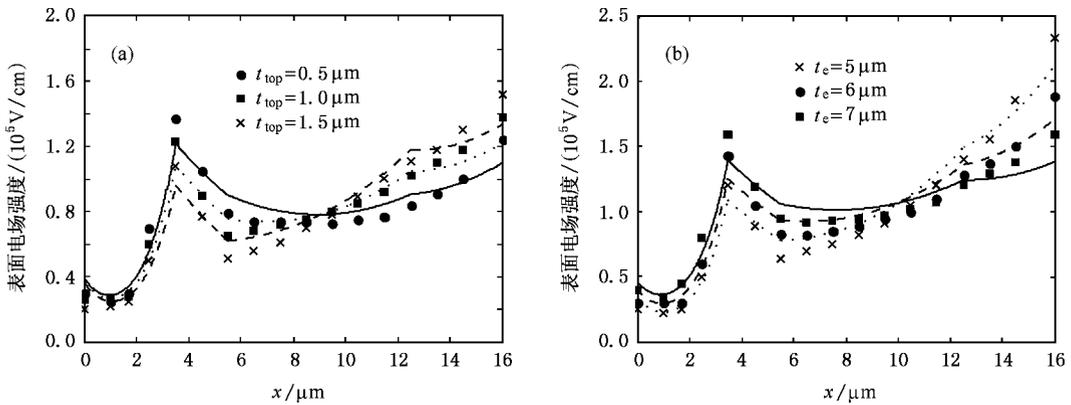


图3 double RESURF LDMOS 表面电场沿漂移区分布 (a)不同  $t_{top}$  ( $t_g = 0.1 \mu\text{m}$ ,  $N_c = 1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $t_e = 6 \mu\text{m}$ ,  $V_g = 0 \text{V}$ ,  $V_d = 165 \text{V}$ ,  $N_p = -3.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $P_{sub} = -1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ), (b)不同  $t_e$  ( $t_g = 0.1 \mu\text{m}$ ,  $N_c = 1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $P_{sub} = -1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $V_g = 0 \text{V}$ ,  $V_d = 165 \text{V}$ ,  $N_p = -3.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $t_{top} = 1 \mu\text{m}$ )

加电场,改变体内电场的分布,达到优化器件性能的作用.场板具有抑制场板下电场的的作用,但是增大其他位置的电场.随着  $L_g$  的增加, double RESURF 在  $x = L_1, L_3, L_4$  的电场峰值增大,  $x = L_0$  的电场峰值降低.由于场板大大抑制了  $p^+n$  结处的电场,这在漂移区高掺杂浓度是非常有利的,但同时加强了漂移区末端的电场.为使漂移区电场尽可能的平缓,均匀,应该采用较短的场板,充分提高漂移区耐压的效率.

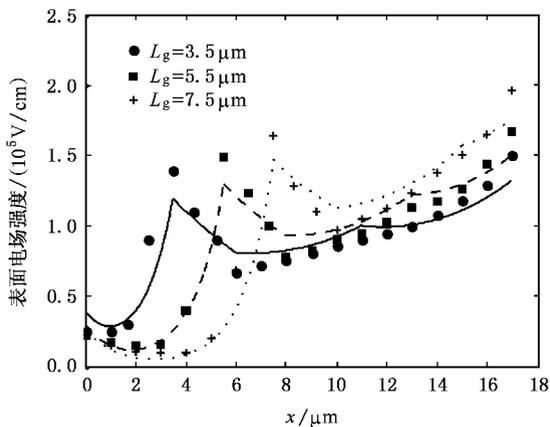


图4 不同  $L_g$ , double RESURF LDMOS 表面电场分布( $t_g = 0.1 \mu\text{m}$ ,  $N_c = 1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $t_{top} = 1 \mu\text{m}$ ,  $t_e = 6 \mu\text{m}$ ,  $V_g = 0 \text{V}$ ,  $V_d = 150 \text{V}$ ,  $N_p = -3.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $P_{sub} = -1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ )

度的增加,  $x = L_0, L_1$  的电场峰值降低,  $x = L_3, L_4$  的电场峰值增加.随着衬底浓度的增加,衬底 p 型电荷增加,漂移区中用来和衬底发生作用的 n 型电荷增加,等效于和横向发生作用的 n 型漂移区浓度降低,所以场板附近的电场增加,漂移区中部和末端的电场降低.

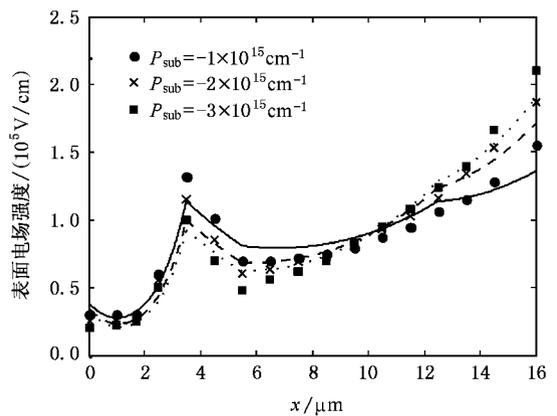


图5 不同衬底浓度, double RESURF LDMOS 表面电场分布( $t_g = 0.1 \mu\text{m}$ ,  $N_c = 1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $t_e = 6 \mu\text{m}$ ,  $V_g = 0 \text{V}$ ,  $V_d = 165 \text{V}$ ,  $N_p = -3.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ,  $t_{top} = 1 \mu\text{m}$ )

图5 为不同衬底浓度, double RESURF 器件表面电场分布.衬底浓度在器件设计中,是一个很重要的参数,在很大程度上决定着器件可达到的最大击穿电压.衬底浓度的作用与  $t_{top}$  相似.随着衬底浓

从以上的讨论中,可以知道在器件优化设计中,为了获得高的击穿电压, double RESURF 尽可能平坦,均匀.当表面电场峰值必须相等且小于等于临界击穿电场,器件可以达到最大的击穿电压.在结构参数的优化中,为了获得高击穿电压和小的导通电阻,结构参数必须折衷考虑,达到设计要求,同时具有很好的容差,保证器件可靠的工作于安全区.

器件的击穿电压取决于横向击穿电压  $BV_{lat}$  和纵向击穿电压  $BV_{ver}$  的极小值.  $BV_{lat}$  可以由表面电场的电离积分得到:  $\sum_{i=1}^4 \int_{L_{i-1}}^{L_i} 1.8 \times 10^{-35} E_i^7(x, 0) dx = 1$ . 漏端纵向击穿电压  $BV_{ver}$  由突变 p-n 结的电离积分得到<sup>[13]</sup>

$$BV_{ver} = 5.238 \times 10^{13} \left( |P_{sub}| / \left( 1 + \frac{|P_{sub}|}{N_e} \right) \right)^{-3/4} \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{t_e N_e}{T_y |P_{sub}|} \right)^2 / \left( 1 + \frac{N_e}{|P_{sub}|} \right) \right],$$

$$T_y \approx \left[ \frac{1.8 \times 10^{-35}}{8} \left( \frac{q P_{sub}}{\epsilon_s} \right)^7 \left( 1 + \frac{P_{sub}}{N_e} \right) \right]^{-1/8}.$$

图 6(a) 为击穿电压与漂移区厚度的关系. 可以

看到击穿电压随着漂移区厚度变化存在峰值击穿电压(极大值). 峰值击穿电压随着衬底浓度的降低而增大, 但最优漂移区厚度的范围减小. 这样的现象在 single RESURF 同样可以看到<sup>[9]</sup>. 在峰值击穿电压之前, 横向击穿电压大于纵向, 所以随着厚度的增加, 击穿电压增大, 在峰值击穿电压之后, 纵向击穿电压超过横向, 击穿电压迅速下降. 图 6(b) 为击穿电压与漂移区长度的关系. 当器件其他结构参数不变时, 随着长度的增加, 横向有效耐压长度增加, 击穿电压增大逐渐趋于饱和, 器件发生纵向击穿. 随着漂移区厚度的增加, 趋于饱和的击穿电压也增大, 主要是由于器件的纵向耐压长度增大, 解析结果和试验结果符合较好<sup>[14, 15]</sup>.

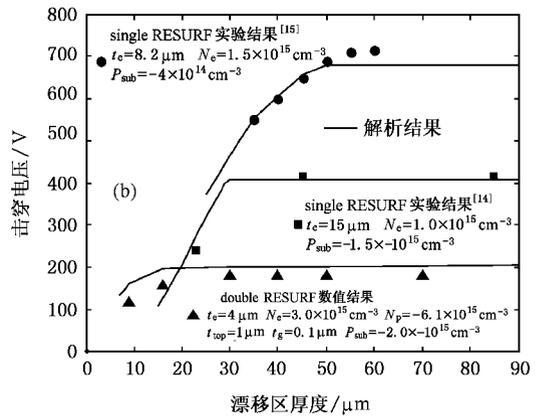
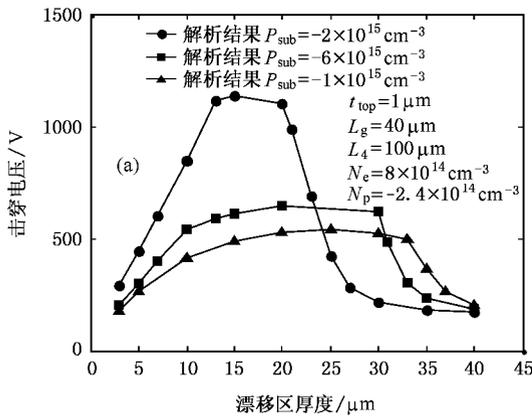


图 6 击穿电压与 (a) 漂移区厚度, (b) 漂移区长度的关系

图 7 给出了最优漂移区厚度, 击穿电压与漂移区浓度的关系. double RESURF 击穿电压随着漂移区浓度变化存在极大值, Souza 得到同样的规律<sup>[3]</sup>, 解析和数值结果符合较好. 对于固定的参数, 与

double RESURF 的最优漂移区厚度相应的最优漂移区浓度要远大于 single RESURF, 大大降低了器件的导通电阻, 改善了击穿电压与导通电阻的折衷关系.

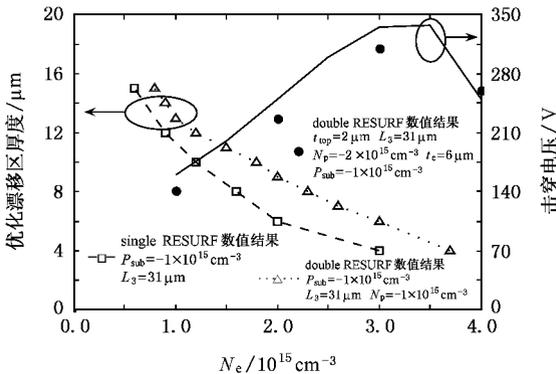


图 7 最优漂移区厚度和击穿电压随漂移区掺杂浓度的变化

### 4. 结 论

本文通过分区表面注入 P-top 区 double RESURF 功率器件的二维 Poisson 方程, 建立了其表面电场和表面电势模型. 基于此模型, 分析了结构参数对表面电场的影响, 研究其耐压机理, 计算结构参数与击穿电压的关系, 给出了获得最大击穿电压和最小导通电阻的途径, 数值结果, 解析结果和试验结果符合较好, 验证了模型的准确性. 该模型对于 double RESURF 功率器件的设计具有实际的指导意义.

- [ 1 ] Appels J , Vaes H 1979 *IEDM Tech. Digest* 238 1353
- [ 2 ] Baliga B J 1991 *IEEE Trans. Electron Dev.* **38** 1568
- [ 3 ] Souza M M D , Narayanan E M S 1996 *Electronics Letters* **32** 1092
- [ 4 ] Hardikar S , Souza M M De , Xu Y Z *et al* 2004 *Microelectronics Journal* **35** 305
- [ 5 ] Parthasarathy V , Khemka V , Zhu R *et al* 2000 *IEDM* 75
- [ 6 ] Hossain Z , Imam M , Fulton J *et al* 2002 *ISPSD* 137
- [ 7 ] Popescu A , Udrea F , Ng R *et al* 2002 *IEE Proc-Circuits Devices Syst* **149** 273
- [ 8 ] He J , Zhang X 2001 *Microelectronics Journal* **32** 655
- [ 9 ] Dejan K , Georges C , Slavko A 1996 *Solid-State Electronics* **39**
- [ 10 ] Imam M , Quddus M , Adams J *et al* 2004 *IEEE Trans Electron Dev* **51** 141
- [ 11 ] Fang J , Qiao M , Li Z J 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3656 ( in Chinese )[ 方 健、乔 明、李肇基 2006 物理学报 **55** 3656 ]
- [ 12 ] Chung S K , Han S Y 1998 *IEEE trans Electron Dev* **45** 1374
- [ 13 ] Han S Y , Na J M , Choi Y I *et al* 1996 *Solid-State Electronics* **39** 1247
- [ 14 ] Colak S 1981 *IEEE Trans. Electron Dev.* **28** 1455
- [ 15 ] Wildi E J , Gray P V , Chow T *et al* 1982 *IEDM* **28** 268

## Analytical model for the surface electrical field distribution of double RESURF device with surface implanted P-top region

Li Qi Li Zhao-Ji Zhang Bo

( IC Design Center , University of Electronic Science & Technology , Chengdu 610054 , China )

( Received 14 March 2007 ; revised manuscript received 12 April 2007 )

### Abstract

An analytical model for the surface electrical field distributions of double RESURF devices with Gaussian-doped P-top region is presented. Based on solving the 2-D Poisson equation , the model gives the closed form solutions of the surface potential and electrical field distribution as functions of the structure parameters and drain bias. The dependence of breakdown voltage on drift region length and thickness is calculated. An effectual way to get the optimum high-voltage devices is also proposed. All analytical results are well verified by simulation results obtained by MEDICI and previous experimental data , showing the validity of the presented model.

**Keywords** : surface implanted , double RESURF , surface electrical field , breakdown voltage

**PACC** : 7340Q , 0420J