

# 阶梯分布埋氧层固定电荷 SOI 高压器件 新结构和耐压模型\*

郭宇锋 李肇基 张波 方健

(电子科技大学 IC 设计中心, 成都 610054)

**摘要:** 提出了具有阶梯分布埋氧层固定电荷(SBOC)SOI 新型高压器件, 并借助求解多区二维泊松方程建立其击穿电压模型, 对阶梯数  $n$  从 0 到  $\infty$  时的器件击穿特性进行了研究. 结果表明, 该结构突破常规 SOI 结构纵向耐压极限, 使埋氧层电场从常规  $75\text{V}/\mu\text{m}$  提高到  $500\text{V}/\mu\text{m}$  以上; 同时得到均匀的表面电场分布, 缓解了器件尺寸和击穿电压之间的矛盾, 因此 SBOC 结构是一种改善 SOI 耐压的良好结构.

**关键词:** SOI; 埋氧层固定电荷; 击穿电压; 模型

**EEACC:** 2560B; 2560P

**中图分类号:** TN386

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2004)12-1695-06

## 1 引言

众所周知, 高压 SOI 器件的击穿电压取决于横向击穿电压和纵向击穿电压中的较低者. 由于受器件结构的限制, 纵向耐压低成为制约 SOI 器件在高压集成电路领域应用的关键因素<sup>[1,2]</sup>. 当前, 众多学者在提高 SOI 器件纵向耐压方面开展了大量研究, 提出了一系列结构<sup>[3-7]</sup>. 其中通过在硅层和埋氧层之间引入界面电荷来改善纵向电场分布的技术, 可以充分发挥埋氧层高击穿电场的特性, 尤其值得关注<sup>[5-7]</sup>.

本文提出了阶梯分布埋氧层固定电荷(step buried oxide fixed charges, SBOC)SOI 高压器件新结构, 并通过分区求解具有界面电荷边界条件的二维 Poisson 方程, 建立该器件的耐压模型. 利用此模型和二维器件仿真器 MEDICI 对不同分布埋氧层固定电荷(阶梯数  $n$  从 0 到  $\infty$ ) 的电场分布和击穿特性进行了研究. 结果表明, 该器件一方面通过大幅度提高埋氧层电场获得极高的纵向耐压, 一方面通过改善表面电场分布有效缓解了器件尺寸和击穿电压

之间的矛盾.

## 2 结构与模型

图 1 是 SBOC 结构  $n$  型 SOI LDMOS 示意图. 它采用离子注入方法, 通过在埋氧层表面注入铯(Cs)、碘(I)或硼(B)等离子, 在埋氧层顶部形成一层固定电荷<sup>[5,8]</sup>, 通过控制注入剂量来调节其电荷量, 使其从源到漏按区依次递增. 考虑到固定电荷的

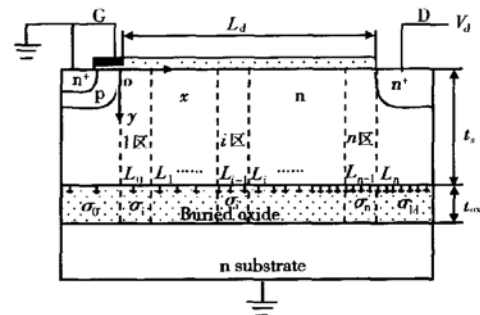


图 1 SBOC 结构示意图

Fig. 1 A cross section of SOI LDMOS with SBOC structure

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60276040)

郭宇锋 男, 博士研究生, 研究方向为 SOI 功率器件设计与建模. Email: guoyufeng@sina.com; zjli@uestc.edu.cn

2003-11-04 收到, 2004-03-11 定稿

©2004 中国电子学会

注入深度远远小于埋氧层厚度<sup>[8]</sup>, 所以假定固定电荷都分布在 Si/SiO<sub>2</sub> 界面. 从而固定电荷面密度函数可以写成  $\sigma(x) = \sigma_i (L_{i-1} \leq x < L_i, i = 1, \dots, n)$ , 这里,  $L_i$  是每个区的分界点坐标, 且  $L_0 = 0, L_n = L_d$  为漂移区长度. 为研究方便, 假定各区长度相等 (记  $\Delta L = L_d/n$ ), 源漏下的电荷面密度分别为  $\sigma_0$  和  $\sigma_{L_d}$ , 且  $\sigma_0 = \sigma_1, \sigma_{L_d} = \sigma_n$ .

当漏极接足够高的正电压  $V_d$ , 栅极、源极和衬底接地时, 可使漂移区全部耗尽, 按  $L_i$  将漂移区和埋氧层分成  $n$  个区, 则在各区硅层电势  $\mathcal{Q}(x, y)$  满足二维 Poisson 方程:

$$\frac{\partial^2 \mathcal{Q}(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{Q}(x, y)}{\partial y^2} = \frac{qN_d}{\epsilon_s} \quad (1)$$

边界条件为

$$\left. \frac{\partial \mathcal{Q}(x, y)}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial \mathcal{Q}(x, y)}{\partial y} \right|_{y=t_s} = \frac{q\sigma_i}{\epsilon_s} - \frac{\mathcal{Q}(x, t_s) - \mathcal{Q}(x, t_s + t_{ox})}{K t_{ox}} \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial \mathcal{Q}(x, 0)}{\partial x} \right|_{x=L_i} = \left. \frac{\partial \mathcal{Q}_{i+1}(x, 0)}{\partial x} \right|_{x=L_i} \quad (4)$$

$$\mathcal{Q}(0, 0) = V_{p^+n}, \mathcal{Q}(L_d, 0) = V_d + V_{n^+n},$$

$$\mathcal{Q}(x, t_s + t_{ox}) = V_{sub} + V'_{sub}, V_{sub} = 0 \quad (5)$$

其中  $N_d$  为漂移区杂质浓度;  $t_s$  和  $t_{ox}$  分别为硅层厚度和埋氧层厚度;  $\epsilon_s$  和  $\epsilon_{ox}$  分别为硅和二氧化硅的介电常数;  $K = \epsilon_s/\epsilon_{ox}$ ;  $V_{p^+n}$  和  $V_{n^+n}$  分别为  $p^+n$  结和  $n^+n$  结的内建电势;  $V_{sub}$  为外加衬底电压;  $V'_{sub}$  是衬底上的电压降. (2) 式考虑表面纵向电场远小于横向电场<sup>[10]</sup>, (3) 式是基于顶层硅和埋氧层界面上电位移的连续性, 其中忽略了埋氧层中  $x$  方向电场并认为  $y$  方向电场为均匀分布<sup>[9-12]</sup>. (4) 式是基于表面电场在相邻分区边界上的连续性, (5) 式是外加固定边界条件. 通常情况下内建势只有 0.7V, 衬底电压降也只有 1V 左右<sup>[6,9,12]</sup>, 远远小于器件全耗尽时的漏端电压 (几十到几百伏), 因此求解 Poisson 方程 (1) 时将其忽略.

将硅层  $y$  方向的电势视为  $y$  的二次函数<sup>[9-11]</sup>, 在边界条件 (2) ~ (5) 式下解方程 (1) 获得第  $i$  区的纵向电场  $E_{iy}(x, y)$  和表面电场  $E_i(x, 0)$ , 其形式如下:

$$E_{iy}(x, y) = y[\mathcal{Q}(x, 0) - qK t_{ox}\sigma_i/\epsilon_s]/t^2 \quad (6)$$

$$0 \leq y < t_s$$

$$E_{iy}(x, y) = K t_s[\mathcal{Q}(x, 0) + q t_s \sigma_i/(2\epsilon_s)]/t^2 \quad (7)$$

$$t_s^+ < y \leq t_s + t_{ox}$$

$$E_i(x, 0) = [qN_{eff}^i/t^2/\epsilon_s] \frac{\cosh[(x - L_{i-1})/t]}{t \sinh(\Delta L/t)} + [qN_{eff}^i/t^2/\epsilon_s - \mathcal{Q}] \frac{\cosh[(L_i - x)/t]}{t \sinh(\Delta L/t)} \quad (8)$$

其中

$$t = \sqrt{0.5t_s^2 + K t_s t_{ox}} \quad (9)$$

$$N_{eff}^i = N_d + K t_{ox}\sigma_i/t^2 \quad (10)$$

$$\mathcal{Q} = \sum_{j=1}^{n-1} c_{ij} b_j,$$

$$c_{ij} = \begin{cases} \frac{\sinh(i\Delta L/t) \sinh[(n-j)\Delta L/t]}{\sinh(L_d/t) \sinh(\Delta L/t)}, & i \leq j \\ \frac{\sinh[(n-i)\Delta L/t] \sinh(j\Delta L/t)}{\sinh(L_d/t) \sinh(\Delta L/t)}, & i > j \end{cases}$$

$$b_j = [\cosh(\Delta L/t) - 1] q t^2 (N_{eff}^j + N_{eff}^{j+1})/\epsilon_s \quad (11)$$

应当指出, (6) 和 (8) 式不仅适用于 SBOC SOI 结构 ( $n > 1$ ), 也适用于均匀分布埋氧层固定电荷 SOI 结构<sup>[5]</sup> ( $n = 1$ ) 和无埋氧层固定电荷的常规 SOI 结构 ( $n = 0$ ).

当  $n = 1$  ( $\sigma(x) = \sigma$ ) 和  $n = 0$  ( $\sigma = 0$ ) 时 (9) 式可分别简化为

$$E(x, 0) = \left[ V_d - \frac{q}{\epsilon_s} (N_d t^2 + K \sigma t_{ox}) \right] \frac{\cosh(x/t)}{t \sinh(L_d/t)} + \frac{q}{\epsilon_s} (N_d t^2 + K \sigma t_{ox}) \frac{\cosh[(L_d - x)/t]}{t \sinh(L_d/t)} \quad (12)$$

$$E(x, 0) = \left[ V_d - \frac{qN_d t^2}{\epsilon_s} \right] \frac{\cosh(x/t)}{t \sinh(L_d/t)} + \frac{qN_d t^2}{\epsilon_s} \times \frac{\cosh[(L_d - x)/t]}{t \sinh(L_d/t)} \quad (13)$$

根据 (6) ~ (8), (12) 和 (13) 式可获得 SBOC 结构 ( $n > 1$ )、均匀分布埋氧层电荷结构 ( $n = 1$ ) 和常规 SOI 结构 ( $n = 0$ ) 的二维电场分布, 进而可分析其击穿电压.

### 3 结果与讨论

据上述模型, 首先讨论漏端下纵向电场分布. 由 (8) 式得

$$E_s(L_d, y) = \left[ V_d - \frac{qK t_{ox}\sigma_{L_d}}{\epsilon_s} \right] \frac{y}{t^2} \quad (14)$$

$$E_{ox}(L_d, y) = \left[ V_d + \frac{q t_s \sigma_{L_d}}{2\epsilon_s} \right] \frac{K t_s}{t^2} \quad (15)$$

图 2 给出了 SBOC( $n=6$ ) 结构在相同外加电压下 ( $V_d=120\text{V}$ ) 的漏端纵向电场分布随  $\sigma_{L_d}$  变化的理论曲线和数值仿真结果, 二者吻合良好. 从图可见, 随着漏端埋氧层固定电荷面密度的提高, SBOC 结构硅侧的电场逐渐降低, 而埋氧层电场则大幅度提高, 从而使埋氧层成为纵向耐压的主要承担者, 充分发挥了埋氧层高击穿电场 ( $E_{c,ox}=600\text{V}/\mu\text{m}$ ) 的优点. 当  $\sigma_{L_d}$  足够高时, 甚至会使纵向击穿由硅层转移到埋氧层.

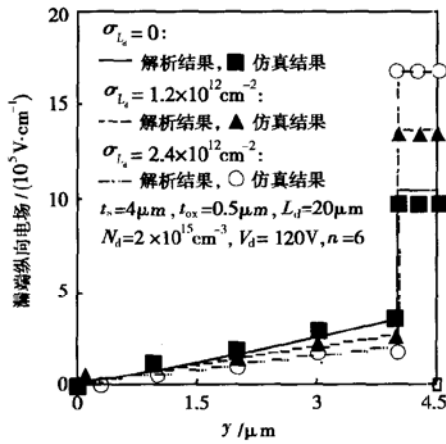


图 2 SBOC SOI 纵向电场分布

Fig. 2 Vertical electric field of SOI device with SBOC structure

由 (14), (15) 式可得击穿分别发生在硅层和埋氧层时 SBOC 结构的纵向击穿电压分别为

$$V_{B,V} = E_{c,si} t_s^2 / t_s + q t_{ox} \sigma_{L_d} / \epsilon_{ox} \quad (\text{硅层击穿}) \quad (16)$$

$$V_{B,V} = E_{c,si} t_s^2 / (K t_s) - q t_s \sigma_{L_d} / (2 \epsilon_s) \quad (\text{埋氧层击穿}) \quad (17)$$

其中  $E_{c,si} = 25\text{V}/\mu\text{m}$  是硅的临界击穿电场. 图 3 给出了不同埋氧层厚度下  $V_{B,V}$  和  $\sigma_{L_d}$  的关系. 当  $\sigma_{L_d}$  较低时, 纵向击穿发生在硅侧,  $V_{B,V}$  随  $\sigma_{L_d}$  的提高而提高; 当  $\sigma_{L_d}$  较大时, 纵向击穿发生在埋氧侧,  $V_{B,V}$  随  $\sigma_{L_d}$  的提高而降低. 可见存在最佳固定电荷面密度  $\sigma_{c,L_d}$  使得硅层和埋氧层同时击穿. 令 (16) 和 (17) 相等可得到  $\sigma_{c,L_d} = 1.13 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ , 此时  $V_{B,V}^{\max} = 0.5 E_{c,si} t_s + E_{c,ox} t_{ox}$ . 图 3 的虚线表示埋氧层承担耐压  $V_{ox}$  在总耐压  $V_{B,V}$  中所占的比例, 可见随  $\sigma_{L_d}$  的增加  $V_{ox}/V_{B,V}$  逐渐趋近于 1. 这说明和常规 SOI 结构<sup>[4]</sup> 不同, SBOC 结构决定纵向耐压的主要因素已不再是硅层而是埋氧层.

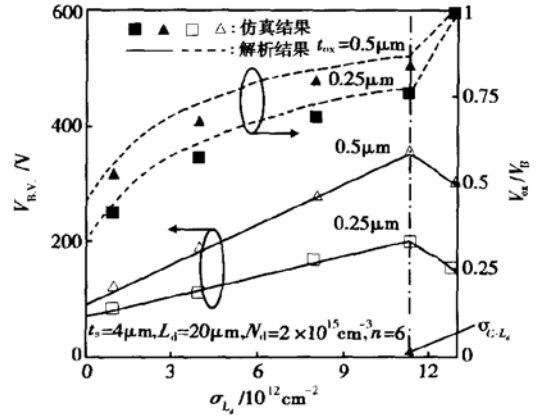


图 3 漏端埋氧层固定电荷和纵向击穿电压的关系

Fig. 3 Impact of the charges density under the  $n^+$  junction on the surface breakdown voltage

图 4 以  $n=6$  为例, 给出了  $V_d=120\text{V}$ ,  $n=0, 1$  和 6 时的表面电场分布的解析和仿真结果. 其中  $n=1$  结构和  $n=6$  结构具有相同的  $\sigma_{L_d}$ . 仿真结果和

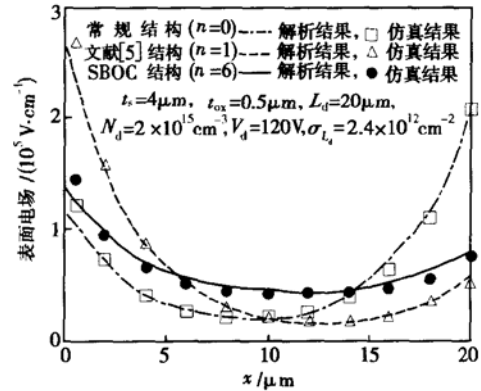


图 4  $n=0, 1, 6$  时的 SBOC SOI 表面电场分布

Fig. 4 Surface electric field of the SBOC SOI at  $n=0, 1$  and 6

解析结果一致, 均表明三种结构的表面电场都在  $x=0$  和  $x=L_d$  出现了峰值. 由 (8) 式可求得该处电场为

$$E(0,0) = \left[ \frac{qrN_d t^2}{\epsilon_s} + \frac{qr\sigma_{L_d} t_{ox}}{\epsilon_{ox}} + \frac{qm(\sigma_{L_d} - \sigma_0) t_{ox}}{\epsilon_{ox}} - sV_d \right] \times \frac{1}{t \sinh(\Delta L/t) + \left( \frac{qN_d t^2}{\epsilon_s} + \frac{q\sigma_{L_d} t_{ox}}{\epsilon_{ox}} \right) \frac{\cosh(\Delta L/t)}{t \sinh(\Delta L/t)}} \quad (18)$$

$$E(L_d,0) = \left[ V_d - \frac{qN_d t^2}{\epsilon_s} - \frac{q\sigma_{L_d} t_{ox}}{\epsilon_{ox}} \right] \frac{\cosh(\Delta L/t)}{t \sinh(\Delta L/t)} + \left[ (r-s)V_d - \frac{qrN_d t^2}{\epsilon_s} - \frac{q(r-m)(\sigma_{L_d} - \sigma_0) t_{ox}}{\epsilon_{ox}} - \frac{qr\sigma_{L_d} t_{ox}}{\epsilon_{ox}} \right] \frac{1}{t \sinh(\Delta L/t)} \quad (19)$$

其中  $r = 2[1 - \cosh(\Delta L/t)] \sum_{j=1}^{n-1} c_{1j} - 1, m = \frac{[1 - \cosh(\Delta L/t)]}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} c_{1j} (2j-1), s = c_{1,n-1}, c_{ij}$  由 (11) 式计算.

显然降低  $E(0, 0)$  和  $E(L_d, 0)$  有利于提高器件的表面击穿电压. 由于 (10) 式表明固定埋氧层电荷可以等效成漂移区杂质浓度, 因此与常规 SOI 相比, SBOC 结构的漏端电场降低而源端电场提高<sup>[2]</sup>. 但由图可见, 文献[5]结构的源端电场提高幅度和漏端电场降低幅度相同, 横向击穿特性并未得到改善. 而对  $n=6$  的 SBOC 结构, 阶梯分布的埋氧层电荷强烈调制了表面电场, 使得漏端电场大幅下降的同时, 漂移区中部电场提高而源端电场几乎不变, 从而得到了比较均匀的表面电场.

图 5 给出了漂移区掺杂浓度  $N_d$  与表面击穿电压的关系. 可见  $N_d$  较低时表面峰值电场出现在漏端, 击穿电压随  $N_d$  的增加而增加;  $N_d$  较高时峰值电场转移到源端, 击穿电压随  $N_d$  的增加而降低. 故

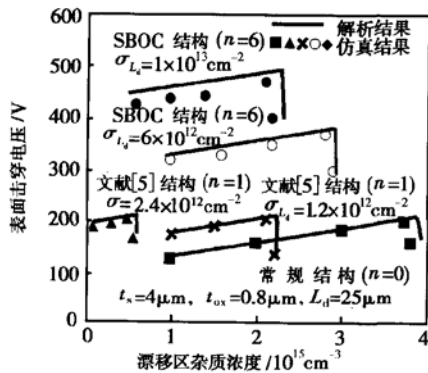


图 5 漂移区浓度和表面击穿电压的关系

Fig. 5 Impact of the drift-region doping on the surface breakdown voltage

存在临界漂移区杂质浓度  $N_{c,d}$ , 使得源漏两端同时击穿, 器件具有最高表面击穿电压  $V_{B.S}^{max}$ . 把 (14) 和 (15) 式代入  $E(0, 0) = E(L_d, 0) = E_{c,si}$  可得

$$V_{B.S}^{max} = f E_{c,si} t + g q t_{ox} (\sigma_{L_d} - \sigma_0) / \epsilon_{ox} \quad (20)$$

$$N_{c,d} = f \epsilon_s E_{c,si} / (2qt) - K [(1-g)\sigma_{L_d} + (1+g)\sigma_0] t_{ox} / (2t^2) \quad (21)$$

其中

$$f = 2t \tanh \frac{L_d}{2t}, g = \frac{r - 2m + \cosh(\Delta L/t)}{r - 2s + \cosh(\Delta L/t)} \quad (22)$$

(21) 式右侧第一项是常规 SOI 结构的耐压, 第二项是界面电荷的贡献. 由于  $g > 0$ , 因此当埋氧层固定电荷从源到漏逐渐升高时 ( $\sigma_{L_d} > \sigma_0$ ), 表面击穿电压提高, 反之, 击穿电压降低. 对于文献[5]结构,  $\sigma_{L_d} = \sigma_0$ , 因此 (20) 式第二项为零, 这说明固定电荷均匀分布时对表面击穿无改善作用. 此外, 如前所述, 为提高纵向击穿电压需要提高埋氧层固定电荷面密度. 而从图 5 看出,  $\sigma_{L_d}$  越高临界漂移区浓度  $N_{c,d}$  越低, 这意味着为了提高耐压必须牺牲器件的导通电阻. 但是当  $\sigma_{L_d}$  相等时, 相同结构参数的 SBOC 结构 ( $n > 1$ ) 的固定电荷总量只有文献[5]结构 ( $n = 1$ ) 的一半, 因此前者可以具有更高的临界漂移区浓度, 从而有效缓解耐压和导通电阻之间的矛盾. 从图 5 可见, 在相同的漂移区浓度下,  $n = 6$  结构的击穿电压要远远大于  $n = 1$  结构.

图 6 是 SBOC 结构漂移区长度  $L_d$  和击穿电压的关系. 可见  $L_d$  很小时耐压非常低. 从 (18), (19) 式可以计算, 此时表面峰值电场位于源端并随外加电压升高而急剧升高, 很快就发生击穿. 随着  $L_d$  的增加, 峰值电场由源向漏移动, 表面电场趋于均匀, 击穿电压随之提高,  $L_d - V_b$  曲线近似为线性. 当  $L_d$  增加到一定程度时, 表面击穿变得困难, 电场峰值移向体内, 击穿电压由 (13) 式决定,  $V_b$  变得和  $L_d$  无关,  $L_d - V_b$  曲线趋于饱和. 此外, 由于固定电荷面密度高的结构不但对表面电场的调制作用加强, 而且对埋氧层电场的提高幅度也增大, 表现在  $L_d - V_b$  线上为线性段斜率的增大和饱和和击穿电压的提高.

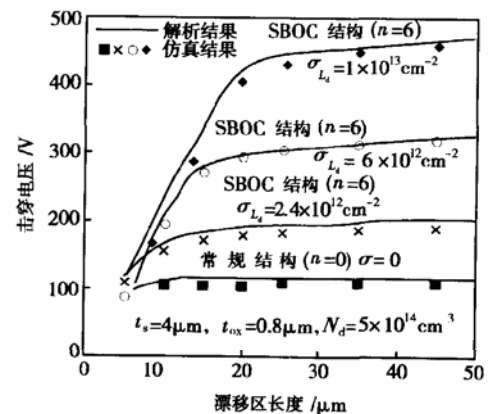


图 6 漂移区长度和击穿电压的关系

Fig. 6 Impact of the drift-region length on the breakdown voltage

据上对  $n = 0, 1, 6$  结构的讨论可知, 阶梯数的增

加有利于获得更高的击穿电压.  $n \rightarrow \infty$  时  $\sigma(x)$  由阶梯分布变成线性分布. 将(8)式代入(4)式, 当  $n \rightarrow \infty$  时, 可得

$$\frac{d^2 \mathcal{Q}(x, 0)}{dx^2} - \frac{\mathcal{Q}(x, 0)}{t^2} = - \frac{q}{\epsilon_s} \left[ N_d + \frac{K \sigma(x) t_{ox}}{t^2} \right] \quad (23)$$

设  $\sigma(x) = (\sigma_{L_d} - \sigma_0)x/L_d + \sigma_0$ , 记  $N_{eff}(x) = N_d + K t_{ox} \sigma(x) t^2$ . 在边界条件(5)式下解方程(23)得

$$E(x, 0) = \left[ \frac{V_d}{t} - \frac{q N_{eff}(L_d) t}{\epsilon_s} \right] \frac{\cosh(x/t)}{\sinh(L_d/t)} + \frac{q N_{eff}(0) t}{\epsilon_s} \times \frac{\cosh[(L_d - x)/t]}{\sinh(L_d/t)} + \frac{q K (\sigma_{L_d} - \sigma_0) t_{ox}}{\epsilon_s L_d} \quad (24)$$

要使击穿时表面电场分布为矩形, 应满足  $V_B - \frac{q N_{eff}(L_d) t^2}{\epsilon_s} = 0$ ,  $\frac{q N_{eff}(0) t}{\epsilon_s} = 0$  和  $\frac{q K (\sigma_{L_d} - \sigma_0) t_{ox}}{\epsilon_s L_d} = E_{C, Si}$ , 从而可解得最优的埋氧层固定电荷分布、表面电场分布和击穿电压分别为

$$\sigma(x) = \frac{E_{C, Si} \epsilon_s}{q K t_{ox}} x - \frac{N_d t^2}{K t_{ox}}, E(x) = E_{C, Si}, \quad (25)$$

$$V_B = E_{C, Si} L_d$$

图 7 给出了线性埋氧层固定电荷 SOI LDMOS 优化后的电荷分布和表面电场分布. 其中实线是由(25)式得到的理论结果, 虚线为 MEDICI 仿真结果. 理论计算结果和仿真结果基本吻合. 其差异来自于建模过程中忽略了耗尽区向沟道与  $n^+ n$  结内的扩展. 可见采用线性埋氧层固定电荷结构后, 硅层电

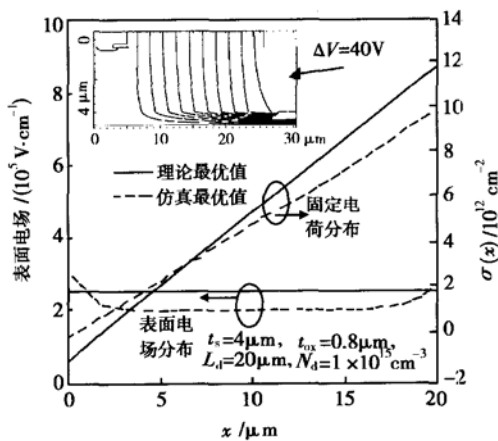


图 7 线性埋氧层固定电荷 SOI 结构的电荷和表面场分布

Fig. 7 Equipotential line, the profile of surface electric field and fixed buried oxide charges of SOI LDMOS with linear fixed buried oxide charges ( $n = \infty$ ) 场非常均匀, 其等势线分布近似于平行板电容(见子

图), 从而可以获得理想的击穿电压. 图 7 中结构击穿电压的理论计算值和仿真值分别为 500V 和 445V, 此时埋氧层峰值电场也高达  $530V/\mu m$ . 而相同结构参数的常规 SOI 器件, 其耐压只有 160V, 埋氧层电场只有  $75V/\mu m^{[4]}$ .

## 4 结论

本文提出了一种 SOI 高压器件新结构——SBOC 结构并建立其耐压模型. 该结构的特点是通过在埋氧层中引入阶梯分布固定电荷以提高耐压. 首先通过分区求解二维 Poisson 方程, 获得了该结构的二维电场分布和击穿电压的解析模型. 解析结果和 MEDICI 二维仿真结果的一致性验证了该模型的合理性. 其次基于此模型对不同阶梯数  $n$  的 SBOC 结构电场分布和击穿特性进行了研究. 结果表明, 纵向 SBOC 结构 ( $n > 1$ ) 突破常规 SOI ( $n = 0$ ) 的纵向耐压极限, 使埋氧层电场从  $75V/\mu m$  提高到接近其临界击穿电场. 横向 SBOC 结构克服了均匀分布埋氧层固定电荷结构 ( $n = 1$ ) 横向耐压低、导通电阻大的缺点, 获得了近似矩形的表面电场. 因此 SBOC 结构是一种改善 SOI 耐压的良好结构.

## 参考文献

- [1] Udrea F, Garner D, Sheng K, et al. SOI power devices. *Electron Commun Eng J*, 2000: 27
- [2] Liu Kuiwei, Han Zhengsheng, Qian He, et al. Design and simulation of high-voltage CMOS devices compatible with standard CMOS technologies. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(7): 758 (in Chinese) [刘奎伟, 韩郑生, 钱鹤, 等. 兼容标准 CMOS 工艺的高压器件设计与模拟. *半导体学报*, 2003, 24(7): 758]
- [3] Zhang S D, Sin J K O, Lai T M L, et al. Numerical modeling of linear doping profiles for high-voltage thin-film SOI Devices. *IEEE Trans Electron Devices*, 1999, 46(5): 1036
- [4] Merchant S, Arnold D, Baumgart H, et al. Realization of high breakdown voltage ( $> 700V$ ) in thin SOI Devices. *Proceeding of ISPSD'91*, 1991: 31
- [5] Wondrak W, Held R. Semiconductor component with embedded fixed charges to provide increased high breakdown voltage. *United States Patent*, 5767548, 1998
- [6] Li Zhaoji, Luo Luyang, Guo Yufeng, et al. Breakdown theory of a new SOI composite structure. *ICCCAS02*, 2002: 1744
- [7] Kapels H, Plikat R, Silber D. Dielectric charge traps: A new structure element for power devices. *Proceeding of*

- ISPSD'00, 2000: 205
- [ 8 ] Goetzberger A, Sirt G. Control of positive surface charge in Si-SiO<sub>2</sub> interface by use of implanted Cs ions. *Appl Phys Lett*, 1971, 19: 478
- [ 9 ] Luo Luyang, Fang Jian, Luo Ping, et al. Breakdown characteristics of novel SOI-LDMOS with reducing field electrode and U-type drift region. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(2): 194(in Chinese)[ 罗卢杨, 方健, 罗萍, 等. 具有降场电极 U 形漂移区 SOI-LDMOS 的耐压特性. *半导体学报*, 2003, 24(2): 194]
- [ 10 ] Merchant S. Analytical model for the electric field distribution in SOI resurf and TMBS structures. *IEEE Trans Electron Devices*, 1999, 46(6): 1264
- [ 11 ] He Jin, Zhang Xing, Huang Ru, et al. A novel analytical model for surface electrical field distribution and optimization of TFSOI RESURF devices. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2001, 22: 403
- [ 12 ] Li Wenhong, Luo Jinsheng. Breakdown voltage analysis for thin film SOI RESURF structure. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2000, 21(2): 161(in Chinese)[ 李宏文, 罗晋生. 薄膜 SOI RESURF 结构击穿电压分析. *半导体学报*, 2000, 21(2): 161]

## Breakdown Model and New Structure of SOI High Voltage Devices with Step Buried Oxide Fixed Charges<sup>\*</sup>

Guo Yufeng, Li Zhaoji, Zhang Bo and Fang Jian

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

**Abstract:** A novel SOI high voltage device with step buried oxide fixed charges(SBOC) is proposed and the breakdown model based on the 2-D Poisson equation is developed. Analytical results are shown in good agreement with the numerical analysis obtained by 2-D semiconductor devices simulator MEDICI. Based on the model, the profiles of 2-D electric field and breakdown characteristics are researched for the different distribution of the fixed charges. The novel structure, as an ideal SOI high voltage device, not only breaks through the limitation of vertical breakdown voltage of the conventional SOI structure and increases the electric field of buried oxide from 75V/ $\mu\text{m}$  to 530V/ $\mu\text{m}$ , but also obtains better tradeoff between the size of device and breakdown voltage due to the optimization of the surface electric field.

**Key words:** SOI; buried oxide fixed charge; breakdown voltage; model

**EEACC:** 2560B; 2560P

**Article ID:** 0253-4177(2004)12-1695-06

<sup>\*</sup> Project supported by National Natural Science Foundation of China(No. 60276040)

Guo Yufeng male, was born in 1974, PhD candidate. His current researches focus on the development and modeling of SOI high voltage device. Email: guoyufeng@sina.com; zjli@uestc.edu.cn

Received 4 November 2003, revised manuscript received 11 March 2004

©2004 The Chinese Institute of Electronics