

22 nm 工艺超薄体全耗尽绝缘体上硅晶体管 单粒子瞬态效应研究*

毕津顺[†] 刘刚 罗家俊 韩郑生

(中国科学院微电子研究所, 北京 100029)

(2013年5月22日收到; 2013年7月17日收到修改稿)

利用计算机辅助设计技术数值仿真工具, 研究 22 nm 工艺技术节点下超薄体全耗尽绝缘体上硅晶体管单粒子瞬态效应, 系统地分析了掺杂地平面技术、重离子入射位置、栅功函数和衬底偏置电压对于单粒子瞬态效应的影响. 模拟结果表明, 掺杂地平面和量子效应对单粒子瞬态效应影响很小, 重离子入射产生大量电荷, 屏蔽了初始电荷分布的差异性. 单粒子瞬态效应以及收集电荷和重离子入射位置强相关, 超薄体全耗尽绝缘体上硅最敏感的区域靠近漏端. 当栅功函数从 4.3 eV 变化到 4.65 eV 时, 单粒子瞬态电流峰值从 564 μA 减小到 509 μA , 收集电荷从 4.57 fC 减小到 3.97 fC. 超薄体全耗尽绝缘体上硅器件单粒子瞬态电流峰值被衬底偏置电压强烈调制, 但是收集电荷却与衬底偏置电压弱相关.

关键词: 超薄体全耗尽绝缘体上硅, 单粒子瞬态效应, 电荷收集, 数值仿真

PACS: 85.30.Tv, 61.80.Ed, 94.05.Dd

DOI: 10.7498/aps.62.208501

1 引言

与体硅金属 - 氧化物 - 半导体场效应晶体管 (MOSFET) 相比, 基于绝缘体上硅 (SOI) 技术的 MOSFET 器件的抗辐射性能优越, 已被广泛应用于空间和军事等领域^[1,2]. 目前, 半导体工艺技术已进入纳米尺度, 根据 ITRS 2011 (国际半导体技术蓝图)^[3], 由于其优异的短沟道效应控制能力^[4-6], 超薄体全耗尽绝缘体上硅 (UTB FDSOI) 技术被公认为 22 nm 互补金属 - 氧化物 - 半导体 (CMOS) 工艺技术节点下的首选方案之一. 基于 22 nm UTB FDSOI 技术, 可以设计和制备更高性能和更高集成度的半导体芯片, 满足航天等领域解决复杂任务的需求.

然而空间辐射环境中的高能带电粒子会对电子元器件的性能产生强烈的影响. 特别是单粒子效应 (SEE), 将导致电子元器件功能异常或失灵, 甚至

会导致航天器发生灾难性事故. 因此, 为了确保航天器在轨长期可靠运行, 对半导体芯片的可靠性, 特别是抗 SEE 的能力提出了更高的要求^[7,8]. 单粒子瞬态 (SET) 效应是 SEE 最重要的子类之一, 是入射粒子引起电流和电压的瞬时波动, 主要发生于逻辑电路部分, 对于纳米尺度器件和电路影响尤为严重.

由于超薄的顶层硅膜限制了灵敏电荷产生体积, UTB FDSOI 器件被认为可以更好地抑制单粒子瞬态效应^[9,10]. 但是对于 22 nm 及其以下工艺节点的 UTB FDSOI 器件而言, 情况更加复杂. 一方面, 随着电源电压和器件面积等比例缩小, 电路敏感节点存储的电荷越来越少; 另一方面, 随着器件沟道长度进入纳米尺度, 寄生双极晶体管 (PBJT) 放大效应进一步增强. 这些因素有可能会抵消超薄顶层硅膜带来的优势, 增加 UTB FDSOI 器件的软错误敏感度. 因此需要深入研究和分析纳米尺度 UTB FDSOI 器件的 SET 效应.

* 国家自然科学基金 (批准号: 11179003, 61176095) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: bijinshun@ime.ac.cn

近些年来,国内外的一些学者开展了器件级单粒子瞬态效应研究^[11-16],包括 50 nm 部分耗尽绝缘体上硅 (PDSOI) 器件、0.2 μm FDSOI 器件、纳米线器件、双栅器件和鱼鳍型场效应晶体管 (Fin-FET) 器件等. 在国内外已经发表的论文中,对这些先进工艺下新型半导体器件的单粒子瞬态效应的现象和物理机理有了一定的研究成果. 但是,目前对于 22 nm UTB FDSOI 器件单粒子瞬态效应的相关研究,国内外鲜有公开报道. 特别是掺杂地平面、入射位置、栅功函数和衬底偏置对于 22 nm UTB FDSOI 器件 SET 效应的影响,几乎处于空白.

本文设计了 22 nm UTB FDSOI 器件,研究了量子效应对于纳米尺度器件电学特性数值仿真的影响. 以设计的器件结构为基础,探讨了重离子入射 22 nm UTB FDSOI 器件,掺杂地平面技术、重离子入射位置、栅功函数和衬底偏置电压对 SET 效应的影响. 观察瞬态电流产生和感生电荷收集的情况,通过分析器件内部载流子分布和电场分布,确定单粒子瞬态效应物理机理. 这将为进一步探讨 22 nm UTB FDSOI 工艺单粒子效应加固技术提供参考.

2 器件结构描述

本文中, N 型沟道器件结构参数设计基于文献 [17] 中 22 nm UTB FDSOI 工艺. 体区无掺杂,避免沟道杂质的随机波动,减少了杂质散射,因而提高了载流子迁移率. UTB FDSOI 器件没有采用应力工程提高载流子迁移率. 由于 UTB FDSOI 器件浮体效应得到很好的抑制,因此器件没有体接触. 物理沟道长度为 25 nm,栅氧厚度 1 nm,顶层硅膜厚度 6 nm,氧化物理层 (BOX) 厚度 10 nm,侧墙宽度 15 nm. 源漏区采用抬升工艺,减小源漏串联电阻,因此源漏区高度为 21 nm,大于顶层硅膜厚度. BOX

表 1 数值模拟中使用的器件物理参数

物理参数	N 型沟道器件
沟道长度/nm	25
栅氧厚度/nm	1
顶层硅膜厚度/nm	6
氧化物理层厚度/nm	10
掺杂地平面磷掺杂浓度/cm ⁻³	1 × 10 ¹⁸ 或者无掺杂
侧墙宽度/nm	15
源漏区高度/nm	21

下方掺杂地平面磷掺杂浓度为 1 × 10¹⁸ cm⁻³. 本文特别研究了掺杂地平面对于 22 nm UTB FDSOI 器件常规电学特性和单粒子瞬态效应的影响. 图 1 给出了器件截面示意图,表 1 汇总了器件结构物理参数,图 2 给出了计算机辅助设计技术 (TCAD) 工具网格化后的 3 维 UTB FDSOI 器件截图.

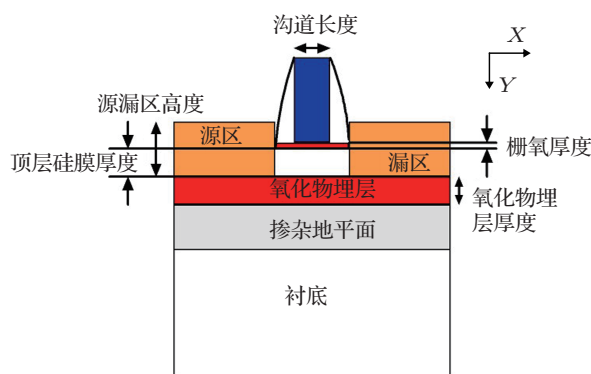


图 1 UTB FDSOI 器件截面示意图

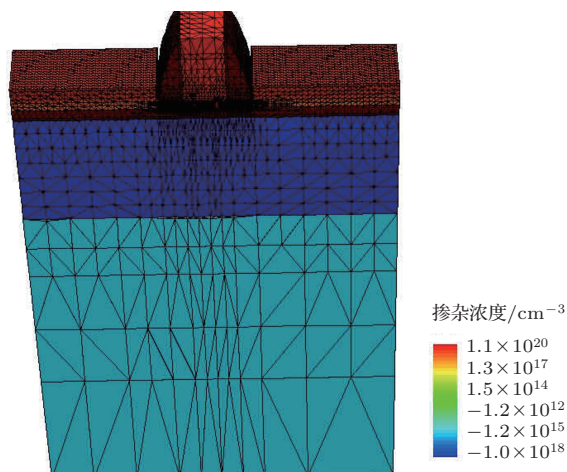


图 2 TCAD 网格化后的 3 维 UTB FDSOI 器件

3 常规电学特性模拟

本文中, UTB FDSOI 器件沟道无掺杂,处于本征状态,消除了沟道杂质随机波动效应,提高了弹道运输的概率,因此有效地增强了载流子迁移率^[17]. BOX 层下方的掺杂地平面可以很好地抑制短沟道效应^[18]. 当 UTB FDSOI 器件顶层硅膜非常薄时 (如文中, 6 nm), 量子力学限制效应变得非常明显,在使用 Synopsys Sentaurus TCAD 进行 3 维仿真时需要特别注意. 模拟仿真中的“经典模型”(classical model) 指的是漂移 - 扩散运输模型;

“量子模型”(quantum model) 为密度梯度模型. 考虑量子力学限制效应后, 反型层载流子密度 (以电子为例) 变为

$$n = N_C F_{\frac{1}{2}} \left(\frac{E_{F,n} - E_C - \Lambda_n}{kT_n} \right), \quad (1)$$

引入了量子势修正量 Λ_n , 其中为 N_C 导带底有效态密度, $F_{\frac{1}{2}}(\cdot)$ 为费米分布函数, $E_{F,n}$ 为准费米能级, k 为玻尔兹曼常数, T_n 为载流子绝对温度. 量子势修正量 Λ_n 如下面表达式所示:

$$\Lambda_n = \frac{r\hbar^2}{12m_n} \left\{ \nabla^2 \ln n + \frac{1}{2} (\nabla \ln n)^2 \right\}, \quad (2)$$

其中 r 为拟合系数, \hbar 为普朗克常数, m_n 为电子有效质量.

分别对三种情况下的常规电学特性进行模拟: 1) 有掺杂地平面, “经典模型”, 用 YJ 表示; 2) 有掺杂地平面, “量子模型”, 用 YL 表示; 3) 无掺杂地平面, “量子模型”, 用 WL 表示. 三种情况下的漏电流随栅电压变化曲线如图 3 所示. 表 2 汇总了 UTB FDSOI 器件的常规电学性能参数.

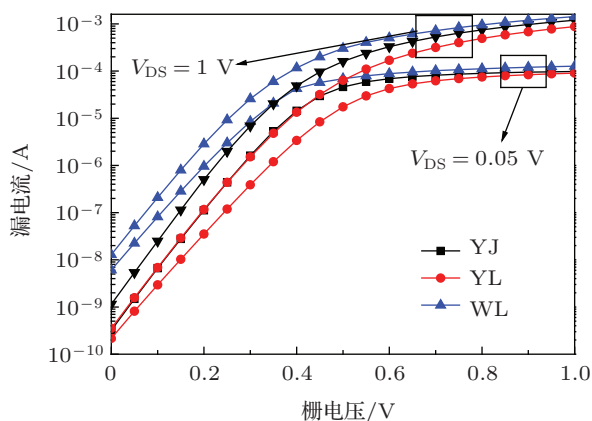


图 3 三种情况下的 UTB FDSOI 器件常规电学特性

表 2 UTB FDSOI nMOS 的常规电学性能参数

	YJ	YL	WL
饱和电流 $I_{ON}/\mu A \cdot \mu m^{-1}$	1195	877	1428
关态电流 $I_{OFF}/nA \cdot \mu m^{-1}$	1.15	0.36	12.91
阈值电压 V_T/mV	163	205	72
亚阈值斜率 $S.S./mV \cdot dec^{-1}$	75	87	82

从图 3 和表 2 可以看出, $I_{OFF}(YL) < I_{OFF}(YJ) < I_{OFF}(WL)$, $I_{ON}(YL) < I_{ON}(YJ) < I_{ON}(WL)$. 掺杂地平面抑制了短沟道效应, 因此增加了阈值电压, 同时降低了饱和电流 I_{ON} 和关态电流 I_{OFF} . 相比于“经典模型”, 采用“量子模型”后, 饱和电流 I_{ON} 和关态电流 I_{OFF} 也都有所降低.

器件沟道中央处, 沿 y 方向, 一维反型层电子密度纵向分布如图 4 所示. YJ 时, 反型层电荷的峰值靠近栅氧和硅沟道的界面处. 另外的两种情况下, 栅氧和硅沟道的界面处反型层电荷的密度很低, 峰值出现在顶层硅膜体内. 采用“量子模型”后, 体反型 (volume inversion) 现象非常明显. 电子密度沿垂直于硅表面方向积分, 得到反型层电子电荷数. YL 时, 反型层电子电荷数最小; WL 时, 反型层电子电荷数最大. 这也解释了表 2 中不同仿真情况下, 饱和电流、关态电流和阈值电压差异的原因. 由于掺杂地平面的存在, 始于器件漏端电力线, 中止于掺杂地平面, 而不能穿透至器件源端, 因此抑制了短沟道效应, 增加了器件的阈值电压, 减少了反型层电荷.

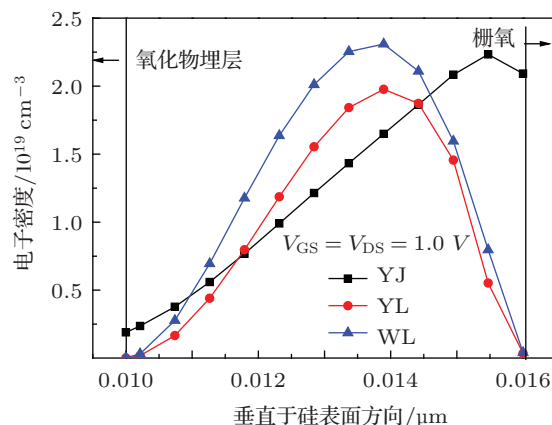


图 4 三种模拟情况下, 顶层硅膜中反型层电子密度纵向分布 (沿 y 方向)

4 单粒子瞬态效应分析

4.1 掺杂地平面和经典/量子模型对于单粒子瞬态效应的影响

重离子线性能量转移 (LET) 值为 10 和 30 MeV·cm²/mg, 在 $T = 100$ ps 时, 入射 UTB FDSOI 器件沟道中央处. 在重离子入射前, UTB FDSOI 器件处于关断状态, 即 $V_{GS} = 0$ V, $V_{DS} = 1$ V, $V_{sub} = 0$ V. 图 5 和图 6 给出了不同情况下器件漏端电流瞬态波形. 可以看到, 有/无掺杂地平面, 采用经典模型还是量子模型, 器件漏端电流瞬态波形均非常相近. 这是由于重离子入射产生大量电荷, 基本屏蔽了图 4 所示的初始电荷分布差异性. 电流瞬态波形对时间积分, 得到收集电荷. 不同模拟情况下, 收集电荷随 LET 变化关系如图 7 所示.

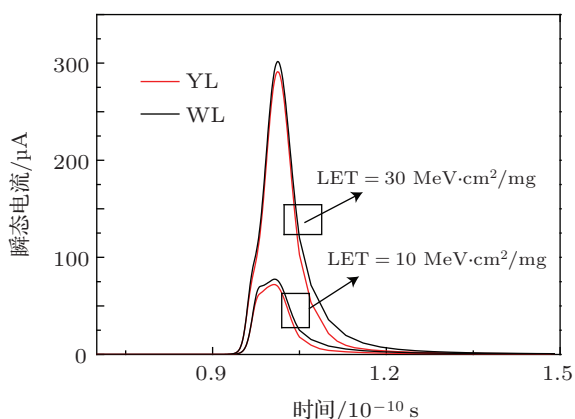


图5 采用“量子模型”,有/无掺杂地平面情况下,离子入射 UTB FDSOI 器件漏端瞬态电流

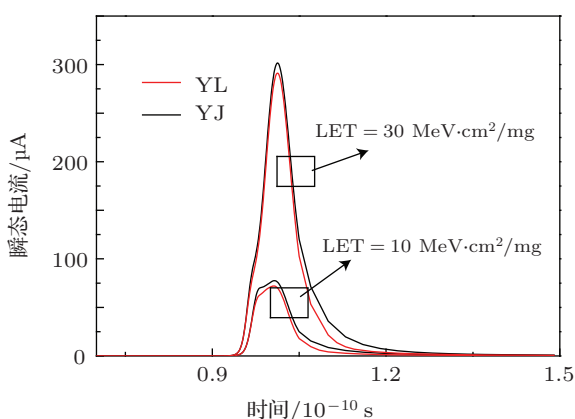


图6 有掺杂地平面,采用“量子模型”或“经典模型”,重离子入射 UTB FDSOI 器件漏端瞬态电流

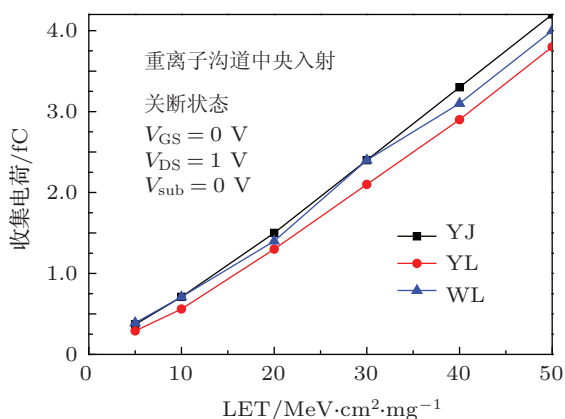


图7 不同模拟情况下收集电荷随 LET 变化关系

进一步观察图 5,较之 YL, WL 情况下,漏端电流瞬态波形峰值更高,脉冲宽度更大. 仔细分析图 6,较之 YL, YJ 情况下,漏端电流瞬态波形峰值更高,脉冲宽度更大. 这些微小的差异可能来自于不同模拟情况下体电势瞬态波动略有不同,因此使得

寄生双极放大效应产生细微差别.

4.2 重离子入射位置的影响

z 等于 $1/2$ 沟道宽度处,重离子入射沿沟道长度方向 (x 方向),从源区到漏区,漏端瞬态电流波形如图 8 所示. 在重离子入射前,UTB FDSOI 器件处于关断状态,即 $V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = 1\text{ V}$, $V_{sub} = 0\text{ V}$. 重离子 LET 值为 $10\text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$. 当重离子入射点从源区到轻掺杂漏区,瞬态电流峰值变大,瞬态电流脉冲宽度展宽. 相比于重离子入射轻掺杂漏区中央,重离子入射漏区中央时,瞬态电流峰值减小,但瞬态电流脉冲宽度展宽.

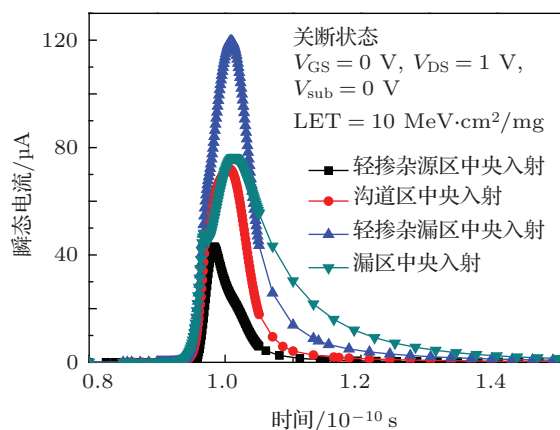


图8 z 等于 $1/2$ 沟道宽度处,重离子入射沿沟道长度方向 (x 方向),从源区到漏区的漏端瞬态电流波形

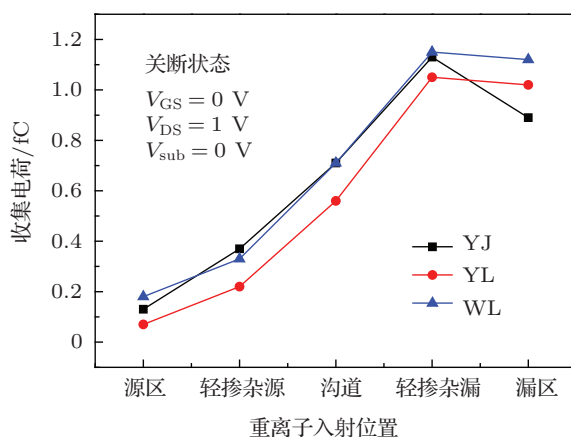


图9 不同模拟情况下收集电荷随重离子入射位置变化关系

不同模拟情况下,收集电荷随重离子入射位置变化关系如图 9 所示. 重离子入射位置从源区到轻掺杂漏区,收集电荷逐渐增加. 在所有的模拟情况下,UTB FDSOI 器件收集电荷最大值均靠近漏区. 这与之前通常认为 SOI 器件单粒子效应最敏感位

置处于沟道中央^[19,20],有明显的不同. z 等于 $1/2$ 沟道宽度处,重离子入射不同位置,沿沟道长度方向 (x 方向) 的静电势分布如图 10 所示. 在 $T = 100$ ps 时,重离子入射位置从源区到轻掺杂漏区,体区静电势逐渐抬升,而寄生双极晶体管效应由体区静电势决定. 这一重离子入射位置从源区到轻掺杂漏区体区静电势趋势与图 8 中瞬态电流、图 9 中收集电荷趋势相同. $T = 110$ ps 时,沿沟道长度方向 (x 方向) 的静电势分布如图 11 所示. 为了清楚起见,只给出了重离子入射轻掺杂漏区中央和重离子入射漏区中央这两种情况下的静电势分布图. 图 10 中 $T = 100$ ps 时,重离子入射轻掺杂漏区情况下的体区静电势明显高于重离子入射漏区情况. 因此图 8 中 $T = 100$ ps 时,重离子入射轻掺杂漏区情况下的瞬态电流明显高于重离子入射漏区情况. 但是很快当 $T = 110$ ps 时,如图 11,重离子入射漏区情况下的体区静电势高于重离子入射轻掺杂漏区情况.

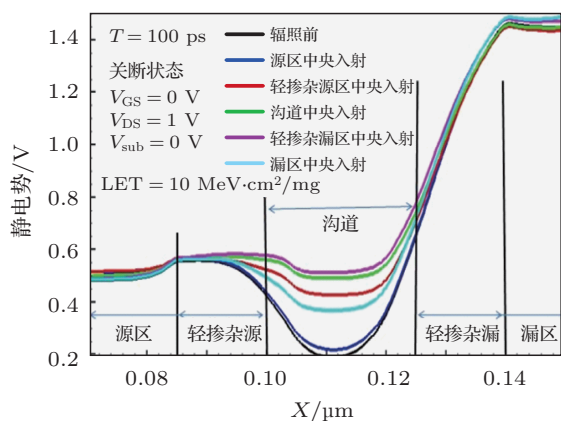


图 10 z 等于 $1/2$ 沟道宽度处, $T = 100$ ps 时,重离子入射不同位置时沿沟道长度方向 (x 方向) 的静电势分布

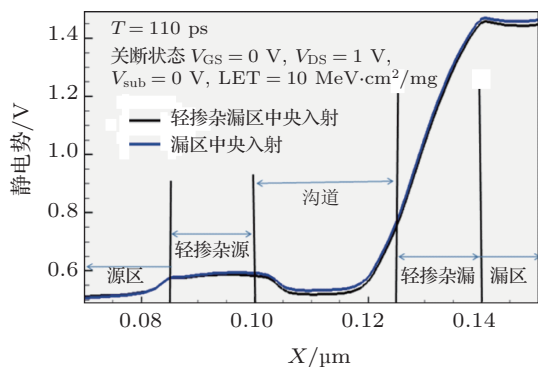


图 11 z 等于 $1/2$ 沟道宽度处, $T = 110$ ps 时,重离子入射不同位置时沿沟道长度方向 (x 方向) 的静电势分布

这也和图 8 中 $T = 110$ ps 时瞬态电流值相对变化趋势符合.

4.3 栅功函数的影响

图 12 给出了栅功函数对于阈值电压以及饱和电流/关态电流比值的影响; 图 13 给出了栅功函数对于饱和电流和关态电流的影响. 如图 12 所示, 阈值电压随栅功函数从 0.234 V 增加到 0.634 V, 饱和电流/关态电流比值从 1.1×10^4 增加到 6.3×10^8 . 图 13 中, 饱和电流随着栅功函数从 $1164 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ 减小到 $491 \mu\text{A}/\mu\text{m}$, 关态电流从 $1.2 \times 10^{-7} \text{ A}/\mu\text{m}$ 减小到 $7.8 \times 10^{-13} \text{ A}/\mu\text{m}$. 显而易见, 栅功函数对于 UTB FDSOI 器件直流参数具有强相关作用.

图 14 给出了栅功函数对于瞬态电流峰值和收集电荷的影响. 当栅功函数从 4.3 eV 变化到 4.65 eV, 瞬态电流峰值从 $564 \mu\text{A}$ 减小到 $509 \mu\text{A}$, 收集电荷从 4.57 fC 减小到 3.97 fC . 可以看到栅功函数对于 UTB FDSOI 器件单粒子瞬态效应调制小得多.

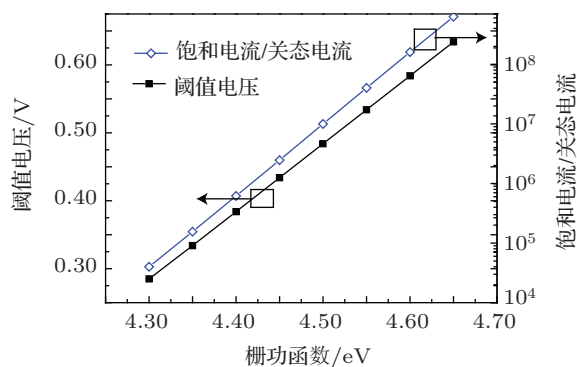


图 12 栅功函数对于阈值电压以及饱和电流/关态电流比值的影响

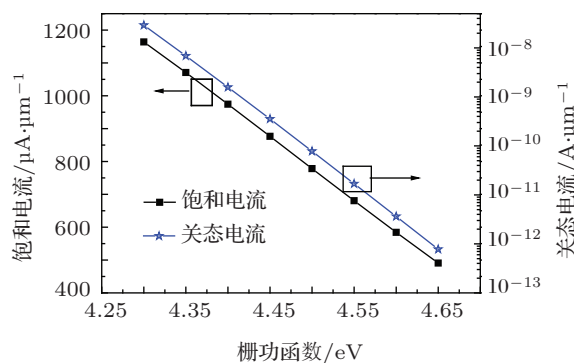


图 13 栅功函数对于饱和电流和关态电流的影响

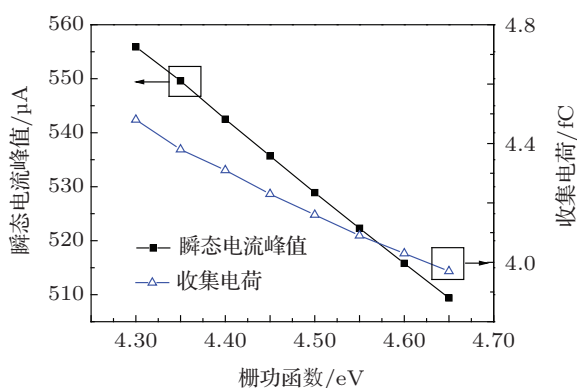


图 14 栅功函数对于瞬态电流峰值和收集电荷的影响

4.4 衬底偏置的影响

图 15—19 中, 入射重离子 LET 值为 $10 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$. 在不同衬底偏置下, 重离子入射前

后 UTB FDSOI 器件体区电子密度变化如图 15 所示. $T = 100 \text{ ps}$ 时, 重离子入射 UTB FDSOI 器件沟道中央. 重离子入射前, 在不同衬底偏置下, 体区初始电子密度分布有所差别. 重离子入射后, 体区电子密度分布及其变化趋势仍然受到衬底偏置的影响. 图 16 给出了不同衬底偏置下的 UTB FDSOI 器件单粒子瞬态电流. 图 17 中看出, UTB FDSOI 器件单粒子瞬态电流峰值与衬底偏置强相关. 衬底偏置从 0 V 变化到 -2 V 时, 单粒子瞬态电流峰值从 $72 \mu\text{A}$ 增加到 $121 \mu\text{A}$, 但是脉冲宽度却略有减少, 因此总的收集电荷几乎相同, 在 0.56 fC — 0.58 fC 之间. $T = 100 \text{ ps}$ 时, 沿 x 轴 $0.14 \mu\text{m}$ — $0.2 \mu\text{m}$ 漏区 y 方向的电场分布如图 18 所示. 衬底偏置决定了 UTB FDSOI 漏区电场分布, 从而影响单粒子瞬态电流峰值.

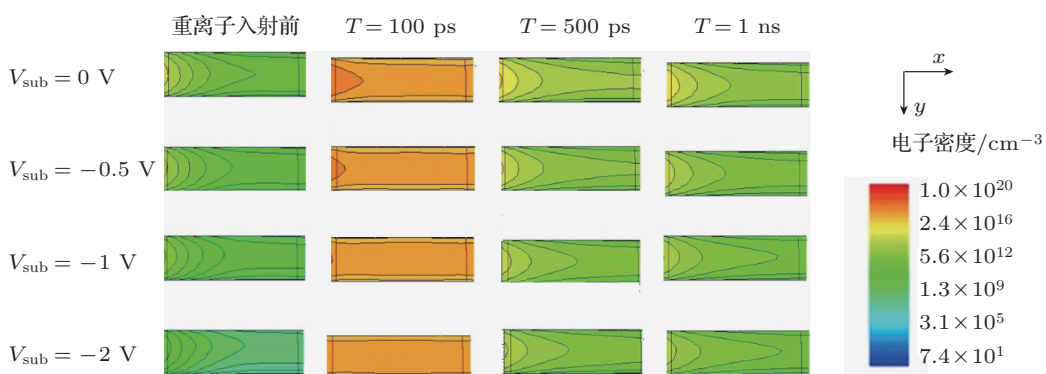


图 15 在不同衬底偏置下, LET 值为 $10 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ 的重离子入射前后 UTB FDSOI 器件体区电子密度变化

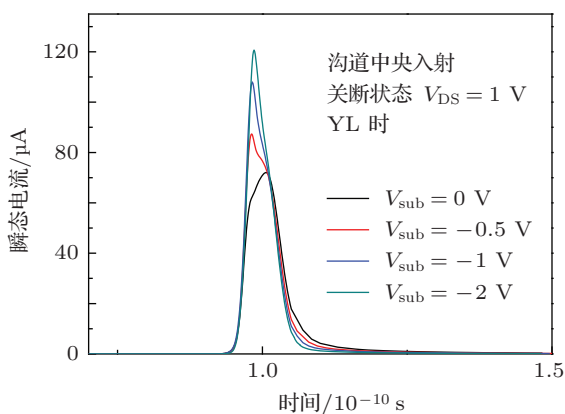


图 16 在不同衬底偏置下 UTB FDSOI 器件单粒子瞬态电流

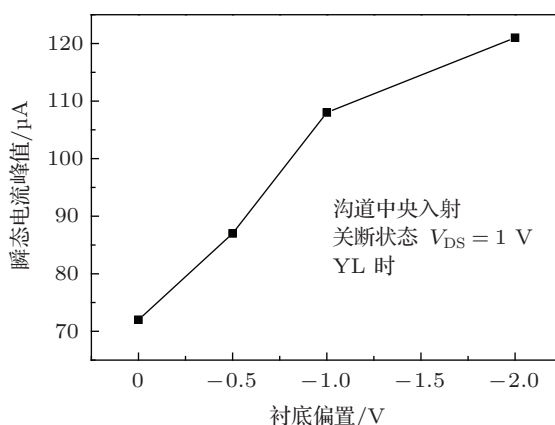


图 17 UTB FDSOI 器件单粒子瞬态电流峰值与衬底偏置关系曲线

重离子入射产生电荷受到漂移、扩散和复合三种物理机制的影响. 对于半导体器件而言, 离子入射最敏感区域通常是反向偏置的 pn 结. 在 pn 结

耗尽区电场的直接作用下, 漂移电荷组分产生皮秒量级的瞬时上升电流. 图 16 中的单粒子瞬态电流峰值也是由漂移电荷决定. 漂移 - 扩散电流密度方

程如表达式 (3) 和 (4) 所示, 可以看出, 瞬时上升电流与电场 $|E|$ 强相关. 图 18 中, UTB FDSOI 漏区电场分布由衬底偏置决定.

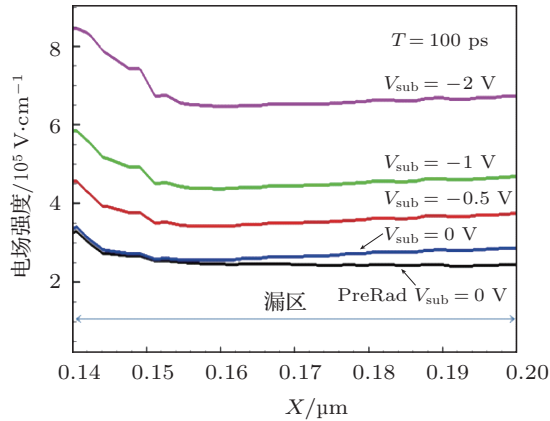


图 18 $T = 100$ ps 时不同衬底偏置下 UTB FDSOI 漏区电场分布

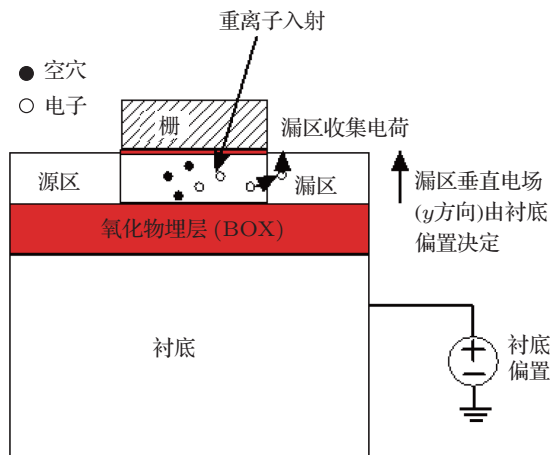


图 19 物理机制解释

$$J_n = (J_n)_{\text{Drf}} + (J_n)_{\text{Dif}} = (n_0 + \Delta n)q\mu_n|E| + qD_n \frac{d\Delta n}{dx}, \quad (3)$$

$$J_p = (J_p)_{\text{Drf}} + (J_p)_{\text{Dif}} = (p_0 + \Delta p)q\mu_p|E| - qD_p \frac{d\Delta p}{dx}, \quad (4)$$

J_n 和 J_p 分别是电子电流密度和空穴电流密度, $(J_n)_{\text{Drf}}$ 和 $(J_n)_{\text{Dif}}$ 分别是电子电流密度的漂移组分和扩散组分, $(J_p)_{\text{Drf}}$ 和 $(J_p)_{\text{Dif}}$ 分别是空穴电流密度的漂移组分和扩散组分, n_0 是平衡态电子密度, p_0 是平衡态空穴密度, Δn 是过剩电子密度, Δp 是过剩空穴密度, q 为电子电荷, μ_n 和 μ_p 分别为电子迁移率和空穴迁移率, $|E|$ 是电场强度, D_n 和 D_p 分别为电子扩散系数和空穴扩散系数.

5 结论

掺杂地平面技术、量子效应和栅功函数对于 22 nm UTB FDSOI 器件直流常规器件参数影响很大, 但是对于单粒子瞬态效应影响很小. 重离子入射产生大量电荷, 屏蔽了初始电荷分布差异性. 单粒子瞬态效应以及收集电荷和重离子入射位置强相关, 超薄体全耗尽绝缘体上硅最敏感的区域靠近漏端. 衬底偏置电压决定了 UTB FDSOI 器件漏区电场, 而收集重离子产生电荷被漏区电场加速, 因此单粒子瞬态电流峰值被衬底偏置电压强烈调制. 由于重离子淀积电荷数量没有变化, 所以收集电荷与衬底偏置电压弱相关.

- [1] Bi J S, Hai C H, Han Z S 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 018501 (in Chinese) [毕津顺, 海潮和, 韩郑生 2011 物理学报 **60** 018501]
- [2] Zhuo Q Q, Liu H X, Yang Z N, Cai H M, Hao Y 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 220702 (in Chinese) [卓青青, 刘红侠, 杨兆年, 蔡惠民, 郝跃 2012 物理学报 **61** 220702]
- [3] ITRS 2011 *The International Technology Roadmap for Semiconductors—ITRS* (2011 Ed.) Available at <http://www.itrs.net>.
- [4] Tsuchiya T, Sato Y, Tomizawa M 1998 *IEEE Trans. Electr. Dev.* **45** 5
- [5] Choi Y K, Asano K, Lindert N, Subramaniam V, King T J, Bokor J, Hu C 2000 *IEEE Electr. Dev. Lett.* **21** 5
- [6] Vandooren A, Jovanovic D, Egly S, Sadd M, Nguyen B Y, White B, Orlowski M, Mogab J 2002 *Proceedings of IEEE SOI Conference* Virginia, USA, October 7–10, 2002 p205
- [7] Li X J, Liu C M, Sun Z L, Lan M J, Xiao L Y, He S Y 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 058502 (in Chinese) [李兴冀, 刘超铭, 孙中亮, 兰慕杰, 肖立伊, 何世禹 2013 物理学报 **62** 058502]
- [8] Zhang J X, Guo H X, Guo Q, Wen L, Cui J W, Xi S B, Wang X, Deng W 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 048501 (in Chinese) [张晋新, 郭红霞, 郭旗, 文林, 崔江维, 席善斌, 王信, 邓伟 2013 物理学报 **62** 048501]
- [9] Massengill L W, Bhuva B L, Holman W T, Alles M L, Loveless T D 2012 *Proceedings of IEEE International Reliability Physics Symposium* California, USA, April 15–19, 2012 p3C1. 1
- [10] Alles M L, Schrimpf R D, Reed R A, Massengill L W, Weller R A, Mendenhall M H 2011 *Proceedings of IEEE SOI Conference* Arizona, USA, October 3–6, 2011 p223
- [11] Ferlet-Cavrois V, Paillet P, McMorow D, Melinger J S, Campbell A B, Gaillardin M, Faynot O, Thomas O 2005 *Proceedings of Radiation Effects on Components and Systems* Cap D'Agde, France, September 19–23, 2005 pC22-1
- [12] Musseau O, Ferlet-Cavrois V, Pelloie J L, Buchner S, McMorow D, Campbell A B 2000 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **47** 6
- [13] Castellani-Coulié K, Munteanu D, Autran J L, Ferlet-Cavrois V, Paillet

- P, Baggio J 2005 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52** 5
- [14] Munteanu D, Aufran J L 2009 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **56** 4
- [15] El-Mamouni F, Zhang E X, Ball D R, Sierawski B, King M P, Schrimpf R D, Reed R A, Alles M L, Fleetwood D M, Linten D M, Simoen E, Vizkelethy G 2012 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **59** 6
- [16] Qin J R, Chen S M, Li D W, Liang B, Liu B W 2012 *Chin. Phys. B* **21** 089401
- [17] Kim S S, Choe T H, Rhee H S, Bae G J, Lee K W, Lee N I, Fujihara K, Kang K K, Moon J Y 2000 *Proceedings of IEEE SOI Conference* Massachusetts, USA, October 2–5, 2011 p74
- [18] Fenouillet-Beranger C, Perreau P, Boulenc P, Tosti L, Barnola S, Andrieu F, Weber O, Beneyton R, Perrot C, Buttet C, Abbate F, Bourdelle K K, Nguyen B Y, Boedt F, Poiroux T, Faynot O, Skotnicki T, Boeuf F 2011 *Proceedings of Solid-State Device Research Conference* Helsinki, Finland, September 12–16, 2011 p111
- [19] Fan Z H, Bi J S, Luo J J, Han Z S 2010 *Proceedings 10th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT)* Shanghai, China November 1–4, 2010 p1847
- [20] Hirose K, Saito H, Kuroda Y, Ishii S, Fukuoka Y, Takahashi D 2002 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **49** 6

Numerical simulation of single-event-transient effects on ultra-thin-body fully-depleted silicon-on-insulator transistor based on 22 nm process node*

Bi Jin-Shun[†] Liu Gang Luo Jia-Jun Han Zheng-Sheng

(*Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*)

(Received 22 May 2013; revised manuscript received 17 July 2013)

Abstract

Single-event-transient response of 22-nm technology ultra-thin-body fully-depleted silicon-on-insulator transistor is examined by technology computer-aided design numerical simulation. The influences of ground plane doping, heavy ion injection location, gate work function and substrate bias on single-event-transient characteristic are systematically studied and analyzed. Simulation results show that the influences of ground plane doping and quantum effects on single-event-transient (SET) are relatively small. The SET characteristics and collected charge are strike-location sensitive. The most SET-sensitive region in ultra-thin-body fully-depleted silicon-on-insulator transistor is located near the drain region. When gate work function varies from 4.3 eV to 4.65 eV, the transient current peak is reduced from 564 μA to 509 μA and the collected charge decreases from 4.57 fC to 3.97 fC. The transient current peak is strongly affected by substrate bias. In contrast, the total collected charge depends only weakly on substrate bias.

Keywords: ultra-thin-body fully-depleted silicon-on-insulator, single-event-transient, charge collection, numerical simulation

PACS: 85.30.Tv, 61.80.Ed, 94.05.Dd

DOI: 10.7498/aps.62.208501

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11179003, 61176095).

[†] Corresponding author. E-mail: bijinshun@ime.ac.cn