

电离辐射对部分耗尽绝缘体上硅器件低频噪声特性的影响

刘远 陈海波 何玉娟 王信 岳龙 恩云飞 刘默寒

Radiation effects on the low frequency noise in partially depleted silicon on insulator transistors

Liu Yuan Chen Hai-Bo He Yu-Juan Wang Xin Yue Long En Yun-Fei Liu Mo-Han

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 078501 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.078501

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.078501>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I7>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

电荷失配对 SiC 半超结垂直双扩散金属氧化物半导体场效应管击穿电压的影响

Influence of charge imbalance on breakdown voltage of 4H-SiC semi-superjunction VDMOSFET

物理学报.2014, 63(20): 208501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.208501>

溶胶凝胶法制备高性能铟铝氧化物作为绝缘层的薄膜晶体管

Solution-processed high performance HIZO thin film transistor with AZO gate dielectric

物理学报.2014, 63(11): 118502 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.118502>

非晶铟锌氧化物薄膜晶体管的低频噪声特性与分析

Analysis of low-frequency noise in the amorphous indium zinc oxide thin film transistors

物理学报.2014, 63(9): 098503 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.098503>

源漏电极的制备对氧化物薄膜晶体管性能的影响

Effect of source/drain preparation on the performance of oxide thin-film transistors

物理学报.2014, 63(3): 038501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.038501>

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

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

物理学报.2013, 62(20): 208501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.208501>

电离辐射对部分耗尽绝缘体上硅器件低频噪声特性的影响*

刘远^{1)†} 陈海波²⁾ 何玉娟¹⁾ 王信³⁾ 岳龙¹⁾ 恩云飞¹⁾ 刘默寒³⁾

1)(工业和信息化部电子第五研究所, 电子元器件可靠性物理及其应用技术国家重点实验室, 广州 510610)

2)(中国电子科技集团公司第五十八研究所, 无锡 214035)

3)(中国科学院新疆理化技术研究所, 乌鲁木齐 830011)

(2014年9月23日收到; 2014年11月9日收到修改稿)

本文针对辐射前后部分耗尽结构绝缘体上硅(SOI)器件的电学特性与低频噪声特性开展试验研究. 受辐射诱生埋氧化层固定电荷与界面态的影响, 当辐射总剂量达到1 M rad(Si) (1 rad = 10^{-2} Gy)条件下, SOI器件背栅阈值电压从44.72 V减小至12.88 V、表面电子有效迁移率从 $473.7 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 降低至 $419.8 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、亚阈斜率从2.47 V/dec增加至3.93 V/dec; 基于辐射前后亚阈斜率及阈值电压的变化, 可提取得到辐射诱生界面态与氧化层固定电荷密度分别为 $5.33 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 与 $2.36 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$. 受辐射在埋氧化层-硅界面处诱生边界陷阱、氧化层固定电荷与界面态的影响, 辐射后埋氧化层-硅界面处电子被陷阱俘获/释放的行为加剧, 造成SOI器件背栅平带电压噪声功率谱密度由 $7 \times 10^{-10} \text{ V}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$ 增加至 $1.8 \times 10^{-9} \text{ V}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$; 基于载流子数随机涨落模型可提取得到辐射前后SOI器件埋氧化层界面附近缺陷态密度之和约为 $1.42 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}\cdot\text{eV}^{-1}$ 和 $3.66 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}\cdot\text{eV}^{-1}$. 考虑隧穿削弱因子、隧穿距离与时间常数之间关系, 本文计算得到辐射前后埋氧化层内陷阱电荷密度随空间分布的变化.

关键词: 绝缘体上硅, 部分耗尽, 电离辐射, 低频噪声

PACS: 85.30.Tv, 73.40.Qv, 85.40.Qx, 61.80.Ed

DOI: 10.7498/aps.64.078501

1 引言

绝缘体上硅(silicon on insulator, SOI) CMOS器件具有功耗低、抗干扰能力强、集成度高、速度快、工艺简单等优点, 其还彻底消除了体硅器件所存在的寄生闩锁效应, 因而在空间等极端环境中取得广泛应用^[1]. 由于SOI CMOS器件的沟道与衬底之间存在埋氧化层, 其抗总剂量电离辐射性能较差; 电离辐射将诱使器件背栅阈值电压减小、电学性能退化乃至失效^[2].

低频噪声指半导体器件中功率谱密度与频率成反比的随机涨落现象, 其可敏感地反映半导体材

料与器件的潜在缺陷^[3,4]. 基于低频噪声测量, 可分析材料界面处边界陷阱、界面态与氧化层固定电荷的能量及空间分布^[5,6], 表征半导体器件在各种外加应力作用下的退化过程. 作为一种非破坏性的可靠性表征方法, 低频噪声测量已广泛用于BJT, MOS, GaN, TFT、半导体激光器等器件的考核、评价与无损筛选中^[7,8].

目前, 国内外针对SOI CMOS器件在辐射环境下的电学性能退化展开大量试验与理论研究, 讨论辐射期间电学偏置、器件制备工艺、结构尺寸等对其抗辐射性能的影响^[9-11]; 但针对辐射前后SOI CMOS器件低频噪声特性变化的研究较少^[12,13], 因而有必要开展电离辐射与SOI CMOS器件低频

* 国家自然科学基金(批准号: 61204112, 61204116)、中国博士后科学基金(批准号: 2012M521628)和SOI研发中心基金(批准号: 62401110320)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: liuyuan@ceprei.com

噪声相关性的研究,为SOI CMOS器件抗辐射加固、无损评价与筛选等提供一种新型方法.

本文针对部分耗尽SOI器件的总剂量电离辐射效应开展试验研究,分析其转移特性与低频噪声特性在辐射前后的变化,研究电离辐射对器件背栅沟道电流噪声功率谱密度的影响,提取辐射前后SOI器件埋氧化层内陷阱电荷密度及其随空间分布的变化.

2 器件结构与试验参数

2.1 器件结构与参数

本文所用样品为部分耗尽结构SOI NMOS器件,前栅氧化层厚度 t_{ox} 为17.5 nm,埋氧化层厚度 t_{box} 为375 nm,有源层硅膜厚度 t_{si} 为205 nm;可计算得到器件前栅单位面积氧化层电容 C_{ox} 为 1.97×10^{-7} F/cm²,埋氧化层单位面积电容 C_{box} 为 9.2×10^{-9} F/cm².试验所用器件宽长比(W/L)为 $8 \mu\text{m}/8 \mu\text{m}$.

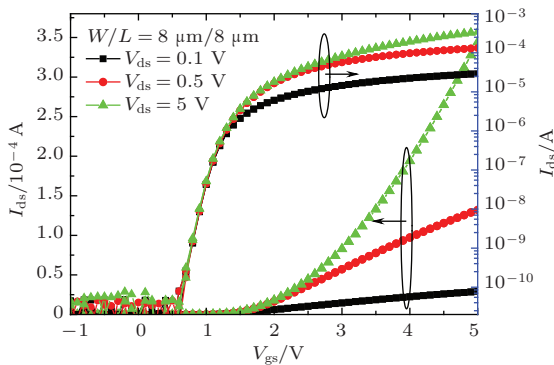


图1 (网刊彩色) SOI器件前栅转移特性曲线

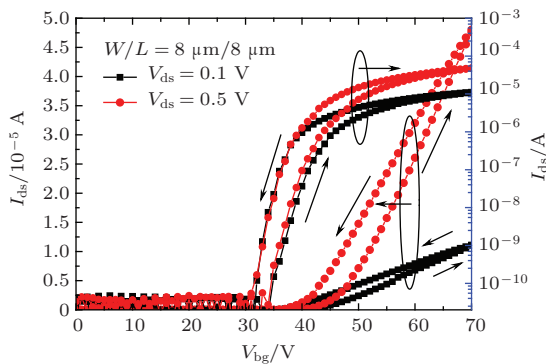


图2 (网刊彩色) SOI器件背栅转移特性曲线

SOI器件在前栅与背栅分别作用下的转移特性曲线如图1和图2所示.由图1,图2可知:器件前栅转移特性曲线的电滞回线相符合,表明器件前

栅氧化层质量较好,内部缺陷较少;而器件背栅转移特性曲线的电滞回线间存在一定漂移,表明器件背栅氧化层质量较差,内部存在较多电荷与缺陷.

基于所测量得到SOI器件的前、背栅转移特性曲线,采用线性外推法可提取得到器件前、背栅阈值电压分别为1.23 V和44.72 V;基于SOI器件的线性区工作特性,可提取得到器件前、背栅表面电子有效迁移率分别为 $391.2 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 和 $473.7 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$;SOI器件前、背栅亚阈斜率分别为0.16 V/dec和2.47 V/dec.

2.2 低频噪声测量系统

SOI器件低频噪声测量系统如图3所示.系统采用半导体参数测试仪Keithley 4200的SMU单元监控器件电学参数的变化,采用Agilent 35670频谱分析仪测量器件沟道电流的噪声功率谱密度,采用Agilent 4725A构建噪声测量系统的滤波与低频噪声放大单元.

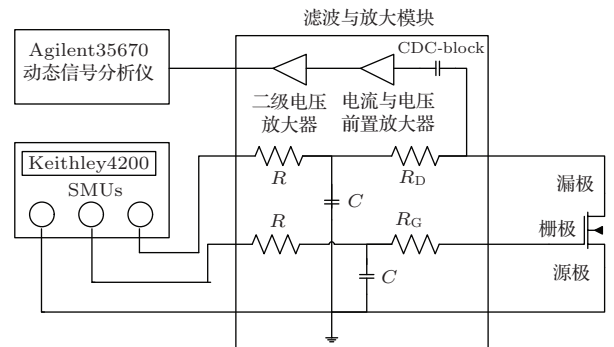


图3 SOI器件的低频噪声测量系统

2.3 辐射试验参数

SOI器件的电离辐射试验在中科院新疆理化所的 Co^{60} γ 射线辐射试验源进行.辐射试验剂量率为 $87.85 \text{ rad}(\text{Si})/\text{s}$;按照文献[14]报道的SOI器件辐射最劣偏置条件,本试验在辐射期间采用传输门(TG)偏置,即源和漏端接电源,而栅、体和背栅接地;辐射前后电学特性采用Keithley 4200测量得到,所有 I - V 与噪声测试在试验结束后1 h内完成.

3 电离辐射对SOI器件 I - V 特性的影响

辐射前后SOI器件前、背栅转移特性曲线的变化如图4,图5所示.

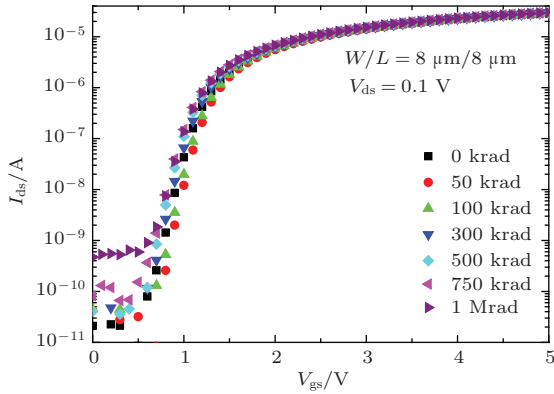


图4 (网刊彩色) SOI 器件前栅转移特性曲线随总剂量的变化

相较于ON偏置(前栅接电源电压)^[14], TG偏置下SOI器件前栅接地,因而前栅氧化层内电场强度较小,这使得辐射在前栅氧化层内诱生的电子-空穴对初期复合较多^[2,14];由于前栅氧化层较薄且辐射诱生空穴并未在电场作用下向硅-二氧化硅界面处漂移,故此电离辐射诱生前栅氧化层固定电荷与界面态均较少.由图4可知,在1 M rad(Si)总剂量电离辐照后,SOI器件前栅转移特性曲线负向漂移较少,阈值电压变化量不足0.1 V,这表明辐射诱使SOI器件前栅阈值电压减小已不再是器件辐射失效的主要模式.此外,受辐射诱生场氧化层固定电荷与寄生晶体管开启等效效应的影响,SOI器件在辐射后关态电流明显增加,这将使得器件电流开关比降低、功耗变大.

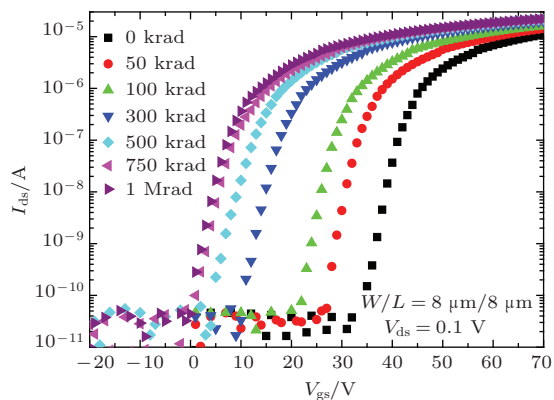


图5 (网刊彩色) SOI 器件背栅转移特性曲线随总剂量的变化

相较于OFF偏置(源接地)^[14],SOI器件在TG偏置作用下源端接电源电压,因而源端附近埋氧化层内电场强度较大,辐射在源端附近埋氧化层内部诱生的电子-空穴对将大部分逃过初期复合过程^[2,14],这使得辐射诱生理氧化层固定电荷较多;此外,由于SOI器件埋氧化层较厚(约375 nm),因

此器件阈值电压随总剂量增加而显著减小,器件转移特性曲线明显呈负向漂移.基于SOI器件的背栅转移特性曲线,可提取得到SOI器件背栅阈值电压、表面电子迁移率和亚阈斜率随总剂量的变化趋势,如图6所示.

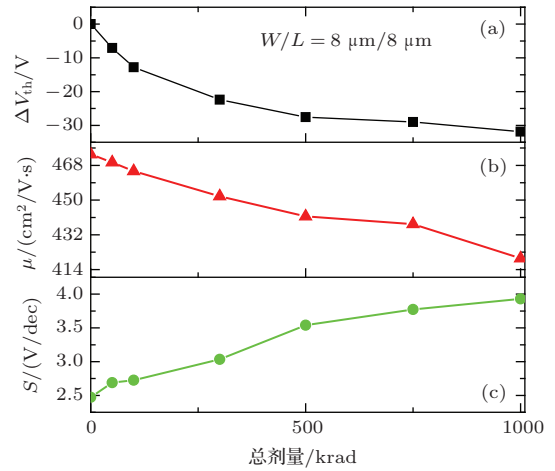


图6 SOI 器件背栅阈值电压、电子迁移率与亚阈斜率随总剂量的变化

由图6(a)可知,随着辐射总剂量的增加,辐射诱生理氧化层固定电荷将使得SOI器件背栅阈值电压迅速较小;但当总剂量达到一定数值后(约500 k rad(Si)),埋氧化层内部靠近SiO₂/Si界面处的大部分中立陷阱已被空穴填充,因而阈值电压随总剂量的变化呈饱和趋势^[14].

由图6(b)可知,随着总剂量的增加,辐射将在埋氧化层-硅界面处诱生界面态,这将使得表面处载流子散射加剧,漂移速度下降,并造成背栅氧化层-硅界面处电子有效迁移率降低.此外,辐射诱生界面态还将使得SOI器件亚阈特性退化、亚阈斜率随之增加,如图6(c)所示.

由于亚阈斜率变化主要受辐射诱生界面态的影响,亚阈斜率变化值 ΔS 与界面态密度变化值之间关系为

$$\Delta S = 2.3V_t \cdot \frac{q\Delta D_{it}}{C_{box}}, \quad (1)$$

式中 ΔD_{it} 为界面态密度随辐射的变化($\text{cm}^{-2}\cdot\text{eV}^{-1}$), V_t 为热电势.基于(1)式可提取辐射后背栅界面附近缺陷态密度的变化;由于体电势 ϕ_t 约为0.38 V,故可计算获得背栅界面态密度的变化值 $\Delta N_{it}(\text{cm}^{-2})$ ^[6],如图7所示.

由于背栅阈值电压变化值 ΔV_{th} 同时受到辐射诱生理氧化层固定电荷与界面态的影响,三者之间关系可表征为

$$\Delta V_{th} = - \left| \frac{qN_{ox}}{C_{box}} \right| + \left| \frac{qN_{it}}{C_{box}} \right|, \quad (2)$$

式中 ΔN_{ox} 为氧化层固定电荷密度 (cm^{-2}) 随辐射的变化; 将所计算得到背栅阈值电压与界面态密度的变化值代入 (2) 式后即可求得氧化层固定电荷密度 (cm^{-2}) 随总剂量的变化, 如图 7 所示.

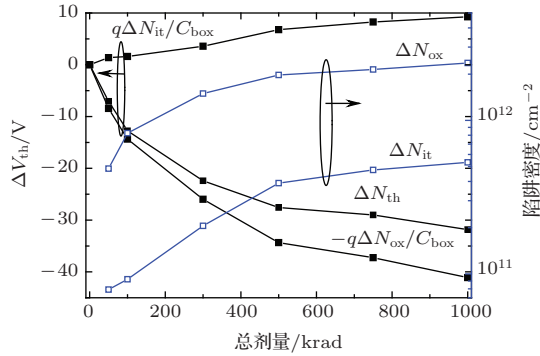


图 7 背栅氧化层固定电荷与界面态密度随总剂量的变化

基于上述试验结果与分析可知, SOI 器件在总剂量辐照下的电学性能退化主要体现为背栅阈值电压、表面电子迁移率等参数的退化; 基于亚阈斜率和阈值电压退化量可提取得到界面态密度与氧化层固定电荷密度随总剂量的变化. 随后, 将采用低频噪声这种新型表征方法对辐射前后埋氧化层内陷阱电荷密度及其空间分布展开进一步的参数提取与特征分析.

4 电离辐射对 SOI 器件低频噪声特性的影响

在背栅作用下, 辐射前后 SOI 器件的低频噪声特性 (沟道电流归一化噪声功率谱密度随频率的变化) 如图 8, 图 9 所示.

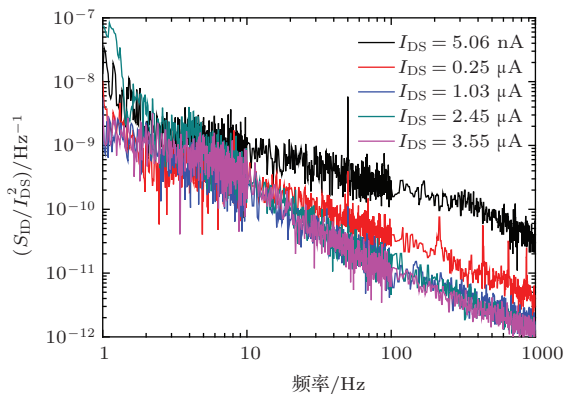


图 8 (网刊彩色) 辐射前 SOI 器件的沟道电流归一化噪声功率谱密度

由图 8, 图 9 可知, SOI 器件沟道电流 I_D 涨落的功率谱密度 S_{ID} 随频率的变化遵循 $1/f$ 的变化规律, 满足经典的低频噪声理论. 基于 McWhorter 模型, 半导体器件的 $1/f$ 噪声主要由载流子数随机涨落机理所引起, 器件沟道电流归一化噪声功率谱密度 S_{ID}/I_D^2 可近似表征为 [3,15]

$$S_{ID}/I_D^2 = \frac{k^*q}{fWLC_{ox}^2 (V_{gs} - V_{th})^2}, \quad (3)$$

式中, f 为频率, C_{ox} 为单位面积的栅氧化层电容, k^* 因子取决于埋氧化层-硅界面附近缺陷俘获和释放载流子等效应, $V_{gs} - V_{th}$ 为过驱动电压.

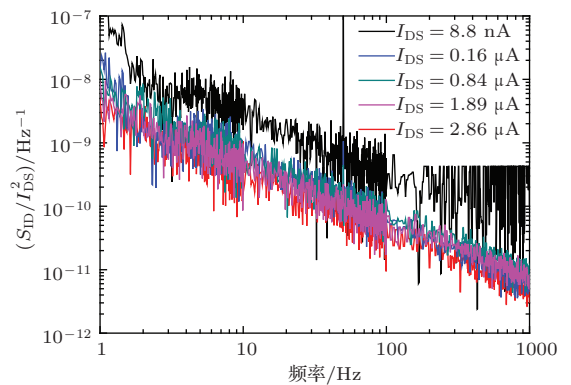


图 9 (网刊彩色) 辐射后 SOI 器件的沟道电流归一化噪声功率谱密度

观察图 8, 图 9 可知, 辐射后 SOI 器件的低频噪声幅值较辐射前有明显增加, 这是由于辐射诱生界面态、边界陷阱和埋氧化层陷阱电荷共同作用所引起的. 随着辐射后上述电荷数目的增加, 硅与埋氧化层内电荷通过隧穿机理引起的交互行为将加剧, 这将使得 (1) 式中 k^* 因子增加, 归一化噪声功率谱密度变大.

为进一步描述埋氧化层陷阱电荷、界面陷阱、边界陷阱等电荷随总剂量的变化, 有必要从平带电压噪声功率谱密度 $S_{V_{fb}}$ 出发, 提取器件界面附近陷阱电荷与缺陷等参数及其随空间的分布.

基于载流子数随机涨落模型, SOI 器件的沟道电流归一化噪声功率谱密度 S_{ID}/I_{DS}^2 与背栅平带电压噪声功率谱密度之间关系为 [15-17]

$$\frac{S_{ID}}{I_{DS}^2} = \left(\frac{g_m}{I_{DS}} \right)^2 S_{V_{fb}}, \quad (4)$$

式中 $S_{V_{fb}}$ 为背栅平带电压噪声功率谱密度, 其与器件沟道电流、频率等无关, 仅取决于器件界面附近陷阱电荷与结构尺寸等参数; g_m 为器件跨导.

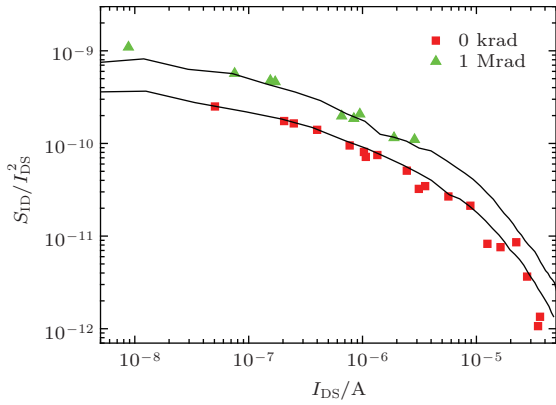


图10 辐射前后沟道电流噪声功率谱密度随沟道电流的变化 ($f = 25 \text{ Hz}$, 点: 测量值; 实线: 拟合值)

频率为 25 Hz 时, 器件 S_{ID}/I_{DS}^2 随沟道电流的变化如图 10 所示. 基于 (4) 式, 可从图 10 中提取并拟合得到辐射前后 SOI 器件的 $S_{V_{fb}}$ 分别为 $7 \times 10^{-10} \text{ V}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ 与 $1.8 \times 10^{-9} \text{ V}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$. 由文献 [15—17] 可知, SOI 器件埋氧化层附近缺陷密度 N_t 与 $S_{V_{fb}}$ 之间关系可近似为

$$N_t = \frac{WLC_{ox}^2 f}{q^2 k T \lambda} S_{V_{fb}}, \quad (5)$$

式中, λ 为电子波函数在绝缘层内的隧穿削弱因子, 在 SiO_2 内通常为 0.1 nm . 基于 (5) 式, 可提取得到辐射前后 SOI 器件埋氧化层附近缺陷密度 (包含边界陷阱、界面态与氧化层陷阱电荷) 约为 $1.42 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{eV}^{-1}$ 和 $3.66 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{eV}^{-1}$, 这表明 SOI 器件埋氧化层界面附近缺陷将随总剂量的增加而增加, 并进一步验证了上文转移特性曲线分析的相关结果.

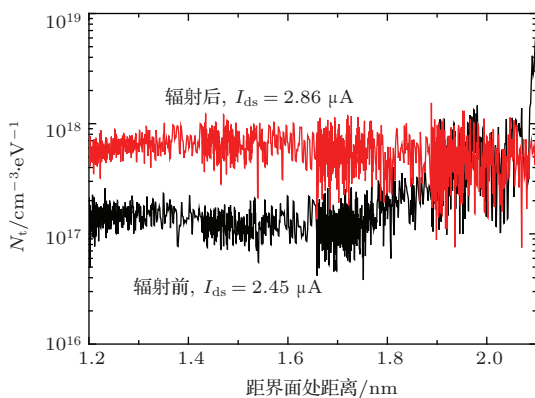


图11 辐射前后埋氧化层内陷阱电荷密度随空间的分布

基于电荷隧穿机理, 沟道反型层内电荷与埋氧化层内陷阱电荷的交互将主导 SOI 器件的低频噪声. 由于电荷在氧化层内的隧穿距离受时间常数 τ 的影响, 而 $\tau = 1/(2\pi f)$, 因而电荷在埋氧化层内的

隧穿距离与频率之间关系为 [5,17,18]

$$\frac{1}{2\pi f} = \tau_0 \exp(\alpha_t x), \quad (6)$$

式中, τ_0 为氧化层界面附近电荷隧穿 (小于 5 nm) 的时间常数, 通常为 10^{-10} s ; 而 x 为陷阱电荷距二氧化硅-硅界面的距离 (深度). 由 (6) 式可知, 电荷的隧穿能力与其距离界面的距离呈 E 指数减小.

基于 (5), (6) 式, 并结合图 8、图 9, 可提取得到辐射前后埋氧化层内部陷阱电荷密度随空间的变化. 由图 11 可知, 辐射后埋氧化层内部陷阱电荷密度明显增加, 这与辐射诱生理氧化层固定电荷等理论相符合. 基于低频噪声的电学表征方法, 可定量描述辐射后氧化层固定电荷的变化, 为抗辐射加固工艺的评价、考核与筛选提供一种新型的无损电学表征方法.

5 结 论

本文针对 SOI 器件辐射前后电学特性与低频噪声特性的变化展开试验研究. 由试验结果可知, 受辐射诱生理氧化层固定电荷的影响, SOI 器件阈值电压减小、表面电子有效迁移率降低、亚阈斜率变大, 沟道电流归一化噪声功率谱密度幅值增加. 本文针对辐射前后低频噪声特性变化进行理论研究, 并提取界面附近缺陷密度的变化. 最后, 基于电荷隧穿模型提取辐射前后埋氧化层内陷阱电荷随空间的分布. 本文的相关研究成果可应用于 SOI 抗辐射加固工艺的评价与考核、可靠器件的无损筛选与表征中.

参考文献

- [1] Schwank J R, Ferlet-Cavrois V, Shaneyfelt M R, Paillet P, Dodd P E 2003 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **50** 522
- [2] Barnaby H J 2006 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **53** 3103
- [3] Simoen E, Mercha A, Claeys C, Lukyanchikova N 2007 *Solid-State Electron.* **51** 16
- [4] Jevtic M M 1995 *Microelectron. Reliab.* **35** 455
- [5] Jayarman R, Sodini C G 1989 *IEEE Trans. Electron. Dev.* **36** 1773
- [6] Fleetwood D M, Shaneyfelt M R, Schwank J R 1994 *Appl. Phys. Lett.* **64** 1965
- [7] Sun P, Du L, He L, Chen W H, Liu Y D, Zhao Y 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 127808 (in Chinese) [孙鹏, 杜磊, 何亮, 陈文豪, 刘玉栋, 赵瑛 2012 物理学报 **61** 127808]
- [8] Liu Y, Wu W J, Li B, En Y F, Wang L, Liu Y R 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 098503 (in Chinese) [刘远, 吴为敬, 李斌, 恩云飞, 王磊, 刘玉荣 2014 物理学报 **63** 098503]

- [9] Zhang B Q, Zheng Z S, Yu F, Ning J, Tang H M, Yang Z A 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 117303 (in Chinese) [张百强, 郑中山, 于芳, 宁瑾, 唐海马, 杨志安 2013 物理学报 **62** 117303]
- [10] Peng C, Hu Z Y, Ning B X, Huang H X, Zhang Z X, Bi D W, En Y F, Zou S C 2014 *IEEE Electron. Dev. Lett.* **35** 503
- [11] Huang H X, Bi D W, Chen M, Zhang Z X, Wei X, Hu Z Y, Zhang Z X 2014 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **61** 1400
- [12] Xiong H D, Fleetwood D M, Felix J A, Gusev E P, Emic C D 2003 *Appl. Phys. Lett.* **83** 5232
- [13] Xiong H D, Jun B, Fleetwood D M, Schrimpf R D, Schwank 2004 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **51** 3238
- [14] Ferlet-Cavrois V, Colladant T, Paillet P, Leray J L, Musseau O, Schwank J R, Shaneyfelt M R, Pelloie J L, de Poncharra J D 2000 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **47** 2183
- [15] Jomaah J, Balestra 2004 *IEE Proc. Circuits Devices Syst.* **151** 111
- [16] Liu Y, Wu W J, En Y F, Wang L, Lei Z F, Wang X H 2014 *IEEE Electron. Dev. Lett.* **35** 369
- [17] Ioannidis E G, Tsormpatzoglou A, Tassis D H, Dimitriadis C A, Templier F, Kamarinos G 2010 *J. Applied Phys.* **108** 106103
- [18] Rahal M, Lee M, Burdett A P 2002 *IEEE Trans. Electron. Dev.* **49** 319

Radiation effects on the low frequency noise in partially depleted silicon on insulator transistors*

Liu Yuan^{1)†} Chen Hai-Bo²⁾ He Yu-Juan¹⁾ Wang Xin³⁾ Yue Long¹⁾
En Yun-Fei¹⁾ Liu Mo-Han³⁾

1) (Science and Technology on Reliability Physics and Application of Electronic Component Laboratory, CEPREI, Guangzhou 510610, China)

2) (No.58th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Wuxi 214035, China)

3) (Xinjiang Technical Institute of Physics & Chemistry of CAS, Urumqi 830011, China)

(Received 23 September 2014; revised manuscript received 9 November 2014)

Abstract

The transfer characteristics and low-frequency noise behavior of partially depleted silicon on insulator n-channel metal-oxide-semiconductor transistors after γ -ray irradiation up to a total dose of 1M rad (Si) have been investigated in this paper. Due to the radiation-induced positive buried-oxide trapped charges and the interface traps, the back gate threshold voltage decreases from 44.72 to 12.88 V, and the electron field effect on mobility decreases from 473.7 to 419.8 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$; while the sub-threshold swing increases from 2.47 to 3.93 V/dec. Based on the measurements of sub-threshold swing and the back gate threshold voltage, the variations of extracted radiation-induced buried oxide trapped charge and interface trap densities, are about $2.36 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ and $5.33 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ respectively. In addition, the normalized back gate flat-band voltage noise power spectral density is a sensitive function of radiation-induced buried oxide trapped charges and interface traps, which increases from $7 \times 10^{-10} \text{ V}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$ to $1.8 \times 10^{-9} \text{ V}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$. According to the carrier number fluctuation model, the extracted trap density near the interface between channel and buried oxide increases from 1.42×10^{17} to $3.66 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}\cdot\text{eV}^{-1}$. By considering the tunneling attenuation coefficient of the electron wave function and the tunneling depth of the electron in the buried oxide, the spatial distribution of trapped charges in the buried oxide before and after radiation are calculated and discussed.

Keywords: silicon on insulator, partially depleted, ionizing radiation, low frequency noise

PACS: 85.30.Tv, 73.40.Qv, 85.40.Qx, 61.80.Ed

DOI: 10.7498/aps.64.078501

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61204112, 61204116), the China Postdoctoral Science Foundation (Grant No.2012M521628), and the SOI Research Institute Foundation of China (Grant No. 62401110320).

† Corresponding author. E-mail: liuyuan@ceprei.com