

**ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ N-КАНАЛЬНЫХ  
МОП-ТРАНЗИСТОРОВ С КНИ-СТРУКТУРОЙ****<sup>1</sup>Коршунов Ф.П., <sup>1</sup>Огородников Д.А., <sup>2</sup>Сорока С.А., <sup>1</sup>Богатырев Ю.В.,  
<sup>1</sup>Ластовский С.Б.**<sup>1</sup>НПЦ НАН Беларуси по материаловедению,г. Минск, Беларусь, E-mail: [dimaogorodnikov@gmail.com](mailto:dimaogorodnikov@gmail.com)<sup>2</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Технология «кремний на изоляторе» (КНИ) перспективна для производства МОП больших интегральных схем (БИС) с повышенной радиационной стойкостью к воздействию импульсной радиации [1, 2]. Однако в случае стационарного облучения значительную проблему создает наличие у КНИ-структур границы раздела полупроводник – захороненный окисел. Конструктивной особенностью при этом является образование паразитного транзистора, у которого в качестве подзатворного диэлектрика служит скрытый окисел, затвором является изолированная подложка. Существование границы раздела и возможность появления радиационно-индуцированного заряда в изолирующем окисле подложки может привести к образованию проводящего канала на обратной стороне кремниевой пленки. Эффективность образования такого проводящего канала существенно зависит от электрического режима облучения КНИ-транзисторов. Наиболее «жестким» для *n*-канальных МОП/КНИ-транзисторов является режим, при котором во время облучения на сток и исток подается напряжение +5 В, а на подложку, затвор и запитку канала – 0 В [3]. При таком подключении электрическое поле в захороненном окисле перераспределяет генерируемые излучением электронно-дырочные пары и способствует накоплению избыточного положительного заряда на границе раздела с полупроводником и, следовательно, сдвигу порогового напряжения паразитного транзистора. Уменьшение влияния электрического поля в этом случае достигается подачей на подложку определенной величины отрицательного смещения  $U_{Sub}$ . При этом в работах [4,5] нами экспериментально наблюдалось усиление эффекта отрицательного смещения при облучении гамма-квантами  $Co^{60}$  МОП/КНИ-транзисторов с ростом толщины пленки полупроводника  $d_{Si}$  и длины канала  $L$ . Цель данной работы – определить методом компьютерного моделирования распределение напряженности электрического поля в МОП/КНИ-транзисторах с каналом *n*-типа в зависимости от толщины пленки полупроводника, длины канала и значения отрицательного смещения на подложке при  $U_{cm}=U_v=5$  В.

Объекты моделирования – тестовые МОП/КНИ-транзисторы с каналом *n*-типа. КНИ-структуры имели толщину эпитаксиальной пленки кремния 0,1–0,3 мкм, скрытого окисла – 0,4 мкм, длины канала  $L=0,2–1,2$  мкм при ширине  $W=4,8$  мкм, а также *H*-образную конфигурацию запитки канала. Моделирование проводилось в программном модуле Atlas комплекса Silvaco.

На рисунке 1,а приведены результаты моделирования в наиболее «жестком» режиме подключения МОП-транзистора (на подложке 0 В). По осям указаны геометрические размеры структуры: слева – толщина  $d$  слоев полупроводника, окисла и частично подложки. Стрелками показано распределение вектора напряженности электрического поля  $E$ . Видно, что в центральной области окисла вблизи границы с полупроводником ( $d=0,2-0,3$  мкм) поле способствует накоплению избыточного положительного заряда и только при  $d \geq 0,3$  мкм направление вектора  $E$  меняется на противоположное. Эта картина меняется, если на подложку МОП-транзистора подается отрицательный потенциал (рис.1,б). В этом случае по всей глубине окисла электрическое поле способствует отталкиванию от границы с полупроводником положительного и притяжению к границе отрицательного зарядов.

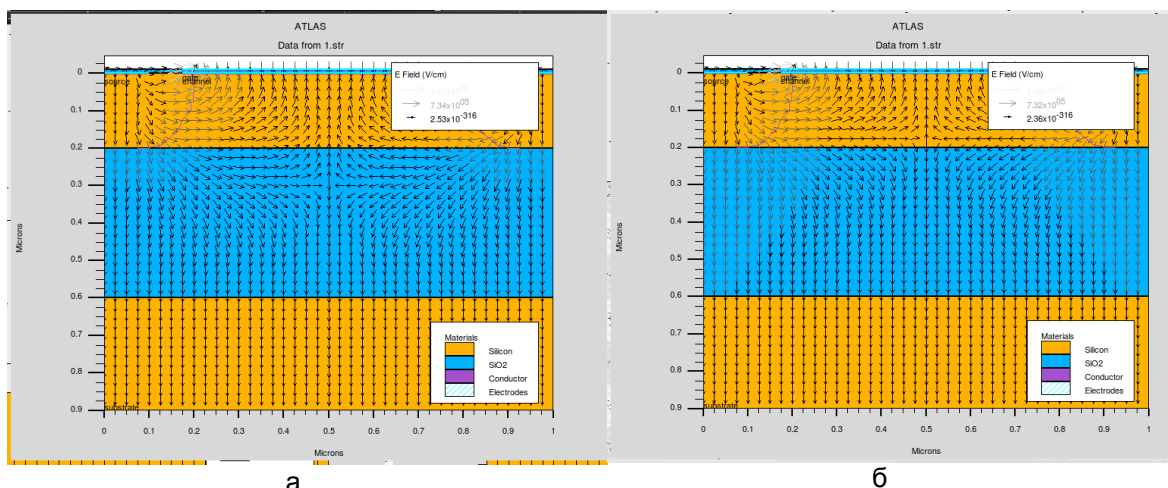


Рисунок 1 – Распределение вектора напряженности электрического поля в МОП-транзисторе ( $L = 0,6$  мкм) без отрицательного смещения (а) и со смещением  $U_{Sub} = -3$  В (б) на подложке

Результаты на рисунке 1 дают качественное объяснение эффекта отрицательного потенциала на подложке МОП/КНИ-транзисторов в процессе воздействия ионизирующих излучений. Изменение значения напряженности электрического поля в зависимости от  $d$  в середине структуры представлено на рисунке 2. Здесь направление вектора  $E$  вверх принято отрицательным, вниз – положительным. Из полученных результатов моделирования следует, что напряженность поля в окисле вблизи границы с полупроводником достигает значений  $-30 \div -40$  кВ/м без смещения и  $+2 \div +3$  кВ/м со смещением на подложке.

На рисунке 3,а представлены зависимости напряженности электрического поля в точке окисла ( $d=0,205$  мкм) от величины обратного смещения для структур с различной длиной канала. Все зависимости  $E(U_{Sub})$  имеют линейный характер: с ростом обратного смещения значение напряженности поля увеличивается. При определенном значении  $U_{Sub}$  происходит изменение знака  $E$  с отрицательного на положительный. Наибольшее значение  $U_{Sub}$ , при котором  $E=0$ , наблюдается у МОП-транзисторов с  $L=0,5$  мкм. С увеличением  $L$  до 1,2 мкм и уменьшением до 0,2 мкм это значение обратного смещения уменьшается. Значение напряженности поля также немонотонно зависит от длины канала структур при любом значении  $U_{Sub}$ . Минимальное значение  $E$  достигается при  $L=0,5$  мкм и увеличивается с ростом длины канала от 0,5 до 1,2 мкм а также уменьшением от 0,5 до 0,2 мкм.

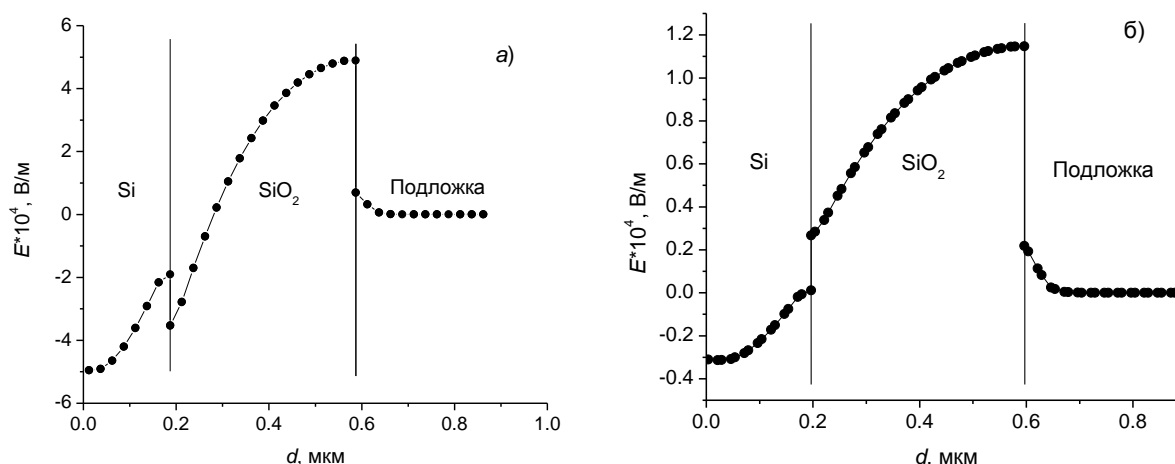


Рисунок 2 – Зависимости  $E(d)$  в середине МОП-транзисторной структуры ( $L=0,6$  мкм) без отрицательного смещения (а) и со смещением  $U_{Sub}=-3$  В (б) на подложке

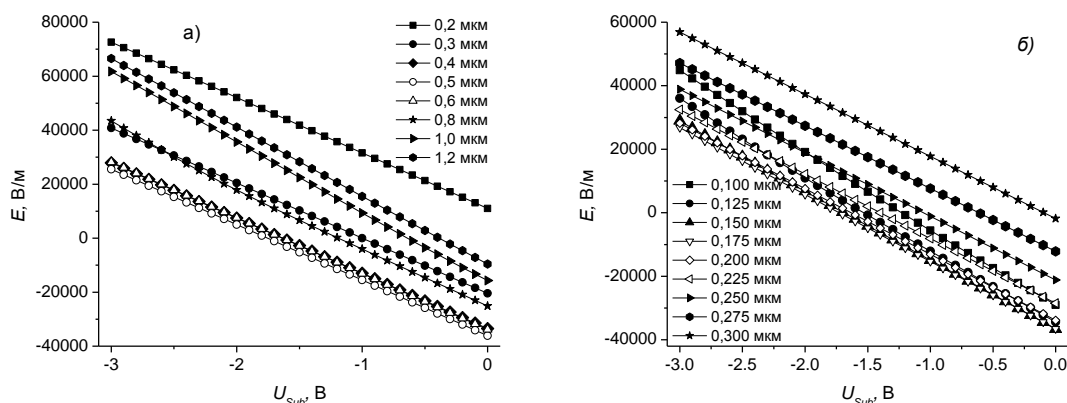


Рисунок 3 – Зависимости  $E(U_{Sub})$  в точке окисла ( $d=0,205$  мкм) в середине МОП-транзисторных структур с разной длиной канала (а) и толщиной пленки полупроводника (б)

На рисунке 3,б показаны зависимости напряженности электрического поля в точке окисла ( $d=0,205$  мкм) от величины обратного смещения для структур с разной толщиной пленки полупроводника  $d_{Si}$ . Здесь также наблюдается немонотонная зависимость  $E(d_{Si})$  при всех значениях  $U_{Sub}$ . Минимальное значение  $E$  достигается при  $d_{Si}=0,15-0,18$  мкм и увеличивается с ростом  $d_{Si}$  до 3,0 мкм а также уменьшением до 0,1 мкм.

Таким образом, проведены расчеты распределения напряженности электрического поля  $E$  в МОП/КНИ-транзисторах с каналом  $n$ -типа в зависимости от толщины пленки полупроводника  $d_{Si}$ , длины канала  $L$  и значения отрицательного смещения на подложке  $U_{Sub}$  при напряжении на стоке и истоке +5 В. Показано, что с увеличением  $U_{Sub}$  меняется направление вектора  $E$  в скрытом окисле вблизи границы с полупроводником. Установлено, что значение  $E$  немонотонно зависит от  $L$  и  $d_{Si}$  и имеет минимальное значение при  $d_{Si}=0,15-0,18$  мкм и  $L=0,5$  мкм.

#### Список литературы:

1. Claeys C., Simoen E. Radiation Effects in Advanced Semiconductor Materials and Devices. Berlin, 2002.
2. Barnaby H.J. // IEEE Trans. Nucl. Sci., 2006. Vol. 53. P. 3103-3121.
3. Liu S.T. Electrochemical Society Proceedings / Liu S.T., Fechner P.E., Jenkins W.C. Vol. 3 – 2001. – P. 121–126.
4. Влияние гамма-излучения на МОП/КНИ транзисторы / Ю.В. Богатырев [и др.] // Доклады БГУИР. – 2016. – №3(97). – С. 75-80.
5. Радиационные эффекты в МОП-транзисторах с КНИ-структурой / Ю.В. Богатырев [и др.] // Сб. докладов международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела» – Минск, 2016. – Т. 3 – С. 59-61.