

Министерство промышленности и торговли РФ
Межведомственный совет главных конструкторов
по электронной компонентной базе
Государственная корпорация «Ростех»
ОООР «СоюзМаш России»
Координационный совет разработчиков
и производителей РЭА, ЭКБ и продукции машиностроения
АО «Российская электроника»
АО «НИИМА «Прогресс»
НП «Глонасс»
НИУ МИЭТ

Информационный партнер АО «ТЕХНОСФЕРА»

Международный форум «Микроэлектроника-2016».

2-я научная конференция «Интегральные схемы
и микроэлектронные модули»:

Республика Крым,
г. Алушта, 26–30 сентября 2016 г.

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2016



УДК 621.3.049.77

ББК 38.844.1

М43

Международный форум «Микроэлектроника-2016». 2-я научная конференция «Интегральные схемы и микроэлектронные модули». Республика Крым, г. Алушта, 26–30 сентября 2016 г.
Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 504 с.

В сборник включены доклады конференции, освещающие актуальные вопросы разработки, производства и применения отечественных интегральных схем и высокоинтегрированных микроэлектронных модулей.

Оргкомитет Форума выражает особую благодарность Шелепину Николаю Алексеевичу за активную и профессиональную помощь при подготовке программы конференции и тезисов докладов.

© 2016, ООО «ПрофКонференции»

© 2016, АО «НИИМА «Прогресс»

© 2016, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

© 2016, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление

Характеризация заказных и аналого-цифровых IP-блоков с использованием САПР компании Cadence (Liberate AMS и Spectre XPS) <i>Гудкова О. Н., к. т. н.</i>	298
Опыт использования отечественной САПР для проектирования радиационно-стойких аналоговых ИС <i>Аблогин В. В., Кокин С. А., Машевич П. Р., Перминов В. Н., Теленков В. В.</i>	299
Необходимость перспективных встроенных инструментов контролепригодности <i>Сильянов Н. В.</i>	300
Моделирование конструктивно-технологических разновидностей КНИ МОП-транзисторов с повышенной радиационной и температурной стойкостью <i>Петрсянц К. О., д. т. н., профессор, Попов Д. А.</i>	303
Особенности SPICE-моделирования резонансных преобразователей энергии для систем энергоснабжения космических аппаратов <i>Карамов С. В., Пильников Н. А.</i>	309
Разработка открытой платформы моделирования процесса проекционной оптической литографии <i>Амирханов А. В., к. ф.-м. н., Глушко А. А., к. т. н., доцент, Гладких А. А., к. т. н., доцент, Макаρχук В. В., к. т. н., доцент, Шахнов В. А., д. т. н., профессор</i>	310
Методика проектирования и верификации библиотек стандартных цифровых элементов и элементов ввода-вывода <i>Ильин С. А., Кочанов С. К., Ласточкин О. В., Новиков А. А.</i>	312
Методика разработки заказных буферов ввода-вывода на основе библиотек специализированных цифровых элементов <i>Ильин С. А., Кочанов С. К., Ласточкин О. В., Новиков А. А.</i>	317
Методы оценки качества конструктивных решений, применяемых в современных СБИС <i>Амирханов А. В., к. ф.-м. н., Волков С. И., к. т. н., с. н. с., Кизиев С. А., Макаρχук В. В., к. т. н., доцент, Сухов А. Г., Шахнов В. А., д. т. н., профессор</i>	321
Эквивалентные условия и режимы проведения испытаний микросхем под электрической нагрузкой <i>Амирханов А. В., к. ф.-м. н., Волков С. И., к. т. н., с. н. с., Кизиев С. А., Макаρχук В. В., к. т. н., доцент, Шахнов В. А., д. т. н., профессор</i>	323
Методика моделирования уровня стойкости библиотеки стандартных элементов к воздействию тяжелой заряженной частицы для технологии КНИ 0,25 мкм <i>Дельцов И. Л., Морозов С. А., Чистяков М. Г., Синепупова Ю. Н.</i>	327
СВЧ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И МОДУЛИ.....	333
Широкополосный комплексированный усилитель мощности X-диапазона частот <i>Борисов О. В., Глыбин А. А., Еремин В. П., Коплевацкий Н. О., Миннебаев В. М., Редька Ан. В., Тихомиров А. В., Трушин А. Н., Федоренко Е. А.</i>	333

В современной схемотехнике весьма популярны высокоскоростные дифференциальные последовательные каналы цифровой передачи данных, в частности низковольтные LVDS (Low-Voltage Differential Signaling). Тестирование таких каналов создает определенные сложности, особенно если дифференциальные линии содержат емкостные развязки. Для обеспечения контролепригодности таких цепей создан стандарт IEEE 1149.6.

Улучшенной версией классического стандарта IEEE 1149.1 является IEEE 1149.7, требующий два контакта TAP-порта вместо четырех, допускающий соединение микросхем звездой, позволяющий непосредственно адресовать или обходить микросхемы.

Для тестирования межэлементных связей с компонентами, не имеющими JTAG-поддержки, и прежде всего с пассивными компонентами, в настоящее время разрабатывается стандарт IEEE P1149.8.1.

Своеобразная технология тестирования микросхем памяти (прежде всего SDRAM) разработана как дополнение к JTAG-стандарту. Эта технология известна под названием SCITT (Static Component Interconnection Test Technology) или как стандарт IEEE P1581. Применение таких дополнительных средств вызвано стремлением минимизировать количество тестовых векторов и максимизировать диагностическое разрешение при обнаружении дефектов монтажа запоминающих устройств.

Стандарт IEEE P1687 обещает стать первым стандартом тестопригодного проектирования микросхем. Одна из идей этого стандарта предполагает повторное использование уже готовых тестов сложных микросхем. Возможность переноса готовых и портативных тестов сложных чипов с низкого уровня системной иерархии на более высокий выглядит весьма привлекательной. При этом основная задача стандарта заключается во встраивании в СБИС и СнК специальных инструментов, взаимодействие с которыми в рамках общеизвестного JTAG-протокола обеспечит контролепригодность сложных СБИС самих по себе, а также возможность тестирования их монтажа на поверхности печатной платы при помощи одних и тех же (или почти одних и тех же) программ тестирования.

УДК 621.382.3

Моделирование конструктивно-технологических разновидностей КНИ МОП-транзисторов с повышенной радиационной и температурной стойкостью

Петросьян К. О.^{1,2}, д. т. н., профессор, Попов Д. А.¹

¹ МИЭМ НИУ ВШЭ, 123458, г. Москва, ул. Таганская, д. 34

² Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН

124365, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Советская, д. 3

+7(495) 772-95-90, доб. 15208, kpetrosyants@hse.ru

Ключевые слова: КНИ МОП-транзисторы, саморазогрев, радиационная стойкость, приборно-технологическое моделирование, TCAD.

Введение

Технология «кремний на изоляторе» (КНИ) широко используется для изготовления современных КМОП БИС. Наличие скрытого оксида позволяет полностью изолировать соседние МОП-транзисторы и увеличить быстродействие по сравнению с МОП-транзисторами на объемном кремнии. В то же время при воздействии ионизационного излучения в скрытом оксиде стандартной КНИ МОП-структуры накапливается радиационно-индуцированный положительный заряд, который способствует протеканию тока утечки вдоль нижнего оксида [1]. Помимо этого, скрытый оксид ухудшает отвод тепла от активной области МОП-транзистора, что также негативно сказывается на их электрических характеристиках и надежности [2]. В последнее время появились новые конструктивно-технологические разновидности КНИ МОП-структуры с «окном» в скрытом оксиде (Partial SOI) [3] и с L-образным скрытым оксидом (quasi-SOI) [4], в которых отмечены выше недостатки стандартной КНИ-структуры заметно снижены.

Целью работы является сравнение с помощью средств TCAD основных параметров и ВАХ новых конструкций КНИ МОП-транзисторов с соответствующими параметрами стандартных приборов на объемном кремнии и кремнии на изоляторе с точки зрения радиационной и температурной стойкости.

КНИ МОПТ-структура с частично скрытым оксидом (Partial SOI)

В силовой электронике применяются мощные КНИ МОП-транзисторы с областью боковой диффузии (LDMOS). Одной из разновидностей таких МОП-транзисторов для микромощных применений являются транзисторы с «окном» в скрытом слое SiO_2 (рис. 1б) [3]. Как видно из рисунка, скрытый оксид находится только под областью стока и частично под областью канала. Таким образом, в таких транзисторах улучшается отвод тепла из активной области и уменьшается объем слоя SiO_2 для захвата радиационно-индуцированного положительного заряда.

КНИ МОПТ-структура с L-образным скрытым оксидом (quasi-SOI)

В конструкции с L-образной формой скрытого оксида (рис. 1в) область канала МОП-транзистора напрямую соединена с подложкой, области истока и стока окружены скрытым оксидом L-образной формы [4]. Таким образом, уменьшается эффект короткого канала, улучшается отвод тепла через область канал-подложка и устраняется нижний канал протекания тока утечки, обусловленного захваченным радиационно-индуцированным положительным зарядом.

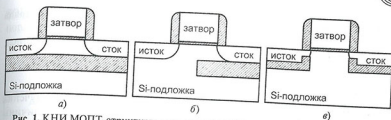


Рис. 1. КНИ МОПТ-структуры с различной конфигурацией скрытого оксида:
 а) стандартная; б) с частичным скрытым оксидом;
 в) с L-образным скрытым оксидом

Параметры моделируемых МОПТ-структур

Рассмотрены четыре конструктивно-технологические разновидности n-канального МОП-транзистора с одинаковой длиной канала 100 нм; отличия структур приборов заключаются в конструкциях и форме скрытого оксида:

- стандартная конфигурация МОП-транзистора на объемном кремнии моделировалась со следующими параметрами: длина канала — 100 нм, ширина канала — 240 нм, толщина подзатворного оксида — 2 нм, концентрация носителей в канале — $9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, степень легирования областей истока и стока — $1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, степень легирования слаболегированных областей истока и стока — $4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$;
- конструкция МОП-транзистора со скрытым оксидом (рис. 1а) отличается от конструкции на объемном кремнии наличием слоя SiO_2 . Толщина активной области составляет 70 нм, слоя SiO_2 — 80 нм;
- конструкция МОП-транзистора с «окном» в скрытом слое SiO_2 ;
- конструкция МОП-транзистора со скрытым оксидом L-образной формы (рис. 1в) содержит два симметричных слоя SiO_2 , окружающих области истока и стока снизу и сбоку. Толщина слоя оксида — 20 нм. Расстояние от поверхности кремния до L-образного скрытого слоя в слаболегированной области истока и стока — 30 нм, в сильнолегированной — 100 нм.

Условия моделирования

Для сравнения различных конструктивно-технологических вариантов КНИ МОП-транзисторов (рис. 1) проводилось их моделирование с помощью системы TCAD Synopsys со следующими встроенными физическими моделями [5]:

- термодинамическая модель для учета саморазогрева решетки (Thermodynamic);

- гидродинамическая модель переноса носителей заряда (Hydrodynamic);
 - модель деградации подвижности носителей заряда (Enormal, HighFieldSat, DopingDep);
 - модель генерации и рекомбинации носителей заряда (SRH);
 - Ферми-статистика для электронов и дырок (Fermi model).
1. Моделировалось воздействие ионизационного гамма-излучения суммарной дозой 300 крад и 600 крад для оценки величины радиационно-индуцированного тока утечки в зависимости от захваченного в скрытом оксиде положительного заряда. Для всех конструкций МОП-транзисторов описание ловушечных уровней осуществляется с помощью модели, описанной в [6]. Во время облучения МОП-транзисторы находились в режиме OFF (напряжение на стоке 1,2 В, на затворе 0 В). После облучения напряжение на затворе изменялось от -0,5 В до 1,2 В при напряжении на стоке 1,2 В.
 2. Моделировался эффект саморазогрева для оценки максимальной температуры структуры прибора. Максимальная температура вычислялась для режима $U_{си} = 2$ В, $U_{зи} = 2$ В.

Результаты моделирования радиационных токов утечки

На рис. 2 представлены результаты моделирования входных ВАХ при воздействии ионизационного излучения с суммарной дозой 300 крад и 600 крад. Значения токов утечки для каждого вида структуры представлены в табл. 1.

Наглядно видно, что ток утечки облученной стандартной КНИ МОП-структуры примерно на два порядка больше, чем ток утечки в структуре с частично скрытым оксидом и в структуре с L-образным скрытым оксидом.

В случае КНИ МОП-транзистора с частично скрытым оксидом (рис. 1б) доля захваченного положительного заряда значительно меньше, так как под МОП-структурой длина скрытого оксида в два раза меньше, чем у стандартного КНИ МОПТ. По этой причине вклад радиационно-индуцированного тока утечки в общий ток утечки прибора существенно уменьшается.

В случае КНИ МОП-транзистора с L-образным скрытым оксидом (рис. 1в) доля захваченного положительного заряда в L-образных слоях SiO_2 предельно мала из-за малой толщины этих областей. Отсутствие слоя SiO_2 под областью канала не позволяет возникнуть радиационно-индуцированному току утечки вдоль активной области.

Из сравнения результатов моделирования, представленных в табл. 1 и на рис. 2, видно, что в МОП-транзисторных структурах Partial SOI и Quasi-

SOI радиационно-индуцированный ток утечки по нижнему каналу на два порядка величины ниже, чем в стандартной структуре.

Таблица 1. Токи утечки после воздействия ионизационного облучения для различных конструктивно-технологических разновидностей КНИ МОП-транзисторов при $U_{зи} = 0$ В, $U_{си} = 1,2$ В

Доза гамма-излучения	$I_{утечка}$, МА/МКМ		
	SOI	Partial SOI	Quasi-SOI
Необлученный	1,3E-09	9,0E-10	5,0E-10
300 крад	1,6E-09	9,1E-10	4,6E-10
600 крад	2,0E-07	1,1E-09	4,9E-10

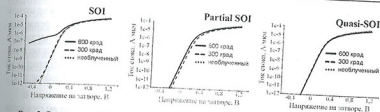


Рис. 2. Результаты моделирования воздействия ионизационного излучения на различные конструктивно-технологические разновидности МОПТ

Результаты моделирования эффекта саморазогрева

На рис. 3 представлены значения максимальной температуры кристаллической решетки четырех конструктивно-технологических разновидностей МОП-транзисторов.

Более высокое (на 30 °С) значение максимальной температуры в стандартной КНИ МОПТ-структуре на фоне других структур обусловлено тем, что теплоотвод от области канала в глубину структуры осуществляется через слой SiO₂, обладающий в 100 раз меньшим коэффициентом теплопроводности $\lambda(\text{SiO}_2) = 1,4$ Вт/м·К по сравнению с кремнием $\lambda(\text{Si}) = 149$ Вт/м·К.

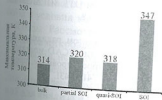


Рис. 3. Сравнение максимальных температур в структурах различных конструктивно-технологических разновидностей 0,1 мкм КНИ МОПТ при $P_{\text{нагр}} = 0,15$ мВт

В структурах КНИ МОП-транзисторов с частично скрытым оксидом и L-образным квазислоем оксида теплоотвод осуществляется напрямую из активной области прибора в глубину структуры и эффект «саморазогрева» появляется слабо.

Выводы

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты:

1. Впервые с помощью средств TCAD проведено моделирование двух перспективных разновидностей глубоко субмикронных КНИ МОПТ с частично скрытым оксидом (Partial SOI) и L-образным скрытым оксидом (quasi-SOI) в целях оценки их радиационной стойкости и влияния эффекта «саморазогрева».
2. На примере 100 нм КНИ МОП-транзистора показано, что новые структуры (Partial SOI и Quasi-SOI) по сравнению со стандартной КНИ МОПТ-структурой обладают существенными преимуществами по радиационной и температурной стойкости, в частности более чем на 2 порядка величины меньшим током утечки по нижнему каналу при суммарной дозе гамма излучения 600 крэд и на 30 °С меньшей максимальной температурой в рабочей области канала при уровне рассеиваемой мощности 0,15 мВт.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(грант № 14-29-09145)*

Литература

1. I. Shvetsov-Shilovskiy, A. Smolin, P. Nekrasov, A. Ulanova and A. Nikiforov. The influence of device geometry on the partially depleted SOI transistor TID hardness, *Rad. Applic.*, 2016, Vol. 1, Iss. 1, pp. 20—25.
2. J. Nayfach-Battilana and J. Renau. SOI, Interconnect, Package, and Mainboard Thermal Characterization, *Proc. of the 14th ACM/IEEE International Symposium on Low power Electronics and Design*, 2009, pp. 327—330.
3. J. Cheng, B. Zhang and Z. Li. The Total Dose Radiation Hardened MOSFET with Good High-temperature Performance, *IEEE, Proc. of ICCAS*, 2007, pp. 1252—1255.
4. Y. Tian, R. Huang, X. Zhang and Y.Y. Wang. A novel nanoscaled device concept: Quasi-SOI MOSFET to eliminate the potential weaknesses of UTB SOI MOSFET. *IEEE Trans. Electron Devices*, 2005, Vol. 52, Iss. 4, pp. 561—568.
5. TCAD Sentaurus User Manual J-2014.09, Synopsys.
6. К. О. Петросянц. Моделирование элементов БИС с учетом радиационных эффектов. Часть 1. Приборно-технологические модели (TCAD-модели) // Интегральные схемы и микроэлектронные модули: проектирование, производство и применение. — М.: ТЕХНОСФЕРА. 2016. — С. 415—431.

Производство книг на заказ
Издательство «ТЕХНОСФЕРА»
125319, Москва, а/я 91
тел.: (495) 234-01-10
e-mail: knigi@technosfera.ru

Реклама в книгах:

- модульная
- статьи

Подробная информация о книгах на сайте
<http://www.technosfera.ru>

Международный форум «Микроэлектроника-2016».
**2-я научная конференция «Интегральные схемы
и микроэлектронные модули».**

Республика Крым,
г. Алушта, 26–30 сентября 2016 г.

Компьютерная верстка – С.С. Бегунов
Корректор – Н.А. Шипиль
Дизайн – М.А. Костарева
Выпускающий редактор – С.Ю. Артемова
Ответственный за выпуск – С.А. Орлов

Подписано в печать 05.09.2016
Формат 60x90/16. Печать офсетная
Гарнитура Ньютон
Печ.л. 31,5. Тираж 350 экз. Зак. №7483
Бумага офсет №1, плотность 80 г/м²

Издательство «ТЕХНОСФЕРА»
Москва, ул. Краснопролетарская, д.16, стр.2

АО «НИИМА «Прогресс»
125183, г. Москва, проезд Черепановых, д. 54
Тел. (499) 153-0311, 153-0131
Факс: (499) 153-0161
info@mri-progress.ru
niima@mri-progress.ru

Отпечатано в цифровой типографии ООО «Буки Веди»
на оборудовании Konica Minolta
г. Москва, Партийный переулок, д.1, корп. 58, стр.1
Тел.: (495) 926-63-96, www.bukivedi.com, info@bukivedi.com