

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ КМОП КНИ БИС ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ.

Харитонов И.А.

Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)

Россия, Москва, eande@miem.edu.ru

Введение.

Известно, что одной из главных сложностей проектирования БИС, устойчивых к радиационному воздействию, является значительная стоимость и продолжительность натурных испытаний разработанных вариантов электронных схем для исследования эффективности различных конструктивно-технологических и схемотехнических решений, повышающих стойкость, а также для исследования стойкости готовых схем. Поэтому значительный интерес представляет моделирование радиационных эффектов в схемах на ЭВМ с помощью пакетов САПР. Анализ на ЭВМ позволяет сократить сроки и затраты при проектировании, обеспечить расчёт схемы при различных уровнях радиационного воздействия и при различных параметрах схемы.

Кроме того, современные субмикронные технологические процессы изготовления КМОП СБИС в значительной степени унифицированы и их возможности в повышении радиационной стойкости (РС) или существенно ограничены, или экономически не оправданы. Поэтому акцент в обеспечении радиационной стойкости для выбранной технологии СБИС на ведущих предприятиях все более смещается на этапы их проектирования и разработки.

Возникло новое направление в проектировании радиационно-стойких СБИС: радиационно-стойкое проектирование (РСП) – Radiation Hardening by Design (RHBD). Использование средств приборно-технологического и схемотехнического моделирования, при данном проектировании, позволяет исследовать влияние конструктивно-технологических и схемотехнических решений на радиационную стойкость проектируемых изделий.

Математическое моделирование с помощью пакетов САПР может упростить процедуру не только определения качественных показателей работы схемы и её радиационной стойкости, но и может служить эффективным средством проведения оптимизации её характеристик.

В общем случае моделирование стойкости элементов БИС можно проводить на нескольких этапах проектирования спец. аппаратуры .

Уровень транзисторных структур — используются системы приборно-технологического проектирования.

Уровень простейших схемных фрагментов — используются системы схемотехнического проектирования.

Уровень сложных фрагментов или блоков — используются системы схемотехнического или логического проектирования.

В данной работе рассматриваются вопросы определения параметров схемотехнических моделей элементов радиационно стойких КНИ БИС с учетом суммарной поглощенной дозы для уровней схемных фрагментов и выше.

Схемотехническая макромодель КНИ МОПТ с учетом факторов радиационного воздействия.

Технология производства интегральных КМОП микросхем со структурой «кремний на изоляторе» (КМОП КНИ) широко используется при изготовлении заказных аналоговых, цифровых и аналого-цифровых КМОП схем, предназначенных для работы в жестких условиях эксплуатации, в том числе и космических систем. С уменьшением толщины подзатворного окисла основной вклад в радиационную деградацию характеристик дает накопление дырочного заряда в нижнем и боковом окислах, приводящее к возникновению паразитных токов утечки.

Для моделирования КНИ КМОП схем наиболее широко используется модель BSIMSOI [1]. С целью анализа радиационной стойкости КНИ КМОП схем с помощью стандартных систем проектирования БИС (таких, как различные версии SPICE, Cadence SPECTRE и UltraSim, и др.) нами разработана макромодель BSIMSOI-RAD для субмикронных КНИ/КНС МОП транзисторов с учетом радиационных эффектов [2-3]. Модель приведена на рис. 1. Собственно КНИ МОП транзистор ($M_{\text{верх}}$) описывается моделью BSIMSOI с радиационно зависимыми параметрами.

Для параметров модели V_{TH0} , V_{OFF} , имеющих смысл напряжений, используются выражения, описывающие абсолютные сдвиги от полученной дозы D :

$$\Delta V(D) = a_1 - a_2 (\exp(-B * D)), \quad (1)$$

Для параметров модели, имеющих смысл подвижности U_0 , ее коэффициентов UA , UB и коэффициента наклона предпороговой ВАХ CIT , используются выражения, описывающие *относительные* изменения от полученной дозы D :

$$U(D) / U(0) = a1 - a2 (\exp(-B * D)), \quad (2)$$

где $a1$, $a2$, B – коэффициенты зависимостей от дозы.

Используемые выражения основаны на классических выражениях для деградации параметров МОП транзисторов с дозой облучения.

Возникающие в n-канальных КНИ МОП транзисторах **утечки** по нижней и боковым граням кремниевого островка описываются включением одного или двух (для нижней и боковой граней) дополнительных паразитных МОП транзисторов $M_{бок}$, $M_{нижн}$, описываемых более простой моделью MOS3 с параметрами VTO , U_0 , NFS зависящими от полученной дозы облучения D по выражения, аналогичным () - ().

Сопротивление $R_{сапф}(t)$ (для случая структур «кремний на сапфире») и источники $I_{фи}(t)$, $I_{фс}(t)$ учитывают фототоки в КНС МОПТ при импульсном воздействии; источник $I_{ион}(t)$ учитывает всплески токов при воздействии ОЯЧ.

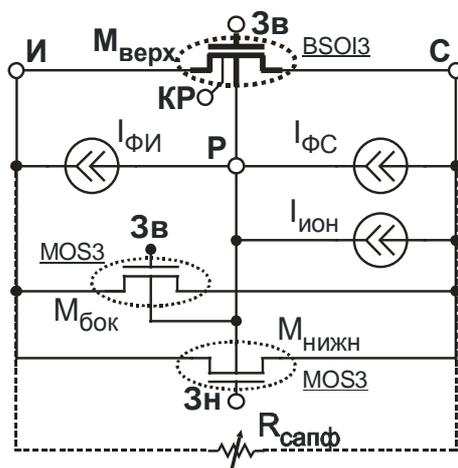


Рис. 1 . Эквивалентная схема макромоделли BSIMSOI-RAD.

Процедура определения параметров схемотехнической макромоделли модели КНИ МОПТ из результатов радиационных испытаний на суммарную поглощенную дозу.

Определение параметров макромоделли для случая суммарной полученной дозы производится в несколько этапов:

- 1) Для экстракции параметров модели BSIMSOI необлучённого транзистора $M_{верх}$ используется стандартная процедура идентификации, встроенная в комплекс экстракции IC-CAP с модулем AdMOS [4];
- 2) Для определения коэффициентов зависимостей соответствующих параметров моделей BSIMSOI и MOS3 от полученной дозы используется разработанная нами процедура [3].
 - I. Снимается набор ВАХ КНИ МОП структур при разных полученных дозах облучения.
 - II. Для разделения токов, текущих под затвором, по нижней границе и боковым граням структуры используется разный характер их зависимости от напряжения на затворе и напряжения на кремниевой пластине, которую можно считать «нижним» затвором КНИ структуры.
 - III. Определяются коэффициенты радиационных зависимостей параметров моделей MOS3 для нижнего ($M_{нижн}$) и бокового ($M_{бок}$) паразитных транзисторов.
 - IV. Затем с помощью комплекса экстракции IC -CAP определяются коэффициенты модели BSIMSOI (указанные выше) для каждой полученной дозы.
 - V. Строятся зависимости коэффициентов от полученной дозы в соответствии с выражениями (1) - (2).

Результаты экстракции параметров модели КНИ МОПТ с учетом суммарной поглощенной дозы.

Результаты экстракции параметров модели проиллюстрированы на примере характеристик облученных КНИ МОПТ с $L/W=0,25/8$ мкм, приведенных в работе [5].

Значения подгоночных коэффициентов для параметров модели основного транзистора $M_{верх}$, нижнего $M_{нижн}$ и бокового $M_{бок}$ приведены в табл. 1.

На рис. 2 приведено сравнение измеренных в указанной работе [5] и смоделированных с помощью разработанной макромоделли сток-затворных ВАХ КНИ МОПТ с $L/W=0,25/8$ мкм. Погрешность описания

характеристик КНИ МОПТ, определяемая моделью и процедурой экстракции её параметров, не превышает 20 – 25% в диапазоне доз до 1Мрад.

Табл. 1. Значения радиационных коэффициентов модели BSIMSOI-RAD

	$M_{\text{верх}}$					
	$VTH0$	$U0$	CIT	$VOFF$	UA	UB
a_1	-0,5	0,7	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,1	1,8	7
a_2	0,5	0,3	$-1 \cdot 10^{-3}$	0,1	-0,8	-6
a_3	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
	$M_{\text{нижн}}$			$M_{\text{бок}}$		
	VTO	UO	NFS	VTO	UO	NFS
a_1	-10	0,75	1,6	-80	0,5	1
a_2	10	0,25	-0,6	80	0,5	0
a_3	$3 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$

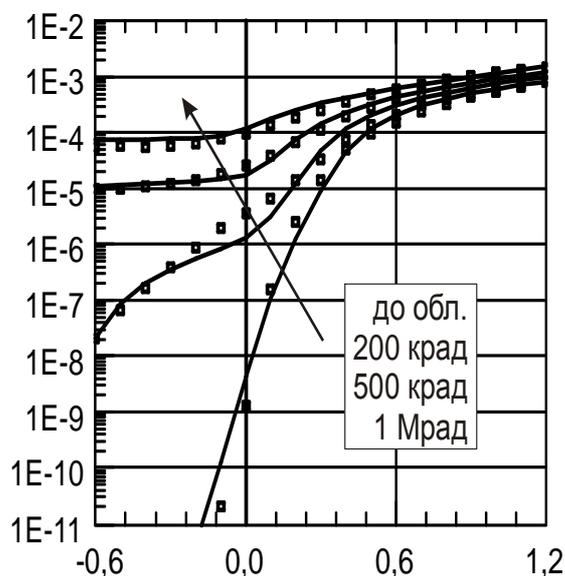


Рис. 2. Сравнение измеренных в [5] и смоделированных с помощью разработанной макромодели сток-затворных ВАХ КНИ МОПТ с $L/W=0,25/8$ мкм при различных полученных дозах.

В ходе совместных работ с отечественными предприятиями ФНПЦ «НИИ ИС» (г. Нижний Новгород), ФГУП «НПО ИТ» (г. Королев) в соответствии с разработанной методикой определялись параметры моделей КНИ МОПТ с длинами канала от 0.8 до 0.5 мкм. Сформированные наборы параметров моделей с учетом радиационного влияния были включены в пакеты программ Spectre и UltraSim САПР Cadence и успешно использовались при проектировании радиационно стойких цифровых и аналоговых ИС и БИС.

Литература

1. BSIMSOI4.0 Mosfet Model User's Manual, BSIM Group. — Nov. 2005.
2. Харитонов И. А. Модификация модели BSIMSOI для учёта эффектов суммарной поглощённой дозы в КНИ КМОП транзисторах // «Электроника, микро- и нанoeлектроника». Сб. научных трудов. – М.: МИФИ, 2006 г. — с. 242–245.
3. Petrosjanc K. O., Kharitonov I. A., Orekhov E. V., Sambursky L. M., Yatmanov A. P. Simulation of Radiation Effects in SOI CMOS Circuits with BSIMSOI-RAD macromodel // Труды 7th IEEE EWDTs Symposium. - 2009. - С. 243–246.
4. Agilent 85190A, IC-CAP 2006 User's Guide.
5. J. R. Schwank, M. R. Shaneyfelt, P. E. Dodd и др. New Insights into Fully-Depleted SOI Transistor Response after Total-Dose Irradiation // IEEE Trans. on Nuclear Science. — Т. 47. — №7. — Июнь 2000. — С. 604–612.