

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
"ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ"

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ им. А.Н.Тихонова
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
"ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ"

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ 2017

МЕЖВУЗОВСКАЯ НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ
имени Е.В. АРМЕНСКОГО



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ им. А.Н.Тихонова
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»



SuperJob

**Межвузовская научно-техническая
конференция студентов, аспирантов
и молодых специалистов
имени Е.В. Арменского**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Москва 2017г.

УДК 658.012; 681.3.06; 621.396.6.001.66(075); 621.001.2(031)

ББК 2+3

Н 34

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского. Материалы конференции. - М. ~: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2017. – 502.

ISBN 978-5-94768-075-1

В материалах конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов представлены тезисы докладов по следующим направлениям: математика и компьютерное моделирование; информационно-коммуникационные технологии; автоматизация проектирования, банки данных и знаний, интеллектуальные системы; компьютерные образовательные продукты; информационная безопасность; электроника и приборостроение; производственные технологии, нанотехнологии и новые материалы; информационные технологии в экономике, бизнесе и инновационной деятельности; инновационные технологии в дизайне.

Материалы конференции могут быть полезны для преподавателей, студентов, научных сотрудников и специалистов, специализирующихся в области прикладной математики, информационно-коммуникационных технологий, электроники, дизайна.

Редакционная коллегия: Тихонов А.Н., Аксенов С.А., Аристова У.В., Восков Л.С., Елизаров А.А., Карасев М.В., Кулагин В.П., Леохин Ю.Л., Лось А.Б., Смирнов И.С., Титкова Н.С.

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

ISBN 978-5-94768-075-1

ББК 2+3

© Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2017 г.

© Авторы, 2017г.

**ПОДХОД К ЭКСТРАКЦИИ ПАРАМЕТРОВ
SPICE-МОДЕЛЕЙ СУБМИКРОННЫХ КНИ МОПТ
С УЧЕТОМ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
(ДО 300°C)**

*М.Р. Исмаил-Заде
НИУ ВШЭ,*

*департамент электронной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ*

Аннотация

Предлагается модифицированный подход к экстракции параметров SPICE-моделей субмикронных КНИ МОПТ с учетом повышенной температуры (до 300°C), заключающийся в использовании "биннинга". Результатом выполнения процедуры является единый набор параметров, содержащий отдельные секции для транзисторов различных размеров.

Введение

В настоящее время имеется множество областей промышленности, где применяются интегральные схемы, способные надежно работать в условиях повышенной температуры (до 300°C), такие как нефтегазовая промышленность, аэрокосмическая промышленность, атомная энергетика и др. [1]

Как известно, увеличение температуры МОП-транзисторов приводит к увеличению в них токов утечки и существенному снижению пороговых напряжений, а также спаду крутизны вследствие уменьшения подвижности носителей в канале. Для обеспечения значительно меньших токов утечки транзисторов при высокой температуре перспективно использование КМОП технологии «кремний на изоляторе» (КНИ) [2].

Для определения надёжной работы электронного устройства, работающего при повышенных температурах среды, требуется достоверное схемотехническое моделирование.

Анализ SPICE-моделей КНИ МОПТ

Для моделирования характеристик КНИ МОПТ в диапазоне температуры приблизительно от минус 100°C до +100–150°C используется стандартная модель BSIMSOI [3]. В данной модели для ряда параметров существуют температурные коэффициенты, которые задают линейную зависимость от температуры для всех параметров, кроме U_0 – подвижности носителей при малых напряжениях выводов, – температурная зависимость которого описывается гиперболической функцией.

Такой способ учёта температурной зависимости приводит к возникновению заметной погрешности описания характеристик КНИ МОПТ при повышенной температуре окружающей среды больше 200°C. И, следовательно, данная модель в ее исходной форме невозможно использовать при проектировании высокотемпературных схем.

Опубликована схемотехническая модель КНИ МОПТ, учитывающая эффекты высокой температуры окружающей среды (до 300°C) [4] и включающая в себя дополнительные выражения для зависимостей физических параметров транзисторной структуры от температуры. Однако, модель [4] не позволяет рассчитывать приборы субмикронных размеров. Набор параметров данной модели в целом непривычен для пользователя схемотехнических САПР, он заметно отличается от набора параметров семейства стандартных моделей BSIM; методика экстракции параметров не описана в достаточной степени.

Модифицированная модель на основе стандартной модели BSIMSOI с учётом повышенной температуры представлена в работе [5]. В модель введены новые зависимости от температуры, позволяющие адекватно описать по-

ведение основных параметров транзистора в диапазоне до 300°C.

Модель [5] применима для расчета субмикронных транзисторов в расширенном температурном диапазоне, однако при большом разбросе геометрических размеров транзисторов, изготовленных по одной технологии, приводит к существенной погрешности, т.к. для коэффициентов модели, отвечающих за зависимость параметров от длины и ширины транзисторов, не введены температурные зависимости. Кроме того, процедура экстракции параметров модели с учетом высоких температурных воздействий требует дальнейшей детализации.

Методика экстракции параметров

Учет размеров транзисторов. В настоящей работе для модели [5] предложен уточненный метод экстракции параметров, позволяющий получить набор параметров модели, пригодный для расчета электрических характеристик КНИ МОП-транзисторов в широком диапазоне температуры и диапазоне длины и ширины канала от L_{min} / W_{min} до ~10 мкм .

Для этой цели был использован подход, называемый "биннингом" (binning) [6], при котором область возможного изменения длины и ширины канала делится на прямоугольные подобласти ("бины"), в пределах каждой из которых экстракция параметров выполняется отдельно (рис. 1).

Для транзисторов, относящихся к одному "бину", зависимости параметров модели от длины и ширины канала транзистора выражаются уравнениями следующего вида:

$$P_i = P_{I0} + \frac{P_{IL}}{L_{eff}} + \frac{P_{IW}}{W_{eff}} + \frac{P_{IP}}{L_{eff} \times W_{eff}}, \quad (1)$$

где L_{eff} и W_{eff} – эффективная длина и ширина канала, P_{I0} – постоянная составляющая, P_{IL} – коэффициент, учитывающий изменение параметра с длиной, P_{IW} – коэффициент, учитывающий изменение параметра с шириной, P_{IP} – коэффициент, учитывающий изменение параметра при одновременном изменении длины и ширины. Например, для порогового напряжения соответствующими коэффициентами будут V_{th0} , L_{vth0} , W_{vth0} и P_{vth0} .

Количество "бинов" выбирается исходя из требуемой точности модели. Как правило, большее количество "бинов" необходимо в областях со значениями длин и ширин каналов, меньшими 1 мкм.

В результате выполнения процедуры экстракции получается единый набор параметров, содержащий по одной дополнительной секции для каждого "бина". При использовании данной модели в схемотехническом моделировании, симулятор самостоятельно выбирает подходящую секцию модели в соответствии с длиной и шириной конкретного экземпляра транзистора.

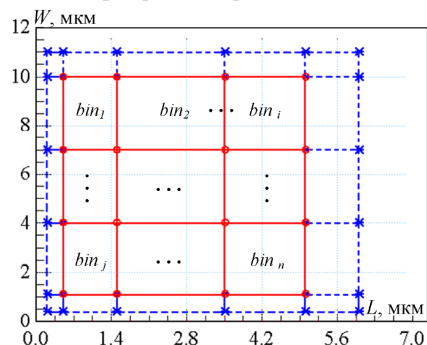


Рис. 1. Пример распределения тестовых транзисторов по группам – "бинам". Звездочками отмечены фиктивные дополнительные транзисторы, для которых не проводятся измерения

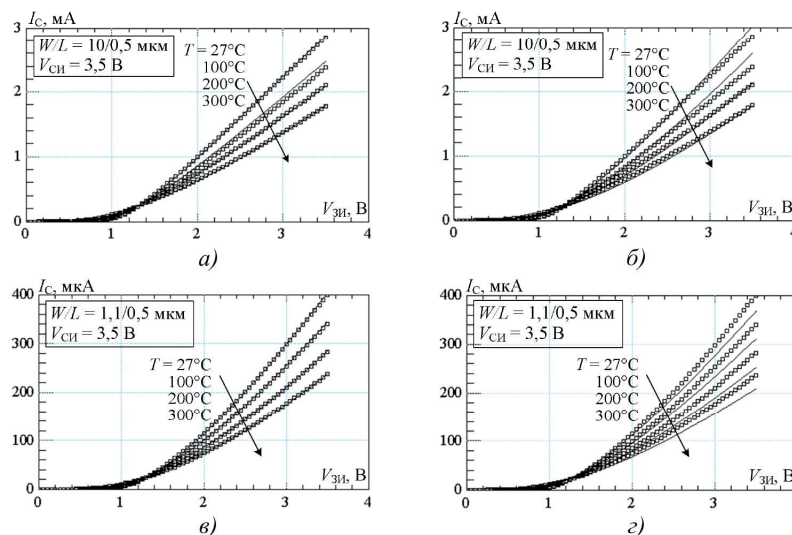


Рис.2. Сравнение результатов измерения и моделирования сток-затворных характеристик КНИ МОПТ с $W/L=10/0,5$ мкм (а, б) и $1,1/0,5$ мкм (в, г) при $T = 27...300^{\circ}\text{C}$ для встроенной (б, г) и модифицированной (а, в) процедуры экстракции

3.2. Маршрут экстракции параметров. Определение набора параметров SPICE-модели проводится с помощью промышленного пакета экстракции SPICE-моделей IC-CAP с использованием предложенной модифицированной процедуры экстракции. Исходными данными являются наборы ВАХ и ВФХ стандартных КНИ МОП-структур при разных полученных значениях температур, передаваемые в IC-CAP с помощью собственного программного интерфейса. Процедура экстракции позволяет получить параметры модели для промежуточных значений температуры и включает в себя следующие шаги:

Шаг 1. Вся область изменения W и L подразделяется на подобласти ("бины"), для каждой из которых экстракция параметров будет выполнена отдельно.

Шаг 2. Для каждой группы транзисторов, объединенных в "бины", определяется набор параметров модели BSIMSOI при комнатной температуре. При этом используется стандартная процедура экстракции параметров данной модели и стандартный набор измеренных при комнатной температуре характеристик транзистора [6], [7].

Шаг 3. Для каждого "бина" в отдельности определяются встроенные в модель температурные коэффициенты (для порогового напряжения – KTI , подвижности носителей заряда – UTE , скорости насыщения носителей заряда – AT , переходного сопротивления сток/исток – PRT и т. д.) методом глобальной оптимизации.

При выполнении оптимизации (т.е. подгонки) параметров в рамках шагов 2 и 3 используются полные экспериментальные семейства ВАХ, а не отдельные линии, как в стандартном маршруте экстракции.

4. Оценка Эффективности использования метода

Описанная выше методика проиллюстрирована с использованием экспериментальных характеристик КНИ МОПТ с $L = L_{\min}$ и $W = W_{\max}$ при $T = 27...300^{\circ}\text{C}$.

На рис. 2 представлены измеренные и смоделированные сток-затворные характеристики КНИ n-МОПТ с $W/L=1,1/0,5$ и $1,1/5,0$ мкм при напряжении стока 3,5 В для случая использования стандартной процедуры экстракции и предложенного в данной работе подхода.

В таблице 1 представлены сравнение затрат времени на экстракцию параметров с использованием стандартной и модифицированной процедуры. Тестовый набор включал 16 транзисторов различного размера, образованное число "бинов" – 9, число доп. значений температуры – 3.

Среднеквадратическая относительная погрешность моделирования ВАХ составила 10,7% и 4,7% для стандартной и модифицированной процедуры, соответственно.

Таблица 1.

Сравнительные оценки времени экстракции (в мин.): стандартная (1) и модифицированная (2) процедура

Этапы	(1)	(2)
Подготовка проекта	4,0	6,0
Экстракция параметров для $T = 27^{\circ}\text{C}$	1,2	12,0
Экстракция температурных коэф.	0,9	9,0
Итого	6,1	27,0

Заключение

Предложен подход к экстракции параметров SPICE-моделей субмикронных КНИ МОПТ с учетом повышенной температуры (до 300°C), заключающийся в использовании "биннинга". При этом усложняется процедура экстракции и увеличивается время ее реализации в 4,5 раза; однако погрешность моделирования характеристик КНИ МОПТ в широком диапазоне изменения геометрических размеров, напряжений и температуры уменьшается в 2,3 раза.

Список литературы:

- Cressler J. D., Mantooth H. A. (ed.). Extreme environment electronics. – CRC Press, 2012.
- Colinge J. P. Silicon-on-Insulator Technology: Materials to VLSI: Materials to Vlsi. – Springer Science & Business Media, 2004.
- BSIMSOI3.2 MOSFET Model User's Manual. BSIM Group, UC Berkeley.
- Jeon D. S., Burk D. E. A temperature-dependent SOI MOSFET model for high-temperature application ($27^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$) //Electron Devices, IEEE Transactions on. – 1991. – Т. 38. – №. 9. – С. 2101-2111.
- Petrosyants K. O., Lebedev S. V., Sambursky L. M., Stakhin V. G., & Kharitonov I. A. Temperature characterization of small-scale SOI MOSFETs in the extended range (to 300°C) //Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), 2016 22nd International Workshop on. – С. 250-254.
- Cheng Y., Hu C. MOSFET modeling & BSIM3 user's guide. – Springer Science & Business Media, 1999.
- Денисенко В.В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и наноэлектронике. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 408 с.

Швецов А.Е., Анкуд Р.К. Разработка ультразвуковой системы отпугивания грызунов	260-261
Борисов Д.В. Моделирование влияния высокой и низкой температуры на передачу сигналов по проводникам интегральных схем для аппаратуры космического применения	261-263
Пугачёв Ю.И. Исследование и разработка многолучевой антенной решётки на основе матрицы Батлера	263-265
Панасенко А.К., Трофимов Е.В. Разработка многофункционального радиоуправляемого дрона	265-266
Увайсова С.С. Уточнение отбраковочных допусков на электрические параметры элементов схемы с учетом температурного режима	266-267
Бурдюгова В.С. Моделирование процессов термообработки полимерных композиционных стержневых материалов с помощью микроволнового излучения	267-268
Кузин Е.Ю., Даныкин В.С., Четвериков И.А., Гришин А.А. Автоматизация процесса измерений и обработки результатов измерений КНИ КМОП транзисторов в условиях экстремальных повышенных температур	268-270
Боловин А.А. Электродинамическое моделирование двойного моста устройства в L-диапазоне частот	270-271
Алтухова В.В. Сменный модуль для аппаратно-программного комплекса National Instruments	271-272
Осипова Т.В. Разработка рабочего макета печатного узла двухкаскадного усилителя для программно-аппаратной среды NI ELVIS II+	272-273
Конов К.И. Методика выбора переменной интегрирования при численном решении электродинамических задач в геометрооптическом приближении	273-274
Касапов Я.К. Проектирование усилителя низкой частоты для использования в аудиосистеме	274-275
Николаев А.А., Николаева Л.С. Исследование, разработка и управление системой автоматического управления приводом выдвижной мачты радио-релейной станции	276-277
Пресняков С.А. Разработка методов моделирования и средств проектирования лампы бегущей волны терагерцового диапазона	277-279
Глухов П.А., Шинин А.А. Система автоматического освещения рабочего пространства	279
Степыгин Д.А. Методика определения параметров МОП-транзисторов для радиочастотного диапазона	280-281
Исмаил-Заде М.Р. Подход к экстракции параметров SPICE-моделей субмикронных КНИ МОПТ с учетом повышенной температуры (до 300°C)	282-283
Бухарова Е.П. Миниатюризация антенных устройств с использованием метаматериалов	284-285
Седов Е.А., Арутюнов К.Ю. Квантовые размерные эффекты в нанопроводах из висмута	286

**Межвузовская научно-техническая конференция студентов,
аспирантов и молодых специалистов им.Е.В.Арменского.
Материалы конференции.**

ISBN 978-5-94768-075-1



Подписано в печать 10.02.2017г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная №2.
Печать ризография. Усл.печ.л. 62,75. Уч.-изд.л. 56,5. Тираж 100 экз.
105118, Москва, ул.Буракова, д.12