

Отделение нанотехнологий и информационных технологий
Российской академии наук (ОНИТ РАН)
Научный совет ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной
базы информационно-вычислительных и управляющих систем
и материалов для ее создания»
Консорциум «Перспективные материалы и элементная база
информационных и вычислительных систем»
Акционерное общество «Научно-исследовательский институт
молекулярной электроники» (АО «НИИМЭ»)

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА – 2020»
ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА – 2020»
XIII Международная конференция «Кремний – 2020»
XII Школа молодых ученых и специалистов
по актуальным проблемам физики, материаловедения,
технологии и диагностики кремния,
нанометровых структур и приборов на его основе**

Республика Крым, г. Ялта, пгт. Гурзуф,
санаторий «Гурзуф Центр»
21–25 сентября 2020 г.

*Под редакцией члена-корреспондента РАН,
профессора Е.С. Горнева*



МОСКВА – 2020

УДК 621.38
ББК 32.844.1
М43

*Под редакцией
члена корреспондента РАН, профессора Е.С. Горнева*

М43 **Международный форум «Микроэлектроника – 2020». Школа молодых ученых «Микроэлектроника – 2020. XIII Международная конференция «Кремний – 2020». XII Школа молодых ученых и специалистов по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе : Сборник тезисов : Республика Крым, г. Ялта, 21–25 сентября 2020 г. / Под ред. Е.С. Горнева. – Москва : МАКС Пресс, 2020. – 402 с. : ил.**

ISBN 978-5-317-06470-9

e-ISBN 978-5-317-06489-1

<https://doi.org/10.29003/m1476.Silicon-2020>

В выпуске представлены тезисы докладов XIII Международной конференции «Кремний – 2020» и XII Школы молодых ученых по актуальным проблемам физики и технологии кремниевой электроники и нанометровых приборов, освещающие актуальные темы разработки процессов создания перспективной элементной базы и новых путей её использования. Кроме традиционных тем исследования процессов в объёме кремния, на поверхности и на границах раздела, их влияния на элементы кремниевой электроники, представлены и новые перспективные направления, такие как создание и исследование нейроморфных сетей, как ключевого элемента систем искусственного интеллекта, а также исследования в области создания и моделирования квантовых объектов построения элементной базы фотоники и оптоэлектроники. Представлены также доклады, затрагивающие практические вопросы построения моделей и развития систем автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: микроэлектроника, кремний, материаловедение, нанотехнологии, фотоника, оптоэлектроника, нейроморфные системы, моделирование.

УДК 621.38
ББК 32.844.1

ISBN 978-5-317-06470-9

© Авторы статей, 2020
© Горнев Е.С., общ. ред., 2020
© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2020

Черкова С.Г., Володин В.А., Скуратов В.А., Кривякин Г.К.,
Камаев Г.Н. МОДИФИКАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ
ОТЖИГАМИ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ,
ОБЛУЧЕННОМ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
..... 215

Зиновьев В.А., Зиновьева А.Ф., Кацюба А.В., Володин В.А.,
Двуреченский А.В. ОСОБЕННОСТИ РОСТА СЛОЕВ CaSi_2 НА
ПОДЛОЖКАХ $\text{CaF}_2/\text{Si}(001)$ 218

**Секция 5 «Моделирование процессов роста кремния и
структур на его основе, применение TCAD и SPICE-моделей»
..... 221**

Евдокимов В.Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ
НЕРАВНОМЕРНОСТИ СЛОЕВ, ОСАЖДАЕМЫХ ИЗ ГАЗОВОЙ
ФАЗЫ, НА МИКРОРЕЛЬЕФНУЮ ПОДЛОЖКУ 221

Орленсон В.Б., Мазин А.С., Шевченко А.И. МОДЕЛЬ
РАСЧЁТА ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ..... 224

Попов Д.А. TCAD МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОЕУСТОЙЧИВОСТИ
SELBOX И DSOI КМОП КНИ ЯЧЕЕК ПАМЯТИ..... 227

Исмаил-Заде М.Р., Самбурский Л.М. SPICE модели
СУБМИКРОННЫХ КМОП ТРАНЗИСТОРОВ В ДИАПАЗОНЕ
КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ..... 229

Звягинцев Д.Е., Елисеева А.В., Куликов Н.А., Харитонов И.А.,
Самбурский Л.М. ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ЦИФРОВЫЕ КМОП ИС..... 232

Шипицин Д.С., Потупчик А.Г., Шемякин А.В. ОСНОВНЫЕ
ЭФФЕКТЫ БЛИЗОСТИ В ГЛУБОКО-СУБМИКРОННЫХ МОП-
ТРАНЗИСТОРАХ И ПОДХОДЫ К ИХ УЧЁТУ В SPICE-МОДЕЛЯХ.
..... 236

Коротких С.А., Новиков А.А., Ильин С.А. ВАЛИДАЦИЯ В
КРЕМНИИ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС..... 240

TCAD SIMULATION OF SELBOX AND DSOI CMOS SRAM FAILURE

Dmitry Alexandrovich Popov, Senior Lecture MIEM NRU HSE, Moscow, da.popov@hse.ru, +7 (926) 532-02-46

Abstract: A mixed TCAD-SPICE simulation of the heavy ion impact into a SRAM on SOI CMOS transistors was carried out. The dependence of the threshold LET on temperature was investigated for three configurations of 0.24 μm SOI MOSFET: traditional SOI, Selective BOX and Double SOI. The radiation hardness of SRAM on Double SOI MOSFETs is significantly improved by applying a negative bias to the additional silicone layer has been shown.

Key words: SEU, TCAD-SPICE simulation, DSOI, SELBOX, high temperature.

Acknowledgments: the reported study was funded by RFBR (grant No. 18-07-00898), and RFBR and NSFC (grant No. 20-57-53004).

УДК 621.382.32

<https://doi.org/10.29003/m1609.Silicon-2020/229-232>

SPICE МОДЕЛИ СУБМИКРОННЫХ КМОП ТРАНЗИСТОРОВ В ДИАПАЗОНЕ КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Исмаил-Заде Мамед Рашидович, ассистент департамента электронной инженерии¹, mismailzade@hse.ru, +7 (926)376-73-98
Самбурский Лев Михайлович, к. т. н., доцент¹, lsambursky@hse.ru, +7 (495) 772-95-90*15206*

¹НИУ ВШЭ, г. Москва

Аннотация: В работе представлены SPICE Low-T модели субмикронных КМОП транзисторов, предназначенные для расчета электронных схем в диапазоне криогенной температуры (до 4 К). Разработана процедура экстракции SPICE-параметров Low-T моделей на основе результатов

измерений или TCAD-моделирования стандартного набора ВАХ и ВФХ в криогенном диапазоне температуры.

Ключевые слова: криогенная температура, компактные SPICE-модели, КМОП транзисторы, SPICE-моделирование.

Введение

Применение интегральных схем в условиях криогенной температуры, стала предметом повышенного интереса, в связи с быстрыми темпами развития спутниковой индустрии, космической отрасли, квантовых вычислительных систем и др. Проектирование таких схем требует наличие SPICE-моделей элементов схемы, которые позволяют оценить уровень их стойкости к воздействию криогенной температуры.

Методика построения SPICE Low-T моделей

В работе представлены SPICE-модели МОПТ, изготовленные по КНИ, КНС и нанометровой КМОП технологиям, температурный диапазон которых расширен до 4 К. В качестве базовой модели использовались стандартные SPICE-модели МОПТ: BSIM6 и PSP для 28-нм КМОП транзисторов, BSIMSOI для 0,18-мкм КНИ МОПТ и BSIM4 для 0,25-мкм КНС МОПТ. Затем каждая базовая модель была дополнена аппроксимирующими выражениями для основных температурно-зависимых параметров: V_{TH} , μ_0 , SS , RD . Для выбранных параметров использовалась полиномиальная и гиперболическая функции зависимости от температуры. Измерялись семейства стандартных ВАХ МОПТ с различными W/L канала в диапазоне температур от 4 К до 300 К. Определение температурно-зависимых параметров базовой SPICE-модели и дополнительных коэффициентов проводилась с помощью промышленного САПР IC-CAP.

Результаты

На рисунке 1 представлено сравнение результатов измерения [1–3] и расчёта по разработанным Low-T SPICE-моделям выходных ВАХ МОПТ, изготовленных по трем

различным технологическим процессам в диапазоне температуры до 4 К. Погрешность расчёта ВАХ для всех разработанных моделей не превышает 12% в диапазоне температуры до 4 К.

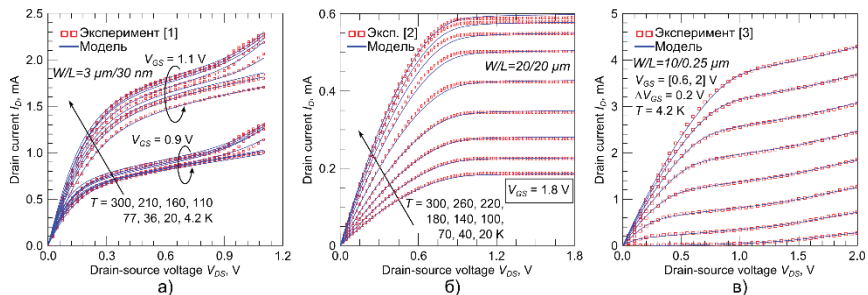


Рисунок 1 – Выходные ВАХ МОП-транзисторов: а) 28-нм МОПТ; б) 0,18-мкм КНИ n -МОПТ; в) 0,25-мкм КНС n -МОПТ

Выводы

Разработаны Low-T версии стандартных SPICE моделей BSIM4, BSIM6, BSIMSOI и PSP для субмикронных и нанометровых МОП транзисторов, предназначенные для расчета электронных схем в диапазоне криогенной температуры до 4 К.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-07-00898 А) и совместного российско-китайского гранта (грант № 20-57-53004).

Список использованных источников

1. F. Jazaeri, et al., Proc. 26th Int. Conf. Mixed Des. Integr. Circuits Syst. (MIXDES), Jun. 2019, pp. 15–25.
2. B. Xie, et al., Chinese Physics B, vol. 25, no. 7, p. 078501, 2016.
3. S. R. Ekanayake, et al., IEEE Trans Electron Devices, 57(2), 2010, pp. 539-547.

SPICE MODELS OF SUB-MICRON CMOS MOSFETS IN THE CRYOGENIC TEMPERATURE RANGE

Mamed R. Ismail-Zade, Assistant of the Department of Electronic Engineering¹, mismailzade@hse.ru, +7 (926)376-73-98

Lev M. Sambursky, Candidate of Sc. (engineering), Associate Professor¹, lsambursky@hse.ru, +7 (495) 772-95-90*15206

¹*NRU HSE, Moscow*

Abstract: This paper presents Low-T SPICE models of sub-micron MOSFETs, designed to calculate electronic circuits in the cryogenic temperature range (down to 4 K). The procedure for extracting the Low-T SPICE model parameters based on the measurement results or TCAD simulation of a standard set of I-V and C-V characteristics in the cryogenic temperature range has been developed.

Key words: cryogenic temperature, compact SPICE models, CMOS transistors, SPICE modeling.

Acknowledgments: this work was implemented in the framework of the Russian Foundation for Basic Research (grant 18-07-00898 A), and by RFBR and NSFC according to the research project 20-57-53004.

УДК 51-37

<https://doi.org/10.29003/m1610.Silicon-2020/232-235>

ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЦИФРОВЫЕ КМОП ИС

Звягинцев Дмитрий Евгеньевич, студент¹,
dezvyagintsev@miem.hse.ru, +7 (999) 861-91-96

Елисеева Алёна Валерьевна, студент,
eliseevaaleona@yandex.ru

*Куликов Никита Андреевич*², аспирант, nikita93-07@bk.ru