

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.3.049.774-04.42

На правах рукописи

ШВЕД
Сергей Михайлович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР
ИЗДЕЛИЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии
проектирования электронных систем

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **БАРАНОВ Валентин Владимирович**,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры проектирования информационно-
компьютерных систем учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **МАЗАНИК Александр Васильевич**,
кандидат физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой энергофизики БГУ

Защита диссертации состоится «26» июня 2019 года в 12 часов 30 минут на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 408, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы электронные системы стабилизации и распределения энергии, особенно предназначенные для портативных устройств, развивались так стремительно, что некоторые специалисты классифицировали ситуацию как "вторую электронную революцию". Основным фактором, способствующим этому, является существенный прогресс в области разработки и производства мощных дискретных полупроводниковых приборов.

К настоящему времени разработано множество силовых ключей. Самые простые из них в применении и потому самые популярные – МОП полевые транзисторы (МОП ПТ – *MOSFET*) и биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ – *IGBT*). В некоторых областях применения эти транзисторы взаимозаменяемы, в других – выбор конкретного прибора однозначен.

Малогабаритные устройства принципиально изменяют облик источников питания. По мере уменьшения габаритов и расширения функциональных возможностей этих устройств изменяются требования к источникам питания, их архитектура и функциональные возможности. В стремлении сохранить конкурентоспособность производители предлагают все большее число моделей портативных систем, оснащенных БИС управления мощностью и выполнения разнообразных служебных функций. Чтобы придать таким моделям какие-либо отличительные черты, в их конструкцию вводятся мощные дискретные полупроводниковые приборы.

Актуальность темы магистерской диссертации связана с тем, что в настоящее время необходимо точно моделировать полупроводниковые изделия для уменьшения издержек производства и сокращения времени на разработку новых изделий.

В этой связи были установлены следующие задачи для исследования:

- анализ методов и средств моделирования и оптимизации;
- разработка математической модели ТТС конкретного ИСЭ;
- апробация математической модели для характерных параметров физико-топологического моделирования.

В ходе исследования составлена программа расчета мощного МОП транзистора. Программа разработана на основа программного продукта *Microsoft Office Excel*. Для расчета характеристик мощного МОП транзистора составлена математическая модель.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Силовая электроника на данный момент является областью электроники, получившей огромное развитие, ввиду использования ИСЭ во многих областях жизни человека. Производителя изделий силовой электроники ищут возможность моделировать и оптимизировать характеристики производимой продукции без использования натурального моделирования. Это ставит перед промышленностью задачу по созданию и применению различных программ, использующих математические модели для экономии денежных средств и времени на разработку прототипов новых ИСЭ. В связи с этим, разработка математической модели ТТС ИСЭ позволит тщательно разобраться в рассматриваемом изделии, смоделировать и оптимизировать устройство без создания его физической модели, а, следовательно, получить прирост производительности промышленности и значительной экономии денежных средств.

Степень разработанности проблемы

В процессе работы над магистерской диссертацией были рассмотрены основные вопросы, касающиеся развития, устройства и параметров ТТС ИСЭ. Рассмотрены основные варианты моделирования и оптимизации. Установлена актуальность темы исследований и необходимость создания методики.

Цель и задачи исследования

Целью магистерской диссертации является моделирование и оптимизация параметров ТТС ИСЭ, а также создание математической модели конкретного изделия и визуализация расчетов, полученных в ходе применения математической модели.

Объектом исследования являются ИСЭ, а предметом исследования – параметры ТТС, определяющие качество работы любого электронного средства, в состав которых они входят.

Для достижения поставленной цели были установлены следующие задачи для исследования:

- анализ методов и средств моделирования и оптимизации;
- разработка математической модели ТТС конкретного ИСЭ;
- апробация математической модели для характерных параметров физико-топологического моделирования.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы и статьи зарубежных авторов в области разработки изделий силовой электроники, а также анализ различной технической документации по рассматриваемой тематике. Также в основу разработки методологии легли работы по разработке математической модели для конкретного изделия и оптимизация параметров конкретного изделия посредством полученной математической модели.

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается в разработке математической модели ТТС ИСЭ.

Теоретическая значимость работы заключается в детальном анализе параметров ИСЭ, влияющих как на качество конечного продукта, в котором используется конкретное ИСЭ, так и на стоимость производства в финансовом и временном планах.

Практическая значимость диссертации состоит в разработанной математической модели, позволяющей улучшить ТТС ИСЭ исходя из требуемых параметров предполагаемого заказчика ИСЭ.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Анализ методов моделирования ТТС ИСЭ, установлено, что методы моделирования в программе *Excel* являются оптимальными для вычисления электрических параметров приборов КР750Г.

2. Математическая модель в программе *Excel* для актуальных приборов, например, для КР750Г, выпускаемых на ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ». При этом использованы расчетные выражения для определения электрических параметров приборов, зависящие от конструкторско-технологических параметров.

3. Экспериментальное подтверждение адекватности математической модели, основанное на анализе статистических данных по испытаниям мощного МОП транзистора КР750Г, позволившее выработать практические рекомендации для изделий КР750Г в виде минимизации сопротивлений кристалла и величин емкостей кристалла согласно построенной емкостной

модели. Статистические данные получены в ходе испытаний на филиале «ТРАНЗИСТОР» ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ».

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения опубликованы в 2 тезисах, представленных в сборнике материалов 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР за 2018 г. Также 2 статьи опубликованы в международных научных журналах, 4 статьи приняты к публикации в международных журналах.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе приведен обзор методов моделирования и оптимизации твердотельной структуры изделий силовой электроники. Описаны их отличительные свойства, некоторые принципы работы, произведена общая и сравнительная характеристика каждой из систем. Рассмотрены основные свойства методов моделирования. Приведено описание основных этапов моделирования.

Во второй главе представлен обзор наиболее перспективных изделий силовой электроники. Обоснована необходимость тщательного изучения вопроса моделирования изделий силовой электроники. Разработана математическая модели конкретного изделия силовой электроники на основе выбранного программного обеспечения.

В третьей главе апробация полученной математической модели. Сформулированы практические рекомендации

В приложении представлены публикации автора и акт внедрения.

Общий объем диссертационной работы составляет 90 страниц. Из них 43 страницы основного текста, 13 иллюстраций на 10 страницах, 16 таблиц на 14 страницах, библиографический список из 54 наименований на 4 страницах, 4 приложения на 35 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние развития изделий силовой электроники и значимость силовой электроники в повседневной жизни человека.

В общей характеристике работы показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований.

В первой главе рассмотрены методы моделирования и оптимизации твердотельных структур изделий силовой электроники.

Приведены этапы моделирования, проведена классификация и описаны свойства моделей, необходимые и достаточные для построения верной модели требуемого изделия.

Приведен пример оптимизации произвольной системы, описана последовательность (алгоритм оптимизации) модели. Выявлены основные оптимизационные задачи. Приведены оптимизационные задачи непосредственно требуемые для оптимизации твердотельной структуры изделий силовой электроники

Во второй главе проведен анализ рынка полупроводниковых изделий, их место в мировой экономике. Проведен выбор программных средств для моделирования и оптимизации твердотельной структуры изделий силовой электроники. Проведен анализ разновидностей конструктивного исполнения мощных ДМОП транзисторов.

Расчет параметров ДМОП-транзистора						Var-1
ТАБЛИЦА 1. СПИСОК ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ						КП742
НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА		ОБОЗНАЧЕНИЕ	ПРИМЕЧ.			N-канал
Количество сторон рабочей ячейки		Форма яч	4 или 6			4
Количество ячеек		Няч	шт			152072
Шаг ячейки		Шаг	мкм			12
Размер ячейки по слою "Затвор"		Ляч	мкм			6
Зазор между ячейкам по слою "Затвор"		Лзаз	мкм			6
Размер затворной площадки по оси X		Хз	мкм			1000
Размер затворной площадки по оси Y		Yз	мкм			600
Ширина скрайберной дорожки		Лскр	мкм			200
Ширина пассивной области кристалла		Лпас	мкм			100
Толщина межслойного диэлектрика		Dx м/с	мкм			0,65
Толщина подзатворного окисла		Dx п/з	А			500
Глубина истоковой области		Xj n+	мкм			0,5
Глубина канальной области		Xj p-	мкм			1,7
Концентрация носителей в эпитаксиальной пленке		N n- эпитаксии	(см) ⁻³			7,3E+15
Максимальная концентрация носителей в канале		N p-	(см) ⁻³			2,9E+17
Толщина эпитаксиальной пленки		Dx n-	мкм			9
Удельное сопротивление эпитаксиальной пленки		ρv	ом x см			0,7
Толщина кристалла		Dx кристалла	мкм			420
Удельное сопротивление подложки		ρv подложки	ом x см			0,01
РЕЖИМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРОВ						
Пороговое напряжение транзистора (R1)		U пор n	В			3
Напряжение сток-исток при замере емкостей		U исе	В			25
Напряжение затвор-исток при замере R си		U изг	В			10
Ток стока при замере Rси		I сг	А			40
Напряжение затвор-исток при замере крутизны		U изк	В			5
Напряжение сток-исток при замере тока стока		U сиi	В			1,4

Рисунок 1 – Входные параметры ДМОП-транзистора

На рисунках 1 и 2 представлен вид программы, описывающей математическую модель твердотельной структуры мощного ДМОП транзистора.

Разработана и представлена подробная методика построения математической модели твердотельной структуры изделий силовой электроники.

В качестве входных параметров для математической модели мощного ДМОП транзистора служат характерные параметры физико-топологического моделирования, такие как длина канала, подвижность носителей в канал обогащенного *n*-МОП транзистора, удельная емкость подзатворного окисла, периметр элементарной ячейки и т.д

На рисунке 1 представлен фрагмент внешнего вида программы, рассчитывающей электрические параметры транзистора КР750Г. Представлен один из вариантов моделирования, включающий в себя установку части параметров транзистора КР750Г неизменными. Параметры, доступные для изменения в ходе моделирования выделены желтым цветом, а именно:

- количество элементарных ячеек транзистора;
- шаг элементарной ячейки;
- размер ячейки по слою «затвор»;
- зазор между ячейками по слою «затвор».

Эти параметры дают возможность точно рассчитать необходимые электрические параметры транзистора в ходе исследования.

ТАБЛИЦА 2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛА					Var-1
НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ОБОЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРА	РАЗМЕР-НОСТЬ	НОРМА		КП742 N-канал
			MIN	ТYP	
Пробивное напряжение плоского р-п перехода	Uпроб с-и (плоск)	В	60		68
Входная емкость кристалла	Ciss кр	пФ			5843
Входная емкость кристалла с учетом С4	Ciss кр (С4)	пФ			5200 4915
Выходная емкость кристалла	Coss кр	пФ			2300 1045
Проходная емкость кристалла	Crss кр	пФ			650 454
Сопротивление кристалла без учета ОПЗ	R кр	мОм			7,3
Сопротивление кристалла с учетом ОПЗ	R кр (ОПЗ)	мОм			14,0 7,9
Крутизна кристалла	Gfs кр	А / В	25		174
Ток стока кристалла	I с кр	А			191
Ток стока кристалла с учетом ОПЗ	I с кр (ОПЗ)	А			178
Пороговое напряжение транзистора	U пор п	В			3
Сопротивл. канала обогащенного N-МОП транзистора	R1 кр	мОм			1,6
Сопротивл. канала обедненного P-МОП транзистора	R2 кр	мОм			0,1
Сопротивл. управляемого полем N-МОП транзистора	R3 кр	мОм			0,9
Сопротивл-е управл-го полем N-МОП транз-ра с учетом ОПЗ	R3 кр (ОПЗ)	мОм			1,3
Сопротивл. трапецидальной области N'-эпит-й пленки	R4 кр	мОм			2,8
R4 с учетом ОПЗ	R4 кр (ОПЗ)	мОм			2,9
Сопротивление прямоугольной области N'-эпит-й пленки	R5 кр	мОм			0,0
Сопротивление прямоугольной области подложки	R6 кр	мОм			1,9
Длина канала транзистора	Lкан	мкм			1,02
Активный периметр (ширина канала) ячейки	Wакт	мкм			35,6
Активная площадь кристалла	S кр акт	(мм)2			21,9
Полная площадь кристалла	S кр	(мм)2			26,5
Суммарный активный периметр (ширина канала) кристалла	W кр	мм			5408

Рисунок 2 – Расчетные параметры математической модели ДМОП-транзистора

На основе построенной математической модели в дальнейшем возможно исследовать зависимости выходных параметров от входных (настраиваемых в заданных пределах).

На рисунке 2 представлен фрагмент внешнего вида программы, рассчитывающей электрические параметры транзистора КР750Г. Представлен один из вариантов моделирования, рассчитывающий выбранные в ходе исследования параметры. Параметры, рассчитываемые в ходе моделирования выделены желтым цветом, а именно:

- пробивное напряжение плоского *p-n*-перехода;
- входная емкость кристалла с учетом *C4*;
- выходная емкость кристалла;
- проходная емкость кристалла;
- сопротивление кристалла без учета ОПЗ;
- сопротивление кристалла с учетом ОПЗ;
- длина канала транзистора;
- суммарный активный периметр (ширина канала) кристалла.

Эти параметры дают возможность точно рассчитать необходимые электрические параметры транзистора в ходе исследования.

В третьей главе проведена апробация разработанной ранее математической модели твердотельной структуры изделия силовой электроники. Представлены рисунки зависимостей параметров транзистора КР750Г, моделируемых в ходе исследования от характерных параметров физико-топологического моделирования указанного транзистора.

Основными параметрами, выбранными для моделирования, являются:

- резистивное сопротивление кристалла;
- входная емкость;
- выходная емкость;
- проходная емкость.

Параметрами, оказывающими влияние на нормализованные уровни электрически параметров транзистора КР750Г, являются величина(толщина) подзатворного слоя SiO_2 и концентрация носителей в верхней(подлегированной) части эпитаксиального слоя.

Из приведенных данных следует, что, увеличение толщины подзатворного слоя SiO_2 заметно влияет на величину R_{SD} , C_{iss} и крайне незначительно на C_{oss} , C_{rss} . Другими словами, увеличение толщины подзатворного слоя SiO_2 на 10% приводит к увеличению R_{SD} на ~1%, уменьшению C_{iss} на 2,6%, снижению C_{oss} на 0,1% и уменьшению C_{rss} на 0,17%. В случае прибора КР750Г с точки зрения снижения R_{SD} следует выбирать толщину подзатворного слоя SiO_2 на уровне 42 нм, т.к. дальнейшее уменьшение толщины трудновыполнимо по причине ограничения величиной электрической прочности, а также верхней границей входной ёмкости.

Зависимости расчётных значений электрических параметров ДМОП транзистора – R_{SD} , C_{iss} (входная ёмкость), C_{oss} (выходная ёмкость), C_{rss} (проходная ёмкость) от толщины подзатворного слоя SiO_2 , приведены в нормализованном графическом виде на рисунке 3.

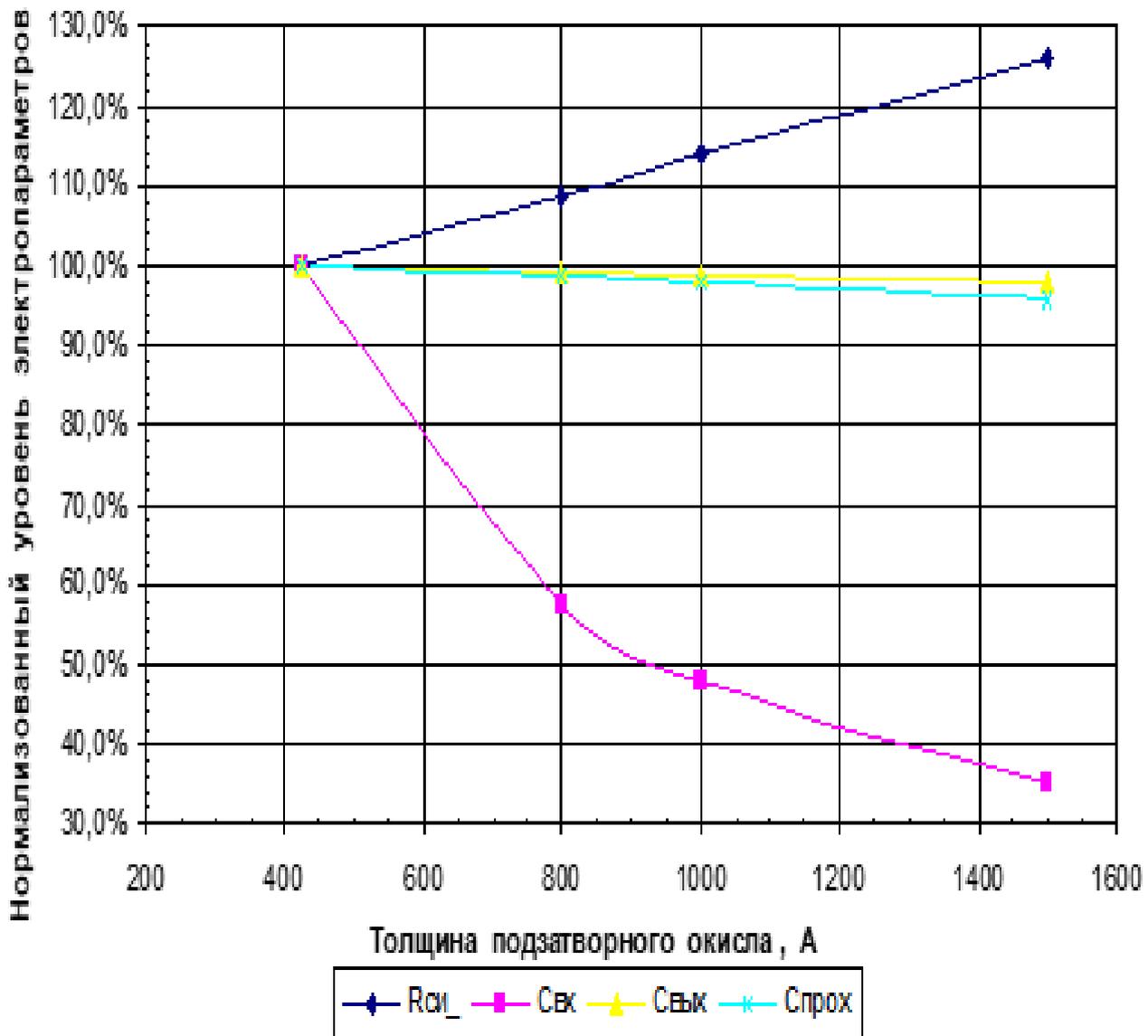


Рисунок 3 –Зависимость нормализованных уровней электрических параметров ДМОП транзистора от толщины подзатворного слоя SiO_2

Зависимости нормализованных электрических параметров прибора от концентрации носителей в верхней (подлегированной) части эпитаксиального слоя с исходной концентрацией $N_n = 8,3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ – на рисунке 4.

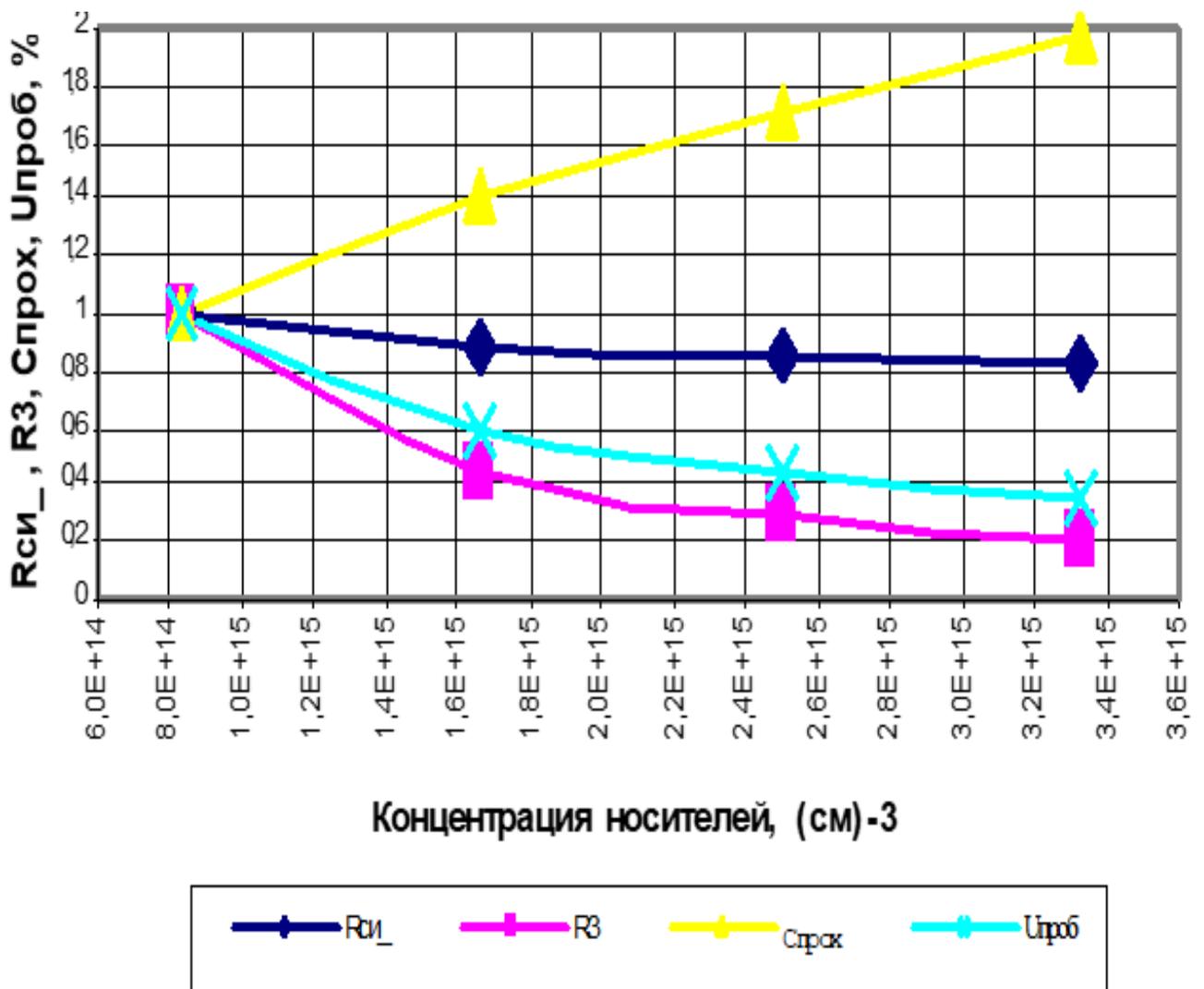


Рисунок 4 – Зависимость нормализованных электропараметров ДМОП транзистора от концентрации носителей в верхней (подлегированной) части эпитаксиального слоя

Исходя из резистивной эквивалентной электрической схемы ДМОП транзистора можно констатировать, что изменение концентрации основных носителей в верхней части эпитаксиального слоя будет влиять только на составляющую R_{3S} , если пренебречь незначительным изменением составляющей R_{4S} в верхней горловине трапециидального сечения. Поскольку удельный вес составляющей R_{3S} в суммарном R_{SD} для данного прибора равен $\sim 22\%$, то и максимальный выигрыш в снижении R_{SD} от повышения концентрации носителей в верхней части эпитаксиального слоя не может превысить этот уровень. Окончательный выбор оптимальных топологических параметров кристалла, соответствующих минимуму R_{SD} , возможен только после эмпирического подбора максимально-возможного уровня концентрации носителей в верхней части слое эпитаксиальной пленки, гарантирующего требуемый уровень пробивного напряжения исток-сток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В ходе магистерской диссертации, целью которой было разработка математической модели твердотельных структур изделий силовой электроники на примере мощного МОП транзистора КР750Г, а также оптимизация полученной математической модели для наиболее точных расчетов параметров твердотельной структуры изделий силовой электроники, были решены следующие задачи:

- выполнен анализ методов и средств моделирования и оптимизации твердотельных структур изделий силовой электроники;
- произведен выбор и обоснование программных средств для построения математической модели и ее дальнейшей оптимизации;
- произведен анализ рынка изделий силовой электроники и выбрано изделие силовой электроники для построения математической модели его твердотельной структуры, а именно мощный МОП транзистор КР750Г;
- разработана методика построения математической модели мощного МОП транзистора КР750Г;
- произведена апробация полученной математической модели и выработаны практические рекомендации по использованию полученной математической модели.

В результате анализа методов моделирования была выбрана математическая модель, как отвечающая всем необходимым условиям для создания модели ИСЭ. Были определены наиболее значимые параметры, оптимизируемые в процессе моделирования конкретного изделия. В качестве программного средства, используемого для моделирования, была выбрана программа *Microsoft Office Excel*. В результате анализа рынка перспективных изделий было выбрано конкретное изделие, смоделированное в процессе исследования. Построена математическая модель мощного МОП транзистора. В результате апробации математической модели получены графики зависимостей определенных параметров для конкретного изделия силовой электроники.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Электрические и электронные компоненты устройств и систем».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Швед, С.М. Программные продукты для моделирования математических моделей изделий силовой электроники/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018.

2. Швед, С.М. Моделирование и оптимизация характеристик изделий силовой электроники/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018.

3. Швед, С.М. Применение индукционных нагревателей на примере продуктов компании ЭЛСИТ/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Международный научный журнал «Научное знание современности». – 2018. – № 12 (24). – С. 48–50.

4. Швед, С.М. Обзор Российского сегмента рынка производства изделий силовой электроники/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Международный научный журнал «Научное знание современности». – 2018. – № 12 (24). – С. 51–54.

5. Швед, С.М. Анализ разновидностей конструктивного исполнения мощных МОП транзисторов/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Международный научный журнал «Вестник Науки и Творчества». – 2019. – № 6 – (12). – Принято в печать.

6. Швед, С.М. Анализ расчётных данных мощного МОП транзистора/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Международный научный журнал «Научное знание современности». – 2019. – № 6 (12). – Принято в печать.

7. Швед, С.М. Обзор наиболее перспективных изделий силовой электроники/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Международный научный журнал «*Science Time*». – 2019. – № 6 (12). – Принято в печать.

8. Швед, С.М. Проблемы микромонтажа мощных транзисторов/ С.М. Швед, В.В. Баранов // Международный научный журнал «Научное знание современности». – 2019. – № 6 (12). – Принято в печать.

РЭЗІЮМЭ
Швед Сяргей Міхайлавіч
Мадэляванне і аптымізацыя цвёрдацельных мадэляў вырабаў сілавы
электронікі

Ключавыя словы: мадэляванне, матэматычная мадэль, вырабы сілавы электронікі.

Мэта працы: атрыманне і прымяненне матэматычнай мадэлі для разліку параметраў цвёрдацельнай мадэлі вырабаў сілавы электронікі.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: выкананы аналіз найбольш перспектыўных вырабаў сілавы электронікі. Абраныя праграмае забеспячэнне і канкрэтнае вырабы для распрацоўкі матэматычнай мадэлі.

Распрацавана методыка пабудовы матэматычнай мадэлі цвёрдацельнай мадэлі вырабы сілавы электронікі. Праведзена мадэляванне шэрагу параметраў магутнага МОП транзістара.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі ў навучальны курс" Электрычныя і электронныя кампаненты прылад і сістэм".

Вобласць ужывання: паўправадніковая прамысловасць.

РЕЗЮМЕ

Швед Сергей Михайлович

Моделирование и оптимизация твердотельных структур изделий силовой электроники

Ключевые слова: моделирование, математическая модель, изделия силовой электроники.

Цель работы: получение и применение математической модели для расчета параметров твердотельной структуры изделий силовой электроники.

Полученные результаты и их новизна: выполнен анализ наиболее перспективных изделий силовой электроники. Выбраны программное обеспечение и конкретное изделия для разработки математической модели.

Разработана методика построения математической модели твердотельной структуры изделия силовой электроники. Проведено моделирование ряда параметров мощного МОП транзистора.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в учебный курс “Электрические и электронные компоненты устройств и систем”.

Область применения: полупроводниковая промышленность.

SUMMARY

Shved Siarhei Mikhailovich

Modeling and optimization of the solid-state structure of power electronics products

Keywords: modeling, mathematical model, power electronics products.

The object of study: to obtain and apply a mathematical model for calculating the parameters of the solid-state structure of power electronics products.

The results and novelty: an analysis of the most promising products of power electronics. Selected software and specific products to develop a mathematical model.

A method for constructing a mathematical model of the solid-state structure of a power electronics product has been developed. A number of parameters of a powerful MOS transistor were simulated.

Degree of use: the results implemented in the educational process at the department of design information and computer systems educational institution "Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics in the training course" Electrical and Electronic Components of Devices and Systems".

Sphere of application: semiconductor industry.