



Акционерное общество
**«МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ
КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ФАКЕЛ»**
имени академика П.Д. Грушина»
ул. Академика Грушина, 33,
г. Химки, Московская обл., 141401
телефон: (495) 781-05-73
факс: (495) 572-01-33; e-mail: info@mkbafakel.ru
ОКПО 07544915, ОГРН 1025006173664,
ИНН/КПП 5047051923/504701001

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор -
Генеральный конструктор
АО «МКБ «Факел»,
доктор технических наук

Доронин

ОТЗЫВ

№

от
на автореферат диссертационной работы Максименко Юрия Николаевича на тему: «Мощные полупроводниковые приборы со статической индукцией», представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

На

Мощные полупроводниковые ключи (МПК) являются важными элементами радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), существенно влияющими на показатели надежности и массогабаритные параметры аппаратуры.

Долгое время основным прибором, применяемым в этих областях, являлся биполярный транзистор (БТ). Однако из-за низкой перегрузочной способности, низкого коэффициента усиления по току, невысокого быстродействия приборов с повышенным рабочим напряжением они перестали удовлетворять современным требованиям, предъявляемым к разработчикам РЭА. Появление в конце 1970-х годов нового класса приборов - мощных полевых МДП-транзисторов резко ослабило конкурентоспособность БТ. Высокая их перегрузочная способность и быстродействие открыли новые возможности при построении РЭА. Однако, наряду с достоинствами, МДП-транзисторы имеют существенный недостаток - высокое сопротивление канала в открытом состоянии.

В начале 1990-х годов появились приборы, известные под аббревиатурой COMFET, IGT, GEMFET, VIFET, имеющие высокие допустимые напряжения (до 1...2 кВ), большой выходной ток, высокое быстродействие, малые потери во включенном состоянии и высокую перегрузочную способность. Однако при напряжениях свыше 2 кВ применение этих приборов их эффективность снижается вследствие резкого увеличения сопротивления канала и снижения быстродействия.

Дальнейшее развитие мощных полупроводниковых ключей шло по пути создания биполярных транзисторов с полевым управлением и подложкой кристалла, имеющей другой тип проводимости, чем база прибора, (приборы IGBT) позволило частично решить эту проблему. Одновременно развивался новый класс мощных высоковольтных полевых транзисторов - транзисторов со статической индукцией (СИТ). Транзисторы СИТ отличались большой крутизной и высоким значением коэффициента блокирования, высоким быстродействием, низким остаточным напряжением, высокой стойкостью к статическому напряжению и спецвоздействиям. Однако достоинства транзисторов СИТ с планарным затвором ограничиваются рабочим напряжением до 1200 В и током до 30 А.

В то же время развитие аппаратуры электротехники и электроэнергетики требует создания элементной базы с более высокими электрическими характеристиками.

Поэтому **цель диссертационной работы** - разработка физико-математических моделей работы приборов со статической индукцией в статическом и динамическом режимах конструктивных и электрофизических параметров, проведение анализа влияния конструктивных и электрофизических параметров на работу приборов со статической индукцией, разработка на базе данного анализа новых конструкций приборов со статической индукцией с более высокими характеристиками, а также принципиально новых приборов, позволяющих создавать на их основе более эффективную и надежную РЭА, является **актуальной**.

Объект исследования: транзисторы и тиристоры со статической индукцией, а также принципиально новые приборы, работающие на принципе статической индукции: прибор с N-образной характеристикой (дефензор), СИТ с быстродействующим диодом, составные СИТ, СИТ с защитными стабилитронами на входе и на выходе; СИТ и ТЭУ с гетероистокком и гетерокатодом.

Предмет исследования: конструкция и технология изготовления СИТ и ТЭУ, конструкции новых приборов, работающих на принципе статической индукции.

Основные задачи исследования:

– разработка физико-математических моделей, позволяющих осуществлять инженерный расчет основных электрических параметров СИТ и ТЭУ с планарной структурой затвора в статическом и динамическом режимах работы в полевом и биполярном режимах;

– проведение анализа влияния конструктивных и электрофизических параметров на ВАХ и создание приборов с оптимальными конструктивными параметрами, имеющих значительно лучшие основные электрические характеристики;

– поиск новых конструктивно-технологических решений, позволяющих создавать мощные высоковольтные приборы со статической индукцией, такие как СИТ и ТЭУ с быстродействующим диодом на одном кристалле, составные приборы, приборы с N-образной характеристикой для защиты РЭА от перегрузок по току, СИТ и ТЭУ с гетероистокком и гетерокатодом.

Автором получены научные результаты, **новизна** которых заключается в:

– разработке физико-математических моделей приборов со статической индукцией, работающих в биполярном и полевом режимах, позволяющие проводить быстрый инженерный расчет основных электрических параметров приборов с планарным затвором для статического и динамического режимов работы, а также оптимизировать конструкцию кристалла;

– исследовании конструкций СИТ и ТЭУ и разработке новых с существенно более высокими электрическими характеристиками: повышенным более чем на порядок быстродействием, увеличенным в 2-3 раза коэффициентом усиления по току;

– разработке конструкций новых приборов: прибора с N-образной характеристикой, СИТ с антипараллельным быстродействующим диодом на одном кристалле, составного СИТ, СИТ и ТЭУ с гетероистокком и гетерокатодом, конструкция и технология изготовления ТЭУ с полевым управлением;

– разработке оригинальных схем управления приборов со статической индукцией и нормально открытым каналом для усилителей мощности звуковых частот и вторичных источников электропитания;

Новизна научных результатов, полученных автором, подтверждается:

11-ю авторскими свидетельствами СССР;

3-ми Патентами Российской Федерации.

В работе автором впервые разработаны:

– физико-математические модели, позволяющие проводить быстрый инженерный расчет и прогнозирование основных электрических параметров приборов СИТ, БСИТ и ТЭУ для статического и динамического режимов работы, оптимизацию конструкции кристалла приборов;

– технологический базовый маршрут формирования структуры кристалла приборов со статической индукцией с планарным затвором, обеспечивающий выход годных по кристаллу не менее 80-90%;

– конструкции СИТ и БСИТ приборов с увеличенной более, чем на порядок частотой генерации.

– семейство новых конструкций приборов со статической индукцией:

- СИТ и БСИТ с антипараллельным быстродействующим диодом, выполненных на одном кристалле:

- с диодом, расположенным под площадкой истока,

- с диодом, распределенным по активной структуре кристалла;

- составной СИТ-СИТ;

- прибор с N-образной вольтамперной характеристикой;

- СИТ и БСИТ, защищенных на входе и на выходе с быстродействующими стабилитронами;

– конструкции СИТ и ТЭУ с гетероистоком и гетерокатодом;

– схемы управления СИТ с нормально открытым каналом без дополнительного источника смещения.

Теоретическая значимость работы заключается в:

– разработке новых физико-математических моделей структуры приборов со статической индукцией, работающих в биполярном и полевом режимах;

– разработке новой физико-математической модели структуры приборов со статической индукцией для расчета динамических характеристик прибора;

– теоретических исследованиях влияния конструктивных и электрофизических параметров структуры на основные электрические параметры прибора со статической индукцией;

– разработке методического аппарата, позволяющего проводить быстрый инженерный расчет основных электрических параметров приборов с планарным затвором для статического и динамического режимов работы, а также оптимизировать конструкцию кристалла;

– теоретическом и экспериментальном исследовании конструкций СИТ и ТЭУ;

– разработке конструкций принципиально новых приборов: прибора с N-образной характеристикой, СИТ с антипараллельным быстродействующим диодом

на одном кристалле, составного СИТ, СИТ и ТЭУ с гетероистокком и гетерокатодом, конструкция и технология изготовления ТЭУ с полевым управлением;

– разработке принципов управления приборов со статической индукцией и нормально открытым каналом для усилителей мощности звуковых частот и вторичных источников электропитания.

Практическая значимость работы заключается:

– в разработке технологического метода формирования структуры кристалла, который позволяет создать транзисторы со статической индукцией с нормально открытым и нормально закрытым каналами (БСИТ) с выходом годных по кристаллу приборов 80-90%;

– в разработке мощного высоковольтного транзистора со статической индукцией - КП942А-5 с антипараллельным скоростным диодом;

– в разработке приборов с N-образной ВАХ, составные транзисторы и транзисторы, защищенные на входе и на выходе быстродействующими стабилитронами;

– в разработке конструкций СИТ и ТЭУ с высокими скоростями переключения;

– в разработке конструкций СИТ и ТЭУ с гетероистокком и гетерокатодом;

– в разработке оригинальных схем управления приборов со статической индукцией и нормально открытым каналом для усилителей мощности звуковых частот и вторичных источников электропитания.

Достоверность результатов исследований подтверждается методологией исследования, основанной на классических подходах к анализу данных по физике работы полупроводниковых приборов, использованием теоретически обоснованных вычислительных методов, результатами компьютерного моделирования с использованием ПО «Sentaurus TCAD» для расчета статических ВАХ, внедрением результатов исследований на предприятиях г. Новосибирска («НЭВЗ-Союз», ГП «Октава»), Бердска (БРЗ), Москвы (Г-4147, Г-4148), Александрова (АО «Александровский завод „Элекс"»), Махачкалы (ООО «Эльдаг»), Ташкента (ЗПП), Томска (НПО «Полюс») и др., использовании результатов работы при выполнении научного проекта «Теоретические исследования и экспериментальная разработка оптической приставки для анализа параметров компонентов высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи аналогового и цифрового сигналов» в

Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (Минобрнауки России, соглашение № FEWM-2024-0004 от 17.01.2024 г.).

Количество публикаций и апробаций результатов исследования является достаточным. Содержание автореферата соответствует специальности, по которой диссертация представляется к защите.

В то же время в качестве недостатков данной работы необходимо отметить:

1. В работе недостаточно четко сформулирована общая научная задача исследования, что усложнило проведение экспертизы работы.

2. В материалах диссертации не приводятся оценки показателей эффективности предлагаемых технологий по сравнению с существующими методиками.

3. В автореферате нет четких формулировок и связи в определениях «риск» и «технический риск», как уровень значимости состояния объекта.

4. В автореферате целесообразно было бы выделить публикации, входящие в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

В целом, судя по автореферату, диссертационная работа Максименко Юрия Николаевича на тему «Мощные полупроводниковые приборы со статической индукцией» является законченной научно-квалификационной работой, выполнена автором самостоятельно. Диссертация написана на актуальную тему, в которой изложены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в обороноспособность страны.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Публикации полностью отражают основные научные положения, рекомендации и выводы диссертации.

Диссертация Максименко Юрия Николаевича выполнена на высоком научном уровне, обладает научной и практической ценностью и соответствует паспорту специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Представленная диссертация соответствует критериям, установленным п.п. 9,10,11,13,14 «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842,

а ее автор, Максименко Юрий Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании НТС АО «МКБ «Факел» им. Академика П. Д. Грушина 15.04.2025г, протокол № 01/2025.

Заместитель главного конструктора –
ведущий специалист
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Заместитель начальника отдела
кандидат технических наук,
доцент

Ведущий конструктор
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

В.А. Самонов

В.И. Белогуров

Ю.В. Конищев

Акционерное общество «Машиностроительное конструкторское бюро
«Факел» им. акад. П.Д. Грушина»,

Адрес: 141401, Московская область, г. Химки, ул. Академика Грушина, 33

E-mail: info@mkbfakel.ru

Тел.: +7(495) 781-05-73

Поступил в совет 21.05.2025
Одобрено / Отвержено Д.И.