

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Алексева Романа Павловича «Влияние конструктивно-технологических факторов на насыщение вольт-амперных характеристик мощных СВЧ LDMOS-транзисторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Актуальность темы диссертации. В основе большинства современных достижений, связанных с информационными технологиями лежит элементная база полупроводниковой электроники, ключевой ее компонент — транзистор. Дискретные мощные ВЧ и СВЧ полевые транзисторы на сегодняшний день являются важной составляющей рынка электронных компонентов. Они применяются в усилительных трактах связных и телевизионных радиопередатчиков, авиационной бортовой и наземной электронике, импульсных передатчиках радиолокационных систем, средствах РЭБ, радарх различного назначения. LDMOS-технология начала активно развиваться в начале 90-х годов прошлого века и быстро стала ключевой кремниевой технологией для изготовления мощных СВЧ транзисторов. Транзисторы, изготовленные по LDMOS-технологии, имеют наилучшие характеристики среди кремниевых транзисторов по таким параметрам как коэффициент полезного действия, коэффициент усиления по мощности, высокая линейность, электрическая и тепловая стабильность, а также устойчивость к рассогласованию нагрузки. В настоящее время СВЧ LDMOS-транзисторы, несмотря на появление транзисторов на основе гетероструктур, не утратили своей актуальности и продолжают развиваться и на территории Российской Федерации, и в зарубежных странах. Таким образом, тема диссертации является **актуальной**.

Общая характеристика диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Во введении дана общая

характеристика работы, показана актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, показана научная новизна полученных результатов, их практическая значимость, приведены сведения о публикациях по теме диссертации, личном вкладе автора, описана структура и объем диссертации. Первая глава является литературным обзором по теме диссертации, в котором отображено развитие взглядов на механизм возникновения эффекта квазинасыщения вольт-амперных характеристик. Автор диссертации обосновывает отличия эффекта квазинасыщения, происходящего в LDMOS-транзисторах, от насыщения ВАХ MOS-транзисторов, и необходимость борьбы с эффектом квазинасыщения в LDMOS-транзисторах. Во второй главе описываются использованные в работе модели СВЧ LDMOS-транзистора и САПР Sentaurus TCAD, на основе которого они были построены. В третьей главе проведен анализ того, как различные элементы конструкции СВЧ LDMOS-транзисторов влияют на проявление эффекта квазинасыщения ВАХ. В завершении данной главы проводится анализ различных вариантов конструкции СВЧ LDMOS-транзисторов с целью определения конструкции, позволяющей подавить эффект квазинасыщения ВАХ. На основе этих данных был проведен поиск оптимальной с точки зрения выраженности квазинасыщения структуры. В четвертой главе приводится описание транзисторного кристалла, спроектированного и изготовленного в соответствии с рекомендациями данной диссертации. Во второй части данной главы проводится сравнение энергетических характеристик разработанного транзисторного кристалла и кристалла предыдущего поколения, а также изготовленных из них транзисторов. Экспериментально подтверждается подавление эффекта квазинасыщения.

Научная новизна полученных результатов

1. Установлено, что максимальное насыщение выходная ВАХ LDMOS-транзисторов достигается при наиболее равномерном распределении напряженности электрического поля по длине LDD-области. Таким образом, для подавления эффекта квазинасыщения необходимо внедрение

конструктивных элементов, обеспечивающих снижение напряженности электрического поля на участке с высоким значением напряженности.

2. Выявлено, что наиболее важными с точки зрения подавления эффекта квазинасыщения конструктивными элементами кристалла LDMOS-транзистора являются полевой электрод и LDD-область, так как именно конструкция этих элементов определяет распределение напряженности электрического поля.

3. Показано, что создание внутри LDD-области дополнительной диффузионной области с иным уровнем концентрации примеси позволяет управлять распределением напряженности электрического поля по длине LDD-области, и таким образом добиваться подавления эффекта квазинасыщения.

4. Теоретически и экспериментально доказано, что новая конструкция кристалла LDMOS-транзистора, включающая в себя двухуровневый полевой электрод над LDD-областью и дополнительную диффузионную область с повышенным уровнем концентрации примеси, примыкающую к стоку, позволяет в значительной степени подавить эффект квазинасыщения.

Практическая значимость полученных результатов

Практическая значимость проведенного исследования заключается в разработке оригинальной конструкции кристалла LDMOS-транзистора, которая позволяет в значительной степени подавить эффект квазинасыщения. Данная конструкция была использована при разработке нового LDMOS-транзистора АО «НИИЭТ», что подтверждается актом о практическом внедрении результатов диссертации.

Приведенный в работе анализ электрических характеристик нового кристалла LDMOS-транзистора показывает, что разработанная конструкция позволяет не только подавить эффект квазинасыщения, но и улучшить основные эксплуатационные параметры СВЧ транзисторов, в том числе надежность и деградационные характеристики. Таким образом разработанная конструкция может быть использована российскими предприятиями микроэлектроники при проведении новых опытно-конструкторских работ по разработке СВЧ LDMOS-транзисторов.

Достоверность

Достоверность результатов исследования сомнений не вызывает и обеспечивается использованием для моделирования современной и широко апробированной в мире системы автоматизированного проектирования (Sentaurus TCAD). Основные результаты диссертационной работы были опубликованы в 19 научных работ, включая 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК для публикации диссертационных работ, в том числе одну статью, входящую в базу данных рецензируемой научной литературы Scopus, а также докладывались на тематических научных конференциях.

Замечания по работе

1. Положения 3 и 6, выносимые на защиту, можно опустить, поскольку они дублируются в других положениях и новизне работы.

2. Для оценки подавления квазинасыщения автор вводит два критерия: абсолютное и относительное приращение тока стока. Обоснованию использования именно этих критериев уделено недостаточно внимания.

3. Экспериментальная часть главы 4 описана не достаточно подробно, не указаны конкретные приборы, инструментальные погрешности измерений не приведены.

4. Не достаточно проведена оценка повышения надежности предлагаемых транзисторов: данная оценка проведена лишь качественно, на основе общих физических рассуждений.

5. Замечания по оформлению:

- автором не соблюден единый стиль при оформлении рисунков – присутствуют англоязычные надписи на рисунках без последующей расшифровки,
- ошибки оформления в библиографических описаниях для некоторых статей в иностранных журналах.

Тем не менее, представленный ряд недостатков не снижает научной и практической значимости проведенных исследований и отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку.

Заключение

Рецензируемая диссертация «Влияние конструктивно-технологических факторов на насыщение вольт-амперных характеристик мощных СВЧ LDMOS-транзисторов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, обладающую научной новизной и практической значимостью.

В целом рецензируемая работа соответствует требованиям, предъявляемым п. 9-14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации», а Алексеев Роман Павлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.


Официальный оппонент: Филиппов Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук (научная специальность 01.04.10 – Физика полупроводников), доцент, профессор кафедры математики и физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского».

С обработкой персональных данных согласен.

Адрес: 398020, г. Липецк, ул. Ленина, 42.

Тел.: 8-4742-328385

e-mail: wwfilipow@mail.ru


01.04.2024

