

И.о. директора ИПТМ РАН

Д. В. Рош

20 октября 2016 г.

Ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук» (ИПТМ РАН) на диссертацию Михайловича Сергея Викторовича на тему: «Частотные и шумовые параметры наногетероструктурных полевых транзисторов на основе AlGaIn/GaN с разной толщиной барьерного слоя», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности: 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Диссертационная работа Михайловича Сергея Викторовича посвящена исследованию принципов совершенствования наногетероструктурных полевых транзисторов мм-диапазона на основе AlGaN/GaN с целью уменьшения коэффициента шума. СВЧ-электроника, работающая в мм-диапазоне длин волн необходима для спутниковой связи и телевидения, радиолокации, беспроводных сетей, систем передачи данных. Основными требованиями, предъявляемыми к монолитным интегральным схемам при решении задач, являются большая мощность, хорошая эффективность, высокая надежность, малый коэффициент шума, высокая степень интеграции, компактность,

малая стоимость и высокая производительность. В этом плане полевые транзисторы мм-диапазона на основе GaN в первую очередь привлекают тем, что обладают высокими пробивным напряжением, линейностью, удельной мощностью, способностью работать при высоких температурах. При этом весьма актуальной задачей является создание на основе GaN малошумящих усилителей, что позволяет исключить защитную цепь на входе устройства, которая используется для защиты усилителей на основе InP и GaAs от мощных электромагнитных импульсов, увеличивает коэффициент шума и уменьшает динамический диапазон. Таким образом можно упростить разработку схемы, увеличить надёжность, снизить массогабаритные параметры и стоимость изделия. А для создания таких усилителей с необходимыми параметрами, а также выбора схемотехнических и технологических решений для их изготовления необходимо детальное изучение частотных и шумовых параметров транзисторов.

Таким образом, выбранная Михайловичем С.В. тема диссертации и выполненная по ней работа по исследованию частотных и шумовых параметров наногетероструктурных полевых транзисторов на основе AlGa_N/Ga_N с разной толщиной барьерного слоя является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения.

Оценка новизны и достоверности.

Научная новизна работы Михайловича С.В. состоит в том, что в ней впервые проведено систематическое исследование влияния толщины барьерного слоя гетероструктур AlGa_N/Al_N/Ga_N с мольной долей Al от 22 до 32 % и вставкой Al_N на высокочастотный коэффициент шума полевых транзисторов мм-диапазона с высокой подвижностью электронов и длиной затвора менее 200 нм. Экспериментально обнаружена зависимость высокочастотного коэффициента шума от произведения квадрата максимальной частоты усиления по току на выходное сопротивление. Впервые экспериментально показана зависимость высокочастотного коэффициента шума в исследуемых полевых транзисторах мм-диапазона от толщины барьерного слоя AlGa_N/Al_N. А также экспериментально показано влияние ёмкостной связи между затвором и стоком. Разработан метод экстракции значений

элементов малосигнальной шумовой модели полевого транзистора мм-диапазона на основе AlGaN/AlN/GaN из измерений СВЧ и шумовых параметров, основанный на прямых численных методах поиска локального экстремума функции.

При непосредственном участии Диссертанта изготовлены полевые транзисторы мм-диапазона на основе GaN, проведены измерения их параметров, разработан метод экстракции значений элементов шумовых моделей полевых транзисторов мм-диапазона, а также проведён анализ полученных экспериментальных и модельных данных.

Достоверность результатов работы Михайловича С.В. обусловлена применением современных экспериментальных методов изготовления транзисторов. При измерении S-параметров и коэффициента шума использовались современные и общепризнанные методики и оборудование. Полученные в работе результаты и выводы не противоречат ранее известным данным, неоднократно апробированы на Международных и Российских конференциях и научных семинарах. По результатам диссертации опубликовано 12 работ в научных журналах и сборниках трудов международных и российских конференций, в том числе 5 работ в реферируемых журналах из перечня ВАК.

Значение для науки и практики полученных результатов.

Представленные результаты диссертационной работы Михайловича С.В. расширяют знания о зависимости частотных и шумовых характеристик полевых транзисторов мм-диапазона на основе гетероструктур AlGaN/GaN от толщины барьерного слоя и ёмкостной связи между затвором и стоком.

Практическая ценность полученных результатов связана с тем, что они важны для решения технологических задач по разработке новых, а также оптимизации и улучшению существующих приборов на основе AlGaN/GaN гетероструктур с необходимыми параметрами.

Разработанный метод экстракции значений малосигнальных шумовых моделей полевых транзисторов мм-диапазона позволяет быстро и достаточно точно создавать шумовые модели для проектирования монолитных интегральных схем малозумящих усилителей для мм-диапазона длин волн.

Результаты диссертационной работы Михайловича С.В. были использованы при выполнении прикладных и научных исследований «Разработка конструкторско-технологических решений создания МИС усилителей мощности на широкозонных полупроводниках для современной радиоаппаратуры в поддиапазоне частот 42-46 ГГц» (соглашение с Минобрнауки России № 14.604.21.0136 от 6 ноября 2014 года), а также ОКР «Разработка комплекта бескорпусных монолитных интегральных схем 8-и миллиметрового диапазона длин волн» (шифр «Многоцветник-45») и ОКР «Разработка комплекта монолитных интегральных схем 5 мм диапазона длин волн» (шифр «Многоцветник-22»).

Степень обоснованности научных положений и выводов.

Все научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, основаны на ряде физических моделей, которые базировались на результатах многочисленных экспериментальных данных. Выводы и положения диссертации подтверждены теоретическим анализом, численным моделированием, сопоставлением экспериментальных данных с ранее известными результатами.

Диссертация, автореферат, количество опубликованных по теме диссертации печатных работ соответствуют требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям.

Диссертация Михайловича С.В. изложена на 112-ти страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, а также списка цитируемой литературы, включающего 103 источника цитирования. Работа иллюстрирована 6-ю таблицами и 34-мя рисунками.

Автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации. Он изложен на 24 страницах, включая 6 рисунков, 1 таблицу и списка основных работ соискателя по теме диссертации.

Замечания к автореферату следующие.

Замечаний по автореферату нет.

Замечания по диссертационной работе в целом.

1. Во введении недостаточно полно изложена история появления InAN/AlInN полевых транзисторов и не проведено сравнение с традиционными GaAs/AlGaAs, Si/SiO₂ полевыми транзисторами.

2. Подгонка параметров эквивалентной схемы проведена методом минимизации функционала с 19 параметрами с использованием алгоритмов Нелдера - Мида и Хука-Дживса. Как правило (после тонкой настройки) эти методы находят глобальный минимум функционала. В диссертации и автореферате соискатель пишет о поисках локального минимума. Очевидно, что наилучшему приближению соответствует глобальный минимум функционала.

3. Поскольку флуктуации толщины и/или состава тонких сегнетоэлектрических слоев AlGaN могут приводить к существенной неоднородности распределения плотности носителей заряда в двумерном газе, было бы интересно, оценить влияние толщины барьера на это распределение и, соответственно, на шум.

4. В диссертации отсутствует физический анализ электронных процессов в канале транзистора; так, например, в работе делается вывод о том, что основным источником высокочастотного шума являются флуктуации дрейфовой скорости. Однако в тексте нигде не обсуждается величина этой скорости и её флуктуаций. Так же было бы интересно оценить величину флуктуаций плотности заряда в канале и их влияние на шум.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Михайловича С.В. имеет научно-практическое значение. Считаем, что работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, отвечает современным требованиям, предъявляемыми ВАК к кандидатским диссертациям. Выводы и положения, вынесенные на защиту, полностью соответствуют поставленной задаче диссертационной работы, обоснованно следуют из результатов проведённой автором работы.

Диссертационная работа Михайловича С.В. «Частотные и шумовые параметры наногетероструктурных полевых транзисторов на основе AlGaIn/GaN с разной толщиной барьерного слоя» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой и соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения степеней», постановление правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., а её автор Михайлович Сергей Викторович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук, по специальности: 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Зав. теоретической лаборатории,
председатель научного Семинара «Общая
физика», дфмн

 /Зайцев С.И./

Почтовый адрес: 142432, Моск. Обл. Черноголовка

Ул. Акад. Осипьяна 6, ИПТМ РАН

Телефон: 8-496 524 42 14

Адрес электронной почты: zaitsev@iptm.ru

Ученый секретарь ИПТМ РАН



/Редькин А./