

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Михайловича Сергея Викторовича "Частотные и шумовые параметры наногетероструктурных полевых транзисторов на основе AlGaIn/GaN с разной толщиной барьерного слоя", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 — Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Радиационно-стойкая и термостойкая электронная компонентная база (ЭКБ) для приборов и устройств силовой электроники СВЧ и микроволнового диапазона частот остро востребована широким спектром приборов и технических систем. При реализации маломощных СВЧ приборов предпочтенье отдается арсениду галлия и твердым растворам на его основе (GaAs-AlAs, GaAs-InAs); здесь в настоящее время достигнуты значительные успехи. Существенные успехи достигнуты и в развитии силовой СВЧ и микроволновой электроники, в том числе в таких её актуальных направлениях как системы визуализации объектов в радиочастотном диапазоне $\Delta f=10-30$ ГГц (радиолокация) и системы космической связи (мощные СВЧ усилители и генераторы).

Сравнительный анализ эффективности использования различных материалов для изготовления твердотельных приборов и устройств СВЧ электроники, выполненный с использованием таких их основных характеристик как подвижность и скорость насыщения носителей, теплопроводность, а также потери мощности связанные с выделением "джоулевого" тепла и с перезарядкой входной емкости приборов, позволяют получить шкалу сравнительной эффективности использования различных материалов в разработках ЭКБ для силовой СВЧ и микроволновой электроники. Благодаря существенно более высокой электрической прочности и теплопроводности к наиболее эффективным материалам для приборов твердотельной силовой электроники, с учетом достаточно развитой на сегодня его приборной маршрутной технологической базой, относится нитрид галлия и его твердые растворы. На нитриде галлия сегодня создана линейка полевых транзисторов перекрывающих диапазон частот до 80 ГГц и мощностей до 180 Вт. Частотно-мощностные параметры реализованных GaN приборов упомянутой линейки таковы: 80 ГГц - 0.3 Вт, 4 ГГц - 15 Вт, 2.17 ГГц -180 Вт.

Однако, реализовать работу приборов эффективных в частотном диапазоне свыше 40 ГГц и с мощностью свыше 10 - 20 Вт, оставаясь в рамках ЭКБ твердотельной электроники, затруднительно даже при использовании высокоэффективных материалов. Это связано с рядом принципиальных физических и конструкционных ограничений. Одно из них связано со значительным уменьшением коэффициента разветвления (а значит добротности) при частотах свыше 40 ГГц из-за значимости величин входной и паразитной емкостей силовых твердотельных усилительных приборов. В силу названной причины при столь высоких частотах потенциально ожидаемы и ухудшение такой важной для приборов характеристики как соотношение сигнал/шум.

Поэтому, исследования, анализ и разработка удобных алгоритмов для анализа взаимосвязи между высокочастотным коэффициентом шума в наногетероструктурных GaN полевых транзисторах миллиметрового диапазона и толщиной барьерного слоя $Al_xGa_{1-x}N/AlN$, а также ёмкостью затвор/сток является чрезвычайно актуальной задачей. Эта задача являлась целью диссертации Михайлович С.В., откуда и следует её своевременность и актуальность.

Поставленная задача диссертантом решалась комплексно:

- Были изготовлены образцы полевых транзисторов миллиметрового диапазона частот на основе гетероструктур $Al_xGa_{1-x}N/AlN/GaN$ с разной толщиной барьерного слоя и разными технологиями изготовления Т-образных затворов и омических контактов;
- Проведены расчётно-аналитические и экспериментальные исследования влияния толщины барьерного слоя $Al_xGa_{1-x}N$ и длины Т-образного затвора на коэффициент шума в миллиметровом диапазоне длин волн;
- Разработан метод экстракции значений элементов шумовых моделей полевых $Al_xGa_{1-x}N/GaN$ транзисторов миллиметрового диапазона из измеренных S-параметров линейной схемы и коэффициента шума; создана библиотека функций для ЭВМ, позволяющая производить экстракцию значений элементов малосигнальных шумовых моделей полевых транзисторов в мм-диапазоне из измерений в диапазоне до 67 ГГц;
- Проведены измерения S-параметров и коэффициента шума серии образцов полевых транзисторов в миллиметровом диапазоне и построены шумовые модели измеренных наногетероструктурных полевых $Al_xGa_{1-x}N/GaN$ транзисторов.

В процессе решения перечисленного комплекса задач, автором впервые был получен ряд принципиально важных результатов, имеющих научную новизну.

В частности, автором:

1. Впервые в миллиметровом диапазоне частот проведено систематическое исследование влияния толщины барьерного слоя гетероструктур $Al_xGa_{1-x}N/AlN/GaN$ с мольной долей

