

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Дениса Михайловича Ермолаева «Исследование детектирования терагерцового излучения

короткопериодными массивами полевых транзисторов на основе наногетероструктур AlGaAs/InGaAs/GaAs», 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

Актуальность темы диссертации

Исследования, направленные на освоение терагерцового диапазона продолжают уже несколько десятков лет. Интерес к этому диапазону частот связан с большим потенциалом терагерцовых технологий в таких областях как астрономия, медицина, системы безопасности, средства неразрушающего контроля и др. Тем не менее, область частот вблизи 1 ТГц остается плохо освоенной. Среди большого разнообразия предложенных и реализованных приемников для этого диапазона концепция приемников, основанная на возбуждении плазменных колебаний в двумерном электронном канале полевого транзистора, выглядит одной из наиболее перспективных. Диссертационная работа Д.М. Ермолаева посвящена исследованию процессов резонансного и нерезонансного детектирования терагерцового излучения в различных транзисторных структурах на основе гетероструктуры AlGaAs/InGaAs/GaAs. Выполненные исследования представляются весьма важными для развития современной терагерцовой электроники, так что актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Научная новизна результатов диссертации

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми и, безусловно, представляют научный интерес.

Разработаны оригинальные конструкции и маршруты изготовления новых короткопериодных транзисторных структур на основе наногетероструктуры AlGaAs/InGaAs/GaAs в качестве терагерцовых детекторов. В ходе разработок получено авторское свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы.

Изготовлена детекторная структура для резонансного детектирования, представляющая собой полевой транзистор с периодическим решеточным затвором площадью $2 \times 2 \text{ мкм}^2$ с периодом 3 мкм и шириной щели решетки затвора 0.3 мкм. Особенностью детектора является большое отношение периода к ширине щели (оно равно 10) по сравнению с существующими аналогами. Экспериментально получен резонансный детекторный отклик на частотах в диапазоне 0.4-0.7 ТГц. Выполнены оценки чувствительности и мощности эквивалентной шуму. Показано, что при уменьшении ширины щелей решетки затвора можно добиться более эффективного возбуждения плазменных колебаний в канале транзистора и увеличения чувствительности детектора.

Изготовлены детекторные структуры для нерезонансного детектирования, представляющие собой плотно упакованные периодические массивы полевых транзисторов с параллельным и последовательным соединением элементарных ячеек. Затвор каждого транзистора имеет несимметричную Т-образную форму с ножкой, сдвинутой в сторону истока. Это обеспечивает приложение терагерцового напряжения главным образом между истоком и затвором. Экспериментально получен нерезонансный детекторный отклик на частоте 0.6 ТГц. Выполнены оценки чувствительности детекторов и мощности эквивалентной шуму. Продемонстрировано, что использование ассиметричного затвора и плотная упаковка транзисторов в массиве позволяет существенно усилить отклик детектора.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Достоверность основных результатов диссертационной работы не вызывает сомнений, так как обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований. Автором изучены и анализируются современные тенденции и достижения в исследованиях терагерцовых детекторов. Производится сравнение с работами других авторов. Результаты диссертации опубликованы в журналах, включенных в библиографические базы Web of Science и Scopus, прошли апробацию на 11 научных конференциях и известны специалистам в этой области.

Научная и практическая значимость диссертации

Научная и практическая значимость работы несомненна. Проведенные в диссертации исследования указали пути к достижению сильного терагерцового детекторного отклика в периодических транзисторных структурах. Созданы

высокочувствительные терагерцовые детекторы резонансного и нерезонансного типа. Необходимо отметить, что важным практическим преимуществом терагерцовых детекторов на основе массивов полевых транзисторов является отсутствие дополнительной антенны. Это позволяет изготавливать такие детекторы в едином технологическом цикле с помощью хорошо отработанной технологии транзисторных интегральных схем. Результаты исследований, полученные в диссертации, могут быть использованы для дальнейшего совершенствования терагерцовых детекторов на основе полевых транзисторов.

Замечания по диссертации

Замечание относится к точности оценок параметров детектирования нерезонансных детекторов. Мощность терагерцового излучения, принимаемого детекторами, рассчитывалась в работе исходя из площадей массивов транзисторов. Между тем, массив параллельно соединенных транзисторов имеет размеры 3600×75 мкм², массив последовательно соединенных транзисторов – 90×50 мкм². Следовательно, один из линейных размеров первого массива и оба линейных размера второго массива в несколько раз меньше длины волны излучения с частотой 0.6 ТГц. Поэтому эффективная площадь, с которой излучение вводится в детекторы, может заметно отличаться от площади массива транзисторов. Контактные площадки транзисторной структуры и провода также могут увеличивать эффективную площадь антенны. Следовало бы обосновать используемый в диссертации метод расчета чувствительности детекторов.

Указанное замечание не является принципиальным и не влияет на общую положительную оценку работы.

Заключение

В целом, диссертационная работа Д.М. Ермолаева является цельным и законченным исследованием, выполненным на высоком уровне, а ее результаты имеют важное прикладное значение. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные результаты достаточно полно отражены в публикациях автора.

Считаю, что диссертационная работа Дениса Михайловича Ермолаева «Исследование детектирования терагерцового излучения короткопериодными массивами полевых транзисторов на основе наногетероструктур AlGaAs/InGaAs/GaAs» соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней,

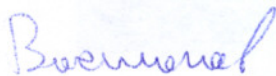
предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Официальный оппонент,

старший научный сотрудник

ИФМ РАН,

к.ф.-м.н.



Николай Владимирович Востоков

603950, Нижний Новгород, ГСП-105

Тел.: (831)4179492

E-mail: vostokov@ipm.sci-nnov.ru

Подпись Н.В. Востокова заверяю

Ученый секретарь ИФМ РАН,

к.ф.-м.н.



Д.А. Рыжов

22 мая 2015 года