

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Д.М. Ермолаева «Исследование детектирования терагерцового излучения короткопериодными массивами полевых транзисторов на основе наногетероструктур AlGaAs/InGaAs/GaAs», представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Ермолаев Денис Михайлович работает со мной в лаборатории Эпитаксиальных микро- и наноструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук начиная с 2003 года, со стажировки при получении диплома бакалавра. Он защитил квалификационные работы бакалавра и магистра по темам «Исследование эффекта коллапса тока в AlGaN транзисторах на основе нелегированных гетероструктур с двумерным электронным газом» и «Холловские измерения в широкозонных 2-х мерных структурах, коллапс тока. Угловое распределение света от тока в диоде с сеточным p-контактом», окончил МФТИ, академическую аспирантуру в ИПТМ РАН и стал самостоятельным научным сотрудником, способным ставить и решать научные задачи. За это время Ермолаев Денис приобрел большой опыт в экспериментальных исследованиях транзисторных гетероструктур, освоил методики измерений статических характеристик транзисторов, метод Холла, синхронное детектирование сигналов, а также методы обработки, анализа и представления экспериментальных данных.

Основным направлением исследований Д.М. Ермолаева в ходе выполнения диссертационной работы являлось исследование детектирования ТГц излучения транзисторными структурами на основе наногетероструктур AlGaAs/InGaAs/GaAs. В 1 и 2 главах рассматриваются и анализируются терагерцовые детекторы на основе НЕМТ, прорабатывается топология транзисторных структур. В качестве базовой идеи топологии транзисторов применялась пространственно развитая структура из нескольких или множества элементарных транзисторных ячеек.

В 3 главе приводятся результаты исследований резонансного терагерцового детектора на основе транзисторной структуры с узкощелевым решеточным затвором на основе AlGaAs/InGaAs/GaAs. Явление плазмонной терагерцовой фотопроводимости структуры GaAs/InGaAs/AlGaAs полевого транзистора с узкощелевым решеточным затвором исследуются экспериментально путем измерения и сравниваются посредством теоретических расчетов. Чувствительность такого терагерцового детектора превышает ранее сообщаемую чувствительность аналогичного детектора с более широкими щелями решеточного затвора на два порядка величины, что обусловлено усилением связи между входящим ТГц излучением и плазмонными колебаниями в структуре транзистора.

Шумы уменьшаются соответствующим образом на 3 порядка величины. Рекордные величины достигаются за счет значительного усиления ближнего поля в узких щелях в решеточном затворе.

В четвертой и пятой главах приводятся результаты исследований терагерцового фотоотклика плотноупакованных массивов НЕМТ. Исследуется параллельное и последовательное соединение элементов с асимметричным затвором. Такие ТГц детекторы демонстрирует высокую чувствительность без использования дополнительных антенных элементов, поскольку короткопериодная решетка, формируемая металлическими контактами плотно упакованных транзисторов в этом массиве, служит в качестве эффективной антенны, связывающей терагерцовое излучение с каждым транзистором в массиве. Асимметричное положение затвора в каждом полевом транзисторе в этом массиве обеспечивает сильный фотовольтаический отклик. Чувствительность детектора с параллельным соединением транзисторов составила 50 мА/Вт в фотовольтаическом режиме. Чувствительность свыше 1 кВ/Вт и почти 2 кВ/Вт была получена соответственно для несмещенных и смещенных током стока транзисторов в детекторе с последовательным соединением полевых транзисторов. Эквивалентной мощностью шума может достигать значение ниже  $10^{-11}$  Вт/Гц<sup>0.5</sup> в фотовольтаическом режиме.

Квалификация Д. М. Ермолаева подтверждается уровнем его научных работ: четыре публикации по теме диссертации в ведущих мировых и российских журналах (APL, SSE, Письма в ЖЭТФ и др.), на одну из которых имеется уже около 20 ссылок, авторское свидетельство топологии, неоднократно выступал с докладами на международных и всероссийских конференциях. За время работы Д. М. Ермолаев проявил себя как активный, работоспособный исследователь, способный самостоятельно ставить и решать задачи, добиваться результата.

Добавлю, что он образованный, общительный и самостоятельный молодой человек. Уровень его научной работы отвечает все требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам Д.М. Ермолаев заслуживает присвоения ему степени кандидата физико – математических наук.

Зав. лаб. Эпитаксиальных  
микро- и наноструктур  
ИПТМ РАН, к.т.н.

Шаповал Сергей Юрьевич

Подпись С.Ю. Шаповала заверяю  
Директор ИПТМ РАН  
проф., д.ф.-м.н.

Тулин Вячеслав Александрович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук

тел. 8-496-524-41-41, e-mail: [shapoval@iptm.ru](mailto:shapoval@iptm.ru)

142432, г. Черноголовка, МО, ул. Академика Осипьяна, д. 6