

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.098.01 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики
микроструктур Российской академии наук
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 8 октября 2015г. № 10

О присуждении Ермолаеву Денису Михайловичу, гражданство Российская Федерация, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование детектирования терагерцового излучения короткопериодными массивами полевых транзисторов на основе наногетероструктур AlGaAs/InGaAs/GaAs» по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано-электроника, приборы на квантовых эффектах принята к защите 16 апреля 2015г., протокол № 4, диссертационным советом Д 002.098.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики микроструктур Российской академии наук, расположенного по адресу ул. Академическая, д. 7, д. Афонино, Нижегородская обл., Кстовский район, 603950, Россия, приказ №105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Ермолаев Денис Михайлович, 1983 года рождения, в 2007 окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», факультет физической и квантовой электроники по специальности «Физика и технология наноэлектронных приборов». В 2010 году окончил аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук, работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника в лаборатории эпитаксиальных микро- и наноструктур.

Диссертация выполнена в лаборатории эпитаксиальных микро- и наноструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук.

Научные руководители: кандидат технических наук, Шаповал Сергей Юрьевич, заведующий лабораторией эпитаксиальных микро- и наноструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук; доктор физико-математических наук, профессор Попов Вячеслав Валентинович, заведующий лабораторией фотоники Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского;
2. Востоков Николай Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела технологии наноструктур и приборов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики микроструктур Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН), г. Черноголовка, в своем положительном заключении, подписанным Кукушкиным Игорем Владимировичем, член-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории неравновесных электронных процессов ИФТТ РАН, указала, что:

Наиболее интересными в работе представляются результаты, связанные с исследованием ТГц фотопроводимости полевого транзистора с узкощелевым периодическим решеточным затвором. Представляет интерес усиление связи падающего ТГц излучения и плазменного колебания в электронном канале. Также важным представляется непосредственная связь полученных результатов с возможными приложениями в области терагерцовой электроники.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 17 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, 6 . Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Popov V.V., Ermolaev D.M., Maremyanin K.V., Maleev N.A., Zemlyakov V.E., Gavrilenko V.I., Shapoval S.Yu. High-responsivity terahertz detection by on-chip InGaAs/GaAs field-effect-transistor array // Applied Physics Letters. – 2011. – V. 98. – P. 153504. Вклад соискателя – 50%.

2. Yermolaev D.M., Maremyanin K.M., Fateev D.V., Morozov S.V., Maleev N. A., Zemlyakov V. E., Gavrilenko V. I., Shapoval S. Yu., Sizov F.F., Popov V.V. Terahertz detection in a slit-grating-gate field-effect-transistor structure // Solid-State Electronics. – 2013. – V. 86. - P. 64-67. Вклад соискателя – 80%.
3. Popov V.V., Yermolaev D.M., Maremyanin K.V., Zemlyakov V.E., Maleev N.A., Gavrilenko V.I., Bepalov V.A., Yegorkin V.I., Ustinov V.M., Shapoval S.Yu. Detection of terahertz radiation by tightly concatenated InGaAs field-effect transistors integrated on a single chip // Applied Physics Letters.-2014. – V. 104. – P. 163508. Вклад соискателя – 70%.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: отзыв из Университета в Буффало заслуженного профессор кафедры электротехники, доктора физико-математических наук В. Митина замечаний не содержит; отзыв из Института сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН от член-корреспондента РАН, главного научного сотрудника В.И. Рыжия содержит замечание:

«Необходимо отметить, что в автореферате следовало бы упомянуть о перспективах графена в области терагерцевых применений, поскольку этот материал обладает уникальными свойствами для использования в сверхвысокочастотной полупроводниковой электронике.»;

отзыв из Университета Айзу от доцента Лаборатории моделирования комплексных систем И.И. Хмыровой замечаний не содержит.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области исследований, которые соответствуют тематике диссертации Д.М. Ермолаева, что подтверждается их публикациями в рецензируемых изданиях. Оболенский Сергей Владимирович является профессионалом в области микроэлектронной элементной базы с повышенными частотами и радиационной стойкостью, в частности арсенид галлиевыми полевыми транзисторами. Востоков Николай Владимирович – квалифицированный специалист в области физики микроэлектронных приборов с квантовыми ямами и точками для детектирования и генерации терагерцевого и инфракрасного излучения полупроводниковых структур. Выбор ведущей организации обоснован тем, что она широко известна своими достижениями в области прикладных и фундаментальных исследований полупроводниковых материалов и, в частности, приборов и эффектов в терагерцевом диапазоне.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработаны конструкции терагерцовых детекторов в виде короткопериодных транзисторных структур на основе наногетероструктуры AlGaAs/InGaAs/GaAs;
- показано, что резонансный плазмонный терагерцовый отклик в такой структуре может значительно усиливаться при узкощелевом решеточном затворе, что обусловлено сильной связью между падающим терагерцовым излучением и плазменными колебаниями в электронном канале транзисторной структуры с узкощелевым решеточным затвором;
- изучен детекторный терагерцовый отклик цепочек транзисторов с последовательным и параллельным соединением элементов, с асимметричным T-образным затвором и экспериментально показано, что такие детекторы обладают повышенной чувствительностью к терагерцовому излучению, пониженным уровнем шума и возможен режим пониженного энергопотребления за счет ярко выраженного эффекта терагерцовой фотоЭДС;
- показано, что короткопериодные транзисторные структуры обеспечивают сильную связь детектора с падающим терагерцовым излучением без использования дополнительных антенных элементов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- экспериментальные исследования детектирования терагерцового излучения в транзисторной структуре с периодическим узкощелевым решеточным затвором, выполненные в настоящей работе, подтверждают теоретические результаты численного моделирования данного эффекта, полученные в научной группе В.В. Попова в СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (в частности, экспериментально подтвержден плазмонный характер детекторного отклика транзисторной структуры с периодическим решеточным затвором и продемонстрировано, что использование узкощелевого решеточного затвора (соотношение периода к ширине щели равно 10) позволяет обеспечить более эффективное возбуждение плазменных колебаний в канале транзисторной структуры и увеличения чувствительности терагерцового детектора (по сравнению со структурами с соотношением периода к ширине щели равным 2)).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- продемонстрировано, что использование асимметричного затвора и плотная упаковка элементарных ячеек в массиве полевых транзисторов позволяет получить значительно более сильный терагерцовый детекторный фотоотклик как в режиме

суммирования фототока, так и в режиме суммирования фотонапряжения соответственно при параллельном или последовательном электрическом соединении элементарных полевых транзисторов в массиве без использования дополнительных антенных элементов;

- практическая значимость полученных результатов заключается в создании высокочувствительных терагерцовых детекторов резонансного и нерезонансного типа на основе полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов. На основе таких детекторов могут быть построены системы теравидения, терагерцовой спектроскопии и другие приборы для работы в терагерцовом диапазоне частот;
- результаты исследований детектирующих свойств массивов полевых транзисторов, полученные в данной работе, могут быть использованы для дальнейшего совершенствования плазмонных терагерцовых детекторов на основе полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов. Различное (последовательное или параллельное) соединение полевых транзисторов позволяет суммировать фототок или фотоЭДС в массиве полевых транзисторов;
- одним из важных практических преимуществ терагерцовых детекторов на основе массивов полевых транзисторов является то, что их можно изготавливать в едином технологическом цикле по хорошо отработанной и сравнительно дешевой технологии изготовления транзисторных интегральных схем, поскольку процедура их изготовления совместима с изготовлением полевого транзистора.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- результаты диссертационной работы получены при помощи современного оборудования и мощных методов обработки результатов с достаточным количеством экспериментальных данных;
- топология образцов прорисовывалась в программе AutoCAD, измерения образцов проводились при комнатной, азотной и гелиевой температурах, сигнал с детектора регистрировался в схеме синхронного детектирования, в установке использовалось следующее оборудование: генератор терагерцового излучения ЛОВ-74, программируемые источники постоянного напряжения/тока KEITHLEY 2400 SourceMeter, синхродетектор Unipan 232B и SRS RS570, вольтметр SRS SR830, осциллограф LeCroy 324A, обработка результатов проводилась в программах OriginPro, MATLAB;
- выводы в работе основаны на экспериментальных измерениях, проведенных с использованием общепризнанных аттестованных методик или методик,

проверенных сопоставлением результатов экспериментов с известными экспериментальными и теоретическими данными других исследователей.

Личный вклад соискателя состоит в активном участии на всех этапах процесса исследований, имеющих комплексный характер: в обсуждении постановки задачи, разработке конструкций образцов, технологических процессах изготовления, проведении экспериментов, анализе и оценке результатов, написании текстов статей. При разработке и изготовлении образцов автор принимал участие в разработке топологии транзисторов, маршрутов изготовления и лично нарисовал топологию. Автор непосредственно участвовал в подготовке и проведении экспериментов по приему терагерцового излучения методом синхронного детектирования, а также в снятии статических характеристик транзисторов. Автором лично были обработаны экспериментальные результаты и получены значения чувствительностей и уровня шума детекторов, проведен оценочный расчет резонансной моды.

На заседании 8 октября 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Ермолаеву Д.М. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано- электроника, приборы на квантовых эффектах, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Зам. председателя диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук, профессор



З.Ф.Красильник

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук, профессор

К.П. Гайкович

«12» октября 2015 г.