

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Исследование функциональных возможностей прототипа
фотоуправляемого генератора токовых колебаний на основе
полуизолирующего арсенида галлия**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 202 группы
направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий

Чертова Ильи Александровича

Научный руководитель (руководитель)
Заведующий кафедрой физики полупроводников СГУ,
д.ф.-м.н., профессор _____ А.И. Михайлов
должность, место работы, уч. степень, уч. звание подпись, дата инициалы, фамилия

Консультант
зав. учебной лабораторией полупроводниковой
электроники СГУ _____ И.О. Кожевников
должность, место работы, уч. степень, уч. звание подпись, дата инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
Заведующий кафедрой физики полупроводников СГУ,
д.ф.-м.н., профессор _____ А.И. Михайлов
должность, место работы, уч. степень, уч. звание подпись, дата инициалы, фамилия

Саратов, 2016 год

Введение

Актуальность темы. Одним из перспективных направлений развития современной полупроводниковой электроники является функциональная микроэлектроника. В отличие от используемых в схемотехнической микроэлектронике статических неоднородностей, формируемых в процессе изготовления прибора, при определенных условиях под действием внешних физических факторов в объеме твердого тела возникают динамические неоднородности, которые выступают в роли непосредственных носителей информации. Использование возможностей функциональной микроэлектроники позволяет заменить сложные интегральные схемы их функциональными аналогами, что в свою очередь дает очевидные преимущества: меньший размер рабочего элемента, простота технологии, пониженное энергопотребление и др. В связи с этим, исследование существующих и поиск новых полупроводниковых материалов функциональной микроэлектроники представляет интерес, как с точки зрения фундаментальных научных исследований, так и решения прикладных задач по созданию миниатюрных приборов и устройств нового поколения с улучшенными параметрами.

Наиболее актуальной задачей современной микроэлектроники является изучение колебательных процессов в различных полупроводниковых материалах и структурах на их основе. Это связано с нарастающим развитием технологий в области приема и передачи информации на сверхвысоких частотах. Открытие эффекта Ганна, как проявления объемной неустойчивости электрического поля вследствие нелинейных свойств полупроводникового материала, дало толчок развитию направления в функциональной электронике, связанного с изучением и управлением свойствами спонтанных периодических колебаний в нелинейных активных полупроводниковых средах.

Установление механизмов управления динамикой доменов сильного поля и исследование особенностей проявления этих неустойчивостей в

условиях воздействия однородного или локализованного оптического излучения открывают перспективы создания различных электронных, оптоэлектронных и электрооптических элементов и устройств с широкими функциональными возможностями, способных осуществлять прием, обработку, хранение, передачу и отображение сложных информационных сигналов в широком диапазоне частот (от десятков kHz до десятков GHz). Синтез таких систем с использованием планарной технологии позволяет совместить неоспоримые достоинства интегральной электроники с большими возможностями функциональных компонентов, поскольку переход от схемотехнической к функциональной интеграции в таких микроэлектронных функциональных устройствах снимает необходимость создания множества мелкоструктурных элементов и межсоединений.

В связи с этим, целью магистерской работы явилось экспериментальное выявление функциональных возможностей прототипа фотоуправляемого генератора токовых колебаний на основе полуизолирующего арсенида галлия с различной формой контактных площадок.

Для достижения цели исследования были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Анализ литературных данных, посвященных способу создания преобразователей свет-частота, установление областей их применимости.
2. Исследование зависимости частоты колебаний от плотности мощности падающего излучения, оценка влияния формы контактных площадок структуры на данную зависимость.
3. Определение локальной фоточувствительности активной области высокоомных структур, оценка влияния формы контактных площадок структуры на данную характеристику.
4. Оценка возможности использования установленных функциональных свойств прототипа.

Научная новизна работы

1. Обнаружена высокоамплитудная неустойчивость тока, возникающая в высокоомных подложках промышленных эпитаксиальных пластин арсенида галлия марок в виде периодических релаксационных колебаний, частота которых возрастает при воздействии внешней засветки в 5 – 30 раз, при комнатной температуре в нормальных условиях и при постоянном напряжении
2. Обнаружен эффект переключения, проявляющийся в виде исчезновения токовых колебаний при превышении порогового значения уровня внешней засветки. Так же установлено, что данное пороговое значение зависит от величины приложенного к структуре напряжения питания.
3. Обнаружен эффект памяти, проявляющийся в отсутствии возникновения погашенных оптическим излучением колебаний тока, при его снятии.

Научно-практическая значимость

Показана возможность создания нового функционального устройства и практического применения его в микроэлектронике в качестве активного схемотехнического элемента: фотодетектора с частотным выходным сигналом (преобразователя свет-частота), фотоуправляемого генератора электрических колебаний, элемента памяти с оптическим управлением.

Основные положения выносимые на защиту

Разработанный прототип фотоуправляемого генератора токовых колебаний на основе полуизолирующего арсенида галлия обладает широким спектром функциональных возможностей: линейная зависимость частоты токовых колебаний от освещенности, срыв генерации при высоких уровнях засветки, позиционная чувствительность к оптическому воздействию, множественная генерация токовых колебаний в многоэлементной структуре параллельного типа, чувствительность параметров колебаний к воздействию магнитного поля, что открывает перспективы создания нового

функционального прибора с возможностью бесконтактного управления и преобразования оптического сигнала в двоичный код.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 2 глав, заключения и списка используемой литературы, включающего 14 источников. Общий объем работы составляет 53 страницы, включая 34 рисунка.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, а также содержатся основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава является обзорной и содержит анализ публикаций в периодической научной литературе, посвященной теме магистерской работы.

Проведен литературный обзор, посвященный исследованию рекомбинационной неустойчивости тока – явлению, связанному с захватом электронов глубокими примесными уровнями в высокоомных полупроводниковых материалах, в частности в кремнии и арсениде галлия.

Рассмотрены используемые в настоящее время способы реализации преобразователей "свет-частота" в составном и интегральном исполнении. Проанализирована элементная база приборов, их характеристики, оценены их положительные и отрицательные стороны.

Вторая глава посвящена экспериментальному выявлению функциональных возможностей прототипа фотоуправляемого генератора токовых колебаний на основе полуизолирующего арсенида галлия. Охарактеризованы экспериментальные образцы, описаны методики и оборудование, используемые при проведении эксперимента, проведен анализ полученных результатов исследования, выявлены функциональные возможности прототипа, а также проведена оценка применимости прототипа для современной микроэлектроники.

Прототип представлял собой планарно-эпитаксиальную меза-структуру на основе высокоомного GaAs из 10 параллельно соединенных элементов с четырьмя вариантами формы контактных площадок: 1 – плоско-параллельная, 2 – плоско-заостренная, 3 – встречно-заостренная, 4 – вогнуто-заостренная. Расстояние между контактами было равно 60 мкм.

В ходе подготовки к экспериментальному исследованию зависимости параметров токовых колебаний от интенсивности внешней засветки были отобраны образцы, на которых наблюдалась устойчивая генерация токовых колебаний. Поскольку исходные образцы представляли сложные структуры параллельного типа, для исследования параметров колебаний основным условием было наличие осцилляции одного элемента, так как присутствие множественных колебаний не позволяло корректно проводить измерения.

Для исследования зависимости частоты колебаний от интенсивности засветки использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на Рис.1. Лазерный пучок ($\lambda = 640$ нм) фокусировался на поверхности структуры таким образом, чтобы засвечивать всю межконтактную область выбранного элемента структуры параллельного типа.

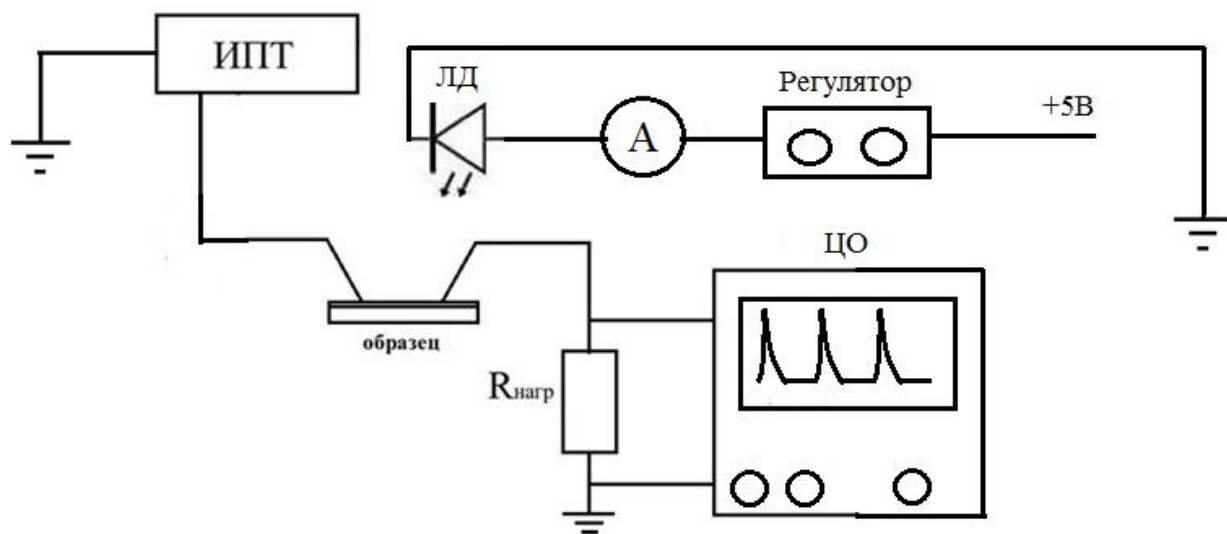


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования зависимости

частоты колебаний от интенсивности засветки.

ИПТ – источник постоянного тока, $R_{нагр}$ – сопротивление нагрузки,
ЦО – цифровой осциллограф, ЛД - лазерный диод, Регулятор тока ЛД,
А – амперметр.

Для исследования локальной чувствительности планарных мезоструктур при засветке межконтактной области использовалась схема, приведенная на Рис.2. Основной частью являлась система точного позиционирования лазерного пучка спектрометра комбинационного рассеяния RenishawinVia (РС). Лазерный пучок ($\lambda = 532\text{нм}$) фокусировался в пятно диаметром $d \approx 3\text{ мкм}$, затем с помощью программного обеспечения РС производилось точное автоматическое пошаговое перемещение лазерного пучка с шагом 3 мкм. Изменение частоты колебаний фиксировалось на экране цифрового осциллографа ЦО.

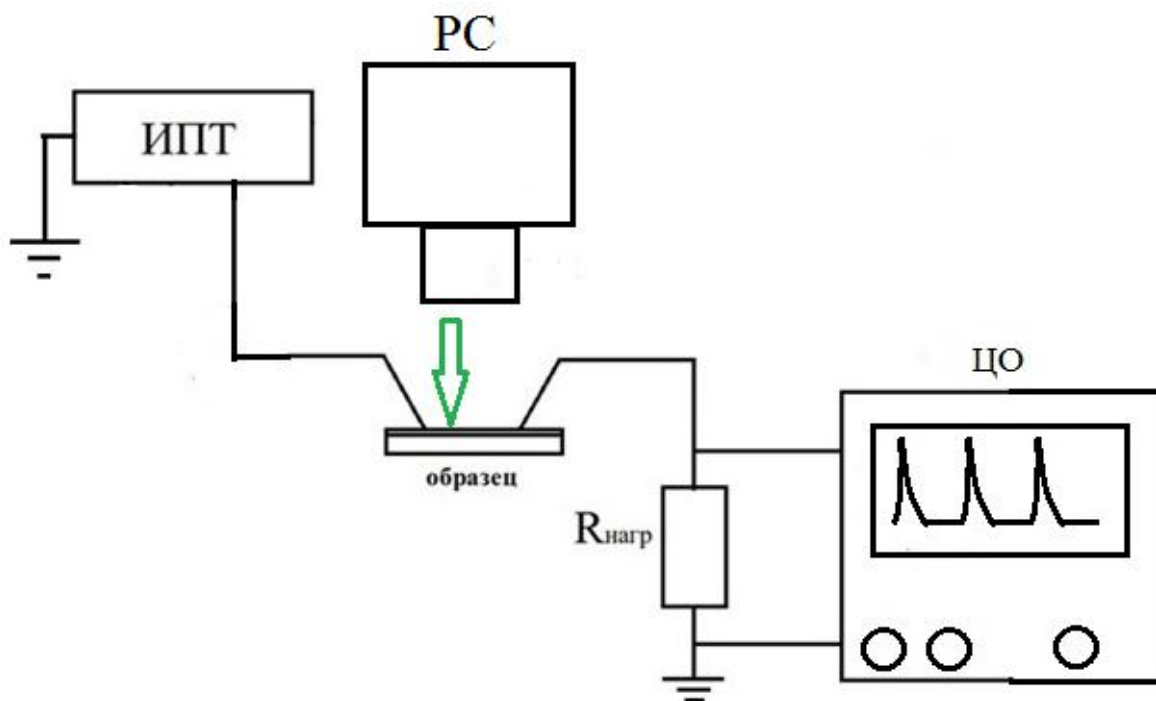


Рис. 2.Схема экспериментальной установки для исследования локальной чувствительности планарных мезоструктур.

ИПТ – источник постоянного тока, $R_{нагр}$ – сопротивление нагрузки,
ЦО – цифровой осциллограф, РС - Рамановский спектрометр.

В результате используемых методов были получены экспериментальные данные, которые позволили сделать вывод о том, что зависимость частоты возникающих колебаний в общем случае имеет линейный вид для всех форм контактных площадок, что говорит о том, что форма площадок не влияет на данную характеристику. Существенные отличия состояли в величине частоты колебаний на разных формах контактных площадок. Также был экспериментально обнаружен срыв колебаний под действием оптического излучения, положение которого на зависимости частоты от облученности сдвигалось с увеличением напряжения в область большей интенсивности засветки межконтактной области. Еще одной особенностью является уменьшение коэффициента частотной модуляции ($\Delta f/\Delta E_e$) с ростом прикладываемого к структуре постоянного напряжения. В ходе эксперимента был обнаружен эффект памяти, то есть, при снятии оптического излучения поле срыва токовых осцилляций, генерация вновь не появлялась, для этого приходилось увеличивать прикладываемый потенциал на величину 1 В.

Анализ экспериментальных данных исследования локальной фоточувствительности показали что поле в межконтактной области распределено неоднородно, как можно видеть из рис.3. Зависимость имеет ярко выраженный максимум в окрестности центра межконтактной области, а также является симметричной относительно него. Еще одним не менее важным замечанием является то, что форма контактных площадок влияет на область протекания тока, в результате того, что предпочтительной является путь наименьшего сопротивления, область наибольшей фоточувствительности сосредотачивается между выступами и заострениями контактных площадок структуры (рис. 3, верхняя прямая).

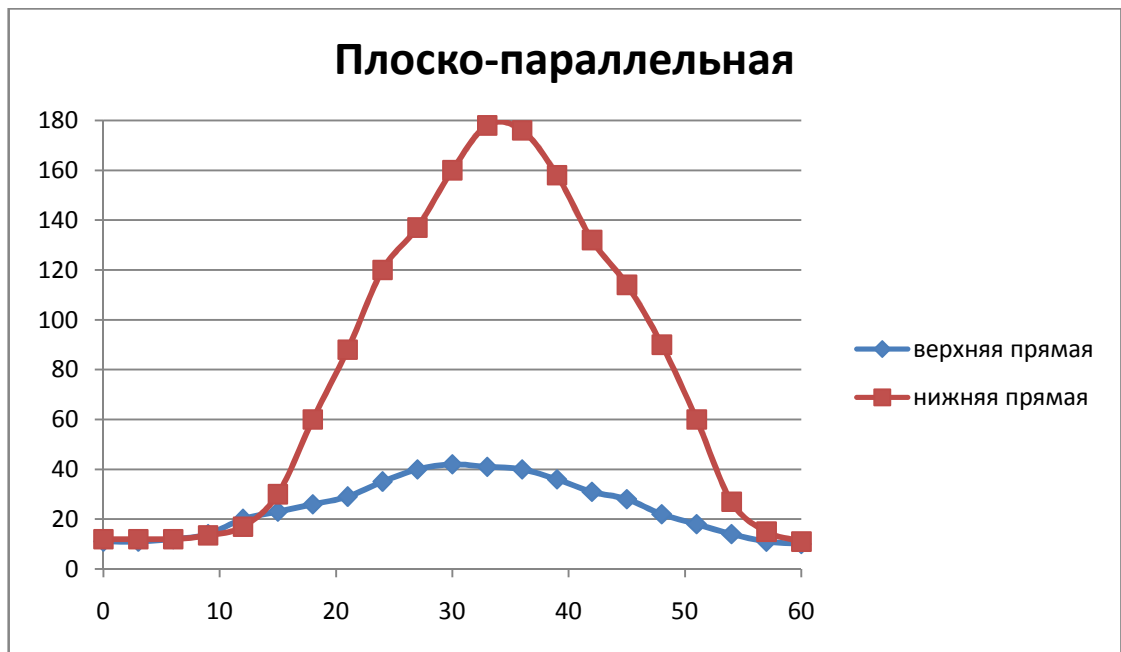


Рис.3. Зависимость частоты от координаты лазерного пучка

Также было выявлено негативное влияние поверхностных дефектов межконтактной области, они способствовали размытию положения точки максимума частоты колебаний, что естественно сказывалось на симметричности зависимости частоты от координаты лазерного пучка. Также было обнаружено небольшое влияние формы контактных площадок на положение максимума частоты колебаний тока.

Полученные экспериментальные данные позволили сделать вывод о том, как ведет себя единичный элемент прототипа, однако ввиду несовершенства технологии изготовления образцов параметры генераций токовых колебаний могут отличаться, что проявляется при одновременном функционировании нескольких элементов в виде многочастотной (множественной) генерации. В результате сложения колебаний с каждого элемента параллельной структуры на выходе получается сложный сигнал в виде уникальной последовательности импульсов, перестраиваемой сложным образом при воздействии засветки. Данная особенность является одним из наиболее перспективных свойств прототипа, поскольку может быть использована для преобразования оптического сигнала в цифровой код. Весь этот спектр

функциональных возможностей дает прототипу хорошие предпосылки к созданию рабочего функционального прибора с уникальными свойствами, обладающего рядом достоинств перед существующими а настоящее время интегральными прототипами. Однако, есть и негативные факторы, например такие как повышение с увеличением освещенности постоянной составляющей тока, в следствие чего необходимо усложнение конструкции дополнительными фильтрами, наличие неустойчивых генераций тока, высокое питающее напряжение. Но не смотря на эти факторы у него есть ярко выраженные преимущества относительно интегральных преобразователей. Например повышенная надежность, ввиду малого количества элементов, отсутствие сложных межэлементных соединений, пренебрежимо малое искажение сигнала.

Система, состоящая из прототипа фотоуправляемого генератора токовых колебаний, фильтра для удаления постоянной составляющей тока и триггера Шмитта обладает уникальным свойством, которое позволяет использовать ее как преобразователь оптического сигнала в последовательность импульсов в виде двоичного кода. Если питание структуры осуществлять импульсами напряжения, то длительностью импульса питания можно задавать длину двоичного кода (набора импульсов множественной генерации), а светом управлять положениями отдельных импульсов – перестраивать двоичный код. Также ввиду проявления в высокоомном арсениде галлия магниторезистивного эффекта, у прототипавозможен второй способ бесконтактного управления – магнитным полем.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате анализа полученных результатов, приведенных в работе, можно сделать следующие выводы:

1. Форма контактных площадок планарных меза-структур на основе высокоомного GaAs не влияет на зависимость частоты от интенсивности засветки межконтактной области.
2. На зависимости частоты токовых колебаний от интенсивности засветки межконтактной области наблюдается участок срыва колебаний, положение которого по оси E_c зависит от величины напряжения приложенного к структуре.
3. Планарные меза-структуры на основе высокоомного GaAs обладают наибольшим коэффициентом частотной модуляции в окрестности центра межконтактной области, соответствующей области максимальной фоточувствительности. Из этого следует возможность создания прототипа однокристального преобразователя «свет-частота» с позиционной чувствительностью.
4. Использование многоэлементной планарной структуры параллельного типа прототипа открывает перспективы создания нового функционального прибора с возможностью бесконтактного управления, как с помощью оптического воздействия, так и с помощью магнитного поля и преобразование оптического и магнитного сигнала в двоичный код.