

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
(СГУ)

Кафедра физики твёрдого тела

Экспериментальное исследование низкочастотных колебаний тока в
структурах полуизолирующего арсенида галлия

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4052 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Института физики

Скобенко Артёма Михайловича

Научный руководитель:

профессор, д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание


подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Консультант:

старший преподаватель

должность, ученая степень, ученое звание


подпись, дата

А.В. Митин

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой физики твёрдого тела:

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание


подпись, дата

Ал.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

Саратов 2025

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Функциональная электроника – одно из ключевых направлений современной микро- и нанoeлектроники. В приборах функциональной электроники применяются нелинейные активные среды с особыми электрофизическими свойствами, изучение которых в последние десятилетия привело к появлению новых генераторов, датчиков. Одной из наиболее перспективных таких сред является полуизолирующий арсенид галлия (SI-GaAs), в структурах на основе которого возникают неустойчивости тока, сопровождающиеся низкочастотными колебаниями.

Недавние исследования, проводимые на кафедре физики твердого тела СГУ им. Чернышевского, показали, что более выраженный характер проявления рекомбинационной неустойчивости тока в структурах на основе полуизолирующего арсенида наблюдается для структур типа металл- n^+ - n -SI-GaAs-металл при условии, что анодный контакт структуры к SI-GaAs представляет собой точечный контакт металл-полупроводник (реализуется с использованием прижимного вольфрамового зонда), а катодный контакт к SI-GaAs выполнен на основе мезаструктуры M - n^+ - n -SI-GaAs, по сравнению со структурами металл- n^+ - n -SI-GaAs- n - n^+ -металл планарно-эпитаксиальной конструкции с контактами к SI-GaAs на основе двух мезаструктур.

Однако в предыдущих исследованиях не проводилось детальное исследование вольт-амперных характеристик и зависимостей параметров генерируемых колебаний тока от величины приложенного напряжения и длины активной области для структур типа металл- n^+ - n -SI-GaAs-металл.

Цели и задачи бакалаврской работы. Целью данной работы является экспериментальное исследование низкочастотных колебаний тока в структурах типа металл- n^+ - n -SI-GaAs-металл.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Проведение анализа научно-технической литературы, посвящённой физическим механизмам токовых неустойчивостей в высокоомных структурах на основе GaAs;

2. Ознакомление с экспериментальной установкой, позволяющей проводить исследование вольт-амперных характеристик структур типа металл- n^+ - n -SI-GaAs-металл и параметров генерируемых колебаний тока;

3. Освоение методики проведения экспериментального исследования;

4. Проведение исследования ВАХ и параметров генерируемых колебаний тока в структурах типа металл- n^+ - n -SI-GaAs-металл с различной длиной активной области;

5. Анализ полученных экспериментальных данных.

Структура бакалаврской работы. Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ работа включает 5 основных разделов:

Раздел 1. Физические механизмы развития неустойчивостей тока в структурах на основе полуизолирующего арсенида галлия;

Раздел 2. Влияние внешних факторов на развитие токовых неустойчивостей;

Раздел 3. Применение неустойчивостей тока в функциональной электронике;

Раздел 4. Технология изготовления исследуемых структур и методика экспериментального исследования;

Раздел 5. Результаты экспериментального исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В разделе 1 рассмотрены механизмы отрицательной дифференциальной проводимости, эффекта Ганна, рекомбинационной и поверхностно-барьерной неустойчивостей, уточнены условия их проявления в GaAs.

В разделе 2 показано, что освещение, напряжение и температура существенно смещают напряжение возникновения и параметры генерируемых

колебаний: увеличение освещённости повышает частоту, а увеличение напряжения или температуры изменяет амплитуду и условия проявления неустойчивостей тока.

В разделе 3 рассмотрены схемы генераторов импульсов, преобразователей свет-частота и фазовых детекторов, основанных на управляемых токовых колебаниях в структурах на основе полуизолирующего GaAs.

В разделе 4 описаны эпитаксиальные пластины САГ-2БК, формирование омических и барьерных контактов исследуемых структур, зондовая измерительная установка и методика проведения эксперимента. Отмечена важность подготовки поверхности и электрохимического травления зондов.

В разделе 5 обобщены результаты серии экспериментальных исследований рекомбинационной неустойчивости тока в структурах металл- n^+ - n -SI-GaAs-металл. Показано, что характер проявления низкочастотных колебаний зависит от величины приложенного напряжения и длины активной области структуры.

Отмечена устойчивая тенденция: при приложении постоянного напряжения, напряжения ступенчатой формы и периодических импульсов напряжения пилообразной формы при увеличении напряжения наблюдается увеличение амплитуды генерируемых токовых колебаний. Увеличение длины активной области смещает пороговое напряжение генерации в область более высоких напряжений.

Такое поведение согласуется с физическим механизмом рекомбинационной неустойчивости, при котором формирование и устойчивое существование колебательных процессов связано с условиями захвата носителей на глубокие примесные уровни, чувствительные к напряжённости электрического поля. Увеличение длины активной области приводит к тому, что при том же приложенном напряжении напряжённость электрического поля в активной области уменьшается, следовательно, для достижения

аналогичных условий возбуждения колебательного режима требуется большее напряжение.

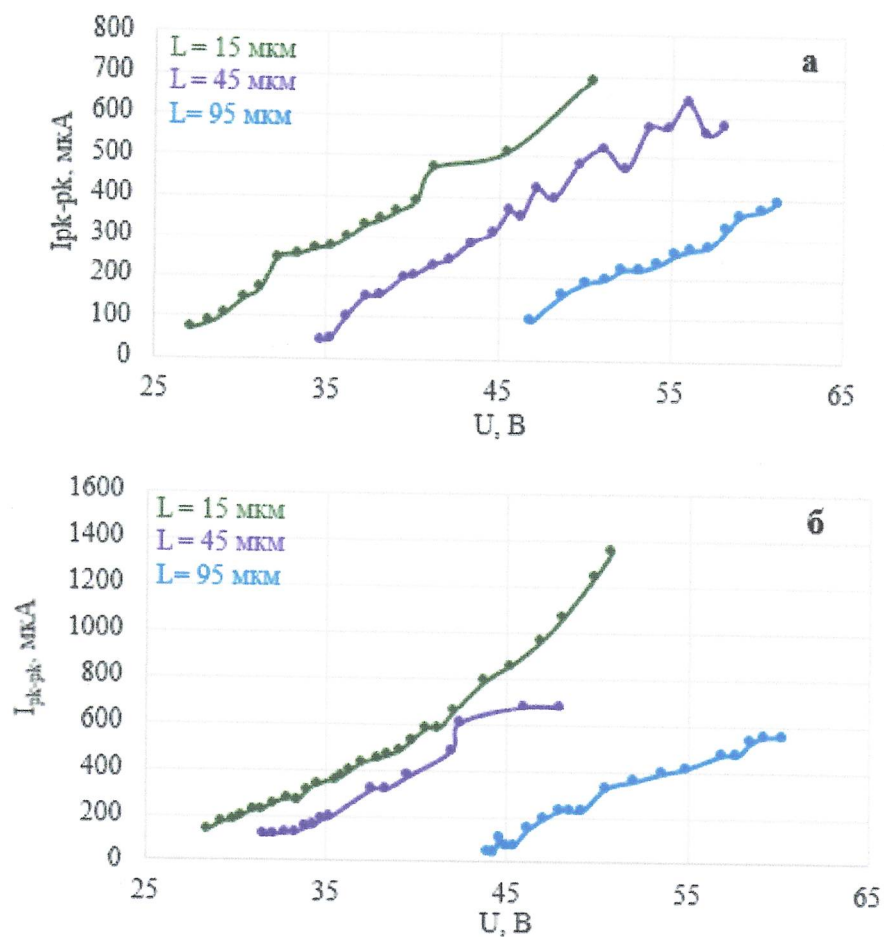


Рисунок 1 - Зависимости амплитуды генерируемых колебаний тока от приложенного постоянного напряжения для структур с различной длиной активной области для двух кристаллов: кристалл 1 (а); кристалл 2 (б)

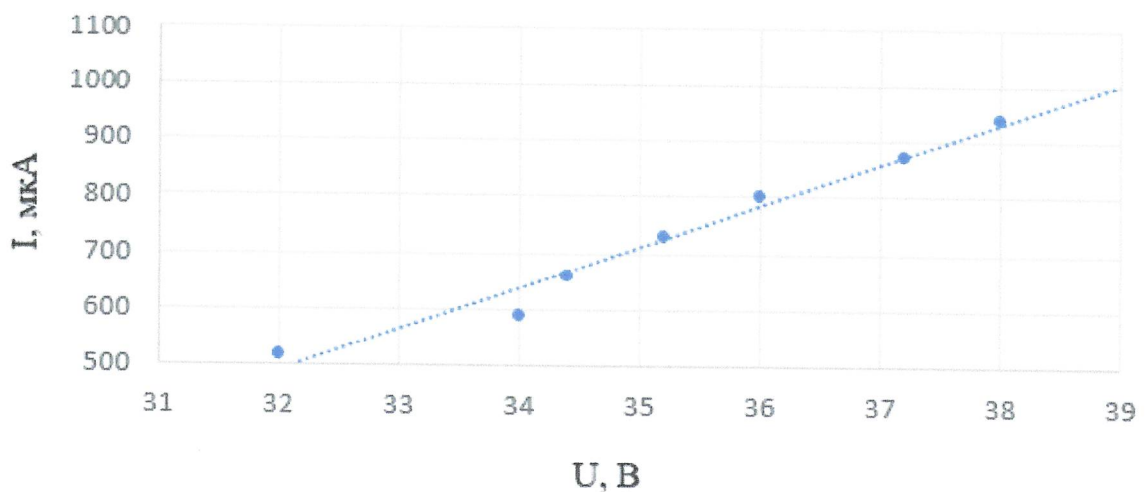


Рисунок 2 - Зависимость амплитуды генерируемых колебаний тока от величины напряжения ступенчатой формы

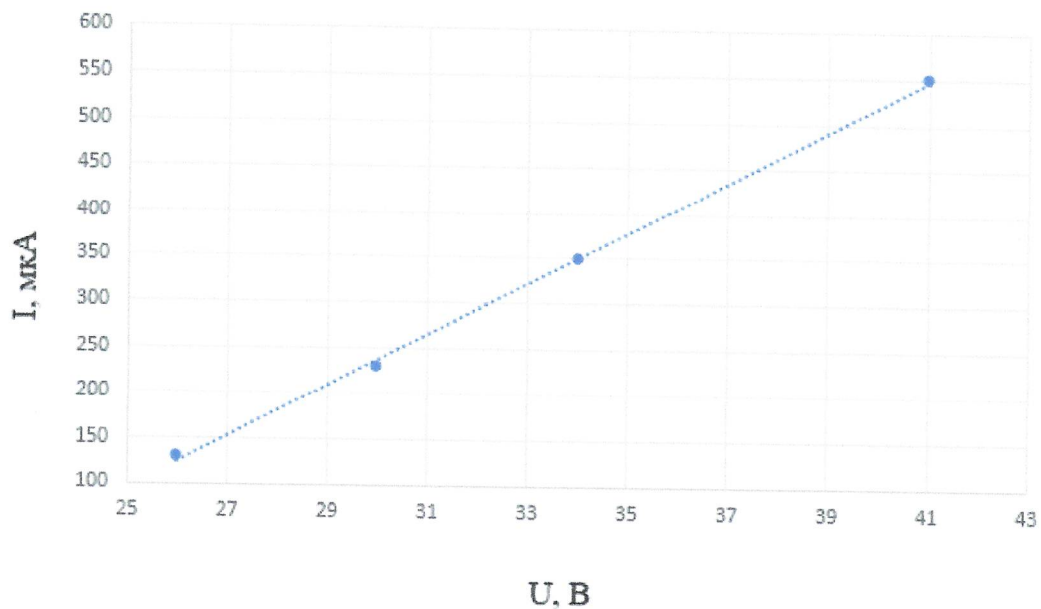


Рисунок 3 - Зависимость амплитуды генерируемых колебаний тока от напряжения, полученная при приложении к структуре импульса напряжения пилообразной формы

Частота колебаний демонстрирует обратную тенденцию зависимости от напряжения - снижается как при увеличении напряжения, так и при увеличении длины активной области; такое поведение объясняется возрастанием времени пролёта носителей через активную область.

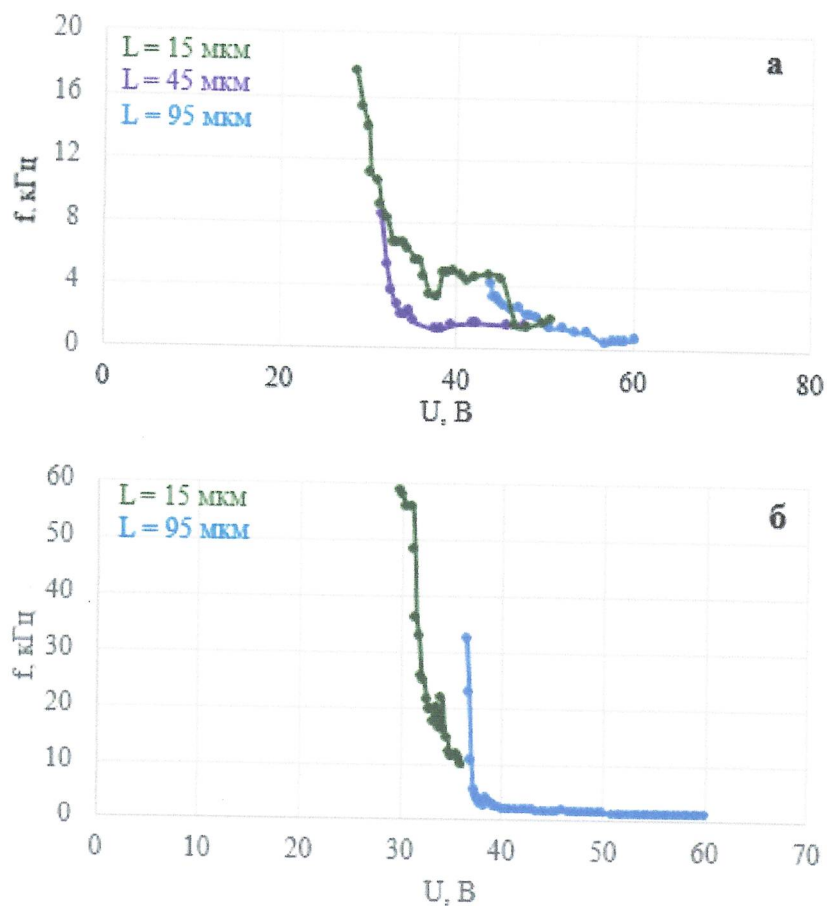


Рисунок 4 - Зависимости частоты генерируемых колебаний тока от величины приложенного постоянного напряжения для структур с различной длиной активной области для двух кристаллов: кристалл 1 (а); кристалл 2 (б)

Анализ зависимостей максимального значения тока на вольт-амперной характеристике от длины активной области не позволил выявить общей закономерности: В частности, для кристалла 1 увеличение длины активной области сопровождается увеличением максимального значения тока, наблюдаемого на ВАХ, что, вероятно, связано с изменением контактного сопротивления, возможно, из-за неоднородного распределения легирующей примеси в полуизолирующей подложке. Напротив, для кристалла 2 отмечается противоположная тенденция: при возрастании длины активной области максимальный ток на ВАХ уменьшается. Это может указывать на то, что увеличение длины активной области структуры приводит к росту её омического сопротивления.

$L = 12,5 \text{ мкм}$ $L = 25 \text{ мкм}$ $L = 37,5 \text{ мкм}$ $L = 50 \text{ мкм}$ $L = 75 \text{ мкм}$

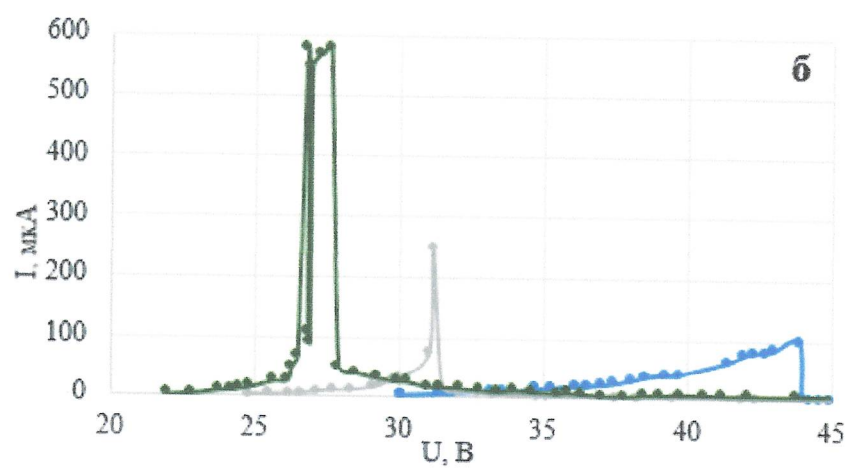
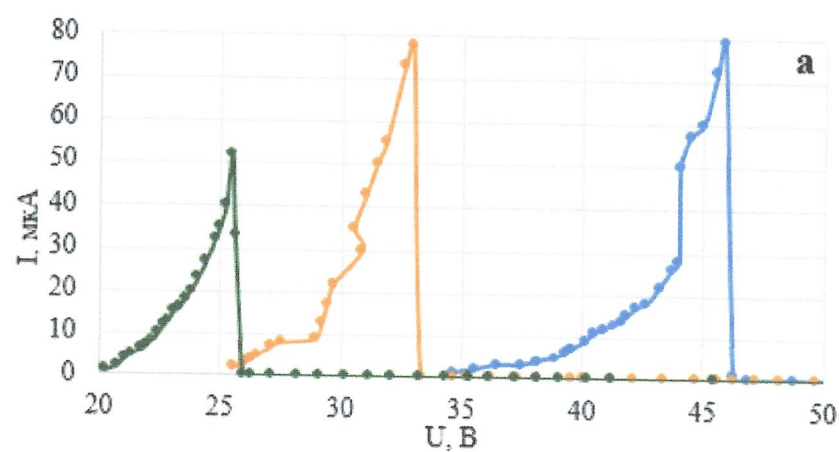


Рисунок 5 - ВАХ для структур с различной длиной активной области для двух кристаллов: кристалл 1 (а); кристалл 2 (б)

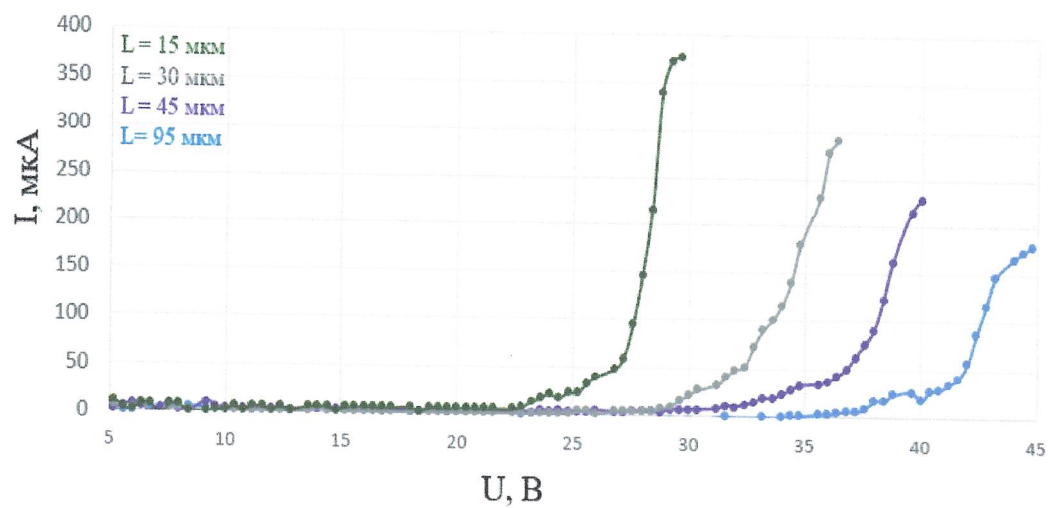


Рисунок 6 - Начальные участки вольт-амперных характеристик для структур с различной длиной активной области (подаваемое на структуру напряжение изменяется ступенчатым образом во времени)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было проведено экспериментальное исследование особенностей проявления рекомбинационной неустойчивости тока в структурах $M-n^+-n-SI-GaAs-M$ на основе полуизолирующего арсенида.

По результатам выполнения выпускной квалификационной работы можно сформулировать следующие выводы:

1. В обзорной части рассмотрены механизмы токовых неустойчивостей в GaAs. Отмечена актуальность исследований ганновской и рекомбинационной неустойчивостей тока в связи с возможностью управляемого формирования доменов сильного электрического поля;

2. Проведённая серия экспериментальных исследований рекомбинационной неустойчивости тока с низкочастотными колебаниями в структурах металл- $n^+-n-SI-GaAs$ -металл показала, что особенности проявления указанной неустойчивости в структурах рассматриваемого типа определяются такими параметрами, как приложенное напряжение и длина активной области;

3. Результаты серии экспериментальных исследований структур металл- $n^+-n-SI-GaAs$ -металл при приложении постоянного напряжения, напряжения ступенчатой формы и периодических импульсов напряжения пилообразной формы показали, что в исследованных структурах наблюдается тенденция увеличения амплитуды генерируемых колебаний тока при увеличении приложенного напряжения. Также установлено, что при увеличении длины активной области пороговое напряжение генерации увеличивается, а амплитуда генерируемых токовых колебаний уменьшается;

4. Частота генерируемых токовых колебаний в структурах металл- $n^+-n-SI-GaAs$ -металл уменьшается как при увеличении длины активной области, так и при увеличении приложенного напряжения, что может быть связано с увеличением времени пролёта носителей через активную область;

5. На зависимостях максимального значения тока, наблюдаемого на вольт-амперной характеристике, от длины активной области структуры

металл- n^+ - n -SI-GaAs-металл, не прослеживается общей закономерности. Для различных кристаллов наблюдаются отличающиеся тенденции: у ряда кристаллов максимальный ток увеличивается при увеличении длины активной области структуры, а у других – напротив, уменьшается. Подобное поведение, скорее всего, связано с физическими особенностями поверхности исследуемых структур, такими как, наличие окислов или дефектов.

