

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

**Особенности низкочастотных устойчивых колебаний тока большой
амплитуды в длинных высокоомных планарно-эпитаксиальных
структурах на основе арсенида галлия**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 412 группы
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий

Малянова Евгения Викторовича

Научный руководитель
ст. преподаватель _____ А.В.Митин

Консультант
профессор, д.ф.-м.н _____ А.И.Михайлов

Зав. кафедрой
Заведующий кафедрой физики полупроводников СГУ,
д.ф.-м.н., профессор _____ А.И. Михайлов

Саратов 2016 год

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, проведенные ранее, показали, что в высокоомных планарно-эпитаксиальных структурах с длиной активной области от 300 до 1000 мкм на основе арсенида галлия возможно наблюдение отрицательной дифференциальной проводимости и низкочастотных колебаний тока, параметры которых зависят от величины приложенного постоянного напряжения, интенсивности и локализации засветки с длиной волны, соответствующей собственному поглощению арсенида галлия, и рядом других факторов. Также было выявлено существование многочастотного режима колебаний, обусловленного развитием сразу в нескольких элементах структуры устойчивых колебаний тока. В связи с этим актуальным является продолжение исследований факторов, влияющих на параметры низкочастотных устойчивых колебаний тока.

Целью данной работы является установление особенностей низкочастотных устойчивых колебаний тока большой амплитуды в длинных высокоомных планарно-эпитаксиальных структурах на основе арсенида галлия при различных типах контактов и внешних факторах.

Задачи:

1. Анализ литературных данных
2. Исследование влияния полярности и величины приложенного напряжения на параметры низкочастотных устойчивых колебаний тока в структурах с мезаконтактами.
3. Исследование влияния полярности и величины приложенного напряжения на параметры низкочастотных устойчивых колебаний тока в структурах с одним мезаконтактом и одним барьерным контактом.
4. Анализ полученных результатов

Краткая характеристика материалов исследования

В работе проведено исследование динамики тока в планарных структурах на основе высокоомного арсенида галлия с контактами двух

типов (мезаконтакты и барьерные контакты металл-полупроводник). Обсуждается ряд особенностей, свойственных структурам с различающимися типами контактов, обнаруженных в ходе исследования.

Описание структуры работы

Выпускная квалификационная работа включает введение, два раздела, в которых обсуждается основное содержание работы, заключение и список литературы из 23 источников, изложена на 59 страницах, содержит 31 рисунок и 1 таблицу. Во введении рассматривается актуальность работы, сформулирована цель работы. В первом разделе проводится анализ современного состояния исследований неустойчивостей тока в высокоомных полупроводниках: рассматриваются основные механизмы, ответственные за развитие неустойчивостей тока, внешние факторы, влияющие на параметры генерируемых колебаний тока. Второй раздел работы содержит описание методологии и полученных результатов проведенного экспериментального исследования особенностей низкочастотных устойчивых колебаний тока большой амплитуды в длинных высокоомных планарно-эпитаксиальных структурах на основе арсенида галлия: описываются используемые материалы и структуры, методика проведения эксперимента и схема установки, результаты экспериментального исследования колебаний тока в планарно-эпитаксиальных структурах при различных типах контактов и внешних факторах. В заключении сформулированы основные выводы по результатам проведенного исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Исследуемые образцы изготавливались на эпитаксиальных структурах марки САГ-2БК, представляющих собой последовательно сформированные на полуизолирующей подложке (толщиной 400 мкм) из арсенида галлия эпитаксиальные слои: буферный слой n_0 -GaAs с концентрацией электронов $n_0 < 10^{14}$ см⁻³, активный слой n-GaAs ($n = 1,5 \cdot 10^{17}$ см⁻³, $d = 0,3$ мкм) и контактный слой n^+ -GaAs ($n^+ = 3 \cdot 10^{18}$ см⁻³, $d^+ = 0,2$ мкм, где n и n^+ – концентрации свободных электронов, d и d^+ – толщины слоев). Омические контакты к n^+ слою мезоструктур создавались на основе AuGe/Ni/Au. Мезаконтакты Me- n^+ - n^- - n_0 - n^- к полуизолирующей подложке формировались посредством технологических операций фотолитографии и химического травления незакрытых фоторезистом участков пластины. Барьерные контакты Me- n^- к полуизолирующей подложке создавались на основе Au.

Исследование динамики тока проводилось при приложении к структуре импульсного (рисунок 1) или постоянного напряжения (рисунок 2) с помощью вольфрамовых зондов. Топология исследуемых контактов представлена на рисунке 3.

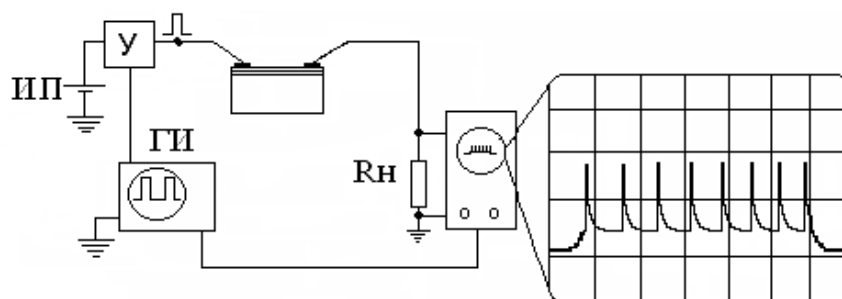


Рисунок 1 – Схема установки при исследовании структур в режиме приложения импульсного напряжения.

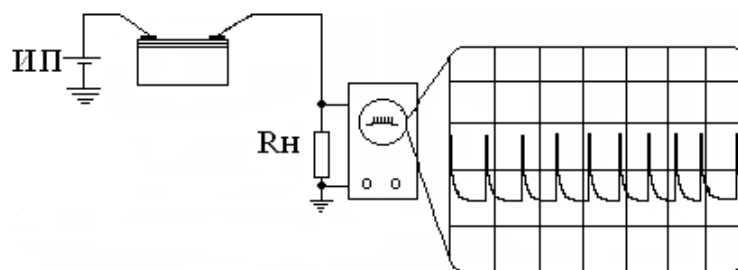


Рисунок 2 – Схема установки при исследовании структур в режиме приложения постоянного напряжения.

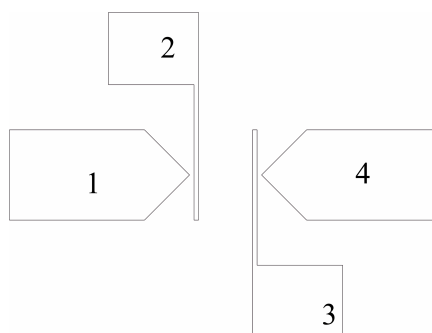


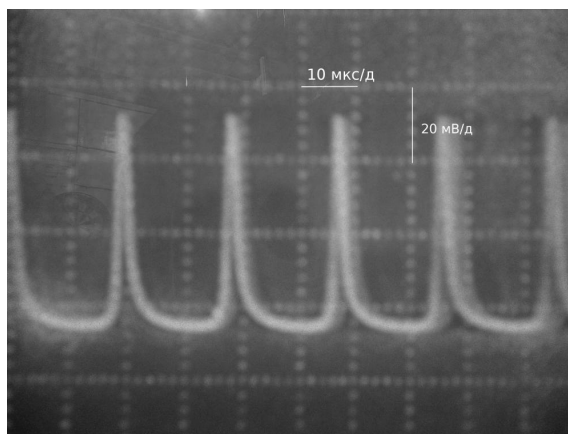
Рисунок 3 – Топология контактов исследуемых структур

1, 4 – мезаконтакты, 2, 3 – барьерные контакты

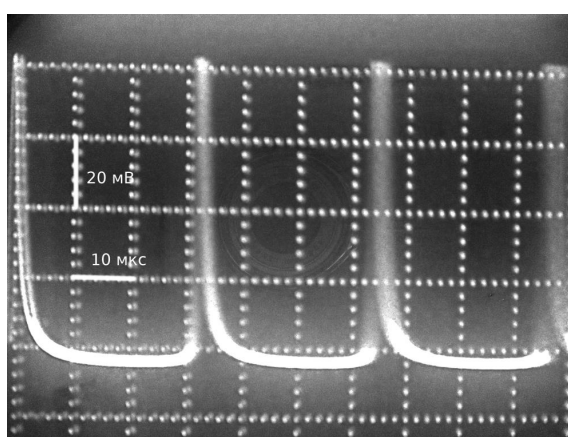
Исследование влияния полярности и величины приложенного напряжения на параметры низкочастотных устойчивых колебаний тока в элементах с различающимися типами контактов проводилось при установке зондов на контакты обеих мезаструктур (элементы 1 типа) или на один из контактов к мезаструктуре и барьерный контакт металл-полупроводник (элементы 2 типа). Расстояние между мезаструктурами составляло 70 мкм, расстояние между барьерным контактом и контактом к мезаструктуре составляло 5, 15 или 30 мкм.

Исследование элементов 1 типа проводилось при приложении импульсного и постоянного напряжения. На рисунке 4 представлена типичная форма колебаний тока в элементах рассматриваемого типа при приложении постоянного напряжения. Выявлено влияние полярности прикладываемого напряжения на среднее значение напряженности электрического поля, соответствующего напряжению возникновения колебаний тока. При увеличении напряжения независимо от полярности прикладываемого напряжения уменьшалась частота (рисунок 5) и

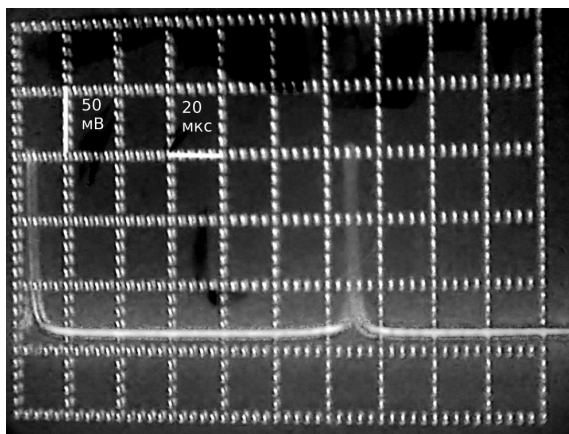
увеличивалась амплитуда (рисунок 6) генерируемых колебаний. Среднее значение напряженности электрического поля, рассчитанное для напряжений, соответствующих пороговым напряжениям генерации, при одной полярности прикладываемого напряжения составило $4,1 \div 5,14$ кВ/см, при другой полярности – $6 \div 6,28$ кВ/см.



а



б



б

Рисунок 4 – Осциллограммы сигнала с нагрузки при напряжениях для элементов типа 1:

а – 29 В, б – 31 В, в – 34 В.

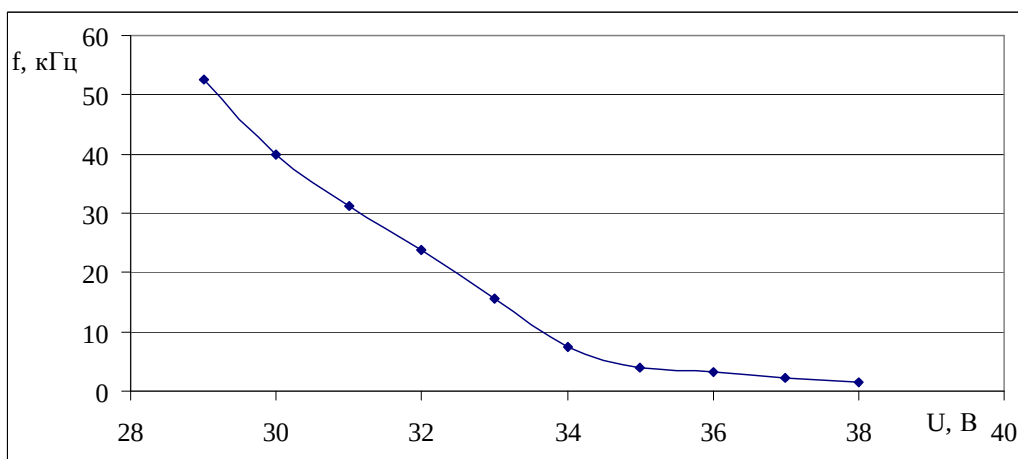


Рисунок 5 – Зависимость частоты основной гармоники генерируемых колебаний тока от величины приложенного постоянного напряжения.

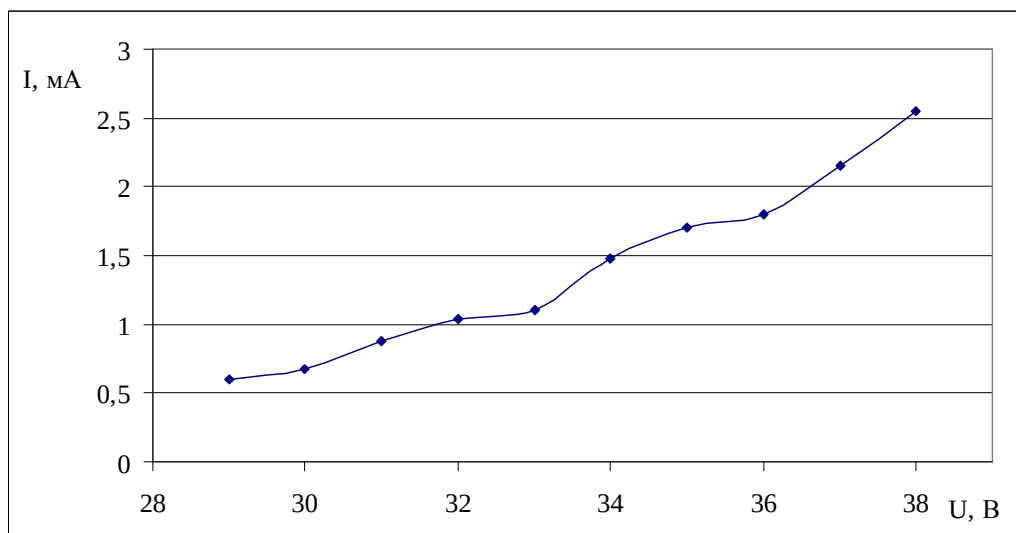


Рисунок 6 – Зависимость амплитуды колебаний тока от величины приложенного постоянного напряжения.

Кроме того, в работе исследовалось влияние напряжения на длительность фронта и длительность среза генерируемых колебаний тока в элементах 1 типа (рисунок 7).

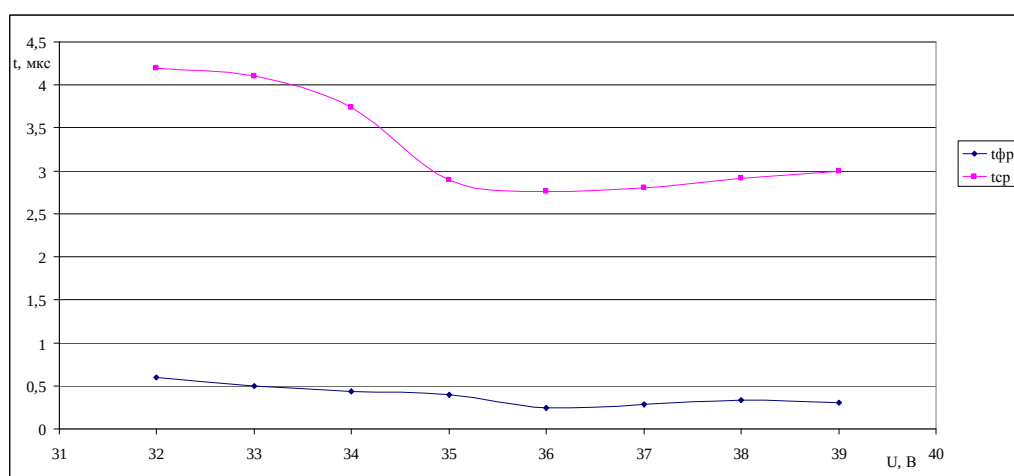
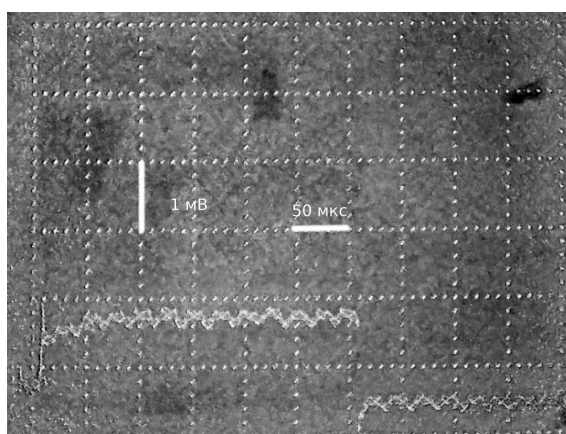


Рисунок 7– Зависимость $t_{фр}$, $t_{ср}$ от величины приложенного постоянного напряжения, где $t_{фр}$ – длительность фронта, $t_{ср}$ – длительность среза.

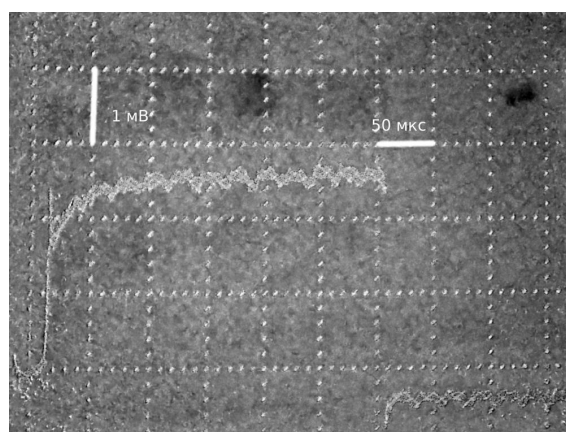
Было выявлено, что при увеличении приложенного напряжения длительность среза уменьшается сильнее, чем длительность фронта.

Исследование элементов 2 типа проводилось только при приложении импульсного напряжения. Типичная форма осциллограмм тока для таких элементов представлена на рисунке 8. Выявлено влияние расстояния между

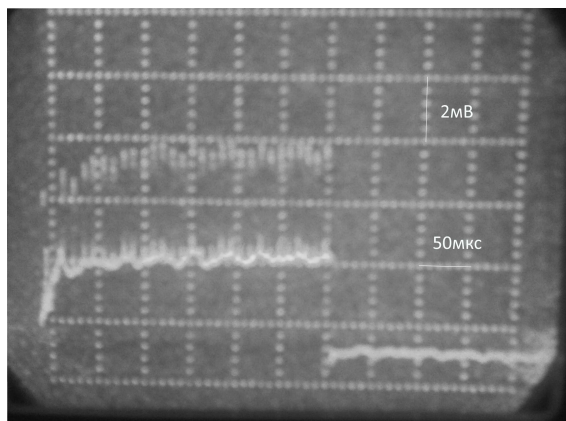
контактами на значение средней напряженности электрического поля, соответствующего пороговому напряжению генерации колебаний тока. При расстоянии между барьерным контактом и контактом к мезаструктуре, равном 5 мкм, значение средней напряженности порогового электрического поля составило 32 кВ/см; при расстоянии 15 мкм – 7,2 кВ/см; при расстоянии 35 мкм – 5,7 кВ/см. Установлено, что в элементах такого типа колебания тока возникают только при одной полярности прикладываемого напряжения: при подключении положительного полюса источника питания к барьерному контакту, а отрицательного – к контакту мезаструктуры.



а



б



в

Рисунок 8 – Осциллограммы сигнала с нагрузки для элементов 2 типа при напряжениях: а – 10 В, б – 11,9 В, в – 16 В (с засветкой активной области).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. В элементах 2 типа колебания тока возникают только при одной полярности прикладываемого напряжения: при подключении положительного полюса источника питания к барьерному контакту, а отрицательного – к контакту мезаструктуры.

2. На амплитуду и частоту генерируемых колебаний влияет значение напряжения, прикладываемого к образцу. При увеличении напряжения возрастает амплитуда колебаний и уменьшается их частота. Это может быть связано с тем, что по мере увеличения напряжения происходит рост напряженности электрического поля в заряженном слое, приводящий к «замедлению» электронов, и вовлечению в заряженный слой все большего и большего числа электронов.

3. В элементах 1 типа при одной полярности приложенного напряжения среднее значение напряженности электрического поля, соответствующее порогу генерации колебаний тока, составило $4,1 \div 5,14$ кВ/см, при обратной полярности приложенного напряжения – $6 \div 6,28$ кВ/см.

4. Для элементов 2 типа при расстоянии между барьерным контактом и контактом к мезаструктуре, равном 5 мкм, среднее значение напряженности электрического поля, соответствующее порогу генерации колебаний тока, составило 32 кВ/см; при расстоянии 15 мкм – 7,2 кВ/см; при расстоянии 35 мкм – 5,7 кВ/см.

5. При увеличении приложенного напряжения длительность среза уменьшается сильнее, чем длительность фронта.