

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

Кафедра физики твёрдого тела

Апробация технологии получения эпитаксиально-планарных структур GaAs  
с применением комбинации технологии лазерной абляции контактной  
металлической пленки и последующего травления полупроводника

**АФТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 2 курса 2252 группы

направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»  
института физики

Чернышева Глеба Ильича

Научные руководители:

профессор, д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

зав. учебной лабораторией

должность, ученая степень, ученое звание



И.О. Кожевников

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 2023

## **ВВЕДЕНИЕ**

Функциональные возможности цифровой электроники на сегодняшний день тесно связаны с возможностями интегральной микроэлектроники.

Функциональная микроэлектроника использует взаимодействие электронных потоков с акустическими и электромагнитными волнами в твердом теле, свойства полупроводников, магнетиков и сверхпроводников в магнитных и электрических полях и другие. Функциональная микроэлектроника может заменить сложные интегральные схемы на функциональные, предлагая такие преимущества, как меньший размер, более простая конструкция и меньшее энергопотребление.

### **Актуальность темы:**

Структура фотоуправляемого генератора на основе высокоомного арсенида галлия представляет собой функциональный однокристальный преобразователь интенсивности освещения в значение частоты токовых колебаний. Данные структуры представляют интерес как устройства функциональной электроники, так как позволяют заменить сложные электронные схемы, включающие усилители и аналого-цифровые преобразователи, их функциональными однокристальными аналогами. При разработке и оптимизации рабочих характеристик данного полупроводникового изделия в лабораторных условиях необходимо изменять конструктивные особенности, в частности топологию металлических контактов. Поэтому существует необходимость быстро и с минимальными затратами изготавливать экспериментальные тестовые образцы для исследований, осуществлять единичное или мелкосерийное производство.

### **Цели и задачи работы:**

Целью выполнения квалификационной работы является апробация и отработка технологии изготовления эпитаксиально-планарных структур фотоуправляемого генератора на основе высокоомного арсенида галлия с

применением технологии лазерной абляции контактной металлической пленки и последующего травления полупроводника.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- Литературный обзор по технологиям создания омических контактов к полупроводниковым структурам и методам травления арсенида галлия;
- Отработка технологии лазерной абляции металлического слоя на поверхности полупроводниковой структуры, с последующим травлением эпитаксиальных слоев GaAs для создания эпитаксиально-планарных полупроводниковых меза-структур с омическими контактами;
- Сравнения двух травителей для экспериментального определения наиболее оптимального;
- Экспериментальное исследование токовых колебаний в изготовленных структурах. Сравнение полученных характеристик со структурами, изготовленными с использованием фотолитографии.

## Основное содержание работы

В первой главе приведен обзор используемых технологий для изготовление омических контактов к GaAs и методов травления арсенида галлия.

Во второй главе описываются используемые в работе материалы и оборудование для изготовления эпитаксиально-планарных структур фотоуправляемого генератора на основе высокоомного арсенида галлия с применением технологии лазерной абляции контактной металлической пленки и последующего травления полупроводника. Описывается процесс отработки режима лазерной абляции, а также процесс определения подходящего состава химического травителя для осуществления травления эпитаксиальных слоев и тестирование изготовленных структур.

В качестве исходных материалов были использованы эпитаксиальные пластины арсенида галлия марки САГ-2БК с металлическим покрытием (рисунок 1), со следующими параметрами:

- 1) Толщина металлической пленки: 0,1 мкм;
- 2) Толщина контактного слоя: 0,2 мкм, концентрация носителей заряда в контактном слое:  $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ;
- 3) Толщина активного слоя: 0,3 мкм, концентрация носителей заряда в активном слое:  $1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

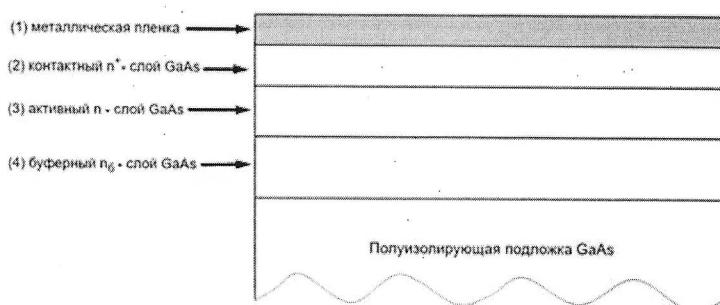


Рисунок 1 – Пластина арсенида галлия с металлической пленкой

Пластины с металлической пленкой подвергались локальной деметаллизации импульсным лазером (рисунок 2) на установке МиниМаркер2 с применением технологии лазерной абляции по заданной в файле векторного рисунка траектории. Для обеспечения удаления только

металлического слоя производилось сравнение нескольких вариантов режима лазерной абляции. Для удаления продуктов абляции при воздействии лазера использовалась система продувки и отведения воздуха из области резки.

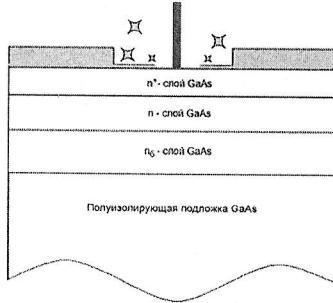


Рисунок 2 – Планарно-эпитаксиальная структура арсенида галлия при воздействии лазером

Для получения требуемой топологии контактных площадок структуры было сформировано и протестировано несколько вариантов траектории движения лазерного луча. Подготовленный в программе CorelDRAW файл векторного рисунка использовался в программном обеспечении лазерной установки МиниМаркер 2, с помощью которой производилась деметаллизация поверхности пластин с напыленным металлом (рисунок 3).

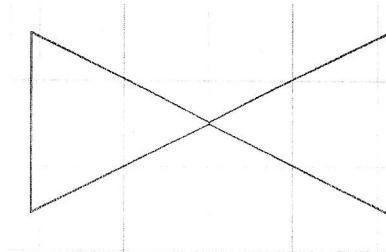


Рисунок 3 – Траектория движения лазерного луча по поверхности пластины (синие линии) и не затрагиваемые области контактных площадок металла (белым цветом) обеспечивающая требуемую топологию

Дополнительно для проведения АСМ измерений создавался шаблон в виде квадратной области размером 1x1 мм с заливкой по всей площади (рисунок 4).

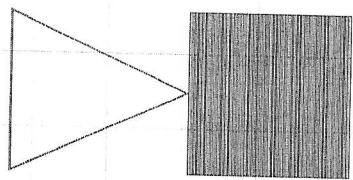


Рисунок 4 – Траектория движения лазерного луча по поверхности пластины для АСМ измерений

Для режима лазерной абляции задавались следующие параметры: мощность, скорость, частота, длительность импульса. В программе установки МиниМаркер 2 создавалась матрица режимов с изменяемым параметром мощности в диапазоне 15-50% от максимума с шагом 5%. Было проведено сравнение двух удовлетворительных вариантов режима:

- 1) Скорость 10 мм/с, частота 1.6 кГц, длительность импульса 4 нс.
- 2) Скорость 20 мм/с, частота 1.6 кГц, длительность импульса 4 нс.

На рисунке 5 приведены увеличенные в 4 раза изображения в отраженном свете структур, полученных при лазерной абляции пластины.

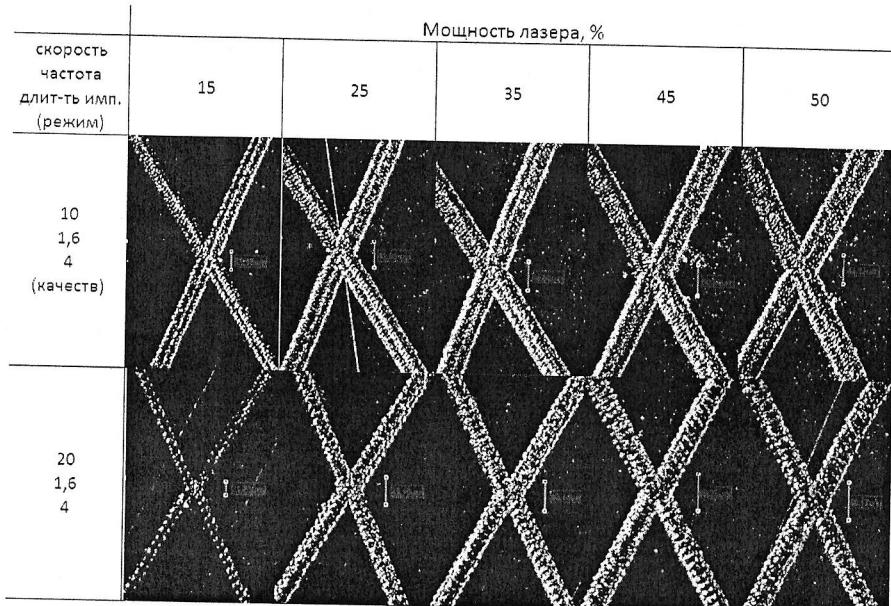


Рисунок 5 – Оптическое микроизображение (4X) структуры с металлической пленкой из Al после лазерной абляции.

В результате сравнения был выбран наилучший вариант режима с параметрами: 1) Мощность 6 Вт (30% от максимума); 2) Скорость 10 мм/с; 3) Частота импульсов 1.6 кГц; 4) Длительность импульса 4 нс. С использованием этого режима было изготовлены экспериментальные

образцы, состоящие из 5 пар металлических площадок с расстоянием между остриями 50 мкм.

Оценка шероховатости полученных образцов производилась с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа (АСМ) NTEGRA Spectra NT-MDT. Обработка АСМ изображений и измерение средней шероховатости производились в программе Gwyddion.

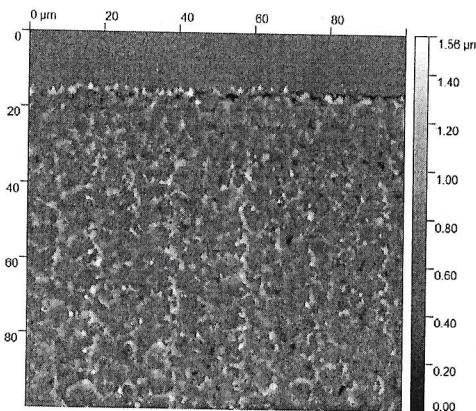


Рисунок 6 – Поверхность пластины после обработки лазером.

Из рисунка 6 следует, что поверхность пластины, подвергнутая лазерной обработке имеет сильную шероховатость. Согласно программным измерительным модулям, средняя шероховатость поверхности в области воздействия лазера составляет 140 нм.

Химическое травление эпитаксиальных слоев арсенида галлия экспериментальных образцов происходило в областях, не закрытых металлом. Таким образом, сформированная с помощью деметаллизации топология выступала в роли маски для травления (рисунок 7).

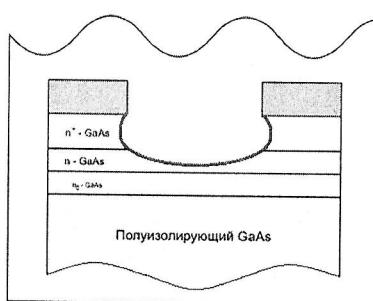


Рисунок 7 – Стравливание слоев планарно-эпитаксиальной структуры в незакрытых металлом участках

Травление осуществлялось с использованием двух вариантов

полирирующих травителей:

1. Перекисно-аммиачный травитель:  $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  (1:2:10).
2. Кислотный травитель.  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  (1:1:300).

Для осуществления контроля глубины травления GaAs в промежутках между циклами травления измерялось электрическое сопротивление с помощью зондовой установки (рисунок 8). Сопротивление образцов измерялось в темноте и при освещении.

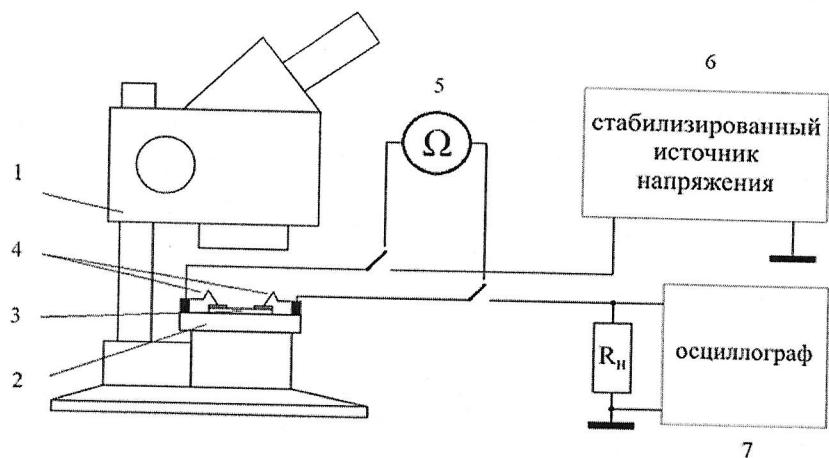


Рисунок 8 – Схема измерительной установки

В результате проведения циклов травления образцов были получены зависимости измеренного сопротивления структур от времени травления, которые показаны на рисунках 9 и 10.

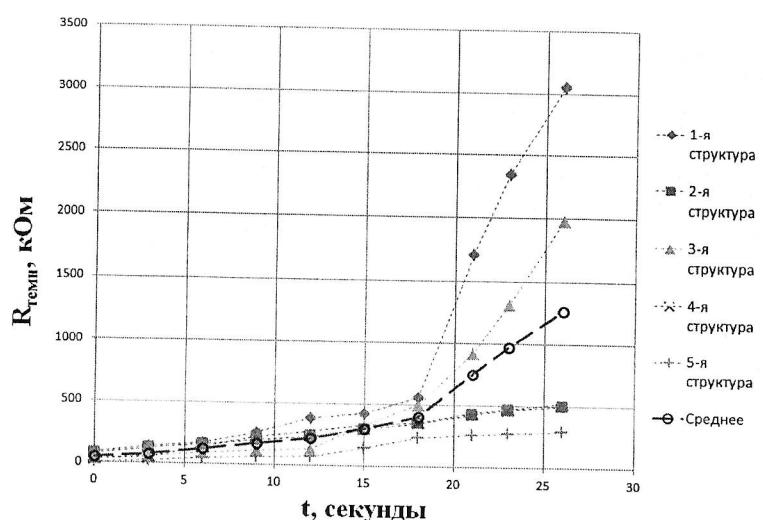


Рисунок 9 – Зависимость сопротивления структур от времени травления перекисно-аммиачным раствором

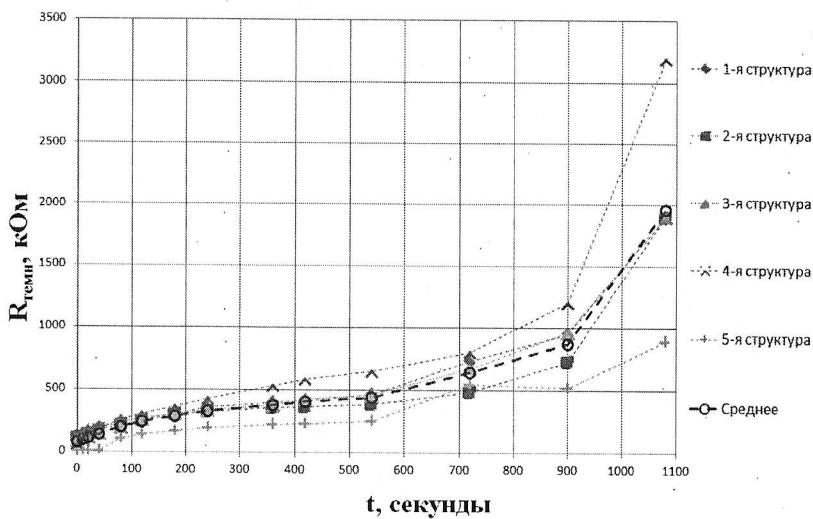


Рисунок 10 – Зависимость сопротивления структур от времени травления кислотным раствором

Необходимая глубина травления была достигнута при сопротивлении порядка 3 МОм. Из графиков (рисунок 9 и 10), видно, что имеется отличие значений по времени достижения необходимой глубины для разных структур, что может быть связано с отклонением плоскости столика лазерной установки, либо неравномерностью фокусного расстояния сканирующего устройства двух осевого сканатора.

Оценка поверхности полупроводника, подвергнутой лазерной абляции, проведенная с использованием АСМ измерений, показала, что после травления перекисно-аммиачным раствором шероховатость уменьшается в 2 раза и составляет 77 нм, а и кислотным растворами, а после травления кислотным раствором практически не изменилась и составляет 139 нм. Из сравнения полученных АСМ изображений следует, что перекисно-аммиачный раствор имеет более выраженные полирующие свойства.

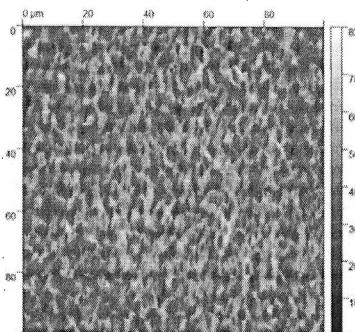


Рисунок 11 – АСМ изображение поверхности полупроводника в области

воздействия лазера после травления перекисно-аммиачным раствором

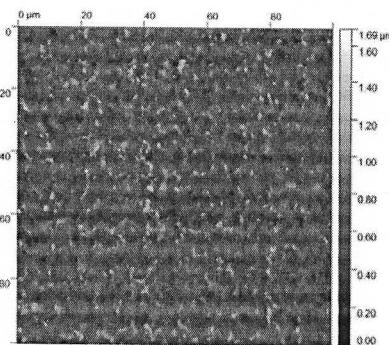


Рисунок 12 – ACM изображение поверхности полупроводника в области воздействия лазера пластины после травления кислотным раствором

В заключительной части проводилось исследование полученных структур. Оценка работоспособности структур производилась по возникновению токовых колебаний во внешней цепи приложении постоянного напряжения в диапазоне 30-60 В. Критерием работоспособности структур, является наличие токовых колебаний на нагрузочном резисторе 100 Ом, регистрируемых осциллографом.

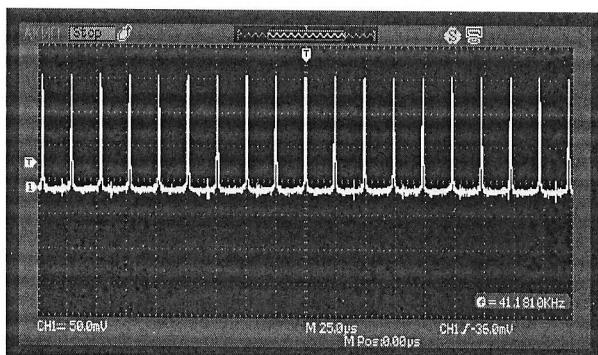


Рисунок 13 – Темновая осциллограмма структуры после травления перекисно-аммиачным раствором

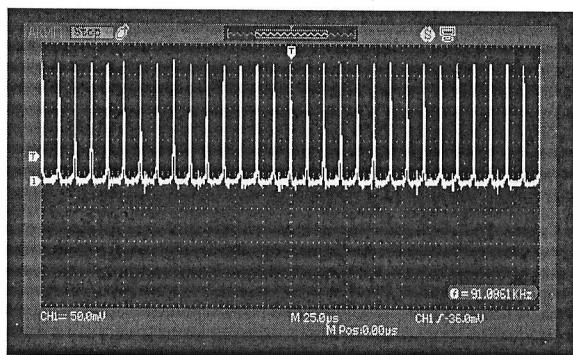


Рисунок 14 – Световая осциллограмма структуры после травления перекисно-аммиачным раствором

Как видно из рисунков 13 и 14, наблюдаются устойчивые колебания тока, с параметрами, характерными для аналогичных структур, полученных с помощью технологии фотолитографии.

При использовании кислотного травителя (рисунок 15,16) параметры токовых колебаний имеют характеристики иные, чем при использовании перекисно-аммиачного травителя. В частности амплитуда меньше и форма колебаний нестабильна, пороговое напряжение выше на 10 В.

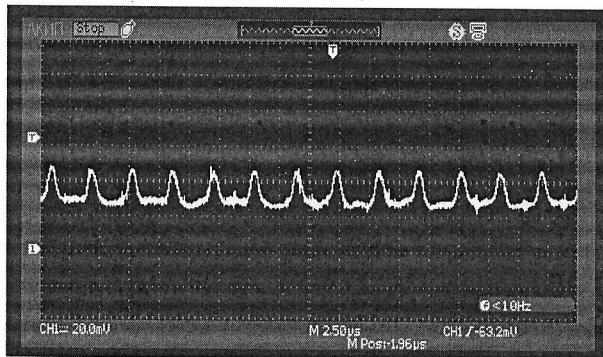


Рисунок 15 – Темновая осциллографма структуры после травления кислотным раствором

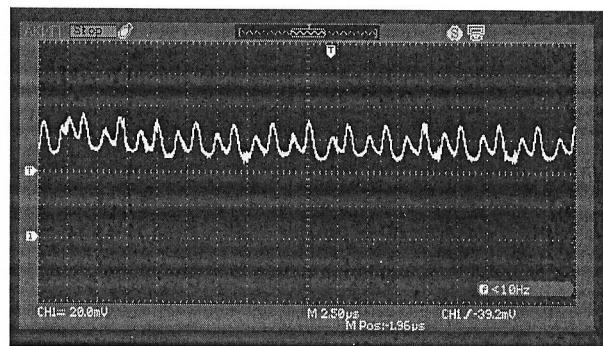


Рисунок 16 – Световая осциллографма структуры после травления кислотным раствором

Из полученных результатов следует, что кислотный травитель имеет менее выраженные полирующие свойства, что негативно сказывается на характеристике токовых колебаний структуры.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения данной выпускной квалификационной работы можно сделать следующие выводы:

1. Проведен литературный обзор по технологиям создания омических контактов к полупроводниковым структурам и методам травления арсенида галлия.

2. Отработана технология лазерной абляции металлического слоя на поверхности полупроводниковой структуры, с последующим травлением эпитаксиальных слоев GaAs для создания эпитаксиально-планарных полупроводниковых мезаструктур высокоомного GaAs;

Проведено сравнение нескольких вариантов режима лазерной абляции. Определено, что наилучший результат достигается в следующем случае:

- Мощность 6 Вт, что составляет 30 % от максимума;
- Скорость движения лазерного луча 10 мм/с;
- Частота следования импульсов лазера 1.6 кГц;
- Длительность импульсов лазерного луча 4 нс.

3. В ходе изготовления структур было проведено сравнение двух травителей (перекисно-амиачного и кислотного) для экспериментального определения наиболее оптимального. Наиболее эффективным с точки зрения достижения необходимых характеристик токовых колебаний (большая амплитуда, стабильная форма колебаний, пороговое напряжение 30-40 В) является перекисно-амиачный травитель ( $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  с объемным соотношением 1:1:10).

4. Проведено экспериментальное исследование токовых колебаний в изготовленных структурах. Показано, что структуры, изготовленные по выбранной и отработанной технологии, показывают результаты, сравнимые по характеристикам со структурами, изготовленными с использованием фотолитографии.

