

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

Кафедра физики твёрдого тела

**Разработка технологии эпитаксиально-планарных структур с
металлическими контактами для лабораторных применений**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 4052 группы
направления 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»
Института физики

Васильевой Анастасии Юрьевны

Научные руководители:

профессор, д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

зав. учебной лаборатории

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

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 2025

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Актуальность работы обусловлена потребностью в ускоренном и экономически эффективном изготовлении единичных экспериментальных образцов, особенно в условиях динамично развивающихся отраслей. Традиционные методы изготовления структур часто требуют значительных временных и финансовых затрат, что затрудняет оперативное внедрение инноваций и проведение экспериментов. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых подходов, позволяющих быстро и с минимальными затратами изготавливать структуры экспериментальных образцов, что способствует ускорению научно-исследовательских работ.

Цели и задачи бакалаврской работы. Целью работы является отработка технологии создания эпитаксиально-планарных полупроводниковых мезоструктур с металлическими контактами в лабораторных условиях.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- 1) Литературный обзор существующих технологий создания металлических контактов к полупроводниковым пластинам;
- 2) Оработка технологии создания металлических контактов на основе технологии лазерной абляции металла на полупроводниковой подложке;
- 3) Оработка процесса травления арсенида галлия для создания эпитаксиально-планарных полупроводниковых мезоструктур в комбинации с технологией лазерной абляции контактной металлической пленки;
- 4) Оработка технологии создания маскирующих микрорисунков для напыления металла на основе технологии фотополимерной печати с использованием фотополимерной смолы;
- 5) Оработка технологии создания маскирующих микрорисунков для напыления металла на основе технологии фотополимерной печати с использованием жидкого фоторезиста ФПН-20-ИЗО.

Структура бакалаврской работы. Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ работа включает 2 основных раздела:

1. Литературный обзор существующих технологий
2. Отработка технологий создания металлических контактов к полупроводниковым пластинам в лабораторных условиях

2.1 Отработка технологии создания микрорисунков металлических контактов на основе технологии лазерной абляции металла на полупроводниковой подложке

2.2 Отработка процесса травления арсенида галлия для создания эпитаксиально-планарных структур в комбинации с технологией лазерной абляции контактной металлической пленки

2.3 Отработка технологии создания микрорисунков на основе технологии фотополимерной печати с использованием фотополимерной смолы

2.4 Отработка технологии создания микрорисунков на основе технологии фотополимерной печати с использованием жидкого фоторезиста ФПН-20-ИЗО

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В разделе 1 проводится анализ научной литературы, посвященной существующим технологиям создания эпитаксиально-планарных полупроводниковых мезоструктур с металлическими контактами, описывается технология фотолитографии с применением фоторезиста ФПН-20-ИЗО, а также варианты травления полупроводниковых соединений A_3B_5 . Рассматриваются особенности и преимущества эпитаксиально-планарных структур, а также физико-химические свойства и преимущества арсенида галлия. Также рассматриваются альтернативные методы формирования маскирующих микрорисунков на поверхности материалов, такие как лазерная абляция и фотополимерная печать.

В разделе 2 представлены результаты отработки технологий формирования микрорисунков и нанесения металлических контактов на подложки арсенида галлия и кремния.

В первой части раздела 2 проведена отработка процесса травления арсенида галлия в комбинации с технологией лазерной абляции металла. На эпитаксиальные пластины марки САГ-2БК напылялся металл. Затем с помощью лазерной установки производилась деметаллизация поверхности образца с минимально-возможным затрагиванием слоя полупроводника. На сканирующем атомно-силовом микроскопе было получено изображение поверхности пластины арсенида галлия после воздействия лазерного пучка, из которого было видно, что после обработки лазером, поверхность пластины достаточно шероховатая и неровная. Средняя шероховатость такой пластины составляет 140 нм.

Для сглаживания поверхности пластины после воздействия лазерного пучка использовалось два состава полирующих травителей.

Состав первого полирующего травителя: $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ в пропорциональном соотношении 1:1:10.

Состав второго полирующего травителя: $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ в пропорциональном соотношении 1:1:300.

Было установлено, что перекисно-аммиачный травитель имеет более выраженные полирующие свойства, чем кислотный травитель. После травления перекисно-аммиачным раствором шероховатость пластины составляет 77 нм., после травления кислотным раствором шероховатость составляет 139 нм.

После каждого интервала травления осуществлялось измерение сопротивления полученного образца. Время каждого цикла варьировалось в процессе травления исходя из величины измеренного сопротивления. Среднее значение темнового сопротивления эталонных образцов составляет порядка 3 МОм. Это значение использовалось как целевое при контроле. При достижении сопротивления более 2 МОм проверялась работоспособность

структуры по возникновению токовых колебаний, при приложении напряжения к контактам структуры напряжение в интервале 30-60 В.

Для обоих видов травителей получилось добиться токовых колебаний в структуре арсенида галлия с омическими контактами, полученных методом лазерной абляции и последующего травления. При использовании кислотного травителя параметры токовых колебаний (рисунок 1) имеют характеристики хуже, чем при использовании перекисно-аммиачного травителя (рисунок 2). В частности, амплитуда меньше и форма колебаний нестабильна, пороговое напряжение выше на 10 В.

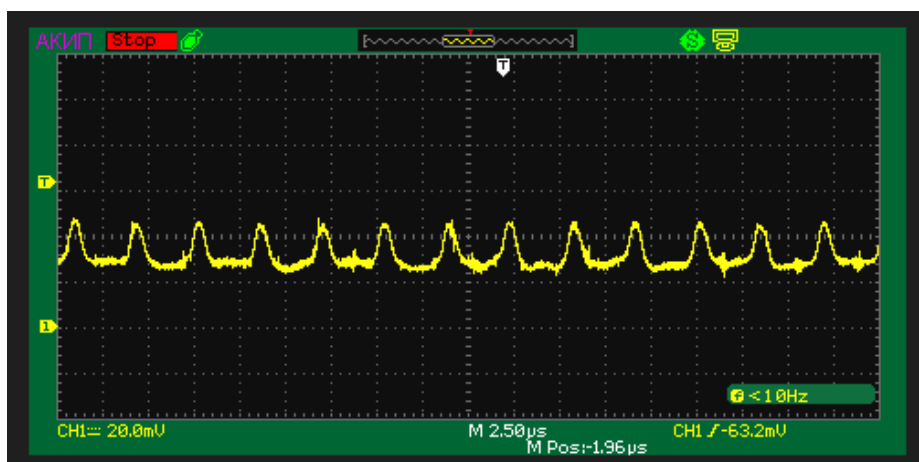


Рисунок 1 – Осциллограмма без освещения образца, полученного с применением кислотного травителя

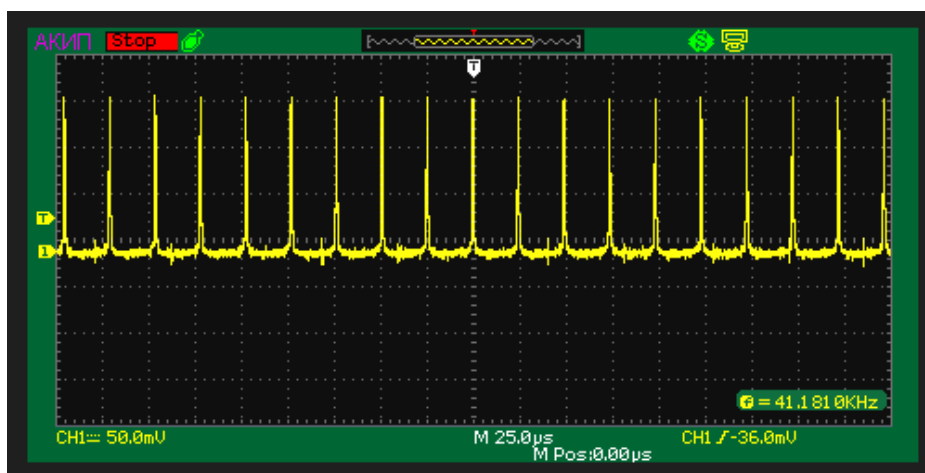


Рисунок 2 – Осциллограмма без освещения образца, полученного с применением перекисно-аммиачного травителя

В следующей части раздела 2 была проведена отработка технологии фотополимерной печати с использованием фотополимерной смолы. В качестве материала для создания маски для формирования микрорисунков сравнивались три вида фотополимерной смолы:

- 1) Термостойкая смола Phrosen TR250 LV, цвет серый;
- 2) Модельная смола Gorky Liquid FI, цвет черный;
- 3) Стоматологическая смола HARZLAB Dental Yellow Clear, цвет прозрачный.

В работе использовался 3Д принтер ASIGA MAX X27 UV с технологией DLP, длиной волны УФ источника 385 нм и максимальной мощностью 30 мВт/см², размер одного пикселя 27×27 мкм.

Были измерены с помощью микроскопа межконтактные расстояния и оценено отклонение от заданной топологии для разных смол (рисунок 3). На подложке с термостойкой смолой с напылением хрома, отклонение минимально и составляет 2 мкм. Варианты, для которых расчеты отсутствуют, не были сформированы. Маска на основе модельной смолы плохо размокала и снималась очень трудно. Для стоматологической смолы на подложке кремния после напыления никеля маска размокала более 30 мин, после чего сошла вместе с микрорисунком металла.

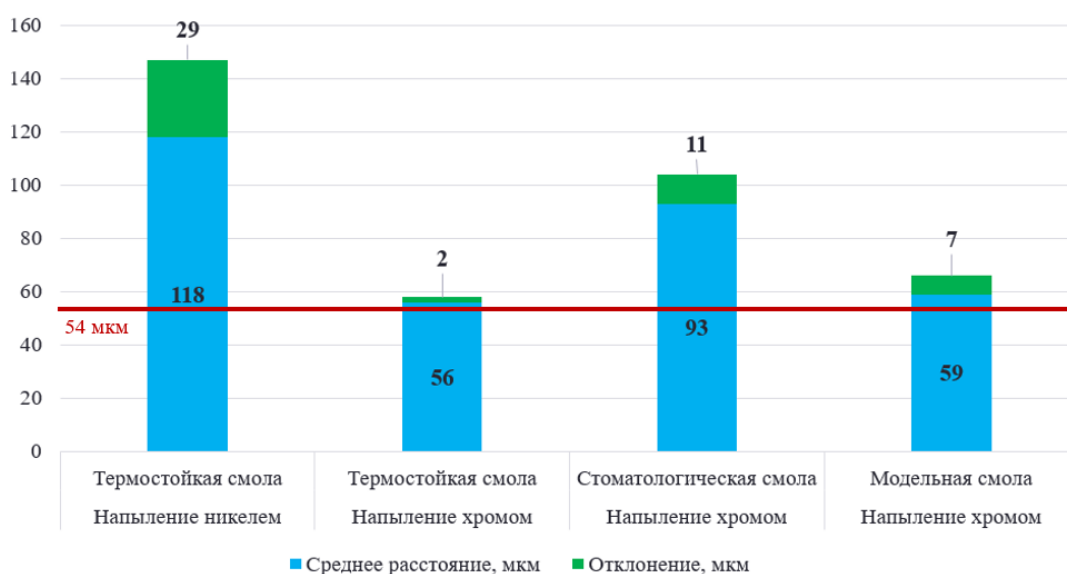


Рисунок 3 - Отклонение от заданной топологии для разных смол

На зондовой станции Agilent B1500A были сняты ВАХ образцов. На ВАХ образцов GaAs с контактами из никеля следует, что сопротивление контактов велико для использования в исследованиях.

В последней части раздела 2 была проведена отработка технологии фотополимерной печати с использованием промышленного фоторезиста ФПН-20-ИЗО.

Были измерены с помощью микроскопа межконтактные расстояния и оценено отклонение от заданной топологии для контактов, изготовленных из никеля и хрома (рисунок 4). На образце из арсенида галлия с контактами из никеля, отклонение минимально и составляет 2 мкм.

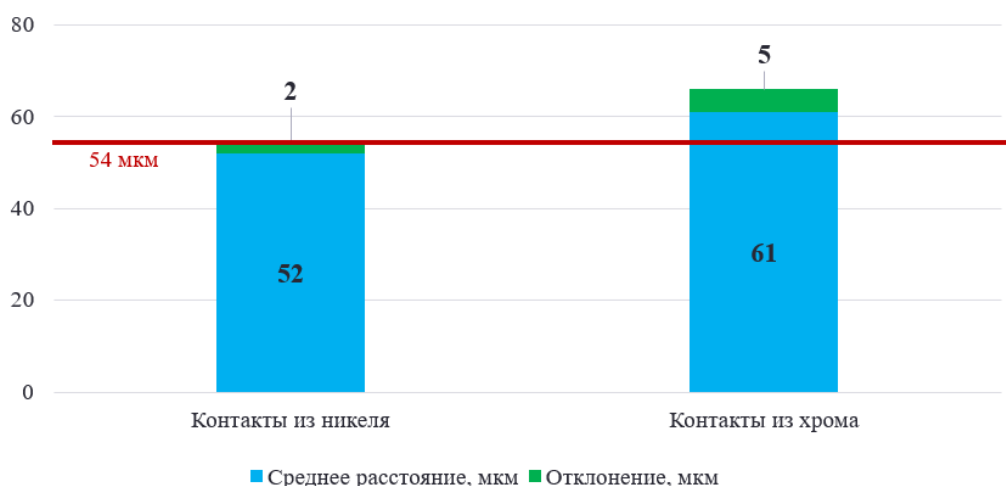


Рисунок 4 – Отклонение от заданной топологии для контактов

На зондовой станции Agilent B1500A были сняты ВАХ образцов. На ВАХ образца арсенида галлия с контактами из хрома после травления в перекисно-аммиачном растворе $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ в пропорциональном соотношении 1:1:10 наблюдается участок отрицательной дифференциальной проводимости (рисунок 5).

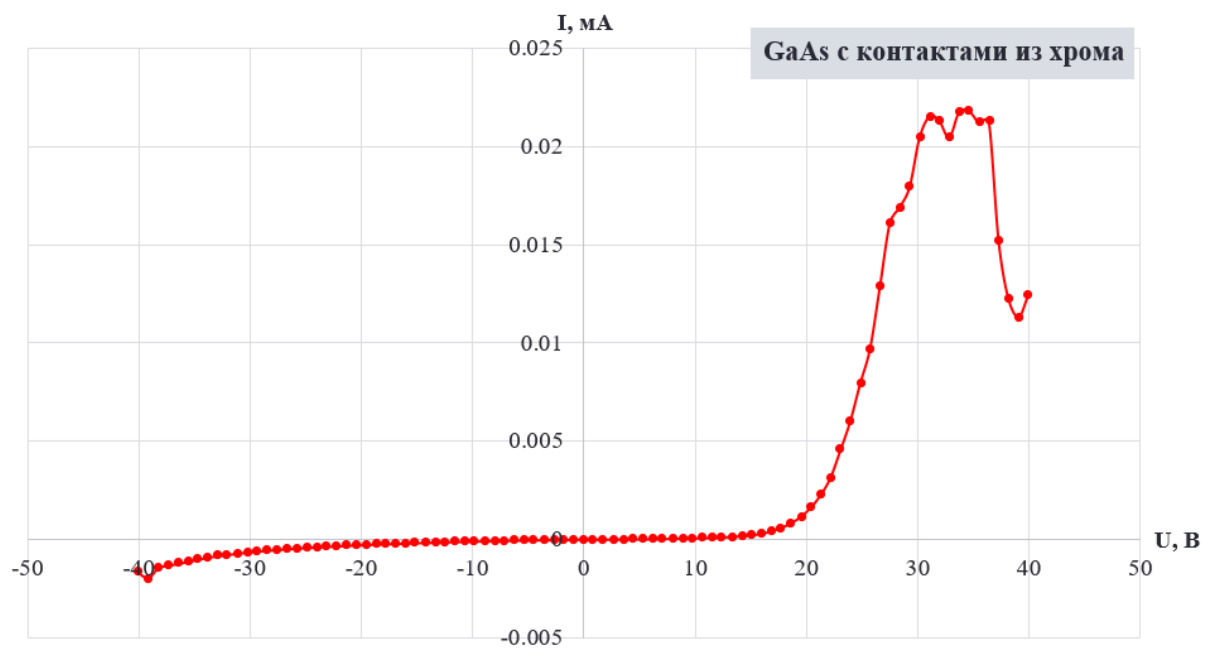


Рисунок 5 – ВАХ образца GaAs с контактами из хрома после травления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения бакалаврской работы можно сделать следующие выводы:

1) Лазерная абляция демонстрирует высокую локальную точность обработки, однако её разрешающая способность существенно зависит от параметров лазерной системы. Данный метод подходит для задач, не требующих нанометрового масштаба, но требует строгих мер безопасности;

2) Технология фотолитографии обеспечивает разрешающую способность около 600 линий/мм (1,5–2 мкм), что обусловлено дифракцией и интерференцией света. Технология с использованием жидкого фоторезиста ФПН-20-ИЗО показывает эффективность для обратной литографии, обеспечивая отрицательный наклон профиля стенок, что упрощает удаление металлического слоя;

3) Фотополимерная печать позволяет достичь разрешения от 20 мкм (SLA) до 47 мкм (LCD), в зависимости от типа принтера и параметров печати. Для DLP-принтера размер пикселя составляет порядка 20 мкм. Данный метод подходит для быстрого прототипирования;

4) Выбор травителя зависит от требуемого качества поверхности и кристаллографических особенностей материала.

5) Методика получения эпитаксиально-планарных полупроводниковых мезоструктур с помощью травления арсенида галлия в комбинации с технологией лазерной абляции применима для создания металлических контактов. В результате отработки технологии были изготовлены экспериментальные образцы, при приложении к контактам которой напряжения порядка 45 В возникали токовые колебания большой амплитуды, частота которых увеличивалась при освещении межконтактной области образца.

6) Технология формирования маскирующих микрорисунков на основе технологии фотополимерной печати с использованием фотополимерной смолы неприменима для создания металлических контактов к

полупроводниковой подложке. Выявлены ключевые ограничения, препятствующие ее применению для создания металлических контактов:

- плохая адгезия маски к подложке;
- плохая смываемость смолы, приводящая к плохой адгезии металла;
- сложность контроля толщины маски;
- низкая проводимость металлических контактов.

7) Технология создания маскирующих микрорисунков на основе технологии фотополимерной печати с использованием жидкого фоторезиста ФПН-20-ИЗО применима для создания металлических контактов к полупроводниковой подложке. У образцов GaAs с напылением хрома после травления перекисно-аммиачным травителем на ВАХ наблюдается участок отрицательной дифференциальной проводимости.

Таким образом, в рамках работы были испытаны три технологии создания металлических контактов к полупроводниковой подложке, две из которых продемонстрировали пригодность для лабораторных применений и при этом являются менее дорогостоящими по сравнению со стандартной технологией фотолитографии.