

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

**ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРАЗМЕРНЫХ ПЛАНАРНЫХ
ПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУР НА ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПОДЛОЖКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ
НАНОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4041 группы

направления 09.03.02 Информационные системы и технологии

института физики

Расулова Ильи Ильясовича

Научный руководитель
доцент кафедры нелинейной физики,
к.ф.-м.н. _____

А.Б. Адилова

Научный консультант
с.н.с. лаборатории «Материалы
специального назначения»
ОНИ НС и БС СГУ,
к.ф.-м.н. _____

А.В. Стародубов

Зав. кафедрой физики открытых систем
д.ф.-м.н., профессор _____

А.А. Короновский

Саратов 2021 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЯВЛЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ	4
2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	5
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	6
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	9
ЛИТЕРАТУРА.....	10

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается неуклонный тренд к миниатюризации радиоэлектронных приборов, устройств, а также составляющих их компонентов. Другими словами, базовые компоненты радиоэлектронных устройств уменьшаются в размере, весе и других параметрах, при этом у них не только сохраняется, но и часто приумножается производительность, то есть, выдаваемые ими результаты работы[3].

Сам термин миниатюризация включает в себя следующие пункты:

- совмещение нескольких устройств в одном
- продвижение рабочих частот в миллиметровый и субмиллиметровый (терагерцовый) диапазоны

Интерес в формировании искусственно созданных сред с характеристиками и параметрами, которые отсутствуют в природе (метаматериалы).

Целью данной дипломной работы было формирование микроразмерных планарных проводящих структур на твердых диэлектрических подложках с использованием лазерной абляции наносекундными импульсами

Конкретными **задачами** настоящей курсовой работы выступали:

1. Изучение метода лазерной абляции, а также определение важнейших параметров, управляющих процессом лазерной абляции.
2. Изучение научных подходов по исследованию морфологии микроразмерных структур: методы сканирующей электронной микроскопии, методы оптической микроскопии, а также соответствующего научного оборудования.
3. Экспериментальное исследование взаимодействия наносекундных лазерных импульсов с тонкими металлическими пленками на диэлектрической подложке.

4. Расчет погонной интенсивности импульсного лазерного воздействия: а) для равномерного распределения по сечению пучка лазера; б) для Гауссова распределения по сечению пучка лазера

5. Проведение экспериментальных работ по выявлению эффективного режима работы лазерной установки. Изготовление структур на основе установленных оптимальных режимах работы лазерной установки.

6. Изучение методов исследования характеристик пассивных радиоэлектронных элементов с помощью векторного анализатора цепей.

1. ЯВЛЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Лазер – это устройство преобразующее энергию накачки (световую, электрическую и др.) в энергию узконаправленного потока излучения.

Лазерная абляция – это метод удаления вещества с поверхности лазерным импульсом. Это довольно простой, быстрый и прямой способ формирования микро- и наноструктур. Он позволяет получать микро- и наноструктуры различного типа, включая металлические, полупроводниковые и полимерные. Основные параметры, управляющие процессом лазерной абляции считаются[2]: длина волны лазерного излучения, тип воздействия: непрерывное или импульсное, длительность импульсного воздействия на образец.

Чтобы рассмотреть процесс наносекундной абляции подробно и наглядно, изучим его схематично на рис.1.

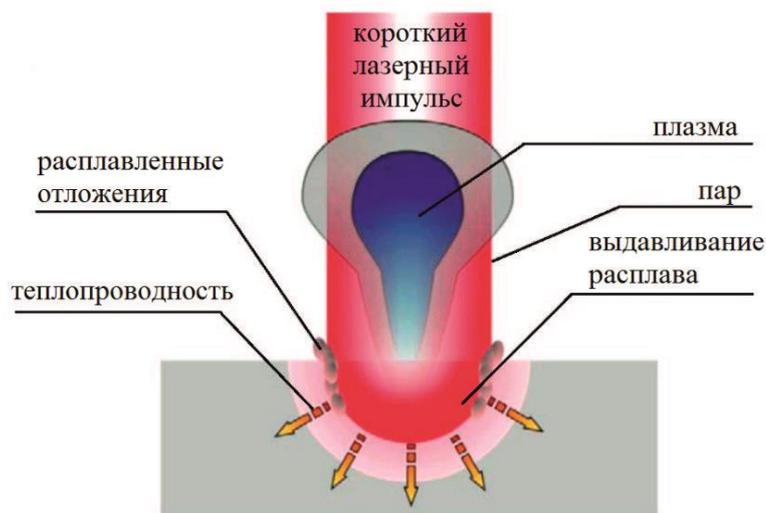


Рис.1. Процесс наносекундной абляции.

К преимуществам метода относятся: быстрый нагрев и охлаждение обрабатываемого материала, точная регулировка мощности лазерного импульса, возможность обработки материалов при маленьких масштабах, гибкое управление скоростью обработки.

К недостаткам процесса можно отнести следующие факторы: невозможность абсолютно избавиться от мусора во время обработки, сложность в работе с неровными образцами[1].

2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Погонная интенсивность – это интенсивность плотности мощности, которая приходится на единичную площадь обрабатываемого материала при ненулевой скорости движения лазерного импульса. Сначала предлагается рассмотреть схематический рисунок, на котором продемонстрировано какая область лазерного луча исследуется. На данном рисунке указаны 2D и 3D – модели распределений.

Рассмотрим схему, на которой описано как рассчитывается плотность энергии от лазерного излучения.

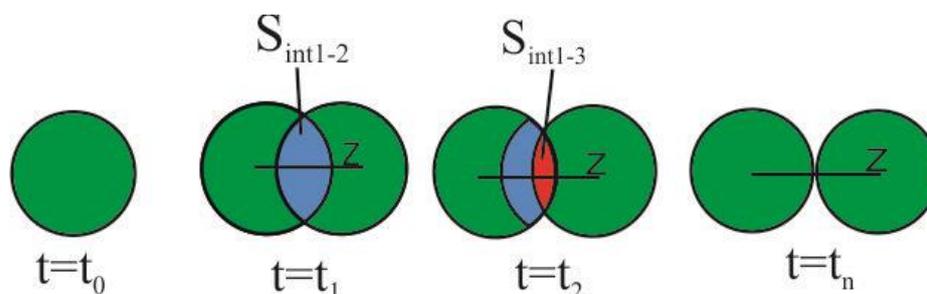


Рис. 2. Схематическое представление области пересечения пятен (вид сверху) от лазерных импульсов при ненулевой скорости сканирования лазерного луча для равномерного распределения по сечению пучка. S_{int1-2} и S_{int1-3} представляют собой области пересечения пятен от первого и второго, и первого и третьего импульсов соответственно. Z – это расстояние между центрами окружностей.

В рамках данного распределения плотности энергии по сечению лазерного луча представляет собой цилиндр диаметром 36 мкм.

Также были построены зависимости плотности энергии от скорости лазерного излучения для равномерного распределения и распределения по Гауссу

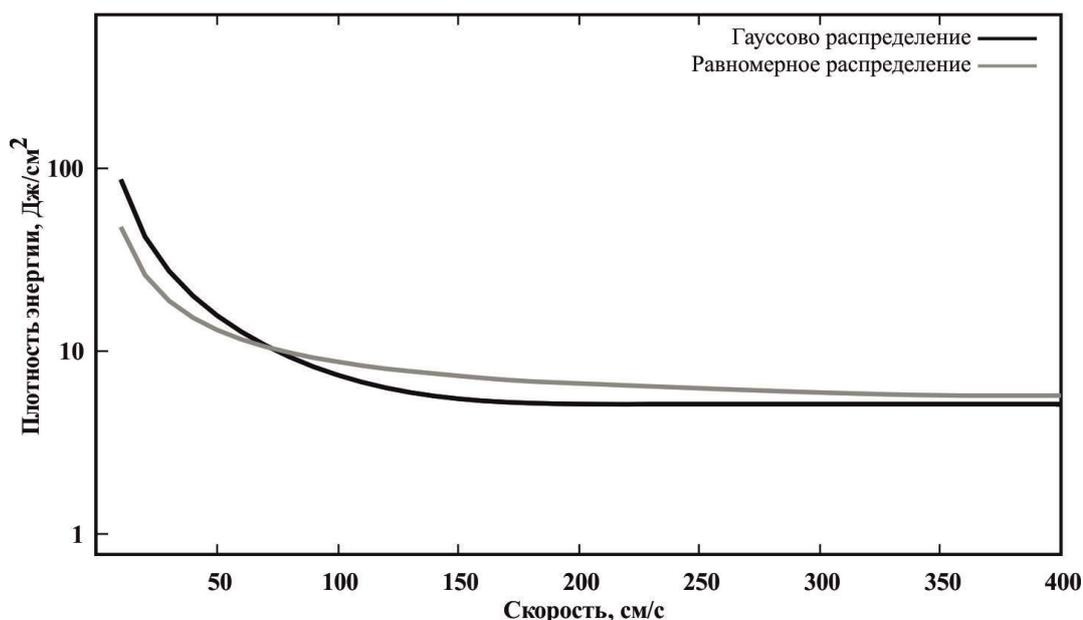


Рис.3. График зависимости плотности энергии от скорости движения пучка лазера при Гауссовом и равномерном распределениях лазерного импульса.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В рамках данного исследования используется следующее оборудование: лазерный станок МиниМаркер 2-20А4, saniрующий электронный микроскоп, оптический микроскоп в проходящем свете.

Было установлено, что наиболее оптимальным значением для длительности лазерного излучения является 8 нс, так как при данном

значении тепловые процессы во время абляции минимальны, средняя выходная мощность лазерного излучения остается 100% или равняется 6 Вт и частота следования импульсов 100 кГц.

Далее была поставлена цель – выявить наиболее эффективный режим работы лазера, при котором наблюдается эффективное удаление материала при максимально возможной скорости перемещения лазерного луча по образцу. При фиксированных вышеупомянутых значениях, менялась скорость следования лазерного луча от 10 до 400 см/с с шагом в 10 см/с. После проведенного эксперимента была полученная следующая зависимость (см. рис. 4.)

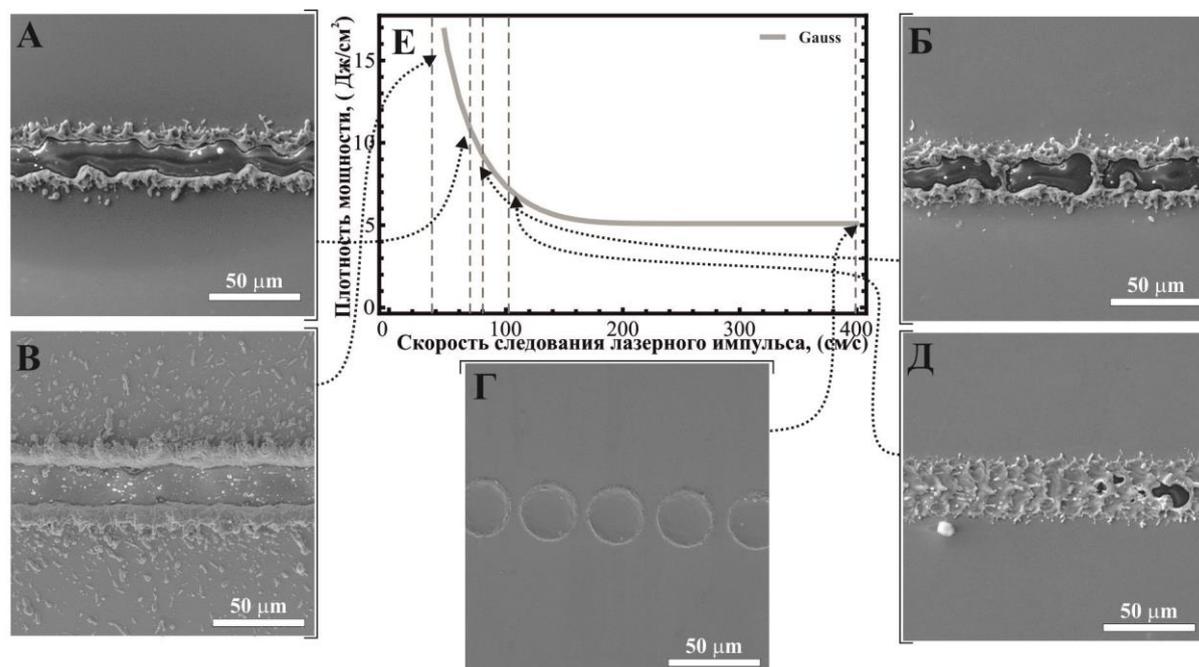


Рис. 4. График зависимости плотности энергии от скорости следования лазерного импульса (Е). Фотография с электронного микроскопа при скорости 70 см/с (А), при скорости 80 см/с (Б), (Г) соответствует скорости 400 см/с, (В) скорости 40 см/с, (Д) соответствует скорости 100 см/с.

На графике видно, что при скорости движения лазерного луча равной 70 см/с наблюдается рез, но при скорости 80 см/с, уже наблюдаются наплывы продуктов абляции внутри реза. Это говорит о том, что скорость 70 см/с является граничной скоростью для данного режима работы лазера.

Далее стояла задача – определить необходимую плотность энергии лазерного излучения для удаления материала определенной толщины.

Были обработаны несколько образцов с разной толщиной (1; 2; 3,1; 6,1; 6,9; 8,7 и 12,1 мкм). При фиксированных параметрах, которые упомянуты ранее, для каждого из образцов, менялась скорость.

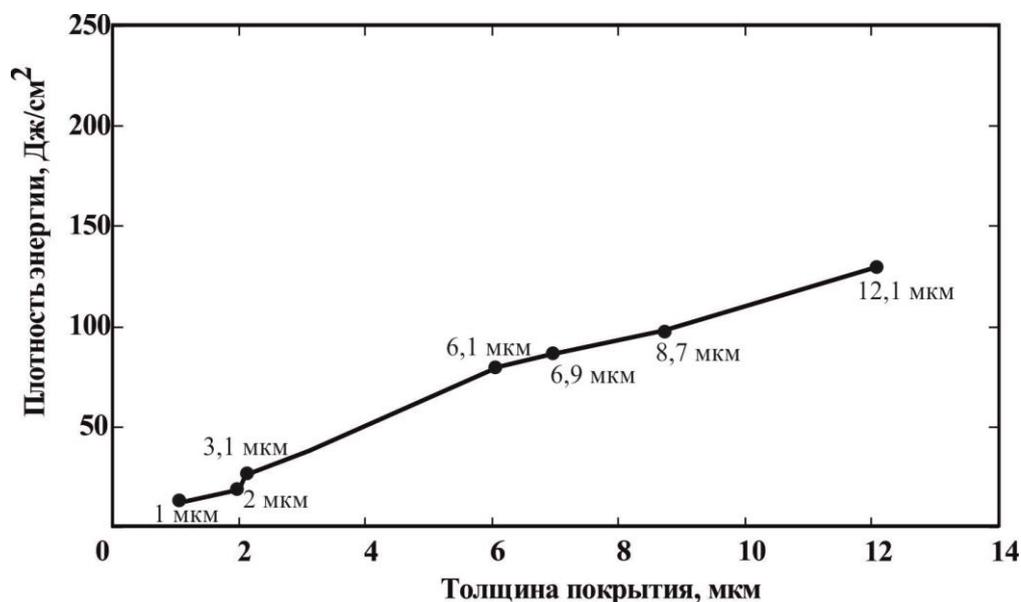


Рис. 5. График зависимости плотности энергии лазерного излучения от толщины материала.

В дальнейшем полученные результаты позволят разработать и сформировать упорядоченные структуры типа меандр[4]. В гибкой электронике меандровые дорожки часто используются для формирования гибких электродов из металлических пленок, которые требуются в гибких дисплеях, гибких схемах, гибких антеннах. при формировании упорядоченных структур, учитывая размер пучка лазера, который составляет 20 мкм, формируем структуру в программе CoralDRAW, которая выглядит следующим образом (см. рис. 6).

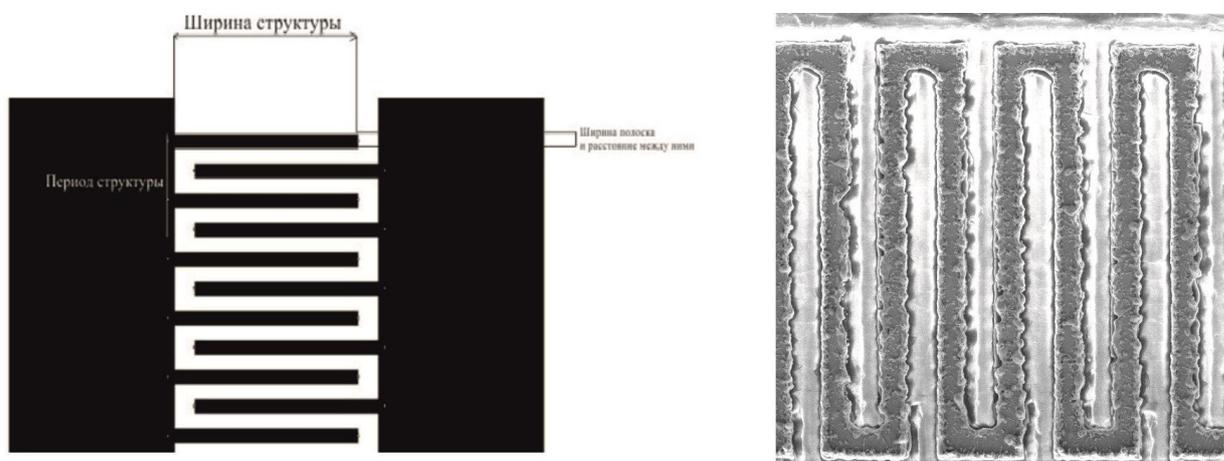


Рис. 6. Чертеж и фотография упорядоченной структуры типа меандр: ширина полоска и расстояние между полосками 50 мкм, период структуры 200 мкм, ширина

структуры 650 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечислим основные результаты, полученные в ходе выполнения выпускной квалификационной работы.

Была рассмотрена лазерная абляция, как один из методов микро- и нанообработки. Изучены параметры управляющие процессом лазерной абляции. Был проведен расчет погонной плотности энергии импульсного лазерного воздействия для равномерного распределения плотности энергии по сечению пучка лазера и для Гауссова распределения. Было проведено экспериментальное исследование взаимодействия наносекундных лазерных импульсов с тонкими металлическими пленками на диэлектрической подложке. Был проведен эксперимент по выявлению эффективного режима работы лазера, который показал, что эффективная абляция для медной пленки толщиной 2 микрона наблюдается при 70 см/с. Был проведен эксперимент по выявлению зависимости плотности энергии лазерного импульса от толщины обрабатываемого материала. Были изучены методы исследования характеристик пассивных радиоэлектронных элементов с использованием векторных анализаторов цепей.

Полученные результаты можно будет применить в формировании планарных электродинамических структур (линии передачи, замедляющие структуры и т.п.). Зная толщину образца и необходимые размеры замедляющей системы, и опираясь на проведенное исследование, можно будет эффективно вырезать образец. Это позволит минимизировать количество продуктов абляции на образце, уменьшит риск повреждения материала в ходе абляции, так как при неправильно подобранном режиме можно либо проплавить образец, либо не прорезать его вовсе.

Результаты работы представлены на двух Всероссийских и двух международных научных конференциях, опубликовано 3 тезиса докладов в сборниках конференций и 1 статьи в журнале SPIE Proceedings.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gamzina D. [и др.]. Nano-CNC Machining of Sub-THz Vacuum Electron Devices // IEEE Transactions on Electron Devices. 2016. Т. 63. № 10.
2. Червяков Г. Взаимодействие Лазерного Излучения С Веществом // Международный Журнал Экспериментального Образования. 2010. № 10.
3. !Лазерная обработка ТЕХНОЛОГИИ. в микроэлектронике.pdf.
4. Меандровая линия задержки из двух витков , защищающая от сверхкоротких импульсов 2015. № 37 (3). С. 120–123.