

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

Кафедра физики открытых систем

**«Аддитивные технологические подходы для быстрого
прототипирования ключевых компонентов устройств вакуумной
микрэлектроники»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 4041 группы

направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии»

код и наименование направления

Института Физики

наименование факультета

Чернозубкиной Кристины Сергеевны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент кафедры физики

открытых систем, к.ф.-м.н

должность, ученая степень, уч. звание

Адилова А.Б.

Инициалы Фамилия

подпись, дата

Зав. кафедрой физики открытых систем

полное наименование кафедры

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, уч. звание

Короновский А.А.

Инициалы Фамилия

подпись, дата

Саратов 2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Основное содержание работы.....	6
Заключение	10
Список используемых источников.....	12

Введение

Развитие технологий трехмерной печати представляет собой значительный прорыв в области проектирования и производства микроэлектронных устройств, особенно в вакуумной микроэлектронике. Методы аддитивного производства открывают новые возможности для создания сложных геометрических форм и структур, которые ранее были трудно воспроизводимы или даже недоступны с использованием традиционных методов изготовления [1].

Путем создания трехмерных компьютерных моделей устройств перед их фактическим производством, исследователи и инженеры могут проводить предварительные численные расчеты, оптимизировать конструкцию изделий и избежать потенциальных ошибок на ранних стадиях разработки. Это позволяет существенно сократить время и затраты на создание новых микроэлектронных устройств, а также обеспечить высокую точность и качество конечного продукта.

В рамках радиоэлектроники, использование 3D печати для производства микроэлектронных устройств предъявляет определенные требования, связанные с металлизацией и качеством поверхности. Эти факторы непосредственно влияют на эффективность и рабочие характеристики создаваемых устройств.

В процессе быстрого эволюционного развития аддитивные технологии 3D-печати становятся основополагающими в передовых производствах, включая область радиоэлектроники. Различные инновационные виды таких технологий, как FDM (Fused Deposition Modeling) (FFF - Fused Filament Fabrication), SLA (Stereolithography), DLP (Digital Light Processing), LCD (Liquid Crystal Display), SLS (Selective Laser Sintering) и SLM (Selective Laser Melting), предоставляют широкие возможности для производства компонентов и устройств в этой сфере. Они обеспечивают эффективное проектирование и изготовление как бытовой техники, медицинских

инструментов, так и запчастей для автомобилей, обеспечивая простоту и быстроту процесса производства.

Аддитивные технологии существенно упрощают процесс разработки и производства продукции, а также позволяют оперативно проводить анализ возможных дефектов продукции еще до ее создания благодаря трехмерной визуализации проектов. С учетом широкого спектра материалов, используемых в трехмерной печати, таких как инженерные пластики, металлы, керамика, песок и полимеры, возможно создание разнообразных изделий с учетом их уникальных потребностей и требований.

Различные методики, такие как FDM, SLS, SLM, SLA, DLP и LCD предлагают разные подходы к созданию уникальных изделий с различными свойствами и качеством прототипа. Эти методики отличаются по расходным материалам, скорости производства и качеству конечного продукта, что позволяет выбирать наиболее подходящий подход в зависимости от конкретных потребностей и целей производства.

Виды наиболее популярных аддитивных технологий:

1. Послойное выращивание объекта из пластиковой нити (FDM). Нагревающая головка с фильерами (экструдер) расплавляет тонкую пластиковую нить (леску) и послойно укладывает ее согласно данным математической 3D-модели [2].
2. Селективное лазерное спекание полимерных порошков (SLS) - спекание порошка с помощью инфракрасного лазера при повышенной температуре, которая помогает зернам порошка спекаться при контакте с лазерным лучом. В SLS-принтере имеется так называемая «кровать», на которой валик распределяет тонкий слой порошка, а затем лазер спекает его частицы в соответствии с 3D-моделью, создавая деталь слой за слоем [2].
3. Селективное лазерное сплавление металлических порошков (SLM) – Принцип работы тот же, что и в SLS, но вместо спекания происходит сплавление [2].

4. Лазерная стереолитография (SLA) - в SLA-принтерах применяется лазер. Он выборочно засвечивает фотополимерную смолу, находящуюся в емкости принтера. Лазерный луч светит на дно резервуара и направляется зеркальными гальванометрами на точную область, подлежащую отверждению [3].
5. Цифровая обработка светом (DLP) - в DLP-печати используется проектор, а не ультрафиолетовый лазер, как в SLA. Проектор излучает свет сразу на весь слой смолы, избирательно отверждая деталь с помощью тысяч мельчайших зеркал, называемых цифровыми микрозеркальными устройствами, направляющими световую проекцию [3].
6. Фотополимеризация с помощью ЖК-экрана (LCD) - как и в случае с DLP, LCD-печать заключается в одновременной засветке целых слоев для отверждения фотополимера, но без применения зеркал. Вместо этого мощные жидкокристаллические панели пропускают на модель свет с помощью светодиодов. ЖК-панель блокирует засветку в тех областях, которые не подлежат фотополимеризации [3].

На рисунке 1 представлены различные виды аддитивных технологий:

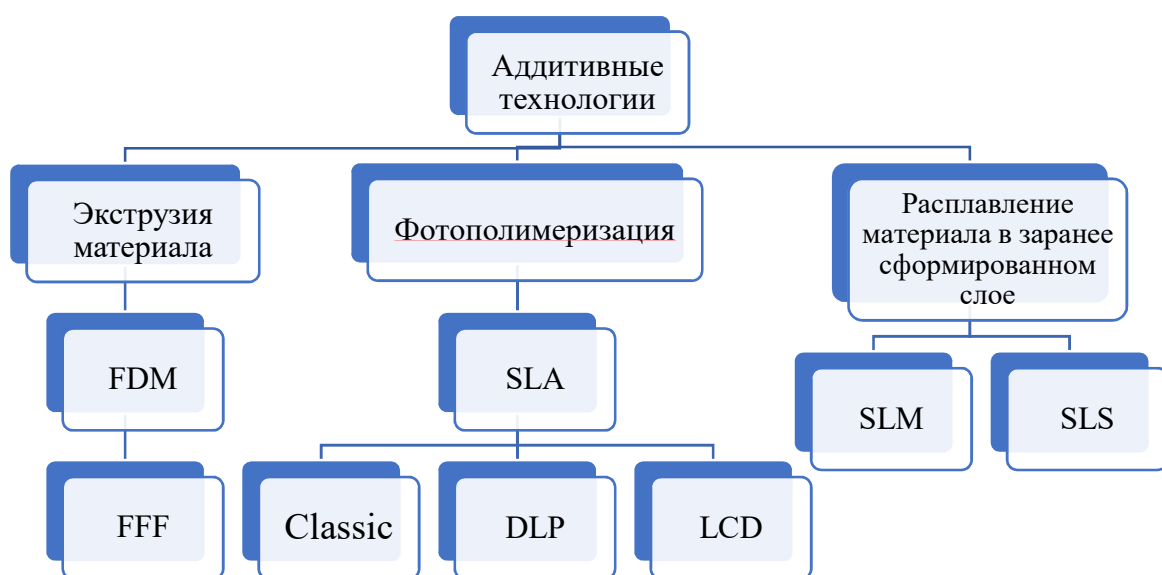


Рисунок 1 – Схема аддитивных технологий

Таким образом, использование 3D печати в радиоэлектронике требует учета специфических требований к металлизации, качеству поверхности и другим параметрам, чтобы обеспечить эффективное функционирование и оптимизацию радиоэлектронных устройств, особенно при работе на высоких рабочих частотах.

Основное содержание работы

В работе была исследована периодическая замедляющая структура типа одиночная гребенка, представленная на рисунке 3. Она является одним из базовых узлов приборов вакуумной микроэлектроники - усилителей и генераторов электромагнитного излучения.

Замедляющая система типа гребенки представлена на рисунке 2. Она состоит из двух не соединенных между собой металлических пластин, расстояние между которыми равно b . В верхней пластине прорезаны щели шириной d и глубиной l , перпендикулярные оси z [4].

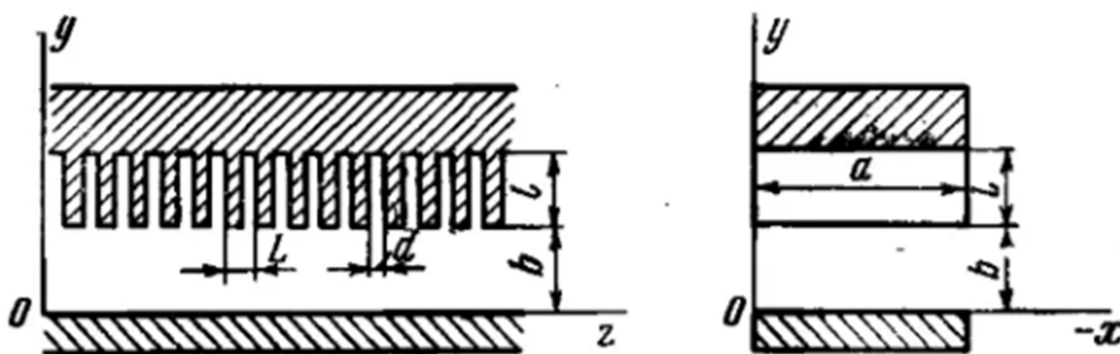


Рисунок 2 – Замедляющая система типа гребенки [4]

Было проведено сравнение двух структур, изготовленных с помощью разных технологий, в частности LCD – технологии и DLP – технологии.

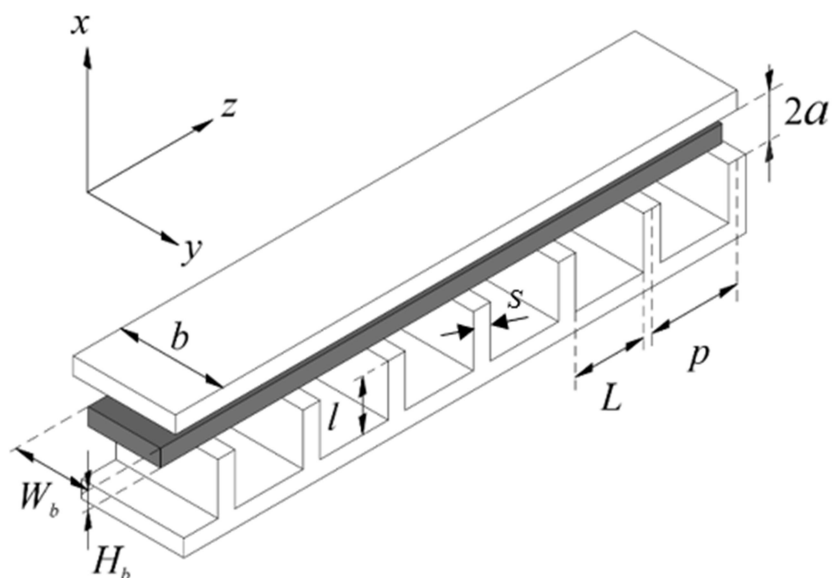


Рисунок 3 – Схематический вид исследуемой структуры

В таблице 1 приведены основные параметры нашей модели.

Таблица 1. Основные параметры модели.

Ширина волновода, b	1.9 мм
Период, p	0.5 мм
Толщина ламели, s	0.1 мм
Высота ламели, l	0.9 мм

В данной работе был использован 3D принтер Asiga MAX X27 UV (DLP – технология) для изготовления структур, представленных на рисунке 4, и принтер Anycubic Photon Mono 4K (LCD – технология).

Для создания трехмерной модели в программном обеспечении AutoDesk Fusion 360 были использованы инструменты моделирования, рендеринга и анимации. Fusion 360 позволяет создавать сложные геометрические формы, применять различные материалы и текстуры, а также проводить анализ прочности и динамики объектов.

Слайсер Asiga Composer предоставил возможность нарезать трехмерную модель на тонкие плоские слои, необходимые для последующей печати на 3D принтере. Этот процесс позволяет оптимизировать печать и улучшить качество изготавливаемого объекта.

Изначально была создана трехмерная модель в программного обеспечении AutoDesk Fusion 360 (рисунок 4). Далее был использован слайсер Asiga Composer, который нарезал 3D-модель на множество плоских двумерных слоев, из которых 3D-принтер сложил физический объект, а также позволил импортировать и подготовить модель для печати.

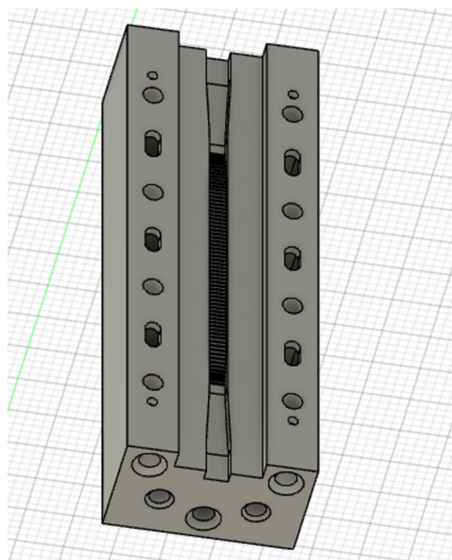


Рисунок 4 – Трехмерная модель исследуемой структуры

После того, как 3D принтер напечатал структуры (рисунки 5, 6), был произведен процесс очистки с помощью устройства автоматической очистки Formlabs Form Wash. Этот процесс позволяет удалить остатки смолы и других материалов с поверхности напечатанных объектов, обеспечивая им чистоту и готовность к дальнейшей обработке. Далее был проведен процесс удаления поддержек с помощью ножниц. Завершающим этапом была пост-полимеризация с использованием УФ камеры XYZPrinting MultiCure180.

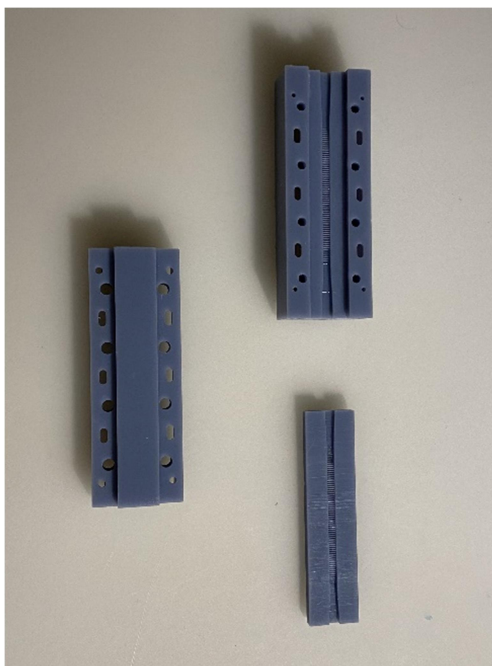


Рисунок 5 – Получившиеся структуры (LCD-технология)

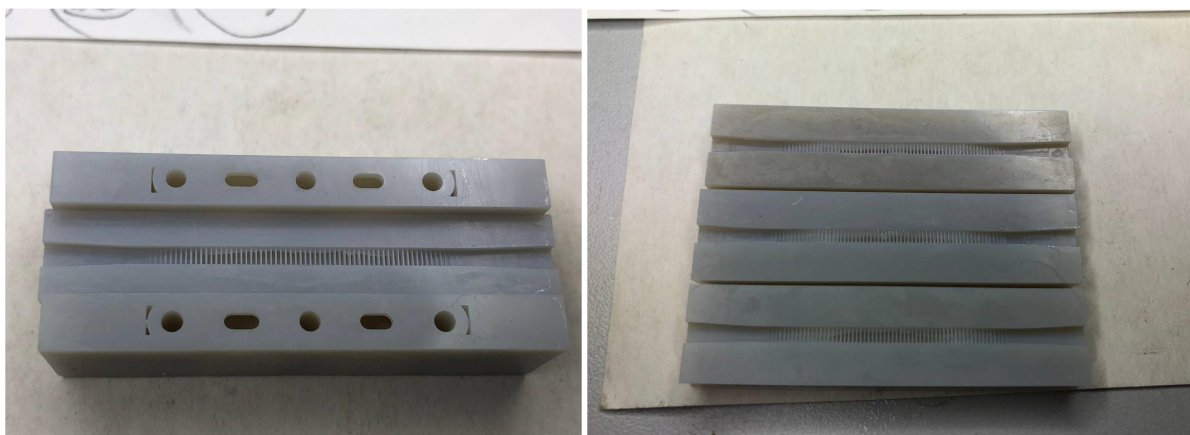


Рисунок 6 – Получившиеся структуры (DLP - технология)

Далее была осуществлена металлизация изделий (рисунок 7)



Рисунок 7 – Результат металлизации

Далее при помощи оптического и сканирующего микроскопа были исследованы структуры и был проведен сравнительный анализ технологий LCD и DLP.

Вычисления были автоматизированы при помощи пакета вычислений Wolfram Mathematica. Результаты измерений приведены в таблице 2,3.

Таблица 2 - Результаты измерений (LCD - технология).

Параметр	Исходный размер в 3D-модели	Результат измерений
Ширина ламели	150 мкм	138 ± 11 мкм
Ширина канала	1900 мкм	1880 ± 20 мкм
Период	500 мкм	484 ± 12 мкм

Таблица 3 - Результаты измерений (DLP - технология).

Параметр	Исходный размер в 3D-модели	Результат измерений
Ширина ламели	150 мкм	140 ± 8 мкм
Ширина канала	1900 мкм	1884 ± 9 мкм
Период	500 мкм	490 ± 12 мкм

Заключение

В результате выполнения дипломной работы были изучены и проанализированы различные технологии аддитивного производства, проведено исследование морфологии с помощью оптического и сканирующего микроскопов и погрешностей изготовления микроразмерных структур с использованием фотополимерной 3D-печати, а именно

технологий DLP и LCD, а также изучен метод металлизации полимерных изделий на основе магнетронного распыления.

Было выявлено и рассчитано, что технология DLP наиболее точная и подходит для прототипирования компонентов вакуумной микроэлектроники, а именно замедляющей системы типа гребенка.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития технологий прототипирования компонентов микроэлектроники и улучшения качества изготовленных структур.

Список используемых источников

1. Дресвянников, В. А. Классификация аддитивных технологий и анализ направлений их экономического использования / В. А. Дресвянников, Е. П. Страхов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – № 2 (26). – С. 16–28.
2. Новиков, С.В. Аддитивные технологии: состояние и перспективы : учебное пособие / С.В. Новиков, К.Н. Рамазанов. – Уфа : УГАТУ, 2022. – 75 с.
3. Аддитивные технологии: журнал об аддитивном производстве : сайт. - URL: <https://additiv-tech.ru/publications/sravnenie-tehnologiy-sla-dlp-i-lcd-kak-vybrat-fotopolimernyy-3d-printer.html> (дата обращения: 02.06.2023)
4. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. - 1 изд. - Москва: Высшая школа, 1970. - 440 с.