



директор РТУ МИРЭА, д.х.н.

Н.И. Прокопов

ОТЗЫВ

ведущей организации
на диссертационную работу Труфановой Натальи Сергеевны
«Компоненты и СВЧ-устройства, изготавливаемые на основе
аддитивной принтерной технологии»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

На рассмотрение были представлены диссертация из 161 страницы и автореферат из 23 страниц. Диссертация включает введение, три раздела, заключение, приложение и список литературы, состоящий из 101 наименования. Отзыв на диссертацию составлен на основании изучения материалов диссертации, автореферата, опубликованных статей.

1. Оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, приведены сведения о научной новизне, теоретической и практической значимости, а также определены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе приведен анализ антенн, СВЧ-устройств и компонентов, изготовленных с помощью аддитивной технологии печати. Определены достижения и перспективы применения аддитивной принтерной технологии.

Во втором разделе приводятся экспериментальные исследования применения аддитивной технологии печати микрополосковых линий передачи. Показаны электрические характеристики напечатанных линий. С помощью численного моделирования определены основные технологические режимы экструзии паст.

В третьем разделе представлены исследования напечатанных функциональных СВЧ-устройств таких как фильтры, направленные ответвители.

В заключении сведены основные выводы по работе.

2. Актуальность темы диссертации

Однозначно, тема диссертации является актуальной, так как использование аддитивной технологии печати электроники является перспективной для прототипирования и изготовления полноценных устройств, обеспечивающих качественную передачу и обработку сигналов. Аддитивная печать может значительно сократить время разработки и производства, а также снизить затраты на материалы. При изготовлении СВЧ-узлов следует обеспечивать однородность внутренней структуры и геометрических размеров топологического рисунка, так как от этого будут зависеть их электрические и частотные характеристики. Кроме того, аддитивные методы позволяют использовать новые материалы, которые могут улучшить электрические, термические и механические свойства СВЧ-компонентов, что ведет к повышению их эффективности и надежности.

3. Научная новизна и ценность результатов работы

В работе предложено при проектировании микрополосковой линии с требуемым характеристическим сопротивлением учитывать растекаемость паст. При этом экспериментально определено, что растекаемость паст с вязкостью 50-100 Па·с составляет 50 мкм относительно диаметра используемого сопла 100 мкм.

Показано, что с применением выявленных в работе технологических режимов поршневого дозирования, обеспечивается возможность изготовления пассивных СВЧ-устройств, включая фильтры нижних и верхних частот, полосно-пропускающие фильтры, а также направленные ответвители со слабой боковой и сильной лицевой связью, со средними вносимыми потерями менее 1 дБ в L- и S-диапазонах рабочих частот.

4. Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Полученная в результате численного моделирования математическая модель процесса экструзии паст позволила определить технологические режимы их нанесения для получения полосковых линий с характеристическим сопротивлением в диапазоне до 97 Ом на керамической подложке с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 9,8$ и толщиной 1 мм.

Полученные результаты демонстрируют применимость аддитивной технологии печати СВЧ-устройств без необходимости использования трафаретов. Рассматриваемая принтерная технология может быть применима при настройке СВЧ-узлов путем корректировки расчетных индуктивных и емкостных параметров распределенных

элементов за счет локального прецизионного нанесения пасты на изготовленные ранее топологические элементы.

5. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты работы могут быть применимы при изготовлении антенн, а также отдельных компонентов и функциональных узлов антенных систем с применением аддитивной технологии печати.

Актуальным направлением развития технологии является разработка технологического оборудования с учетом особенностей процесса экструзии вязких паст.

6. Публикации результатов работы

По теме диссертации опубликовано 28 работ, в т.ч. 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 10 статей, индексируемые в базах данных Scopus и Web of Science, 15 работ в материалах международных конференций. Получено 3 свидетельства регистрации программы для ЭВМ.

7. Замечания по работе

В ходе изучения и обсуждения работы выявлены следующие недостатки.

1. Не в полной мере проведены экспериментальные исследования напечатанных узлов на разных частотах. Большинство измерений проведено до 5 ГГц. Для практического применения исследований было бы полезно расширить частотный диапазон с целью определения верхних граничных частот достижимых в предложенной технологии.

2. Не представлено описание технологической установки, используемой для изготовления устройств и ее параметров.

3. В работе представлен макет технологической установки, который включает в себя модуль двухэкструдерный дозирования, состоящий из шнекового и поршневого дозаторов. Однако в работе не представлено описание и целесообразность использования шнекового дозатора.

Перечисленные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы

8. Заключение

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства

Российской Федерации от 24 сентября 2013 года (№ 842), так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача применения аддитивной технологии для создания компонентов и СВЧ-устройств.

Учитывая вышеизложенное, считаем, что Труфанова Наталья Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Отзыв на диссертационную работу и ее автореферат обсужден и одобрен на заседании НТС ИЦМР 25 декабря 2024 года.

Отзыв составил

Президент РТУ МИРЭА, д.ф.-м.н., академик РАН

А.С. Сигов



25.12.2024