

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Труфановой Натальи Сергеевны на тему  
«Компоненты и СВЧ-устройства, изготавливаемые на  
основе аддитивной принтерной технологии», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

**Актуальность.** Аддитивные технологии стремительно проникают во многие современные области науки и техники, при этом с каждым днем совершенствуются методы, оборудование и материалы, применяемые при 3D-печати. Достоинствами аддитивных технологий считаются относительная дешевизна процесса, уникальные возможности по созданию сложных форм объектов, совместное использование различных типов материалов и многое другое. Использование аддитивных технологий не обошло и такую область как радиоэлектроника. 3D-печать диэлектрическими и проводящими материалами уже встречается при создании различных видов оснастки, волноводных и полосковых СВЧ-устройств, антенн, метаматериалов, датчиков, печатных плат и других элементов. Одним из перспективных направлений аддитивных технологий в электронике является создание плат с аддитивным нанесением диэлектрических и проводящих спекаемых паст, которое выгодно отличается от традиционных трафаретных технологий. Исследованию таких процессов применительно к изготовлению пассивных микрополосковых СВЧ компонентов и устройств посвящена данная диссертация.

**Научная новизна** работы состоит в определении зависимостей механических, геометрических и электрических характеристик изготавливаемых СВЧ-устройств от режимов печати и свойств наносимых материалов. На основе полученных зависимостей были сформулированы соответствующие рекомендации для аддитивной принтерной технологии создания различных типов пассивных СВЧ элементов и устройств. К существенным научным результатам диссертации можно отнести скорректированные модели напечатанных регулярных отрезков микрополосковых линий, результаты численного моделирования процесса экструзии паст в технологической установке, экспериментальные данные исследования тестовых плат, образцов пассивных устройств на основе распределенных и сосредоточенных СВЧ элементов, многослойных печатных плат.

**Достоверность** полученных в диссертации результатов подтверждается применением адекватных математических моделей и успешной экспериментальной проверкой, а также апробацией на международных и всероссийских конференциях, публикациями в различных изданиях, в том числе, входящих в перечень ВАК.

Однако, судя по автореферату, диссертационная работа не лишена **недостатков:**



1. В автореферате отсутствует информация о профиле поперечного сечения получаемых микрополосковых линий и шероховатости поверхности, не освещается вопрос учета этих характеристик в математической модели линии;

2. В изготовленных элементах и устройствах присутствуют изолирующие слои из диэлектрика, но не приводятся сведения о материале и его комплексной диэлектрической проницаемости;

3. В заявленной научной новизне говорится про разработку составов паст, но в тексте автореферата такая информация не приводится.

4. Отсутствует сравнение предлагаемой технологии с трафаретной печатью при создании аналогичных устройств.

Указанные недостатки не снижают научной и практической значимости работы. Диссертация Н.С. Труфановой является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, имеющая важное прикладное значение, связанное с производством СВЧ-устройств.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Н.С. Труфанова заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

И.о. заведующего кафедрой конструирования и технологии производства электронных средств ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»,  
доктор технических наук, доцент

А.Р. Насыбуллин

Выражаю согласие на обработку и включение в аттестационное дело соискателя моих персональных данных

24.01.2025

Подпись А.Р. Насыбуллина  
заверяю. Начальник управления  
делопроизводства и контроля



Насыбуллин Айдар Ревкатович, д.т.н., доцент (специальность 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды), и.о. заведующего кафедрой конструирования и технологии производства электронных средств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (КНИТУ-КАИ), тел.: +7(843) 231-59-36, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, e-mail: [ARNasybullin@kai.ru](mailto:ARNasybullin@kai.ru)