

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., Лексикова Андрея Александровича
на диссертационную работу Коломина Виталия Михайловича на тему:
**«Высокодобротные резонаторы в системе оксидов Ва-Mg-Ta для
твердотельных автогенераторов и фильтров СВЧ»**, представленной на
соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2.
– «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых
устройств».

Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертационной работы прежде всего обусловлена необходимостью освоения разработчиками СВЧ аппаратуры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов частот как в гражданских, так и в специальных радиоэлектронных системах. В зависимости от задач, выполняемых радиоэлектронными системами, используются диэлектрические резонаторы (ДР) с набором определенных характеристик. Из открытых источников известно, что ДР и материалы с $\epsilon \sim 80$, $\epsilon \sim 42$, $\epsilon \sim 32$ и с разным уровнем добротности разработаны в отечественных и зарубежных компаниях. Чтобы соответствовать современному уровню радиоэлектронных систем требуются диэлектрические резонаторы с $\epsilon \sim 24$ и с добротностью 20000. Ведущие мировые компании разработали ДР с высокой добротностью на основе системы оксидов Ва-Mg-Ta с применением модификаторов, точный состав которых является коммерческой тайной. В научно-технической литературе представлено большое количество публикаций по теме исследования создания диэлектрических резонаторов из материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta, однако отсутствует целостный и поэтапный подход к решению данной задачи, что определяет несомненный интерес к рассматриваемой диссертационной работе.

Отечественным разработчикам для развития и совершенствования твердотельных СВЧ устройств требуются ДР с добротностью 20000, поэтому в связи с отсутствием их на отечественном рынке проблема создания таких диэлектрических резонаторов актуальна для повышения эффективности твердотельных автогенераторов и фильтров СВЧ диапазона.

Содержание диссертационной работы

Диссертация В.М. Коломина состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, включая 74 рисунка и графика, 26 таблиц и список литературы из 124 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, проанализированы современные тенденции развития электронной компонентной базы для твердотельной техники СВЧ диапазона. Определены цели и задачи исследования, представлена научная новизна, практическая значимость диссертационной работы и сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены основные параметры диэлектрических резонаторов, рассмотрены области применения диэлектрических резонаторов, а также приведен аналитический обзор технологических процессов синтеза материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta, представлены положительные и негативные стороны каждого метода синтеза.

Во второй главе представлена информация о используемых методиках измерений характеристик исходных компонентов, а также структуры материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta и электрических параметров диэлектрических резонаторов.

В третьей главе приведены экспериментальные исследования и анализ характеристик исходных компонентов, которые использовались для создания материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. В диссертационной работе использовался гранулометрический анализ, рентгенофазовый анализ, а также энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDS). Представленные методы анализа использовались для исследования исходных компонентов и материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. На основании полученных результатов определены марки исходных компонентов для последующего синтеза материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. Исследованы режимы термической обработки материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta и влияние режима термической обработки на образование основной $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ и промежуточных фаз. Определен режим термической обработки обеспечивающий высокое содержание основной $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ фазы. Для направления химических реакций, при взаимодействии оксидов Ва-Mg-Ta, по пути образования только основной фазы использовались модификаторы, вводимые в основной состав. Проведена серия экспериментов по исследованию влияния модификаторов на добротность ДР. Установлено, что модификатор Ni_2O_3 обеспечивает добротность не менее 20000 диэлектрических резонаторов из материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta.

В четвертой главе исследованы причины низкого процента выхода годных ДР по критерию качества добротность не менее 20000. Успешно решена задача по повышению процента выхода годных за счет исследования влияния гранулометрического состава и температуры спекания на плотность материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta, а также реализации оригинального технологического процесса двухстадийного формования заготовок ДР.

Для решения задачи изготовления миниатюрных ДР из материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta на частоты до 40 ГГц предложен оригинальный технологический процесс формования заготовок ДР в форме цилиндрического стержня для обеспечения условий последующей механической обработки для создания миниатюрных ДР.

Ориентируясь на массовое производство, важным этапом диссертационной работы является предложенный соискателем оригинальный метод группового нагрева диэлектрических резонаторов для увеличения производительности при измерении температурного коэффициента частоты (ТКЧ) ДР. Благодаря центрирующим элементам, установленным в измерительную камеру, обеспечивается постановка диэлектрического резонатора точно в центр, что сохраняет точность измерения. Предложенный метод группового нагрева и измерения ДР позволяет увеличить производительность при измерении ТКЧ ДР в 6,5 раз.

В пятой главе обсуждаются результаты экспериментальных исследований практического применения созданных диэлектрических резонаторов из материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta с добротностью 20000 в твердотельных СВЧ автогенераторах и фильтрах, а также влияния на электрические характеристики по сравнению с ранее используемыми диэлектрическими резонаторами. Установлено, что использование созданных диэлектрических резонаторов позволяет улучшить электрические характеристики твердотельных СВЧ автогенераторов и фильтров.

В заключении по диссертационной работе автор формулирует основные достижения, полученные в результате диссертационного исследования по каждой из поставленных задач.

Научная новизна, достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов не вызывают сомнений, поскольку они основаны на комплексном использовании современных методов анализа, использованием поверенного и аттестованного современного технологического и аналитического оборудования.

Результаты исследований многократно апробированы на всероссийских и международных научно-технических конференциях, а также опубликованы в научных изданиях, рецензируемых ВАК.

Практическая ценность результатов диссертационного исследования подтверждается Актом внедрения в производственную деятельность АО «НПП «Исток» им. Шокина», а также Актом внедрения в образовательную программу филиала РТУ МИРЭА, г. Фрязино.

На основании достигнутых результатов утверждены технические условия ТУ 20.59.59.900–001–07622667-2023 на отечественный материал в системе оксидов Ва-Mg-Ta, критическая потребность в котором в настоящий момент существует в Российской Федерации для создания новых систем радиоэлектроники, в том числе устройств полезной нагрузки космических аппаратов.

По этой причине важно подчеркнуть, что работа имеет крайне высокую практическую ценность, так как без развития компонентной базы систем радиоэлектроники, и, в частности, появления новых материалов, невозможно развитие отечественных систем электроники. А также невозможна реализация программ импортозамещения по критическим технологиям производства.

Полнота опубликования основных результатов диссертации заключается в том, что работа грамотно, логично структурирована и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Публикации автора отражают основное содержание диссертации. В их число входят 29 научных работ, в том числе 8 статей в рецензируемых журналах из Перечня ВАК, 2 патента РФ на изобретение, 18 тезисов докладов на научно-технических конференциях с публикациями статей в материалах конференций и опубликовано одно учебное пособие. Принципиальных замечаний к оформлению диссертации и автореферата нет.

Замечания и вопросы по диссертации и автореферату:

1. Оформление текста диссертации находится на очень низком уровне, не проведены редакторские и корректорские работы.
2. В работе рассматривается материал в системе оксидов Ва-Mg-Ta как основа для получения диэлектрических резонаторов с добротностью 20000, однако в аналитическом обзоре не представлены другие системы материалов, на основе которых возможно достигнуть высоких значений добротности.
3. В обзорной части работы нет ссылок на других отечественных разработчиков материалов в системе оксидов Ва-Mg-Ta.
4. Из текста диссертации не понятны причины выбора оксида никеля (III) в качестве модификатора. Нет ни теоретических, ни экспериментальных основ для выбора материала.
5. Исходя из уравнения (4.7) ТКЧ итогового образца не зависит от величины F_1 .
6. Возникает сомнение обоснованности сравнения характеристик устройств, основанных на применении ДР из керамик ЦТО и БМТ в силу того, что керамика ЦТО имеет более высокую относительную диэлектрическую проницаемость и соответственно, устройства на ее основе более чувствительна к значению тангенса угла диэлектрических потерь в материале.

Указанные недостатки не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы.

На основании изложенного считаю, что диссертация Коломина В.М. «Высокодобротные резонаторы в системе оксидов Ва-Mg-Ta для твердотельных автогенераторов и фильтров СВЧ» является самостоятельным завершенным научным исследованием на актуальную тему, которая посвящена исследованию создания диэлектрических резонаторов с высокой добротностью для использования в твердотельных автогенераторах и фильтрах СВЧ диапазона. По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней» утвержденного Постановлением

Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель Коломин Виталий Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Согласен на обработку персональных данных, указанных в отзыве.

Официальный оппонент, доктор технических наук (по специальности – 1.3.4) старший научный сотрудник Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук



Лексиков Андрей Александрович

29.04.2025 (дата)

Адрес места работы:

Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50, строение 38

Контактные данные:

Моб. тел.: 8-913-576-08-39

e-mail: laa@iph.krasn.ru

Подпись Лексикова А.А. удостоверяю
Ученый секретарь ИФ СО РАН

К.р.-М.ч.



А.О. Злотников