

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук
Обухова Ильи Андреевича

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 ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств»

Актуальность темы диссертации

Диэлектрические резонаторы (ДР) различной формы достаточно широко применяются в современных СВЧ устройствах (фильтры, автогенераторы, усилители). Использование ДР с высокой добротностью позволяет реализовать высокую стабильность частоты сигнала и низкий уровень шумов. Компактные и высокодобротные ДР создают из специальных керамических диэлектриков, в частности из оксидов Ва-Mg-Ta, в которых может быть достигнута добротность до 20 000.

В России диэлектрические резонаторы с высокой добротностью не выпускаются. Результаты исследований по этой тематике представлены в зарубежной научно-технической литературе лишь фрагментарно. Отсутствует целостное понимание процессов формирования структуры материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. Эти обстоятельства делают тему диссертации особенно актуальной.

Содержание диссертационной работы

Диссертация В.М. Коломина состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, двух приложений и содержит 74 рисунка и графика, 26 таблиц и список литературы из 124 наименований. Общий объем диссертации 160 страниц, автореферата – 25 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, проанализированы современные тенденции её развития. Также определены цели и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе подробно описаны ключевые параметры диэлектрических резонаторов. Детально рассмотрены различные области применения диэлектрических резонаторов в современной радиоэлектронике СВЧ. Представлен аналитический обзор технологических процессов синтеза материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. Подробно проанализированы преимущества и недостатки различных методов создания ДР, что позволяет

выбрать наиболее подходящий метод в зависимости от конкретных условий и требований.

Во второй главе описаны методики, которые применяются для измерения характеристик исходных компонентов, а также структуры материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. Представлены способы определения электрических параметров диэлектрических резонаторов. Особое внимание уделяется описанию оборудования и приборов, которые используются для проведения измерений.

В третьей главе изложены результаты экспериментальных исследований и анализа характеристик исходных компонентов, применяемых для синтеза материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. В рамках диссертационной работы использовался гранулометрический анализ, рентгенофазовый анализ и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия. Эти методы позволили детально изучить состав и структуру компонентов, выявить их особенности и определить оптимальные условия для синтеза материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. На основе полученных данных были выбраны марки исходных компонентов для последующего синтеза материала ДР. Изучены режимы термической обработки материала и их влияние на формирование основной и промежуточных фаз. Определён режим термической обработки, который обеспечивает высокое содержание основной фазы. Для того чтобы химические реакции при взаимодействии оксидов Ва-Mg-Ta протекали по пути формирования только основной фазы, в основной состав вводились модификаторы. Проведена серия экспериментов, благодаря которым было исследовано влияние модификаторов на добротность диэлектрических резонаторов. Установлено, что модификатор Ni_2O_3 обеспечивает добротность диэлектрических резонаторов из материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta не менее 20 000.

В четвёртой главе исследуются причины низкого процента выхода годных диэлектрических резонаторов с добротностью не менее 20 000 при использовании модификатора Ni_2O_3 , анализируются различные факторы, влияющие на этот показатель. Успешно решены несколько задач. Во-первых, изучено влияние гранулометрического состава и температуры спекания на плотность материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta. Во-вторых, реализован оригинальный технологический процесс двухстадийного формования заготовок ДР с определённым гранулометрическим составом, который позволил значительно повысить процент выхода годных изделий. Представлены результаты экспериментов, подтверждающие эффективность предложенного подхода, а также проведён анализ полученных данных, что позволило лучше понять механизмы, влияющие на качество ДР.

Чтобы изготовить миниатюрные диэлектрические резонаторы из материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta на частоты до 40 ГГц предложен оригинальный технологический процесс формования заготовок ДР в виде цилиндрических стержней, что обеспечило создание условий для последующей механической обработки.

Учитывая массовое производство ДР, предложен оригинальный метод группового нагрева диэлектрических резонаторов. Подход направлен на повышение эффективности процесса измерения температурного коэффициента частоты (ТКЧ) ДР. Точность измерений обеспечивается благодаря использованию центрующих элементов в измерительной камере, которые позволяют размещать диэлектрический резонатор строго по центру. Применение метода группового нагрева и измерения ДР способствует увеличению производительности при определении ТКЧ в 6,5 раз.

В пятой главе подробно рассматриваются результаты экспериментальных исследований, посвящённых практическому применению созданных диэлектрических резонаторов с добротностью до 20 000. ДР были испытаны в твердотельных СВЧ автогенераторах и фильтрах, а также проведен анализ влияния новых диэлектрических резонаторов на электрические характеристики устройств по сравнению с ранее применявшимися диэлектрическими резонаторами. Эксперименты показали, что использование новых диэлектрических резонаторов способствует значительному улучшению электрических параметров твердотельных СВЧ автогенераторов и фильтров.

В заключении диссертационной работы автор подводит итоги и подробно описывает ключевые результаты, полученные в ходе исследования каждой из поставленных задач, а также акцентирует внимание на наиболее значимых выводах и на том, как они могут быть применены на практике.

Степень новизны результатов и научных положений диссертации, которые выносятся на защиту

В диссертации получены новые результаты:

1. Экспериментально установлено, что введение в систему оксидов Ва-Mg-Ta модификатора Ni_2O_3 сверх стехиометрии в концентрации 0,5...1% обеспечивает добротность ДР не менее 20 000 (на частоте 10 ГГц) после спекания за счет образования основной фазы $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$.

2. Предложен и реализован оригинальный технологический процесс двухстадийного формования диэлектрических резонаторов на основе материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta со средним гранулометрическим составом $3,2 \pm 0,3$ мкм, который обеспечил сокращение времени спекания с 80 ч до 30 ч при температуре 1600 °С и двукратно повышает выход годных ДР с добротностью не менее 20 000.

3. Предложен и реализован технологический процесс двухстадийного формования заготовок ДР в форме цилиндрического стержня из материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta, что обеспечивает последующую механическую обработку и рабочие резонансные частоты миниатюрных ДР в диапазоне от 30 до 40 ГГц.

4. Предложен и реализован оригинальный метод группового нагрева ДР для последующего измерения ТКЧ, который обеспечивает увеличение производительности в 6,5 раз с сохранением точности.

Обоснованность и достоверность сформулированных в работе научных положений, основных выводов и результатов

Обоснованность и достоверность сформулированных в работе положений, основных выводов и результатов подтверждается тем, что они получены с использованием поверенного и аттестованного современного технологического и аналитического оборудования.

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

Практическая ценность результатов диссертационного исследования

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

Полученные результаты позволяют утверждать, что предложенный двухстадийный процесс формования заготовок ДР, обеспечивающий сокращение времени выдержки при термической обработке, может быть реализован при изготовлении других типов диэлектрических резонаторов.

Полнота опубликования основных результатов диссертации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 29 научных работах, в том числе 8 статей в рецензируемых журналах из Перечня ВАК, в 2 патентах РФ на изобретение, в 18 тезисах докладов на научно-технических конференциях с публикациями статей в материалах конференций, а также опубликовано одно учебное пособие. В тексте диссертации соискатель акцентирует внимание на оригинальных результатах исследований, которые им опубликованы, со ссылками на соответствующие источники.

Замечания и вопросы по диссертации и автореферату:

1. В тексте диссертации указано, что в качестве центрующих элементов для реализации оригинального метода группового нагрева ДР и измерения их ТКЧ используется кварцевый материал, но не указана ни марка, ни ГОСТ кварцевого материала.
2. В тексте диссертации не указан материал мелющих тел, которые используются для достижения необходимого гранулометрического состава материала в системе оксидов Ва-Mg-Ta.
3. В тексте диссертации в качестве основного способа помола используется валковая мельница, но не приведена информация за счет чего в данной мельнице реализуется необходимый гранулометрический состав.

Отмеченные недостатки диссертационной работы не снижают общей научной и практической значимости, а носят рекомендательный характер для дальнейшего развития представленного направления работ.

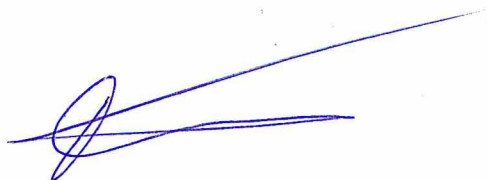
Заключение

На основании изложенного считаю, что диссертация Коломина Виталия Михайловича «Высокодобротные резонаторы в системе оксидов Ва-Mg-Ta для

твердотельных автогенераторов и фильтров СВЧ» является самостоятельным завершённым научным исследованием на актуальную тему, которая посвящена исследованию созданию диэлектрических резонаторов с высокой добротностью для использования в твердотельных автогенераторах и фильтрах СВЧ диапазона. По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа полностью соответствует требованиям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней» утверждённого 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,
технический директор
АО «НПП «Радиотехника»,
доктор физико-математических наук
(по специальности – 05.27.01 –
твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро-
и нанoeлектроника, приборы на
квантовых эффектах), старший
научный сотрудник



Илья Андреевич Обухов
«25» апреля 2025 г.

Подпись Обухова Ильи Андреевича заверяю

Генеральный директор АО «НПП «Радиотехника»



Н.А. Сычева

Почтовый адрес организации: 119334, Российская Федерация, Москва,
5 Донской проезд, д. 15, строение 11.

Тел./Факс: +7 (499) 755-85-41

E-mail: office@npprt.ru

Обухов Илья Андреевич

Почтовый адрес: 141070, Российская Федерация, Московская область,
г. Королёв, ул. Фрунзе, д. 1 Д, корп. 2, кв. 26.

Тел.: +7 (905) 532-95-07

E-mail: iao001@mail.ru, ia@npprt.ru