

**ФАНО РОССИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ**  
**ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ им. Н.С. КУРНАКОВА**  
**РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**(ИОНХ РАН)**

119991, г. Москва, Ленинский проспект, 31. Тел. (495) 952-0787, факс (495) 954-1279, E-mail: info@igic.ras.ru

---

№ \_\_\_\_\_

на № 209/435 от 04.05.2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИОНХ РАН

Чл.-корр. РАН Иванов Владимир Константинович



«01» июня 2017 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертацию **Налогина Алексея Григорьевича** на тему «Улучшение параметров подложек на основе поликристаллических феррогранатов для невзаимных микрополосковых устройств СВЧ-электроники», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 - «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

**Актуальность работы.** Твердотельная СВЧ электронная компонентная база, одним из важнейших элементов которой являются невзаимные микрополосковые устройства, активно востребована для разработки огромного числа радиоэлектронных систем. Для улучшения характеристик невзаимных микрополосковых устройств сантиметрового диапазона длин волн важно совершенствование технологии подложек поликристаллических иттриевых феррогранатов разных составов с необходимыми значениями электрофизических параметров (плотность, пористость, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических и магнитных потерь, термостабильность намагниченности насыщения в рабочем диапазоне температур). Основными требованиями,

предъявляемыми к ферритовым устройствам разработчиками современной радиоэлектронной аппаратуры, являются: дальнейшее снижение прямых потерь в циркуляторах и вентилях до уровня 0,2 - 0,6 дБ, повышение стабильности амплитудных и фазовых характеристик в интервале рабочих температур.

С целью улучшения основных параметров микрополосковых устройств используются новые ферритовые материалы и совершенствуется технология изготовления специальных конструкций невзаимных устройств.

Актуальность выполненной работы обусловлена также тем, что на начало выполнения настоящей диссертационной работы поликристаллические иттриевые феррогранаты для подложек микрополосковых устройств изготавливали по классической керамической технологии из оксидов высшей квалификации (марки ОСЧ), включающей спекание на воздухе в силитовых печах при температуре 1460-1500 °С. Данная технология не позволяла получить в подложках необходимых значений плотности, пористости и уровень электромагнитных параметров, необходимых для дальнейшей миниатюризации микрополосковых устройств, и следовательно приборов с необходимыми на современном уровне характеристиками. Кроме того, подложки, изготовленные из оксидов высшей квалификации, имеют высокую стоимость.

Потому разработка методов, позволяющих получать подложки иттриевых феррогранатов разных составов с приемлемой стоимостью и с необходимыми значениями физических свойств для СВЧ микрополосковых устройств (плотность, пористость, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических и магнитных потерь, термостабильность намагниченности насыщения в рабочем диапазоне температур) являлась весьма актуальной. В диссертационной работе представлены решения перечисленных задач.

**В ходе исследований лично автором получены новые научные результаты, основными из которых являются:**

1. Получение невзаимных микрополосковых устройств СВЧ-электроники сантиметрового диапазона длин волн с характеристиками на уровне мировых аналогов.

2. Экспериментальные исследования влияния технологических параметров спекания феррогранатов в регулируемой кислородной среде и влияние этих параметров на основные свойства и эксплуатационные характеристики поликристаллических феррогранатов.
3. Разработка математической модели процесса спекания феррогранатов в атмосфере кислорода, позволившая выявить оптимальные технологические режимы.
4. Разработка двухэтапной технологии изготовления подложек для микрополосковых устройств с использованием регулируемой атмосферы кислорода и содержании избытка оксида иттрия в исходной шихте.
5. Впервые получены и исследованы образцы подложек поликристаллического феррограната  $Y_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$  (5 составов диапазона до  $x=0,90$ ) со значениями характеристик на уровне и выше лучше отечественных и мировых аналогов.
6. Впервые получены подложки из поликристаллических термостабильных феррогранатов с относительным изменением намагниченности не более 0,075 %/град. в температурном интервале  $-60...+85\text{ }^\circ\text{C}$

**Практическая значимость результатов исследования и область применения** результатов заключается в успешном использовании в АО «НПП «Исток» им. Шокина» производства с широкой номенклатурой различных микрополосковых устройств СВЧ (вентили, циркуляторы) на подложках из феррогранатов, изготовленных согласно разработанной двухэтапной технологии.

Производимые на основе результатов данного исследования компоненты для СВЧ-электроники по комплексу параметров превышают лучшие отечественные и зарубежные аналоги.

Подтверждением обоснованности результатов и достоверности выводов диссертационной работы являются:

- выпускаемые микрополосковые вентили и циркуляторы на подложках из поликристаллических феррогранатов, изготовленные с применением разработанных технологий, которые используются в различных системах современного высокочастотного оружия, в зенитных ракетных комплексах и системах предупреждения о ракетном нападении, в системах радиоэлектронной борьбы, в бортовых АФАР, в активных радиолокационных головках самонаведения ракет;

- теория, описывающая механизм формирования высокой плотности, низкой пористости и повышенных значений электромагнитных параметров подложек при использовании двухэтапной технологии спекания феррогранатов в регулируемой кислородной атмосфере, хорошо согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

- наличие закономерностей, устанавливающих взаимосвязь физических свойств и эксплуатационных характеристик подложек из поликристаллических феррогранатов различных составов от парциального давления кислорода при спекании, при отжиге и изостатическом прессовании феррогранатов;

- установленная и подтвержденная, экспериментальными данными, взаимосвязь физических свойств и эксплуатационных характеристик подложек из поликристаллических феррогранатов различных составов от процентного содержания некоторых оксидов в исходной шихте.

**Оценка основных положений диссертации.** Задача исследования решена автором в полном объеме. Научное обоснование новых технических решений сформулировано в рассматриваемой предметной области. Проведенные автором исследования отвечают содержанию работы.

Анализ диссертации показывает, что она характеризуется внутренним единством и представляет собой законченный труд, содержащий новые научные результаты, положения и выводы.

Основные результаты работы опубликованы в 6 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, и в 7 тезисах докладов на российских и международных научно-технических конференциях. Автором получены 6 патентов РФ и авторских свидетельств.

Диссертация написана логически последовательно, оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Представленные в работе результаты используются в АО «НПП «Исток» им. Шокина» и могут быть рекомендованы для ознакомления и использования в АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», АО "НИИ "Феррит-Домен", МГУ им. М.В. Ломоносова, Инженерно-технологической академии «Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения», Московском Технологическом университете тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Институте неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, НИТУ «МИСиС», Санкт-Петербургском государственном технологическом университете, Южном федеральном университете, Уральском федеральном университете им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Национальном исследовательском Томском государственном университете, Новосибирском государственном техническом университете.

Диссертация, соответствует паспорту специальности 05.27.01 -

«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Работа выполнена на высоком научном уровне, полученные научные и практические результаты, а так же опубликованные научные работы свидетельствуют о большом личном вкладе автора в науку и практику.

**Замечания по работе.** При анализе содержания диссертации и автореферата отмечены следующие недостатки:

1) Для подтверждения негативного влияния двухвалентного железа на основные эксплуатационные свойства подложек феррогранатов, целесообразно было бы провести мессбауэровские исследования. Эффект Мессбауэра является основным методом, позволяющим оценить состояние железа в виде двух- или трехвалентных ионов.

2) Отсутствуют примеры получения других шпинелей и ферритов в регулируемой кислородной атмосфере, что не позволяет показать возможности использования разработанной двухстадийной технологии для их получения.

3) Литературный обзор пересыщен общеизвестными фактами, в частности, его можно существенно сократить без ущерба для содержания диссертации.

4) В тексте диссертации присутствуют стилистические неточности и опечатки, которые проанализированы и указаны в тексте диссертации.

Однако, отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности результатов, полученных в диссертации.

**Выводы.** Диссертация охватывает основные вопросы сформулированной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием непротиворечивой методической платформы.

Диссертация «Улучшение параметров подложек на основе поликристаллических феррогранатов для невзаимных микрополосковых устройств СВЧ-электроники» Налогина А.Г. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложена совокупность новых научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие соответствующей отрасли науки, решает проблему импортозамещения и повышает обороноспособность страны. Уровень изложенных в работе результатов и их значимость соответствуют требованиям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Налогин Алексей Григорьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.27.01 - «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Содержание работы, автореферат и отзыв на диссертацию Налогина А.Г. рассмотрены и одобрены на заседании секции «Синтез и изучение новых неорганических веществ и материалов» Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук «01» июня 2017 года, протокол № 6.

Заведующий лабораторией  
полупроводниковых и диэлектрических материалов  
Лауреат Государственной Премии СССР,  
д.т.н., профессор

Васильев Михаил Григорьевич

e-mail: [mgvas@igic.ras.ru](mailto:mgvas@igic.ras.ru)  
тел. +7-495-955-48-31

Главный научный сотрудник  
лаборатории полупроводниковых и диэлектрических материалов  
д.х.н., профессор

Маренкин Сергей Федорович

e-mail: [marenkin@rambler.ru](mailto:marenkin@rambler.ru)  
тел.: +7-495-954-5472

Подпись руки тов. *Васильева М.Г. Маренкина С.Ф.*  
УДОСТОВЕРЯЮ  
Зав. канцелярией ИОНХ РАН

