

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Алексея Григорьевича Налогина «Улучшение параметров подложек на основе поликристаллических феррогранатов для невзаимных микрополосковых устройств СВЧ-электроники», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Диссертационная работа А.Г. Налогина посвящена актуальной теме совершенствования технологии производства ферритовых подложек микрополосковых ферритовых устройств, широко используемых в радиоэлектронной аппаратуре СВЧ диапазона. В последнее время в связи с повышенными требованиями, предъявляемыми к микрополосковым устройствам (габаритные размеры, масса, энергоёмкость и др.) значительное внимание уделяется развитию основ создания и методов совершенствования компонентной базы для разработок в сантиметровом и миллиметровом диапазоне длин волн. С учетом перечисленного заявленная цель работы связана с решением важных технологических вопросов получения подложек иттриевых феррогранатов с необходимыми значениями эксплуатационных параметров.

Представленная диссертация является законченной научно-исследовательской работой и отражает существенный вклад соискателя учёной степени в развитие компонентной базы отечественной твердотельной СВЧ-электроники и в расширение объемов промышленного производства микрополосковых невзаимных устройств.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и раздела, где приведены основные результаты и выводы.

Во **введении** сформулированы задачи работы, результаты, выносимые на защиту, актуальность, научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В **первой главе** диссертации содержится обзор текущего состояния исследований в области разработки феррогранатов для подложек приборов СВЧ-электроники. В конце главы автор обосновывает и ставит цель и задачи исследования.

Во **второй главе** даётся информация об объектах исследования, особенностях их приготовления, обработки и измерения их основных электромагнитных параметров. В рассматриваемой работе описана методика получения подложек из поликристаллических феррогранатов с высоким

уровнем эксплуатационных параметров в регулируемой кислородной среде и её техническая реализация.

В третьей главе представлены особенности технологии получения поликристаллических феррогранатов формульного состава $Y_3Ga_xFe_{5-x}O_{12}$ с намагниченностью насыщения 140, 96, 64 кА/м для подложек микрополосковых приборов СВЧ-электроники спеканием в регулируемой кислородной атмосфере. Исследовано влияние основных компонентов в составе феррогранатов на эксплуатационные характеристики изделий, изготовленных на основе данных ферритов. Оптимизация технологического процесса спекания в регулируемой кислородной среде проведена с использованием методов математического моделирования.

В четвертой главе приведены результаты исследований и разработка технологии получения в регулируемой кислородной среде поликристаллических гранатов иттрий-галлиевой системы и иттрий-гадолиний-кальций-ванадий-индиевой системы пониженной намагниченности (48, 32 кА/м) с улучшенными характеристиками для подложек микрополосковых приборов СВЧ-электроники. Дан анализ процессов спекания феррогранатов в регулируемой кислородной атмосфере с участием жидкой фазы.

В пятой главе приведены характеристики подложек из поликристаллических феррогранатов по разработанным технологиям в сравнении с отечественными марками ферритов и зарубежных фирм производителей.

Приведены сравнительные характеристики микрополосковых вентиляей и циркуляторов, изготовленных на подложках с использованием технологий спекания в регулируемой кислородной среде. Эксплуатационные характеристики подложек и ферритовых микрополосковых приборов находятся на уровне, а по отдельным параметрам выше лучших отечественных и мировых аналогов.

Заключительный раздел обобщает основные результаты и выводы работы.

К очевидным достоинствам диссертационной работы следует отнести наличие конкретных практических результатов: на основе разработанных автором методов спекания феррогранатов в регулируемой кислородной атмосфере налажено производство в АО «НПП «Исток» им. Шокина» 7 марок поликристаллических подложек для невзаимных устройств СВЧ-электроники, позволяющие выпускать микрополосковые развязывающие устройства на уровне отечественных и мировых аналогов.

Материалы диссертации показывают, что автор владеет современным математическим аппаратом, способен разрабатывать адекватные физическим процессам математические модели.

Материал по поставленным задачам и их реализация в диссертации изложен достаточно подробно. Достоверность выдвинутых научных положений подтверждена экспериментальными исследованиями.

Новизна представленных научных результатов подтверждена большим объемом публикаций. Содержание диссертации отражено в 19 научных работах, из них 6 работ опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, по результатам работы получено 3 авторских свидетельства и 3 патента.

Следует отметить наиболее значимые результаты работы, представленные в диссертации:

- на основе разработанных подложек получен ряд невзаимных микрополосковых устройств СВЧ-электроники сантиметрового диапазона длин волн с характеристиками на уровне лучших отечественных и зарубежных образцов;

- впервые разработаны и внедрены в производство технологии изготовления подложек из феррогранатов для микрополосковых устройств СВЧ-электроники, включающие оригинальные двухэтапные технологии получения в регулируемой атмосфере кислорода поликристаллических иттрий-галлиевых феррогранатов с намагниченностью насыщения 140, 96, 64, 48 и 32 кА/м и поликристаллических иттрий-гадолиний-кальций-ванадий-индиевых ФГ с намагниченностью насыщения 48 и 32 кА/м, позволяющие применение сырья более низкой квалификации и получение для микрополосковых устройств СВЧ-электроники подложек со значением эксплуатационных характеристик на уровне лучших отечественных и мировых аналогов;

- разработана методика получения подложек из феррогранатов с высоким уровнем эксплуатационных параметров для применения в микрополосковых приборах СВЧ с использованием процесса спекания в регулируемой кислородной среде и проведена её техническая реализация;

- разработанные технологии изготовления поликристаллических подложек, с использованием двухэтапных технологий получения поликристаллических феррогранатов различных составов в регулируемой атмосфере кислорода, позволяют использовать сырье более низкой квалификации, что приводит к уменьшению стоимости микрополосковых устройств СВЧ-электроники на 10-15 %;

- показано, что спекание в регулируемой кислородной среде позволяет снизить температуру спекания по сравнению со спеканием на воздухе и за счет этого получить материалы с более мелким зерном, увеличить срок службы

термического оборудования и уменьшить энергозатраты;

- разработанная математическая модель спекания в атмосфере кислорода поликристаллических феррогранатов позволяет получать близкие к реальным технологические параметры процесса и может широко использоваться для получения феррогранатов с заданными свойствами, а также может быть адаптирована для получения в атмосфере кислорода ферритов других типов;

- разработана методика контроля усадки порошковых материалов при спекании в регулируемой кислородной среде, осуществлена её техническая реализация, что позволяет сократить число опытов при выборе оптимальных условий изготовления ферритовых материалов высокой плотности в шесть раз, экономит дорогостоящее сырье, энергетические ресурсы и повышает производительность труда;

- усовершенствована методика прессования порошковых материалов для изделий электронной техники и осуществлена её техническая реализация, что позволяет исключить неоднородную деформацию различных областей заготовки феррогранатов при прессовании и увеличить производительность труда в 3 раза при прессовании заготовок, при этом улучшается качество прессовок;

- разработан, защищен авторским свидетельством и внедрен в производство диск из алмазосодержащего материала для обработки материалов электронной техники и изделий из них, позволяющий повысить качество обработки и, более чем в 3 раза, увеличить выход годных изделий;

- показано, что свойства подложек из поликристаллических феррогранатов существенно зависят от исходного состава и от режимов спекания феррогранатов в атмосфере кислорода.

Задачи, сформулированные при постановке работы, и сами результаты работы полностью соответствуют заявленной цели.

Вместе с тем, считаю необходимым отметить некоторые недостатки работы.

1. В диссертации не приведены результаты, подтверждающие улучшение теплопроводности, механических и вакуумных свойств феррогранатов за счет повышения плотности материала.

2. Содержание глав 3 и 4 частично дублируют друг друга, а именно по вопросам взаимодействия газовой фазы при спекании ИЖГ и гранатов иттрий-галлиевой системы пониженной намагниченности.

3. В диссертации не отражена методика измерения удельных потерь в МПЛ, изготовленных на ферритовых подложках.

4. В тексте диссертации имеются стилистические неточности.

Отмеченные недостатки не меняют общую положительную оценку диссертации.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Актуальность решенных задач, научная новизна и практическая значимость полученных результатов позволяют сделать заключение, что рецензируемая диссертационная работа отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Алексей Григорьевич Налогин заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 - Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Официальный оппонент:

заведующий лабораторией магнитных явлений в микроэлектронике
Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
доктор физико-математических наук, профессор

Шавров Владимир Григорьевич

Служебный адрес:

125009, г. Москва К-9,

ул. Моховая, д. 11, корп. 7

Телефон: +7(495) 629-35-06

E-mail: shavrov32@mail.ru

Подпись д. ф.-м. н., проф. В.Г. Шаврова удостоверяю
Учёный секретарь ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

к.ф.-м.н.



И.И. Чусов