

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Литвиненко А.Н. «Спин-волновые и магнитоакустические возбуждения в многослойных феррит-диэлектрических структурах», представленную к защите на **соискание** ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиоп физика

Спиновые волны (СВ), распространяющиеся в ферритовых пленках и многослойных планарных структурах на их основе, интенсивно изучают в последние десятилетия в связи с их уникальными физическими свойствами и возможностями применений для обработки сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов. Наиболее привлекательными свойствами спиновых волн являются малая длина волны (1 мкм - 1 мм), низкая скорость распространения (10^5 - 10^7 м/с) и возможность управления их характеристиками с помощью внешнего магнитного поля.

В результате проведенных в России и за рубежом исследований была разработана технология выращивания пленок железоиттриевого граната (ЖИГ) на подложках из галлийгадолиниевого граната (ГГГ), обладающих минимальным затуханием спиновых волн, и создан целый ряд действующих макетов новых устройств спин-волновой электроники, таких как перестраиваемые фильтры и резонаторы, управляемые линии задержки и фазовращатели, ограничители мощности, шумоподавители, СВЧ-генераторы и др. Однако, несмотря на ожидания, предложенные устройства до настоящего времени не нашли широкого применения.

Основными причинами этого являются: достаточно большие габариты созданных макетов устройств (порядка 1-3 см), ограниченные длиной волны эффективно возбуждаемых спиновых волн (100 мкм - 1 мм), сильная зависимость характеристик устройств от температуры, обусловленная температурным изменением намагниченности ЖИГ, и недостаточно хорошие параметры устройств по вносимому затуханию, шумам и т.д. Для уменьшения габаритов устройств необходимо, прежде всего, разработать методы эффективного возбуждения-приема коротковолновых (с длиной волны 1-10 мкм) спиновых волн, предложить новые способы термостабилизации характеристик волн и существенно улучшить технические параметры создаваемых устройств. Комплексному решению перечис-

ленных задач и посвящена представленная диссертационная работа, что и определяет ее **актуальность и своевременность**.

Диссертация состоит из: введения, где дан обзор состояния исследований по теме на момент начала работы и сформулированы основные задачи работы; основной части из трех глав, содержащих описание использованных теоретических подходов, экспериментальных методик и полученных результатов; заключения, в котором сформулированы основные выводы и результаты. Объем диссертационной работы составляет 105 страниц, включая 67 рисунков, 4 таблицы и список цитированной литературы из 116 наименований.

Наиболее *важными и новыми научными результатами* работы представляются следующие:

- В диссертации для расчета характеристик спиновых волн в ферритовых слоях развит и успешно использован сравнительно новый «магнитомеханический метод», при котором путем совместного решения уравнения Максвелла и Ландау-Лифшица с соответствующими граничными условиями находятся выражения для высокочастотной намагниченности, которые затем используются для расчета дисперсионных характеристик, магнитных и электрических полей волн. Такой подход позволил рассчитать свойства спиновых волн с учетом электромагнитного запаздывания, диполь-дипольного и обменного взаимодействий и получить ряд новых результатов.

- Впервые продемонстрировано экспериментально и объяснено теоретически эффективное возбуждение коротковолновых (длиной в единицы микрон) обменных спиновых волн высокочастотным электромагнитным полем в тонком слое с пониженной намагниченностью на границе раздела пленки ЖИГ и ГГГ-подложки. Эффективность возбуждения волн достигала ~80%, что открывает новые возможности для создания миниатюрных устройств на спиновых волнах.

- Впервые обнаружено эффективное частотно-селективное возбуждение акустических волн в структуре ЖИГ-ГГГ за счет использования магнитоотрицательности железиттриевого граната и методом бриллюэновского рассеяния света выполнена раздельная визуализация пространственных распределений амплитуд акустических и спиновых волн. Построена теория обнаруженного явления. Эф-

фект может быть использован для создания высокодобротных резонаторов сверхвысокочастотного диапазона.

- Построены модели магнитоакустического резонатора и генератора на его основе, позволившие рассчитать характеристики малошумящего генератора с дискретной перестройкой частоты магнитным полем.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в разработке моделей и методов расчета характеристик пленочных ферритовых магнитоакустических резонаторов и малошумящих генераторов на их основе. Создан и исследован макет сверхвысокочастотного генератора на основе высокодобротного магнитоакустического ЖИГ-резонатора, обладающего на два порядка меньшими фазовыми шумами, чем широко используемые генераторы на сферах ЖИГ. Автором работы предложен, обоснован и реализован эффективный метод температурной стабилизации частоты сверхвысокочастотных генераторов, выполненных на основе пленок железиттриевого граната. Температурную стабильность генераторов удалось повысить более, чем на два порядка, что важно для применений.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений работы следует из использования автором известных и хорошо себя зарекомендовавших математических методов и подходов (уравнения электродинамики и движения магнитного момента, обоснованный выбор малых параметров и приближений, теория связанных мод и др.), применения общепринятых на сегодняшний день методов измерения характеристик спиновых волн в ферритовых структурах. Результаты экспериментальных исследований, выполненных в работе, в большинстве случаев хорошо совпадают с расчетами, а также с результатами отдельных исследований других независимых авторов.

В качестве *замечаний* по диссертационной работе следует отметить:

- В диссертации использован сравнительно новый "магнитомеханический метод" расчета характеристик спиновых волн в пленках феррита. Следовало бы сформулировать преимущества и ограничения этого метода по сравнению с широко используемыми "методом магнитоэстатического потенциала» и "методом функций Грина", что не было сделано.

- В работе решена модельная задача о возбуждении обменных спиновых волн в нормально намагниченной пленке феррита тонким слоем с пониженной намагниченностью и продемонстрировано эффективное возбуждение этих волн в переходном слое на границе пленка ЖИГ – подложка ГГГ, однако какие-либо данные о реальных характеристиках этого слоя в диссертации отсутствуют. Следовало бы более детально экспериментально исследовать характеристики слоя.

- Автором предложен и исследован высокодобротный сверхвысокочастотный резонатор с набором дискретных частот на основе структуры ЖИГ – ГГГ в котором частоты задаются акустическим компонентом, а селекция частот осуществляется магнитным компонентом структуры. Аналогичная идея была реализована ранее в ряде других исследований, например, в работе Рудого Ю.Б. и др «Высокостабильные перестраиваемые СВЧ-генераторы на резонаторах, работающих на высших типах объемных акустических и магнитостатических волн», Электронная техника. СВЧ-техника, 1998, вып.2(472), с. 45-47. Следовало бы сослаться на эту работу и пояснить отличия и преимущества предложенного решения от известного.

- В тексте диссертации и автореферата имеется ряд опечаток и неточностей. Отмеченные недостатки и замечания по оформлению в целом никоим образом не снижают высокого уровня, достоверности выводов и рекомендаций работы.

Основные результаты работы **полностью опубликованы** в ведущих научно-технических журналах (3 статьи в журналах из списка ВАК), защищены патентом, прошли апробацию на международных и российских научно-технических конференциях. Автореферат достаточно подробно отражает, научную новизну, содержание и основные результаты диссертации.

Диссертационная работа в целом производит хорошее впечатление. Она включает как теоретические, так и экспериментальные исследования и отличается разнообразием использованных методов и подходов. В обзорной части диссертации автор продемонстрировал глубокое знание предыдущих достижений в рассматриваемой области. Для решения поставленных задач использованы современные методы физических исследований, например, бриллюэновское рассеяние света. Материал достаточно хорошо структурирован и грамотно изложен.

Учитывая изложенное, считаю, что диссертация Литвиненко А.Н. представляет собой законченную исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне. Совокупность полученных автором теоретических и экспериментальных результатов вносит существенный вклад в физику спин-волновых и акустических процессов в магнитных структурах, результаты работы могут быть использованы при разработке перспективных устройств твердотельной СВЧ-электроники. Работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы Литвиненко А.Н. за исследование спин-волновых и магнитоакустических возбуждений в многослойных феррит-диэлектрических структурах, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика.

Доктор физико-математических наук,
 профессор, директор научно-образовательного
 центра "Магнитоэлектрические материалы и
 устройства" Московского государственного
 университета информационных технологий.
 радиотехники и электроники" (МИРЭА)
 119454 Москва, пр. Вернадского 78,
 Эл. почта: fetisov@mirea.ru ,
 Тел. +7 (495) 4349143



Ю.К. Фетисов

Подпись Ю.К. Фетисова заверяю
 Проректор по научной работе МИРЭА,
 доктор технических наук,
 профессор



И.В. Соловьев