

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Губанова Владислава Андреевича** «**Управление свойствами спиновых волн в нерегулярных структурах на основе магнанных микроволноводов и магнанных кристаллов**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Диссертационная работа Губанова В.А. посвящена исследованию процессов преобразования и методов управления распространением спиновых волн в искусственно-созданных нерегулярных волноведущих структурах в виде магнанных микроволноводов и магнанных кристаллов из ферромагнитных пленок. Исследование физических основ волновых процессов в тонкопленочных структурах необходимо для понимания механизмов линейного и нелинейного распространения и преобразования волн в естественных и искусственных средах с распределенными неоднородностями разной природы: постоянные дефекты (профилированные пленки, геометрические дефекты и т.д.), либо наведенные (например, механические напряжения, нагрев лазерным излучением и т.д.). Одной из важных технологических задач является проектирование реконфигурируемых логических элементов на основе волноводов различной топологии в магнетиках, характеризующихся значительными длинами распространения спиновых волн. Это связано с активной реализацией новой стратегии развития электронной промышленности РФ, в том числе, по увеличению скорости передачи данных и снижению энергозатрат в элементах СВЧ-электроники. С этой точки зрения магноника является одной из самых перспективных развивающихся концепций. Считаю важным подчеркнуть, что рассмотренные в диссертационной работе Губанова В.А. системы магнанных кристаллов и нерегулярные СВЧ-волноводы с разными геометрическими параметрами и искусственными дефектами типа «магнитная яма» могут быть реализованы в различных СВЧ-системах демультиплексирования с пространственно-частотной селективностью, направленных ответвителей и фильтров сигнала. Таким образом, актуальность и научная значимость диссертационной работы не вызывают сомнений, а основное ее содержание соответствует уровню и направленности мировых исследований в области СВЧ электроники и магноники.

Полученные Губановым В.А. экспериментальные и теоретические результаты и выводы обоснованы, самосогласованы и значимы для специалистов в области СВЧ электроники. Диссертационная работа на 126 страницах состоит из 4 глав, обладает внутренней логикой, и демонстрирует последовательное усложнение поставленных задач, путем усложнения геометрии исследуемых структур с дефектами и расширения их

функциональности. Например, хочется отметить проведенный в работе комплексный анализ влияния локального лазерного нагрева на свойства распространяющихся спиновых волн в планарной структуре и подковообразной (U-образной) структуре, изложенный в главах 2 и 3 диссертации. Также к наиболее ярким результатам работы следует отнести исследования режимов работы системы «связанных» магнетонных кристаллов различной ширины и демонстрацию возможности управляемой фильтрации СВЧ-сигнала, изложенные в главе 4.

Представленная к защите диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Для решения поставленных задач были применены как численные методы, так и экспериментальные методы исследования спиновых волн, включающие в себя метод микроволновых (радиофизических) измерений и метод Манделштам-Бриллюновской спектроскопии рассеянного света. Результаты расчетов и экспериментов хорошо согласуются. Результаты диссертационной работы опубликованы в журналах, входящих в базы WoS и Scopus, а также представлялись в виде докладов на научных конференциях. Поэтому достоверность работы не вызывает сомнений. Личный вклад Губанова В.А. также достаточен: он представляет собой численные расчеты и совместные эксперименты, при этом расчеты занимают примерно половину диссертации.

Несмотря на положительную оценку диссертационной работы в целом, считаю необходимым сделать следующие замечания:

1. Автор активно использует термин «магнитная яма», однако ни в автореферате, ни в диссертации не дается четкого объяснения этого, не совсем удачного, на мой взгляд, термина.

2. В Главе 2 рассматривается распространение спиновых волн в планарной магнитной среде с областью локального лазерного нагрева. При этом полученные результаты не сравниваются, например, с близкими по теме работами по возбуждению спиновых волн в ферромагнитных пленках фс лазером в группе Калашниковой А.М. из ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Например, не учитывается влияние взаимной ориентации внешнего магнитного поля и магнитной анизотропии пленки.

3. Глава 1 не содержит выводов по разделу. Также в главе 1 стр. 24 вставлена фраза: «Предложенный метод управляемой интерференции поперечных мод СВ может лечь в основу парадигмы реконфигурируемого соединительного элемента для магнетонных устройств», однако, что именно имеется в виду, я найти затруднился.

4. На стр. 77 заявляется, что значение абсцисс (прим. волновых векторов для разных дисков) рассчитаны различным образом, однако по тексту используется одна и та же формула для разных структур.

5. На Рис. 4.9 стр. 83 для карты распределения внутреннего магнитного поля вдоль оси образца МК представлена клиновидная форма щели между МК, тогда как в методике заявлена щель равной ширины по всей длине образца.

6. В п.4.3 не поясняется суть «структурирования пленок ЖИГ» при создании МК

7. На странице 20 идет ссылка сначала на Рис. 2.2, потом на Рис.1.5, 1.6 и т.д. На странице 82 ссылка на Рис. 24, вместо Рис.4.8. Надо отметить, что в целом подписи к рисункам (Рис.1.5, Рис.4.7 и др.) часто не представляют полного описания, хотя в тексте и можно найти эту информацию.

Далее идут несущественные замечания, связанные в основном с небрежностью оформления диссертации. Текст, к сожалению, содержит множественные опечатки, несогласованные окончания, повторы, оборванные предложения, а также жаргон и неудачные по форме выражения.

Например:

«Диаметр лазерного пятна  $d$  был выбран как эффективный диаметр лазерного пятна  $d_{eff}$ , полученный из полувысоты величины лазерного нагрева», стр. 29.

«Спектр поглощения ГГГ значительно мал...», стр. 27

«Процесс Анти-Стокса»

«Ms- насыщенность намагниченности»

«большая длина распада СВ»

«Свет, подвергающийся неупругому рассеянию, создается одночастотным лазером»

«...путем разборки коммерческого DVD-R путем извлечения слоев...»

«...опорным рассеянным светом, создаваемым с помощью магнитооптического модулятора»

«Исследования динамической намагниченности СВ»

«...внедрив оптический фазовый модулятор к оптической системе...», стр. 46

«...режим без пропускания»

«Основным преимуществом является возможность создания устройств на спиновых волнах, при котором распространение происходит без переноса электрона».

«...обсуждение использования предложенного класса структур для создания структур...», стр.70

Вызывает недоумение фраза: «Во второй главе диссертационной работы было проведено доказательство концепции. Для осуществления управления распространением спиновых волн нам необходим источник СВ (в частности - микрополосковый преобразователь СВЧ сигнала), пленка ЖИГ в качестве среды для распространения СВ, блок управления (сфокусированное лазерное излучение) и выходная СВЧ антенна».


И так далее.

Указанные недоработки, конечно, не влияют на достоверность результатов и не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы, хотя заметно ухудшают общее восприятие и нивелируют ее достоинства.

С учётом вышесказанного считаю, что диссертационная работа Губанова Владислава Андреевича вносит вклад в развитие современных представлений о динамике спин-волновых взаимодействий в массивах поперечно-ограниченных волноведущих магнитных структур с искусственными дефектами. Работа удовлетворяет всем требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация полностью соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика (пп.1,2). Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

Считаю, что соискатель Губанов Владислав Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Ведущий научный сотрудник лаборатории  
магнитных полупроводников ИФМ УрО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук,

  
А.В. Телегин  
«17» ноября 2023 г.

Почтовый адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 18,  
тел:+7-343-3740230 ,  
e-mail: telegin@imp.uran.ru

Подпись А.В. Телегина заверяю  
ученый секретарь ИФМ УрО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук



  
И.Ю. Арапова