

Отзыв

на автореферат диссертации Сафина Ансара Ризаевича «Нелинейные динамические процессы в автоколебательных структурах антиферромагнитной спинтроники», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.12 — «Физика магнитных явлений»

В последние годы возрастает интерес к исследованию характеристик наноразмерных структур, выполненных на основе многослойных ферромагнитных плёнок с гигантским магнетосопротивлением. К перспективному направлению исследований относится генерирование ГГц и суб-ТГц колебаний магнитными многослойными наногенераторами, получившими название «спин-трансферные наноосцилляторы» (СТНО). Такие генераторы обладают рядом достоинств: широким диапазоном перестройки по току и магнитному полю, миниатюрными размерами, малыми питающими напряжениями и токами. Недостатком СТНО, ограничивающим их практическое внедрение, является низкий уровень мощности генерируемых колебаний (единицы микроватт). В связи с этим становится важной проблема объединения СТНО в ансамбли с целью взаимной синхронизации и сложения их мощностей. При решении этой проблемы возникает ряд сложных задач, связанных, в частности, с исследованием режимов динамического поведения ансамблей СТНО, их бифуркаций, областей синхронизации, созданием методик расчёта динамических характеристик и др. Тема диссертации А.Р. Сафина посвящена разработке теории, позволяющей описать нелинейные динамические процессы в автоколебательных структурах спинтроники, таких как: осцилляторы, детекторы, эмиттеры, а также их массивы. Для решения поставленных в работе задач автором использованы современные методы нелинейной динамики и теории колебаний, и компьютерное моделирование.

Судя по автореферату и опубликованным работам автора, к числу наиболее существенных полученных им результатов относятся следующие:

- построены и исследованы математические модели перестраиваемых по частоте антиферромагнитных и ферромагнитных осцилляторов, детекторов, эмиттеров и устройств на их основе: синтезаторов, спектроанализаторов и нейропроцессоров;
- найдены условия безгистерезисной генерации автоколебаний намагниченности при возбуждении гетероструктуры «антиферромагнетик-тяжёлый металл» спинполяризованным током;
- исследована взаимосвязь между направлениями осей анизотропии магнетика, направлением внешнего постоянного магнитного поля и поляризацией источника возбуждения для реализации регенеративного, резонансного детектирования ГГц и ТГц колебаний на основе гетероструктуры «антиферромагнетик-тяжёлый металл»;
- предложены различные способы перестройки резонансной частоты спинтронных детекторов и критического тока рождения автоколебаний в осцилляторах с помощью внешнего магнитного поля, электрического тока, магнитострикции, температуры.
- проведён анализ нормальных мод массивов взаимосвязанных осцилляторов с различной топологией связей: линейка, кольцо, решетка, дерево, «малый мир», иерархическая и случайная сеть.

Полученные в диссертации результаты и рекомендации являются новыми, представляют несомненный интерес для специалистов в области исследования и проек-

тирования сложных автоколебательных систем. Результаты диссертации, безусловно, найдут применение при решении задач анализа динамики ансамблей взаимно синхронизированных осцилляторов из различных областей радиофизики и радиотехники, а также при разработке и изготовлении конкретных устройств на основе спинтронных осцилляторов. Результаты диссертации уже использованы при выполнении конкретных научно-технических разработок и в учебном процессе в НИУ «МЭИ».

В качестве замечания по автореферату следует отметить весьма сжатое изложение полученных в главах 7 и 8 результатов исследования динамики ансамблей спинтронных осцилляторов, в частности, результатов о возможных колебательных режимах и особенностях их бифуркаций. Сделанное замечание не касается основных идей и результатов автора, изложенных в диссертации, и не влияет на общую высокую оценку работы А.Р. Сафина.

Анализ основных положений исследования, изложенных в представленном автореферате, позволяет сделать заключение о том, что диссертационная работа А.Р. Сафина является законченной научной работой, в которой решены актуальные для физики магнитных явлений задачи разработки теории массивов автоколебательных структур спинтронных осцилляторов. Работы А.Р. Сафина, составляющие основное содержание его диссертации, опубликованы в рецензируемых изданиях, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, прошли апробацию на научных конференциях и семинарах.

Считаю, что диссертация Сафина Ансара Ризаевича является законченным научно квалификационным исследованием и удовлетворяет требованиям ВАК к докторским диссертациям. Соискатель заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.12 — «Физика магнитных явлений».

Профессор кафедры нанoeлектроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет", д.ф.м.н.

Фетисов Леонид Юрьевич.

05.06.2023

Специальность: 05.27.01 - Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Адрес: 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78
телефон: 89161287383 e-mail: fetisovl@yandex.ru

Зодтисев

Начальник
Управление



М. Ю. Здрейверт

Зодтисев