

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»

Исследование процессов генерирования ГГц и ТГц колебаний магнитными многослойными наноструктурами — одна из актуальных задач современной спинтроники. Такие спинтронные осцилляторы обладают рядом достоинств: они миниатюрны, имеют широкий диапазон перестройки по току и магнитному полю, низкие напряжения и токи питания, хорошо совместимы с технологическим циклом производства КМОП-структур.

Широкому внедрению в практику спинтронных осцилляторов препятствует низкий уровень выходной мощности единичных наноструктур. В лучших экспериментальных образцах мощность не превосходит единиц микроватт, а для более простых в технологическом исполнении генераторов значительно ниже нановатта. Увеличить ее можно за счет объединения нескольких осцилляторов в ансамбли. В связи с этим, на первый план выходят фундаментальные задачи теории нелинейных колебаний по динамике большого числа связанных автоколебательных систем.

В настоящее время вопросы эффективной синхронизации ансамблей спинтронных осцилляторов в достаточной мере не раскрыты. Поэтому тему диссертационной работы, посвященной разработке теории, позволяющей исследовать нелинейные динамические процессы в автоколебательных структурах спинтроники, содержащих антиферро- и ферримагнетики: осцилляторах и детекторах терагерцевых сигналов, характеристиками которых можно управлять посредством внешних воздействий (магнитных и электрических полей, спин-поляризованного тока, температуры), следует считать весьма актуальной.

К основным результатам работы можно отнести следующие:

1. Построены и исследованы математические модели перестраиваемых по частоте антиферромагнитных и ферримагнитных осцилляторов, детекторов, эмиттеров и устройств на их основе: синтезаторов, спектроанализаторов и нейропроцессоров.

2. Найденны условия безгистерезисной генерации автоколебаний намагниченности при возбуждении гетероструктуры «антиферромагнетик-тяжелый металл» спин-поляризованным током.

3. 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-тяжелый металл».

4. Предложены различные способы перестройки резонансной частоты спинтронных детекторов и критического тока рождения автоколебаний в осцилляторах с помощью внешнего магнитного поля, электрического тока, магнитострикции, температуры.

5. Проведено исследование влияния инерционных слагаемых в уравнениях, описывающих как внешнюю синхронизацию единичного спинтронного осциллятора, так и взаимную синхронизацию массивов.

6. Проведен анализ нормальных мод массивов взаимосвязанных осцилляторов с различной топологией связей: линейка, кольцо, решетка, дерево, «малый мир», иерархическая и случайная сеть. Предложены варианты организации топологии сетей взаимосвязанных осцилляторов, позволяющих решить проблему многомодовости в сетях.

7. Описано нейроморфное поведение спинтронных осцилляторов, возбуждаемых импульсами оптического излучения, а также предложены варианты реализации на их основе простейших логических операций.

Справедливость разработанных в диссертационной работе методов расчета и полученных теоретических результатов подтверждена их сравнением с известными экспериментальными и теоретическими данными.

По автореферату диссертационной работы можно сделать ряд критических замечаний:

1. Не ясны границы применимости метода медленно меняющихся амплитуд для моделирования ансамблей локально связанных спинтронных осцилляторов.

2. Отсутствует описание реализации методов численных расчетов и оценки вносимой ими погрешности, вследствие чего сложно судить о точности приведенных в работе результатов.

Отмеченные замечания не снижают научный уровень диссертации и достоверность полученных результатов. Основные результаты исследований, выводы и положения опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК для публикаций результатов диссертаций, и обсуждены на научно-технических конференциях.

Диссертационная работа является законченным научным трудом, в котором получены результаты, имеющие теоретическую и практическую ценность. Она удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, а её автор Сафин А.Р. заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.12 — «Физика магнитных явлений».

Доктор химических наук,
профессор кафедры неорганической химии
МГУ им. М.В. Ломоносова

Кауль А.Р.
05.06.2023

Кауль Андрей Рафаилович
адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3
телефон: 8 (903) 018-48-06
e-mail: arkaul@mail.ru

