

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

В последние 20 лет в мировой литературе непрерывно растет число публикаций, посвящённых исследованиям свойств антиферромагнитных структур, выполненных на основе многослойных пленок. К перспективному направлению исследований относится генерирование ТГц - колебаний магнитными многослойными наногенераторами, получившими название «спинтронные осцилляторы» (СО). Такие генераторы обладают рядом достоинств: широкий диапазон перестройки по току и магнитному полю, миниатюрные размеры, малые питающие напряжения и токи, а также совместимость с технологическим циклом производства КМОП — структур. Основным недостатком СО, ограничивающим их практическое внедрение, является низкий уровень выходной мощности генерируемых колебаний (единицы нановатт). В связи с этим необходимо решение задачи об объединении СО в ансамбли с целью сложения их мощностей и взаимной синхронизации. Таким образом, тема диссертации Сафина А.Р. является весьма актуальной. Основной целью работы являлось построение теории, позволяющей исследовать нелинейные динамические процессы в автоколебательных структурах антиферромагнитной спинтроники широкого класса: автогенераторов, детекторов, эмиттеров и их ансамблей.

В диссертационной работе получены новые важные научные результаты, показывающие следующее.

1. Автоколебания в спинтронном осцилляторе, выполненном на основе гетероструктуры «антиферромагнетик-тяжелый металл» сопровождаются возникновением гомоклинической траектории, образованной слиянием сепаратрис седел, в результате чего проявляется гистерезисный эффект между положением равновесия и автоколебательным режимом. Для уменьшения области гистерезисной генерации необходимо уменьшать эффективное поле анизотропии в легкой плоскости, или выбирать антиферромагнетики с большим обменным полем между магнитными подрешетками.
2. Зависимость выпрямленного напряжения за счет обратного спинового эффекта Холла от частоты внешней электромагнитной волны или спин-поляризованного тока для гетероструктуры «антиферромагнетик-тяжелый металл» носит резонансный характер. Для реализации перестраиваемого по частоте резонансного детектора ТГц-колебаний на основе одноосного АФМ поляризация возбуждающего колебания должна быть круговой или эллиптической.
3. При высокоамплитудной спиновой накачке антиферромагнетика в условиях нелинейного резонанса наблюдается немонотонное поведение выпрямленного, благодаря обратному спиновому эффекту Холла в соседнем слое тяжелого металла, напряжения, что связано со встречными сдвигами частоты: за счет сильного магнитного поля и высокоинтенсивного возбуждения ТГц электромагнитным излучением.
4. Древовидные ансамбли спинтронных осцилляторов обладают фрактальным спектром нормальных мод типа "чертова лестница", причем с ростом количества ветвей дерева и при введении дополнительных связей между элементами ансамбля количество вырожденных мод возрастает. Увеличение количества связей (усложнение топологии ансамбля связанных осцилляторов) приводит к уменьшению времени установления синхронного состояния.

Полученные в диссертации результаты и рекомендации представляют теоретический интерес и имеют практическое значение. Они могут найти применение при проектировании автоколебательных систем, построенных на основе взаимосинхронизированных генераторов. Результаты диссертации использовались при реализации НИР и в учебном процессе НИУ «МЭИ».

Основные положения диссертации достаточно полно опубликованы в отечественных и зарубежных реферируемых научных журналах, а также обсуждались на научных конференциях. Автореферат диссертации дает полное представление о целях и результатах выполненной работы.

Представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, удовлетворяющим требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Сафин Ансар Ризаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.12 — «Физика магнитных явлений».

Доктор физико-математических наук,

профессор кафедры физической электроники и технологии

Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В.И. Ульянова (Ленина),

Устинов А.Б.

26.04.2023

Подпись Устинова А.Б. удостоверяю:

Ученый секретарь совета СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



Т.Л. Русяева

Устинов Алексей Борисович

адрес: 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д.5 литера Ф

телефон: 8(812)2349983

e-mail: ustinov-rus@mail.ru