

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Скирдкова Петра Николаевича «**Спин-трансферный диодный эффект в магнитных туннельных переходах**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Скирдкова П.Н. посвящена актуальной области современной спинтроники – теоретическому исследованию механизмов влияния микроволновых спиновых токов на динамику намагниченности свободного слоя в магнитных туннельных переходах (МТП) с различными типами магнитных конфигураций. Научная новизна и фундаментальная важность работы связана с поиском новых спин-трансферных механизмов управления динамическими свойствами легкоконусных и вихревых МТП с целью повышения их микроволновой чувствительности к СВЧ излучению и расширения диапазона рабочих частот. Практическая значимость диссертации обусловлена необходимостью выбора на базе теоретического анализа конструктивных и магнитных параметров рассмотренных магнитных гетероструктур, обеспечивающих возможность использования МТП в качестве высокочувствительных и широкополосных детекторов микроволнового излучения – спин-трансферных диодов (СТД), востребованных в телекоммуникационных системах, Интернете вещей и биомедицинских приборах.

Автореферат написан ясным языком, хорошо структурирован и дает полное представление о проделанной работе. Хотелось бы выделить полученный автором ряд новых и важных научных результатов. В частности, к наиболее значимым из них можно отнести:

1. **Разработку конструкций СТД с расширенным частотным диапазоном.** В частности, предложена и теоретически обоснована конструкция диода с двумя ферромагнитными слоями, закрепленными под углом друг к другу, что позволило поднять резонансную частоту до 9 ГГц. Также детально исследован вихревой СТД, работающий в суб-ГГц диапазоне, что существенно расширяет потенциальные области применения таких устройств.
2. **Объяснение механизмов широкополосного выпрямления.** Автором впервые теоретически объяснены новые эффекты широкополосного выпрямления, наблюдавшиеся экспериментально. Показано, что такое выпрямление может быть обусловлено как наличием ненулевого угла между намагниченностями слоев (например, под действием внешнего поля), так и формированием неоднородных микромагнитных состояний (С- и S-образных) в свободном слое. Эти результаты вносят существенный вклад в понимание физики магнитных туннельных переходов.
3. **Достижение рекордной чувствительности.** Теоретически продемонстрирована возможность создания пассивного СТД с чувствительностью до 4650 мВ/мВт (после согласования импедансов) за счет использования магнитостатически индуцированного легкоконусного состояния в слоях с перпендикулярной магнитной анизотропией. Это значение является одним из самых высоких, сообщаемых в литературе для подобных устройств, и превосходит показатели полупроводниковых аналогов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных методов микромагнитного моделирования (программный пакет SpinPM), построением адекватных аналитических моделей, а также хорошим соответствием теоретических расчётов с экспериментальными данными, полученными другими научными группами. Основные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и неоднократно докладывались на ведущих российских и зарубежных научных конференциях.

Следует выделить несколько замечаний к работе:

1. Имеется несколько замечаний по оформлению автореферата: на рис. 6 «оранжевый» и «зеленый» маркеры едва заметны (хорошо бы увеличить их размер), на рис. 7 вместо «КЭ» следует писать «кЭ», также в подписи к рис. 7а отсутствует пояснение, что обозначает серая линия.

2. Также в макроспиновой модели автор выбирает фиксированные значения амплитуд полевого (Field-like) и антидемпингового (Slonczewski-like) вращательных моментов, хотя они имеют характерную зависимость как от напряжения смещения на МТП, так и от параметров его слоев, и по-хорошему должны быть рассчитаны из микроскопических моделей спинового транспорта через диэлектрическую прослойку (как вариант, из модели Зоммерфельда почти свободных электронов или на базе первопринципного подхода с учётом кристаллической структуры МТП). Стоило бы отметить, как это может повлиять на полученные результаты.

Тем не менее, указанные замечания не снижают научной значимости работы и высокой оценки выполненной диссертации.

Заключение

Содержание автореферата свидетельствует о том, что диссертация «Спин-трансферный диодный эффект в магнитных туннельных переходах» является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы, **Скирдков Петр Николаевич**, без сомнения, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Доцент Института интегральной электроники
имени академика К.А. Валиева (ИнЭл),
руководитель научно-исследовательской лаборатории
«Моделирование и разработка изделий нано- и микросистемной
техники» (НИЛ МР)
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
кандидат физико-математических наук
(научная специальность – 01.04.07 –
физика конденсированного состояния)

подпись
Демин Глеб Дмитриевич
05.03.2026
дата

Почтовый адрес:
124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1
E-mail: gddemin@gmail.com, тел. +7-499-720-69-07

Подпись Г.Д. Демина удостоверяю

Ученый секретарь УС
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
кандидат технических наук, доцент

подпись
Козлов Антон Викторович
05.03.2026
дата