

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Заворницына Романа Сергеевича «**Магнитотранспортные свойства спиновых клапанов на основе редкоземельных и переходных металлов**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений.

Диссертация Р.С. Заворницына посвящена экспериментальному изучению магнитотранспортных и структурных свойств наноразмерных гетерофазных тонкопленочных структур – спиновых клапанов, изготовленных на основе редкоземельных и переходных металлов. С развитием нанотехнологий и прецизионных методов регистрации физических параметров низкоразмерных систем, которые позволили синтезировать и аттестовать сверхтонкие слоистые магнитные пленки и гетероструктуры, изучение магнитных и магнитотранспортных свойств многослойных магнитных сред приобрело особенную значимость как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Обнаружение в наноматериалах таких явлений, как однонаправленная анизотропия, гигантское магнетосопротивление и межслоевое обменное взаимодействие, влияющих на кинетику преобразования магнитных моментов в магнитных слоях, открывает перспективы их использования при создании элементов спинтроники и высокочувствительных магнитных сенсоров. Перспективным направлением при их разработке является синтез и исследование магнитных гетероструктур, в которых реализована возможность управлять магнитотранспортными свойствами, используя в них материал слоев с различным магнитным порядком. Работа, выполненная диссертантом, направлена на изучение магнитотранспорта и выявление особенностей межслоевых обменных взаимодействий в спиновых клапанах на основе редкоземельных и переходных металлов, что делает диссертационную работу актуальной и важной для выяснения закономерностей спинового транспорта в них и оптимизации их функциональных характеристик.

Из текста автореферата видно, что ключевым моментом при постановке задачи и выполнении экспериментов является комплексный подход, заключающийся в анализе структурного и магнитного состояния в спиновых клапанах и выявлении влияния на их магнитотранспортные свойства таких внешних факторов, как магнитное поле, температура, температурная обработка, толщина слоев. В результате проведенных с использованием современных методик диагностики было изучено поведение слоистых наноматериалов в зависимости от толщины немагнитной прослойки Си или антиферромагнитных слоев Ду или Но. Заворницыным Р.С. обнаружено, что характеристики перемагничивания спинового клапана на основе Ду или Но, наблюдаемые в температурном диапазоне, соответствующем геликоидальному упорядочению, обусловлены температурными изменениями периода антиферромагнитного геликоида. Наряду с ожидаемыми зависимостями распределения магнитных моментов на интерфейсах «ферромагнетик/антиферромагнетик» диссертантом было установлено, что обменное взаимодействие между ферромагнитными слоями через антиферромагнитную прослойку было обусловлено геликоидальным распределением магнитных моментов в слое Ду и вращением всей геликоида вокруг ее оси в слое Но. Диссертантом разработан метод формирования противоположно направленных осей однонаправленной анизотропии в микрообъектах, объединенных в мостовую схему Уитстона. Показано, что факторами, определяющими направление оси однонаправленной анизотропии в каждом отдельном сенсорном элементе схемы, являются наведенная одноосная анизотропия и анизотропия формы микрообъекта. В работе получены уникальные результаты по оптимизации толщины медной прослойки с учетом осцилляции межслоевого обменного взаимодействия в спиновых клапанах, используемых в мостовой схеме Уитстона.

Диссертант доказал свою высокую научную квалификацию, а результаты диссертационной работы представляют несомненный научный интерес. Они полезны как для адекватного описания магнитных и магнитотранспортных характеристик спиновых

клапанов, так и в практическом отношении, в связи с перспективой их применения в качестве элементов спинтроники и высокочувствительных датчиков магнитных полей.

В качестве замечания следует отметить следующее:

1. В автореферате не приводится чем мотивирован выбор редкоземельных металлов диспрозия и гольмия в качестве РЗМ для исследования магнитотранспортных свойств спиновых клапанов.
2. В работе отмечается нестабильность магнитотранспортных свойств спиновых клапанов на основе редкоземельных металлов по отношению воздействия температуры и с течением времени. Насколько стабильными являются спиновые клапаны на основе переходных металлов?
3. При описании трехэтапной термообработки элементов мостовой схемы Уитстона, представленной на рисунке 6, говорится, что на первом этапе образцы подвергались нагреву до температуры блокировки 448 К с последующим охлаждением в поле  $-9$  кЭ, тогда как на втором и третьем этапах поле устанавливалось равным нулю и  $H_{sf}$ , соответственно, но ничего не говорится о температуре, которой подвергались образцы.
4. При описании рисунка 18 говорится, что «при понижении температуры наблюдается переход спинового клапана из низкоомного в высокоомное состояние», однако из рисунка следует, что на более раннем этапе понижения температуры (от  $T=220$ К) вначале происходит изменение сопротивления от высокоомного к низкоомному состоянию. С чем связан это понижение сопротивления не объясняется.

Однако отмеченные замечания ни в коей мере не уменьшают научной значимости работы. Из автореферата можно заключить, что и по объему, и по оригинальности полученных результатов, их достоверности, научной и практической ценности диссертационная работа «Магнитотранспортные свойства спиновых клапанов на основе редкоземельных и переходных металлов» удовлетворяет всем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Роман Сергеевич Заборницын, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений».

Горнаков Владимир Степанович,  
Доктор физико-математических наук  
(01.04.07 Физика конденсированного состояния),

Главный научный сотрудник лаборатории  
квантовых кристаллов ИФТТ РАН

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна Российской академии наук  
142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 2.

Тел.: +7 (496) 522-82-72

E-mail: gornakov@issp.ac.ru

27 января 2023

Подпись главного научного сотрудника

В.С. Горнакова заверяю,

Учёный секретарь ИФТТ РАН,

кандидат физико-математических наук А.Н. Терещенко

*С оценок оценок*

*1 Заборницын Р.С. 13.02.2023*

