

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Миляева Михаила Анатольевича «**Эффекты магнитной анизотропии в антиферромагнетиках и многослойных обменно-связанных наноструктурах**», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Тонкие магнитные плёнки и мультислои занимают значительное место в современной научно-технической деятельности. Этому способствует развитие новых областей их применения, таких как микро- и наноэлектроника, спинtronика, а также постоянное совершенствование методов и техники исследования. Антиферромагнитные наноструктуры являются важным компонентом плёночных магнитных сенсоров. Поэтому диссертационная работа Миляева М.А., посвящённая исследованию эффектов магнитной анизотропии в антиферромагнетиках и многослойных обменно-связанных наноструктурах, безусловно, является актуальной.

Из ряда новых научных результатов, представленных в автореферате, следует отметить следующие:

- В сверхрешетках (211)MgO/[Fe/Cr] с выраженной одноосной магнитной анизотропией в плоскости слоев обнаружен многоступенчатый характер полевых зависимостей намагниченности и магнитосопротивления, обусловленный множественными спин-флип переходами.
- Визуализирована доменная структура в отдельных внутренних слоях Fe сверхрешетки (210)[Fe/Cr] и установлена последовательность перемагничивания слоев Fe. Показано отличие доменной структуры в различных слоях Fe.
- В металлических спиновых клапанах разного типа установлены условия реализации безгистерезисного перемагничивания свободного слоя.
- Для оптимизированных сверхрешеток Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>/Cu получены рекордные для металлических сверхрешеток значения магнитосопротивления при комнатной температуре - 81%.

В качестве замечаний следует отметить:

- 1) На стр. 28 автореферата, где обсуждаются детали формирования односторонней анизотропии в паре слоев ферромагнетик/антиферромагнетик с помощью термомагнитной обработки, в частности, говорится: «Если слой антиферромагнетика напылен на ферромагнитный слой, помещенный в магнитное поле, то намагниченность в ферромагнитном слое будет совпадать с направлением поля и, за счет магнитострикции, будет оказывать влияние на направление атомных магнитных моментов в антиферромагнитном слое». Данное утверждение представляется спорным, так как согласно устоявшейся точке зрения односторонняя анизотропия обусловлена обменным взаимодействием магнитных моментов ферромагнитного и антиферромагнитного слоёв на межслойной границе.

- 2) При исследовании сверхрешеток CoFe/Cu, приготовленных с использованием различных буферных слоев в работе получен интересный результат - добавление нескольких номинальных атомных слоев хрома в

буферном слое приводит к принципиальному изменению структуры всего многослойного образца. Хотелось бы, чтобы автор высказал предположения о возможном механизме влиянии толщины буферного слоя хрома на структуру всего многослойного образца.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки работы. В целом, диссертационная работа выполнена на самом высоком научном уровне. Особо следует отметить взаимодополняющее сочетание многих экспериментальных методов и систематический подход, заключающийся в исследовании как объёмных монокристаллических антиферромагнетиков, так и пленочных искусственных антиферромагнитных сверхрешёток и серий многослойных структур на их основе.

Основные результаты диссертации опубликованы в авторитетных реферируемых журналах и были широко обсуждены на всероссийских и международных конференциях.

Нет сомнений, что диссертация по актуальности, новизне, комплексу проведённых исследований и по совокупности полученных результатов полностью соответствует профилю диссертационного совета, паспорту заявленной специальности и всем требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335), а её автор, Миляев Михаил Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник  
отдела магнетизма твёрдых тел,  
Институт естественных наук и матем.  
Уральский федеральный университет

Адрес: 620002, Россия, г. Екатеринбург,  
ул. Мира, 19  
Тел. +7 (343) 389-97-06  
e-mail: [andrey.svalov@urfu.ru](mailto:andrey.svalov@urfu.ru)



Андрей Владимирович

01 декабря 2017

Подпись Свальов А.В.

С отзывом организацией  
Миляев М.А.

05.12.2017

