

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, Барминой Екатерины Владимировны, на диссертационную работу Высоких Юрия Евгеньевича «Магнитооптический метод в составе атомно-силовой микроскопии для исследования параметров поверхности и доменной структуры тонких пленок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Актуальность темы диссертационной работы:

Диссертационная работа Высоких Ю. Е. исследует важное направление, сосредоточенное на разработку новых подходов к высокоэффективному использованию магнито-оптических устройств. Тема представленной диссертации соответствует приоритетным направлениям развития науки и является актуальной в фундаментальных и прикладных аспектах. Значимость работы обусловливается потребностью в разработке и внедрении магнитооптических устройств для оптики и магнито-фотонных приборов.

Исследования магнитооптических свойств наноструктурированных поверхностей являются одной из актуальных задач в области микроскопии. В частности, возможность одновременной регистрации, как морфологии поверхности, так и магнитных свойств подложки, позволяют дать четкую картину о структурных и магнитных особенностях исследуемого материала.

Цель работы заключена в разработке и оптимизации работы зондовых микроскопов, с возможностью создания, как кантилеверов нового поколения для исследования магнитных свойств материалов, так и магнитных подложек. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач, заключающихся в создании прозрачных реплик с высоким пространственным разрешением для их регистрации с помощью эффекта Фарадея, формировании двухслойных пленок ферромагнетиков как основы магнитооптических устройств и фотонных кристаллов, а также разработка технологии немагнитных кантилеверов.

Краткий обзор содержания диссертационной работы:

Во введении сформулированы цели и задачи работы, обоснована актуальность, научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту и личный вклад автора.

Первая глава посвящена описанию основных типов доменных структур ферромагнетиков, рассмотрены области применения тонких пленок ферромагнетиков, основные технологические методы синтеза тонких пленок ферромагнетиков и многослойных структур на их основе. рассмотрена критическая важность параметров термообработки (кристаллизационного отжига) как одного из ключевых технологических этапов создания пленок ферритов-гранатов. Рассмотрены существующие методы изучения доменной структуры, показаны их достоинства и недостатки. Обоснована важность совершенствования методической и приборной базы для исключения недостатков существующих методов и возможности исследования магнитной доменной структуры тонкопленочных образцов с высоким пространственным разрешением с минимизацией влияния факторов, оказывающих негативное влияние на получаемые результаты.

Во второй главе представлены результаты исследования влияния параметров кристаллизационного отжига тонких пленок на функциональные (величина фарадеевского вращения) и морфологические параметры пленок состава $\text{Bi}_{2,3}\text{Dy}_{0,7}\text{Fe}_{4,2}\text{Ga}_{0,8}\text{O}_{12}$, а также двухслойных структур на подложках гадолиний галлиевого граната и подложках оксида кремния с составами слоев $\text{Bi}_{1,0}\text{Lu}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12}$; $\text{Bi}_{2,5}\text{Gd}_{0,5}\text{Fe}_{3,8}\text{Al}_{1,2}\text{O}_{12}$, $\text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ полученных методом реактивного ионно-лучевого распыления. Приведены зависимости угла фарадеевского вращения и шероховатости от времени кристаллизационного отжига, представлены результаты рентгенографического исследования тонких пленок. Определены оптимальные режимы кристаллизационного отжига для однослойных и

двуслойных пленок ферритов-гранатов на подложках гадолиний-галлиевого-граната, кальций-магний-цирконий-гадолиний-галлиевого и оксида кремния.

Третья глава посвящена разработке комплекса методов, основанных на объединении магнитооптической микроскопии и атомно-силовой микроскопии. Показано, что такое объединение позволяет одновременно исследовать топографию и магнитную доменную структуру прозрачных пленок ферримагнетиков без перемагничивания образца, при этом обеспечивается возможность предварительной визуализации большой области образца размерами десятки и сотни микрон с разрешением вплоть до оптического дифракционного предела и возможность перейти к исследованию субмикронных областей с субдифракционной разрешающей способностью. Разработан метод определения с высоким пространственным разрешением доменной структуры непрозрачных образцов на основе термомагнитной печати с применением высококоэрцитивных эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок с низкой температурой Кюри.

Четвертая глава посвящена исследованию апертурных кантилеверов, изготовленных ионно-ассистированным осаждением, и их применению для магнитооптического метода в составе атомно-силовой микроскопии. Показана возможность использовать данные кантилеверы одновременно для изучения топографии и доменной структуры тонких пленок с высокой разрешающей способностью.

Хотелось бы отметить, что автор впервые предложил использовать систему термомагнитной печати с применением высококоэрцитивных эпитаксиальных феррит-гранатовых-пленок с низкой температурой Кюри для исследования непрозрачных образцов магнитооптическим методом в составе атомно-силовой микроскопии, что позволяет исследовать магнитную доменную структуру непрозрачных образцов с высоким пространственным разрешением.

Работу отличает хороший стиль изложения. Она выполнена на высоком уровне, что подтверждает квалификацию диссертанта. Оригинальные результаты получены с использованием различных современных методов исследования и подкреплены теоретическими оценками. Поэтому в достоверности и обоснованности представленных результатов не приходится сомневаться. Задачи, поставленные в работе, полностью выполнены. Представленные результаты могут использоваться для дальнейшего продолжения работы в развитии и продвижении новых междисциплинарных подходов. В представленном автореферате полностью отражено основное содержание диссертации.

Однако необходимо отметить и присутствие недостатков в диссертационной работе:

1. Стр. 42. На рисунке 2.6 представлены зависимости угла фарадеевского вращения Θ_F и шероховатости RMS от времени кристаллизационного отжига для пленок Bi,Ga:DyIG на подложках GGG. Показано, что после 10 минут отжига значение угла фарадеевского вращения на зависимостях достигает насыщения, при этом шероховатость составляет 3,3 нм. После 60 минут отжига угол фарадеевского вращения уже увеличивается незначительно, в то время как шероховатость вырастает до 10 нм и более. Структура поверхности пленок изменяется – при отжиге формируются уже более крупные зерна. В чем физический механизм насыщения значения угла фарадеевского вращения при изменении шероховатости образца с 3,3 до 10 нм?

2. Стр. 51. Были определены параметры перепада высот P , среднеквадратичного значения шероховатости RMS, и среднего размера поликристаллитов AGS. Однако в таблице не приведены средние размеры зерен AGS.

3. Стр. 65. Коэффициент пропускания через апертуру зависит от диаметра апертуры a и длины падающей волны λ как $(a/\lambda)^4$ [95]. В общем случае можно сказать, что ближнепольная оптическая микроскопия основана на эффекте присутствия в дальней зоне излучения идентифицируемых следов взаимодействия света с зондом, находящимся в ближнем световом поле, то есть на расстоянии много меньше длины волны h много меньше λ , что выражается условием $h \ll \lambda$. Для зондов с апертурой также должно выполняться условие, что апертура d меньше длины волны ($d < \lambda$). Как альтернатива сканирующей ближнепольной оптической микроскопии, не рассматривалась ли

возможность на исследуемых образцах нанесения наносфер, наночастиц, имеющих оптических резонанс, как источников усиления электромагнитного поля. Известно, что такого рода нанообъекты позволяют во много раз повысить эффективность взаимодействия света со средой, открыть новые явления, добиться увеличения оптических, нелинейно-оптических, магнитооптических эффектов [Bukharin, M. M., Pecherkin, V. Y., Ospanova, A. K., Il'in, V. B., Vasilyak, L. M., Basharin, A. A., & Luk'yanchuk, B. (2022). Transverse Kerker effect in all-dielectric spheroidal particles. Scientific Reports, 12(1), 7997., Wang, Z., Guo, W., Li, L. et al. Optical virtual imaging at 50 nm lateral resolution with a white-light nanoscope. Nat Commun 2, 218 (2011). <https://doi.org/10.1038/ncomms1211>, Wang, Z., & Luk'yanchuk, B. (2019). Super-resolution imaging and microscopy by dielectric particle-lenses. In Label-Free Super-Resolution Microscopy (pp. 371-406). Cham: Springer International Publishing.]

4. Стр. 88 Изначально лазерный луч имеет значение интенсивности 0,93. Какая единица измерения? Интенсивность лазерного излучения обычно измеряется в Вт/см².

Перечисленные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку работы. Тема диссертации и выполненная научная работа соответствуют специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики. Полученные автором результаты представлены на Российских и международных конференциях и опубликованы в 31ой работе в том числе 17 статей, входящих в перечень ВАК, цитируемых в Web of Science или Scopus. Содержание автореферата соответствует основным положениям и выводам из представленной диссертационной работы. Личный вклад автора достаточно полно изложен в диссертационной работе и автореферате.

Считаю, что диссертационная работа Высоких Ю.Е. «Магнитооптический метод в составе атомно-силовой микроскопии для исследования параметров поверхности и доменной структуры тонких пленок» является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям ВАК предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертации Высоких Ю.Е. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2. - Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, заведующая лабораторией макрокинетики неравновесных процессов Научного центра волновых исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (филиал)


Бармина Е.В.
Дата: 08 декабря 2023

Бармина Екатерина Владимировна, доктор физико-математических наук, заведующий Лабораторией макрокинетики неравновесных процессов Научного центра волновых исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук» (филиал), г. Москва.

119991, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Тел: +79852577588

E-mail: barminaev@gmail.com

Кандидатская диссертация защищена по специальности 01.04.21 - Лазерная физика

Докторская диссертация защищена по специальности 01.04.21 - Лазерная физика

Подпись Е.В. Барминой заверяю



Барминой Е.В.
ЗАВЕРЯЮ

СЕКРЕТАРЯ ИОФ РАН

Глушков В.В.

2023г.