УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Университета ИТМО
доктор технических наук, профессор

_____ В. О. Никифоров

«27» 08 2026 года

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Сырова Анатолия Андреевича «Термо- и магнитооптические эффекты в пространственно-неоднородных пленках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния

Центральной проблемой современной нанофотоники, несомненно, является сложность создания таких систем, свойства которых можно целенаправленно и обратимо изменять в результате внешних воздействий, причем желательно, чтобы переключение между различными состояниями происходили бы быстро. В качестве внешнего агента, вызывающего перестройку свойств наноструктурных элементов, трудно представить себе что-либо более перспективное, чем магнитное поле. Поскольку магнитооптические эффекты в большинстве случаев слабы, для изменения свойств оптических материалов желательной глубины условия воздействия должны быть оптимизированы. В связи с этими обстоятельствами, представленные в диссертационной работе А.А. Сырова исследования магнитооптических явлений в наноструктурированных пленках, несомненно, **актуальны**.

Соискатель создал большое число образцов тонких пленок, которые приобретали разнообразную структуру в зависимости от условий роста и послеростовой обработки, и исследовал их свойства. Для увеличения магнитооптической добротности, которая определяется отношением величины фарадеевского вращения к поглощению пленки, использовано катионное замещение, причем соискатель разработал способ создания пленок с градиентом химического состава в едином технологическом цикле с высокой степенью воспроизводимости свойств вдоль градиента за счёт единых условий синтеза. В отдельном

цикле исследований были получены однородные по толщине пленки диоксида ванадия, который испытывает фазовый переход металл-полупроводник в легко доступной области температур, что особенно важно для приложений. Соискатель использовал разнообразные методы послеростовой обработки пленок, в том числе, ионно-плазменное и кислотное травление.

В результате проведенных исследований обнаружены **новые** закономерности в зависимости магнитооптических свойств пространственно-неоднородных пленок феррит-гранатов от их толщины и их размеров и формы. Установлено сохранение эффекта Фарадея в пленках толщиной менее 10 нм, предложена математическая модель для описания их свойств. Обнаружено, что при определённых значениях толщины плёнки лабиринтная доменная структура исчезает и в пленке образуются магнитные домены неправильной формы. Установлена связь обнаруженного эффекта с неоднородностью пленки относительно температуры магнитной компенсации подрешёток.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования разработанных методов создания тонких пространственно-неоднородных пленок в различных фотонных устройствах. В частности, исследованные в диссертационной работе пленки феррит-гранатов могут стать основой для создания чувствительных датчиков магнитного поля, а также температуры и давления.

Диссертация состоит из введения, 5-ти разделов и заключения. Список литературы содержит 160 наименований и включает последние работы в области исследования.

Во введении автор формулирует цель работы и перечисляет решенные в ходе ее выполнения задачи, приводит защищаемые положения, отмечает новизну проведенных исследований и их значение для практики.

В первом разделе приведен обзор литературы по методам создания и исследованию термо- и магнитооптических эффектов в тонких пленках активно используемых материалов: диоксида ванадия и катион-замещенных феррит-гранатах. Особое внимание уделено созданию пространственно-неоднородных покрытий. Обсуждается влияние геометрических параметров пленок феррит-гранатов на их свойства, используемые в термоуправляемых фотонных устройствах.

Второй раздел посвящен описанию методов создания тонких неоднородных пленок, использованным автором, в том числе, напыление в вакууме и жидкофазная эпитаксия. Подробно описана постростовая обработка пленок ферритов-гранатов, включающая ионно-плазменное и кислотное травление. Описаны методы и приборы, применявшиеся автором

для контроля толщины пленок, исследования магнитных, оптических, магнитооптических, магнитно-резонансных и термоэлектрических свойств созданных в ходе исследования пленок. Приведены подходы к математическому моделированию актуальных для проводившихся исследований процессов напыления пленок и их травления. В конце этого раздела сформулированы полученные результаты.

В третьем разделе приведены результаты исследования термо- и магнитооптических эффектов в неоднородных пленках, полученных как непосредственно в процессе их напыления, так и в результате травления уже образовавшейся пленки. Описаны результаты, полученные при напылении пленок в неоднородном потоке, а также после травления через плоскую и сферическую маску. Раздел заканчивается формулировкой основных результатов, из которых особо следует выделить рекомендации по получению заданных распределений толщины напыленного материала в зависимости от расстояния между мишенью и подложкой, а также использования для этой цели различных масок, в том числе изогнутых.

Четвертый раздел посвящен размерным эффектам в тонких пленках феррит-гранатов, полученных различными способами: ионным травлением подложки, ионным травлением самой предварительно напыленной пленки, а также кислотным травлением. Исследованы оптические, магнитооптические и магнитно-резонансные свойства полученных пленок. Выяснено влияние ионного и кислотного травления на спектры ферромагнитного резонанса сформированных пленок железоиттриевого граната с атомами-заместителями: лантаном, галлием и алюминием. Исследованы также спектры оптического пропускания и эффекта Фарадея пленок висмут-замещенного железоиттриевого граната в зависимости от их толщины. Прослежено постепенное увеличение пропускания и уменьшение вращательной силы пленки при ее истончении. К наиболее интересным результатам здесь следует отнести обнаруженное изменение доменной структуры пленок при изменении их толщины, а также зависимость ширины резонансов от размеров и формы пленки. Важным представляется и установленный факт сохранения эффекта Фарадея в исследованных образцах толщиной, не превышающей десяти нанометров.

Пятый раздел посвящен размерным эффектам в тонких пленках диоксида ванадия. Созданы и исследованы фотонные кристаллы, предназначенные для работы в видимом и инфракрасном диапазоне. Слой оксида ванадия, толщина которого была различной в различных частях структуры, был зажат между многослойными диэлектрическими зеркалами, состоящими из чередующихся слоев оксида кремния и оксида титана. Фазовый переход в оксиде ванадия привел к температурному гистерезису пропускания полученной структуры в районе 70 градусов Цельсия шириной порядка 7 градусов на различных длинах волн от видимого до ближнего инфракрасного диапазона спектра.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Достоверность результатов и обоснованность выводов подтверждается воспроизводимостью полученных результатов, использованием современного оборудования и методик для исследований, согласованием с теоретическими и экспериментальными результатами других авторов, апробацией и обсуждением на конференциях и не вызывает сомнений.

По материалам диссертационной работы опубликовано 6 статей в рецензируемых научных журналах, получено 3 патента, опубликовано 5 статей в трудах научных конференций и 12 тезисов докладов в сборниках научных конференций. Выполненные автором эксперименты тщательно подготовлены и подробно описаны. Диссертация написана хорошим ясным языком. Описание физических явлений, исследованных в диссертации, раскрывает понимание автором их сути. **Основные результаты диссертации полно и своевременно опубликованы, автореферат полно и правильно отражает ее содержание.**

В то же время по работе можно сделать следующие замечания.

1. В разделах 4 и 5 обсуждаются эффекты, связанные как с эквивалентной толщиной исследованных неоднородных пленок феррит-гранатов, так и формой составляющих их частиц. К сожалению, в названии этих разделов влияние формы частиц на свойства неоднородных пленок не выделено и не подчеркнуто должным образом.
2. При осаждении тонких пленок на подложку как в самих пленках, так и в толще подложки из-за несоответствия кристаллической структуры контактирующих материалов возникают механические напряжения, роль которых в диссертации не обсуждена.
3. В описании эксперимента с брегговскими зеркалами недостаточно внимания уделено примененным методам контроля качества получаемых слоев и достигнутой добротности образовавшихся оптических резонаторов.
4. Для подтверждения активационного характера зависимости проводимости островковой пленки от температуры желательно было бы привести зависимость логарифма проводимости от обратной температуры.
5. На стр. 16 в формуле (3.1) представляется непоследовательным использовать в числителе удельное фарадеевское вращение, а в знаменателе – коэффициент пропускания, зависящий от толщины образца.

Сделанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают основные защищаемые положения и сформулированные выводы, то есть не снижают научную и практическую ценность полученных результатов.

На основании проведенного анализа считаем, что работа Сырова Анатолия Андреевича на тему: «Термо- и магнитооптические эффекты в пространственно-неоднородных пленках» по актуальности решаемых задач, научной новизне, степени достоверности и практической значимости результатов полностью отвечает требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013), а её автор, Сыров Анатолий Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на объединенном семинаре Международного научно-образовательного центра физики наноструктур и Института перспективных систем передачи данных Национального исследовательского университета ИТМО, протокол № 6 от «30» июня 2026 г. На семинаре присутствовало 22 человека.

Директор Международного научно-образовательного центра физики наноструктур, доцент, кандидат физико-математических наук — А.В. Иванов

Директор Института перспективных систем передачи данных, профессор, доктор физико-математических наук — А.Е. Романов

Сведения о ведущей организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО)

Почтовый адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

Веб-сайт: https://itmo.ru

Адрес электронной почты: od@itmo.ru