

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертацию на соискание  
ученой степени кандидата физико-математических наук**

**Кириянова Максима Андреевича**

**на тему: «Фемтосекундная динамика оптического отклика**

**металл-диэлектрических метаповерхностей**

**и магнитоплазмонных кристаллов» по специальности 1.3.19 –**

**«лазерная физика»**

Диссертационная работа Кириянова Максима Андреевича посвящена экспериментальному и численному исследованию нестационарных оптических и магнитооптических эффектов, возбуждаемых фемтосекундным лазерным импульсом в металлических и металл-диэлектрических наноразмерных структурах, обладающих поверхностными плазмонными резонансами. Исследования лазерно-индуцированной фемтосекундной динамики горячих электронов имеют фундаментальную значимость и позволяют лучше понять механизмы взаимодействия света с твердым телом на субпикосекундном и пикосекундном временном масштабе. Электронная динамика в наноразмерных системах может существенно отличаться от случая объемных материалов из-за резонансного взаимодействия света с веществом, изменения свойств электронов за счет размерных эффектов и увеличения вклада процессов, возникающих на границах раздела двух сред. Кроме того, задачи управления свойств фотонных устройств в режиме реального времени посредством внешних воздействий имеют большую практическую важность. Перестраиваемые резонансные наноструктуры в перспективе могут стать основой динамических устройств нового поколения, включая системы визуализации и построения изображений, обработки и передачи информации, оптических вычислений, элементы

интегральной оптики и др. В связи с этим актуальность диссертационной работы Кирьянова М.А. не вызывает сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем составляет 152 страницы, включая 70 рисунков. В списке литературы – 156 наименований.

В первой главе дан обзор основных понятий и используемых методик. Вторая глава посвящена исследованию изменения спектров коэффициента пропускания металл-диэлектрической метаповерхности при поглощении фемтосекундного лазерного импульса. В третьей главе исследуется влияние пространственного профиля одномерных плазмонных кристаллов на лазерно-индуцированную динамику дифференциального отражения в пикосекундном временном диапазоне. Четвертая глава посвящена исследованию спектров экваториального магнитооптического эффекта Керра одномерных никелевых магнитоплазмонных кристаллов под действием пространственно-неоднородного лазерного размагничивания.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Обнаружено, что в металл-диэлектрической метаповерхности лазерно-индуцированная динамика дифференциального пропускания на длинах волн возбуждения плазмонных резонансов существенно отличается от динамики пропускания в окрестности волноводных резонансов. Отличие связано с эффектом переноса электронов из зоны проводимости золота в валентную зону висмут-замещенного железо-иттриевого граната под действием резонансно поглощенного фемтосекундного импульса.

2. Показано, что под действием фемтосекундного лазерного нагрева одномерных плазмонных кристаллов режим связи поверхностного плазмона и падающей волны определяет форму временной зависимости дифференциального отражения при зондировании в спектральной окрестности плазмонного резонанса.

3. Впервые экспериментально продемонстрировано, что при лазерном размагничивании никелевых магнитоплазмонных кристаллов при определенных плотностях энергии импульса накачки значение экваториального магнито-оптического эффекта Керра в спектральной окрестности резонанса стоячих поверхностных плазмонов меняет знак. Изменение знака значения эффекта Керра связано не с изменением направления намагниченности, а с неоднородностью намагниченности вдоль поверхности магнитоплазмонного кристалла.

Представленные результаты получены на современном оборудовании, воспроизводятся в пределах погрешности при повторении измерений, находятся в согласии с имеющимися литературными данными. Предлагаемые автором качественные модели адекватно описывают полученные в эксперименте спектральные и временные зависимости. Экспериментальные результаты демонстрируют хорошее согласие с результатами численного моделирования, аналитических расчетов и оценок. Это указывает на высокую степень достоверности представленных результатов. В пользу их достоверности также говорит апробация на нескольких ведущих всероссийских и международных конференциях и публикация в виде статей в международных рецензируемых научных изданиях.

Научные положения и выводы, представленные в работе, являются в достаточной мере обоснованными. Они напрямую следуют из полученных экспериментальных результатов и подтверждаются с помощью численного моделирования.

Диссертационная работа Кирьянова М.А. написана понятным языком, хорошо структурирована и при прочтении оставляет впечатление законченного научного исследования. Поставленные в диссертации задачи можно в полной мере считать выполненными.

Тем не менее, хотелось бы сделать несколько замечаний:

1. В главе 1 представлен способ расчета диэлектрической проницаемости при нагреве электронного газа. Можно ли с его помощью оценить изменение диэлектрической проницаемости под действием лазерного импульса в Главе 2?
2. В главе 1 (стр. 55-59) и далее в главе 2 (стр. 100-101) описан процесс плазмон-индуцированной инжекции электронов. При этом приводятся данные о работе выхода, положении уровня Ферми и прочие параметры границ раздела. Полагаю, что словесного описания такого процесса недостаточно, требуется стандартная энергетическая схема.
3. В главе 2 не указаны добротности исследуемых решеточных плазмонных резонансов и волноводных мод. Может ли соискатель привести добротности упомянутых резонансов?
4. В главе 3 используются три образца, в которых структуры имеют различную высоту и различный профиль. При этом в выводах и втором защищаемом положении указано только влияние высоты на релаксационные кривые дифференциального отражения. Для однозначности такого вывода следовало бы привести расчетные зависимости для выбранной толщины и разных форм поверхности.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1- 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на

соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Кирьянов Максим Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика»

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры наноэлектроники, заведующий лабораторией  
«Фемтосекундная оптика для нанотехнологий»  
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»  
Мишина Елена Дмитриевна

«26» мая 2025

Контактные данные:

тел.: +7(499)215-65-65, e-mail: mishina@mirea.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано-электроника, приборы на квантовых эффектах

Адрес места работы:

119454, г. Москва, проспект Вернадского 78

тел.: +7(499)215-65-65, e-mail: mishina@mirea.ru

Подпись сотрудника ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»  
Е.Д. Мишиной удостоверяю:

« » \_\_\_\_\_ 2025