

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Павлова Дмитрия Владимировича «Безабляционная фемтосекундная лазерная печать многофункциональных плазмонных наноструктур и метаповерхностей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 «Лазерная физика»

Еще недавно контроль над взаимодействием излучения с веществом на субдифракционных масштабах рассматривался лишь как футуристическая возможность. Сегодня теоретические наработки середины прошлого века, благодаря развитию приборной базы, воплощаются в реальных устройствах. Их создание связано с управлением структурой материала на субмикронном и нанометровом уровне. Как правило, подобного рода объемные материалы и поверхности получают с применением дорогостоящих многостадийных литографических подходов. Вместе с тем, все чаще обсуждается использование лазерно-индуцированных процессов, в качестве более доступной и масштабируемой технологии для структурирования вещества с требуемой прецизионной точностью. Пока нельзя однозначно сказать, какой из подходов к лазерно-индуцированному дизайну новых материалов станет более перспективным – снизу-вверх (т.е. лазерный синтез наночастиц) или сверху-вниз (лазерная модификация и абляция). Автором диссертации рассматривается в работе, в большей мере, именно второй подход – преобразование тонких пленок металлов в пространственно-структурированные поверхности, обладающие уникальными оптическими свойствами, с использованием ультракороткого лазерного излучения. До сих пор многие фундаментальные аспекты, сопутствующие подобным процессам, остаются до конца неясны и требуют детальных исследований. Таким образом, считаю, что выбранная тема диссертации безусловно является актуальной.

Диссертационная работа Павлова Дмитрия Владимировича является законченным научным исследованием. Сформулированные в работе задачи достаточно ясны, а их последовательное выполнение обеспечило достижение поставленной цели. Текст автореферата отражает содержание диссертации, основные результаты представлены в 9 научных статьях, опубликованных в

рецензируемых журналах из списка ВАК. Также полученные результаты апробированы на международных и всероссийских конференциях. Научные положения, выносимые на защиту, основываются на детальном анализе экспериментальных данных, полученных с применением широкого круга современных и хорошо зарекомендовавших методик исследования, результаты которых находятся в согласии друг с другом, что подтверждает их достоверность.

Диссертационная работа изложена на 111 страницах и разделена на 4 главы. **Во введении** приведен подробный анализ современного состояния исследуемой области. Проведен анализ литературы, посвященный различным подходам, включая лазерную обработку, для создания материалов с особыми плазмонными свойствами. **Первая глава** содержит исчерпывающую информацию об экспериментальных методиках для синтеза материалов и их модификации, а также о методиках анализа, используемых в работе. **Вторая глава** посвящена результатам многостороннего экспериментального анализа взаимодействия пучков фемтосекундной длительности с нанометровыми пленками благородных металлов различной толщины. Особое внимание уделено вопросу использования дифракционного оптического элемента для повышения скорости прямой печати плазмонных наноструктур. **В третьей главе** анализируются линейные и нелинейные оптические свойства полученных образцов. Обсуждаются вопросы повышения их эффективности. Последняя **четвертая глава** содержит результаты изучения прикладной значимости полученных образцов в задачах повышения эмиссии квантовых излучателей, а также сверхтонкого анализа состава окружающей среды. Одним из ключевых моментов является функционализация образцов дополнительными наноструктурами – квантовыми точками теллурида ртути.

Таким образом, диссертационная работа Павлова Дмитрия Владимировича представляет собой цельное и достаточное по объему исследование, автор показал необходимую квалификацию, полученные им данные являются достоверными.

Вместе с тем к работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. На стр. 13 сообщается: «Данная особенность также позволяет более точно и детально моделировать процесс взаимодействия лазерного излучения с веществом...» Вероятно, предполагается сравнение с импульсами нс

длительности. В таком случае данное утверждение весьма спорно, особенно для случая «безабляционного» воздействия, рассматриваемого в данной работе, когда не возникает необходимости учета плазменной экранировки. В основе использования хорошо известной двухтемпературной модели лежит много допущений, а в ряде случаев даже возникают проблемы с экспериментальной верификацией. Вопрос изменения свойств вещества по мере накопления энергии в электронной подсистеме до сих пор интенсивно исследуется. В тоже время для коротких импульсов простая однотемпературная модель (и даже простые оценки на ее основе) с хорошей точностью описывают экспериментальные результаты.

2. На стр. 14 сообщается «Следует отметить, что взаимодействие остросфокусированного фс лазерного импульса с поверхностью металла, как правило, ассоциируется с плавлением и абляционным выносом расплавленного материала в виде наночастиц». Что значит абляционный вынос? Речь идет об испарении? Что подразумевается здесь и далее под термином абляция?

3. Наиболее значимым замечанием является отсутствие полноценной характеристики исходных покрытий. В первую очередь это касается данных об оптических свойствах (коэффициент отражения, поглощения и т.д.). В зависимости от условий напыления морфология, структура и прочие свойства пленок могут значительно различаться, что приведет к отличию в оптических индексах и, соответственно, поглощению излучения.

4. В разделе личный вклад автора описано «Автором лично получены все экспериментальные результаты.» Однако, в п.1.5. Главы 1 (стр. 37) описаны подходы к численному моделированию, были ли они выполнены автором? Было бы уместно представить детальнее расчетную задачу, указать геометрию расчета, входные параметры, граничные условия и т.д.

5. На стр. 41 сообщается В случае использования подложки с теплопроводностью существенно ниже таковой для металла (например, стекло или монокристаллический кремний), охлаждение расплавленного участка происходит, главным образом через латеральный транспорт тепла, который приводит к застыванию (или рекристаллизации) этого участка на временных интервалах, занимающих единицы или десятки наносекунд». Для обоснования данного утверждения было бы уместно сопоставить температуропроводности кремния и исследуемых металлов с учетом их пространственных масштабов.

Влияет ли переход от кремния к стеклу с теплопроводностью меньшей на два порядка на результаты лазерного воздействия?

6. В Главе 4. представлено детальное описание применения изготовленных массивов наноструктур в задачах прецизионной детекции изменения показателя преломления в окружающем пространстве. В рамках данного применения требуется уточнение, чем заполнен внутренний объем созданных структур? Может ли происходит его нежелательное заполнение сторонними газами или исследуемой средой? Как это повлияет на результаты измерений.

Сделанные замечания не затрагивают обоснованности положений, достоверности выводов и не умаляют общего хорошего впечатления о работе. Считаю, что диссертационная работа Павлова Дмитрия Владимировича отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присвоения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 «Лазерная физика».

Даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

к.ф.-м.н. Старинский С.В.

10.02.2023

Подпись Старинского Сергея Викторовича заверяю:

Ученый секретарь ИТ СО РАН, к.ф.-м.н.



М.С. Макаров

10.02.2023

Старинский Сергей Викторович, кандидат физико-математических наук по специальности – 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника», starikhbz@mail.ru, +7-999-469-15-15, старший научный сотрудник Лаборатории «Физическо-химических процессов в энергетике», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (ИТ СО РАН). Россия, г. Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 1, 630090, <http://www.itp.nsc.ru/>