

## ОТЗЫВ

официального оппонента д. ф.-м.н., доцента Володина Владимира Алексеевича  
о диссертационной работе Соколовской Ольги Игоревны  
«Влияние упругого рассеяния света на эффективность поглощения  
и комбинационного рассеяния света в средах с неоднородностями  
субмикронного размера», представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Тематика диссертационной работы О.И. Соколовской находится на стыке оптики и биофотоники и посвящена оптимизации условий, в которых возможно усиление поглощения и комбинационного рассеяния света в среде при его многократном упругом рассеянии микро- и наночастицами, намеренно помещёнными в данную среду. При этом существует возможность контролируемо изменять концентрацию микро- и наночастиц.

Этот же подход используется для селективного нагрева в биообъектах. Методы, использующие селективный нагрев недоброкачественных опухолей в живом организме без нанесения вреда здоровым тканям, путём введения поглощающих лазерное излучение наночастиц уже используются на практике, и задача их оптимизации (частично решаемая в представленной диссертации) очень **актуальна**.

Известно, что если размер объектов на порядки превосходит длину волны света, то рассеяние света на таких объектах определяется законами геометрической оптики. Если среда состоит из смеси объектов, размеры которых много меньше длины волны света, то такую среду можно считать однородной средой с эффективными оптическими константами, определяющимися оптическими свойствами и долей каждого элемента смеси (например модель Бруггеманна и другие модели). Однако, на практике часто имеется дело с ситуацией, когда размеры объектов сравнимы с длиной волны света. В этом случае точное решение системы уравнений Максвелла как правило невозможно, и пользуются приближёнными моделями, такой, например, как модель Ми, которую и использовала автор. Если такие рассеиватели распределены в среде хаотически, то используют статистические методы расчёта диффузного рассеяния и поглощения фотонов, наиболее адекватной из которых является метод Монте-Карло, использованный автором. В связи с этим, **достоверность** расчётов представляется вполне достаточной. Что касается экспериментальных данных, они получены с использованием апробированных методик и также вполне достоверны.

В работе получены **новые** рассчитанные и экспериментальные результаты, среди которых можно отметить разработанный подход получения нанокристаллических частиц кремния путём пикосекундных лазерных воздействий на суспензии из микрокристаллических частиц кремния.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объем работы составляет 145 страниц и включает в себя 49 рисунков и 12 таблиц. Список литературы, содержащий 255 наименований, отражает тщательный подход автора при анализе литературы по теме диссертации.

Во **введении** приведены общие сведения о диссертационной работе, такие как актуальность выбранной темы исследования, цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, выносимые на защиту положения, а также информация о публикациях соискателя и данные об апробации результатов работы.

**Первая глава** носит обзорный характер и посвящена анализу моделей «мутных» сред, то есть сред, содержащих сильно рассеивающие частицы, которые хаотически расположены. Последующие главы описывают результаты работы автора.

**Вторая глава** посвящена исследованию влияния наночастиц кремния на эффективность фотогипертермии раковых опухолей в биотканях. Она содержит расчёты автора, которые могут быть весьма полезными для постановки практической тераностики — то есть и диагностики, и терапии раковых опухолей кожи. Следует отметить, что задача теплопроводности в живой системе гораздо сложнее чем задача теплопроводности в неживых системах. В первом случае необходимо ещё учитывать тепло, которое выделяется в результате метаболизма, а также теплообмен, связанный с потоком крови. Сделан вывод, что температуры, при которых реализуется гипертермия, могут быть достигнуты во всем объеме опухоли при использовании непрерывного лазерного излучения с интенсивностями намного ниже порога теплового разрушения биоткани, при этом без наночастиц при тех же условиях облучения полный нагрев рассматриваемой опухоли невозможен без существенного перегрева здоровой ткани.

**Глава 3** посвящена исследованию фазовых переходов при лазерном воздействии на водную суспензию кремниевых микрочастиц. Было выполнено моделирование, были оценены оптимальные концентрации микрочастиц в суспензиях с точки зрения минимального расхода субстрата для лазерной фрагментации, обеспечивающего достаточную эффективность плавления. Показано, что такой метод позволит получать наночастицы кремния с довольно неплохой производительностью.

**Глава 4** содержит не только результаты моделирования, но и экспериментальные результаты исследования комбинационного рассеяния света в «мутных» средах. Центральным результатом этой главы является возможность увеличения сигнала комбинационного рассеяния света в разы (до семи с половиной раз). **Достоверность** экспериментальных результатов подтверждается тем, что они получены с использованием современных

экспериментальных и методов, среди которых стоит отметить оптическое гетеродирование.

В **заключении** диссертационной работы представлены основные результаты и выводы, которые свидетельствуют о том, что были получены новые интересные фундаментальные результаты, а также о возможностях широкого практического применения полученных результатов.

Результаты работы были представлены автором на российских и международных конференциях и опубликованы в восьми печатных работах, в том числе четырёх статьях в рецензируемых научных изданиях.

**Автореферат** соответствует тексту диссертационной работы.

Однако диссертационная работа не свободна от недостатков.

1) Первый вывод диссертационной работы очень важен для оптимизации процесса гипертермии опухолей, но для практического использования результатов было бы полезно получить конкретные рекомендации — какая концентрация наночастиц кремния оптимальна. Это скорее пожелание автору на будущее.

2) Обзор современного состояния оптики сильно-рассеивающих сред довольно полон, но не содержит модели Смолуховского, с его теорией опалесценции. Вполне возможно, что упругое рассеяние на флуктуациях плотности в среде также внесёт вклад в наблюдаемые явления.

3) Учитывалось ли при анализе фазовых переходов при лазерном воздействии на водную суспензию кремниевых микрочастиц возможное окисление кремния в водной среде? Ведь температуры достаточно высоки.

4) Также в тексте присутствуют ошибки и опечатки. В качестве примера приведу: зачастую, уже после первого введения аббревиатуры, далее по тексту используется не аббревиатура, а опять полное значение, это касается многих используемых аббревиатур; страница 23 — формулы Френеля приведены с ошибкой, для ТЕ-волны должен быть синус разности угла падения и угла преломления, для ТМ-волны должен быть тангенс разности угла падения и угла преломления, а в формуле приведены просто углы; не все формулы пронумерованы и не все обозначения в формулах приведены.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования.

Считаю, диссертация «Влияние упругого рассеяния света на эффективность поглощения и комбинационного рассеяния света в средах с неоднородностями субмикронного размера» соответствует специальности 1.3.6 «Оптика» (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 приложениям № 8 и 9 «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», а ее автор — Соколовская Ольга Игоревна — заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник лаборатории  
неравновесных полупроводниковых систем  
Института физики полупроводников  
имени А.В. Ржанова Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИФП СО РАН)

Володин Владимир Алексеевич

«28» мая 2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (383) 333-24-70

E-mail: volodin@isp.nsc.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена докторская диссертация:

01.04.10 — «Физика полупроводников»

Адрес места работы:

630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 13  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова  
Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФП СО РАН)

Телефон: +7 (383) 330-90-55; e-mail: ifp@isc.nsc.ru

Подпись Володина Владимира Алексеевича заверяю:

Учёный секретарь

ИФП СО РАН

к.ф.-м.н.

С.А. Аржанникова