

## ОТЗЫВ

**официального оппонента Осадчего Александра Валентиновича на диссертационную работу Би Дунсюэ «Комбинационное рассеяние света в микро-структурированных средах», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».**

Микро-структурированные среды активно исследуются различными методами в связи с возможностью реализации в них новых оптических явлений, перспективных для приложений. В диссертации Би Дунсюэ «Комбинационное рассеяние света в микро-структурированных средах» исследованы важные примеры микро-структурированных сред: мезопористые фотонные кристаллы в виде кварцевых опаловых матриц, фотонно-кристаллические плёнки анодного оксида алюминия, гетерогенные смеси микрочастиц алмазов или сферических наночастиц аморфного кварца с диэлектриками и супензий твердотельных частиц в жидкости. Исследование микро-структурированных сред было выполнено с использованием методов лазерной спектроскопии спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния света.

Актуальность темы диссертации обусловлена тем, что в настоящее время активно развиваются технологии формирования и исследования микро-структурированных сред. Такие среды широко используются в различных областях науки и техники, но далеко не все свойства этих сред хорошо изучены. Это затрудняет их эффективное использование, в частности при проведении спектрального анализа методом комбинационного рассеяния. Новым направлением применения микро-структурированных сред является их использование для усиления оптических эффектов, в том числе интенсивности сигналов КР. Исследования в этой области открывают возможность для создания новых высокочувствительных сенсоров молекулярных структур и новых источников лазерного излучения на основе

эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Таким образом, тематика диссертационной работы Би Дунсюэ является вполне обоснованной.

Диссертационная работа Би Дунсюэ состоит из введения и четырех глав. Диссертация содержит 126 страниц, 56 рисунка, 4 таблицы и 183 наименования. Во введении рассмотрены актуальность темы, степень её разработанности и перспективы дальнейших исследований. Сформулированы цели и задачи диссертационной работы, научная новизна, практическая значимость и личный вклад диссертанта; приведены основные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов и дана информация о структуре и объеме диссертации.

В первой главе представлена информация об истории исследования по теме диссертации и текущем состоянии тематики диссертационной работы. Проанализированы опубликованные результаты о свойствах фотонных кристаллов и других микро-структурированных сред. Сообщаются также основные закономерности об особенностях спектров КР в микро-структурированных средах и условиях повышения интенсивности КР в фотонных кристаллах и близких структурах.

Во второй главе диссертации изложена методика экспериментальных исследований, выполненных в данной работе. Приведены данные о технологии синтеза микрочастиц, используемых в работе. Представлены характеристики используемых экспериментальных установок с применением волоконно-оптической техники для подведения сигнала КР к миниспектрометру. Изложены методы подавления возбуждающего излучением с применением селективных светофильтров при регистрации спектров КР. Даны сведения о многоэлементных приёмниках излучения на выходе миниспектрометра для обеспечения экспресс-регистрации спектров КР. Приведены методики для анализа спектров пропускания и отражения

широкополосного излучения от фотонных кристаллов, необходимые для установления спектрального положения стоп-зон. Изложены особенности методики регистрации спектров решёточного и низкочастотного ВКР. Комплексный подход и использование последних достижений лазерной спектроскопии обеспечивают достоверность и большую надёжность полученных экспериментальных результатов.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований спектров спонтанного КР в микро-структурированных средах, созданных на основе мезопористых опаловых матриц, а также фотонно-кристаллических плёнок анодного оксида алюминия. Установлено, что спектральные положения стоп-зон опаловых матриц и одномерных фотонно-кристаллических плёнок анодного оксида алюминия могут варьироваться в широком (до 300 нм) спектральном диапазоне. Это обеспечивает подстройку частоты возбуждающего излучения к спектральному положению соответствующих стоп-зон, что позволяет увеличить интенсивность КР на несколько порядков за счёт аномального уменьшения групповой скорости. Показано, что интенсивность спектров КР композитных фотонных кристаллов существенным образом возрастает при изменении периода кристаллической решетки фотонного кристалла и угла падения возбуждающего излучения на его поверхность.

Глава 4 посвящена исследованию спектров КР в микро-структурированных средах на основе микрочастиц близких размеров. Получены и проанализированы спектры вторичного излучения алмазов различных типов. Обнаружено присутствие связанных состояний пар фононов с большой энергией связи (спектры КР второго порядка) в микрокристаллах алмазов заданных размеров в условиях фононного конфайнмента. Показано, что в алмазах, полученных при высоких давлениях и температурах (НРНТ-алмазах), присутствуют NV-центры с большой

концентрацией. Установлено, что спектр фотолюминесценции на NV-центрах существенно видоизменяется в зависимости от интенсивности возбуждающего излучения. Обнаружено возрастание интенсивности спонтанного КР в условиях диффузного характера траектории фотонов в микрокомпозитах, подготовленных в виде спрессованных смесей микроалмазов близких размеров с неорганическими и органическими диэлектрическими средами. Показано, что коэффициент преобразования наносекундных импульсов рубинового лазера в вынужденное низкочастотное рассеяние света на осцилляциях формы наночастиц алмазов и аморфного кварца близких размеров в жидкости достигает 40%. На основе этого могут быть созданы источники направленного бигармонического лазерного излучения.

Научные положения диссертационной работе Би Дунсюэ, надёжно обоснованы в результате проведения систематических экспериментальных исследований и сопоставления полученных экспериментальных результатов с теорией.

Сделанные выводы о результатах исследований основаны на использовании современных представлений о закономерностях распространения электромагнитного излучения в фотонных кристаллах и родственных структурах. Основные результаты диссертации Би Дунсюэ являются оригинальными и достоверными. Выполненное исследование спектров спонтанного и вынужденного КР в микро-структурированных средах имеет важное значение как для развития теории распространения электромагнитного излучения в дисперсных средах, так и для приложений, связанных с использованием методов спонтанного и вынужденного КР для анализа колебательных спектров диэлектрических сред. Основные результаты диссертации опубликованы в 11 статьях, индексируемых в базе данных «Web of science», докладывались на различных конференциях и симпозиумах и

получили одобрение ведущих специалистов.

В целом диссертационная работа Би Дунсюэ представляет собой многостороннее исследование важной проблемы установления закономерностей КР в микро-структурированных средах упорядоченных и разупорядоченных типов. Работа носит законченный, целенаправленный характер, а её результаты не вызывают сомнения с точки зрения их научной новизны, значимости и обоснованности положений, выдвигаемых на защиту.

Среди недостатков данной диссертации отметим следующие:

1. В диссертации недостаточно подробно изложены методы введения диэлектрических сред в поры глобуллярных фотонных кристаллов и в каналы фотонно-кристаллических плёнок анодного оксида алюминия. Не приведены также способы контроля степени заполнения этих пор диэлектриками.
2. При анализе следовых количеств веществ с помощью осаждения их на алмазное остиё не приведены оценки порогового количества химических соединений, которое можно анализировать предлагаемым методом.
3. При анализе ВКР в суспензии микроалмаза не сообщается об относительной интенсивности стоксовых и антистоксовых компонент, а приведены лишь их нормированные значения.
4. В тексте диссертации имеются опечатки и стилистические погрешности, например, несогласованность падежей на стр. 37 «интерферометр Фабри-Перо, обеспечивающим возможность» и на стр. 103 «сравним с длины волны».

Указанные замечания не умаляют значимости данного диссертационного исследования. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.05 – «Оптика», автореферат правильно отражает ее содержание. Список цитируемой литературы полностью соответствует содержанию работы.

Таким образом, представленная Би Дунсюэ диссертация «Комбинационное рассеяние света в микро-структурированных средах» удовлетворяет требованиями, установленным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а автор работы, Би Дунсюэ, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика».

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории спектроскопии наноматериалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»

Осадчий Александр Валентинович

«23» ноября 2020 г.

Почтовый адрес: 119991, Москва, ул. Вавилова, 38,

Телефон: +7 (499)503-87-80.

E-mail: aosadchy@kapella.gpi.ru

Подпись А.В. Осадчего удостоверяю:

ВРИО ученого секретаря ИОФ РАН, д.Ф.-м.н.

Глушков Владимир Витальевич



Список основных научных публикаций старшего научного сотрудника Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, кандидата физико-математических наук Осадчего Александра Валентиновича по теме диссертации Би Дунсюэ «Комбинационное рассеяние света в микро-структурированных средах», представленной к защите на соискание ученой степени физико-математических наук по специальности 01.04.05 - «Оптика».

1. Arutyunyan, R.V., Vasiliev, A.D., Obukhov, Y.N., **Osadchy, A.V.** Metastable One-Electron Excited States of Charged Fullerenes. *Journal of Nanomaterials*. 2019, 5864604.
2. Chaika, V.A., Savin, V.V., Savina, L.A., **Osadchy, A.V.**, Zherebcov, I.S. Synthesis of diamond-like structures by method of mechanochemical treatment of nano-carbon materials (Taunit). *Key Engineering Materials*. 2019, 814: 41-46.
3. **Osadchy, A.V.**, Vlasov, I.I., Kudryavtsev, O.S., et al. Luminescent diamond window of the sandwich type for X-ray visualization. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 2018, 124(12), 807.
4. Arutyunyan, R.V., **Osadchy, A.V.** The systems of volume-localized electron quantum levels of charged fullerenes. *Journal of Nanomaterials*. 2018, 7526869.
5. Chaika, V.A., Savin, V.V., Savina, L.A., **Osadchy, A.V.**, Zherebcov, I.S. Structural-phase changes of graphite during mechanochemical treatment. *Key Engineering Materials*. 2018, 777: 205-209
6. **Osadchy, A.V.**, Obraztsova, E.D., Savin, V.V., Svirko, Y.P. Computer simulation of edge-terminated carbon nanoribbons. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*. 2017, 44(5): 151-153.
7. Levshov, D.I., Avramenko, M.V., Than, X.-T. Michel T., Arenal R., Paillet M., Rybkovskiy D.V., **Osadchy A.V.**, Rochal S.B., Yuzyuk Y.I., Sauvajol J.-L. Study of collective radial breathing-like modes in double-walled carbon nanotubes: Combination of continuous two-dimensional membrane theory and Raman spectroscopy. *Journal of Nanophotonics*. 2016, 10(1): 012502.