

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук Анашкиной Елены Александровны
на диссертационную работу Корсаковой Светланы Владимировны
«Взаимодействие мод световода с внешней поглощающей средой в сенсорных элементах
для волоконной эванесцентной спектроскопии среднего ИК-диапазона»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.05 – Оптика

Актуальность темы исследования.

Спектроскопия среднего инфракрасного (ИК) диапазона является востребованной и быстро развивающейся областью научных исследований, поскольку в этом диапазоне находится большое количество характерных полос поглощения различных органических и неорганических молекул. Для подобных задач представляет огромный интерес применение халькогенидных волокон, прозрачных до 10-25 мкм (в зависимости от состава). Разработка сенсоров на основе халькогенидных волокон востребована для диагностики газов, контроля производственных процессов, систем безопасности, медицинской диагностики и др. В диссертационной работе Корсаковой С.В. осуществляется разработка и развитие математических моделей и методов расчета сенсорных элементов на основе халькогенидных световодов для волоконной эванесцентной спектроскопии среднего ИК-диапазона, а также проводятся теоретические и экспериментальные исследования особенностей взаимодействия оптического излучения с внешней поглощающей средой в таких элементах, что представляется весьма актуальными задачами.

Достоверность результатов подтверждается согласованностью теоретических и экспериментальных результатов и согласованностью полученных результатов с литературными данными. В исследованиях применялись надежные и хорошо апробированные методы численного расчета, позволяющие производить проверку правильности их работы. Основные положения диссертации опубликованы в ведущих международных и российских журналах, докладывались на многочисленных российских и международных конференциях, обсуждались на различных семинарах.

Научная новизна результатов.

Впервые разработаны теоретические модели взаимодействия оптического излучения с внешней поглощающей средой в сенсорных элементах на основе регулярных и изогнутых халькогенидных световодов, в рамках которых не делается допущения о малости коэффициента поглощения внешней среды и не используется приближение слабо направляющего световода.

Выявлены особенности взаимодействия мод регулярных и изогнутых халькогенидных световодов с внешней поглощающей средой в виде двухкомпонентного жидкого раствора. Впервые рассчитаны и исследованы продольные коэффициенты затухания мощности для мод с разными радиальными и азимутальными порядками. Для мод разных порядков впервые получена зависимость углового коэффициента затухания мощности от радиуса изгиба световода.

Разработана методика расчета выходных характеристик (диапазон измеряемых значений концентрации раствора, чувствительность и предел обнаружения вещества в растворе) волоконно-оптического спектроскопического датчика. Впервые проведены расчеты поглощательной способности для отдельных мод и групп мод регулярного световода в сенсорных элементах разной длины. Впервые получены выходные характеристики сенсорного элемента на основе регулярного световода, как бесструктурного, так и с тонкой кольцевой оболочкой, на заданной длине волны в полосе поглощения исследуемого вещества для отдельных мод, а также для групп мод разных порядков. Установлено, что уменьшить предел обнаружения вещества в растворе можно, используя для передачи излучения моды с высокими порядками.

Проведена верификация разработанных теоретических моделей в лабораторном эксперименте по измерению концентрации водного раствора ацетона и двухкомпонентной смеси нефтепродуктов. Установлено согласие результатов измерений пропускания сенсорного элемента на основе бесструктурного регулярного световода, погруженного в водный раствор ацетона различной концентрации, и расчетных результатов.

Научная и практическая значимость диссертации.

В диссертации разработаны достаточно универсальные подходы, методические основы и математические модели для описания сенсорных элементов на основе халькогенидных световодов различной геометрии, заложены основы для создания компьютерной системы проектирования волоконно-оптических спектроскопических датчиков. Кроме того, проведенные лабораторные эксперименты позволили получить ряд важных результатов для эванесцентной спектроскопии среднего ИК диапазона. Полученные теоретические и экспериментальные результаты представляют интерес как для фундаментальной науки, так и для практических приложений, в частности, для разработки систем дистанционной диагностики и контроля в режиме реального времени.

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем составляет 177 страниц, включая 74 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 148 источников.

Во Введении обосновывается актуальность темы диссертации, определяются цели и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приводится краткое содержание глав и результаты апробации исследования, формулируются положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор описывает теоретические модели и методологию исследования особенностей взаимодействия излучения в регулярных и изогнутых халькогенидных световодах с внешней поглощающей жидкой средой в сенсорных элементах волоконно-оптических спектроскопических датчиков. Автор обсуждает постановку краевой задачи в рамках спектральной теории диэлектрических волноводов и численные методы ее решения, не делая допущения о малости коэффициента поглощения внешней среды и не используя приближения слабонаправляющего волновода.

Во второй главе приведены результаты лабораторных измерений спектров пропускания сенсорных элементов на основе многомодовых бесструктурных прямых и U-образных световодов, изготовленных из стекла $\text{Ge}_{26}\text{As}_{17}\text{Se}_{25}\text{Te}_{32}$. Измерения выполнены на базе лабораторного Фурье-спектрометра Bruker IFS 113v с тепловым источником излучения (глобар). Данные результаты используются для верификации теоретических моделей, разработанных в первой главе.

В третьей главе автор теоретически исследует особенности взаимодействия оптического излучения в сенсорных элементах на основе регулярного световода с внешней поглощающей средой, в качестве которой рассматриваются водные растворы ацетона различной концентрации. Автором произведен анализ сенсорных элементов на основе как бесструктурных световодов, так и световодов с тонкой кольцевой оболочкой. Автор использует теоретические модели, разработанные в главе 1, а также сравнивает результаты с результатами лабораторных экспериментов, представленных в главе 2.

В четвертой главе теоретически исследуются особенности взаимодействия оптического излучения с внешней поглощающей средой в изогнутом халькогенидном световоде. В качестве внешней поглощающей среды рассматриваются растворы дизельного топлива с антифризной присадкой в малой концентрации. Как и в третьей главе, осуществляется сравнение с экспериментальными результатами.

В пятой главе проводится исследование спектральных зависимостей дисперсии групповой скорости высших мод регулярных халькогенидных световодов с бесконечной оболочкой (как воздушной, так и стеклянной), а также обсуждается возможность совмещения функции генератора суперконтинуума и сенсорного элемента в одном волоконном устройстве.

В заключении представлен список основных результатов работы.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов работы обуславливается применением надежных и хорошо апробированных методов численного расчета, а также верификацией полученных численных результатов в ходе лабораторных экспериментов. Диссертационная работа Корсаковой С.В. представляет целостное исследование. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе Корсаковой С.В., являются обоснованными. Новизна научных положений не вызывает сомнений.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации.

По материалам диссертации опубликованы 19 работ, в том числе 6 статей в рецензируемых научных журналах из списка рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и индексируемых в Scopus и Web of Science, 8 статей в сборниках конференций, индексируемых в Scopus и Web of Science, и 5 – в других изданиях. Получены 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Особенно следует отметить публикации автора по теме диссертации в высокорейтинговых журналах IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Optics Express и Journal of Non-Crystalline Solids.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации и характеризуют результаты проведенных исследований.

Замечания по работе.

Представленная работа выполнена на высоком научном уровне. В то же время имеются некоторые замечания.

- Во второй, третьей и четвертых главах исследуются световоды из халькогенидного стекла $\text{Ge}_{26}\text{As}_{17}\text{Se}_{25}\text{Te}_{32}$, а в пятой главе – из стекла As_2Se_3 и пары стекол $\text{As}_2\text{Se}_3/\text{As}_2\text{S}_3$. В пятой главе следовало бы пояснить выбор, ведь аппроксимационные зависимости показателей преломления от частоты, необходимые для расчетов дисперсии, известны для различных халькогенидных стекол, а не только для As_2Se_3 и As_2S_3 .
- В пятой главе автор обсуждает возможности генерации суперконтинуума в сенсорных элементах на основе многомодовых световодов с рассчитанной дисперсией. Следует отметить, что на генерацию суперконтинуума влияет нелинейный керровский коэффициент (пропорциональный нелинейному показателю преломления и обратно пропорциональный произведению эффективной площади моды на длину волны), поэтому было бы полезно оценить (рассчитать) эффективные площади найденных мод и соответствующие нелинейные коэффициенты как функции длины волны для анализируемых световодов. Также было бы интересно оценить характерные нелинейные длины при разумных пиковых мощностях накачки.

- Во введении на стр. 13 и 14 сказано, что в настоящее время отсутствуют волоконные лазеры среднего ИК диапазона. Следует отметить, что это не так. Волоконные лазеры в диапазоне 3-4 мкм на основе фторидных волокон, легированных редкоземельными ионами, были продемонстрированы в ряде работ различных научных групп (например, <https://doi.org/10.1364/OL.42.002054>; <https://doi.org/10.1364/OE.26.008224>; <https://doi.org/10.1049/el:19950858>). Кроме того, существуют рамановские волоконные лазеры на основе халькогенидных световодов (например, <https://doi.org/10.1364/OL.39.002052>).
- В выводах к главам 3, 4 и 5 после обобщения проделанной автором работы и формулировки основных результатов содержатся абзацы, которые было бы уместнее привести в начале соответствующих глав. А именно, в выводах к главе 3 в последнем абзаце обсуждаются способы селективного и неселективного возбуждения мод (не обсуждавшиеся в самой главе), приводятся ссылки на существующие источники ближнего ИК диапазона, хотя в работе основное внимание уделено среднему ИК диапазону. В последнем абзаце в выводах к главе 4 сообщается о коммерчески доступных U-образных зондах на основе халькогенидных (As-S) и поликристаллических световодов (AgCl:AgBr). В выводах к главе 5 в предпоследнем абзаце приведены литературные данные по использованию высших мод многомодовых световодов.
- В работе встречаются опечатки и неточности. Например, рисунки 1.1 и 1.4 по сути идентичны. Используется обозначение логарифма без указания основания “log”, что немного смущает, поскольку также встречаются обозначения “ln” (на стр. 40, в формулах (1.32), (1.43), (1.46), и др.) и “lg” (в формуле (2.3)). Вероятно, на стр. 105 в предложении “Так, в измеренное пропускание 1% водного раствора ацетона в полосе поглощения с $\lambda = 8.08$ мкм на Рисунке 2.7а...” должно быть “ $\lambda = 8.18$ мкм”.

Указанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Корсаковой Светланы Владимировны «Взаимодействие мод световода с внешней поглощающей средой в сенсорных элементах для волоконной эванесцентной спектроскопии среднего ИК-диапазона» удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям в пп.9-11,13,14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Корсакова Светлана Владимировна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Официальный оппонент:

Анашкина Елена Александровна, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика, старший научный сотрудник лаборатории экстремальной нелинейной оптики

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН).

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Адрес сайта: <https://ipfran.ru/>

Телефон: +7(920)258-34-13

E-mail: elena.anashkina@ipfran.ru

Я, Анашкина Елена Александровна, выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Анашкина Е.А.

14.04.2021

Подпись Анашкиной Е.А. удостоверяю

Ученый секретарь учреждения

к.ф.-м.н.



Корюкин И.В.