

УТВЕРЖДАЮ



Первый проректор РТУ МИРЭА

Н.И. Прокопов

«_23_» января 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу *Судаса Дмитрия Петровича* «Нелинейно-оптические свойства теллурида висмута на поверхности кварцевого волоконного 'световода», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационной работы. Распространенный тип модулятора добротности для импульсных волоконных лазеров представляет собой утонченный участок волокна с нанесенным на его поверхность насыщаемым поглощающим слоем. В этой конструкции материал поглотителя в виде тонкой пленки или нанопорошка взаимодействует только с затухающим полем фундаментальной моды, локализованным в непосредственной близости от сердцевины волокна. Поскольку материал подвергается воздействию только небольшой (эванесцентной) части светового поля, которая локализована в основном в сердцевине, он не подвергается воздействию света высокой интенсивности, типичного для лазерных схем. Для обеспечения более эффективного взаимодействия тонкоплёночных и нанопорошковых поглощающих материалов с эванесцентным полем в качестве внешнего покрытия используются специальные прозрачные среды, например, полимеры. Такое покрытие с высоким показателем преломления способствует вытягиванию затухающего поля моды изнутри волокна, а также действует как защита от

внешних химических и механических воздействий. Температура окружающей среды сильно влияет на показатель преломления полимеров, используемых в качестве наружного покрытия, и, следовательно, на напряженность эванесцентного поля внутри материала. Нанесенные тонкие пленки SA покрывают полимерами в первую очередь для предотвращения окисления на воздухе.

Теллурид висмута показал себя эффективным насыщающимся поглотителем для изготовления пассивных модуляторов добротности для волоконных лазеров. Этот материал относится к классу топологических изоляторов, имеющих поверхностные состояния, устойчивые к условиям окружающей среды, особенно к температуре. Теллурид висмута демонстрирует нелинейно-оптические свойства от видимого до терагерцового спектральных диапазонов, при этом он обладает низким порогом насыщения и ультракоротким временем релаксации носителей заряда. При использовании Bi_2Te_3 в сочетании с аморфной средой в виде полимера видна сильная зависимость свойств полученной смеси от температуры окружающей среды. Поскольку ширина запрещенной зоны теллурида висмута относительно мала, можно ещё более значительного влияния изменений температуры на его свойства. В результате более интенсивный свет взаимодействует с насыщаемым поглотителем. Вследствие чего возможно осуществлять как исследования свойств наноматериалов в широком диапазоне мощностей, воздействующих на материал в реальном времени работы лазера так и получать конечные лазеры с переменными свойствами.

В связи с этим тема диссертации Судаса Д.П. целью которой является оценка и использование нелинейно оптических свойств тонкоплёночного теллурида висмута для его применения в полностью волоконных системах является, несомненно, актуальной.

Новизна исследования и полученных результатов. В данной работе присутствует ряд принципиально новых результатов. Показан механизм возникновения и локализация серых потерь при изотропном химическом травлении. Впервые обнаружен эффект резонанса затухающей моды, реализованный на покрытии теллурида цинка. Обнаружено, что изменение температуры покрывающего полимера в диапазоне от -20 до 36 °C влияет на интенсивность взаимодействия света с тонкоплёночным покрытием, а также позволяет управлять внутрирезонаторными потерями за счёт изменения уровня ненасыщаемого поглощения. Более того понижение температуры от комнатной до 0 °C приводит к перестроению длины волны лазерной генерации с 1560 до 1530 нм и нетипичному поведению зависимости длительности импульса от мощности накачки, что свидетельствует об уменьшении величины глубины модуляции насыщающегося поглотителя. Адаптированная в ходе выполнения работы технология MOCVD[®] позволяет синтезировать широчайший спектр материалов на поверхности кварцевого волокна, что также имеет большой задел для применения и производства конечных устройств таких как рефрактометры, фильтры и поглотители.

Методика охлаждения модуляторов добротности показала, что изменение свойств осаждённой структуры приводит к возможности как оценки величины нелинейности использованных материалов, так и для создания перестраиваемых лазеров. Кроме того, управляя через температуру величиной выхода исчезающего поля моды получилось существенно уменьшить количество модуляторов добротности, характеристики которых не позволяют достигнуть импульсного режима генерации лазерной схемы.

Степень обоснованности и достоверности сформулированных положений. Решение поставленных в диссертационном исследовании Судаса Д.П. задач по расчёту модового взаимодействия в связанных волноводах и анализ оптических параметров лазерного резонатора с модулятором добротности выполнено на современном математическом

уровне. Основные положения и выводы диссертации не противоречат современным теоретическим представлениям, достоверность полученных результатов подтверждается их сопоставимостью с результатами других авторов, а также высокий уровень соответствия между экспериментальными данными и расчётными.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта. Полученные результаты существенно уточняют и углубляют знания о свойствах тонкоплёночных покрытий теллурида висмута. Особый интерес вызывает методика изучения тонкоплёночных материалов при помощи излучения, выводимого из боковой поверхности волоконного световода. Более того, продемонстрированный в работе метод измерений позволяет оценивать нелинейно-оптические свойства материалов, имеющих насыщаемое поглощение в режиме реального времени в процессе осаждения. Полученные в ходе диссертационной работы данные о характеристиках покрытий теллуридов висмута и цинка позволят в будущем создавать полностью волоконные лазерные системы, способные работать в импульсном режиме с перестраиваемой длиной волны генерации. Продemonстрированный метод изменения параметров лазерной генерации при помощи температурного влияния на насыщающийся поглотитель расширяет открывает новые возможности для создания лазерных систем для научных применений.

Разработанные методы утонения волоконных кварцевых световодов в дополнение к впервые продемонстрированной методике нанесения нанопокровов на цилиндрическую поверхность сверхмалого диаметра позволяют создавать компактные сенсоры показателя преломления способные работать даже в кислотах и растворителях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Описанные в диссертации новые результаты и выводы могут быть использованы в материаловедении для характеристики оптических

констант и величины нелинейного поглощения при работе с квазидвумерными структурами. Результаты работы могут быть реализованы в виде новых видов измерительных стендов, волоконных импульсных лазеров и сенсоров оптической плотности различных агрессивных сред.

Использование для исследования нелинейных свойств тонкоплёночных покрытий «характеризующего» излучения распространяющегося в кольцевом резонаторе лазера позволяет достаточно точно оценивать оптические характеристики таких материалов в условиях, приближенных к конечному устройству.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация Судаса Дмитрия Петровича «Нелинейно-оптические свойства теллурида висмута на поверхности кварцевого волоконного световода» соответствует требованиям 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния: п.1 – «Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные, и квантовые системы»; п.4 – «Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ».

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации. Автореферат соответствует требованиям, предусмотренным п. 25 «Положения о присуждении ученых степеней», его содержание полностью отражает содержание диссертации, полученные результаты и выводы.

Оценка содержания и оформления диссертации. Диссертационное исследование Судаса Дмитрия Петровича в целом представляет собой завершённую научную работу.

Поставленные в работе задачи решены на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, цель диссертационного исследования достигнута. Основные положения работы и выводы сформулированы ясно и аргументированно. Полученные результаты обладают несомненной научной значимостью и новизной.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с предъявляемыми требованиями, язык и стиль изложения соответствуют литературным нормам.

Результаты исследований прошли хорошую апробацию на международных и всероссийских научных конференциях, опубликованы 18 научных работ из которых 9 статей в рецензируемых журналах: 2 статьи входят в перечень ВАК, 7 статей в международных журналах, индексируемых WoS и Scopus, три из которых в журналах, входящих в первый квартиль (Q1). 9 публикаций в тезисах конференций.

Замечания по работе.

1. Изменение пропускания модулятора добротности осуществлялось за счёт изменения показателя преломления покрывающего полимера. Какова величина изменения показателя преломления в работе не сказано.
2. Не ясно по какой причине автор выбрал методику утонения световодов при помощи травления, а не боковой полировкой, которая так же является распространённым типом изменения геометрии оптических волокон.
3. При описании результатов по измерению величины глубины модуляции и интенсивности насыщения вместо указания в тексте, для лучшего понимания материала, необходимо было привести сходную

таблицу, в которой полученные характеристики сравнивались бы с аналогами из литературы.

4. На рисунке 14 не описываются причины возникновения пиков высвечивания дальше по длине от доминантного пика высвечивания на спадающем конусе.
5. В автореферате на рисунке 2б не объясняются возникшие волны в спектре пропускания световода в процессе травления вблизи от сердцевины.
6. После формулы, связывающей интенсивность насыщения и глубины модуляции не дана ссылка на источник.
7. Работе встречаются сленговые термины, которые затрудняют понимание материала.

Перечисленные замечания не снижают научную новизну и практическую ценность представленной работы.

Заключение

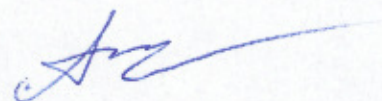
Диссертация Судаса Д.П. представляет собой завершённую научную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для создания научных основ и физических принципов разработки новых методов оценки оптических свойств тонкоплёночных материалов, создания перестраиваемых лазеров и волоконных рефрактометров.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что диссертация «Нелинейно-оптические свойства теллурида висмута на поверхности кварцевого волоконного световода» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Судас Дмитрий Петрович достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Отзыв рассмотрен и одобрен после обсуждения диссертационной работы Судаса Д.П. на совместном научном семинаре кафедры наноэлектроники и кафедры физики РТУ МИРЭА 19 октября 2022 г.

Отзыв подготовили:

Юрасов Алексей Николаевич



доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры наноэлектроники Института перспективных технологий и индустриального программирования МИРЭА — Российского технологического университета 119454, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78

Телефон: +79169141393, e-mail: yurasov@mirea.ru

Задерновский Анатолий Андреевич



доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Института перспективных технологий и индустриального программирования МИРЭА — Российского технологического университета 119454, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78

Телефон: +79104183733, e-mail: zadernovskiy@mirea.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет"

Адрес: 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

Адрес сайта: <https://www.mirea.ru/>

Телефон: +7 499 215-65-65 доб. 1140

e-mail: mirea@mirea.ru