

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Антипова Олега Леонидовича

на диссертацию Судаса Дмитрия Петровича

«НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА НА ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния

Актуальность и научная новизна темы диссертационного исследования

В диссертации Судаса Дмитрия Петровича представлены новые научные результаты в области исследования оптических свойств наноразмерных материалов, разработки и создания перестраиваемых волоконных лазеров и волоконных сенсоров. Научный интерес к этому направлению объясняется потребностью в изучении нелинейно-оптических свойств тонкоплёночных материалов, в частности, для управления режимами генерации волоконных лазеров. Адаптированная в ходе выполнения работы технология MOCVD позволяет синтезировать широкий спектр материалов на поверхности кварцевого волокна, что даёт определённый задел для применения и производства не только импульсных волоконных лазеров, но и таких устройств как рефрактометры, фильтры и поглотители. Предложенная методика охлаждения тонкоплёночных модуляторов добротности кроме достижения практического результата выявила возможности оценки величины нелинейности использованных материалов, необходимой для расчёта и создания перестраиваемых лазеров. За счёт температурного управления величиной выхода поля моды удалось существенно уменьшить количество модуляторов добротности для достижения импульсного режима генерации лазерной схемы. Следует отметить, что развиваемая в диссертации тематика активно развивается в настоящее время и требует междисциплинарного подхода.

Общая характеристика работы

Целью работы являлась оценка и использование нелинейно оптических свойств тонкоплёночного теллурида висмута для его применения в полностью волоконных системах. В работе решались следующие задачи: (1) разработка методики изменения геометрии кварцевого световода таким образом, чтобы обеспечить контакт волны, распространяющейся по световедущей сердцевине, с наноразмерным материалом без разрыва световода вдоль оси; (2) создание или модификация существующей технологии синтеза тонких плёнок Bi_2Te_3 для использования со сложной

поверхностью кварцевого стекла такой как цилиндрическая, малого диаметра (порядка 10 микрон); (3) исследование влияния дополнительных слоёв на структуру $\text{SiO}_2 - \text{Bi}_2\text{Te}_3$, таких как подслой ZnTe и покрывающий полимерный композит полидиметилсилоксановый эластомер (PDMS); (4) применение нелинейности низкоразмерного Bi_2Te_3 для использования его в полностью волоконных лазерных системах в качестве пассивного модулятора добротности; (5) исследование влияния внешней температуры на волоконные модуляторы добротности на основе Bi_2Te_3 в процессе генерации лазера.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемой литературы.

Во введении показана актуальность исследований, составивших диссертационную работу. Сформулированы цели и задачи работы.

В главе 1 приведен обзор литературы по современному состоянию дел в физике конденсированного состояния по задачам, рассматриваемым в диссертационной работе. В первой части обзора рассмотрены низкоразмерные наноматериалы, как класс. Затем выделены материалы, обладающие эффектом насыщения поглощения. Описан класс материалов с проводящей поверхностью и изолирующим объёмом, к которому принадлежит Bi_2Te_3 . В конце рассмотрены методы оценки величины нелинейности материалов насыщающихся поглотителей.

В главе 2 демонстрируется способ формирования цилиндрических травлённых сегментов (“тейперов”) методом химического травления волоконных световодов для применений в сенсорике и лазерной технике. Описаны существующие методы утонения секций волоконных световодов. Создана методика формирования сегментов утонённых оптических волокон. Причём, показано, что в отличие от травления разбавленной плавиковой кислоты скорость формирования сегмента изменяется практически линейно, без видимых ускорений. Разработанная методика обладает очевидной простотой реализации по сравнению с аналогами и низкой токсичностью применяемых реагентов. Приведены результаты рефлектометрического исследования потерь, возникающих при травлении, в зависимости от диаметра утонённой секции в реальном времени. На рефлектометре определено пространственное положение потерь в спектральном диапазоне 1530-1570 нм, которые возникают в местах с поверхностными дефектами травления. Основное высвечивание (более 95%) происходит в области цилиндрического сегмента, однако пики, образованные в неоднородностях и местах стыка с защитным покрытием, также наблюдаемы из-за того, что часть излучения продолжает распространяться уже по оболочке.

В главе 3 автор описывает синтез тонкоплёночных покрытий на боковую поверхность кварцевого оптического волокна. Описана технология парофазного химического осаждения из элементоорганических соединений (МОСVD). Проиллюстрирован разработанный метод модернизации описанной ранее системы для работы с кварцевыми волокнами с возможностью работы в реальном времени. Подробно объяснена специфика ростовых процессов на поверхности кварцевого стекла. Показано, что островкам теллурида висмута более энергетически выгодно расти вверх чем вдоль плоскости, это приводит к тому, что при высоких значениях рассеяния наблюдается относительно небольшая плотность их заполнения (менее 5 %). Для увеличения склонности Bi_2Te_3 расти вдоль поверхности использован подслой теллурида цинка (ZnTe). Продемонстрирована экспериментальная схема кольцевого волоконного лазера. Экспериментально определен также максимальный (10,5 мкм) диаметр для тейпера на волокне, при котором, нелинейное поглощение осаждённой пленки теллурида висмута переводит эрбиевый волоконный лазер в режим генерации с модуляцией добротности.

В главе 4 автор показывает, что в волоконных тейперах, покрытых ультратонкими пленками с достаточно высоким показателем преломления, при определенных условиях может возникать резонансная связь между основной модой, распространяющейся в световедущей сердцевине, и оболочечным покрытием. Демонстрируется эффект резонанса затухающей моды при синтезе покрытий ZnTe . Подслой ZnTe создаёт в спектре пропускания провал, положение которого зависит от параметров окружающей среды, в том числе от температуры. На основе плёнок ZnTe изготовлены полностью волоконные рефрактометры, работа которых основана на феномене резонанса затухающей моды. Исследовано влияние условий осаждения, таких как: температура, скорость потока несущих газов, в зоне реакции, на форму LMR, вплоть до четвёртого порядка.

В главе 5 используя волоконные секции с пленочным покрытием, проектируются и исследуются пассивные модуляторы добротности для волоконных лазеров. Показано, что показатель преломления окружающей среды, в частности показатель преломления защитного полимерного покрытия, нанесенного на пленку, имеет большое значение при работе этих модуляторов. Обнаружено, что даже небольшие изменения температуры окружающей среды или мощности лазерного излучения, распространяющегося в сердцевине волокна, существенно влияют на потери в резонаторе лазера. Это явление связано с изменением конфигурации эванесцентного поля моды в утонённой части оптического волокна из-за изменения показателя преломления покрывающего полимера и, следовательно, из-за изменения поглощения оптического поля нанесенной тонкой пленкой насыщающегося поглотителя. Исследованы выходные

импульсы кольцевого волоконного лазера при различных температурах утонённого волокна, покрытого насыщающимся поглотителем в качестве модулятора добротности. Обнаружено, что снижение температуры насыщающихся поглотителей в виде нанопорошково-полимерной композиции Bi_2Te_3 и в виде покрытой полимером тонкой пленки Bi_2Te_3 позволяет увеличить частоту следования импульсов на 20% – 40% при той же мощности накачки. Показано, что в процессе охлаждения пиковая длина волны лазерных колебаний изменяется от 1560 до 1530 нм. Пониженная температура пассивного модулятора добротности в виде нанопорошка Bi_2Te_3 в полимере приводит к тому, что импульсы в начале лазерных колебаний короче, а частота повторения выше, чем при комнатной температуре. Насыщаемый поглотитель в виде тонкой пленки теллурида висмута в пассивном модуляторе добротности демонстрирует более высокие частоты импульсной генерации и более короткие импульсы по сравнению с нанопорошковой реализацией.

В заключении автор приводит и формулирует полученные в рамках диссертации результаты.

В целом диссертация выполнена на высоком научном уровне, полученные данные представляются обоснованными и достоверными.

В качестве замечаний можно указать следующее.

1. Ряд положений, выносимых на защиту, носит характер констатации технических результатов, полученных для объектов с очень конкретными значениями параметров (например, с диаметром “11,2 мкм” или длиной “5 мм” для участка волокна). На мой взгляд, здесь можно было бы привести более обобщённые формулировки.
2. В главе 4 обсуждается эффект спектрального резонанса затухающей моды при синтезе покрытий ZnTe на поверхности волоконного световода. Этот эффект имеет достаточно большое значение при создании насыщающихся поглотителей или волоконных сенсоров. Приведены результаты исследования ряда технологических факторов, влияющих на указанный эффект. Однако хотелось бы видеть более чёткое описание физического механизма этого эффекта.
3. Можно отметить некоторые стилистические неточности, грамматические ошибки и опечатки в тексте диссертации и автореферате. Справедливости ради, их число нельзя назвать “критическим”.

Нужно отметить, что, несмотря на указанные замечания, диссертация оставляет впечатление добросовестно выполненной работы. По результатам

опубликовано 18 научных работ, из которых 9 статей в рецензируемых журналах, входящих 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. Диссертация Д.П. Судаса представляет собой законченное исследование, научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов которого не вызывает сомнения. Она соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в ВАК», предъявляемых к кандидатским диссертациям. Считаю, что автор диссертационной работы, Судас Дмитрий Петрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Антипов Олег Леонидович, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН). Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.21 – Лазерная физика.

Адрес: ул. Ульянова, 46, Нижний Новгород, Нижегородская обл., 603155, ИПФ РАН. E-mail: antipov@ipfran.ru; тел.: +7 (903) 846-38-49. Сайт организации: <https://ipfran.ru/>

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.111.01 (Д002.231.01) на базе ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и их дальнейшую обработку

19.01.2023  / О.Л. Антипов

Подпись Антипова Олега Леонидовича удостоверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН



 / И.В. Корюкин