

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Пластуна Александра Сергеевича «Влияние изменений поперечного профиля на пропускание и дисперсионные характеристики оптических волокон и фотонно-кристаллических волноводов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Одним из актуальных направлений исследований в современной лазерной физике является изучение фотонных кристаллов и устройств, изготовленных на их основе, а также управления их дисперсными характеристиками. Диссертационная работа А.С. Пластуна посвящена исследованию факторов, влияющих на дисперсионные и спектральные характеристики волноводов, а также фотонных кристаллов и фотонно-кристаллических волноводов. До недавнего времени задача управления лазерными импульсами с учетом взаимодействия оптических солитонов в волокнах изучалась в пренебрежении резонансным характером распространения солитонов. Это пробел восполнен в настоящей диссертации. Проведенная диссертантом работа основана на использовании методов математического моделирования дисперсионных характеристик и пропускания оптических волокон и фотонно-кристаллических волноводов, вызванных изменениями их поперечного профиля. Автором было выполнено численное решение начально-краевых задач для уравнений Максвелла, Гельмгольца и нелинейного уравнения Шредингера с переменными коэффициентами нелинейности и дисперсии и проведены вычислительные эксперименты с помощью разработанных программных средств. Таким образом, тема кандидатской диссертации А.С. Пластуна и выполненные исследования, несомненно, актуальны.

Оценка содержания диссертации

Диссертация А.С. Пластуна состоит из введения, четырёх глав и заключения. Общий объём диссертации составляет 138 страниц текста, она включает 34 рисунка и список цитируемой литературы из 140 источников.

Во введении сформулированы цели и задачи диссертационной работы, проведено обоснование актуальности темы, приведены результаты, выносимые на защиту.

Глава 1 посвящена эффектам, связанным с параметрическим усилением оптического сигнала в фотонно-кристаллических волноводах (ФКВ). Проведено математическое моделирование параметрического усиления в ФКВ из оптического стекла с использованием векторной численной модели, основанной на методе плоских волн.

Глава 2 посвящена применению ФКВ для задач управления дисперсией групповой скорости и локальному повышению интенсивности импульсов. В результате расчетов было получено поперечное распределение интенсивности основной моды щелевого ФКВ, составленного из слоев халькогенидных стекол. Расчеты показали, что щелевой ФКВ позволяет компенсировать дисперсию материала с одновременным увеличением локальной интенсивности.

В главе 3 выполнено исследование свойств ФКВ и изучено влияние дефектов формы и размеров поперечной структуры, возникающих при изготовлении волокна, на пропускание и дисперсионные характеристики. Выполненные численные эксперименты показали, что субмикронная деформация поперечной структуры элементов ФКВ приводит к сдвигу полос пропускания, изменению их ширины. При наличии связи между основной модой и модами стержней часть излучения будет переходить из центра на периферию, что вызовет увеличение потерь. Показано, что при учете высших мод полоса пропускания сужается.

В главе 4 изучены особенности распространения оптических солитонов в волноводе с изменяющимся диаметром. Используемая автором математическая модель основана на решении нелинейного уравнения Шредингера с переменными коэффициентами дисперсии и нелинейности. Проведены расчеты эффектов взаимодействия солитонов в волокне. Для управления ими предложено использовать волокно с изменяемым диаметром. Исследованы три типа режимов, которые могут найти практическое применение при управлении лазерными импульсами и оптической обработке информации.

В заключении приведены основные результаты проведенного диссертационного исследования.

Новизна проведённых исследований и полученных результатов

Наиболее интересными и важными для приложений являются на мой взгляд следующие научные результаты диссертации:

- Предложена новая математическая модель для решения задач распространения лазерного излучения в маломодовых оптических волокнах с переменными диаметрами и формой элементов поперечного профиля, которая позволяет корректно учитывать векторный характер электромагнитного поля и интерференцию мод.
- Разработаны программные комплексы численного моделирования распространения лазерного излучения в фотонно-кристаллическом волокне, предназначенные для расчёта спектров пропускания и дисперсионных характеристик двумерных ФКВ различных типов.
- Показано, что деформация формы и размера поперечной структуры элементов фотонно-кристаллического волокна вызывает сдвиг полос пропускания и изменение их ширины, при этом общий уровень потерь меняется незначительно.
- Предложен новый механизм формирования полос пропускания внутри запрещённых зон ФКВ за счет изменений диаметров элементов поперечного профиля структуры, прилегающих к сердцевине волокна. Такой механизм может применяться при изготовлении оптических фильтров на основе ФКВ

Практическая значимость работы

Результаты работы имеют несомненную фундаментальную и практическую ценность. Они могут найти применение в областях науки, связанных с оптической обработкой информации, при изготовлении и проектировании нелинейных оптических устройств, фотонно-кристаллических преобразователей частоты и фотонно-кристаллических фильтров. Программный комплекс, разработанный в диссертации, позволяет рассчитывать потери при распространении излучения в маломодовых волокнах с фотонной запрещённой зоной, что даёт возможность по заданной конфигурации торца оптического фотонно-кристаллического волновода получать данные о пропускании и дисперсионных характеристиках волокна. Выяв-

ленные эффекты неупругого взаимодействия оптических солитонов могут быть использованы в оптических линиях связи, оптической обработке информации и изготовлении усилителей.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов определяется использованием надежных и апробированных теоретических моделей, и математических методов, адекватных исследуемым задачам, и хорошим согласием с результатами расчетов, выполненных с использованием более простых приближений.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полученные в диссертации А.С. Пластуна научные результаты могут быть использованы в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Институте общей физики РАН, Московском государственном университете им. М. Ломоносова, в Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королёва, и в других организациях, где ведутся теоретические и экспериментальные исследования в области современной лазерной физики и квантовой оптики. Результаты работы могут быть также использованы в учебном процессе на кафедре оптики и спектроскопии и кафедре общей и теоретической физики Самарского университета, на кафедре оптики и биофотоники и на кафедре компьютерной физики и метаматериалов Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского (г. Саратов) и других университетах при чтении специальных курсов для магистрантов и аспирантов по темам «Лазерная физика», «Фотоника», «Квантовая оптика», «Теория солитонов», «Нелинейная динамика» и других.

Недостатки работы

Существенных недостатков в диссертации я не обнаружил, однако отмечу следующее:

1. В главе 2 проведены расчеты дисперсионных характеристик мод ФКВ с использованием методов матрицы передачи и плоских волн. Утверждается, что оба метода дают хорошие результаты, но первый метод применим лишь

для небольшого количества слоев. Однако детального сопоставления применимости обоих методов в работе нет.

2. В 3 главе для численного моделирования распространения лазерного излучения в ФКВ разработаны авторские программные комплексы, предназначенные для расчета спектров пропускания и дисперсионных характеристик двумерных ФКВ. К сожалению, в работе не приведена информация о том, с какой точностью проводились расчеты, показанные на рисунках 16-28, и какие критерии их достоверности были использованы.
3. В главе 4 выполнено очень важное для понимания физики распространения излучения в ФКВ компьютерное моделирование динамики взаимодействия солитонов с использованием комплексного уравнения Гинзбурга – Ландау (нелинейного уравнения Шредингера). Показано, что при определённых значениях параметра z_m (периода модуляции) можно добиться режима, при котором два солитона распространяются без взаимного притяжения (см. рис. 31 в). Но указания детальных значений или границ изменения «определённых значений» z_m , при которых присутствует этот режим, в работе не приведено.
4. Имеются также погрешности при оформлении работы. Нумерация формул в ряде мест текста диссертации выполнена с отступлением от принятого стандарта, что затрудняет её чтение. В тексте диссертации и в автореферате имеются отдельные неисправленные опечатки.

Оценка диссертации в целом

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. Диссертация А.С. Пластуна изложена хорошим литературным языком, она содержит новые важные результаты и показывает высокую квалификацию и научную зрелость автора. Основные результаты диссертации апробированы на международных и российских конференциях и семинарах и опубликованы в реферируемых ведущих международных и российских научных изданиях, включенных в список ВАК РФ.

Автореферат диссертации, изложенный на 18 страницах, правильно и полно

