

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи

УДК 621.39.05

ХАЛИЛОВА Полина Юрьевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛИТОННОЙ
ТЕХНОЛОГИИ В СКОРОСТНЫХ ВОЛОКОННО – ОПТИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ**

**05.12.04 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации,
радиолокации и телевидения**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Ташкент - 2010

Работа выполнена в Ташкентском университете информационных технологий

Научный руководитель академик АН РУз, доктор физико-математических наук, профессор РАДЖАБОВ Тельман Дадаевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук профессор АРИПОВ Хайрулла

А. А/2464
Х172. Халилова П.Ю.
Повышен. эффект.
применения...
Т, 2010

Ведущая организ

Защита состоит
специализированн
информационных

С диссертацией
университета инф

Автореферат разо

Ученый секретарь
специализированн

g islomdan ilgari va ilk islom davri o'rganish, to'plash va keyingi avlodlarga ari nihoyatda beqiyosdir. Uning tarix, va adabiyot, folklorshunoslik sohasidagi dugungi kunda ham o'z ahamiyatini

t turk-dagi qo'shiq, maqol va hikmatli lashuvchi xalqlar bilan birga o'zbek tatarak adabiy yodgorligidir.

FOYI LJODIDA FOLKLOR

lilikka erishgandan so'ng ajdodlarimiz uy qadriyatlarini, urf-odatlarini, tiklash, ijodini o'rganishga kirishildi. milliy istiqlol va mustaqillik yo'lidan yotgan bir paytda yoshlar ongida milliy milliy birlik kabi g'oyalarni shakllodiga murojaat qilinmoqda.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В условиях рыночной экономики и высоких темпов научно - технического прогресса эффективное функционирование любой организации немислимо без серьезной информационной поддержки, оказываемой средствами вычислительной техники. На сегодняшний день это приобретает особую актуальность в связи с разразившимся в 2008 году мировым финансовым кризисом, ставшим серьезной проблемой в связи с ощутимым спадом производства и резким снижением темпов роста экономики во многих странах, со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями. Но, несмотря на все возникшие проблемы и трудности, республике удалось добиться в 2008 году не только стабильного функционирования экономики, но и обеспечить устойчивые темпы её роста, в частности, наиболее высокими темпами развивались услуги связи и информатизации. Необходимо и в дальнейшем обеспечить их динамичное развитие, и здесь не последнее место занимает совершенствование ныне существующих волоконно - оптических систем передачи (ВОСП) информации и создание скоростных и высокоскоростных ВОСП нового поколения на основе солитонной технологии. Это вызвано также дальнейшим развитием систем сотовой связи: внедрением систем третьего 3G и четвертого 4G поколений. Кроме того, в сфере услуг сотовой связи, например, международный роуминг, возрастает необходимость в качественной и скоростной связи. Однако здесь существует проблема обеспечения такой связью базовых станций и возможные пути её решения - в применении для этих целей ВОСП. Таким образом, на современном этапе развития ВОСП необходимо исследовать и разрабатывать высокоскоростные системы передачи информации с повышенной эффективностью, что связано с увеличением скорости передачи и длины регенерационного участка и представляет непосредственный практический интерес и актуальность.

При увеличении скорости передачи до 40 Гбит/с и выше возникают технологические осложнения, связанные с появлением факторов, ограничивающих скорости передачи при больших протяженностях линий, а значит и эффективность солитонных ВОСП. К таким факторам относятся дисперсионные и нелинейные эффекты (НЭ) одномодового оптического волокна (ООВ). Увеличить скорость передачи можно повышением качества оптического волокна (ОВ) и уменьшением влияния вышеперечисленных дестабилизирующих факторов. Все это явилось необходимостью проведения комплексных исследований нового и перспективного направления - оптических солитонов - световых импульсов (волн), способных распространяться в дисперсных оптических средах на большие расстояния фактически без изменения формы (уширения), что позволит решить актуальную на сегодняшний день задачу увеличения длины регенерационного участка и скоростей передачи информации. Наряду с

задачами, связанными с вопросами прохождения оптических сигналов (ОС) через ООВ, в проблеме создания скоростных и высокоскоростных ВОСП существует задача исследования и практической реализации высокоэффективных волоконно-оптических усилителей (ВОУ).

Все вышесказанное указывает на научную и практическую важность проведения дальнейших теоретических исследований по проблемам солитонной технологии, а также оптических усилителей, используемых в ВОСП, в частности, ВОУ на ОВ, модифицированных редкоземельными элементами (РЗЭ) с помощью технологии ионного легирования. В данной работе предлагается использование высокоскоростных ВОСП на основе солитонной технологии с повышенной эффективностью в сотовых сетях радиосвязи четвертого поколения для организации Abis интерфейса, что позволит на практике реализовать возможность увеличения скоростей передачи на порядок по сравнению со скоростями передачи радиоканала. В частности, как один из вариантов применения - в схеме взаимоотношений сотовых операторов и Интернет провайдеров.

Степень изученности проблемы. В настоящее время проблемы солитонной технологии в целом находятся в стадии теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку скоростных и высокоскоростных солитонных ВОСП. Исследования в данной области в настоящее время ведутся во многих научных центрах мира (Bell Laboratories, USA; Optical Sciences Center, USA; Lightwave Communication Laboratory, Japan; Pohang University, South Korea; МНТГ «ИРЭ-ПОЛЮС», Россия и др.) и представляют большой научный и практический интерес. Непосредственно наука о солитонах развивалась совместными усилиями математиков, физиков, специалистов в области математического моделирования и физического эксперимента. Возможность применения солитонов для передачи информации в ВОСП, а также создания на их базе скоростных и высокоскоростных ВОСП теоретически обоснована и экспериментально подтверждена в работах А. Hasegawa, F. Tappert, L.F. Mollenauer, R. Stolen и других авторов. Методы формирования оптических солитонов и условия их существования разрабатывались G.P. Agrawal, В.А. Алешкевичем, Ф.Х. Абдуллаевым, Т.Л. Беляевой, П.А. Мишнаевским и другими. Результаты исследования свойств оптических солитонов в ВОСП с управляемой дисперсией были получены в основном с помощью вариационного подхода (Variational Approach - VA), в частности, это работы: E. Poutrina, K. Shimoura, K.E. Заславского и других.

Несмотря на большую популярность данного направления и продолжительный период его изучения, до сих пор существует ряд вопросов и нерешенных задач. Дальнейшее совершенствование солитонных систем заключается в переходе к использованию сверхкоротких импульсов, на распространение которых оказывают влияние нелинейные и дисперсионные эффекты высших порядков ОВ. В результате анализа проблем солитонной

технологии и теоретических основ солитонов установлено, что многие из предлагаемых математических моделей не учитывают совокупного воздействия вышеуказанных эффектов на распространение солитонного импульса, являющегося важным фактором при решении вопроса практического внедрения солитонных ВОСП. Необходимо исследовать работу данных систем в зависимости от основных параметров линейного тракта: вносимого затухания, дисперсионных и НЭ низших и высших порядков ОВ. Также недостаточно уделяется внимание вопросам исследования функционирования солитонных ВОСП с учётом влияния возмущений, вносимых шумом усиленной спонтанной эмиссии (Amplified Spontaneous Emission - ASE) ВОУ, устанавливаемых в линейном тракте для компенсации затухания ОС. Несмотря на то, что открытие солитонов с управляемой дисперсией (ДУ - солитоны) предоставило новые возможности для солитонной оптической связи, математически эта задача усложняется, так как мы имеем дело с нелинейным уравнением Шредингера (Nonlinear Schrödinger Equation - NLSE) с сильными периодическими и случайными вариациями коэффициента дисперсии. В результате анализа данной задачи установлено, что наиболее эффективным методом ее решения является вариационный метод, который будет использован в данной диссертационной работе.

Таким образом, теоретические положения для практической реализации скоростных и высокоскоростных ВОСП на основе солитонной технологии требуют дальнейшего исследования.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.

Работа выполнена в рамках фундаментального исследования:

БВ-Ф2-002 «Теоретические и экспериментальные исследования солитонной технологии с использованием модифицированных оптических материалов», проводимого по проекту ГНТП, и научно - исследовательской работы кафедры «Устройства и системы радиосвязи» Ташкентского университета информационных технологий: «Параметрическая оптимизация узлов и систем радиоэлектронной аппаратуры».

Целью исследования является повышение эффективности применения солитонной технологии в скоростных волоконно - оптических системах передачи информации на основе изучения закономерностей процессов прохождения солитонов в оптических волокнах с учетом влияния легирующих примесей, дисперсионных и нелинейных эффектов.

Задачи исследования. Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие задачи:

- исследование усилителей на оптических волокнах, модифицированных редкоземельными элементами;
- теоретическое исследование процессов прохождения солитонов в ОВ с учетом влияния переменной дисперсии, а также нелинейных и дисперсионных явлений в ОВ;

- выявление особенностей динамики солитонов в соответствии с концепцией конденсата Бозе - Эйнштейна и возможностей динамической стабилизации нелинейных волн на примере двумерных солитонов;

- анализ динамики устойчивого двумерного солитона с учетом влияния резонанса Фешбаха;

- экспериментальные исследования легирования оптических материалов (ОМ) эрбием методами термического и термopлазменного осаждения для установления основных предпосылок разработки ВОУ на основе ОВ, легированных РЗЭ (например, эрбием);

- исследование возможности увеличения эффективности прохождения солитонов через ОВ, модифицированные ионным легированием РЗЭ, для улучшения параметров солитонных систем передачи информации;

- исследование методов стабилизации коэффициента усиления эрбиевых усилителей для установления наиболее приемлемого из них;

- разработка практических рекомендаций по реализации высокоскоростных ВОСП и увеличению эффективности ВОУ и солитонных систем передачи информации.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются: усилители, солитоны, процессы прохождения оптических сигналов в ОВ, в том числе модифицированные, исследования модификации ОВ и теоретических основ солитонной технологии передачи информации.

Предмет исследования: солитонная технология для создания скоростных ВОСП с повышенной эффективностью.

Методы исследований. Положения теории нелинейной оптики, математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, теории вероятностей и математического моделирования.

Гипотеза исследования. Возможности эффективного использования модифицированных ОВ в солитонной технологии для создания высокоскоростных ВОСП с улучшенными характеристиками.

Основные положения, выносимые на защиту:

- выявление возможности генерации диссипативных солитонов с управляемой нелинейностью;

- установление влияния легирующих примесей - допантов на процессы прохождения солитонов в оптических волокнах, указывающее на существование автосолитонов в ОВ с учетом случайных параметров (дисперсии);

- выявление особенностей динамики солитонов в соответствии с концепцией конденсата Бозе - Эйнштейна;

- установление эффекта увеличения коэффициента усиления ВОУ, полученных на основе легирования оптических волокон РЗЭ.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

- выявлена возможность генерации диссипативных солитонов на

основе результатов исследования процессов прохождения солитонов в оптических волокнах с учетом влияния допантов, шума усиленного спонтанного излучения, дисперсионных и нелинейных эффектов;

- установлено существование солитонов, в частности, автосолитонов, в оптических волокнах с учетом случайных параметров (дисперсии) и активных примесей (допантов – редкоземельных элементов, и, в частности, эрбия);

- выявлено влияние быстро меняющихся сильных возмущений в ОВ на динамику оптических солитонов на основе модели динамики солитонов в соответствии с концепцией конденсата Бозе – Эйнштейна;

- установлен эффект повышения коэффициента усиления волоконно – оптических усилителей при введении редкоземельных элементов в оптические волокна методами ионного легирования.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Полученные в диссертации результаты являются научно обоснованной теоретической базой для создания скоростных и высокоскоростных ВОСП на основе солитонной технологии. Научная значимость результатов исследования состоит в возможности обеспечения стабильного прохождения солитонных импульсов в ВОСП с переменной дисперсией с учетом влияния быстро меняющихся сильных возмущений, позволяющее установить перспективы повышения эффективности применения солитонной технологии в скоростных и высокоскоростных ВОСП и определить пути дальнейшего совершенствования принципов разработки и создания подобных ВОСП с возможным применением в радиотехнических системах.

Практическая значимость результатов исследования заключается в повышении качества ОВ при их легировании РЗЭ вследствие образования допантов, способствующих эффективному прохождению солитонных импульсов. Модификация ОВ РЗЭ даст возможность практически реализовать ВОУ на подобных ОВ диапазона 1,3 – 1,55 мкм, что позволит при использовании солитонов решить задачу увеличения длины регенерационного участка. Разработанные практические рекомендации дадут возможность повысить эффективность существующих ВОСП и создать новые перспективные скоростные и высокоскоростные ВОСП на основе солитонной технологии с использованием ВОУ на ОВ, легированных РЗЭ.

Реализация результатов. Результаты диссертационной работы рекомендованы для практического использования при создании скоростных и высокоскоростных ВОСП на основе солитонной технологии. Разработанные рекомендации переданы для внедрения в ГУП «Центр радиосвязи, радиовещания и телевидения», ожидаемый экономический эффект от внедрения составляет 7 млн. 680 тыс. сум в год.

Результаты работы внедряются в учебный процесс Ташкентского государственного технического университета имени Абу Райхана Беруни и Ташкентского университета информационных технологий.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Третьей Республиканской конференции по физической электронике (Ташкент, Шахрисабз, 2002г.); Четвертой Международной научно - технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов стран СНГ «Техника и технология связи» (Алматы, АИЭС, 2002г.); Международной научной конференции: «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе» (Ташкент, ТУИТ, 2005г.); 19-ой Международной конференции «Взаимодействие ионов с поверхностью» (ВИП - 2009, Звенигород, 2009 г.); 16-ой научно - технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника» (Сочи, 2009г.).

Опубликованность результатов. По результатам проведенных исследований опубликовано 11 печатных работ; из них 7 - в научных журналах, 3 - в тезисах международных и 1 - республиканской конференций. Разработано методическое пособие по курсу: «Надежность телекоммуникационных систем связи».

Во всех совместных публикациях соискателем внесен определяющий творческий вклад. Все наиболее существенные научные результаты получены лично автором.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 114 наименований и приложения. Работа изложена на 148 страницах, содержит 24 рисунка и 6 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования проблем солитонной технологии, а также оптических усилителей, используемых в ВОСП, в частности, ВОУ на оптических волокнах, модифицированных РЗЭ с помощью технологии ионного легирования, для дальнейшего создания скоростных и высокоскоростных ВОСП нового поколения с повышенной эффективностью передачи информации. Определены цель, объект, предмет и методы исследований, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость проведенных исследований, а также сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе анализа литературных данных по ВОСП проведен аналитический обзор процессов распространения света в ОВ, в результате которого показаны значительные преимущества использования оптического волокна в качестве среды распространения. Установлены главные проблемы, которые могут возникнуть при создании высокоскоростных одноканальных и многоканальных систем, и даны основные понятия и определения, применяемые в волоконной оптике, а также основы теории геометрической оптики и волновой теории.

Проанализированы основные параметры оптической передачи (затухание ОВ, дисперсия ОВ) и главные компоненты ВОСП (ОВ, лазеры, фильтры). Рассмотрены основы физики полупроводникового лазера, даны его основные уравнения и характеристики. Проведена классификация и определены области применения основных компонентов ВОСП. Обоснованы мотивы и целесообразность использования ООВ. Особое внимание уделено анализу процессов дисперсии ООВ, ограничивающих скорости передачи при больших протяженностях линий, и возможным факторам, приводящим к уменьшению влияния дисперсии.

Установлено, что наиболее важной задачей ВОСП является создание активных элементов, способных обеспечивать передачу ОС на большие расстояния без затухания и с незначительными искажениями, и дальнейшая разработка ВОУ на основе таких элементов (в частности, это оптические волокна, легированные РЗЭ). Представляют непосредственный научный и практический интерес исследования возможных процессов по созданию перспективных высокоскоростных ВОСП на базе солитонной технологии.

В конце главы сделаны основные выводы по проведенному обзору и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены физические основы активных волоконно-оптических компонентов - ВОУ, в частности, ВОУ на легированном эрбием ОВ. В простейшем случае ВОУ представляют собой ООВ со ступенчатым профилем показателя преломления, область сердцевинных которых легирована РЗЭ. Свет, проходя через такое ОВ, поглощается ионами легирующей присадки, а затем флюоресцирует на характерной длине волны. При достаточной мощности излучения накачки, возбуждающей электроны, флюоресценция усиливает излучение рабочей волны, проходящей через ОВ. Таким образом, волокно образует резонатор и обратная связь достаточна, т.е. возвращаемая в активную область мощность накачки превышает некоторый пороговый уровень, компенсирующий потери за один проход активной области. В ОВ наблюдается лазерный эффект на длине волны флюоресценции, а без обратной связи ОВ действует как ВОУ.

Исследованы методы легирования ОМ РЗЭ, в частности, эрбием, с помощью термического и термоплазменного осаждения и установлена их перспективность. Подробно описаны установки и методики для проведения экспериментальных работ, в частности, модернизированные вакуумные установки для легирования оптических материалов, в том числе установки для ионного легирования, термического и термоплазменного осаждения. Определены основные рабочие характеристики данных установок и их возможности.

Приведены и проанализированы рабочие характеристики волоконно-оптического усилителя на волокне, легированном эрбием (Erbium-Doped Fiber Amplifier - EDFA). Установлено, что EDFA обладают высокими техническими характеристиками - высокой выходной мощностью, высоким

коэффициентом усиления (КУ), низкими шумами и широкой полосой пропускания.

Исследован процесс усиления оптических сигналов и, в частности, КУ EDFA. Также приведены основные факторы, определяющие эффективность применения EDFA в скоростных ВОСП и позволяющие увеличить скорость и объем передачи информации на дальние расстояния.

В третьей главе проведены теоретический анализ и исследования процессов прохождения солитонов в ОВ с учетом влияния активных примесей (допантов), а также дисперсионных и нелинейных эффектов. В частности, рассмотрены: влияние переменной дисперсии на прохождение солитонов в оптических волокнах, эффективность применения ВОСП с солитонной технологией, их пропускная способность и возмущения, вносимые шумом ASE BOY. Только при учете шума ASE BOY возможно повышение эффективности применения солитонных ВОСП. В результате оценки влияния шумов BOY, проведенной с учетом динамики локализованных оптических импульсов, установлена возможность генерации диссипативных оптических солитонов с управляемой нелинейностью в оптоволоконном кольцевом лазере с активным (легированным эрбием) ОВ.

Показано, что теоретическое описание выражается комплексным уравнением Гинзбурга-Ландау с сильной вариацией нелинейности вдоль длины прохождения. Уравнение, полученное по вариациям нелинейности, является обобщенным уравнением Гинзбурга-Ландау с нелинейной эффективной дисперсией и эффективным нелинейным волоконно-оптическим фильтром:

$$iU_t + U_{xx} + \gamma(t)|U|^2U + \chi|U|^4U = i\delta U + i\beta U_{xx} + i\alpha|U|^2U + ik|U|^4U, \quad (1)$$

где t - координата вдоль направления прохождения (безразмерная длина); x - число оборотов импульса вдоль оптоволоконного кольца; $\gamma(t)$ - периодические изменения нелинейности вдоль волокна; δ - линейное затухание; β - характеризует фильтр; α, k - параметры нелинейного усиления и поглощения соответственно.

Таким образом, с помощью математического моделирования показано, что возможно стабильное прохождение оптических импульсов с усилением энергии, позволяющее подавлять влияние шумов BOY.

Проведены также исследования существования автосолитонов в ОВ с учетом случайных параметров (дисперсии) и активных примесей (допантов), например, РЗЭ (в частности, эрбия). Изучено влияние этих активных примесей на процессы прохождения солитонов в таких ОВ. Установлено, что в волокне с флуктуирующей вдоль ОВ дисперсией оптический солитон излучает непрерывно плоские волны и, соответственно, затухает. Это

радиационное затухание можно компенсировать соответствующим подбором распределения активных примесей в волокне, т.е. предлагаемый подход состоит в периодической вариации концентрации одного из допантов вдоль волокна и может осуществляться регулируемым легированием волокна, например, с помощью ионно - плазменной технологии.

При исследовании математической модели прохождения солитонных импульсов в ВОСП с переменной дисперсией были выделены два метода организации данных ВОСП: применение фундаментальных солитонов, проходящих в ОВ с изменяющейся по длине дисперсией (dispersion-decreasing fiber - DDF) и солитонов, проходящих по дисперсионной схеме, в которой чередуются секции ОВ с положительной и отрицательной дисперсией. Традиционный метод моделирования прохождения солитонных импульсов в ВОСП с переменной дисперсией, основанный на VA, не учитывает влияние дисперсионных и НЭ высших порядков. Но при использовании для передачи сверхкоротких солитонных импульсов моделью прохождения будет известное NLSE, учитывающее максимальное количество факторов, влияющих на солитонный режим:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \frac{\alpha}{2} A + \frac{i\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - \frac{\beta_3}{6} \frac{\partial^3 A}{\partial t^3} = i\gamma \left\{ |A|^2 A + \frac{i}{\omega_0} \frac{\partial}{\partial t} (|A|^2 A) - T_R A \frac{\partial |A|^2}{\partial t} \right\}, \quad (2)$$

где $|A|^2$ – мощность; z - расстояние вдоль линии; α - коэффициент затухания; t – время; β_2 - параметр ДГС; β_3 - дисперсионный член третьего порядка; γ - нелинейный коэффициент; T_R - время рамановского отклика; ω_0 - частота несущего сигнала.

В результате математической обработки было получено выражение оценки суммарного колебания фазы фундаментальных солитонов, проходящих в ОВ типа DDF с периодическим усилением вида:

$$\sigma_i^2 = \sigma_{ix}^2 + R_1 2SE_0 + R_2, \quad (3)$$

где σ_{ix}^2 - колебание фазы по Гордону-Хаусу; R_1 и R_2 коэффициенты, учитывающие эффекты комбинационного самопреобразования частоты солитона и дисперсии третьего порядка.

Также проведены теоретические исследования динамической стабилизации нелинейных волн путем управления потенциалом, нелинейностью и дисперсией для двумерных солитонов. В частности, исследована динамика солитонов в условиях конденсата Бозе - Эйнштейна (Bose - Einstein condensate - BEC), анизотропной среде, в которой они формируются. Рассмотрена типичная модель: ловушка, сформированная

гармоническим потенциалом с различными частотами, сокращенным некоторой энергией V_c . Проведено числовое моделирование конденсированной динамики в одномерном ВЕС с положительной длиной рассеяния при условии периодического «встряхивания» ловушки, где показано существование расщеплений конденсата. Та же самая форма волнового уравнения управляет распространением пространственного солитона в периодически модулируемых параболических волноводах. Типичное распределение может быть аппроксимировано квадратичным профилем. Быстродействующее изменение этого профиля вдоль продольного направления ведет к быстро изменяющемуся квадратичному потенциалу в NLSE. Общая математическая задача состоит в исследовании ограниченных состояний для нелинейного волнового уравнения с кубической нелинейностью и с быстро меняющимся потенциалом вида $V_0 = f(x)\alpha(t/\epsilon)$, $\epsilon \ll 1$. В данной работе получено усредненное уравнение и показано, что динамика может быть описана эффективным потенциалом, равным невозмущенному потенциалу плюс коррекция второго порядка новой функциональной формы.

Динамика ВЕС описывается зависящим от времени уравнением Гросс - Питаевского (Gross - Pitaevskii GP):

$$i\psi_t = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi + V_v(r,t)\psi + g_0|\psi|^2\psi, \quad (4)$$

где m - масса атома; $g = 4\pi \cdot \hbar^2 a_s / m$; a_s - атомная длина рассеяния.

Здесь $a_s > 0$ соответствует ВЕС с отталкиванием между атомами и $a_s < 0$ - с притяжением.

Ловушка потенциала описывается как:

$$V_v = m\omega^2(y^2 + z^2)/2 + \alpha(t)(m\omega_1^2 x^2 / 2 + V_1(x,t)), \quad (5)$$

где $V_1(x,t)$ - предельный, или оптический потенциал кристаллической решетки; $\alpha(t)$ описывает потенциал, зависящий от времени.

Усредненное уравнение имеет форму видоизмененного NLSE с медленно меняющимся потенциалом

$$W(x) = \alpha_0 f(x) + (\epsilon^2 / 2) \beta [f_x(x)]^2. \quad (6)$$

Таким образом, установлено, что:

- динамика солитона может иметь более сложный характер, чем в случае ВЕС с медленно меняющимися параметрами;

- возможна стабилизация неустойчивой динамики солитона быстрыми вариациями возмущения.

Также в работе исследовано управление нелинейностью для двумерных (two - dimensional - 2D) солитонов, в частности, исследована динамика устойчивого двумерного солитона с учетом влияния резонанса Фешбаха. Динамическое поведение 2D и трехмерного конденсатов в этом случае представляет непосредственный интерес, так как это можно проверить экспериментально. В диссертационной работе проведены исследования динамики двумерного и трехмерного конденсатов Бозе - Эйнштейна в случае, когда длина рассеяния в GP уравнении содержит постоянную и изменяющуюся во времени части. Также доказано, что в 2D случае элемент нелинейности ac делает возможным сохранение конденсата в стабильном самоудерживающем состоянии без внешних ловушек.

Таким образом, аналитически и с помощью числового моделирования была исследована динамическая стабилизация 2D солитонов посредством управления дисперсией и с учетом влияния резонанса Фешбаха.

В четвертой главе исследованы применения редкоземельных элементов, перспективных для легирования ОМ в сверхскоростных системах телекоммуникации, и установлено, что: легирование ОВ РЗЭ дает возможность значительного увеличения процесса усиления сигналов в оптическом волокне; возможна практическая реализация ВОУ на модифицированных волокнах.

Экспериментальные исследования легирования ОМ РЗЭ (в частности, эрбием) методами ионной имплантации, проведенные в НПО «Академприбор» АН РУз, показали, что введение РЗЭ в ОВ и разработка на их основе узлов, элементов ВОСП приводят к их новым качественным свойствам. В частности, наличие допантов (примесей) может влиять на параметры дисперсии групповых скоростей ОВ, тем самым уменьшая ее, что способствует увеличению скорости передачи оптических импульсов.

В таблице показаны результаты измерения на электронном анализаторе поверхностного состава образцов кварца, полученных термическим и термоплазменным осаждением эрбия. Здесь приведены виды элементов и процентное содержание с соответствующими спектрами. Характерный спектр рассматриваемого образца приведен на рис. 1, где имеются пики эрбия с соответствующими изменениями концентрации по глубине. В данном спектре наблюдаются две ярко выраженные области с увеличенным содержанием эрбия: одна на поверхности образца и вторая на глубине примерно 0,05 - 0,06 мкм для обеих исследуемых толщин.

Как видно из микрофотографии (см. рис. 2), структура слоев эрбия характеризуется наличием мелкокристаллической фазы (средняя фотография) и сплошные слои (темный фон) с отдельными дефектами в виде белых точек. В случае тонкого слоя (0,1 мкм) на поверхности наблюдается большое количество эрбия.

Таким образом, вакуумное осаждение покрытий не изменяет топографию поверхности подложки SiO₂ и дефекты, видимые на поверхности, определяются исходной обработкой (полировкой) поверхности и предварительной очисткой перед осаждением покрытия.

Полученные результаты свидетельствуют о стабильности состава и отсутствии загрязняющих примесей при вакуумной технологии введения присадок.

Образец Ег- кварц, тонкий слой (0,1 мкм)

Вид элемента	Тип спектра	Процент. содерж.	
		элемент.	атом.
		%	%
Si	ЭД	0.09	0.73
Er	ЭД	71.35	99.27
Сумма		71.44	100.00

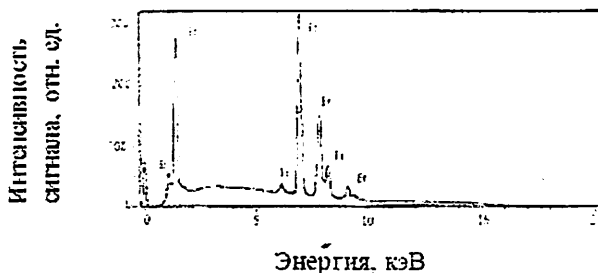
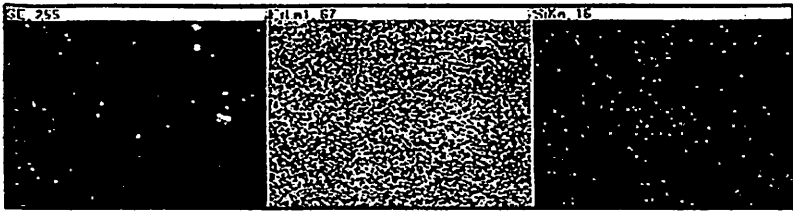


Рис. 1. Спектр образца Ег - кварц тонкий слой

Отжиг при больших температурах (больше 500°С) может приводить к появлению нежелательных примесей за счет разогрева элементов окружающей арматуры и оснастки и рекристаллизации легированного слоя (см. рис. 3).



Поверхность образца Эрбий на поверхности Кремний на поверхности

Рис. 2. Микрофотография образца (слой эрбия толщиной 0,1 мкм)

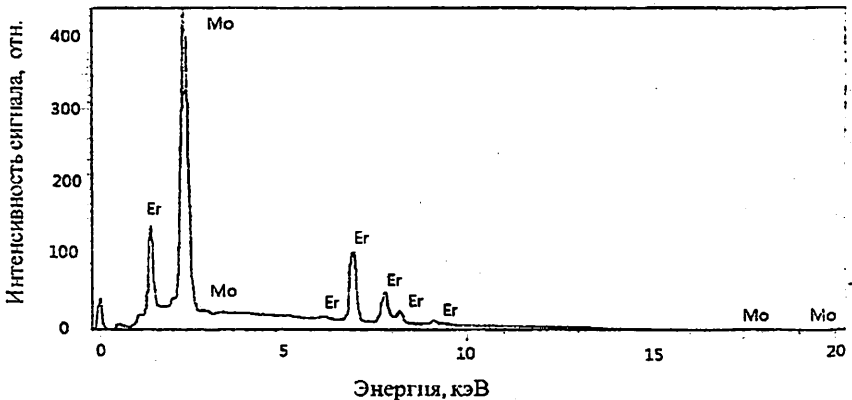


Рис. 3. Спектр образца с последующим отжигом при 750° С

В результате проведенных экспериментальных исследований легирования ОМ - кварца с помощью методов термического и термоплазменного осаждения установлено:

- наиболее эффективным методом является метод термоплазменного осаждения, являющийся, в свою очередь, ионным методом легирования;
- при малых толщинах легированного слоя (до 0,1 мкм) поверхностный слой характеризуется большой неравномерностью и наличием дефектов;
- последующий термический отжиг приводит к активной диффузии эрбия с поверхности в объем образца;
- подтверждена перспективность модификации ОВ РЗЭ вследствие чистоты процесса ионного легирования и возможности управления

технологическими параметрами введения примесных добавок.

Разработаны практические рекомендации по увеличению эффективности эрбиевых ВОУ, в частности, по обеспечению стабилизации КУ таких ВОУ, а также по увеличению эффективности солитонных систем передачи. Здесь необходимо отметить, что формирование солитонов позволяет повышать мощность распространяющихся по волокну сигналов и увеличивать пропускную способность ВОСП. При солитонной передаче используются свойства оптического материала, из которого изготавливается ОВ и при достаточной интенсивности пучка света оптические свойства ОВ меняются и влияют на сам пучок. Изменяя свойства ОВ, можно также устранить эффект поляризации и связанных с ней искажений.

В результате исследования методов стабилизации коэффициента усиления ВОУ на примере оптических волокон, полученных в данной работе экспериментально модификацией РЗЭ, в частности, эрбием, установлено:

1. Наиболее простыми и надежными методами стабилизации КУ являются электрические методы: упреждающая коррекция накачки; коррекция накачки с использованием цепи обратной связи; комбинация упреждающей коррекции накачки и коррекции накачки с использованием цепи обратной связи. Для них характерны малые отклонения КУ в течение переходного периода и достаточно быстрое время его стабилизации.

2. Показано, что наилучшими параметрами среди электрических методов обладает комбинация упреждающей коррекции накачки с коррекцией накачки с использованием цепи обратной связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе концепций вариационного метода и метода обратной задачи в теории солитонов с использованием положений теории нелинейной оптики, математического аппарата дифференциального и интегрального исчислений, теории вероятностей и математического моделирования предложены модели прохождения солитонных импульсов в ВОСП с переменной дисперсией с учетом влияния быстро меняющихся сильных возмущений на динамику оптических солитонов в условиях флуктуирующих вдоль ОВ случайных параметров.

В итоге получены следующие результаты:

1. Выявлена возможность генерации диссипативных солитонов с управляемой нелинейностью, позволяющая стабилизировать процессы прохождения оптических импульсов с усилением энергии, подавляющем влиянии шумов ВОУ, имеющих место в ВОСП.

2. Установлено существование солитонов и автосолитонов в ОВ с активными примесями (допантами) и со случайными параметрами (дисперсией) на примере эрбия, дающее возможность при легировании

оптических материалов редкоземельными элементами в случае наличия усиления получить стабильное распространение сверхкоротких импульсов по ОВ.

3. Исследована математическая модель прохождения последовательности солитонных импульсов в ВОСП с переменной дисперсией, учитывающая максимальное количество факторов, влияющих на солитонный режим, в частности, степень ослабления, нелинейные и дисперсионные эффекты высших порядков ОВ, и позволяющая повысить эффективность солитонных ВОСП.

4. На основе исследования влияния быстро меняющихся сильных возмущений на динамику оптических солитонов установлена возможность управления дисперсией ОВ, позволяющая генерировать новый тип оптических солитонов, устойчивых к шумам ВОУ. Показаны преимущества управления нелинейностью для генерации стабильных оптических солитонов в ОВ и для генерации стабильных двумерных пространственных оптических солитонов и солитонов в многомерном конденсате Бозе-Эйнштейна с притяжением между атомами.

5. Выявление влияния быстро меняющихся сильных возмущений в ОВ на динамику оптических солитонов на основе модели динамики солитонов в соответствии с концепцией конденсата Бозе – Эйнштейна.

6. Предложен метод стабилизации коэффициента усиления ВОУ на примере ОВ, экспериментально полученных введением редкоземельных элементов методами ионного легирования.

7. Экспериментально подтверждена перспективность модификации оптических волокон редкоземельными элементами и установлена возможность практической реализации ВОУ на подобных волокнах, позволяющая при использовании солитонов решить задачу увеличения длины регенерационного участка и создать скоростные и высокоскоростные ВОСП.

8. Разработаны практические рекомендации, позволяющие повысить эффективность существующих ВОСП и создать перспективные скоростные и высокоскоростные ВОСП на основе солитонной технологии с использованием ВОУ на оптических волокнах, легированных редкоземельными элементами, для применения в радиотехнических системах.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Хныкина П.Ю. (Халилова П.Ю.). Исследование характеристик эрбиевых оптических усилителей, используемых в ВОЛС // Fizikaviy Elektronika bo'yicha III Respublika anjumani, Toshkent, Shahrisabs, 6-8 noyabr, 2002: Maruzalar Tezislari. - Toshkent, 2002. - С. 187.

2. Хныкина П.Ю.(Халилова П.Ю.), Курепин В.В. Использование эрбиевых оптических усилителей, применяемых в скоростных волоконно-

оптических системах передачи информации // Узб.ж. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент: «ФАН» АН РУз, 2002. - № 5. – С. 34-36.

3. Хныкина П.Ю.(Халилова П.Ю.), Раджабов Т.Д. Использование акустооптического перестраиваемого фильтра в оптическом спектральном анализе и в качестве корректора мощности EDFA в системе WDM // Четвертая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов стран СНГ. «Техника и технология связи». Труды конференции. – Казахстан, Алматы, 2002. – С. 348-350.

4. Хныкина П.Ю. (Халилова П.Ю.). Перспективы развития оптических усилителей // Труды международной научной конференции «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе». Т.1. – Ташкент, 2005. – С. 258-259.

5. Раджабов Т.Д., Хныкина П.Ю. (Халилова П.Ю.). Усиление волоконно-оптического усилителя, легированного эрбием // Узб.ж. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент: «ФАН» АН РУз, 2006. - № 5. – С. 75-78.

6. Халилова П.Ю. Возможные применения легированных материалов в системах телекоммуникации // Узб.ж. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент: «ФАН» АН РУз, 2006. - № 6. – С. 53-56.

7. Раджабов Т.Д., Абдуллаев Ф.Х., Халилова П.Ю. Теоретические предпосылки учета влияния переменной дисперсии на прохождение солитонов в волоконно-оптических системах связи // Узб.ж. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент: «ФАН» АН РУз, 2007. - № 4. – С. 63-66.

8. Раджабов Т.Д., Абдуллаев Ф.Х., Халилова П.Ю. Дисперсия оптических волокон, легированных редкоземельными элементами // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2007. - № 1. – С. 25-28.

9. Раджабов Т.Д., Абдуллаев Ф.Х., Халилова П.Ю. Исследование динамики солитонов в соответствии с концепцией конденсата Бозе - Эйнштейна // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2007. - № 4. – С. 69-71.

10. Раджабов Т.Д., Абдуллаев Ф.Х., Халилова П.Ю. Динамика устойчивого двумерного яркого солитона при управлении резонансом Фешбаха // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2008. - № 2. – С. 74-76.

11. Раджабов Т.Д., Абдуллаев Ф.Х., Халилова П.Ю., Писецкий Ю.В. Возможность использования ионно-легированных оптических материалов (волокон) для создания скоростных солитонных систем передачи информации // Труды девятнадцатой международной конференции «Взаимодействие ионов с поверхностью». ВИП – 2009. Т.2. – Москва, 2009 г. – С. 136-138.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Халилова Полина Юрьевнанинг 05.12.04 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари ва қурилмалари ихтисослиги бўйича «Юқори тезликдаги толали - оптик узатиш тизимларида солитон технологиясини қўллаш самарадорлигини ошириш» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: камёб ер элементлари (КЕЭ), оптик тола (ОТ), оптик материал (ОМ), кучайтиргичлар, қурилмалар, параметрларни барқарорлаштириш, солитонлар, юқори ва ўта юқори тезликдаги толали - оптик узатиш тизимлари (ТОУТ).

Тадқиқот объектлари: кучайтиргичлар, солитонлар, ОТ дан оптик сигналларни ўтиш жараёнлари, ОТ ларни такомиллаштириш ва ахборотларни узатишнинг солитонли технологияси назарий асосларини тадқиқи.

Ишнинг мақсади: легирловчи аралашмалар, дисперсион ва ночизикли эффектларини ҳисобга олган ҳолда ОТ дан солитонларни ўтиш жараёнларини қонуниятларини ўрганиш асосида ахборотларни юқори тезликдаги ТОУТ да солитон технологиясини қўллаш самарадорлигини ошириш.

Тадқиқот методлари: ночизикли оптика, дифференциал ва интеграл ҳисобларнинг математик аппаратлари, эҳтимоллар назарияси ва математик моделлаштириш қоидалари.

Олинган натижалар ва уларнинг янглиги: диссипатив солитонларни генерациялаш имконияти аниқланган; тасодифий параметрлар ва фаол аралашмаларни ҳисобга олган ҳолда ОТ ларда автосолитонларнинг мавжудлиги ўрнатилган; ОТ лардаги тез алмашувчи ғалаёнларнинг солитонлар динамикасига таъсири, Бозе – Эйнштейн конденсати концепциясига мувофиқ, солитонлар динамикаси модели асосида аниқланган; ионли легирлаш усули билан ОТ ларга КЕЭ ни киритганда кучайтиргичларнинг кучайтириш коэффициентини ошириш эффекти ўрнатилган.

Амалий аҳамияти: ОТ ларни солитонларни самарали ўтишига мослаштирувчи допантларнинг ҳосил бўлиши натижасида ОТ ларни КЕЭ билан легирлаб, уларнинг сифатини ошириш. ОТ ларни КЕЭ билан такомиллаштириш 1,3 – 1,55 мкм диапазондаги ОТ асосида ОТК ларни амалга оширишга имкон беради, бу эса солитонлардан фойдаланганда регенерациялаш соҳаси узунлигини ошириш масаласини ечишга имкон беради. Ишлаб чиқилган амалий тавсиялар мавжуд ТОУТ самарадорлигини ошириш ва истикболли юқори ва ўта юқори тезликдаги солитонли ТОУТ ларни яратиш имконини беради.

Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: ишлаб чиқилган тавсиялар амалиётга тадбиқ этиш учун ЎзААА (РРТМ ДУК) корхонасига тақдим этилган ҳамда ТАТУ ва ТошДТУ ўқув жараёнларига тадбиқ этилади.

Қўлланиш (фойдаланиш) соҳаси: телекоммуникацион тизимлардаги юқори тезликдаги ТОУТ ларда.

РЕЗЮМЕ

диссертации Халиловой Полины Юрьевны на тему: «Повышение эффективности применения солитонной технологии в скоростных волоконно - оптических системах передачи» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 - Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и телевидения

Ключевые слова: редкоземельные элементы (РЗЭ), эрбий, оптические волокна (ОВ), оптические материалы (ОМ), усилители, устройства, стабилизация параметров, солитоны, скоростные и высокоскоростные волоконно-оптические системы передачи (ВОСП).

Объекты исследования: усилители, солитоны, процессы прохождения оптических сигналов в ОВ, исследования модификации ОВ и теоретических основ солитонной технологии передачи информации.

Цель работы: повышение эффективности применения солитонной технологии в скоростных ВОСП информации на основе изучения закономерностей процессов прохождения солитонов в ОВ с учетом влияния легирующих примесей, дисперсионных и нелинейных эффектов.

Методы исследования: положения теории нелинейной оптики, математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, теория вероятностей и математическое моделирование.

Полученные результаты и их новизна: выявлена возможность генерации диссипативных солитонов; установлено существование автосолитонов в ОВ с учетом случайных параметров и активных примесей; выявлено влияние быстро меняющихся возмущений в ОВ на динамику солитонов на основе модели динамики солитонов в соответствии с концепцией конденсата Бозе – Эйнштейна; установлен эффект повышения коэффициента усиления усилителей при введении РЗЭ в ОВ методами ионного легирования.

Практическая значимость: повышение качества ОВ при их легировании РЗЭ вследствие образования допантов, способствующих эффективному прохождению солитонов. Модификация ОВ РЗЭ даст возможность практически реализовать ВОУ на подобных ОВ диапазона 1,3 – 1,55 мкм, что позволит при использовании солитонов решить задачу увеличения длины регенерационного участка. Разработанные практические рекомендации дадут возможность повысить эффективность существующих ВОСП и создать перспективные скоростные и высокоскоростные солитонные ВОСП.

Степень внедрения и экономическая эффективность: разработанные рекомендации переданы для внедрения на предприятия УзАСИ (ГУП ЦРРТ) и внедряются в учебный процесс ТУИТ и ТГТУ.

Область применения: скоростные ВОСП в телекоммуникационных системах.

RESUME

Thesis of Khalilova Polina on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in technical sciences on speciality 05.12.04 - Radio engineering, radio navigating, radio-locating and television systems and devices subject: «Rise of effectivity of application soliton technologies in speed fiber - optical systems transmission»

Key words: rare-earth elements (REE), erbium, optical fibers (OF), optical materials (OM), amplifiers, devices, stabilization of parameters, solitons, speed and high-speed fiber-optical transmission systems (FOTS).

Subjects of research: amplifiers, solitons, processes of passing of optical signals through OF, researches of modification OF and theoretical bases soliton technologies of an information transmission.

Purpose of work: rising of efficiency of application soliton technologies in high-speed FOTS information on the basis of studying of legitimacies of processes of passing of solitons in OF taking into account influence of alloying impurity, dispersion and nonlinear effects.

Methods of research: positions of the theory of nonlinear optics, a mathematical apparatus of differential and integral numerations, probability theory and mathematical modelling.

The results obtained and their novelty: possibility of generation dissipative solitons is revealed; existence of avtosolitons in OF taking into account casual parameters and active impurity is installed; influence of fast varying indignations in OF on dynamics of solitons on the basis of dynamics model of solitons according to the concept of a condensate of Boze – Einstein is revealed; the effect of rise of an amplification factor of amplifiers is installed at introduction REE in OF by methods of ion doping.

Practical value: improvement of quality OF at them doping of REE owing to derivation of the dopants promoting effective passing of solitons. Modification OF of REE will give the chance to realise practically amplifiers on similar OF a range 1,3 – 1,55 mkm that allowing at usage of solitons to solve the task of increase in length of a regeneration part. The developed practical guidelines will give the chance to raise efficiency existing FOTS and to create perspective speed and high-speed FOTS.

Degree of embed and economic effectivity: the developed guidelines are transferred for implantation to firms UzACI (State Unitary Enterprise CRRT) and take root into educational process TUIT and TashSTU.

Field of application: speed FOTS in the telecommunication systems.

Подписано к печати 29.05.2010 г. Формат 60x84 1/16.
Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 200.

Отпечатано в типографии ТГТУ. г.Ташкент,
ул.Талабалар 54. тел: 246-63-84.