

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ"

УДК 535.538.3+534:535+535.317.1/.7

КРАМОРЕВА ЛАРИСА ИВАНОВНА

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО СПЕКТРАЛЬНЫХ,
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ**

01.04.05 -Оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Гомель, 2003

Работа выполнена в Учреждении образования «Гомельский государственный медицинский университет» и в Учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

Научный руководитель- кандидат физико-математических наук, доцент **Хило П.Л.**, зав. кафедрой физики УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»

Официальные оппоненты: доктор физ. - мат. наук **Хаткевич А.Г.**, главный научный сотрудник Института физики НАН Беларуси, г. Минск

кандидат физ. - мат. наук, доцент **Кулак Г.В.**, кафедра общей физики и методики преподавания физики, Мозырский государственный педагогический университет, г. Мозырь

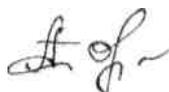
Оппонирующая организация - Институт прикладной оптики НАН Беларуси, г. Могилев

Защита состоится **26 сентября 2003 г. в 14.00** часов на заседании совета по защите диссертаций К 02.12.02 в Гомельском государственном университете им. Ф. Скорины по адресу: 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, тел. 57-79-97.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины.

Автореферат разослан "22» июля 2003 г.

Учёный секретарь совета
по защите диссертаций
канд. физ.-мат. наук



А.Н. Годлевская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Развитие новейших нано- и биотехнологий, микроскопии с высоким разрешением, организация вычислительных операций в оптических системах обработки информации и других областей науки и техники в число актуальных проблем вывели наряду с традиционными пучками гауссова типа формирование световых пучков с предельно малой дифракционной расходимостью, позволяющих достигать высокого поперечного и продольного разрешения.

Следствием этого явилось развитие исследований негауссовых пучков различного типа, в частности бесселевых световых пучков (БСП), являющихся примером градиентных интерференционных полей. К настоящему времени достаточно детально исследованы линейные свойства и особенности распространения параксиальных БСП нулевого и высших порядков в пространственно-однородных изотропных средах и в анизотропных средах, проявляющих магнитную гиротропию. Однако взаимодействие БСП с поглощающими средами остается не изученным.

Главными задачами исследований различных научно-исследовательских групп, работающих в области физики БСП, стало изучение дислокаций БСП (фазовых особенностей, расположенных внутри когерентного пучка света), а также обоснование возможностей их применения. Частным примером практического использования фазовых дислокаций является контроль атомных/молекулярных пучков, основанный на изменениях углового момента атома/молекулы в области оптической дислокации. Возможность манипулирования малыми объектами («холодными» атомами вещества, микрообъектами, содержащимися в биологических средах: форменные элементы крови, белки и т. д.), позволяет использовать данный феномен в области геномной инженерии и биотехнологии с целью получения необходимых для медицины и сельского хозяйства белков и полипептидов.

До недавнего времени под управлением параметрами световых полей понимали модуляцию их интенсивности или изменение направления распространения пучка. Управление вращением светового поля для пучков гауссова типа, как правило, не являлось актуальной проблемой. Для пучков интерференционного типа, в том числе и для БСП, управление параметрами пучков путем их вращения играет важную роль. Разработка соответствующих методов изменения параметров БСП имеет важное значение еще и потому, что методы, основанные на модуляции интенсивности или дефлекции световых пучков, неэффективны по отношению к БСП.

Естественным обобщением теории БСП является изучение возможностей их преобразования в параметрических процессах. Привлекает значительное внимание эффект фазовой самомодуляции в условиях несинхронной генерации второй гармоники (ГВГ) в кристаллах с квадратичной нелинейностью, в связи с возможным созданием на его основе сверхбыстрых полностью оптических переключателей для систем оптической обработки информации. Для пучков гауссова типа эффект фазовой самомодуляции исследован экспериментально и теоретически (в приближении плоских волн). Необходимо отметить, что применимость данного приближения

ограничена тем, что для реализации эффекта фазовой самомодуляции требуются световые пучки относительно высокой интенсивности, достигаемой путем острой фокусировки гауссовых пучков основной частоты. При этом площадь поперечного сечения гауссового пучка изменяется по мере прохождения нелинейного кристалла. Отмеченные обстоятельства обуславливают пространственно-неоднородную нелинейную фазовую модуляцию оптического сигнала, которая не может быть описана в плосковолновом приближении. Описание указанного процесса при моделировании основного излучения БСП не вызывает сложностей.

Для преобразования частоты лазерного излучения широко используются эффекты, сопровождающие квазисинхронные взаимодействия гауссовых световых волн в кристаллах, параметры которых периодически изменяют. Эффективность преобразования при реализации взаимодействий $oo-o$ и $ee-e$ -типов может в несколько раз превышать значение, достигаемое в однородных кристаллах за счет использования компонента тензора нелинейной восприимчивости d_{33} , имеющего максимальное значение. Применение БСП, отличающихся свойством самоподстройки в достижении условий синхронизма и обеспечивающих высокую концентрацию мощности излучения в приосевой области по всей длине кристалла позволит более эффективно выполнять нелинейно-оптическое преобразование частот.

Закономерности акустооптического взаимодействия световых полей основной или удвоенной частоты могут стать базой для разработки новых методов управления процессом ГВГ. Однако эффективность ГВГ параметрических процессов данного типа, осуществляемых с участием гауссовых световых пучков, не высока из-за дифракционной расходимости взаимодействующих волн. Уменьшение дифракционной расходимости пучка, достигаемое при использовании БСП и бесселевых акустических пучков (БАП) в параметрических процессах, приводит к увеличению эффективности дифракции и ГВГ.

В оптических резонаторах, волноводах, модуляторах для управления параметрами светового поля используют сверхрешетки (СР) с искусственной анизотропией. Наличием таких структур обусловлено достижение достаточно высоких значений коэффициента отражения, а их энергетические и поляризационные характеристики зависят от оптических свойств СР. Последнее обстоятельство послужило основой для применения методов поляризационной спектроскопии с целью получения информации о свойствах биологических объектов. Так, для белков выполнено исследование спектральных эффектов, индуцированных экситонным резонансным взаимодействием. СР привлекают внимание исследователей возможностью обнаружения в них новых физических эффектов и последующего их применения в различных областях науки и техники. В оптических устройствах широко используются СР на основе $GaAs-AlAs$ в качестве брэгговских отражателей. Для них достаточно хорошо исследованы изменения энергетических коэффициентов отражения и поляризационные эффекты при наклонном падении световых волн в предположении о линейном характере поглощения одного из слоев, изучено влияние резонансного экситонного поглощения на энергетические коэффициенты отражения

СР при нормальном падении световых волн. Однако поляризационные характеристики световых волн при отражении от резонансно поглощающих СР до сих пор не изучались.

Корреляционный метод, используемый в настоящее время при распознавании образов, представляет интерес также как метод изучения статистических свойств световых полей. Параллельность схемы корреляционного алгоритма позволяет применять при его реализации быстродействующие оптические аналоговые схемы, в том числе использующие элементы, действие которых основано на нелинейно-оптических (НЛО) эффектах.

Известно, что аналоговые схемы имеют недостатки, одним из которых является искажение выходного сигнала. Так на выходе из НЛО коррелятора структура сигнала отличается от структуры корреляционной функции (КФ). При этом основной причиной искажений является сужение области углового синхронизма при НЛО взаимодействии, приводящего к ограничениям, касающихся допустимой локализации изображения во входной плоскости и толщины нелинейного кристалла. Важным свойством оптических корреляторов, во многом обусловившим их практическую значимость, является их пространственная инвариантность: форма выходного сигнала не изменяется при сдвигах входных изображений в плоскости, перпендикулярной оптической оси схемы. Пространственная инвариантность сигнала, выходящего из НЛО коррелятора, может быть обеспечена путем учета угловых апертурных эффектов имеющих место при НЛО взаимодействиях и сведений об искажениях структуры выходного сигнала. В связи с этим актуальна проблема определения области пространственной инвариантности выходного сигнала НЛО коррелятора.

Для исследования КФ нестационарных оптических полей необходимы быстродействующие корреляторы. В их число входит нелинейно-оптический коррелятор, основанный на нерезонансных трехволновых взаимодействиях. Для определения искажений вносимых в структуру КФ нелинейным элементом, требуется расчет его схемы с учетом импульсного характера исследуемых сигналов. Использование импульсного НЛО коррелятора позволяет измерить информативный параметром КФ - радиус корреляции в реальном масштабе времени.

Решение вышеперечисленных задач актуально для оптической информатики, кристаллооптики, лазерной технологии, биологии, медицины и других областей науки и может привести к реализации новых технических возможностей в оптическом приборостроении.

Таким образом, исследование особенностей распространения ВСП в поглощающих средах, поляризационных, энергетических характеристик и пространственно-угловых спектров интерференционных полей; обоснование новых методов управления параметрами ВСП актуальны как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Настоящая работа выполнена в рамках Государственной программы фундаментальных исследований: «Физические основы лазерной техники и использование оптического излучения» на 1996—2000г. (тема: «Преобразование параметров световых и

ультразвуковых пучков в процессе их взаимодействия в нелинейных кристаллах и полупроводниках», раздел: «Квант-22» (рег. № 19961652)) и Государственной программы фундаментальных исследований «Когерентность» (2000 - 2005 г.) (тема: «Исследование фазовой самомодуляции и самовоздействия в процессах нелинейно-оптического преобразования частоты в монокристаллах и периодических структурах», раздел: «Квант-14» (рег. № 20011598)), а также по темам, финансируемым Министерством образования Республики Беларусь (рег. № 19943927, 1993 - 1994 г.; рег. № 1995366, 1995 - 1996 г.; рег. № 19971043, 1997 - 1998г.; рег. № 2001494, 2000 -2001 г.).

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является теоретическое исследование пространственно-спектральных, поляризационных и энергетических свойств интерференционных световых полей. Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- выявить особенности распространения БСП в поглощающих средах;
- разработать методы формирования интерференционных многопучковых световых полей и управления их вращением;
- построить теоретические модели:
 - акустооптического взаимодействия с участием БСП;
 - ГВГ бесселевыми световыми пучками в условиях коллинеарной дифракции па ультразвуковой волне;
- определить условие и характерные особенности поляризационной самомодуляции волн основной частоты для бесселева и гауссова световых пучков; » выяснить влияние экситонного резонанса на оптические свойства СР;
- разработать методику корреляционного анализа поперечной амплитудно- фазовой структуры квазистационарных и импульсных световых полей.

Объект и предмет исследования. В качестве объекта исследования выбраны изотропные поглощающие среды, слоистые среды, нелинейные кристаллы, световые поля в них. Предметом исследования являются поляризационные и энергетические характеристики интерференционных световых полей в поглощающих изотропных и анизотропных средах.

Методология и методы проведенного исследования. Проведенные в работе исследования выполнены с применением известных методов решения дифференциальных укороченных уравнений, определяющих медленно меняющиеся амплитуды волн основной частоты и второй гармоники; описывающих их распространение и взаимосвязь внутри нелинейной среды; методов решения системы дифференциальных уравнений связанных волн, использованных для установления взаимосвязи между амплитудами падающей и дифрагировавшей волн при их распространении в возмущенной среде; методов линейной алгебры, математических соотношений, справедливых для функций Бесселя; преобразований Фурье и метода стационарной фазы, составившими математическую базу для расчета выходного сигнала оптической системы.

Научная новизна и значимость полученных результатов. В работе получены следующие новые научные результаты:

1. Впервые получены решения уравнений Максвелла для компонентов ТН-, ТЕ-мод и квазициркулярно поляризованных бесселевых пучков, распространяющихся в поглощающих средах. Рассчитаны потоки энергии для ТН- и ТЕ-мод и количество теплоты, выделяемое при прохождении БСП через среду. Показано, что наличие поглощения приводит к изменению фазовых соотношений между компонентами поперечной и продольной составляющих БСП. Обнаружены зоны повышенного тепловыделения в среде, определены потоки энергии поля в их окрестности и исследованы особенности тепловыделения, проявляющиеся при использовании БСП высших порядков. Предсказан новый физический эффект: наличие в поглощающей среде радиального потока энергии поля, обуславливающего самовосстановление профиля БСП в условиях пространственно-неоднородного поглощения.
2. Предложен метод формирования высокосимметричных многопучковых интерференционных оптических полей в результате суперпозиции БСП высших порядков с супергауссовым, гауссовым или кольцевым пучком. Обоснована возможность преобразования полей путем изменения параметров исходных пучков: интенсивности, разности фаз и ширины опорного пучка. Показано, что фазовая модуляция приводит к осевому вращению интерференционного поля. Для реализации оптического управления вращением многопучкового светового поля предложен метод, основанный на изменении разности фаз при реализации режима самовоздействия гауссова пучка и БСП в кристаллах с квадратичной нелинейностью.
3. Обоснована возможность модуляции излучения второй гармоники БСП в условиях коллинеарного акустооптического взаимодействия в результате косвенного воздействия на световое поле: изменением интенсивности ультразвуковой волны.
4. Впервые в приближении заданной интенсивности получены аналитические выражения для параметров эллипса поляризации поля, формирующегося при поляризационной самомодуляции волны основной частоты БСП; установлена зависимость величины коэффициента пропускания среды от интенсивности падающего на нелинейный кристалл излучения БСП.
5. Обнаружено, что при наличии экситонного резонанса в слое СР в спектре отражения появляется провал, глубина которого обратно пропорциональна коэффициенту затухания экситона, а ширина - пропорциональна параметру его продольно-поперечного расщепления. Показано, что в этом случае отраженная световая волна эллиптически поляризована. Положение максимума эллиптичности при увеличении числа слоев СР смещается в длинноволновую область.
6. В результате анализа выходного сигнала нелинейно-оптического коррелятора, рассчитанного для квазистационарных и импульсных полей в модели сложения и вычитания частот при $oe-e$ взаимодействии, установлено, что:
 - выходной сигнал коррелятора для квазистационарных полей представляет собой двумерную свертку, поэтому для получения корреляционной функции в схеме со сложением частот необходимо предварительное обращение волнового фронта одного из полей;

- структура выходного сигнала импульсного коррелятора зависит от соотношения между длительностью импульса (или временем когерентности) и характерным временем групповых запаздываний взаимодействующих волн.

Практическая значимость полученных результатов. Проведенные исследования позволили выявить особенности распространения и преобразования БСП в поглощающих средах. Результаты исследований могут быть использованы как в научных, так и в практических целях для определения оптических параметров поглощающих сред и их структуры, в частности, при исследовании биологических объектов и воздействию на них интерференционными световыми полями.

Результаты, относящиеся к формированию многопучковых световых полей путем изменения параметров исходных БСП и пучков гауссова типа (интенсивностей, фазы, ширины опорного пучка), могут быть использованы для манипулирования микрочастицами и холодными атомами вещества и их удержания. Установленные закономерности преобразований поляризационно-энергетических характеристик БСП в параметрических процессах могут быть использованы для управления параметрами БСП, в частности, его фазовой структурой, частотой, интенсивностью. Эти результаты могут найти применение в области оптической обработки информации при осуществлении оптической связи (межсоединений) в свободном пространстве, а также в области биофизики - для целенаправленного воздействия световых полей на биологические объекты.

Результаты исследования поляризационно-спектральной структуры световых полей при дифракции на СР, приближенно моделирующих слоистые среды (в том числе и биологические), могут быть использованы в спектроскопии и биофизике для получения информации о структуре изучаемых объектов.

Выводы, сделанные на основе исследования структуры выходного сигнала нелинейно-оптических корреляторов, преобразующие стационарные и импульсные поля найдут применение при проведении сравнительного анализа объектов и изучении быстротекающих процессов в спектроскопии, оптической микроскопии и биофизике.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Характерными свойствами бесселева пучка ТН-поляризации, распространяющегося в поглощающих средах, является наличие радиальной составляющей плотности потока энергии и существование пространственной связи между направлением распространения радиальной составляющей потока энергии и выделяемым средой количеством теплоты. Для бесселева пучка ТЕ-поляризации радиальная составляющая потока энергии отсутствует. Наличие азимутальной составляющей потока энергии характерно только для БСП высших порядков.
2. Формирование высокосимметричных интерференционных многопучковых полей достигается путем суперпозиции БСП высших порядков и пучков гауссова типа. Оптическое управление вращением таких полей осуществляется за счет изменения разности фаз, в частности, при самовоздействии БСП в кристаллах с квадратичной нелинейностью.

3. В условиях фазовой самомодуляции БСП в процессе ГВГ типа II коэффициент пропускания максимален, когда излучение основной частоты на выходе кристалла линейно поляризовано в плоскости повернутой относительно плоскости поляризации пучка, входящего в кристалл на угол, вдвое больший начального азимута поляризации.
4. Изменение эффективного волнового вектора излучения на удвоенной частоте в условиях дифракции бесселевых световых пучков на ультразвуковой волне, может быть использовано для компенсации волновой расстройкой, возникающей при нелинейно-оптическом взаимодействии.
5. Наличием экситонного резонанса обусловлено появление провала в спектре отражения, глубина которого обратно пропорциональна коэффициенту затухания экситона, а ширина - прямо пропорциональна параметру его продольно-поперечного расщепления. При этом отраженная световая волна эллиптически поляризована. Положение максимума эллиптичности при увеличении числа слоев сверхрешетки смещается в длинноволновую область.

Личный вклад соискателя. Исследования, результаты которых представлены в диссертации, выполнены в Гомельском государственном университете им. Ф. Скорины и Гомельском государственном медицинском институте, а ее текст отражает личный вклад автора. В работах выполненных в соавторстве с научным руководителем, П.А. Хило принадлежит постановка задач исследования, общее руководство работой; с его участием проведено обсуждение результатов. Совместно с соавторами Н.А. Хило, В.Н. Белым, обсуждены результаты исследования самовоздействия БСП в процессе ГВГ; методов реализации вращения многопучковых интерференционных полей и управления ими; с соавторами В.Н. Белым, А.Г. Машенко обсуждены результаты исследования генерации второй гармоники БСП в условиях акустооптического взаимодействия. Совместно с Е.С. Романенко проведены численные расчеты, при исследовании структуры выходного сигнала НЛЮ коррелятора, основанного на эффекте сложения частот. В соавторстве с Е.С. Петровой исследованы энергетические характеристики бесселевых пучков, распространяющихся в поглощающих средах. Совместно с О.И. Проневичем выполнены численные расчеты при исследовании генерации БСП разностной частоты и изучении акустооптической дифракции БСП на плоской ультразвуковой волне. Две работы выполнены автором самостоятельно.

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертации докладывались на научно-технической конференции «Оптика и твердотельная электроника» (Минск, 1989г.), международной конференции «Лазерная физика и спектроскопия» (Гродно, 1999г.), международном семинаре «Нелинейные явления в сложных системах» (Минск, 2000г.), International Conference «Optics of crystals» (Мозырь, 2000г.), III международной научно-технической конференции «Квантовая электроника» (Минск, 2000г.), международной конференции «Проблемы взаимодействия излучения с веществом» (Гомель, 2001г.), XV Беларусско - Литовском семинаре «Лазеры и оптическая нелинейность» (Минск, 2002г.), International Quantum Electronics Conference «IQEC/LAT-2002» (Москва, 2002г.),

международной конференции «Лазеры в биомедицине» (Гродно, 2002г.), IV международной научно-технической конференции «Квантовая электроника» (Минск, 2002г.)

Опубликованность результатов. Изложенные в диссертации результаты опубликованы в 17 работах, в числе которых 2 статьи в научных журналах, 6 статьи в сборниках материалов конференций, 7 работ в сборниках тезисов конференций. Два изобретения прошли предварительную экспертизу. Общий объем опубликованных материалов составляет 45 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Ее содержание представлено на 114 страницах и иллюстрировано 41 рисунками. Список использованных источников включает 108 наименований и занимает 8 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается краткое описание основных направлений в линейной и нелинейной оптике, акустооптике, спектроскопии и информатике, указываются некоторые неразрешенные в настоящее время вопросы, определяется место диссертационного исследования в данной области.

В первой главе представлен обзор научной литературы по теме исследования. В результате анализа содержания цитированных здесь источников выявлены вопросы, оставшиеся неразрешенными, обоснована необходимость проведения исследований по теме диссертации.

Во второй главе, состоящей из 5 разделов, исследованы линейно-оптические преобразования БСП в поглощающих средах и в условиях акустооптического взаимодействия. В разделах 2.1. и 2.2. изучены особенности распространения БСП в поглощающих средах. Получены выражения, определяющие компоненты полей ТН- и ТЕ-мод в поглощающей среде:

$$\begin{aligned}
 E_{\rho}^{TH} &= i(k_{z1} + ik_{z2})J'_m(q\rho), & E_{\rho}^{TE} &= ik_0(n_1 + in_2)\frac{m}{q\rho}J_m(q\rho), \\
 E_{\phi}^{TH} &= -(k_{z1} + ik_{z2})\frac{m}{q\rho}J_m(q\rho), & E_{\phi}^{TE} &= -k_0(n_1 + in_2)J'_m(q\rho), \\
 E_z^{TH} &= qJ_m(q\rho), & E_z^{TE} &= 0, \\
 B_{\rho}^{TH} &= k_0(\varepsilon_1 + i\varepsilon_2)\frac{m}{q\rho}J_m(q\rho), & B_{\rho}^{TE} &= i(n_1 + in_2)(k_{z1} + ik_{z2})J'_m(q\rho), \\
 B_{\phi}^{TH} &= ik_0(\varepsilon_1 + i\varepsilon_2)\frac{m}{q\rho}J'_m(q\rho), & B_{\phi}^{TE} &= i(n_1 + in_2)(k_{z1} + ik_{z2})\frac{m}{q\rho}J_m(q\rho), \\
 B_z^{TH} &= 0, & B_z^{TE} &= -i(n_1 + in_2)qJ_m(q\rho).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $J_m(q\rho)$ - функция Бесселя первого рода m -го порядка, $J_m(q\rho) = dJ_m(q\rho)/d(q\rho)$,
 n_1 и $n_2 = \frac{\lambda}{4\pi L}$ - действительная и мнимая части показателя преломления $n = n_1 + in_2$, L -
 длина поглощения, равная расстоянию, после прохождения которого световым
 пучком его интенсивность убывает в e раз, $k_{z1} = k_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2(L) - n_0^2 \sin^2(\gamma)}$,
 $k_{z2} = \frac{k_0 n_1 n_2(L)}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2(L) - n_0^2 \sin^2(\gamma)}}$ - действительная и мнимая части продольной
 составляющей волнового вектора $k_z = k_{z1} + ik_{z2}$, $\varepsilon_1 = n_1^2 - n_2^2$, $\varepsilon_2 = 2n_1 n_2$ - действительная и
 мнимая составляющие диэлектрической проницаемости среды $\varepsilon = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2$.

Выявлена зависимость разности фаз квазициркулярного поля БСП от параметра
 конусности γ и длины поглощения L :

$$\Delta\phi(\gamma, L) = \phi_1(\gamma, L) - \phi_2(\gamma, L), \quad (2)$$

$$\text{где } \phi_1(\gamma, L) = \text{arctg}\left(\frac{k_{z2} + k_0 n_2(L)}{k_{z1} + k_0 n_1}\right), \quad \phi_2(\gamma, L) = \text{arctg}\left(\frac{-k_{z2} + k_0 n_2(L)}{-k_{z1} + k_0 n_1}\right),$$

Установлены соотношения, связывающие потоки энергии ТН- и ТЕ- мод и
 количество теплоты, выделяемое средой:

$$S_z^{TH} = \frac{c}{4\pi} k_0 (k_{z1} \varepsilon_1 + k_{z2} \varepsilon_2) \left\{ \frac{m^2}{(q\rho)^2} J_m^2(q\rho) + (J'_m(q\rho))^2 \right\} \exp[-2k_{z2}z]. \quad (3)$$

$$S_\rho^{TH} = \frac{c}{4\pi} k_0 q \varepsilon_2 J_m(q\rho) J'_m(q\rho) \exp[-2k_{z2}z]. \quad (4)$$

$$S_\varphi^{TH} = \frac{c}{4\pi} k_0 \varepsilon_1 \frac{m}{\rho} J_m^2(q\rho) \exp[-2k_{z2}z]. \quad (5)$$

$$S_z^{TE} = \frac{c}{4\pi} k_0 k_{z1} (n_1^2 + n_2^2) \left\{ \frac{m^2}{(q\rho)^2} J_m^2(q\rho) + (J'_m(q\rho))^2 \right\} \exp[-2k_{z2}z], \quad (6)$$

$$S_\varphi^{TE} = \frac{c}{4\pi} k_0 (n_1^2 + n_2^2) \frac{m}{\rho} J_m^2(q\rho) \exp[-2k_{z2}z]. \quad (7)$$

Численными методами исследованы поляризационные и энергетические
 характеристики БСП, распространяющиеся в поглощающих средах. Установлено
 существенное влияние параметров, характеризующих поглощающие свойства
 среды на фазу и потоки энергии БСП. Показано, что условия для измерений
 поляризационных характеристик БСП оптимальны при использовании тонких
 слоев сильнопоглощающих сред, например, биологических объектов. Выяснено, что
 как для основной моды, так и для мод высших порядков в поперечном
 сечении БСП положения нулей радиального потока совпадают с положениями
 минимумов или максимумов потока количества теплоты. Для ТН-моды бesselева
 пучка характерно наличие радиального, продольного и азимутального
 потоков энергии; при этом

наличие азимутального потока энергии свойственно только БСП высших порядков. Нормированные радиальные зависимости продольного потока энергии и количества теплоты имеют экстремумы при значениях аргумента, соответствующих четным и нечетным нулям функции радиального потока (рис.1,а). Характерное для БСП высших порядков количество теплоты при значениях ρ , соответствующих второму нулю функции радиального потока не равно нулю (рис. 1,б).

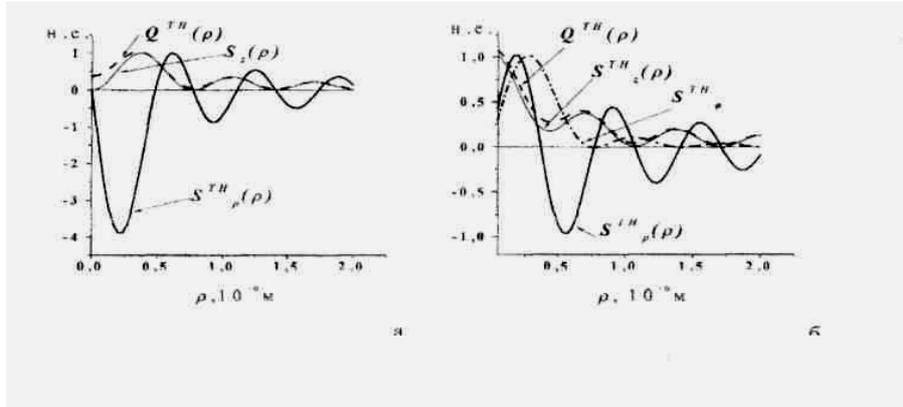


Рис.1. Радиальное распределение потоков энергии $S^{\text{TH}}_{\rho}(\rho)$, $S^{\text{TH}}_z(\rho)$, $S^{\text{TH}}_{\phi}(\rho)$ и количества теплоты $Q^{\text{TH}}(\rho)$ для БСП₀ (а) и БСП₁ (б)

Для ТЕ-моды БСП характерны отсутствие радиального потока энергии и совпадение нормированных функций распределения продольного потока и количества теплоты. Увеличение поперечного сечения приосевой зоны выделения тепла, имеющее место для бесселевых пучков высших порядков, связано с появлением противофазного азимутального потока энергии и отсутствием радиального компонента потока (рис.2, а). При падении на поглощающую среду квазициркулярного БСП, ТН-моды, возникающая интерференционная составляющая радиального потока вносит существенный вклад в суммарный поток, особенно в приосевой области пучка (рис.2,б).

В разделе 2.3. предложен метод формирования высокосимметричных многопучковых оптических полей в результате суперпозиции БСП нулевого и высших порядков с супсгауссовым, гауссовым или кольцевым пучком. Структура таких многопучковых полей может быть получена путем варьирования различных параметров исходных пучков: интенсивностей, фазы, ширины опорного пучка. В частности, фазовая модуляция приводит к вращению интерференционного поля относительно оси, совпадающей с осью симметрии БСП (рис.3а,б).

Предложен метод оптического управления вращением светового поля, основанный на изменении разности фаз в условиях самовоздействия гауссова пучка и БСП.

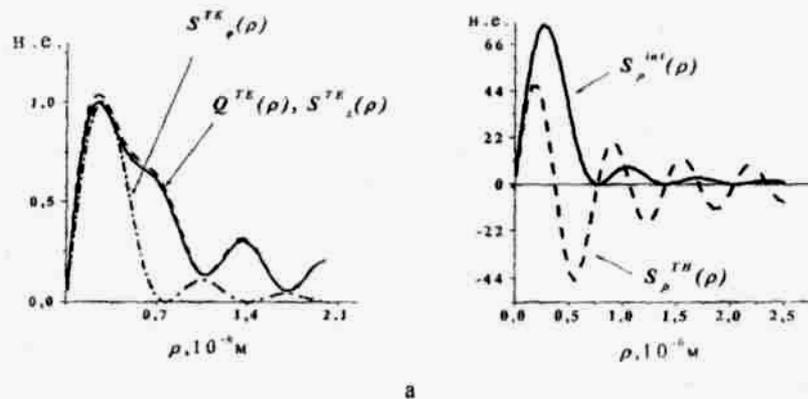


Рис.2. Радиальное распределение потоков энергии $S_r^{TE}(\rho)$, $S_z^{TE}(\rho)$ и количества теплоты $Q^{TE}(\rho)$ БСП; (а) и $S_r^{TM}(\rho)$, $S_z^{TM}(\rho)$ квазициркулярно поляризованного БСП; $L=5 \cdot 10^{-3}$ м (б)

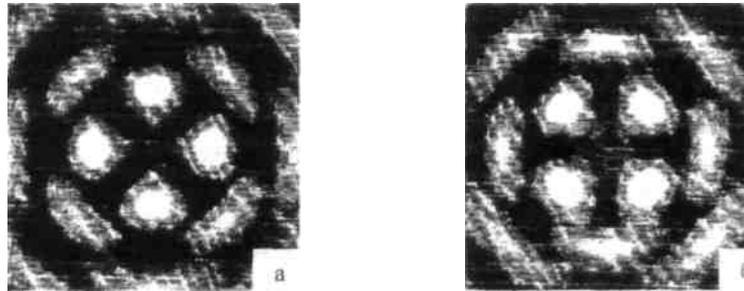


Рис.3. Поперечное распределение интенсивности $I(\rho, \varphi)$ волнового поля, сформированного при суперпозиции БСП₁ и супергауссова пучка. Расчет выполнен при $\Delta\varphi=0$ (а), $\Delta\varphi=\pi$ (б)

В разделе 2.4 определена амплитуда дифрагированного поля БСП, формирующегося при акустооптическом взаимодействии БСП₀ с плоской ультразвуковой волной:

$$A_m(y) = \frac{\beta_1 g_m A_0(0) \sin(\rho y) \exp(-i \Delta k_y y^2)}{\rho} \quad (7)$$

Установлено, что влияние интегралов перекрытия $g_m = 2\pi \int_0^{R_B} j_0(q, \rho) j_0(q_m \rho) \rho d\rho$,

$(j_0 = \begin{cases} J_0(q_{om} \rho) / \sqrt{\pi} R_B J_1(q_{om} R_B) & \text{при } \rho < R_B \\ 0 & \text{при } \rho \geq R_B \end{cases})$ — нормированные значения интегралов

перекрытия) на амплитуду дифрагированного поля существенно. В (7)

$\rho = \sqrt{\left(\frac{\Delta k_y}{2}\right)^2 + \beta_1 \beta_2 \sum_{m=1}^M g_m^2}$, $q_{om} = (m - 0.25) \pi / R_B$, $q_e \approx \pi N / R_B$ (R_B — радиус, N — число

колец БСП) – поперечные составляющие волнового вектора, $\Delta k_y = K_y + k_{ey} - k_{omy}$ – волновая расстройка. Показано, что поляризация дифрагированной волны ортогональна поляризации исходного БСП. В дальней зоне радиальное распределение интенсивностей имеет двухкольцевую структуру. При этом кольцо большего диаметра соответствует прошедшему БСП, а кольцо меньшего диаметра – дифрагированному БСП; предел разрешения при регистрации колец равен ширине одного кольца.

В разделе 2.5. построена теоретическая модель акустооптического взаимодействия бесселевых пучков. Рассмотрены два варианта взаимодействия БАП и БСП: 1) в условиях коллинеарного распространения БАП и дифрагированного БСП и 2) в условиях обратного рассеяния, когда дифрагированный БСП и БАП распространяются в направлении, противоположном направлению распространения падающего БСП. Выяснено, что при реализации первого варианта

интегралы перекрытия $g_m = 2\pi \int_0^{R_0} j_0(q_e \rho) j_0(q_{om} \rho) j_0(Q \rho) \rho d\rho$ имеют два максимума,

локализованные при $q_{om} = q_e \pm Q$ ($q_{e,om}$ – поперечные составляющие волновых векторов падающего и дифрагированного БСП, Q – поперечная составляющая волнового вектора БАП); следовательно, максимальный вклад в эффективность дифракции вносят две группы мод. В частном случае, при выполнении условия $Q \ll q_e$,

интегралы перекрытия имеют один максимум. Это обусловлено малой величиной поперечной составляющей волнового вектора Q акустического пучка. Установлено, что при обратном рассеянии, когда $Q < q_e$ и $Q > q_e$, интегралы перекрытия имеют два максимума и наибольший вклад в эффективность дифракции вносят две группы мод. Первой группе мод соответствуют взаимодействия, реализующиеся при а второй гр $q_{om} = \pm Q \mp q_e$, – взаимодействия, имеющие место при $q_{om} = Q + q_e$.

В третьей главе, состоящей из трех разделов, приведены результаты исследования нелинейно-оптических преобразований амплитудно-фазовой структуры БСП. В разделе 3.1. впервые в приближении заданной интенсивности исследовано явление поляризационной самомодуляции плоской волны (3.1.1) и БСП (3.1.2) основной частоты в процессе ГВГ. Найдено аналитическое выражение разности фаз для плоских волн и для бесселевых пучков соответственно:

$$\Delta\Phi = \left(\sqrt{\Delta k^2 + 4\sigma_1 \sigma_2 A^2 \cos^2 \alpha} - \sqrt{\Delta k^2 + 4\sigma_1 \sigma_2 A^2 \sin^2 \alpha} \right) \frac{L}{2}, \quad (8)$$

$$\Delta\Phi = \left(\sqrt{\Delta k^2 + 4\sigma_1 \sigma_2 \left(\sum_{m=1}^M g_m^2 \right) A^2 \cos^2 \alpha} - \sqrt{\Delta k^2 + 4\sigma_1 \sigma_2 \left(\sum_{m=1}^M g_m^2 \right) A^2 \sin^2 \alpha} \right) \frac{L}{2}, \quad (9)$$

где σ_1, σ_2 – коэффициенты нелинейной связи, Δk – волновая расстройка, A – амплитуда световой волны, падающей на входную грань кристалла,

$g_m = 2\pi \int_0^{R_0} j_0^2(q_1 \rho) j_0^2(q_{2m} \rho) \rho d\rho$ – интегралы перекрытия взаимодействующих полей;

$j_0(q_1\rho) = J_0(q_1\rho)/\sqrt{\pi R_B} (J_0^2(q_1 R_B) + J_1^2(q_1 R_B))$, $j_0(q_{2m}\rho) = J_0(q_{2m}\rho)/\sqrt{\pi R_B} J_1(q_{2m} R_B)$ при $\rho < R_B$ – нормированные функции Бесселя; $q_1 = k_0 \gamma(z)$, $q_{2m} = (m - 0,25)\pi / R_B$ – поперечные составляющие волновых векторов волн основной частоты и второй гармоники БСП. Установлено, что при поляризационно-фазовом самовоздействии бesselевых пучков в процессе ГВГ максимальное, близкое к 100%, значение коэффициента пропускания достигается при интенсивности основного излучения БСП в несколько раз меньшей интенсивности, необходимой для обеспечения таких же значений коэффициента пропускания плоских световых волн. Максимальное значение коэффициента пропускания реализуется в условиях фазовой самомодуляции, когда основное излучение БСП на выходе кристалла становится линейно поляризованным. При этом азимут поляризации отличается от азимута исходной поляризации на величину, равную его удвоенному значению.

В разделе 3.2. обнаружено, что при взаимодействии бesselевых пучков в условиях квазисинхронизма разностная гармоника, генерируется одновременно во многих каналах, однако эффективность преобразования в них неодинакова, что обусловлено зависимостью интегралов перекрытия

$$g_m = 2\pi \int_0^{R_B} j_0(q_1\rho) j_0(q_2\rho) j_0(q_{2m}\rho) \rho d\rho \quad , \quad (q_{2m} \text{ -- поперечные компоненты волнового}$$

вектора разностной гармоники) и волновой расстройки Δk от номера канала m . При анализе результатов численных расчетов установлено, что максимальный вклад в ГРЧ вносится двумя группами мод, одна из которых генерируется при взаимодействиях, близких к л-векторным, а другая - при взаимодействиях, близких к коллинеарным.

В разделе 3.3. показано, что при сильном акустическом взаимодействии эффективный волновой вектор волны (основной или удвоенной частоты) изменяется. Этот эффект может быть использован для компенсации волновой расстройки, обусловленной частотной дисперсией среды, в тех кристаллах, в которых фазово согласованная генерация нереализуема традиционными методами, основанными на двулучепреломлении. Получены модифицированные условия фазового синхронизма при ГВГ, учитывающие параметры акустооптического взаимодействия:

$$2p - \Delta k_{y1} = 0,$$

$$2p + \Delta k_{y1} = 0,$$

$$\text{где} \quad p = \sqrt{\left(\frac{\Delta k_y}{2}\right)^2 + \beta_1 \beta_2 \sum_{m=1}^M g_m^2}, \quad g_m = 2\pi \int_0^{R_B} \exp\left(-\frac{\rho^2}{2w_a^2}\right) j_0(q_e\rho) j_0(q_{om}\rho) \rho d\rho -$$

интегралы перекрытия, w_a – полуширина гауссовой функции, $\Delta k_{y1} = k_{2n} - k_{omy} - k_{ey}$ – волновая расстройка, k_{2n} , k_{omy} , k_{ey} – продольные составляющие волнового вектора. Как следует из условий (10), управлять параметрами акустооптического взаимодействия можно, изменяя интенсивность ультразвуковой волны.

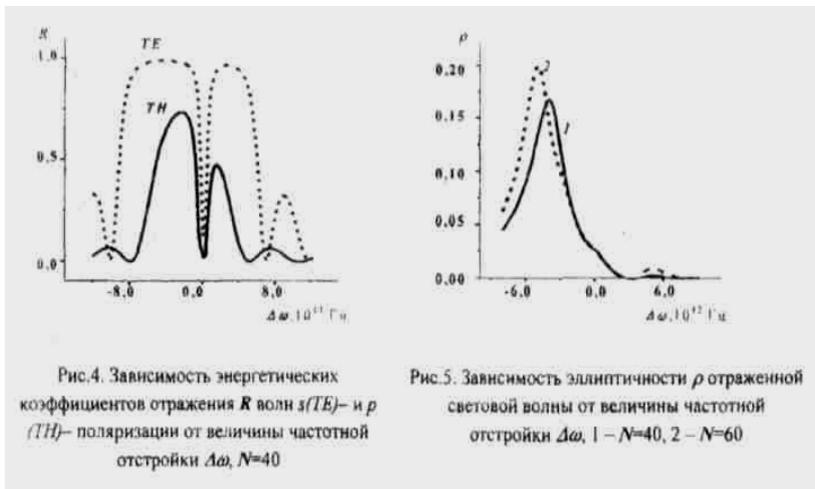
$$2p - \Delta k_{y1} = 0,$$

$$2p + \Delta k_{y1} = 0, \quad ;$$

На основе анализа зависимости интегралов перекрытия от модового индекса в условиях акустооптической дифракции при ГВГ бesselевых пучков показано, что эффективность преобразования определяется вкладом двух групп мод, индексы которых близки к значениям, соответствующим положениям максимумов функции

$$g_{mn}^2(n).$$

В четвертой главе исследовано преобразование поляризационно-спектральной структуры интерференционных световых полей, формируемых в результате многолучевой интерференции в поперечно-однородных структурах (прохождение светового пучка через многослойную среду), а также пространственной и пространственно-временной структуры стационарных и импульсных полей, формируемых в результате сложной поперечной амплитудно-фазовой и временной модуляции. В разделе 4.1. изучено влияние резонансного экситонного поглощения в слое СР на ее оптические свойства. В спектре отражения обнаружено наличие глубокого провала при совпадении частот Брэгга и частоты экситонного резонанса (рис.4), глубина которого обратно пропорциональна коэффициенту затухания экситона Γ , а ширина пропорциональна параметру продольно-поперечного расщепления $\omega_{\parallel T}$. В условиях экситонного резонанса отраженная световая волна поляризована эллиптически. Максимальное значение степени поляризации пропорционально числу слоев, образующих СР. При увеличении числа слоев СР положение максимума эллиптичности, смещается в длинноволновую область (рис.5). Азимут поляризации в окрестности резонансной частоты слабо изменяется и составляет примерно 44° , однако, за пределами полосы резонансного поглощения азимут поляризации быстро уменьшается.



В разделе 4.2. установлено, что наличие апертурных эффектов приводит к амплитудно-фазовым искажениям в схеме НЛЮ коррелятора со сложением частот. Влияние ограниченности апертуры такого коррелятора можно ослабить, уменьшая

выходные изображения в сочетании с увеличением мощности взаимодействующих волн, необходимым для сохранения уровня выходного сигнала. В пренебрежении искажениями выходной сигнал представляет собой двумерную свертку. Для осуществления корреляции в устройстве, реализованного по схеме со сложением частот, необходимо предварительное обращение волнового фронта одного из полей.

В разделе 4.3. обнаружено влияние отношения длительности импульса и времени группового запаздывания на выходной сигнал импульсного НЛО коррелятора. Особенностью *oe-e* взаимодействия при сложении частот является запаздывание обыкновенной и необыкновенных волн основной частоты. При времени запаздывания $\Delta\tau$ меньше ширины полосы частотного спектра $\Delta\nu_m^{-1}$, запаздывание можно не учитывать, и данная схема может использоваться для получения взаимно корреляционной функции после предварительного обращения волнового фронта одного из взаимодействующих полей. Фазовыми искажениями, которые обусловлены дифракционным расплыванием полей внутри кристалла, можно пренебречь при длине кристалла $l < 1 \div 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ (KDP, LiNbO₃, LiIO₃). При НЛО взаимодействии, сопровождающемся вычитанием частот световых волн возможно формирование двумерной корреляционной функции светового поля при условии отсутствия фазовых искажений и при предварительном уменьшении изображения $a_0^{(1)}$ (или при таком же увеличении $a_0^{(2)}$) в два раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе развита теория линейных и нелинейно-оптических преобразований амплитудно-фазовой структуры интерференционных световых полей и исследованы их поляризационно-спектральные свойства. В ходе исследований получены следующие основные научные результаты:

1. Установлены закономерности распространения бесселевых пучков в поглощающих средах. Получены выражения для компонентов полей ТН- и ТЕ-мод, выражение для разности фаз квазициркулярно поляризованного поля бесселева пучка, а также энергетические соотношения для потоков энергии и тепла ТН- и ТЕ-мод. Показано, что в поперечном сечении БСП как для основной моды, так и для мод высших порядков положения нулей радиального потока совпадают с положением минимумов или максимумов потока теплоты. Обнаружено, что азимутальную составляющую потока имеют только бесселевы пучки высших порядков. Для ТЕ-моды бесселева пучка характерно отсутствие радиального потока энергии. Интерференционная составляющая, формирующаяся при падении на поглощающую среду квазициркулярно поляризованного бесселева пучка, вносит существенный вклад в суммарный поток [17].
2. Предложен метод формирования высокосимметричных многопучковых интерференционных оптических полей посредством суперпозиции бесселевых пучков и соосных им пучков гауссова типа. Обоснована возможность вращения таких полей, обусловленная изменением разности фаз, в частности, при самовоздействии

бесселевых пучков, распространяющихся в кристаллах с квадратичной нелинейностью [4, 10, 13].

3. Разработаны теоретические модели коллинеарного акустооптического взаимодействия бесселевых пучков, основанные на предположении о распространении дифрагированной световой волны в прямом или обратном направлении. Найдена амплитуда дифрагированного поля и исследованы интегралы перекрытия для каждого из каналов дифракции. Выделены группы мод, вносящие определяющий вклад в эффективность акустооптической дифракции [9, 14, 15].

4. Получены аналитические выражения, определяющие параметры эллипса поляризации и зависящий от интенсивности коэффициент пропускания основного излучения, в условиях реализации поляризационной самомодуляции световых пучков в средах с квадратичной нелинейностью. Установлено, что коэффициент пропускания максимален при фазовой самомодуляции, когда основное излучение на выходе кристалла становится линейно поляризовано, а его плоскость поляризации повернута относительно плоскости поляризации исходного пучка на угол, равный удвоенному значению начального азимута поляризации [2, 3, 7].

5. С использованием построенной в работе теоретической модели процесса ГВГ в условиях дифракции бесселевых пучков на плоской ультразвуковой волне показано, что сильное акустооптическое взаимодействие приводит к изменению эффективного волнового вектора волны основной или удвоенной частоты и позволяет компенсировать волновую расстройку, возникающую при нелинейно-оптическом взаимодействии и обусловленную частотной дисперсией среды. Получены модифицированные условия фазового синхронизма при ГВГ, содержащие параметры акустооптического взаимодействия. Численными методами исследованы интегралы перекрытия при ГВГ в условиях акустооптической дифракции бесселевых световых пучков [8, 16].

6. Обнаружено влияние резонансного экситонного поглощения в слое сверхрешетки на поляризационно-спектральные характеристики отраженного света. Установлено наличие провала в спектре отражения при совпадении частоты экситонного резонанса с частотой брэгговского максимума отражения. Глубина провала обратно пропорциональна коэффициенту затухания экситона; ширина его пропорциональна параметру продольно-поперечного расщепления. Наличие экситонного резонанса приводит к возникновению эллиптической поляризации отраженной световой волны. При увеличении числа слоев в сверхрешетке положение максимума эллиптичности смещается в длинноволновую область [6].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи

1. Краморева Л.И., Романенко Е.С., Хило Н.А. Структура выходного сигнала нелинейно-оптического коррелятора. Схема со сложением частот // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. - 1992. - № 3-4. - С. 67 - 70.
2. Краморева Л.И., Хило П.А. Поляризационное самовоздействие в процессе генерации второй гармоники в кристалле КТР // Материалы IV Международной конференции Лазерная физика и спектроскопия, 1999 г., г. Гродно: Труды конференции / Гродненский гос. ун-т. - Минск, 1999. - С. 218 - 220.
3. Kramoreva L., Khilo P. Polarization self-action of Bessel light beams at second harmonic generation // Ninth Annular Seminar NCPS'2000 Nonlinear phenomena in complex systems, Minsk, Belarus, May 16-19, 2000: Proceedings of NCPS'2000 / Ин-т физики им. Степанова НАН Беларусі. - Minsk. 2000. - P. 155 - 160.
4. Khilo N.A., Kramoreva L.I., Khilo P.A. Optically controlled rotation of mutibeam light field // Optics of crystals. 26-30 September 2000, Mozyr, Belarus: Proceedings of SPIE / V.V. Shepeievich, iN.N.Egorov eds. - Washington: SPIE, 2001. - Vol.4358. - P. 250-253.
5. Khilo P.A., Pronevich O.I., Kramoreva L.I. Generation of difference frequency by Bessel light beams in condition of the quassi-synchronism // Optics of crystals. 26-30 September 2000, Mozyr, Belarus: Proceedings of SPIE / V.V. Shepeievich, N.N. Egorov eds. - Washington: SPIE, 2001. - Vol. 4358. - P. 272 - 276.
6. Хило П.А., Краморева Л.И. Брэгговское отражение световых волн от сверхрешетки вблизи экситонных резонансов // III Международная научно-техническая конференция Квантовая электроника, 20-22 ноября 2000г., Минск: Материалы конференции / Бел. гос. ун-т. - Минск, 2000. - С. 51 - 52.
7. Краморева Л.И., Хило П.А. Поляризационное самовоздействие в процессе ГВГ типа II в кристалле КТР//Весці НАНБ. Сер. фіз.-мат. навук. - 2001. -№ 1. -С. 99-102.
8. Хило П.А., Краморева Л.И. Особенности генерации второй гармоники в условиях акустооптической дифракции // XV Белорусско-литовский семинар Лазеры и оптическая нелинейность, 6-8 июня 2002, Минск, Беларусь: Материалы конференции / Ин-т физики им. Б.И. Степанова НАНБ. - Минск, 2002. - С. 116 - 122.

Заявки на изобретения

9. Краморева Л.И., Хило П.А. (РБ) Способ изменения эффективности дифракции светового поля при акустооптическом взаимодействии // № а20010680; заявл. 01.08.2001.
10. Краморева Л.И., Хило П.А., Хило П.А. (РБ) Способ изменения световых полей //№ а20010665; заявл. 11.12.2001.

Тезисы докладов

11. Краморева Л.И. Импульсный нелинейно-оптический коррелятор на основе вычитания частот // Научно-техническая конференция Оптика и твердотельная электроника, 20-21 сентября 1989 г., г. Минска: Тез. конф. / БелНИИНТИ Госплана БССР. - Минск, 1989. - С. 7 - 8.
12. Краморева Л.И. Импульсный нелинейно-оптический коррелятор // Научно-техническая конференция Оптика и твердотельная электроника, 20-21 сентября 1989г., г. Минск: Тез. конф. / БелНИИНТИ Госплана БССР. - Минск, 1989. - С. 5 - 6.
13. Khilo N.A., Kramoreva G.I., Khilo P.A. Optically controlled rotation of mutibeam light field // International scientific conference Optics of crystals OC-2000, 26-30 September 2000: Abstracts/Mozyr State Pedagogical Institute.- Mozyr, Belarus, 2000.- P. 40-41.
14. Краморева Л.И., Проневич О.И. Дифракция бесселевых световых пучков на ультразвуковой волне // Международная конференция Проблемы взаимодействия излучения с веществом, 30 октября - 1 ноября 2001 Гомель, Беларусь: Тез. докл. / ГГУ им Ф.Скорины. - Гомель, 2001. -С. 121.
15. Краморева Л.И., Хило П.А. Акустооптические взаимодействия бесселевых пучков // Международная конференция Проблемы взаимодействия излучения с веществом, 30 октября - 1 ноября 2001, Гомель, Беларусь- Тез. докл. / ГГУ им. Ф. Скорины. - Гомель, 2001. - С. 122.
16. Belyi V.N., Khilo P.A., Mashchenko A.G., Kramoreva I.I. Second harmonic generation with Bessel light beams under condition of acoustooptical diffraction // International Quantum Electronics Conference, IQCC/LAT-2002: Technical Digest, Moscow, Russia, 2002, 22-27 June: Hook of Abstracts / Russian Academy of Sciences. -Moscow, 2002. - P. 152.
17. Краморева Л.И., Хило Н.А., Петрова Е.С. Особенности использования беселевых световых пучков в исследовании микроскопических объектов // Международная конференция Лазеры в биомедицине, 1-3 октября 2002 г.: Программа и тез. докл. / Ин-т биохимии НАН Беларуси. - Минск, 2002. - С. 122.

РЕЗЮМЕ

Краморева Лариса Ивановна

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-СПЕКТРАЛЬНЫХ,
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ**

Ключевые слова: бesselев световой пучок, бesselев акустический пучок, генерация второй гармоники, генерация разностной частоты, сверхрешетка, экситон, нелинейно-оптический коррелятор, корреляционная функция.

Объектом исследования являются изотропные поглощающие среды, слоистые среды, нелинейные кристаллы, световые поля; предметом исследования - поляризационные и энергетические характеристики интерференционных световых полей в поглощающих и анизотропных средах. **Целью** работы является установление основных закономерностей преобразования пространственно-спектральных и поляризационных характеристик интерференционных световых полей, разработка новых методов управления их параметрами. Работа носит **теоретический** характер.

Впервые получены решения уравнений Максвелла для компонентов ТН- и ТЕ-мод и квазициркулярно поляризованных бesselевых пучков, распространяющихся в поглощающих средах. Определены энергетические потоки и зоны повышенного тепловыделения. Предсказан новый физический эффект, обусловленный поглощением излучения в среде: наличие радиального потока энергии поля. Предложены метод формирования высокосимметричных многопучковых оптических полей при суперпозиции бesselевых пучков и пучков гауссова типа, а также метод вращения данных полей. Построены теоретические модели коллинеарного акустооптического взаимодействия бesselевых пучков и генерации второй гармоники в условиях их коллинеарной дифракции на ультразвуковой волне. Предложены новый способ увеличения эффективности дифракции и метод модуляции излучения второй гармоники. Впервые в приближении заданной интенсивности описано явление поляризационной самомодуляции бesselевых пучков, определены условия реализации максимального коэффициента пропускания основного излучения. Исследовано влияние резонансного экситонного поглощения в слое сверхрешетки на поляризационно-спектральные характеристики отраженного света, установлены закономерности, возникающие в спектре отражения. Проведен расчет и анализ выходного сигнала нелинейно-оптического коррелятора квазистационарных и импульсных полей, выявлены особенности структуры выходного сигнала обоих типов корреляторов, определена область пространственной инвариантности выходного сигнала. Полученные результаты могут найти **применение** в области биофизики и спектроскопии для исследования биологических объектов и воздействия на них, а также в микро-, нанотехнологиях и оптоэлектронике.

РЭЗЮМЭ

Крамарава Ларыса Іванаўна

**ПЕРАЎТВАРЭННЕ ПРАСТОРАВА-СПЕКТРАЛЬНЫХ, ПАЛЯРЫЗАЦЫЙНЫХ
І ЭНЕРГЕТЫЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ІНТЭРФЭРЭНЦЫЙНЫХ
СВЕТЛАВЫХ ПАЛЕЎ**

Ключавыя словы: беселеў светлавы пучок, беселеў акустычны пучок, генерацыя другой гармонікі, генерацыя рознаснай частаты, звышрашотка, эксітон, нелінейна-аптычны карэлятар, карэляцыйная функцыя.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца ізатропныя паглынаючыя асяроддзі, слаістыя асяроддзі, нелінейныя крышталі, светлавыя палі; **прадметам** даследавання – палярызацыйныя і энергетычныя характарыстыкі інтэрферэнцыйных светлавых палеў у паглынаючых і анізатропных асяроддзях. **Мэтай** работы з'яўляецца ўстанаўленне асноўных заканамернасцяў пераўтварэння прасторава-спектральных і палярызацыйных характарыстык інтэрферэнцыйных палеў, распрацоўка новых метадаў кіравання іх параметрамі. Работа носіць **тэарэтычны** характар.

Упершыню атрыманы рашэнні ўраўненняў Максвэла для кампанентаў ТН- і ТЕ-модаў і квазіцыркулярных палярызаваных беселевых пучкоў у паглынаючых асяроддзях. Знойдзены энергетычныя патокі і зоны павялічанага цеплавывядзення. Прадказаны новы фізічны эффект – наяўнасць радыяльнага патоку энергіі поля, выкліканага паглынанням асяроддзя. Прапанаваны метад фарміравання высокасіметрычных шматпучковых аптычных палеў шляхам суперпазіцыі беселевых пучкоў і пучкоў гаўсава тыпу, а таксама метад вярчэння гэтых палеў. Пабудаваны тэарэтычныя мадэлі калінеарнага акустааптычнага ўзасмадзяснення беселевых пучкоў і генерацыі другой гармонікі беселевымі пучкамі ва ўмовах калінеарнай дыфракцыі на ўльтрагукавай хвалі. Прапанаваны новы спосаб павелічэння эфектыўнасці дыфракцыі і метад мадуляцыі выпраменьвання другой гармонікі. Упершыню ў прыбліжэнні зададзенай інтэнсіўнасці апісана з'ява палярызацыйнай самамадуляцыі беселевых пучкоў, вызначаны ўмовы рэалізацыі максімальнага каэфіцыента прапускання асноўнага выпраменьвання. Даследаваны ўплыў рэзанаанснага эксітоннага паглынання ў слаі звышрашоткі на палярызацыйна-спектральныя характарыстыкі адбітага святла, устаноўлены заканамернасці, узнікаючыя ў спектры адбіцця. Праведзены разлік і аналіз выхаднога сігнала нелінейна-аптычнага карэлятара квазістацыянарных і імпульсных палеў, выяўлены асаблівасці структуры выхаднога сігнала для карэлятараў абодвух тыпаў, вызначана вобласць прасторавай інварыянтнасці выхаднога сігнала. Атрыманыя вынікі могуць знайсці **прымяненне** ў біяфізіцы і спектраскапіі для даследавання біялагічных аб'ектаў і мэтанакіраванага ўздзеяння на іх, а таксама ў мікра-, нанатэхналогіях і оптаэлектроніцы.

SUMMARY

Kramoreva Larisa Ivanovna

TRANSFORMATION OF SPATIALLY-SPECTRAL, POLARIZING AND
ENERGETIC CHARACTERISTICS OF INTERFERENCE LIGHT
FIELDS

Keywords: Bessel's light beam, Bessel's acoustic beam, second harmonic generation, generation of difference frequency, superlattice, exciton, nonlinear-optical correlator, correlation function.

Object of a research is the isotropic absorbing mediums, heterostructures, nonlinear crystals, light fields; **subject** of a research is polarizing and energetic transformation of interference light fields in absorbing and anisotropic mediums. The **purpose** of work is the to uncover transformation of spatially-spectral and polarizing properties of interference light fields, to develop of new methods of controlling of their parameters. The work has a **theoretical** character.

Solutions of Maxwell's equations for components TH- and TE-modes and quasi-circular polarized of Bessel's beams in absorbing mediums for the first time are obtained. The energetic streams and zones of increased heat release are discovered. The new physical effect of existence of radial energy stream of field caused by absorption of a medium is predicted. The method of shaping of high-symmetrical multibeams optical fields by superposition of Bessel's beams and beams of Gaussian type, and also rotation method of these fields is proposed. The theoretical models collinear acousto-optical of interaction of Bessel's beams and second harmonic generation by Bessel's beams under conditions of a collinear diffraction on ultrasonic wave are described. The new method of increasing diffraction efficiency and method of second harmonics radiation modulation is proposed. For the first time in an approximation of given intensity the phenomenon of polarizing self-modulation of Bessel beams is described. The realization conditions of maximum transmitting coefficient of fundamental radiation are established. The influence of exciton resonance in a layer of a superlattice on polarizable-spectral characteristics of reflecting light is investigated. The features in reflection spectrum are found out. The calculation and analysis of output signal of a nonlinear-optical correlator of quasi-stationary and impulse fields are realized. The structure features of output signal of both types of correlators are discovered, the space invariance area of output signal is determined. The obtained results can be **applied** in the field of biophysics and spectroscopy for a research of biological objects and act to them, and also in micro-, nano-technologies and opto-electronics.

Краморева Лариса Ивановна

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-СПЕКТРАЛЬНЫХ,
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ**

Подписано в печать 20.07.03 г, Формат 60 x 84 1/16
Бумага писч. №1. Печать офс. Усл. п. п. 122
Уч. изд. л. 1, 16 . Тираж 100 экз. Заказ №71 .

Учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,
246699, г. Гомель, ул. Лесина, 80
Лицензия ЛВ № 357 от 12.02.99