

УДК 666.189.211:535

На правах рукописи

ЛАПАЕВА Светлана Николаевна

ФОРМИРОВАНИЕ ВЕКТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВЫХ ФРОНТОВ
В СИСТЕМЕ СТУПЕНЧАТОЕ ВОЛОКНО-КРИСТАЛЛ

Специальность - 01.04.05 - Оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук

Научный руководитель:
доктор физико-математи-
ческих наук, профессор
ВОЛЯР А.В.



00778437 (-)

Робота виконана в Симферополі
тете.

Научний керівник: доктор фізико-математических наук,
професор ВОЛЯР А.В.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математических наук
САХНОВСКИЙ М.Д.

кандидат фізико-математических наук
ТОКАРЕВ В.И.

Ведущая організація: Інститут фізики Академії наук України

Захита состоится "23" ноября 1994 г. в 14⁰⁰ часов
на засіданні Спеціалізованого ради К.068.16.06. при Черновиц-
ком державному університеті ім. Ю.Федьковича по адресу:
274012, г.Черновцы-12, ул. Коцюбинского, 2.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Черновицького
державного університета.

Автореферат розослан "10" октября 1994 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Учений секретар
Спеціалізованого
совета

Мохунь І.І.

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертации экспериментально и модельно-теоретически вскрываются основы влияния оптического эффекта Магнуса (ОЭМ) на поляризацию света, распределение интенсивности света на выходном торце волокна. Рассматриваются способы управления поляризацией СВВ волны при четырехлучковом смещении. В работе рассматриваются способы передачи поляризационно-модулированного сигнала через систему многомодовое волокно/фоторефрактивный кристалл. В частности, анализируется вопрос формирования заданного распределения поляризации света на выходе системы волокно/кристалл.

А к т у а л ь н о с т ь т е м ы. Известные геометроволновые способы описания распространения света через ступенчатые многомодовые волокна не учитывали особенности проявления ОЭМ в волокне, в частности, взаимозависимость кручения лучевой каустики волны и изменение состояния поляризации света. Это приводило к неточному описанию распределения интенсивности света на выходном торце волокна и затрудняло передачу поляризационной информации через систему волокно/кристалл, а также конструирование датчиков физических величин.

Исследование нетрадиционных оптических явлений, таких как фаза Берри и ОЭМ, и создание на их основе оптических устройств передачи информации, как показано в данной работе, открывает перспективу не только исследования фундаментальных оптических явлений, но и создание принципиально новых устройств передачи и регистрации информации. Например, исследование ОЭМ дает возможность вскрыть основные закономерности взаимозависимости фазы Берри и ОЭМ. Использование эти

эффектов в системах передачи и сбора информации в значительной мере расширило бы наши технические возможности.

К началу выполнения данной работы не был открыт СЭМ в ступенчатых многомодовых волокнах, не были вскрыты особенности проявления этого эффекта в различных типах волокна и не проводились исследования по снижению отношения сигнал/шум в системе волокно/кристалл. Не было создано способа управления поляризацией СВФ волны на ФРК, а следовательно, не существовало возможности компенсации поляризационных искажений в системе волокно/кристалл.

Ц е л ь , р а б о т ы состояла в следующем:

1. Исследование особенностей проявления углового смещения в многомодовых ступенчатых волокнах. Выявление зависимости удельного углового вращения волновых каустик от характеристик волокна. Влияние переменной кривизны на величину удельного вращения.

2. Исследование способов управления поляризацией обращенной по фронту волны при четырехпучковом смещении.

3. Исследование условий компенсации поляризационных шумов при передаче поляризационно-модулированного сигнала через систему волокно/ФРК.

4. Обоснование методики измерения углового азимутального смещения посредством исследования Фурье-образов полемнимых источников и волновых каустик, формирующихся на выходном торце волокна.

Н а у ч н а я н о в и з н а р а б о т ы . Впервые экспериментально исследован СЭМ в многомодовых ступенчатых волокнах, дана модельно-теоретическая ее трактовка. Впервые

экспериментально исследованы условия управления поляризацией СВЧ волны при четырехлучковом смещении. Определены условия записи динамической решетки на $LiNbO_3 : Fe^{3+}$ или Si^{3+} , оптимизирующие поляризационное СВЧ. Впервые экспериментально показана возможность снижения поляризационного шума, возникающего в результате углового смещения за счет выбора оптимального способа модуляции.

Научная и практическая ценность. Результаты работы вскрывают физический механизм углового азимутального смещения поля после волокна, колебательную неустойчивость лучевой траектории локальной волны в процессе эволюции поляризации света в волокне. Показаны пути создания устройств СВЧ с управлением поляризацией обращенной волны. Разработана система волокно/ФК, снижающая поляризационный шум, вызванный несогласованностью СВЧ прямой и обратной волны.

Основные защищаемые положения:

1. Эффект вращения плоскости распространения локальной волны в ступенчатом многомодовом цилиндрическом волокне, называемый оптическим эффектом Магнуса, связан с боковым смещением локальной волны по Федорову при отражении от диэлектрической поверхности. При этом:

- начальное вращение плоскости локальной волны в волокне совпадает с направлением вращения циркулярно-поляризованной падающей волны;

- вращение плоскости локальной волны колеблется относительно начального положения на входном торце вследствие изменения состояния поляризации при распространении вдоль волокна;

- удельное кручение плоскости локальной волны в волокне с круговым поперечным профилем пропорционально квадрату кривизны волокна.

2. При четырехпучковом смещении возможно не только осуществлять поляризационное ОБФ, но и управлять поляризацией обращенного пучка, сохраняя фазовое обращение.

Основным фактором, влияющим на качество поляризационной передачи информации в системе волокно/фоторефрактивный кристалл является несогласованность оптических эффектов Магнуса прямой и модулированной обратной волны. Поляризационная модуляция в системе волокно/кристалл наиболее оптимальна при модуляции азимута поляризации, но вносит высокий уровень шума в восстановленную волну при модуляции эллиптичности.

П у б л и к а ц и и. Основные материалы диссертации опубликованы в 15 научных работах, список которых приводится в конце автореферата.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Материалы диссертации были представлены на XIV Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике (Ленинград, 1991); Международной конференции "Оптика жидких кристаллов, фоторефрактивных и гетерогенных сред" (Алушта, 1992; Севастополь, 1992); *Topical meeting on Photorefractive material, effects and devices* (Aussort, France, 1990); (Boston, USA, 1991).

Л и ч н ы й в к л а д с о и с к а т е л я заключается в непосредственном участии совместно с научным руководителем в постановке задач; участие в расчетах: а) деполаризации света в ступенчатых волокнах, б) оптимальных условий передачи поляризационно модулируемого (ПМ) сигнала в системе волокно/

ФРК при ОВФ; проведение экспериментов по передаче МП сигнала, определение оптимальных условий записи дифракционных решеток, исследование физических характеристик ООМ в ступенчатых волокнах.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, 61 рисунка, списка литературы из 121 наименования. Работа содержит 179 страниц машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сделан обзор литературы по вопросам исследования смещения Федорова на плоской границе раздела двух сред (смещение Федорова связано с боковым потоком, возникающим при полном внутреннем отражении локальной волны), а также ООМ в градиентных и ступенчатых волокнах. Обсужден вопрос правомочности описания света как на языке лучевой оптики, так и посредством волновой теории. Показано, что описание поляризационных процессов в волокне на основе метода локальных плоских волн (Снайдер, Лав) имеет тот же порядок приближения, что и описание этих процессов на основе LP -мод с деполаризационными поправками в первом приближении теории возмущений.

Дан обзор методов поляризационного ОВФ при вырожденном 4-х лучковом смещении. Рассмотрены принципы передачи информации через систему волокно/ФРК. Дан аналитический обзор литературы по вопросам формирования, преобразования и восстановления поляризационных характеристик волновых фронтов после многомодовых градиентных и ступенчатых волокон.

Дан подробный анализ литературы по вопросам восстановления поляризации и фазы волны в системе волокно/ФРК при ОВФ

В первой главе рассматриваются два взаимосвязанных эффекта: 1) смещение Федорова $[I^*]$; 2) оптический эффект Магнуса $[2^*, 8]$.

Ф.И. Федоров утверждал, что при отражении луча от плоской границы раздела двух сред возникает кроме потока вдоль плоскости распространения луча и боковой поток. В результате возникают два смещения: 1) параллельное смещение Гооса-Ханкеля - δ_{\parallel} ; 2) перпендикулярное δ_{\perp} . Величина перпендикулярного смещения зависит от состояния поляризации падающей волны. Этот эффект в ступенчатых многомодовых волокнах проявляется как ОЭМ. ОЭМ заключается в том, что меридиональная плоскость, в которой распространяется локальная волна, поворачивается на угол α . Величина угла поворота α зависит от состояния поляризации падающей локальной волны.

В градиентных волокнах состояние поляризации локальной волны при распространении ее вдоль волокна не изменяется. Поэтому в таких волокнах ОЭМ приводит к постоянному вращению меридиональной плоскости.

В ступенчатых волокнах вследствие полных внутренних отражений состояние поляризации локальной волны изменяется вдоль волокна от круговой до линейной и наоборот, поэтому величина и направление угла поворота меридиональной плоскости непрерывно меняется. Описанный процесс приводит к колебаниям каустик меридиональных лучевых траекторий.

В работе исследуется ОЭМ на существенно многомодовых волокнах длиной $d \sim 10-18$ см. В них ОЭМ проявляется в смещении каустик лучевых траекторий на выходном торце волокна при смене состояний поляризации на входном торце. По углу смеще-

ния этих каустик определялось удельное вращение меридиональных траекторий. Экспериментально исследована зависимость смещения меридиональной плоскости от радиального угла локальной волны (рис. 1). Функция носила осциллирующий характер с изменением величины и направления смещения.

Экспериментально показано, что на протекание ОСМ в ступенчатых волокнах кроме радиального влияет также и азимутальный угол. Для косых лучевых траекторий наблюдалась процессия каустик, которая резко уменьшалась с увеличением азимутального угла.

В работе исследовалась зависимость удельного смещения каустик меридиональных лучевых траекторий от радиуса поперечного сечения круглых ступенчатых волокон. Экспериментально показано, что удельное смещение α' прямо пропорционально квадрату кривизны отражающей поверхности (кривая 1 рис. 2). Такая пропорциональность объясняется тем, что линейное смещение (смещение Федорова на плоской границе раздела двух сред) в круглом волокне приводит к угловому смещению локальной волны. Угловое смещение для одного отражения α'' обратно пропорционально радиусу поперечного сечения волокна. Удельное же смещение $\alpha' \sim \alpha''/z$, где $z \sim R$, поэтому $\alpha' \sim 1/R^2$.

Отдельно исследовался вопрос связи знака вращения в циркулярной локальной волне с направлением углового смещения. В литературе была по этому вопросу противоречивые сведения. Так, например, в [2^x] утверждалось, что направление циркуляции и направление вращения спекл-картины имеет одинаковый знак, а в [3^x] утверждалось обратное. В работе подтверждено первое предположение. Экспериментальное угловое смещение определялось сменой на входном торце волокна состояния поляри-

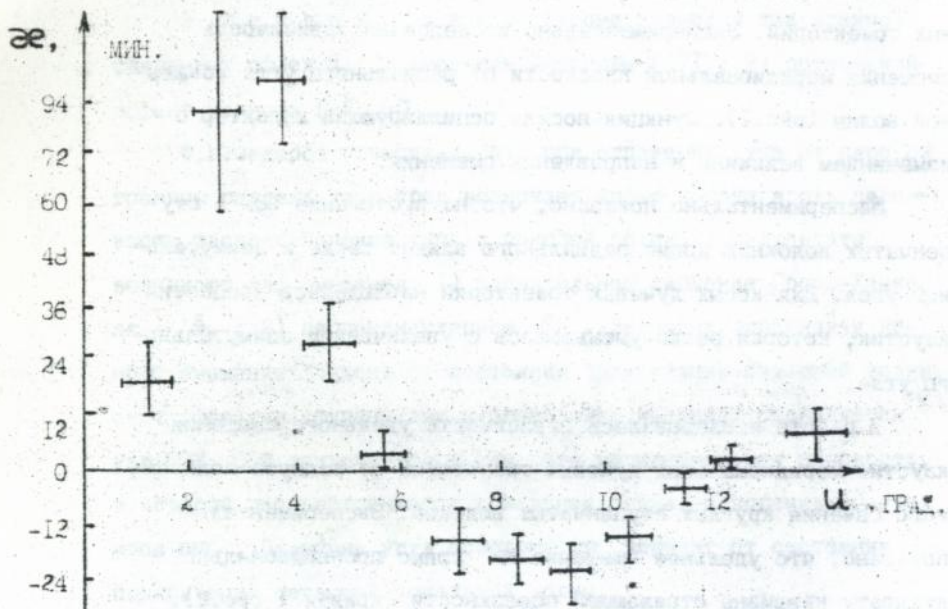


Рис. 1

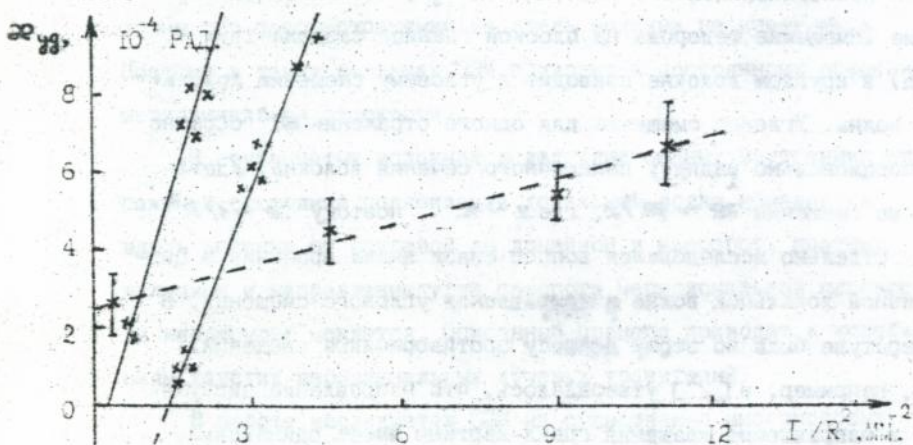


Рис. 2

зации с линейной до круговой. Требовалось показать, что любые линейные состояния поляризации $\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ или $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ дадут одну и ту же величину смещения каустик. Показана равнозначность различных линейных поляризаций, взятых как точки отсчета в определении величины и направления смещений. В работе исследовалось удельное смещение каустик существенно многомодовых ступенчатых эллиптических волокон с эксцентриситетом $e = 0,87$ и $e = 0,6$. Кривые зависимостей $\alpha' \sim 1/R^2$ приведены на рис.2. Построены зависимости смещения α' от мгновенного радиуса волокна (кривая 2 для волокна с $e = 0,87$, кривая 3 для волокна с $e = 0,6$ и кривая 1 для круглых волокон). Было показано, что в волокнах с переменным радиусом одновременно протекает два процесса: 1) $\alpha' \sim 1/R^2$, который описан подробно для круглых волокон; 2) геометрический, связанный с месторасположением центров мгновенных радиусов отражающих поверхностей. На рис.3 показано, как второй процесс приводит к возможности управления величиной углового смещения. Угловое смещение можно: (а) - увеличить; (б) - уменьшить; (в) - скомпенсировать; (г) - изменить направление смещения на противоположное.

В работе дан модельно-теоретический расчет спекл-поля на выходном торце волокна. Рассматривался процесс многолучевой поляризационной интерференции локальных волн. В отличие от аналогичных работ по многолучевой интерференции [4*], в данной работе учитывалось начальное состояние поляризации, его изменение вдоль волокна и БЭМ в ступенчатых волокнах. Было показано (рис.4), что смена состояния поляризации на

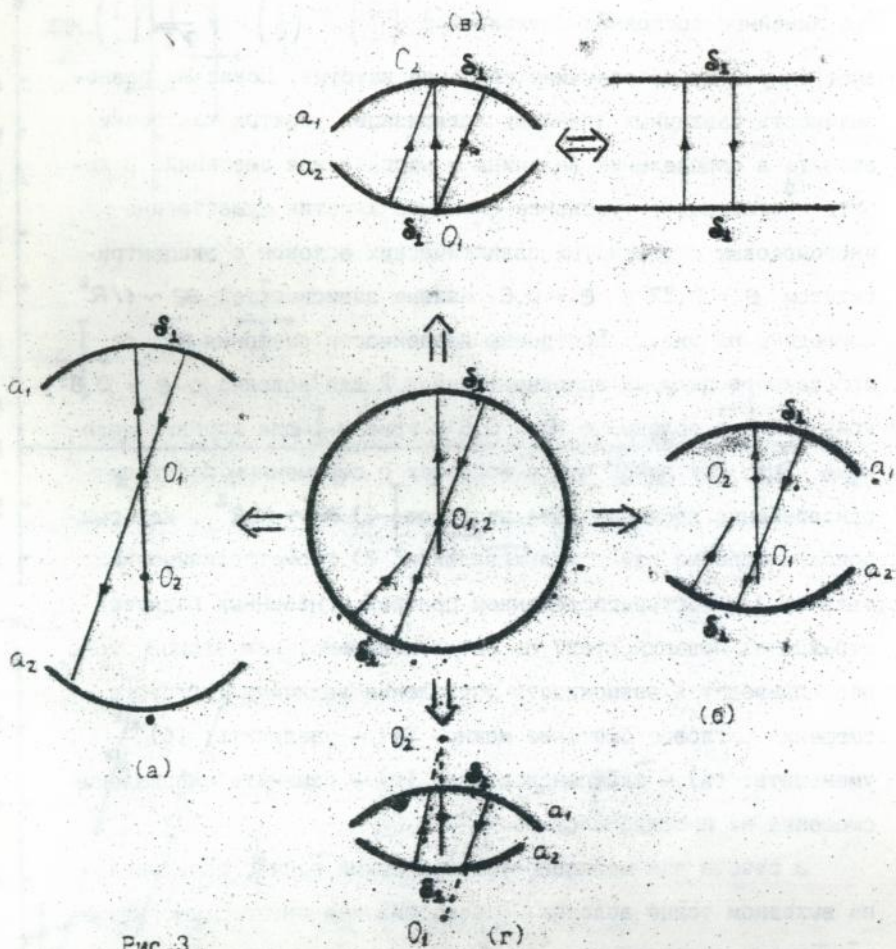


Рис. 3

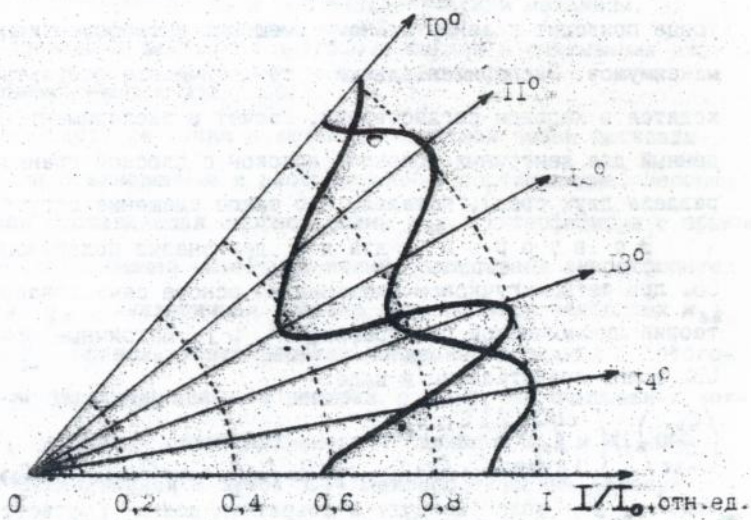


Рис. 4

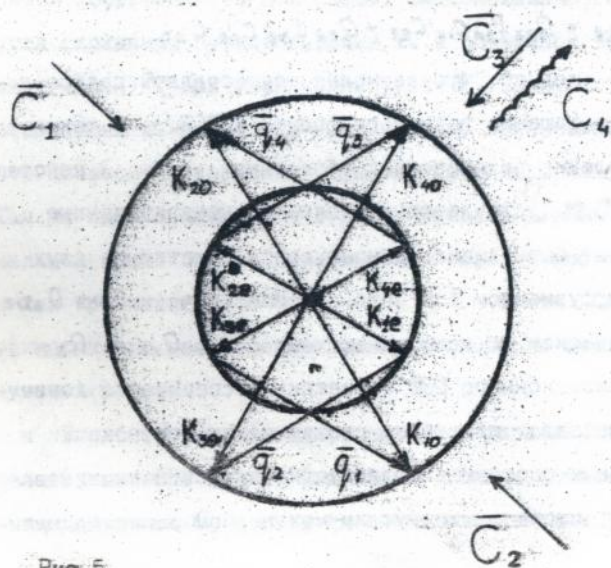


Рис. 5

входном торце волокна с линейной до круговой, на выходном торце приводит к азимутальному смещению интерференционных максимумов. Экспериментальные и теоретические результаты находятся в хорошем согласовании. Расчет и эксперимент, проведенный для ленточных волокон (волокон с плоской границей раздела двух сред), показал, что такое смещение отсутствует.

Во второй главе дан анализ поляризационного СВ при четырехлучковом смещении на основе самосогласованной теории динамической голографии [3*, 5]. Матричные уравнения СВ волны представлены в виде:

$$\begin{pmatrix} C_{4x} \\ C_{4z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -iyQ_{1x}f_{1x}C_{1x}C_{2z} \\ -iyQ_{3Dz}C_{1x}C_{2x} - y[Q_{2x}f_{2x}C_{1x}C_{2x} + Q_{3z}f_{3z}C_{1z}C_{2z}] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{3x}^* \\ C_{3z}^* \end{pmatrix}$$

где $C_{1,2,3}$ - волны накачки и объектная волна, соответственно. Эти уравнения в случае диагонализации матрицы можно свести к соотношениям:

$$Q_{3Dz}C_{1x}C_{2x} = 0 ;$$

$$Q_{1x}f_{1x}C_{1x}C_{2z} = Q_{2x}f_{2x}C_{1x}C_{2z} + Q_{3z}f_{3z}C_{1z}C_{2z} .$$

Из соотношений следует, что возможно осуществлять полное поляризационное обращение волнового фронта (ППОВ), а также возможно управление поляризацией обращенной волны. В кристаллах симметрии $3m$ (для которых записаны вышеприведенные уравнения) может быть запись динамической решетки на двух механизмах: диффузионном (за него отвечает коэффициент Q_{3Dz}) и фотогальваническом (с коэффициентами Q_{1x} ; Q_{2x} ; Q_{3z}). В случае поляризационного СВ геометрия эксперимента (ориентация осей кристалла, плоскости схождения пучков накачки и объектной волны и состояния поляризаций пучков накачки) выбирается такой, чтобы доминирующим механизмом записи динами-

ческой голограммы являлся фотогальванический механизм. На рис. 5 приведена векторная диаграмма записи и считывания дифракционных решеток при ППОВ.

На кристалле пучки накачки и объектной волны раскладывались на обыкновенные и необыкновенные составляющие. Необыкновенная составляющая опорной волны K_{1e} , интерферируя с обыкновенной составляющей объектной волны, записывает анизотропную решетку \bar{q}_2 . Аналогичная решетка записывается векторами K_{3e} и $K_{1o} - \bar{q}_1$. Поскольку эти решетки записаны на волнах с ортогональными поляризациями, то решетки \bar{q}_1 и \bar{q}_2 при считывании волной C_2 порождают ортогональные составляющие K_{1o} и K_{1e} ОВФ волны. Устанавливая в пучок C_2 электрооптический фазовый модулятор, можно создавать разность фаз между K_{1o} и K_{1e} составляющими, что приводит к изменению эллиптичности ОВФ волны.

В работе исследовались условия максимальной поляризационной эффективности при ППОВ. Было показано, что оптимальный угол схождения пучков накачки C_1 и объектной волны C_3 составляет $\theta \approx 17^\circ$. При увеличении угла θ величина коэффициентов, отвечающих за запись на диффузионном механизме, увеличивается, что приводит к снижению эффективности поляризационного ОВФ. Так же было показано, что для кристалла $LiNbO_3 : Fe^{3+}$ оптимальное время записи динамической решетки составляет 5-6 мин., а для кристалла $LiNbO_3 : Si^{3+}$ $t \sim 8$ мин. Снижение эффективности при увеличении времени экспозиции связано с записью шумовых решеток.

В работе исследовалась проблема управления состоянием поляризации ОВФ волны. При полном поляризационном ОВФ в считывающий пучок C_2 смещался электрооптический фазовый модуля-

тор, изменяющий фазу между ортогональными составляющими k_{4p} и k_{4e} СВФ волны (см. рис. 5). Вследствие этого СВФ волна заданным образом изменяла свои поляризационные характеристики, чем и осуществлялось управление поляризацией СВФ волны.

В третьей главе приводится модельное описание передачи, обращения и восстановления поляризации света в системе маломодовое круглое ступенчатое волокно/фоторефрактивный кристалл. Было показано, что после восстановления четная мода $\begin{pmatrix} \cos \psi \\ 0 \end{pmatrix}$, используемая в качестве пробной волны, преобразуется к виду:

$$\frac{a_{11} + a_{22}}{2} \begin{pmatrix} \cos \psi \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{a_{11} - a_{22}}{2} \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \beta_{12} d \\ i \sin \psi \sin \beta_{12} d \end{pmatrix},$$

где a_{11} и a_{22} - элементы матрицы СВ кристалла и модулирующего устройства.

$\beta_{12} = \beta_1 - \beta_2$, где β_1 и β_2 - постоянные распространения четной и нечетной собственных мод волокна.

Как видно из уравнения, первый член - восстановленная волна, а второй член - шумовая компонента, снижающая эффективность поляризационного СВФ. Как показано в главе II, для кристалла симметрии $3m$ найдены условия ПНОВФ (т.е. $a_{11} = a_{22}$). Но если по системе волокно/кристалл передавать информацию, то тогда сама информация будет вносить шум в восстановленную волну.

В работе рассмотрен способ передачи информации путем поляризационной модуляции. Рассмотрено два альтернативных типа поляризационной модуляции света в системе волокно/кристалл: 1) модуляция по азимуту поляризации; 2) модуляция по эллиптичности. Для первого случая в схему полного поля-

ризаационного СВВ между кристаллом и волокном помещался не-
взаимный элемент, выполненный в качестве модулирующей ячейки
парадея. Этот элемент осуществлял модуляцию азимута линейной
поляризации.

Для второго случая электрооптический фазовый модулятор
помещался в считывающий пучок C_2 . Модулятор работал в фа-
зовом режиме. На выходе из кристалла между обыкновенной и
необыкновенной составляющими СВВ волны вводилась разность
фаз, вследствие чего пучок изменял свою эллиптичность. В схе-
ме использовалось маломодовое ступенчатое волокно длиной

10 м и приведенным диаметром $V = 5,1$, что соответство-
вало распространению через него 14 невырожденных мод. В ка-
честве кристалла использовался кристалл $LiNbO_3:Fe^{3+}$. Так
как этот кристалл инерционен, это позволило разделить по
времени запись динамической решетки и ее считывание. Запись
проводилась при ППОВВ. Во время считывания включался модуля-
тор и измерялись поляризационные характеристики восстановлен-
ного поля. Показано, что при модуляции по азимуту поляризации
шумовая компонента минимальна и степень поляризации восстанов-
ленного пучка не ниже 75 %, в то время как степень поляриза-
ции при модуляции по эллиптичности ~ 62 %.

Снижение степени поляризации при передаче поляризационно-
модулированного сигнала связано с тем, что при обратном рас-
пространении света по волокну поляризация СВВ пучка на выходе
волокна не совпадает с поляризацией объектной волны на выход-
ном торце из-за модуляции по поляризации. Это отразится на
различных величинах скручивания траектории отдельных локаль-
ных волн прямой и обратной волны. В результате произойдет

неполная компенсация фазы и поляризации некоторого множества локальных волн, в следовательсно, отразится на степени поляризации восстановленного потока. Как показано в главе 1, для линейных состояний поляризации величина углового смещения минимальна, и максимальна для циркулярных состояний поляризации падающего потока. Тогда при модуляции по эллиптичности вес некомпенсированных локальных волн выше, чем при модуляции по азимуту линейной поляризации. В работе показано, что основной вклад в шумовые компоненты восстановленного поля при поляризационной модуляции вносит СЭМ.

В з а к л ю ч е н и и сформулированы основные результаты работы:

1. Экспериментально обнаружена колебательная неустойчивость лучевой каустики многомодового ступенчатого волокна. Выяснено, что в отличие от аналогичного эффекта в градиентном волокне, в ступенчатом волокне волновая каустика участвует в колебательном процессе.

2. Удельное кручение лучевой каустики пропорционально квадрату кривизны волокна.

3. При распространении света через волокно с переменной кривизной отражающей поверхности удельное кручение локальной волны зависит от мгновенных радиусов отражающих поверхностей и от взаиморасположения их центров. В результате этого удельное вращение может увеличиваться, уменьшаться, менять знак или компенсироваться.

4. Определено, что начальная неустойчивость волновой каустики осуществляется в направлении циркуляции поляризации локальной волны на входе волокна.

5. В качестве точки экспериментального отсчета может быть выстроена любая линейная поляризация вне зависимости от ее азимута.

6. Проведен модельно-теоретический расчет спекл-поля на выходе волокна на основе многолучевой поляризационной интерференции с учетом бокового смещения Федорова. Было показано, что азимутальное угловое смещение дает существенный вклад в спекл-поле цилиндрического волокна, что хорошо согласовывалось с экспериментальными результатами. В ленточных волокнах ни экспериментально, ни теоретически не был обнаружен ООМ.

7. Показано, что многолучевая интерференция приводит к возникновению ростков волновых каустик.

8. Показано, что измерения азимутального смещения спекл-поля излучения вносят высокую ошибку в определение опытных данных. Наиболее оптимальным способом измерений величины углового смещения является выявление закономерности эволюции волновых каустик и интерференционных максимумов мнимых источников излучения.

9. Показано, что управление поляризацией ОВФ волны осуществляется путем фазовой модуляции в пучке накачки.

10. Сравнивались режимы поляризационной модуляции по азимуту поляризации и по эллиптичности ОВФ волны. Показано, что модуляция по азимуту наиболее оптимальна, поскольку вводит минимальный поляризационный шум (15 %) в восстановленную волну.

Цитируемая литература

1*. Федоров Ф.И. Смещение светового луча при отражении от изотропных сред // ЖСП, 1977. - Т.27, вып.2. - С.380-388.

2*. Зельдович Б.Я., Либерман В.С. Поворот плоскости мегидионального луча в градиентном световоде за счёт циркулярности поляризации // Квантовая электроника, 1990. - Т.17, вып.4. - С.493-494.

3*. Садыков Н.Р. Распространение циркулярного поляризованного излучения по искривлённой траектории // Квантовая электроника, 1993. - Т.19, вып.10. - С.1021-1023.

4*. Кучикян Л.М. Физическая оптика волоконных световодов. - М.: Энергия, 1972. - С.78-89.

5*. Новиков А.Д., Сдулов С.Г., Соскин М.С. Векторное четырёхлучковое взаимодействие в кристаллах ниобата лития на фотогальванической нелинейности. // Фотоанизотропные и фототропные явления в конденсированных средах и поляризационная голография. - Тбилиси, Мицнерба, 1987. - С.106-113.

Основное содержание диссертации опубликовано

в работах:

1. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Кухтарев Н.В. Эффективность поляризационного обращения волнового фронта в системе оптическое волокно/кристалл // Письма в ЖТФ, 1990. - Т.16, вып.4. - С.4-8.

2. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Кухтарев Н.В., Кучикян Л.М. Поляризационный шум в маломодовых волокнах при возмущенном обращении волнового фронта // Оптика и спектроскопия, 1990. - Т.68, вып.6. - С.1386-1391.

3. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Кухтарев Н.В., Сдулов С.Г. Поляризационное обращение волнового фронта в фоторефрактивных кристаллах // Письма в ЖТФ, 1991. - Т.17, вып.4. - С.10-14.

4. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Кухтарев Н.В., Лейфер Н.Н. Геометрическая фаза и восстановление поляризации света при

ОВВ в многомодовом волокне // Письма в ЖТФ, 1991. - Т.17, вып.13. - С.1-5.

5. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Кухтарев Н.В., Семенец Т.И. Восстановление поляризации при ОВВ в фоторефрактивных кристаллах // Квантовая электроника, 1991. - Т.18, вып.8. - С.956-959.

6. Лапаева С.Н., Воляр А.В. Оптический эффект Магнуса и формирование векторных характеристик ОВВ поля системой волокон/кристалл // Письма в ЖТФ, 1992. - Т.18, вып.24. - С.74-77.

7. Лапаева С.Н., Воляр А.В. Многолучевая поляризационная интерференция света в многомодовых волокнах // Письма в ЖТФ. - 1994. - Т.20, вып.8. - С.4-7.

8. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Мягков В.И. Колебательная неустойчивость лучевых траекторий и поляризационных состояний света в многомодовом волокне // Письма в ЖТФ. - 1992. - Т.18, вып.8. - С.53-57.

9. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Гнатовский А.В., Мягков В.И. Поляризационное расщепление плоскости распространения локальной волны в ступенчатом многомодовом волокне // УДЖ, 1992. - Т.37, вып.10. - С.1468-1471.

10. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Модникова Э.А. Автополяризация света в маломодовом волокне // Письма в ЖТФ, 1994. - Т.20, вып.7. - С.6-9.

11. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Кухтарев Н.В., Сдулов С.Г. Способ поляризационного обращения фронта световой волны // Положительное решение № 4916945/25(020265) от 26.06.92.

12. Лапаева С.Н., Воляр А.В., Кухтарев Н.В., Сдулов С.Г., Гнатовский А.В. Способ параллельной передачи оптической информации через многомодовое волокно // Положительное решение № 4918055/25(021094) от 11.03.91.

13. Lapaeva S., Volyar A., Ganatovsky A., Kukhtarev N. Image transmission via a multimode fiber assisted by polarization preserving phase conjugation in the photorefractive crystal. // Appl. Phys. April. 1991. P. 331 - 333.

14. Lapaeva S., Ganatovsky A., Volyar A., Kukhtarev N. Image transmission thorough multimode fiber and photorefractive crystal. // Topical meeting on Photorefractive Materials. Effects and Devices. Boston. USA. 1991. July. P. 1123 - 1127.

15. Лапаева С.Н., Волярь А.В., Мицай Ю.Н. Влияние кривизны поперечного сечения многомодового волокна на угловое вращение лучевой заустилки. // Письма в ЖТФ, 1994.- Т.20, вып.6.- С.32-36.





AB 31.088

AB 31.088

Лит. г. а 1965