

На правах рукописи

Абдуллина Софья Рафисовна

**Подавление боковых резонансов в спектре волоконных
брэгговских решеток, записанных гауссовым пучком в
голографических схемах**

01.04.05 «Оптика»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Новосибирск–2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)

Научный руководитель: **Бабин Сергей Алексеевич**

доктор физико-математических наук, чл.-корр. РАН,
заведующий лабораторией волоконной оптики
ИАиЭ СО РАН

Официальные оппоненты: **Редюк Алексей Александрович**

кандидат физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт вычислительных
технологий Сибирского отделения Российской
академии наук, научный сотрудник

Морозов Олег Геннадьевич

доктор технических наук,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования Казанский
национальный исследовательский технологический
университет, профессор, заведующий кафедрой
телевидения и мультимедийных систем

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт автоматики и процессов
управления Дальневосточного отделения
Российской академии наук (Владивосток)

Защита диссертации состоится «__» _____ 2014 года в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 003.005.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматики и электрометрии СО РАН, адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИАиЭ СО РАН.

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Ильичев Л.В.

Общая характеристика работы

Актуальность

В настоящее время одним из ключевых элементов в различных устройствах волоконной оптики являются волоконные брэгговские решетки (ВБР) – одномерные периодические структуры показателя преломления, сформированные в сердцевине волоконного световода [1]. Их востребованность обусловлена уникальными спектральными свойствами, полностью волоконным исполнением, малыми вносимыми потерями. Конкретные применения ВБР налагают определенные требования на форму спектра отражения, которая определяется профилем показателя преломления решетки. Одним из общих требований является отсутствие боковых резонансов, что достигается за счет обеспечения плавного изменения амплитуды модуляции и выравнивания среднего значения наведенного показателя преломления вдоль решетки $\overline{\Delta n}(z) = const$, так называемой аподизации профиля решетки. В частности, ВБР с подавленными боковыми резонансами в спектре отражения применяются в качестве зеркал волоконных лазеров [2], при этом длина волны и форма спектра генерации определяются спектром отражения ВБР. Резонансная длина волны ВБР чувствительна к деформациям и температуре [1, 3], что дает возможность их применения в качестве чувствительного элемента волоконных сенсорных систем. Важно, что чувствительность такой сенсорной системы будет определяться, в том числе, величиной боковых резонансов ВБР. Также ВБР широко используются в качестве спектрально-селективных элементов в системах волоконно-оптической связи [1, 4].

Существует множество профилей показателя преломления, формируемых ультрафиолетовым (УФ) или фемтосекундным (с разной длиной волны) излучением, которые позволяют получить спектр ВБР с подавленными

боковыми резонансами [1, 5], при этом практическая реализация большинства из них требует технологически сложных сканирующих методик.

Цель работы состояла в разработке технически несложных голографических методов записи, обеспечивающих подавление боковых резонансов в спектре отражения ВБР без использования сканирования (в полном поле интерференционной картины, получаемой при пропускании гауссова пучка через фазовую маску или интерферометр Ллойда).

Задачи работы

Основные задачи, которые необходимо было решить для достижения цели:

1. Оптимизация параметров непрерывного УФ лазера для записи ВБР (расчет и реализация).
2. Разработка методов характеристики записанных решеток (расчет и сравнение с экспериментом).
3. Реализация и сравнение разных голографических методов записи (схемы с фазовой маской и интерферометром Ллойда).
4. Исследование возможностей аподизации (сглаживания профиля показателя преломления) при использовании гауссова пучка в данных схемах.
5. Исследование характеристик и сравнение аподизированных решеток в разных схемах.

Научная новизна

Для реализации интерференционных схем записи ВБР гауссовым пучком были созданы источники когерентного непрерывного УФ излучения (длина волны генерации 244 нм), использующие удвоение частоты аргонового лазера в кристалле ВВО, помещенном во внешний резонатор или внутрь резонатора

лазера. В схеме внутриврезонаторного удвоения частоты мощность УФ излучения достигала 1 Вт, что в 2 раза превышало мощность известных ко времени выполнения работы УФ источников, работающих на длине волны 244 нм. Увеличение мощности достигнуто за счет увеличения апертуры основного пучка в разрядной трубке. Длина когерентности составила ≥ 3 см, что достаточно для записи ВБР голографическими методами.

В интерференционной схеме записи с фазовой маской впервые предложены и реализованы два простых метода выравнивания среднего значения наведенного показателя преломления, обеспечивающих подавление боковых резонансов в коротковолновой части спектра высокоотражающих ВБР до уровня < -20 дБ. Первый метод основан на дополнительной засветке записанной интерференционной структуры непромодулированным гауссовым пучком слева и справа от нее на расстоянии порядка радиуса записываемого пучка. Альтернативный метод обеспечивает выравнивание среднего значения наведенного показателя преломления в области записываемой ВБР за счет относительного сдвига центров интерферирующих гауссовых пучков (+1 и -1 порядок фазовой маски) при поперечном смещении фазовой маски в направлении от волокна. Оба метода позволяют подавить боковые резонансы без существенного изменения ширины основного (брэгговского) резонанса в спектре ВБР с фиксированной длиной волны, определяемой фазовой маской.

В работе также впервые предложен и реализован метод подавления боковых резонансов в спектре отражения ВБР, записываемых в области интерференции двух частей гауссова пучка в интерферометре Ллойда, за счет смещения падающего гауссова пучка относительно оси деления интерферометра и выравнивания среднего значения показателя преломления соответственно. Данный метод позволяет записывать решетки со сглаженным спектром отражения в широком диапазоне рабочих длин волн (брэгговская

длина волны изменяется за счет изменения угла падения пучка) без существенного влияния процедуры сглаживания на ширину спектра ВБР.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертационной работы определяется возможностями применений ВБР с подавленными боковыми резонансами в спектре отражения в качестве зеркал резонатора волоконных лазеров, а также в качестве датчиков температуры и деформаций в сенсорных системах. В частности, ВБР со сглаженными спектрами использовались при создании перестраиваемого иттербиевого волоконного лазера [6], перестраиваемого ВКР-лазера [7] и сенсорных систем на основе ВБР-датчиков [8].

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертации докладывались на следующих семинарах и конференциях: 7-й Международный симпозиум «Лазерная метрология в науке, промышленности и повседневной жизни» (7-th International Symposium on Laser Metrology Applied to Science, Industry and Everyday Life, 9-13 сентября 2002, Новосибирск), Международная научная студенческая конференция МНСК 2004 (12-15 апреля 2004 г., Новосибирск), IV Конференция молодых ученых СО РАН (17-19 ноября 2004 г., Новосибирск), международная конференция Lasers, Applications, and Technologies 2005 (11-15 мая 2005, Санкт-Петербург), международная конференция Laser Optics (26-30 июня 2006, Санкт-Петербург), 1-й Российский семинар по волоконным лазерам 2007 (4-6 апреля 2007, Новосибирск), 5-й Российский семинар по волоконным лазерам 2012 (27-30 марта 2012 г., Новосибирск). Результаты также неоднократно докладывались автором на научных семинарах УНЦ «Квантовая оптика» Новосибирского государственного университета и Института автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирск.

Защищаемые положения

1. Боковые резонансы в спектре высокоотражающей волоконной брэгговской решетки (ВБР), записанной УФ гауссовым пучком в интерференционной схеме с использованием фазовой маски, можно подавить за счет дополнительной засветки гомогенным гауссовым пучком справа и слева от ВБР, что приводит к выравниванию среднего значения наведенного показателя преломления, при этом оптимальное смещение гомогенного пучка относительно области интерференции примерно равно радиусу пучка.
2. Поперечное смещение фазовой маски относительно волокна в интерференционной схеме записи с использованием фазовой маски приводит к выравниванию среднего значения наведенного показателя преломления и тем самым к подавлению боковых резонансов в коротковолновой части спектра отражения ВБР за счет относительного сдвига центров интерферирующих гауссовых пучков, оптимальная величина которого примерно равна 1.2 радиуса пучка.
3. Смещение записывающего гауссова пучка относительно оси деления в интерферометре Ллойда приводит к выравниванию среднего значения наведенного показателя преломления и тем самым к подавлению боковых резонансов в коротковолновой части спектра отражения ВБР при величине смещения, примерно равной 0.6 радиуса пучка в оптимуме.

Личный вклад автора

Основные результаты получены автором лично. В ходе выполнения работ автор принимал активное участие в выборе направления исследований и постановке задач, проводил теоретический анализ и осуществлял эксперименты,

проводил обработку результатов измерений и их сравнение с расчетом, принимал активное участие в обсуждении и подготовке статей для публикаций.

Публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в 6 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах [А1-А6], определенных Высшей аттестационной комиссией.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитируемой литературы, а также списка обозначений и сокращений. Работа изложена на 128 страницах, содержит 37 рисунков. Список литературы состоит из 132 наименований.

Содержание работы

Во введении описывается состояние области исследования, обосновывается актуальность темы диссертации, дается обзор публикаций, посвященных записи ВБР с подавленными боковыми резонансами в спектре отражения. Формулируются цель и задачи диссертационной работы. Далее приводится изложение основного содержания работы по главам. Приводится список публикаций и формулируются защищаемые положения.

В первой главе приводится обзор методов расчета, записи и характеристики ВБР, использованных в работе.

В разделе 1.1 описывается методика расчета спектров отражения ВБР. Приведена формула наведенного показателя преломления для решетки с П-образным профилем и аналитическое выражение для спектра отражения такой решетки, отмечены его особенности. Приведена формула для профиля

наведенного показателя преломления решетки, получаемой при записи в области интерференции гауссовых пучков, дифрагировавших в +1 и -1 порядки в схеме записи с фазовой маской. Описана процедура численного моделирования спектра отражения ВБР, исходными данными для которой является профиль наведенного показателя преломления решетки. Исследованы основные зависимости спектров отражения ВБР от параметров записываемого пучка.

В разделе 1.2 описаны реализованные в работе голографические схемы записи ВБР с применением фазовой маски и интерферометра Ллойда, отмечены их возможности. Описан метод увеличения фоточувствительности оптического волокна, отмечен характер зависимости наведенного показателя преломления от дозы УФ облучения в условиях экспериментов. Описан метод регистрации спектральных характеристик записываемых ВБР.

Раздел 1.3 обобщает результаты первой главы.

Вторая глава посвящена оптимизации параметров УФ лазера для записи ВБР голографическими методами. Определены характеристики излучения (мощность, длина когерентности), требуемые для записи ВБР.

В разделе 2.1 описываются расчет и эксперименты по удвоению частоты непрерывного аргонового лазера в кристалле ВВО во внешнем резонаторе. Рассмотрено распространение обыкновенной и необыкновенной волн в одноосном кристалле, приведены формулы показателей преломления для этих волн (в зависимости от длины волны и температуры). Рассмотрен ооо-тип синхронизма, реализованный в нашем случае в кристалле ВВО. Рассчитаны угол синхронизма, угол сноса, а также эффективное значение составляющей нелинейного оптического тензора для данного кристалла. Далее описан выбор оптимальной фокусировки гауссова пучка в кристалле и представлен расчет внешнего резонатора методом ABCD-матриц. Описан расчет согласования

моды лазера с собственной модой внешнего резонатора. Приведена формула для мощности второй гармоники в зависимости от мощности основного излучения, параметров кристалла и апертурной функции, характеризующей перекрытие пучков основной и второй гармоник. Приведена оценка коэффициента эффективности преобразования во вторую гармонику.

В заключение представлены экспериментальные зависимости мощности второй гармоники от мощности основного излучения при различных коэффициентах отражения входного зеркала внешнего резонатора и соответствующие расчетные кривые, отмечено хорошее согласие эксперимента и теории. Отмечены параметры УФ излучения, полученного в данной схеме (максимальная мощность второй гармоники ~30 мВт, длина когерентности излучения $l \sim 10$ м).

В разделе 2.2 описана схема внутррезонаторного удвоения частоты широкоапертурного аргонового лазера в кристалле ВВО. Отмечены условия получения наибольшей мощности УФ излучения в данной схеме. Представлены результаты расчета резонатора методом ABCD-матриц.

Продемонстрирована зависимость мощности второй гармоники от мощности основного излучения при одинаковых значениях тока разряда и теоретическая кривая, построенная в предположении однородного характера насыщения усиления, рис. 1, слева. Отмечено, что увеличение эффективности генерации второй гармоники с 8%, полученных при внутррезонаторном удвоении линии 488 нм аргонового лазера на капиллярных газоразрядных трубках, применяемых в коммерческих моделях, до 30% в нашем случае достигнуто во многом за счет увеличения сечения пучка основного излучения в активной среде при использовании широкоапертурной разрядной трубки. Приведен профиль УФ гауссова пучка, полученного в данной схеме удвоения частоты, измеренный после прохождения телескопической системы в схеме

записи с интерферометром Ллойда (рис. 1, справа). Показано, что аналитическая аппроксимация гауссовой кривой хорошо согласуется с экспериментальными точками.

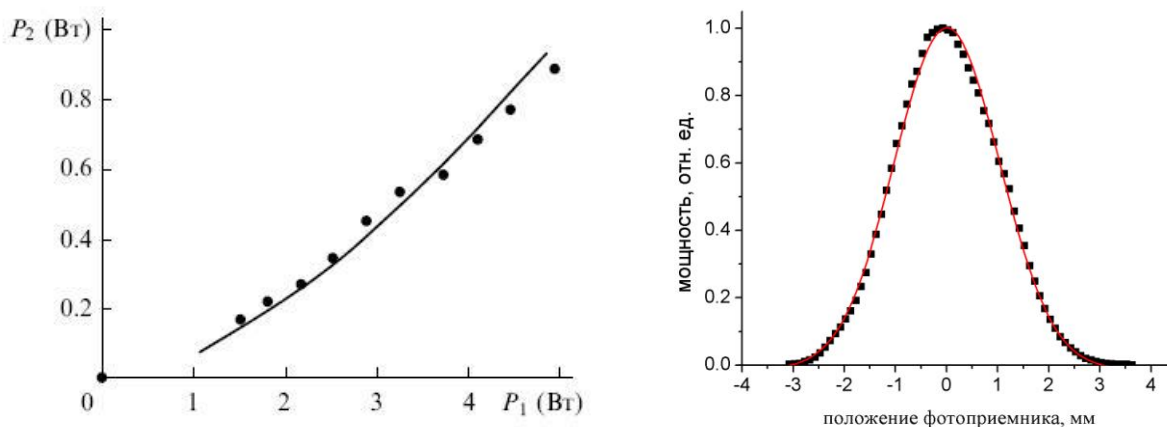


Рис. 1. Мощность второй гармоники P_2 (244 нм) в зависимости от мощности генерации аргонового лазера P_1 (488 нм) при одинаковых значениях тока разряда и расчетная кривая. Профиль УФ пучка и его аналитическая аппроксимация гауссовой кривой.

Раздел 2.3 обобщает результаты главы 2.

Глава 3 посвящена методам записи ВБР с подавленными боковыми резонансами в спектре отражения.

В разделе 3.1 описывается метод подавления боковых резонансов в спектре ВБР в схеме записи с фазовой маской с помощью дополнительной засветки записанной интерференционной структуры гомогенным гауссовым пучком справа и слева от нее на расстоянии порядка радиуса пучка.

Приведена формула для наведенного показателя преломления с учетом дозасветки (1).

$$\Delta n(z) = \Delta n_0 \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot z^2}{w^2}\right) \cdot \left(1 + s \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right)\right) + \Delta n_1 \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot (z - z_1)^2}{w^2}\right) + \Delta n_2 \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot (z + z_2)^2}{w^2}\right) \quad (1)$$

Здесь w – радиус гауссова пучка, параметр Δn_0 характеризует изменение показателя преломления при записи ВБР через фазовую маску, s – видность интерференционной картины, z_1 и z_2 – величины смещения пучка вправо и влево относительно центра записанной ВБР, Δn_1 и Δn_2 характеризуют изменения показателя преломления при дополнительной засветке справа и слева.

Представлен анализ (в моделировании) зависимости спектра отражения ВБР от параметров дозасветки (величины дозасветки Δn_1 и Δn_2 , расстояния от центра записанной ВБР z_1 и z_2). Проанализирована связь формы спектров отражения с профилями наведенного показателя преломления. Отмечено, что наиболее гладкий и узкий спектр можно получить при равной дозасветке слева и справа $\Delta n_1 \approx \Delta n_2 \approx \Delta n_0$ на одинаковом расстоянии от записанной ВБР, примерно равном радиусу пучка $z_1 \approx z_2 \approx w$.

Представлено сравнение экспериментальных спектров ВБР до и после дополнительной засветки с результатами численного моделирования, рис. 2. Отмечено, что данный метод позволяет подавлять боковые резонансы в коротковолновой части спектра до уровня < -20 дБ, определяемого чувствительностью использованной аппаратуры. Отмечено, что при отклонениях от строго симметричного варианта дозасветки ширина основного резонанса несколько увеличивается, но остается сравнимой с шириной резонанса без дозасветки.

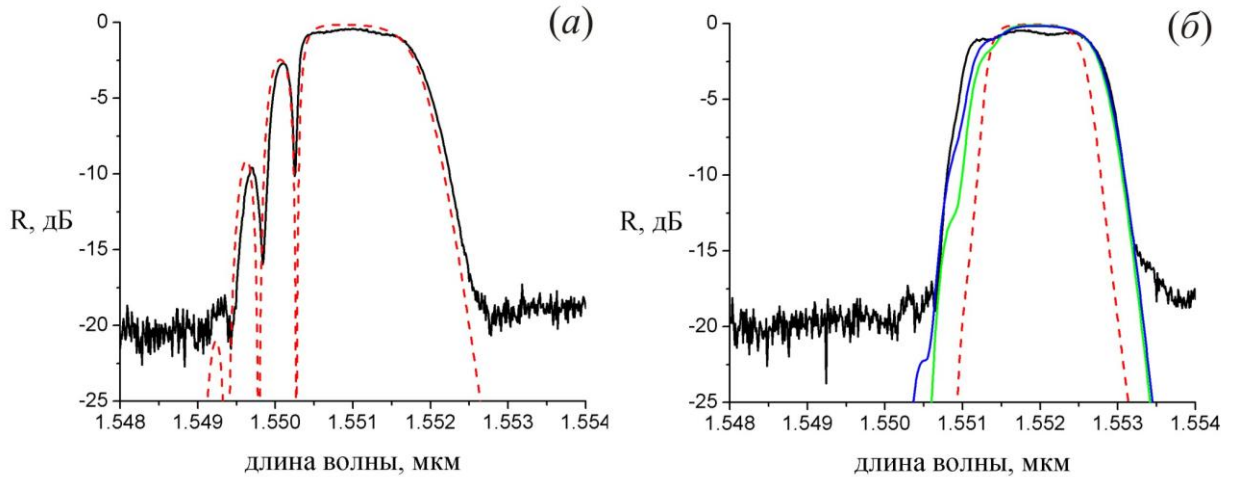


Рис. 2. Экспериментальные спектры ВБР, записанных в схеме с фазовой маской гауссовым пучком с радиусом ~ 1.1 мм, до (а) и после (б) дополнительной засветки (черным цветом) и численное моделирование спектров ВБР с различными параметрами записи. На рис. (б) красная штриховая линия – симметричная дозасветка, синяя и зеленая линии – разные варианты отклонений от симметричного случая.

В разделе 3.2 описывается альтернативный метод подавления боковых резонансов в спектре отражения ВБР в схеме записи с фазовой маской – путем поперечного перемещения фазовой маски от волокна, что приводит к относительному сдвигу центров интерферирующих пучков. Представлен вывод формулы для наведенного показателя преломления с учетом сдвига фазовой маски (2).

$$\begin{aligned}
 \Delta n(z) = & dm \cdot \Delta n_0 \cdot \left(\exp\left(-\frac{2(z-dz)^2}{w^2}\right) + \exp\left(-\frac{2(z+dz)^2}{w^2}\right) \right) \cdot \left[1 + \frac{f(z, dz)}{ch\left(\frac{4zdz}{w^2}\right)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right) \right] \\
 & + dm_0 \cdot \Delta n_0 \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot z^2}{w^2}\right)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Здесь w – радиус гауссова пучка, параметр Δn_0 характеризует изменение показателя преломления для заданной засветки, $2dz$ – расстояние между

центрами интерферирующих пучков, dm – доля мощности для +1 и -1 порядков дифракции, dm_0 – доля мощности для нулевого порядка, $f(z, dz)$ – функция когерентности (равна 1 для полностью когерентных пучков).

Проанализированы изменения спектра отражения ВБР с увеличением сдвига фазовой маски для случая полностью когерентных пучков, отмечен эффект выравнивания среднего значения наведенного показателя преломления при возрастании расстояния между центрами интерферирующих пучков. Проведена экспериментальная проверка эффекта, представлены экспериментальные спектры отражения ВБР, записанных для различных сдвигов фазовой маски, рис. 3.

Отмечены существенные отклонения результатов эксперимента от расчетных. В качестве механизма, приводящего к отклонениям, исследовано (в моделировании) влияние снижения степени когерентности интерферирующих пучков на периферии на спектр отражения ВБР. Показано, что учет уменьшения степени когерентности (путем введения в формулу наведенного показателя преломления функции когерентности $f(z, dz)$) дает лучшее согласие теории с экспериментом, чем моделирование в предположении полностью когерентных пучков. Также представлен расчет спектров отражения с учетом нелинейной зависимости наведенного показателя преломления от дозы УФ облучения. Отмечено, что спектры отражения ВБР, рассчитанные с учетом нелинейности, слабо отличаются от спектров, рассчитанных в допущении линейной зависимости.

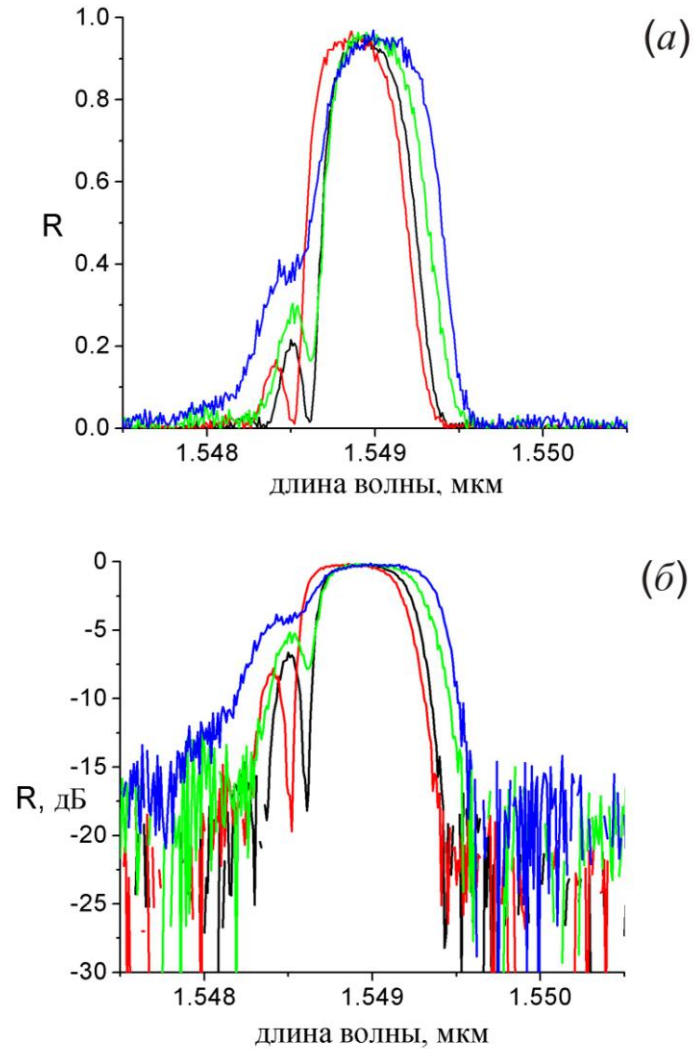


Рис. 3. Экспериментальные спектры ВБР, записанных в схеме с фазовой маской гауссовым пучком радиусом $w \approx 1.8$ мм, при различных расстояниях ($2dz$) между центрами пучков $+1$ и -1 порядков дифракции: $dz=dz_0 \approx 0.02$ мм (черным цветом), $dz \approx 0.07$ мм $\sim 0.04w$ (красным цветом), $dz \approx 0.26$ мм $\sim 0.14w$ (зеленым цветом), $dz \approx 0.31$ мм $\sim 0.17w$ (синим цветом) в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе.

В разделе 3.3 описывается метод подавления боковых резонансов в спектре отражения ВБР в схеме записи с интерферометром Ллойда. В данной схеме сглаживание боковых резонансов достигается за счет смещения оси деления пучка в интерферометре, которое приводит к интерференции неравных частей записывающего гауссова пучка. Отмечено, что формула для наведенного

показателя преломления в данном случае имеет тот же вид, что и для схемы с подвижной фазовой маской (2), различие состоит в области значений координат вдоль волокна.

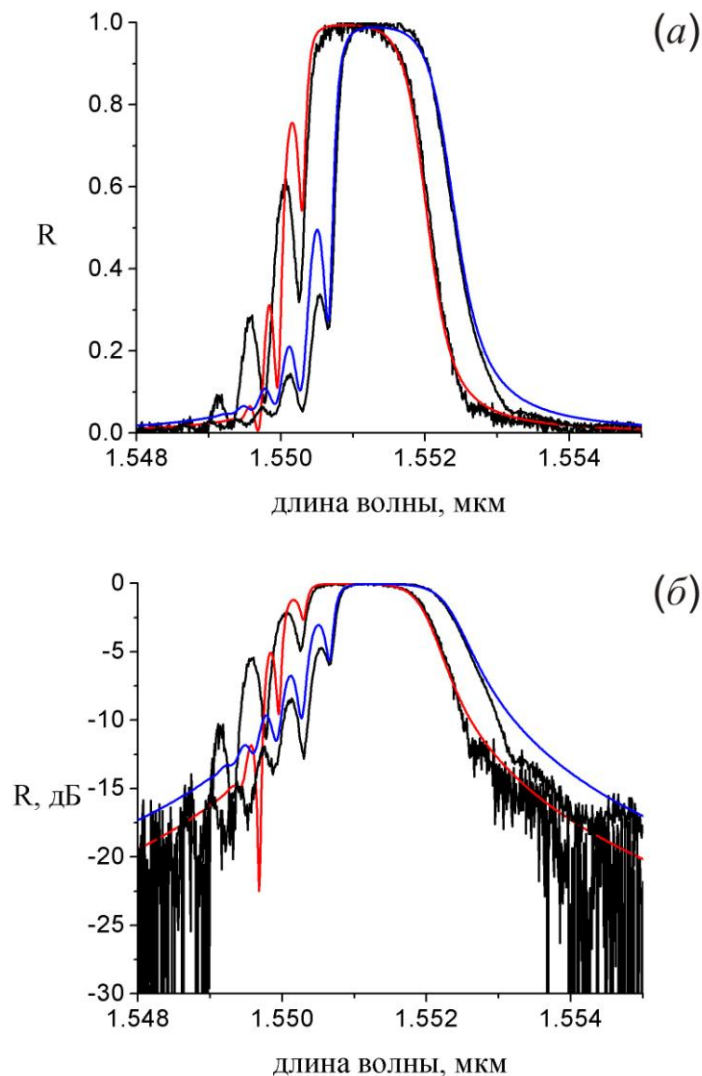


Рис. 4. Спектры ВБР, записанных в области интерференции двух частей гауссова пучка, разделенного в интерферометре Ллойда, с радиусом $w=2$ мм при параметрах смещения пучка относительно оси деления в интерферометре $dz \sim 0$ (слева) и $dz \sim 0.5w$ (справа) и численное моделирование (красным и синим цветом) в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе.

Проанализированы (в моделировании) зависимости спектра отражения ВБР от величины смещения пучка относительно оси деления в интерферометре dz

для случая интерференции полностью когерентных частей пучка и с учетом снижения степени когерентности на периферии пучка. Проведена экспериментальная проверка эффекта, рис. 4.

Представлено сравнение экспериментальных спектров ВБР, записанных пучками с различными радиусами, с результатами численного моделирования. Отмечено качественное согласие экспериментальных спектров с расчетными, полученными с учетом снижения степени когерентности пучка.

Раздел 3.4 обобщает результаты главы 3.

Заключение содержит формулировку результатов данной работы.

Основные результаты

1. Для реализации интерференционных схем записи ВБР УФ гауссовым пучком осуществлено удвоение частоты широкоапертурного аргонового лазера (линия 488 нм) в кристалле ВВО в двух конфигурациях резонатора.

Рассчитана и реализована схема внешнего резонатора, обеспечивающая согласование с резонатором аргонового лазера, оптимальную фокусировку в кристалл и настройку на максимум выходной мощности. Получена генерация УФ излучения (244 нм) мощностью ~30 мВт с длиной когерентности ~10 м.

Теоретически и экспериментально найдена оптимальная конфигурация широкоапертурного аргонового лазера с внутррезонаторным удвоением частоты. Получено УФ излучение мощностью до 1 Вт с длиной когерентности ~3 см, что достаточно для записи ВБР. Увеличение мощности достигнуто за счет увеличения апертуры основного пучка в разрядной трубке. Экспериментальные зависимости мощности второй гармоники от геометрических параметров резонатора и от тока разряда (мощности) аргонового лазера согласуются с расчетом. Эффективность преобразования во вторую гармонику составляет 30%.

2. В интерференционной схеме записи с фазовой маской реализован простой метод выравнивания среднего значения наведенного показателя преломления, обеспечивающий подавление боковых резонансов в коротковолновой части спектра высокоотражающих ВБР до уровня <-20 дБ. На первом этапе волоконный световод засвечивается стационарной интерференционной картиной, профиль которой задается гауссовым профилем интенсивности интерферирующих пучков, сформированных фазовой маской. На втором этапе осуществляется пост-засветка световода непромодулированным гауссовым пучком на расстоянии порядка его радиуса слева и справа от центра записанной ВБР. Результаты численного моделирования для условий эксперимента хорошо согласуются с измеренными спектрами.

3. Для схемы записи с фазовой маской предложен и реализован альтернативный метод подавления боковых резонансов в спектре отражения ВБР. Выравнивание среднего значения наведенного показателя преломления в области записываемой ВБР осуществляется за счет относительного сдвига центров интерферирующих гауссовых пучков при поперечном смещении фазовой маски в направлении от волокна.

Расчет показал, что в данной схеме максимальное подавление боковых резонансов высокоотражающих ВБР ($R=95\%$) без уширения спектра достигается при относительном сдвиге $dz \sim 0.6w$. Предсказанное подавление наблюдается и в эксперименте (до уровня -20 дБ), однако оптимальное смещение ($dz \sim 0.2w$) существенно отличается от расчетного. Показано, что это различие может быть связано с уменьшением степени когерентности интерферирующих пучков на периферии с ростом расстояния между их центрами. Учет этого эффекта позволяет также описать на качественном уровне наблюдаемое в эксперименте смещение основного пика отражения в длинноволновую область. Для решеток с коэффициентом отражения $R=80\%$ с

меньшим временем экспозиции подавление боковых резонансов до уровня -20 дБ в эксперименте наблюдается при меньших сдвигах ($dz \sim 0.1w$) без заметного изменения формы спектра.

4. Предложен и реализован метод подавления боковых резонансов в спектре отражения ВБР, записываемых в области интерференции двух частей гауссова пучка в интерферометре Ллойда, за счет смещения гауссова пучка относительно оси интерферометра и выравнивания среднего значения наведенного показателя преломления соответственно. В моделировании показано, что данная схема позволяет записывать решетки в широком диапазоне длин волн с подавлением боковых резонансов без существенного влияния на ширину спектра при величине смещения $\sim 0.6w$. В эксперименте наблюдается уменьшение амплитуды боковых резонансов в 2 раза для решеток, записанных пучком с радиусом $w \sim 2$ мм, и практически полное подавление боковых резонансов для решеток, записанных пучком с $w \sim 10$ мм, при величине смещения $\sim 0.5w$.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

- A1. Абдуллина С.Р., Бабин С.А., Власов А.А., Каблуков С.И. Внутррезонаторное удвоение частоты генерации в широкоапертурном аргоновом лазере // Квантовая электроника – 2005. – Т. 35, № 9. – С. 857-861.
- A2. Абдуллина С.Р., Бабин С.А., Власов А.А., Каблуков С.И. Особенности записи волоконных брэгговских решеток гауссовым пучком // Квантовая электроника – 2006. – Т. 36, № 10. – С. 966-970.
- A3. Абдуллина С.Р., Бабин С.А., Власов А.А., Каблуков С.И. Перестраиваемые брэгговские решетки для применений в волоконных лазерах // Оптика и спектроскопия – 2007. – Т. 103, № 6. – С. 1050–1054

- A4. Абдуллина С.Р., Власов А.А., Бабин С.А. Сглаживание спектра волоконных брэгговских решеток в схеме записи с интерферометром Ллойда // Квантовая электроника – 2010. – Т. 40, № 3. – С. 259-263.
- A5. Абдуллина С.Р., Немов И.Н., Бабин С.А.. Метод подавления боковых резонансов в спектре волоконных брэгговских решеток за счет поперечного сдвига фазовой маски относительно волокна // Квантовая электроника – 2012. – Т. 42, № 9. – С. 794-798.
- A6. Абдуллина С.Р., Власов А.А. Методы подавления боковых резонансов в спектре отражения волоконных брэгговских решеток // Автометрия – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 90-104.

Список цитируемых работ

- [1] Kashyap R. Fiber Bragg gratings. San Diego: Academic Press, 1999, 458 P.
- [2] Курков А. С., Дианов Е. М. Непрерывные волоконные лазеры средней мощности // Квантовая электроника – 2004. – Т. 34, № 10. – С. 881-900.
- [3] Васильев С.А., Медведков О. И., Королев И. Г. и др. Волоконные решетки показателя преломления и их применения // Квантовая электроника – 2005. – Т. 35, № 12. – С. 1085-1103.
- [4] Bilodeau F., Johnson D.C., Theriault S. et. al. An all-fiber dense-wavelength-division multiplexer/demultiplexer using photoimprinted Bragg gratings // IEEE Photon. Technol. Lett. – 1995. – Vol. 7, № 4. – P. 388-390.
- [5] Martinez A., Dubov M., Khrushchev I., Bennion I. Direct writing of fibre Bragg gratings by femtosecond laser // Electron. Lett. – 2004. – Vol. 40, № 19. – P. 1170–1172.
- [6] Akulov V.A., Afanasiev D.M., Babin S.A. et. al. Frequency tuning and doubling in Yb-doped fiber lasers // Laser Phys. – 2007. – Vol. 17, № 2. – P. 124-129.

- [7] Babin S.A., Churkin D.V., Kablukov S.I. et. al. All-fiber widely tunable Raman fiber laser with controlled output spectrum // Opt. Express – 2007. – Vol. 15, № 13. – P.8438-8443.
- [8] Бабин С.А., Власов А.А., Шелемба И.С. Волоконно-оптические сенсоры на основе брэгговских решеток // Химия высоких энергий – 2008. – Т. 42, № 4. – С. 35-37.