

На правах рукописи

Определение стиля:
подпись к рисунку: По центру, Отступ: Слева: 0 см, Первая строка: 0 см

Работа выполнена в Институте прикладной физики РАН,
(г. Нижний Новгород)

Шабанов Дмитрий Владимирович

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
В.М. Геликонов

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Н.С. Степанов

Удалено: (ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород)

кандидат физико-математических наук,
Л.С. Долин

Удалено: (Учреждение Российской Академии Наук ИПФ РАН, г.Нижний Новгород)

МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

Отформатировано:
Междустр.интервал: одинарный

Ведущая организация: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», [г. Москва](#)

01.04.03 – радиофизика

Защита состоится "___" _____ 2011 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета Д002.069.02 в Институте прикладной физики РАН (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной физики РАН.

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Автореферат разослан "___" _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д002.069.02,
доктор физико-математических наук,
профессор

Нижний Новгород -2011

Ю.В. Чугунов

Отформатировано:
интервал После: 6 пт

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Спектр радиофизических задач и проблем в области низкокогерентной интерферометрии, в последнее время значительно расширился. Активность исследователей в этой области резко возросла в связи с созданием оптической когерентной томографии (ОКТ) – нового, неинвазивного метода построения изображения внутренней структуры биоткани, оптически мутной среды, с высоким пространственным разрешением (1 - 10 мкм) [1-6]. Для ОКТ-диагностики используется низкокогерентное излучение ИК-диапазона (в так называемом “терапевтическом окне прозрачности” 800-1300 нм) с относительной шириной спектра оптического излучения 0,05-0,1. В этом диапазоне ослабление света происходит в основном из-за процессов рассеяния при существенно меньшем влиянии поглощения. Нижняя по длине волны граница окна прозрачности обусловлена сильным поглощением крови, верхняя граница - поглощением воды. Использование излучения этого диапазона позволяет достичь наибольших глубин проникновения в среде, поскольку транспортная длина баллистических фотонов в среде составляет 150-300 мкм. Изображение, однако, можно получать с глубины, не превышающей 1-2 мм, в пределах которой удается выделить баллистические фотоны на фоне изотропного рассеяния. Полезный сигнал в схемах ОКТ формируется в результате интерференции двух оптических лучей - опорного излучения и баллистической компоненты рассеянной объектом зондирующей волны. В корреляционном варианте, с появлением которого стартовал метод ОКТ, интерференционный сигнал не равен нулю, если только разность плеч интерферометра не превышает длины когерентности зондирующего излучения. Это позволяет производить локацию внутренних оптических неоднородностей объекта за счет выделения рассеянного света с определенной групповой задержкой и отсекаать фоновую засветку, определяемую многократным рассеянием. В корреляционном, а также в появившихся позднее альтернативных (спектральных) методах ОКТ большие усилия направляются на увеличение чувствительности, улучшение пространственного разрешения, а также на улучшение методов пространственного сканирования. Целью таких исследований в конечном итоге является повышение информативности методов ОКТ.

Неинвазивность метода ОКТ при исследовании биологических объектов обуславливает, в частности, ограничение мощности зондирующего излучения, поэтому расширение динамического диапазона приема возможно за счет снижения флуктуационного предела приема сигнала. В оптических схемах с шумовым источником излучения при рассмотрении предельной чувствительности при фотодетектировании в дополнение к дробовым флуктуациям в составе волновой компоненты [7-9]

играют роль избыточные флуктуации интенсивности, обусловленные биениями спектральных компонент [10, 11]. Возможность детектирования флуктуационного компонента в оптике была предсказана в работах [12, 13], которые затем были обнаружены и исследованы в работе [14]. При появлении полупроводниковых источников шумового ИК излучения с высокой спектральной яркостью при относительных ширинах спектров, равных 0,05-0,1, эти флуктуации становятся доминирующими [15-17]. В ряде случаев при этом необходимо учитывать влияние на предельную чувствительность также и флуктуаций фазы, которые проявляются в интерференционной части сигнала [18]. Еще больший вклад флуктуаций шумовой фазы во флуктуационный предел измерений имеет место в новых спектральных методах ОКТ, в которых анализ интерференции производится последовательно в отдельных частях оптического спектра низкокогерентного шумового излучения [19]. Рассмотрение вклада флуктуаций интерференционной части в полный шум после квадратичного детектирования низкокогерентного излучения является отдельной, актуальной задачей радиофизики.

Увеличение динамического диапазона приема рассеянных назад волн в корреляционном методе ОКТ возможно, также, за счет сужения полосы регистрации радиосигнала на нагрузке фотоприемника [1]. В корреляционном методе такой узкополосный прием осуществляется на частоте доплеровского сдвига, который создается между оптическими частотами сигнальной и опорной волн при модуляционном изменении разности длин плеч интерферометра с амплитудой в несколько тысяч длин волн с постоянной скоростью. Поскольку при этом относительная ширина радиочастотного спектра, как и оптического, составляет несколько процентов, то для узкополосного приема без федингов требуется поддержание скорости движения зеркала, а, следовательно, и доплеровского сдвига, с большой точностью (около десятых долей процента). При периодическом (например, треугольном) законе сигнала управления положением зеркала в опорном плече скорость его движения может отклоняться от постоянного значения под действием механических и электрических резонансов в системе. Очевидно, что для устранения федингов при продольном сканировании необходима разработка методов поддержания скорости с соответствующей высокой точностью в максимально большей части периода модуляции. Эта задача актуальна при создании как экспериментальных, так и практических задач низкокогерентной интерферометрии.

Задача точного управления законом движения механических тел, например, линзы выходного объектива, возникает также при использовании в ОКТ конфокального принципа, являющегося основой метода конфокальной микроскопии (КМ), для повышения чувствительности и пространственного разрешения [20]. В методе КМ облучение образца и

Отформатировано. Отступ:
Первая строка: 0,63 см

прием рассеянного света осуществляется с использованием широкоапертурного объектива, что позволяет реализовать микронное пространственное разрешение. Обратное рассеянное излучение принимается при этом в основном из области острой фокусировки. В методе оптической когерентной микроскопии (ОКМ), объединяющем принципы методов КМ и ОКТ, применяют, так называемый "динамический фокус" [21-23]. При его реализации область острой фокусировки необходимо пространственно совместить с областью когерентного приема и обе синхронно перемещать при аксиальном сканировании. При эффективной реализации пространственно совмещения это позволяет получить соотношение сигнала к шуму в методе ОКМ на 60 дБ выше, чем в методе КМ [20, 24], что, соответственно, приводит к увеличению глубины локации. Таким образом, техника ОКМ объединяет селективные возможности метода ОКТ с микронным продольным разрешением и с ультравысоким пространственным разрешением метода КМ, что позволяет реализовать продольное и поперечное пространственное разрешение микронного уровня до глубин в несколько сотен микрон в высоко рассеивающей среде.

Для реализации ОКМ был создан ряд методов "динамического фокуса", которые, однако, обладают рядом недостатков, заключающихся в сложности системы и малой точности пространственно совмещения. Эта задача остается актуальной, особенно при исследовании многослойных биологических сред, у которых среднее значение показателя преломления отличаются между слоями.

Одним из прорывных направлений в развитии метода ОКТ, которое рассмотрено в диссертации, является реализация широкополосного цифрового голографического приема излучения, рассеянного назад оптически неоднородной средой, с целью повышения чувствительности, быстродействия, а также продольного и поперечного пространственного разрешения. Важнейшим преимуществом голографии является отсутствие поперечных сканирующих систем при приеме рассеянного назад сигнала. Кроме того, отсутствует присущее традиционному методу ОКТ ограничение сверху на апертуру приема рассеянного излучения. Создание оптических систем без сканирования и, потенциально, с субволновым поперечным пространственным разрешением актуально в задачах визуализации сложной внутренней структуры микрообъектов с сильным рассеянием, в том числе и биологических.

Цель работы.

Целью работы является разработка методов увеличения чувствительности и улучшения пространственного разрешения в задачах ОКТ за счет совершенствования зондирующей системы, а также теоретическое обоснование и практическая апробация альтернативного метода компьютерной оптической голографии (КОГ), потенциально

обладающего более высоким пространственным разрешением и быстродействием, по сравнению с традиционной ОКТ.

Прикладной задачей исследований является разработка основ метода КОГ для получения при зондировании объектов в ИК-диапазоне компьютерных объемных изображений, в том числе при биологических и медицинских экспериментальных исследованиях.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Первые теоретически и экспериментально определена величина шумовой компоненты зависящей от фазы части интерференционного сигнала при использовании излучения низкокогерентного шумового источника.

Удалено: ¶

Отформатировано: Отступ:

Первая строка: 0,63 см,
интервал После: 0 пт

Удалено: Целью работы является разработка методов увеличения чувствительности в задачах оптической когерентной томографии, повышение пространственного разрешения и быстродействия, а также теоретическое обоснование и практическая апробация альтернативного метода компьютерной оптической голографии (КОГ), потенциально обладающего более высоким пространственным разрешением и быстродействием, по сравнению с традиционной ОКТ.

Удалено: Впервые создан компактный оптический конфокальный микроскоп с высоким пространственным разрешением.

Удалено: Было продемонстрировано полноценное 3-х мерное изображение глубинной структуры объекта с разрешением 15 мкм на глубину более 1 мм, полученное с помощью голографии (КОГ), мультиволнового цифрового голографического метода записи сигнала с использованием перестраиваемого по длине волны ИК-излучения и цифровой реконструкции.

Практическая ценность диссертации состоит в следующем:

1. Показано существование и определена величина флуктуационной компоненты интерференционной части сигнала (на нагрузке фотоприемника), которую необходимо учитывать при оценке отношения сигнала к шуму в корреляционных и спектральных методах низкокогерентной интерферометрии с шумовым источником при реализации высокого контраста интерференционной картины.

Удалено: разработаны методы компенсации искажения закона движения механических систем, обладающих резонансом и нелинейностью.

Удалено: которые могут быть применены при создании ряда устройств ОКТ и ОКМ для линейаризации колебаний элементов интерференционных оптических схем, а также в ряде приложений физической оптики.

Удалено: Реализованы новые принципы визуализации глубинной структуры рассеивающих свет объектов (в том числе и биологических) на основе широкополосной мультиволновой цифровой голографической записи рассеянного сигнала, которые могут быть применены при создании приборов для визуализации 3-х мерного изображения объекта без

Отформатировано: (Россия)

Отформатировано: не

Удалено: выделение цветом

Удалено: ¶

Отформатировано:
интервал Перед: 6 пт

Удалено: ¶

Отформатировано: Отступ:
Первая строка: 0,63 см,
интервал Перед: 6 пт

Удалено: ¶

Удалено: с

Удалено: с

Отформатировано: не
выделение цветом

Удалено: нашли применение

Удалено: в

Удалено: с

Удалено: в том числе и в
коррелометре, используемом для
контроля связи
поляризационных мод при
создании интерферометров на
анизотропном волокне

Удалено: рассмотрены

Удалено: в спектральной
оптической когерентной
томографии

Удалено: позволяющей

Удалено: получать 3-х мерное
изображение объекта

механического сканирования зондирующим лучом, что открывает новые возможности создания современных средств оптического экспресс-анализа.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. При корреляционном приеме рассеянного излучения шумового источника, при увеличении разности хода между опорной волной и локально рассеянной волной за пределы длины когерентности спектральная плотность мощности шума интерференционной составляющей сигнала выходит на стационарный уровень, вдвое меньший, чем при нулевой разности хода.
2. Стабильное доплеровское смещение спектра сигнальной волны относительно опорной может быть реализовано при модуляции разности плеч интерферометра с амплитудой до нескольких тысяч длин волн, несмотря на влияние механических резонансов системы. Стабилизация доплеровского сдвига при этом может быть достигнута за счет управления скоростью движения зеркала с использованием отрицательной обратной связи и радиотехнической коррекции неравномерности амплитудно-частотной характеристики модулятора.
3. Реализация линейного закона движения сканирующей линзы зонда в методе ОКТ за счет коррекции механических резонансов позволяет объединить принципы конфокальной микроскопии и оптической когерентной томографии при приеме рассеянного назад излучения с пространственным разрешением на уровне единиц микрон в области глубин, равной 1-3 длинам свободного пробега в биологической среде, что недоступно по-отдельности каждому из методов.
4. Широкополосный цифровой голографический метод записи рассеянного назад света позволяет получать объемное изображение внутренней структуры биотканей без применения сканирующих систем.
5. В широкополосном цифровом голографическом методе пространственное разрешение может быть доведено до размера длины волны, а также существенно повышено соотношение сигнала к шуму за счет увеличения остроты фокусировки, поскольку отсутствует присущее традиционным методам ОКТ ограничение на апертуру, обусловленное необходимостью перекрытия рэлеевской зоной зондирующего пучка исследуемого участка объекта.

Апробация работы. Изложенные в диссертации результаты обсуждались на семинарах в Институте прикладной физики РАН и докладывались на российских и международных физических конференциях:

Biomedical Optoelectronic Devices and System II (Лиль, Франция, 1994),

Удалено: ~~ВИАС03 (Сен-Хосе, Калифорния, США),
изображение объекта
EUNYS (Триест, Италия, 2004),
MPLP2004 (Новосибирск, Россия, 2004),~~

Удалено: ~~ЕСВО '09 (Мюнхен, Германия, 2009),
Основные положения
выносимые на защиту
International symposium "Topical problems of biophotonics-2009" Нижний
Новгород – Самара – Нижний Новгород (Россия, 2009),
Optical Optics and 3-D Imaging Congress (2010, Майами, Флорида,
США).~~

Отформатировано: ~~Бемп~~

Отформатировано: ~~Бемп~~
Первая строка: 0,63 см,
интервал Перед: 6 пт

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы. Список цитируемой литературы состоит из 76 источников. Работа изложена на 103 страницах машинописного текста, из которых основное содержание включает 82 страницы, 37 рисунков.

Отформатировано: Отступ:
Первая строка: 0,63 см,
интервал Перед: 6 пт

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной темы, сформулирована цель работы, приведены основные положения, отражена научная новизна, представлена структура и общее содержание работы.

Удалено: с

В первой главе представлен обзор ключевых работ и рассмотрены задачи, решению которых посвящена диссертация. Отмечена острота вопросов влияния различных компонент флуктуаций излучения на динамический диапазон получаемых изображений в Оптической Когерентной Томографии. Рассмотрен ряд методов в направлении повышения чувствительности и пространственного разрешения при визуализации внутренней структуры мутных рассеивающих сред. Сформулированы задачи, не решенные в литературе, и обозначены направления, требующие дальнейшей разработки.

Отформатировано: Отступ:
Первая строка: 0,63 см,
интервал Перед: 6 пт

Во второй главе исследованы флуктуации сигнала суперлюминесцентного источника излучения на выходе двухплечевого интерферометра после фотодетектирования в зависимости от разности длин плеч интерферометра и определено влияние шумов интерференционной части на полный шумовой сигнал, установлена степень корреляции флуктуаций составных частей при формировании полного шумового сигнала.

Удалено: ~~флуктуаций составных частей при формировании полного шумового сигнала.~~

Отформатировано: Отступ:
Первая строка: 0,63 см,
интервал Перед: 6 пт

В рассмотрена модель излучения суперлюминесцентного источника как узкополосного стационарного процесса с гауссовой статистикой. Согласно [11], такой процесс можно записать как гармонический сигнал с хаотической модуляцией амплитуды и фазы:

Отформатировано:
Поз.табуляции: 10,48 см, по
левому краю

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, курсив, ниже

Отформатировано: русский
(Россия)

Удалено: . . .

$U(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi(t))$, (1)
 где $A(t)$ и $\varphi(t)$ – медленно меняющиеся случайные амплитуда и фаза процесса, ω_0 – центральная частота спектра процесса. Флуктуации амплитуды имеют статистику Рэля, флуктуации фазы имеют гауссову статистику, дисперсия флуктуаций фазы носит диффузионный характер, т.е. неограниченно возрастает со временем.

Рассмотрен интерференционный сигнал на выходе квадратичного детектора:

$$S_{out}(t) = \frac{1}{2} \cdot A^2(t) + \frac{1}{2} \cdot A^2(t+T) + A(t) \cdot A(t+T) \cdot \cos(\omega_0 \cdot T + \varphi(t) - \varphi(t+T))$$
 (2)

Первые два слагаемые в выражении (2) определяют шумы интенсивности. Но в третьем слагаемом при расстройке интерферометра (T не равно нулю), проявляются фазовые флуктуации, имеющие свои отличительные особенности.

В главе показано, что из определения спектра мощности стационарного эргодического процесса $S(t)$ через автокорреляционную функцию $R_S(\tau)$:

$$F(\omega) = \int_0^{\infty} R_S(\tau) \cdot \cos(\omega \cdot \tau) \cdot d\tau$$
 (3)

где $R_S(\tau) = \overline{S(t) \cdot S(t+\tau)}$, и воспользовавшись свойством гауссовского процесса, для которого моменты высоких порядков определяются через моменты первого и второго порядка:

$$\overline{U(t_1) \cdot U(t_2) \cdot U(t_3) \cdot U(t_4)} = R(t_1 - t_2) \cdot R(t_3 - t_4) + R(t_1 - t_3) \cdot R(t_2 - t_4) + R(t_1 - t_4) \cdot R(t_2 - t_3)$$
 (4)

возможно вычислить спектр мощности компонент интерференционного сигнала стационарного гауссовского процесса с известной автокорреляционной функцией, преобразованного квадратичным детектором, при любом времени задержки T .

Автокорреляционная функция полного интерференционного сигнала $R_S(\tau)$ представляется в виде суммы трех групп слагаемых: автокорреляционная функция суммы интенсивностей

$$(R_{SI}(\tau) = \overline{(U^2(t) + U^2(t+T)) \cdot (U^2(t+\tau) + U^2(t+T+\tau))})$$

автокорреляционная функция фазовой части интерференционного сигнала

$$(R_{Sf}(\tau) = 4 \cdot \overline{U(t) \cdot U(t+T) \cdot U(t+\tau) \cdot U(t+T+\tau)})$$

и взаимная корреляция между вышеобозначенными частями интерференционного сигнала

$$(R_{SM}(\tau) = 8 \cdot [R(0) \cdot R(T) + R(\tau) \cdot R(T+\tau) + R(\tau) \cdot R(T-\tau)])$$

Был рассмотрен пример стационарного гауссовского узкополосного случайного процесса с

Удалено: гауссовой же формой спектра, нормированная автокорреляционная функция которого имеет вид:
 Отформатировано: Поз.табуляции: 10,48 см, по левому краю
 $R(\tau) = \exp\left\{-\frac{\tau^2}{\tau_{кор}^2}\right\} \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau)$ (5)

Отформатировано: Шрифт: 10 пт, курсив, жирное
 Отформатировано: русский
 Отформатировано: (Россия)
 Отформатировано: Отсутствует
 Первая строка: 0,63 см, Поз.табуляции: 10,48 см, по левому краю

Удалено: ...
 Отформатировано: (Россия)
 Удалено: ...
 Отформатировано: Первая строка: 0 Поз.табуляции: 1 левому краю
 Отформатировано: (Россия)
 Удалено: ...

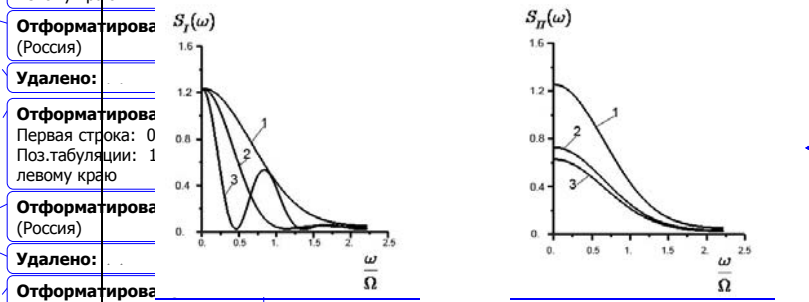


Рис. 1. Спектры мощности $S_f(\omega)$
 Рис. 2. Спектры мощности $S_{II}(\omega)$

Удалено: ...
 Отформатировано: Поз.табуляции: 10,16 см, по левому краю, 10,79 см, по левому краю
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Удалено: ...
 Отформатировано: Междустр.интервал: одинарный
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт, ниже на 5 пт
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт, ниже на 5 пт

Удалено: ...
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт, ниже на 5 пт
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт, ниже на 5 пт

Удалено: ...
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт, ниже на 5 пт
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт, ниже на 5 пт

Удалено: ...
 Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Отформатировано: Поз.табуляции: 10,48 см, по левому краю + нет в 8,57 см

Отформатировано: Шрифт: 10 пт, русский (Россия), ниже на 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Отформатировано: Междустр.интервал: одинарный

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Отформатировано: ... [1]

Отформатировано: ... [2]

Отформатировано: ... [3]

Отформатированная таблица ... [4]

Отформатировано: ... [5]

Отформатировано: ... [6]

Отформатировано: ... [7]

Отформатировано: ... [8]

Отформатировано: ... [9]

Отформатировано: ... [10]

Отформатировано: ... [11]

Отформатировано: ... [12]

Отформатировано: ... [13]

Отформатировано: ... [14]

Отформатировано: ... [15]

Отформатировано: ... [16]

Отформатировано: ... [17]

Отформатировано: ... [18]

Отформатировано: ... [19]

Отформатировано: ... [20]

отклонения - в несколько раз меньше продольной глубины перетяжки, равной 30 мкм (рис. 5).

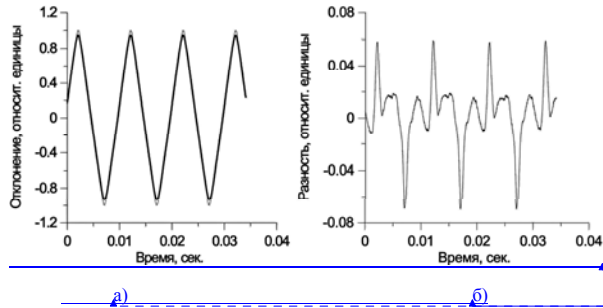
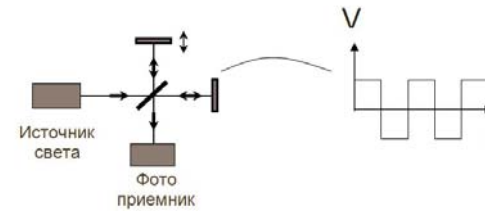


Рис. 5. Отличие реального закона движения линзы от сигнала на входе системы: а) - формы сигнала на входе системы (тонкая черная линия) и реального закона движения линзы (жирная серая линия); б) – их относительная разность.

Удалено: уровень четырёх микрон в области глубин, равной 1-3 длинам свободного пробега в биологической среде, недоступно по-отдельности каждому из

Отформатировано: В параграфе 3.2 приводятся результаты разработки

Отформатировано: электро-механического модулятора разности длин плеч интерферометра с центром, не связанной по скорости движения. В отличие от предыдущего, данное устройство разрабатывалось для выполнения более сложной задачи – стабилизации скорости модуляции разности длин плеч интерферометра с высокой точностью при модуляционном изменении разности длин плеч интерферометра с амплитудой в несколько тысяч длин волн (рис. 7).



Отформатировано

Удалено: единиц

Удалено: , что

Удалено: ¶

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0,63 см

Отформатировано: не выделение цветом

Удалено: .

Отформатировано: не выделение цветом

Отформатировано: Шрифт: полужирный

Удалено: э

Удалено: ий

Удалено: ¶

¶ Следующее

Удалено: выполняю

Удалено: сложную

Удалено: задачу

Удалено: осуществляю

Удалено: ю

Отформатировано: русский (Россия)

Удалено: P

Удалено: 5

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

Удалено: 5

Отформатировано: не выделение цветом

Удалено: ¶

Удалено: К

Удалено: высокая стабильность скорости сканирования

Удалено: 6

При практической реализации метода ОКМ было достигнуто разрешение 4x4x4 мкм. Сравнение с традиционным методом ОКТ показало, что если метод ОКТ может визуализировать только слои ткани эпителия и стромы, то ОКМ метод позволяет различить отдельные клетки, составляющие эпителий на глубине до 500 мкм. На рис. 6 представлены изображения одного участка поверхностного слоя органа, покрытого чешуйчатым эпителием, полученных методами ОКТ и ОКМ.

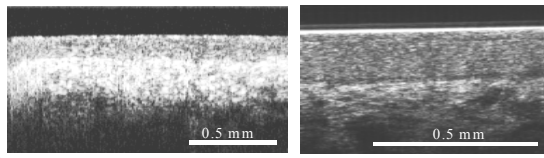


Рис. 6. Сравнительные ОКТ (слева) и ОКМ (справа) изображения одного и того же участка поверхностных слоев органа, покрытого чешуйчатым эпителием.

Таким образом, экспериментально было показано, что применение коррекции закона движения сканирующей линзы зонда в методе ОКМ позволяет объединять принципы конфокальной микроскопии и оптической когерентной томографии при приеме рассеянного назад излучения с высокой эффективностью. Достигнутое пространственное разрешение на

Отформатировано: О
Первая строка: 0,63 см,
интервал между: 6 пт
После: 6 пт

Удалено: ¶

Отформатировано: Электро-механический модулятор разности длин плеч интерферометра Д...е... в реализованном методе ОКМ – ... элемент с минимальной вносимой дисперсией. Такой коррелометр создан для создания волоконно-оптических интерференционных схем с широкой полосой спектра источника и, в частности, для настройки оптической схемы ОКМ при ширине спектра источника ИК излучения 100-150 нм и более. Высокая стабильность скорости сканирования, кроме того, необходима при корреляционно-временном анализе некогерентного излучения, прошедшего оптический тракт с дефектами анизотропии, а также для реализации максимального динамического диапазона сигнала. По левому краю, Отступ: Первая строка: 0 см

Удалено: ¶

Отформатировано: механические колебания на основе акустического динамика с введением отрицательной обратной связи (ООС) по скорости перемещения (рис. 8). Отрицательная обратная связь представляет собой дополнительную магнитную систему с катушкой, жестко и соосно прикрепленной к основной (силовой) катушке. ЭДС, возбуждаемая в этой катушке, пропорциональна скорости ее перемещения и является, собственно, ... [27]

сигналом обратной связи.

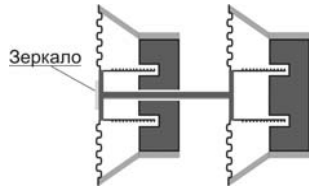


Рис. 8. Преобразователь колебаний электрического тока в механические колебания с дополнительной системой обратной связи по скорости перемещения

В главе рассмотрены вопросы реализации устойчивой системы обратной связи с механическим резонансом в спектре управляющего сигнала. При относительно неширокой полосе обратной связи (4 кгц) на низких частотах удалось реализовать коэффициент петлевого усиления в несколько тысяч.

Таким образом, был создан электромеханический модулятор разности длин плеч интерферометра (рис. 9) со следующими характеристиками:

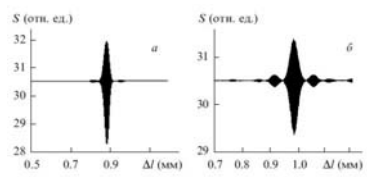


Рис. 9. Электромеханический модулятор разности длин плеч интерферометра

Рис. 10. Типичный пример корреляционного измерения

размах колебания 3 – 4 мм (или до 10 мм на базе динамиков большего размера); длительность участка с постоянной скоростью - 90% от полупериода, на этом участке скорость, а следовательно, и величина доплеровского сдвига поддерживается с точностью до 0.5%.

Созданный прибор был использован в высокочувствительных корреляционных измерениях. Высокая стабильность значения доплеровского сдвига оптических частот волн в плечах интерферометра позволила реализовать прием сигнала с относительной шириной полосы около 5%. В результате было получено увеличение динамического диапазона около 20 дБ относительно приема при синусоидальной

Удалено: 6
 Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см
 Отформатировано: В четвертой главе в вводной части были рассмотрены недостатки корреляционных методов визуализации внутренней структуры, таких как временная и спектральная ОКТ, КМ, ОКМ, связанные с ограничениями на разрешающую способность диффундирующего излучения, механическими ограничениями и необходимостью поперечного сканирования. В главе 4 рассмотрен аналитический голографический метод. Традиционно голография использовалась для объемного отображения поверхности объекта, в том числе и в микромасштабах. Но в последнее время растет активность в ее применении для визуализации не только поверхностной, но и внутренней объемной микроструктуры объектов [25]. Важным направлением в этой области является цифровая голография, которая позволяет преодолевать присущие методу артефакты. Главным недостатком цифровой голографии при отображении микрообъектов является недостаточно высокое продольное разрешение.
 Отформатировано: (рис. 29) более улучшение продольного разрешения можно достигнуть с применением источников перестройкой длины волны в широкой полосе. В широкополосной цифровой голографии результат интерференции между опорной и объектной волнами регистрируется ПЗС-матрицей с дальнейшей цифровой реконструкцией объемного изображения объекта [26].
 В параграфе 4.1 рассмотрены теоретические основы метода. Для восстановления глубинной структуры объекта по рассеянному им полю был использован метод углового спектра [27]. В параграфе рассмотрены вопросы регистрации голограммы в комплексном виде с целью очищения восстанавливаемого 3-D изображения от паразитных сопряженных откликов и когерентных помех. Было показано, что восстановленное по одной длине волны изображение имеет разрешение вглубь, определяемое протяженностью эффективной рельефовой перетяжки (5), где f – расстояние от ПЗС-матрицы до объекта, d – поперечный размер матрицы. Однако при перестройки источника в спектральном диапазоне $\Delta\lambda$ и последующему усреднению полученных результатов реконструкции (в комплексном виде) по всему дискретному набору длин волн разрешение вглубь улучшается до значения, определяемого (6).
 Удалено: В параграфе 4.2 приведено описание эксперимента. В схеме с интерферометром Майкельсона (рис. 11) при записи голограмм использовался перестраиваемый источник излучения - BS840-02 (Superlum Company) с выходной оптической мощностью – около 1 мВт, диапазоном перестройки – 825 – 875 нм, шириной линии – 0.1 нм. При использовании дискретного 200 (500) - шагового перестроения длины волны были получены объемные изображения различных объектов, в том числе рестового слоеного объекта пленка - покровное стекло – мишень (рис.

- Отформатировано ... [31]
- Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0,63 см, интервал Перед: 6 пт
- Удалено: сначала ... как то ... конфокальная микроскопия ... и ... Как альтернатива ... был рассмотрен ... глубиной ... [32]
- Удалено: Реализовать широкополосный ... ческий метод ... оказалось возможным благодаря появлению цифровой голографии, в которой возможностью ... реконс ... [33]
- Отформатировано: Шрифт: полужирный
- Удалено: Сперва ... были главе были ... [34]
- Отформатировано: Шрифт: 10 пт, русский (Россия), ниже на 3 пт
- Удалено: Следующей частью главы было ... 8 ... был задействован ... от ... [35]
- Отформатировано: Шрифт: 10 пт, Цвет шрифта:
- Удалено: Superlum
- Отформатировано: русский (Россия)
- Удалено: !
- Отформатировано ... [36]
- Удалено:

12) и фрагмента эпителиальной ткани человека в парафине (рис. 13).

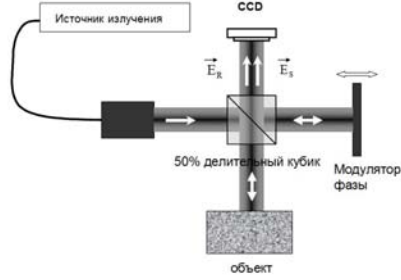


Рис. 11. Экспериментальная установка

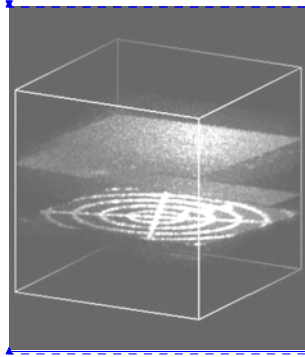


Рис. 12. Объемное изображение (двухмерный срез) глубинной структуры тестового слоеного объекта пленка-покрывное стекло-мишень. Куб – 240 элементов на сторону, 10 мкм шаг в поперечном направлении, 15 мкм – в глубину.

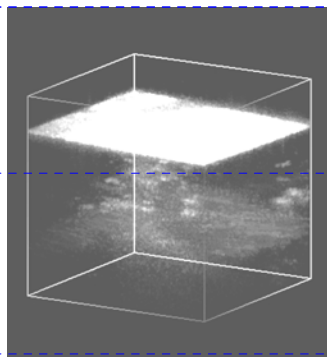


Рис. 13. Объемное изображение (двухмерный срез) глубинной структуры человеческого эпителия в парафине. Куб – 240 элементов на сторону, 5 мкм шаг в поперечном направлении, 7 мкм – в глубину.

Данный метод визуализации внутренней структуры объекта обладает,

- Отформатировано ... [37]
- Удалено:
- Отформатировано ... [38]
- Удалено: 1
- Удалено: 8 сигнала не требует применения поперечных сканирующих систем при 3-х мерной визуализации биотканей, как в традиционных методах оптической когерентной томографии.
- Отформатировано ... [39]
- Удалено: Его характерное ограничение на поперечное пространственное разрешение, может быть доведено до субволновых значений при использовании объектива с большой числовой апертурой.
- Отформатировано ... [42]
- Отформатировано ... [43]
- Отформатировано ... [44]
- Удалено: $\langle sr \rangle$ широкополосный цифровой голографический метод потенциально обладает наибольшей скоростью получения изображений внутренней структуры мутных сред в 3D-формате.
- Отформатировано ... [45]
- Отформатировано ... [46]
- Отформатировано ... [47]
- Отформатировано ... [48]
- Отформатировано ... [49]
- Отформатировано ... [50]
- Отформатировано ... [51]
- Отформатировано ... [52]
- Отформатировано ... [53]
- Отформатировано ... [54]
- Отформатировано ... [55]
- Отформатировано ... [56]
- Отформатировано ... [57]
- Отформатировано ... [58]
- Отформатировано ... [59]
- Отформатировано ... [60]
- Отформатировано ... [61]
- Отформатировано ... [62]
- Удалено: Рис. Объемное изображение (двухмерный срез) глубинной структуры человеческого эпителия в парафине. Куб – 240 элементов на сторону, 5 мкм шаг в поперечном направлении, 7 мкм – в глубину.
- Отформатировано ... [63]
- Отформатировано ... [64]
- Отформатировано ... [65]

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

1. Определен вклад шумов интерференционной части в полный шумовой сигнал двухлучевого интерферометра с суперлюминесцентным источником излучения после фотодетектирования. Установлена степень шумовой флуктуаций составных частей при формировании полного шумового интерференционного сигнала.

2. Разработаны методы компенсации искажения закона движения в механических системах с низкочастотным резонансом и на их основе использованы методики для высокочувствительных оптических измерений в области низкокогерентной интерферометрии, как то: оптический когерентный микроскоп, имеющий разрешение в рассеивающей среде не хуже $4 \times 4 \times 15 \mu\text{m}$ крона благодаря совмещению синхронного сканирования и врот когерентности; модулятор оптического пути, обеспечивающий изменение разности длин плеч интерферометра с постоянной скоростью с точностью 0,5% при размахе колебаний до десятка тысяч длин волн и частоте сканирования 20 Гц, что позволило реализовать прием сигнала, а также создать бездисперсионный интерферометр для диапазона ИК излучения 100 – 150 нм.

3. Предложен и реализован широкополосный цифровой голографический метод 3-х мерной визуализации биотканей, который позволяет отказаться от поперечных сканирующих систем. Впервые было получено полноценное 3-х мерное изображение глубинной слоистой структуры объекта с разрешением 10 – 15 мкм на глубину более 1 мм, полученное по длине волны источника ИК-излучения и цифровой обработкой.

- Удалено:
- Удалено: Широкополосный
- Формат: Список
- Удалено:
- Удалено: Снимается
- Удалено:
- Удалено: П
- Удалено:
- Удалено: Ш
- Удалено: ¶
- Отформатировано: Поз.табуляции: По центру, интервал Перед: 6 пт, После: 6 пт, Междустр.интервал: одинарный
- Отформатировано: Поз.табуляции: 0,63 см, по левому краю
- Отформатировано: дисс текст без отступа, Поз.табуляции: 0,63 см, по левому краю
- Удалено: ¶
- Отформатировано: Шрифт: 10 пт
- Удалено: ¶
- Отформатировано: Поз.табуляции: 0,63 см, по левому краю

Цитируемая литература

1. D. Huang, E.A. Swanson, C.P. Lin, J.S. Schuman, W.G. Stinson, W. Chang, M.R. Hee, T. Flotte, K. Gregory, C.A. Puliafito, J.G. Fujimoto, Optical Coherence Tomography // Science, 1991, V. 254, p. 1178-1181.
2. J.M. Schmitt, A. Knüttel, A. Gandjbakhche, R. F. Bonner, Optical characterization of dense tissues using low-coherence interferometry. // Proc. Spie, 1993, V. 1889, p. 197-211.
3. A. E. Swanson, D. Huang, M. R. Hee, J. G. Fujimoto, S.P. Lin, C. A. Puliafito, High speed optical coherence domain reflectometry. // Opt. Lett., 1992, V. 17, p. 151-153.
4. В. М. Геликонов, Г. В. Геликонов, Н. Д. Гладкова, Р. В. Куранов, Н. К. Никулин, Г. А. Петрова, В. В. Починко, К. И. Правденко, А. М. Сергеев, Ф. И. Фельдштейн, Я. И. Ханин, Д. В. Шабанов, Когерентная оптическая томография микронеднородностей биотканей // Письма в ЖЭТФ, 1995, Т. 61, № 2, с. 149-153.
5. A. F. Fercher, Optical coherence tomography // J. Biomedical Opt., 1996, V. 1, № 2, p. 157-173.
6. J. G. Fujimoto, Optical Coherence Tomography, in Encyclopedia of Optical Engineering, 2003, Marcel Dekker, Inc.: New York, P. 1594-1612.
7. В.Г. Левич, Введение в статистическую физику. 1954, Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 528 с.
8. L. Mandel, Fluctuations of light beams, in Progress in Optics, Wolf E., 1963, V. 11, North-Hall. Publ.Corp.: Amsterdam, P. 183-250
9. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин, Введение в статистическую радиофизику и оптику. 1981, Москва: Москва: Наука. 640 с.
10. И.Л. Берштейн, Детектирование сплошного спектра // ЖТФ, 1941, Т. 11, № 4, с. 302-304.
11. В. И. Бунимович, Флюктуационный процесс как колебание со случайными амплитудой и фазой // ЖТФ, 1949, Т. XIX, № 11.
12. Г.С. Горелик, О демодуляционном анализе света // Успехи физических наук, 1947, Т. 34, № 3, с. 321-333.
13. Г. Горелик, О возможности малоинерционного фотометрирования и демодуляционного анализа света // Докл. АН СССР, 1947, Т. 58, № 1, с. 45-47.
14. A.T. Forrester, R.A. Gudmundsen, P.O. Johnson, Photoelectric Mixing of Incoherent Light // Phys. Rev., 1955, V. 99, № 6, p. 1691-1700.
15. A. Yurek, H. Taylor, L. Goldberg, J. Weller, A. Dandridge, Quantum noise in Superluminescent diodes // IEEE J. Quantum Electron., 1986, V. 22, № 522-527.
16. И.А. Андропова, И.Л. Берштейн, Некоторые особенности работы

Оформатировано: Шрифт: 10 пт	волоконного кольцевого интерферометра // Известия вузов. Радиофизика, 1989, Т. 32, № 4, с. 426-435.
Оформатировано: Слева: -1,27 см, интервал После: 6 пт	17. W. V. Sorin, D. M. Baney, A Simple Intensity Noise-Reduction Technique // IEEE Photonics Technology Letters, 1992, V. 4, № 12, p. 1404-1406.
Удалено:	18. К. Takada, Noise in Optical Low-Coherence Reflectometry // IEEE Journal of Quantum Electronics, 1998, V. 34, № 7, p. 1098-1108.
Оформатировано: Слева: -1,27 см, интервал После: 6 пт	19. P. Yu. Zay, J.G. Fujimoto, Optical Coherence Tomography and Microscopy in Gastrointestinal Tissues // Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 1996, V. 2, № 4, p. 049-028.
Оформатировано: английский (США)	20. C. K. Hitzberger, W. Drexler, S. Molebny, H. Sattmann, M. Stuecker, A. F. Fercher, Dynamic coherent focus OCT with depth-independent lateral resolution // Journal of Modern Optics, 1999, V. 46, № 3, p. 541-549.
Оформатировано: английский (США)	21. A. Unterhuber, K. Bizheva, A. Unterhuber, B. Hermann, H. Sattmann, A. F. Fercher, W. Drexler, A. Apolonski, W. J. Wadsworth, J. C. Knight, P. S. J. Vetterlein, E. Scherzer, Submicrometer axial resolution optical coherence tomography // Optics Letters, 2002, V. 27, № 20, p. 1800-1802.
Оформатировано: английский (США)	22. A. Unterhuber, C. K. Hitzberger, H. Sattmann, W. Drexler, A. F. Fercher, Signal and resolution enhancements in dual beam optical coherence tomography of the human eye // Journal of Biomedical Optics, 1998, V. 3, № 4, p. 590-592.
Оформатировано: английский (США)	23. J. Kim, M. Yung, Principles and techniques of digital holographic microscopy // SPIE Reviews, 2010.
Оформатировано: английский (США)	24. U. Schnars, W. Juptner, Direct recording of holograms by a CCD-target and numerical reconstruction // Appl. Opt., 1994, V. 33, p. 179-181.
Оформатировано: английский (США)	25. M.K. Kim, Wavelength-scanning digital interference holography for tomographic three-dimensional imaging by use of the angular spectrum method // Optics Letters, 2005, V. 30, № 16, p. 2092-2094.
Оформатировано: английский (США)	26. Основные материалы диссертации опубликованы в работах:
Оформатировано: английский (США)	Статьи в реферируемых журналах:
Оформатировано: английский (США)	Геликонов В. М., Геликонов Г. В., Гладкова Н. Д., Куранов Р. В., Никулин Н. К., Петрова Г. А., Починко В. В., Правденко К. И., Сергеев Ф. И., Фельдштейн Ф. И., Ханин Я. И., Шабанов Д. В., Когерентная
Оформатировано: английский (США)	М., Фельдштейн Ф. И., Ханин Я. И., Шабанов Д. В., Когерентная

Оформатировано:
английский (США)

Оформатировано:
английский (США)

Оформатировано:
английский (США)

Оформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

Оформатировано: По
центру, интервал После: 6

Оформатировано:
Шрифт: 10 пт

Оформатировано: Отступ:
Слева: 0,63 см,
Междустр.интервал:
одинарный

Оформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

Оформатировано: Отступ:
Слева: 0 см, Выступ: 0,63
см, Междустр.интервал:
одинарный, Поз.табуляции:
0,63 см, Выровнять по
позиции табуляции + нет в
1,3 см

Формат: Список

оптическая томография микронеоднородностей биотканей // Письма в ЖЭТФ, 1995, Т. 61, № 2, с. 149-153.

2а. Гладкова Н. Д., фельдштейн Ф. И., Геликонов В. М., Геликонов Г. В., Сергеев А. М., Ханин Я. И., Починко В. В., Никулин Н. К., Петрова Г. А., Леонов В. И., Правденко К. И., Шабанов Д. В., Оптическая когерентная томография: первые шаги в клинической практике и перспективы применения // Клиническая ревматология, 1996, Т. 1, с. 38-42.

3а. Шабанов Д.В., Преобразование флуктуаций излучения оптического низкокогерентного источника в двухплечевом интерферометре // Известия вузов. Радиофизика, 2000, Т. 43, № 4, с. 350-356.

4а. Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Шабанов Д.В., Оптический волоконный мультиплексор на длины волн 1,3 и 0,64 мкм // Оптический журнал, 2000, Т. 67, № 2, с. 81-84.

5а. Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Ксенофонтов С.Ю., Куранов Р.В., Морозов А.Н., Мяков А.В., Туркин А.А., Турчин И.В., Шабанов Д.В., Новые подходы к широкополосной волоконно-оптической интерферометрии для оптической когерентной томографии // Известия вузов. Радиофизика, 2003, Т. 46, № 7, с. 610-627.

6а. Shabanov D.V., Gelikonov G.V., Gelikonov V.M., Broadband digital holographic technique of optical coherence tomography for 3-dimensional biotissue visualization // Laser Physics Letters, 2009, V. 6, № 10, p. 753-758.

Доклады:

7а. Sergeev Alexander M., Gelikonov V. M., Gelikonov G. V., Feldchtein Felix I., Pravdenko K. I., Shabanov D. V., Gladkova Natalia D., Pochinko V. V., Zhegalov V. A., Dmitriev G. I., Vazina I. R., Petrova G. A., Nikulin N. K., In vivo optical coherence tomography of human skin microstructure // Proc SPIE, 1994, V. 2328, p. 144-150.

8а. G.V. Gelikonov, V.M. Gelikonov, R.R. Iksanov, S.Ju.Ksenofontov, A.N. Morosov, D.V. Shabanov. Optical coherence microscopy with ultra-broadband PM fiber. // in BIOS. January 2003. Photonics West. p. 87.

9а. Кутис И.С., Кутис С.Д., Кутис Л.С., Шабанов Д.В. Исследование динамики водопоглощения семян, обработанных градиентным магнитным полем методом оптической когерентной томографии и микроскопии // в трудах конференции "Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии". 2004. Российский Федеральный ядерный центр. Саров. с. 416-423.

10а. Gelikonov G.V., Gelikonov V.M., Ksenofontov S.U., Morosov A.N., Shabanov D.V. 4 mcm resolution imaging of biological tissues using PM fiber optical coherence microscope. // in 13th International Laser Physics

Workshop (LPHYS'04). July 12-16 2004. Trieste, Italy. Laser Physics (International Journal), the Abdus Salam ICTP. p. 186.

11а. Gelikonov G.V., Gelikonov V.M., Ksenofontov S.U., Morozov A.N., Shabanov D.V. PM fiber based optical coherence microscopy. // in Technical Digest of IV Int. Symposium "Modern Problems of Laser Physics". August 22-27 2004. Novosibirsk. p. 113.

12а. Dmitry Shabanov, Grigory Gelikonov, Valentin Gelikonov. Broadband 3D Digital Holography of Scattered Objects. // in European Conferences on Biomedical Optics (ECBO), 14-18 June 2009. Munich, Germany.

13а. Dmitry Shabanov, Grigory Gelikonov, Valentin Gelikonov. Broadband Digital Holography for 3D OCT imaging of Scattered Objects. // in II International symposium "Topical problems of biophotonics". июль, 19-24 2009. Нижний Новгород – Самара – Нижний Новгород (Россия).

14а. Dmitry Shabanov, Grigory Gelikonov, Valentin Gelikonov, Alexander Moiseev. Broadband 3D Digital Holography for depth structure visualization. // in Biomedical Optics and 3-D Imaging Congress. April 11-14 2010. Miami, Florida, USA.

Главы в монографиях:

15а. Gelikonov G. V., Gelikonov V. M., Ksenofontov S. U., Morozov A. N., Myakov A. V., Potapov Y. P., Saposhnikova V. V., Sergeeva E. A., Shabanov D. V., Shakhova N. M., Zagainova E. V., Compact optical coherence microscope, in Handbook of Coherent Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science, Ed. by Tuchin V.V., 2004, V. 2, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht.P. 345-362.

16а. V.V. Sapozhnikova, I.S. Kutis, S.D. Kutis, R.V. Kuranov, G.V. Gelikonov, D.V. Shabanov, V.A. Kamensky. In vivo monitoring of seeds and plant tissue absorption using optical coherence tomography and optical coherence microscopy, in Plant Cell Diagnostics (Images, Biophysical and Biochemical Processes in Allelopathy), Jersey Enfield, 2007, Plymouth: Science Publisher. P. 71-86.

Патенты:

Д.В. Шабанов, В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОДУЛЯТОР РАЗНОСТИ ДЛИН ПЛЕЧ ИНТЕРФЕРОМЕТРА, патент № 2261464, зарегистрирован 27 сентября 2005 г.

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт

Отформатировано:
Слева: 0,63 см,
Междустр.интервал:
одинарный

Отформатировано:
Слева: 0 см, Выступ:
0,63 см, Междустр.интервал:
одинарный, Поз.табуляции:
0,63 см, Выводить по
позиции табуляции + нет в
1,3 см

Формат: Список

Отформатировано: Отступ:
Слева: 0,63 см, интервал
После: 0 пт,
Междустр.интервал:
одинарный

Отформатировано: Отступ:
Слева: 0 см, Выступ: 0,63
см, Междустр.интервал:
одинарный, Поз.табуляции:
0,63 см, Выводить по
позиции табуляции + нет в
1,3 см

Формат: Список

Отформатировано: Отступ:
Слева: 0,63 см, интервал
После: 0 пт,
Междустр.интервал:
одинарный

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

Отформатировано: По
левому краю

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

Отформатировано: русский
(Россия)

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский
(Россия)

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

ШАБАНОВ Дмитрий Владимирович

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

**МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И
УЛУЧШЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ
ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ**

Отформатировано: русский
(Россия)

Отформатировано: По
центру

Автореферат

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт, русский

Подписано к печати...


Отформатировано:
Шрифт: 10 пт

Отформатировано:
Шрифт: 10 пт

Отформатировано: Отступ:
Слева: 0,63 см, Первая
строка: 0 см

Стр. 10: [1] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:56:00
Шрифт: 10 пт		
Стр. 10: [2] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:39:00
Не отрывать от следующего		
Стр. 10: [3] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:40:00
Не отрывать от следующего		
Стр. 10: [4] Изменение	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:26:00
Отформатированная таблица		
Стр. 10: [5] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:39:00
Название объекта, Поз.табуляции: нет в 8,57 см		
Стр. 10: [6] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:40:00
Название объекта, Поз.табуляции: нет в 8,57 см		
Стр. 10: [7] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:37:00
Отступ: Первая строка: 0 см		
Стр. 10: [8] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:58:00
Шрифт: 9 пт, русский (Россия)		
Стр. 10: [9] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:58:00
Шрифт: 9 пт		
Стр. 10: [10] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 8:58:00
Шрифт: 9 пт, русский (Россия)		
Стр. 10: [11] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:37:00
Отступ: Первая строка: 0,07 см		
Стр. 10: [12] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 9:02:00
Шрифт: 9 пт, русский (Россия)		
Стр. 10: [13] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 9:02:00
Шрифт: 9 пт		
Стр. 13: [23] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 10:09:00
Шрифт: 9 пт, русский (Россия)		
Стр. 13: [23] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 10:09:00
Шрифт: 9 пт		
Стр. 13: [24] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 10:16:00
Шрифт: 9 пт, русский (Россия)		
Стр. 10: [17] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 9:02:00
Шрифт: 9 пт		
Стр. 13: [24] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:48:00
Шрифт: 9 пт		
Стр. 10: [19] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 9:02:00
Стр. 13: [24] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:54:00
Стр. 10: [20] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:38:00
интервал Перед: 6 пт		
Стр. 13: [24] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:54:00
Отступ: Первая строка: 0,63 см, интервал После: 6 пт		
Стр. 13: [22] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 10:07:00
Стр. 13: [24] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:49:00
Стр. 13: [22] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 10:07:00
Стр. 13: [24] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 12:57:00

Применение

Стр. 13: [27] Удалено Т	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:51:00
Стр. 13: [27] Удалено позволяет	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:49:00
Стр. 13: [27] Удалено объединить	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:53:00
Стр. 13: [27] Удалено с	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:49:00
Стр. 13: [27] Удалено пространственным	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:49:00
Стр. 13: [27] Удалено М	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:49:00
Стр. 14: [27] Удалено единиц	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:51:00
Стр. 15: [28] Отформатировано Отступ: Первая строка: 0,63 см, интервал После: 6 пт	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:26:00
Стр. 15: [29] Отформатировано По левому краю, Отступ: Первая строка: 0 см	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:27:00
Стр. 15: [30] Удалено	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:27:00
		
Рис. 7 электромеханический модулятор разности длин плеч интерферометра глубиной		
Стр. 16: [31] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 13:00:00
Стр. 16: [33] Удалено	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:45:00
Стр. 16: [31] Отформатировано Реализовать	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 13:00:00
Стр. 16: [33] Удалено широкополосный	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:45:00
Стр. 16: [32] Удалено	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:36:00
Стр. 16: [33] Удалено классический метод	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:45:00
Стр. 16: [33] Удалено оказалось возможным благодаря появлению цифровой голографии, в которой	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:45:00
Стр. 16: [33] Удалено как то	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:46:00
Стр. 16: [32] Удалено возможностью	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:29:00
Стр. 16: [33] Удалено конфигурации микрометра реконструкции	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:46:00
Стр. 16: [34] Удалено С перва	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:36:00
Стр. 16: [34] Удалено Стр. 16: [32] Удалено были	Sergey Ksenofontov Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:46:00 18.03.2011 13:02:00
Стр. 16: [34] Удалено главе были	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:47:00
Стр. 16: [32] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 13:02:00
Стр. 16: [35] Удалено был рассмотрен Следующей частью главы было	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:37:00
Стр. 16: [35] Удалено	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:13:00
8		
Стр. 16: [35] Удалено	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:38:00

Отступ: Первая строка: 0 см

Стр. 17: [42] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:42:00
выделение цветом		
Стр. 17: [43] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:26:00
Шрифт: 9 пт, русский (Россия)		
Стр. 17: [44] Изменение	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:50:00
Отформатированная таблица		
Стр. 17: [45] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:26:00
По левому краю		
Стр. 17: [46] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Шрифт: 9 пт		
Стр. 17: [47] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:29:00
По ширине, Междустр.интервал: одинарный		
Стр. 17: [48] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Шрифт: 9 пт		
Стр. 17: [49] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:21:00
русский (Россия)		
Стр. 17: [50] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:20:00
По ширине		
Стр. 17: [51] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:21:00
Шрифт: 9 пт, не полужирный, русский (Россия), не выделение цветом		
Стр. 17: [52] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:21:00
Шрифт: 9 пт, не полужирный, русский (Россия)		
Стр. 17: [53] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:21:00
Шрифт: 9 пт, не полужирный, русский (Россия)		
Стр. 17: [54] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Стр. 17: [64] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Шрифт: 9 пт, русский (Россия)		
Стр. 17: [55] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Стр. 17: [65] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 19:43:00
Стр. 17: [56] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Стр. 19: [66] Удалено	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:54:00
1. Стр. 17: [57] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
D. Huang, E. A. Swanson, C.P. Lin, J.S. Schuman, W.C. Stinson, W. Chang, M.R. Hee, T. Flotte, K. Gregory, C.A. Puliafito, J.G. Fujimoto, Optical Coherence Tomography // Science, 1991, V. 254, p. 1178-1181.		
2. Стр. 17: [58] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
J.M. Schmitt, A. Knuttel, A. Gandjbakhche, R. F. Bonner, Optical characterization of dense tissues using low-coherence // Opt. Soc. Am. B, 1993, V. 10, p. 1581-1585.		
3. Стр. 17: [59] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
E. A. Swanson, D. Huang, M. R. Hee, J. G. Fujimoto, S.P. Lin, C. A. Puliafito, High speed optical coherence domain reflectometry. // Opt. Lett., 1992, V. 17, p. 151-153.		
4. Стр. 17: [60] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:26:00
В. М. Геликонов, Г. В. Геликонов, Н. Д. Гладкова, Г. В. Куранов, Н. К. Никулин, Г. А. Петрова, В. В. Ручинко, К. И. Нравденко, А. М. Сергеев, Ф. И. Фельдштейн, Я. И. Ханин, Д. В. Шабанов, Когерентная оптическая томография неоднородностей биотканей // Письма в ЖЭТФ, 1995, Т. 61, № 2, с. 149-153.		
5. Стр. 17: [61] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
A.F. Fercher, Optical coherence tomography // J. Biomedical Opt., 1996, V. 1, № 2, p. 157-173.		
6. Стр. 17: [62] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
J. G. Fujimoto, Optical Coherence Tomography, in Encyclopedia of Optical Engineering, 2003, Marcel Dekker, Inc.		
7. Стр. 17: [63] Удалено	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:50:00
Русский (Россия) в статистическую физику. 1954, Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы. 528 с.		
8. Стр. 17: [62] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
L. Mandel, Fluctuations of light beams, in Progress in Optics, Wolf E., 1963, V. 11, North-Hall. Publ.Corp.: Amsterdam. P. 183-250		
9. Стр. 17: [63] Удалено	Sergey Ksenofontov	17.03.2011 20:50:00
С. А. Амурской, Ю. Б. Дьяков, А. С. Чиркин, Введение в статистическую радиофизику и оптику, 1981, Москва: Москва: Наука. 640 с.		
10. Стр. 17: [64] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
И. Л. Берштейн, Детектирование сплошного спектра // ЖТФ, 1944, Т. 11, № 4, с. 302-304.		
11. Стр. 17: [65] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
В. И. Бунимович, Флюктуационный процесс как колебание со случайными амплитудой и фазой // ЖТФ, 1949, Т. XIX, № 11.		
12. Стр. 17: [66] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Г. С. Горелик, О демодуляционном анализе света // Успехи физических наук, 1947, Т. 34, № 3, с. 321-333.		
13. Стр. 17: [67] Отформатировано	Sergey Ksenofontov	18.03.2011 11:30:00
Г. Горелик, О возможности малоинерционного фотометрирования и демодуляционного анализа света // Успехи физических наук, 1947, Т. 34, № 3, с. 334-335.		

Стр. 19: [67] Отформатировано **Sergey Ksenofontov** **17.03.2011 20:57:00**

Отступ: Слева: 0 см, Выступ: 0,63 см, Поз.табуляции: 0,63 см, по левому краю

Стр. 19: [68] Отформатировано **Sergey Ksenofontov** **17.03.2011 20:57:00**

Отступ: Слева: 0 см, Выступ: 0,63 см, Поз.табуляции: 0,63 см, по левому краю