

Рисунок 6 – Зависимости спектральной полуширины импульса от мощности накачки

На рисунке 7 показан спектр импульса для образца №3. Спектральная полуширина составила 10,6 нм, центральная длина волны 1031 нм.

Спектры фемтосекундных импульсов, полученных с образцами затворов №1 и №2 имеют аналогичную форму, но меньшую спектральную полуширину, 6,3 нм и 8,6 нм соответственно.

Наилучший результат был получен в эксперименте с пассивным затвором №3. Длительность импульса соответствующая полученной спектральной полуширине составила 105 фс. В экспериментах с образцами 1 и 2 длительности импульса составили 180 фс и 130 фс соответственно.

УДК 615.849.19

КОНЦЕПЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ЛАЗЕРОФЕРЕЗА

Рыжевич А.А.¹, Солоневич С.В.¹, Железнякова Т.А.²

¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

В ряде клинических случаев в качестве способа доставки лекарственного препарата целесообразно применять лазероферез – введение препарата в биоткань под действием лазерного излучения [1]. Зачастую, когда патологические процессы локализованы на внешних поверхностях организма – коже и слизистой оболочке, имеет смысл вводить лекарственный препарат только в пораженные области биоткани, т. е. на небольшую глубину. Для проведения приповерхностного лазерофереза нами было предложено применять динамические градиентные световые поля (ДГСП), представляющие собой суперпозицию двух или более когерентных световых пучков, разность фаз между которыми изменяется по определенному закону [1, 2]. В настоящее время во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и в медико-биологической, все более широкое распространение получают компактные, имеющие высокий КПД и в тоже время недорогие полупроводниковые лазеры. Излучение данных лазеров имеет заметные отличия в плане когерентности и распределения интенсивности по сравнению с применявшимися ранее лазерами, поэтому в данной работе исследована возможность применения компактных

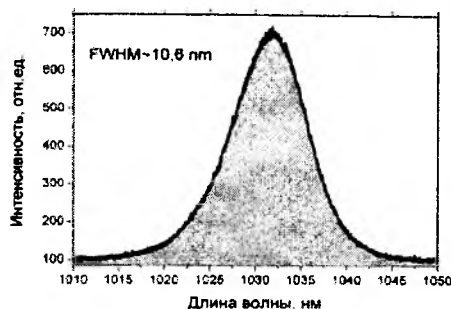


Рисунок 7 – Спектр лазерного импульса для образца №3

Анализируя полученные данные можно сделать заключение о том, что увеличение глубины модуляции пассивного затвора позволяет уменьшить длительность импульса, при прочих равных условиях.

Однако в случае с образцом №2 уменьшения длительности импульса не наблюдалось. Это связано с более узким спектром отражения (см. Рис. 3), что в свою очередь приводило к уменьшению спектральной полуширины фемтосекундного импульса и, как следствие, к увеличению его длительности.

полупроводниковых лазерных модулей KLM-D532-30-5 и KLM-M650-40-5 для проведения процедуры приповерхностного лазерофереза.

Для формирования и исследования ДГСП была собрана установка, схема которой представлена на рис. 1. В этой установке для изменения разности хода интерферирующих между собой лучей периодически изменяется пространственное положение укрепленного на пьезоэлектрическом элементе зеркала 4. При плавном изменении оптического пути одного из световых потоков посредством увеличения напряжения, подаваемого на пьезоэлектрический элемент, получены распределения интенсивности интерференционного светового поля в виде параллельных полос на поверхности облучаемого объекта. Зеркало 4 под действием управляемого переменного напряжения может смещаться на величины, сравнимые и большие, чем длина волны светового излучения. Благодаря этому интерференционные полосы на поверхности объекта 5 могут смещаться на период световой волны и более. Если излучение имеет высокую степень когерентности, при периодическом смещении полос ровно на один период интенсивность в конкретной точке поверхности объекта описывается

функцией вида $\sin^2 x$, что, с точки зрения лазерофореза, аналогично облучению поверхности излучением, интенсивность которого модулирована по амплитуде в виде синусоидальных импульсов.

При периодическом смещении зеркала 4, как показано на рис. 1, на расстояние $x = (2m+1)\lambda/2^{3/2}$, где $m = 0, 1, 2, \dots$ в каждой точке поля происходит $2m+1$ изменений значения интенсивности от минимального до максимального значения и наоборот, от максимального до минимального. Необходимые значения управляющего напряжения можно задавать посредством генератора импульсных сигналов. Для получения ДГСП нами были использованы лазерные модули KLM-D532-30-5 и KLM-M650-40-5 производства ЗАО «ФТИ-Оptronик» (Россия), излучающие на длинах волн 532 нм и 650 нм соответственно.

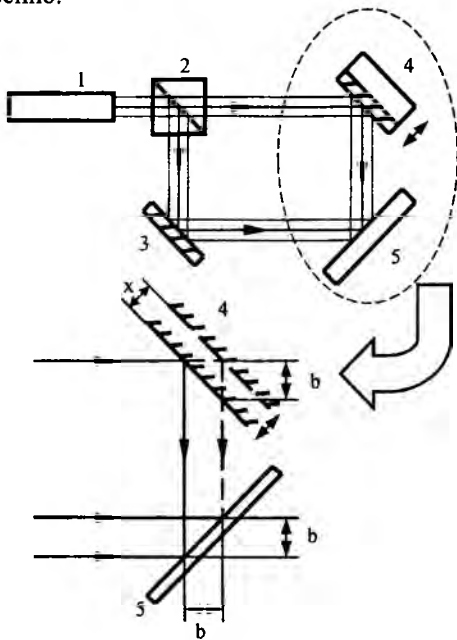


Рисунок 1 – Оптическая схема установки для формирования динамического градиентного светового поля на поверхности объекта воздействия: 1 – лазер, 2 – светоделительный элемент, 3 – зеркало, 4 – зеркало на пьезокерамической подложке, 5 – поверхность объекта

В случае, когда интенсивность двух интерферирующих пучков одинакова, видность интерференционной картины $v = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$ равна доле когерентного света, присутствующего в интерферирующих световых пучках, а также имеет смысл коэффициента амплитудной модуляции. Полученная нами с помощью модуля KLM-D532-30-5 динамическая интерференционная картина оказалась далеко не идеальной, однако интерференционные полосы

были достаточно хорошо различимы. Расчет видности по экспериментально зарегистрированному распределению интенсивности в ДГСП дал $v = (0,326 \pm 0,003)$, относительная погрешность $\epsilon_v = 0,9\%$, скорректированный коэффициент детерминации R^2 равен 0,94.

В рамках модели неравновесного поглощения микрообъектов внутри биотканей [2] нами показано, что облучение лазерным излучением приводит к увеличению температуры микрообъектов, которое в свою очередь обуславливает эффективность лазерофореза. Модуляция интенсивности излучения дополнительно и в значительной мере увеличивает эффективность лазерофореза за счет многократных циклических процессов увеличения-уменьшения объема структурных элементов биоткани [2].

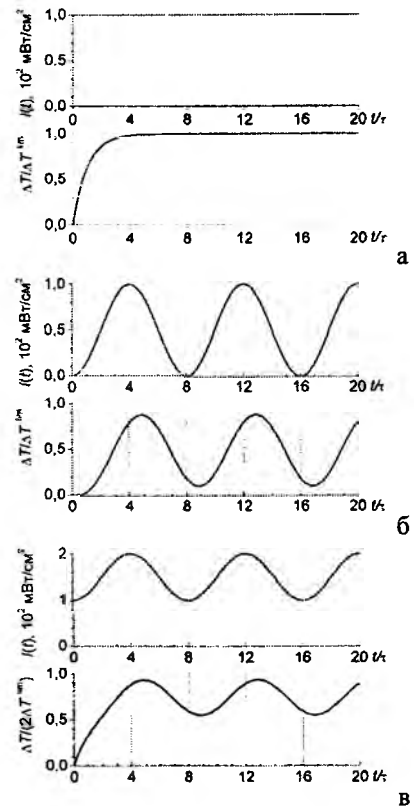


Рисунок 2 – Функции интенсивности лазерного излучения и изменения температуры структурного элемента по отношению к максимально достижимому значению температуры ΔT^{lim} : а – при непрерывном излучении, б – при периодическом изменении интенсивности по гармоническому закону, в – при воздействии частично модулированного по интенсивности излучения

По причине наличия в излучении полупроводниковых лазерных модулей значительной доли некогерентного излучения, экспериментально полученная зависимость интенсивности $I(t)$ в каждой точке ДГСП характеризуется наличием постоянной составляющей I_{\min} . Эта состав-

ляющая будет давать дополнительное однократное увеличение температуры структурных элементов биоткани после начала облучения (рис. 2а). Когерентная составляющая излучения обеспечит цикличное изменение температуры структурных элементов биоткани (рис. 2б), обусловленное смещением интерференционных полос ДГСП по облучаемой поверхности. Общий эффект определяется суммированием этих эффектов (рис. 2в).

В случае ДГСП интерференционные полосы должны смещаться по облучаемой поверхности на 1 межполосное расстояние за время от 4 до 20 τ , где τ – характерное время температурной релаксации структурного элемента облучаемой биоткани [2].

Таким образом, динамические градиентные световые поля, полученные с помощью полупроводниковых лазеров, могут применяться для проведения лазерофореза в тех случаях, когда нужно локально воздействовать препаратом только на приповерхностные слои биоткани. При распространении в сильно рассеивающих биотканях интерферирующие парциальные когерентные пучки быстро теряют когерентность и деполяризируются, из-за чего контрастность интерференционной картины так же быстро падает.

Вследствие этого эффективность лазерофореза при облучении биоткани ДГСП в более глубоких слоях будет намного меньше, чем в поверхностных. Значит, применяя ДГСП, можно существенно ослабить нежелательное поступление лекарственного препарата в глубокие слои биоткани и общий кровоток.

1. Рыжевич, А.А. Введение препаратов в организм под действием лазерного излучения. Экспериментальная база, закономерности, область применения и перспективы развития лазерофореза / А.А. Рыжевич, Т.А. Железнякова, С.В. Солоневич. – Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing, 2011. – 216 с. – ISBN 978-3-8433-1371-1.
2. Железнякова, Т.А. Метод лазерофореза посредством излучения с периодически изменяющейся во времени интенсивностью / Т.А. Железнякова, М.М. Кугейко, С.В. Солоневич, А.А. Рыжевич // Вестн. БГУ. Сер. 1. – 2009. – № 3. – С. 24–30.

УДК 621.762+621.382.049

МИКРО- НАНОПОРИСТЫЕ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ – ОСНОВА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕНСОРОВ ГАЗОАНАЛИЗА

Савич В.В.¹, Мухуров Н.И.², Романенков В.Е.³

¹Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Тенденции совершенствования методов создания и конструкционного исполнения сенсоров газоанализа характеризуются миниатюризацией, повышением чувствительности, сокращением времени отклика и энергопотребления. Пористые структуры чувствительных элементов напрямую влияют на данные характеристики, т.к. имеют по сравнению с беспористыми, существенно большую развитую поверхность контакта с анализируемой газовой средой, позволяют относительно не сложно допировать в них легирующие микроэлементы, изменяющие дополнительно физические и/или электрохимические параметры. Оксиды металлов (SnO_2 , ZnO , NiO , CuO , TiO_2 , ZrO_2 , Y_2O_3 , WO_3 и др.) – перспективные и наиболее распространенные материалы для газовых сенсоров [1].

Целью данной работы является обзор тенденций совершенствования сенсоров газоанализа на основе пористых оксидов металлов, определение наиболее перспективных материалов, а также новых областей применения таких сенсоров.

В настоящее время для диэлектрической основы газовых сенсоров достаточно часто

используются нанопористые оксиды алюминия и титана [2–5], которые относительно доступны, дешевы, а технологии их получения позволяют варьировать в широких пределах параметры пористой структуры.

На рис.1 представлено схематическое изображение чувствительного элемента сенсора влажности на основе пористого оксида алюминия, покрытого пористой золотой пленкой [5].

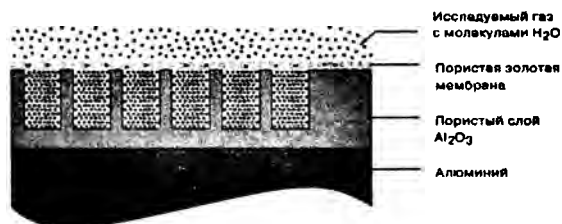


Рисунок 1 – Схема чувствительного элемента сенсора влажности газа XENTAUR [5]

Молекулы воды проникают в пористый слой и изменяют емкость конденсатора,