

3. Маркова, Л.В. Трибодиагностика машин. / Л.В. Маркова. – Мн.: Бел. наву., 2005. – 254 с.

4. Алешкевич, Н.А. Спектрально-люминесцентные методы контроля смазочных композиций / Н.А. Алешкевич, В.В. Кравченко // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. “Поликомтриб 2005”. – Гомель. – 2005. – С. 183.

**М.К. Аль-Муханна¹, А.А. Рыжевич², С.В. Солоневич²,
Т.А. Железнякова³**

¹Центр Науки и Технологии Короля Абдулазиза, Саудовская Аравия

²Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА ЯЧЕИСТЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ

Периодические структуры широко применяются в современной физике. Для их создания иногда используются периодические световые поля. Под световыми полями с ячеистым распределением интенсивности понимают поля, имеющие в поперечном сечении четко выраженные локальные световые максимумы интенсивности конечных размеров определенной формы, расположенные в определенном порядке. Максимумы интенсивности ячеистого поля не обязательно распределены периодически в плоскости поперечного сечения поля, однако, поперечное распределение интенсивности, как правило, имеет какую-либо симметрию. Поля с ячеистым распределением интенсивности могут быть получены тремя функционально различными методами: с помощью голограмм, перестраиваемых пространственных модуляторов света (SLM), а также посредством суперпозиции нескольких световых волн (пучков). Поскольку в настоящее время особая важность придается практическим аспектам, следует отметить, что голографический метод имеет меньшую ценность в силу того, что голографические оптические элементы, предназначенные для формирования полей нужного типа, как правило, обладают относительно небольшой лучевой прочностью, что не позволяет формировать лазерные поля необходимой для многих практических применений мощности. Современные SLM на базе управляемых микрзеркал уже позволяют преобразовывать достаточно мощное излучение, однако при этом не всегда позволяют получить необходимые

углы отклонения парциальных световых пучков. В настоящей работе описаны весьма перспективные для различных практических применений методы формирования квазипериодических ячеистых световых полей посредством суперпозиции четырех и трех парциальных световых пучков.

Четыре когерентных между собой пучка одинаковой интенсивности можно получить с помощью трех светоделительных элементов либо рефрактивного элемента. В качестве рефрактивного элемента может выступать либо комбинация двух бипризм Френеля, сложенных вплотную друг к другу, либо оптический элемент нового типа в виде четырехгранной пирамиды [1]. В результате исследований нами сделан вывод, что организовать суперпозицию нескольких волн с помощью только одного или двух рефрактивных элементов гораздо проще и удобней, чем с помощью семи- и более предметного комплекта из светоделительных и отражающих элементов, применяющиеся для разделения световых лазерных пучков. В случае использования только рефрактивных элементов обеспечивается стабильность конфигурации оптической схемы и, следовательно, структуры формируемого светового поля. При этом, конечно, отсутствует возможность плавной перестройки, например, угла схождения световых пучков, однако в силу высоких требований к точности расположения локальных световых максимумов, имеющих микронные размеры, схемы без использования светоделительных элементов в большинстве случаев более предпочтительны.

Для формирования и исследования ячеистых квадропучков использовалась стеклянная пирамида с углом при основании 5 градусов [1]. Нами впервые исследовано продольное распределение интенсивности в квадропучках в зависимости от расходимости исходного светового пучка конечной апертуры, падающего на пирамидальный оптический элемент. Если на пирамиду падает коллимированный световой пучок конечной апертуры, квадропучок формируется в области, представляющей собой две одинаковые пирамиды, соединенные своими квадратными основаниями. При изменении поперечных размеров квадропучка размер ячеек интенсивности в данном случае практически не изменяется. Поле имеет осевую симметрию четвертого порядка. С увеличением продольной координаты средняя интенсивность в поперечном сечении квадропучка падает (рисунок 1,а), поскольку по мере удаления от оси начального гауссова пучка падает интенсивность парциальных пучков, формирующих картину в данном сечении.

Использование в качестве исходного сходящегося либо расходящегося светового пучка предоставляет дополнительные

возможности для управления распределением интенсивности в квадропучке. Из сходящегося начального пучка может быть сформирован сходящийся квадропучок, у которого размер ячеек интенсивности и расстояние между ними уменьшаются при увеличении продольной координаты (рисунок 1,б). Длина области существования сходящегося квадропучка всегда меньше длины существования квадропучка, сформированного из коллимированного апертурно ограниченного исходного светового пучка. Средняя интенсивность I в поперечном сечении сходящегося квадропучка, сформированного из исходного гауссова светового пучка ведет себя как произведение гауссиана $AG(Cz)$ и функции квадрата продольной координаты z (1):

$$I = AG(Cz)(Bz)^2, \quad (1)$$

где A, B, C – некоторые константы, т. е. вначале увеличивается, затем быстро падает. Из расходящегося начального пучка даже конечной апертуры может быть сформирован расходящийся квадропучок бесконечной длины, причем размеры ячеек интенсивности и расстояние между ними увеличиваются пропорционально продольной координате.

Продольная бесконечность расходящегося квадропучка (рисунок 1,в), конечно же, относительна, т. к. с увеличением продольной координаты средняя интенсивность в поперечном сечении квадропучка ослабевает обратно пропорционально квадрату функции продольной координаты $(Fz)^2$, где F – некоторая константа.

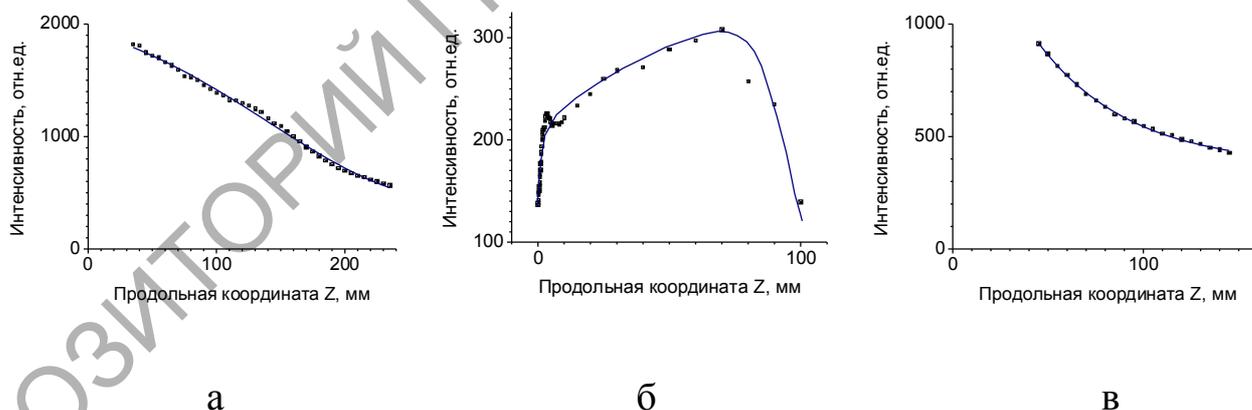


Рисунок 1 – Продольное распределение средней интенсивности в поперечных сечениях коллимированного (а), сходящегося (б) и расходящегося (в) квадропучков

Нами предложено и экспериментально реализовано устройство для формирования трехпучкового динамического градиентного светового поля с ячеистым распределением интенсивности в поперечном сечении в виде совокупности округлых, близких между собой по размеру

максимумов интенсивности, которые можно контролируемо перемещать в плоскости, перпендикулярной оптической оси поля [2]. На рисунке 2 показана оптическая схема предложенного устройства. Источник лазерного излучения 1 и телескоп-коллиматор 2 формируют коллимированный когерентный световой пучок с аксиально симметричным распределением интенсивности, который направляется на диафрагму 3 с тремя круглыми отверстиями, расположенными в вершинах равностороннего треугольника, и полностью их освещает симметрично относительно оптической оси начального пучка. На пути одного из этих отверстий установлена плоскопараллельная стеклянная пластина 4 толщиной $0,1 \div 2$ мм с возможностью поворота на контролируемый угол, лежащий в плоскости, содержащей оптическую ось начального пучка и ось того выделенного диафрагмой пучка, который проходит сквозь эту пластину. При повороте пластины 4 изменяется оптический путь пучка, проходящего сквозь нее, и, соответственно, возникает и изменяется разница в фазе этого пучка по отношению к двум другим. Параллельное смещение пучка, проходящего сквозь заклоненную пластину, в силу ее малой толщины мало и поэтому не оказывает существенного влияния на вид выходного интерференционного поля.

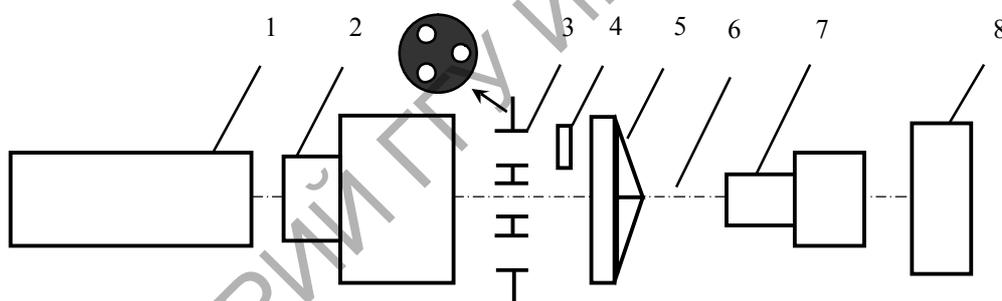


Рисунок 2 – Схема для формирования трехпучкового динамического ячеистого светового поля

После прохождения трех выделенных диафрагмой пучков сквозь трехгранную пирамиду 5 (каждый из трех выделенных диафрагмой пучков проходит только через одну наклонную грань пирамиды) в области интерференции пучков за пирамидой формируется динамическое градиентное поле, все максимумы интенсивности которого при повороте пластины 4 по причине изменения разницы в фазе одного из пучков с двумя другими одновременно во всех поперечных сечениях смещаются в плоскости, перпендикулярной и плоскости поворота пластины, и оптической оси начального пучка. Наличие ячеистого поля, формируемого в зоне интерференции, можно зарегистрировать с помощью микроскопа 7 и CCD-камеры 8, поскольку

ячейка интенсивности имеет размер порядка нескольких микрометров. Градиент интенсивности в поперечном сечении формируемого поля существенно больше, чем в интерференционном поле в виде параллельных полос, формируемом при интерференции двух пучков. Изготовленный авторами полезной модели [2] пробный экземпляр устройства подтвердил ее работоспособность.

Поскольку в поперечном сечении ячеистого светового поля имеются малые по площади участки с сильно отличающимися значениями интенсивности, их можно считать высокоградиентными. Такие световые поля можно использовать для захвата и перемещения микрочастиц. На основе данных полей возможно создание оптических пинцетов для применения, например, в биологии для микроманипуляции вирусами и бактериями, индуцированного клеточного синтеза в иммунологии и молекулярной генетике, захвата и перемещения хромосом, изменения подвижности человеческих сперматозоидов и трансмембранных протеинов. Описанные методы формирования ячеистых световых полей перспективны для захвата и манипуляции микро- и наночастицами. Оптический элемент в виде пирамиды по сравнению с парой бипризм обладает преимуществами стабильности и симметричности выходного поля, а также ненужности дополнительных юстировок бипризм относительно друг друга. Однако в тех случаях, когда требуется обеспечить равенство между собой пиковых значений интенсивности локальных световых максимумов на сравнительно большой площади в поперечном сечении поля, придется применять схему со светоделительными элементами, обеспечивая при этом жесткость крепления всех оптических элементов по отдельности и виброзащищенность всей оптической схемы в целом. Благодаря особой конфигурации распределения интенсивности ячеистые поля могут применяться для создания статических структур с такой же конфигурацией в различных материалах, а также для лазерной обработки материалов. Кроме того, в силу своей геометрии квадропучки весьма перспективны для профилометрии тел в форме параллелепипеда. Квазипериодические ячеистые световые поля, методы получения которых описаны в настоящей работе, должны оказаться весьма полезными для лазерной терапии [3]. Предложенное устройство [2] и получаемые с его помощью динамические световые поля можно использовать для дозированного лазерного воздействия на ансамбли микрообъектов в микро- и нанотехнологиях с целью их перемещения и перемешивания, на органические ткани в биологии и медицине с регуляторными, терапевтическими либо профилактическими целями, а также для воздействия на различные материалы с целью их локальной лазерной обработки одновременно во многих точках.

Литература

1. Устройство для формирования светового поля с ячеистым распределением интенсивности в поперечном сечении: Заяв. на пат. Респ. Беларусь // С.В. Солоневич, А.А. Рыжевич, Н.С. Казак, Т.С.М. Аль-Сауд, С.Н. Аль-Ховайтер, М.К.А. Аль-Муханна, заявитель ГНУ «Институт физики Б.И. Степанова НАН Беларуси» – № и 20110312; заявл.19.04.2011.

2. Устройство для формирования динамического градиентного светового поля: пат. Респ. Беларусь / А.А. Рыжевич, Т.А. Железнякова, С.В. Солоневич; заявитель ГНУ «Институт физики Б.И. Степанова НАН Беларуси» – № 7053; заявл. 30.07.10; опубл. 16.11.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 1. – С. 223–224.

3. 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.

В.М. Анищик¹, Н.Г. Валько², И.И. Кургузенкова², Н.И. Поляк¹

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²УО «Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ Zn-Ni ПОКРЫТИЙ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В настоящее время интенсивно разрабатываются новые методики электрохимической защиты стальных изделий с использованием внешних воздействий: ультразвука, магнитного поля и высокоинтенсивного излучения, которые позволяют значительно улучшать физико-механические свойства гальванопокрытий [1]. Актуальным является вопрос об использовании рентгеновского излучения в процессе электролитического осаждения, поскольку при воздействии облучения на электрохимическую систему в электролите равномерно по всему объему раствора генерируются продукты радиолиза [2]. Обладая высокой подвижностью и восстановительными свойствами, они способствуют увеличению потока диффундирующих ионов осаждаемого металла в прикатодном диффузионном слое и как следствие, ускорению процесса разрядки на подложке. В свою очередь,