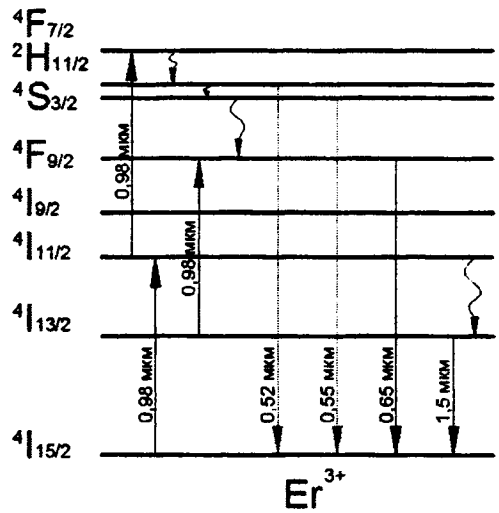


Рисунок 3 – Упрощенная схема уровней иона Er^{3+}

Таким образом, исследуемые легкоплавкие оксифторидные стекла, активированное ионами Er^{3+}, характеризуется способностью преобразования инфракрасного излучения в видимое излучение и может рассматриваться как перспективный материал для ап-конверсионных преобразователей излучения.

1. Möbert, P. E.-A. Green Er^{3+}:YLiF^4 upconversion laser at 551 nm with Yb^{3+} codoping: a novel pumping scheme / P. E.-A. Möbert, E. Heumann, G. Huber // Optics Letters. – 1997. – Vol. 22. – № 18. – P. 1412–1414.
2. Shalav, A. Luminescent layers for enhanced silicon solar cell performance: Up-conversion / A. Shalav, B.S. Richards, M.A. Green // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2007. – № 91 – P. 829–842.

УДК 535.3

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИХРОМАТИЧЕСКОГО БЕССЕЛЕВА СВЕТОВОГО ПУЧКА

Солоневич С.В.[1], Рыжевич А.А.[1], Казак Н.С.[1], Аль-Муханна М.К.[2], Аль-Ховайтер С.Х.[2], Аль-Сауд Т.С.М.[2]
[1]Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
[2]Центр науки и технологии короля Абдулазиза, Эр-Рияд, Саудовская Аравия

С момента появления таких источников излучения, как лазеры, пристальное внимание специалистов, работающих с ними, обращается на конфигурацию лазерных световых пучков, являющихся своеобразными инструментами для работы. Особый практический интерес вызывают бесселевы световые пучки (БСП) нулевого порядка. Поперечное радиальное распределение интенсивности $I(\rho)$ в них описывается возведенной в квадрат функцией Бесселя соответствующего порядка ($I(\rho) \sim J_0^2(\rho q)$, где J_0 - функция Бесселя 0-го порядка, ρ - радиальная координата, $q = k \sin\gamma$, $k=2\pi/\lambda$ - модуль волнового вектора, γ - угол конусности БСП, λ - длина волны излучения). В обычном БСП расположение минимумов и максимумов интенсивности не зависит от продольной координаты, а центральный максимум интенсивности сохраняет свои размеры практически неизменными во всей зоне существования БСП. В данной работе предложен и экспериментально реализован метод формирования мультихроматических $БСП_0$, содержащих излучение двух или большего конечного количества различных длин волн, а также описано устройство для реализации данного метода.

Для решения поставленной задачи путем формирования суперпозиции БСП различных длин волн предложено устройство, которое состоит из конечного количества от 2 до n источников лазерного излучения, генерирующих световые пучки с различными длинами волн λ_1, λ_2, … , λ_n, оптической системы для формирования n совмещенных вдоль одной оси бесселевых световых пучков с различными углами конусности γ_1, γ_2, …, γ_n, удовлетворяющими условию $\gamma_1/\lambda_1 \approx \gamma_2/\lambda_2 \approx ... \approx \gamma_n/\lambda_n$, и устройств для независимой вариации интенсивности излучения в каждом из совмещаемых бесселевых световых пучков в количестве, равном количеству источников лазерного излучения. Интенсивность суперпозиции n неинтерферирующих БСП нулевого порядка различных длин волн λ_1, λ_2, … , λ_n и различных углов конусности γ_1, γ_2, …, γ_n с различными пиковыми значениями осевых максимумов описывается функцией радиальной координаты ρ, представляющей собой сумму квадратов функций Бесселя нулевого порядка $A_1^2 J_0^2(2\pi\rho\sin\gamma_1/\lambda_1)+A_2^2 J_0^2(2\pi\rho\sin\gamma_2/\lambda_2)$ + … + $A_n^2 J_0^2(2\pi\rho\sin\gamma_n/\lambda_n)$, где A_1, A_2, …, A_n – амплитуды полей n составляющих $БСП_0$. При выполнении условия $\gamma_1/\lambda_1=\gamma_2/\lambda=...=\gamma_n/\lambda_n=M$ интенсивность выходного поля будет описываться выражением $A_1^2 J_0^2(2\pi\rho\sin M)+A_2^2 J_0^2(2\pi\rho\sin M)+...+A_n^2 J_0^2(2\pi\rho\sin M)= (A_1^2+ A_2^2+...+A_n^2) J_0^2(2\pi\rho\sin M)$, т.е. радиальное распределение выходного поля будет бесселевым. На практике для получения мультихроматического $БСП_0$ вполне допустимо выполнение приближенного равенства $\gamma_1/\lambda_1 \approx \gamma_2/\lambda_2 \approx ... \approx \gamma_n/\lambda_n$.

Техническое воплощение предлагаемого устройства для реализации метода также вполне осуществимо. В настоящее время не составляет технической трудности выбрать источники лазерного излучения, обеспечивающие необходимое сочетание цветов совмещаемых БСП. Предпочтительно, чтобы лазерные пучки были коллимированными, т.е. имели как можно меньшую расходимость. Возможность решения поставленной задачи подтверждена экспериментально. Для этого был собран вариант предлагаемого устройства с двумя источниками излучения различных длин волн, оптическая схема которого показана на рисунке 1.

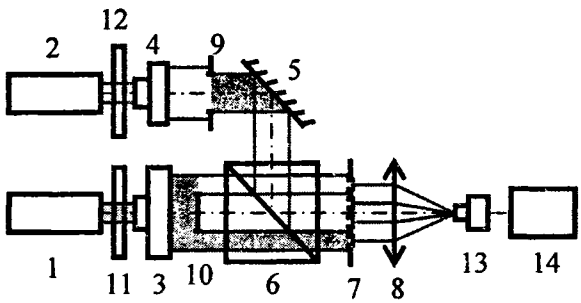


Рисунок 1 – Оптическая схема варианта устройства для формирования мультихроматического бесселева светового пучка с 2 источниками лазерного излучения

В качестве источников лазерного излучения 1 и 2 использовались соответственно гелий-неоновый лазер ГН-25-1 (длина волны λ_1 = 632.8 нм, производство «Плазма», Рязань, Россия) и гелий-кадмиевый лазер ГККЛ-25 (длина волны λ_2 = 441.6 нм, производство «Плазма», Рязань, Россия). Для уменьшения расходимости и подстройки диаметра пучков лазера 1 и лазера 2 использовались соответственно телескопы 3 и 4. Для совмещения пучков вдоль одной оси использовалось поворотное зеркало 5 и делительный кубик 6. Для формирования двух соосных БСП с различными длинами волн и углами конусности использовалась система из двухкольцевой диафрагмы 7 и собирающей сферической линзы 8. Кольца двухкольцевой диафрагмы 7 имели диаметры с отношением D_1/D_2=1,472. На большее кольцо падал красный свет с большей длиной волны, на меньшее кольцо падал синий свет с меньшей длины волны. Больший диаметр кольца соответствует большему углу конусности $БСП_0$, формируемого системой из кольцевой диафрагмы и линзы ($D_1/D_2=\gamma_1/\gamma_2$). Поскольку соотношение длин волн λ_1/λ_2 было равно 1,430, то выполнялось приближенное равенство $\gamma_1/\gamma_2\approx\lambda_1/\lambda_2$ и, соответственно, соблюдалось условие $\gamma_1/\lambda_1\approx\gamma_2/\lambda_2$. Диафрагма 9 в виде круглого отверстия обеспечивала попадание излучения лазера 2 с меньшей длиной волны только на меньшее кольцо двухкольцевой диафрагмы 7, а диафрагма 10 в виде круглого диска обеспечивала попадание излучения лазера 1 с большей длиной волны только на большее кольцо диафрагмы 7. Аттенюаторы 11 и 12 использовались для вариации интенсивности световых пучков от источников лазерного излучения 1 и 2 соответственно. Вблизи фокусной плоскости линзы 8, производящей оптическое Фурье-преобразование кольцевых световых полей в БСП, с помощью микроскопа 13 и CCD-камеры 14 можно было наблюдать и регистрировать как парциальные монохроматические (при выключении какого-либо из источников лазерного излучения), так и результирующий мультихроматический, в данном случае двухцветный (бихроматический) результирующий $БСП_0$. На рисунке 2 показано распределение интенсивности в синем и красном $БСП_0$, и в их бихроматической суперпозиции при расстоянии от линзы 8 до микроскопа 13, равном 19 см.

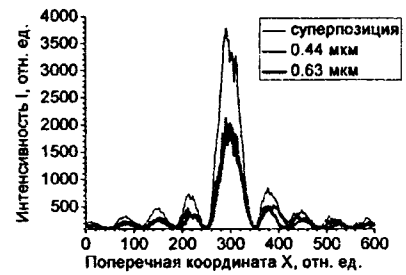


Рисунок 2 – Диаметральное распределение интенсивности в синем, красном и бихроматическом $БСП_0$

Исследовано продольное распределение интенсивности в красного, синего и двухцветного $БСП_0$. На рисунке 3 показано распределение интенсивности на различных расстояниях от линзы 8 (от 10 до 20 см). Из результатов измерений следует, что равное соотношение парциальных интенсивностей двух волн в бихроматическом $БСП_0$ существует на довольно большом протяжении (не менее 4 см), поэтому данный тип пучков применим для создания т.н. лазерных карандашей. Применение третьего источника, генерирующего, например, зеленый свет с длиной волны меньшей, чем у красного, и большей, чем у синего излучения, и трехкольцевой диафрагмы с соответствующими диаметрами колец, позволит сформировать трехцветный результирующий $БСП_0$. Как известно, источников света трех различных длин волн в красной, зеленой и синей областях спектра при условии независимой вариации их по интенсивности достаточно для синтеза полной гаммы цветов, различаемых человеческим глазом, в рамках аддитивной цветовой модели RGB (от английских слов Red, Green, Blue). Поэтому предлагаемое устройство в силу малого диаметра центрального максимума интенсивности можно использовать для непосредственного формирования высокоразрешаю-

щих цветных изображений либо создания т.н. лазерных карандашей с целью последующего нанесения изображений на цветочувствительные материалы, в том числе объемные.

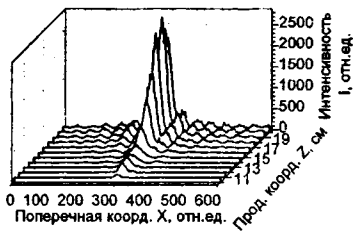


Рисунок 3 – Продольное распределение интенсивности в бихроматическом БСП$_0$

Возможно также формирование мультихроматических БСП$_0$ с большим конечным количеством длин волн излучения.

Применение двух- и более кольцевых диафрагм, обеспечивающих выполнение условия вида $\gamma_1/\lambda_1=\gamma_2/\lambda_2=\gamma_3/\lambda_3$, позволяет создать двух- и более компонентные световые поля, в том числе трехцветные, распределение интенсивности в которых полностью идентично обычному БСП, с длинами волн во всем видимом диапазоне. Метод позволяет получить протяженные цветные БСП с регулируемым соотношением интенсивностей составляющих его БСП различных длин волн на протяжении нескольких сантиметров. Многоцветные БСП перспективны для поточечного создания цветных оптических изображений методом «лазерного карандаша» в RGB-формате.

УДК 534-16:534.08:537.624.21

ИНДУКЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛНОВОДНЫХ СИСТЕМАХ

Степаненко Д.А., Минченя В.Т., Автушко А.П., Богданчук К.А., Длусская Е.В., Янович И.В.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

При проектировании и эксплуатации ультразвуковых волноводных систем, применяемых в технике и медицине, в частности, в минимально-инвазивной хирургии, важными проблемами являются расчет и экспериментальное определение распределения амплитуд механических напряжений и колебательных смещений, возникающих в волноводе. Распределение амплитуды механических напряжений является важным с точки зрения усталостной прочности волновода, а распределение амплитуды колебательных смещений – с точки зрения обеспечения амплитуды колебаний рабочего окончания, достаточной для возникновения полезных эффектов от ультразвукового воздействия. Расчет распределения амплитуд механических напряжений и колебательных смещений может выполняться с помощью метода конечных элементов (МКЭ) или метода передаточных матриц [1, 2]. Экспериментальное определение распределения указанных параметров может производиться с помощью различных бесконтактных датчиков: волоконно-оптических, лазерных доплеровских, индуктивных и индукционных. Из перечисленных датчиков наиболее выгодными с экономической точки зрения и простыми по конструкции являются индуктивные и индукционные. Разновидностью индукционных датчиков являются датчики на основе эффекта обратной магнитострикции (эффекта Виллари), сущность которого состоит в изменении намагниченности ферромагнитных материалов при воздействии на них механических напряжений [3, 4]. Изменение намагниченности, связанное с деформацией, может быть преобразовано в электрический сигнал (ЭДС) с помощью индукционной катушки. Недостатком существующего метода измерений является его нелокальность, обусловленная суммированием (интегрированием) изменений намагниченности во всех сечениях волновода, охватываемых витками катушки. Причиной нелокальности является применение протяженных индукционных катушек. В данной работе рассматриваются индукционные датчики на основе эффекта обратной магнитострикции с повышенной локальностью измерений, основанные использовании плоских спиральных катушек. Повышение локальности измерений позволяет регистрировать с помощью таких датчиков распределение параметров колебаний по длине волноводной системы.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны и изготовлены три типа датчиков: датчик со спиральной проволочной катушкой (датчик типа I); датчик со спиральной катушкой, изготавливаемой путем электрохимического травления фольги (датчик типа II); датчик со спиральной проволочной катушкой с встроенным усилителем (датчик типа III). Датчики типов I и II продемонстрировали линейность характеристики, однако имели достаточно малую чувствительность. В связи с этим предпочтительным является использование датчика типа III. Особенностью этого датчика является