ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

Е.В. Калашников, С.Н. Рачкулик
НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем
188540 г. Сосновый Бор, Ленинградская область
т. (81369)49793, E-mail: evk@sbor.net

Предложен высокочувствительный светосильный поляризационный интерферометр, позволяющий измерять пространственные распределения изменений показателя преломления прозрачных сред в видимой области спектра благодаря возможности изменения ширины и наклона интерференционных полос.

Высокочувствительный светосильный поляризационный интерферометр предназначен для измерения изменений показателя преломления прозрачных сред, возникающих в результате внешних воздействий, и может быть использован при исследовании воздействия на оптические материалы высокоскоростных потоков частиц различного происхождения, а также потоков мощного электромагнитного излучения.

На рисунке 1 приведена схема поляризационного интерферометра, где *1* - источник света, *2* - объектив осветительного узла, *3* - поляризатор, *4* - разделитель интерферирующих пучков, вырезанный из одноосного кристалла, *5* - анализатор, *6* - фотоприёмное устройство, *7* - исследуемый объект; *AA* - оптическая ось интерферометра; *OX, OY, OZ, O'X', O'Y', O'Z',* – координатные оси; *XOY* – плоскость просвечивающего сечения, *YOZ, XOZ* – меридиональная и сагиттальная плоскости, перпендикулярные плоскости *XOY*; X'*O'Y'* - плоскость регистрации интерферограммы; *b* – ширина интерференционной полосы; α и φ - углы заклонов разделителя интерферирующих пучков в плоскостях *XOZ* и *YOZ*, соответственно; ω – угол наклона интерференционных полос.

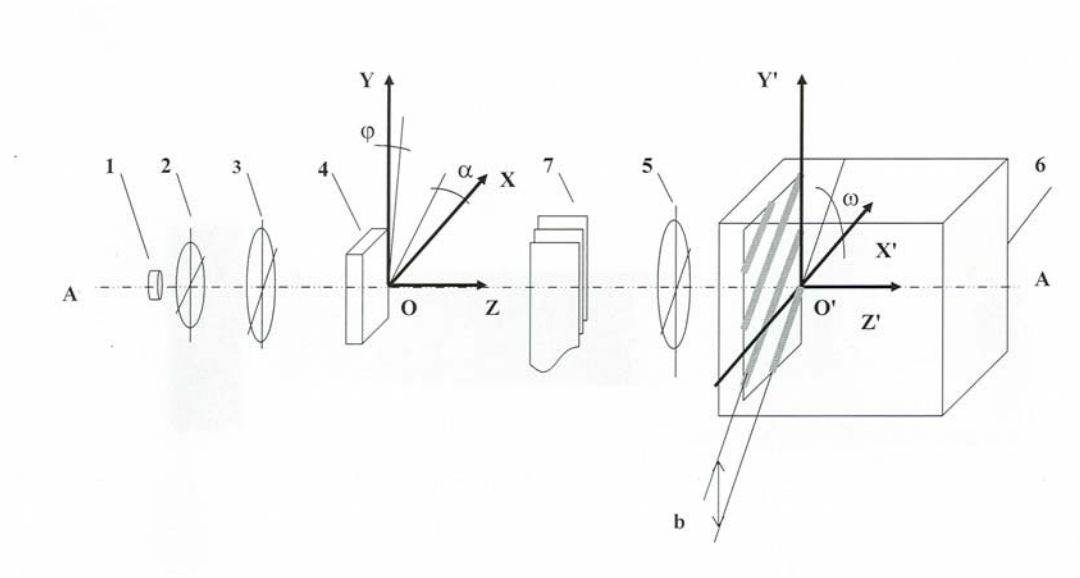

Рисунок 1.

Конструктивное решение поляризационного интерферометра даёт возможность одновременно изменять ширину и угол наклона интерференционных полос в плоскости локализации интерференционной картины за счёт изменения плоскости пространственного разделения и величины смещения интерферирующих пучков [1].

Это обеспечивает высокую чувствительность измерений изменения показателя преломления исследуемой среды. Благодаря использованию минимального количества оптических элементов, поглощающих и рассеивающих излучение источника, достигается высокий контраст интерференционной картины при высокой светосиле предлагаемого нами поляризационного интерферометра.

Устройство работает следующим образом: источник света *1* с помощью объектива осветительного узла *2*, формирующего широкий параллельный пучок света для просвечивания в широкой области исследуемого объекта *7*, освещает поляризатор *3*. Поляризатор *3* пропускает излучение, поляризованное под углом 45^0 к сагиттальной плоскости *XOZ*. Благодаря возможности заклона разделителя интерферирующих пучков *4* в двух взаимно перпендикулярных плоскостях *YOZ* и *XOZ* плоскополяризованный параллельный пучок света при прохождении через разделитель интерферирующих пучков *4* расщепляется на два пучка – обыкновенный и необыкновенный. Смещение обыкновенного и необыкновенного пучков происходит в плоскости, ориентация которой определяется углами заклона разделителя интерферирующих пучков *4*. Относительное смещение *S* пучков равно

$$S \approx d\, n_{сред}\, \Delta n\ \varphi / n_o n_e\ , \qquad (1)$$

где n_o - показатель преломления кристалла для обыкновенной волны;
n_e - показатель преломления кристалла для необыкновенной волны;
$\Delta n = (n_o - n_e)$- двулучепреломление разделителя интерферирующих пучков;
$n_{сред}$ – показатель преломления окружающей среды;
φ – угол падения пучка на разделитель интерферирующих пучков, лежащий в меридиональной плоскости *YOZ*;
d – толщина разделителя интерферирующих пучков.

Значения угла падения определяют из условия

$$-\varphi_{крит} \le \varphi \le \varphi_{крит}\ , \qquad (2)$$

где $\varphi_{крит}$ – критическое значение величины угла падения, соответствующее пределу справедливости линейной аппроксимации зависимости относительного смещения пучков *S* от угла φ падения пучка на разделитель интерферирующих пучков с заданной погрешностью.

Анализатор *5,* расположенный за разделителем интерферирующих лучей *4* и скрещенный с поляризатором *3*, сводит колебания необыкновенного и обыкновенного лучей в одну плоскость, где они и интерферируют. В поле зрения интерферометра с помощью фотоприёмного устройства *6* регистрируют возникающую интерференционную картину в виде системы интерференционных полос с шириной *b*, для которой выполняется:

$$b = f_o \lambda / S, \qquad (3)$$

где f_o – фокусное расстояние объектива осветительного узла;
λ - длина волны просвечивающего излучения;
S – относительное смещение пучков.

Угол наклона ω и ширина интерференционных полос *b* определяют ориентацией оптической оси кристалла относительно плоскости *XOY* просвечивающего сечения, которую получают поворотом разделителя интерферирующих лучей *4* во взаимно перпендикулярных плоскостях - сагиттальной *XOZ* и меридиональной *YOZ*. Это

позволяет увеличить диапазон изменения ширины интерференционных полос для всех практически значимых ситуаций при исследованиях изменения показателя преломления оптических сред в диапазоне 10^{-2} –10^{-6}.

Исследуемый объект *7* помещают между разделителем интерферирующих пучков *4* и анализатором *5*. Фазовый сдвиг $\Delta\delta$, вносимый объектом *7* с меняющимся показателем преломления, между интерферирующими лучами определяют как $\Delta\delta=2\pi\Delta/\lambda$, а изменение длины оптического пути Δ при геометрической толщине исследуемого объекта (z_2-z_1)

$$\Delta = \int [N(x,y,z) - N_o(x,y,z)]dz\,, \qquad (4)$$

где $N(x,y,z)$ – изменённый в результате внешнего воздействия показатель преломления исследуемого объекта в точке с координатами (x,y,z);
$N_0(x,y,z)$ – начальный показатель преломления исследуемого объекта в точке с координатами (x,y,z).

При изменении разности хода двух пучков света в зависимости от показателя преломления объекта *7* наблюдается сдвиг интерференционных полос на расстояние, прямо пропорциональное изменению показателя преломления. Этот сдвиг q выражают в единицах расстояния между полосами. Сдвиг на одну целую полосу соответствует изменению оптического пути на одну целую длину волны λ. При возрастании показателя преломления объекта *7* в ходе внешнего воздействия от $N_0(x,y,z)$ до $N(x,y,z)$ оптическая разность хода изменится на величину Δ и сдвиг полос составит q полос. В общем случае

$$q = \Delta / \lambda, \qquad (5)$$

где λ – длина волны просвечивающего излучения.

В качестве конкретного примера приводим описание регистрации на предлагаемом интерферометре изменения в плоскости $X'O'Y'$ показателя преломления образца оптического кристалла CaF_2 толщиной l=3,0040 мм в результате внешнего импульсного светового облучения в ВУФ диапазоне спектра с поглощенной дозой 10^6 рад.

В качестве источника излучения осветительного узла использовался гелий-неоновый лазер ГН-5П, который с помощью микрообъектива ОМ-12 освещал объектив-ахромат осветительного узла интерферометра с фокусным расстоянием f_0 =75 мм и световым диаметром 40 мм. В качестве поляризатора и анализатора использовались поляроиды в оправах с возможностью поворота вокруг оси интерферометра *AA* с точностью 30'. Разделитель интерферирующих пучков был выполнен в виде кубика из исландского шпата ($CaCO_3$) толщиной d=31,005 мм между полированными рабочими гранями и площадью просвечивающего сечения 7 см^2. Оптическая ось кристалла была ориентирована параллельно одной паре рабочих граней с точностью 3', и перпендикулярно другой паре рабочих граней с точностью 7'. Угол ω изменяли в диапазоне от -90^0 до +90^0. Ширина b полосы выбрана так, что величина сдвига q составляла величину не менее 0,1b. Для выполнения этих условий оптическая ось разделителя интерферирующих пучков была ориентирована вдоль оси *OY* параллельно его рабочим граням. Разделитель интерферирующих пучков заклоняли в сагиттальной плоскости *XOZ* на угол α, соответствующий выбранному углу ω наклона интерференционных полос на основе полученной ранее градуировочной кривой $\omega=\omega(\alpha)$ для используемого разделителя интерферирующих пучков, и в

меридиональной плоскости *YOZ* - на угол φ, величина которого была определена из условий (1) и (2):

$$\varphi = f_o \lambda n_o n_e / 0,1b\, d\, n_{сред}\, \Delta n, \qquad (6)$$

где f_o – фокусное расстояние осветительного узла;
λ - длина волны просвечивающего излучения;
n_o, - показатель преломления кристалла для обыкновенной волны;
n_e - показатель преломления кристалла для необыкновенной волны;
b – ширина интерференционных полос;
d – толщина разделителя интерферирующих пучков;
$n_{сред}$ – показатель преломления окружающей среды;
$\Delta n = (n_o - n_e)$- двулучепреломление разделителя интерферирующих пучков.

На рисунке 2 представлена интерферограмма, полученная в поле зрения интерферометра в плоскости *X'O'Y'*: угол наклона интерференционных полос ω=23,20^0, ширина интерференционной полосы b=5,7 мм; α=11,14^0, φ=2,21^0, λ=0,6328 мкм, n_o=1,6557, n_e=1,4852, d=31,0040 мм, $n_{сред}$=1,0003, Δn=0,1720.

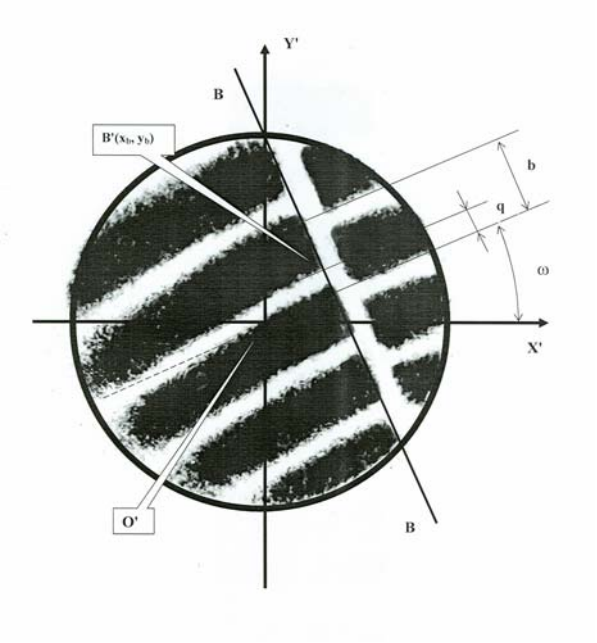

Рисунок 2.

Сдвиг интерференционных полос q для области с координатами $B'(x_b, y_b)$ составил 0,33 полосы. Соответствующее изменение показателя преломления ΔN=7,0·10^{-5}.

Общая относительная погрешность измерений $\varepsilon_{отн}$ при выбранных параметрах ω и b равна 0,03.

Для серии из i=10 экспериментов проведена обработка полученных результатов измерений изменений показателя преломления ΔN_i известными статистическими методами оценки результатов измерений с учётом систематической и случайной составляющих погрешности результатов косвенных измерений.

Предельная чувствительность измерения величины сдвига интерференционных полос составила q=0,02, что соответствует величине изменения показателя преломления ΔN_{min}=5·10^{-6}.

В условиях вибраций с частотами от 1 Гц до 1 кГц смещение интерференционных полос не превышало 0,05 ширины полосы.

При проведении испытаний интерферометра в лабораторных условиях уровень влияния тепловых потоков в окружающей среде не превышал уровня чувствительности измерений, что обусловлено, в первую очередь, конструктивными особенностями принципиальной схемы интерферометра и отсутствием неравномерного расширения ветвей интерферометра.

Литература

1. Патент РФ №2275592 от 31.07.04.