

ГИБРИДНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

© 2007 г. Ю. А. Пряхин*, канд. физ.-мат. наук; С. О. Мирумянц**, доктор физ.-мат. наук

* Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань

** НПО "Государственный институт прикладной оптики", г. Казань

Исследована гибридная схема интегрально-оптического интерферометра, в котором часть поверхностной волны (моды) выводится из волновода, отражается от объекта и снова вводится в волновод, превращаясь снова в моду. В распределении интенсивности интерферирующих волн содержится информация о смещении объекта. Достоинство схемы – возможное миниатюрное монолитное исполнение всех элементов схемы интерферометра (кроме объекта). Оценка параметров и расчет показали техническую реализуемость устройства (коэффициент пропускания около 0,2, контраст более 0,5).

Коды OCIS: 130.3120.

Поступила в редакцию 07.09.2006.

Варианты гибридных схем интегрально-оптических интерферометров были предложены ранее [1, 2]. Предложенный в настоящей работе интерферометр реализуется с помощью устройства, схема которого приведена на рис. 1. Устройство содержит источник когерентного излучения 1 (оптический квантовый генератор (ОКГ)), систему разделения электромагнитного излучения на поверхностную и пространственную волны (например, призма или дифракционная решетка) 2, планарный волновод 3, подложку 4 из стекла, зеркало 5, закрепленное неподвижно на контролируемой детали 6, систему совмещения поверхностной и пространственной волн (призма или дифракционная решетка) 7, экран 8 для визуального наблюдения интерференционной картины и настройки схемы, фотоприемник 9 (для фотоэлектрической регистрации интерференционной картины), систему электронной обработки фотоэлектрического сигнала для определения разности фаз интерферирующих волн 10. Зеркало 5 устанавливают таким образом, чтобы пространственная волна после отражения от него могла совмещаться системой 7 с поверхностной волной, распространяющейся по волноводу. Измерение перемещений осуществляется следующим образом. Излучение от лазера 1 направляется на систему 2, которая разделяет пучок электромагнитного излучения на две волны – пространственную и поверхностную. Поверхностная волна распространяется по волноводу 3, часть ее энергии выводится с помощью системы 7, часть – проходит далее по волноводу. Пространственная волна после 2, направляется на подвижное зеркало 5, от которого отражается, и с помощью системы 7 вместе с поверхностной волной направляется на экран 8. При перемещении зеркала 5 изменяется разность фаз пространственной и поверхностной волн, которая измеряется с помощью фотоприемника 9 и систе-

мы регистрации 10. По измеренному изменению разности фаз в месте пространственного перекрытия (интерференции) волн определяют величину и направление перемещения зеркала 5 относительно его исходного положения. На реализованном макете предложенной схемы интегрально-оптического интерферометра были проведены экспериментальные исследования. В качестве источника 1 использовался ОКГ ЛГ-52-1 ($\lambda = 0,633$ мкм). В качестве системы деления 2 и системы совмещения 7 использовались две идентичные равнобедренные призмы из стекла марки ТФ4 с углом при основании 58° и высотой 10 мм. Призмы выполняли одновременно роль делителя (объединителя) электромагнитного излучения и интегрально-оптического элемента ввода (вывода) излучения.

В качестве систем деления и объединения поверхностной и пространственной волн электромагнитного излучения при экспериментальных исследованиях использовались также две идентичные

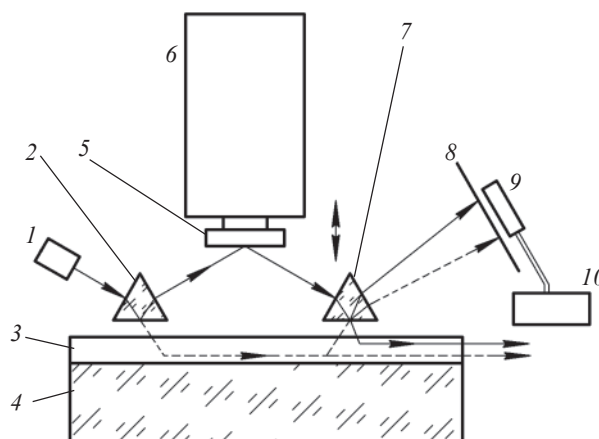


Рис. 1. Схема интерферометра. Пояснения см. в тексте.



Рис. 2. Вид интерференционной картины на экране.

дифракционные решетки с частотой штрихов 1800 мм^{-1} , изготовленные методом копирования с матрицы нарезной решетки в слое полиэфирной смолы, который одновременно являлся оптическим волноводом 3. Профиль штриха решетки – треугольный. В экспериментах с дифракционными решетками первая решетка служила в качестве элемента деления 2, создавая поверхностную и пространственную волны. Затем отраженная от контролируемой поверхности 5 пространственная волна объединялась второй решеткой, служащей в качестве системы объединения 7, с поверхностной волной, и далее эти волны распространялись в волноводе в виде двух поверхностных волн с отличающейся разностью фаз. Зеркало 5 приклеивалось к подвижному торцу пьезоэлектрического двигателя и служило в качестве контролируемой детали 6. На двигатель подавалось регулируемое напряжение.

В одном из вариантов методики исследования пространственная волна направлялась на зеркало 5, которое устанавливалось таким образом, чтобы эта волна попадала на основание второй призмы 7, где она отражалась и направлялась на экран 8 или на систему фоторегистрации 9. Поверхностная волна доходила до второй призмы, выводилась из волновода, превращалась в пространственную и также направлялась на экран 8 под некоторым небольшим

углом относительно первой волны, чтобы можно было визуально наблюдать интерференционную картину. В исходном положении на экране наблюдалось распределение освещенности в виде светлых и темных полос (рис. 2). При подаче регулируемого напряжения на пьезодвигатель зеркало 5 смещалось в направлении, перпендикулярном поверхности волновода 3, при этом на экране наблюдалось смещение полос. Период полос на экране был порядка 1 мм, расстояние до экрана 1500 мм. Сдвиг полос был линейно связан с изменением напряжения питания пьезодвигателя 6, т. е. со смещением зеркала 5. Пропускание (τ) и контраст (V) на выходе схемы определяются по формулам

$$\tau = \alpha + \beta\gamma\delta, \quad V = 2\sqrt{K}/(K+1),$$

где $K = \alpha/\beta\gamma\delta$ – отношение интенсивностей пучков, $\alpha = \eta'_2\eta_1\rho$, $\beta = 1 - \eta_2 - \eta_{p2}$, $\gamma = 1 - \eta_1 - \eta_{p1}$, $\delta = e^{-\kappa l}$, η'_2 – эффективность ввода 7, η_1 – эффективность вывода 2, η_2 – эффективность вывода 7, η_{p1} – коэффициент потерь 2, η_{p2} – коэффициент потерь 7, ρ – коэффициент отражения зеркала 5, l – длина волновода между 2 и 7, κ – коэффициент потерь волновода.

Расчет энергетических характеристик при реальных параметрах схемы, в частности, при потерях в волноводе до 4 дБ/см и эффективности ввода и вывода излучения призмами (решетками) до 20–40%, показал, что контраст картины изменяется от 1 до 0,5 при ослаблении среднего уровня интенсивности излучения, пропускаемого интерферометром, до 0,2, что подтверждает техническую реализуемость схемы измерения с учетом параметров ее элементов и фотоприемников, использованных в исследовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сотин В.Е., Теричев В.Ф., Тищенко А.А. Способ измерения отклонения размеров изделий от эталонной величины // А. с. № 653506. Бюлл. изобр. 1979. № 11. С. 138.
2. Izutzu M., Ehokihara A., Sueta T. Optical-waveguide microdisplacement sensor // Elect. Letters. 1982. V. 18. № 20. P. 867–886.