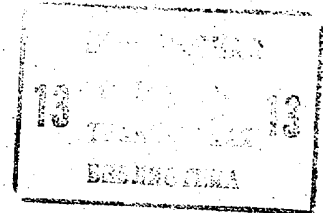




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3408663/18-28
(22) 12.03.82
(46) 23.02.84. Бюл. № 7
(72) Ю.В.Евдокимов, Л.Л.Кравчинский
и М.Б.Штенгер
(53) 531.71(088'.8)
(56) 1. Патент США № 4092070,
кл. G 01 B 9/02, 1978.
2. Патент Франции № 2360118,
кл. G 05 D 3/00, 1978 (прототип).

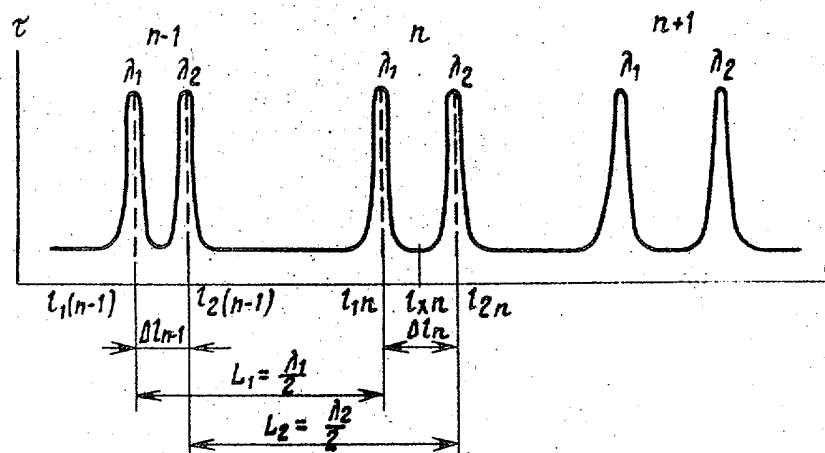
(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ
ТОЛЩИНЫ СКАНИРУЮЩЕГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА
ФАБРИ-ПЕРО И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУ-
ЩЕСТВЛЕНИЯ.

(57) 1. Способ определения оптиче-
ской толщины сканирующего интерферо-
метра Фабри-Пэро, заключающийся в
том, что облучают интерферометр оп-
тическим излучением, получают интер-
ференционную картину и осуществляют
ее модуляцию, регистрируют сдвиг мак-
симумов интерференционной картины,
по которому определяют оптическую

толщину, отличающийся тем, что, с целью упрощения опреде-
ления оптической толщины, облучение
интерферометра производят излучением
на двух длинах волн, модуляцию интер-
ференционной картины осуществляют
сканируя оптическую толщину интерфе-
рометра линейно изменяющимся напря-
жением, а оптическую толщину опреде-
ляют по формуле

$$e = \frac{\lambda_2}{4} \cdot \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot \frac{\Delta T}{T},$$

где λ_1 и λ_2 - длины волн излучения;
 ΔT - время между моментами
появления соседних
максимумов одного по-
рядка для λ_1 и λ_2 ;
 T - время между моментами
появления двух макси-
мумов соседних поряд-
ков для одной из длин
волн λ_1 или λ_2 .



Фиг.1

2. Устройство для определения оптической толщины сканирующего интерферометра Фабри-Перо, содержащее источник оптического излучения, установленные последовательно по ходу светового луча коллиматор и интерферометр с пьезоэлементом, расположенные на выходе интерферометра линзу, диафрагму и фотоприемник, блок обработки информации, подключенный к выходу последнего, блок питания интерферометра, информационный вход которого соединен с выходом блока обработки информации, а выход - с пьезоэлементом интерферометра, задающий генератор прямоугольных импульсов, выходы которого соединены с синхронизирующими входами блока обработки

информации и блока питания интерферометра, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции, источник оптического излучения выполнен в виде спектральной лампы, за коллиматором на входе интерферометра установлен оптический фильтр, а блок питания выполнен в виде генератора треугольных импульсов и сумматора, первый вход которого соединен с генератором треугольных импульсов, второй является входом блока питания, соединенным с блоком обработки информации, выход сумматора является выходом блока питания, а вход генератора треугольных импульсов - синхронизирующим входом блока питания.

1

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано при измерении размеров и перемещений объектов для автоматического регулирования расстояния между пластинами интерферометра, входящей в состав измерительной системы.

Известен способ определения оптической толщины интерферометра, заключающийся в облучении его монохроматическим коллимированным излучением под разными углами и анализе смещения интерференционной картины [1].

Известно устройство для определения оптической толщины интерферометров, содержащее источник излучения и расположенные по ходу светового луча управляемый оптический фильтр коллиматор, блок призмы, разделяющий световой поток на два пучка с различными углами наклона к оптической оси, интерферометр, линзу и фотоприемник в каждом из световых потоков и измерительную схему, содержащую компаратор, соединенный с блоком управления интерферометром [1].

Недостатком устройства и способа является его сложность, вызванная необходимостью облучения интерферометра излучением под разными углами, в частности наличия в конструкции устройства сложного оптического блока и поворотного блока в интерферометре.

Наиболее близким к изобретению является способ определения оптической толщины сканирующего интерферометра Фабри-Перо, заключающийся в том, что облучают интерферометр оптическим излучением, получают интерференционную картину и осуществляют

2

ее модуляцию, регистрируют сдвиг максимумов интерференционной картины, по которому определяют оптическую толщину. Регистрация производится при изменении угла падения излучения на интерферометр [2].

Наиболее близким к изобретению является устройство для определения оптической толщины сканирующего интерферометра Фабри-Перо, содержащее источник оптического излучения, установленные последовательно по ходу светового луча коллиматор и интерферометр с пьезоэлементом, расположенные на выходе интерферометра линзу, диафрагму и фотоприемник, блок обработки информации, подключенный к выходу последнего, блок питания интерферометра, информационный вход которого соединен с выходом блока обработки информации, а выход - с пьезоэлементом интерферометра, задающий генератор прямоугольных импульсов, выходы которого соединены с синхронизирующими входами блока обработки информации и блока питания интерферометра.

Источник света выполнен монохроматическим, а блок питания содержит компаратор, источник опорных напряжений, соединенный с последним, блок памяти и усилитель мощности, а оптический канал содержит блок модуляции угла падения излучения на пластины интерферометра [2].

Недостатком известного способа и устройства является их сложность, обусловленная необходимостью обеспечения изменения угла падения излучения на пластины интерферометра.

Целью изобретения является упрощение определения оптической толщины, и упрощение конструкции устройства.

Поставленная цель достигается тем, что согласно способу определения оптической толщины сканирующего интерферометра Фабри-Перо, заключающемуся в том, что облучают интерферометр оптическим излучением, получают интерференционную картину и осуществляют ее модуляцию, регистрируют сдвиг максимумом интерференционной картины, по которому определяют оптическую толщину, облучение интерферометра производят излучением на двух длинах волн, модуляцию интерференционной картины осуществляют сканируя оптическую толщину интерферометра линейно изменяющимся напряжением, а оптическую толщину определяют по формуле

$$e = \frac{\lambda_2}{4} \cdot \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot \frac{\Delta T}{T},$$

где λ_1, λ_2 - длины волн излучения;
 ΔT - время между моментами появления соседних максимумов одного порядка для λ_1 и λ_2 ;
 T - время между моментами появления двух максимумов соседних порядков для одной из длин волн λ_1 или λ_2 .

Поставленная цель достигается тем, что в устройстве для определения оптической толщины сканирующего интерферометра Фабри-Перо, содержащем источник оптического излучения, установленные последовательно по ходу светового луча коллиматор и интерферометр с пьезоэлементом, расположенные на выходе интерферометра линзу, диафрагму и фотоприемник, блок обработки информации, подключенный к выходу последнего, блок питания интерферометра, информационный вход которого соединен с выходом блока обработки информации, а выход - с пьезоэлементом интерферометра, задающий генератор прямоугольных импульсов, выходы которого соединены с синхронизирующими входами блока обработки информации и блока питания интерферометра, источник оптического излучения выполнен в виде спектральной лампы, за коллиматором на входе интерферометра установлен оптический фильтр, а блок питания выполнен в виде генератора треугольных импульсов и сумматора, первый вход которого соединен с генератором треугольных импульсов, второй является входом блока питания, соединенным с блоком обработки информации, выход сумматора является выходом блока питания, а вход генератора треуголь-

ных импульсов - синхронизирующим входом блока питания.

На фиг. 1 изображен график распределения интенсивности освещенности в интерференционной картине; на фиг. 2 - блок-схема устройства.

Способ основан на том, что облучают интерферометр излучением на двух данных волн, анализируют аппаратную функцию (зависимость коэффициента пропускания от оптической толщины), которая определяется формулой Эри

$$\hat{c} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda_1} e \cos \varphi \right)} + \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda_2} e \cos \varphi \right)}, \quad (1)$$

где $\hat{c}$ - коэффициент пропускания;

R - коэффициент отражения пластин интерферометра;

λ_1, λ_2 - длина волн излучения;

e - оптическая толщина интерферометра;

φ - угол падения излучения на пластины, принимает вид, показанный на фиг. 1.

В результате анализа устанавливают, что расстояние между максимумами соседних порядков при нормальном падении излучения ($\varphi = 0$) для λ_1 (L_1) равно $\lambda_1/2$, а для λ_2 (L_2) соответственно $\lambda_2/2$.

Следовательно расстояние между максимумами интерференции одного порядка (ΔL_n) для λ_1 и λ_2 равно

$$\Delta L_n = n \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)}{2}, \quad (2)$$

где n - порядок интерференции, соответствующий определенной оптической толщине интерферометра

$$(L_{xn}); n \frac{4e_{xn}}{\lambda_1 + \lambda_2}, \quad (3)$$

где за e_{xn} принимается

$$e_{xn} = \frac{e_{1n} + e_{2n}}{2}, \quad (4)$$

где e_{1n}, e_{2n} - оптические толщины интерферометра, соответствующие интерференционным максимумам одного порядка.

В результате преобразований получают

$$\Delta L_n = 2e_{xn} \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}. \quad (5)$$

Оптическая толщина интерферометра пропорциональна расстоянию между максимумами интерференции одного порядка для λ_1 и λ_2 (ΔL_n). Для упро-

щения $\Delta \ell_n$ относят к расстоянию между максимумами соседних порядков для λ_2 (L_2). При этом считают, что $\lambda_2 > \lambda_1$, тогда

$$\ell_{xn} = \frac{\lambda_2}{4} \cdot \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot \frac{\Delta \ell_n}{L_2} \quad (6)$$

Затем модулируют интерференционную картину.

Отношение расстояний $\Delta \ell_n / L_2$ заменяют на отношение соответствующих временных интервалов $\Delta T / T$, а ℓ_{xn} на ℓ . Т.е. с погрешностью не более $\lambda_2/2$ можно допустить, что определяемая по формуле (6) толщина интерферометра меняется не дискретно, в соответствии с изменением порядка интерференции, а непрерывной. При этом оптическую толщину сканирующего интерферометра Фабри-Перо, определяют по формуле

$$\ell = \frac{\lambda_2}{4} \cdot \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot \frac{\Delta T}{T} \quad (7)$$

где ΔT - время между моментами появления соседних максимумов одного порядка для λ_1 и λ_2 ;

T - время между моментами появления двух максимумов соседних порядков для λ_2 .

Таким образом, оптическая толщина интерферометра определяется по отношению $\Delta T_k T$.

Устройство для определения оптической толщины интерферометра, реализующее предлагаемый способ, состоит из источника 1 оптического излучения (спектральной лампы), установленных последовательно ходу светового луча коллиматор 2, оптического фильтра 3, интерферометра 4, линзы 5, диафрагмы 6, (круглой диафрагмы, выделяющей центр интерференционной картины), и фотоприемника 7, блока 8 обработки информации, соединенного с фотоприемником 7, блок 9 питания интерферометра, соединенный с блоком 8 обработки информации, задающего генератора 10 прямоугольных импульсов, соединенного с синхронизирующими входами блока 8 обработки информации и блока 9 питания интерферометра, интерферометр 4 содержит пьезоэлемент 11, соединенный с выходом блока 9 питания интерферометра.

Блок 8 обработки информации состоит из формирователя 12 импульсов, коммутатора 13, соединенного с последним по двум входам генератора 14 частотных меток, соединенного с коммутатором 13, соединенных последовательно по двум выходам узла 15 двоичных счетчиков, узла 16 ввода-вывода и вычислителя 17, соединенных последовательно запоминающего узла 18 и цифро-аналогового преобразователя 19, формирователь 12 соединен

также с узлом 16, который связан также с запоминающим узлом 18. Блок 9 питания интерферометра состоит из соединенных последовательно генератора 20 треугольных импульсов и сумматора 21, второй вход которого является информационным входом блока 9 питания, соединенным с цифро-аналоговым преобразователем 19 блока 8 обработки информации, выход сумматора 21 является выходом блока 9 питания, соединенным с пьезоэлементом 11, вход генератора 20 треугольных импульсов и второй вход запоминающего узла 18 являются синхронизирующими входами соответственно блока 8 обработки информации и блока 9 питания.

Устройство работает следующим образом.

При облучении интерферометра 4 излучением, содержащим две длины волны λ_1 и λ_2 и прошедшим через коллиматор 2 и оптический фильтр 3, от источника 1 опорного излучения, (спектральной лампы), на выходе интерферометра 4, в проходящем свете, появляется интерференционная картина, (образованная двумя независимыми системами колец, соответственно, от λ_1 и λ_2 , которая с помощью линзы 5 фокусируется на чувствительную площадку фотоприемника 7. При этом диафрагмой 6 выделяется центр интерференционной картины.

Расстояние между максимумами (кольцами) интерференции равного порядка, соответствующих разным длинам волн, зависит не только от значений длины волн, но и от оптической толщины интерферометра 4. Расстояние же между максимумами соседних порядков, соответствующих одной длине волны, например, λ_2 , не зависит от оптической толщины интерферометра 4 и пропорционально $\lambda_2/2$. Задающим генератором 10 и генератором 20 треугольных импульсов вырабатывается линейно изменяющееся напряжение, которое после сумматора 21 подается на пьезоэлемент 11. Амплитуда подаваемого напряжения U_m определяется из условия равенства амплитуды модуляции интерференционной картины расстоянию между максимумами соседних порядков интерференции, т.е. $U_m = \frac{\lambda_2}{2K}$, где K - пьезоэлектрический модуль столбиков пьезоэлемента 11 интерферометра 4.

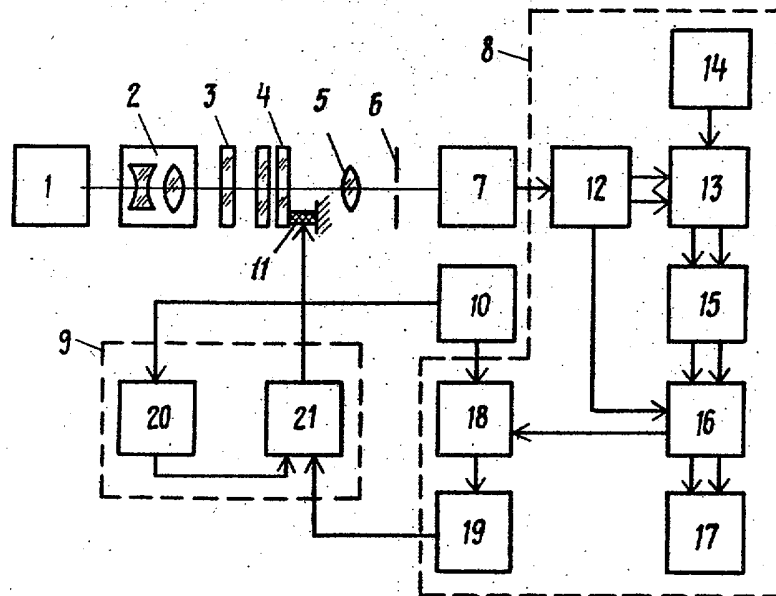
При подаче напряжения на столбики пьезоэлемента 11 происходит сканирование оптической толщины интерферометра 4 и, следовательно, модуляция интерференционной картины, вызывающая на выходе фотоприемника 6 изменение электрического сигнала. Это изменение анализируют блоком 8

обработки информации. При этом с выходов формирователя 12 снимаются импульсы разной длительности, равной соответственно интервалу времени между моментами появления максимумов интерференции одного порядка для λ_1 и λ_2 (ΔT) и интервалу времени между моментами появления максимумов соседних порядков интерференции для большей длины волны λ_2 (T). Следовательно, длительности этих импульсов пропорциональны соответственно, первая - оптической толщине интерферометра 4, вторая - только длине волны λ_2 , и используется для нормирования первого импульса. Затем с помощью коммутатора 13, генератора 14 и узла 15 происходит заполнение импульсов частотными метками и пересчет этих меток. Затем узел 16 осуществляет ввод значений длительности сформированных импульсов в вычислитель 17, где в соответствии с программой определяется толщина интерферометра l .

Полученное текущее значение толщины отображается на табло вычислителя и сравнивается с заданным. При этом разностный сигнал с помощью узла 16 выводится из вычислителя 17 в цифровой форме, поступает в запоминающий узел 18, где хранится до прихода следующего сигнала и затем, с помощью преобразователя 19, преобразуется в аналоговую форму.

Поступая в блок 9 питания интерферометра, сигнал суммируется с линейно изменяющимся напряжением и подается одновременно на все столбики пьезоэлемента 11. При этом толщина интерферометра 4 меняется в зависимости от знака разностного сигнала. Если измеренная толщина оказалась больше заданной l_0 , то знак разностного сигнала, поступающего на пьезоэлемент 11, положителен и вызывает уменьшение толщины интерферометра 4 и т.д. Процесс идет до полной установки оптической толщины, т.е. равенства нулю разностного сигнала, (при этом на вход сумматора 21 подаются разнополярные импульсы треугольной формы), а на выходе сумматора изменение напряжения происходит в обе стороны от величины постоянного смещения (или разностного сигнала), которое соответствует устанавливаемой толщине интерферометра 4 (l_0).

Таким образом, при использовании в качестве источника оптического излучения спектральной лампы, излучение которой содержит не менее двух длин волн, и выполнения блока питания интерферометра в виде генератора треугольных импульсов и сумматора, а также введения оптического фильтра, расположенного между коллиматором и интерферометром, достигается упрощение устройства, ведущее к уменьшению его габаритов и стоимости изготовления.



Фиг. 2