

9. Itoh K., Ohtsuka Y. Coherens control by laser scanning.— Appl. Opt., 1980, v. 19, p. 3184.
10. Ohtsuka Y. e. a. Acoustically modified spatial coherence in optical Fresnel diffraction region.— Opt. Commun., 1980, v. 35, p. 157.
11. Васильев А. А. и др. Голографическая запись информации с нестационарным объектным пучком.— Квант. электроника, 1984, т. II, с. 403.
12. Компанец И. Н., Парфенов А. В., Попов Ю. М. Пространственная модуляция света в фоточувствительных высокоразрешающих структурах МДП с жидким кристаллом.— Квант. электроника, 1980, т. 7, с. 290.

Поступило в редакцию 26 июля 1984 г.

УДК 681.787+621.373.8

В. А. АЛЕШИН, М. Н. ДУБРОВ, Л. В. СМЕЛЯКОВ

(Москва)

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ НА ОСНОВЕ ТРЕХЗЕРКАЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

При создании прецизионных лазерных интерферометров с относительной точностью измерений $\Delta L/L \lesssim 10^{-9}$ существуют трудности, связанные с обеспечением высокой степени оптической развязки лазера и интерферометра (до $10^{-4} - 10^{-5}$ по мощности), а также стабильности элементов во времени (ед. угл. с). От указанных недостатков свободны интерферометры на основе лазеров с трехзеркальным резонатором [1, 2], где взаимодействие мод с отраженным (или рассеянным) излучением от движущегося объекта приводит к амплитудной модуляции излучения с периодом $\lambda/2$, где λ — длина волны. Тем самым паразитное явление превращается в полезное, несущее информацию о перемещениях объекта. Однако возможность применения частотно-стабилизированных лазеров с целью повышения точности рассматриваемых устройств до настоящего времени не изучалась.

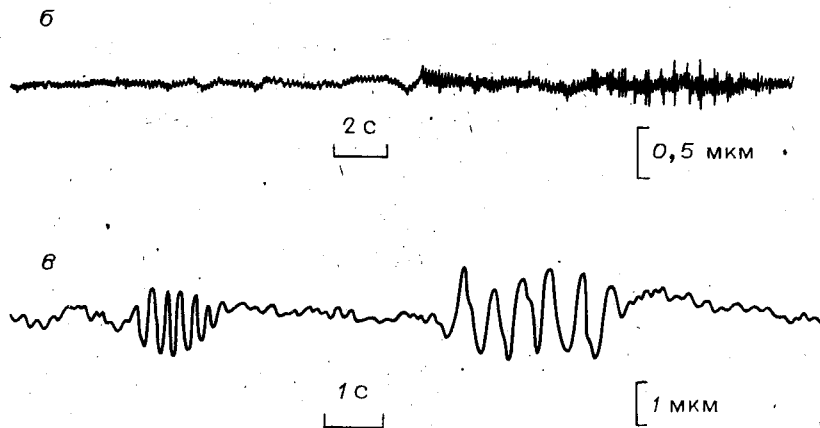
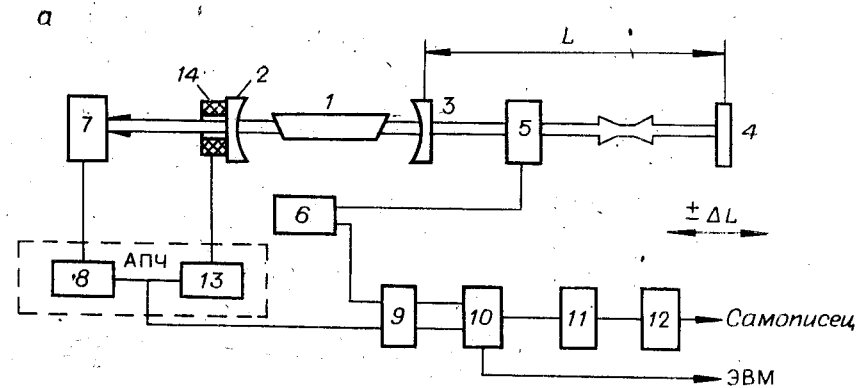
Ниже описаны новые варианты трехзеркальных интерферометров на основе лазеров с стабилизацией частоты, использующие как амплитудную (АМ), так и частотную (ЧМ) модуляцию лазерного излучения обратным рассеиванием. Разработаны ЧМ-интерферометры, которые функционируют при низких уровнях отраженной мощности и допускают применение лазеров с такими высокоточными системами автоподстройки частоты (АПЧ), как насыщенное поглощение, дисперсия активной среды и другие. Приборы снабжены гетеродинными системами регистрации, построенными по типу интерферометров [3, 4].

На рисунке представлена схема трехзеркального ЧМ-интерферометра, который состоит из лазерного излучателя (элементы 1—3), подвижного внешнего отражателя 4, возвращающего часть излучения в резонатор лазера, и расположенного между ними фазового (электрооптического) или частотного (акустооптического) модулятора 5, который подключен к генератору опорной частоты 6. Электронная схема обработки сигнала состоит из фотоприемника 7, частотного дискриминатора 8 (для варианта АМ-интерферометра может быть опущен) и фазометрического устройства на основе реверсивного счетчика с цифровым и аналоговым выходами. Последнее включает схему формирования импульсов 9, реверсивный счетчик 10, цифроаналоговый преобразователь 11 и фильтр низких частот 12. Элементы 7, 8, интегрирующий усилитель постоянного тока 13 и пьезокерамический преобразователь 14 образуют одноконтурную систему АПЧ лазера дисперсионного типа [5].

Принцип работы интерферометра основан на однополосной фазовой или частотной модуляции излучения в измерительном плече интерферометра с последующим детектированием и анализом сигнала на промежуточной частоте. Метод обработки сигналов системой регистрации подробно изложен в [4] и кратко заключается в следующем. Лазерное излучение, дважды прошедшее через фазовый модулятор 5, подключенный к генератору пилообразного напряжения 6, оказывается сдвинутым по частоте на величину f_0 . При возвращении в резонатор лазера оно вызывает колебания мощности [1, 2] и частоты [6] выходного излучения, которые используются для выделения информации о величине и направлении перемещений внешнего отражателя 4. Разность фаз $\Delta\varphi$ сигналов в опорных 6—10 и измерительных 7—10 каналах (см. рисунок) линейно связана с измеряемым перемещением ΔL :

$$\Delta\varphi = (4\pi\Delta L)/\lambda + \Delta\varphi_0,$$

где λ — длина волны света; $\Delta\varphi_0$ — некоторая начальная разность фаз, зависящая от точного значения дальности L , а также дополнительных оптических и электрических задержек в каналах. Разность фаз изменяется на $\pm 2\pi$, когда перемещение отражателя составляет $\pm \lambda/2$, что и фиксируется в цифровом виде реверсивных счетчиков путем прибавления или вычитания единицы. При использовании в электронных каналах комбинации умножителей и делителей частоты на целое число n [4] дискретность отсчета составляет $\lambda/2n$. Точность измерения разности фаз в аналого-



Функциональная схема трехзеркального лазерного ЧМ-интерферометра (а) и фрагменты записи флуктуаций оптической длины его измерительного плеча: база 0,3 м, полоса частот 0—100 Гц; вибрации, вызванные движением транспорта (б): база 65 м, полоса частот 0—1 Гц; искусственные механические возмущения внешнего отражателя (в).

вом виде значительно выше указанных величин за счет временного усреднения в каналах 10—12 (см. рисунок).

Экспериментально реализованы две схемы He—Ne трехзеркальных лазер-интерферометров с $\lambda = 633$ нм: АМ-интерферометр (излучатель ЛГ-32, стабилизация частоты по провалу Лэмба) и ЧМ-интерферометр (излучатель ОКГ-13, дисперсионная автоподстройка в двухчастотном режиме). Использовался фазовый модулятор МЛ-5, питаемый генератором пилообразного напряжения с частотой 30—35 кГц и амплитудой около 300 В. Длина измерительного плеча при испытаниях интерферометров изменялась от 0,3 до 65 м. Разрешающая способность системы регистрации с аналоговым выходом в полосе частот 0—100 Гц достигает 10 нм. Минимально реализованная дискретность отсчета $\lambda/54$, диапазон изменения аналогового выходного сигнала ± 512 ед. отсчета, максимальная скорость измеряемых перемещений отражателя 0,5 мм/с. Испытания интерферометров проводились как в лабораторных условиях, так и в открытой атмосфере. Некоторые примеры полученных записей представлены на рисунке, б, в.

Предлагается использование разработанных лазерных интерферометров для исследования турбулентных вариаций оптической плотности атмосферы, деформаций земной коры в геофизике, при постановке физических экспериментов.

В заключение авторы выражают благодарность Р. Ф. Матвееву и Б. З. Каценеленбауму за помощь в работе и полезное обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Campbell J. W. Extending the Laser feedback interferometer.— Instrument and Control Systems, 1967, v. 40, N 11, p. 75—80.
2. Малых Н. И., Нагорный А. Г., Ямпольский Е. С. HCN-лазерный трехзеркальный интерферометр с измерением фазы на промежуточной частоте.— ПТЭ, 1977, № 3, с. 186—187.

3. Воробьев В. В. Измерители перемещений на основе интерферометров с электрооптическим модулятором.— Автометрия, 1977, № 2, с. 127—130.
4. А. с. № 896392 (СССР). Система регистрации перемещений в оптико-электронных измерительных устройствах с интерференционной модуляцией/В. А. Алешин, М. П. Дубров.— Оpubл. в Б. И., 1982, № 1.
5. Галугин В. З., Зенкевич С. С., Обухов И. В., Скибарко А. П. Стабилизация частоты газового лазера, работающего в двухмодовом режиме.— Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1973, т. 16, № 9, с. 90—93.
6. Brannon P. J. Laser feedback: its effect on Laser frequency.— Appl. Opt., 1976, v. 15, N 5, p. 1119—1120.

Поступило в редакцию 26 октября 1983 г.

УДК 535.36 : 535.81

Н. Д. ГОЛДИНА, Т. Т. ТИМОФЕЕВ

(Новосибирск)

СРАВНЕНИЕ ИНДИКАТРИС РАССЕЙНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗЕРКАЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ИСПАРЕНИЕМ И КАТОДНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Развитие лазерной техники в УФ- и видимом диапазонах спектра сталкивается с проблемой создания оптических многослойных покрытий с малыми потерями на рассеяние. Рассеяние возникает вследствие неровностей на поверхности и межслойных границах, внутренних неоднородностей из-за образования кристаллитов, пористой структуры пленок, включения микрочастиц и молекул газа, механических напряжений, ведущих к появлению микротрещин. Характер рассеяния определяется, прежде всего, условиями осаждения и физическими свойствами материалов слоев. Существует два традиционных способа измерения рассеянного излучения — полного рассеяния с помощью интегрирующей сферы и угловой зависимости интенсивности рассеянного света с помощью различных гониометрических устройств. Анализ индикатрис рассеяния позволяет получить информацию о параметрах рассеивающих центров [1—4].

Наличие множества факторов, влияющих на рассеяние, затрудняет точное рассмотрение и приводит к приближенным методам расчета рассеянного поля [5]. Теоретические расчеты [2, 3, 6] хорошо совпадают с экспериментальными данными в области, удаленной от зеркального направления; согласие хуже вблизи зеркального отражения. Как отмечалось в [4], экспериментальные данные различных авторов по измерениям индикатрис рассеяния зеркал отличаются разнообразием, что является следствием различных методов изготовления покрытий, а определение параметров шероховатостей по индикатрисам рассеяния неоднозначно. Не вызывает сомнений, что полая часть индикатрисы обусловлена диффузным рассеянием на мелких неоднородностях, в то время как появление резкого пика вблизи направления зеркального отражения можно объяснить, по-видимому, наличием отдельных крупных дефектов [4].

В настоящей работе проведены предварительные экспериментальные исследования двух типов многослойных зеркал, изготовленных методами электронно-лучевого испарения (ЭЛИ) и катодного реактивного распыления (КР). Схема экспериментальной установки для измерения углового рассеяния показана на рис. 1. Исследуемое зеркало 5 находилось на расстоянии 110 см от аргонового лазера 1 и закреплялось под небольшим углом ($\sim 0,5^\circ$) к падающему лучу. Фотоприемник (ФП) рассеянного излучения 6 отстоял от образца на 37 см и мог поворачиваться вокруг оси,

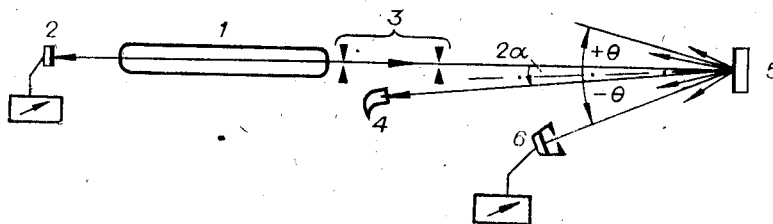


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для измерения индикатрис рассеяния многослойных зеркал:

1 — аргоновый лазер ($\lambda=0,465-0,515$ мкм); 2 — набор диафрагм; 3 — контроль мощности лазерного излучения; 4 — набор диафрагм; 4 — уловитель отраженного света; 5 — исследуемое зеркало; 6 — фотоприемник рассеянного излучения.