



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

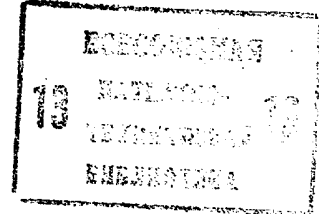
(19) **SU** (11) **1027669** **A**

3(5D) G 02 B 27/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



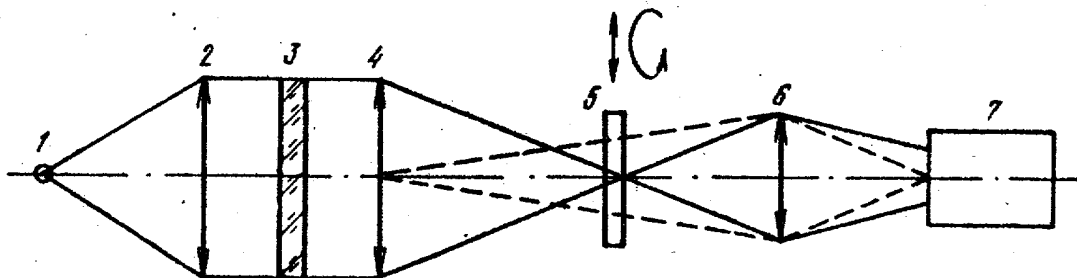
- (21) 3399109/18-10
- (22) 01.03.82
- (46) 07.07.83. Бюл. № 25
- (72) О.И. Бугаенко, Э.А. Витриченко, В.Н. Дудинов и В.С. Цветкова
- (71) Институт космических исследований АН СССР и Астрономическая обсерватория Харьковского государственного университета
- (53) 535.411(088.8)

(56) 1. Авторское свидетельство СССР № 510684, кл. G 02 B 27/46, 16.10.74.

2. Авторское свидетельство СССР № 501340, кл. G 01 N 21/45, 10.10.73 (прототип).

(54) (57) **ТЕНЕВОЙ ПРИБОР**, содержащий точечный источник белого света, коллиматор, исследуемый объект, Фурье-преобразующую линзу, полуволновую фазовую пластину, установленную в задней фокальной плоскости линзы с

возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном фазосдвигающей ступени пластины, элемент обратного Фурье-преобразования и регистрирующее устройство, оптически сопряженное с исследуемым объектом, отличающийся тем, что, с целью увеличения пространственного разрешения при повышении фазовой чувствительности и ахроматизации в широкой области длин волн, на полуволновую фазовую пластину нанесено поглощающее металлическое покрытие с градиентом плотности, перпендикулярным фазосдвигающей ступени пластины, имеющее нулевое пропускание на линии фазового скачка, причем пластина выполнена из двух различных сортов оптического стекла, у которых для средней волны рабочего спектрального интервала производные по длине волны отношений показателя преломления к длине волны равны между собой.



Фиг. 1

(19) **SU** (11) **1027669** **A**

Изобретение относится к прикладной оптике и может быть использовано для исследования оптических неоднородностей.

Известен теневой прибор, в котором для визуализации оптических неоднородностей используется фазовый нож [1].

Недостатком данного прибора является его низкое пространственное разрешение.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является теневой прибор, содержащий точечный источник белого света, коллиматор, исследуемый объект, Фурье-преобразующую линзу, полуволновую фазовую пластину, установленную в задней фокальной плоскости линзы с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном фазосдвигающей ступени пластины, элемент обратного Фурье-преобразования и регистрирующее устройство, оптически сопряженное с исследуемым объектом. В этом приборе элемент обратного Фурье-преобразования выполнен в виде сферического зеркала, работающего совместно с поляризационным светоделительным кубиком [2].

Недостатками известного устройства являются низкое пространственное разрешение по исследуемому объекту, ограничение фазоконтрастной чувствительности, большие светопотери, а также сложность определения полной двумерной картины оптических неоднородностей.

Указанные недостатки обусловлены следующими причинами.

Известно, что фазовые искажения непосредственно зарегистрировать невозможно. Для этой цели применяют визуализирующие элементы, действие которых в составе теневых приборов сходно с операцией дифференцирования исследуемого поля. Описание поля через его производную не вносит никаких затруднений, так как постоянная интегрирования равна начальной фазе поля и значение ее несущественно. В реальных приборах осуществить идеальное дифференцирование нельзя, но можно приблизиться к нему сколь угодно близко. Из теории Фурье-преобразований известно, что производная функции $\Phi(x)$ равна обратному Фурье-преобразованию от произведения $\xi \cdot F(\xi)$, где $F(\xi)$ - Фурье-преобразование от $\Phi(x)$.

Для точного дифференцирования необходим транспарант, имеющий амплитудный коэффициент пропускания $T(\xi) = \xi$, где ξ - задано в интервале $-\infty, \infty$. Такой фильтр в оптике изготовить невозможно, так как всегда $|T(\xi)| \leq 1$.

В теневом приборе-прототипе транспарант - полуволновая фазовая пластина - реализует фазовый скачок на 180° , который является весьма грубым приближением к требуемой линейной зависимости. Фурье-образ фазового скачка совпадает с ядром Гильберт-преобразования, которое выполняет операцию дифференцирования и сглаживания с медленно убывающими крыльями и имеет малый динамический диапазон фазово-контрастной характеристики. Приближенный характер дифференцирования Гильберт-преобразования не принимается во внимание и результаты измерений теневых прибора трактуются как производная исследуемого поля. При таком подходе невозможны ни измерения больших фазовых искажений, ни измерения в зоне поля, расположенной рядом с сильными неоднородностями, так как и без того короткая характеристика оказывается перегруженной информацией из соседних зон. В частности не могут быть исследованы искажения, лежащие вблизи края апертуры, т.е. сильной неоднородности, а эта зона составляет обычно 20% исследуемого поля.

Цель изобретения - увеличение пространственного разрешения при повышении чувствительности и ахроматизации в широкой области длин волн.

Поставленная цель достигается тем, что в теневом приборе, содержащем точечный источник белого цвета, коллиматор, исследуемый объект, Фурье-преобразующую, полуволновую фазовую пластину, установленную в задней фокальной плоскости линзы с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном фазосдвигающей ступени пластины, элемент обратного Фурье-преобразования и регистрирующее устройство, оптически сопряженное с исследуемым объектом, на полуволновую фазовую пластину нанесено поглощающее металлическое покрытие с градиентом плотности, перпендикулярным фазосдвигающей ступени пластины, имеющее нулевое пропускание на линии фазового скачка, причем пластина выполнена из двух различных сортов оптического стекла, у которых для средней длины волны рабочего спектрального интервала производные по длине волны отношений показателя преломления к длине волны равны между собой.

На фиг. 1 показана оптическая схема теневых прибора; на фиг. 2 - устройство волновой амплитудно-фазовой пластины и вид зависимости ее амплитудного пропускания от координаты вдоль оси, перпендикулярной фазосдвигающей ступени пластины; на фиг. 3 - вид зависимостей фазового

сдвига, вносимого этой пластиной от длины волны для различных комбинаций сортов стекла, из которых выполнена пластина.

Предлагаемый теневой прибор включает в себя точечный источник 1 белого света, коллимирующую линзу 2, исследуемый прозрачный объект 3, Фурье-преобразующую линзу 4, полуволновую фазовую пластину 5; установленную в задней фокальной плоскости линзы 4 с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном фазосдвигающей ступени пластины, линзу 6, осуществляющую обратное Фурье-преобразование, и панорамное регистрирующее устройство 7, оптически сопряженное линзами 4 и 6 с исследуемым объектом 3. При этом пластина 5 образована двумя соединенными между собой плоскопараллельными пластинами 8 и 9 с одинаковой расчетной толщиной, которые выполнены из различных по показателю преломления специально подобранных сортов стекла.

На скрепленные пластины 8 и 9 нанесено поглощающее металлическое покрытие переменной плотности. Градиент плотности покрытия 10 ориентирован перпендикулярно фазосдвигающей ступени пластины 5, т.е. плоскости стыковки пластины 8 и 9, причем на линии фазового скачка покрытие 10 имеет нулевое пропускание (фиг. 2, кривая 11).

Поглощающее покрытие 10 можно изготовить, например, методом вакуумного напыления. Его толщина зависит от требуемого пропускания в данном месте пластины и от поглощающих свойств напыляемого материала. Толщина покрытия обычно много меньше длины волны. Компоненты 8 и 9 амплитудно-фазовой пластины 5 выполнены из таких сортов стекла, у которых для средней длины волны рабочего спектрального интервала производные по длине волны отношений показателя преломления к длине волны равны между собой. При этом могут использоваться, например, следующие комбинации сортов стекла: БФ-7 и БФ-6 толщиной 25,0 мкм (фиг. 3, кривая 12), БФ-13 и БФ-12 толщиной 21,6 мкм (кривая 13), а также К-8 и К-14 толщиной 188,7 мкм (кривая 14). Толщина пластины 5 вычисляется с учетом показателей преломления выбранных сортов стекла из условия реализации фазового скачка со средней величиной 180° .

Пластина 5 (кроме поперечного смещения) имеет возможность поворота на 90° вокруг оптической оси прибора.

Полихромный световой поток, выходящий из точечного источника света 1, коллимируется линзой 2 и просвечивает исследуемый объект 3, имеющий фазовые неоднородности. Промодулированный объектом 3 световой поток собирается линзой 4 в ее задней фокальной плоскости, т.е. в плоскости Фурье-преобразования, где установлена амплитудно-фазовая пластина 5.

Объектив строит на фоточувствительной части панорамного приемника плоскую картину, соответствующую неоднородностям объекта 3.

При этом поглощающее покрытие 10 фазовой пластины 5 подавляет крылья ядра Гильберт-преобразования, улучшая его дифференцирующие свойства. Центр ядра, т.е. его дифференцирующая часть, не затрагивается, и в этом смысле никаких светопотерь не происходит. Такой транспарант позволяет реализовать любые, наперед заданные характеристики теневого прибора по пространственному разрешению и динамическому диапазону измеряемых фазовых искажений и, следовательно, по пороговой чувствительности прибора.

Конкретный вид пропускания пластины 5 зависит от требований к ширине ядра или к динамическому диапазону. Например, если ядро должно иметь вид $e^{-\frac{\alpha^2 x^2}{x}}$ (быстро убывающая функция при $\alpha x > 1$), то $T(\xi) = \text{erf}(\frac{\xi}{2\alpha})$ (фиг. 2), где erf - интеграл вероятности, α - параметр, определяющий эффективную ширину ядра. При $\alpha \rightarrow \infty$ оператор стремится к идеально дифференцирующему, а динамический диапазон и пространственное разрешение стремятся к бесконечности. Естественно, что при этом световой поток от площадки, равной элементу разрешения, будет стремиться к нулю.

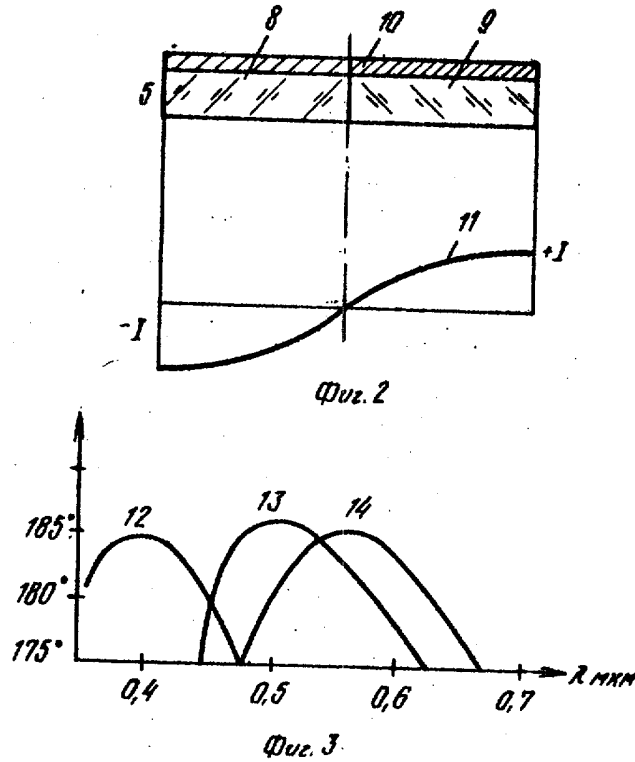
Указанные выше требования к выбору сортов стекла компонентов пластины 5 обеспечивают при допустимой погрешности фазового сдвига $\pm 5^\circ$ расширение рабочего спектрального интервала примерно в 100 раз по сравнению со случаем применения классического фазового ножа (фиг. 3).

Если требования к допустимой погрешности жестче, то преимущества предлагаемой пластины еще ощутимее.

Сдвиг пластины 5 в направлении, перпендикулярном ее фазосдвигающей ступени, т.е. в направлении градиента плотности, позволяет определять знак производной, а разворот пластины на 90° вокруг оси прибора - проводить измерения по двум направлениям.

Таким образом, применение ахроматизированной амплитудно-фазовой пластины позволяет создать теневой прибор с любыми наперед заданными характеристиками по пространственному

разрешению и пороговой чувствительности измеряемых фазовых искажений, имеющий малые светопотери благодаря использованию широкого участка спектра источника света.



Редактор В. Пилипенко

Составитель В. Кравченко
Техред А. Бабинец

Корректор О. Билак

Заказ 4735/51

Тираж 511

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4