

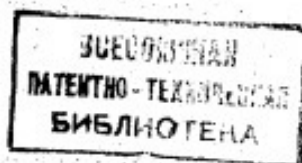


СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1755249 A1

(51) G 03 H 1/02, G 01 J 5/50

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4885002/25

(22) 21.11.90

(46) 15.08.92. Бюл. № 30

(71) Харьковский государственный университет им. А.М.Горького и Государственный институт прикладной оптики

(72) Э.Н.Балашова, А.В.Дыль, Я.К.Лукашевич, М.В.Неофитный и В.А.Свич

(56) Сороко Л.М. Гильберт-оптика М.: Наука 1981, с. 42.

Авторское свидетельство СССР
№ 1601600, кл. G 01 J 5/50, 1988.

Сороко Л.М. и Сутина В.А. Дифракционная решетка со сбоем как новый оптический элемент - Сообщения ОИЯИ, Дубна, 1972, р. 13-6565.

Изобретение относится к когерентной оптике и может использоваться для выполнения преобразования Гильберта волнового пучка в зоне Фраунгофера в теневых приборах для диагностики фазовых объектов, классификации образов.

Известно устройство для реализации преобразования Гильберта, выполненное в виде фазового ножа, создающего скачок фазы на 180° между двумя областями. Благодаря высокому контрасту формируемого изображения Гильберта, устройство может использоваться при визуализации слабых фазовых неоднородностей. Фазовый нож позволяет получить значительную информацию об исследуемом фазовом объекте, так как не затеняет склоны фазового рельефа.

Однако граница раздела полуплоскостей фазового ножа всегда имеет конечную ширину, что приводит к ослаблению контраста изображения в области низких пространственных частот. Фазовый нож также

2

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГИЛЬБЕРТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПУЧКА ИЗЛУЧЕНИЯ

(57) Использование: при диагностике фазовых объектов и классификации образов. Сущность изобретения: устройство содержит дифракционную структуру, выполненную в виде фазовой решетки, геометрия которой задается бинарной функцией, имеющей вид, приведенный в формуле изобретения. 3 ил.

подвержен влиянию внешних климатических условий, например, влажности воздуха. Существенным недостатком данного устройства является невозможность формирования Гильберт-образа за пределами основного пучка, что необходимо в проходных теневых приборах для контроля фазовых объектов.

Известно устройство, которое содержит дифракционную структуру, выполненную в виде двух участков, имеющих одинаковую ширину и различные значения отношения поперечных размеров d_1 и d_2 штрихов к периоду T их расположения, определяемые из следующих соотношений

$$\frac{d_1}{T} = 1 - \frac{1}{2|q|}, \quad \frac{d_2}{T} = 1 - \frac{3}{2|q|}$$

где $|q| = 2, 3, 4, \dots$

В данной дифракционной структуре поля, рассеянные двумя участками, отличаются на 180° , что приводит к реализации преобразования Гильберта в q -ом дифрак-

(19) SU (11) 1755249 A1

ционном порядке. Такая дифракционная структура не чувствительна к вариациям температуры, влажности окружающего воздуха. Описанная структура не создает пограничных эффектов, которые возникают при использовании фазового ножа. Достоинством дифракционной структуры, состоящей из двух разнородных участков, является также возможность использования в проходных теневых приборах для контроля параметров фазовых объектов, так как Гильберт-образ формируется в дальней зоне за пределами основного пучка.

Недостатком устройства является невозможность получения Гильберт-образа с максимальным значением интенсивности в заданном дифракционном порядке.

Наиболее близким к предлагаемому является устройство, содержащее дифракционную структуру, в центре которой имеется сбой периода, такой, что расстояние ΔT между двумя центральными штрихами выбрано из следующего соотношения

$$\Delta T = \frac{(2n-1)}{2} T,$$

где T — период расположения штрихов структуры, $n = 1, 2, 3, \dots$

При этом поля, рассеянные двумя разделенными местом сбоя частями дифракционной структуры, отличаются на 180° . При освещении структуры когерентным пучком света в дифракционных порядках формируется Гильберт-образ излучения.

Недостатком устройства является невозможность получения Гильберт-образа с максимальным значением интенсивности поля в третьем дифракционном порядке. В данной структуре интенсивность формируемого Гильберт-образа падает с увеличением номера дифракционного порядка. Зависимость относительного значения интенсивности Гильберт-образа от номера n дифракционного порядка приведена в таблице.

n	± 1	± 3	± 5	± 7	± 9
I/I_0	$7,8 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$

Указанные значения I/I_0 , где I_0 — максимальное значение интенсивности в нулевом дифракционном порядке, получены для структуры, у которой $\Delta T = \frac{3T}{2}$, а отношение ширины перегородок d к периоду T их расположения выбрано равным 0,5. Из таблицы следует, что относительное значение интенсивности дифракционных порядков

уменьшается с увеличением номера порядка. В то же время в теневых приборах существует необходимость формирования Гильберт-образа с концентрацией интенсивности рассеянного поля в одном из дифракционных порядков с номером $n \neq 1$, в частности в третьем порядке.

Цель изобретения — получение Гильберт-образа с максимальным значением интенсивности поля в третьем дифракционном порядке.

Поставленная цель достигается тем, что, в устройстве, содержащем дифракционную структуру, согласно изобретению указанная структура выполнена в виде фазовой решетки, геометрия которой задается бинарной функцией $Wal_n(x)$, имеющей вид

$$Wal_n(x) = \prod_{k=0}^m \{ \text{sign}[\sin(\frac{2^k \pi x}{x_1})] \}^{g_k}$$

где x — координата в плоскости расположения дифракционной структуры;

$x \in [-\frac{x_1}{2}, \frac{x_1}{2}]$; $n = 113, 225, 449, \dots, 112p + 1$;

$p = 2, 4, 6, \dots$; m — ранг двоичного представления n , $n = 2^m g_m + 2^{m-1} g_{m-1} + 2^{m-2} g_{m-2} + \dots + 2^0 g_0$; x_1 — ширина структуры.

Работа устройства основана на установленной нами возможности получения Гильберт-образа, имеющего максимальное значение интенсивности излучения в третьем дифракционном порядке, структурами, геометрии которых представляются функциями Уолша 113-го, 225-го, 449-го, ..., $(112p + 1)$ -го порядков. Для доказательства рассмотрим фазовую структуру, геометрия которой показана на фиг. 1 и описывается функциями Уолша вида

$$Wal_n(x) = \prod_{k=0}^m [R_k(x)]^{g_k} = \prod_{k=0}^m \{ \text{sign}[\sin(\frac{2^k \pi x}{x_1})] \}^{g_k} \text{rect}(\frac{x}{x_1}), \quad (1)$$

где $R_k(x)$ — функция Радемахера k -го порядка, принимающая значения $+1$ или -1 и имеющая период $d_k = \frac{x_1}{2^{1-k}}$, $x \in [-\frac{x_1}{2}, \frac{x_1}{2}]$, $n = 113, 225, 449, \dots, 112p + 1$, $p = 2, 4, 6, \dots$, m — ранг двоичного представления n , $n = 2^m g_m + 2^{m-1} g_{m-1} + 2^{m-2} g_{m-2} + \dots + 2^0 g_0$.

Тогда выражение для комплексной амплитуды дифрагированного поля в зоне Фраунгофера запишется следующим образом

$$V(x, z) = \int_{-\frac{x_1}{2}}^{\frac{x_1}{2}} \sum_{k_r} \dots \sum_{k_m} C_{k_r}^{g_r} \dots C_{k_m}^{g_m} \times \exp[2\pi i x (\frac{g_r k_r}{d_r} + \dots + \frac{g_m k_m}{d_m})] \text{sign}(x) \times V(x) \text{rect}(\frac{x}{x_1}) \exp(-\frac{2\pi i x \tilde{x}}{\lambda z}) dx, \quad (2)$$

где K – комплексная константа; x – координата в плоскости наблюдения; $k_m = 1, 3, 5, \dots$; λ – длина волны излучения, z – расстояние от дифракционной структуры до плоскости наблюдения; r – наиболее низкий порядок функции Радемахера, причем $r \neq m, 1$; C_{k_r} – коэффициенты разложения в ряд Фурье функции Радемахера; $U(x)$ – функция амплитудно-фазового распределения пучка; $\text{sign}(x)$ – знаковая функция.

В результате выполнения преобразования Фурье от произведения нескольких функций преобразуем (2) к следующему свернутому выражению

$$V(\tilde{x}, z) = \tilde{K} \sum_{k_2} \dots \sum_{k_m} C_{k_r}^{g_r} \dots C_{k_m}^{g_m} \hat{V} \left(2\pi \left(\frac{\tilde{x}}{\lambda z} - \frac{g_r k_r}{d_r} \dots - \frac{g_m k_m}{d_m} \right) \right) \otimes \text{sinc} \left(2\pi x_1 \left[\frac{\tilde{x}}{\lambda z} - \frac{g_r k_r}{d_r} \dots - \frac{g_m k_m}{d_m} \right] \right) \otimes \text{sign} \left(2\pi \left[\frac{\tilde{x}}{\lambda z} - \frac{g_r k_r}{d_r} \dots - \frac{g_m k_m}{d_m} \right] \right). \quad (3)$$

Здесь знак уголок над функциями обозначает преобразование Фурье этих функций, $\otimes$ – операция свертки. При $2\pi \gg 1$, что достаточно хорошо выполняется при $n = 113, 225, 449$, функция $\text{sinc}(2\pi x_1 \times (\frac{x}{\lambda z} - \dots - \frac{g_m k_m}{d_m}))$ аппроксимируется δ -функцией. Тогда, учитывая свойства δ -функции, представим (3) в виде

$$V(\tilde{x}, z) = \tilde{K} \sum_{k_r} \dots \sum_{k_m} C_{k_r}^{g_r} \dots C_{k_m}^{g_m} \times \hat{V} \left(2\pi \left[\frac{\tilde{x}}{\lambda z} - \frac{g_r k_r}{d_r} \dots - \frac{g_m k_m}{d_m} \right] \right) \otimes \text{sign} \left(2\pi \left[\frac{\tilde{x}}{\lambda z} - \frac{g_r k_r}{d_r} \dots - \frac{g_m k_m}{d_m} \right] \right). \quad (4)$$

Из (4) следует, что в дифракционных порядках зоны Фраунгофера формируется Гильберт-образ пучка вида $U(\frac{2\pi x}{x_1})$, представляющий собой свертку $U(\frac{2\pi x}{x_1}) \otimes \text{sign}(\frac{2\pi x}{x_1})$.

Графики относительных угловых распределений интенсивности, подтверждающие возможность формирования Гильберт-образ пучка в третьем дифракционном порядке, показаны на фиг. 2. Данные распределения соответствуют дифракцион-

ной структуре, геометрия которой описывается выражением (1) при $n=113$. Кривые 1 и 2 получены при падении пучков вида $U(x) = \text{rect}(\frac{x}{x_1})$ и $U(x) = \sin(\frac{2\pi x}{x_1})$ соответственно.

Для сравнения на графиках точками показано относительное угловое распределение интенсивности в первом порядке дифракционной структуры, описанной в прототипе и имеющей сбой периода расположения прямоугольных канавок в центральной части. Из сравнения кривых, показанных сплошной линией и точками, следует, что в третьем дифракционном порядке формируется Гильберт-образ пучка.

Относительные угловые распределения интенсивности поля в первом, третьем и пятом дифракционных порядках показаны на фиг. 3. Данные распределения получены при равномерном освещении дифракционной структуры, расположение прямоугольных канавок которой задается бинарной функцией (1), имеющей порядок n равный 113.

Видно, что в отличие от известного устройства Гильберт-образ с максимальным значением интенсивности поля наблюдается не в первом порядке, а в третьем порядке. При этом максимальное значение интенсивности Гильберт-образа, формируемого в третьем порядке, превышает примерно в три и четыре раза аналогичное значение интенсивности соответственно в первом и пятом порядках.

Устройство (фиг. 1) содержит дифракционную структуру, выполненную на подложке 1 в виде прямоугольных канавок 2, расположение которых задается выражением (1). Данная дифракционная структура описывается произведением четырех функций Радемахера, порядок которых определяется значением n , равным 113. В центре дифракционной структуры имеется неоднородность 3, нарушающая сложную регулярность расположения прямоугольных канавок.

Устройство работает следующим образом.

Лазерный пучок 4, преобразование Гильберта которого необходимо выполнить, падает на дифракционную структуру. Благодаря наличию неоднородности 3 поля рассеянные разделенными местом расположения указанной неоднородности канавками 2, отличаются по фазе на π . Последнее обстоятельство позволяет выполнить необходимое условие для осуществления преобразования Гильберта. При этом в дифракционных порядках фор-

мируется Гильберт-образ пучка. По сравнению с известным предлагаемое устройство позволяет получить Гильберт-образ с максимальным значением интенсивности в третьем дифракционном порядке.

При формировании Гильберт-образа пучка диаметром 40 мм на длине волны $\lambda = 10,6$ мкм дифракционная структура выполнена с геометрией, соответствующей функции $Wal_n(x)$. Глубина прямоугольных канавок выбрана равной 2,5 мкм. Указанная структура изготовлена следующим образом. На подложку структуры нанесено двухслойное покрытие, наружный слой которого выполняет защитные функции. Путем зонной нарезки штрихов на делительной машине, сопряженной с ЭВМ, разрушается защитный слой в местах расположения канавок дифракционной структуры. В результате химической обработки рабочего покрытия в зонах с разрушенным при нарезке защитным слоем оно полностью удаляется и, таким образом, формируется

требуемый фазовый рельеф дифракционной структуры в виде прямоугольных канавок.

Формула изобретения

Устройство для Гильберт-преобразования пучка излучения, содержащее дифракционную структуру, отличающееся тем, что, с целью получения Гильберт-образа с максимальным значением интенсивности в третьем дифракционном порядке, указанная структура выполнена в виде фазовой решетки, фазовая функция которой задается бинарной функцией $Wal_n(x)$, имеющей вид

$$Wal_n(x) = \prod_{k=0}^m \left\{ \text{sign} \left[\sin \left(\frac{2^k \pi x}{x_1} \right) \right] \right\}^{g_k},$$

где x — координата в плоскости расположения дифракционной структуры,

$$x \in \left[-\frac{x_1}{2}, \frac{x_1}{2} \right];$$

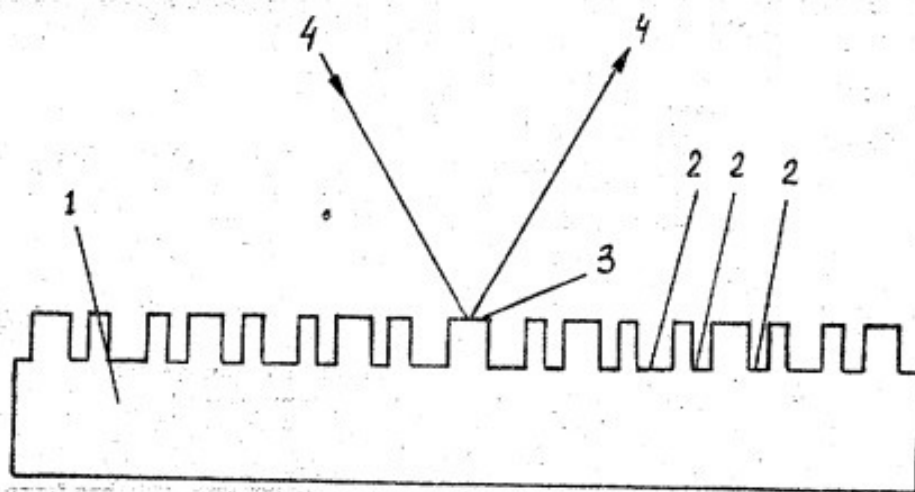
$$n = 113, 225, 449, \dots, 112p + 1;$$

$$p = 2, 4, 6, \dots;$$

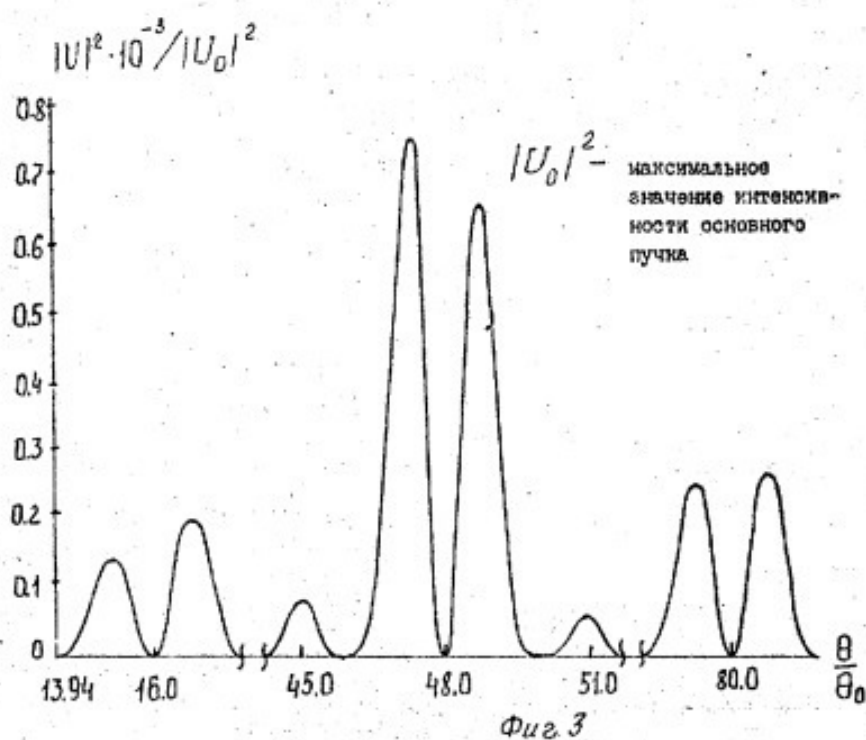
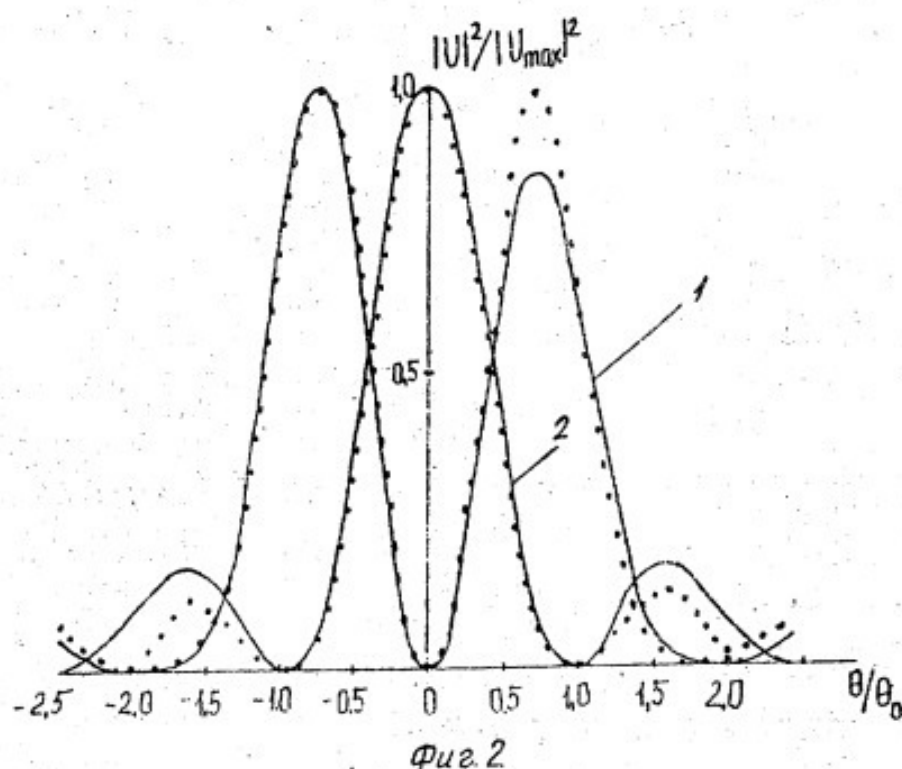
$$m - \text{ранг двоичного представления } n;$$

$$n = 2^m g_m + 2^{m-1} g_{m-1} + 2^{m-2} g_{m-2} \dots + 2^0$$

$$g_0 x_1 - \text{ширина структуры.}$$



Фиг.1



Редактор И.Сегляник

Составитель Е.Халатова
Техред М.Моргентал

Корректор С.Пекарь

Заказ 2892

Тираж

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101