

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **030058**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2018.06.29

(51) Int. Cl. *G02B 5/18* (2006.01)
B42D 25/328 (2014.01)
B42D 25/324 (2014.01)

(21) Номер заявки
201700240

(22) Дата подачи заявки
2017.03.15

**(54) МИКРООПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ С КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ЭФФЕКТАМИ ДВИЖЕНИЯ**

(43) **2018.02.28**

(56) RU-U1-149690
RU-U1-149690
RU-C1-2430836
US-B2-8400495
US-A1-20070058260

(96) **2017000019 (RU) 2017.03.15**
(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"ЦЕНТР КОМПЬЮТЕРНОЙ
ГОЛОГРАФИИ" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Гончарский Антон Александрович,
Гончарский Александр
Владимирович, Дурлевич Святослав
Радомирович, Мельник Дмитрий
Владимирович (RU)**

(57) В изобретении микрооптическая система формирования визуальных изображений относится преимущественно к приспособлениям, используемым для удостоверения подлинности изделий, и может быть эффективно использована для защиты банкнот и ценных бумаг. Микрооптическая система согласно формуле изобретения состоит из фрагментов многоградационных плоских осевых линз Френеля с параболической фазовой функцией и дифракционных решеток. Специальный выбор параметров многоградационных линз Френеля и дифракционных решеток обеспечивает возможность формирования изображений с кинематическими эффектами. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° микрооптическая система формирует изображение, состоящее из черных и белых полос, которое не меняется при повороте оптического элемента влево-вправо. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклоне микрооптической системы вверх-вниз. При углах дифракции более 60° на всей области микрооптической системы наблюдатель видит другое цветное изображение. Совокупность существенных признаков изобретения обеспечила достижение технического результата, заключающегося в расширении возможностей визуального контроля, а также в повышении защищенности микрооптической системы от подделки. Реализация микрооптической системы формирования визуальных изображений возможна с использованием существующего стандартного оборудования.

030058 B1

030058 B1

В настоящее время с целью предотвращения подделки банкнот, ценных бумаг, документов, пластиковых карт используют различные защитные технологии. Это могут быть водяные знаки, ныряющие нити, голограммы, внедренные жидкокристаллические оптические элементы, изменяющие поляризацию падающего света, латентные изображения и т.п. (van Renesse, Rudolf L., Optical Document Security, 3rd ed. British Library Cataloguing in Publication Data, 2005, ISBN 1-58053-258-6, van Renesse, Rudolf L., Optical Document Security, 2nd ed. British Library Cataloguing in Publication Data, 1998, ISBN 0-89006-982-4).

Заявляемая в качестве изобретения микрооптическая система формирования визуальных изображений с кинематическими эффектами движения относится преимущественно к приспособлениям, используемым для удостоверения подлинности изделий, и может быть эффективно использована для защиты банкнот, ценных бумаг, документов, пластиковых карт, акцизных марок.

Наиболее близким к заявленному изобретению (прототип) по совокупности признаков является патент на изобретение (EA017394(B1)). В этом патенте эффекты кинематического движения фрагментов изображения формируются внеосевыми плоскими линзами Френеля. При освещении точечным источником микрооптической системы, описанной в патенте на изобретение (EA017394(B1)), наблюдатель видит изображение, состоящее из точек. Каждая точка изображения формируется внеосевой линзой Френеля, размеры линз в предпочтительном варианте составляют от 0,5 до 1,5 мм. Изображение может состоять из цифр, букв, символов. Для формирования изображений букв и цифр используется порядка десяти линз Френеля, что определяет минимальную ширину защитной нити, составляющую при минимальном диаметре линз порядка 5 мм. В прототипе предлагается использовать внеосевые линзы Френеля с параболической или седлообразной фазовой функцией. Использование линз Френеля с параболической и седлообразной фазовой функцией позволяет получить различные кинематические эффекты движения фрагментов изображения при наклоне оптического элемента. В полезной модели (RU127208) предложен вариант микрооптической системы по патенту (EA017394(B1)), в котором при малых углах дифракции наблюдатель видит кинематические эффекты движения фрагментов изображения, состоящего из ярких точек, а при больших углах дифракции на всей области оптического элемента видно другое цветное изображение.

Задачей настоящего изобретения является расширение, по сравнению с прототипом, возможностей визуального контроля на голографические нити шириной менее 5 мм. Подавляющее большинство нитей, используемых для защиты банкнот и ценных бумаг в настоящее время, имеет ширину менее 5 мм. Другой задачей настоящего изобретения является расширение диапазона углов, в котором наблюдаются кинематические эффекты движения фрагментов изображения при наклонах оптического элемента, а также повышение защищенности микрооптических систем от подделки и ограничение круга технологий, которые позволяют синтезировать данный визуальный эффект.

Поставленная задача с достижением указанного технического результата решается в заявленной микрооптической системе формирования визуальных изображений по п.1 формулы изобретения, состоящей из размещенного на плоской подложке плоского дифракционного оптического элемента, область Q которого представляет собой прямоугольник $|x| \leq L_x/2$ $|y| \leq L_y/2$. Область Q разбита на элементарные области Q_{ij} размером не более 250 мкм с центрами в точках (x_i, y_j) , $i=1 \dots N$, $j=1 \dots M$. В каждой области Q_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x, y)$, которая в точке (x, y) каждой элементарной области Q_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x, y) = \varphi_{ij}(x, y) \cdot \psi(y)$, $i=1 \dots N$, $j=1 \dots M$. Функция $\varphi_{ij}(x, y)$ представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi_{ij}(x, y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный параметр. Функция $\psi(y)$ является периодическим продолжением функции $\bar{\psi}(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_\psi/2$ так, что $\bar{\psi}(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta/2$. Величины T_ψ и Δ - заданные параметры, такие, что величина $\Delta/T_\psi \leq 1/2$, причем период T_ψ линз Френеля по оси Oy , равный $T_\psi = L_y/M$, отличается от периода T_ψ не более чем на 5%. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, состоящее из черных и белых полос, которое не меняется при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$.

Микрооптическая система по п.2 формулы изобретения отличается от микрооптической системы по п.1 тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x, y)$ равна нулю, заполняется дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, состоящее из черных и белых полос, которое не меняется при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$. При углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.

Микрооптическая система по п.3 формулы изобретения является плоским отражающим фазовым

дифракционным оптическим элементом с областью Q , представляющей собой прямоугольник $|x| \leq L_x/2$, $|y| \leq L_y/2$. В области Q выделены две непересекающиеся области: область Q^1 , состоящая из точек (x,y) области Q с положительными координатами x , и область Q^2 , состоящая из точек (x,y) области Q с отрицательными координатами x . Каждая из областей Q^1 и Q^2 разбивается на элементарные области Q^1_{ij} и Q^2_{ij} размером не более 250 мкм с центрами в точках (x_i, y_j) , $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$. В каждой области Q^1_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^1_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi^+_{ij}(x,y) \cdot \psi(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, где $\varphi^+_{ij}(x,y)$ представляет собой фазовую функцию вогнутой осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi^+_{ij}(x,y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - положительный заданный параметр. В каждой области Q^2_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^2_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi^-_{ij}(x,y) \cdot \psi(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, где $\varphi^-_{ij}(x,y)$ представляет собой фазовую функцию выпуклой осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi^-_{ij}(x,y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - отрицательный заданный параметр. Функция $\psi(y)$, определенная во всей области Q , является периодическим продолжением функции $\tilde{\psi}(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_\psi/2$ так, что $\tilde{\psi}(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta/2$. Здесь T_ψ и Δ - заданные параметры, такие, что величина $\Delta/T_\psi \leq 1/2$. Период T_ψ линз Френеля по оси Oy , равный $T_\psi = L_y/M$, отличается от периода T_ψ не более чем на 5%. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения черных и белых полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны.

Микрооптическая система по п.4 формулы изобретения отличается от микрооптической системы по п.3 тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x,y)$ равна нулю, заполняется дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны. При углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.

Микрооптическая система по п.5 формулы изобретения является плоским отражающим фазовым дифракционным оптическим элементом с областью Q , представляющей собой прямоугольник $|x| \leq L_x/2$, $|y| \leq L_y/2$. В области Q выделены две непересекающиеся области: область Q^1 , состоящая из точек (x,y) области Q с положительными координатами x , и область Q^2 , состоящая из точек (x,y) области Q с отрицательными координатами x . Каждая из областей Q^1 и Q^2 разбивается на элементарные области Q^1_{ij} и Q^2_{ij} размером не более 250 мкм с центрами в точках (x_i, y_j) , $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$. В каждой из областей Q^1_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^1_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi_{ij}(x,y) \cdot \psi_1(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$. В каждой из областей Q^2_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^2_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi_{ij}(x,y) \cdot \psi_2(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$. Здесь $\varphi_{ij}(x,y)$ представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi_{ij}(x,y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный параметр. Функция $\psi_1(y)$, определенная в области Q^1 , является периодическим продолжением функции $\tilde{\psi}_1(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_{\psi_1}/2$ так, что $\tilde{\psi}_1(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta_1/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta_1/2$. Функция $\psi_2(y)$, определенная в области Q^2 , является периодическим продолжением функции $\tilde{\psi}_2(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_{\psi_2}/2$ так, что $\tilde{\psi}_2(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta_2/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta_2/2$. Здесь T_{ψ_1} , T_{ψ_2} , Δ_1 и Δ_2 - заданные параметры, такие, что величины $\Delta_1/T_{\psi_1} \leq 1/2$, $\Delta_2/T_{\psi_2} \leq 1/2$, причем период T_ψ линз Френеля по оси Oy , равный $T_\psi = L_y/M$, отличается от периодов T_{ψ_1} и T_{ψ_2} не более чем на 5%, а величины $(T_\psi - T_{\psi_1})$ и $(T_\psi - T_{\psi_2})$ имеют разные знаки. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента в диапазоне углов наклона вправо/влево $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны.

Микрооптическая система по п.6 формулы изобретения отличается от микрооптической системы по п.5 тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x,y)$ равна нулю, заполняется

дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны. При углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.

Сущность изобретения поясняется изображениями, где на фиг. 1 приведена область задания оптического элемента; на фиг. 2 приведена схема разбиения области оптического элемента на элементарные области Q_{ij} ; на фиг. 3 приведена структура осевой линзы Френеля в области Q_{ij} ; на фиг. 4 приведены фазовые функции $\varphi^+(y)$ и $\varphi^-(y)$ осевых линз Френеля; на фиг. 5 приведен бинарный вариант фазовой функции $\varphi(y)$ осевой линзы Френеля; на фиг. 6 приведен график функции $\tilde{\psi}(y)$; на фиг. 7 приведен график функции $\psi(y)$; на фиг. 8 приведена схема расположения источника и наблюдателя относительно микрооптической системы; на фиг. 9 приведена схема наблюдения микрооптической системы при наклоне оптического элемента на угол α вверх-вниз; на фиг. 10 приведены варианты изображений, формируемых микрооптической системой по пп.1, 2 формулы изобретения, при двух различных углах дифракции, меньших 60° ; на фиг. 11 приведена схема наблюдения микрооптической системы при углах дифракции $\theta > 60^\circ$; на фиг. 12 приведен вариант цветного изображения, видимого наблюдателем при углах дифракции более 60° ; на фиг. 13 приведены варианты разбиения области оптического элемента Q на области Q^1 и Q^2 ; на фиг. 14 приведены варианты изображений, формируемых микрооптической системой по пп.3-6 формулы изобретения при углах дифракции меньше 60° ; на фиг. 15 приведен фрагмент структуры микрорельефа микрооптической системы по п.4 формулы изобретения; на фиг. 16 приведены графики функций $\psi_1(y)$ и $\psi_2(y)$ по пп.5, 6 формулы изобретения; на фиг. 17 приведен фрагмент структуры микрорельефа микрооптической системы по п.6 формулы изобретения; на фиг. 18 представлен пример разбиения защитной нити шириной 4,5 мм на области Q^1 и Q^2 ; на фиг. 19 приведены изображения, видимые наблюдателю при углах дифракции менее 60° (а) и более 60° (б) для защитной нити шириной 4,5 мм.

Микрооптическая система, заявленная в настоящем изобретении, представляет собой плоский фазовый оптический элемент, состоящий из многоградационных дифракционных элементов - осевых линз Френеля и дифракционных решеток. На фиг. 1 приведена область Q задания оптического элемента по пп.1-6 формулы изобретения. Область Q представляет собой прямоугольник размером $L_x \times L_y$ с центром в начале декартовой системы координат Oxy . На фиг. 2 приведена схема разбиения области оптического элемента на элементарные области Q_{ij} . Центр каждой элементарной области Q_{ij} находится в точке с координатами (x_i, y_j) . Размеры элементарных областей не превышают 250 мкм. В предпочтительном варианте изобретения прямоугольник вытянут по оси Oy , то есть $L_y > L_x$. Микрооптическая система формируется с помощью осевых линз Френеля. На фиг. 3 приведена схема расположения линз Френеля в элементарных областях Q_{ij} . Сплошными линиями обозначены линии уровня фазовой функции. В качестве фазовых функций линз Френеля используются $\varphi^+(x, y)$ для вогнутых линз и $\varphi^-(x, y)$ для выпуклых линз, заданные соотношением $\varphi(x, y) = C \cdot (x^2 + y^2)$, где C - заданный параметр. Функция $\varphi^+(x, y)$ соответствует параметру $C > 0$, функция $\varphi^-(x, y)$ соответствует параметру $C < 0$. На фиг. 4 приведено сечение функций $\varphi^+(x, y)$ и $\varphi^-(x, y)$ при $x=0$. Приведенные на фиг. 4 фазовые функции соответствуют многоградационным фазовым элементам (Гончарский А.В., Гончарский А.А. Компьютерная оптика. Компьютерная голография. - М.: Изд-во МГУ, 2004, ISBN 5-211-04902-0). Этот вариант является предпочтительным для формирования микрооптических систем согласно заявленному изобретению. На фиг. 5 представлен вариант бинарного фазового элемента. В отличие от многоградационного плоского оптического элемента фазовая функция бинарного оптического элемента принимает всего два значения. Во всех пунктах формулы изобретения используются только многоградационные осевые линзы Френеля с параболической функцией.

Для формирования визуального изображения при углах дифракции менее 60° вводится бинарная функция $\psi(y)$, которая является периодическим продолжением функции $\tilde{\psi}(y)$, изображенной на фиг. 6. Функция $\tilde{\psi}(y)$ задана на сегменте $[-T_\psi/2, T_\psi/2]$. Функция $\tilde{\psi}(y)$ равняется 1 на сегменте $[-\Delta/2, \Delta/2]$. Вне этого сегмента функция $\tilde{\psi}(y)$ равняется 0. Параметры Δ и T_ψ являются заданными. Другим важным параметром является период T_ϕ расположения осевых линз Френеля по оси Oy . Параметр T_ϕ вычисляется как $T_\phi = L_y/M$. На фиг. 7 приведен график функции $\psi(y)$. Функция $\psi(y)$ является периодической с периодом T_ψ . Периоды T_ϕ и T_ψ для микрооптических систем по пп.1-4 формулы изобретения должны удовлетворять следующим соотношениям:

- 1) периоды T_ϕ и T_ψ должны отличаться друг от друга;
- 2) различие между значениями T_ϕ и T_ψ не должно превышать 5%.

Эти условия являются принципиальными для реализации заявленных микрооптических систем по пп.1-6 формулы изобретения. Например, если период T_ϕ совпадает с T_ψ , то при углах дифракции $\theta < 60^\circ$ сформировать изображение, состоящее из черных и белых полос, не представляется возможным. При

большом различии параметров T_φ и T_ψ кинематический эффект движения полос будет незначительным.

Микрооптические системы по пп. 1, 2 формулы изобретения имеют фазовую функцию $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) каждой элементарной области Q_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y)=\varphi_{ij}(x,y)\cdot\psi(y)$, $i=1 \dots N$, $j=1 \dots M$. Фазовая функция $\Phi(x,y)$ однозначно определяет микрорельеф плоского оптического элемента в области Q . Зная фазовую функцию, можно рассчитать глубину микрорельефа в каждой точке (x,y) области Q . Для отражающего плоского дифракционного оптического элемента при нормальном падении света на оптический элемент глубина микрорельефа вычисляется как $h(x,y)=0,5 \varphi(x,y)$ (Гончарский А.В., Гончарский А.А. Компьютерная оптика. Компьютерная голография. - М.: Изд-во МГУ, 2004, ISBN 5-211-04902-0).

На фиг. 8 представлена схема расположения микрооптической системы 1 относительно плоскости Oxy . Микрооптическая система освещается точечным источником 2, расположенным в плоскости Oyz . Оптический элемент может поворачиваться вокруг оси Ox на угол α . Угол поворота оптического элемента вокруг оси Oy обозначим как β . Глаз наблюдателя находится в плоскости Oyz . Наклоны оптического элемента вверх-вниз осуществляются вокруг оси Ox , наклоны оптического элемента влево-вправо осуществляются вокруг оси Oy .

На фиг. 9 приведена схема наблюдения микрооптической системы 1 в диапазоне углов дифракции менее 60° . Угол дифракции θ измеряется как угол между нулевым порядком дифракции, обозначенным на фиг. 9 как луч $R2$, и направлением на глаз наблюдателя 3. Направление луча $R2$ совпадает с направлением отраженного от оптического элемента луча от источника света 2 (луч $R1$), если фазовая функция оптического элемента равна константе, то есть если оптический элемент представляет собой зеркало. Изменяя наклон оптического элемента относительно оси Oy (угол α), мы тем самым изменяем угол дифракции $\theta(\alpha)=2\alpha$. При наклонах оптического элемента на угол $\alpha < 30^\circ$ угол дифракции не превышает 60° . При углах дифракции менее 60° наблюдатель на всей области оптического элемента Q видит изображение, сформированное микрооптической системой по пп. 1, 2 формулы изобретения, состоящее из горизонтальных черных и белых полос с кинематическим эффектом движения полос при наклоне оптического элемента вверх-вниз. На фиг. 10 приведены два изображения, видимые наблюдателю при разных углах θ менее 60° . Изображение на фиг. 10(а) соответствует углу $\theta_1=20^\circ$, а на фиг. 10(б) - углу $\theta_2=30^\circ$.

Изображение при углах дифракции менее 60° формируется с помощью фрагментов осевых линз Френеля с параболической фазовой функцией. Важным параметром, характеризующим плоские осевые линзы Френеля, является размер крайних зон Френеля. В предпочтительном варианте изобретения размер крайних зон Френеля не превышает 1,2 мкм. Благодаря тому, что размер прямоугольных линз Френеля не превышает 250 мкм, а размер крайних зон Френеля не превосходит 1,2 мкм, обеспечивается широкая диаграмма направленности отраженного от микрооптической системы света по горизонтали. Линзы Френеля формируют изображение, состоящее из горизонтальных черных и белых полос, которое не меняется при наклоне оптического элемента вокруг оси Oy влево-вправо на углы β в пределах $\pm 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черно-белых полос при наклонах микрооптической системы вверх-вниз в диапазоне углов $\pm 30^\circ$.

Фрагменты линз Френеля не видны человеческому глазу, поскольку их размер не превосходит 250 мкм, что принципиально отличает заявленное изобретение от прототипа, в котором диаметр линз Френеля в предпочтительном варианте составляет от 0,5 до 1,5 мм. Выбранные параметры позволяют сформировать изображение, которое, в отличие от прототипа, не состоит из изолированных точек, а представляет собой сплошные яркие черные и белые полосы, которые передвигаются по вертикали при наклонах оптического элемента вверх-вниз. Принципиальным отличием от прототипа является то, что в заявленной микрооптической системе в качестве линз Френеля используются многоградационные оптические элементы. Именно использование многоградационных оптических элементов обеспечивает то, что характер движения полос не меняется при переходе через нулевой порядок дифракции, что соответствует переходу от положительных углов наклона оптического элемента $\alpha > 0$ к отрицательным $\alpha < 0$.

Микрооптическая система по п.2 формулы изобретения отличается от микрооптической системы по п.1 тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x,y)$ равна нулю, заполняется дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, состоящее из черных и белых полос с таким же кинематическим эффектом движения, как в п.1 формулы изобретения. При углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.

Схема наблюдения микрооптической системы при больших углах дифракции $\theta > 60^\circ$ представлена на фиг. 11. Так же, как на фиг. 9, угол дифракции θ измеряется как угол между направлением на наблюдателя 3 и нулевым порядком дифракции $R2$. Фиг. 9 и 11 отличаются только величиной угла α . Большие наклоны оптического элемента соответствуют большим углам α и соответственно большим углам дифракции θ . Параметры микрорельефа микрооптической системы выбраны так, что при углах дифракции более 60° изображение формируется дифракционными решетками. Размеры дифракционных решеток не

превосходят 200 мкм, поэтому фрагменты решеток не видны наблюдателю. Вариант такого цветного изображения в условных цветах представлен на фиг. 12. Черный цвет соответствует зеленому цвету, а серый - красному.

В предпочтительном варианте изобретения по пп.3-6 область Q разбивается на две области Q^1 и Q^2 , как это показано на фиг. 13. Границей областей Q^1 и Q^2 может быть как прямая линия, как это показано на фиг. 13 (а), так и волнистая линия, как это показано на фиг. 13(б).

Микрооптическая система по п.3 формулы изобретения имеет область оптического элемента, разбитую на области Q^1 и Q^2 . Каждая из областей Q^1 и Q^2 разбивается на элементарные области Q^1_{ij} и Q^2_{ij} размером не более 250 мкм с центрами в точках (x_i, y_j) , $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$.

В каждой области Q^1_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x, y)$, которая в точке (x, y) элементарной области Q^1_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x, y) = \varphi^+_{ij}(x, y) \cdot \psi(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, где $\varphi^+_{ij}(x, y)$ представляет собой фазовую функцию вогнутой осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi^+_{ij}(x, y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный положительный параметр. В каждой области Q^2_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x, y)$, которая в точке (x, y) элементарной области Q^2_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x, y) = \varphi^-_{ij}(x, y) \cdot \psi(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, где $\varphi^-_{ij}(x, y)$ представляет собой фазовую функцию выпуклой осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi^-_{ij}(x, y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный отрицательный параметр. Таким образом, фазовые функции $\varphi^+_{ij}(x, y)$ в области Q^1 и $\varphi^-_{ij}(x, y)$ в области Q^2 отличаются знаком. Функции $\psi(y)$ в областях Q^1 и Q^2 совпадают. Функция $\psi(y)$, определенная во всей области Q, является периодическим продолжением функции $\bar{\psi}(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_\psi/2$. Функция $\bar{\psi}(y)$ равна 1, если $|y| \leq \Delta/2$, и равна 0, если $|y| > \Delta/2$. Величины T_ψ и Δ - заданные параметры, такие, что величина $\Delta/T_\psi \leq 1/2$, причем период T_ψ линз Френеля по оси Oy, равный $T_\psi = L_y/M$, отличается от периода T_ψ не более чем на 5%.

При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны. На фиг. 14 приведены варианты изображений микрооптической системы по пп.3-6 формулы изобретения при разных углах дифракции, меньших 60° .

Микрооптическая система по п.4 формулы изобретения отличается тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x, y)$ равна нулю, заполняется дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм. На фиг. 15 представлен фрагмент микроструктуры микрооптической системы согласно п.4 формулы изобретения. Представленный фрагмент состоит из фрагментов областей Q^1 и Q^2 , которые расположены слева и справа относительно оси $x=0$. Размер представленного фрагмента равен 400 мкм по Ox и 608,4 мкм по Oy. Глубина микрорельефа в точке (x, y) пропорциональна потемнению в этой точке. Изображение на фиг. 15 не претендует на реальное изображение микрорельефа, а представляет собой только схему его формирования. В реальности период дифракционных решеток составляет менее 0,6 мкм. Линзы Френеля имеют не по несколько зон, как это показано на фиг. 15. Количество зон Френеля в реальной микрооптической системе составляет порядка 50, причем размер крайних зон составляет порядка 1,2 мкм. Для формирования такого микрорельефа используется электронно-лучевая технология.

При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, представленные на фиг. 14, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента в диапазоне углов наклона вправо/влево $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны. При углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение (фиг. 12).

Микрооптическая система по п.5 формулы изобретения имеет область Q оптического элемента, разбитую на области Q^1 и Q^2 . Каждая из областей Q^1 и Q^2 разбивается на элементарные области Q^1_{ij} и Q^2_{ij} . В каждой из областей Q^1_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x, y)$, которая в точке (x, y) элементарной области Q^1_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x, y) = \varphi_{ij}(x, y) \cdot \psi_1(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$. В каждой из областей Q^2_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x, y)$, которая в точке (x, y) элементарной области Q^2_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x, y) = \varphi_{ij}(x, y) \cdot \psi_2(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$.

Фазовые функции $\varphi_{ij}(x, y)$ в областях Q^1 и Q^2 совпадают. Для определенности будем считать, что фазовые функции $\varphi_{ij}(x, y)$ во всей области оптического элемента равны $\varphi^+_{ij}(x, y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный положительный параметр. Функции $\psi_1(y)$ и $\psi_2(y)$ в областях Q^1 и Q^2 - различны. Функции $\psi_1(y)$ и $\psi_2(y)$ выбираются следующим образом. Функция $\psi_1(y)$, определенная в области Q^1 , является периоди-

ческим продолжением функции $\bar{\psi}_1(y)$, заданной на отрезке $|y| < T_{\psi_1}/2$ так, что $\bar{\psi}_1(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta_1/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta_1/2$. Функция $\psi_2(y)$, определенная в области Q^2 , является периодическим продолжением функции $\bar{\psi}_2(y)$, заданной на отрезке $|y| < T_{\psi_2}/2$ так, что $\bar{\psi}_2(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta_2/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta_2/2$. Параметры T_{ψ_1} , T_{ψ_2} , Δ_1 и Δ_2 - заданные параметры, такие, что величина $\Delta_1/T_{\psi_1} \leq 1/2$, $\Delta_2/T_{\psi_2} \leq 1/2$. Период T_{ϕ} линз Френеля по оси Oy , равный $T_{\phi} = L_y/M$, отличается от периодов T_{ψ_1} и T_{ψ_2} не более чем на 5%, при этом величины $(T_{\phi} - T_{\psi_1})$ и $(T_{\phi} - T_{\psi_2})$ имеют разные знаки. Таким образом, выполняется одно из двух соотношений: либо $T_{\psi_1} < T_{\phi} < T_{\psi_2}$, либо $T_{\psi_2} < T_{\phi} < T_{\psi_1}$. Графики функций $\psi_1(y)$ и $\psi_2(y)$ представлены на фиг. 16.

На фиг. 17 представлен фрагмент микроструктуры микрооптической системы согласно п.6 формулы изобретения. Представленный фрагмент состоит из фрагментов областей Q^1 и Q^2 , которые расположены слева и справа относительно оси $x=0$. Фазовые функции $\phi_{ij}(x,y)$ в областях Q^1 и Q^2 совпадают, а функции $\psi_1(y)$ и $\psi_2(y)$ являются различными. Глубина микрорельефа в точке (x,y) пропорциональна потемнению в этой точке.

При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, представленные на фиг. 14, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны. При углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение (фиг. 12).

На фиг. 18 представлен другой вариант разбиения защитной нити на области Q^1 и Q^2 . Такой вариант можно эффективно применять при ширине нити более 4 мм. На фиг. 19 приведены изображения, видимые наблюдателю при углах дифракции менее 60° (а) и более 60° (б) для защитной нити шириной 4,5 мм. Эффект движения черных и белых полос при углах дифракции менее 60° визуально легко контролируется. При углах дифракции более 60° на всей области оптического элемента наблюдатель видит другое цветное изображение.

В предпочтительном варианте реализации микрооптических систем формирования визуальных изображений с кинематическими эффектами движения можно использовать вариант по пп.3, 4 формулы изобретения либо вариант по пп.5, 6 формулы изобретения.

Центральным моментом технологии является запись оригинала микрооптической системы. Микрооптические системы, предложенные в заявленном изобретении, изготавливаются с помощью электронно-лучевой технологии. Электронно-лучевая литография имеет очень высокое разрешение (не хуже 0,1 мкм) и обеспечивает необходимую точность изготовления микрорельефа порядка 20 нм. В настоящее время в области изготовления защитных голограмм работают сотни фирм. Практически все они используют для записи оригиналов защитных элементов оптические технологии. К оптическим методам синтеза оригиналов относятся технологии KineMax, Kinegram и др. (van Renesse, Rudolf L, Optical Document Security, 3rd ed. British Library Cataloguing in Publication Data, 2005, ISBN 1-58053-258-6, van Renesse, Rudolf L, Optical Document Security, 2nd ed. British Library Cataloguing in Publication Data, 1998, ISBN 0-89006-982-4). Изготовить оригинал заявленной микрооптической системы с помощью описанных технологий невозможно. Электронно-лучевая технология не является распространенной и очень наукоемка, что надежно защищает заявленные в полезной модели микрооптические системы от подделок.

Основные отличия заявленной микрооптической системы от прототипа заключаются в следующем.

1. Заявленная микрооптическая система состоит из многоградационных дифракционных оптических элементов - плоских линз Френеля с параболической фазовой функцией и фрагментов дифракционных решеток. В отличие от прототипа, в котором используются фрагменты круглых внеосевых линз Френеля, в заявленном изобретении используются фрагменты осевых линз Френеля прямоугольной формы. В прототипе характерный размер используемых внеосевых круглых линз Френеля лежит в диапазоне от 0,5 до 1,5 мм. В заявленном изобретении размер осевых линз Френеля не превышает 250 мкм. Предпочтительный вариант в прототипе основан на использовании пересекающихся линз Френеля с достаточно большой областью пересечения (порядка 40% и более). В заявленном изобретении линзы не пересекаются.

2. Предложенная в заявке на изобретение технология позволяет изготавливать защитные оптические нити с минимальной шириной от 1 мм. Кинематический эффект движения фрагментов изображения при наклоне оптического элемента, как и в прототипе, легко контролируется визуально. Однако в прототипе оптический защитный элемент формирует изображение, состоящее из ярких точек. При минимальном диаметре круглых линз Френеля порядка 0,5 мм для формирования символов, представляющих собой цифры или буквы, необходимо иметь ширину защитной нити порядка 5 мм. Таким образом, заявленное изобретение позволяет расширить возможности использования оптических защитных элементов с кинематическими эффектами движения для защиты банкнот и ценных бумаг.

3. В отличие от прототипа, формируемое изображение состоит из черных и белых полос. Белые

фрагменты изображения формируются осевыми многоградационными дифракционными линзами Френеля, за формирование черных полос ответственны области оптического элемента, в которых функция $\psi(y)$ равняется нулю. В прототипе визуальное изображение состоит из небольшого набора ярких точек.

4. Заявленную микрооптическую систему отличает возможность наблюдения изображений, формируемых микрооптической системой, в широком диапазоне углов. В предпочтительном варианте изобретения при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$. Кинематический эффект заключается в движении горизонтальных черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны. При углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.

5. Заявленный диапазон параметров микрооптической системы обеспечивает в диапазоне углов наблюдения $\theta < 60^\circ$ диаграмму направленности, одинаковую для левого и правого глаза, что обеспечивает более четкое, по сравнению с прототипом, изображение. В прототипе изображение формируется как яркая точка внутри круглой линзы Френеля, при этом изображения для левого и правого глаза отличаются друг от друга.

6. Заявленная микрооптическая система обладает большей защищенностью, поскольку используются только многоградационные осевые линзы Френеля. Точность формирования микрорельефа по высоте должна составлять не более 20 нм. Формирование микрорельефа таких оптических элементов является сложной научно-технической задачей, которая решается только с помощью электронно-лучевой литографии (Гончарский А.А. Об одной задаче синтеза нанооптических элементов// Вычислительные методы и программирование, 2008, т. 9, с. 405). Это существенно ограничивает круг технологий, которые позволяют изготовить оригинал заявленной микрооптической системы. С помощью изготовленного по электронно-лучевой технологии оригинала заявленная микрооптическая система может быть тиражирована с помощью стандартного оборудования для изготовления защитных голограмм, что обеспечивает низкую цену оптических защитных элементов.

Совокупность заявленных признаков обеспечивает достижение заявленного технического результата.

В качестве примера реализации изобретения были изготовлены четыре микрооптические системы, представляющие собой отражающую голографическую нить для защиты банкнот и ценных бумаг шириной 2, 3 и 4,5 мм. Для формирования микрорельефа использовались выпуклые и вогнутые прямоугольные линзы Френеля с параболической фазовой функцией. Размер прямоугольников Q_{ij} - порядка 100×200 мкм. Минимальный размер крайней зоны линз Френеля составляет порядка 1,2 мкм. Количество зон Френеля составляет порядка 50. Размер центральной зоны порядка 10 мкм. Схема наблюдения микрооптической системы при углах дифракции $\theta < 60^\circ$ приведена на фиг. 9, схема наблюдения при углах дифракции $\theta > 60^\circ$ приведена на фиг. 11. Для формирования изображения при больших углах дифракции использовались дифракционные решетки с периодами 0,45 и 0,55 мкм. Размер фрагментов дифракционных решеток равен 20 мкм.

С помощью электронно-лучевой литографии были изготовлены оригиналы микрооптических систем. С помощью гальванопластики были изготовлены мастер-матрицы микрооптических систем. После стандартной голографической процедуры мультипликации до размера $152,4 \times 152,4$ мм были изготовлены мультиплицированные мастер-матрицы, с которых были изготовлены рабочие матрицы для прокатки. На стандартном оборудовании для прокатки была изготовлена голографическая фольга шириной 20 см. После нанесения клеевых слоев и резки были изготовлены образцы голографической нити шириной 2, 3 и 4,5 мм.

Пример 1.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по пп. 1, 2 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую нить шириной 2 мм. На фиг. 1 параметр $L_x = 2$ мм, параметр $L_y = 30,42$ мм. На фиг. 2 приведена схема разбиения оптического элемента на элементарные области Q_{ij} . Для формирования линз Френеля использовалась фазовая функция $\varphi_{ij}^+(x, y)$. Различие периодов $T_\varphi = 202,8$ мкм и $T_\psi = 195$ мкм составило 3,85%. Цветное изображение, видимое при больших углах дифракции, более 60° , приведено на фиг. 12. Монохроматическое изображение, видимое при углах дифракции менее 60° , представлено на фиг. 10. Монохроматическое изображение состоит из черных и белых полос,двигающихся при наклоне голографической нити вверх/вниз.

Пример 2.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по пп.3, 4 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую нить шириной 3 мм. На фиг. 1 параметр $L_x=3$ мм, параметр $L_y=30,42$ мм. На фиг. 13(a) приведена схема разбиения области Q оптического элемента на области Q^1 и Q^2 . Для формирования линз Френеля использовались фазовые функции $\varphi_{ij}^+(x,y)$ для области Q^1 и $\varphi_{ij}^-(x,y)$ для области Q^2 . Различие периодов $T_\varphi=202,8$ мкм и $T_\psi=195$ мкм составило 3,85%. Цветное изображение, видимое при больших углах дифракции, более 60° , приведено на фиг. 12. Монохроматическое изображение, видимое при углах дифракции менее 60° , представлено на фиг. 14. Монохроматическое изображение состоит из черных и белых полос,двигающихся навстречу друг другу при наклоне голографической нити вверх-вниз.

Пример 3.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по пп.5, 6 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую нить шириной 3 мм. На фиг. 1 параметр $L_x=3$ мм, параметр $L_y=30,42$ мм. На фиг. 13(б) приведена схема разбиения области Q оптического элемента на области Q^1 и Q^2 . Для формирования линз Френеля в областях Q^1 и Q^2 использовалась фазовая функция $\varphi_{ij}^+(x,y)$. Различие периодов $T_{\psi 1}=195,2$ мкм и $T_{\psi 2}=208,8$ мкм составило 6,51%. Периоды $T_\varphi (=202,8$ мкм), $T_{\psi 1}$ и $T_{\psi 2}$ выбирались так, чтобы величины $(T_\varphi-T_{\psi 1})$ и $(T_\varphi-T_{\psi 2})$ имели разные знаки. Цветное изображение, видимое при больших углах дифракции, более 60° , приведено на фиг. 12. Монохроматическое изображение, видимое при углах дифракции менее 60° , представлено на фиг. 14. Монохроматическое изображение состоит из черных и белых полос,двигающихся навстречу друг другу при наклоне голографической нити вверх-вниз.

Пример 4.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по пп.3, 4 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую нить шириной 4,5 мм. На фиг. 1 параметр $L_x=4,5$ мм, параметр $L_y=30,42$ мм. На фиг. 18 приведена схема разбиения области Q оптического элемента на области Q^1 и Q^2 . Для формирования линз Френеля использовались фазовые функции $\varphi_{ij}^+(x,y)$ для области Q^1 и $\varphi_{ij}^-(x,y)$ для области Q^2 . Различие периодов $T_\varphi=202,8$ мкм и $T_\psi=195$ мкм составило 3,85%. Цветное изображение, видимое при больших углах дифракции, более 60° , приведено на фиг. 19(б). Монохроматическое изображение, видимое при углах дифракции менее 60° , представлено на фиг. 19(а). Монохроматическое изображение состоит из черных и белых полос,двигающихся навстречу друг другу при наклоне голографической нити вверх-вниз.

Изготовленные образцы нити продемонстрировали высокую эффективность предложенной в заявке на изобретение технологии для изготовления защитных голографических нитей. Визуальные изображения легко контролируются. Микрооптические системы надежно защищены от подделки. Микрооптические системы, заявленные в изобретении, могут быть использованы для защиты банкнот, ценных бумаг, документов, акцизных марок, пластиковых карт.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений с кинематическими эффектами движения, представляющая собой плоский отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, отличающаяся тем, что область Q оптического элемента, представляющая собой прямоугольник $|x|\leq L_x/2$ $|y|\leq L_y/2$, разбита на элементарные области Q_{ij} размером не более 250 мкм с центрами в точках (x_i, y_j) , $i=1 \dots N$, $j=1 \dots M$, в каждой области Q_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) каждой элементарной области Q_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y)=\varphi_{ij}(x,y)\cdot\psi(y)$, $i=1 \dots N$, $j=1 \dots M$, где $\varphi_{ij}(x,y)$ представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi_{ij}(x,y)=C[(x-x_i)^2+(y-y_j)^2]$, где C - заданный параметр, а функция $\psi(y)$ является периодическим продолжением функции $\bar{\psi}(y)$, заданной на отрезке $|y|\leq T_\psi/2$ так, что $\bar{\psi}(y)$ равно 1, если $|y|\leq \Delta/2$, и равно 0, если $|y|>\Delta/2$, где T_ψ и Δ - заданные параметры, такие, что величина $\Delta/T_\psi\leq 1/2$, причем период T_φ линз Френеля по оси Oy, равный $T_\varphi=L_y/M$, отличается от периода T_ψ не более чем на 5%, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, состоящее из черных и белых полос, которое не меняется при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ<\beta<15^\circ$, кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ<\alpha<30^\circ$.

2. Микрооптическая система по п.1, отличающаяся тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x,y)$ равна нулю, заполняется дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм, при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.

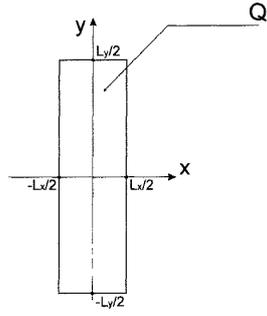
3. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений с кинематическими эф-

фактами движения, представляющая собой плоский отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, отличающаяся тем, что в области Q оптического элемента, представляющей собой прямоугольник $|x| \leq L_x/2$ $|y| \leq L_y/2$, выделены две непересекающиеся области: область Q^1 , состоящая из точек (x,y) области Q с положительными координатами x, и область Q^2 , состоящая из точек (x,y) области Q с отрицательными координатами x, каждая из областей Q^1 и Q^2 разбивается на элементарные области Q^1_{ij} и Q^2_{ij} размером не более 250 мкм с центрами в точках (x_i, y_j) , $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, в каждой области Q^1_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^1_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi^+_{ij}(x,y) \psi(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, где $\varphi^+_{ij}(x,y)$ представляет собой фазовую функцию вогнутой осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi^+_{ij}(x,y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный положительный параметр, в каждой области Q^2_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^2_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi^-_{ij}(x,y) \psi(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, где $\varphi^-_{ij}(x,y)$ представляет собой фазовую функцию выпуклой осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi^-_{ij}(x,y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный отрицательный параметр, функция $\psi(y)$, определенная во всей области Q, является периодическим продолжением функции $\tilde{\psi}(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_\psi/2$ так, что $\tilde{\psi}(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta/2$, где T_ψ и Δ - заданные параметры, такие, что величина $\Delta/T_\psi \leq 1/2$, причем период T_ψ линз Френеля по оси Oy, равный $T_\psi = L_y/M$, отличается от периода T_ψ не более чем на 5%, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$, кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны.

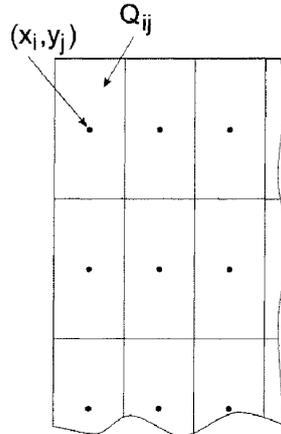
4. Микрооптическая система по п.3, отличающаяся тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x,y)$ равна нулю, заполняется дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм, при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.

5. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений с кинематическими эффектами движения, представляющая собой плоский отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, отличающаяся тем, что в области Q оптического элемента, представляющей собой прямоугольник $|x| \leq L_x/2$ $|y| \leq L_y/2$, выделены две непересекающиеся области: область Q^1 , состоящая из точек (x,y) области Q с положительными координатами x, и область Q^2 , состоящая из точек (x,y) области Q с отрицательными координатами x, каждая из областей Q^1 и Q^2 разбивается на элементарные области Q^1_{ij} и Q^2_{ij} размером не более 250 мкм с центрами в точках (x_i, y_j) , $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, в каждой из областей Q^1_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^1_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi_{ij}(x,y) \cdot \psi_1(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, в каждой из областей Q^2_{ij} рассчитывается и изготавливается плоский оптический элемент с фазовой функцией $\Phi(x,y)$, которая в точке (x,y) элементарной области Q^2_{ij} вычисляется по формуле $\Phi(x,y) = \varphi_{ij}(x,y) \cdot \psi_2(y)$, $i=1 \dots N/2$, $j=1 \dots M$, где $\varphi_{ij}(x,y)$ представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке (x_i, y_j) , вычисляемую по формуле $\varphi_{ij}(x,y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$, где C - заданный параметр, функция $\psi_1(y)$, определенная в области Q^1 , является периодическим продолжением функции $\tilde{\psi}_1(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_{\psi_1}/2$ так, что $\tilde{\psi}_1(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta_1/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta_1/2$, а функция $\psi_2(y)$, определенная в области Q^2 , является периодическим продолжением функции $\tilde{\psi}_2(y)$, заданной на отрезке $|y| \leq T_{\psi_2}/2$ так, что $\tilde{\psi}_2(y)$ равно 1, если $|y| \leq \Delta_2/2$, и равно 0, если $|y| > \Delta_2/2$, где T_{ψ_1} T_{ψ_2} , Δ_1 и Δ_2 - заданные параметры, такие, что величина $\Delta_1/T_{\psi_1} \leq 1/2$, $\Delta_2/T_{\psi_2} \leq 1/2$, причем период T_ψ линз Френеля по оси Oy, равный $T_\psi = L_y/M$, отличается от периодов T_{ψ_1} и T_{ψ_2} не более чем на 5%, а величины $(T_\psi - T_{\psi_1})$ и $(T_\psi - T_{\psi_2})$ имеют разные знаки, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит в областях Q^1 и Q^2 изображения, состоящие из черных и белых полос, которые не меняются при повороте оптического элемента вправо/влево в диапазоне углов наклона $-15^\circ < \beta < 15^\circ$, кинематический эффект заключается в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента вверх/вниз в диапазоне углов $-30^\circ < \alpha < 30^\circ$, причем направления движения полос в областях Q^1 и Q^2 взаимно противоположны.

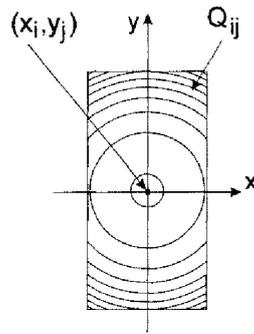
6. Микрооптическая система по п.5, отличающаяся тем, что область Q оптического элемента, в которой фазовая функция $\Phi(x,y)$ равна нулю, заполняется дифракционными решетками разной ориентации с разными периодами, не превосходящими 0,6 мкм, при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции более 60° наблюдатель видит другое цветное изображение.



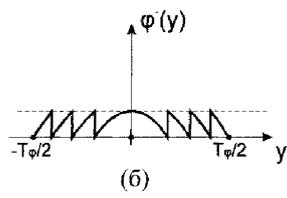
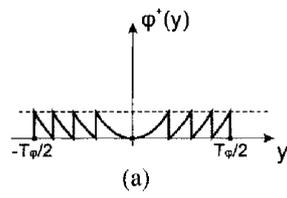
Фиг. 1



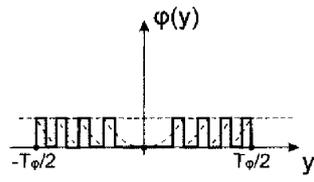
Фиг. 2



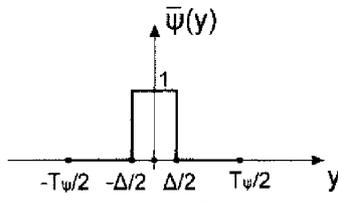
Фиг. 3



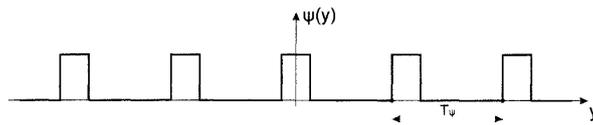
Фиг. 4



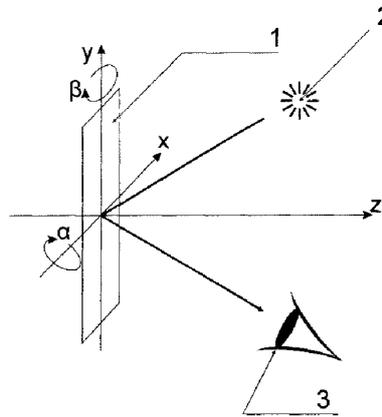
Фиг. 5



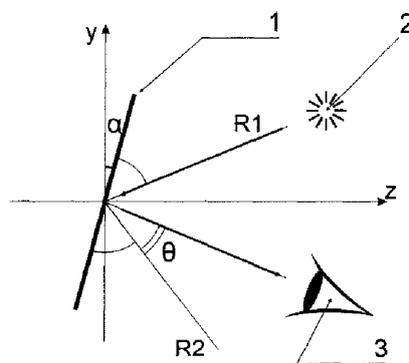
Фиг. 6



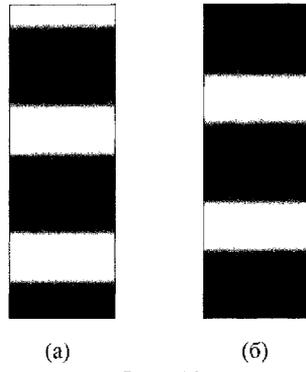
Фиг. 7



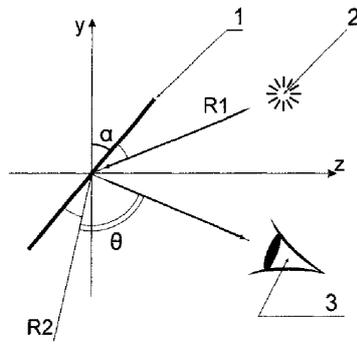
Фиг. 8



Фиг. 9



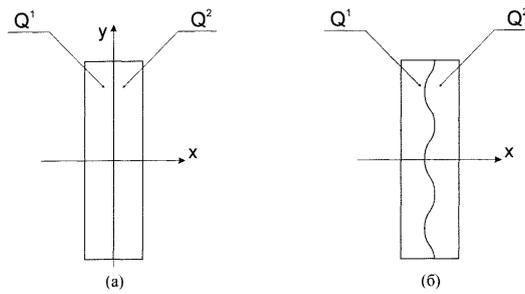
Фиг. 10



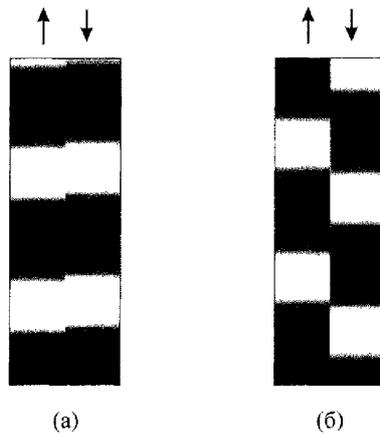
Фиг. 11



Фиг. 12

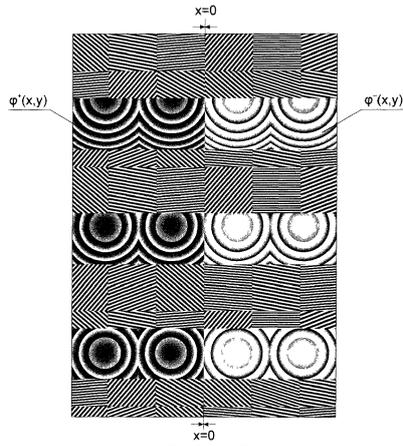


Фиг. 13

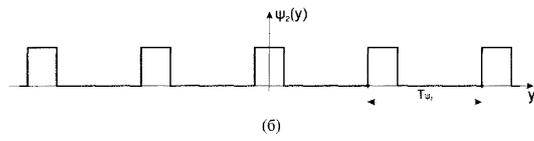
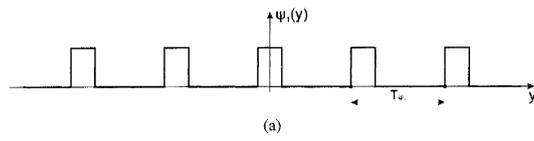


Фиг. 14

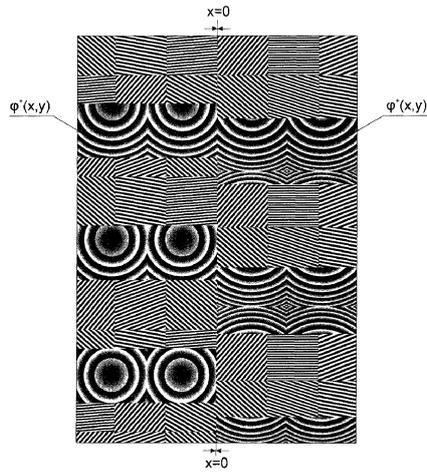
030058



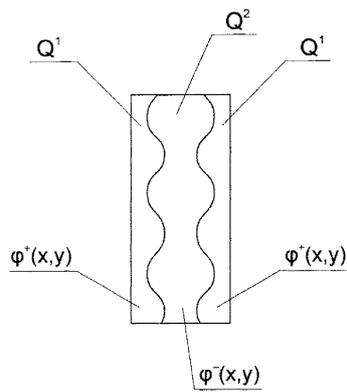
Фиг. 15



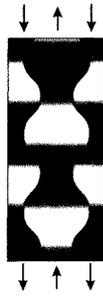
Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18



(a)



(б)

Фиг. 19

