

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034156**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.01.13**

(21) Номер заявки  
**201900247**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.02.20**

(51) Int. Cl. **B42D 25/324** (2006.01)  
**B42D 25/328** (2006.01)  
**G02B 27/42** (2006.01)

---

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

---

(43) **2019.12.30**

(96) **2019000009 (RU) 2019.02.20**

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

(56) EA-B1-030058  
US-A1-2009021840  
US-B1-6342969  
GB-A-2477221

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

---

(57) Заявленная в качестве изобретения 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 представляет собой отражающий плоский однослойный фазовый элемент, который состоит из фрагментов многоградационных плоских осевых линз Френеля с параболической фазовой функцией и дифракционных решеток. Конструкция оптического элемента обеспечивает возможность формирования изображений, состоящих из букв, цифр или символов, с кинематическими эффектами движения. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° микрооптическая система формирует эффекты смены двух изображений и эффекты движения фрагментов изображения при наклонах оптического элемента влево/вправо и вверх/вниз. При углах дифракции более 60° на всей области микрооптической системы наблюдатель видит другое цветное изображение. Заявленная 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.

---

**034156**  
**B1**

**034156**  
**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, 3<sup>rd</sup> ed. British Library Cataloguing in Publication Data, 2005, ISBN 1-58053-258-6, van Renesse, Rudolf L, Optical Document Security, 2<sup>nd</sup> 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.

Близким к заявленному изобретению 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. Изображение может состоять из цифр, букв, символов. 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. В предпочтительном варианте для формирования изображения используются бинарные линзы Френеля. В другом варианте изобретения плоские линзы Френеля являются многоградационными, что увеличивает защищенность оптического элемента от подделки.

Наиболее близким к заявленному изобретению (прототип) по совокупности признаков является патент на изобретение (EA030058(B1)). 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. Кинематический эффект визуально легко контролируется и слабо зависит от освещения. Визуальное изображение состоит из черных и белых полос, что, в определенной степени, ограничивает вариативность реализации изобретения. В отличие от прототипа в заявленном изобретении изображение состоит из разных букв, цифр или символов, что расширяет возможности использования изобретения как для защиты банкнот, так и для защиты документов, пластиковых карт, акцизных марок и брендов. Также, как и в прототипе, в заявленном изобретении используются фрагменты многоградационных линз Френеля и дифракционные решетки с малыми периодами, ориентированные на использование электронно-лучевой технологии на этапе изготовления оригинала.

Задачей настоящего изобретения является расширение, по сравнению с прототипом, возможностей визуального контроля, повышение защищенности микрооптической системы от подделки, а также в обеспечении возможности реализации с использованием существующего стандартного оборудования.

Поставленная задача с достижением указанного технического результата решается в заявленной микрооптической системе формирования визуальных изображений по п.1 формулы изобретения. Микрооптическая система представляет собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения. Область Q оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом T<sub>φ</sub> на элементарные области Q<sub>ij</sub>, размером не более 250 мкм с центрами в точках (x<sub>i</sub>, y<sub>j</sub>), i=1 ... N, j=1 ... M. В каждой области Q<sub>ij</sub> рассчитывается микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией Φ(x,y), которая в точке (x,y) каждой элементарной области Q<sub>ij</sub> вычисляется по формуле Φ(x,y)=(φ<sub>ij</sub>(x,y)·ψ(x,y), i=1 ... N, j=1 ... M.

Функция (φ<sub>ij</sub>(x,y) представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке (x<sub>i</sub>, y<sub>j</sub>), вычисляемую по формуле φ<sub>ij</sub>(x,y)=C[(x-x<sub>i</sub>)<sup>2</sup>+(y-y<sub>j</sub>)<sup>2</sup>], где C - заданный параметр. Функция ψ(x,y) является периодическим продолжением с периодом T<sub>ψ</sub> функции Ψ(x,y), задающей бинарное изображение буквы, цифры или символа, причем период T<sub>φ</sub> линз Френеля и период T<sub>ψ</sub> не совпадают, но отличаются не более чем на 5%. В каждой элементарной области Q<sub>ij</sub> выделяются подобласти с фазовой функцией Φ(x,y), равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками раз-

ной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, состоящее из светлых букв на темном фоне. Кинематический эффект заключается в движении букв при наклонах оптического элемента. При углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение.

Микрооптическая система для формирования визуальных изображений по п.2 формулы изобретения представляет собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения. Область Q оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом  $T_\phi$  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 микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией  $\Phi(x, y)$ , которая в точке  $(x, y)$  каждой элементарной области  $Q_{ij}$  вычисляется по формуле  $\Phi(x, y) = \phi_{ij}(x, y) \cdot \psi(x, y)$ . Функция  $\phi_{ij}(x, y)$  представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке  $(x_i, y_j)$ , вычисляемую по формуле  $\phi_{ij}(x, y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$ , где C - заданный параметр.

Бинарная функция  $\psi(x, y)$  является логическим сложением двух бинарных функций  $\psi^{(1)}(x, y)$  и  $\psi^{(2)}(x, y)$ , являющихся периодическими продолжениями с периодом  $T_\psi^{(1)}$  функции  $\bar{\psi}^{(1)}(x, y)$  и с периодом  $T_\psi^{(2)}$  функции  $\bar{\psi}^{(2)}(x, y)$ . Функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x, y)$  задает первое бинарное изображение буквы, цифры или символа, функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x, y)$  задает второе бинарное изображение буквы, цифры или символа, причем период  $T_\phi$  линз Френеля и периоды  $T_\psi^{(1)}$  и  $T_\psi^{(2)}$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%. В каждой элементарной области  $Q_{ij}$  выделяются подобласти с фазовой функцией  $\Phi(x, y)$ , равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента два изображения, заданные функциями  $\psi^{(1)}(x, y)$  и  $\psi^{(2)}(x, y)$ . Кинематический эффект заключается в движении фрагментов изображений при наклонах оптического элемента. При углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение.

Микрооптическая система для формирования визуальных изображений по п.3 формулы изобретения, отличается от микрооптической системы по п.2 формулы изобретения тем, что параметры  $\Delta_T^{(1)} = T_\psi^{(1)} - T_\phi$  и  $\Delta_T^{(2)} = T_\psi^{(2)} - T_\phi$  отличаются знаком. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента два изображения. Кинематический эффект заключается в движении фрагментов изображений, формируемых функциями  $\psi^{(1)}(x, y)$  и  $\psi^{(2)}(x, y)$ , навстречу друг другу при наклонах оптического элемента.

Микрооптическая система для формирования визуальных изображений по п.4 представляет собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения. Область Q оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом  $T_\phi$  на элементарные области  $Q_{ij}$ , размером не более 250 мкм с центрами в точках  $(x_i, y_j)$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ . Каждая элементарная область  $Q_{ij}$  разбивается на две прямоугольные подобласти  $Q_{ij}^{(1)}$  и  $Q_{ij}^{(2)}$ . В областях  $Q_{ij}^{(1)}$  выполнено соотношение  $u > y_j$ , а в областях  $Q_{ij}^{(2)}$  выполнено соотношение  $u < y_j$ . В каждой области  $Q_{ij}$  рассчитывается микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией  $\Phi(x, y)$ , которая в точке  $(x, y)$  каждой элементарной области  $Q_{ij}$  вычисляется по формуле  $\Phi(x, y) = \phi_{ij}(x, y) \cdot \psi^{(1)}(x, y)$  для точек области  $Q_{ij}^{(1)}$  и по формуле  $\Phi(x, y) = \phi_{ij}(x, y) \cdot \psi^{(2)}(x, y)$  для точек области  $Q_{ij}^{(2)}$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ .

Функция  $\phi_{ij}(x, y)$  представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке  $(x_i, y_j)$ , вычисляемую по формуле  $\phi_{ij}(x, y) = C[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2]$ , где C - заданный параметр. Функции  $\psi^{(1)}(x, y)$  и  $\psi^{(2)}(x, y)$  являются периодическими продолжениями с периодом  $T_\psi$  функции  $\bar{\psi}^{(1)}(x, y)$  и  $\bar{\psi}^{(2)}(x, y)$ . Функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x, y)$  задает первое бинарное изображение буквы, цифры или символа в областях  $Q_{ij}^{(1)}$ , а функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x, y)$  задает второе бинарное изображение буквы, цифры или символа в областях  $Q_{ij}^{(2)}$ , причем период  $T_\phi$  линз Френеля и период  $T_\psi$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%. В каждой элементарной области  $Q_{ij}$  выделяются подобласти с фазовой функцией  $\Phi(x, y)$ , равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции от 0 до  $+30^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, заданное функцией  $\psi^{(1)}(x, y)$ , а при углах от 0 до  $-30^\circ$  другое изображение, заданное функцией  $\psi^{(2)}(x, y)$ . Кинематический эффект заключается как в смене двух изображений, так и в движении фрагментов изображений при наклонах оптического элемента. При углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение.

Микрооптическая система для формирования визуальных изображений по п.5 формулы изобретения представляет собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения.

Область  $Q$  оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом  $T_\phi$  на элементарные области  $Q_{ij}$  с центрами в точках  $(x_i, y_j)$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ , причем в каждой элементарной области  $Q_{ij}$  содержится область  $\tilde{Q}_{ij}$ , размером не более 250 мкм с центром в точке  $(x'_i, y'_j)$ . В каждой области  $Q_{ij}$  рассчитывается микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией  $\Phi(x, y)$ , которая равна нулю для любой точки  $(x, y)$ , не принадлежащей  $\tilde{Q}_{ij}$ . В каждой точке  $(x, y)$  элементарной области  $Q_{ij}$ , принадлежащей  $\tilde{Q}_{ij}$ , фазовая функция  $\Phi(x, y)$  вычисляется по формуле  $\Phi(x, y) = \varphi_{ij}(x, y) \cdot \psi(x + \Delta_x, y + \Delta_y)$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ .

Функция  $\varphi_{ij}(x, y) = C[(x-x'_i)^2 + (y-y'_j)^2]$ , где  $C$  - заданный параметр. Функция  $\psi(x, y)$  является периодическим продолжением с периодом  $T_\psi$  функции  $\Psi(x, y)$ , задающей бинарное изображение буквы, цифры или символа. Параметры  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$  вычисляются по формулам  $\Delta_x = (T_\psi/T_\phi) \cdot (x_i - x'_i)$ ,  $\Delta_y = (T_\psi/T_\phi) \cdot (y_j - y'_j)$ , причем период  $T_\phi$  и период  $T_\psi$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%. В каждой элементарной области  $Q_{ij}$  выделяются подобласти с фазовой функцией  $\Phi(x, y)$ , равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области  $Q$  оптического элемента изображение, состоящее из светлых букв на темном фоне. Кинематический эффект заключается в движении букв при наклонах оптического элемента. При углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение.

- Сущность изобретения поясняется изображениями, где
- на фиг. 1 приведена схема разбиения области оптического элемента на элементарные области  $Q_{ij}$ ;
  - на фиг. 2 приведены сечения фазовых функций  $\varphi(x, y)$  осевых линз Френеля;
  - на фиг. 3 приведена схема расположения плоских линз Френеля в области  $Q$  оптического элемента;
  - на фиг. 4 приведена бинарная функция  $\Psi(x, y)$  для формирования оптического элемента по п.1 формулы изобретения;
  - на фиг. 5 приведена бинарная функция  $\psi(x, y)$ ;
  - фиг. 6 иллюстрирует соотношение между периодами  $T_\phi$  и  $T_\psi$ ;
  - на фиг. 7 приведен фрагмент фазовой функции  $\Phi(x, y)$  по п.1 формулы изобретения;
  - на фиг. 8 приведен фрагмент структуры микрорельефа по п.1 формулы изобретения;
  - на фиг. 9 приведена схема наблюдения при наклонах плоского дифракционного оптического элемента;
  - на фиг. 10 приведена схема наблюдения плоского дифракционного оптического элемента при углах наклона от 0 до  $+30^\circ$  ("от себя");
  - на фиг. 11 приведена схема наблюдения плоского дифракционного оптического элемента при углах наклона от 0 до  $-30^\circ$  ("на себя");
  - на фиг. 12 приведена схема наблюдения плоского дифракционного оптического элемента при углах дифракции более  $60^\circ$ ;
  - на фиг. 13 показано изображение, видимое наблюдателю при углах дифракции менее  $60^\circ$  по п.1 формулы изобретения;
  - на фиг. 14 показано изображение, видимое наблюдателю при углах дифракции более  $60^\circ$ ;
  - на фиг. 15 приведена бинарная функция  $\tilde{\Psi}^{(1)}(x, y)$  по п.2 формулы изобретения;
  - на фиг. 16 приведена бинарная функция  $\tilde{\Psi}^{(2)}(x, y)$  по п.2 формулы изобретения;
  - на фиг. 17 приведен фрагмент бинарной функции  $\psi(x, y)$ ;
  - на фиг. 18 приведены изображения, видимые наблюдателю при углах дифракции менее  $60^\circ$  при наклонах оптического элемента по п.2 формулы изобретения;
  - на фиг. 19 приведены бинарные функции  $\tilde{\Psi}^{(1)}(x, y)$  (фиг. 19а) и  $\tilde{\Psi}^{(2)}(x, y)$  (фиг. 19б), задающие изображения по п.4 формулы изобретения;
  - на фиг. 20 приведена схема формирования функций  $\psi^{(1)}(x, y)$  и  $\psi^{(2)}(x, y)$  в областях  $Q_{ij}^{(1)}$  и  $Q_{ij}^{(2)}$ ;
  - на фиг. 21 приведен фрагмент фазовой функции  $\Phi(x, y)$  оптического элемента по п.4 формулы изобретения;
  - на фиг. 22 приведен фрагмент структуры микрорельефа оптического элемента по п.4 формулы изобретения;
  - на фиг. 23 приведены изображения, видимые наблюдателю при наклонах оптического элемента по п.4 формулы изобретения;
  - на фиг. 24 приведена схема формирования микрорельефа в области  $\tilde{Q}_{ij}$  по п.5 формулы изобретения;
  - на фиг. 25 приведены схемы разбиения областей  $Q_{ij}$  на подобласти  $\tilde{Q}_{ij}$ ;
  - на фиг. 26 приведен фрагмент фазовой функции  $\Phi(x, y)$  оптического элемента в области  $Q_{ij}$  по п.5 формулы изобретения;

на фиг. 27 приведен фрагмент структуры микрорельефа оптического элемента в области  $Q_{ij}$  по п.5 формулы изобретения;

на фиг. 28 приведены бинарные функции  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  (фиг. 28а) и  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$  (фиг. 28б), задающие изображения по пп.4 и 5 формулы изобретения;

на фиг. 29 приведен фрагмент фазовой функции  $\Phi(x,y)$  оптического элемента по пп.4 и 5 формулы изобретения;

на фиг. 30 приведен фрагмент структуры микрорельефа оптического элемента по пп.4 и 5 формулы изобретения;

на фиг. 31 приведены изображения, видимые наблюдателю при разных наклонах оптического элемента.

Микрооптическая система, заявленная в настоящем изобретении, представляет собой отражающий плоский однослойный фазовый оптический элемент, состоящий из многоградационных дифракционных элементов - фрагментов осевых линз Френеля и дифракционных решеток. Каждый плоский оптический элемент однозначно задается своей фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ . (Гончарский А.В., Гончарский А.А. "Компьютерная оптика. Компьютерная голография" Изд-во МГУ, Москва 2004, ISBN 5-211-04902-0). Задание фазовой функции полностью определяет глубину микрорельефа  $h(x,y)$ . В каждом пункте формулы изобретения в явном виде приведена формула расчета фазовой функции  $\Phi(x,y)$  в элементарных областях  $Q_{ij}$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ . На фиг. 1 приведен фрагмент области  $Q$  оптического элемента, разбитый с периодом  $T_\phi$  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. Микрооптическая система формируется с помощью фрагментов осевых линз Френеля. На фиг. 2 приведены сечения функций  $\phi^+(x,y)$  и  $\phi^-(x,y)$  при  $x=x_i$ . В качестве фазовых функций линз Френеля используются  $\phi^+(x,y)$  для вогнутых линз и  $\phi^-(x,y)$  для выпуклых линз, заданные соотношением  $\phi_{ij}(x,y)=C[(x-x_i)^2+(y-y_j)^2]$ , где  $C$  - заданный параметр.

Функция  $\phi^+(x,y)$  соответствует параметру  $C>0$ , функция  $\phi^-(x,y)$  соответствует параметру  $C<0$ . Приведенные на фиг. 2 фазовые функции соответствуют многоградационным фазовым элементам (Гончарский А.В., Гончарский А.А. "Компьютерная оптика. Компьютерная голография" Изд-во МГУ, Москва 2004, ISBN 5-211-04902-0). На фиг. 3 приведена схема расположения плоских линз Френеля в области  $Q$  оптического элемента. В каждой элементарной области  $Q_{ij}$  рассчитывается осевая параболическая линза Френеля с центром в точке  $(x_i, y_j)$ . Глубина микрорельефа в точке  $(x,y)$  каждой элементарной области  $Q_{ij}$  на фиг. 3 определяется функцией  $\phi_{ij}(x,y)$  и пропорциональна степени потемнения в точке  $(x,y)$ .

Для формирования визуального изображения при углах дифракции менее  $60^\circ$  вводится бинарная функция  $\psi(x,y)$ , которая является периодическим продолжением с периодом  $T_\psi$  бинарной функции  $\bar{\psi}(x,y)$ , изображенной на фиг. 4. Бинарная функция  $\bar{\psi}(x,y)$  задает изображение буквы, цифры или символа, периодические повторения которого будут видны наблюдателю на всей области  $Q$  оптического элемента, изготовленного по п.1 формулы изобретения, при углах дифракции менее  $60^\circ$  (фиг. 13). Фрагмент функции  $\psi(x,y)$  приведен на фиг. 5. Периоды  $T_\phi$  и  $T_\psi$ , для микрооптических систем по п.1 формулы изобретения должны удовлетворять следующим соотношениям:

1. Периоды  $T_\phi$  и  $T_\psi$  должны отличаться друг от друга.
2. Различие между значениями  $T_\phi$  и  $T_\psi$  не должно превышать 5%.

Эти условия являются принципиальными для реализации заявленных микрооптических систем. Например, если период  $T_\phi$  совпадает с  $T_\psi$ , то при углах дифракции  $\theta<60^\circ$  сформировать изображение не представляется возможным. При большом различии параметров  $T_\phi$  и  $T_\psi$  кинематический эффект движения, как и размеры букв, цифр или символов, будет незначительными. Фиг. 6 иллюстрирует соотношение между периодами  $T_\phi$  и  $T_\psi$ . Белые пунктирные линии обозначают разбиение на элементарные области  $Q_{ij}$  с периодом  $T_\phi$ , а сплошные обозначают функции  $\bar{\psi}(x,y)$ , продолженные с периодом  $T_\psi$  на всю область  $Q$  оптического элемента. На фиг. 7 приведен фрагмент фазовой функции  $\Phi(x,y)=\phi_{ij}(x,y)\cdot\psi(x,y)$  по п.1 формулы изобретения. Тонкими линиями обозначено разбиение области  $Q$  оптического элемента на элементарные области  $Q_{ij}$  с периодом  $T_\phi$ . Для отражающего плоского дифракционного оптического элемента при нормальном падении света на оптический элемент глубина микрорельефа вычисляется как  $h(x,y)=0,5\Phi(x,y)$ . (Гончарский А.В., Гончарский А.А. "Компьютерная оптика. Компьютерная голография" Изд-во МГУ, Москва 2004, ISBN 5-211-04902-0). Глубина микрорельефа в каждой точке  $(x,y)$  оптического элемента пропорциональна степени потемнения на фиг. 7. Максимальная глубина микрорельефа для многоградационных плоских отражающих микрооптических элементов не превышает 0.3 мкм. Функция  $\Phi(x,y)$  определяет изображение, видимое наблюдателю при углах дифракции меньше  $60^\circ$ . Для формирования изображения при углах дифракции больше  $60^\circ$  используются фрагменты дифракционных решеток с периодами 0.35-1.0 мкм. На фиг. 8 приведен фрагмент структуры микрорельефа оптического элемента, изготовленного по п.1 формулы изобретения. Как видно из фиг. 8 фрагменты дифракционных решеток расположены в областях с фазовой функцией равной константе. На фиг. 7 эти области обозначены белым цветом. Площадь, занятая дифракционными решетками, на фиг. 8 составляет примерно 20% от площади каждой элементарной области  $Q_{ij}$ .

На фиг. 9 представлена схема расположения микрооптической системы 1 относительно плоскости  $O_{xy}$ . Микрооптическая система освещается точечным источником 2, расположенным в плоскости  $O_{yz}$ . Оптический элемент может поворачиваться вокруг оси  $O_x$  на угол  $\alpha$ . Угол поворота оптического элемента вокруг оси  $O_y$  обозначим как  $\beta$ . Глаз наблюдателя 3 находится в плоскости  $O_{yz}$ . Наклоны оптического элемента вверх-вниз осуществляются вокруг оси  $O_x$ , наклоны оптического элемента влево-вправо осуществляются вокруг оси  $O_y$ .

Изображение при углах дифракции менее  $60^\circ$  формируется с помощью фрагментов осевых линз Френеля с параболической фазовой функцией. Важным параметром, характеризующим плоские осевые линзы Френеля, является размер крайних зон Френеля. В заявляемом изобретении размер крайних зон Френеля не превышает 1,2 мкм. Благодаря тому, что размер крайних зон Френеля не превосходит 1,2 мкм, обеспечивается широкая диаграмма направленности отраженного от микрооптической системы света. Фрагменты линз Френеля формируют изображение, состоящее из периодически повторяющихся светлых букв, цифр или символов на темном фоне. Кинематический эффект заключается в движении изображения при наклонах микрооптической системы вверх-вниз и влево-вправо в диапазоне углов  $\alpha$  и  $\beta \pm 30^\circ$ .

Фрагменты линз Френеля не видны человеческому глазу, поскольку их размер не превосходит 250 мкм. Использование многоградационных оптических элементов обеспечивает то, что характер движения изображения не меняется при переходе через нулевой порядок дифракции, что соответствует переходу от положительных углов наклона оптического элемента к отрицательным.

На фиг. 10 приведена схема наблюдения микрооптической системы 1 в диапазоне углов дифракции менее  $60^\circ$ . Угол дифракции  $\theta$  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  $O_y$  (угол  $\alpha$ ), мы тем самым изменяем угол дифракции  $\theta(\alpha) = 2\alpha$ . При наклонах оптического элемента на угол  $\alpha < 30^\circ$  угол дифракции не превышает  $60^\circ$ . При углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель на всей области оптического элемента Q видит изображение, сформированное микрооптической системой по пп.1,2 и 3 формулы изобретения, состоящее из периодически повторяющихся букв с кинематическим эффектом движения при наклоне оптического элемента вверх-вниз и влево-вправо. На фиг. 10 схема наблюдения иллюстрирует наклон микрооптической системы "от себя", когда углы дифракции положительны (+ $\theta$ ), а на фиг. 11 - наклон "на себя", когда углы дифракции отрицательны (- $\theta$ ). При наблюдении микрооптической системы по п.4 формулы изобретения согласно схемам, приведенным на фиг. 10 и фиг. 11, наблюдатель видит два разных изображения, состоящие из периодически повторяющихся символов с кинематическими эффектами движения.

Схема наблюдения микрооптической системы при больших углах дифракции  $\theta > 60^\circ$  представлена на фиг. 12. Угол дифракции  $\theta$  измеряется как угол между направлением на наблюдателя 3 и нулевым порядком дифракции R2. Большие наклоны оптического элемента соответствуют большим углам  $\alpha$  и, соответственно, большим углам дифракции  $\theta$ . Параметры микрорельефа микрооптической системы выбраны так, что при углах дифракции более  $60^\circ$  изображение формируется дифракционными решетками. При частичном заполнении решетками областей  $Q_i$  размеры дифракционных решеток не превосходят 50 мкм, поэтому фрагменты решеток не видны наблюдателю.

При освещении микрооптической системы по п.1 формулы изобретения точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, показанное на фиг. 13, состоящее из периодически повторяющихся букв, цифр или символов с кинематическим эффектом движения. При углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель видит другое цветное изображение. Вариант такого цветного изображения в условных цветах представлен на фиг. 14. Черный цвет соответствует красному цвету, а серый - зеленому.

Амплитуду кинематических эффектов движения изображения можно увеличить в два раза, если использовать два разных изображения фрагменты которых двигаются навстречу друг другу при наклонах оптического элемента. Этот подход реализован в пп.2 и 3 формулы изобретения. На фиг. 15 приведена бинарная функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  определяющая первое изображение, а на фиг. 16 приведена бинарная функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ , определяющая второе изображение. Периоды  $T_{\psi}^{(1)}$  и  $T_{\psi}^{(2)}$  различны. Для того чтобы обеспечить движения фрагментов первого и второго изображения во взаимно противоположных направлениях, необходимо, чтобы параметры  $\Delta_T^{(1)} = T_{\psi}^{(1)} - T_{\phi}$  и  $\Delta_T^{(2)} = T_{\psi}^{(2)} - T_{\phi}$  имели разный знак. При этом одно из изображений должно быть повернуто на  $180^\circ$ . Изображения состоят из букв, расположенных в шахматном порядке, чтобы минимизировать наплывания букв друг на друга при наклонах оптического элемента. На фиг. 17 приведен фрагмент бинарной функции  $\psi(x,y)$ , являющейся логическим сложением бинарных функций  $\psi^{(1)}(x,y)$  и  $\psi^{(2)}(x,y)$ , которые являются периодическими продолжениями с периодом  $T_{\psi}^{(1)}$  функции  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  и с периодом  $T_{\psi}^{(2)}$  функции  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ . На фиг. 18 приведены изображения, видимые наблюдателю при малых углах дифракции менее  $60^\circ$  во всей области Q оптического элемента. Фиг. 18(д) соот-

ветствует нулевому порядку дифракции. Фиг. 18(а) соответствует наклону влево-вверх, (б) - вверх, (в) - вправо-вверх, (г) - влево, (е) - вправо, (ж) - влево-вниз, (з) - вниз, (и) - вправо-вниз. Изображения букв "А" и "В" двигаются относительно оптического элемента и относительно друг друга во взаимно противоположных направлениях. Таким образом, относительное смещение букв "А" и "В" - удваивается. При углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение, пример которого приведен на фиг. 14.

Микрооптическая система по п.4 формулы изобретения обеспечивает эффект смены двух бинарных изображений, видимый наблюдателю при наклонах оптического элемента.

Первое бинарное изображение задается бинарной функцией  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  (фиг. 19а), а второе - бинарной функцией  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$  (фиг. 19б). Бинарная функция  $\psi^{(1)}(x,y)$  является периодическим продолжением с периодом  $T_\psi$  бинарной функции  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$ , отвечающей за формирование изображения, видимого наблюдателю при наклоне оптического элемента "от себя", а бинарная функция  $\psi^{(2)}(x,y)$  является периодическим продолжением с периодом  $T_\psi$  бинарной функции  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ , и отвечает за формирование изображения, видимого наблюдателю при наклоне оптического элемента "на себя". На фиг. 20 показан фрагмент разбиения с периодом  $T_\phi$  области Q оптического элемента на элементарные области  $Q_{ij}$ , каждая из которых разбивается в свою очередь на две подобласти  $Q_{ij}^{(1)}$  и  $Q_{ij}^{(2)}$ . В областях  $Q_{ij}^{(1)}$  выполнено соотношение  $y > y_j$ , а в областях  $Q_{ij}^{(2)}$  выполнено соотношение  $y < y_j$ . Таким образом, подобласть  $Q_{ij}^{(1)}$  содержит верхнюю, а подобласть  $Q_{ij}^{(2)}$  - нижнюю половину линзы Френеля, заданной в области  $Q_{ij}$  фазовой функцией  $\phi_{ij}(x,y)$ . Фрагмент фазовой функции  $\Phi(x,y)$ , которая в точке  $(x,y)$  каждой элементарной области  $Q_{ij}$  вычисляется по формуле  $\Phi(x,y) = \phi_{ij}(x,y) \cdot \psi^{(1)}(x,y)$  для точек области  $Q_{ij}^{(1)}$  и по формуле  $\Phi(x,y) = \phi_{ij}(x,y) \cdot \psi^{(2)}(x,y)$  для точек области  $Q_{ij}^{(2)}$ ,  $i=1 \dots N, j=1 \dots M$ , приведен на фиг. 21.

В каждой элементарной области  $Q_{ij}$  выделяются подобласти с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , равной константе, обозначенные на фиг. 21 белым цветом, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм, как показано на фиг. 22. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции от 0 до  $+30^\circ$  (наклон "от себя") наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, приведенное на фиг. 23(а), задаваемое функцией  $\psi^{(1)}(x,y)$ , а при углах от 0 до  $-30^\circ$  (наклон "на себя") другое изображение, приведенное на фиг. 23(б), задаваемое функцией  $\psi^{(2)}(x,y)$ . Кинематический эффект заключается как в смене двух изображений при вертикальном переходе через нулевой порядок дифракции, так и в движении фрагментов изображений при наклонах оптического элемента. При углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение, пример которого приведен на фиг. 14.

Микрооптические системы по пп.1-4 формируют видимые наблюдателю изображения с различными кинематическими эффектами движения. В предпочтительном варианте формулы изобретения по п.5 линза Френеля заполняет не всю область  $Q_{ij}$ , а лишь ее подобласть  $\tilde{Q}_{ij}$ . Вариант по п.5 формулы изобретения позволяет варьировать относительные перемещения фрагментов изображения.

В п.5 формулы изобретения область оптического элемента Q разбивается с периодом  $T_\phi$  на элементарные области  $Q_{ij}$ . Как показано на фиг. 24, в каждой элементарной области  $Q_{ij}$  с центром в точке  $(x_i, y_j)$ ,  $i=1 \dots N, j=1 \dots M$ , содержится область  $\tilde{Q}_{ij}$ , размером не более 250 мкм с центром в точке  $(x'_i, y'_j)$ . В каждой области  $Q_{ij}$  рассчитывается плоский оптический элемент, с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , которая равна нулю для любой точки  $(x,y)$ , не принадлежащей  $\tilde{Q}_{ij}$ . В каждой точке  $(x,y)$  элементарной области  $Q_{ij}$ , принадлежащей  $\tilde{Q}_{ij}$ , фазовая функция  $\Phi(x,y)$  вычисляется по формуле  $\Phi(x,y) = \phi_{ij}(x,y) \cdot \psi(x+\Delta_x, y+\Delta_y)$ ,  $i=1 \dots N, j=1 \dots M$ , где  $\phi_{ij}(x,y) = C[(x-x'_i)^2 + (y-y'_j)^2]$ , где C - заданный параметр. Функция  $\psi(x,y)$  является периодическим продолжением с периодом  $T_\psi$  функции  $\bar{\psi}(x,y)$ , задающей бинарное изображение буквы, цифры или символа, параметры  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$  вычисляются по формулам  $\Delta_x = (T_\psi/T_\phi) \cdot (x_i - x'_i)$ ,  $\Delta_y = (T_\psi/T_\phi) \cdot (y_j - y'_j)$ . Эти параметры учитывают смещение центра области  $\tilde{Q}_{ij}$  относительно центра элементарной области  $Q_{ij}$ . Период  $T_\phi$  и период  $T_\psi$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%. На фиг. 24 показано соотношение периодов. Буква "А" с пунктирным контуром и пунктирные линии представляют собой условное изображение функции  $\bar{\psi}(x,y)$ , показанной на фиг. 4, для варианта, когда центры  $\tilde{Q}_{ij}$  и  $Q_{ij}$  совпадают. Вектор  $\Delta = (\Delta_x, \Delta_y)$  обозначает смещение функции  $\psi(x,y)$ , необходимое для того, чтобы любая область  $\tilde{Q}_{ij}$  строила одно и то же изображение.

Области  $\tilde{Q}_{ij}$  могут частично или полностью заполнять область  $Q_{ij}$ . С энергетической точки зрения наиболее перспективно, чтобы области  $\tilde{Q}_{ij}$  заполняли бы всю область  $Q_{ij}$ , как это показано на фиг. 25. На фиг. 25(а) область  $Q_{ij}$  разбита на четыре, а на фиг. 25(б) - шестнадцать областей  $\tilde{Q}_{ij}$ . На фиг. 26 приведена фазовая функция  $\Phi(x,y)$  в области  $Q_{ij}$  для варианта разбиения, показанного на фиг. 25(а). В каждой области  $Q_{ij}$  выделены подобласти, в которых фазовая функция равна константе. Они обозначены белым цветом на фиг. 26. Такие области частично или полностью заполняются дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм, которые формируют цветное изображение, видимое на-

блюдателю при больших углах дифракции более  $60^\circ$ , показанное на фиг. 14. На фиг. 27 представлена структура микрорельефа в области  $Q_{ij}$ .

Предпочтительный вариант по п.5 формулы изобретения может быть использован и для формирования кинематического движения фрагментов изображений, и для эффекта смены изображений по пп.1-4 формулы изобретения. Формируемые изображения не обязательно должны состоять из букв, цифр или символов. Примеры приемлемых изображений приведены на фиг. 28. Ниже приводится пример микрооптической системы по п.5 формулы изобретения, формирующей приведенные выше кинематические эффекты, включая эффект смены двух изображений. На фиг. 28(а) приведена бинарная функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$ , а на фиг. 28(б) - бинарная функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ .

На фиг. 29 приведен фрагмент фазовой функции  $\Phi(x,y)$ . Белым цветом показаны области, в которых фазовая функция  $\Phi(x,y)$  равна константе. Такие области полностью или частично заполняются дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм, которые формируют цветное изображение, видимое наблюдателю при больших углах дифракции более  $60^\circ$ . Микрооптическая система, структура микрорельефа которой приведена на фиг. 30, формирует как эффект смены изображений, так и кинематические эффекты движения фрагментов изображения. Изображения с кинематическими эффектами движения показаны на фиг. 31(а) (при наклоне "от себя") и на фиг. 31(б) (при наклоне "на себя"). Изображение в условных цветах, видимое при больших углах дифракции более  $60^\circ$  показано на фиг. 31(в). Здесь черным обозначен красный цвет, а серым - зеленый.

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 нанометров. 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, 3<sup>rd</sup> ed. British Library Cataloguing in Publication Data, 2005, ISBN 1-58053-258-6, van Renesse, Rudolf L, Optical Document Security, 2<sup>nd</sup> 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 отличается от прототипа структурой оптического элемента. В прототипе для формирования микрорельефа используются одномерные структуры  $\psi(x,y)$ . В заявленном изобретении для формирования микрорельефа используются двумерные структуры  $\psi(x,y)$ .

2. Структура оптического элемента в прототипе позволяет формировать только изображения, состоящие из черных и белых полос. Кинематические эффекты заключаются в движении черных и белых полос при наклонах оптического элемента. Структура микрооптической системы в заявленном изобретении позволяет формировать изображения, которые состоят из букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения фрагментов изображения при наклонах оптического элемента.

3. Структура оптического элемента в заявленном изобретении в отличие от прототипа позволяет формировать эффект смены двух изображений при углах дифракции менее  $60^\circ$ .

4. В прототипе кинематические эффекты движения фрагментов изображения при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдаются при наклонах оптического элемента вверх/вниз. В отличие от прототипа, в заявленном изобретении кинематические эффекты наблюдаются при движениях и вверх/вниз, и вправо/влево.

Совокупность заявленных признаков обеспечивает достижение заявленного технического результата.

В качестве примера реализации изобретения были изготовлены четыре микрооптические системы, представляющие собой отражающие однослойные фазовые оптические элементы размерами от  $20 \times 20$  мм до  $40 \times 40$  мм. Для формирования микрорельефа использовались вогнутые квадратные линзы Френеля с параболической фазовой функцией. Размер квадратов  $Q_{ij}$  - порядка  $100 \times 100$  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. 9-11, схема наблюдения при углах дифракции  $\theta > 60^\circ$  приведена на фиг. 12. Для формирования изображения при больших углах дифракции использовались дифракционные решетки с периодами 0,45 и 0,55 мкм. Размер фрагментов дифракционных решеток равен от 20 до 30 мкм.

С помощью электронно-лучевой литографии были изготовлены оригиналы микрооптических систем. С помощью гальваноластики были изготовлены мастер-матрицы микрооптических систем. Максимальная глубина микрорельефа не превышала 0.3 мкм. 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 отражающих голографических наклеек размерами от 20×20 мм до 40×40 мм.

Пример 1.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по п.1 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую наклейку размером 20×20 мм. На фиг. 1 приведена схема разбиения оптического элемента на элементарные области  $Q_{ij}$  размером 100×100 мкм. Для формирования вогнутых линз Френеля с фокусным расстоянием 200 мкм использовалась фазовая функция  $\varphi_{ij}^+(x,y)$ , приведенная на фиг. 2(a). Бинарная функция  $\bar{\psi}(x,y)$ , задающая бинарное изображение буквы "А", приведена на фиг. 4. Различие периодов  $T_\varphi=100$  мкм и  $T_\psi=96$  мкм составило 4%. Фазовая функция  $\Phi(x,y)$  приведена на фиг. 7. Структура микрорельефа приведена на фиг. 8. Монохроматическое изображение с кинематическими эффектами движения, видимое при углах дифракции менее 60°, представлено на фиг. 13. Монохроматическое изображение состоит из периодически повторяющихся букв "А", видимых во всей области Q оптического элемента и двигающихся при наклоне оптического элемента. Цветное изображение, видимое при больших углах дифракции, более 60°, приведено на фиг. 14.

Пример 2.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по пп.2, 3 и 5 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую наклейку размером 20×20 мм. На фиг. 1 приведена схема разбиения оптического элемента на элементарные области  $Q_{ij}$  размером 200×200 мкм. Каждая элементарная область  $Q_{ij}$  была разбита на 4 подобласти  $\tilde{Q}_{ij}$ , размером 100×100 мкм каждая так, как показано на фиг. 25(a). Для формирования вогнутых линз Френеля с фокусным расстоянием 200 мкм использовалась фазовая функция  $\varphi_{ij}^+(x,y)$ , приведенная на фиг. 2(a). Бинарная функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$ , задающая бинарное изображение буквы "А" приведена на фиг. 15. Бинарная функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ , задающая бинарное изображение буквы "В" приведена на фиг. 16. Периоды  $T_\varphi=200$  мкм,  $T_\psi^{(1)}=208$  мкм и  $T_\psi^{(2)}=192$  мкм. Параметры  $\Delta_T^{(1)}-T_\varphi^{(1)}-T_\varphi=8$  мкм и  $\Delta_T^{(2)}=T_\psi^{(2)}-T_\varphi=-8$  мкм, что составило 4% от  $T_\varphi$ . Монохроматическое изображение с кинематическими эффектами движения, видимое при углах дифракции менее 60°, представлено на фиг. 18. Монохроматическое изображение состоит из периодически повторяющихся букв "А" и "В", видимых во всей области Q оптического элемента и двигающихся при наклоне оптического элемента во взаимно противоположных направлениях. Цветное изображение, видимое при больших углах дифракции, более 60°, приведено на фиг. 14.

Пример 3.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по пп.4 и 5 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую наклейку размером 20×20 мм. На фиг. 1 приведена схема разбиения оптического элемента на элементарные области  $Q_{ij}$  размером 200×200 мкм.

Каждая элементарная область  $Q_{ij}$  была разбита на 4 подобласти  $\tilde{Q}_{ij}$ , размером 100×100 мкм каждая так, как показано на фиг. 25(a). Для формирования вогнутых линз Френеля с фокусным расстоянием 200 мкм использовалась фазовая функция  $\varphi_{ij}^+(x,y)$ , приведенная на фиг. 2(a). Бинарная функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$ , задающая бинарное изображение буквы "А" приведена на фиг. 19(a). Бинарная функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ , задающая бинарное изображение буквы "В" приведена на фиг. 19(б). Разница периодов  $T_\varphi=200$  мкм и  $T_\psi=192$  мкм составила 4%. Каждая подобласть  $\tilde{Q}_{ij}$  разбита на области  $Q^{(1)}_{ij}$  и  $Q^{(2)}_{ij}$ , содержащие верхнюю и нижнюю половины линзы Френеля. Монохроматическое изображение с кинематическими эффектами движения, видимое при наблюдении по схеме, приведенной на фиг. 10 при углах дифракции от 0 до +30°, представлено на фиг. 23(a), а видимое при наблюдении по схеме, приведенной на фиг. 11 при углах дифракции от 0 до -30°, представлено на фиг. 23(б). Монохроматическое изображение состоит из периодически повторяющихся букв "А" при наклоне оптического элемента "от себя" и повторяющихся букв "В" при наклоне "на себя", видимых во всей области Q оптического элемента и двигающихся при наклоне оптического элемента. Смена изображений происходит при смене знака угла дифракции, то есть при вертикальном переходе через нулевой порядок дифракции. Цветное изображение, видимое при больших углах дифракции, более 60°, приведено на фиг. 14.

Пример 4.

В качестве примера реализации заявленного изобретения по пп.4 и 5 формулы изобретения была изготовлена микрооптическая система, представляющая собой защитную голографическую наклейку размером 40×40 мм. На фиг. 1 приведена схема разбиения оптического элемента на элементарные области  $Q_{ij}$  размером 433.6×433.6 мкм. Каждая элементарная область  $Q_{ij}$  была разбита на 16 подобластей  $\tilde{Q}_{ij}$ , размером 108.4×108.4 мкм каждая так, как показано на фиг. 25(б). Для формирования вогнутых линз Френеля с фокусным расстоянием 202,4 мкм использовалась фазовая функция  $\varphi_{ij}^+(x,y)$ , приведенная на фиг. 2(a). Бинарная функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$ , задающая бинарное изображение сетки приведена на фиг. 28(a).

Бинарная функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ , задающая бинарное изображение букв "ОК" приведена на фиг. 28(б). Разница периодов  $T_\phi=433.6$  мкм и  $T_\psi=442$  мкм составила 1.94%. Каждая подобласть  $\bar{Q}_{ij}$  разбита на области  $Q_{ij}^{(1)}$  и  $Q_{ij}^{(2)}$ , содержащие верхнюю и нижнюю половины линзы Френеля. Фазовая функция  $\Phi(x,y)$  приведена на фиг. 29. Структура микрорельефа приведена на фиг. 30. Монохроматическое изображение с кинематическими эффектами движения, видимое при наблюдении по схеме, приведенной на фиг. 10 при углах дифракции от 0 до  $+30^\circ$ , представлено на фиг. 31(а), а видимое при наблюдении по схеме, приведенной на фиг. 11 при углах дифракции от 0 до  $-30^\circ$ , представлено на фиг. 31(б). Монохроматическое изображение состоит из сетки при наклоне оптического элемента "от себя" и периодически повторяющихся букв "ОК" при наклоне "на себя", видимых во всей области  $Q$  оптического элемента идвигающихся при наклоне оптического элемента. Смена изображений происходит при смене знака угла дифракции, то есть при вертикальном переходе через нулевой порядок дифракции. Цветное изображение в условных цветах, видимое при больших углах дифракции, более  $60^\circ$ , приведено на фиг. 31(в). Черный цвет соответствует красному цвету, а серый - зеленому.

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

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений, представляющая собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения, отличающаяся тем, что область  $Q$  оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом  $T_\phi$  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 микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , которая в точке  $(x,y)$  каждой элементарной области  $Q_{ij}$  вычисляется по формуле  $\Phi(x,y)=\phi_{ij}(x,y) \cdot \psi(x,y)$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ , где  $\phi_{ij}(x,y)$  представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке  $(x_i, y_j)$ , вычисляемую по формуле  $\phi_{ij}(x,y)=C[(x-x_i)^2+(y-y_j)^2]$ , где  $C$  - заданный параметр, а функция  $\psi(x,y)$  является периодическим продолжением с периодом  $T_\psi$  функции  $\bar{\psi}(x,y)$ , задающей бинарное изображение буквы, цифры или символа, причем период  $T_\phi$  линз Френеля и период  $T_\psi$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%, в каждой элементарной области  $Q_{ij}$  выделяются подобласти с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области  $Q$  оптического элемента изображение, состоящее из светлых букв на темном фоне, кинематический эффект заключается в движении букв при наклонах оптического элемента, а при углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение.

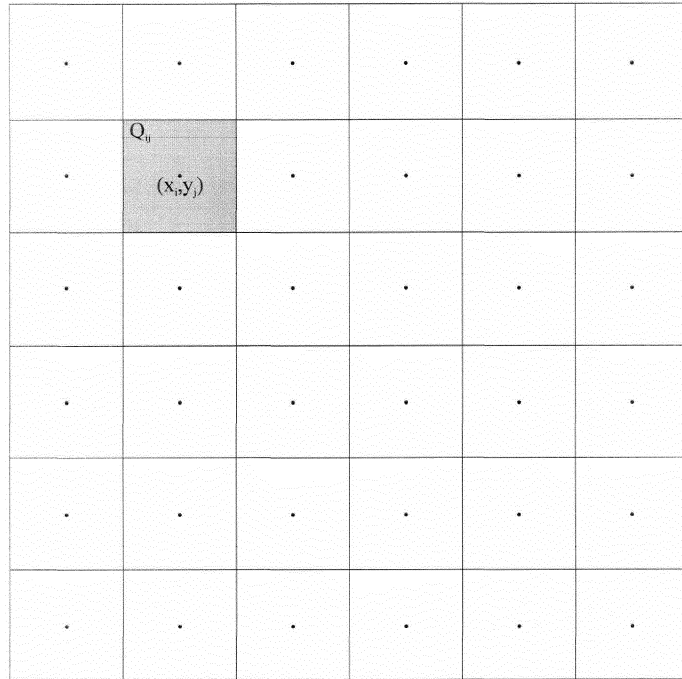
2. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений, представляющая собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения, отличающаяся тем, что область  $Q$  оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом  $T_\phi$  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 микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , которая в точке  $(x,y)$  каждой элементарной области  $Q_{ij}$  вычисляется по формуле  $\Phi(x,y)=\phi_{ij}(x,y) \cdot \psi(x,y)$ , где  $\phi_{ij}(x,y)$  представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке  $(x_i, y_j)$ , вычисляемую по формуле  $\phi_{ij}(x,y)=C[(x-x_i)^2+(y-y_j)^2]$ , где  $C$  - заданный параметр, а бинарная функция  $\psi(x,y)$  - логическое сложение бинарных функций  $\psi^{(1)}(x,y)$  и  $\psi^{(2)}(x,y)$ , являющихся периодическими продолжениями с периодом  $T_\psi^{(1)}$  функции  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  и с периодом  $T_\psi^{(2)}$  функции  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ , функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  задает первое бинарное изображение буквы, цифры или символа, функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$  задает второе бинарное изображение буквы, цифры или символа, причем период  $T_\phi$  линз Френеля и периоды  $T_\psi^{(1)}$  и  $T_\psi^{(2)}$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%, в каждой элементарной подобласти  $Q_{ij}$  выделяются области с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области  $Q$  оптического элемента два изображения, заданные функциями  $\psi^{(1)}(x,y)$  и  $\psi^{(2)}(x,y)$ , кинематический эффект заключается в движении фрагментов изображений при наклонах оптического элемента, а при углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического

элемента видит другое цветное изображение.

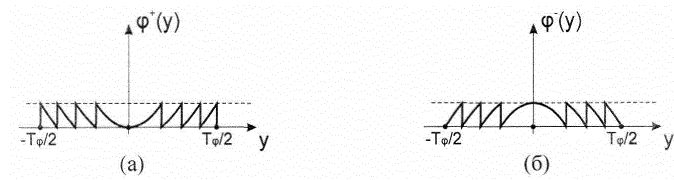
3. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений по п.2, отличающаяся тем, что параметры  $\Delta_T^{(1)}=T_\psi^{(1)}-T_\phi$  и  $\Delta_T^{(2)}=T_\psi^{(2)}-T_\phi$  отличаются знаком, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента два изображения, кинематический эффект заключается в движении фрагментов изображений, формируемых функциями  $\psi^{(1)}(x,y)$  и  $\psi^{(2)}(x,y)$ , навстречу друг другу при наклонах оптического элемента.

4. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений, представляющая собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения, отличающаяся тем, что область Q оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом  $T_\phi$  на элементарные области  $Q_{ij}$ , размером не более 250 мкм с центрами в точках  $(x_i, y_j)$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ , каждая элементарная область  $Q_{ij}$  разбивается на две прямоугольные подобласти  $Q_{ij}^{(1)}$  для  $y > y_j$  и  $Q_{ij}^{(2)}$  для  $y < y_j$ , в каждой области  $Q_{ij}$  рассчитывается микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , которая в точке  $(x,y)$  каждой элементарной области  $Q_{ij}$  вычисляется по формуле  $\Phi(x,y)=\phi_{ij}(x,y) \cdot \psi^{(1)}(x,y)$  для точек области  $Q_{ij}^{(1)}$  и по формуле  $\Phi(x,y)=\phi_{ij}(x,y) \cdot \psi^{(2)}(x,y)$  для точек области  $Q_{ij}^{(2)}$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ , где  $\phi_{ij}(x,y)$  представляет собой фазовую функцию осевой линзы Френеля с центром в точке  $(x_i, y_j)$ , вычисляемую по формуле  $\phi_{ij}(x,y)=C[(x-x_i)^2+(y-y_j)^2]$ , где C - заданный параметр, а функции  $\psi^{(1)}(x,y)$  и  $\psi^{(2)}(x,y)$  являются периодическими продолжениями с периодом  $T_\psi$  функции  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  и  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$ , функция  $\bar{\psi}^{(1)}(x,y)$  задает первое бинарное изображение буквы, цифры или символа в областях  $Q_{ij}^{(1)}$ , функция  $\bar{\psi}^{(2)}(x,y)$  задает второе бинарное изображение буквы, цифры или символа в областях  $Q_{ij}^{(2)}$ , причем период  $T_\phi$  линз Френеля и период  $T_\psi$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%, в каждой элементарной области  $Q_{ij}$  выделяются подобласти с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции от 0 до  $+30^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, заданное функцией  $\psi^{(1)}(x,y)$ , а при углах от 0 до  $-30^\circ$  другое изображение, заданное функцией  $\psi^{(2)}(x,y)$ , кинематический эффект заключается как в смене двух изображений, так и в движении фрагментов изображений при наклонах оптического элемента, а при углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение.

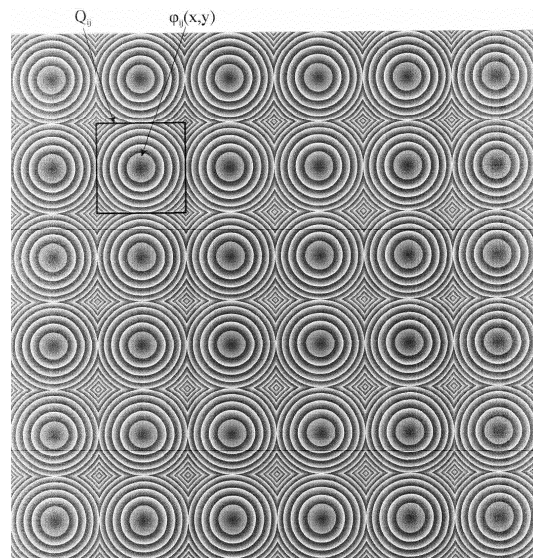
5. Микрооптическая система для формирования визуальных изображений, представляющая собой плоский однослойный отражающий фазовый дифракционный оптический элемент, формирующий изображение букв, цифр или символов с кинематическими эффектами движения, отличающаяся тем, что область Q оптического элемента, представляющая собой прямоугольник  $|x| \leq L_x/2$   $|y| \leq L_y/2$ , разбита с периодом  $T_\phi$  на элементарные области  $Q_{ij}$  с центрами в точках  $(x_i, y_j)$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ , причем в каждой элементарной области  $Q_{ij}$  содержится область  $\tilde{Q}_{ij}$ , размером не более 250 мкм с центром в точке  $(x'_i, y'_j)$ , в каждой области  $Q_{ij}$  рассчитывается микрорельеф плоского оптического элемента с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , которая равна нулю для любой точки  $(x,y)$ , не принадлежащей  $\tilde{Q}_{ij}$ , в каждой точке  $(x,y)$  элементарной области  $Q_{ij}$ , принадлежащей  $\tilde{Q}_{ij}$ , фазовая функция  $\Phi(x,y)$  вычисляется по формуле  $\Phi(x,y)=\phi_{ij}(x,y) \cdot \psi(x+\Delta_x, y+\Delta_y)$ ,  $i=1 \dots N$ ,  $j=1 \dots M$ , где  $\phi_{ij}(x,y)=C[(x-x'_i)^2+(y-y'_j)^2]$ , где C - заданный параметр, функция  $\psi(x,y)$  является периодическим продолжением с периодом  $T_\psi$  функции  $\bar{\psi}(x,y)$ , задающей бинарное изображение буквы, цифры или символа, параметры  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$  вычисляются по формулам  $\Delta_x=(T_\psi/T_\phi) \cdot (x_i-x'_i)$ ,  $\Delta_y=(T_\psi/T_\phi) \cdot (y_j-y'_j)$ , причем период  $T_\phi$  и период  $T_\psi$  не совпадают, но отличаются не более чем на 5%, в каждой элементарной области  $Q_{ij}$  выделяются подобласти с фазовой функцией  $\Phi(x,y)$ , равной константе, которые частично или полностью заполнены дифракционными решетками разной ориентации с периодами 0.35-1.0 мкм, при этом при освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее  $60^\circ$  наблюдатель видит на всей области Q оптического элемента изображение, состоящее из светлых букв на темном фоне, кинематический эффект заключается в движении букв при наклонах оптического элемента, а при углах дифракции более  $60^\circ$  наблюдатель на всей поверхности микрооптического элемента видит другое цветное изображение.



Фиг. 1



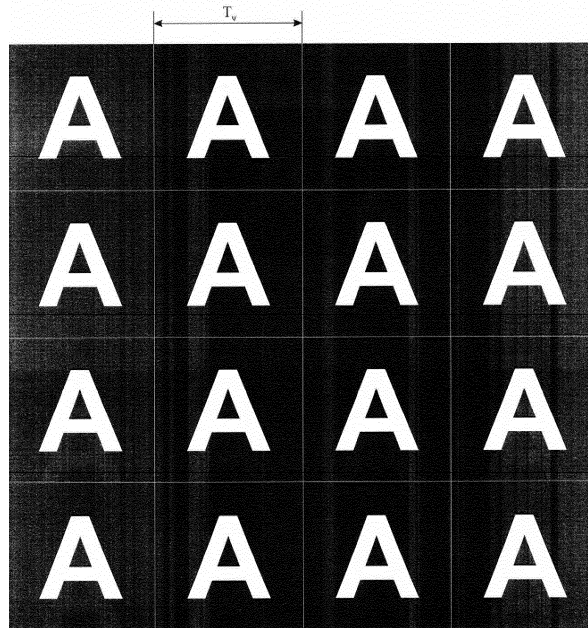
Фиг. 2



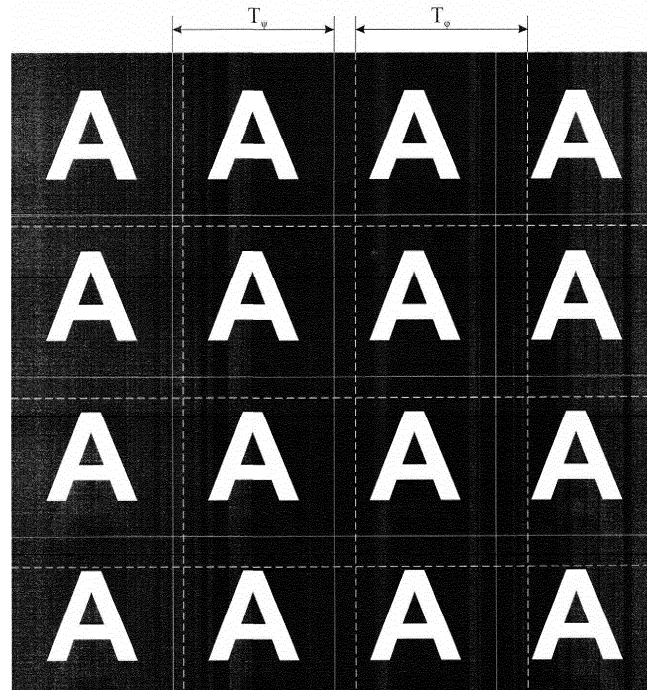
Фиг. 3



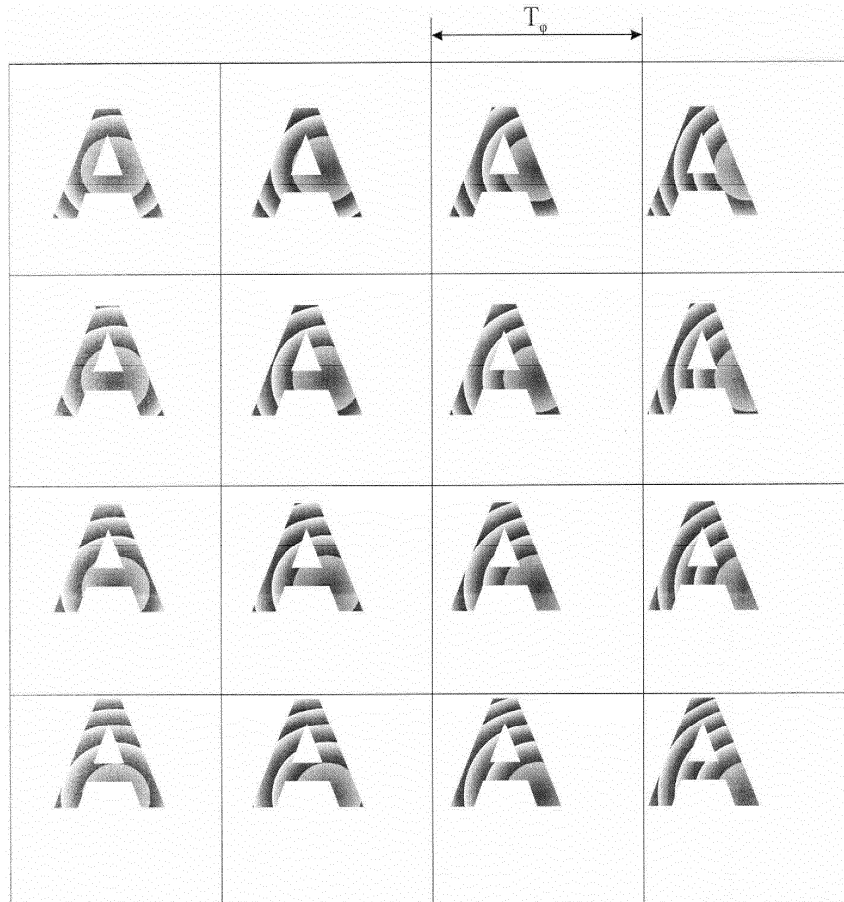
Фиг. 4



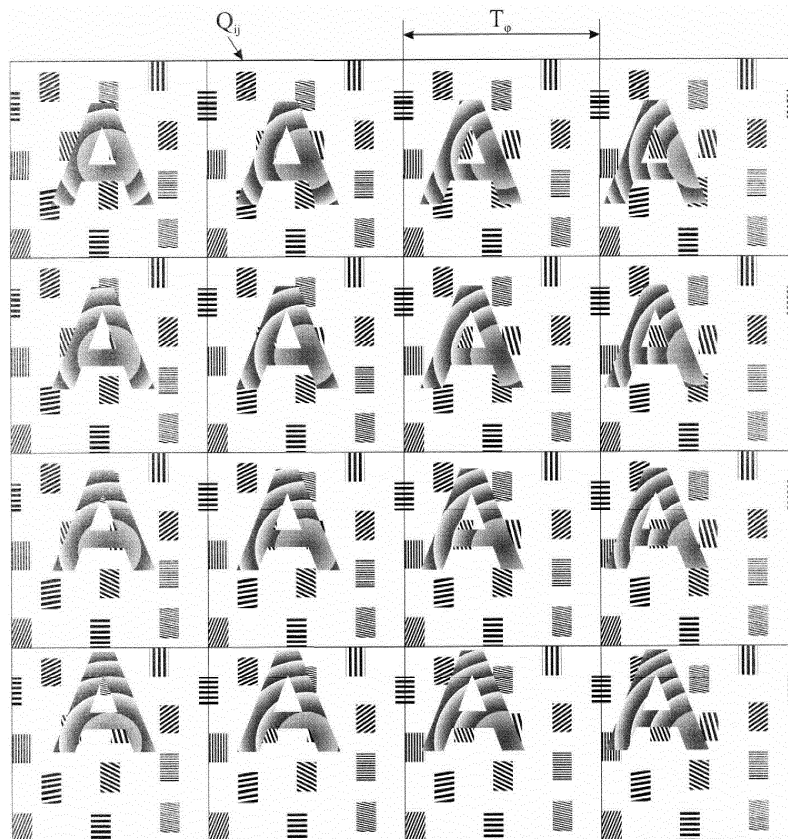
Фиг. 5



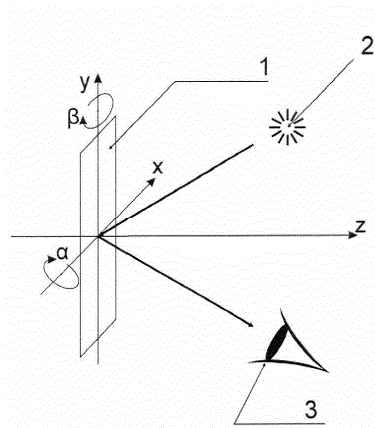
Фиг. 6



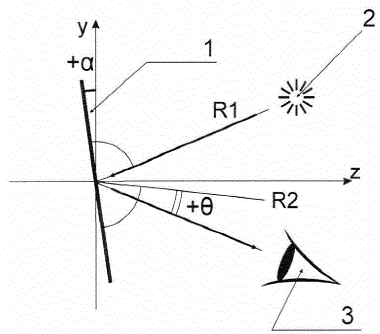
Фиг. 7



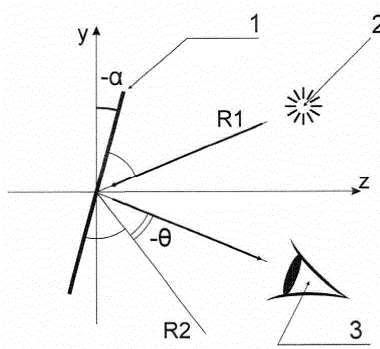
Фиг. 8



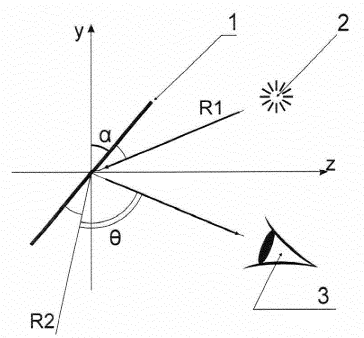
Фиг. 9



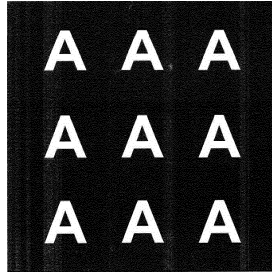
Фиг. 10



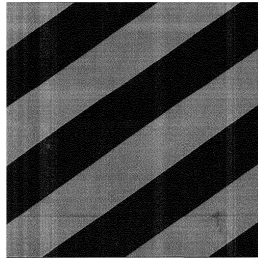
Фиг. 11



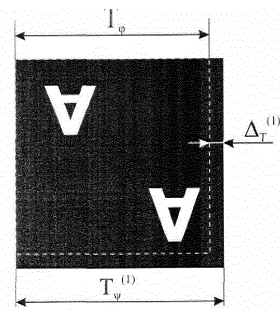
Фиг. 12



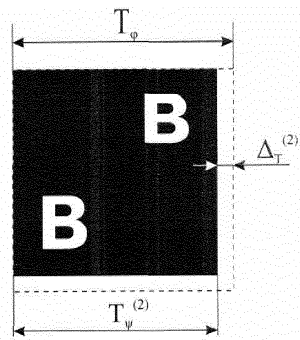
Фиг. 13



Фиг. 14

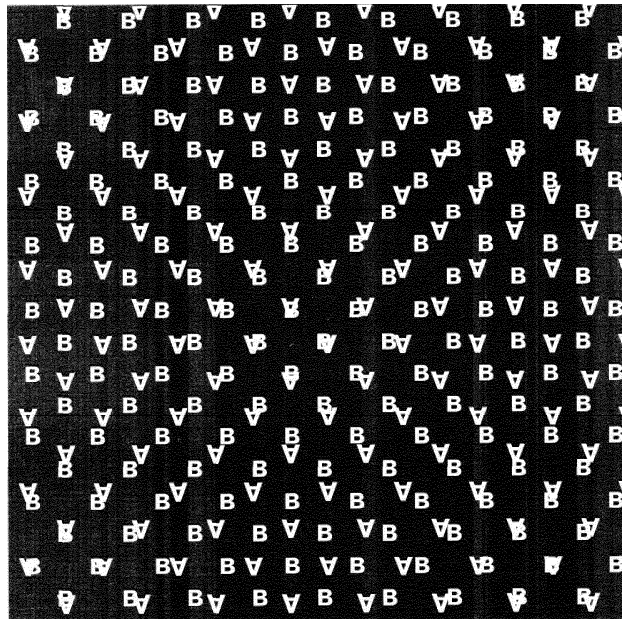


Фиг. 15

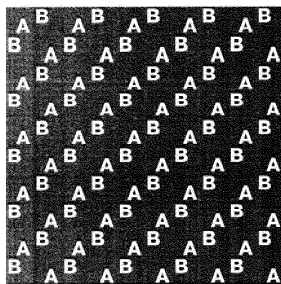


Фиг. 16

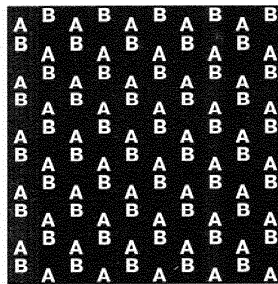




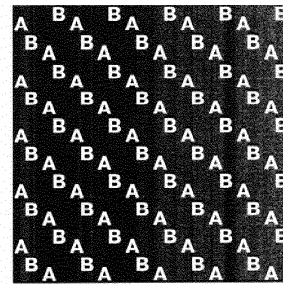
Фиг. 17



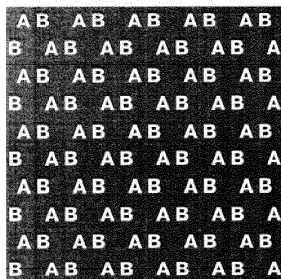
а)



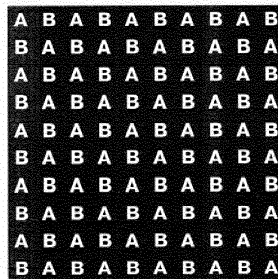
б)



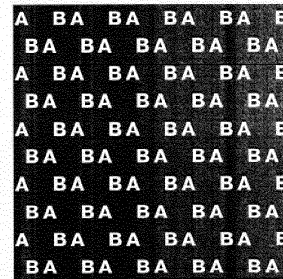
в)



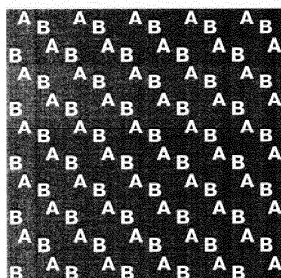
г)



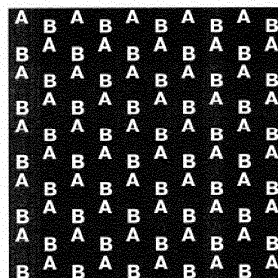
д)



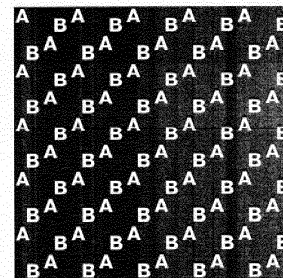
е)



ж)

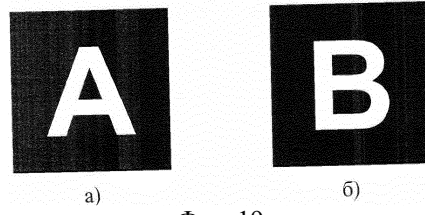


з)

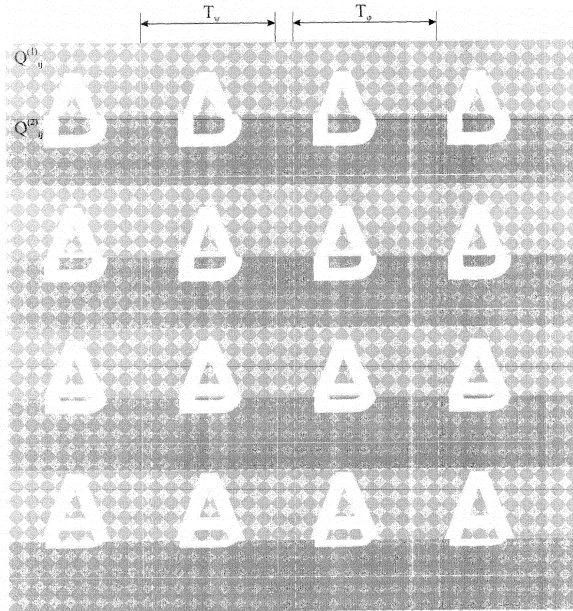


и)

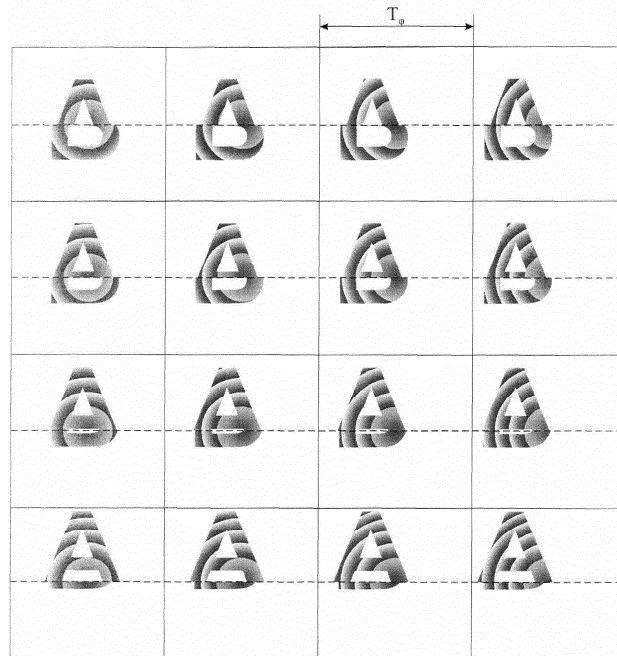
Фиг. 18



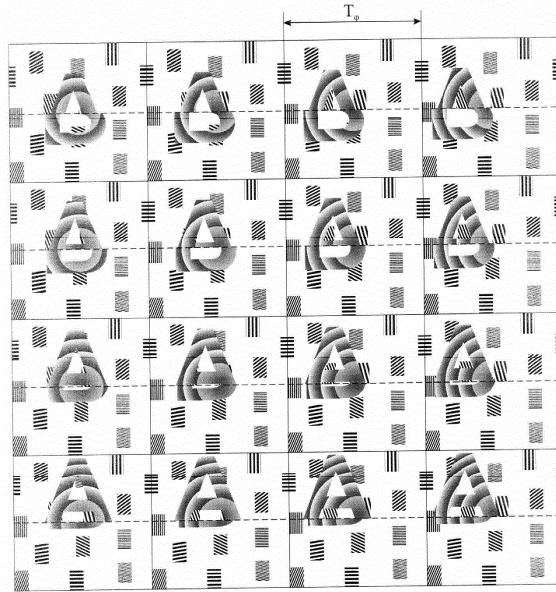
Фиг. 19



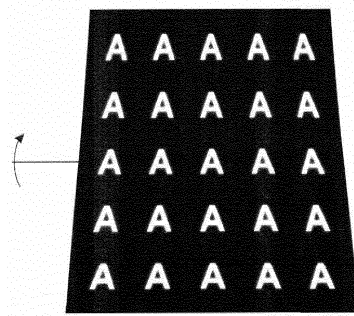
Фиг. 20



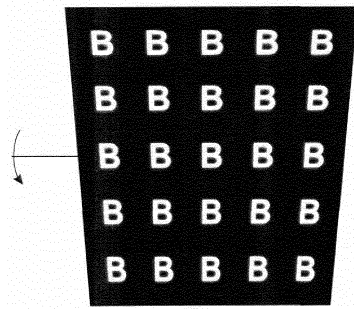
Фиг. 21



Фиг. 22

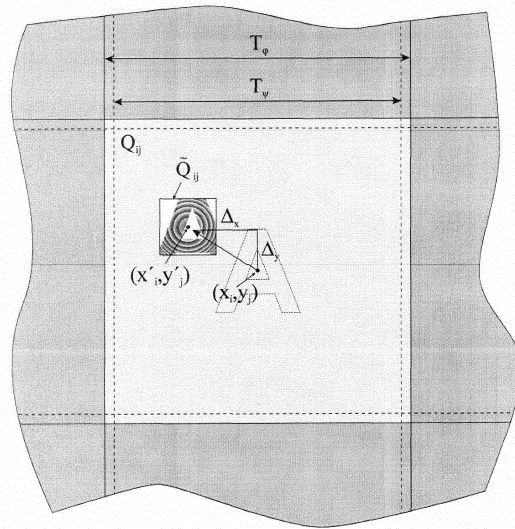


а)

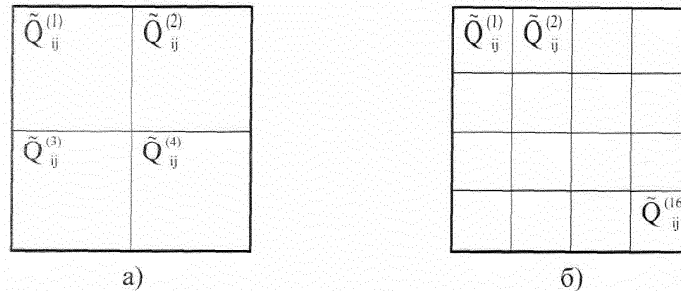


б)

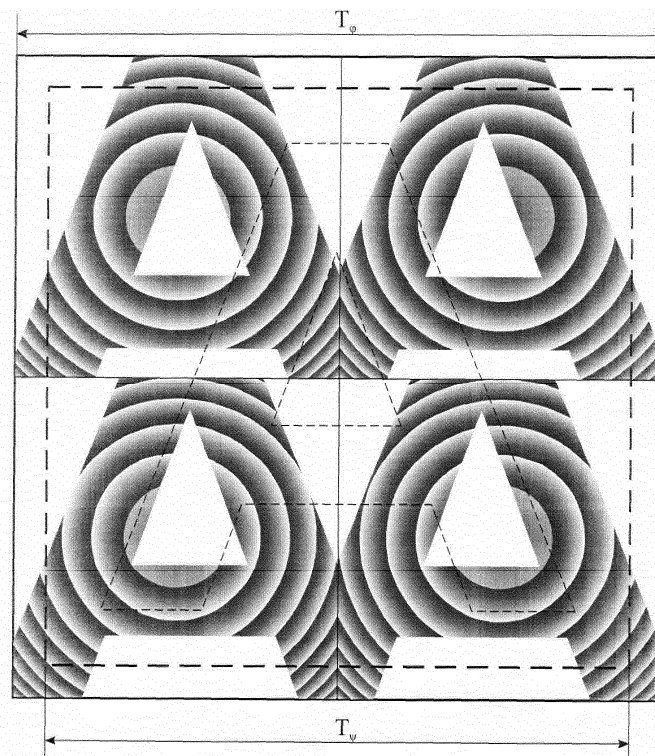
Фиг. 23



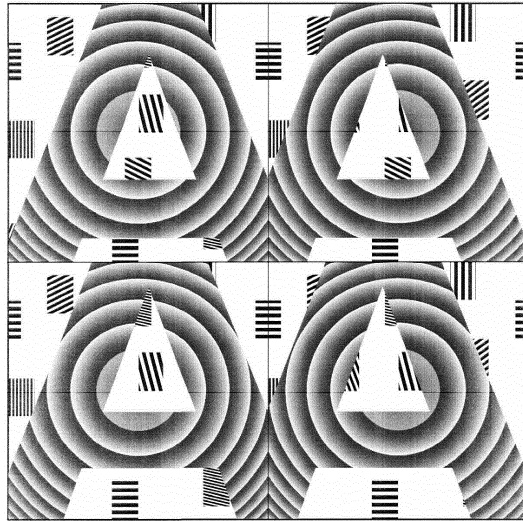
Фиг. 24



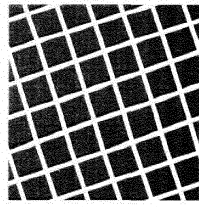
Фиг. 25



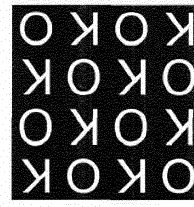
Фиг. 26



Фиг. 27

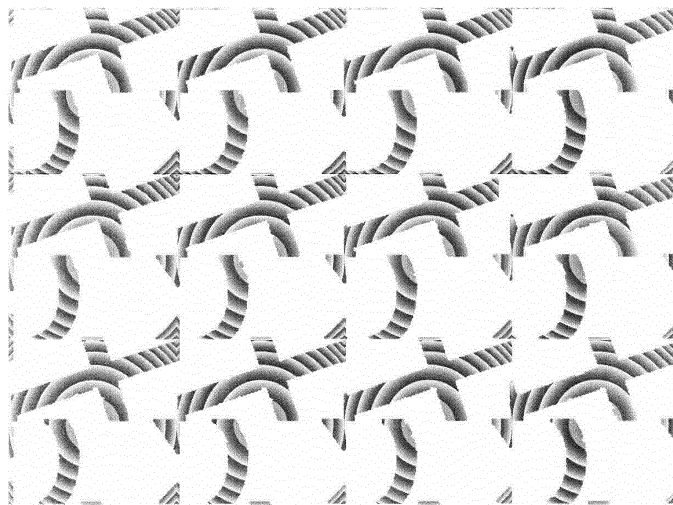


а)

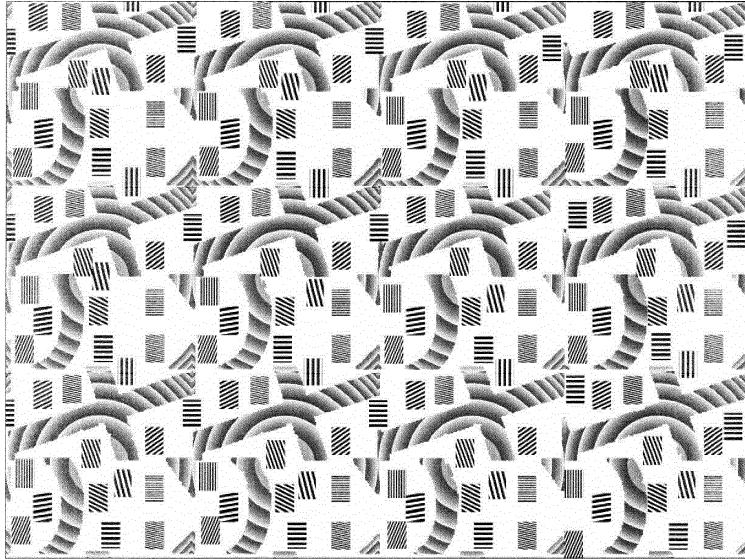


б)

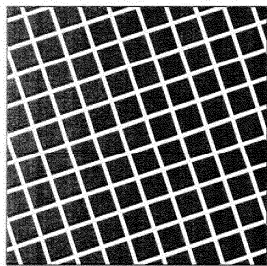
Фиг. 28



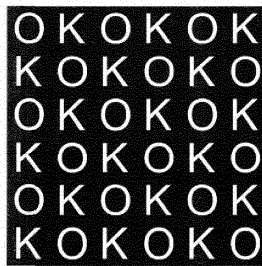
Фиг. 29



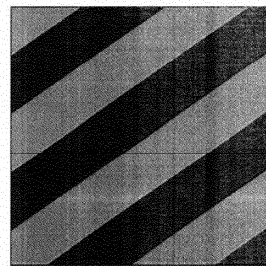
Фиг. 30



а)



б)



в)

Фиг. 31

