

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036455**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.11.12

(51) Int. Cl. **G02B 5/32 (2006.01)**
G07D 7/12 (2016.01)

(21) Номер заявки
202000167

(22) Дата подачи заявки
2020.03.04

**(54) СПОСОБ СИНТЕЗА ПЛОСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЙ В НУЛЕВОМ ПОРЯДКЕ
ДИФРАКЦИИ**

(43) **2020.11.10**

(56) US-A1-20070268536

(96) **2020000024 (RU) 2020.03.04**

RU-U1-140190

EA-B1-026552

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

ДУРЛЕВИЧ С.Р. Об одной задаче
компьютерного синтеза дифракционных
оптических элементов для формирования
3D-изображений. Вычислительные методы и
программирование, 2017, Т. 18, с. 11-19

(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 каркасных 3D-изображений, состоящих из рёбер. При освещении микрооптической системы точечным источником света при углах дифракции менее 60° микрооптическая система формирует эффект смены двух 3D-изображений. При углах дифракции более 60° на всей области микрооптической системы наблюдатель видит другое цветное 2D-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.

B1

036455

036455

B1

Заявляемая микрооптическая система для формирования 3D-изображений относится к области оптических защитных технологий, преимущественно к так называемым защитным меткам, используемым для удостоверения подлинности банкнот, документов, паспортов, ID, пластиковых карт, ценных бумаг, брендов. Оптические технологии позволяют осуществлять визуальный и экспертный контроль подлинности защитных оптических элементов (Optical Document Security, Third Edition, Rudolf L. Van Renesse. Artech House, Boston, London, 2005). Наиболее важной задачей является формирование визуальных защитных признаков. Разработаны различные технологии синтеза оптических элементов, формирующих 2D защитные визуальные признаки (Optical Document Security, Third Edition, Rudolf L. Van Renesse. Artech House, Boston, London, 2005). Более сложной и востребованной в настоящее время задачей является синтез защитных оптических элементов для формирования 3D-изображений.

Оптические элементы для формирования 3D-изображений впервые были использованы для защиты от подделок пластиковых карт VISA ещё в 1984 году. До сих пор 3D-изображение голубя на голограмме украшает все пластиковые карты VISA. Назвать в настоящее время эту голограмму защитной вряд ли представляется возможным.

Наиболее близким к заявляемому изобретению техническим решением по совокупности признаков (прототипом) является микрооптическая система "Optical variable security device" (патент US 20070268536 A1). В этом патенте предложен метод аналоговой оптической записи оптических защитных элементов. Для реализации метода необходимо создать 3D-объект, который освещается когерентным диффузным светом. Интерферограмма опорного и рассеянного пучков записывается на голографической фотопластине. Таким образом, в прототипе для записи оригинала оптического защитного элемента используется аналоговая оптическая технология. Технология аналоговой оптической записи голограмм широко распространена. Так, например, вышеупомянутая голограмма на карте VISA записана также по оптической технологии. Оборудование для оптической записи стоит относительно недорого. Основным недостатком таких голографических элементов является их слабая защищенность от подделок. В прототипе 3D-изображение формируется в первом порядке дифракции. В заявляемой микрооптической системе - в нулевом порядке дифракции. Заявляемая микрооптическая система не является аналоговой, а является компьютерно-синтезированной.

Задача настоящего изобретения заключается в повышении защитной функции средств, используемых для удостоверения подлинности банкнот, документов, паспортов, ID, пластиковых карт, ценных бумаг, брендов, снижении уровня доступности технологии изготовления указанных защитных средств. Поставленная задача решается путём разработки микрооптических систем, представляющих собой однослойный дифракционный оптический элемент для формирования 3D-изображений в нулевом порядке дифракции. Объект является каркасным и состоит из вершин, соединённых прямолинейными или криволинейными рёбрами. Каркасные 3D-объекты являются идеальными для визуального распознавания, поскольку изображения являются контрастными и достаточно простыми для трёхмерной идентификации. Для синтеза оптического элемента формируют компьютерную 3D-модель.

В отличие от прототипа, в заявленном изобретении используется технология компьютерного синтеза оптических защитных элементов. Для формирования 3D-изображений используются фрагменты многоградационных линз Френеля. Оптический защитный элемент представляет собой плоский фазовый элемент, микрорельеф которого формирует 3D-изображение при освещении оптического элемента белым светом. Точность изготовления микрорельефа по глубине составляет 10 нм. Для изготовления микрорельефа используется электронно-лучевая технология, которая является наукоёмкой и нераспространённой.

В соответствии с п.1 формулы изобретения описывается способ синтеза микрооптических систем, представляющих собой плоский отражающий дифракционный фазовый оптический элемент, для формирования визуальных каркасных 3D-изображений. 3D-объект задаётся с помощью вершин V_p , $p=1...P$, и рёбер R_q , $q=1...Q$. Для расчёта фазовой функции плоского оптического элемента область оптического элемента G разбивается на элементарные области G_{ij} , $i=1...I$, $j=1...J$, размером менее 200 мкм, в каждой из которых размещается осевая параболическая линза Френеля с фазовой функцией $\Phi(x,y)=C(x^2+y^2)$, C - заданный параметр. Для каждой линзы Френеля рассчитывается пространственное положение фокуса f_{ij} , каждое ребро R_q разбивается на целое число частей K , в каждую из точек разбиения помещается сфера $S_{q,k}$ диаметром d так, что соседние сферы пересекаются более чем на половину диаметра. Для каждой элементарной площадки G_{ij} строится проекция $\bar{S}_{q,k}(i,j)$ сферы $S_{q,k}$ через фокус f_{ij} , объединение всех проекций сфер для всех рёбер по индексам q и k определяет область $\bar{G}_{ij} = \cup_{q,k} S_{q,k}(i,j)$, принадлежащую элементарной области G_{ij} , в которой фазовую функцию оптического элемента полагают равной нулю. Таким образом, фазовая функция в каждой точке (x,y) элементарной области G_{ij} равна нулю для точек из областей \bar{G}_{ij} и равна $0,5 \cdot C(x^2+y^2)$ для точек из области $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$, $i=1...I$, $j=1...J$. В каждой точке (x,y) области G вычисляют микрорельеф $h(x,y)=0,5 \cdot \Phi(x,y)$, при этом при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит трёхмерное каркасное изображение, состоящее из тёмных рёбер на светлом фоне.

В соответствии с п.2 формулы изобретения описывается способ синтеза микрооптических систем по п.1 формулы изобретения, отличающийся тем, что фазовая функция микрооптической системы в об-

ласти $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$ равняется нулю, а в области \bar{G}_{ij} равна $0,5 \cdot C(x^2 + y^2)$, $i=1 \dots I$, $j=1 \dots J$. При этом, при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит трёхмерное каркасное изображение, состоящее из светлых рёбер на тёмном фоне.

В соответствии с п.3 формулы изобретения описывается способ синтеза микрооптических систем, представляющих собой плоский отражающий дифракционный фазовый оптический элемент, для формирования эффекта смены двух каркасных 3D-изображений, заданных с помощью вершин $V_p^{(1)}$, $p=1 \dots P^{(1)}$, рёбер $R_q^{(1)}$, $q=1 \dots Q^{(1)}$ и, соответственно, вершин $V_p^{(2)}$, $p=1 \dots P^{(2)}$, рёбер $R_q^{(2)}$, $q=1 \dots Q^{(2)}$. Для расчёта фазовой функции плоского оптического элемента область оптического элемента G разбивается на элементарные области G_{ij} , $i=1 \dots I$, $j=1 \dots J$ размером менее 200 мкм. Каждую из элементарных областей G_{ij} разбивают на две элементарные области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$, отвечающие за формирование разных 3D-изображений. В элементарных областях $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ размещают параболические линзы Френеля с фазовыми функциями $\Phi_{(x,y)}^{(1)} = C^{(1)}(x^2 + y^2)$ и $\Phi_{(x,y)}^{(2)} = C^{(2)}(x^2 + y^2)\Phi(x,y) = C(x^2 + y^2)$, $C^{(1)}$ и $C^{(2)}$ - заданные параметры.

Для каждой линзы Френеля рассчитывается пространственное положение фокусов $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$. Каждое ребро $R_q^{(1)}$ и $R_q^{(2)}$ разбивается на целое число частей K , в каждую из точек разбиения помещаются сферы $S_{q,k}^{(1)}$ и $S_{q,k}^{(2)}$ диаметром d так, что соседние сферы пересекаются более чем на половину диаметра. Для каждой элементарной области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ строятся проекции $\bar{S}_{q,k}^{(1)}(i,j)$ сферы $S_{q,k}^{(1)}$ через фокус $f_{ij}^{(1)}$ и проекции $\bar{S}_{q,k}^{(2)}(i,j)$ сферы $S_{q,k}^{(2)}$ через фокус $f_{ij}^{(2)}$. Объединение всех проекций сфер для всех рёбер по индексам q и k определяет область $\bar{G}_{ij}^{(1)} = \cup_{q,k} S_{q,k}^{(1)}(i,j)$, принадлежащую элементарной области $G_{ij}^{(1)}$, и область $\bar{G}_{ij}^{(2)} = \cup_{q,k} S_{q,k}^{(2)}(i,j)$, принадлежащую элементарной области $G_{ij}^{(2)}$, в которой фазовую функцию оптического элемента полагают равной нулю. Таким образом, в каждой точке (x,y) области $G_{ij}^{(1)}$ фазовая функция, формирующая первое 3D-изображение, равна нулю для точек из областей $\bar{G}_{ij}^{(1)}$ и равна $0,5 \cdot C(x^2 + y^2)$ для точек из области $G_{ij}^{(1)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(1)}$, $i=1 \dots I$, $j=1 \dots J$, соответственно в каждой точке (x,y) области $G_{ij}^{(2)}$ фазовая функция, формирующая второе 3D-изображение, равна нулю для точек из областей $\bar{G}_{ij}^{(2)}$ и равна $0,5 \cdot C(x^2 + y^2)$ для точек из области $G_{ij}^{(2)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(2)}$, $i=1 \dots I$, $j=1 \dots J$. При этом, при углах дифракции от 0° до $+30^\circ$ наблюдатель видит одно трёхмерное каркасное изображение, а при углах дифракции от 0° до -30° наблюдатель видит другое трёхмерное каркасное изображение, оба изображения состоят из тёмных рёбер на светлом фоне.

В соответствии с п.4 описывается способ синтеза микрооптических систем по пп.1-3 формулы изобретения, отличающийся тем, что каждая из областей, в которых фазовая функция $\Phi(x,y) = 0$, частично или полностью заполняется дифракционными решётками разных периодов и разной ориентации, которые при освещении микрооптической системы источником белого света формируют цветное 2D-изображение, видимое наблюдателю при углах дифракции более 60° .

Возможен и другой вариант формирования изображения при больших углах дифракции. В каждой элементарной области G_{ij} выделяются элементарная область G_{ij}^{3D} , которая отвечает за формирование 3D-изображений при углах дифракции менее 60° , и элементарная область G_{ij}^{2D} , которая отвечает за формирование 2D-изображения при больших углах дифракции. Площадь элементарной области G_{ij}^{2D} не превышает 30% площади элементарной области G_{ij} . Формирование микрорельефа в элементарной области G_{ij}^{3D} осуществляется в полном соответствии с пп.1-3 формулы изобретения. Элементарная область G_{ij}^{2D} частично или полностью заполняется фрагментами дифракционных решёток разных периодов и разной ориентации.

В соответствии с п.5 описывается микрооптическая система по пп.1-4 формулы изобретения, изготовленная в виде фольги горячего тиснения, голографических нитей, наклеек или ламината, предназначена для защиты банкнот, документов, паспортов, ID, пластиковых карт, ценных бумаг, брендов.

Центральным моментом изобретения является использование массива линз Френеля. Плоские линзы были введены в оптическую практику Огюстом Френелем в начале XIX века. В патенте используются осесимметричные плоские линзы Френеля с параболической фазовой функцией. Размер крайних зон Френеля составляет порядка 1 мкм. Линзы Френеля имеют многоградационный микрорельеф. Точность формирования микрорельефа составляет 10-15 нм по глубине. В патенте описан способ маскирования массива многоградационных линз Френеля, который позволяет создать микрорельеф плоского оптического элемента, формирующего 3D-изображения в окрестностях нулевого порядка дифракции.

Сущность изобретения поясняется изображениями, где
на фиг. 1 приведено каркасное 3D-изображение сферы;
на фиг. 2 приведено каркасное 3D-изображение усечённого икосаэдра;
на фиг. 3 приведен вариант разбиения области G оптического элемента на элементарные области G_{ij} ;

на фиг. 4 приведены сечения фазовой функции $\varphi(x, y)$ при $x = 0$ для вогнутой и выпуклой линзы Френеля;

на фиг. 5 приведен микрорельеф массива плоских линз Френеля;

на фиг. 6 приведено пространственное расположение фокусов f_{ij} для массива плоских линз Френеля;

на фиг. 7 приведена схема построения проекций $\bar{S}_{q,k}(i, j)$ сфер $S_{q,k}$;

на фиг. 8 приведено расположение проекций $\bar{S}_{q,k}(i, j)$ сфер $S_{q,k}$ при фиксированных q и k в разных элементарных областях G_{ij} ;

на фиг. 9 продемонстрировано расположение проекций $\bar{S}_{q,k}(i, j)$ в элементарных областях G_{ij} при фиксированном q и разных параметрах k , пробегающих значение $k=1, 2, 3 \dots K$;

на фиг. 10 приведена схема расположения областей \bar{G}_{ij} в элементарных областях G_{ij} по п.1 формулы изобретения;

на фиг. 11 приведена схема расположения областей \bar{G}_{ij} в элементарных областях G_{ij} по п.2 формулы изобретения;

на фиг. 12 приведена схема формирования микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по п.1 формулы изобретения;

на фиг. 13 приведена схема формирования микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по п.2 формулы изобретения;

на фиг. 14 приведена схема разбиения элементарных областей G_{ij} на элементарные области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$;

на фиг. 15 приведена схема расположения плоских линз Френеля в областях $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ в случае, когда фокусы $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$ совпадают;

на фиг. 16 приведена схема расположения плоских линз Френеля в областях $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ в случае, когда фокусы $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$ не совпадают;

на фиг. 17 приведена схема расположения областей $\bar{G}_{ij}^{(1)}$ и $\bar{G}_{ij}^{(2)}$ по п.1 формулы изобретения;

на фиг. 18 приведена схема формирования микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по п.3 формулы изобретения;

на фиг. 19 приведена схема формирования микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по пп.1 и 4 формулы изобретения;

на фиг. 20 приведена схема формирования микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по пп.3 и 4 формулы изобретения;

на фиг. 21 приведено полутоновое изображение микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по пп.1 и 4 формулы изобретения;

на фиг. 22 приведено полутоновое изображение микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по пп.3 и 4 формулы изобретения;

на фиг. 23 приведена схема наблюдения изображений, формируемых микрооптической системой;

на фиг. 24 приведена схема наблюдения микрооптической системы при углах дифракции более 60° ;

на фиг. 25 приведена схема наблюдения при углах дифракции $0^\circ < \theta < +30^\circ$;

на фиг. 26 приведена схема наблюдения при углах дифракции $-30^\circ < \theta < 0^\circ$;

на фиг. 27 приведено изображение, видимое наблюдателю при больших углах дифракции $\theta > 60^\circ$;

на фиг. 28 приведены несколько вариантов каркасных 3D-изображений;

на фиг. 29 приведен другой вариант размещения в элементарных областях G_{ij} дифракционных решёток для формирования 2D-изображения;

на фиг. 30 приведён микрорельеф микрооптической системы в элементарной области G_{ij} в варианте размещения дифракционных решёток, представленном на фиг. 29.

На фиг. 1 представлен вариант каркасного 3D-изображения сферы. Изображение состоит из криволинейных ребер, представляющих собой параллели и меридианы глобуса. Толщины различных ребер могут быть разными, но для простоты дальнейшего изложения, будем считать, что все ребра имеют одну и ту же толщину d .

На фиг. 2 представлен другой вариант каркасного 3D-изображения. Второе трёхмерное изображение состоит из криволинейных ребер усеченного икосаэдра, лежащих на описанной сфере, и выглядит как футбольный мяч. Все ребра также имеют одну и ту же толщину d .

Микрооптическая система для формирования 3D-изображения представляет собой плоский отражающий фазовый дифракционный оптический элемент. 3D-изображение формируется за счёт дифракции света на микрорельефе плоского оптического элемента. В предложенном методе синтеза микрооптических систем область оптического элемента G разбивается на элементарные области G_{ij} . На фиг. 3 представлен один из вариантов разбиения. Размер элементарных областей G_{ij} , $i=1 \dots I$, $j=1 \dots J$, не превосходит 200 мкм, что лежит за пределами разрешения глаза человека. Для формирования 3D-изображения ис-

пользуются осевые плоские линзы Френеля с параболической фазовой функцией $\varphi(x,y) = C(x^2 + y^2)$, C - заданный параметр. На фиг. 4 представлены сечения фазовой функции $\varphi(0,y)$ для $C>0$ (фиг. 4а) и $C<0$ (фиг. 4б). Глубина микрорельефа составляет порядка 0,3 мкм.

Элементарные области G_{ij} заполняются линзами Френеля, как это показано на фиг. 5. Микрорельеф является многоградационным. Глубина микрорельефа в каждой точке фиг. 5 пропорциональна потемнению в этой точке. Площадь оптического элемента обычно составляет несколько квадратных сантиметров. Количество линз Френеля для такого элемента составляет несколько десятков тысяч.

На фиг. 6 представлено сечение массива линз по линии А-А, проходящей через центры линз. Над центром каждой линзы чёрной точкой обозначено пространственное положение фокуса линзы f_{ij} . Фокусное расстояние определяет размер крайней зоны линзы Френеля. Для формирования микрорельефа микрооптических систем могут быть использованы различные технологии. Наиболее перспективным является использование электронно-лучевой технологии, которая даёт возможность прецизионно изготавливать микрорельеф микрооптической системы с точностью порядка 10-15 нм по глубине микрорельефа. Разрешение электронно-лучевых литографов не превышает сотой доли микрометра, что позволяет изготавливать массивы линз Френеля с крайними зонами порядка одного микрометра.

3D-изображение, которое авторы изобретения хотят сформировать с помощью микрооптической системы, является каркасным и состоит из рёбер R_q , $q=1...Q$ (фиг. 7(а)). Каждое ребро R_q разбивается на целое число частей K . Толщина ребра, как показано на фиг. 7(б) равна d . В каждую из точек разбиения помещается сфера $S_{q,k}$ диаметром d так, что соседние сферы пересекаются более чем на половину диаметра, как это показано на фиг. 7(в). Зафиксируем одну из сфер $S_{q,k}$ (фиг. 7(в)) и построим её проекцию на элементарную область G_{ij} через фокус f_{ij} как это показано на фиг. 7(г). Проекцию сферы $S_{q,k}$ на элементарную область G_{ij} будем обозначать $\bar{S}_{q,k}(i,j)$.

На фиг. 8 приведено расположение проекций $\bar{S}_{q,k}(i,j)$ сферы $S_{q,k}$ на разные элементарные области G_{ij} . На фиг. 8 проекция показана черным цветом. Из девяти областей на фиг. 8 проекции попадают только в четыре элементарные области G_{ij} .

Рассчитаем проекции всех сфер $S_{q,k}$ для $1...K$ и фиксированного ребра R_q на элементарные области G_{ij} . Рассчитанные таким образом проекции показаны чёрным цветом на фиг. 9 для шести элементарных областей G_{ij} . На фиг. 8 фиксированный параметр q , в то время как параметр k пробегает значения $1...K$.

Проделив эту операцию для всех рёбер R_q , $q=1...Q$, авторы изобретения построят область $\bar{G}_{ij} = \bigcup_{q,k} S_{q,k}(i,j)$, принадлежащую каждой элементарной области G_{ij} , $i=1...I$, $j=1...J$. Область \bar{G}_{ij} является объединением областей $S_{q,k}(i,j)$ по всем параметрам $q=1...Q$ и $k=1...K$. На фиг. 10 черным цветом приведены области \bar{G}_{ij} для нескольких элементарных областей G_{ij} .

Положим фазовую функцию $\Phi(x,y)$ равной нулю в области \bar{G}_{ij} и равной $C(x^2+y^2)$ для точек из области $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$, $i=1...I$, $j=1...J$. Область $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$, обозначенная белым цветом на фиг. 10, является дополнением к области \bar{G}_{ij} в элементарной области G_{ij} . Таким образом, микрорельеф равен нулю в черных областях и не равен нулю в белых областях на фиг. 10.

В белых областях глубина микрорельефа вычисляется $h(x,y) = 0,5 \cdot \Phi(x,y)$ для каждой точки (x,y) области G . Приведенный на фиг. 10 вариант соответствует п.1 формулы изобретения.

Возможен другой вариант, предложенный в п.2 формулы изобретения. Этот вариант приведен на фиг. 11. В этом варианте микрорельеф отличен от нуля в области \bar{G}_{ij} и равен нулю $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$. Более наглядно структура области по п.1 формулы изобретения представлена на фиг. 12. Как видно из фиг. 12, из каждой линзы вырезается область, обозначенная черным цветом. Маской для вырезания является область \bar{G}_{ij} . Структура микрорельефа по п.2 формулы изобретения представлена на фиг. 13. И на том и на другом рисунке микрорельеф отличен от нуля в областях, обозначенных белым цветом. Разница между вариантами по п.1 и п.2 формулы изобретения заключается в том, что в варианте по п.1 при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит трёхмерное каркасное изображение, состоящее из тёмных рёбер на светлом фоне. В варианте по п.2 при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит трёхмерное каркасное изображение, состоящее из светлых рёбер на тёмном фоне.

В п.3 формулы изобретения предложен способ синтеза микрооптической системы, формирующей эффект смены двух каркасных 3D-изображений, заданных с помощью вершин $V_p^{(1)}$, $p=1...P^{(1)}$, рёбер $R_q^{(1)}$, $q=1...Q^{(1)}$ и, соответственно, вершин $V_p^{(2)}$, $p=1...P^{(2)}$, рёбер $R_q^{(2)}$, $q=1...Q^{(2)}$, где $P^{(1)}$, $P^{(2)}$, $Q^{(1)}$ и $Q^{(2)}$ - заданные целые числа. Для расчёта фазовой функции плоского оптического элемента область оптического элемента G разбивается на элементарные области G_{ij} , $i=1...I$, $j=1...J$, размером менее 200 мкм. Каждую из элементарных областей G_{ij} разбивают на элементарные области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$, отвечающие за формирование разных 3D-изображений. На фиг. 14 приведён вариант разбиения элементарной области G_{ij} на элементарные области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$. В элементарных областях $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ размещают параболические линзы Френеля с фазовыми функциями $\varphi^{(1)}(x,y) = C^{(1)}(x^2 + y^2)$ и $\varphi^{(2)}(x,y) = C^{(2)}(x^2 + y^2)$, $C^{(1)}$ и $C^{(2)}$ - заданные параметры.

Возможны различные варианты формирования микрорельефа в элементарных областях $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$.

На фиг. 15 представлен вариант, в котором пространственное положение фокусов $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$ совпадает. Для этого случая структура микрорельефа представлена на 15(а), а положение фокусов - на фиг. 15(б). На фиг. 16 представлен вариант, в котором пространственное положение фокусов $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$ плоских линз Френеля в областях $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ не совпадает. Для этого случая структура микрорельефа представлена на 16(а), а положение фокусов - на фиг. 16(б). Вариант, приведённый на фиг. 16, создаёт определённое преимущество при формировании двух 3D-изображений, поскольку в нём заложен дополнительный угловой диапазон между углами формирования первого и второго 3D-изображений. В качестве примера будем использовать первое 3D-изображение, представленное на фиг. 1, а в качестве второго 3D-изображения - на фиг. 2. Для каждой линзы Френеля рассчитывается пространственное положение фокусов $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$. Каждое ребро $R_q^{(1)}$ и $R_q^{(2)}$ разбивается на целое число частей K . В каждую из точек разбиения помещаются сферы $S_{q,k}^{(1)}$ и $S_{q,k}^{(2)}$ диаметром d так, что соседние сферы пересекаются более чем на половину диаметра. Для каждой элементарной области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ строятся проекции $\bar{S}_{q,k}^{(1)}(i,j)$ сферы $S_{q,k}^{(1)}$ через фокус $f_{ij}^{(1)}$ и проекции $\bar{S}_{q,k}^{(2)}(i,j)$ сферы $S_{q,k}^{(2)}$ через фокус $f_{ij}^{(2)}$.

Объединение всех проекций сфер для всех рёбер по индексам q и k определяет область $\bar{G}_{ij}^{(1)} = \cup_{q,k} S_{q,k}^{(1)}(i,j)$, принадлежащую элементарной области $G_{ij}^{(1)}$, и область $\bar{G}_{ij}^{(2)} = \cup_{q,k} S_{q,k}^{(2)}(i,j)$, принадлежащую элементарной области $G_{ij}^{(2)}$, в которых фазовую функцию оптического элемента полагают равной нулю. Структура областей $\bar{G}_{ij}^{(1)}$ и $\bar{G}_{ij}^{(2)}$ в элементарной области G_{ij} , состоящей из областей $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$, представлена на фиг. 17.

Представленное изображение на фиг. 17 рассчитано по п.3 формулы изобретения в варианте, когда пространственные положения фокусов $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$ не совпадают. На фиг. 18 приведена схема формирования микрорельефа в элементарных областях G_{ij} по п.3 формулы изобретения.

В каждой точке (x,y) элементарной области $G_{ij}^{(1)}$ фазовая функция, формирующая первое 3D-изображение, равна нулю для точек из элементарной области $\bar{G}_{ij}^{(1)}$ и равна $0,5 \cdot C(x^2+y^2)$ для точек из области $G_{ij}^{(1)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(1)}$, $i=1...I, j=1...J$ соответственно. Точки, в которых фазовая функция равна нулю, соответствуют чёрному цвету на фиг. 18. В каждой точке (x,y) элементарной области $G_{ij}^{(2)}$ фазовая функция, формирующая второе 3D-изображение, равна нулю для точек из областей $\bar{G}_{ij}^{(2)}$ и равна $0,5 \cdot C(x^2+y^2)$ для точек из области $G_{ij}^{(2)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(2)}$, $i=1...I, j=1...J$. Точки, в которых фазовая функция равна нулю, соответствуют чёрному цвету на фиг. 18. При углах дифракции от 0 до $+30^\circ$ наблюдатель видит одно трёхмерное каркасное изображение, а при углах дифракции от 0 до -30° наблюдатель видит другое трёхмерное каркасное изображение. Оба изображения состоят из тёмных рёбер на светлом фоне.

Аналогично п.2 формулы изобретения, микрооптическую систему для эффекта смены двух 3D-изображений можно формировать по-другому, так что фазовая функция микрооптической системы равняется нулю в областях $G_{ij}^{(1)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(2)}$ и не равняется нулю в областях $\bar{G}_{ij}^{(1)}$ и $\bar{G}_{ij}^{(2)}$.

В п.4 формулы изобретения предложен способ синтеза микрооптических систем по п.1 формулы изобретения, отличающийся тем, что каждая из областей, в которых фазовая функция оптической системы равняется нулю, частично или полностью заполняется дифракционными решётками разных периодов и разной ориентации, которые при освещении микрооптической системы источником белого света формируют цветное 2D-изображение, видимое наблюдателю при углах дифракции более 60° . Вариант структуры микрорельефа микрооптической системы по п.1 формулы изобретения в этом случае представлен на фиг. 19. Вариант структуры микрорельефа микрооптической системы по п.3 формулы изобретения в этом случае представлен на фиг. 20. Дифракционные решётки имеют периоды от $0,4$ до $0,6$ мкм и могут иметь разную ориентацию.

Согласно п.5 формулы изобретения микрооптическая система по пп.1-4 формулы изобретения, изготовленная в виде фольги горячего тиснения, голографических нитей, наклеек или ламината, предназначена для защиты банкнот, документов, паспортов, ID, пластиковых карт, ценных бумаг, брендов.

Таким образом, приведённый способ синтеза микрооптических систем позволяет рассчитать микрорельеф плоского оптического элемента, который при его освещении белым светом формирует 3D-изображения по п.1-4 формулы изобретения. На фиг. 21 и приведены фрагменты многоградационного оптического элемента, формирующего 3D-изображение по пп.1 и 4 формулы изобретения. 3D-изображение формируется в углах дифракции меньше 60° . При больших углах дифракции наблюдатель видит другое цветное 2D-изображение. На фиг. 22 приведен фрагмент многоградационного оптического элемента, формирующего 3D-изображения по пп.1 и 4 формулы изобретения. При углах дифракции от -30 до 30° наблюдатель видит эффект смены двух 3D-изображений. При больших углах дифракции наблюдатель видит другое цветное 2D-изображение. Глубина микрорельефа в каждой точке оптического

элемента пропорциональна потемнению в точке изображения на фиг. 21 и 22.

На фиг. 23 центр оптического элемента 1 помещён в начало координат, цифрой 2 обозначен точечный источник белого света, а цифрой 3 - глаз наблюдателя, находящийся на фиг. 23 в нулевом порядке дифракции. При повороте оптического элемента относительно оси Ox , обозначенном углом α , и поворотах относительно оси Oy , обозначенном углом β , наблюдатель видит разные ракурсы 3D-изображения, изготовленного по пп.1, 2 формулы изобретения.

На фиг. 24 приведена схема наблюдения микрооптической системы, изготовленной по п.4 формулы изобретения, при углах дифракции θ более 60° . Луч света R1 от источника 2 падает на оптический элемент 1, наклонённый под углом α относительно оси Ox . Направление на нулевой порядок дифракции обозначено как R2.

На фиг. 25 приведена схема наблюдения микрооптической системы 1, изготовленной по п.3 формулы изобретения, при углах дифракции $0^\circ < \theta < +30^\circ$. При этом наблюдатель 3 видит одно 3D-изображение, сформированное фрагментами линз Френеля из элементарных областей $G_{ij}^{(1)}$. На фиг. 26 приведена схема наблюдения микрооптической системы 1, изготовленной по п.3 формулы изобретения, при углах дифракции $-30^\circ < \theta < 0$. При этом наблюдатель 3 видит другое 3D-изображение, сформированное фрагментами линз Френеля из элементарных областей $G_{ij}^{(2)}$. Смена изображений происходит при прохождении нулевого порядка дифракции, обозначенного на фиг. 25 и 26 как R2.

На фиг. 27 представлено цветное изображение, видимое наблюдателю на всей области оптического элемента, изготовленного по п.4 формулы изобретения, при больших углах дифракции более 60° согласно схеме наблюдения, показанной на фиг. 24. Изображение приведено в условных цветах. Серый цвет соответствует зелёному, а чёрный - красному цвету видимого наблюдателем 2D-изображения.

На фиг. 28 приведено несколько вариантов каркасных 3D-изображений, которые также могут быть использованы для синтеза плоских дифракционных защитных элементов.

На фиг. 29 приведен другой вариант размещения в элементарных областях G_{ij} дифракционных решёток. Здесь область G_{ij}^{3D} содержит фрагменты линз Френеля, отвечающих за формирование 3D-изображения, а область G_{ij}^{2D} , состоящая в данном примере из двух подобластей, частично или полностью заполнена дифракционными решётками малых периодов от 0,4 до 0,6 мкм, отвечающих за формирование цветного 2D-изображения, видимого наблюдателю на всей области оптического элемента при больших углах дифракции, превышающих 60° .

На фиг. 30 приведён микрорельеф микрооптической системы, сформированной по п.3 формулы изобретения, в элементарной области G_{ij} в варианте размещения дифракционных решёток, представленном на фиг. 29. Глубина микрорельефа в каждой точке оптического элемента пропорциональна потемнению в точке изображения фиг. 30.

Заявленная микрооптическая система для формирования 3D-изображения использует многоградационные линзы Френеля. Основное отличие заявленной микрооптической системы от патента US 20070268536 A1 заключается в следующем.

1. В известной микрооптической системе (прототипе) 3D-изображение формируется в первом порядке дифракции. В заявляемой микрооптической системе - в нулевом порядке дифракции.
2. В отличие от прототипа, в котором используется оптическая запись оригинала, в заявленном изобретении микрооптическая система является компьютерно-синтезированной. Оптический элемент состоит из фрагментов многоградационных линз Френеля. Предложен способ расчёта микрорельефа оптического элемента, формирующего заданное 3D-изображение.
3. Разработанные методы позволяют синтезировать плоский оптический элемент, формирующий эффект смены двух 3D-изображений.
4. Контролируемый визуальный признак включает в себя контроль 3D-изображений при малых углах дифракции и контроль цветного 2D-изображения при больших углах дифракции.
5. Для формирования микрорельефа в заявленном изобретении используется прецизионная электронно-лучевая технология. Эта технология не является распространённой, в мире существует всего несколько компаний, которым доступна эта технология. Всё это позволяет сузить круг технологий, с помощью которых можно изготовить заявленные микрооптические системы, что обеспечивает их надёжную защиту от подделки.
6. Технология массового тиражирования заявленных микрооптических систем доступна и обеспечивает низкую цену микрооптических систем при массовом тиражировании.

Нижеприведенные примеры конкретного выполнения изобретения подтверждает возможность осуществления изобретения, не ограничивая его объём. Для демонстрации эффективности предложенного метода синтеза были изготовлены две микрооптические системы. Для изготовления оригиналов плоских отражающих оптических элементов была использована электроннолучевая технология. Линзы Френеля изготавливались с разрешением 300 и 400 нм и с точностью 10-15 нм по глубине. Дифракционные решётки с разрешением 25 нм по горизонтали (штампами 225 и 275 нм). Для экспонирования использовался позитивный электронный резист. После экспонирования и формирования микрорельефа были из-

готовлены мастер-матрицы с помощью которых на стандартном оборудовании для производства рельефных защитных голограмм были изготовлены микрооптические системы, представляющие собой наклейки с защищённым микрорельефом.

Пример 1.

В качестве первого примера был рассчитан и изготовлен оригинал микрооптической системы для формирования 3D-изображения, видимого наблюдателю в окрестностях нулевого порядка дифракции. Трёхмерное изображение состоит из криволинейных ребер, представляющих собой параллели и меридианы глобуса, как показано на фиг. 1. Диаметр глобуса был выбран 26 мм. Микрооптическая система представляет собой плоский отражающий фазовый оптический элемент размером 30×30 мм. Область оптического элемента G была разбита на элементарные области G_{ij} , $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, размером 120×150 мкм, как показано на фиг. 29. В центральной части элементарной области G_{ij} выделена элементарная область G_{ij}^{3D} размером 120×120 мкм. Элементарная область G_{ij}^{3D} содержала вогнутую линзу Френеля с фокусным расстоянием 186 мкм, используемую для формирования 3D-изображения. Общее количество линз Френеля составило 50000, $I=250$, $J=200$. Количество Q криволинейных ребер R_q в трёхмерном изображении глобуса составляет 7 окружностей и 8 дуг окружностей с общим центром в точке (0,0,0). Все ребра были разбиты на целое число частей и в каждую точку разбиения поместили сферу $S_{q,k}$ диаметром d . Диаметр для сфер с координатой $z \geq 0$ был выбран равным 850 мкм, а для сфер с координатами $z < 0$ - равным 500 мкм. При этом коэффициент перекрытия сфер равнялся 5, т.е. расстояние между центрами двух соседних сфер было в 5 раз меньше диаметра любой из них. Общее количество сфер $S_{q,k}$ составило 6857. В каждой элементарной области G_{ij}^{3D} через фокус f_{ij} для каждой из сфер $S_{q,k}$ была построена проекция $\bar{S}_{q,k}(i,j)$. Объединение всех проекций сфер для всех ребер по индексам q и k определяет область $\bar{G}_{ij} = \cup_{q,k} S_{q,k}(i,j)$, которая принадлежит элементарной области G_{ij}^{3D} и заполнена фрагментами линзы Френеля, и дополнительную область $G_{ij}^{3D} \setminus \bar{G}_{ij}$, в которой фазовая функция приравнена нулю. Области \bar{G}_{ij} в нескольких элементарных областях G_{ij}^{3D} приведены на фиг. 11. Структура микрорельефа приведена фиг. 21. Потемнение в каждой точке фиг. 21 пропорционально глубине микрорельефа. Дифракционные решётки имеют периоды 0,45 и 0,55 мкм.

Пример 2.

В качестве второго примера был рассчитан и изготовлен оригинал микрооптической системы для формирования эффекта смены двух 3D-изображений, видимых наблюдателю в окрестностях нулевого порядка дифракции. Первое трёхмерное изображение состоит из криволинейных ребер $R_q^{(1)}$, представляющих собой параллели и меридианы глобуса, как в примере 1, и показано на фиг. 1. Второе трёхмерное изображение состоит из криволинейных ребер $R_q^{(2)}$ усечённого икосаэдра, лежащих на описанной сфере, и выглядит как футбольный мяч, что показано на фиг. 2. Диаметр описанной сферы 26 мм. Количество Q криволинейных ребер $R_q^{(2)}$ в трёхмерном изображении усечённого икосаэдра составляет 90 дуг окружностей с общим центром в точке (0,0,0). Все ребра $R_q^{(2)}$ были разбиты на целое число частей $K=42$ и в каждую точку разбиения поместили сферу $S_{q,k}^{(2)}$ диаметром d . Диаметр для сфер с координатой $z \geq 0$ был выбран равным 1250 мкм, а для сфер с координатами $z < 0$ - равным 750 мкм. При этом коэффициент перекрытия сфер равнялся 6, т.е. расстояние между центрами двух соседних сфер было в 6 раз меньше диаметра любой из них. Общее количество сфер $S_{q,k}^{(2)}$ составило 3780. Микрорельеф в элементарной области G_{ij}^{3D} сформирован по п.3 формулы изобретения. Расстояние между фокусами линз Френеля в элементарной области G_{ij}^{3D} составляет 20 мкм, что даёт дополнительный угловой диапазон $\pm 3^\circ$ от нулевого порядка дифракции. Области G_{ij}^{2D} заполнены дифракционными решетками с периодами 0,45 и 0,55 мкм, формирующими цветное 2D-изображение. Таким образом, при углах дифракции от $+3^\circ$ до $+33^\circ$ наблюдатель видит 3D-изображение, показанное на фиг. 1, а при углах дифракции от -3° до -33° наблюдатель видит 3D-изображение, показанное на фиг. 2. При углах дифракции более 60° на всей области оптического элемента наблюдатель видит другое цветное 2D-изображение, представленное на фиг. 27 в условных цветах.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ синтеза микрооптических систем, представляющих собой плоский отражающий дифракционный фазовый оптический элемент для формирования каркасных 3D-изображений, заданных с помощью вершин V_p , $p=1\dots P$, и рёбер R_q , $q=1\dots Q$, отличающийся тем, что для расчёта фазовой функции плоского оптического элемента область оптического элемента G разбивается на элементарные области G_{ij} , $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, размером менее 200 мкм, в каждой из которых размещается осевая параболическая линза Френеля с фазовой функцией $\varphi(x,y) = C(x^2 + y^2)$, C - заданный параметр, для каждой линзы Френеля рассчитывается пространственное положение фокуса f_{ij} , каждое ребро R_q разбивается на целое число частей K , в каждую из точек разбиения помещается сфера $S_{q,k}$ диаметром d так, что соседние сферы пересекаются более чем на половину диаметра, для каждой элементарной области G_{ij} строится проекция $\bar{S}_{q,k}(i,j)$ сферы $S_{q,k}$ через фокус f_{ij} , объединение всех проекций сфер для всех рёбер по индексам q и k определяет область $\bar{G}_{ij} = \cup_{q,k} S_{q,k}(i,j)$, принадлежащую элементарной области G_{ij} , в области \bar{G}_{ij} фазовую функцию полагают равной нулю, таким образом рассчитывают фазовую функцию оптического элемента $\Phi(x,y)$ в каждой точке (x,y) области G так, что функция $\Phi(x,y)$ равна нулю для точек из областей \bar{G}_{ij} и равна $C(x^2+y^2)$ для точек из области $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$, $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, и вычисляют микрорельеф $h(x,y)=0,5 \cdot \Phi(x,y)$ для каждой точки (x,y) области G , при этом при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит трёхмерное каркасное изображение, состоящее из тёмных рёбер на светлом фоне.

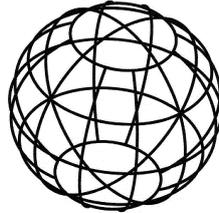
2. Способ синтеза микрооптических систем, представляющих собой плоский отражающий дифракционный фазовый оптический элемент для формирования каркасных 3D-изображений, заданных с помощью вершин V_p , $p=1\dots P$, и рёбер R_q , $q=1\dots Q$, отличающийся тем, что для расчёта фазовой функции плоского оптического элемента область оптического элемента G разбивается на элементарные области G_{ij} , $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, размером менее 200 мкм, в каждой из которых размещается осевая параболическая линза Френеля с фазовой функцией $\varphi(x,y) = C(x^2 + y^2)$, C - заданный параметр, для каждой линзы Френеля рассчитывается пространственное положение фокуса f_{ij} , каждое ребро R_q разбивается на целое число частей K , в каждую из точек разбиения помещается сфера $S_{q,k}$ диаметром d так, что соседние сферы пересекаются более чем на половину диаметра, для каждой элементарной области G_{ij} строится проекция $\bar{S}_{q,k}(i,j)$ сферы $S_{q,k}$ через фокус f_{ij} , объединение всех проекций сфер для всех рёбер по индексам q и k определяет область $\bar{G}_{ij} = \cup_{q,k} S_{q,k}(i,j)$, принадлежащую элементарной области G_{ij} , в области $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$, $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, фазовую функцию полагают равной нулю, таким образом рассчитывают фазовую функцию оптического элемента $\Phi(x,y)$ в каждой точке (x,y) области G так, что функция $\Phi(x,y)$ равна $C(x^2+y^2)$ для точек из областей \bar{G}_{ij} и равна нулю для точек из области $G_{ij} \setminus \bar{G}_{ij}$, $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, и вычисляют микрорельеф $h(x,y)=0,5 \cdot \Phi(x,y)$ для каждой точки (x,y) области G , при этом при углах дифракции менее 60° наблюдатель видит трёхмерное каркасное изображение, состоящее из светлых рёбер на тёмном фоне.

3. Способ синтеза микрооптических систем, представляющих собой отражающий плоский дифракционный фазовый оптический элемент, для формирования эффекта смены двух каркасных 3D-изображений, заданных с помощью вершин $V_p^{(1)}$, $p=1\dots P^{(1)}$, рёбер $R_q^{(1)}$, $q=1\dots Q^{(1)}$ и, соответственно, вершин $V_p^{(2)}$, $p=1\dots P^{(2)}$, рёбер $R_q^{(2)}$, $q=1\dots Q^{(2)}$, отличающийся тем, что для расчёта фазовой функции плоского оптического элемента область оптического элемента G разбивается на элементарные области G_{ij} , $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, размером менее 200 мкм, каждую из элементарных областей G_{ij} разбивают на элементарные области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$, отвечающие за формирование разных 3D-изображений, в элементарных областях $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ размещают параболические линзы Френеля с фазовыми функциями $\varphi^{(1)}(x,y) = C^{(1)}(x^2 + y^2)$ и $\varphi^{(2)}(x,y) = C^{(2)}(x^2 + y^2)$, $C^{(1)}$ и $C^{(2)}$ - заданные параметры, для каждой линзы Френеля рассчитывается положение фокуса $f_{ij}^{(1)}$ и $f_{ij}^{(2)}$, каждое ребро $R_q^{(1)}$ и $R_q^{(2)}$ разбивается на целое число частей K , в каждую из точек разбиения помещаются сферы $S_{q,k}^{(1)}$ и $S_{q,k}^{(2)}$ диаметром d так, что соседние сферы пересекаются более чем на половину диаметра, для каждой элементарной области $G_{ij}^{(1)}$ и $G_{ij}^{(2)}$ строятся проекции $\bar{S}_{q,k}^{(1)}(i,j)$ сферы $S_{q,k}^{(1)}$ через фокус $f_{ij}^{(1)}$ и проекции $\bar{S}_{q,k}^{(2)}(i,j)$ сферы $S_{q,k}^{(2)}$ через фокус $f_{ij}^{(2)}$, объединение всех проекций сфер для всех рёбер по индексам q и k определяет область $\bar{G}_{ij}^{(1)} = \cup_{q,k} S_{q,k}^{(1)}(i,j)$, принадлежащую элементарной области $G_{ij}^{(1)}$, и область $\bar{G}_{ij}^{(2)} = \cup_{q,k} S_{q,k}^{(2)}(i,j)$, принадлежащую элементарной области $G_{ij}^{(2)}$, в которой фазовую функцию оптического элемента полагают равной нулю, таким образом в каждой точке (x,y) элементарной области $G_{ij}^{(1)}$ фазовая функция, формирующая первое 3D-изображение, равна нулю для точек из элементарной области $\bar{G}_{ij}^{(1)}$ и равна $0,5 \cdot C^{(1)}(x^2+y^2)$ для точек из области $G_{ij}^{(1)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(1)}$, $i=1\dots I$, $j=1\dots J$, соответственно в каждой точке (x,y) элементарной области $G_{ij}^{(2)}$ фазовая функция, формирующая второе 3D-изображение, равна нулю для точек из областей $\bar{G}_{ij}^{(2)}$ и равна $0,5 \cdot C^{(2)}(x^2+y^2)$ для точек из

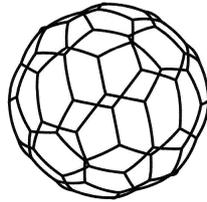
области $G_{ij}^{(2)} \setminus \bar{G}_{ij}^{(2)}$, $i=1 \dots I, j=1 \dots J$, при этом при углах дифракции от 0 до $+30^\circ$ наблюдатель видит одно трёхмерное каркасное изображение, а при углах дифракции от 0 до -30° наблюдатель видит другое трёхмерное каркасное изображение, оба изображения состоят из тёмных рёбер на светлом фоне.

4. Способ синтеза микрооптических систем по пп.1-3 формулы изобретения, отличающийся тем, что каждая из областей, в которых фазовая функция $\Phi(x,y)=0$, частично или полностью заполняется дифракционными решётками разных периодов и разной ориентации, которые при освещении микрооптической системы источником белого света формируют цветное 2D-изображение, видимое наблюдателю при углах дифракции более 60° .

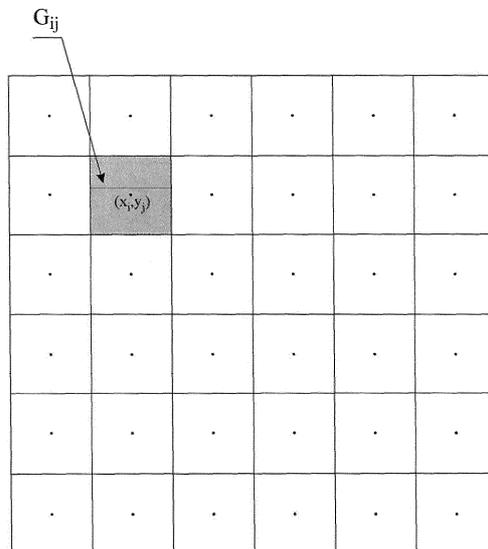
5. Микрооптическая система, сформированная способом по пп.1-4, изготовленная в виде фольги горячего тиснения, голографических нитей, наклеек или ламината, предназначенная для защиты банкнот, документов, паспортов, ID, пластиковых карт, ценных бумаг или логотипов брендов.



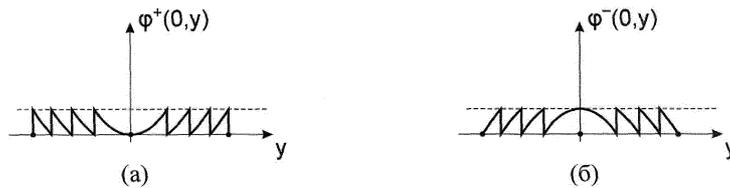
Фиг. 1



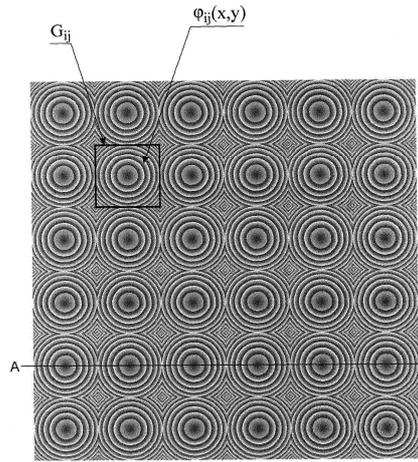
Фиг. 2



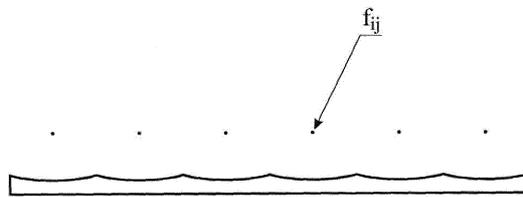
Фиг. 3



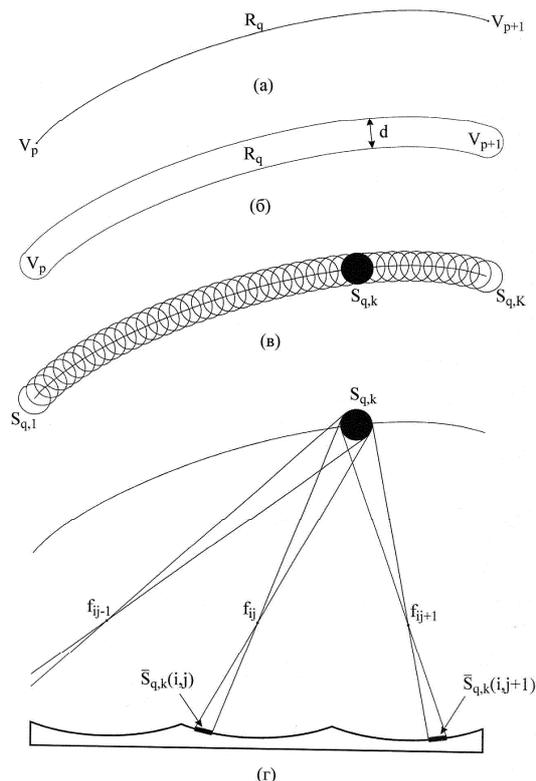
Фиг. 4



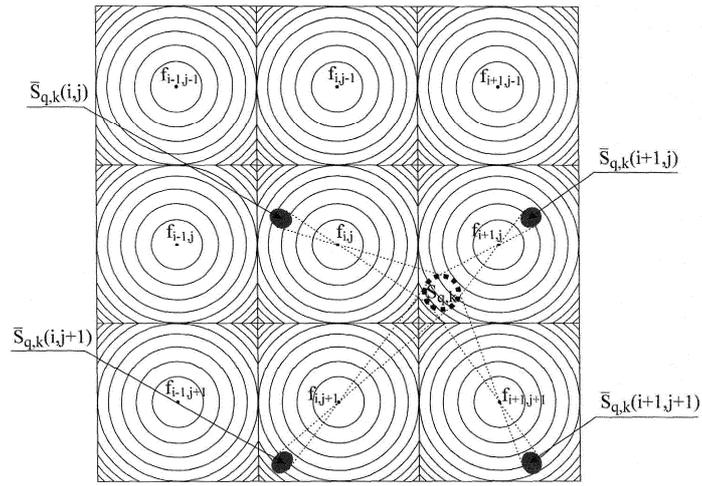
Фиг. 5



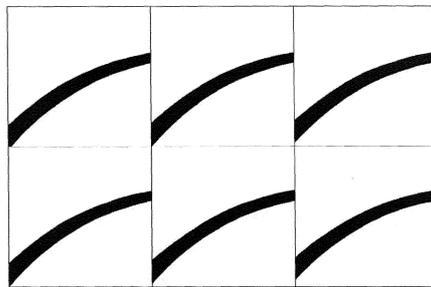
Фиг. 6



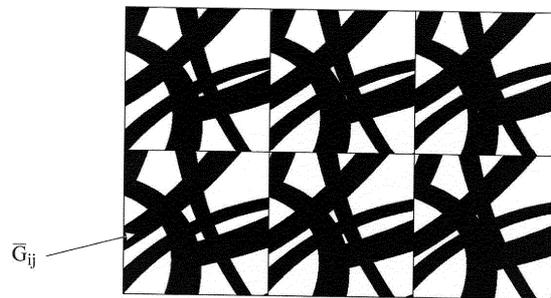
Фиг. 7



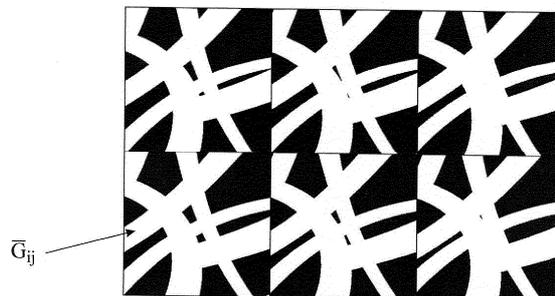
Фиг. 8



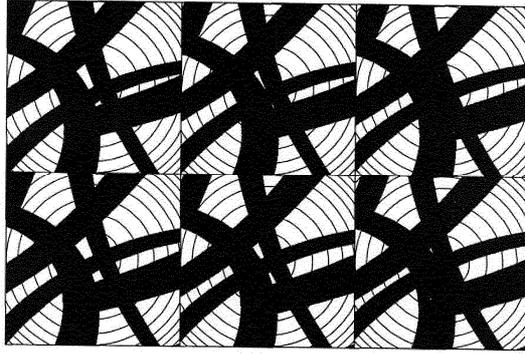
Фиг. 9



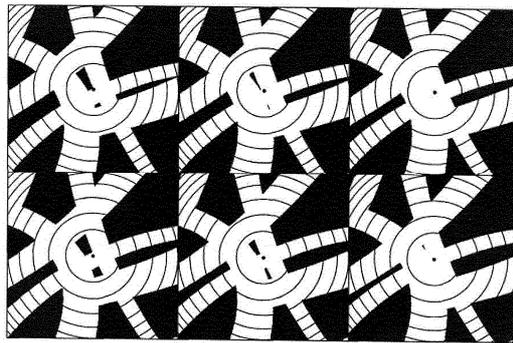
Фиг. 10



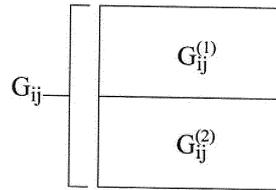
Фиг. 11



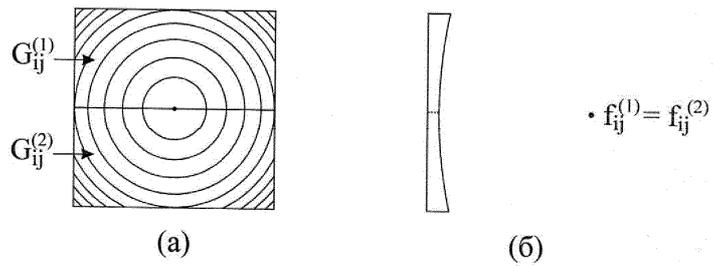
Фиг. 12



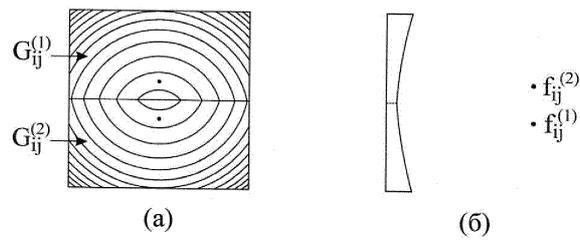
Фиг. 13



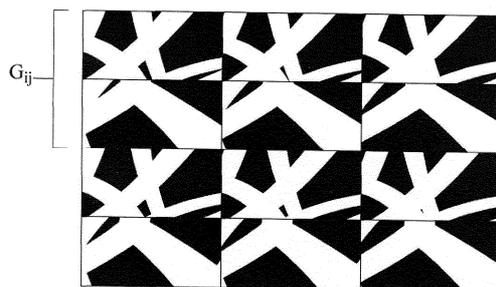
Фиг. 14



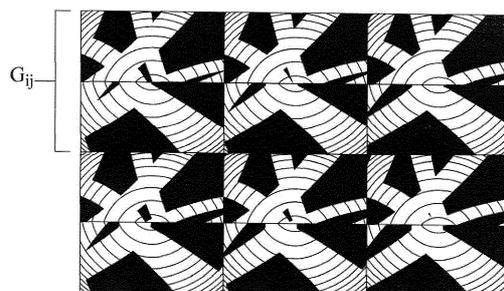
Фиг. 15



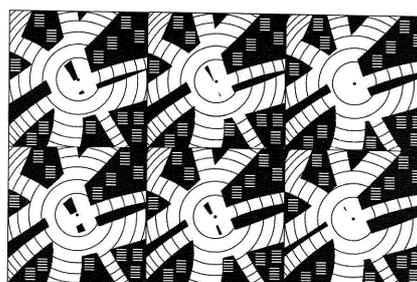
Фиг. 16



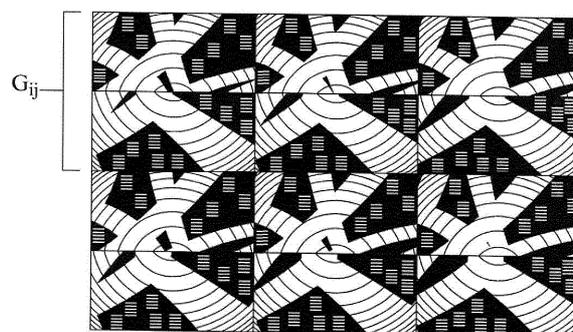
Фиг. 17



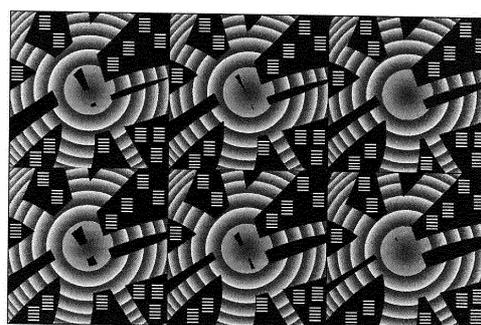
Фиг. 18



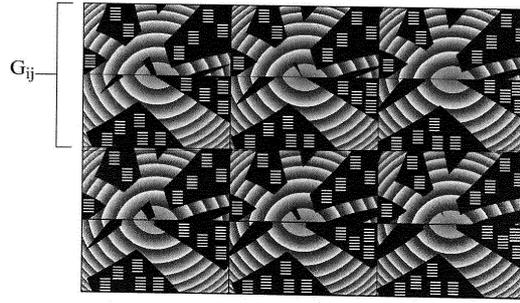
Фиг. 19



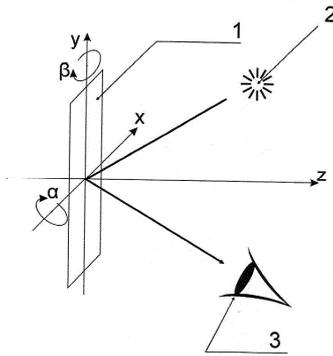
Фиг. 20



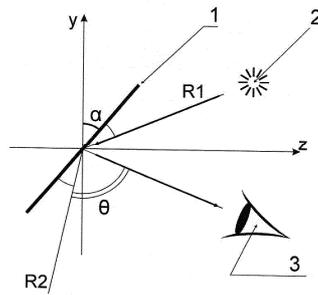
Фиг. 21



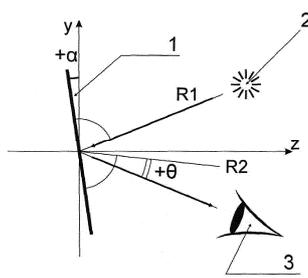
Фиг. 22



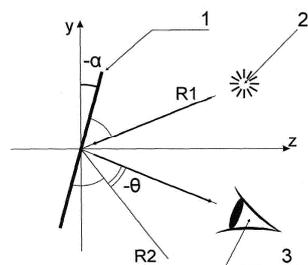
Фиг. 23



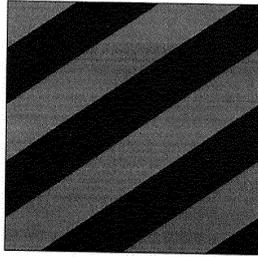
Фиг. 24



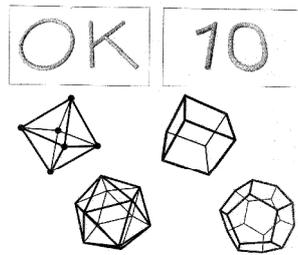
Фиг. 25



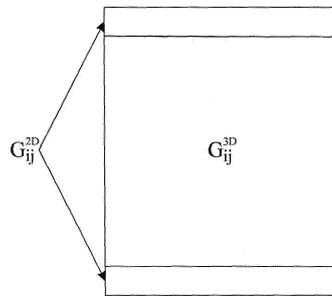
Фиг. 26



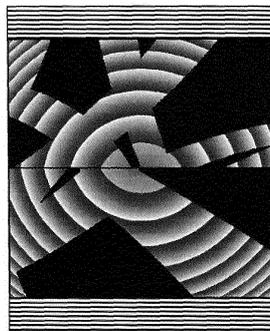
Фиг. 27



Фиг. 28



Фиг. 29



Фиг. 30