



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016112587/28, 04.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.04.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.04.2016

(45) Опубликовано: 27.09.2016

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Одинокова  
С.Б. (каф. РЛ-2)

(72) Автор(ы):

Одинокоев Сергей Борисович (RU),  
Злоказов Евгений Юрьевич (RU),  
Соломашенко Артем Борисович (RU),  
Град Янина Александровна (RU),  
Николаев Владимир Вячеславович (RU),  
Кузнецов Алексей Станиславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ  
им. Н.Э. Баумана) (RU)

(54) ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА ИНДИКАТОРА ЗНАКО-СИМВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С  
ПРОПУСКАЮЩИМИ ПЛАЗМОННЫМИ РЕШЕТКАМИ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области оптических дисплеев и индикаторов, формирующих изображение, и, более конкретно, к голографическим индикаторам, формирующим для зрителя наблюдателя многоцветную знако-символьную информацию на фоне окружающей обстановки. Задачей полезной модели является предложение оптической схемы индикатора знако-символьной информации с возможностью получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрачка индикатора при использовании монохромного OLED-дисплея или другого источника излучения с широким спектром для формирования необходимой знако-символьной информации. Техническим результатом полезной модели является оптическая схема индикатора знако-символьной информации на основе стеклянной подложки (световодной пластины) с распространением излучения внутри данной подложки под действием полного внутреннего отражения (ПВО), на всей поверхности которой получены дифракционные решетки для вывода излучения основной рабочей длины волны из пластины и в заданных определенных областях

-плазмонные дифракционные решетки, позволяющие выделить из спектра излучения, выведенного из подложки, цветовые оттенки для окрашивания изображения в другой по сравнению с рабочей длиной волны цвет. Таким образом, оптическая схема индикатора знако-символьной информации с пропускающими плазмонными решетками характеризуется тем, что имеет возможность получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрачка индикатора, для чего содержит последовательно установленные на оптической оси монохромный дисплей с широким спектром излучения (OLED типа или ЖК-дисплей со светодиодной подсветкой) в качестве источника формирования знако-символьной информации, коллимирующий объектив, световодную пластину, дифракционные решетки для ввода излучения знако-символьной информации в указанную пластину для последующего распространения излучения внутри пластины под действием полного внутреннего отражения (ПВО), дифракционные решетки с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, и размещенные

в заданных определенных областях пластины плазмонные дифракционные решетки пропускающего типа, расположенные поверх указанных дифракционных решеток с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, с возможностью работы

указанных плазмонных решеток в качестве спектральных фильтров в нулевом порядке дифракции для изменения цвета изображения излучения, выводимого дифракционными решетками из пластины. 5 ил.

R U 1 6 4 9 4 9 U 1

R U 1 6 4 9 4 9 U 1

### Область техники

Полезная модель относится к области оптических дисплеев и индикаторов, формирующих изображение, и, более конкретно, к голографическим индикаторам, формирующим для зрителя наблюдателя многоцветную знако-символьную информацию на фоне окружающей обстановки.

### Уровень техники

Дисплеи и индикаторы на основе дифракционных оптических элементов (ДОЭ) все активнее применяются в системах отображения информации и визуализации, где наблюдаемое изображение накладывается на изображение реальной сцены.

Преимуществом данных систем отображения информации является то, что ДОЭ в сочетании со световодными пластинами обеспечивают выходной зрачок большого размера при сравнительно малом размере коллимирующей оптической системы, что позволяет существенно снизить массогабаритные параметры дисплея или индикатора. Вместе с тем, разработанные на данный момент подобные индикаторы являются преимущественно монохромными, т.к. задача получения многоцветного изображения сводится, в основном, к использованию нескольких склеенных световодов с ДОЭ под определенные длины волн, что существенно усложняет процесс изготовления дисплеев. Кроме того, цветные OLED-дисплеи в качестве источника излучения не обладают достаточной яркостью для обеспечения необходимого контраста между яркостями выводимой знако-символьной информации и фона окружающей обстановки, а применение ЖК-дисплеев со светодиодной подсветкой увеличивает массу индикаторов и делает подобные системы более громоздкими. Это свидетельствует о том, что актуальной является задача построения многоцветного индикатора на основе монохромного OLED-дисплея с повышенной яркостью (почти в 10 раз по сравнению с цветным дисплеем) за счет выделения из его широкого спектра излучения отдельных цветовых компонент или оттенков цветов.

В патентной заявке США US 2014140654 TRANSPARENT WAVEGUIDE DISPLAY (МПК G02F 1/29, опублик. 2014-05-22) представлена схема малогабаритного дисплея со световодной пластиной-подложкой (с распространением излучения внутри подложки под действием полного внутреннего отражения (ПВО)) на основе Брэгговских решеток (в основном переключаемых, с наличием электродов управления режимами работы решетки). Дисплей включает в себя микродисплей типа LCOS, LED, OLED и т.п. в зависимости от варианта реализации, оптический узел для ввода излучения в подложку и как минимум две стеклянные подложки с полученными на их поверхности переключаемыми Брэгговскими решетками для ввода и вывода излучения из пластин. Некоторые из вариантов реализации этих решеток могут работать в пассивном (непереключаемом) режиме, т.е. без приложения к ним напряжения. Переключаемые Брэгговские решетки обладают высокой (до 90%) дифракционной эффективностью и хорошим пропусканием на просвет, но в отличие от статических непереключаемых решеток (параметры которых не изменяются), переключаемые решетки гораздо более сложны в изготовлении, т.к. требуют наличия электродов. В различных реализациях переключаемые Брэгговские решетки толщиной до 3 мкм могут использоваться как пропускающие решетки для вывода излучения (за счет дифракции) из подложки (преимущественно в пассивном режиме работы), для расширения пучка в одном из направлений (в активном режиме работы), а также как отражательные решетки типа голографических зеркал. Кроме того, есть возможность построения по такой схеме многоцветных дисплеев в том случае, если в каждой пластине будет распространяться и выводиться излучение только определенной спектральной составляющей, причем

RGB-слои переключаемых Брэгговских решеток должны быть согласованы с RGB-источником излучения и переключаться последовательно.

К основным недостаткам данной схемы прототипа можно отнести сложность изготовления переключаемых Брэгговских решеток в силу наличия в их составе электродов, на которые подается напряжение в активном режиме их работы, что дополнительно усложняет схему самого дисплея и соответственно существенно повышает его стоимость по сравнению со статическими дифракционными решетками. Другим недостатком данного устройства в случае использования в нем в качестве источника излучения OLED-дисплея является ухудшение его оптических характеристик (разрешения, яркости, цветового размытия).

В патентных заявках США US 20130044376 OPTICAL WAVEGUIDE AND DISPLAY DEVICE (МПК G02B 27/44, опубл. 2013-02-21) и US 20140240834 OPTICAL WAVEGUIDE AND DISPLAY DEVICE (МПК G02B 27/01, G02B 6/34, опубл. 2014-08-28) представлена система оптического световода и наплемного индикатора, в которой применен способ получения увеличенного цветного изображения за счет разделения излучения на две спектральные составляющие (для каждой из которых предусмотрен свой световод), расширения его по двум направлениям, а затем совмещения этих составляющих при выводе для наблюдения цветного изображения.

Недостатком систем отображения, в которых используется один волновод, является то, что они не могут воспроизвести полноцветное изображение в пределах всего поля. Обычно полностью передается только зеленая составляющая и части красной и синей в силу различных углов дифракции излучения на решетках, входящих в состав волновода. Для устранения этого недостатка в данной заявке предложено использовать два волновода с разными периодами дифракционных решеток. Первый волновод имеет решетки с 343 нм, и позволяет выводить отображает большую часть излучения из синей области спектра, половину из зеленой области и небольшую часть красного изображения. Другой волновод имеет период решеток 460 нм, и, наоборот, позволяет выводить большую часть излучения из красной области спектра, половину из зеленой и меньшую часть - из синей.

Три цветных изображения не должны быть отделены друг от друга при такой реализации за счет двух волноводов, а должны дополнять друг друга таким образом, что полное изображение формируется в каждом цвете.

В ряде зарубежных патентов (российские патенты по тематике полезной модели не обнаружены) предложены различные варианты структур построения многоцветных дисплеев и индикаторов на основе плазмонных решеток в качестве спектральных фильтров.

Например, в патенте США US 8848140 B2 DISPLAY DEVICE HAVING PLASMONIC COLOR FILTERS AND PHOTOVOLTAIC CAPABILITIES (МПК G02F 1/1335, опубл. 2014-09-30) описано устройство с плазмонным спектральным фильтром, которое представляет собой фильтр электромагнитных волн на основе плазмонных нанорезонаторов. Использование таких фильтров перспективно, т.к. их пропускание на рабочей длине волны вдвое выше, чем у обычного цветного фильтра, за счет явления оптического резонанса в плазмонных нанорезонаторах, представляющих собой многослойные решетки (включают в себя как минимум два слоя: диэлектрик и металлизированный слой). В некоторых реализациях дополнительно используется промежуточный слой, который может быть представлен такими материалами, как оксид кремния, оксид цинка, оксид никеля, оксид молибдена, или их комбинациями. Включение промежуточного слоя в структуру плазмонного фильтра позволяет увеличить

коэффициент пропускания на рабочей длине волны. В данной реализации промежуточный слой представлен материалом с низким показателем преломления (оксид кремния с  $n=1.5$ ), а толщина слоя составляет 50 нм. Далее следует диэлектрический материал (нитрид кремния толщиной 100 нм), а после него расположена стеклянная подложка. Для металлизированного слоя используются такие материалы, как золото, серебро, алюминий и т.п. Для выделения из падающего излучения определенного спектрального диапазона, рассчитывается необходимый период структуры. Так, для выделения RGB-компонент периоды решетки фильтра должны составлять 360, 270 и 230 нм соответственно.

В патентной заявке США US 20020036828 AI DEVICES BASED ON SURFACE PLASMON INTERFERENCE FILTERS (МПК G02B 1/10, опубл. 2002-03-28) описано устройство, основанное на плазмонных металлодиэлектрических фильтрах, выделяющих из падающего излучения определенную спектральную составляющую с определенным спектральным профилем и шириной спектра. Такие фильтры могут быть использованы в качестве спектральных фильтров, работающих как в пропускающем, так и отражающем режимах, в цветных дисплеях. Устройство включает в себя три плазмонных спектральных фильтра. Каждый фильтр может быть сделан таким образом, чтобы выполнять условие плазмонного резонанса для пропускания определенной цветовой компоненты, когда напряжение к нему не приложено. Если необходимое напряжение приложено, то условие резонанса нарушается, и фильтр начинает отражать излучение во всем видимом диапазоне. Таким образом, фильтр имеет два состояния: «включенный режим» для пропускания необходимой цветовой компоненты и отражения остальных цветов при отсутствии напряжения, и «выключенный режим», в котором напряжение приложено, а фильтр отражает все падающее на него излучение.

Одна из реализаций устройства фильтрации, описанная в данной патентной заявке, включает в себя лампу белого света с отражателем, формирующую оптическую систему, оптический интегратор для выравнивания яркости в пределах пучка, поляризатор и подложку с высоким показателем преломления, в которой распространяется излучение, с полученными на обеих ее сторонах плазмонными фильтрами. Три фильтра изготовлены так, чтобы пропускать красную, зеленую и синюю спектральные составляющие при отсутствии приложенного напряжения. Таким образом, когда белый свет попадает в подложку при отсутствии приложенного к фильтрам напряжения, красная часть излучения теряется при отражении от первого фильтра, зеленая - при отражении от второго и синяя - при отражении от третьего, т.е. свет не проходит через устройство. Чтобы получить белый свет на выходе устройства, необходимо приложить напряжение ко всем фильтрам. В этом случае они будут отражать излучение как обычные зеркала. Для получения какой-то определенной спектральной составляющей на выходе устройства напряжение прикладывается к необходимому фильтру, а два другие работают без напряжения, т.е. пропускают другие спектральные составляющие, на которые они рассчитаны. Такие устройства могут быть использованы в устройствах фильтрации для получения цветов с высокой эффективностью.

К недостаткам данного устройства можно отнести сложность изготовления плазмонных фильтров в силу наличия в их составе электродов, на которые подается напряжение, а также тот факт, что подложка в сочетании с фильтрами используется исключительно для спектральной селекции излучения. Это не дает возможности увеличения выходного зрачка для наблюдателя, что является основным преимуществом систем отображения информации на основе световодных подложек и ДОЭ.

Также в данном патенте представлена структура, представляющая собой

совокупность дифракционной решетки и плазмонной решетки. В этой реализации излучение падает на структуру из воздуха, и первый порядок дифракции захватывается в поверхностную волну, обеспечивающую плазмонный резонанс. Таким образом, плазмонная структура работает с излучением первого порядка дифракции обычной  
5 дифракционной решетки. По своему составу данная структура является наиболее близкой и может быть использована в качестве прототипа, т.к. в результате поиска не было найдено ни одной публикации, в которой было бы описано сочетание малогабаритного дисплея (оптического индикатора) со световодной пластиной-подложкой (с распространением излучения внутри подложки под действием полного  
10 внутреннего отражения (ПВО)) и плазмонных спектральных фильтров.

#### Раскрытие полезной модели

Задачей полезной модели является предложение оптической схемы индикатора знако-символьной информации с возможностью получения многоцветного изображения или  
15 оттенков цветов в определенных зонах выходного зрачка индикатора при использовании монохромного OLED-дисплея или другого источника излучения с широким спектром для формирования необходимой знако-символьной информации. Это, например, желательно использовать для привлечения дополнительного внимания пользователя индикатора к важной информации, передающейся через эти отдельные зоны выходного зрачка индикатора. Для этого в определенных областях пластины совместно с  
20 дифракционными решетками для вывода излучения в индикаторе предложено дополнительно использовать спектральный фильтр на основе пропускающей плазмонной дифракционной решетки (ПДР). ПДР располагается на той же поверхности пластины, что и дифракционная решетка для вывода излучения (поверх нее), и в нулевом порядке дифракции обладает функцией спектральной селекции излучения, выведенного  
25 из пластины посредством ДР. ПДР пропускает ту или иную спектральную составляющую в зависимости от периода структуры (с увеличением периода спектр пропускания смещается в ИК-область) или в зависимости от угла падения излучения на ПДР. Этот эффект позволяет выводить в определенных зонах информацию другого цвета или оттенка, обеспечивая возможность получения многоцветного изображения.

30 Техническим результатом полезной модели является оптическая схема индикатора знако-символьной информации на основе стеклянной подложки (световодной пластины) с распространением излучения внутри данной подложки под действием полного внутреннего отражения (ПВО), на всей поверхности которой получены дифракционные решетки для вывода излучения основной рабочей длины волны из пластины и в заданных  
35 определенных областях - плазмонные дифракционные решетки, позволяющие выделить из спектра излучения, выведенного из подложки, цветовые оттенки для окрашивания изображения в другой по сравнению с рабочей длиной волны цвет.

Таким образом, оптическая схема индикатора знако-символьной информации с пропускающими плазмонными решетками характеризуется тем, что имеет возможность  
40 получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрачка индикатора, для чего содержит последовательно установленные на оптической оси монохромный дисплей с широким спектром излучения (OLED типа или ЖК-дисплей со светодиодной подсветкой) в качестве источника формирования знако-символьной информации, коллимирующий объектив, световодную пластину,  
45 дифракционные решетки для ввода излучения знако-символьной информации в указанную пластину для последующего распространения излучения внутри пластины под действием полного внутреннего отражения (ПВО), дифракционные решетки с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, и

размещенные в заданных определенных областях пластины плазмонные дифракционные решетки пропускающего типа, расположенные поверх указанных дифракционных решеток с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, с возможностью работы указанных плазмонных решеток в качестве спектральных фильтров в нулевом порядке дифракции для изменения цвета изображения излучения, выводимого дифракционными решетками из пластины.

Перечень фигур

На ФИГ. 1 представлена схема оптического индикатора знако-символьной информации с ПДР.

10 На ФИГ. 2 изображена структура пластины с ДР и ПДР поверх ДР.

На ФИГ. 3 представлены экспериментальные графики спектра пропускания ПДР в нулевом порядке дифракции для излучения, выведенного с помощью ДР из пластины под углами  $0^\circ$ ,  $10^\circ$  и  $20^\circ$ .

15 На ФИГ. 4 представлена зависимость коэффициента пропускания и ширины спектра пропускания ПДР при значениях периода структуры: 350, 400, 450 и 500 нм.

На ФИГ. 5 представлены экспериментальные графики спектра выведенного из пластины с помощью ДР и ПДР излучения для различных углов распространения излучения в пластине.

Осуществление полезной модели

20 В качестве источника формирования знако-символьной информации в предлагаемом голографическом индикаторе (ФИГ. 1) использован монохромный OLED-дисплей 1, излучающий в зеленой области спектра с достаточно широкой спектральной полосой (до 60 нм). Испускаемые источником излучения 1 пучки лучей коллимируются объективом 2, а с помощью пропускающей дифракционной решетки (ДР) 3 вводят в  
25 стеклянную подложку (световодную пластину) 4, внутри которой излучение распространяется под действием ПВО. Попадая изнутри на поверхность пластины 4, на которой расположены ДР 5 для вывода излучения, часть его выводится из пластины 4 в зрачок оператора. Для выравнивания по полю яркости наблюдаемого изображения ДР 5 должны обладать переменной дифракционной эффективностью. Если поверх ДР  
30 5 поместить ПДР 6, то в зависимости от угла падения излучения или периода ПДР они селективирует ту или иную спектральную составляющую выводимого из пластины излучения. Пропускающие ПДР 6 при такой реализации индикатора могут быть размещены поверх определенных областей ДР 5 пластины 4, выводя необходимую знако-символьную информацию разных, но строго определенных цветов. Например,  
35 как показано на ФИГ. 1, правая боковая и верхняя полосы индикатора могут быть заполнены пропускающими металлизированными ПДР 6, выводя необходимую информацию других (помимо основного зеленого цвета выводного излучения) определенных цветов, например, красного или желтого. Остальная часть пластины 4 при этом будет с ДР 5, но без металлизированных ПДР.

40 На ФИГ. 2 изображен условный поперечный разрез послойной схемы области пластины с ДР 5 и поверх нее ПДР 6. ПДР имеет коэффициент пропускания, зависящий угла падения излучения или от периода структуры. При падении на ПДР излучения с широким спектральным диапазоном в зависимости от углов падения излучения  $\theta_1$  или  $\theta_2$  или от периода структуры ПДР  $d$  селективирует какую-либо спектральную  
45 составляющую. Например, для нормального падения селективирует диапазон спектра  $\Delta\lambda_1$  (зеленый цвет) а для угла падения  $10^\circ$  -  $\Delta\lambda_2$  (желто-оранжево цвет).

ПДР представляет из себя четырехслойную структуру на стеклянной подложке или

тонкой пленке. Оптимальными для нее являются меандровая структура с периодом 0,45 мкм с толщиной слоя резиста 40 нм, покрытая слоем серебра толщиной 40 нм и защитным слоем SiO<sub>2</sub> толщиной 10 нм. Для работы в схеме индикатора данная структура может быть приклеена в необходимых областях пластины поверх ДР для обеспечения вывода в этих областях излучения другого цвета.

На ФИГ. 3 представлены экспериментальные графики спектра пропускания ПДР в нулевом порядке дифракции для различных углов падения излучения (0°, 10°, 20°). Видно, что увеличение угла падения излучения на ПДР относительно нормально падающего пучка лучей приводит к смещению максимальной длины волны спектра пропускания из зеленой в красную область для оптимальных параметров ПДР, указанных выше.

На ФИГ. 4 представлена зависимость коэффициента пропускания и ширины спектра пропускания при значениях периода меандровой структуры ПДР: 350, 400, 450 и 500 нм. Видно, что в зависимости от периода ПДР она пропускает излучение определенного спектрального диапазона. Увеличение периода от 350 до 500 нм приводит к смещению максимальной длины волны спектра пропускания в красную область для нормально падающего пучка лучей. Например, если ПДР имеет период 350 нм, то максимум спектра пропускания соответствует 0,45 мкм (синий цвет), а при периоде 500 нм максимум составляет 0,57 мкм (желтый цвет). Таким образом, можно осуществлять спектральную селекцию излучения за счет разных периодов структуры ПДР, наклеенной в определенных областях пластины с ДР. Например, правая боковая и верхняя полосы ПДР, как показано на ФИГ. 1, могут иметь различные периоды, выводя информацию желтого и красного цвета соответственно.

На ФИГ. 5 представлены теоретические графики спектра излучения, распространяющегося под действием ПВО под разными углами внутри пластины и выведенного из нее через ДР 5 и ПДР 6. При попадании излучения на решетку 5 согласно ФИГ. 2 часть излучения дифрагирует и таким образом выводится из пластины. Если при этом выведенное из пластины излучение попадет на ПДР 6 под разными углами (например, 0° и 10°), то в силу зависимости спектра пропускания от угла падения излучения, описываемого ФИГ. 3, оно будет окрашиваться в какой-либо, но строго определенный цвет, как показано на ФИГ. 5. При моделировании период ДР 5 составлял 0,5 мкм, максимальная дифракционная эффективность 34%, углы распространения излучения в пластине 45° и 55°, показатель преломления подложки 1,51, а основная рабочая длина волны 0,53 мкм.

Таким образом, показано, что сочетание в определенных областях световодной пластины ДР с переменной эффективностью, необходимой для вывода излучения из пластины, и пропускающей ПДР как спектрального фильтра в нулевом порядке дифракции (в зависимости от периода ПДР или угла падения излучения на структуру), позволяет достичь технического результата, а именно позволяет использовать монохромный OLED-дисплей с широким спектром излучения (или монохромный ЖК-дисплей со светодиодной подсветкой) для вывода в определенных зонах оптического индикатора знако-символьной информации другого цвета или оттенка.

#### Формула полезной модели

Оптическая схема индикатора знако-символьной информации с пропускающими плазмонными решетками, характеризующаяся тем, что имеет возможность получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрачка индикатора, для чего содержит последовательно установленные на оптической

оси монохромный дисплей с широким спектром излучения в качестве источника формирования знако-символьной информации, коллимирующий объектив, световодную пластину, дифракционные решетки для ввода излучения знако-символьной информации в указанную пластину для последующего распространения излучения внутри пластины под действием полного внутреннего отражения, дифракционные решетки с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины и размещенные в заданных определенных областях пластины плазмонные дифракционные решетки пропускающего типа, расположенные поверх указанных дифракционных решеток с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, с возможностью работы указанных плазмонных решеток в качестве спектральных фильтров в нулевом порядке дифракции для изменения цвета излучения, выводимого дифракционными решетками из пластины.

15

20

25

30

35

40

45

## Реферат

Полезная модель относится к области оптических дисплеев и индикаторов, формирующих изображение, и, более конкретно, к голографическим индикаторам, формирующим для зрочка наблюдателя многоцветную знако-символьную информацию на фоне окружающей обстановки. Задачей полезной модели является предложение оптической схемы индикатора знако-символьной информации с возможностью получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрочка индикатора при использовании монохромного OLED-дисплея или другого источника излучения с широким спектром для формирования необходимой знако-символьной информации. Техническим результатом полезной модели является оптическая схема индикатора знако-символьной информации на основе стеклянной подложки (световодной пластины) с распространением излучения внутри данной подложки под действием полного внутреннего отражения (ПВО), на всей поверхности которой получены дифракционные решетки для вывода излучения основной рабочей длины волны из пластины и в заданных определенных областях – плазмонные дифракционные решетки, позволяющие выделить из спектра излучения, выведенного из подложки, цветовые оттенки для окрашивания изображения в другой по сравнению с рабочей длиной волны цвет. Таким образом, оптическая схема индикатора знако-символьной информации с пропускающими плазмонными решетками характеризуется тем, что имеет возможность получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрочка индикатора, для чего содержит последовательно установленные на оптической оси монохромный дисплей с широким спектром излучения (OLED типа или ЖК-дисплей со светодиодной подсветкой) в качестве источника формирования знако-символьной информации, коллимирующий объектив, световодную пластину, дифракционные решетки для ввода излучения знако-символьной информации в указанную пластину для последующего распространения излучения внутри пластины под действием полного внутреннего отражения (ПВО), дифракционные решетки с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, и размещенные в заданных определенных областях пластины плазмонные дифракционные решетки пропускающего типа, расположенные поверх указанных дифракционных решеток с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, с возможностью работы указанных плазмонных решеток в качестве спектральных фильтров в нулевом порядке дифракции для изменения цвета изображения излучения, выводимого дифракционными решетками из пластины. 5 ил.

## Оптическая схема индикатора знако-символьной информации с пропускающими плазмонными решетками

### Область техники

Полезная модель относится к области оптических дисплеев и индикаторов, формирующих изображение, и, более конкретно, к голографическим индикаторам, формирующим для зрителя наблюдателя многоцветную знако-символьную информацию на фоне окружающей обстановки.

### Уровень техники

Дисплеи и индикаторы на основе дифракционных оптических элементов (ДОЭ) все активнее применяются в системах отображения информации и визуализации, где наблюдаемое изображение накладывается на изображение реальной сцены. Преимуществом данных систем отображения информации является то, что ДОЭ в сочетании со световодными пластинами обеспечивают выходной зрачок большого размера при сравнительно малом размере коллимирующей оптической системы, что позволяет существенно снизить массогабаритные параметры дисплея или индикатора. Вместе с тем, разработанные на данный момент подобные индикаторы являются преимущественно монохромными, т.к. задача получения многоцветного изображения сводится, в основном, к использованию нескольких склеенных световодов с ДОЭ под определенные длины волн, что существенно усложняет процесс изготовления дисплеев. Кроме того, цветные OLED-дисплеи в качестве источника излучения не обладают достаточной яркостью для обеспечения необходимого контраста между яркостями выводимой знако-символьной информации и фона окружающей обстановки, а применение ЖК-дисплеев со светодиодной подсветкой увеличивает массу индикаторов и делает подобные системы более громоздкими. Это свидетельствует о том, что актуальной является задача построения многоцветного индикатора на основе монохромного OLED-дисплея с повышенной яркостью (почти в 10 раз по сравнению с цветным дисплеем) за счет выделения из его широкого спектра излучения отдельных цветовых компонент или оттенков цветов.

В патентной заявке США US2014140654 TRANSPARENT WAVEGUIDE DISPLAY (МПК G02F1/29, опубл. 2014-05-22) представлена схема малогабаритного дисплея со световодной пластиной-подложкой (с распространением излучения внутри подложки под действием полного внутреннего отражения (ПВО)) на основе Брэгговских решеток (в основном переключаемых, с наличием электродов управления режимами работы решетки). Дисплей включает в себя микродисплей типа LCOS, LED, OLED и т.п. в зависимости от варианта реализации, оптический узел для ввода излучения в подложку и как минимум две

стеклянные подложки с полученными на их поверхности переключаемыми Брэгговскими решетками для ввода и вывода излучения из пластин. Некоторые из вариантов реализации этих решеток могут работать в пассивном (непереключаемом) режиме, т.е. без приложения к ним напряжения. Переключаемые Брэгговские решетки обладают высокой (до 90%) дифракционной эффективностью и хорошим пропусканием на просвет, но в отличие от статических непереключаемых решеток (параметры которых не изменяются), переключаемые решетки гораздо более сложны в изготовлении, т.к. требуют наличия электродов. В различных реализациях переключаемые Брэгговские решетки толщиной до 3 мкм могут использоваться как пропускающие решетки для вывода излучения (за счет дифракции) из подложки (преимущественно в пассивном режиме работы), для расширения пучка в одном из направлений (в активном режиме работы), а также как отражательные решетки типа голографических зеркал. Кроме того, есть возможность построения по такой схеме многоцветных дисплеев в том случае, если в каждой пластине будет распространяться и выводиться излучение только определенной спектральной составляющей, причем RGB-слои переключаемых Брэгговских решеток должны быть согласованы с RGB-источником излучения и переключаться последовательно.

К основным недостаткам данной схемы прототипа можно отнести сложность изготовления переключаемых Брэгговских решеток в силу наличия в их составе электродов, на которые подается напряжение в активном режиме их работы, что дополнительно усложняет схему самого дисплея и соответственно существенно повышает его стоимость по сравнению со статическими дифракционными решетками. Другим недостатком данного устройства в случае использования в нем в качестве источника излучения OLED-дисплея является ухудшение его оптических характеристик (разрешения, яркости, цветового размытия).

В патентных заявках США US20130044376 OPTICAL WAVEGUIDE AND DISPLAY DEVICE (МПК G02B27/44, опубл. 2013-02-21) и US20140240834 OPTICAL WAVEGUIDE AND DISPLAY DEVICE (МПК G02B27/01, G02B6/34, опубл. 2014-08-28) представлена система оптического световода и наплемного индикатора, в которой применен способ получения увеличенного цветного изображения за счет разделения излучения на две спектральные составляющие (для каждой из которых предусмотрен свой световод), расширения его по двум направлениям, а затем совмещения этих составляющих при выводе для наблюдения цветного изображения.

Недостатком систем отображения, в которых используется один волновод, является то, что они не могут воспроизвести полноцветное изображение в пределах всего поля. Обычно полностью передается только зеленая составляющая и части красной и синей в

силу различных углов дифракции излучения на решетках, входящих в состав волновода. Для устранения этого недостатка в данной заявке предложено использовать два волновода с разными периодами дифракционных решеток. Первый волновод имеет решетки с 343 нм, и позволяет выводить отображает большую часть излучения из синей области спектра, половину из зеленой области и небольшую часть красного изображения. Другой волновод имеет период решеток 460 нм, и, наоборот, позволяет выводить большую часть излучения из красной области спектра, половину из зеленой и меньшую часть – из синей.

Три цветных изображения не должны быть отделены друг от друга при такой реализации за счет двух волноводов, а должны дополнять друг друга таким образом, что полное изображение формируется в каждом цвете.

В ряде зарубежных патентов (российские патенты по тематике полезной модели не обнаружены) предложены различные варианты структур построения многоцветных дисплеев и индикаторов на основе плазмонных решеток в качестве спектральных фильтров.

Например, в патенте США US8848140 B2 DISPLAY DEVICE HAVING PLASMONIC COLOR FILTERS AND PHOTOVOLTAIC CAPABILITIES (МПК G02F1/1335, опубл. 2014-09-30) описано устройство с плазмонным спектральным фильтром, которое представляет собой фильтр электромагнитных волн на основе плазмонных нанорезонаторов. Использование таких фильтров перспективно, т.к. их пропускание на рабочей длине волны вдвое выше, чем у обычного цветного фильтра, за счет явления оптического резонанса в плазмонных нанорезонаторах, представляющих собой многослойные решетки (включают в себя как минимум два слоя: диэлектрик и металлизированный слой). В некоторых реализациях дополнительно используется промежуточный слой, который может быть представлен такими материалами, как оксид кремния, оксид цинка, оксид никеля, оксид молибдена, или их комбинациями. Включение промежуточного слоя в структуру плазмонного фильтра позволяет увеличить коэффициент пропускания на рабочей длине волны. В данной реализации промежуточный слой представлен материалом с низким показателем преломления (оксид кремния с  $n=1.5$ ), а толщина слоя составляет 50 нм. Далее следует диэлектрический материал (нитрит кремния толщиной 100 нм), а после него расположена стеклянная подложка. Для металлизированного слоя используются такие материалы, как золото, серебро, алюминий и т.п. Для выделения из падающего излучения определенного спектрального диапазона, рассчитывается необходимый период структуры. Так, для выделения RGB-компонент периоды решетки фильтра должны составлять 360, 270 и 230 нм соответственно.

В патентной заявке США US20020036828 A1 DEVICES BASED ON SURFACE PLASMON INTERFERENCE FILTERS (МПК G02B1/10, опубл. 2002-03-28) описано

устройство, основанное на плазмонных металлодиэлектрических фильтрах, выделяющих из падающего излучения определенную спектральную составляющую с определенным спектральным профилем и шириной спектра. Такие фильтры могут быть использованы в качестве спектральных фильтров, работающих как в пропускающем, так и отражающем режимах, в цветных дисплеях. Устройство включает в себя три плазмонных спектральных фильтра. Каждый фильтр может быть сделан таким образом, чтобы выполнять условие плазмонного резонанса для пропускания определенной цветовой компоненты, когда напряжение к нему не приложено. Если необходимое напряжение приложено, то условие резонанса нарушается, и фильтр начинает отражать излучение во всем видимом диапазоне. Таким образом, фильтр имеет два состояния: «включенный режим» для пропускания необходимой цветовой компоненты и отражения остальных цветов при отсутствии напряжения, и «выключенный режим», в котором напряжение приложено, а фильтр отражает все падающее на него излучение.

Одна из реализаций устройства фильтрации, описанная в данной патентной заявке, включает в себя лампу белого света с отражателем, формирующую оптическую систему, оптический интегратор для выравнивания яркости в пределах пучка, поляризатор и подложку с высоким показателем преломления, в которой распространяется излучение, с полученными на обеих ее сторонах плазмонными фильтрами. Три фильтра изготовлены так, чтобы пропускать красную, зеленую и синюю спектральные составляющие при отсутствии приложенного напряжения. Таким образом, когда белый свет попадает в подложку при отсутствии приложенного к фильтрам напряжения, красная часть излучения теряется при отражении от первого фильтра, зеленая – при отражении от второго и синяя – при отражении от третьего, т.е. свет не проходит через устройство. Чтобы получить белый свет на выходе устройства, необходимо приложить напряжение ко всем фильтрам. В этом случае они будут отражать излучение как обычные зеркала. Для получения какой-то определенной спектральной составляющей на выходе устройства напряжение прикладывается к необходимому фильтру, а два другие работают без напряжения, т.е. пропускают другие спектральные составляющие, на которые они рассчитаны. Такие устройства могут быть использованы в устройствах фильтрации для получения цветов с высокой эффективностью.

К недостаткам данного устройства можно отнести сложность изготовления плазмонных фильтров в силу наличия в их составе электродов, на которые подается напряжение, а также тот факт, что подложка в сочетании с фильтрами используется исключительно для спектральной селекции излучения. Это не дает возможности

увеличения выходного зрачка для наблюдателя, что является основным преимуществом систем отображения информации на основе световодных подложек и ДОЭ.

Также в данном патенте представлена структура, представляющая собой совокупность дифракционной решетки и плазмонной решетки. В этой реализации излучение падает на структуру из воздуха, и первый порядок дифракции захватывается в поверхностную волну, обеспечивающую плазмонный резонанс. Таким образом, плазмонная структура работает с излучением первого порядка дифракции обычной дифракционной решетки. По своему составу данная структура является наиболее близкой и может быть использована в качестве прототипа, т.к. в результате поиска не было найдено ни одной публикации, в которой было бы описано сочетание малогабаритного дисплея (оптического индикатора) со световодной пластиной-подложкой (с распространением излучения внутри подложки под действием полного внутреннего отражения (ПВО)) и плазмонных спектральных фильтров.

#### Раскрытие полезной модели

Задачей полезной модели является предложение оптической схемы индикатора знако-символьной информации с возможностью получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрачка индикатора при использовании монохромного OLED-дисплея или другого источника излучения с широким спектром для формирования необходимой знако-символьной информации. Это, например, желательно использовать для привлечения дополнительного внимания пользователя индикатора к важной информации, передающейся через эти отдельные зоны выходного зрачка индикатора. Для этого в определенных областях пластины совместно с дифракционными решетками для вывода излучения в индикаторе предложено дополнительно использовать спектральный фильтр на основе пропускающей плазмонной дифракционной решетки (ПДР). ПДР располагается на той же поверхности пластины, что и дифракционная решетка для вывода излучения (поверх нее), и в нулевом порядке дифракции обладает функцией спектральной селекции излучения, выведенного из пластины посредством ДР. ПДР пропускает ту или иную спектральную составляющую в зависимости от периода структуры (с увеличением периода спектр пропускания смещается в ИК-область) или в зависимости от угла падения излучения на ПДР. Этот эффект позволяет выводить в определенных зонах информацию другого цвета или оттенка, обеспечивая возможность получения многоцветного изображения.

Техническим результатом полезной модели является оптическая схема индикатора знако-символьной информации на основе стеклянной подложки (световодной пластины) с распространением излучения внутри данной подложки под действием полного внутреннего

отражения (ПВО), на всей поверхности которой получены дифракционные решетки для вывода излучения основной рабочей длины волны из пластины и в заданных определенных областях – плазмонные дифракционные решетки, позволяющие выделить из спектра излучения, выведенного из подложки, цветовые оттенки для окрашивания изображения в другой по сравнению с рабочей длиной волны цвет.

Таким образом, оптическая схема индикатора знако-символьной информации с пропускающими плазмонными решетками характеризуется тем, что имеет возможность получения многоцветного изображения или оттенков цветов в определенных зонах выходного зрачка индикатора, для чего содержит последовательно установленные на оптической оси монохромный дисплей с широким спектром излучения (OLED типа или ЖК-дисплей со светодиодной подсветкой) в качестве источника формирования знако-символьной информации, коллимирующий объектив, световодную пластину, дифракционные решетки для ввода излучения знако-символьной информации в указанную пластину для последующего распространения излучения внутри пластины под действием полного внутреннего отражения (ПВО), дифракционные решетки с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, и размещенные в заданных определенных областях пластины плазмонные дифракционные решетки пропускающего типа, расположенные поверх указанных дифракционных решеток с переменной дифракционной эффективностью для вывода излучения из пластины, с возможностью работы указанных плазмонных решеток в качестве спектральных фильтров в нулевом порядке дифракции для изменения цвета изображения излучения, выводимого дифракционными решетками из пластины.

#### Перечень фигур

На ФИГ.1 представлена схема оптического индикатора знако-символьной информации с ПДР.

На ФИГ.2 изображена структура пластины с ДР и ПДР поверх ДР.

На ФИГ.3 представлены экспериментальные графики спектра пропускания ПДР в нулевом порядке дифракции для излучения, выведенного с помощью ДР из пластины под углами  $0^\circ$ ,  $10^\circ$  и  $20^\circ$ .

На ФИГ.4 представлена зависимость коэффициента пропускания и ширины спектра пропускания ПДР при значениях периода структуры: 350, 400, 450 и 500 нм.

На ФИГ.5 представлены экспериментальные графики спектра выведенного из пластины с помощью ДР и ПДР излучения для различных углов распространения излучения в пластине.

## Осуществление полезной модели

В качестве источника формирования знако-символьной информации в предлагаемом голографическом индикаторе (ФИГ.1) использован монохромный OLED-дисплей 1, излучающий в зеленой области спектра с достаточно широкой спектральной полосой (до 60 нм). Испускаемые источником излучения 1 пучки лучей коллимируются объективом 2, а с помощью пропускающей дифракционной решетки (ДР) 3 вводят в стеклянную подложку (световодную пластину) 4, внутри которой излучение распространяется под действием ПВО. Попадая изнутри на поверхность пластины 4, на которой расположены ДР 5 для вывода излучения, часть его выводится из пластины 4 в зрачок оператора. Для выравнивания по полю яркости наблюдаемого изображения ДР 5 должны обладать переменной дифракционной эффективностью. Если поверх ДР 5 поместить ПДР 6, то в зависимости от угла падения излучения или периода ПДР они селективируют ту или иную спектральную составляющую выводимого из пластины излучения. Пропускающие ПДР 6 при такой реализации индикатора могут быть размещены поверх определенных областей ДР 5 пластины 4, выводя необходимую знако-символьную информацию разных, но строго определенных цветов. Например, как показано на ФИГ.1, правая боковая и верхняя полосы индикатора могут быть заполнены пропускающими металлизированными ПДР 6, выводя необходимую информацию других (помимо основного зеленого цвета выводного излучения) определенных цветов, например, красного или желтого. Остальная часть пластины 4 при этом будет с ДР 5, но без металлизированных ПДР.

На ФИГ.2 изображен условный поперечный разрез послойной схемы области пластины с ДР 5 и поверх нее ПДР 6. ПДР имеет коэффициент пропускания, зависящий от угла падения излучения или от периода структуры. При падении на ПДР излучения с широким спектральным диапазоном в зависимости от углов падения излучения  $\theta_1$  или  $\theta_2$  или от периода структуры ПДР  $d$  селективирует какую-либо спектральную составляющую. Например, для нормального падения селективирует диапазон спектра  $\Delta\lambda_1$  (зеленый цвет) а для угла падения 10 градусов -  $\Delta\lambda_2$  (желто-оранжево цвет).

ПДР представляет из себя четырехслойную структуру на стеклянной подложке или тонкой пленке. Оптимальными для нее являются меандровая структура с периодом 0,45 мкм с толщиной слоя резиста 40 нм, покрытая слоем серебра толщиной 40 нм и защитным слоем  $\text{SiO}_2$  толщиной 10 нм. Для работы в схеме индикатора данная структура может быть приклеена в необходимых областях пластины поверх ДР для обеспечения вывода в этих областях излучения другого цвета.

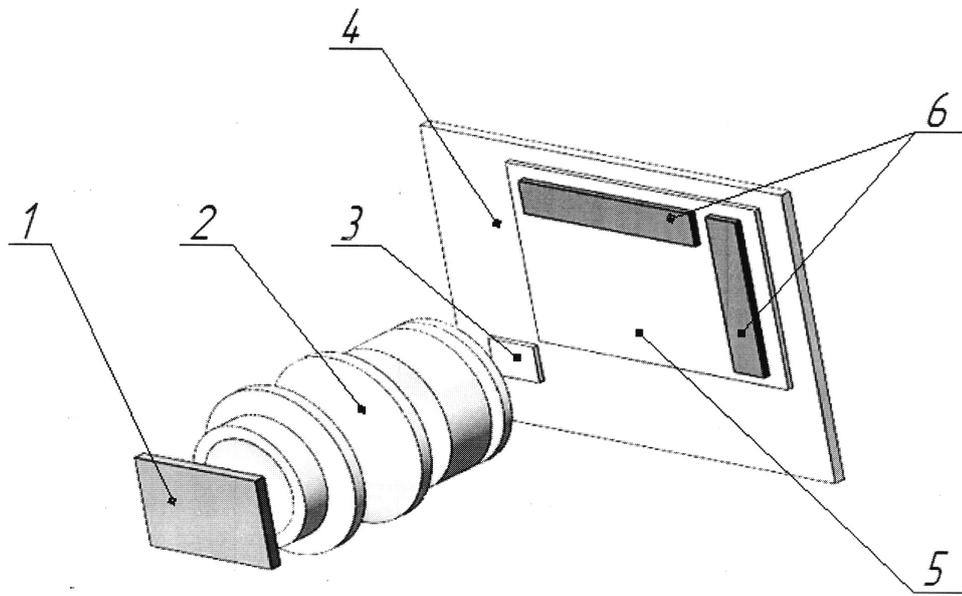
На ФИГ.3 представлены экспериментальные графики спектра пропускания ПДР в нулевом порядке дифракции для различных углов падения излучения ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ). Видно,

что увеличение угла падения излучения на ПДР относительно нормально падающего пучка лучей приводит к смещению максимальной длины волны спектра пропускания из зеленой в красную область для оптимальных параметров ПДР, указанных выше.

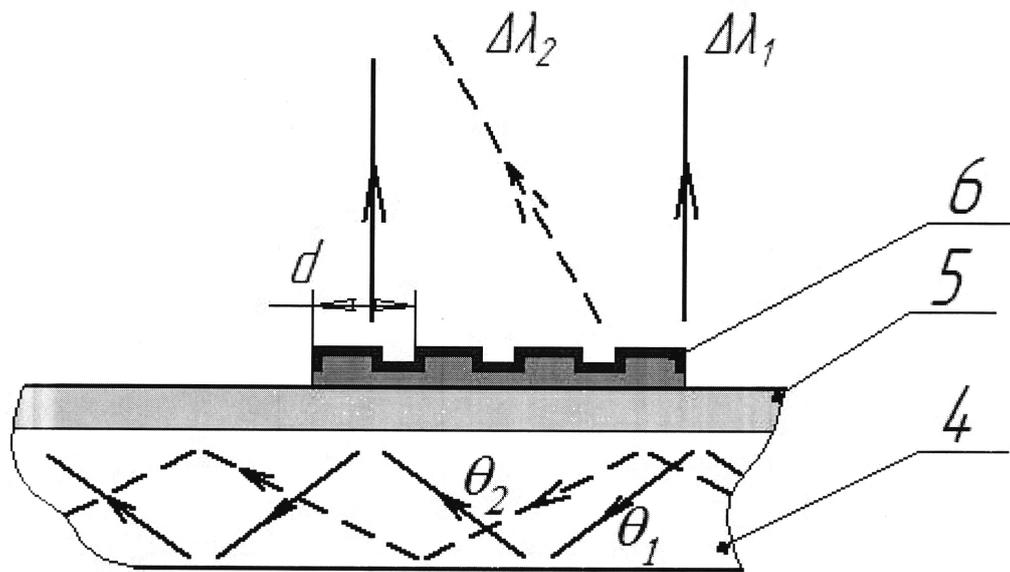
На ФИГ.4 представлена зависимость коэффициента пропускания и ширины спектра пропускания при значениях периода меандровой структуры ПДР: 350, 400, 450 и 500 нм. Видно, что в зависимости от периода ПДР она пропускает излучение определенного спектрального диапазона. Увеличение периода от 350 до 500 нм приводит к смещению максимальной длины волны спектра пропускания в красную область для нормально падающего пучка лучей. Например, если ПДР имеет период 350 нм, то максимум спектра пропускания соответствует 0,45 мкм (синий цвет), а при периоде 500 нм максимум составляет 0,57 мкм (желтый цвет). Таким образом, можно осуществлять спектральную селекцию излучения за счет разных периодов структуры ПДР, наклеенной в определенных областях пластины с ДР. Например, правая боковая и верхняя полосы ПДР, как показано на ФИГ.1, могут иметь различные периоды, выводя информацию желтого и красного цвета соответственно.

На ФИГ.5 представлены теоретические графики спектра излучения, распространяющегося под действием ПВО под разными углами внутри пластины и выведенного из нее через ДР 5 и ПДР 6. При попадании излучения на решетку 5 согласно ФИГ.2 часть излучения дифрагирует и таким образом выводится из пластины. Если при этом выведенное из пластины излучение попадет на ПДР 6 под разными углами (например,  $0^\circ$  и  $10^\circ$ ), то в силу зависимости спектра пропускания от угла падения излучения, описываемого ФИГ.3, оно будет окрашиваться в какой-либо, но строго определенный цвет, как показано на ФИГ.5. При моделировании период ДР 5 составлял 0,5 мкм, максимальная дифракционная эффективность 34 %, углы распространения излучения в пластине  $45^\circ$  и  $55^\circ$ , показатель преломления подложки 1,51, а основная рабочая длина волны 0,53 мкм.

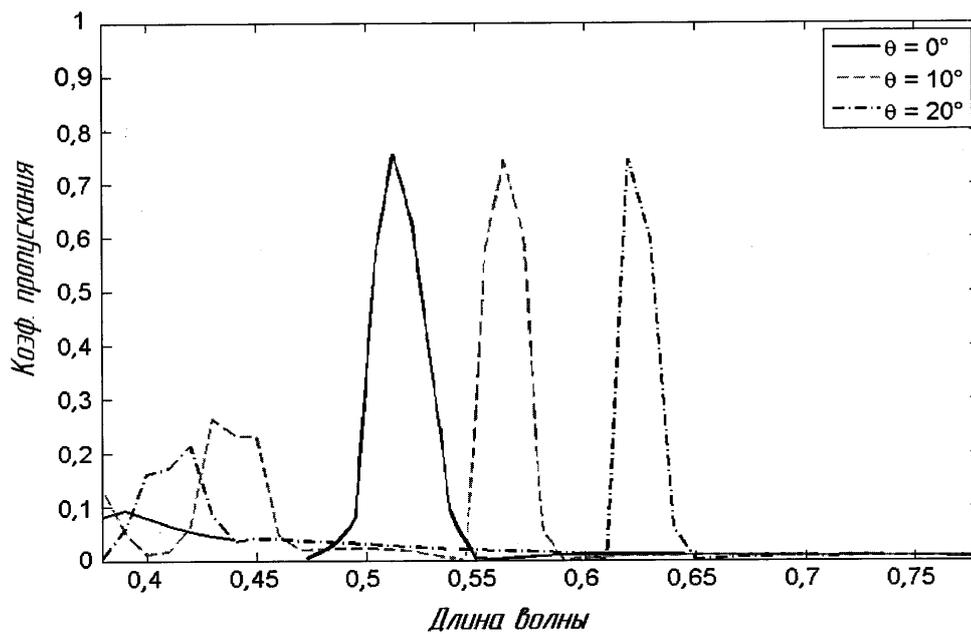
Таким образом, показано, что сочетание в определенных областях световодной пластины ДР с переменной эффективностью, необходимой для вывода излучения из пластины, и пропускающей ПДР как спектрального фильтра в нулевом порядке дифракции (в зависимости от периода ПДР или угла падения излучения на структуру), позволяет достичь технического результата, а именно позволяет использовать монохромный OLED-дисплей с широким спектром излучения (или монохромный ЖК-дисплей со светодиодной подсветкой) для вывода в определенных зонах оптического индикатора знако-символьной информации другого цвета или оттенка.



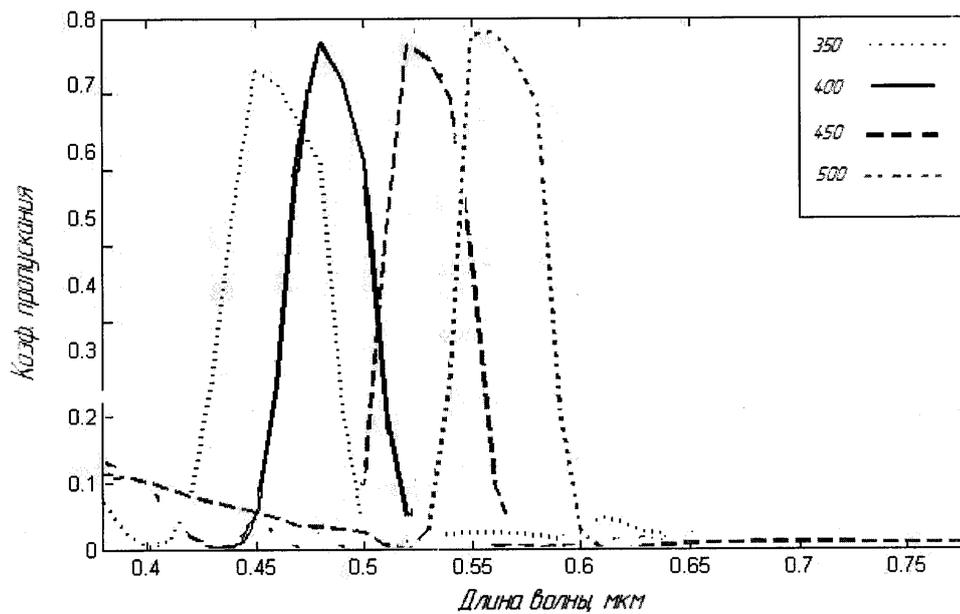
ФИГ. 1



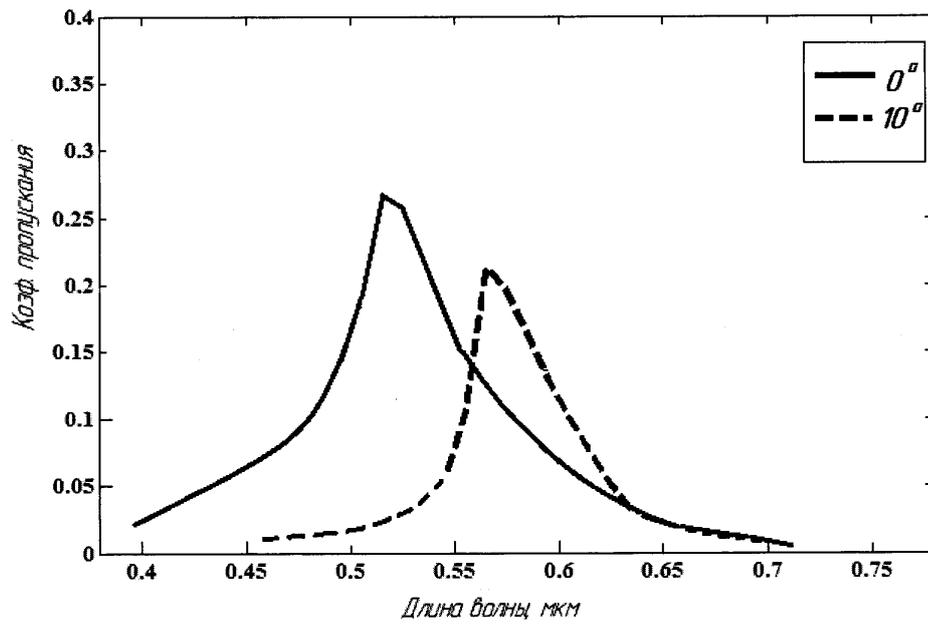
ФИГ. 2



ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5