



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006103457/09, 07.02.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.02.2006

(45) Опубликовано: 20.09.2007 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2000127711 A, 01.04.1999. RU
2001133732 A, 10.08.2003. RU 2087019 C1,
24.05.1993. RU 2097940 C1, 18.04.1995. RU
2157056 C2, 03.02.1998. RU 2202860 C2,
10.08.1999. US 5608563 A, 04.03.1997. US
5982526 A, 09.11.1999. US 6433930 B1,
13.08.2002.

Адрес для переписки:

117461, Москва, Новые Черемушки, 32А-4-80,
В.А. Ежову

(72) Автор(ы):

Ежов Василий Александрович (RU),
Студенцов Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

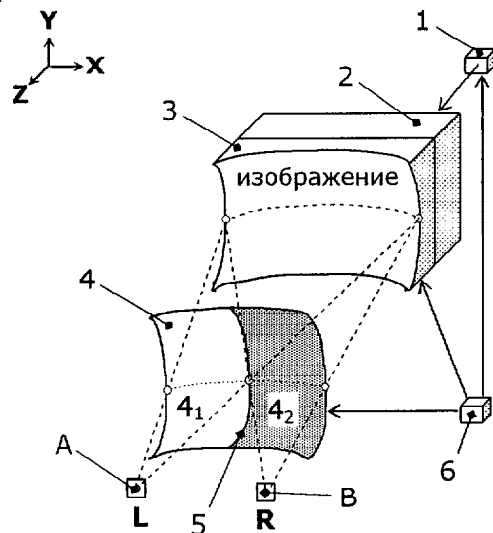
Ежов Василий Александрович (RU),
Студенцов Сергей Александрович (RU)

(54) АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ ДИСПЛЕЙ С КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫМ СПЕКТРОМ РАКУРСОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области стереоскопической видеотехники, а именно к автостереоскопическим (безочковым) устройствам, и может быть использовано для получения объемного изображения на экране телевидеосистемы. Технический результат - улучшение пространственного разрешения и цветопередачи стереоизображения - достигается тем, что в устройство включен селектор ракурсов, выполненный в виде оптического модулятора с двумя областями в форме полуплоскостей (или более сложных полуповерхностей), имеющими общую границу, которая выполнена с возможностью параллельного сдвига вдоль направления бинокулярного параллакса в наблюдаемом стереоизображении. Первая и вторая области оптического модулятора характеризуются взаимно дополняющими характеристиками оптического состояния рабочего вещества, которые могут взаимно комплементарно коммутироваться во времени. Датчик положения зон наблюдения (глаз наблюдателя) обеспечивает сдвиг общей границы соответственно изменению

положения зон наблюдения, что обеспечивает раздельное наблюдение левого и правого ракурсов отображаемой трехмерной сцены. 3 з.п. ф-лы, 23 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2006103457/09, 07.02.2006

(24) Effective date for property rights: 07.02.2006

(45) Date of publication: 20.09.2007 Bull. 26

Mail address:
117461, Moskva, Novye Cheremushki, 32A-4-80,
V.A. Ezhovu

(72) Inventor(s):
Ezhov Vasilij Aleksandrovich (RU),
Studentsov Sergej Aleksandrovich (RU)

(73) Proprietor(s):
Ezhov Vasilij Aleksandrovich (RU),
Studentsov Sergej Aleksandrovich (RU)

(54) **AUTO-STEREOSCOPIC DISPLAY WITH QUASI-UNINTERRUPTIBLE ANGLE SPECTRUM**

(57) Abstract:

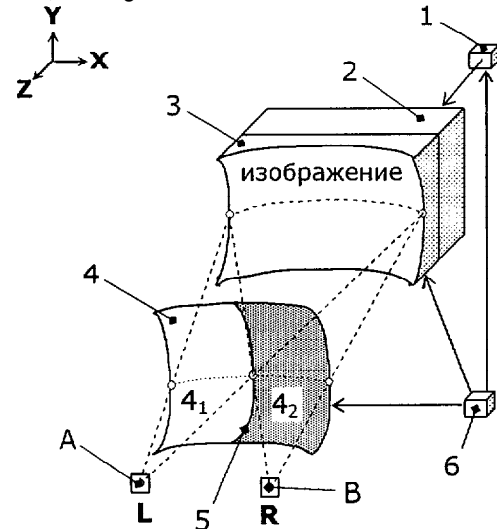
FIELD: stereoscopic video equipment, namely, auto-stereoscopic devices (without goggles), possible use for producing a volumetric image on screen of tele-video-system.

SUBSTANCE: device features a selector of angles, made in form of optical modulator with two areas in form of semi-planes (or more complex semi-surfaces), having common boundary, which is made with possible parallel shift along direction of binocular parallax in observed stereo image. First and second areas of optical modulator are characterized by complementary characteristics of optical condition of working substance, which may be complementarily commutated in time. Sensor for indicating position of observation zones (observer eyes) ensures shifting of common boundary in correspondence with change of position of observation zones, providing for separate observation of left and right angles of displayed three-dimensional scene.

EFFECT: improved spatial resolution and color

rendering of stereo image.

4 cl, 23 dwg



Фиг.1

RU 2 306 678 C1

RU 2 306 678 C1

Изобретение относится к области стереоскопической видеотехники, а точнее к автостереоскопическим (безочковым) устройствам с практически непрерывным угловым спектром наблюдаемых ракурсов, и может быть использовано для получения объемного изображения в телевидео- и компьютерных профессиональных, обучающих, игровых и

5 развлекательных системах.

Известен [1] автостереоскопический многоракурсный дисплей, содержащий источник многоракурсного стереоскопического видеосигнала и последовательно оптически связанные блок формирования ракурсов, блок пространственно-временного мультиплексирования ракурсов, селектор ракурсов, а также две зоны восприятия

10 ракурсов, при этом блок формирования ракурсов включает в себя $2N$ пространственных областей для $2N$ ракурсов изображения, селектор ракурсов включает в себя $2N$ окон наблюдения, выходы n -го и m -го из которых оптически связаны соответственно с первой и второй зонами восприятия ракурсов, где $n, m=1, 2, \dots, N$.

Две зоны восприятия ракурсов соответствуют положению зрачков двух глаз

15 наблюдателя. Одно окно наблюдения соответствует одному ракурсу изображения, пара окон наблюдения отвечает паре соответствующих (левого и правого) ракурсов. Все $2N$ ракурсов здесь воспроизводятся последовательно, один за другим, в пределах общего времени T_{Σ} суммарного кадра. Чтобы не было мерцаний наблюдаемого изображения каждой пары ракурсов, время T_{Σ} суммарного кадра (содержащего все ракурсы) должно

20 быть не больше времени $16,7$ мс, соответствующего частоте 30 Гц, соответствующей критической частоте заметности мерцаний.

Высококачественное многоракурсное стереоскопическое отображение должно соответствовать воспроизведению квазинепрерывного углового спектра ракурсов, т.е. отсутствию заметности для зрения наблюдателя перехода от просмотра данной пары

25 ракурсов к просмотру соседней пары (при переходе от пары ракурсов с номером n на номер $n+1$, где $n=1, 2, \dots, N$). При этом среднее пространственное разрешение в наблюдаемом изображении каждого ракурса должно в пределе быть не хуже разрешающей способности глаза (не хуже нескольких угловых минут).

Недостатками данного известного устройства являются неспособность воспроизводить

30 высококачественное многоракурсное стереоизображение, во-первых, потому, что переход к квазинепрерывному спектру ракурсов здесь практически невозможен из-за недопустимо высокого возрастания полосы частот многоракурсного видеосигнала и принципиальной дискретности воспроизводимого поля ракурсов. Во-вторых, пространственное разрешение в изображении каждого ракурса здесь тем меньше, чем большее число ракурсов

35 воспроизводится.

Действительно, для случая последовательного воспроизведения в течение времени T_{Σ} совокупности $2N$ ракурсов требуемое время кадра T_F для каждого из них должно быть в $2N$ раз короче ($T_F=T_{\Sigma}/2N$), следовательно, полоса частот линии связи между источником

40 многоракурсного видеосигнала и блоком формирования изображений ракурсов должна быть в $2N$ раз больше по сравнению со случаем передачи одной пары ракурсов. Переход к квазинепрерывному воспроизведению ракурсов в данном устройстве означает передачу очень большого числа N ракурсов в течение времени T_{Σ} суммарного кадра, что практически нереализуемо.

В данном известном устройстве невозможно избежать заметной для глаза дискретности

45 воспринимаемого наблюдателем углового спектра ракурсов из-за принципиально неустраняемой дискретности совокупности фиксированных в пространстве $2N$ окон наблюдения. Поскольку каждой зоне восприятия соответствует зрачок глаза конечной ширины, то невозможно уменьшить размер каждого фиксированного окна наблюдения, соответствующего одному ракурсу, до размера, меньшего ширины зрачка, в противном

50 случае в каждую зону восприятия, т.е. в каждый глаз, будет одновременно попадать два соседних ракурса, что недопустимо из-за появления ложного раздвоения изображения.

В данном известном устройстве применяется метод пространственного уплотнения для совокупности изображений всех ракурсов за счет отведения под каждый ракурс своего

пространственного участка апертуры блока формирования ракурсов, т.е. для каждого ракурса используется только $1/N$ часть возможного размера апертуры. Следовательно, если используется полное число M разрешимых точек в возможной апертуре, то для каждого ракурса число разрешимых точек не превосходит M/N , т.е. оно тем меньше, чем

5 большее число N ракурсов воспроизводится.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству является автостереоскопический дисплей с квазинепрерывным угловым спектром ракурсов [2], содержащий источник многокурсного видеосигнала и последовательно оптически

10 связанные блок формирования полноэкранных изображений ракурсов, выполненный в виде, по крайней мере, одной пары видеопроекторов, блок сведения и кодирования ракурсов, выполненный в виде сферического зеркала, селектор ракурсов, выполненный в виде раstra микролинз, а также две зоны восприятия ракурсов и датчик

15 пространственного положения последних, при этом первый и второй выходы селектора ракурсов оптически связаны соответственно с первой и второй зонами восприятия ракурсов, выход источника многокурсного видеосигнала подключен к видеовходу блока формирования полноэкранных ракурсов, а выход датчика положения зон восприятия ракурсов подключен к электрическим входам источника многокурсного видеосигнала, блока формирования полноэкранных ракурсов и селектора ракурсов.

В таком устройстве возможно формирование квазинепрерывного углового спектра

20 ракурсов, поскольку зоны восприятия ракурсов могут смещаться на достаточно малые величины в соответствии с данными, поступающими с датчика положения зон восприятия ракурсов, а блок формирования ракурсов будет выдавать соответствующие ракурсы с достаточным угловым различием (теоретический предел которого определяется только принципиальными апертурными ограничениями, например, в соответствии с критерием

25 разрешения Релея).

При этом полоса частот для линии связи между источником многокурсного видеосигнала и блоком формирования ракурсов не превосходит величины F , соответствующей передаче одной пары ракурсов (при любом возможном числе N воспроизводимых ракурсов), поскольку для каждого положения зон наблюдения достаточно

30 передавать только одну соответствующую пару ракурсов. При этом обеспечивается полноэкранный формирование каждой текущей пары ракурсов, т.е. реализация высокого пространственного разрешения в изображении каждого текущего ракурса. Подстройка углового положения ракурса здесь обеспечивается либо за счет изменения углового положения видеопроекторов либо за счет смещения положения раstra микролинз (в

35 соответствии с данными датчика положения зон восприятия ракурсов).

Однако в таком устройстве попадание каждой пары ракурсов в соответствующие зоны восприятия обеспечивается за счет громоздких и сложных в юстировке конструкций блока сведения-кодирования ракурсов и селектора ракурсов, что делает практически невозможным использование данного устройства, например, в бытовых условиях, и

40 существенно усложняет реализацию профессиональных систем объемного отображения. Например, здесь невозможно обойтись без сферического зеркала с диаметром, равного полной апертуре наблюдаемого изображения (для случая проекционного изображения потребуется сферическое зеркало диаметром в несколько метров). Сделать с требуемой точностью такое зеркало на оптической подложке очень сложно. Применение пластиковых

45 подложек приведет к ухудшению точности воспроизведения профиля зеркала, к его зависимости от температуры и, в конечном счете, к ухудшению качества изображения для реальных условий окружающей среды. Кроме того, наличие множества сферических микролинз в селекторе ракурсов приводит к дополнительному ухудшению качества изображения за счет уменьшения разрешения (вследствие наличия сферических

50 аберраций лиз) и цветопередачи (из-за наличия хроматической дисперсии материала линз, которая особенно сильно проявляется при неодородности толщины материала вследствие наличия кривизны поверхности).

Целью изобретения является улучшение пространственного разрешения и

цветопередачи стереоизображения.

Поставленная цель достигается тем, что в автостереоскопическом дисплее с квазинепрерывным угловым спектром ракурсов, содержащем источник многоракурсного видеосигнала и последовательно оптически связанные блок формирования полноэкранных изображений ракурсов, блок сведения и кодирования ракурсов, селектор ракурсов и две зоны восприятия ракурсов, а также датчик пространственного положения последних, при этом первый и второй выходы селектора ракурсов оптически связаны соответственно с первой и второй зонами восприятия ракурсов, выход источника многоракурсного видеосигнала подключен к видеовходу блока формирования полноэкранных ракурсов, а выход датчика положения зон восприятия ракурсов подключен к соответствующим электрическим входам источника многоракурсного видеосигнала, блока формирования полноэкранных ракурсов и селектора ракурсов, селектор ракурсов выполнен в виде оптического модулятора, выполненного с возможностью формирования первой и второй областей со взаимно дополняющими характеристиками оптического состояния рабочего вещества по величине его оптического пропускания, либо состояния поляризации либо спектрального состава, при этом обращенные к первой и второй зонам восприятия ракурсов поверхности первой и второй областей являются первым и вторым выходами селектора ракурсов и имеют форму соответственно первой и второй связанных полуповерхностей с общей границей между ними, сечение которой любой сагиттальной плоскостью, проходящей через центральные точки обеих зон восприятия ракурсов параллельно направлению бинокулярного параллакса, совпадает в данной сагиттальной плоскости с точкой пересечения первой и второй прямых, соединяющих первую и вторую центральные точки зон восприятия ракурсов соответственно с первой и второй краевыми точками апертуры блока формирования полноэкранных изображений ракурсов, причем граница имеет возможность параллельного сдвига в направлении бинокулярного параллакса, при этом максимально допустимое удаление зон восприятия ракурсов от ближайших к ним полуповерхностей первой и второй областей в любой сагиттальной плоскости соответствует совпадению точки сечения общей границы этой сагиттальной плоскостью с точкой пересечения первой и второй прямых, соединяющих первую и вторую центральные точки зон восприятия ракурсов соответственно с первой и второй краевыми точками апертуры блока формирования ракурсов изображения, а минимально допустимая суммарная протяженность первого и второго областей оптического модулятора в любой сагиттальной плоскости определяется длиной отрезка кривой сечения обеих связанных полуповерхностей, заключенного между третьей и четвертой прямыми, соединяющими центральные точки первой и второй зон восприятия ракурсов соответственно со второй и первой краевыми точками апертуры блока формирования ракурсов изображения.

Первый частный вариант устройства отличается тем, что первая и вторая связанные полуповерхности первой и второй областей оптического модулятора имеют форму соответственно первой и второй полуплоскостей либо полуцилиндров либо полуконусов с общей линейной границей между ними.

Второй частный вариант устройства отличается тем, что оптический модулятор выполнен в виде по крайней мере одного электрически управляемого жидкокристаллического коммутатора, содержащего жидкокристаллический слой, две прозрачные диэлектрические пластины и по крайней мере один поляризатор, расположенный на внешней поверхности соответствующей диэлектрической пластины, при этом на внутренней поверхности первой диэлектрической пластины размещен сплошной прозрачный электрод, а на внутренней поверхности второй диэлектрической пластины - N эквидистантно расположенных столбцовых полосчатых прозрачных электродов, при этом величина минимального шага сдвига границы равна величине периода расположения полосчатых прозрачных электродов, и выполняется условие $T_{RELAX} \leq \Delta T$, где T_{RELAX} - время естественной релаксации жидкокристаллической структуры (после снятия внешнего управляющего напряжения), ΔT - временной промежуток между соседними кадрами изображения ракурсов.

Третий частный вариант устройства отличается тем, что оптический модулятор выполнен в виде по крайней мере одного электрически управляемого жидкокристаллического коммутатора, содержащего жидкокристаллический слой, две прозрачные диэлектрические пластины и по крайней мере один поляризатор, расположенный на внешней поверхности соответствующей диэлектрической пластины, на внутренней поверхности каждой диэлектрической пластины размещены N эквидистантно расположенных столбчатых полосчатых прозрачных электродов, образующих N пар, из которых прозрачные электроды в n -ой паре располагаются с противоположных сторон жидкокристаллического слоя друг напротив друга, а величина p периода расположения N пар полосчатых прозрачных электродов удовлетворяет условию $p \leq V/E_{пор}$, где V - рабочая величина адресующего напряжения, $E_{пор}$ - величина напряженности электрического поля, соответствующая порогу ориентационного эффекта в жидкокристаллическом слое, причем электрические входы прозрачных электродов в n -ой паре соединены между собой при условии взаимно дифференциального потенциального состояния каждого из электрических входов n -ой пары относительно соответствующих электрических входов соседних $n-1$ и $n+1$ пар прозрачных электродов, а при условии эквипотенциального состояния электрических входов прозрачных электродов в n -ой паре относительно обоих электрических входов $n-1$ и $n+1$ пар прозрачных электродов электрические входы прозрачных электродов в n -ой паре имеют взаимно дифференциальное потенциальное состояние.

Сущность изобретения поясняется чертежом, где

Фиг.1 - структурная схема устройства, содержащего оптический модулятор (селектор ракурсов) со связной поверхностью произвольной формы.

Фиг.2 - геометрия оптической схемы устройства (в сагиттальной плоскости), содержащего оптический модулятор со связной поверхностью произвольной формы.

Фиг.3 - структурная схема устройства, содержащего оптический модулятор с поверхностью в форме плоскости.

Фиг.4 - геометрия оптической схемы устройства (в сагиттальной плоскости), содержащего оптический модулятор с поверхностью в форме плоскости при минимально допустимой протяженности двух областей оптического модулятора.

Фиг.5 - геометрия оптической схемы устройства (в сагиттальной плоскости) для случая восприятия (наблюдения) соответственно i -го и $i+1$ -го ракурсов в случае оптического модулятора с поверхностью в форме плоскости и при минимально допустимой протяженности двух его областей.

Фиг.6 - частный вариант геометрии оптической схемы устройства в сагиттальной плоскости в случае оптического модулятора с поверхностью в форме плоскости при суммарной протяженности двух областей оптического модулятора больше минимально допустимого значения.

Фиг.7 - пример конкретного выполнения устройства с параллельным воспроизведением пар ракурсов при поляризационном кодировании-селекции последних.

Фиг.8 - геометрия оптической схемы устройства (в сагиттальной плоскости) в примере с параллельным воспроизведением пар ракурсов при поляризационном кодировании-селекции.

Фиг.9, 10 - частные варианты устройства с оптическим модулятором с поверхностью в форме цилиндра и расположением зон наблюдения L , R соответственно вне и внутри объема цилиндра.

Фиг.11 - геометрия оптической схемы (в сагиттальной плоскости) для частных вариантов устройства с оптическим модулятором с поверхностью в форме цилиндра и расположением зон наблюдения L , R соответственно вне и внутри объема цилиндра.

Фиг.12 - общий вид устройства с оптическим модулятором с произвольной (обобщенной) цилиндрической поверхностью.

Фиг.13 - пример конкретного выполнения устройства с блоком формирования полноэкранный изображения ракурсов в виде сдвоенного монитора блоком сведения-

кодирования ракурсов, включающим полупрозрачное зеркало.

Фиг.14 - иллюстрация двухкоординатного сдвига границы между двумя областями оптического модулятора за счет соответствующего механического сдвига последнего.

5 Фиг.15 - электрически управляемый ЖК коммутатор с ЖК слоем, расположенным между сплошным прозрачным электродом и совокупностью столбцовых полосчатых прозрачных электродов.

Фиг.16 - сечение электрически управляемого ЖК коммутатора с ЖК слоем, расположенным между двумя совокупностями столбцовых полосчатых прозрачных электродов.

10 Фиг.17 - силовые линии поперечного и продольного электрических полей в первой и второй областях ЖК коммутатора.

Фиг.18 - выключение элементарной ЖК ячейки посредством процесса естественной релаксации или посредством принудительной ориентации под действием продольного электрического поля.

15 Фиг.19 - примеры конкретного выполнения структуры рабочего вещества (элементарной ячейки) ЖК коммутатора.

Фиг.20 - иллюстрация эффекта электрически управляемого двулучепреломления в рабочем веществе ЖК коммутатора.

20 Фиг.21 - смена состояния двух областей оптического модулятора (ЖК коммутатора) синхронно со сменой изображений ракурсов при попеременном воспроизведении последних..

Фиг.22 - пояснение к компьютерному источнику многокурсного видеосигнала с квазинепрерывным угловым спектром ракурсов.

25 Фиг.23 - пояснение к телевизионному источнику многокурсного видеосигнала с квазинепрерывным угловым спектром ракурсов.

Устройство (фиг.1) содержит источник 1 многокурсного видеосигнала, блок 2 формирования полноэкранных изображений ракурсов, блок 3 сведения и кодирования ракурсов, оптический модулятор 4 с первой 4_1 и второй 4_2 областями с общей границей 5 между ними, которая находится в плоскости, ортогональной направлению бинокулярного параллакса (в плоскости, параллельной плоскости YZ), причем граница 5 имеет возможность параллельного сдвига в направлении бинокулярного параллакса (в направлении оси X), а также две зоны L и R восприятия ракурсов и датчик 6 положения последних, при этом центральные точки A и B зон L и R восприятия ракурсов совпадают с центральными точками зрачков соответственно левого и правого глаз наблюдателя (воспринимающего стереоскопическое изображение)

35 Первая 4_1 и вторая 4_2 области оптического модулятора 4 выполнены со взаимно дополняющими (комплементарными) первой и второй характеристиками оптического состояния рабочего вещества по величине его оптического пропускания либо состояния поляризации либо спектрального состава. Взаимно дополняющими являются две характеристики, по крайней мере одна из которых пропускает белый свет, а при аналоговом или логическом (операция «И») перемножении данных двух характеристик белый свет полностью блокируется. Например, взаимно дополняющими по величине пропускания являются две такие характеристики пропускания рабочего вещества, одна из которых соответствует полному пропусканию, вторая - полному затуханию света. Взаимно дополняющими по состоянию поляризации являются, например, первое состояние рабочего вещества, осуществляющее вертикальную поляризацию света, и второе состояние, осуществляющее горизонтальную поляризацию (либо два состояния, одно из которых соответствует правоциркулярной поляризации, а другое - левоциркулярной). Взаимно дополняющими по спектральному составу являются, например, две спектральные

45 характеристики, одна из которых содержит совокупность парциальных R_1, G_1, B_1 спектров, а вторая - совокупность парциальных R_1, G_1, B_1 спектров, неперекрывающихся с R_1, G_1, B_1 по спектральной шкале.

В частных вариантах выполнения устройства первая и вторая связанные полуповерхности

первой 4_1 и второй 4_2 областей оптического модулятора 4 имеют форму соответственно первой и второй полуплоскостей либо полуцилиндров либо полуконусов с общей линейной границей 5 между ними.

5 Оптическая схема устройства показана на фиг.2 для сагиттальной плоскости, проходящей через центральные точки А и В зон наблюдения L и R параллельно
направлению бинокулярного параллакса. Прямая линия, соединяющая центральные точки
А и В зон наблюдения, параллельна направлению бинокулярного параллакса в
изображениях ракурсов (параллельна оси X). Точка С сечения общей границы 5 (между
10 областями 4_1 и 4_2) совпадает с точкой пересечения двух линий, одна из которых
соединяет центральную точку А первой области L восприятия ракурсов с первой краевой
точкой D апертуры блока 3 формирования полноэкранного изображения ракурсов, а другая
линия соединяет центральную точку В второй области R восприятия ракурсов со второй
краевой точкой Е апертуры. Минимально допустимая суммарная протяженность первой 4_1
15 и второй 4_2 областей оптического модулятора 4 определяется длиной отрезка FG кривой
сечения обеих связных полуплоскостей (обращенных к зонам L и R восприятия)
оптического модулятора 4. Отрезок FG кривой заключен между третьей линией,
соединяющей центральную точку А с второй краевой точкой Е апертуры, и четвертой
линией, соединяющей центральную точку В с первой краевой точкой D апертуры.

Рассмотренная геометрия оптических путей соответствует корректной селекции
20 ракурсов стереоизображения и представляет с позиций геометрической оптики пути
исчезающе тонких лучей света, которые не сводятся в общем случае к прямым линиям,
например, в случаях, когда области 4_1 и 4_2 оптического модулятора 4 (его рабочего
вещества) характеризуются управляемой оптической рефракцией, дифракцией,
рассеянием и сочетаниями этих физических свойств, являющимися различными
25 альтернативными формами реализации изменения оптического пропускания,
спектрального состава и поляризации света.

Первый пример выполнения устройства (фиг.3) характеризуется выполнением первой 4_1
и второй 4_2 областей оптического модулятора 4 с поверхностью в форме плоскости.
Соответствующая оптическая схема для сагиттальной плоскости при центральном
30 расположении зон L и R восприятия ракурсов показана на фиг.4, а для их смещенного
(относительно центральной оси устройства) положения - на фиг.5. Областям 4_1 и 4_2 могут
соответствовать полные полуплоскости (фиг.6) в частном варианте выполнения
оптического модулятора 4.

Второй пример выполнения устройства (фиг.7) содержит источник 1 многокурсного
35 видеосигнала, блок формирования изображения полноэкранных ракурсов, включающий в
себя разветвитель (демультиплексор) 2_1 , первый 2_2 и второй 2_3 видеопроекторы, блок
сведения и кодирования ракурсов, включающий в себя первый 3_1 и второй 3_2 линейный
поляризаторы (со взаимно ортогональными направлениями поляризации) и проекционный
экран 3_3 (с поддержкой поляризации отраженного света), оптический модулятор 4 с первой
40 4_1 и второй 4_2 областями поляризации, которые характеризуются взаимно ортогональными
состояниями, в частности, соответственно горизонтальным (вдоль оси X) и вертикальным
направлениями линейной поляризации света. Первая 4_1 и вторая 4_2 области с взаимно
ортогональными состояниями линейной поляризации оптического модулятора 4 (фиг.8)
выполнены с поверхностями в виде полуплоскостей либо отрезков полуплоскостей с их
45 проекцией FG (на сагиттальную плоскость) для случая минимально допустимой суммарной
протяженности областей 4_1 и 4_2).

Особенностью третьего (фиг.9) и четвертого (фиг.10) примеров выполнения устройства
является цилиндрическая форма поверхностей обеих областей оптического модулятора 4
при расположении зон L и R восприятия ракурсов соответственно вне или внутри объема
50 цилиндра (и расположение блока формирования полноэкранных изображений ракурсов
соответственно внутри или вне объема цилиндра). При сдвиге зон восприятия вдоль
цилиндрической поверхности (например, в направлении, показанном стрелками) и
соответствующем изменении углового положения выходной апертуры изображения

возможно формирование панорамного многокурсного изображения. Для каждого углового положения зон L и R восприятия ракурсов формируется соответствующая геометрия оптической схемы (фиг.11). В общем случае имеет место обобщенная цилиндрическая поверхность оптического модулятора 4 (фиг.12), при этом используются по крайней мере две пары зон восприятия ракурсов (L, R и L', R') для одновременного параллельного наблюдения соответственно по крайней мере двух многокурсных стереоизображений.

В пятом примере выполнения устройства (фиг.13) источник 1 многокурсного видеосигнала, соединенный с разветвителем 2₄ видеосигнала и двумя мониторами 2₅ и 2₆ (составляющих блок 2 формирования полноэкранных изображений ракурсов), первый 3₃ и второй 3₄ поляризационные циркулярные фильтры и полупрозрачное зеркало 3₅ (относящееся к блоку 3 сведения и кодирования ракурсов) и оптический модулятор 4, первая 4₁ и вторая 4₂ области которого выполнены в виде поляризационных циркулярных фильтров со взаимно противоположными направлениями вращения вектора поляризации.

Сдвиг границы между областями 4₁ и 4₂ оптического модулятора 4 посредством механического сдвига последнего (например, по двум координатам X, Z, представленное на фиг.14) по данным датчика положения зон наблюдения может использоваться во всех частных вариантах выполнения устройства.

В первом частном варианте устройства оптический модулятор 4 выполнен в виде по крайней мере одного электрически управляемого жидкокристаллического (ЖК) коммутатора (фиг.15), содержащего ЖК слой 7, две прозрачные диэлектрические пластины 8, 9 и по крайней мере один поляризатор 10, расположенный на внешней поверхности соответствующей диэлектрической пластины, при этом на внутренней поверхности диэлектрической пластины 8 размещен сплошной прозрачный электрод 11, а на внутренней поверхности второй диэлектрической пластины 9 - N эквидистантно расположенных столбцовых полосчатых прозрачных электродов (показан n-ый из них - 12n), при этом величина минимального шага сдвига границы 5 равна величине периода p расположения полосчатых прозрачных электродов, и выполняется условие $T_{RELAX} \leq \Delta T$, где T_{OFF} - время естественной релаксации жидкокристаллической структуры, ΔT - временной промежуток между соседними кадрами изображения ракурсов.

Во втором частном варианте устройства оптический модулятор 4 выполнен в виде по крайней мере одного электрически управляемого ЖК коммутатора (фиг.16), содержащего ЖК слой 7, две прозрачные диэлектрические пластины 8, 9 и по крайней мере один поляризатор 10, расположенный на внешней поверхности соответствующей диэлектрической пластины, на внутренней поверхности каждой диэлектрической пластины размещены N эквидистантно расположенных столбцовых полосчатых прозрачных электродов, образующие N пар (показана n-я пара из них - 13n и 14n), из которых прозрачные электроды в n-ой паре располагаются с противоположных сторон ЖК слоя 7 друг напротив друга, а величина p периода расположения N пар полосчатых прозрачных электродов удовлетворяет условию $p \leq V/E_{пор}$, где V - рабочая величина адресующего напряжения, $E_{пор}$ - величина напряженности электрического поля, соответствующая порогу ориентационного эффекта в ЖК слое 7. При этом возможно соединение между собой электрических входов (короткое соединение) прозрачных электродов в n-ой паре в случае взаимно дифференциального потенциального состояния электрических входов n-ой пары (фиг.17), левая область ЖК слоя) относительно соседних n-1 и n+1 пар прозрачных электродов (что соответствует формированию силовых линий продольного - относительно ЖК слоя 7 - электрического поля E_L за счет наличия вдоль данного участка ЖК слоя разности потенциалов V) либо взаимно дифференциальное потенциальное состояние электрических входов прозрачных электродов в n-ой паре (фиг.17, правая область ЖК слоя) в случае экvipотенциального потенциального состояния электрических входов прозрачных электродов в n-ой паре относительно обоих электрических входов n-1 и n+1 пар прозрачных электродов (что соответствует формированию силовых линий поперечного электрического поля E_T), и при этом выполняется условие $T_{RELAX} > \Delta T$, где T_{RELAX} -

время естественной релаксации ЖК структуры, ΔT - временной промежуток между соседними кадрами изображения ракурсов.

Время переходных процессов в слое рабочего вещества (ЖК слое) ЖК коммутатора не должно превосходить времени ΔT . Время включения оптического отклика ЖК коммутатора T_{ON} равно времени реакции T_{REACT} принудительной ориентации ЖК молекул под действием внешнего электрического поля (фиг.18, слева).

Под поперечным E_T или продольным E_L электрическим полем подразумевается результирующее направление силовых линий электрического поля, соответствующее проекции всех существующих в ЖК слое составляющих электрического поля на соответствующее (продольное или поперечное) направление. Величины напряженности продольного и поперечного электрических полей определяются соотношениями $E_L \sim V/d$ и $E_T \sim V/p$, где V - величина рабочего напряжения, приложенного к электрическим входам соответствующих электродов, d - толщина жидкокристаллического слоя 7.

Соотношение $T_{RELAX} \leq \Delta T$ означает, что время естественной релаксации ЖК слоя (в исходное состояние ЖК молекул после снятия внешнего электрического поля) достаточно короткое для нормальной работы ЖК коммутатора при использовании только поперечного электрического поля E_T (фиг.17), т.е. здесь автоматически выполняется условие $T_{OFF} < \Delta T$, где T_{OFF} - время выключения ячейки (столбца) электрически управляемого ЖК коммутатора. При соотношении $T_{RELAX} > \Delta T$ присутствие продольного электрического поля E_L ведет к принудительному укорочению времени прихода ЖК слоя в исходное состояние до требуемой величины $T_{OFF} < \Delta T$.

В ЖК коммутаторе предпочтительно использовать ориентационные электрооптические эффекты в нематических жидких кристаллах с положительной диэлектрической анизотропией $\Delta\epsilon > 0$ (на примере которых, как получивших наибольшее практическое распространение, рассматриваются далее все конфигурации элементарных ЖК ячеек). Соответствующая электрически полярная ЖК молекула 15 имеет нитевидную форму (фиг.18), и под действием внешнего электрического поля E ЖК молекула 15 ориентируется вдоль силовых линий последнего, приобретая в итоге ориентацию, ортогональную ее исходной ориентации (показанную как горизонтальную в качестве частного примера), например, вертикальную ориентацию (фиг.18, слева) при действии поперечного электрического поля E_T , горизонтальную ориентацию (фиг.18, справа) при действии продольного поля E_L , и постепенное возвращение ЖК молекулы в исходное состояние (фиг.18, середина) при нулевом внешнем электрическом поле.

Условное обозначение данной электрически адресуемой элементарной ЖК ячейки показано в виде прямоугольника 16 (фиг.19), стрелкой внутри которого отмечается направление исходной ориентации ЖК молекул. В качестве элементарных нематических ЖК ячеек ЖК коммутатора могут быть, в частности, использованы жидкокристаллическая гомогенная структура (первый вертикальный ряд фиг.19), у которой отсутствует закрутка молекул (угол закрутки $\alpha = 0^\circ$) вдоль оси Z , твист-структура с $\alpha = 90^\circ$ (второй вертикальный ряд), супертвист-структуры с $\alpha > 90^\circ$, в частности $\alpha = 180^\circ$ или $\alpha = 270^\circ$ (третий и четвертый ряды), а также быстродействующий вариант (пятый ряд) гомогенной структуры (π -ячейка), для которого характерны разные знаки углов $+\Theta$, $-\Theta$ предварительного наклона приповерхностных ЖК молекул. Частные варианты рабочего вещества ЖК коммутатора: ЖК слой, капсулированный в прозрачном полимерном слое, ЖК структура с самокомпенсацией [3], ферроэлектрические ЖК-структуры, однородные и капсулированные, бесполяроидные дифракционные ЖК слои. Применение гибких прозрачных диэлектрических пластин (подложек), например, выполненных из поликарбоната, позволяет реализовать тонкие (доли мм) ЖК коммутаторы [4] с плоскими, цилиндрическими, коническими и иными формами поверхности, в том числе с применением двух или более последовательно расположенных ЖК коммутаторов (ЖК слоев).

Устройство работает следующим образом. В первом примере конкретного выполнения устройства (фиг.3) на экране блока 3 формирования полноэкранных изображений ракурсов

(например, на экране ЭЛТ) в нечетных кадрах реализуются изображения левого ракурса, а в четных кадрах - правого. Первая область 4_1 оптического модулятора 4 пропускает в первую зону наблюдения L световой поток изображения в нечетных кадрах (левый ракурс), блокируя его в четных кадрах (фиг.20). Вторая область 4_2 пропускает во вторую зону наблюдения R световой поток изображения в четных кадрах (правый ракурс) и блокирует его в нечетных кадрах. Отображаемая пара ракурсов соответствует текущему положению зон L и R восприятия ракурсов, данные о положении которых считываются датчиком 6. При смене положения зон восприятия ракурсов L и R источник 1 многоракурсного видеосигнала генерирует соответствующую пару ракурсов. В случае компьютерного частного варианта источника 1 (фиг.21) возможность получения достаточно малого изменения угла зрения для соседнего ракурса (квазинепрерывность углового спектра) обусловлена возможностью получать достаточно малое изменения углового положения оси виртуальной камеры 17 в синтезированном с помощью компьютерной программы объемного объекта 18. В случае телевизионного варианта (фиг.22) достаточно малое изменение углового положения ракурса осуществляется с использованием многоканальной видеокамеры, состоящей из M минивидеокамер ($19_1, \dots, 19_m, \dots, 19_M$), сигналы которых подаются в демультиплексор 20, который осуществляет выбор текущей пары ракурсов, при этом для реализации квазинепрерывного спектра ракурсов демультиплексор 20 осуществляет вычисление промежуточных ракурсов методом математической интерполяции.

Во втором примере конкретного выполнения устройства (фиг.7) на проекционном экране 3_3 параллельно во времени формируются два полноэкранных изображения левого и правого ракурсов (на выходах видеопроекторов 2_2 и 2_3), при этом световой поток изображения левого ракурса линейно поляризован по горизонтали, а световой поток изображения правого ракурса линейно поляризован по вертикали за счет соответствующего действия поляризаторов 3_1 и 3_2 . Отраженный от проекционного экрана 3_3 и поступающий на оптический модулятор 4 суммарный световой поток сохраняет имеющееся состояние поляризации света, и после прохождения соответствующих областей 4_1 и 4_2 (с горизонтальным и вертикальным направлением оси поляризации соответственно) в первую (левую) L и вторую (правую) R зоны восприятия ракурсов поступает световой поток изображения соответственно левого и правого ракурсов. Аналогично работает устройство с примером выполнения, представленным на фиг.13, для случая циркулярной поляризации света, и соответствующие частные варианты устройства с неплоскими поверхностями оптического модулятора 4, например, устройства с оптическим модулятором 4 цилиндрической формы (фиг.9, 10), позволяющие осуществлять панорамный обзор объемного изображения, в том числе одновременно для нескольких наблюдателей (фиг.12).

Сдвиг границы 5 вдоль направления бинокулярного параллакса в ракурсах (вдоль оси X) соответственно с изменением положения зон L и R восприятия ракурсов осуществляется либо механическими средствами (фиг.14) либо за счет изменения оптических свойств рабочего вещества оптического модулятора 4, например, выполненного в виде электрически управляемого ЖК коммутатора.

В частном варианте устройства с использованием двух последовательно расположенных ЖК слоев в коммутаторе поляризации достигается работа с двумя взаимно ортогональными состояниями циркулярно (эллиптически) поляризованного светового потока в случае, когда данные варианты поляризации применяются для кодирования ракурсов стереоизображения.

В частных вариантах устройства с жидкокристаллическим коммутатором конкретная структура последнего и логика работы устройства определяются во-первых, характером предъявления ракурсов - попеременное или параллельное предъявление, во-вторых, наличием или отсутствием в световом потоке изображения кодировки по поляризации, а также с учетом соотношения между T_{RELAX} и ΔT . При попеременном предъявлении ракурсов без поляризационного кодирования световых потоков изображений ракурсов ЖК коммутатор выполняется в виде динамического коммутатора интенсивности света с

попеременным просветлением-затемнением двух его областей 4₁ и 4₂. Работа устройства с таким ЖК коммутатором аналогична работе устройства со структурной схемой, представленной на фиг.3 и с пояснениями, представленными на фиг.21.

При параллельном предъявлении ракурсов с взаимно ортогональным поляризационным кодированием световых потоков соответствующих им изображений ракурсов ЖК коммутатор выполняется как статический анализатор поляризации с двумя взаимно ортогональными состояниями по поляризации для двух областей 4₁ и 4₂, в этом случае только граница 5 между областями 4₁ и 4₂ является подвижной по положению в пространстве и работа устройства с данным ЖК коммутатором аналогична работе устройства со структурной схемой, представленной на фиг.7. В обоих указанных случаях при $T_{RELAX} \leq \Delta T$ для электрической адресации (включения) столбцов ЖК коммутатора достаточно формирования только поперечного (относительного ЖК слоя) электрического поля E_T . При $T_{RELAX} \geq \Delta T$ наряду с включением столбцов ЖК коммутатора поперечным электрическим полем E_T требуется применять продольное электрическое поле E_L для выключения столбцов.

Конкретные значения параметров модуляции (коммутации) светового потока ЖК коммутатором (контраст K , время включения T_{ON} и время выключения T_{OFF}) в основном определяются соответствующими параметрами его элементарной ЖК ячейки (фиг.19), изменение состояния поляризации света в которых осуществляется за счет электрически управляемого двулучепреломления, оптической активности или их сочетания. В случае электрически управляемого двулучепреломления (фиг.23) происходит изменение разности показателя преломления (разности диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$) для обыкновенного E_o и необыкновенного E_e лучей равной интенсивности (возникающих в ЖК слое при 45°-ном наклоне линейной поляризации входного света относительно оси жидкого кристалла) при превышении напряженностью E внешнего электрического поля значения выше порогового $E_{порог}$. В результате происходит изменение состояния поляризации проходящего ЖК ячейку света. После выходного поляризатора 13 свет модулирован по интенсивности (полностью блокирован при взаимно скрещенных осях поляризаторов 12 и 13) при отсутствии внешнего напряжения ($E=0$) и проходит с максимальной интенсивностью при $E=E_{MAX}$.

Конкретные значения оптического контраста K (отношения величин интенсивности прошедшего света, соответствующие E_{MAX} и $E=0$ соответственно) составляют около 70-100:1, а время включения T_{ON} составляет величины порядка сотен микросекунд для ЖК структур, показанных на фиг.19. Время выключения T_{OFF} элементарных ЖК ячеек (при использовании исключительно процесса естественной релаксации ЖК слоя после снятия адресующего напряжения) равно времени полной релаксации T_{RELAX} ЖК ячейки (рабочего слоя ЖК коммутатора), которое составляет величину одной-двух миллисекунд для π -ячейки (фиг.19, пятый вертикальный ряд), и величину 5-20 мс для остальных видов ЖК ячеек. При применении ферроэлектрических ЖК время $T_{ON}=T_{OFF} \sim 10$ мкс при $K=30-40$.

Поскольку время ΔT между соседними ракурсами (соседними кадрами) составляет около 1 мс для типичных изображений, генерируемых компьютером, то при $T_{RELAX} \geq \Delta T$ ЖК коммутатор выполнен с возможностью формирования продольного электрического поля E_T для реализации принудительного возвращения ЖК молекул в исходное состояние (фиг.18, справа).

Применение двух или более ЖК слоев в ЖК коммутаторе позволяет улучшить контраст коммутации (сепарацию ракурсов) до величин до 1000:1 за счет перемножения величин оптического контраста, свойственных одиночным ЖК слоям.

Источники информации

1. Son J., Do K. Multiview three-dimensional image display apparatus. - Патент США №6433930, МПК G02B 27/22, НКИ 359/464, опублик. 13.08.2002.

2. Arsenich S.I. Stereoscopic system. - PCT/RU 99/00174, МПК H04N 13/00, опублик. 16.12.99.

3. Брежнев В.А., Ежов В.А., Симоненко Г.В., Студенцов С.А. Пассивно-матричный ЖК

экран и способ управления данным экраном. PCT/RU 01/00492, G02F 1/133, G09G 3/36, дата приоритета 24.04.2001.

4. Barren C., Angele J., Bajie L. Development of Binem displays on flexible plastic substrates. - Journal of the SID, 2005, v.13, №3, pp.193-198.

5

Формула изобретения

1. Автостереоскопический дисплей с квазинепрерывным угловым спектром ракурсов, содержащий источник многоракурсного видеосигнала и последовательно оптически связанные блок формирования полноэкранных изображений ракурсов, блок сведения и кодирования ракурсов, селектор ракурсов, а также две зоны восприятия ракурсов и датчик их пространственного положения, при этом первый и второй выходы селектора ракурсов оптически сопряжены соответственно с первой и второй зонами восприятия ракурсов, выход источника многоракурсного видеосигнала подключен к видеовходу блока формирования изображения полноэкранных ракурсов, а выход датчика положения зон восприятия ракурсов подключен к соответствующим электрическим входам источника многоракурсного видеосигнала, блока формирования изображения полноэкранных ракурсов и селектора ракурсов, отличающийся тем, что селектор ракурсов выполнен в виде содержащего слой рабочего вещества оптического модулятора, выполненного с возможностью формирования первой и второй областей со взаимно дополняющими оптическими характеристиками состояния рабочего вещества по величине его оптического пропускания, либо поляризации, либо спектрального состава, при этом обращенные к первой и второй зонам восприятия ракурсов поверхности первой и второй областей являются первым и вторым выходами селектора ракурсов и имеют форму соответственно первой и второй связанных полуповерхностей с общей границей между ними, которая находится в плоскости, ортогональной направлению бинокулярного параллакса, и имеет возможность параллельного сдвига в направлении бинокулярного параллакса, а сечение общей границы любой сагиттальной плоскостью, проходящей через центральные точки обеих зон восприятия ракурсов, параллельно направлению бинокулярного параллакса, совпадает в данной сагиттальной плоскости с точкой пересечения первой и второй прямых, соединяющих первую и вторую центральные точки зон восприятия ракурсов соответственно с первой и второй краевыми точками апертуры блока формирования полноэкранных изображений ракурсов, при этом максимально допустимое удаление зон восприятия ракурсов от ближайших к ним полуповерхностей первой и второй областей в любой сагиттальной плоскости соответствует совпадению точки сечения общей границы этой сагиттальной плоскостью с точкой пересечения первой и второй прямых, соединяющих первую и вторую центральные точки зон восприятия ракурсов соответственно с первой и второй краевыми точками апертуры блока формирования ракурсов изображения, а минимально допустимая суммарная протяженность первого и второго областей оптического модулятора в любой сагиттальной плоскости определяется длиной отрезка кривой сечения обеих связанных полуповерхностей, заключенного между третьей и четвертой прямыми, соединяющими центральные точки первой и второй зон восприятия ракурсов соответственно со второй и первой краевыми точками апертуры блока формирования ракурсов изображения, причем выполняется условие $T_{REFLAX} \leq \Delta T \leq \Delta T$, где T_{REFLAX} - время естественной релаксации рабочего вещества оптического модулятора, ΔT - временной промежуток между соседними кадрами изображения ракурсов.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что первая и вторая связанные полуповерхности первой и второй областей оптического модулятора имеют форму соответственно первой и второй полуплоскостей, либо полуцилиндров, либо полуконусов с общей линейной границей между ними.

3. Устройство по п.2, отличающееся тем, что оптический модулятор выполнен в виде по крайней мере одного электрически управляемого жидкокристаллического коммутатора, содержащего жидкокристаллический слой, две прозрачные диэлектрические пластины и по крайней мере один поляризатор, расположенный на внешней поверхности той

диэлектрической пластины, которая обращена к зонам восприятия ракурсов, при этом на внутренней поверхности первой диэлектрической пластины размещен сплошной прозрачный электрод, а на внутренней поверхности второй диэлектрической пластины - N эквидистантно расположенных столбцовых полосчатых прозрачных электродов, каждый из которых ориентирован ортогонально направлению бинокулярного параллакса, при этом величина минимального шага сдвига границы равна величине периода p расположения полосчатых прозрачных электродов, где N - целое число.

4. Устройство по п.2, отличающееся тем, что оптический модулятор выполнен в виде по крайней мере одного электрически управляемого жидкокристаллического коммутатора, содержащего жидкокристаллический слой, две прозрачные диэлектрические пластины и по крайней мере один поляризатор, расположенный на внешней поверхности соответствующей диэлектрической пластины, на внутренней поверхности каждой диэлектрической пластины размещены N эквидистантно расположенных столбцовых полосчатых прозрачных электродов, образующие N пар, из которых прозрачные электроды в n-ой паре располагаются с противоположных сторон жидкокристаллического слоя друг напротив друга, а величина p периода расположения N пар полосчатых прозрачных электродов удовлетворяет условию $p \leq V/E_{пор}$, где V - величина рабочего адресующего напряжения, $E_{пор}$ - величина напряженности электрического поля, соответствующая порогу электрооптического эффекта в жидкокристаллическом слое, причем электрические входы прозрачных электродов в n-ой паре соединены между собой при условии взаимно дифференциального потенциального состояния каждого из электрических входов n-ой пары относительно соответствующих электрических входов соседних n-1 и n+1 пар прозрачных электродов, а при условии эквипотенциального потенциального состояния электрических входов прозрачных электродов в n-ой паре относительно обоих электрических входов n-1 и n+1 пар прозрачных электродов электрические входы прозрачных электродов в n-ой паре имеют взаимно дифференциальное потенциальное состояние, где n=1, 2, ..., N.

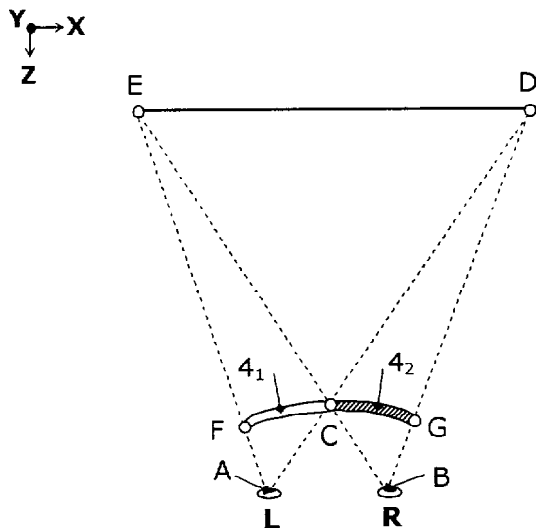
30

35

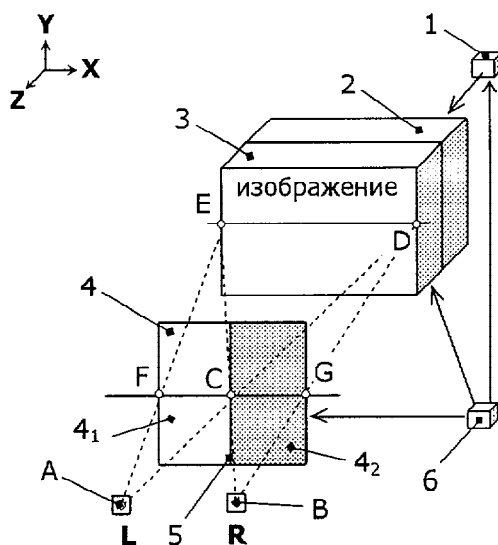
40

45

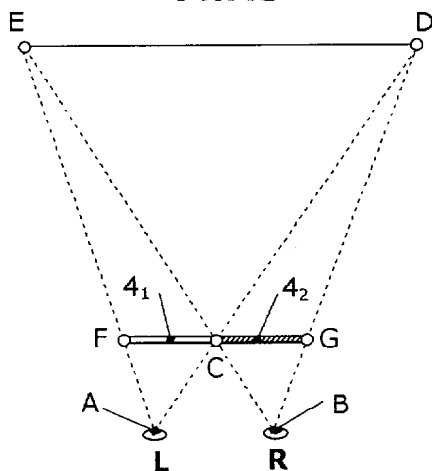
50



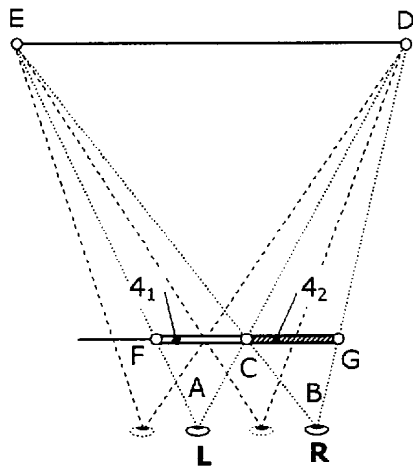
Фиг.2



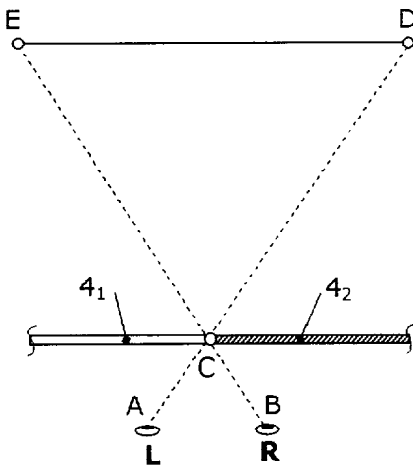
Фиг.3



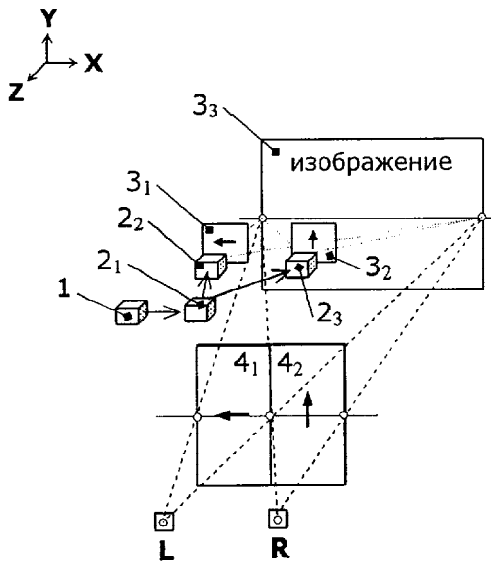
Фиг.4



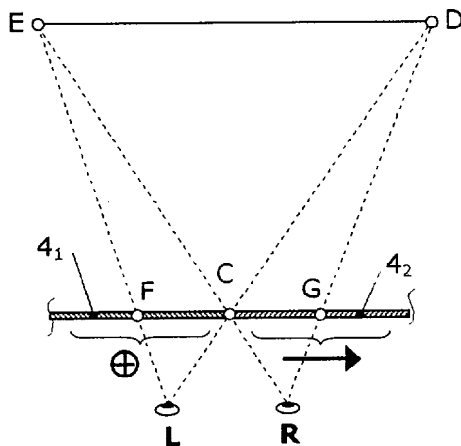
Фиг.5



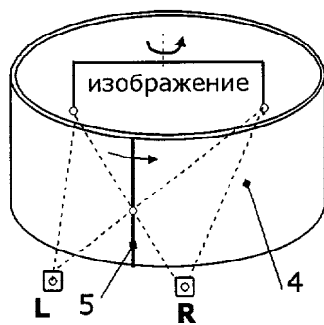
Фиг.6



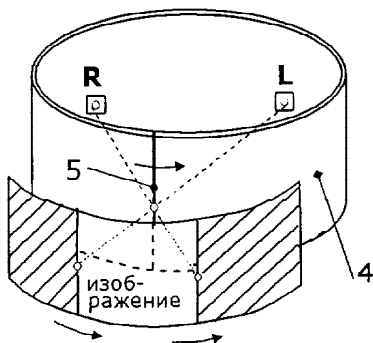
Фиг.7



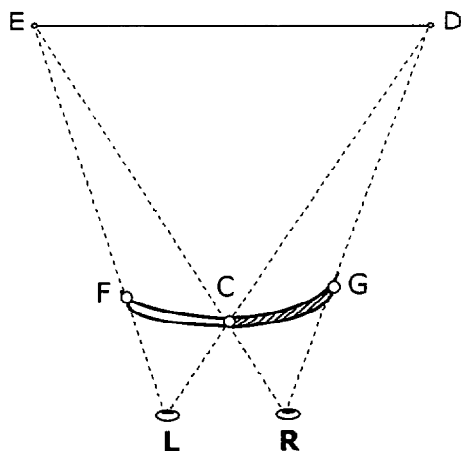
Фиг.8



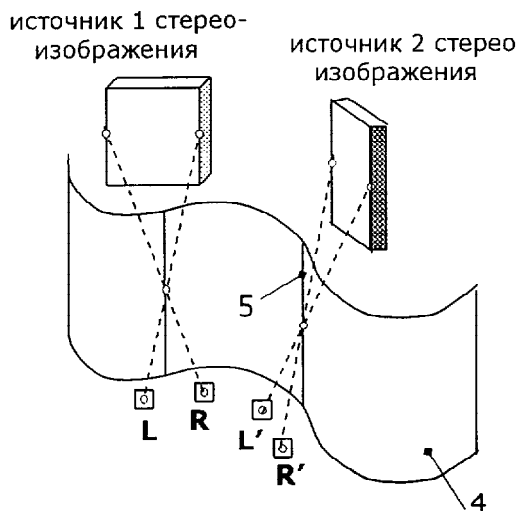
Фиг.9



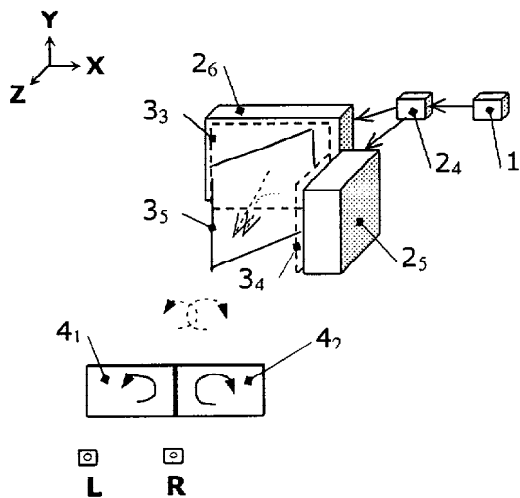
Фиг.10



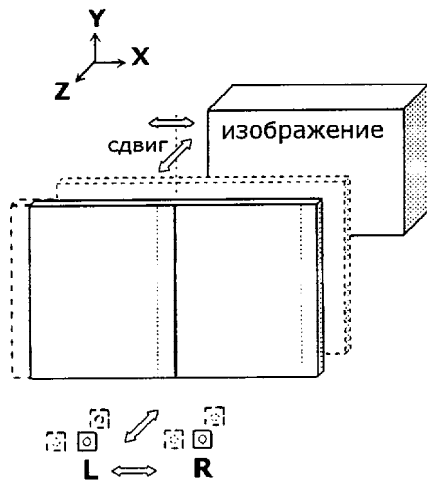
Фиг.11



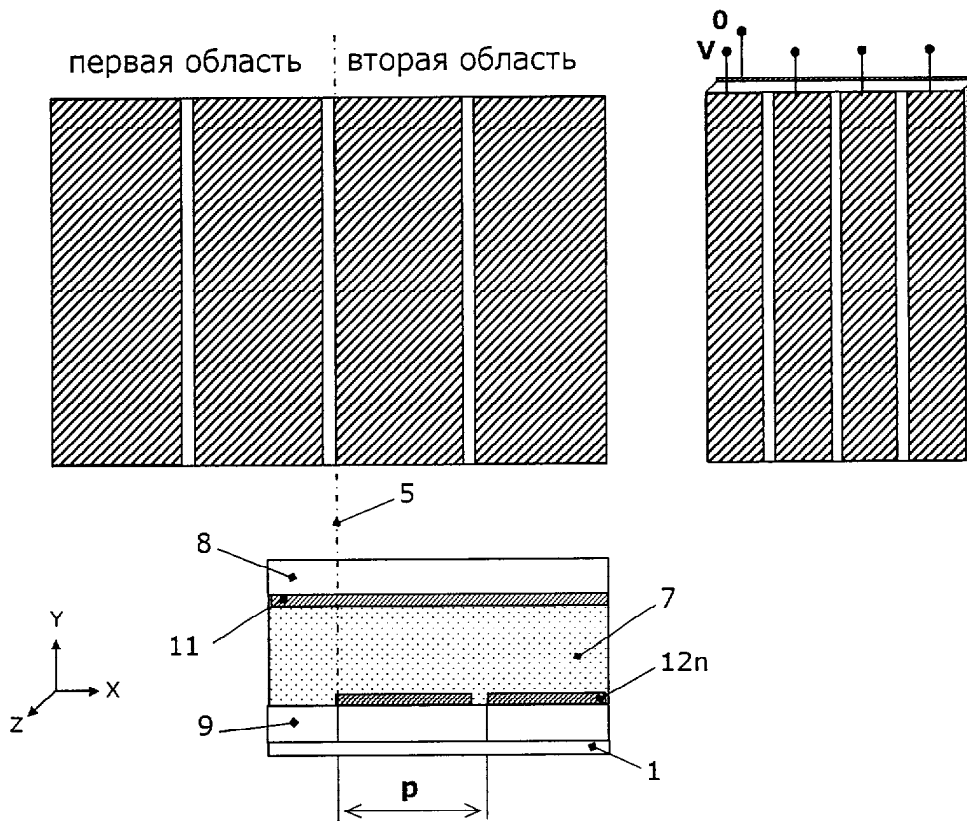
Фиг.12



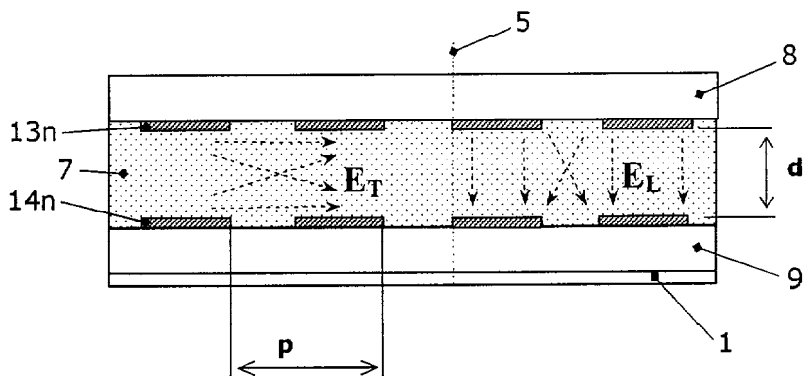
Фиг.13



Фиг.14



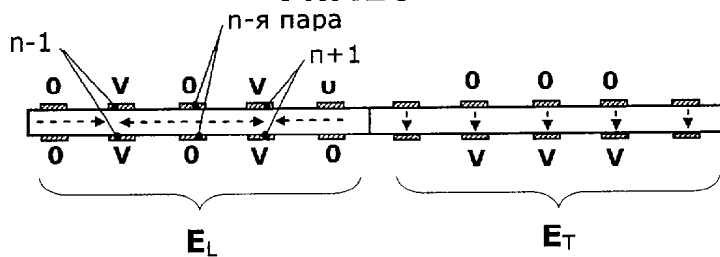
Фиг.15



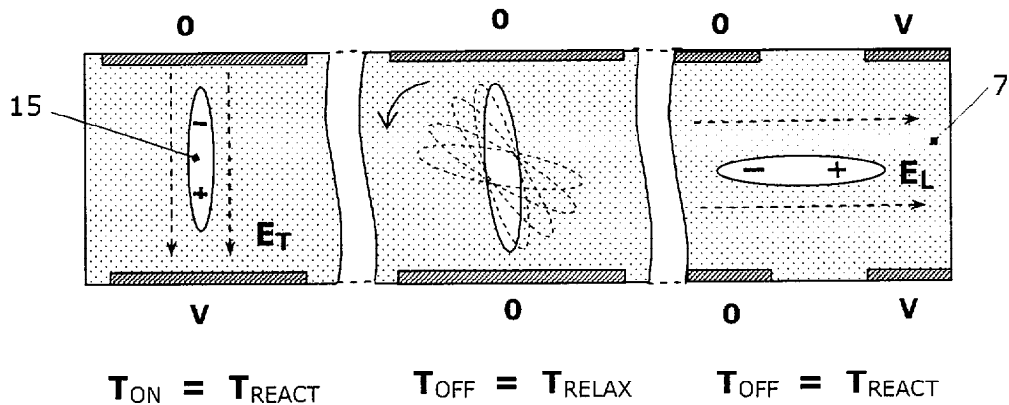
$|E_T| \sim V/d$

$|E_L| \sim V/p$

Фиг.16

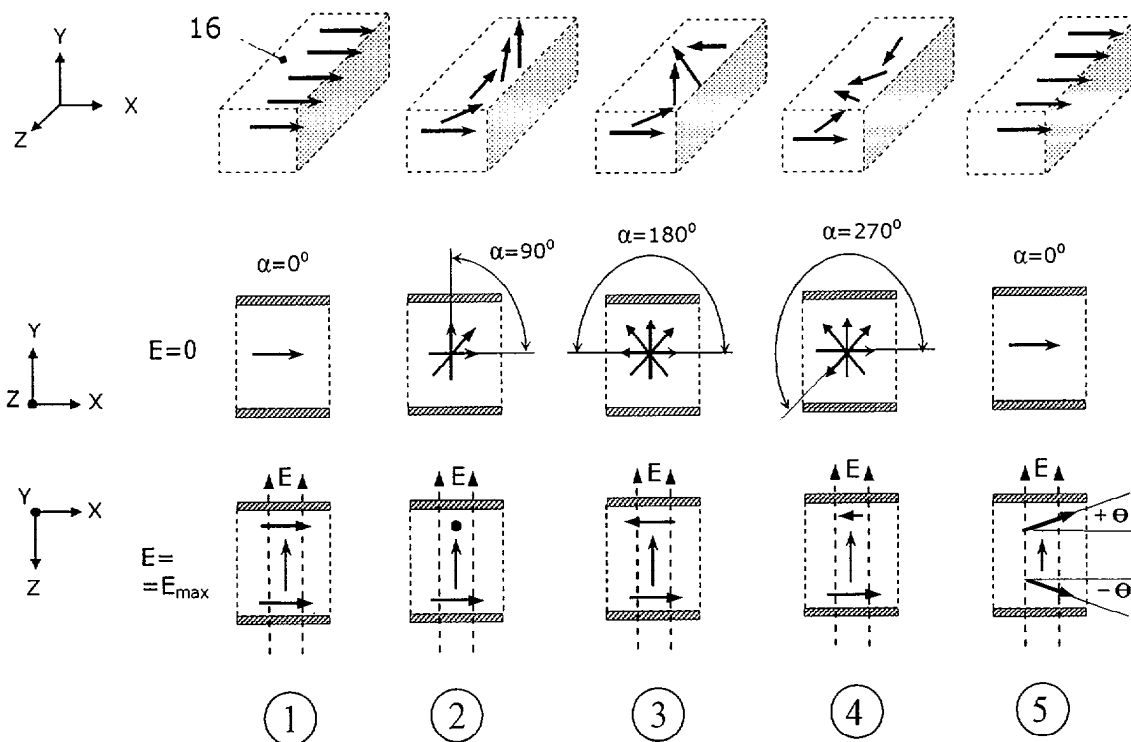


Фиг.17



Фиг.18

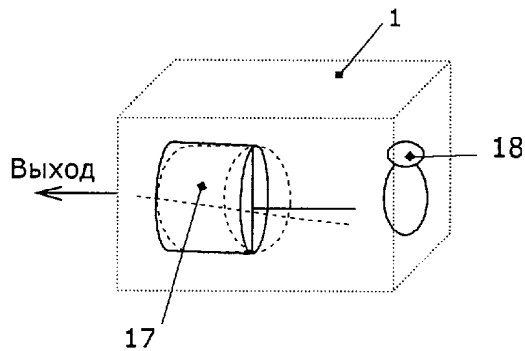
Для ЖК молекул с $\Delta \epsilon > 0$



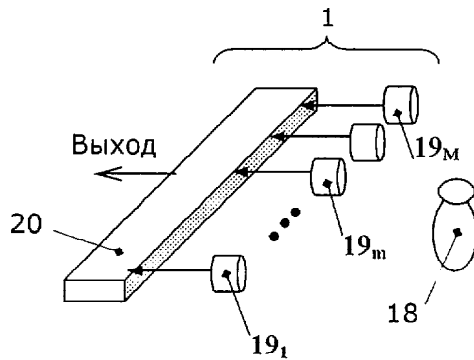
Фиг.19



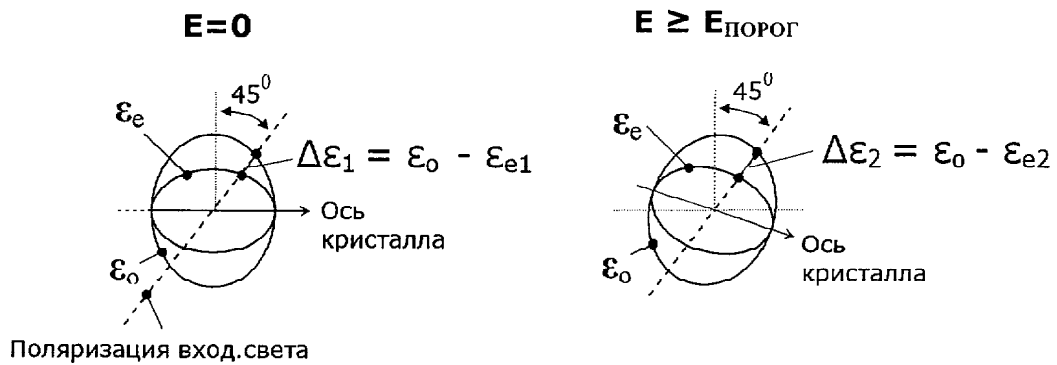
Фиг.20



Фиг.21



Фиг.22



Фиг.23