



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004128090/28, 19.03.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.03.2003

(30) Конвенционный приоритет:
21.03.2002 IL 148804

(43) Дата публикации заявки: 27.10.2005

(45) Опубликовано: 20.05.2008 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 5076664 A, 31.12.1991. US 5076664
A, 31.12.1991. US 5453877 A, 26.09.1995. EP
0535402 A1, 07.04.1993. EP 0770896 A1,
16.10.1996. US 5453877 A, 26.09.1995. JP
10123450 A, 15.05.1998.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
17.09.2004

(86) Заявка РСТ:
IL 03/00237 (19.03.2003)

(87) Публикация РСТ:
WO 03/081320 (02.10.2003)

Адрес для переписки:
103009, Москва, а/я 184, ППФ "ЮС", пат.пов.
С.М.Кочемазову

(72) Автор(ы):
АМИТАИ Яаков (IL)

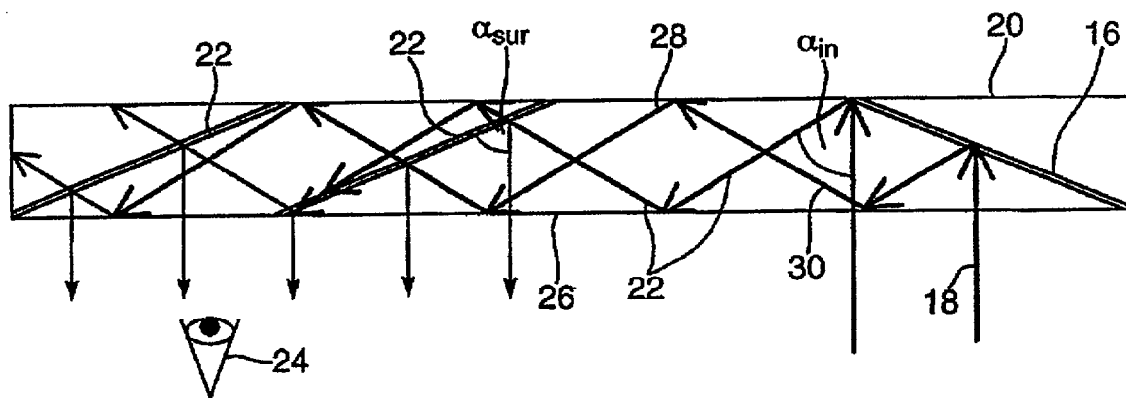
(73) Патентообладатель(и):
Лумус Лтд. (IL)

(54) СВЕТОПРОВОДЯЩИЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

(57) Реферат:

Светопроводящий оптический элемент, который включает в себя, по крайней мере, одно светоподающее основание, которое снабжено, по крайней мере, двумя поверхностями, расположенными параллельно друг другу, оптические средства, которые используются для ввода в основание лучей света при помощи полного внутреннего отражения таким образом, чтобы свет попадал на одну из указанных выше поверхностей, набор одной или более частично

отражающих поверхностей, расположенных внутри основания, поверхности которых не параллельны вышеупомянутым поверхностям основания, при этом частично отражающие поверхности являются плоскими селективно отражающими под углом поверхностями, которые часть лучей пересекают несколько раз, перед тем как выйти из основания в нужном направлении. Технический результат: обеспечение широкого поля обзора и увеличение области перемещения глаз при неподвижном устройстве. 43 з.п. ф-лы, 36 ил.



ФИГ. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

G02B 27/10 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2004128090/28, 19.03.2003

(24) Effective date for property rights: 19.03.2003

(30) Priority:
21.03.2002 IL 148804

(43) Application published: 27.10.2005

(45) Date of publication: 20.05.2008 Bull. 14

(85) Commencement of national phase: 17.09.2004

(86) PCT application:
IL 03/00237 (19.03.2003)(87) PCT publication:
WO 03/081320 (02.10.2003)Mail address:
103009, Moskva, a/ja 184, PPF "JuS", pat.pov.
S.M.Kochemazovu(72) Inventor(s):
AMITAI Jaakov (IL)(73) Proprietor(s):
Lumus Ltd. (IL)

(54) LIGHT-CONDUCTING OPTICAL ELEMENT

(57) Abstract:

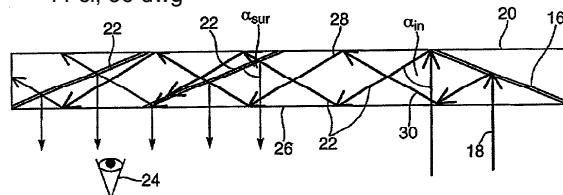
FIELD: optics.

SUBSTANCE: light conducting optical element, which includes at least one light supplying base, which is equipped with at least two surfaces located parallel to each other; optical means that are used for entering light beams into the base by total internal reflection so that the light would strike one of the above surfaces, set of one or more partially reflecting surfaces located inside of the base, the surfaces of which are not parallel to the above base surfaces; the partially reflecting surfaces being flat surfaces

selectively reflecting at an angle, which are crossed by part of beams several times before exiting the base in the required direction.

EFFECT: provision of wide field of view and increase of eye movement area with device fixed.

44 cl, 36 dwg



ФИГ. 2

Область изобретения

Настоящее изобретение связано с оптическими устройствами, имеющими светопроводящую подложку, и частично с устройствами, имеющими ряд отражающих поверхностей, поддерживаемых простой светопередающей подложкой, также называемой

5 оптическим световодом.

Изобретение может быть применимо для создания разного рода видеоприборов, например, монтируемые на голове дисплеи, сотовые телефоны, компактные дисплеи, 3-D дисплеи, компактные расширители светового пучка, также как и не видеоприборы, например, индикаторные панели, компактные осветительные приборы и сканнеры.

Предпосылки изобретения

Одно из важных применений для компактных оптических элементов - это дисплеи, монтируемые на голове, когда оптический модуль служит одновременно и видеолинзой, и собирателем, где двухмерный дисплей передает изображение в бесконечность и отражает его в глаз наблюдателя. Видеоизображение может быть получено либо с помощью

15 пространственно-световой модуляции (PCM) (spatial light modulation (SLM)), например, катодная лучевая трубка, дисплей на жидких кристаллах, матрица (ряд) из органических светодиодов (organic light emitting diode (OLED)), или сканирующий источник и подобные ему устройства, или, косвенно, с помощью передающей линзы или оптического кабеля. Дисплей являет собой матрицу элементов (пикселей), отображающихся в

20 бесконечность с помощью коллимирующей линзы и передающихся в глаз наблюдателя посредством полного или частичного отражения от отражающих поверхностей, являющихся собирателями для случаев, где нужна или не нужна прозрачность соответственно. Обычно для этого применяется традиционный открытый (free-space) оптический модуль. К сожалению, по мере того как происходит желаемое увеличение зоны

25 обзора (field-of-view (FOV)) системы, традиционный открытый (free-space) оптический модуль увеличивается в габаритах, в массе и, следовательно, является непрактичным. Это является основной помехой для применения всех видов дисплеев, в особенности там, где дисплеи прикрепляются к голове, когда система должна быть как можно легче и компактнее.

Стремление к миниатюризации привело разработчиков к нескольким комплексным оптическим решениям, каждое из которых, с одной стороны, все еще не обеспечивает

30 необходимой компактности прибора и, с другой стороны, решает основные проблемы на основе технологичности. Более того, eye-motion-box углов оптического обзора, получаемое из их схем (структур), обычно очень маленькое - обычно меньше 8 мм.

35 Значит, оптическая система очень чувствительна даже к малейшим ее перемещениям относительно глаза наблюдателя и не допускает обычных движений зрачка при чтении текста с таких дисплеев.

Раскрытие изобретения

Настоящее изобретение помогает проектировать и изготавливать очень компактные

40 светопроводящие оптические элементы (light-guide optical elements (LOE)) для разных других устройств, дисплеев, закрепляемых на голове. Изобретение позволяет получать относительно широкую зону обзора (FOV) при относительно больших величинах eye-motion-box (от. перев.: возм. размах (величина) колебаний (движений) глаза). Получившаяся оптическая система дает большое, высококачественное изображение,

45 позволяя глазу двигаться в широких пределах. Разработанная оптическая система чрезвычайно удобна, полезна и выгодна из-за ее большей компактности, по сравнению с современными аналогами, и она все еще без труда может быть комбинирована, объединена, даже с оптическими системами специализированной конфигурации.

Это изобретение также включает в себя конструкцию усовершенствованных дисплеев на лобовом стекле (head-up display (HUD)). С начала использования этих дисплеев, а это

50 три десятилетия, в этой области произошел значительный прогресс. Действительно, HUD-дисплеи приобрели большую популярность, и сейчас они играют большое значение не только в современных боевых летающих средствах, но и в гражданской авиации, где HUD-

технологии стали ключевой составляющей при посадке летающих средств в условиях плохой видимости. Более того, недавно были представлены многочисленные планы и проекты по внедрению HUD-технологий в автомобильный транспорт, где такие мониторы могли бы существенно помочь водителю в управлении и навигации. Тем не менее, современные HUD-дисплеи имеют несколько существенных недостатков. Все реальные спроектированные HUD-дисплеи нуждаются в источнике изображения, который должен быть значительно смещен от собирателя для того, чтобы источник мог передавать изображение на всю поверхность собирателя. Вследствие этого собиратель-проектор HUD-системы обязательно получается громоздким, объемным и требует большого пространства для установки, что делает эту систему неудобной и иногда небезопасной в использовании. Большое оптическое окно традиционных HUD-дисплеев также обуславливает серьезные требования к оптической системе, делая HUD-дисплеи либо с какими-то компромиссными характеристиками, либо очень дорогими, когда требуются высокие характеристики. Световая дисперсия высококачественных голографических HUD-дисплеев применяется редко.

Важность данного изобретения состоит в том, что оно позволяет создавать компактные HUD-дисплеи, которые смягчили бы упомянутые выше недостатки. В HUD-дисплеях, разработанных в рамках данного изобретения, собиратель освещается компактным источником изображения, который может быть прикреплен к подложке. Поэтому такая система очень компактна, и она может быть легко установлена в различных конфигурациях в разного рода установках. Кроме того, световая дисперсия в дисплее ничтожна, и поэтому дисплей может работать с широкоспектральными источниками, включая традиционный источник белого света. Сверх того, данная разработка позволяет увеличить изображение, поэтому рабочая поверхность собирателя может быть гораздо больше, чем рабочая поверхность, действительно освещаемая источником.

Другое важное применение данного изобретения заключается в создании широкоформатного трехмерного (3D) изображения. Разработки, ведущиеся в области информационных технологий, привели к увеличению потребности 3D-дисплеев. Действительно, на рынке представлен широкий спектр 3D-оборудования. Такие системы, однако, требуют от пользователя надевать на себя специальные устройства, отделяющие изображение для правого и левого глаза. Такие системы "с вооруженным глазом" были внедрены в профессиональное употребление. Однако дальнейшее развитие данной области потребует разработку систем "с невооруженным глазом" с улучшенным комфортом зрения и более близкой адаптацией к механизму бинокулярного зрения. Современные решения этой проблемы страдают рядом различных недостатков, и они не достигают обычных 2D-дисплеев в отношении качества и удобства зрения. Однако, используя данную разработку, становится возможным получить 3D-аутостереоскопический дисплей действительно высокого качества, не требующего никаких дополнительных приспособлений, и изготовление которого можно легко наладить на базе стандартного оптического производства.

Дальнейшее применение данного изобретения направлено на получение компактного дисплея с широким полем зрения (FOV) для применения в мобильных ручных устройствах, таких как мобильный телефон. На современном рынке беспроводного доступа в сеть "Интернет" пропускная способность радиоканала достаточна для полной передачи видеоизображения. Ограничивающим фактором остается качество дисплея в соответствующем конечном устройстве пользователя. Требования к мобильности ограничивают физические размеры дисплеев, и результатом этого является дисплей с узким полем обзора и низким качеством изображения. Данное изобретение позволяет получить физически очень компактный дисплей с очень большим виртуальным изображением. Это - ключевая особенность в технологиях мобильной связи, особенно в области мобильного доступа в "Интернет", решая проблему одного из главных ограничений его практического применения. Таким образом, данная разработка позволяет получить полноформатное цифровое изображение Интернет-страницы с маленького, ручного

устройства, например мобильного телефона.

Главным объектом данного исследования, поэтому является сглаживание недостатков современных компактных оптических дисплеев и обеспечение другими оптическими компонентами и системами с улучшенными характеристиками, соответствующими

5 специальным требованиям.

Таким образом, в этом изобретении разработаны оптические устройства, включающие в себя светопередающую подложку, имеющую как минимум две главные поверхности и два ребра; оптические средства для соединения света в указанную подложку с помощью полного отражения и минимум одна частично отражательная поверхность, расположенная

10 в этой подложке.

Краткое описание чертежей

Данное изобретение описывается во взаимосвязи с определенным образом выделенными вариантами конструктивного исполнения со ссылкой на нижеследующие чертежи для более легкого изучения данной работы.

15 Учитывая специфичность ссылок на чертежи, это довольно неудобно, что детали показаны в качестве примера и пояснений для выделенных вариантов конструктивного исполнения только настоящего изобретения и приведены для того, чтобы показать, что понимается под самым полезным и простым в понимании описанием принципов и концептуальных аспектов изобретения. В этом отношении не было сделано никаких

20 попыток показать структурные детали этого изобретения более подробно, чем того требует фундаментальное понимание изобретения. Чертежи предназначены для специалистов, чтобы показать, как некоторые формы этого изобретения могут быть воплощены на практике.

Фиг.1 - боковой вид общей модели оптического устройства с прежним оптическим преломляющим устройством;

фиг.2 - боковой вид образцового оптического элемента в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.3А и 3В иллюстрируют желаемые характеристики отражения и передачи селективно отражающих поверхностей, используемых в данном изобретении для двух уровней углов

30 падения;

фиг.4 иллюстрирует кривые отражения как функции длины волны для образцового дихроичного покрытия;

фиг.5 иллюстрирует кривую отражения как функцию длины волны для образцового дихроичного покрытия;

35 фиг.6 иллюстрирует кривые отражения как функцию длины волны для другого дихроичного покрытия;

фиг.7 иллюстрирует кривую отражения как функцию длины волны для другого дихроичного покрытия;

фиг.8 схематичный разрез отражательной поверхности в соответствии с настоящим изобретением;

40 фиг.9А и 9В - схема, иллюстрирующая подробные разрезы ряда образцовых селективно отражающих поверхностей;

фиг.10 - схема, иллюстрирующая подробные разрезы ряда образцовых селективно отражающих поверхностей, когда тонкая прозрачная прослойка зацементирована на

45 основании (приклеена к основанию) с вето про водящего оптического элемента;

фиг.11 - схема, иллюстрирующая подробные разрезы ряда образцовых селективно отражающих поверхностей для трех разных углов обзора;

фиг.12 - разрез образцового устройства в соответствии с настоящим изобретением, использующего полуволновую пластину для поворота поляризации входящего света;

50 фиг.13 демонстрирует два графика зависимости искусственно вычисленной прозрачности от поля обзора (FOV) всего изображения проекционного дисплея, и зависимость вида снаружи от того же поля обзора;

фиг.14 - схема, иллюстрирующая устройство светопроводящего оптического элемента,

обладающего рядом из четырех частично отражающих поверхностей, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.15 - схема, иллюстрирующая устройство светопроводящего оптического элемента, обладающего рядом из четырех частично отражающих поверхностей, в соответствии с другим вариантом конструктивного исполнения данного изобретения;

фиг.16 - схема, иллюстрирующая метод расширения (растягивания, вытягивания) луча вдоль обеих осей с использованием двойной конфигурации светопроводящего оптического элемента (light-guiding optical element - LOE);

фиг.17 - вид устройства сбоку с использованием жидкокристаллического дисплея (liquid crystal display - LCD) как источник света, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.18 иллюстрирует оптическую схему коллимирующего и преломляющего оптического элемента, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.19 - схема, иллюстрирующая точки падения света, соединенного в подложку, на передней поверхности коллимирующей линзы, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.20 - схема, иллюстрирующая эквивалентную оптическую схему без преломления, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.21 иллюстрирует оптическую схему, использующую две пары параллельных отражающих зеркал для получения широкого поля обзора, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.22A - вид сверху, а фиг.22B - вид сбоку альтернативной схемы для расширения света, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.23 иллюстрирует образцовый вариант конструктивного исполнения настоящего изобретения, основанный на использовании стандартной рамки окуляра;

фиг.24 - схема, иллюстрирующая образцовый метод конструктивного исполнения изобретения в качестве мобильного ручного устройства, такого как мобильный телефон;

фиг.25 иллюстрирует образцовую HUD-систему, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.26 иллюстрирует образцовый вариант конструктивного исполнения настоящего изобретения, где светопроводящий оптический элемент освещается рядом источников изображения;

фиг.27-29 иллюстрирует образцовый вариант конструктивного исполнения системы изображения, которая проектирует трехмерное изображение в глаза наблюдателя, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.30 иллюстрирует вариант конструктивного исполнения изобретения для

традиционной реализации устройства усилителя звездного света (star's-light amplifier (SLA));

фиг.31 иллюстрирует вариант конструктивного исполнения для улучшенной реализации устройства усиления звездного света (SLA), в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.32 - боковой вид устройства, использующего отражающий дисплей на жидких кристаллах (LCD) как источник света с традиционным осветительным устройством, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.33 - боковой вид устройства, использующего отражающий дисплей на жидких кристаллах (LCD) как источник света, в котором светопроводящий элемент используется для освещения источника, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.34 - схема, иллюстрирующая метод производства ряда (матрицы) селективно отражающих поверхностей, в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.35, 36 - схемы, иллюстрирующие измерительные системы, использующую две призмы для измерения отражательной способности пластины с покрытием на двух разных углах, применяя далее преломляющую линзу для совмещения выходного луча с падающим входным лучом.

Подробное описание выделенных вариантов конструктивного исполнения

На фиг.1 изображено удобное оптическое преломляющее устройство, в котором подложка 2 освещается источником изображения 4. Дисплей коллимируется с помощью коллимирующей линзы 6. Свет, исходящий из источника 4, передается в подложку 2 с

помощью первой отражательной поверхности 8 таким образом, что главный луч 10 становится параллельным плоскости подложки. Вторая отражательная поверхность 12 выводит свет из подложки и передает его в глаз наблюдателя 14. Несмотря на компактность этой схемы, она страдает серьезными недостатками; в частности, поле

5 обзора (FOV) здесь получается очень ограниченным. Как видно из чертежа, максимальный внеосевой угол внутри подложки составляет:

$$\alpha_{\max} = \arctan\left(\frac{T - d_{\text{eye}}}{2l}\right), \quad (1)$$

10 где T - толщина подложки;

d_{eye} - желаемый диаметр выходного зрачка;

l - расстояние между отражающими поверхностями 8 и 12.

При углах, превышающих $\alpha_{\max}$, лучи отражаются от поверхности подложки до того, как они достигают отражательной поверхности 12. Значит, отражательная поверхность 12

15 будет освещаться по нежелательному направлению, и в этом случае будут появляться побочные изображения (блуждающие блики).

Следовательно, максимальным полем обзора этой схемы будет являться:

$$\text{FOV}_{\max} \approx 2\nu\alpha_{\max}, \quad (2)$$

где ν - коэффициент преломления подложки.

20 Обычно значение коэффициента преломления лежит между 1,5 и 1,6.

Как правило, диаметр глазного зрачка равен 2-6 мм. Для того чтобы приспособиться к движению или смещению (несоосности) дисплея, диаметр выходного зрачка приходится

делать больше, чем необходимо. Минимальное расстояние между оптическими осями глаза берется равным 8-10 мм, а размер головы, l , обычно находится между 40 и 80 мм.

25 Следовательно, даже для маленького угла обзора $\text{FOV}=8^\circ$ толщина подложки должна быть примерно 12 мм.

В этой работе представлены методы для преодоления этой проблемы. Для этого применяются увеличительный телескоп внутри подложки и непараллельные собирательные направляющие. Но даже при этом, и еще при том, что применяется только

30 одна отражательная поверхность, толщина системы остается примерно той же. FOV ограничивается диаметром проекции отражательной поверхности 12 на плоскость подложки. При таком ограничении максимальное поле обзора будет:

$$\text{FOV}_{\max} \approx \frac{T \tan \alpha_{\text{sur}} - d_{\text{eye}}}{R_{\text{eye}}}, \quad (3)$$

35 где α_{sur} - угол между отражательной поверхностью и нормалью к плоскости подложки;

R_{eye} - расстояние между глазами наблюдателя и подложкой (обычно 30-40 мм).

На практике $\tan \alpha_{\text{sur}}$ не может быть больше 1; отсюда для тех же параметров, описанных выше для $\text{FOV}=8^\circ$, толщина подложки будет примерно равна 7 мм, что является явным

40 улучшением при прежних ограничениях. Тем не менее, при увеличении FOV толщина подложки быстро растет. Например, для FOV 15° и 30° толщина подложки будет 18 мм и 25 мм соответственно.

Для смягчения этих ограничений в настоящем изобретении используется ряд (матрица) селективно отражающих поверхностей, расположенных внутри светопроводящего

45 оптического элемента (light-guiding optical element (LOE)). На фиг.2 показан разрез LOE в соответствии с настоящим изобретением. Первая отражательная поверхность 16 освещается коллимированным дисплеем 18, который в свою очередь освещается источником света (не показан), расположенным за устройством. Отражательная

50 поверхность 16 отражает падающий из источника свет таким образом, что свет попадает в плоскую подложку 20 с помощью полного внутреннего отражения. После нескольких отражений от поверхностей подложки волны достигают ряда селективно отражающих поверхностей 22, которые выводят свет из подложки и проецируют его в глаза наблюдателя 24. Принимая то, что центральная волна источника выходит из подложки 20 в

направлении нормали к поверхности подложки 26 и внеосевой угол волны в подложке равен α_m , угол между отражающими поверхностями и нормалью к поверхности подложки будет равен:

$$\alpha_{sur2} = \frac{\alpha_{in}}{2}. \quad (4)$$

Как видно из фиг.2, лучи достигают отражающих поверхностей по двум различным направлениям 28, 30. В этом конкретном варианте исполнения лучи падают на отражательную поверхность 28 после четного количества отражений от поверхностей подложки 26, где угол падения между лучом и нормалью к отражательной поверхности равен:

$$\beta_{ref} = 90^\circ - (\alpha_{in} - \alpha_{sur2}) = 90^\circ - \frac{\alpha_{in}}{2}. \quad (5)$$

Со второго направления 30 лучи достигают отражательную поверхность после нечетного количества отражений о поверхность подложки 26, где внеосевой угол равен $\alpha_{in}=180^\circ-\alpha_{in}$ и угол падения между лучом и нормалью к отражательной поверхности будет:

$$\beta_{ref} = 90^\circ - (\alpha_{in} - \alpha_{sur2}) = 90^\circ - (180^\circ - \alpha_{in} - \alpha_{sur2}) = -90^\circ + \frac{3\alpha_{in}}{2}. \quad (6)$$

Для предотвращения нежелательных отражений и появления побочных изображений (блуждающих бликов) очень важно, чтобы отражение было ничтожно малым для одного из тех двух направлений. Желаемое различие между двумя направлениями падения света может быть получено, если один угол будет значительно меньше другого. Два решения этой задачи, оба из которых используют свойства отражения перпендикулярно поляризованного света (S-поляризация), были предложены ранее, но оба эти решения обладали недостатками. Главным недостатком первого решения является относительно большое число отражающих поверхностей, необходимых для обеспечения достаточного FOV. Главным недостатком второго решения является нежелательное отражение лучей с внутренним углом α_{in} . Альтернативное решение, описанное здесь, использует свойства отражения параллельно поляризованного света (P-поляризация) и в некоторых случаях S-поляризованного света и обеспечивает уменьшение угла наклона отражающих поверхностей, что ведет за собой уменьшение необходимого количества отражающих поверхностей.

Характеристики отражения как функции угла падения для S- и P-поляризованного света различны. Рассмотрим пример границы раздела стекла воздух/поверхность. Пока обе поляризации отражаются на 4% при нулевом угле падения, отражение по Френелю S-поляризованного света, падающего на границу раздела сред, монотонно повышается до уровня 100% при скользющем угле падения света, а отражение по Френелю P-поляризованного света сначала снижается до 0% при угле Брюстера и только потом повышается до 100% при скользющем угле падения. Следовательно, существует возможность спроектировать покрытие с высокой отражающей способностью для S-поляризованного света при остром угле падения света и ненулевой отражательной способностью для нормального угла падения света. Кроме того, существует возможность легко спроектировать покрытие для P-поляризованного света с очень низкой отражательной способностью при больших углах падения света и с высокой отражательной способностью при малых углах падения света. Эти свойства могут быть использованы для предотвращения нежелательных отражений и появлений побочных изображений (блуждающих бликов), как описывалось выше, из-за исключения отражения в одном из двух направлений. Например, при $\beta_{ref} \sim 25^\circ$ из уравнений (5) и (6) можно получить:

$$\beta_{ref} = 105^\circ; \quad \alpha_{in} = 130^\circ; \quad \alpha_{in} = 50^\circ; \quad \alpha_{sur2} = 65^\circ. \quad (7)$$

Теперь, когда отражательная поверхность имеет свойство отражать при β_{ref} и не отражать при β'_{ref} , необходимые условия могут быть получены. На фиг.3А и 3В показано желаемое отражение селективно отражающих поверхностей. Пока луч 32 (фиг.3А) с внеосевым углом $\beta_{ref} \sim 25^\circ$ частично отражается и выводится из подложки, луч 36

(фиг.3В), который падает под углом $\beta'_{ref} \sim 25^\circ$ на отражательную поверхность (что эквивалентно $\beta'_{ref} \sim 105^\circ$), проходит сквозь отражательную поверхность 34 без какого-либо значительного отражения.

На фиг.4 показаны кривые отражения дихроичного покрытия, созданного для получения описанных выше характеристик, для четырех различных углов: 20° , 25° , 30° и 75° , все для Р-поляризованного света. Пока отражение луча с большим углом незначительно в рамках спектра, лучи, имеющие углы 20° , 25° и 30° , отражаются почти с постоянной величиной в 26%, 29% и 32% соответственно в рамках того же спектра. Очевидно, отражательная способность снижается с уменьшением угла падения лучей.

На фиг.5 показаны кривые отражения такого же дихроичного покрытия как функции от угла падения лучей для Р-поляризованного света с длиной волны $\lambda=550$ нм. Очевидно, на этом графике выделяются две важных области: между 50° и 80° , где отражательная способность очень мала, и между 15° и 40° , где отражательная способность монотонно возрастает с уменьшением угла падения. Следовательно, для данного FOV, до тех пор, пока существует возможность гарантировать, что сплошной угловой спектр β'_{ref} , при очень низкой желаемой отражательной способности, будет находиться в пределах первой области, в то время как сплошной угловой спектр β_{ref} , при более высокой желаемой отражательной способности, будет находиться в пределах второй области, существует возможность гарантировать отражение только одного режима (вида) в глаз наблюдателя и обеспечить отсутствие побочного изображения.

До сих пор проводились анализы только Р-поляризованного света. Эта разработка применима к системам, использующим поляризованный источник изображения, такой как жидкокристаллический дисплей (LCD), или к системам, где выходная яркость не является определяющим фактором и S-поляризованный свет может быть отфильтрован. Однако для неполяризованных источников изображения, таких как CRT или OLED, и там, где яркость является важным фактором, S-поляризованный свет не может быть отброшен и должен быть принят в расчет при проектировании различных устройств. К счастью, несмотря на то, что это более перспективно, чем Р-поляризованный свет, существует возможность создать покрытие с подобными характеристиками для S-поляризованного света, как обсуждалось выше. Т.е. покрытие, обладающее очень низкой отражательной способностью для сплошного углового спектра β'_{ref} и выше, предопределяет отражаемость для соответствующего углового спектра β_{ref} .

На фиг.6 и 7 представлены кривые отражения подобной дихроичной поверхности, описанной выше для фиг.4 и 5, но здесь рассматривается S-поляризованный свет. Несомненно, существуют некоторые различия в характеристиках этих двух поляризаций: область больших углов, где отражательная способность очень низка, для S-поляризации более узкая; здесь гораздо труднее добиться постоянной отражательной способности для данного угла в рамках сплошной спектральной полосы пропускания для S-поляризации; и, наконец, монотонная характеристика S-поляризованного света на угловом спектре β_{ref} , когда требуется более высокая отражательная способность, противоположна тому же для Р-поляризованного света, т.е. отражательная способность для S-поляризованного света возрастает с уменьшением угла падения лучей. Очевидно, это противоречивое поведение двух поляризаций на угловом спектре β_{ref} может быть использовано при проектировании оптических систем для получения желаемого отражения всего света в соответствии со специальными требованиями конкретной системы.

Ясно, что отражательная способность первой отражательной поверхности 16 (фиг.2) должна быть настолько высокой, насколько это возможно, для передачи как можно больше света от источника изображения в подложку. Принимая во внимание то, что центральная волна источника входит в подложку нормально, т.е. $\alpha_0=180^\circ$, то угол α_{sur1} между первой отражательной поверхностью и нормалью к плоскости подложки будет равен:

$$\alpha_{sur1} = \frac{\alpha_{in} + \alpha_0}{2}; \quad \alpha_{sur} = \frac{\alpha_{in} + \alpha_0}{2}. \quad (8)$$

Решения для α_{sur1} и α'_{sur1} для приведенного выше примера будут 155° и 115°

соответственно.

На фиг.8 представлен разрез отражательной поверхности 16, которая выводит свет 38 из источника изображения (не показан) и передает его в подложку 20 при помощи полного внутреннего отражения. Как показано, проекция S_1 отражательной поверхности на поверхность подложки 40 будет:

$$S_1 = T \cdot \tan(\alpha), \quad (9)$$

где T - толщина подложки.

Решение $\alpha = \alpha'_{sur1}$ получается, когда передающая площадь поверхности подложки для приведенного выше примера более чем в 4,5 раза больше, чем та же величина для прежних решений. Подобные улучшения происходят почти во всех других системах.

Принимая во внимание то, что переданная волна освещает всю площадь отражающей поверхности, после отражения от поверхности 16 она освещает площадь $2S_1 = 2T \cdot \tan(\alpha)$ поверхности подложки. С другой стороны, проекция отражательной поверхности 22 на плоскость подложки равна $S_2 = T \cdot \tan(\alpha_{sur2})$. Для исключения или перекрытия, или разрывов между отражающими поверхностями проекция каждой поверхности отстраивается по отношению к соседним поверхностям. Отсюда количество N отражающих поверхностей 22, через которые проходит луч за один цикл (т.е. между двумя отражениями от одной и той же поверхности подложки), равно:

$$N = \frac{2S_1}{S_2} = \frac{2T \cdot \tan(\alpha_{sur1})}{T \cdot \tan(\alpha_{sur2})}. \quad (10)$$

В примере при $\alpha_{sur2} = 65^\circ$ и $\alpha_{sur1} = 115^\circ$ количество отражающих поверхностей $N=2$, т.е. каждый луч проходит через две разные поверхности во время одного цикла. Это является концептуальным изменением и значительным улучшением данной технологии по сравнению с нашими прежними вариантами, когда каждый луч проходил через шесть разных поверхностей за один цикл. Возможность уменьшения количества отражающих поверхностей при данных требованиях к FOV связано с проектированием отражательной поверхности на плоскость обзора, т.к. углы в данном варианте больше, то требуется меньшее количество отражающих поверхностей для охвата всего изображения. Уменьшение количества отражающих поверхностей позволяет упростить реализацию LOE и обеспечить значительное снижение стоимости такого прибора.

Вариант конструктивного исполнения, описанный выше (фиг.8) является примером метода введения входных волн в подложку. Входные волны могут, однако, быть введены в подложку другими оптическими средствами, включая преломляющие призмы, волокнистые оптические кабели, дифракционные решетки и другие решения.

Также в примере, иллюстрированном на фиг.2, входные волны и волны с изображением располагаются на одной стороне подложки. Также представляются возможными другие варианты, в которых входные волны и волны с изображением могут находиться на противоположных сторонах подложки. Также возможно, в конкретных разработках, направление входных волн в подложку через одну из периферийных сторон подложки.

Фиг.9А представляет собой подробный разрез ряда селективно отражающих поверхностей, которые выводят свет из подложки и передают его в глаз наблюдателя. Как видно, в каждом цикле луч проходит сквозь отражающие поверхности 42, падая под углом $\alpha'_{in} = 130^\circ$, вследствие чего угол между лучом и нормалью к отражающим поверхностям равняется $\sim 75^\circ$ и отражение от этих поверхностей пренебрежимо мало. Вдобавок, луч во время каждого цикла дважды проходит через отражающую поверхность 44 под углом $\alpha_{in} = 50^\circ$, причем угол падения луча равен 25° , и часть энергии луча выходит из подложки. Принимая то, что один ряд, состоящий из двух селективно отражающих поверхностей 22, используется для передачи света в глаз наблюдателя, максимальное

FOV будет равняться:

$$FOV_{\max} \approx \frac{2T \tan(\alpha_{\text{sur}}) - d_{\text{eye}}}{R_{\text{eye}}} \quad (11)$$

Следовательно, при одинаковых параметрах описанного выше примера минимальное значение толщины подложки для FOV=8° равно 2,8 мм: для FOV=15° и 30° минимальная толщина подложки будет равняться соответственно 3,7 мм и 5,6 мм. Существуют более благоприятные (предпочтительные) значения, чем минимальная толщина подложки современных решений, описанных выше. Вместе с тем, можно использовать более двух селективно отражающих подложек. Например, для трех селективно отражающих поверхностей 22 минимальная толщина подложки при FOV=15° и 30° примерно равна 2,4 мм и 3,9 мм соответственно. Такое увеличение количества отражающих поверхностей может привести, не считая других преимуществ, к уменьшению минимальной толщины оптического устройства.

Для устройств, где требуется относительно небольшое FOV, может быть достаточно применение одной частично отражающей поверхности. Например, для системы со следующими параметрами: $R_{\text{eye}}=25$ мм; $\alpha_{\text{sur}}=72^\circ$ и $T=5$ мм, среднее FOV=17° может быть получено даже при использовании одной отражающей поверхности 22. Часть лучей будет пересекать поверхность 22 несколько раз, перед тем как выйти из подложки в нужном направлении. Пока минимальный угол распространения света внутри подложки для достижения полных условий внутреннего отражения для материала BK7 или т.п. равен $\alpha_{\text{in}(\min)}=42^\circ$, угол направления распространения света при центральном угле FOV равен $\alpha_{\text{in}(\text{cen})}=48^\circ$. Следовательно, изображение проецируется не нормально к поверхности, а немного наклонено на внеосевой угол 12°. Все же для многих случаев это допустимо.

Как показано на фиг.9В, каждая отражающая поверхность освещена оптическими лучами различной интенсивности. В то время как правая поверхность 46 освещена лучами, отражающимися от нижней поверхности 48 подложки 20, левая поверхность 50 освещена лучами, пропущенными через частично отражающую поверхность 46 и, как следствие, имеющими более низкую интенсивность. Чтобы получать изображения с однородной яркостью, необходимо компенсировать различия интенсивностей в разных частях изображения. Действительно, поверхности с разными покрытиями имеют различные коэффициенты отражения: у поверхности 46 он ниже, чем у поверхности 50, что обеспечивает компенсирующую подачу различного освещения.

Еще одна неоднородность на конечном изображении может возникнуть в результате различной последовательности лучей, которые достигают избирательно отражающих поверхностей: одни лучи идут непосредственно от отражающей поверхности, минуя трансформации, другие же подвергаются еще нескольким отражениям. Этот эффект показан на фиг.9А. Луч пересекает первую отражающую поверхность 22 в точке 52. Угол падения луча равен 25°, его энергия частично высвобождается с поверхности. Затем луч пересекает ту же отражающую поверхность в точке 42 под углом в 75° без существенного отражения, а затем - еще раз в точке 54 с углом падения 25° и очередная порция энергии частично высвобождается с поверхности. А луч, показанный на фиг.9В, напротив, испытывает только одно отражение от той же поверхности. Мы заметили, что чаще всего отражения происходят при низких углах отражения. Поэтому метод компенсации неоднородности, возникающей вследствие многочисленных пересечений, заключается в разработке такого покрытия, коэффициент отражения которого монотонно возрастал бы с уменьшением угла падения, как показано для диапазона 10-40° на фиг.5. Полностью компенсировать такие различия при эффекте многократных пересечений представляется трудным. Однако в реальных ситуациях человеческий глаз допускает значительные изменения яркости, которые остаются им незамеченными. Рассмотрим принцип действия дисплеев-очков: в глазу концентрируется поток света, который поступает под единым углом наблюдения и фокусируется в одной точке сетчатки глаза, и так как график характеристики чувствительности глаза представляет собой логарифмическую

зависимость, то в любом случае небольшие колебания яркости дисплея не будут заметны. Следовательно, даже при среднем уровне освещенности дисплея для человеческого глаза изображение получается качественным. Необходимого уровня можно легко достичь с помощью светопроводящих оптических элементов.

Однако для дисплеев, удаленных от глаз наблюдателя, например для автомобильной системы индикации на лобовом стекле, неоднородность при многократном пересечении недопустима. Поэтому в подобных случаях для преодоления неоднородностей применяется более систематичный метод. Один из возможных методов показан на фиг.10. Тонкий прозрачный слой 55 толщиной T_{add} наносится на основание светопроводящего оптического элемента. В этом случае луч падает приблизительно под углом 25° . В соответствии с фиг.9А он пересекает первую отражающую поверхность 22 в двух точках и отражается в точке 52. Но при использовании этого способа эффект двойного отражения не возникает. Чтобы минимизировать эффект двойного отражения, нужно вычислить толщину T_{add} для всего поля обзора оптической системы. Например, для оптической системы с параметрами $FOV=24^\circ$, $\alpha_{sur}=64^\circ$, $\alpha_{in}=52^\circ$, $v=1,51$ и $T=4$ мм при нанесении добавочного слоя толщиной $T_{add}=2,1$ мм на основной слой эффект двойного прохода полностью исключается. Очевидно, что при этом общая толщина светопроводящего оптического элемента составит 6,1 мм вместо 4 мм. В системах с индикацией на лобовом стекле механизма суммарный слой покрытия получается несколько толще, а значит, обеспечивается механическая прочность, необходимая для светопроводящих оптических элементов. Таким образом, увеличение толщины прозрачного слоя не всегда является недостатком. Возможно также наращивание прозрачного слоя в верхней части светопроводящего оптического элемента или даже с обеих сторон, точная конструкция будет спроектирована в зависимости от специфических условий конкретной оптической системы. Для предложенной конфигурации значение параметра толщины T_{add} не имеет значения: по меньшей мере, несколько лучей дважды пересекают одни и те же избирательно отражающие поверхности.

Например, на фиг.10 лучи сначала падают на первую отражающую поверхность 22 под углом 25° и проходят через нее в точке 52, где теряется часть световой энергии, а затем - также один раз - под углом 75° без существенного отражения. Естественно, только первое преломление позволяет получить изображение, ведь оно формируется через светопроводящие оптические элементы.

Рассмотренные на фиг.11 различные части конечного изображения, отраженные разными областями частично отражающих поверхностей под разными углами зрения, иллюстрируют этот эффект: здесь в разрезе показана компактная система светопроводящих оптических элементов, основанная на предложенной конструкции. Здесь одиночная плоская волна 56 под специальным углом обзора 58, освещает только часть всего множества частично отражающих поверхностей 22. Таким образом, для каждой точки на частично отражающей поверхности определен номинальный угол обзора, в зависимости от величины которого выбирается коэффициент отражения. Проектирование слоев для различных таких поверхностей светопроводящих оптических элементов происходит следующим образом: для каждого луча отдельно вычерчивается график (по закону Снелла получают расчетное значение отражения), значение параметров берется от центра человеческого глаза 60 к частично отражающей поверхности. Определенное таким образом направление считается номинальным направлением падения луча, и покрытие наносится в соответствии с этим направлением. При этом учитывается также предшествующий коэффициент отражения, связанный с конкретным углом обзора. Следовательно, для каждого угла обзора среднее значение коэффициента отражения соответствующих поверхностей будет очень близким к желаемому. Кроме того, при необходимости на светопроводящий оптический элемент наносится слой толщиной T_{add} .

Светопроводящие оптические элементы с различными выборочно отражающими поверхностями обладают двумя особенностями. При использовании прозрачных систем, таких как дисплей на светопроводящих оптических элементах, закрепляющийся на голове

пилота, перед наблюдателем стоит задача не потерять из вида внешнее поле зрения, поэтому коэффициент отражения выборочно отражающих поверхностей должен быть достаточно высоким. Различие коэффициентов отражения всех поверхностей может повлечь за собой опасность возникновения неоднородностей изображения внешнего поля

зрения, наблюдаемого через оптическую систему. Эти неоднородности, к счастью, довольно малы, и в большинстве случаев ими можно пренебречь. В случаях, когда неоднородность достигает критических значений, для ее компенсации и достижения однородной яркости изображения на всем поле обзора на внешнюю поверхность наносится дополнительный слой.

Непрозрачные системы, например виртуальные дисплеи, обладают непрозрачной подложкой, прозрачность системы здесь значения не имеет. Однако в подобных случаях коэффициент отражения может быть гораздо выше, чем в ситуациях, рассмотренных выше. И здесь необходимо обеспечить поступление через первую отражающую поверхность света такой интенсивности, которая сможет обеспечить однородную яркость на всем поле зрения. Необходимо также заранее определять поляризацию света. Как было сказано выше, для покрытия избирательно отражающих поверхностей предпочтителен Р-поляризованный свет. К счастью, некоторые компактные световые источники дисплеев (т.е. нематические жидкокристаллические дисплеи) линейно поляризованы. Если источник дисплея расположен так, что входящий свет оказывается S-поляризованным по отношению к отражающим граням, либо производится смена покрытия на приемлемое для S-поляризованного света, либо в качестве альтернативы предлагается изменить поляризацию источника с помощью полуволновой пластины. Как показано на фиг.12, свет от источника дисплея 4 s-поляризован линейно. После прохождения лучей через полуволновую пластину 62 поляризация изменяется, и на отражающую поверхность 22 падает уже Р-поляризованный свет.

Продемонстрировать работу типичной прозрачной системы можно с помощью компьютерного моделирования. На компьютере проводятся подсчеты яркости дисплея и внешней среды. Система имеет следующие параметры: $T=4,3$ мм, $T_{add}=0$, $\alpha_{in}=50^\circ$, $FOV=24^\circ$, $R_{eye}=25$ мм, $v=1,51$; источник дисплея обладает S-поляризацией; у него две избирательно отражающие поверхности, номинальный коэффициент отражения 22%. На фиг.13 представлены результаты моделирования, нормализованные для требуемых номинальных значений. На обоих графиках наблюдаются небольшие флуктуации, но эти изменения несущественны для непрозрачных систем.

До сих пор мы рассматривали поле обзора дисплея только вдоль оси ξ . Необходимо рассмотреть эту зону также по ортогональной ей оси η . Дело в том, что параметры зоны обзора дисплея в направлении по оси η не зависят от размеров и количества имеющихся избирательно отражающих поверхностей, но вместе с тем, на них в достаточной степени влияет горизонтальный размер входящих вдоль оси η волн, концентрирующихся на подложке. Максимальное значение размера поля обзора вдоль оси η можно вычислить по формуле:

$$FOV_{\max} \approx \frac{D_{\eta} - d_{eye}}{R_{eye} + 1 / (v \sin \alpha_{in})} \quad (12)$$

где D_{η} - горизонтальный размер входящих вдоль оси η волн, концентрирующихся на подложке.

Таким образом, если желаемое поле обзора дисплея составляет 30° , то, используя приведенные выше параметры, получим максимально допустимый линейный размер 42 мм. Как было показано ранее, продольный размер волн, входящих вдоль оси ξ и концентрирующихся на подложке, можно определить по формуле: $S_1 = T \tan(\alpha_{in})$. При толщине подложки $T=4$ мм получаем $S_1=8,6$ мм. Таким образом, протяженность светопроводящих оптических элементов в поперечнике в пять раз превышает продольные размеры. Даже при сжатии изображения в отношении 4:3 (что применяется в стандартных видеодисплеях) и с зоной обзора 22° по оси η линейный поперечный размер составляет

около 34 мм, что в четыре раза превышает продольный размер. В этой асимметрии вся проблема - необходимо использовать коллимирующую линзу с высокой апертурой либо крупногабаритный дисплей. В любом случае при таких размерах дисплея создать компактную систему невозможно.

Альтернативный метод, позволяющий решить эту проблему, рассмотрен на фиг.14. Вместо совокупности отражающих поверхностей 22, расположенных вдоль оси ξ , отражающие поверхности 22a, 22b, 22c и 22d располагают вдоль оси η . Эти поверхности размещаются по нормали к плоскости подложки 20 вдоль биссектрисы угла, образованного осями ξ и η . Для достижения однородности выходных волн определяются коэффициенты отражения избирательно отражающих поверхностей. К примеру, коэффициенты четырех отражающих поверхностей 22a, 22b, 22c и 22d должны иметь значения 75%, 33%, 50% и 100% соответственно. Такое сочетание позволяет получить последовательность волновых фронтов с входной интенсивностью каждого из них 25%. Как правило, совокупности отражающих поверхностей такого типа легко спроектировать для S-поляризованного света. Дело в том, что одни и те же лучи света, S-поляризованного для частично отражающих поверхностей 22a-22d, на поверхности 22 падают P-поляризованными. Следовательно, если изображение подвергается воздействию S-поляризованного света вдоль вертикальной оси η , то нет необходимости использовать полуволновую пластину для изменения поляризации лучей в горизонтальной плоскости вдоль оси ξ . Предложенные варианты расположения избирательно отражающих поверхностей даны в качестве примера. Другие возможные варианты размещения этих поверхностей, позволяющие получить оптические волны больших линейных размеров по обеим осям, в соответствии с выбранной оптической системой и желаемыми параметрами, будут рассмотрены ниже.

На фиг.15 рассматривается альтернативный метод распространения пучка световых лучей вдоль оси η . В представленной конфигурации отражающие поверхности 22a, 22b и 22c имеют коэффициенты отражения 50% для S-поляризованного света, а 22d - 100%-я зеркальная поверхность. Конечно, ширина пучка, распространяющегося в вертикальном направлении, получается большей, чем в предыдущем варианте, зато в предлагаемом случае необходимо нанести только одно избирательно отражающее покрытие, да и вся конструкция в целом достаточно проста в изготовлении. В общем, для каждой оптической системы в отдельности точный способ распространения пучка света по направлению вдоль оси η выбирается в зависимости от требований конкретной системы. Поперечный размер пропущенного через коллимирующую линзу 6 света, распространяющегося вдоль оси η после отражения от поверхностей 22a-22d, определяется по формуле $S_\eta = NT \tan(\alpha_{in})$, где N - число отражающих поверхностей. Максимальный размер поля зрения вдоль оси η определяется по формуле:

$$FOV_{\max}^{\eta} = \frac{S_{\eta} - d_{eye}}{R_{eye} + l / (v \sin \alpha_{in})} = \frac{NT \tan(\alpha_{in}) - d_{eye}}{R_{eye} + l / (v \sin \alpha_{in})} \quad (13)$$

Если расположить систему 22a-22d ближе к глазу наблюдателя, расстояние l между отражающими поверхностями можно будет значительно короче, чем в предыдущих примерах. Приняв l=40 мм и определив значения следующих параметров как: T=4 мм, N=4, $\alpha_{in}=65^\circ$, $R_{eye}=25$ мм и $v=1,5$, получим результат:

$$FOV_{\max}^{\eta} = 30^\circ. \quad (14)$$

Этот последний результат значительно улучшает значения, полученные ранее. На фиг.16 показан еще один метод распространения лучей вдоль обеих осей с использованием конструкции с двойным светопроводящим оптическим элементом.

Входящая волна попадает в первый оптический элемент 20a через первую отражающую поверхность 16a, а затем распространяется вдоль оси ξ , а выходя из 20a, поступает на частично отражающие поверхности 22a. После этого волна попадает на второй оптический элемент 20b через отражающую поверхность 16b. Дальше свет распространяется вдоль оси η , а выходит через отражающую поверхность 22b. Как показано на чертеже, исходный

пучок света распространяется в направлениях обеих осей, а полное распространение определяется отношением поперечных размеров элементов 16a и 22b соответственно.

Конструкция, предложенная на фиг.16, - только пример системы с двойным оптическим элементом. Возможны и другие конфигурации с двумя и более оптическими элементами,

5 соединенными в единую сложную оптическую систему. Например, существует оптическая система с тремя различными подложками, покрытие каждой из которых предназначено для одного из трех базовых цветов. Эта система может быть использована для создания конфигурации с трехцветным дисплеем. В этом случае каждая подложка должна быть прозрачной для остальных двух цветов. Такая система может понадобиться для
10 конструкций, конечное изображение в которых формируется при сочетании световых лучей, испущенных тремя монохроматическими источниками дисплея. Существует множество других примеров, когда из нескольких подложек формируются и более сложные системы.

Дальше речь пойдет о яркости оптической системы. Эта тема очень важна для прозрачных систем, в которых уровень яркости дисплея должен быть близким к
15 естественному уровню внешней среды, чтобы обеспечить допустимый уровень контрастности и удобство наблюдения. При этом совершенно невозможно гарантировать низкий уровень привносимых потерь. Например, как описано выше для системы с четырьмя поверхностями на фиг.14, из-за распространения пучка света вдоль оси η яркость оптических волн уменьшается в 4 раза. В общем случае для N отражающих поверхностей
20 уровень яркости обратно пропорционален числу N. В дисплеях с высоким уровнем яркости этот недостаток возмещается, но данный подход всегда имеет частичное ограничение. Дело не только в том, что световые источники дисплея очень дорогие, они еще потребляют очень много энергии, а потребляемый ток очень высокий. Кроме того, у большинства дисплеев существует ограничение на максимально возможное значение
25 яркости. В качестве примера можно привести индикаторы на жидких кристаллах, одни из самых популярных на сегодняшний день среди источников для компактных дисплеев. Мощность света в них ограничивается во избежание появления нежелательных эффектов, например, таких, как преломление света, появление которого ведет к понижению разрешения и уровня контрастности дисплея. Следовательно, чтобы оптимизировать
30 использование света, поступающего от источника, нужно использовать другие методы повышения уровня яркости света.

Один из таких возможных методов повышения уровня яркости света, достигающего глаза наблюдателя от дисплея, - контролировать коэффициент отражения поверхностей 22 световодного оптического элемента в соответствии с eye-motion-box наблюдателя. Как
35 показано на фиг.11, каждая отражающая поверхность системы избирательно отражающих поверхностей 22 освещается только частью поля обзора. Следовательно, можно установить коэффициент отражения каждой поверхности для оптимизации яркости всего поля обзора. Например, коэффициент отражения правой поверхности 22a на фиг.11 специально устанавливается таким, чтобы обеспечить высокий коэффициент отражения
40 всей правой части поля обзора и самый низкий - на левой. Похожий метод установления коэффициентов используется в двумерных системах распространения. Если принять на фиг.16 ось η вертикальной, коэффициент отражения поверхностей 22a может быть установлен таким, что нижние поверхности будут иметь высший коэффициент отражения для нижней области поля обзора и самый низкий коэффициент - для верхней области, в то
45 время как верхние отражающие поверхности будут иметь высокий коэффициент отражения для верхних областей поля обзора. Следовательно, коэффициент, при котором яркость уменьшается, должен быть меньше R, где R - отношение зон впускающей 16a и выпускающей 22b лучи отражающих поверхностей.

Можно применить другой метод повышения яркости системы в целом - контролировать
50 яркость источников дисплея без изменений входящей энергии. Как было показано на фиг.11, большая часть энергии, отраженной зеркалом 16 и падающей на подложку 20, отражается непосредственно на глаз наблюдателя 60. Чтобы увеличить максимальное значение яркости, однако, желательно, чтобы большая часть света от источника дисплея

попадала на подложку.

На фиг.17 показан пример дисплея с подложкой, где в качестве источника дисплея используется жидкокристаллический индикатор. Свет, исходящий от источника 64 и выровненный коллимирующей линзой 66, освещает жидкокристаллический дисплей 68.

Оттуда изображение выравнивается и, проходя через оптические компоненты 70, поступает на подложку 20. На фиг.18 показана схема оптической коллимирующей линзы 70, а на фиг.19 - след от луча света, попадающего на подложку 20, на переднюю грань 72 линзы 70. Как правило, для большинства источников дисплеев работает принцип распространения света Ламберта. Таким образом, энергия распределяется равномерно на угловом спектре в 2π стерадиан. Однако, как показано на фиг.18 и 19, только небольшая порция света от источника дисплея достигает подложки 20. От каждого точечного источника на поверхности дисплея только небольшой пучок - $20-30^\circ$ - фактически освещают след на передней поверхности 72 и попадает на подложку 20. Следовательно, можно добиться значительного увеличения яркости, если свет от дисплея концентрируется внутри этого пучка.

Один из методов достижения такой направленности света от источника заключается в использовании специального избирательного диффузора для жидкокристаллических дисплеев. Как правило, стандартный диффузор равномерно рассеивает свет по всем направлениям. Но, кроме того, избирательный диффузор может распространять свет в таком направлении, что лучи из каждого точечного источника пучком расходятся под определенным углом. Тогда количество световой энергии, испускаемой с поверхности жидкокристаллического дисплея, не изменяется. Для пучка света шириной $20-30^\circ$ угол рассеивания лучей от каждого точечного источника уменьшается, если величина коэффициента, полученного сравнением источника Ламберта с числом π , больше 50. При этом же условии яркость света повышается. Следовательно, значительного улучшения параметра яркости системы можно достичь, не прилагая серьезных усилий для ее проектирования и изготовления, а также без больших энергетических затрат системы.

Альтернативное решение, подходящее не только для жидкокристаллических дисплеев, но и для других источников, заключается в использовании набора микролинз, выровненных по пикселям источника дисплея. Для каждого пикселя микролинзы сужают рассеянный луч, и из пикселя он выходит уже в пучке под необходимым углом. Фактически этот метод эффективен только при низком коэффициенте заполнения пикселей. В улучшенном варианте этого метода предлагается создать для массива пикселей такую функцию распределения излучения, чтобы каждый из пикселей рассеивал свет строго под определенным углом. Например, в дисплеях на базе органических светодиодов следует приложить усилия для увеличения угла рассеивания единичных светодиодов, чтобы обеспечить как можно более широкий угол обзора. Для рассматриваемого здесь устройства с дисплеем на светопроводящих оптических элементах, однако, для оптимизации яркости системы выгодно сохранять малый угол расхождения, в пределах $20-30^\circ$.

Как говорилось ранее в приложении к фиг.14 и 15, можно добиться довольно широкого поля зрения и вдоль вертикального направления оси η без значительного увеличения объема системы. Но существуют ситуации, когда такой метод не дает результатов. В первую очередь это касается систем с очень широким полем зрения и ограниченным расстоянием l между отражающими поверхностями 16 и 22. На фиг.20 представлена развернутая оптическая система со следующими параметрами: $l=70$ мм, $T=4$ мм, $\alpha_{in}=65^\circ$, $R_{eye}=24$ мм, $v=1,51$, eye-motion-box - 10 мм и желаемая величина вертикального поля обзора составляет 42 град. Если проследить путь лучей от eye-motion-box 74, выясняется, что свет проходит через проекцию EMB на оптику 22, где 76, 78 и 80 - проекции верхних, центральных и нижних углов поля обзора соответственно. Таким образом, чтобы получить поле обзора желаемых размеров, величина апертуры 82 должна составлять 65 мм. Такое большое значение этого параметра позволяет увеличить размеры поля обзора системы в целом, даже при небольшой толщине подложки. Если только апертура 84 понизится до 40 мм, поле обзора сократится до 23° , что уже

наполовину меньше необходимого значения.

На фиг.21 показано, как можно решить эту проблему. Обычная прямоугольная пластина 20 заменяется на более сложную конструкцию: по обоим краям пластины добавляются две пары параллельных отражающих поверхностей - 88a, 88b и 90a, 90b соответственно.

5 Центральная часть поля обзора проектируется, как и прежде, непосредственно через апертуру 84, лучи от нижней части отражаются поверхностями 88a и 88b, а от верхней части - отражаются от плоскостей 90a и 90b. Как правило, углы между лучами попадают внутрь подложки, а отражающие поверхности 88 и 90 достаточно велики, чтобы обеспечить полное отражение, поэтому нет необходимости наносить на них специальные отражающие
10 слои. Когда все лучи либо направляются непосредственно от входной апертуры, либо подвергается двойному отражению от пары параллельных поверхностей, первоначальное направление каждого отдельного луча, как и состояние исходного изображения, не имеет значения.

Конечно, очень важно обеспечить, чтобы каждый луч, отраженный от поверхности 88a, 15 отразился бы от поверхности 88b, прежде чем он попадет в диафрагму 84. Чтобы это утвердить, достаточно проверить два пути: боковой луч противоположной поверхности 92, попадающий на поверхность 88a в точке 94, должен попасть на поверхность 88b правее его пересечения с поверхностью 90a, дополнительно боковой луч 96, попадающий на поверхность 88a рядом с пересечением 98 с поверхностью 90b, должен проникнуть на
20 поверхности 88b до своего пересечения с диафрагмой 84. Ввиду того, что оба боковых луча отвечают условиям, важно чтобы все лучи из поля зрения, падающие на поверхность 88a, попадали также и на поверхность 88b. Настоящий пример представляет значительно суженную входную диафрагму 84:40 мм для поля зрения 42°. Естественно это применяется в случаях, когда Γ чрезвычайно большое, можно применить каскад из двух
25 или более пар отражающих поверхностей, чтобы добиться желаемого поля зрения при допустимой исходной апертуре.

Пример, представленный на фиг.21, демонстрирует простую реализацию данного метода. Использование пар параллельных лучей с целью сузить апертуру системы для
данного поля зрения или, в качестве альтернативы, расширения поля зрения для данной
30 апертуры не ограничено для применения в рамках оптики, использующей подложку, и может быть использовано в других оптических системах, не имеющих ограничений, таких как проекционные дисплеи, эпископы или перископы.

Очевидно, как уже было сказано ранее, в соответствии с фиг.21 поперечные размеры входной апертуры подложки составляют 40 мм по оси η и 8,5 мм по оси ξ . Фиг.22A и 22B
35 демонстрируют альтернативное исполнение того, что представлено на фиг.14-15. Данный подход включает в себя регулировку (настройку) между симметричной коллимирующей линзой 6 и асимметричной входной апертурой. Поперечные размеры входной апертуры принимаются как D и 4D вдоль двух осей соответственно. Линза 6 с апертурой в 2D коллимирует изображение на подложку (основу). Передняя часть коллимированного света
40 связывается на подложку при помощи зеркала 16a. Две пары параллельных отражающих поверхностей 22a, 22b и 22c, 22d расщепляют пучок света наружу и затем отражают его в первоначальном направлении. Задняя часть коллимированного света проходит сквозь основу 20, а затем отраженная призмой 99 возвращается обратно в основу. Второе
45 зеркало 16b собирает отраженный свет на основу 20. Очевидно, что поперечные размеры входной апертуры составляют D и 4D вдоль двух осей соответственно, как и требовалось.

Существуют некоторые преимущества, приближающие описанное выше к
изображенному на фиг.22. Система симметрична относительно оси η , и что более важно, не имеет потерь интенсивности света. Данный подход является лишь примером, возможны
и другие подобные способы преобразования входящего симметричного пучка в
50 ассиметричный связанный пучок. Подходящая конфигурация для растягивания изображения вдоль оси η требует тщательного анализа всех нюансов системы.

Вообще, различные типы оптических световодных элементов, рассмотренных выше, предлагают несколько важных преимуществ перед альтернативными видами компактной

оптики, предназначенной для применения в дисплейной технике, такие, например, как:

1) Источник входящего пучка может быть расположен очень близко к подложке, что в целом обеспечивает системе компактные габаритные размеры и небольшой вес, что предлагает беспримечательные конструктивные характеристики.

2) В отличие от других компакт-дисплей конфигураций настоящее изобретение предлагает гибкость расположения источника входного пучка по отношению к окуляру. Эта гибкость в сочетании с возможностью располагать источник в непосредственной близости от раздвигающейся подложки смягчает необходимость применения неосевых оптических конфигураций, традиционных для других дисплейных систем. Плюс ко всему, в связи с тем, что входная апертура светопроводного оптического элемента LOE намного меньше активной зоны выходной апертуры, числовая апертура коллимирующей линзы 6 значительно меньше, чем у общепринятых аналогов среди систем формирования сигнала (изображения). Следовательно, в обращение могут поступить значительно более удобные оптические системы, а многие трудности, связанные с применением неосевой оптики и линз с высоко разрядными апертурами, такие как поле или хроматическая аберрация, могут быть легко и эффективно преодолены.

3) Коэффициенты отражения выборочно отобранных отражающих поверхностей в данном изобретении чрезвычайно одинаковы на протяжении всего значительного спектра. Следовательно, оба моно- и полихроматический источники излучения могут быть использованы в качестве источника для дисплея. Светопроводный оптический элемент LOE имеет и незначительную зависимость от длины волны, обеспечивающую высокое качество цветных дисплеев с высокой разрешающей способностью.

4) Поскольку каждая точка входящего дисплея трансформируется в плоскую волну, которая отражается глазом наблюдателя при помощи большей части решеток отражателей, жесткие требования к расположению глаза можно значительно смягчить. Как таковой, наблюдатель может видеть все поле зрения, а область движения глаза может быть значительно больше, чем у дисплеев другой конфигурации.

5) Так как большая часть интенсивности источника излучения дисплея собирается на подложке и большая часть энергии используется повторно и на выходе собирается в глазу у наблюдателя, дисплей сравнительно высокой яркости может применяться в составе с источниками излучения, имеющими низкое энергопотребление.

Фиг.23 представляет изображение настоящего изобретения, в котором LOE 20 встроен в окуляр 100. Источник излучения 4, коллимирующая линза 6 и откидная (поворотная) линза 70 установлены на кронштейне 102 внутри рамы окуляра в непосредственной близости к краю светопроводного оптического элемента LOE 20. В том случае, если источник излучения дисплея является электронным элементом, как, например, в небольших электронно-лучевых трубках CRT, жидкокристаллических дисплеях LCD или излучающей диодной матрицей OLED, управляющая электроника 104 может быть размещена внутри задней части кронштейна 102. Источник электропитания интерфейса по данным 106 можно соединить с кронштейном 102 при помощи провода или любым другим способом соединения, включая оптическое или радиосоединения. В качестве альтернативы батарея и миниатюрная электроника, обслуживающая канал передачи данных, может быть интегрирована в раму окуляра.

Конструктивное исполнение, описанное выше, способно обслуживать как прозрачные, так и непрозрачные системы. В последнем случае непрозрачный уровень (слой) размещен напротив светопроводного оптического элемента LOE. Не является важным заслонять светопроводный оптический элемент LOE целиком, типично только активную зону, где видимый дисплей нуждается в блокировке. Как таковая конструкция может обеспечить поддержку периферийного зрения пользователя, подражая опыту компьютерных и телемониторов, в которых подобное периферийное зрение служит интересам важной познавательной функции. В качестве альтернативы перед системой могут быть установлены разнообразные фильтры, позволяющие пользователю контролировать уровень яркости, выходящей с внешней стороны дисплея. Предложенные выше фильтры

могут конструктивно быть исполнены как имеющие механическое управление, например, в виде отгибаемых или двух вращающихся поляризаторов, электронное управление или даже автоматическое управление, посредством чего коэффициент пропускания фильтра будет определяться (задаваться) яркостью внешнего фона.

5 Существует несколько определенных альтернативных вариантов применения LOE в данной конструкции. Простейшим является использование отдельного элемента для каждого глаза. Другой вариант - использование отдельного элемента и источника излучения для каждого глаза, но для одного изображения. Существует альтернатива проецировать в каждый глаз две половинки одного изображения с небольшим перекрытием
10 между ними, что сделает возможным расширить поле зрения. Существует даже возможность проецировать две различных сцены для каждого глаза с целью создать стереоскопическую картину. Подобные альтернативы делают возможным привлекательные конструкции, такие как трехмерное кино, продвинутая виртуальная реальность, тренажерные системы и многое другое.

15 Конструкция, представленная на фиг.23, демонстрирует простое воплощение настоящего изобретения. Поскольку светопроводящий оптический элемент, представляющий собой сердце системы, очень компактен и легкий, он может быть интегрирован в очень широкий ряд устройств и приспособлений. Следовательно, становится возможным создание многочисленных устройств типа козырьков, складных
20 мониторов, моноклей и многого другого. Настоящая конструкция разработана для тех случаев, когда монитор должен располагаться в непосредственной близости к глазу: устанавливаемый на голову или предназначенный для работы на голове и др. Существуют, однако, области применения, где дисплей может располагаться по-разному.

Примером подобного применения могут служить конструкции, приспособленные для
25 ношения на голове, такие как сотовые телефоны. Появление подобных конструкций ожидается в ближайшем будущем, они будут обслуживать новаторские операции, требующие высокой разрешающей способности для больших подложек, такие как видеофон, выход в Интернет, доступ к электронной почте или высококачественная передача спутниковых телепрограмм. Применение существующих технологий позволяет
30 вмонтировать миниатюрный дисплей в телефон, однако в настоящий момент подобные дисплеи в состоянии передавать или видеоинформацию бедного качества, или несколько линий Интернета, или информацию электронной почты непосредственно в глаз.

Фиг.24 демонстрирует альтернативный метод, основанный на применении настоящего изобретения, способный устранить сложившийся компромисс между малыми размерами
35 мобильных (компактных) устройств и желанием просматривать цифровое содержимое полноразмерных дисплеев путем проецирования высококачественного изображения непосредственно в глаз пользователя. Оптический модуль, включающий источник излучения дисплея 6, складная и коллимирующая оптика 70 и подложка 20 интегрированы в корпус мобильного телефона 110, где подложка замещает штатное защитное окошко
40 телефона. В частности, объем данного оборудования, включающего источник 6 и оптику 70, достаточно мал, чтобы разместиться в рамках выделенного объема внутри современных сотовых устройств. Для того чтобы увидеть полноразмерную картинку, передаваемую устройством, пользователь размещает окошко перед глазом 24, чтобы с удобством наблюдать изображение широким полем зрения, большой степенью свободы
45 глаза и комфортным рельефом глаза. Возможно также охватить все поле зрения целиком путем наклона устройства, с целью показать различные участки изображения. Кроме того, так как оптический модуль может работать с прозрачными конфигурациями, возможно двойное использование устройства; другими словами, в качестве опции существует возможность эксплуатации обычного дисплея нетронутым. Таким образом, стандартный
50 дисплей с низким разрешением может быть просмотрен даже при выключенном источнике излучения 6. Второй режим предназначен для просмотра электронной почты. Во время работы с сетью Интернет или с видеоматериалами традиционный дисплей 112 выключен, в то время как источник излучения 6 проецирует требуемое полноразмерное изображение в

глаз пользователя посредством LOE. Конструкция, показанная на фиг.24, - всего лишь пример, иллюстрирующий возможность реального создания подобных устройств. Среди других подобных устройств можно обнаружить карманные компьютеры, миниатюрные дисплеи, вмонтированные в наручные часы, карманные дисплеи, своими размерами и

5 весом напоминающие кредитную карточку, и многое другое.

Устройства, описанные выше, представляют моноокулярные оптические системы, другими словами, они проецируют изображение в один глаз. Существуют, однако, такие области применения, как, например, мониторы, на которых работают, не наклоняя голову (HUD), где желательно получать картинку в оба глаза. До недавнего времени подобные

10 системы использовались в военной и гражданской авиации. Существовали также многочисленные предложения и разработки, предлагающие установить HUD в автомобиле перед водителем, призванные облегчить дорожную навигацию или проецирование в глаза показаний тепловизора с целью облегчить навигацию в условиях недостаточной видимости. Существующие в авиации HUD системы очень дороги, стоимость отдельного агрегата

15 составляет порядка нескольких сотен тысяч долларов. Плюс ко всему, существующие системы громоздки, тяжелы и слишком неудобны для размещения в тесных условиях самолета, не говоря уже об автомобилях. HUD системы, созданные на основе LOE, потенциально обеспечивают возможность создания очень компактных, автономных HUD устройств, которые с готовностью можно установить в замкнутые пространства. Это

20 позволит также упростить конструкцию и технологию производства оптических систем, имеющих отношение к HUD, следовательно, потенциально возможно улучшить оба типа HUD систем - как для аэрокосмической, так и для автомобильной промышленности компактную, недорогую потребительскую версию.

Фиг.25 иллюстрирует способ претворения в жизнь HUD системы, основанной на

25 настоящем изобретении. Свет из источника излучения 4 коллимируется линзой 6 до бесконечности и собирается первой отражающей поверхностью 16 на подложке 20. После отражения второй отражающей антенной матрицей (не показанной на чертеже) оптические волны попадают на третьи отражающие поверхности 22, которые собирают свет в глаза наблюдателя 24. В целом система может быть очень компактной и легкой, размером с

30 большую открытку и толщиной в несколько миллиметров. Источник излучения дисплея объемом в несколько кубических сантиметров может быть размещен в одном из углов подложки, где электрический кабель сможет снабжать систему энергией и информацией. Ожидается, что установка представленной системы будет не сложнее установки обычной аудиосистемы экономкласса. Более того, ввиду отсутствия необходимости использовать

35 внешний источник излучения для дисплея, чтобы получить проекцию картинки, устраняется также важность установки компонентов в небезопасных местах.

Ввиду того, что выходной зрачок типичной HUD системы много больше аналогичного в системах, размещаемых на голове, ожидается, что трехматричная конфигурация, как описано выше, ссылаясь на фиг.14-16, потребуется для достижения желаемого поля

40 зрения. Могут существовать особые случаи включая системы с низким вертикальным полем зрения или с вертикальной диодной решеткой в качестве источника излучения или используя пары параллельных отражающих зеркал (как показано на фиг.21), где будет достаточно двухматричной конфигурации.

Конструкция, представленная на фиг.25, может найти применение в других отраслях,

45 например в HUD системах для наземного транспорта. Еще одна возможная область применения - в качестве плоской подложки обычного компьютера или телевизора. Главной уникальной особенностью подобных дисплеев является то, что картинка располагается не на панели подложки, а фокусируется в бесконечности или подобным образом на удобной дистанции. Одним из основных недостатков существующих мониторов является то, что

50 пользователь не может сфокусировать свое зрение на очень близкой дистанции от 40 до 60 см, тогда как фокусное расстояние здорового глаза - бесконечность. Многие люди страдают от головных болей после длительной работы за компьютером. У многих же остальных, работающих понемногу, развивается близорукость. Плюс ко всему, многие

люди, страдающие как от близорукости, так и от дальнозоркости, нуждаются в особых очках, чтобы работать за компьютером. Плоский дисплей, основанный на настоящем изобретении, может стать подходящим решением для людей, страдающих недугами, описанными выше, и представляет свою работу на мониторах, монтируемых к их голове.

5 Более того, данное изобретение позволит существенно уменьшить габаритные размеры дисплеев. Так как картинка, формируемая LOE, превосходит по своим размерам сам проектор, можно позволить производство крупных дисплеев в значительно меньших рамках. Это свойство также очень важно для ноутбуков и карманных компьютеров.

Одну из потенциально возможных проблем, связанных с большим дисплеем, LOE 10 относит к проблемам яркости. В идеале очень выгодно использовать миниатюрный источник излучения, но это в обязательном порядке снижает яркость дисплея, что в свою очередь значительно увеличивает зону активной иллюминации LOE по сравнению с аналогичными характеристиками самого источника. Следовательно, даже после 15 применения описанных выше мер, можно ожидать снижения яркости даже среди непрозрачных исполнений. Снижение яркости может быть компенсировано путем повышения яркости внутри источника или применения большего числа источников. Другими 20 словами, LOE может освещаться при помощи сети источников с объединенными коллимирующими линзами. Фиг.26 демонстрирует воплощение подобной схемы. Одна картинка создается при помощи четырех источников излучения 4a-4d, каждый из которых 25 коллимируется сетью линз 6a-6d с целью создать одно простое коллимированное изображение, которое позже собирается LOE 20 при помощи отражающей поверхности 16. На первый взгляд кажется, что подобное решение является очень дорогим. Существует много примеров продвинутых систем, стоимость которых повышается за счет применения 30 сложных элементов, вызванных потребностью координировать между собой источники изображения, которые в свою очередь проигрывают низкой стоимости микродисплеев как таковых и их способности понижать числовую апертуру коллимирующих линз. Также при 35 подобной компоновке отпадает нужда в поперечном расширении, вполне реально включить только одномерный расширитель изображения LOE и соответственно повысить уровень яркости. Важно отметить, что нет нужды применять только совершенно идентичные друг 40 другу дисплейные источники, что открывает возможность создания более сложной системы, в которой, по приведенной выше схеме, могут быть применены различные дисплейные источники.

Другой особенностью LOE дисплеев, основанных на настоящем изобретении, является 45 плоскость их форм, даже по сравнению с существующими плоскопанельными мониторами. Другое отличие - значительно более строго ограниченный угол видения: изображение, полученное при помощи LOE дисплея, можно рассмотреть только в пределах сильно 50 ограниченного диапазона углов, по сравнению с плоскопанельными аналогами. Подобное ограничение зоны движения головы удобно для комфортного использования рядовым пользователем, а также предоставляет дополнительные выгоды в конфиденциальности во многих ситуациях.

Более того, изображение, создаваемое при помощи LOE дисплея, находится в отстоящей плоскости, расположенной сзади подложки, но никак не на его физической поверхности. Уникальность полученного изображения сродни просмотру его сквозь окно. Подобная конфигурация чрезвычайно удобна для создания трехмерных дисплеев.

45 Продолжающееся развитие информационных технологий рождает спрос на 3D дисплеи. И на самом деле, на рынке представлен широкий ряд подобных устройств. Однако существующие системы страдают от одного недостатка: пользователь вынужден 50 применять специальные устройства, чтобы разделить информацию, поступающую для его левого или правого глаза. Подобные системы "механизированного просмотра" хорошо прижились в некоторых специальных областях применения. Но нынешняя экспансия в других областях требует появления систем "свободного видения" с повышенным комфортом для просмотра и более тесной адаптацией к системам бинокулярного видения. Современные пути решения данной проблемы страдают от многочисленных неудобств и

недостатков и отстают от широко известных 2D дисплеев в качестве изображения и удобстве пользования.

На фиг.27а и 27b показан вид прямо и вид сверху соответственно подобной компоновки, основанной на настоящем изобретении, которая может быть использована для создания 3D дисплея. Вместо одинарного дисплейного источника применена сеть 114, состоящая из n различных источников 114_1-114_n , размещенных в нижней части подложки 20, где каждый из них проецирует картинку, представляющие собой различные перспективы одной сцены. Картинка с каждого дисплейного источника собирается на подложке способом, подобным описанному выше и проиллюстрированным на фиг.26. В момент, когда пользователь рассматривает дисплей, его правый 24а и левый 24b глаза видят изображение, проецируемое источниками 114_i и 114_j соответственно. Следовательно, наблюдатель видит каждым глазом одну и ту же сцену, показываемую с различных точек. Создаваемое впечатление очень напоминает ощущение, когда вы наблюдаете реальную 3D картинку сквозь окно. Как видно из фиг.28а-28b, когда наблюдатель перемещает свой взгляд в горизонтальной плоскости, он видит изображение, создаваемое разными источниками 114_k 114_i ; получаемый эффект напоминает движение головой во время просмотра какой-либо сцены за окном. Когда же наблюдатель перемещает взгляд вертикальной плоскости, как показано на фиг.28А-28В, его глаза наблюдают точки на подложке, расположенные на уровне ниже предыдущих. Так как эти точки расположены ближе к дисплейным источникам 114, наблюдатель видит картинки, поступающие с источников 114_g-114_h , расположенных ближе к центру сети источников 114, чем предыдущие. В результате ощущения, получаемые наблюдателем, сродни тем, что возникают при просмотре сцены, расположенной ближе к окну. Другими словами, просмотр сцены через подложку представляет собой просмотр трехмерной панорамы, где нижняя ее часть находится ближе к наблюдателю.

Конструкция, рассмотренная выше и представленная на фиг.27-29, - всего лишь пример. Применяя настоящее изобретение, возможно получить и другие устройства, позволяющие воспроизводить реалистичную трехмерную картинку, с различной апертурой, большим количеством точек обзора и др.

Другим возможным применением данного изобретения может быть телесуфлер, используемый для получения проекций текста перед диктором телевидения или радио; ввиду того, что подобный телесуфлер полностью прозрачен, у аудитории создается ощущение зрительного контакта с ними, в то время как на самом деле он лишь читает возникающий перед ним текст. С применением LOE телесуфлер может быть выполнен с использованием малогабаритного источника, связан с другими оптическими приборами, сглаживая необходимость размещать крупную подложку в непосредственной близости от устройства.

Еще одним возможным применением устройства может являться подложка для личного цифрового помощника (PDA). Размеры обычных дисплеев для подобных устройств, существующие на нынешний момент, составляют порядка 10 сантиметров. Так как минимальная дистанция, с которой можно прочитать информацию с подобного дисплея, составляет порядка 40 см, а допустимое поле зрения составляет около 15° , следовательно, объем доступной посредством такого дисплея информации, особенно если текст интересный, достаточно ограничен. Значительное усовершенствование в проектируемом поле зрения может быть достигнуто с использованием схемы, показанной на фиг.24. Изображение создается в пространстве, а подложка может быть расположена намного ближе к глазам наблюдателя. Плюс ко всему, так как каждый его глаз видит разные фрагменты общего поля зрения (TFOV) с их перекрытием в центре, может быть достигнуто другое улучшение общего поля зрения. Таким образом, возможно создание дисплеев с углом обзора в 40° и более.

Во всех конструкциях, основанных на настоящем изобретении, описанных выше, изображение, возникающее при помощи электронного дисплейного источника, как, например, CRT или LCD, передавалось при помощи подложки. Однако бывают случаи,

когда изображение может являться частью реальной сцены, как, например, в случае, если требуется записать реальную сцену.

На фиг.30 представлен усилитель звездного света (SLA) 116, где требуется подобная конструкция. Изображение реальной сцены фокусируется коллиматором 118 в усилитель звездного света, где электронный сигнал, содержащий картинку, усиливается с целью создать искусственное изображение, которое при помощи окуляра 120 проецируется в глаз наблюдателя. Подобная схема достаточно популярна в военных, околвоенных и гражданских кругах. Эта широко используемая конфигурация сильно выдается вперед перед пользователем, что делает неудобным длительную работу с устройством подобной конфигурации. Устройство имеет достаточно большой вес и в дополнение к тому, что оно чисто физически мешает предметам, находящимся в непосредственной близости к пользователю, оно также вызывает значительное напряжение его головы и шеи.

Более удобная конструкция показана на фиг.31. Здесь устройство располагается не перед пользователем, но сбоку его головы, и центр тяжести усилителя выровнен вдоль главной оси головы. Компоновка устройства выполнена по обратной схеме, то есть коллиматор 118 расположен сзади, а окуляр 120 впереди. Теперь изображение внешней сцены передается в коллиматор 118 при помощи LOE 20a, где картинка из окуляра 120 передается в глаз наблюдателя при помощи второго LOE 20b. Несмотря на наличие дополнительных оптических элементов 20a и 20b, привнесенных в оригинальную схему, вес которых очень мал по сравнению с весом SLA, и в целом вся система является намного более удобной в обращении. Более того, в связи с тем, что снимаются жесткие ограничения по точности установки данных устройств, вполне возможно воплотить их в модульной форме, что позволит оператору двигать или даже перемещать их. Подобным образом SLA окуляр может быть переконфигурирован для удобства использования прикрепленного к голове LOE или для установки на стандартные подставки или для других целевых применений, где модуль LOE не задействован. Возможно также смещать LOE элементы с целью подгонки для удобства работы с устройством при помощи любого глаза.

Во всех описанных выше конструктивных исполнениях модули LOE используются для передачи световых волн с целью формирования изображений. Однако настоящее изобретение может быть применено не только с подобной целью, но также и в не визуальных областях применения, таких как системы иллюминации, где оптическое качество выходной волны не является ключевым фактором, а наоборот, ценятся интенсивность свечения и постоянная яркость. Изобретение может быть применено, например, для тыловой подсветки плоскопанельных мониторов, в основном LCD систем, где для построения картинки требуется подсвечивать плоскость светом, по возможности ярким и постоянным. Другие возможные применения изобретения включают неограниченное количество плоских и недорогих устройств для комнатной подсветки, прожекторов, подсветки дактилоскопических сканеров и устройств для считывания трехмерных голограмм-дисплеев.

Одна из областей применения, которая может быть серьезно продвинута посредством применения LOE, - это отражающие LCD. Фиг.25 демонстрирует пример дисплея, в котором дисплейным источником служит отражающий LCD. Свет, испускаемый иллюминатором 122, пропускается через поляризатор 124, коллимируясь линзой 126, отражается поляризованным расщепителем пучка (светового) 128 и освещает LCD 130. Поляризация света, отраженного от LCD, поворачивается на 90° площадкой размером в 1/4 длины волны или, в качестве альтернативы, самим материалом LCD. Теперь изображение из LCD проходит через расщепитель, чтобы быть коллимированным и отраженным на подложку 20 при помощи линзы 132. В результате подобная компоновка системы иллюминации, содержащей расщепитель, получается крупногабаритной и конечно недостаточно компактной для применения в системах, связанных с креплением их к голове. Более того, так как расщепитель 128 и коллимирующая линза 132 располагаются на более удаленном расстоянии от дисплейного источника с целью снижения искажений, рекомендуется прикладную линзу размещать как можно ближе к поверхности дисплея.

Усовершенствованная версия осветительной установки показана на фиг.25. Свет из источника 122 собирается другим LOE 134, освещающим поверхность LCD 130, частично отражающие поверхности которого чувствительны к поляризации. Очевидно, вся подобная система намного компактнее, чем та, что продемонстрирована на фиг.32, и линза 132

расположена намного ближе к поверхности LCD. Плюс ко всему, так как входная апертура LOE 134 намного меньше, чем у расщепителя 128, может быть применена коллимирующая линза 126 меньшего размера и, следовательно, с большим диафрагменным числом. Осветительное устройство, показанное на фиг.32, - всего лишь пример. Возможно создание и других устройств для освещения отражающих или передающих LCD систем или для другого в соответствии с желаемыми параметрами и другими оптическими системами.

Важной проблемой, на которую должно быть обращено внимание, является технология производства LOE, ключевым компонентом которого является сеть (решетка, матрица) из выборочно отражающих поверхностей 22. На фиг.34 представлен возможный метод получения матрицы частично отражающих поверхностей. Поверхности, состоящие из множества плоских пластинок 138, покрываются требуемым покрытием 140, после чего пластинки скрепляются таким образом, чтобы получить форму стопки 142. После чего сегмент 144 выделяется из нее путем отреза, огранки и шлифовки с целью получения требуемой матрицы отражающих поверхностей 146, которая впоследствии соединяется с другими элементами, в результате чего получается готовый продукт производства - LOE.

Из каждого сегмента 144 может быть получено более одной матрицы в том случае, если требуются иные размеры пластинок с покрытием 138 или самого LOE. Как показано на фиг.4-7, для того чтобы обеспечить правильную работу LOE, обязательное покрытие отражающих поверхностей должно соответствовать определенным угловым и спектральным требованиям. Следовательно, перед окончательной сборкой LOE очень важно тщательно контролировать процесс нанесения покрытия на пластинки. Как было пояснено выше, контролю должны подвергаться две внутренности угла - высший падающий угол (обычно между 60 и 85°), где отражательная способность низкая и угол падения мал (обычно между 15 и 40°), где отражательная способность используется для выведения части лучей из LOE. Естественно, покрытие должно быть измерено на этих двух отрезках. Основной проблемой процедуры проверки является то, что очень трудно производить измерения на проверочном оборудовании при очень высоких углах падения света, обычно более 60° для покрытий, расположенных, как в нашем случае, между двух прозрачных пластин.

На фиг.35 представлен метод для измерения отражательной способности поверхностей с покрытием 150 при очень больших углах падения. Первоначально две призмы 152 с углом α прикреплены к пластине. Приходящий луч 154 падает на пластинку под углом α . Часть луча 156 продолжает двигаться в начальном направлении, и его яркость (интенсивность) T_α может быть измерена. Следовательно, принимая в расчет отражение по Френелю от внешней поверхности, отражательная способность исследуемого покрытия при угле α может быть вычислена как $R_\alpha = 1 - T_\alpha$. Кроме того, вторая часть луча отражается от поверхности с покрытием, отражаясь снова с помощью полного внутреннего отражения от внешней поверхности нижней призмы, падая на поверхность с покрытием под углом 3α , снова отражаясь от внешней поверхности верхней призмы, а потом, отражаясь от поверхности с покрытием под углом α , выходит из призмы. И здесь яркость (интенсивность) выходящего луча 158 может быть измерена. Принимая в расчет отражение по Френелю, яркость (интенсивность) выходного луча равна $(R_\alpha)^2 \cdot T_{3\alpha}$. Следовательно, зная отражательную способность R_α из предыдущего примера, отражательная способность при угле 3α может быть вычислена соответствующим образом. Существует испытательное оборудование (фиг.36), где выходящий луч должен располагаться на той же оси, что и входящий луч. Остаток первоначального луча 154 можно блокировать, используя соответствующую ширму или блокирующий лист (слой) 162.

Очевидно, каждая пара призм может измерять отражательную способность на двух

углах - α и 3α . Например, если головной угол равен 25° , то отражение на 25° и 75° может быть измерено одновременно. Следовательно, малое количество пар призм (2 или 3) обычно требуется для корректных измерений пластин с покрытием. Естественно, схема, представленная здесь, может быть использована для измерения отражательной способности на этих двух углах при различных длинах волн для двух поляризаций, если это необходимо.

Для специалистов будет очевидно, что это изобретение не ограничивается теми вариантами, которые были упомянуты выше, и что настоящее изобретение может быть применено для создания других подобных конструкций и систем. Варианты конструктивного исполнения, представленные на настоящий момент, рассматриваются здесь во всех деталях, как показано на чертежах и без ограничений, объем изобретения представлен прилагающимися патентными формулами, и все изменения, которые могут произойти относительно этих патентных формул, должны быть учтены.

Формула изобретения

1. Светопроводящий оптический элемент, который включает в себя, по крайней мере, одно светоподающее основание, которое снабжено, по крайней мере, двумя поверхностями, расположенными параллельно друг другу;

оптические средства, которые используются для ввода в основание лучей света при помощи полного внутреннего отражения таким образом, чтобы свет попадал на одну из указанных выше поверхностей;

набор одной или более частично отражающих поверхностей, расположенных внутри основания, поверхности которых не параллельны вышеупомянутым поверхностям основания,

при этом частично отражающие поверхности являются плоскими селективно отражающими под углом поверхностями, которые часть лучей пересекают несколько раз, перед тем как выйти из основания в нужном направлении.

2. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором свет как минимум дважды пересекает указанную частично отражающую поверхность под двумя разными углами падения.

3. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанная частично отражающая поверхность имеет малую отражающую способность для одной части углового спектра и большую отражающую способность для второй части углового спектра.

4. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанная частично отражающая поверхность имеет низкую отражающую способность для больших углов падения и большую отражающую способность для малых углов падения света.

5. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанная частично отражающая поверхность имеет малую отражающую способность для одних углов падения света и значительно большую отражающую способность для вторых углов падения света.

6. Светопроводящий оптический элемент по п.5, в котором первый угол падения, имеющий малую отражающую способность, больше, чем второй указанный угол.

7. Светопроводящий оптический элемент по п.1, который имеет набор двух или более частично отражающих поверхностей, причем указанные частично отражающие поверхности параллельны друг другу.

8. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором как минимум одна частично отражающая поверхность выводит свет из светоподающего основания.

9. Светопроводящий оптический элемент по п.8, в котором входящие и выходящие световые волны расположены на одной стороне светоподающего основания.

10. Светопроводящий оптический элемент по п.8, в котором входящие световые волны находятся на одной стороне светоподающего основания, а выходящие световые волны - на другой стороне светоподающего основания.

11. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором отражающая способность каждой частично отражающих поверхностей различна по отражающим поверхностям.

12. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором набор содержит более одной частично отражающей поверхности, и расстояние между указанными частично отражающими поверхностями создает поле зрения с заранее рассчитанным профилем яркости.

5 13. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанная частично отражающая поверхность имеет покрытие для Р-поляризованного света.

14. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанная частично отражающая поверхность имеет покрытие для S-поляризованного света.

10 15. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанная частично отражающая поверхность имеет покрытие для неполяризованного света.

16. Светопроводящий оптический элемент по п.1, который дополнительно содержит второй набор частично отражающих поверхностей, при этом частично отражающие поверхности параллельны друг другу.

15 17. Светопроводящий оптический элемент по п.16, в котором отражающая способность указанного второго набора частично отражающих поверхностей создает поле зрения с заранее рассчитанным профилем яркости.

18. Светопроводящий оптический элемент по п.1, который содержит как минимум два светоподающих основания.

20 19. Светопроводящий оптический элемент по п.18, в котором расположение и ориентация как минимум двух оснований создает заранее рассчитанную входную апертуру.

20. Светопроводящий оптический элемент по п.18, в котором отражательная способность частично отражающих поверхностей, расположенных как минимум в двух указанных светоподающих основаниях, создают поле зрения с заранее рассчитанным профилем яркости.

25 21. Светопроводящий оптический элемент по п.1, который дополнительно содержит как минимум одну пару отражающих поверхностей, закрепленных на светоподающем основании и параллельных друг другу.

22. Светопроводящий оптический элемент по п.21, в котором как минимум одна пара частично отражающих поверхностей указанного набора изменяет направление распространения введенного с помощью полного отражения света и затем отражает его обратно в первоначальном направлении.

23. Светопроводящий оптический элемент по п.21, в котором ориентация, по крайней мере, одной пары отражающих поверхностей создает заранее рассчитанное зрительное поле для заданной входной апертуры.

35 24. Светопроводящий оптический элемент по п.1, который дополнительно включает в себя как минимум один световой источник изображения.

25. Светопроводящий оптический элемент по п.24, который включает в себя множество световых источников изображения.

40 26. Светопроводящий оптический элемент по п.25, в котором изображения указанных световых источников отличаются друг от друга.

27. Светопроводящий оптический элемент по п.24, в котором указанный источник является дисплеем.

28. Светопроводящий оптический элемент по п.27, в котором указанный источник является дисплеем на жидких кристаллах (LCD).

45 29. Светопроводящий оптический элемент по п.28, который содержит диффузор для жидкокристаллического дисплея.

30. Светопроводящий оптический элемент по п.29, в котором указанный диффузор является угловым селективным диффузором.

50 31. Светопроводящий оптический элемент по п.27, в котором указанный источник является OLED дисплеем.

32. Светопроводящий оптический элемент по п.27, который дополнительно содержит набор микролинз, выровненных по пикселям дисплея.

33. Светопроводящий оптический элемент по п.32, в котором длина фокуса микролинз

рассчитана таким образом, чтобы создавать заранее рассчитанный профиль яркости.

34. Светопроводящий оптический элемент по п.27, который дополнительно содержит фильтры, позволяющие пользователю контролировать уровень яркости, выходящей с внешней стороны дисплея.

5 35. Светопроводящий оптический элемент по п.34, который дополнительно содержит автоматическое управление, посредством чего коэффициент пропускания фильтра определяется яркостью внешнего фона.

36. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанное световое основание выполнено частично прозрачным.

10 37. Светопроводящий оптический элемент по п.1, который дополнительно содержит непрозрачную поверхность, расположенную на или в светоподающем основании так, что препятствует доступу света от внешнего источника, пересекающего указанное светоподающее основание.

15 38. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором как минимум одна указанная частично отражающая поверхность отражает свет в определенном направлении для достижения им глаза наблюдателя.

39. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором как минимум одна указанная частично отражающая поверхность отражает свет в определенном направлении для достижения им обоих глаз наблюдателя.

20 40. Светопроводящий оптический элемент по п.1, где указанное устройство устанавливается в оправе очков.

41. Светопроводящий оптический элемент по п.1, где указанное устройство устанавливается на мобильном устройстве связи.

25 42. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором как минимум одна указанная частично отражающая поверхность отражает свет в определенном направлении для освещения объекта.

43. Светопроводящий оптический элемент по п.42, в котором указанный объект является жидкокристаллическим дисплеем.

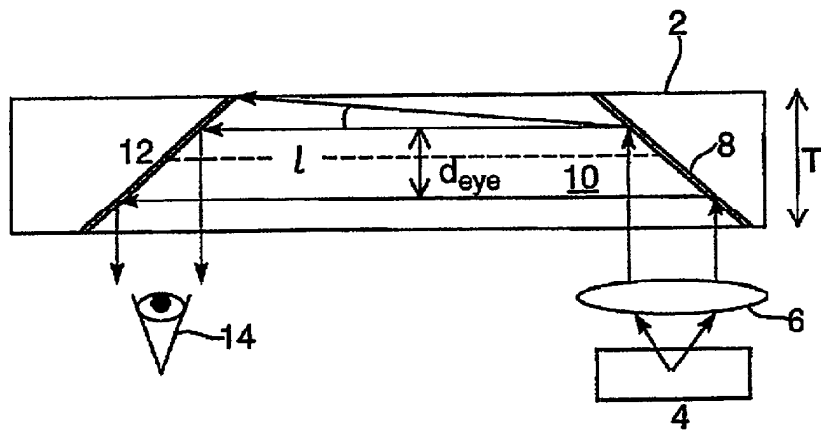
30 44. Светопроводящий оптический элемент по п.1, в котором указанный элемент собирает свет из внешней среды в указанное светоподающее основание.

35

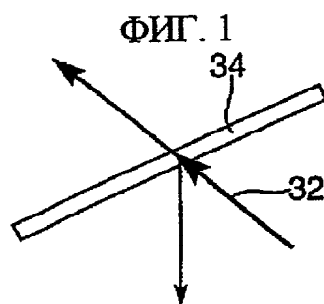
40

45

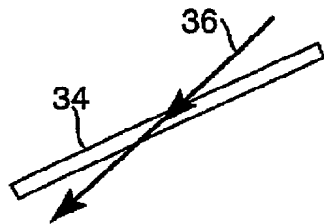
50



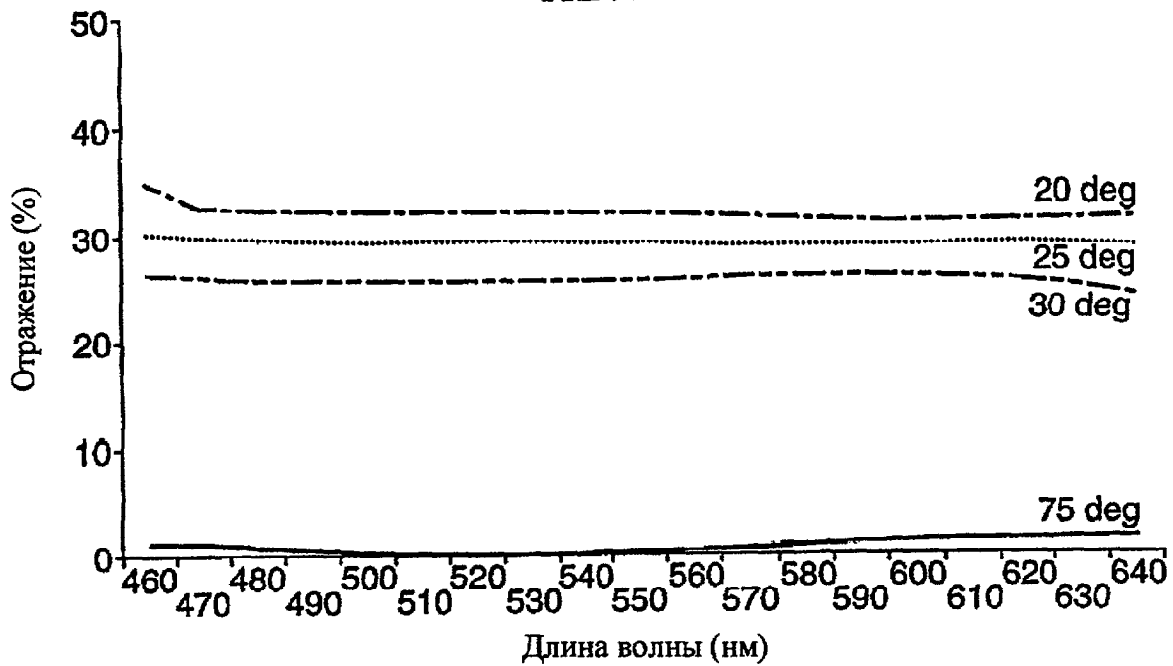
Предшествующий уровень
техники



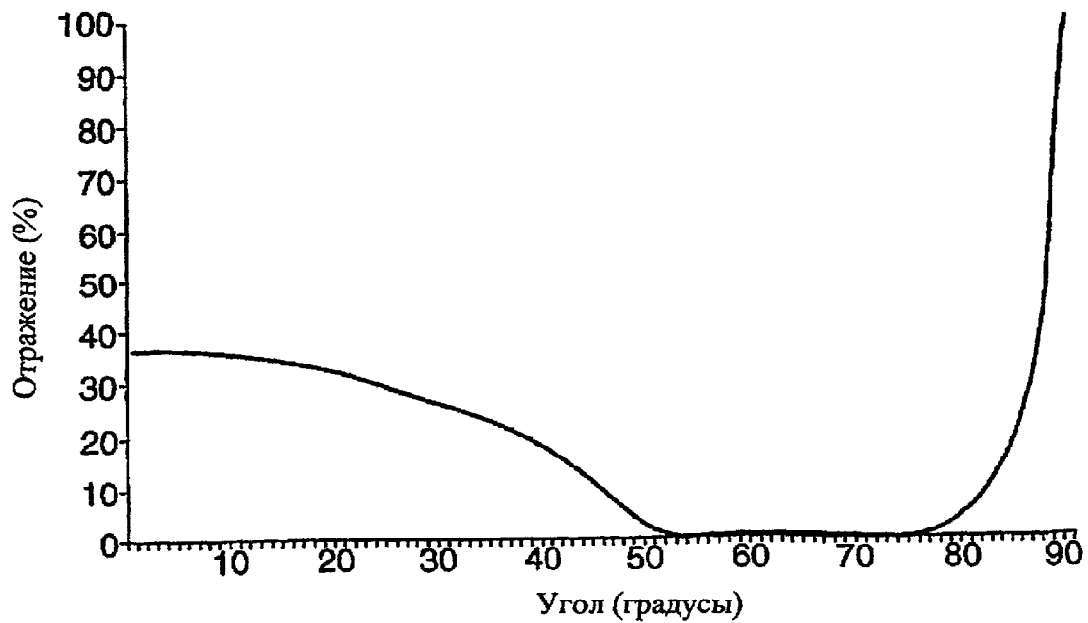
ФИГ. 3А



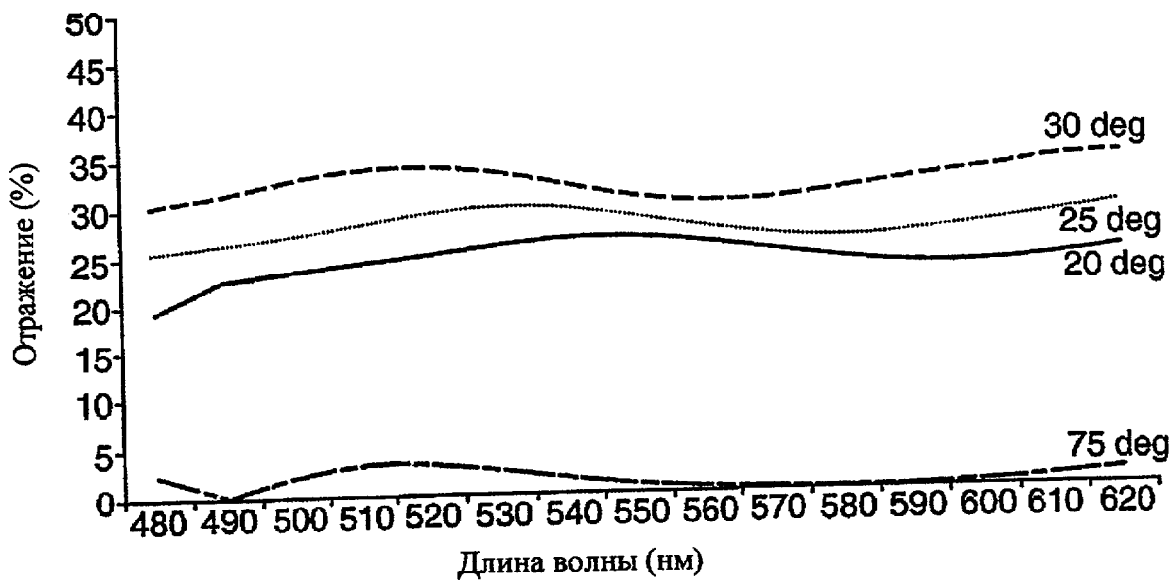
ФИГ. 3В



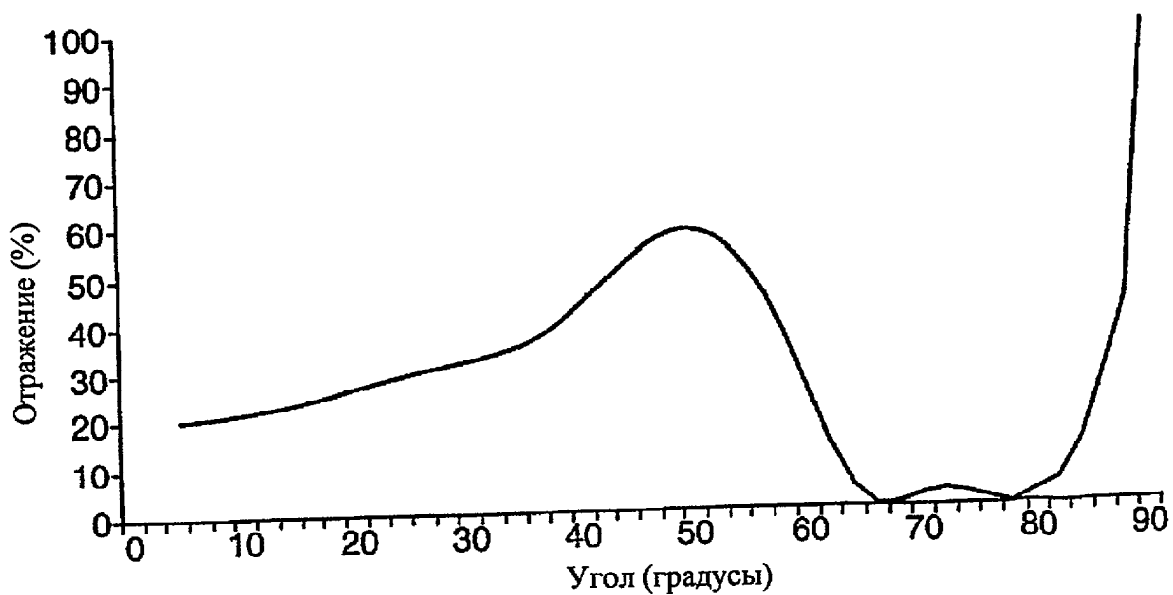
ФИГ. 4



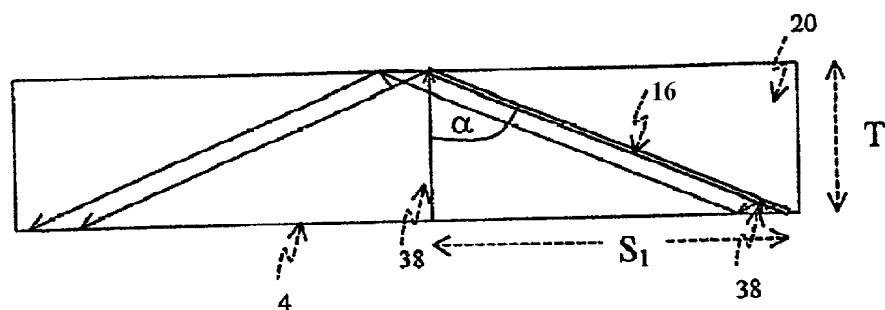
ФИГ. 5



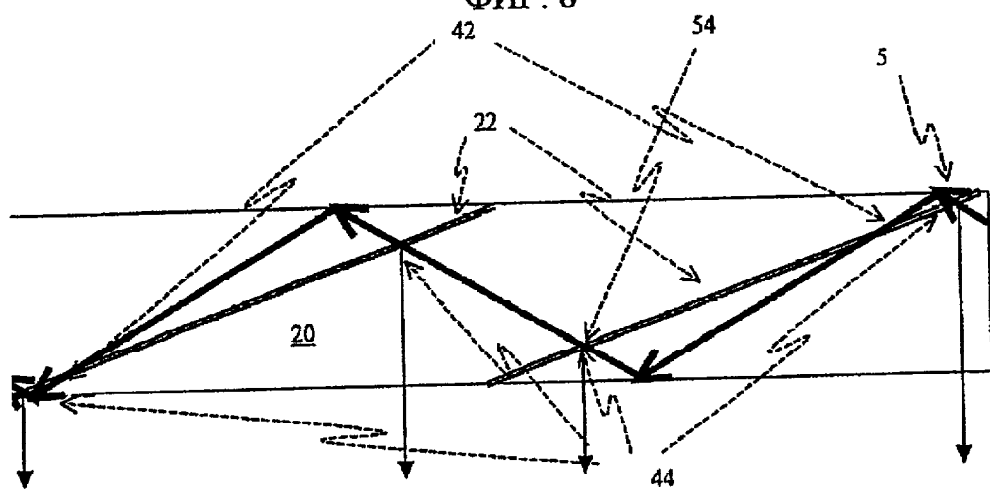
ФИГ. 6



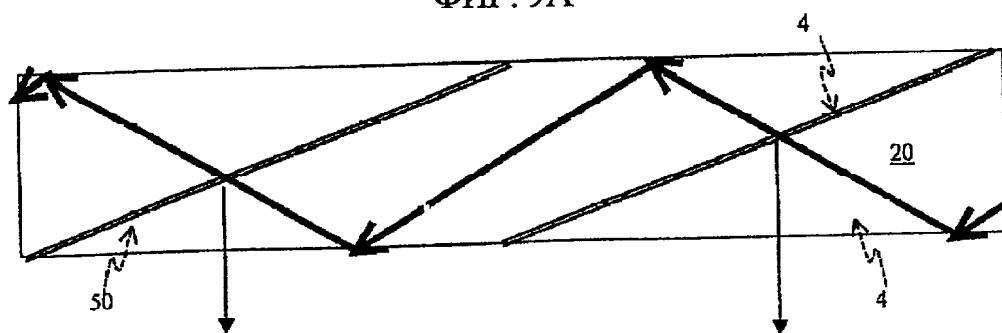
ФИГ. 7



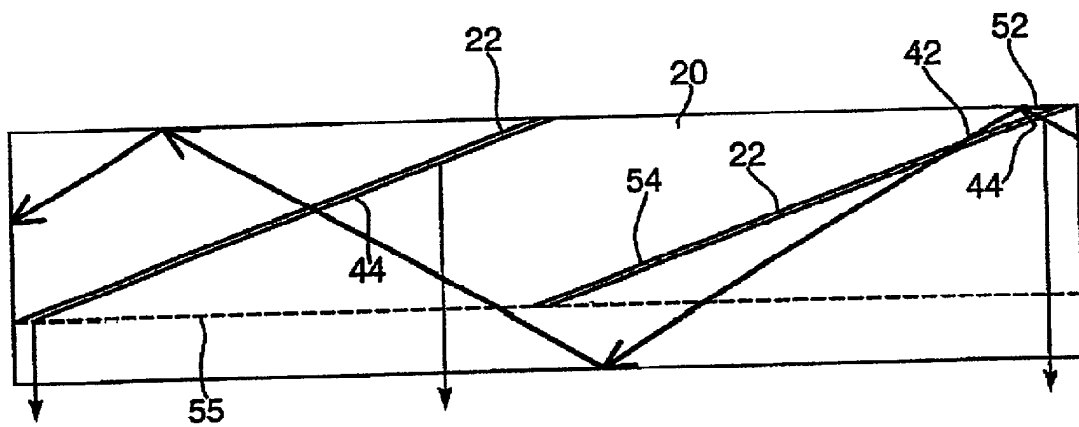
ФИГ. 8



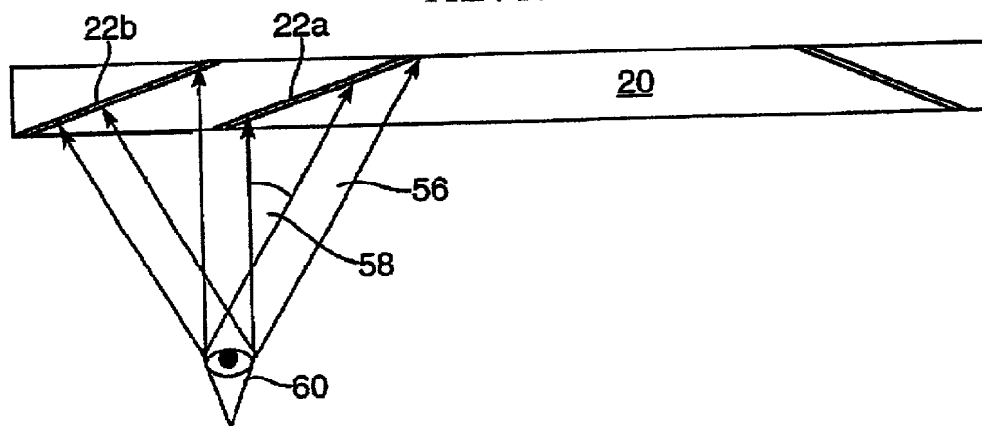
ФИГ. 9А



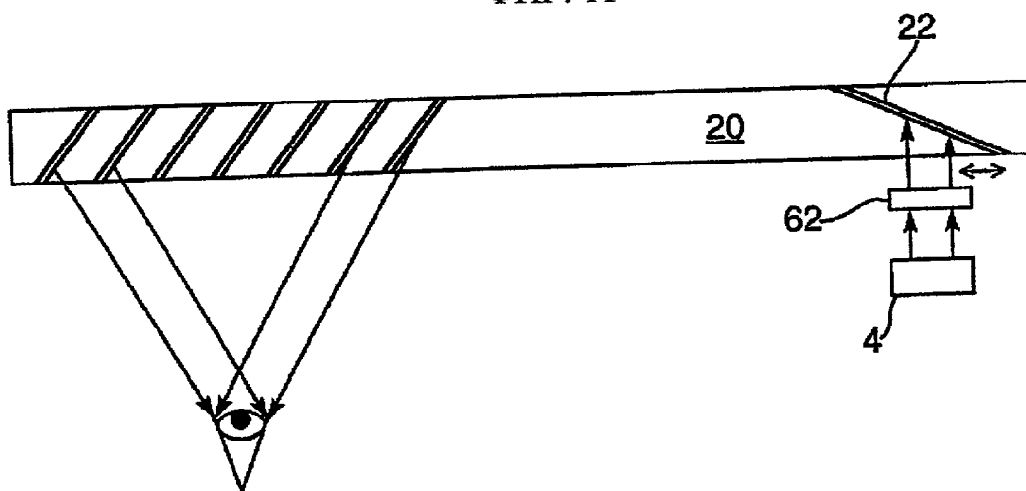
ФИГ. 9В



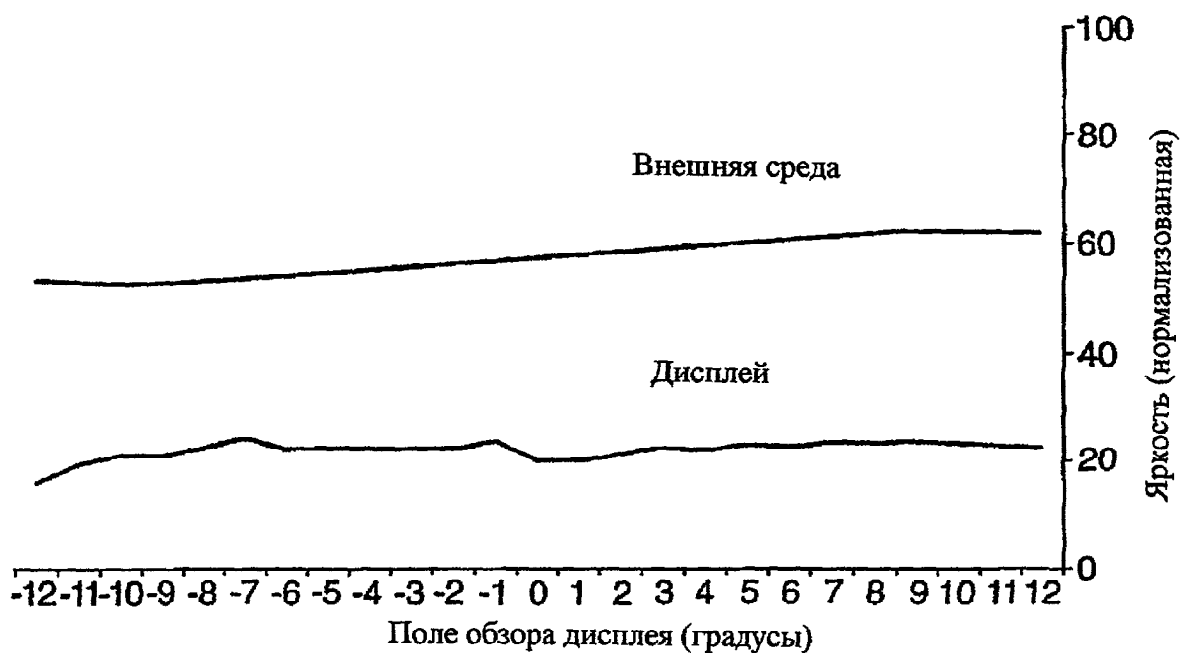
ФИГ. 10



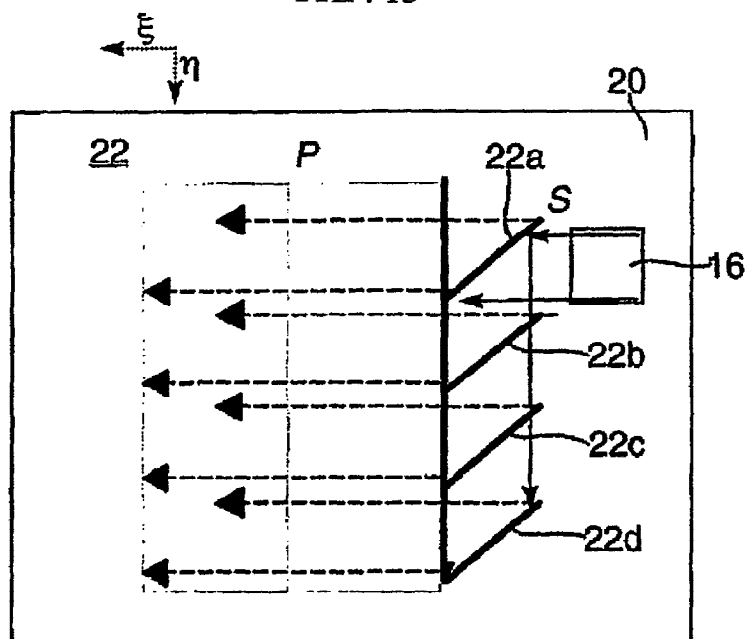
ФИГ. 11



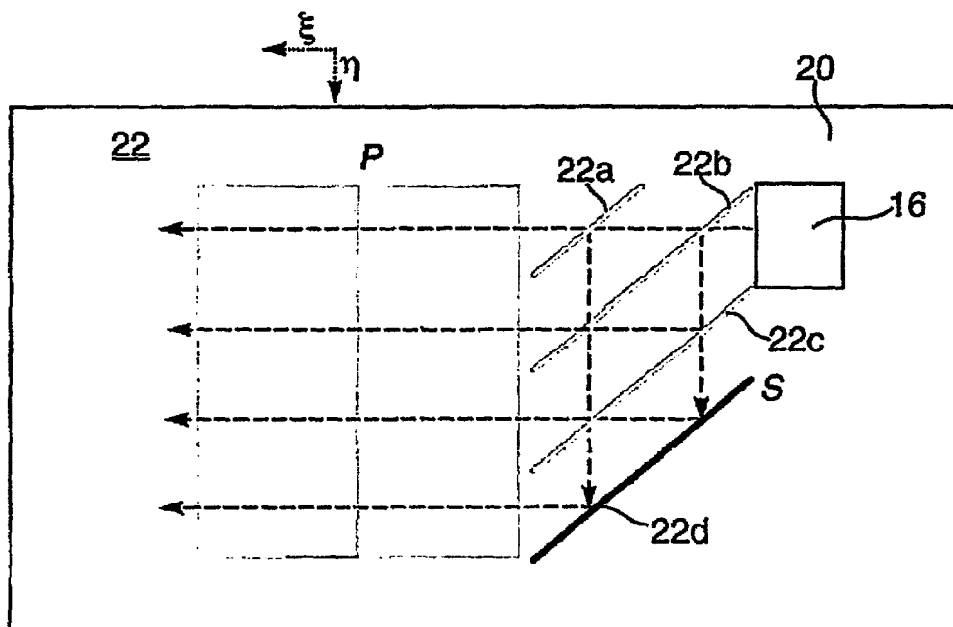
ФИГ. 12



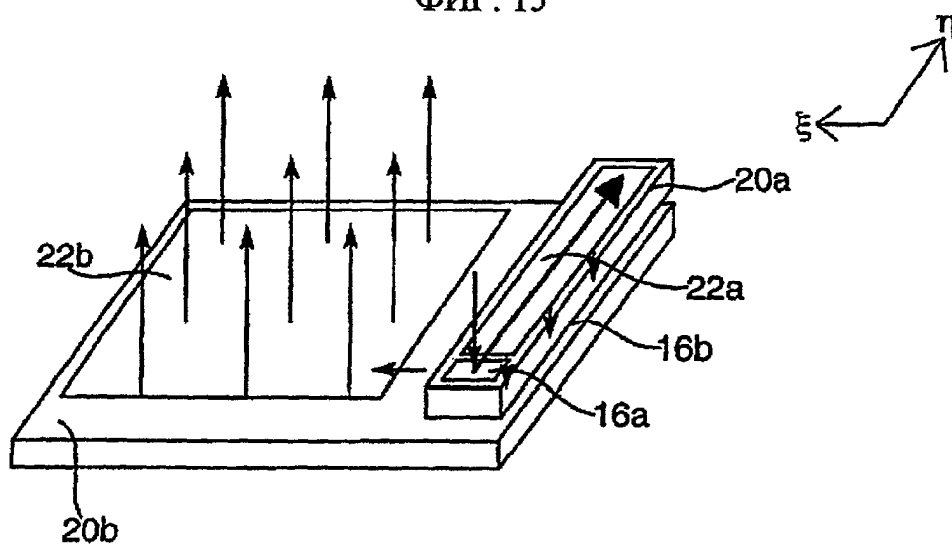
ФИГ. 13



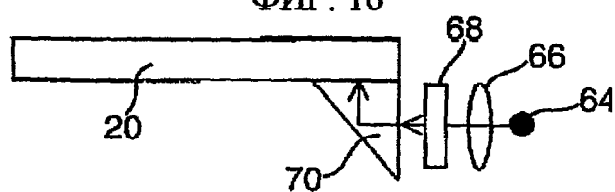
ФИГ. 14



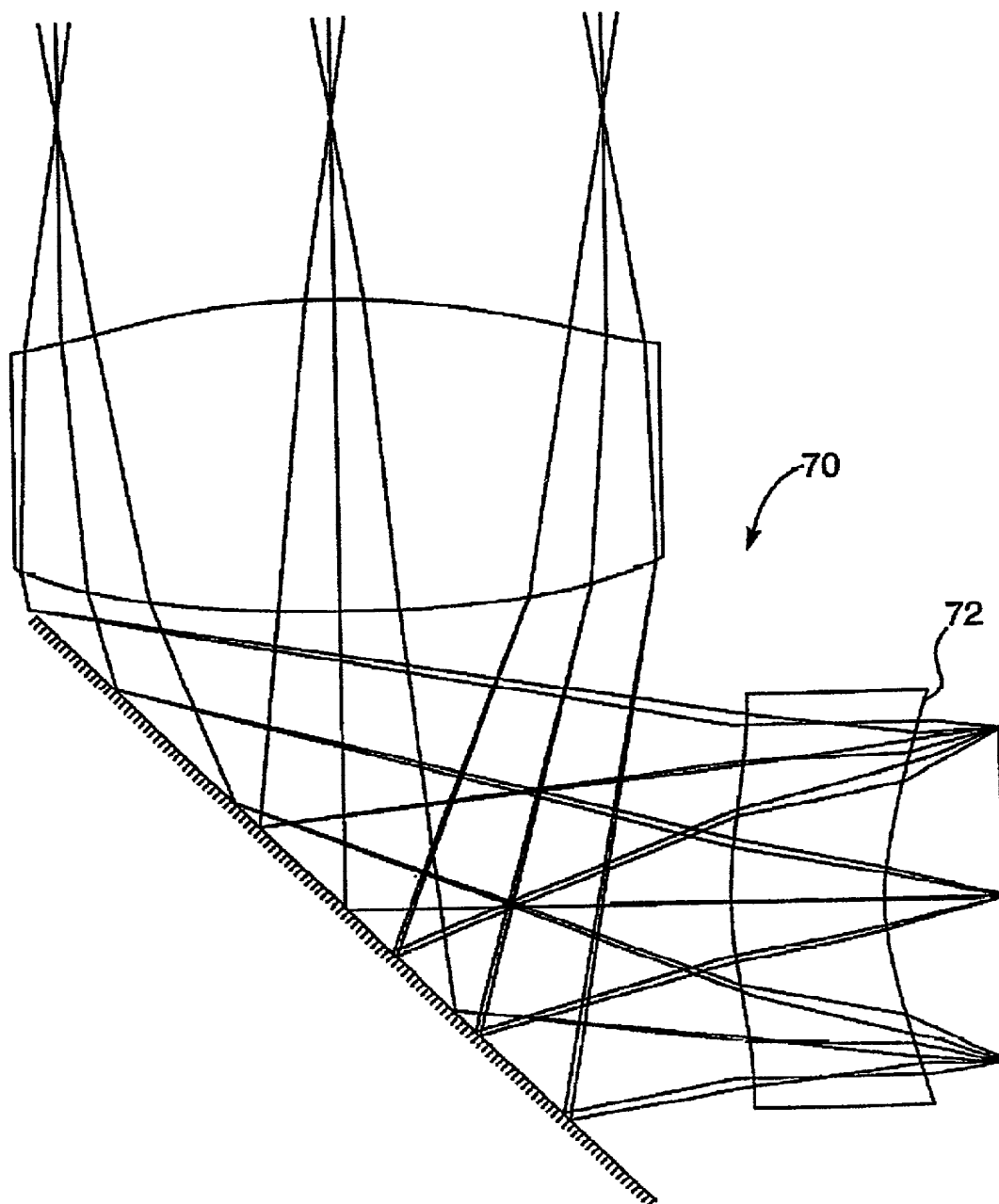
ФИГ. 15



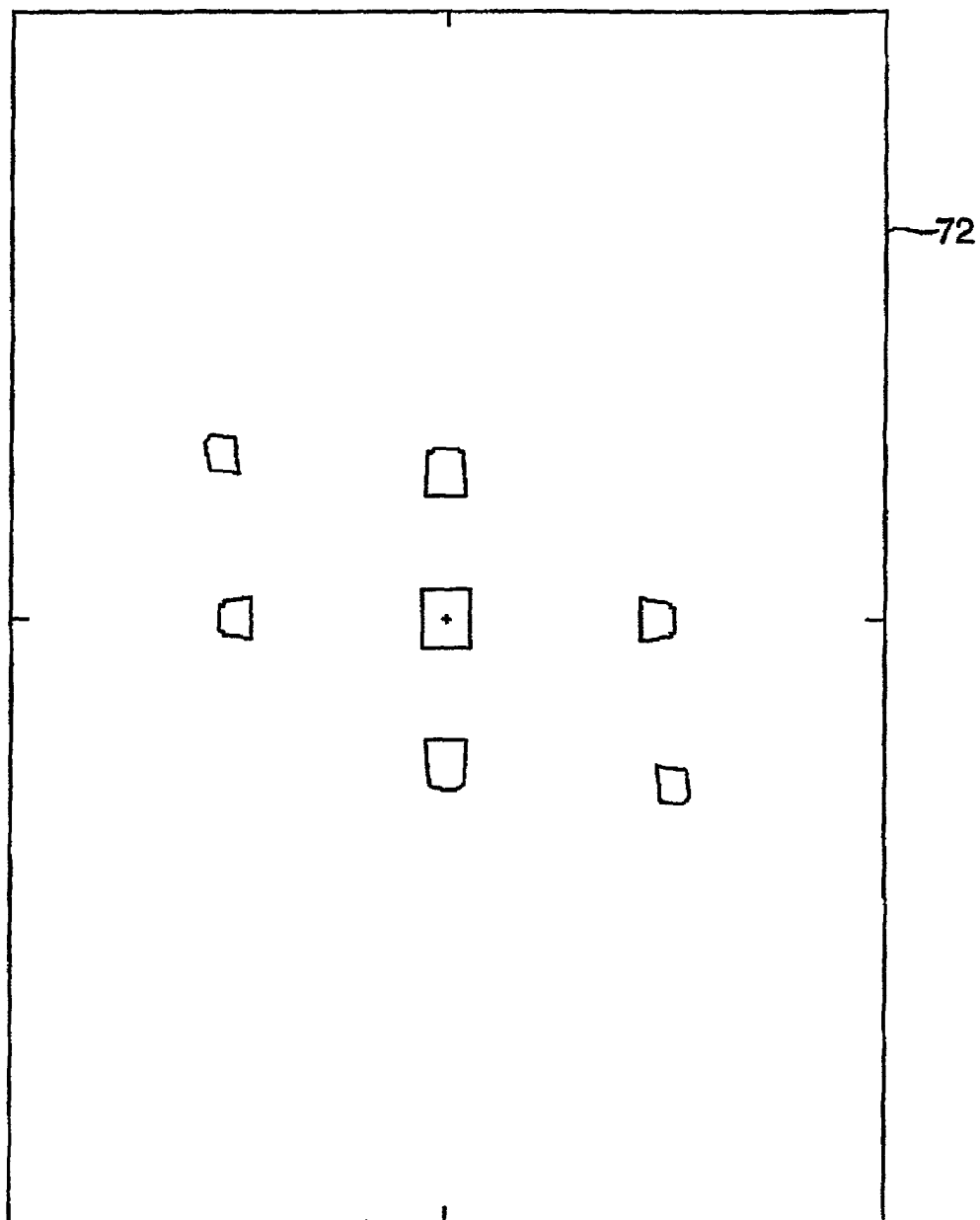
ФИГ. 16



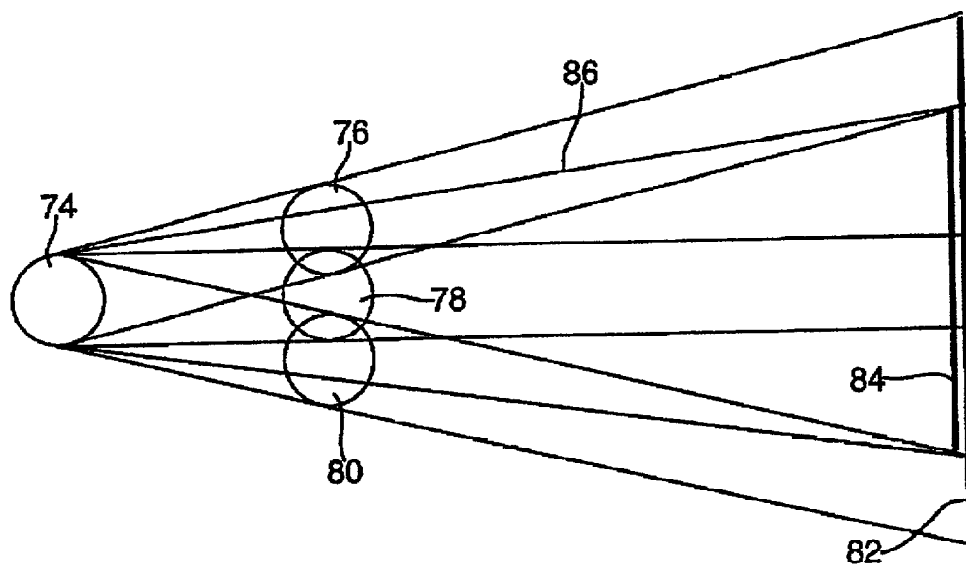
ФИГ. 17



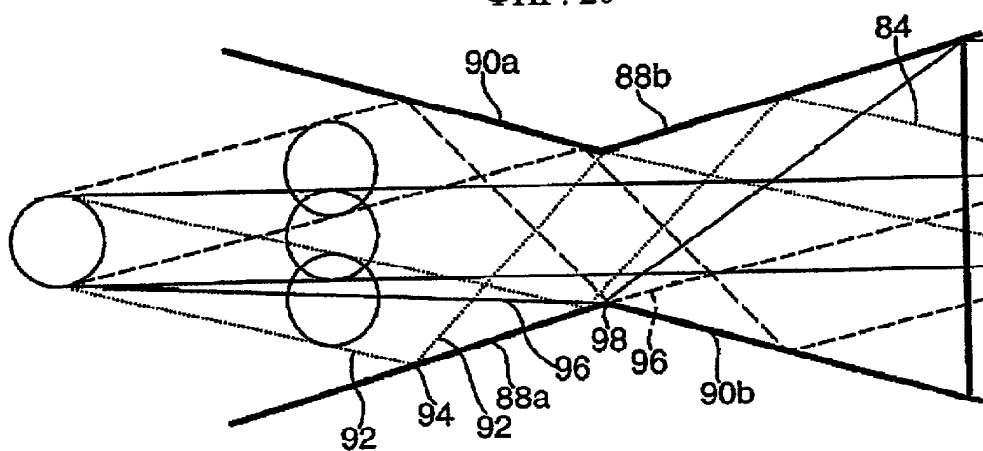
ФИГ. 18



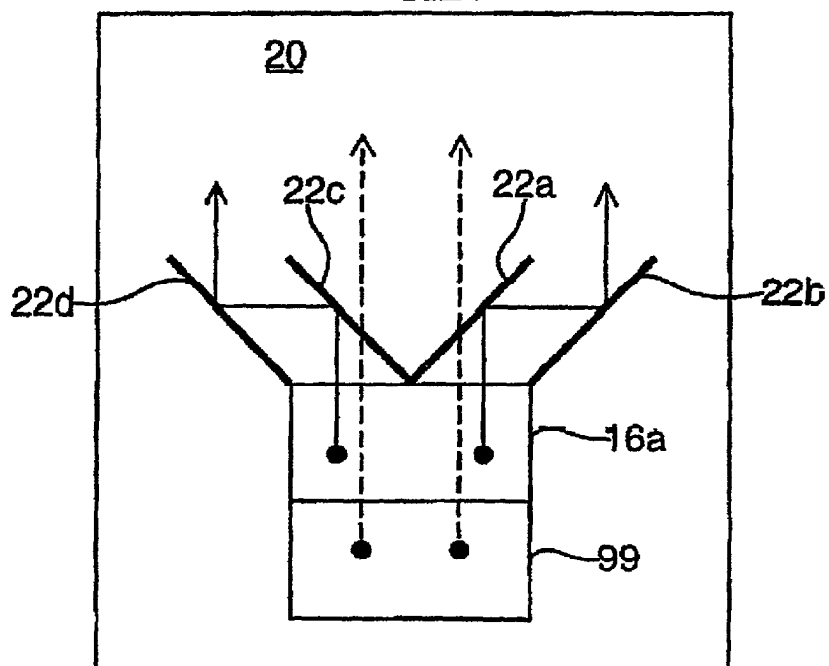
ФИГ. 19



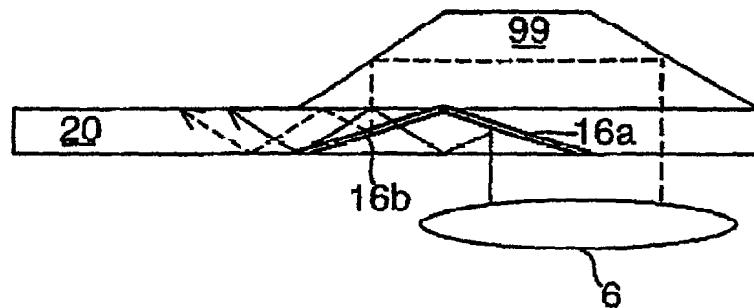
ФИГ. 20



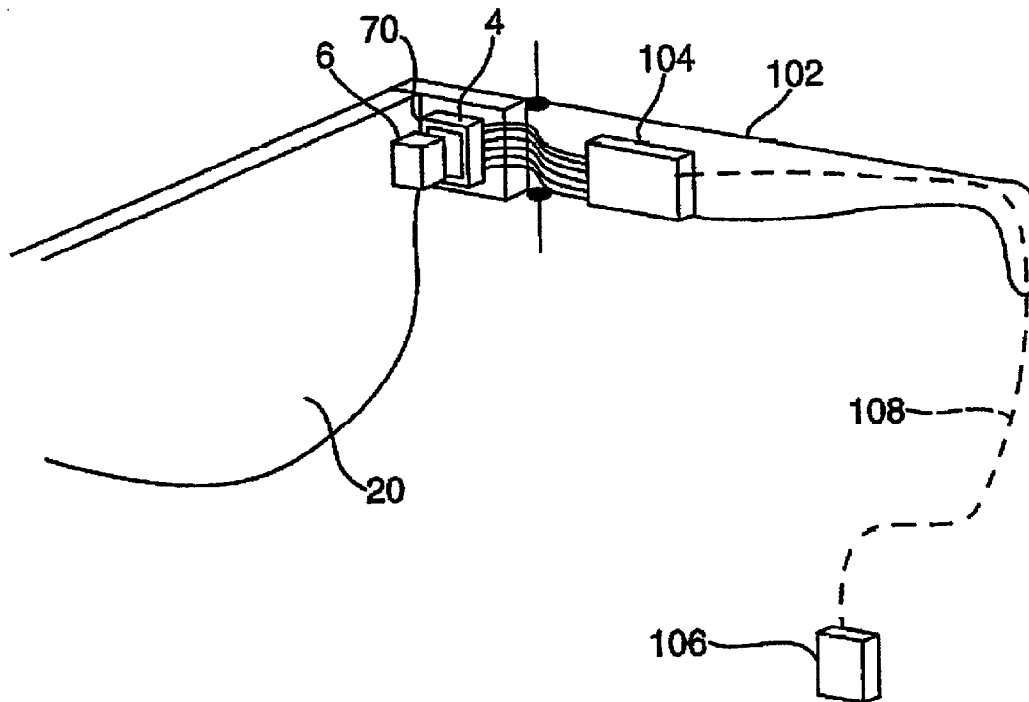
ФИГ. 21



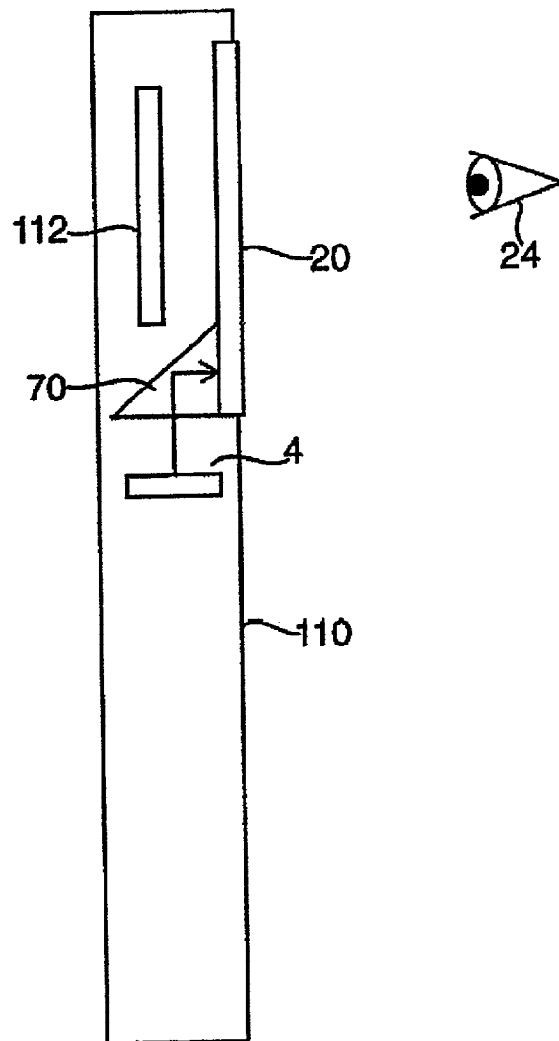
ФИГ. 22А



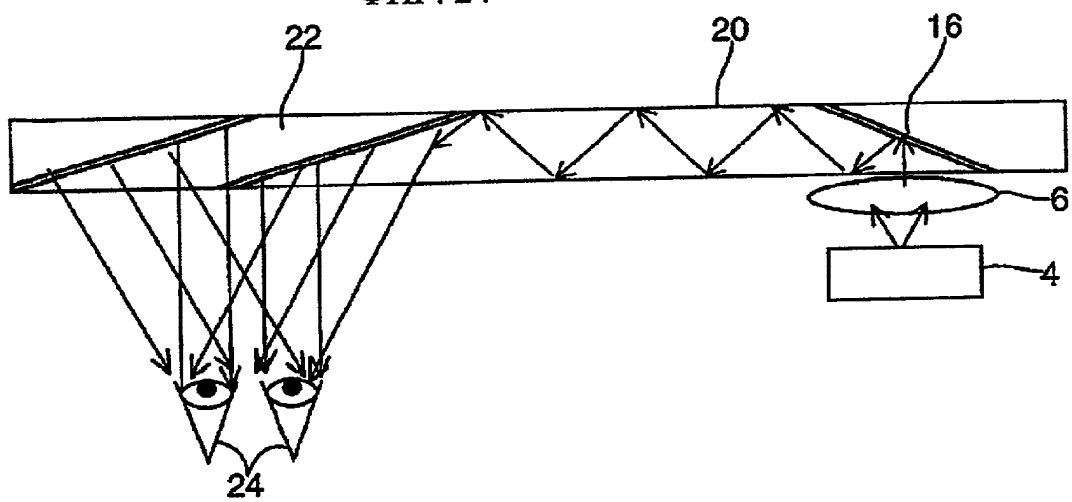
ФИГ. 22В



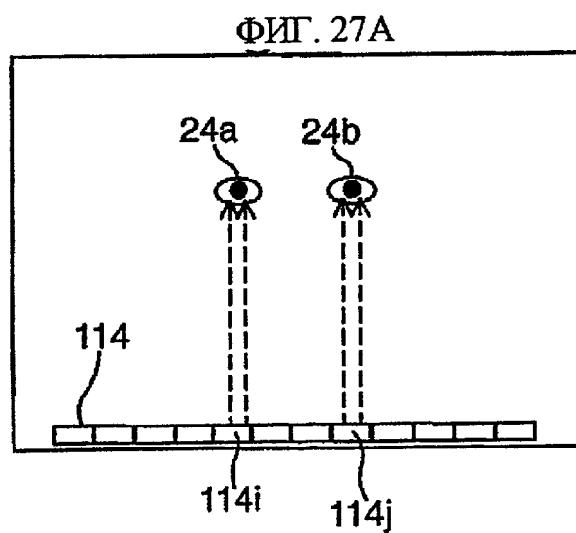
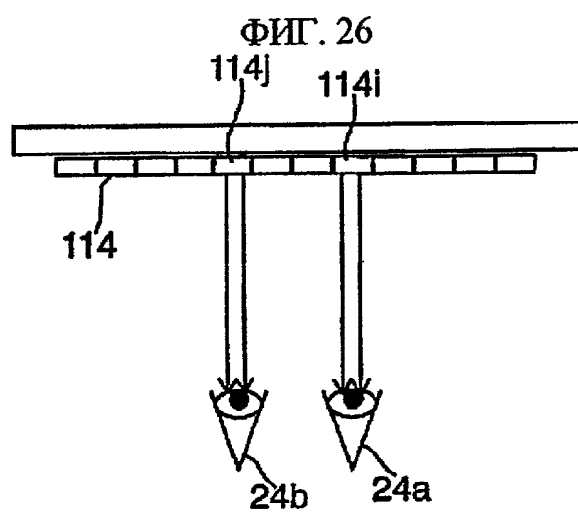
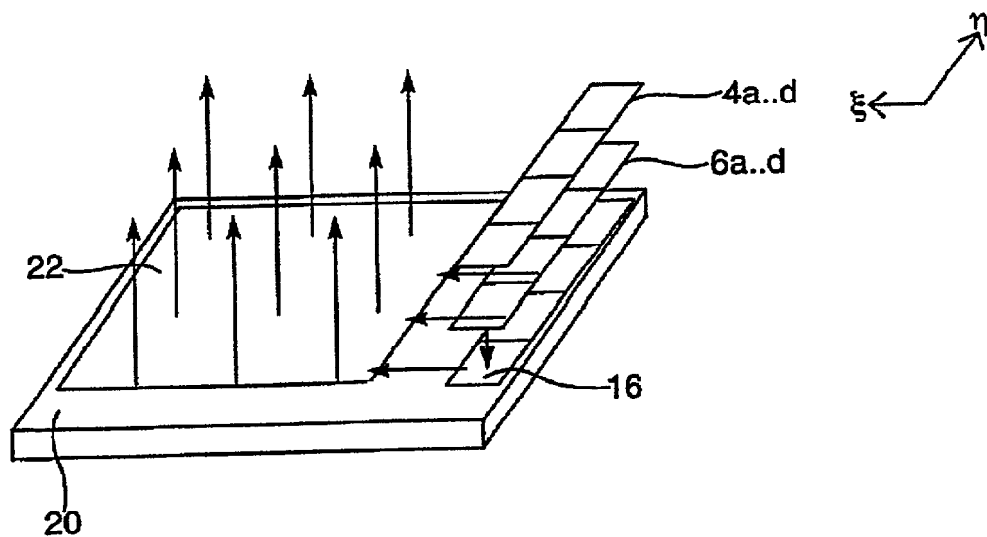
ФИГ. 23



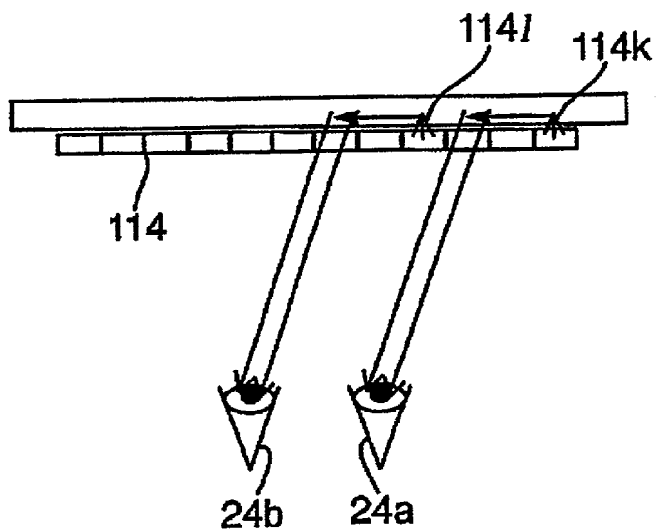
ФИГ. 24



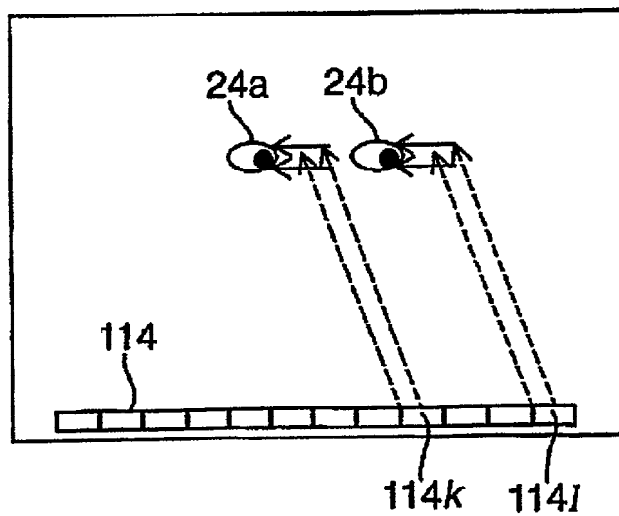
ФИГ. 25



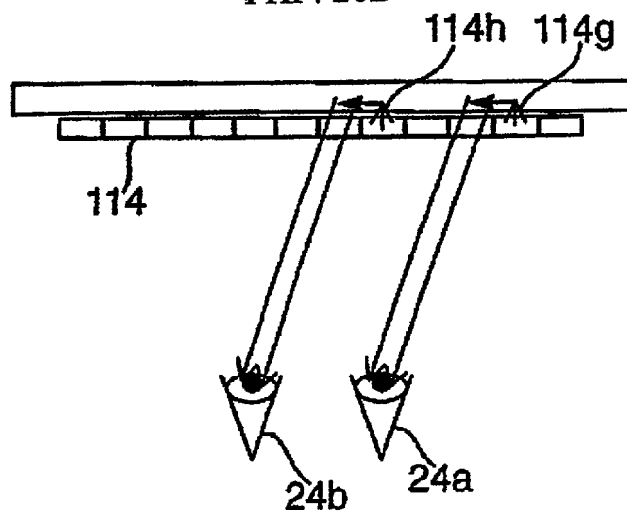
ФИГ. 27В



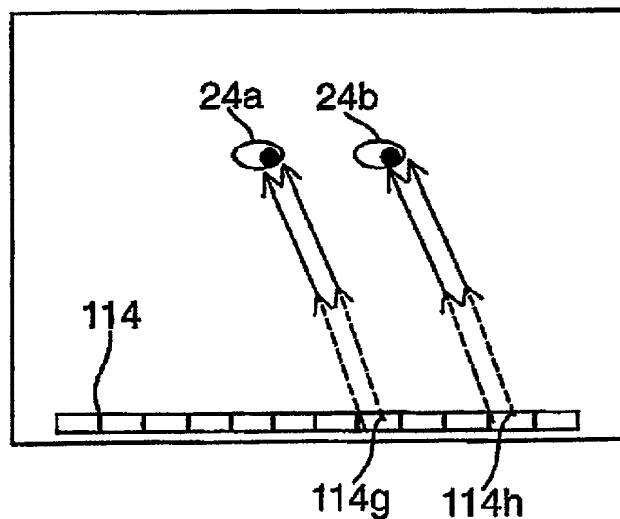
ФИГ. 28А



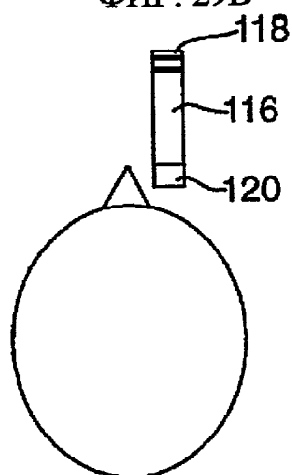
ФИГ. 28В



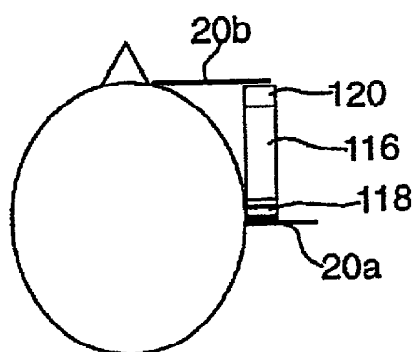
ФИГ. 29А



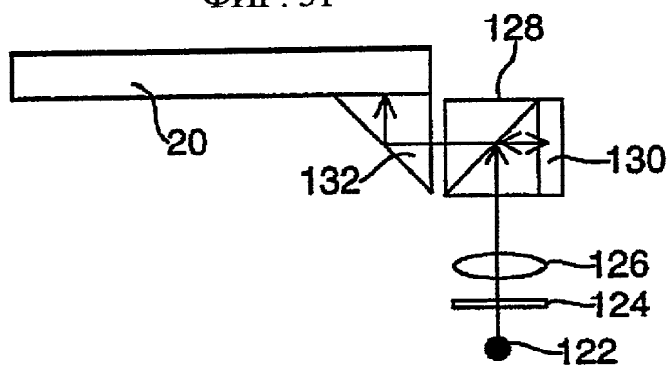
ФИГ. 29В



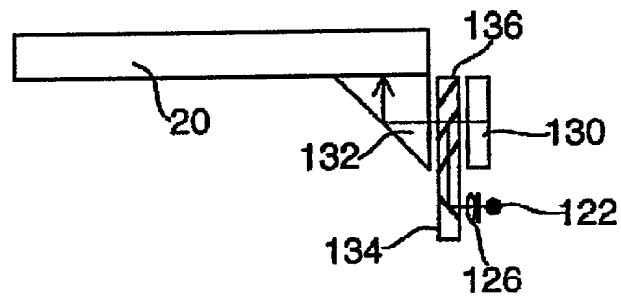
ФИГ. 30



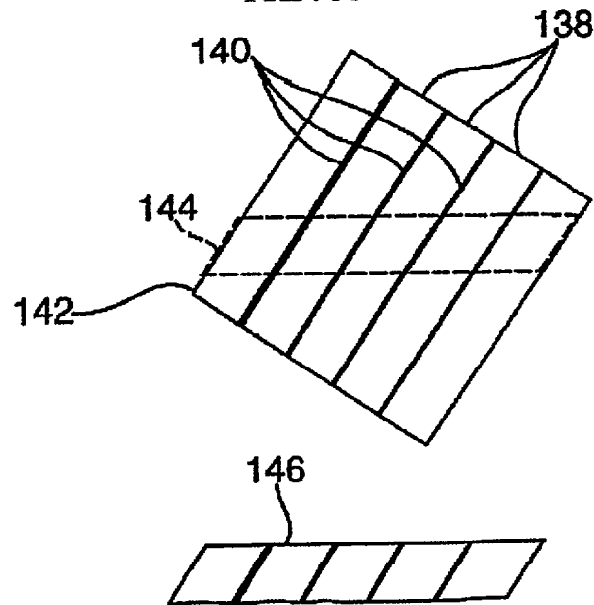
ФИГ. 31



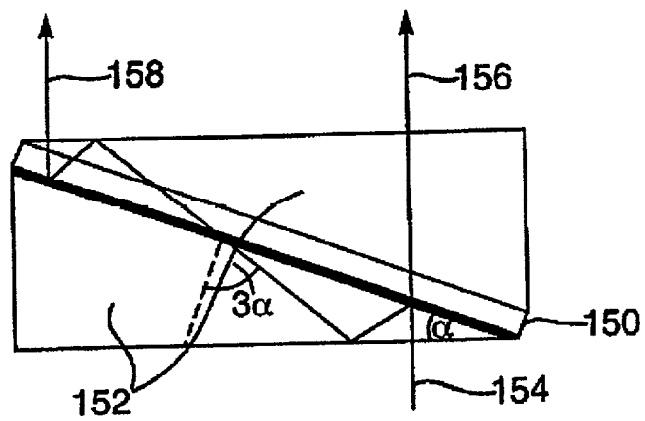
ФИГ. 32



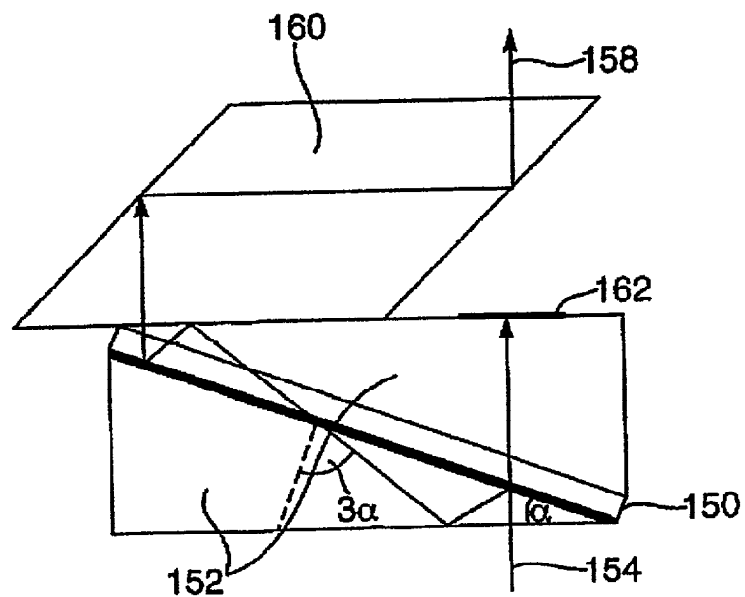
ФИГ. 33



ФИГ. 34



ФИГ. 35



ФИГ. 36