

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **029832**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2018.05.31

(51) Int. Cl. **G03B 21/56 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201001227

(22) Дата подачи заявки
2009.01.28

(54) СОХРАНЯЮЩИЙ ПОЛЯРИЗАЦИЮ ПРОЕКЦИОННЫЙ ЭКРАН

(31) **61/024,138**

(56) **US-A1-20020034710**

(32) **2008.01.28**

US-B2-7068427

(33) **US**

US-A1-20020021387

(43) **2011.02.28**

US-A1-20070253058

(86) **PCT/US2009/032307**

US-A-4548470

(87) **WO 2009/097371 2009.08.06**

US-B2-7046439

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
РЕАЛД ИНК. (US)

US-A1-20020155276

US-A1-20070237578

(72) Изобретатель:
Колеман Дэвид А., Шарп Гари Д. (US)

(74) Представитель:
Стручков М.Н. (RU)

(57) В патенте описаны сохраняющие поляризацию фронтпроекционные экраны и рассеиватели, обеспечивающие оптимальное сохранение поляризации при просмотре стереоскопического трехмерного изображения, а также усовершенствованное управление освещением для повышения яркости, однородности и контрастности как двухмерных, так и трехмерных систем. В целом, описанные экраны направляют свет проектора в сторону зрителей в пределах местоположения рассеяния и при этом сохраняют оптимальные характеристики усиления. Более точно, свет, падающий на область фронтпроекционного экрана в заданном направлении проекции, отражается специально разработанной поверхностью в заданное местоположение рассеяния после преимущественно однократного отражения. Специально разработанная поверхность, состоящая из порождающих ядер, используется для оптимального рассеяния света под углами обзора в определенном диапазоне в пределах местоположения рассеяния с соответствующим профилем усиления и в то же время оптимального сохранения поляризации при трехмерной проекции. При сочетании такого экрана с очками с согласованным поляризационным анализом обеспечиваются минимальные перекрестные помехи в любой точке обзора.

B1**029832****029832****B1**

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Приоритет настоящей заявки основан на родственной предварительной патентной заявке 61/024138 под названием "Polarization Preserving Front Projection Screen", поданной 28 января 2008 г., которая в порядке ссылки во всех отношениях включена в настоящую заявку.

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится в целом к фронтпроеекционным экранам, более точно, к фронтпроеекционным экранам, которые оптимальным образом обеспечивают рассеяние света с сохранением поляризации. Такие экраны дополнительно могут доводить до максимума яркость и контрастность изображения в зависимости от конкретных углов проекции и обзора.

Предпосылки создания изобретения

В стереоскопических трехмерных системах с использованием очков с пассивным поляризационным анализом экран является составной частью системы. Любая деполяризация, возникающая на экране, приводит к перекрестным помехам, когда изображение, предназначенное для восприятия одним глазом, частично передается на другой глаз. Эти перекрестные помехи выражаются в виде "фантомного изображения", которое ухудшает качество восприятия и вызывает зрительное утомление. Таким образом, желательно максимально ослабить перекрестные помехи и обеспечить наилучшие условия освещения и угла обзора.

Известные фронтпроеекционные экраны, такие как используются в кинотеатрах с двухмерной проекцией, представляют собой виртуальные ламбертовские рассеиватели. Из-за шероховатости поверхности такие известные экраны отличаются очень плохим сохранением поляризации и малоэффективной световой отдачей (т.е. хотя общее суммарное рассеяние (TIS) является высоким, использование света в угловом диапазоне является плохим).

Известен способ создания стереоскопических трехмерных сохраняющих поляризацию экранов путем распыления пластинчатого алюминия, содержащегося в прозрачном связующем, на подложку из ПВХ. Такие статистические поверхности обеспечивают ограниченное регулирование профиля коэффициента усиления экрана, направленности и поляризации. Кроме того, при нанесении покрытий часто образуются различные структуры (например, сверканье) и возникает неоднородность, такая как текстуры. Такие "киноэкраны" часто требуют осторожного обращения и не способны выдерживать очистку мягкими абразивами.

Ламбертовские экраны выглядят однородными при наблюдаемой яркости, но слабо используют проецируемый свет. Иными словами, значительная часть падающего света рассеивается за пределами поля зрения, что снижает КПД системы. Кроме того, часть рассеянного света поступает в обратном направлении на экран, что ухудшает контрастность и цветонасыщенность.

Соответственно, существует потребность в фронтпроеекционном экране, рассчитанном на оптимальное рассеяние света под углами обзора в определенном диапазоне таким образом, чтобы точно сохранять исходное состояние поляризации.

Краткое изложение сущности изобретения

Настоящее изобретение относится к специально разработанным отражающим рассеивателям, более точно, к экранам, которые используются в системах фронтальной проекции. Экраны обеспечивают оптимальное сохранение поляризации при стереоскопическом трехмерном просмотре, а также усовершенствованное управление светом для улучшения яркости, однородности и контрастности как в двухмерных, так и трехмерных системах. В настоящем изобретении направляют свет по желанию и при этом сохраняют оптимальные характеристики усиления.

Согласно настоящему изобретению используют специально разработанную поверхность для оптимального рассеяния света под углами обзора в определенном диапазоне в пределах заданного местоположения рассеяния с соответствующим профилем усиления и оптимальным сохранением поляризации. За счет сочетания такого экрана и согласованных очков с поляризационным анализом обеспечивается максимально низкий уровень перекрестных помех при нахождении в любой точке обзора.

В настоящем изобретении предложен способ создания сохраняющего поляризацию отражающего рассеивателя, который направляет свет в желаемое местоположение рассеяния в зависимости от заданных условий освещенности таким образом, что при этом сохраняется поляризация. Местоположение обзора, которое включает преимущественно все положения обзора, находится в пределах местоположения рассеяния.

Согласно одной из особенностей настоящего изобретения предложен способ создания сохраняющего поляризацию фронтпроеекционного экрана, который направляет свет в желаемый диапазон обзора или местоположение наблюдения в зрительном зале в зависимости от условий освещения проектором. Способ включает стадию, на которой определяют местоположение предельных значений освещенности и угла обзора, в котором могут быть обеспечены состояния преимущественно ортогональной поляризации для всех положений обзора в зрительном зале. Способ также включает стадию, на которой используют множество отражающих порождающих ядер и распределяют их по подложке.

Согласно другой особенности используют набор правил проектирования с целью создания генерирующей функцию топографии поверхности. Генерирующая функция обеспечивает основные структур-

ные элементы микроструктуры (содержащей один или множество порождающих ядер), которая несет в себе (макроскопическую) совокупную статистику желаемого рассеивателя. Такая структура может выглядеть более однородной, поскольку она является статистически законченной с точки зрения основных размеров. Правила проектирования также обеспечивают преимущественно только однократные отражения в пределах заданного местоположения рассеяния.

Местоположение рассеяния задается в соответствии с предельными угловыми значениями освещения и обзора/наблюдения. Согласно дополнительным особенностям правил проектирования порождающее ядро способно обеспечивать заданное распределение интенсивности (например, ламбертовское) в пределах местоположения рассеяния с заданным угловым спадом по интенсивности на границе местоположения рассеяния. В одном из предпочтительных вариантов осуществления, в котором обеспечивается максимальная световая отдача, этот спад представлена ступенчатой функцией.

Другие особенности изобретения станут ясны из следующего далее описания.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1А схематически представлен вид сбоку типичного кинотеатра согласно настоящему изобретению;

на фиг. 1Б схематически представлен вид сверху вниз кинотеатра согласно настоящему изобретению;

на фиг. 2 схематически представлено действие типичной трехмерной кинопроекционной системы согласно настоящему изобретению;

на фиг. 3 показана диаграмма, иллюстрирующая характеристики сохраняющего поляризацию обычного киноэкрана в зависимости от угла обзора;

на фиг. 4 показана диаграмма, иллюстрирующая контрастные характеристики сохраняющего поляризацию обычного киноэкрана в зависимости от угла обзора;

на фиг. 5 показана диаграмма, иллюстрирующая кривую усиления обычного киноэкрана в зависимости от угла обзора;

на фиг. 6А показана полярная диаграмма, иллюстрирующая местоположение обзора для конкретного зрительного зала согласно настоящему изобретению, определенное путем прослеживания периметра экрана с места, расположенного слева спереди;

на фиг. 6Б показана полярная диаграмма, иллюстрирующая местоположение обзора для конкретного зрительного зала согласно настоящему изобретению, определенное путем прослеживания периметра экрана с места, расположенного слева сзади;

на фиг. 7 показана полярная диаграмма, иллюстрирующая местоположение рассеяния согласно настоящему изобретению для случайной выборки зрительных залов;

на фиг. 8 показана диаграмма коэффициента контрастности при круговой поляризации или наихудшем азимуте линейной поляризации в зависимости от угла падения грани согласно настоящему изобретению;

на фиг. 9 показана диаграмма, иллюстрирующая различия между коэффициентами контрастности при линейной и круговой поляризациях согласно настоящему изобретению;

на фиг. 10 показана диаграмма вогнутой структуры с однородной плотностью распределения вероятностей согласно настоящему изобретению;

на фиг. 11 схематически представлена периодическая структура с однородной плотностью распределения вероятностей согласно настоящему изобретению;

на фиг. 12А-12Г схематически представлены виды сбоку кинотеатра с проектором, экраном и пространством для зрителей согласно настоящему изобретению;

на фиг. 13А-13Б показаны диаграммы, иллюстрирующие примеры кривых усиления для спроектированных экранов, на которых свет рассеивается в местоположении рассеяния согласно настоящему изобретению;

на фиг. 14 показана полярная диаграмма нормального к граням местоположения относительно нормали к поверхности экрана, в котором светом проектора преимущественно освещена вся область обзора согласно настоящему изобретению;

на фиг. 15 показана диаграмма, иллюстрирующая типичную гауссову поверхность согласно настоящему изобретению;

на фиг. 16 показана диаграмма, иллюстрирующая плотность лучей, отражающихся от типичной гауссовой поверхности согласно настоящему изобретению;

на фиг. 17 показана диаграмма, иллюстрирующая плотность лучей, дважды отражающихся от типичной гауссовой поверхности согласно настоящему изобретению;

на фиг. 18 показана диаграмма, иллюстрирующая контрастность в зависимости от усиления в случае серии имитаций с различными амплитудами для гауссовых поверхностей рассеивателя согласно настоящему изобретению;

на фиг. 19А-19Г схематически представлены диаграммы условий отражения при различных расстояниях между гауссовыми пиками, согласно настоящему изобретению;

на фиг. 20 показана диаграмма, иллюстрирующая вычисленное местоположение интервала между

двумя гауссовыми пиками, в котором не происходит множественных отражений, согласно настоящему изобретению;

на фиг. 21А-21В схематически представлены диаграммы, иллюстрирующие в каждом случае наложение двух гауссовых пиков переменной высоты и ширины согласно настоящему изобретению;

на фиг. 22 показана диаграмма распределения имитируемых шумов согласно настоящему изобретению;

на фиг. 23А-23Г показаны диаграммы усиления и контрастности рассеивателя с двумя схемами и различными характеристическими размерами в сравнении с рассеивателем с одной схемой и без различных характеристических размеров согласно настоящему изобретению;

на фиг. 24А-24Б показаны диаграммы, иллюстрирующие функции перекрытия согласно настоящему изобретению;

на фиг. 25А-25В показаны диаграммы, иллюстрирующие один из примеров порождающего ядра согласно настоящему изобретению;

на фиг. 26 показана диаграмма, иллюстрирующая усиление, вычисленное для двухмерного ламбертовского порождающего ядра согласно настоящему изобретению;

на фиг. 27 показана диаграмма, иллюстрирующая радиально усредненное усиление для порождающего ядра согласно настоящему изобретению;

на фиг. 28 схематически представлена типичная решетка с гексагональной конфигурацией согласно настоящему изобретению;

на фиг. 29 схематически представлено перекрытие ячеек гексагональной решетки порождающих ядер согласно настоящему изобретению;

на фиг. 30 показана диаграмма, иллюстрирующая перекрытие ячеек квадратной решетки согласно настоящему изобретению;

на фиг. 31 схематически представлена гексагональная решетка с рандомизированными центрами согласно настоящему изобретению;

на фиг. 32 схематически представлена гексагональная решетка с более мелкими ячейками, распределенными среди более крупных ячеек, и с рандомизацией узла решетки согласно настоящему изобретению;

на фиг. 33 схематически представлена решетка из полуправильных треугольников согласно настоящему изобретению;

на фиг. 34 показана диаграмма рандомизации с горизонтальным смещением согласно настоящему изобретению;

на фиг. 35 показана диаграмма распределения вероятностей при смещении от центра одной ячейки к центру другой ячейки для поверхности с рандомизированным горизонтальным смещением согласно настоящему изобретению;

на фиг. 36 показана диаграмма угла рассеяния в зависимости от интервала между гауссовыми пиками согласно настоящему изобретению;

на фиг. 37 показана диаграмма, иллюстрирующая отсечку угла рассеяния для перекрывающихся гауссовых характеристик согласно настоящему изобретению;

на фиг. 38А и 38Б показаны диаграммы, иллюстрирующие две конфигурации расчетного перекрытия ламбертовского рассеивателя согласно настоящему изобретению;

на фиг. 39А и 39Б проиллюстрирован способ предкоррекции порождающих ядер с целью устранения перекрытия согласно настоящему изобретению;

на фиг. 40 показана диаграмма предварительно скорректированной ячейки с перекрытием ламбертовского рассеивателя согласно настоящему изобретению и

на фиг. 41А и 41Б показаны диаграммы профилей усиления согласно настоящему изобретению.

Подробное описание

На фиг. 1А схематически представлен вид сбоку типичного кинотеатра 100, а на фиг. 1Б схематически представлен вид кинотеатра 100 сверху вниз. Кинотеатр 100 имеет отражающий экран 110, проекционную платформу 120 и пространство 130 для зрителей. Проекционная платформа 120 может содержать проектор 121 и переключатель 122 поляризации. Пространство 130 для зрителей может представлять собой места, образующие ряды на удалении от экрана, ограничивающего пространство для зрителей, которые могут сидеть (или стоять) в различных местах в пределах пространства 130 для зрителей. Например, первый зритель может находиться в кинотеатре 100 в положении 132 слева спереди и воспринимать отраженный свет 142. Второй зритель может находиться в кинотеатре 100 в положении 134 слева сзади и воспринимать отраженный свет 144. Третий зритель может находиться в положении 136 в центре.

С недавними усовершенствованиями технологии поляризации произошло возрождение интереса к трехмерным кинофильмам, для просмотра которых используются согласованные очки. В известных системах трехмерной проекции осуществляют последовательную проекцию изображений для левого и правого глаз с использованием ортогональной поляризации. В системах трехмерной проекции кинофильмов с использованием единой проекционной платформы 120, на пути света проектора, за объективом проек-

тора может быть помещен переключатель 122 поляризации. Такие переключатели поляризации известны, например, из патента US 4792850 (с истекшим сроком действия) "Method and system employing a push-pull liquid crystal modulator", выданного на имя L. Lipton и др., правопреемником которого является правопреемник настоящей заявки, и патентной заявки US 11/424087 "Achromatic polarization switches" на имя M. Robinson, правопреемником которой является правопреемник настоящей заявки, в обоих случаях в порядке ссылки включенных в настоящую заявку. В качестве альтернативы проекционным платформам могут использоваться два или более проекторов, один из которых служит для формирования предназначенной для левого глаза совокупности изображений с одним состоянием поляризации, а другой - для формирования предназначенной для правого глаза совокупности изображений с ортогональным состоянием поляризации. Обычные отражающие экраны представляют собой киноэкран, который отражает на зрителя поляризованный свет проектора 121.

Для типичных систем трехмерной кинопроекции характерен относительный недостаток света. Воспринимаемая зрителями яркость в 14 фут-ламбертов обычно соответствует существенно меньшей яркости в трехмерном режиме. Одной из причин этого является, например, то, что в последовательных системах обычно происходят как поляризационные потери (обычно свыше 50%), так и потери в режиме разделения времени (обычно свыше 50%), в результате чего такие системы обычно обеспечивают менее 25% яркости или 3,5 фут-ламберта без направленного экрана. В недавних разработках с целью решения этой задачи, таких как система Real DXL и принадлежащая заявителю настоящей заявки патентная заявка US 11/864198 "Polarization conversion system for cinematic projection" на имя M. Schuck, G. Sharp и M. Robinson, поданная 28 сентября 2007 г. (в порядке ссылки включенная в настоящую заявку), предложена функция восстановления поляризации, но остается не решенной задача повышения яркости с сохранением поляризации.

В системах, имеющих целью сохранение поляризации, общее суммарное рассеяние (TIS) при использовании типичного киноэкрана составляет приблизительно 40%, что дополнительно снижает КПД. Хотя коэффициент усиления экрана является высоким (2,2-2,5 по оси), общая яркость изображения, воспринимаемая с находящейся по центру точки обзора, быстро ухудшается в зависимости от угла обзора. Напротив, матовые экраны обеспечивают высокое TIS (>90%), но в них плохо используется свет в угловом диапазоне. В рассматриваемых вариантах осуществления в целом стоит задача максимального увеличения яркости изображения путем использования как высокого общего суммарного рассеяния (приблизительно более 85%), а также регулирования угла рассеяния. Такие экраны способны повышать качество как двухмерного, так и трехмерного изображения.

На фиг. 2 схематически представлено действие типичной стереоскопической трехмерной кинопроекционной системы 200 с использованием одной проекционной (последовательной) платформы 220. В процессе работы предназначенные для левого глаза изображения 202 и предназначенные для правого глаза изображения 204 могут последовательно проецироваться проектором 220 через переключатель 222 поляризации в направлении сохраняющего поляризацию экрана 210. Сохраняющий поляризацию экран 210 обеспечивает отражение в сторону зрителя 240 поляризованного света проектора 220 и переключателя 222 поляризации. Зритель 240 просматривает предназначенные для левого и правого глаз изображения с помощью очков 250, которые декодируют соответствующий ортогонально поляризованный свет, создавая ощущение глубины объекта 206.

В целом, качество просматриваемого стереоскопического изображения зависит от способности экрана 210 сохранять высокий коэффициент поляризации, передаваемой проекционной платформой 220. Типичные матовые (почти ламбертовские) киноэкраны обычно не применимы для использования в таких трехмерных системах из-за преимущественно диффузного рассеяния. С учетом статистики размера/высоты элементов и плотность распределения вероятностей наклона относительно длины опорной волны такие экраны являются почти полностью деполаризующими. Тем не менее, соотношение контрастности передаваемых и задерживаемых изображений, используемое в высококачественном стереоскопическом трехмерном изображении, предпочтительно составляет по меньшей мере 100:1, более предпочтительно 200:1 или выше.

До сих пор для сохранения поляризации используются так называемые "киноэкраны". Киноэкраны, изготавливают путем распыления пластинчатого алюминия, диспергированного в прозрачном связующем, на подложку из поливинилхлорида (ПВХ), необязательно имеющую особенности поверхностного рельефа. Грани пластинок имеют тенденцию лежать почти параллельно плоскости подложки и тем самым создают относительно высокий коэффициент зеркального отражения и усиления у матовой подложки. Попытки ослабить активные участки или перенасыщение определенных точек экрана более темными контурами и уменьшить усиление приводят к компромиссу между внешним видом, однородностью и перекрестными помехами. Например, могут использоваться матирующие вещества, которые рандомизируют границу раздела воздуха и связующего и тем самым ослабляют активный участок, связанный с зеркальным отражением. При оценке характеристик в направлении, перпендикулярном экрану 110 (т.е. в направлении точки 136 просмотра на фиг. 1), обычно коэффициент контрастности при линейной поляризации превышает 150:1. Однако он быстро уменьшается вместе с углом преимущественно из-за потери яркости изображения. В результате в зале кинотеатра часто оказываются места, на которых контраст-

ность может иногда падать ниже 20:1 в некоторых положениях, таких как точки 132 и 134 просмотра.

Другими сложностями, связанными с существующими экранами на основе металлических пластинок, являются "зернистость" и "спекл-структура", проистекающие из имеющего конечные размеры и неконтролируемого статистического распределения пластинок. Рассеяние для обычного матового экрана обеспечивается посредством высокой плотности центров рассеяния мельчайших размеров. Следовательно, в относительно небольшой области пространства рассеивателя достигается эргодическая статистика и однородно белый внешний вид. В отличие от этого, поскольку пластинчатый экран состоит из элементов макроскопического размера (более одного микрона), для достижения такой эргодической статистики им требуется значительно большая область. Поскольку обычно эта область превышает разрешающую способность человеческого глаза, пространственная флуктуация интенсивности рассеянного излучения является легко различимой, т.е. поверхность выглядит "зернистой". С увеличением угла рассеяния уменьшается относительное число граней, вносящих вклад в интенсивность, в результате чего усугубляются проблемы "зернистости" и "спекл-структуры".

На пластинчатом экране также становится явным когерентный вклад в однородность. Вопреки некогерентной природе исходного источника проецируемого света, после распространения по длине зрительного зала освещенность достигает высокого коэффициента коллимации и, следовательно, относительно высокой поперечной пространственной когерентности (порядка нескольких сот микрон). Грани, расположенные в пределах этой длины когерентности, способны конструктивно или деструктивно интерферировать и модулировать воспринимаемую интенсивность преимущественно хроматическим путем. Это можно наблюдать на обычном киноэкране как слабо окрашенную спекл-структуру, наложенную на общую зернистость экрана. Тем не менее, поскольку эффект интерференции очень чувствителен к углу отражения, спекл-структура выглядит перемещающейся по экрану, когда наблюдатель поворачивает голову. Вместе с тем, поскольку временная когерентность света остается небольшой, чтобы подвергнуться воздействию интерференции, способствующие грани должны располагаться приблизительно в одной плоскости с фронтами падающей и отраженной волн, т.е. воздействие достигает максимума при отражении в обратном направлении и ослабляется с увеличением угла рассеяния.

Коэффициент контрастности и усиления при поляризации

Контрастность, связанная с перекрестными помехами, задается в виде соотношения наблюдаемой яркости света, проходящего через пропускающую линзу, и яркости света, проходящего через задерживающую линзу. Переменные, влияющие на коэффициент контрастности при поляризации (PCR, от английского - polarization contrast ratio), включают базисный вектор поляризации, геометрию проекции, положение наблюдения и точку, наблюдаемую на экране. В случае ламбертовского экрана числитель имеет практически постоянное значение при определенном положении наблюдения. Но в случае обычного киноэкрана усиление настолько высоко, что уменьшение числителя часто преобладает над угловой зависимостью PCR. Одним из способов определения характеристик экрана является измерение чувствительной к поляризации функции распределения двунаправленного альбеда (BRDF, от английского - bi-directional reflectance distribution function), которая представляет собой отражательную способность относительно телесного угла.

На фиг. 3 показана диаграмма 300, иллюстрирующая характеристики сохраняющего поляризацию обычного киноэкрана в зависимости от угла обзора. На диаграмме 300 представлены результаты измерения BRDF у обычного киноэкрана с использованием коллимированного источника излучения (гелий-неоновый лазер, излучающий на волне 0,633 мкм), на пути световых лучей которого был помещен Р-поляризатор, а на пути детектирования был помещен Р- или S-поляризатор. Р и S являются единичными векторами, соответственно, параллельными и перпендикулярными плоскости падения в глобальной системе координат (подложки). Ее не следует путать с локальной системой координат, которая связана с отдельными отражающими гранями на экране. Чтобы осуществить эти измерения, экран осветили под углом наклонного падения -5° (соответствует -10° на диаграмме), чтобы направление зеркального отражения соответствовало 0° . С помощью детектора сканировали находящиеся в одной плоскости углы, при которых происходило выпадение из-за конечного размера детекторного модуля.

Показанная на фиг. 3 диаграмма 302 PP отображает BRDF с параллельным поляризатором, которая точно соответствует профилю усиления. Диаграмма 304 PS отображает BRDF с поперечным поляризатором, которая соответствует энергии, посредством сочетания нескольких механизмов преобразованной в S-поляризацию, в зависимости от угла рассеяния. Этот элемент является относительно "белым" в угловом диапазоне, как и следовало ожидать для компонента диффузного рассеяния.

На фиг. 4 показана диаграмма 400, иллюстрирующая характеристики контрастности обычного сохраняющего поляризацию киноэкрана в зависимости от угла обзора. Коэффициент контрастности при поляризации (PCR) 402 представлен в зависимости от угла обзора в виде соотношения диаграммы 302 BRDF с PP и диаграммы 304 BRDF с PS, показанной на фиг. 3. Как будет показано далее, это соответствует контрастности "в лучшем случае" при линейной поляризации в зоне Френеля, поскольку входная поляризация содержится в плоскости падения.

На фиг. 5 показана диаграмма 500, иллюстрирующая кривую усиления обычного киноэкрана в зависимости от угла обзора. Кривая 502 усиления отображает соотношение BRDF с PP и ламбертовского

рассеивателя и как таковая не зависит от поляризации. Контрастность для этого экрана уменьшена наполовину примерно до 20° . Поскольку PCR соответствует усилению, экраны с высоким коэффициентом усиления обычно имеют наибольшую пространственную неоднородность при наблюдаемых перекрестных помехах.

Представленные на фиг. 3-5 результаты измерений демонстрируют, что у обычного киноэкрана BRDF почти не зависит от угла падения в направлении зеркального отражения. Следовательно, числитель PCR экрана с коэффициентом усиления зависит в основном от разности между углами наблюдаемого луча и направлением зеркального отражения. Направление зеркального отражения соответствует направлению, в котором проходил бы луч, если бы поверхность экрана была зеркальной.

Следующие факторы определяют просачивание перекрестных помех (знаменатель).

1. Деполяризация из-за диффузного рассеяния, вызываемого элементами, значительно меньшего размера, чем длина опорной волны. Это могут быть поверхности отражающих частиц, имеющие приблизительно нанометровые размеры, острые края частиц и пустоты в покрытиях, обнажающие нижележащую матовую подложку.

2. Изменение поляризации из-за местной анизотропии связующего или добавок.

3. Изменение поляризации при (зеркальном) отражении от отдельной поверхности.

4. Многократные отражения от поверхностей с высокой степенью наклона относительно направления освещения, которые образуются в оптическом масштабе.

В основу настоящего изобретения положена задача преодоления ограничений контрастности, характерных для обычных статистических поверхностей, таких как обычный киноэкран. Специально разработанные поверхности согласно настоящему изобретению могут обеспечивать более желательные профили усиления с использованием полностью отражающих дисперсионных средств, которые не имеют избыточной отражательной способности в направлении зеркального отражения. Способствующие факторы, обусловленные перечисленными выше механизмами, могут быть в значительной степени сведены к минимуму, если практически не исключены. Кроме того, управляя функцией плотности распределения вероятностей наклона, каждый наблюдатель может видеть одинаковое высококонтрастное изображение за счет улучшенной однородности яркости. Наконец, специально разработанные поверхности могут улучшать яркость изображения за счет направления проецируемого света на места для зрителей. Тем самым дополнительно улучшается цветонасыщенность и контрастность изображения за счет ослабления постороннего света. Описанными в изобретении способами для экрана могут быть с минимальными затратами изготовлены материалы наивысшего качества.

Фактор 1: деполяризация из-за диффузного рассеяния, вызываемого элементами, значительно меньшего размера, чем длина опорной волны, означает деполяризацию при взаимодействии падающего света с поверхностями, имеющими размеры приблизительно от нескольких нанометров до нескольких сот нанометров. Вклад этого фактора обычно воспринимается практически белым в угловом диапазоне (проекция и наблюдения) и является невосприимчивым к базисному вектору поляризации. При наблюдении в микроскоп с поперечной поляризацией он выглядит как фоновое "свечение". Этот фактор может быть практически исключен путем использования высококачественных оптических покрытий (с низкой среднеквадратичной шероховатостью), преимущественно не содержащих пустот и соответствующих рельефной топографии поверхности, которая не имеет особенностей на этом уровне.

Фактор 2: изменение поляризации из-за местной анизотропии связующего или добавок характерно для оптически толстых "прозрачных" покрытий. Такие покрытия могут иметь анизотропию, которая изменяет локальное состояние поляризации. Настоящее изобретение позволяет исключить влияние этого фактора за счет использования одностороннего отражения от зеркального металлического покрытия. Могут использоваться любые дополнительные слои из оксидных диэлектриков с малым двупреломлением, которые наносят относительно тонким слоем практически с нулевым запаздыванием.

Фактор 3: изменение поляризации при (зеркальном) отражении от отдельной поверхности связано с геометрией локальной отражающей поверхности и является результатом фундаментальных различий в комплексном отражении при S- и P-поляризациях. Сопутствующая потеря PCR является относительно незначительной при типичных углах между направлениями проекции/наблюдения в условиях большинства кинотеатров, но может стать значительной в более жестких условиях. Будет показано, что дополнительные конформные диэлектрические покрытия металлической поверхности способны дополнительно ослабить влияние этого фактора.

Фактор 4: многократные отражения от поверхностей с высокой степенью наклона относительно направления освещения означают многократные отражения, которые могут возникать (и в некоторых ситуациях достигают максимума) при нормальном угле падения/наблюдения. Обычно они характерны для диффузных структур с высокой степенью наклона. Иными словами, луч, который следует в прямом направлении после однократного отражения или не имеет четких сопутствующих структур после однократного отражения, отражается повторно. Средняя длина свободного пробега между такими проявлениями, может значительно превышать размер отражающего элемента, что приводит к возникновению других нежелательных влияний (на качество изображения). Дважды отраженный луч может иметь сильно измененное состояние поляризации, из-за чего ухудшается коэффициент контрастности при поляри-

зации. Кроме того, влияние таких отражений является функцией базисного вектора поляризации, что будет продемонстрировано далее.

Диффузное рассеяние

Фактор 1 можно практически исключить путем использования сплошных отражающих микроструктур, которые оказывают малое влияние или не оказывают влияния на высоких пространственных частотах, характерных для диффузного рассеяния. Теоретически это можно частично осуществить с использованием некоторых из конструктивных возможностей, которые описаны в патенте US 7033736, выданном на имя Morris и др. (в порядке ссылки включенном в настоящую заявку), позволяющих генерировать функции произвольной плотности распределения вероятностей наклона, типичные для диффузных рассеивателей, с использованием полностью отражающих средств. Кроме того, эти структуры могут иметь псевдослучайные распределения по размеру, местоположению, наклону и высоте, что обеспечивает матовый внешний вид без ухудшения характеристик.

С чисто практической точки зрения, специально разработанные структуры (рассеиватели) согласно настоящему изобретению предпочтительно должны серийно изготавливаться в производственных условиях. Они могут предусматривать рулонное тиснение порождающих ядер в соответствии с описанными техническими требованиями. Кроме того, последующие покрытия предпочтительно должны наноситься с таким же высоким уровнем качества, например, путем испарения или напыления. Хотя в изобретении описано применение рассеивателя/экранов в условиях кинотеатра, предполагается, что в качестве альтернативы они могут использоваться в других условиях просмотра наглядной информации, таких как, но без ограничения, домашние кинотеатры, игровые системы, виртуальная реальность, имитаторы условий полета и т.д.

Существующие статистические поверхности (например, обычный киноэкран) неизменно имеют коэффициент заполнения отражателя менее желаемых 100%, при этом коэффициент заполнения определяется как соотношение металлизированной поверхности и общей площади. В данном случае предполагается, что металлизированная поверхность имеет нулевой коэффициент пропускания. Однако, если отражатель является частично пропускающим, в действие может вступить другой механизм деполяризации. Обычно в покрытии киноэкранов имеются небольшие точечные отверстия, обнажающие деполяризующую матовую подложку (часто белую). Если точечные отверстия неизбежны, желательно использовать базовую подложку с высокой поглощающей способностью (например, матовую черную), поскольку она значительно ослабляет пропускание деполяризованного света. Экраны, которые изготавливают с использованием, например, методов глубокой печати, обычно имеют низкий коэффициент заполнения, поэтому в их PCR преобладает деполяризация подложки.

При практической реализации диффузное рассеяние часто является результатом попыток исключения активных участков. С учетом тенденции, согласно которой грани лежат параллельно подложке со статистическими поверхностями, следует попытаться уменьшить отражение в направлении зеркального отражения. Это может быть сделано путем увеличения диффузного рассеяния, но за счет яркости и PCR. Согласно настоящему изобретению плотность распределения вероятностей рассчитывают таким образом, чтобы она была однородной вблизи направления зеркального отражения. Это позволяет сохранять поляризацию и одновременно повышать яркость экрана.

Геометрия кинотеатра и изменение поляризации при отражении

Одной из важных особенностей конструирования оптимизированной статистической поверхности является полное понимание диапазона геометрий, характерных для залов кинотеатров. В современных проекционных кабинках объектив проектора (номинально) центрирован по горизонтали относительно экрана, но обычно расположен выше центра по вертикали. Сдвиг может составлять от нуля до более половины экрана. Обычно экран имеет одноосный изгиб (вокруг вертикальной оси) с радиусом закругления, равным (оптимально) или превышающим расстояние от проектора до экрана. Это является по существу требованием SMPTE (Общество инженеров кино и телевидения), которое должно соблюдаться при использовании экрана с коэффициентом усиления выше 1,3.

Обычно места для зрителей поделены на два сектора, при этом передний сектор наклонен под углом около 8-10°, а задний сектор большего размера наклонен под углом приблизительно 20-22°. Передний сектор обычно изогнут (как экран), а задний сектор обычно является прямоугольным. В ближайших к проектору рядах часто находятся дополнительные места для зрителей, за счет чего увеличивается полезная ширина заднего сектора. В типичном кинотеатре среднее соотношение расстояния от проектора до экрана и ширины экрана составляет приблизительно 1,8.

Характеристики при различных положениях наблюдения можно описать языком определений с точки зрения гипотетического "идеально расположенного зрителя". Идеально расположенным зрителем является зритель, занимающий место, с которого белый кадр имеет максимальную яркость в центре экрана (при использовании экрана с коэффициентом усиления). Другие интересные положения включают места по периметру, на которых должны обеспечиваться удовлетворительные характеристики системы. Эти места по периметру ограничивают местоположение рассеяния в сочетании с другими рассмотренными выше геометрическими особенностями.

По данным выборочных испытаний двадцати одного зрительного зала среднее вертикальное сме-

шение осевого луча составляет приблизительно восемь градусов вниз. За счет вертикального смещения направление зеркального отражения сдвинуто вниз, что благоприятно для яркости при использовании экрана с коэффициентом усиления. Если он спроектирован соответствующим образом, идеальным местоположением для зрителя центральное положение. В отличие от этого, при нулевом сдвиге оптимальное положение обзора при использовании экрана с коэффициентом усиления находится у проектора, что явно невозможно. Согласно настоящему изобретению в зависимости от смещения проектора и угла, соответствующего желаемому идеальному местоположению зрителя, в конструкцию рассеивателя может быть заложен сдвиг угла рассеяния.

Углы обзора для наихудшего случая соответствуют местам по периметру (или подгруппе мест, на которых система должна функционировать должным образом). Эти места ограничивают местоположение обзора. В идеальных условиях яркости и контрастности согласно настоящему изобретению свет не выходит за пределы местоположения рассеяния. Кроме того, для оптимизированного коэффициента контрастности при поляризации требуется, чтобы в пределах местоположения рассеяния происходили только однократные отражения. Если имеют место многократные отражения, они предпочтительно должны происходить при условии отражения за пределами местоположения рассеяния.

На фиг. 6А и 6Б показаны типичные полярные диаграммы, соответствующие, иллюстрирующие местоположения обзора для конкретного зрительного зала в различных точках обзора. На фиг. 6А показана диаграмма 602, на которой представлен угол луча наблюдения (в глобальной системе координат), заданный путем прослеживания периметра экрана с места спереди слева (например, в точке 132 просмотра на фиг. 1). На фиг. 6Б представлена соответствующая диаграмма 652 для места сзади слева (например, в точке 134 просмотра на фиг. 1). В этом случае вторая диаграмма 652 находится внутри первой диаграммы 602. Тем не менее, в условиях типичного расположения мест на стадионе расположенные сзади места ограничивают участок местоположения, соответствующий низу экрана.

На фиг. 7 показана полярная диаграмма 700, иллюстрирующая местоположение обзора подобно описанным выше диаграммам, представленным на фиг. 6А и 6Б, для случайной выборки из двадцати одного зрительного зала. В пределах периметра 702 содержатся такие данные 704, которые при условиях освещения/обзора, симметричных относительно вертикальной оси, задают местоположение рассеяния, которое также симметрично относительно вертикальной оси. Задачей конструирования является преимущественное ограничение диффузии в пределах области, ограниченной периметром 702, чтобы она включала местоположение обзора, которое преимущественно включает все точки обзора плюс произвольный запас надежности, например, пять градусов.

В следующем далее анализе допустим, что экран содержит набор микроотражателей, которые, хотя и расположены практически в одной плоскости в макроскопическом масштабе, имеют случайное распределение ориентации в соответствии с плотностью распределения вероятностей наклона. В данном случае локальная система координат задана вектором проекционного луча и вектором луча наблюдения. Тем самым задается локальная плоскость падения, которая содержит вектор нормали локальных граней (когда для наглядности используется обычно многогранная модель, даже хотя желаемая поверхность может иметь микроотражающие свойства сплошной поверхности). Поскольку экраном преимущественно сохраняется поляризация, разумно допустить, что свет, отклоняемый гранью, является результатом зеркального отражения. Вероятность существования грани с желаемой ориентацией задана двумерной плотностью распределения вероятностей наклона, которая связана с коэффициентом усиления экрана.

Локальная плоскость падения также задает локальные векторы S и P (или локальные собственные векторы), которые подчиняются уравнениям Френеля для отражения. В этом случае функциональным покрытием обычно является металл (например, алюминий), который имеет комплексный показатель преломления и, следовательно, является поглощающим материалом. Если допустить, что "площадь грани" является большой по сравнению с длиной опорной волны (или, что более реалистично, что наклон медленно изменяется в масштабе длины волны), можно заключить, что свет зеркально отражается от поверхности, сохраняя поляризацию. Этому проявлению практически не сопутствует деполяризация как таковая, хотя в целом происходит изменение состояния поляризации (SOP) из-за различающихся комплексных показателей преломления, связанных с S и P.

Рассмотрим конкретный случай, в котором падающий линейно поляризованный свет содержит как S, так и P проекции. Разность фаз при отражении имеет тенденцию вызывать эллиптичность, а разность в отражательной способности имеет тенденцию поворачивать ориентацию. Для трехмерной системы на основе линейного поляризатора при наихудшем азимутальном угле (поляризация под углом $\pm 45^\circ$ к плоскости падения грани) или для системы на основе кругового поляризатора при любом азимутальном угле вклад френелевского отражения в коэффициент контрастности при поляризации задан следующим уравнением:

$$PCR = \frac{(\sqrt{R_p}/2 + \sqrt{R_s}/2)^2 - \sqrt{R_p R_s} \sin^2(\Gamma/2)}{(\sqrt{R_p}/2 - \sqrt{R_s}/2)^2 + \sqrt{R_p R_s} \sin^2(\Gamma/2)}$$

в котором $\sqrt{R_p}e^{-i\pi/2}$ и $\sqrt{R_s}e^{i\pi/2}$ означают коэффициенты комплексного отражения, связанные с P- и S-

поляризациями, соответственно (если пренебречь общей фазой), Γ означает фазовый сдвиг между компонентами R и P. В первом приближении первый член знаменателя отображает потерю контрастности из-за разности в отражательной способности, а второй член знаменателя отображает потерю контрастности из-за запаздывания по фазе.

В принципе угол падения грани должен быть не менее 45° , если (например, в случае плоского экрана) расстояние от проектора до экрана является бесконечным (при расположении проектора по центру) и зритель находится у плоскости экрана. В зрительных залах кинотеатров максимальные углы падения граней, соответствующие худшему местоположению зрителя, чаще всего составляют менее 35° .

На фиг. 8 показана диаграмма 800 PCR Френеля для круговой поляризации (или наихудшего азимута линейной поляризации) в зависимости от угла падения грани. Контрастность 802 превышает 1000:1 при углах менее 25° (что соответствует большей части зрителей) и остается выше 270:1 при углах вплоть до 35° . В условиях современных кинотеатров вклад френелевского отражения как таковой является относительно небольшим.

В пересчете на относительные вклады (также в первом приближении) контрастность только из-за различия в отражательной способности составляет 24000:1 при угле 35° , а контрастность, связанная только с запаздыванием, составляет 273:1. Таким образом, потеря контрастности, связанная с френелевским отражением, происходит преимущественно из-за фазового сдвига между S и P. Существует возможность более точного согласования фаз S и P с увеличением общей отражательной способности путем использования поверх металла дополнительных конформных прозрачных диэлектрических слоев (которые одновременно служат для предотвращения роста собственного оксида). Обычно это делается с использованием так называемых зеркальных покрытий из "защищенного алюминия". В патенте US 7110175, выданном на имя Lippey и др. (в порядке ссылки включенном в настоящую заявку), описано осаждение слоя алюминия с целью устранения различия в отражательной способности за счет использования диэлектрического слоя, чтобы сделать отражательную способность S и P одинаковой. Тем не менее, в патенте Lippey не указано, что на контрастность значительно сильнее влияет разность фаз, чем различие в отражательной способности. Поскольку предполагается, что деполяризация является лишь следствием различия в отражательной способности между S и P, естественной задачей контрастности является сведение к минимуму локальных углов падения и тем самым увеличение коэффициента усиления. Тем не менее, в настоящем изобретении продемонстрировано, что преобладающий механизм деполяризации представляет собой множество проявлений рассеяния, что даже не упоминается в патенте Lippey. Иными словами, в патенте Lippey не раскрыт преобладающий механизм, который способствует характеристикам контрастности, или методы для такой оптимизации характеристик контрастности. Кроме того, второй задачей, указанной в патенте Lippey, является согласование амплитуд отражающих способностей S- и P-поляризаций. Тем не менее, на основании идей настоящего изобретения можно как согласовать амплитуду отражающих способностей S и P, так и довести до максимума разность фаз двух компонентов и тем самым улучшить характеристики свойств сохранения поляризации.

На металлические зеркала часто наносят защитные диэлектрические покрытия, чтобы обеспечить долговечность и повысить отражательную способность. Если на незащищенный алюминий не нанести покрытие, он легко царапается и со временем образует тонкий слой (70-90 Å) собственного оксида (Al_2O_3). Собственный оксид (показатель $n=1,66$) имеет тенденцию со временем ослаблять отражательную способность. Если, напротив, на незащищенный алюминий нанести слой MgF_2 ($n=1,38$) оптической толщиной приблизительно в четверть волны, отражательная способность может быть увеличена на несколько процентов. Хотя MgF_2 является идеальным вариантом при выборе защитного диэлектрического покрытия, существенное улучшение может быть достигнуто при использовании других диэлектриков с низкими показателями, таких как SiO_2 . В обоих случаях основным ограничивающим условием является сведение к минимуму комплексной разности фаз между отражающими способностями S и P.

В настоящем изобретении сохранение поляризации, вероятно, является более важной задачей, чем повышение кпд. Как описано выше, уменьшение разности фаз между компонентами S и P за счет тонкопленочной компенсации помогает сохранять поляризацию. Диэлектрическая пленка с произвольной толщиной и показателем, имеющая измеренную характеристику PCR на волне 589 нм (с входной поляризацией при угле 45° к плоскости падения), обеспечивает наилучшие результаты, когда комплексный показатель преломления сведен к минимуму (например, при использовании MgF_2). При использовании собственного оксида толщиной 70 Å PCR при угле падения грани 35° составляет 139:1 (что меньше, чем у незащищенного алюминия). При добавлении слоя MgF_2 толщиной 0,34 длины волны получают контрастность 23915:1. При угле 28° контрастность при использовании компенсации снижается (1934:1), но по-прежнему значительно превышает контрастность без использования компенсации (360:1). При меньших углах контрастность обычно повышается, но при использовании компенсации остается по меньшей мере на три порядка величины выше, чем без использования компенсации.

Поскольку наклонная грань имеет линейные собственные поляризации, характеристики системы на основе линейной поляризации зависят от азимута. Если в плоскости падения грани содержится входная поляризация, поляризация сохраняется при отражении. Если этот механизм важен для определения контрастности, могут быть выбраны очки для оптимизации общих характеристик. Например, углы экрана

обычно соответствуют наибольшим углам падения граней, которые обычно ближе к азимутальному углу $\pm 45^\circ$, чем к $0/90^\circ$. В этих условиях, может использоваться система на основе очков с линейной поляризацией $\pm 45^\circ$. Что касается систем с использованием круговой поляризации, изменение поляризации при отражении при любом азимутальном угле не приносит результата, поскольку контрастность по существу не зависит от азимутального угла. Если на контрастность влияют многократные отражения, приведенный выше довод может не являться важным конструктивным соображением.

Двойное отражение

В зависимости от структуры экрана изменение поляризации после однократного отражения может не являться наиболее важным фактором, влияющим на перекрестные помехи. Высоконаправленные рассеиватели, такие как рассеиватели, производимые компанией Wavefront Technologies, имеют наклонные гребни, которые обычно вызывают повторные отражения. При рассмотрении под микроскопом с поперечной поляризацией серийно выпускаемые голографические рассеиватели обычно имеют линейную собственную поляризацию при отражении в обратном направлении при нормальном освещении и детектировании. При испытании трех образцов материалов, обычно используемых для пропускания, но покрытых алюминием для испытания, у всех образцов наблюдалось большее рассеяние преимущественно в одном направлении, чем в ортогональном направлении ($8^\circ/21^\circ$, $10^\circ/68^\circ$, $12^\circ/44^\circ$). Как показали образцы с покрытием, контрастность составляла несколько сот к одному при входной поляризации, параллельной оси структуры, но существенно снижалась при повороте образца и составляла лишь несколько десятков к одному при азимутальном угле 45° . Следует отметить, что эти измерения осуществлялись с использованием структуры с обратным отражением.

Статистические поверхности, такие как экраны на основе пластинчатого металла, также подвержены двойному отражению. Средняя длина свободного пробега между парами граней часто существенно превышает фактические размеры отражающего элемента. Когда при рассмотрении под микроскопом с поперечной линейной поляризацией поворачивают образец экрана со структурой с обратным отражением, может наблюдаться согласованное изменение яркости пар граней. Это, вероятно, происходит из-за преобразованного поляризации света, распространяющегося в противоположных направлениях. Пары в значительной степени подавляются вдоль собственных направлений. Из-за высокой степени преобразования поляризации при отражении в обратном направлении, пары становятся очень яркими при азимутальном угле $\pm 45^\circ$. Эффективная геометрия пар часто является очень похожей (обусловленной зоной перекрытия граней), что является еще одним фактором, делающим их легко идентифицируемыми.

Структуры с обратным отражением обладают потенциальными выгодами с точки зрения яркости. Иными словами, если направление максимума диффузии в целом противоположно направлению падения, усиливается тенденция отбрасывания света проектора в сторону зрителей. Например, жемчужные экраны могут функционировать как угловой отражатель типа кошачий глаз. Поскольку они обладают свойством самокоррекции, угловые отражатели способны практически исключать необходимость локального регулирования диффузионных свойств как средства оптимального рассеяния света. Тем не менее, следует принять меры к тому, чтобы такое отражение в обратном направлении не ухудшало поляризацию, как это происходит в некоторых (например, кубических) угловых отражателях. В случае двойного отражения от пар граней поляризация преимущественно преобразуется в ортогональное состояние.

В прошлом для обеспечения большего рассеяния в горизонтальном направлении, чем вертикальным использовались киноэкраны с линзовидными периодическими структурами. Если для более сильного рассеяния света по горизонтали, чем по вертикали используются структурированные поверхности, подверженные повторным отражениям, может применяться система на основе поляризационных очков с углом поляризации $0/90^\circ$. Тем не менее, экраны со структурами, подверженными повторным отражениям, вероятнее всего не будут функционировать удовлетворительно.

Вклад каждого элемента в PCR

Для извлечения вклада каждого физического механизма в PCR могут использоваться определенные измерения. Как описано выше, элемент диффузного рассеяния, вероятно, является белым в угловом диапазоне и не зависит от базисного вектора поляризации. Он является фоновым элементом просачивания. По существу, результаты измерения PCR в зависимости от угла падения граней должны быть одинаковыми как для линейной, так и для круговой поляризации. Если это не так, вероятно, что значительный вклад вносит другой физический механизм.

Вклад френелевского отражения является нулевым в направлении обратного отражения (для однократных отражений), становится значительным по мере приближения угла падения грани к 20° и растет с увеличением угла. Он явно зависит от поляризации, исчезая, когда входная поляризация параллельна/перпендикулярна плоскости падения граней, и достигая максимума при угле $\pm 45^\circ$. При использовании круговой поляризации вклад в PCR не зависит от азимута. Так, если результаты измерения линейного PCR находятся в сильной зависимости от азимута (или если существует значительное различие между линейным и круговым PCR) при больших углах падения, френелевский элемент может иметь большое значение. Это предполагает, что при таких больших углах вклад многократных отражений становится относительно незначительным (или является разделимым).

Если базисные векторы линейной и круговой поляризации дают в результате различные PCR в на-

правлении обратного отражения, вероятной причиной является двойное отражение. В случае статистической поверхности, у которой плотность распределения вероятностей наклона является однородной по азимуту, вероятность двойного отражения также является однородной по азимуту. Таким образом, в случае круговой поляризации вклад в PCR также является однородным по азимуту. Однако с учетом зависимости линейной поляризации от азимута вклад в PCR, усредненный относительно всего азимута, составляет половину вклада в случае круговой поляризации.

Для испытания этого влияния были осуществлены измерения чувствительной к поляризации BRDF в случае как линейной, так и круговой поляризации, при этом линейная поляризация происходит в собственном направлении.

На фиг. 9 показана диаграмма, иллюстрирующая, что контрастность в случае линейной поляризации 902 превышает 160:1, а в случае круговой поляризации 904 составляет лишь 110:1. Поскольку это различие наблюдается на протяжении направления обратного отражения, любое различие в PCR может быть объяснено многократным отражением, если только PCR в случае круговой поляризации не является более низким по своей природе. С целью получения этих результатов лазерное излучение на частоте 532 нм направили через пару, состоящую из ортогональных линейного и кругового поляризаторов, чтобы протестировать базовые характеристики при нормальном падении. Было определено, что базовый PCR составляет 888:1 в случае линейной поляризации и 895:1 в случае круговой поляризации, и это различие находится в пределах экспериментальной ошибки и ограничено поляризатором. Таким образом, с помощью специально разработанной поверхности согласно настоящему изобретению может быть обеспечен значительно более высокий PCR путем исключения двойных отражений.

Другой нежелательной особенностью статистических поверхностей является отсутствие пространственного регулирования характеристик BRDF. Из-за пространственной флуктуации плотности распределения вероятностей граней может возникать неоднородный внешний вид. Размер элемента, связанный с такими флуктуациями, может сильно зависеть от технологий и особенностей статистического контроля каждого из них. С учетом того, что размер пикселя на среднем экране при использовании проектора 2k с разрешением full-HD (1024×2048 пикселей), составляет приблизительно 7 мм, вероятно, что значительные флуктуации интенсивности отраженного излучения при таких (или более крупных) размерах являются проблематичными. Чтобы продемонстрировать это, образцы экранов осветили в направлении нормали с расстояния 305 мм с помощью лазера со стабилизацией амплитуды на частоте 532 нм. Лазер и детекторный модуль установили на одной рельсовой тележке (в одной плоскости) на расстоянии 45 мм друг от друга и дискретно перемещали на 1 мм вдоль оси экрана. Детектор имел апертуру 5 мм, что практически исключало вклад спекл-структуры. Предполагается, что некоторое сглаживание профиля происходит вследствие усреднения на протяжении соответствующего телесного угла детектирования.

Общий диапазон обзора в конкретном положении составлял 100 мм, при этом между результатами в других положениях на экране отсутствовали значительные различия. Были протестированы образцы экранов двух изготовителей. Стандартное отклонение мощности отраженной волны у образцов А и В составляло 6,8 и 5,2%, соответственно. Максимальное отклонение составляло +21 и -16% у образца А и +11 и -14% у образца В.

Чтобы рассчитать флуктуацию воспринимаемой яркости пикселей из-за неоднородности BRDF, сравнили среднюю мощность в 7-мм сегментах обзора. Среднее отклонение у образца А составляло 4,6%, а среднее отклонение у образца В составляло 6,7%. Соответствующее максимальное отклонение составляло 8 и 7,5%, соответственно. Преимуществом специально разработанной поверхности согласно настоящему изобретению является то, что во всех соответствующих масштабах могут быть практически исключены такие флуктуации с постоянной картиной.

Влияние интерференции

После того, как свет проектора достигает экрана и, если допустить, что пространственная когерентность проецируемого света составляет порядка длины волны, свет может демонстрировать пространственную когерентность на протяжении областей, сравнимых по площади с областью разрешения экрана. Из-за этого может ухудшиться однородность внешнего вида экрана в результате когерентного наложения на сетчатку глаза. Согласно настоящему изобретению специально разработанная микроструктура может иметь структуру пространственного частотного шума, наложенную на желаемую топографию. Такая структура не влияет на требование однократного отражения, но рандомизирует фазу таким образом, что свет, воспринимаемый глазом, имеет преимущественно однородное представление в фазовом пространстве. Если частота шума кратна длине волны, а длина волны сходна с длиной пространственной когерентности света, рандомизация фазы должна быть достаточной, чтобы преимущественно ослаблять спекл-структуру.

Матовость

Разрешающая способность глаза находится на уровне приблизительно одной угловой минуты, ниже которого воспринимаемую интенсивность можно считать весовым интегрированием плотности распределения вероятностей того, что порождающие ядра рассеиваются от направления освещения в направлении наблюдения на протяжении соответствующей области. Эта вероятность связана с локальной плотностью распределения вероятностей наклона. Если интегрированная вероятность изменяется в простран-

ве, то есть измеренная область не согласуется с совокупной статистикой, экран будет иметь зернистую текстуру, что нежелательно. Это может происходить как из-за большого размера элементов, так и их конкретного распределения по поверхности экрана. Часто флуктуации относительной интенсивности возрастают с углом обзора, при этом вероятность существования области с требуемым наклоном существенно снижается в зависимости от направления зеркального отражения.

Матовость обычных киноэкранов обеспечивается мельчайшими элементами, которые создают множественное рассеяние, способствующее усреднению в угловом диапазоне. Согласно настоящему изобретению специально разработанный рассеиватель подвергают анализу и пространственно модифицируют, чтобы создать более равномерное распределение интенсивности после однократных отражений. В результате, существенно уменьшается зернистость внешнего вида и одновременно сохраняется поляризация. Это в значительной степени достигается за счет формы специально разработанного рассеивателя согласно настоящему изобретению. Каждый рассеивающий элемент локально эргодически заполняет все местоположение обзора. Пространственные флуктуации объясняются в основном влиянием рандомизации и наклона. Процент площади, подверженной такому влиянию, может быть небольшим относительно незатронутой области, т.е. она может быть ограничена областями, в которых специально разработанные порождающие ядра перекрывают друг друга. За счет использования порождающих ядер с нулевым наклоном и нулевой высотой на границе это влияние преимущественно ограничивается зеркальной областью профиля усиления, в которой оно является значительно менее нежелательным.

Примеры конструкции экранов

Если экран имеет статистически однородное распределение порождающих ядер, необходимо, чтобы такие ядра преимущественно удовлетворяли предельным условиям освещения и наблюдения. Каждая точка на экране воспринимает освещение под одним (или несколькими) дискретными углами. На протяжении областей, связанных с совокупной статистикой, это освещение обычно может считаться коллимированным. Для каждой такой области освещения свет должен быть рассеян в диапазоне углов, соответствующих местоположению рассеяния в соответствии с требованиями к усилению. Для каждой такой точки важным количественным параметром является предельный угол, образующийся между направлением зеркального отражения и направлением наблюдения. Когда требования к рассеянию для каждой точки экрана накладываются друг на друга, периметр, называемый в описании "местоположением рассеяния", задает требования к диффузии микроструктуры экрана.

Местоположение рассеяния связано с плотностью распределения вероятностей наклона у микроструктуры экрана.

При описании микроструктурированного рассеивателя целесообразно рассмотреть наименьшую основную структурную единицу (или единицы), которая воспроизводится с целью формирования макроструктуры. Эта структурная единица именуется в описании порождающим ядром, и в случае поверхностного рассеивателя она имеет определенную топографическую форму, которая определяет диффузионный профиль отражающегося от нее света. В идеальной ситуации на это порождающее ядро приходится вся совокупная статистика требуемого рассеивателя, за счет чего последовательное изменение диффузии уменьшается до минимально возможной степени. В более общем случае этим статистическим данным может полностью удовлетворять не порождающее ядро, а совокупность таких структур.

Согласно одной из особенностей настоящего изобретения конструируют профиль порождающего ядра (или микроструктуры, содержащей множество порождающих ядер), чтобы исключить повторные отражения в пределах углов падения граней, соответствующих полному диапазону освещения/углов обзора. В одном из вариантов осуществления это делается путем определения местоположения рассеяния освещения/наблюдения с тем, чтобы обеспечить свет на всех необходимых местах в зрительном зале (на основании рассмотренных ранее геометрических расчетов), и конструирования порождающего ядра (или микроструктуры, содержащей множество порождающих ядер), в результате чего достигается одно из следующего: (1) плотность распределения вероятностей наклона, которая является однородной по всему местоположению рассеяния (практически ламбертовской), с небольшим, если только он не отсутствует, "всплеском" в направлении зеркального отражения; (2) плотность распределения вероятностей наклона, которая является пространственно однородной (например, $\pm 1\%$) с небольшой, если только она не отсутствует, воспринимаемой модуляцией по яркости; (3) плотность распределения вероятностей наклона, которая имеет резкую границу в угловом диапазоне по периметру местоположения рассеяния; (4) структура порождающих ядер, которая не содержит элементов размером менее нескольких микрон, за счет чего обеспечивается сохранение степени поляризации; (5) размеры элементов порождающих ядер менее нескольких сот микрон (что могло бы привести, например, к "зернистости" или "сверканию"); и (6) лучи, падающие в пределах периметра местоположения рассеяния, не подвергаются существенным повторным отражениям до достижения местоположения рассеяния.

За счет обеспечения резкой границы плотности распределения вероятностей наклона можно исключить лучи, которые имеют тенденцию к рассеянию в направлении падающего света (рассеяние в прямом направлении), или соседние структуры. Такой свет отражается два или более раз, обычно с существенным изменением поляризации. Кроме того, свет который в противном случае не достиг бы местоположения рассеяния, может использоваться для увеличения яркости изображения и исключения потери цвето-

насыщенности и контрастности под влиянием постороннего рассеянного света, отражающегося от поверхностей зала.

На фиг. 10 показана диаграмма 1000, на которой проиллюстрирована типичная одномерная вогнутая структура 1002, имеющая однородную плотность распределения вероятностей с резкой границей под углом 80° . С математической точки зрения к такой структуре предъявляются следующие требования. Во-первых, скорость изменения θ пропорциональна величине, обратной желаемой вероятности рассеяния, $D(\theta)$: $\partial\theta/\partial x = c1/D(\theta)$ (при этом c означает единицы инверсного расстояния и задает масштаб для порождающих ядер). Во-вторых, резкую границу распределения вероятностей задают путем установления границ интегрирования θ . Наконец, наклон в любой точке на поверхности равен тангенсу половины угла рассеяния: $\partial z/\partial x = \tan(\theta/2)$.

На фиг. 11 показана диаграмма, иллюстрирующая одномерную структуру 1100, являющуюся периодической и удовлетворяющей тем же критериям. Выпуклые элементы 1102 структуры получают путем поворота вогнутых элементов на 180° . Соседние ячейки структуры могут иметь произвольный размер при условии сохранения соотношения сторон, при этом размер остается достаточно малым, чтобы быть зрительно неразличимым, но достаточно большим, чтобы предотвращать диффузное рассеяние (например, менее нескольких сот микрон и более двух микрон), а в пределах местоположения рассеяния отсутствуют многократные отражения. Свет, падающий под углами вплоть до 10° , не подвергается многократному отражению, как это представлено отраженным лучом отраженным лучом 1104, за счет чего устраняется соседний максимум. Рандомизированная поверхность может быть генерирована путем мозаичного размещения множества элементарных ячеек различной ширины, как это обозначено позицией 1106.

В более общем смысле, статистическая поверхность может быть генерирована путем исключения дифференциального уравнения $\partial\theta/\partial x = c1/D(\theta)$, но сохранения плотности распределения вероятностей наклона $D(\theta)$. Отражающие структуры могут иметь различные размеры при условии, что плотность поверхностных элементов с наклоном θ равна $D(\theta)$. В частности, за счет этого в конструкции могут быть учтены различные требования к рассеянию в различных областях экрана.

На фиг. 12А-12Г схематически представлен вид сбоку произвольного кинотеатра, включая проектор, экран и пространство для зрителей.

Как показано на фиг. 12А, в процессе работы луч 1204 распространяется от проектора 1202 до нижней части экрана 1206. Чтобы осветить пространство 1208 для зрителей, свет должен быть рассеян в местоположении 1210 рассеяния. Местоположение рассеяния ограничено предельными углами при освещении и детектировании/наблюдении. В пределах местоположения рассеяния преимущественно происходят лишь однократные отражения от экрана в сторону местоположения рассеяния, тогда как за пределами местоположения рассеяния могут происходить многократные отражения.

На фиг. 12В схематически представлен один из примеров микроструктуры 1222 на поверхности экрана, показанной на фиг. 12А. Лучи 1224, 1226 и 1232 приблизительно параллельны лучу 1204, но освещают различные части микроструктуры. Лучи 1224 и 1226 подвергаются однократным зеркальным отражениям 1230 и 1228 до достижения местоположения 1210 рассеяния. Луч 1232, подвергается двум зеркальным отражениям, но исходящий луч 1234 не достигает местоположения 1210 рассеяния, и поэтому, вероятно, не вызовет снижения PCR.

В отличие от этого, на фиг. 12В показан луч 1242, распространяющийся от проектора до верха экрана 1206, который освещает преимущественно другое положение обзора в пределах местоположения рассеяния. На фиг. 12Г проиллюстрированы отражения 1268 от микроструктуры 1262, расположенной в верхней части экрана 1206, демонстрирующие, что лучи, падающие на верхнюю часть экрана, не подвергаются многократным отражениям, хотя некоторые отраженные лучи 1270 не достигают местоположения 1240 рассеяния.

Таким образом, в отличие от лучей, распространяющихся от проектора 1202 до верха экрана 1206, лучи, распространяющиеся вниз от проектора 1202 и падающие на нижнюю часть экрана 1206, предпочтительно должны рассеиваться преимущественно в другой части местоположения рассеяния, чтобы освещать пространство для зрителей, т.е. плотность распределения вероятностей наклона также является функцией угла падения. К тому же, поскольку при различных углах падения освещаются различные положения обзора, допустимо некоторое двойное отражение при условии, что свет не будет достигать местоположения рассеяния. Эти эффекты усиливаются с уменьшением проекционного расстояния. Хотя показана одиночная микроструктура 1222, 1262, в соответствии с настоящим изобретением одиночная микроструктура может состоять из одного или нескольких порождающих ядер.

На фиг. 13А и 13Б показаны диаграммы 1300, 1350 нескольких возможных кривых "усиления" для специально разработанных экранов, на которых свет рассеивается только в местоположении рассеяния, показанном на фиг. 7. В данном случае усиление вычисляется в пределах местоположения рассеяния и считается симметричным относительно вертикальной оси, но имеющим резкую границу, как это показано на фиг. 7. На диаграмме 1300 показано, что однородный (подобный ламбертовскому) профиль 1310 в пределах местоположения рассеяния приводит к повышению КПД почти на 30% по сравнению с профи-

лем 1320 типичного матового белого экрана. На диаграмме 1350 показано, что, если профиль усиления имеет такую же функциональную форму, как и киноэкран с существующим усилением, увеличение кпд 1360 составляет почти 100%. В качестве альтернативы, кривая усиления может быть сглажена, что проиллюстрировано линией 1340, в результате чего улучшается общая однородность по сравнению с обычным киноэкраном, что проиллюстрировано линией 1330, т.е. профиль усиления существующего киноэкрана расширяется преимущественно при такой же максимальной яркости.

На фиг. 14 показана полярная диаграмма 1400 нормального к граням местоположения относительно нормали к поверхности экрана, в котором светом проектора освещается преимущественно вся область обзора. В каждой точке на экране находится набор нормалей 1410 к граням, которые направляет свет из проектора на каждое отдельное зрительское место. Совокупность всех таких наборов на протяжении поверхности экрана образует местоположение нормалей 1420 к граням и гарантирует, что каждого зрителя достигает свет преимущественно от всех частей экрана. Любые нормали к граням, выходящие за пределы этого местоположения, приводят к потере света. Черные точки 1410 вычислены при нахождении места обзора в крайнем левом положении для случайного набора кинотеатров. Местоположение или кривая 1420 также охватывает углы обзора для находящихся в крайнем правом положении мест.

Были определены следующие желаемые геометрические свойства сохраняющего поляризацию проекционного экрана: (1) заполнение местоположения рассеяния светом с равномерным распределением интенсивности; (2) предотвращение многократных отражений света путем (а) введения угла отсечки в распределение света, чтобы не дать отраженному свету второй раз достигнуть экрана, и (b) обеспечение разнесения элементов с крутым наклоном, чтобы рассеянный свет под большими углами не достигал второй поверхности; (3) достижение эргодичности в пределах меньшей области, чем пиксель, т.е. полное местоположение рассеяния должно быть равномерно дискретизировано меньшей, чем пиксель областью экрана, чтобы интенсивность экрана была пространственно однородной; (4) обеспечение значительно больших размеров всех элементов, чем длина оптической волны, во избежание рассеяния; и (5) исключение периодических структур, которые могли бы в сочетании с пикселизацией проектора создавать муаровый эффект или интерференцию между наборами решеток уменьшенных размеров. Была найдена кривая, которая удовлетворяет этим требованиям при одномерном рассеянии.

Используемый в описании термин "эргодичность" означает условие, при котором среднее значение определенного параметра на протяжении конечной области преобразовано в среднее по множеству для всей области. Когда говорится, что какая-либо область определенного размера является эргодической, со статистической точки зрения она не отличается от любой области такого же или большего размера из множества.

Существуют две общие стратегии реализации поверхности двухмерного рассеивателя. Первая заключается в определении набора правил, который в среднем удовлетворяет требованиям для использования в случайных (стохастических) процессах. Выявление полностью случайных процессов, которые в целом удовлетворяют всем требованиям к разработке, может являться сложной задачей, однако изготовление этих поверхностей в целом может быть более простой задачей. Второй стратегией является конструирование специальной структуры, которая явно удовлетворяет всем из перечисленных требований. Тем самым гарантируются наилучшие характеристики, но требуется технология изготовления, позволяющая с высокой точностью переносить эту структуру на поверхность экрана.

Стохастическое конструирование

Существует множество доступных методов изготовления поверхностного рассеивателя из разупорядоченных структур. Они включают голографическую запись лазерного спекла, химическое травление, машинное травление (например, дробеструйную обработку) и нанесение металлопластинчатого покрытия, инкапсулированного в полимерном связующем. Локальная геометрия отдельных рассеивающих элементов у этих рассеивателей зависит от технологии создания рассеивателя. Например, в топографическом рассеивателе используются двухмерные гауссовы пики, тогда как металлопластинчатое покрытие состоит из множества плоских граней с острыми краями. Если пренебречь острыми краями, предполагается, что предельное число таких элементов согласуется со статистикой Гаусса. Таким образом, стохастический рассеиватель может приблизительно рассматриваться как случайно распределенный набор гауссовых рассеивающих элементов, имеющих определенную характеристическую высоту d и ширину o .

В принципе, средние значения d и a часто можно регулировать независимо друг от друга. Например, в случае лазерной спекл-структуры o означает характеристический размер спекла, и может регулироваться путем изменения расстояния до апертуры или размера апертуры. Если спекл-структура записана на фоторезист, d может регулироваться путем изменения времени и/или условий экспонирования. Аналогичным образом, в случае дробеструйной обработки σ будет связано с размером абляционных частиц, а d будет пропорционально их входящей скорости (в первом приближении). Таким образом, формирование правил проектирования для создания стохастических рассеивателей зависит от понимания зависимости между d , σ и сохранением поляризации, т.е. двойных отражений.

На фиг. 15 схематически представлен вид 1500 сверху вниз одного из примеров гауссовой поверхности и соответствующие виды 1502 и 1504 сбоку, которые были имитированы с помощью статистики

Гаусса, чтобы сверить вычислительную модель с экспериментами на физических образцах. Двухмерный рассеиватель с использованием статистики Гаусса имитируется путем заселения плоскости случайно расположенными гауссианами (например, гауссианами 1506 и 1508). В первом приближении достаточно использовать идентичные гауссианы (σ , d являются константами). Относительно однородное покрытие обеспечивается путем расположения пиков на гексагональной решетке и затем их случайного перемещения на гауссово взвешенное расстояние. Если стандартное отклонение перемещения является достаточно большим, лежащая в основании гексагональная структура стирается, и парные корреляции становятся гауссовыми. Это приводит к распределению гауссова шума, показанному на фиг. 15. Согласно этому примеру имитации $\sigma = 30 \text{ мкм}$, $d = 16 \text{ мкм}$, константа лежащей в основе решетки равна 60 мкм , а общая длина структуры равна 2 мм .

У этой структуры 1500 было имитировано распределение рассеяния и усиление с использованием программного обеспечения для непоследовательной трассировки лучей (ASAP). Для полного освещения поверхности при нормальном падении использовался однородный коллимированный источник света. Для ускорения вычислений и упрощения анализа пренебрегли поляризацией отдельных лучей и не учитывали негеометрические влияния (например, френелевскую отражательную способность, рассеяние со стороны элементов, размер которых меньше длины волны).

Чтобы вычислить усиление, использовали все лучи, которые отражались от поверхности только один раз.

На фиг. 16 показана диаграмма 1600, иллюстрирующая плотность лучей, отражающихся от типичной гауссовой поверхности, показанной на фиг. 15, в зависимости от угла. На диаграмме 1600 представлена двухмерная трассировка этих лучей как поверхность гауссова шума, а на диаграммах 1602 и 1604 проиллюстрирован профиль по горизонтали и вертикали, соответственно. Как показано на диаграмме 1600, имитированные лучи отразились от поверхности только один раз, а интенсивность масштабирована с использованием $\cos(\theta)$, чтобы показать усиление. Диаграмма усиления всех лучей, которые дважды отразились от поверхности, может использоваться для вычисления влияния деполяризации многократных отражений.

На фиг. 17 показана диаграмма 1700, иллюстрирующая интенсивность лучей, которые дважды отражаются от гауссовой поверхности, пример которой показан на фиг. 15. На диаграмме 1700 и боковых видах 1702, 1704 показано, что гауссова поверхность не является полностью эргодической, т.е. поскольку распределение рассеянного света не является равномерным по радиусу, эта поверхность не является статистически гладкой. Это согласуется с данными экспериментов на голографических рассеивателях со сходными размерами элементов, в которых отмечено значительное изменение интенсивности между соседними участками $3 \times 3 \text{ мм}$. Тем не менее, средняя величина радиального распределения служит хорошим приближением полного распределения. Коэффициент контрастности при поляризации при многократных отражениях представляет собой соотношение интенсивности при однократных отражениях, показанной на фиг. 16, и интенсивности при двойном отражении, показанной на фиг. 17.

На фиг. 18 показана диаграмма 1800, иллюстрирующая контрастность в зависимости от усиления в серии моделирований с различными амплитудами для рассеивающих гауссовых поверхностей. За счет увеличения амплитуды распределения шума ослабляется усиление структуры. При этом повышается вероятность многократных отражений и, следовательно, снижается контрастность. Тенденция является качественно сходной с тенденцией, наблюдаемой в серии голографических рассеивателей. Линия 1802, обозначающая смоделированный результат, имеет последовательно более высокую контрастность, чем линия 1804, обозначающая экспериментальный результат при отсутствии рассеяния на точечном рассеивателе, влияния френелевского отражения и конечной чувствительности к поляризации измерительной системы. Эта серия экспериментов выявляет некоторые из недостатков статистической поверхности в качестве рассеивателя киноэкрана. Таким структурам присущ компромисс между усилением (и, следовательно, однородностью освещения) и контрастностью. При условии допустимости более высокого усиления может быть достигнута более высокая контрастность. Тем не менее, следует отметить, что для достижения как высокой контрастности, так и низкого усиления требуется тщательно разработанная поверхность.

С целью диагностирования этих результатов могут быть вычислены рассеивающие свойства случайной поверхности. Рассмотрим гауссов пик с высотой d и шириной σ .

$$z(r) = d e^{-\frac{r^2}{\sigma^2}}$$

Максимальный наклон этого элемента возникает при $r = \frac{\sigma}{\sqrt{2}}$, в результате чего образуется угол отражения θ

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{2}}{\sigma} d e^{-\frac{1}{2}} \right)$$

Таким образом, при заданной высоте элемента может быть установлена минимальная ширина элемента σ_m с тем, чтобы получить угол θ_c отсечки для изолированных рассеивающих элементов.

На фиг. 19А-19Г схематически представлены диаграммы условий отражения для различных интервалов между гауссовыми пиками. На фиг. 19А схематически представлено отражение луча 1904 от одного рассеивающего элемента 1902. При условии, что θ_c меньше 90° , отраженный луч 1906 для одного рассеивающего элемента будет направлен в сторону от поверхности, и повторное отражение не происходит. На фиг. 19Б схематически представлены отражающие свойства при сближении соседних элементов 1922 и 1924. Тем не менее, при сближении соседних элементов 1922 и 1924 существует определенная область, в которой при больших углах отражения повторное отражение все же происходит. На фиг. 19В схематически представлена ситуация, в которой пики 1932 и 1934 сближаются еще больше. В данном случае двойное отражение исчезает, поскольку в результате наложения двух пиков уменьшается максимальный наклон в области между ними. На фиг. 19Г схематически представлен сценарий, в котором два пика 1942 и 1944 перекрывают друг друга, в результате чего максимальный наклон увеличивается, что во многих случаях приводит к многократному отражению. Таким образом, для соседних гауссовых пиков существует местоположение областей, в которых возникают многократные отражения.

На фиг. 20 показана диаграмма 2000, на которой показано, что для двух гауссовых пиков с одинаковой высотой и углом отсечки θ_c существует вычисленное местоположение разнесений, в которых не происходят многократные отражения. Чтобы вероятность двойного отражения от поверхности, ограниченной двумя пиками, была равна нулю (или близкой к нулю), θ_c гауссиана предпочтительно составляет менее 52° . При угле θ_c менее 80° между пиками отсутствуют многократные отражения, но они могут возникать, когда пики начинают перекрывать друг друга. Если бы рассматривалась возможность трех перекрывающихся друг друга пиков, θ_c был бы еще меньше. К сожалению, в типичном кинотеатре θ_c значительно меньше, чем желаемое местоположение рассеяния. Свет будет рассеиваться под большими углами по мере сближения пиков, но, чтобы использовать эту зависимость для заполнения местоположения рассеяния, потребовалось бы высокая плотность рассеивающих элементов. В этом случае резко возрастает вероятность более двух перекрывающихся друг друга элементов. В общем, попытка исключить двойное отражение путем снижения угла θ_c до менее 52° , приводит к тому, что свет не освещает все местоположение рассеяния.

Одним из способов решения описанной задачи является использование гауссовых пиков различной высоты и ширины. На фиг. 21А-21В схематически представлено наложение двух гауссовых пиков, имеющих $d_1=1$, $\sigma_1=1$ и $d_2=1/5$, $\sigma_2=1/5$. Для различных интервалов между пиками вычисляют угол отражения в зависимости положения. При достаточном интервале между пиками (смотри, например, фиг. 21 А) локальный угол отражения от поверхности равен углу отдельных гауссианов ($\theta_c = 50^\circ$). Вместе с тем, по мере сближения пиков максимальный наклон между ними увеличивается. На фиг. 21Б показано, что меньший пик расположен приблизительно на уступе большого пика. Затем максимальный наклон уменьшается по мере того, как пики точно перекрывают друг друга (смотри, например, фиг. 21В). Общий эффект аналогичен наложению элементов одинакового размера за исключением одного важного отличия: обеспечивается условие такого же максимального наклона, но средняя глубина поверхности значительно не увеличивается. Следовательно, рассеяние на большие углы остается относительно хорошо разнесенным, и вероятность повторного отражения является меньшей.

На фиг. 22 показана диаграмма распределения 2200 имитируемых шумов, на которой проиллюстрированы две картины распределения, состоящие из структур различной высоты и ширины, но преимущественно с одинаковым углом отсечки.

На фиг. 23А-23Г показаны диаграммы, на которых сравнивается усиление и контрастность рассеивателя, имеющего две картины распределения и различные характеристические размеры и рассеивателя, имеющего одну картину распределения и без различных характеристических размеров. Усиление, вычисленное для рассеивателя с различными характеристическими размерами, представлено более гладкой кривой 2302 (фиг. 23А), чем кривая 2352 усиления, вычисленная на основании лишь одной периодической структуры (фиг. 23В). Причина состоит в том, что за счет имеющих меньший размер элементов первой структуры кривая 2302 становится почти эргодической на меньшей площади, но усиление обеих структур является приблизительно одинаковым. Более того, пиковая контрастность рассеивателя с двумя картинами распределения (на фиг. 23Б, на которой показана увеличенная часть фиг. 23А) преимущественно в пять раз превышает пиковую контрастность рассеивателя с одной картиной (фиг. 23Г, на которой показана увеличенная часть фиг. 23Б). Средняя контрастность увеличивается более чем вдвое.

В заключение, практическим методом увеличения максимальной контрастности в чисто статистической структуре является наложение двух картин распределения, имеющих различные периодичности. Практические недостатки этого метода состоят в том, что меньший элемент предпочтительно должен оставаться относительно большим по сравнению с длиной световой волны (например, порядка десятков $\mu\text{м}$), а больший элемент должен предпочтительно оставаться относительно небольшим по сравнению с пикселем (например, порядка сотен $\mu\text{м}$). С помощью голографических рассеивателей это может быть достигнуто путем осуществления двух экспозиций, при этом вторую экспозицию устанавливают на уровне приблизительно в $1/5$ по высоте и в 5 раз больше по частоте. Другим способом решения этой задачи является нанесение на рельефную подложку покрытия из пластинчатого металла с высоким усиле-

нием.

Заказное конструирование

В настоящем изобретении также описан метод конструирования поверхностей, исходя из возможностей поточечного прецизионного конструирования высоты поверхности. В принципе, поверхность рассеивателя можно рассматривать как связанную сеть многоугольников. Затем можно осуществить имитационное моделирование методом Монте-Карло, чтобы найти оптимальную ориентацию и высоту этих многоугольников, при которой оптимизируются рассеивающие характеристики поверхности. Тем не менее, поскольку эргодичность желательна на протяжении небольшой области, ограничения минимального размера элемента, а также многократных отражений для этого требуются чрезмерно дорогостоящие вычисления.

Более практично использовать вместо этого конкретную генерирующую функцию, которая затем воспроизводится на протяжении поверхности рассеивателя. Эта функция может являться родовидовой функцией, такой как гауссова функция, и в этом случае статистика предпочтительно должна быть ограничена преимущественно негауссовым способом, чтобы удовлетворять конструктивным ограничениям. В качестве альтернативы, функцией может являться порождающее ядро, которое локально удовлетворяет желаемому свойству эргодичности.

После того, как определена генерирующая функция, она может быть воспроизведена в двух измерениях, чтобы заполнить поверхность. Любая двухмерная криволинейная поверхность может быть представлена двухмерным массивом значений, отображающих высоту поверхности. Например, показанные на фиг. 22 значения пикселей отображают высоту поверхности в каждой точке. Чтобы заполнить весь массив, могут быть мозаично размещено множество копий генерирующей функции. Двумя непосредственными и недорогими с точки зрения вычислений способами заполнения такого массива множество копий генерирующей функции являются подстановка и сложение. Подстановка заключается в замене значений пикселей в части окончательного массива значениями пикселей генерирующей функции. В областях, в которых две генерирующие функции могут перекрываться, одна из них может быть усечена. На фиг. 24А показана диаграмма 2400, усеченные перекрывающиеся функции 2410 и 2420. В результате перекрытия получают вертикальную грань 2430, которая должна быть скорректирована во избежание образования источников множественного рассеяния. Это может быть сделано путем замены вертикально грани наклонной гранью 2440, которая направляет свет вне местоположения рассеяния, т.е. имеет наклон более θ_c , но при этом достаточно небольшой, чтобы предотвращать повторное отражение. Сложение заключается в суммировании значений пикселей генерирующей функции со значениями пикселей всего массива. На фиг. 24Б показана диаграмма 2450, иллюстрирующая сложение значений пикселей генерирующих функций 2460 и 2470 со значениями пикселей всего массива. Следует отметить, что высота генерирующей функции является отрицательной, при этом высота = 0 обозначена линией 2490. Чтобы обеспечить плавный сплошной переход, высота и наклон генерирующей функции должны приближаться к нулю на границе 2480. Преимущество этого метода состоит в том, что, поскольку грани отсутствуют на границах, в принципе, можно лучше использовать доступный свет. Тем не менее, в среднем сложение приводит к снижению среднего соотношения сторон и тем самым увеличению усиления рассеивателя, и, следовательно, должно корректироваться, как это описано далее.

Согласно данным исследований случайных рассеивателей даже когда генерирующий рассеивающий элемент имеет угол отсечки, предотвращающий повторное отражение от поверхности, при взаимодействии двух пиков прогнозируемым способом (т.е., когда они точно перекрываются или чрезмерно сближаются) происходят многократные отражения. В случае статистики Гаусса эти ситуации могут возникать для определенной конечной процентной доли элементов. Таким образом, непосредственным методом повышения контрастности является изменение преимущественно негауссовым способом статистики положений пиков, чтобы предотвратить нежелательные проявления. Простейший способ сделать это состоит в ограничении случайного переноса пиков, чтобы они не могли перекрываться. Тем не менее, перенос должен быть достаточно большим, чтобы статистически скрывать лежащую в основе гексагональную природу решетки.

Выведение линзы двухмерного рассеивателя является несколько более сложной задачей, чем вращение одномерной кривой. Если исходить из осесимметричного распределения, получаем следующее дифференциальное уравнение, описывающее θ в зависимости от r :

$$\frac{\text{flux}}{\text{steradian}} = \frac{I_0 r dr}{\sin \theta d\theta} = \alpha D(\theta)$$

в котором $D(\theta)$ означает функцию желаемого распределения, I_0 означает падающий поток на единицу площади, а α означает константу пропорциональности. Чтобы вычислить α , общий поток, падающий на порождающее ядро, приравняют к интегралу функции распределения на протяжении всех телесных углов:

$$I_0 \pi (r_M^2 - r_m^2) = 2\pi \int_0^{\theta_c} \alpha D(\theta) \sin \theta d\theta$$

при этом r_m означает внутренний радиус порождающего ядра (который может равняться 0), r_M озна-

част внешний радиус порождающего ядра, а θ_c означает угол отсечки функции распределения. После того, как определена зависимость θ от r , на следующем этапе интегрируют наклон поверхности, чтобы определить высоту поверхности:

$$\frac{dz}{dr} = \tan \frac{\theta}{2}$$

В целом это интегрирование является достаточно сложной аналитической задачей, но может быть относительно легко осуществлено количественно. На фиг. 25А-25В показаны диаграммы нескольких примеров решений уравнений 3-5 для $D(\theta) = \cos(\theta)$, т.е. порождающего ядра или ламбертовского рассеивателя. На фиг. 25А показана диаграмма 2500 решения, генерированного в круговой области с максимальным радиусом $r_M=1$ и максимальным наклоном на его внешней границе. На фиг. 25В показана диаграмма 2510 одного из примеров, генерированного в кольцевой области с внутренним радиусом $r_{in}=1$ и внешним радиусом $r_M=1.5$. Поскольку максимальный наклон в области 2510 образуется на внутренней поверхности, оба решения можно эффективно объединить, чтобы создать решение 2550. На фиг. 25В показана диаграмма 2550 одного из примеров решения порождающего ядра, генерированного путем сочетания решений 2500 и 2510. После осуществления этой процедуры возможны произвольные диффузионные профили $D(\theta)$ с соблюдением упомянутых ограничений угла отсечки.

На фиг. 26 показана диаграмма 2600, иллюстрирующая усиление, имитированное посредством непоследовательной трассировки лучей для двухмерного ламбертовского порождающего ядра.

На фиг. 27 показана диаграмма 2700 радиально усредненного усиления для порождающего ядра, показанного на фиг. 26. Полное заполнение экрана с использованием решения 2550 (показанного на фиг. 25В) вызывает затруднения, связанные с преимущественным исключением пустого пространства, но с минимальным искажением порождающего ядра.

Мозаичное размещение порождающих ядер

Одним из способов заполнения экрана специально разработанными порождающими ядрами является мозаичное размещение порождающих ядер в решетчатой конфигурации, например, квадрате, шестиугольнике или любой другой решетке правильной формы.

На фиг. 28 схематически представлен один из примеров конфигурации гексагональной решетки 2800. Тем не менее, как описано выше, пустое пространство является нежелательным с точки зрения оптимального использования доступного света и предотвращения увеличения зеркальной отражательной способности ("всплеска" отражательной способности). Чтобы преимущественно исключить пустое пространство, порождающие ядра 2802 в гексагональной решетке 2800 могут перекрывать друг друга. Например, чтобы исключить пустое пространство на экране с использованием гексагональной решетки 2800 порождающих ядер с диаметром элементарной ячейки $2/\sqrt{3}$, перекрывается приблизительно 20,9% площади элементарных ячеек.

На фиг. 29 схематически представлено перекрытие элементарных ячеек 2910 гексагональной решетки 2900 порождающих ядер.

На фиг. 30 показана диаграмма, иллюстрирующая перекрытие элементарных ячеек 3010 квадратной решетки 3000. Для заполнения квадратной решетки 3000 могут потребоваться дополнительные элементарные ячейки 3020 меньшего размера, радиус которых является функцией радиуса более крупных ячеек 3030. В квадратной решетке 3000, показанной на фиг. 30, оптимальным является перекрытие 17,9%. Как описано далее, перекрытие порождающих ядер изменяет усиление комбинированной структуры. Изменение усиления является функцией расстояния между центрами ближайших соседних отдельных порождающих ядер, которое в свою очередь является функцией азимута в пределах решетки. Таким образом, совершенная решетка имеет отклонение распределения рассеянного света, отражающее локальное расположение порождающих ядер. Например, гексагональная решетка имеет шестикратную симметрию, при которой ближайшие соседи заданной точки распределены вокруг этой точки через каждые 60° . Следовательно, распределение рассеянного света будет иметь азимутальную модуляцию с периодичностью 60° , амплитуда которой пропорциональна степени перекрытия порождающих ядер. Регулярные решетки порождающих ядер могут приводить к появлению муарового эффекта, дифракции и других нежелательных эффектов. Изменение регулярной решетки с целью достижения большей рандомизации, например, путем использования гексагональной решетки с рандомизированными точками ослабляет эти эффекты. Дополнительное перекрытие может стать результатом рандомизации регулярной решетки. Помимо положений элементарных ячеек также могут быть рандомизированы их размеры. Тем не менее, в этом случае становится почти невозможным предварительно корректировать перекрытие структур.

На фиг. 31 схематически представлена гексагональная решетка 3100 с возможностью рандомизации центральной точки 0,11. Эта конфигурация обеспечивает зону 3110 перекрытия в 60%.

На фиг. 32 показана диаграмма 3200 гексагональной решетки с меньшими ячейками 3220, распределенными среди более крупных ячеек 3230, за счет чего получают значительно меньшую зону 3210 перекрытия в 9,4%. Показанное на фиг. 32 расположение ячеек обеспечивает дополнительную рандомизацию.

Для ослабления влияния решетки также могут использоваться другие методы. Например, за счет использования для начального мозаичного размещения более крупных элементарных ячеек, состоящих

из множества порождающих ядер, можно снизить степень рандомизации, необходимой, чтобы скрыть структуру решетки в профиле рассеяния. Гексагональная решетка имеет шестикратную осевую симметрию, но при сочетании двух отдельных гексагональных решеток с взаимным поворотом на 30° симметрия становится 12-кратной. Это может быть сделано с помощью любого числа бесконечных наборов наполовину или частично регулярных мозаичных структур. Поскольку наполовину или частично регулярные мозаичные структуры обычно содержат множество многоугольников (например, треугольников и квадратов), их размеры позволяют заполнять решетку, что обеспечивает дополнительное изменение высоты и ориентации рассеивающих элементов и ослабляет интерференцию. На фиг. 33А представлена диаграмма 3300, иллюстрирующая полурегулярную мозаичную структуру. На фиг. 33В представлена диаграмма 3350, иллюстрирующая элементарную ячейку этой мозаичной структуры, которая состоит из двух компонентов 3360 и 3370 гексагональной решетки, а также трех квадратных решеток 3380. Вершины многоугольников указывают генерирующих функций. Ближайшие соседние направления в этой мозаичной структуре имеют ориентации 0, 30, 60, 90, 120...330 в отличие от 0, 60, 120...300 у правильной гексагональной решетки. К тому же, квадратные элементы вносят дополнительный набор углов: 15, 45, 75...345. На фиг. 33В и 33Г представлены диаграммы, иллюстрирующие вершину многоугольника 3390 и 3396 (и центры генерирующих функций). Интервал повторяемости структуры по-прежнему значительно меньше размеров пикселя.

Псевдослучайные мозаичные структуры произвольно большого размера могут быть генерированы путем двухмерного имитационного моделирования плавления кристаллов методом Монте-Карло. Такие способы хорошо известны и применяются для исследования взаимодействий жестких дисков, а также частиц с произвольными потенциалами притяжения/отталкивания. Начальной точкой имитационного моделирования является генерация двухмерной регулярной решетки частиц. Затем из ансамбля частиц извлекают случайную частицу и переносят на небольшую фиксированную величину. Если в результате переноса получают область, не покрытую диском, перемещение отклоняют. Если в результате переноса уменьшается общая степень перекрытия частиц, его принимают. Если общая степень перекрытия возрастает, перемещение принимают с вероятностью, обратно пропорциональной степени возрастания. Этот процесс повторяют, пока система не достигнет равновесия. Обычно при усилении ограничений на упаковку при таком имитационном моделировании оно сводится к гексагональной решетке. Таким образом, чтобы подавить кристалличность и свести к минимуму перекрытие частиц, полезно ввести случайное изменение размеров частицы на стадии имитационного моделирования методом Монте-Карло (с соблюдением сходных ограничений).

На фиг. 34 представлена диаграмма 3400 рандомизации посредством горизонтального перемещения. За счет равномерно генерируемых перемещений может обеспечиваться полное покрытие поверхности, как обозначено позицией 3400.

На фиг. 35 показана диаграмма 3500 распределения вероятностей при смещении от центра одной ячейки к центру другой ячейки для поверхности с рандомизированным горизонтальным смещением, показанной на фиг. 34. Как показано на диаграмме 3500, максимальное перемещение соседних структур составляет 2,0, а среднее перемещение 0,905.

Общая структура, например, гауссов пик, необязательно обеспечивает идеальное распределение рассеяния. Вместо этого статистика размера и положения структуры может регулироваться таким образом, чтобы было достигнуто распределение относительно большого числа элементов. В случаях, когда сложно конкретно конструировать элементарную ячейку рассеивателя, например, голографических или травленных рассеивателей, общий элемент, такой как гауссов пик полезен для определения конструктивных параметров. Одна ячейка, порождающее ядро или микроструктура, содержащая множество порождающих ядер, в идеале имеет наклон, приближающийся к нулю при определенном радиусе отсечки, чтобы ячейки могли быть бесшовно сшиты. Идеальное порождающее ядро, специально сконструированное порождающее ядро или микроструктура, содержащая множество порождающих ядер, также предпочтительно является эргодической в том смысле, что порождающее ядро в отдельности обеспечивает всю желаемую функцию распределения. Порождающее ядро, которое обеспечивает ламбертовское распределение, является локально эргодическим. Эргодическая генерирующая функция помогает обеспечивать сведение к минимуму изменений интенсивности на протяжении поверхности рассеивателя.

Рассеивающие элементы изолированного гауссова пика моделируют с помощью следующего уравнения:

$$z(r) = z_0 e^{-r^2}$$

$$z(r) = z_0 e^{-r^2}$$

Максимальный наклон изолированного гауссова пика находится в положении $r = 1/2$. Максимальный угол отражения равен:

$$\theta_{\max} = 2 \tan^{-1}(\sqrt{2} z_0 e^{-1/2})$$

Чтобы получить наклон отсечки θ_c , выберем z_0 :

$$z_0 = \frac{\tan(\theta_c/2)}{\sqrt{2}} e^{-1/2}$$

И в этом случае соседние пики могут вызывать двойное отражение в зависимости от θ_c и сближения, но при θ_c менее $\sim 80^\circ$ многократные отражения отсутствуют (за исключением перекрывающихся пиков), как это показано на фиг. 20.

На фиг. 36 показана диаграмма 3600 угла рассеяния в зависимости от интервала между гауссовыми пиками.

На фиг. 37 показана диаграмма 3700, иллюстрирующая угол отсечки структуры с перекрывающимися гауссовыми характеристиками.

В случае специально сконструированного порождающего ядра перекрытие элементарных ячеек и рандомизация местоположения элементарных ячеек может приводить к сложностям, аналогичным тем, которые описаны выше, например, двойному отражению и изменению профиля усиления. Путем выбора аддитивного метода размещения элементарных ячеек внутри массива преимущественно исключается вероятность двойного отражения, и остается скорректировать изменение профиля усиления.

На фиг. 38А и 38Б показаны диаграммы 3800 и 3850, иллюстрирующие перекрытие двух образцов конфигураций специально сконструированного ламбертовского рассеивателя. Линии 3810, 3811 и 3812 отображают ламбертовские поверхности. Линия 3820 отображает сумму линий 3811 и 3812 и показывает, что усиление в конфигурации 3800 суммы поверхностей является слишком высоким. Когда в конфигурации 3850 порождающие ядра сближаются еще больше, линия 3820 опускается еще ниже, показывая, что является еще более высоким.

Одним из способов решения этой задачи является предкоррекция перекрытия порождающих ядер. На фиг. 39А и 39Б проиллюстрирован способ предкоррекции порождающих ядер, чтобы устранить перекрытие. Порождающее ядро А, генерированное путем вращения линии а, является эргодическим; порождающее ядро В, генерированное путем вращения линии б, является эргодическим; и порождающее ядро С, генерированное путем вращения линии с, является максимально близким к эргодическому при соблюдении ограничения:

$$c'(r_{\text{Max}}) = 0,$$

$$\text{в котором } b(r) + b(r-l) = c(r); (r < l/2).$$

$$b'(r) + b'(r_{\text{Max}} - (r - r_{\text{Min}})) = c(r),$$

$$(b'(r) - b(r))^2 + (b'(r_{\text{Max}} - (r - r_{\text{Min}})) - b(r_{\text{Max}} - r_{\text{Min}}))^2.$$

На фиг. 40 показана диаграмма 4000 предварительно скорректированной ячейки с перекрытием ламбертовского рассеивателя перекрытие ламбертовского рассеивателя.

Линии 4010 и 4020 отображают форму целевого рассеивателя. Линия 4030 является решением, позволяющим получить линию 4020 и свести к минимуму отклонение от линии 4010. Хотя вычисления полностью не обеспечивают предкоррекцию перекрытия произвольного профиля усиления, результаты являются достаточно удовлетворительными. В этом случае наклон на краях порождающего ядра является нулевым. Профиль усиления имеет резкую границу под углом 80° , за счет чего диффузия преимущественно отсутствует под углом более 80° .

Если предкоррекция перекрытия профиля порождающего ядра является недостаточной, может быть принят дополнительный шаг, чтобы достичь желаемого диффузионного профиля. На фиг. 41А показана диаграмма 4100 одного из примеров профиля 4110 усиления, на которой по отдельности показаны вклады перекрывающихся областей 4120 и неперекрывающихся областей 4130 после рандомизации структуры. Если предкоррекция перекрывающейся области является несовершенной, общее усиление не согласуется с целевым усилением, как это показано линиями 4110. Предкоррекция также может осуществляться в неперекрывающихся областях с целью учета погрешности. На фиг. 41Б показана диаграмма одного из примеров профиля усиления с дополняющей коррекцией в перекрывающихся и неперекрывающихся областях с тем, чтобы общее усиление было равно целевому усилению. Общее усиление можно записать в виде следующего уравнения:

$$G(\theta) = G_a(\theta)A_a + G_b(\theta)A_b,$$

в котором $G(\theta)$ означает целевое усиление, $G_a(\theta)/G_b(\theta)$ означают кривые усиления, соответствующие неперекрывающимся и перекрывающимся областям порождающего ядра, а A_a/A_b означают площади неперекрывающейся и перекрывающейся областей, соответственно. Если $G_b(\theta) \neq G(\theta)$, можно определить вклад скорректированного усиления $G'_a(\theta)$ в неперекрывающейся области:

$$G'_a(\theta) = \frac{G(\theta) - G'_b(\theta)A_b}{A_a}.$$

Затем должны быть решены уравнения 3-5, чтобы найти правильную форму для области порождающего ядра, не подверженной перекрытию. Сумма 4160 обеих предварительно скорректированных областей, т.е. перекрывающейся области 4170 и неперекрывающейся области 4180 преимущественно согласуется с целевым профилем усиления. В отличие от метода итеративной разработки, описанного Morris, эта процедура является детерминированной и обеспечивает оптимальное конструирование на протяжении фиксированного числа стадий, т.е. конструирование порождающего ядра в перекрывающейся-

ся области, предкоррекцию порождающего ядра в перекрывающейся области и конструирование порождающего ядра в неперекрывающейся области.

За счет использования описанного выше специально сконструированного порождающего значительно ослабляется проблема зернистости, которая присуща обычному киноэкрану. Поскольку каждое отдельное порождающее ядро отображает преимущественно весь диффузионный профиль, по большей части устраняются крупномасштабные пространственные флуктуации из-за статистической изменчивости даже при больших углах рассеяния, т.е. каждое отдельное порождающее ядро имеет по меньшей мере две области, вносящие вклад в интенсивность при любом заданном азимутальном угле.

Рандомизация высоты поверхности рассеивателя путем внесения шума в определенной форме может использоваться для устранения когерентной спекл-структуры вблизи направления обратного отражения. Амплитуда этой рандомизации должна малую величину, кратную длине оптической волны, чтобы скремблировать фазу отраженного света.

Практические выгоды и соображения, связанные с созданием экрана согласно настоящему изобретению, включают минимальные затраты на единицу площади, пространственную однородность характеристик, эксплуатационную надежность при изготовлении и безопасности в обращении и очистке.

Стоимость материала экрана может быть сведена к минимуму путем использования в максимально возможной степени существующих рулонных технологий. Инфраструктура изготовления проката для оптимизированного материала экрана может включать устройство, которое осуществляет микротиснение, металлизацию, нанесение прозрачных диэлектрических (твердых) покрытий, прецизионной продольной резки и перфорирования (для прохождения звука). В настоящее время существуют рулонные технологии тиснения без (поперечных) швов, которые характерны для обычных никелевых прокладок. Согласно предпочтительной технологии изготовления непрерывный материал рассеивателя получают методом УФ-тиснения с использованием барабана для бесшовного тиснения. Согласно этой технологии из полос проката для рассеивателя легко изготавливают готовые экраны путем их соединения. С помощью прецизионной рулонной продольной резки эти полосы могут быть соединены встык с достаточно малыми зазорами для того, чтобы швы преимущественно не были заметны в кинотеатре. Тем самым для изготовления готовых киноэкранов может использоваться технология сращивания концов пленки.

Эта технология должна предпочтительно обеспечивать достаточную прочность и надежность соединений при монтаже или растягивании экрана на раме. Шов (и любая окружающая область, затронутая процессом соединения) предпочтительно должен быть достаточно небольшим, чтобы его не могли заметить зрители.

Потенциальная выгода сращивания пленки до нанесения покрытия (например, распыления металлических пластинок) состоит в том способности оптически толстых слоев сглаживать небольшие особенности рельефа. На практике места соединений на таких экранах часто заметны, поскольку шов имеет асимметричный "переход". Из-за сильного зеркального отражения соответствующая макроскопическая грань создает сильное нарушение углового рассеяния света. Если материал является плоским на протяжении соединения (например, как у стыкового соединения), швы в целом незаметны, когда зазор составляет менее приблизительно 50 мкм, в большинстве случаев до 100 мкм. Он может быть даже еще больше, если предпринять дополнительные меры, чтобы замаскировать соединение, такие как рандомизация профиля края.

Если прецизионная рулонная продольная резка не обеспечивает достаточную точность, другим предпочтительным методом изготовления готового экрана из полос с покрытием, когда по соображениям прочности полосы свисают вертикально, является одновременная резка листов, чтобы их можно было легко соединить встык. Это может быть сделано путем соединения листов внахлест и использования одного ножа или пары ножей с постоянным разном. Хотя при этом смягчаются требования к прямолинейности краев, процесс является периодическим и является существенно более трудоемким, чем прецизионная рулонная продольная резка.

После резки два листа могут быть соединены встык путем сближения листов на месте с помощью системы роликов соответствующего профиля или путем перемещения листа с помощью вакуумного стола для универсального соединения материалов встык. Пленки, расположенные поверхностями с покрытием вниз, могут быть соединены любым из нескольких способов, включая склеивание, химическое связывание или сварку. Склеивание может включать отверждение УФ-излучением, отверждение электронным лучом или различные термореактивные процессы. Химическое связывание может включать использование растворителей или растворителей с добавками. Сварка может включать использование различных средств подачи тепловой энергии на стык, предпочтительно лазеров.

С учетом недостаточности площади поверхности, соответствующей стыковому соединению, для обеспечения прочности стыка, вероятно, может использоваться дополнительная механическая опорная конструкция. Она может быть обеспечена с помощью подкладочной полосы, которая создает Т-образное соединение. Толщина и размер подкладочной полосы могут быть выбраны таким образом, чтобы передняя поверхность готового (растянутого) экрана была однородной на протяжении его границ. В некоторых случаях предпочтительно наложить весь экран на вспомогательный подкладочный лист, например, ткани, чтобы дополнительно улучшить его прочность и внешний вид.

В экране с более сложной конструкцией согласно настоящему изобретению может быть предусмотрено локальное (зависящее от положения) регулирование диффузионных свойств. Это может быть сделано путем изготовления рулонов материала, предназначенных для конкретных участков экрана. Обычно при этом предусматривается угол смещения направления рассеяния или в случае экрана по типу ламбертовского смещение (в первом приближении) центра тяжести местоположения.

Если допустить, что материал экрана изготавливают рулонным методом, а полосы также свисают вертикально, вероятно, что локальная коррекция осуществляется в горизонтальном направлении. Поскольку конструкция поперечного диффузионного профиля любого листа может изменяться адиабатически, на границе между листами отсутствует резкое изменение диффузионного профиля. За счет этого можно изготавливать экраны очень больших размеров с оптимизированными диффузионными свойствами, квазинепрерывно изменяющимися в горизонтальном направлении.

Экран, изготовленный, как это описано выше, может обладать такими же характеристиками, как и экран изогнутый вокруг вертикальной оси, но иметь плоский формат. Кроме того, характеристики образованного составными кривыми (например, тороидального) экрана могут быть достигнуты путем искривления упомянутого экрана вокруг горизонтальной оси. Тем самым исключаются сложности при изготовлении большого образованного составными кривыми экрана (например, вакуумирование пространства позади плоского/гибкого материала экрана).

Хотя выше описаны различные варианты осуществления согласно раскрытым в изобретении принципам, подразумевается, что они представлены лишь в качестве примера, а не ограничения. Так, объем изобретения(-й) должен быть ограничен не каким-либо из описанных выше примеров осуществления, а только формулой изобретения и ее эквивалентами, вытекающими из настоящего описания. К тому же, изложенные в описанных вариантах изобретения преимущества и признаки изобретения не должны ограничивать применимость формулы изобретения к процессам и структурам, в которых реализованы какие-либо или все из упомянутых преимуществ.

Помимо этого, содержащиеся в описании заголовки разделов приведены в соответствии с рекомендациями статьи 1.77 Раздела 37 Свода федеральных нормативных актов США или для облегчения поиска информации. Эти заголовки не ограничивают и не описывают изобретение(-я), заявленное в каком-либо из пунктов формулы изобретения, который может вытекать из раскрытия. В частности и в качестве примера, хотя в описании содержится раздел под заголовком "Область техники, к которой относится изобретение", формула изобретения не должна быть ограничена содержанием этого раздела, в котором описана так называемая область техники. Кроме того, описание технологии в разделе "Предпосылки создания изобретения" не должно считаться признанием того, что определенная технология является прототипом какого-либо изобретения, раскрытого в настоящем описании. Раздел "Краткое изложение сущности изобретения" также не должен рассматриваться в качестве описания изобретения(-й), заявленного в формуле изобретения. Помимо этого, любое упоминание в настоящем описании "изобретения" в единственном числе не должно использоваться для доказательства того, что в настоящем описании раскрыт лишь один обладающий новизной объект. В объеме множества пунктов формулы изобретения, вытекающих из настоящего описания, может входить множество изобретений, и соответственно в таких пунктах формулы изобретения заявлено охраняемые ими изобретение(-я) и его эквиваленты. Во всех случаях объем таких пунктов формулы изобретения рассматривается согласно их существу в свете настоящего описания, и не должен быть ограничен приведенными в описании заголовками разделов.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Проекционная система, содержащая

проекционный экран, содержащий криволинейную отражающую поверхность, имеющую заданный профиль рассеяния для отражения света, падающего в заданном диапазоне углов падения, в заданную область пространства, при этом свет, отраженный в заданную область пространства, в основном претерпевает не более одного отражения от криволинейной отражающей поверхности, которая представляет собой выполненный рулонным тиснением микроструктурированный рассеиватель, содержащий порождающие ядра с топографической формой, обеспечивающей, по существу, исключение повторных отражений света в указанную область пространства; и

проекционное устройство, направляющее поляризационно-кодированный свет на проекционный экран.

2. Проекционный экран, содержащий криволинейную отражающую поверхность, имеющую заданный профиль рассеяния для отражения света, падающего в заданном диапазоне углов падения, в заданную область пространства, при этом свет, отраженный в заданную область пространства, в основном претерпевает не более одного отражения от криволинейной отражающей поверхности, которая представляет собой выполненный рулонным тиснением микроструктурированный рассеиватель, содержащий порождающие ядра с топографической формой, обеспечивающей, по существу, исключение повторных отражений света в указанную область.

3. Проекционный экран по п.2, в котором падающий свет является поляризованным, а указанный

отраженный свет сохраняет такое же состояние поляризации.

4. Проекционный экран по п.2, в котором криволинейная отражающая поверхность содержит множество порождающих ядер.

5. Проекционный экран по п.4, в котором каждое порождающее ядро в основном удовлетворяет заданному профилю рассеяния.

6. Проекционный экран по п.5, в котором каждое порождающее ядро способно сводить к минимуму поточечные изменения рассеяния.

7. Проекционный экран по п.4, в котором множество порождающих ядер удовлетворяют заданному профилю рассеяния.

8. Проекционный экран по п.7, в котором множество порождающих ядер способны сводить к минимуму поточечные изменения рассеяния.

9. Проекционный экран по п.4, в котором множество порождающих ядер удовлетворяют статистической модели для сведения к минимуму двойного отражения между порождающими ядрами.

10. Проекционный экран по п.2, в котором заданная область пространства определена заданным диапазоном углов отражения.

11. Проекционный экран по п.2, в котором заданная область пространства определена областью, в которой свет, отраженный от криволинейной отражающей поверхности, в основном претерпевает не более одного отражения, а свет, отраженный от криволинейной отражающей поверхности за пределами этой области, претерпевает одно и более отражений.

12. Проекционный экран по п.4, в котором множество порождающих ядер распределены таким образом, чтобы оптимизировать обзор из положения, находящегося в заданной области пространства.

13. Проекционный экран по п.2, в котором заданная область пространства охватывает, по существу, все положения обзора в зрительном зале.

14. Проекционный экран по п.4, дополнительно содержащий диэлектрическое покрытие, распределенное среди множества порождающих ядер.

15. Проекционный экран по п.4, в котором множество порождающих ядер распределено в виде в основном регулярной решетки.

16. Проекционный экран по п.15, в котором в основном регулярная решетка представляет собой гексагональную решетку.

17. Проекционный экран по п.15, в котором множество порождающих ядер распределено в мозаичном порядке.

18. Проекционный экран по п.15, в котором в основном регулярная решетка содержит рандомизированные центры.

19. Проекционный экран по п.15, в котором по меньшей мере два порождающих ядра, по существу, перекрывают друг друга.

20. Проекционный экран по п.4, в котором по меньшей мере одно из порождающих ядер служит для предкоррекции сдвига в результате перекрытия соседних порождающих ядер.

21. Способ отражения света на проекционном экране по п.2, включающий в себя этапы, на которых образуют криволинейную отражающую поверхность с заданным профилем рассеяния, обеспечивающим отражение света, падающего в заданном диапазоне углов падения, в заданную область пространства, таким образом, что свет, отраженный в заданную область пространства, в основном претерпевает не более одного отражения от криволинейной отражающей поверхности, а криволинейная отражающая поверхность представляет собой выполненный рулонным тиснением микроструктурированный рассеиватель, содержащий порождающие ядра с топографической формой, обеспечивающей, по существу, исключение повторных отражений света в заданную область пространства.

22. Способ по п.21, в котором падающий свет является поляризованным, а указанный отраженный свет сохраняет такое же состояние поляризации.

23. Способ по п.21, в котором криволинейная отражающая поверхность содержит множество порождающих ядер.

24. Способ по п.23, в котором дополнительно обеспечивают, чтобы каждое порождающее ядро удовлетворяло заданному профилю рассеяния.

25. Способ по п.24, в котором дополнительно обеспечивают, чтобы каждое порождающее ядро сводило к минимуму поточечное изменение рассеяния.

26. Способ по п.23, в котором дополнительно обеспечивают, чтобы множество порождающих ядер удовлетворяло заданному профилю рассеяния.

27. Способ по п.26, в котором дополнительно обеспечивают, чтобы множество порождающих ядер сводило к минимуму поточечное изменение рассеяния.

28. Способ по п.23, в котором дополнительно обеспечивают, чтобы множество порождающих ядер удовлетворяло статистической модели для сведения к минимуму двойного отражения между порождающими ядрами.

29. Способ по п.21, в котором дополнительно ограничивают заданную область пространства заданным диапазоном углов отражения.

30. Способ по п.21, в котором дополнительно заданную область пространства ограничивают областью, в которой свет, отраженный от криволинейной отражающей поверхности, в основном претерпевает не более одного отражения, а свет, отраженный от криволинейной отражающей поверхности за пределами этой области, претерпевает одно и более отражений.

31. Способ по п.23, в котором распределяют множество порождающих ядер таким образом, чтобы оптимизировать обзор из положения, находящегося в заданной области пространства.

32. Способ по п.21, в котором заданную область пространства выбирают таким образом, чтобы она охватывала, по существу, все положения обзора в зрительном зале.

33. Способ по п.21, в котором дополнительно усиливают яркость света, отраженного в заданную область пространства.

34. Способ по п.21, в котором дополнительно обеспечивают в основном равномерное распределение света, отраженного в заданную область пространства.

35. Способ по п.21, в котором дополнительно усиливают контрастность света, отраженного в заданную область пространства.

36. Способ по п.21, в котором дополнительно обеспечивают, чтобы свет, отраженный в заданную область пространства, удовлетворял заданному профилю усиления.

37. Способ по п.23, в котором дополнительно используют диэлектрическое покрытие, которое распределяют среди множества порождающих ядер.

38. Способ по п.23, в котором дополнительно распределяют множество порождающих ядер в виде в основном регулярной решетки.

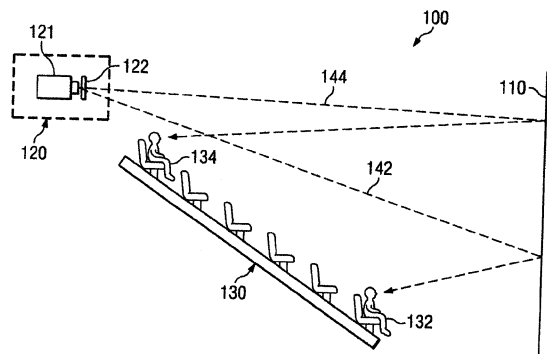
39. Способ по п.23, в котором дополнительно распределяют множество порождающих ядер в виде в основном гексагональной решетки.

40. Способ по п.23, в котором дополнительно распределяют множество порождающих ядер в мозаичном порядке.

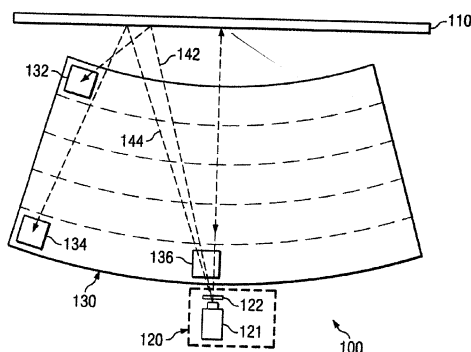
41. Способ по п.38, в котором дополнительно рандомизируют центры в основном регулярной решетки.

42. Способ по п.38, в котором дополнительно обеспечивают перекрытие по меньшей мере двух порождающих ядер.

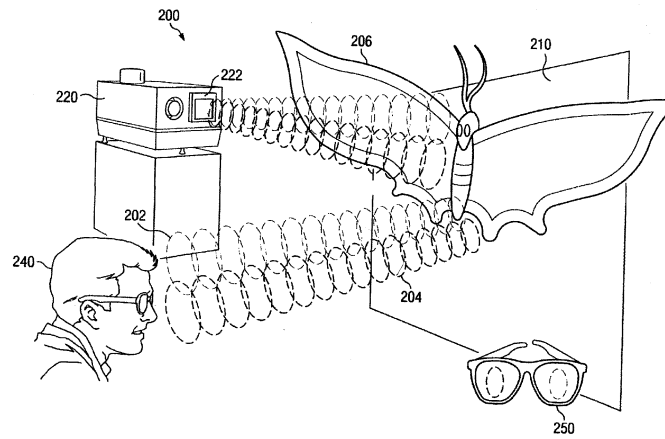
43. Способ по п.23, в котором дополнительно используют по меньшей мере одно из порождающих ядер для предкоррекции сдвига в результате перекрытия соседних порождающих ядер.



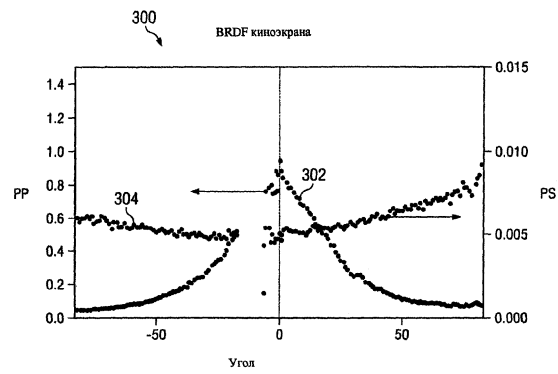
Фиг. 1А



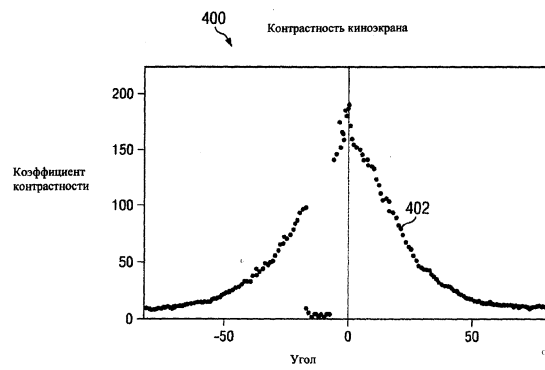
Фиг. 1Б



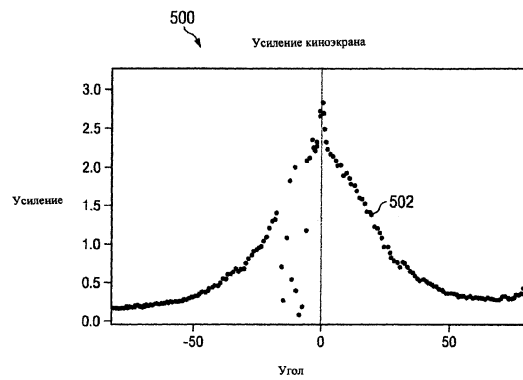
Фиг. 2



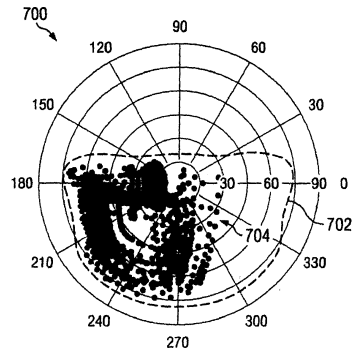
Фиг. 3



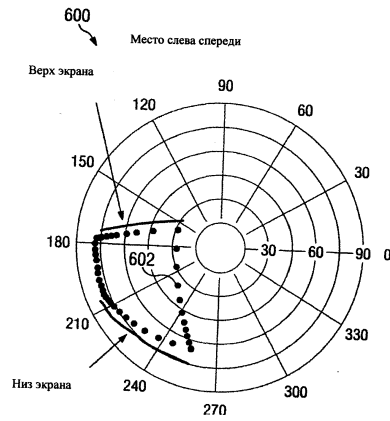
Фиг. 4



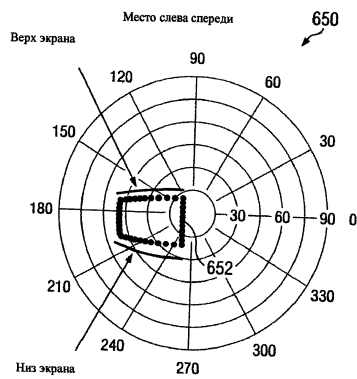
Фиг. 5



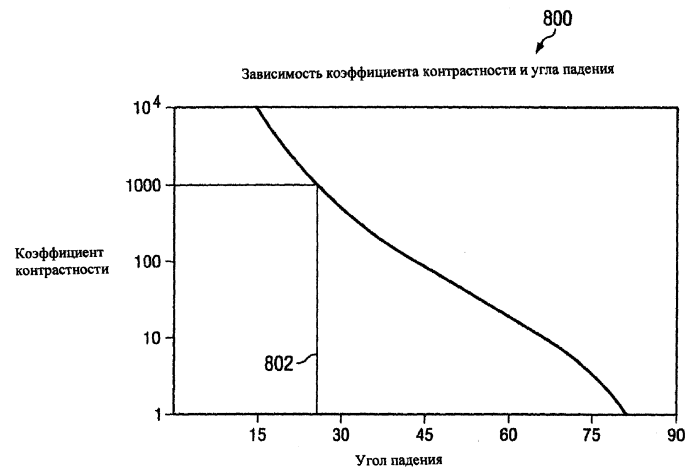
Фиг. 7



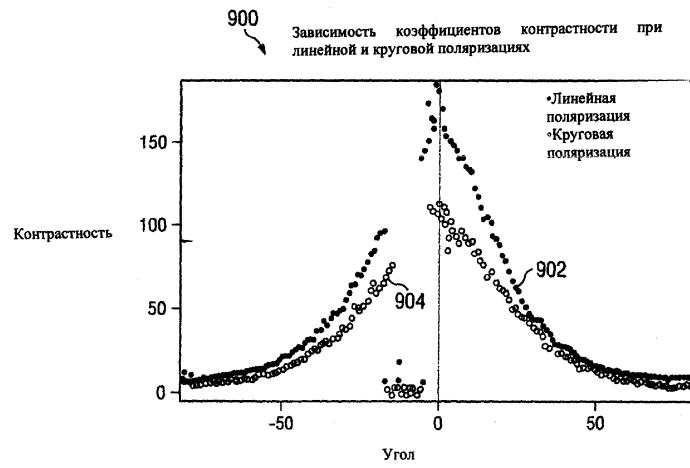
Фиг. 6А



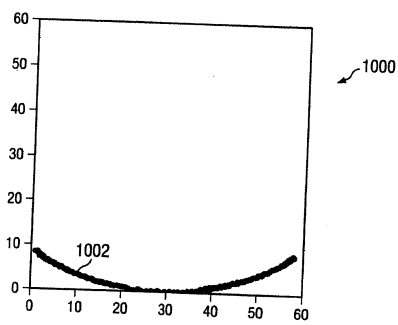
Фиг. 6Б



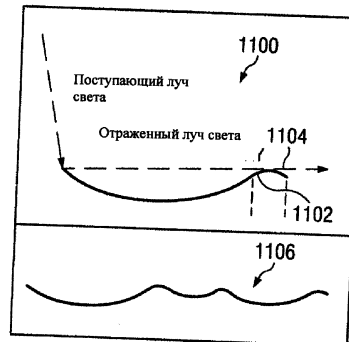
Фиг. 8



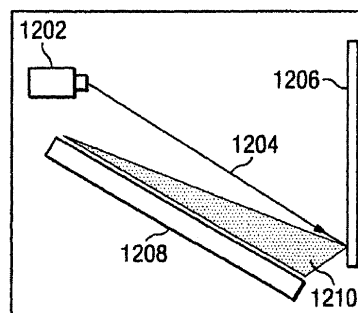
Фиг. 9



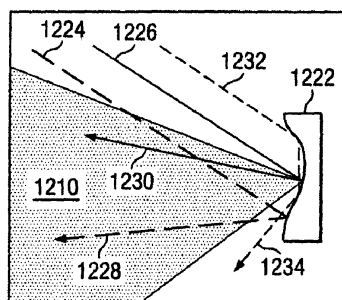
Фиг. 10



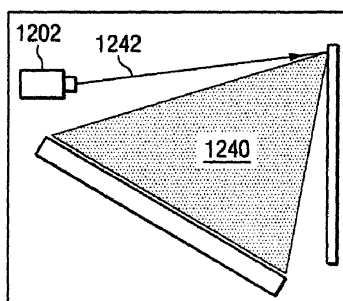
Фиг. 11



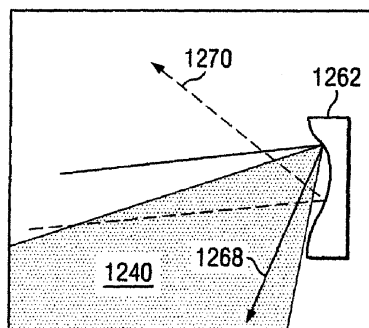
Фиг. 12А



Фиг. 12Б

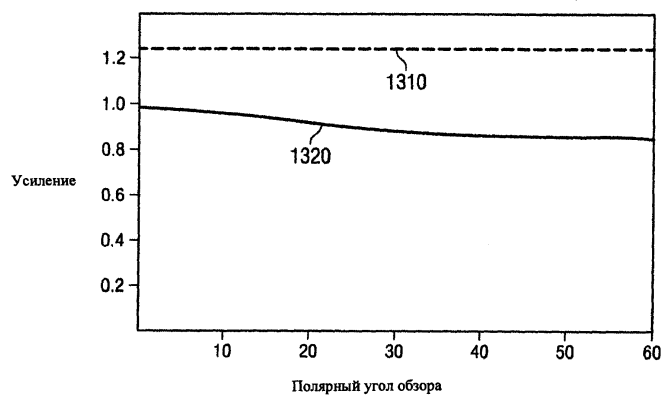


Фиг. 12В

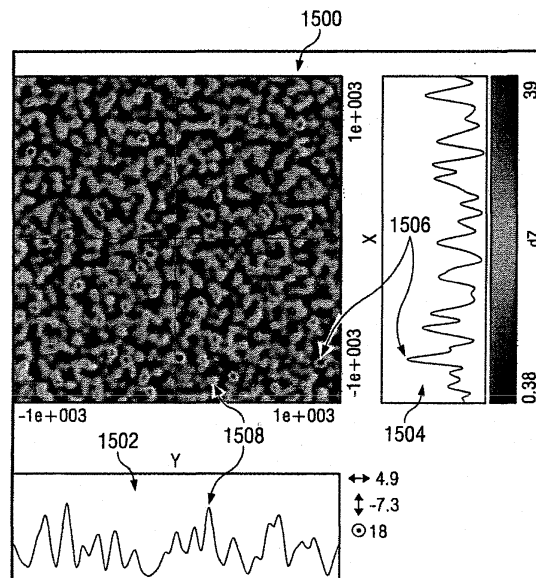
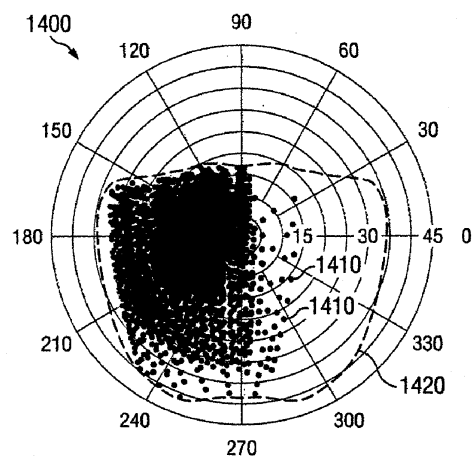
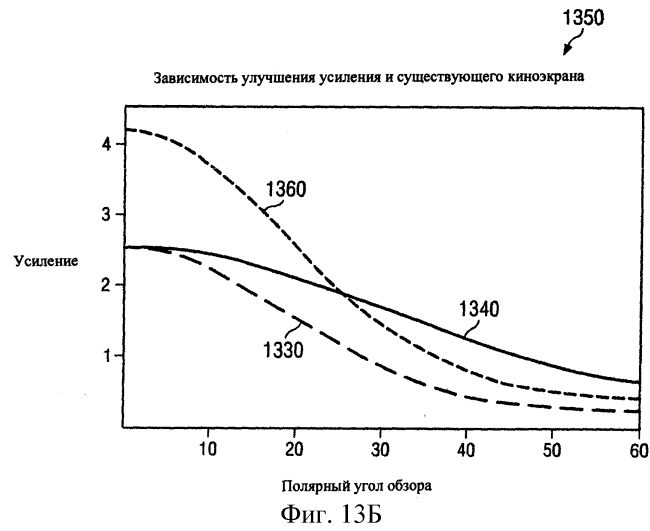


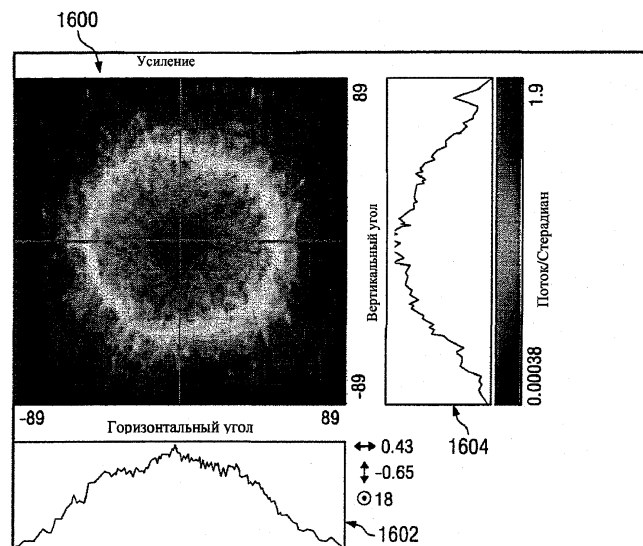
Фиг. 12Г

1300
Зависимость ламбертовского рассеяния и белой матовой поверхности

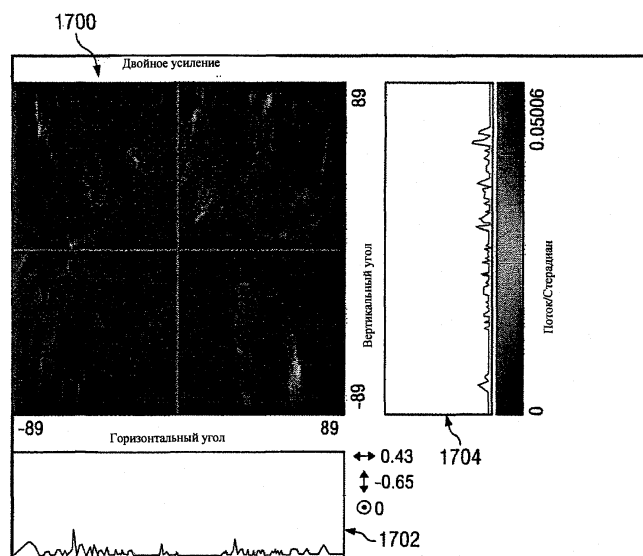


Фиг. 13А

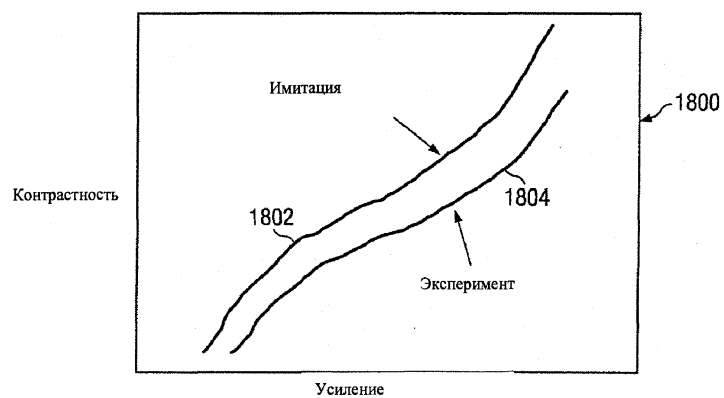




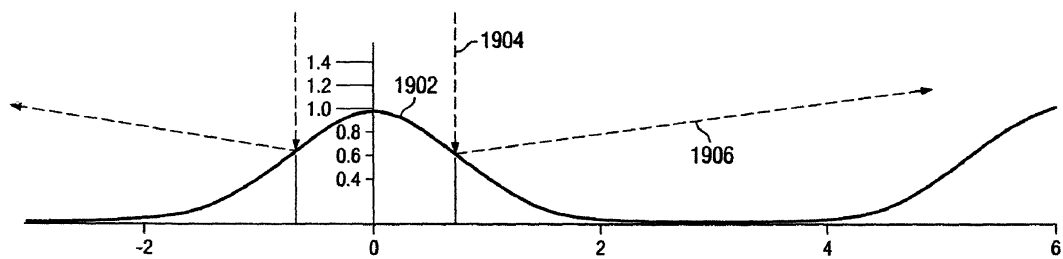
Фиг. 16



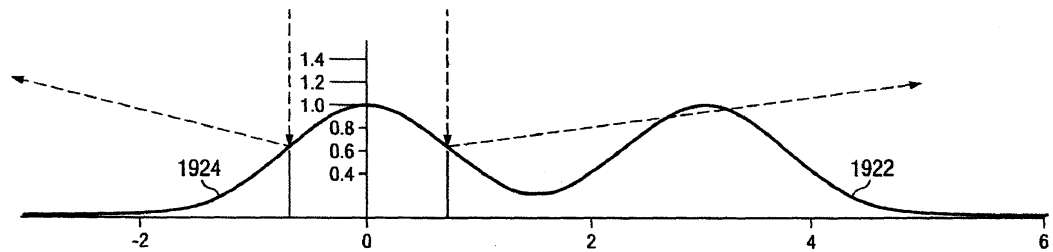
Фиг. 17



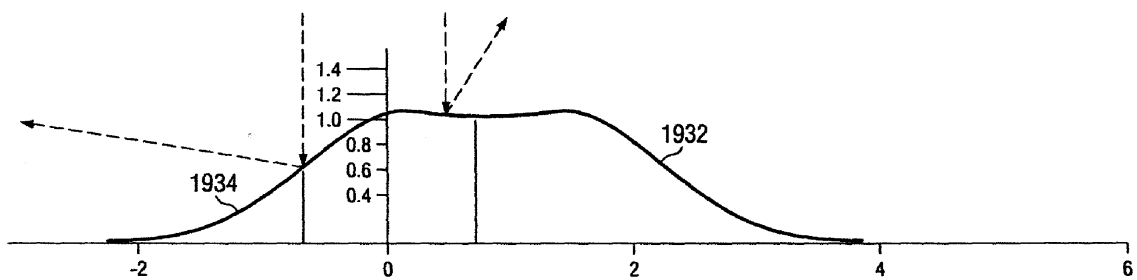
Фиг. 18



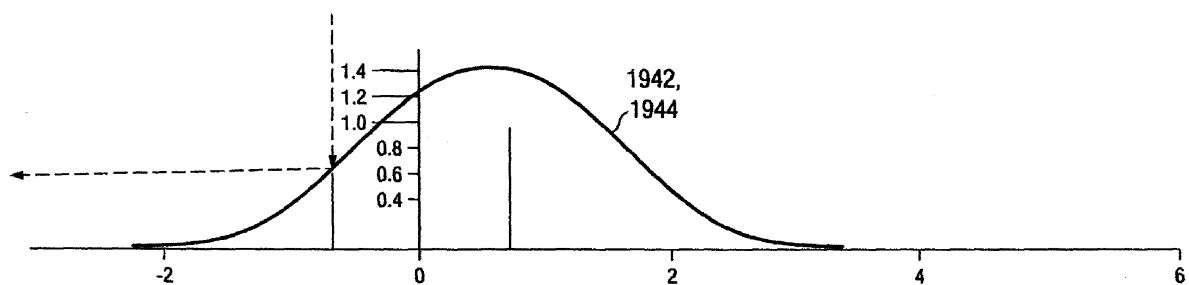
Фиг. 19А



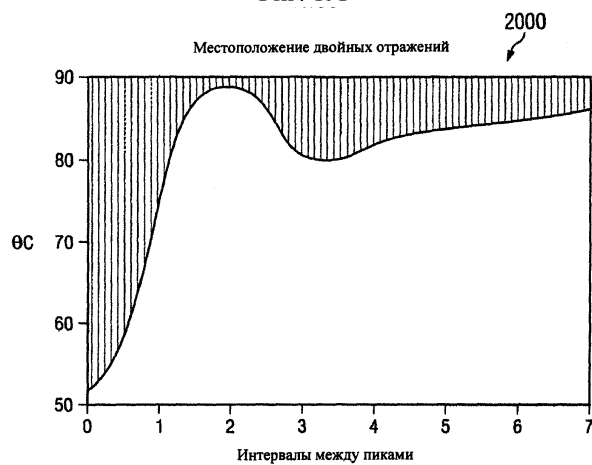
Фиг. 19Б



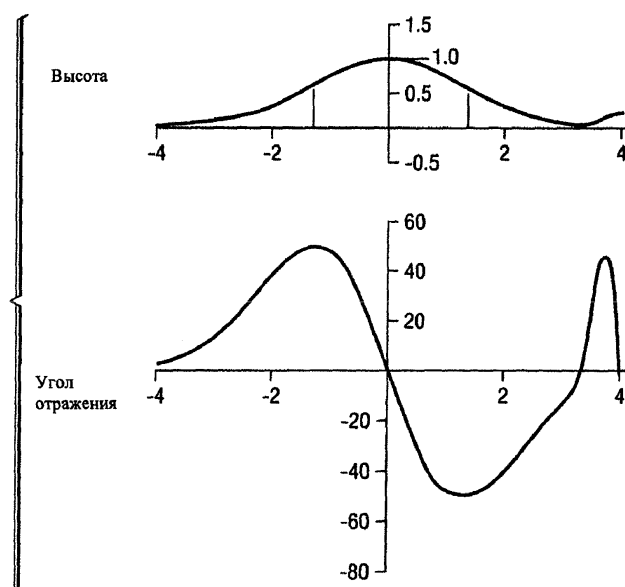
Фиг. 19В



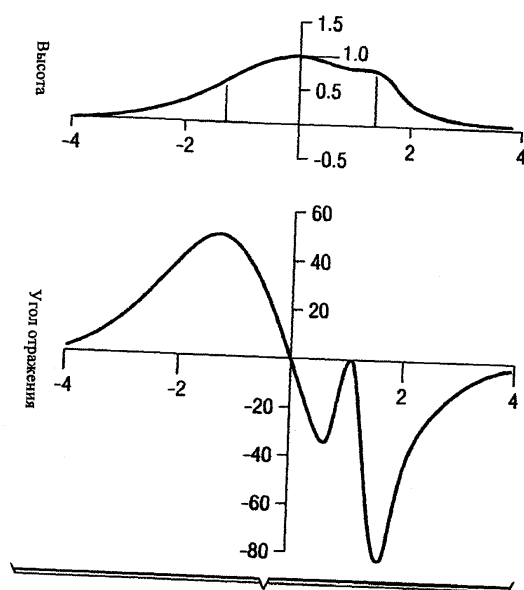
Фиг. 19Г



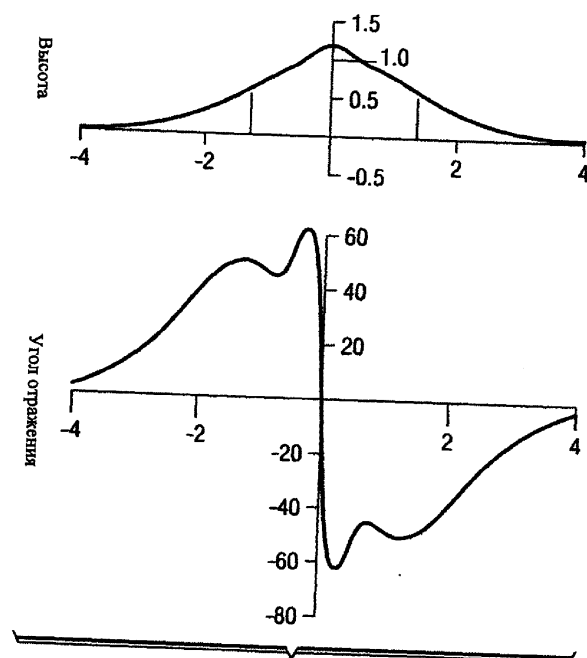
Фиг. 20



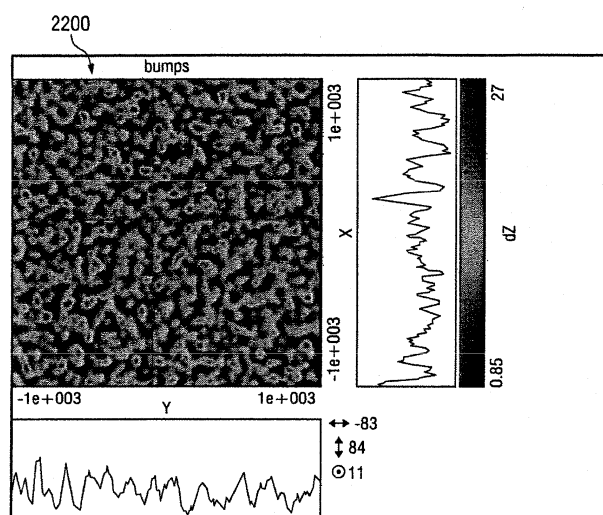
Фиг. 21А



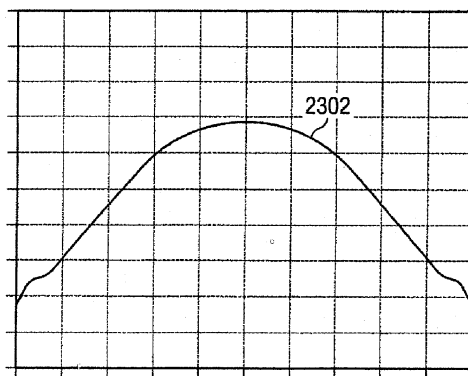
Фиг. 21Б



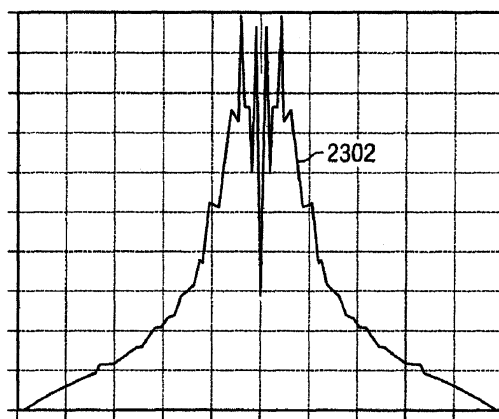
Фиг. 21Б



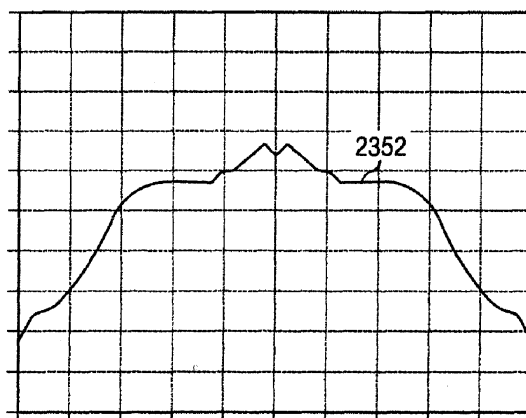
Фиг. 22



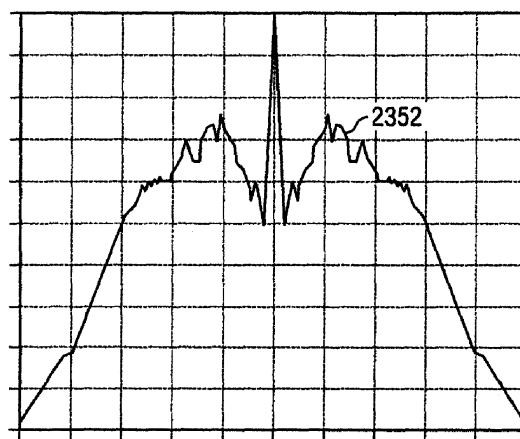
Фиг. 23А



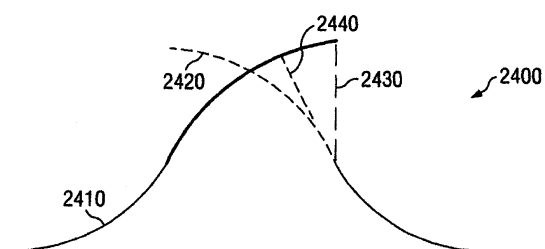
Фиг. 23Б



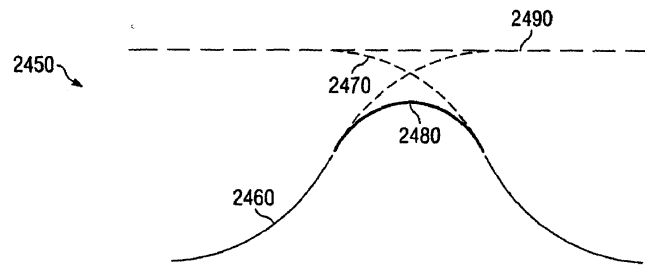
Фиг. 23В



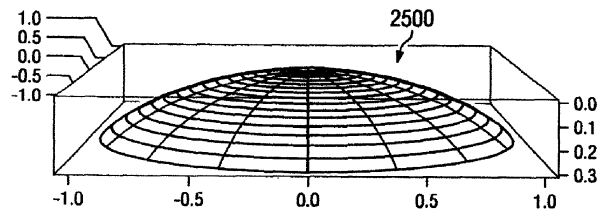
Фиг. 23Г



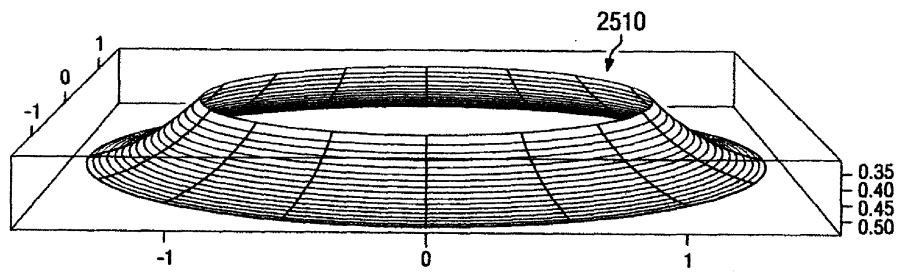
Фиг. 24А



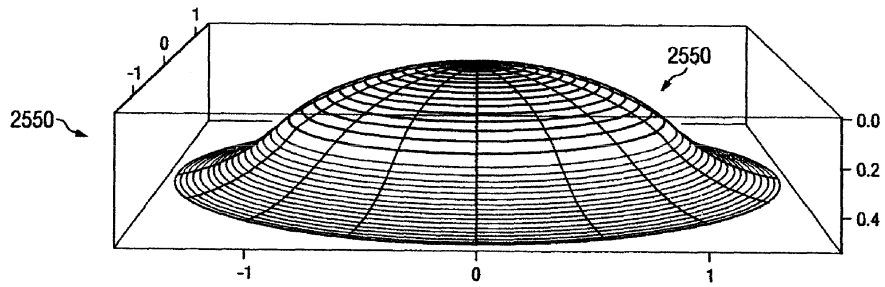
Фиг. 24Б



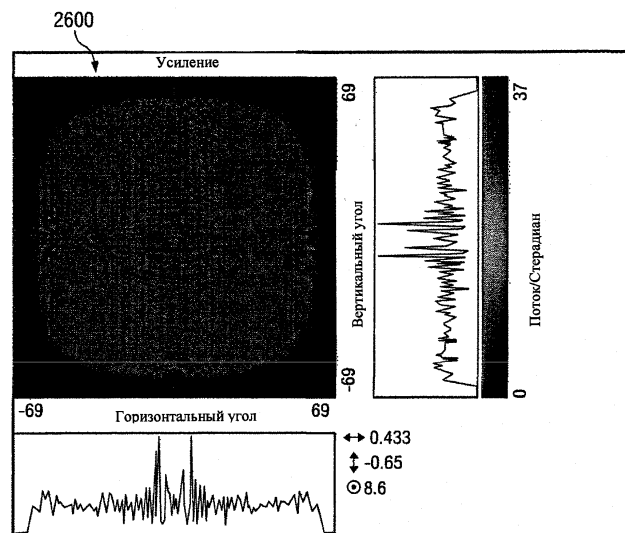
Фиг. 25А



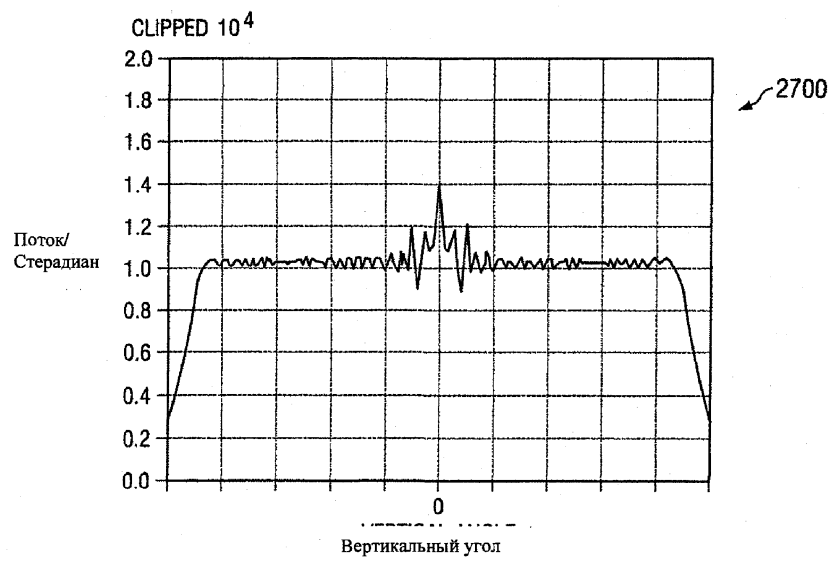
Фиг. 25Б



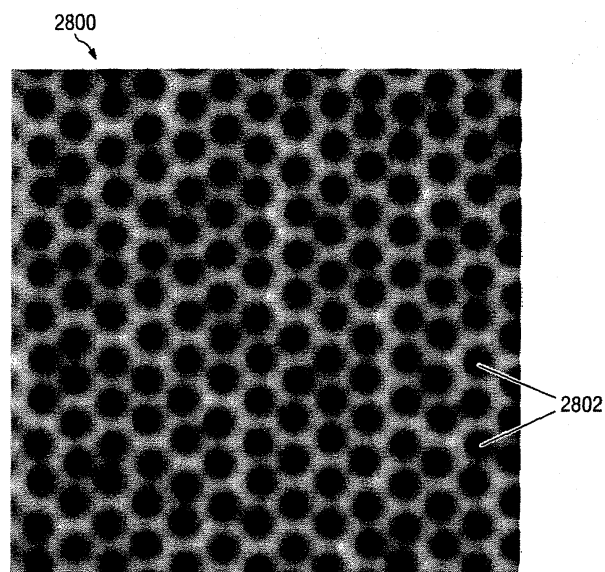
Фиг. 25В



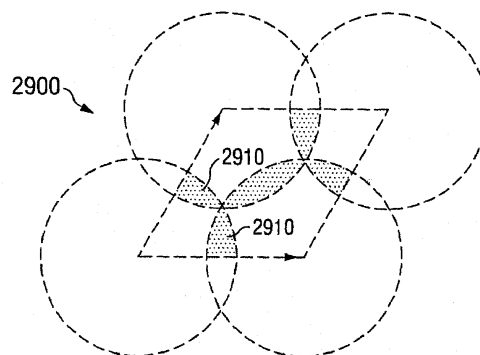
Фиг. 26



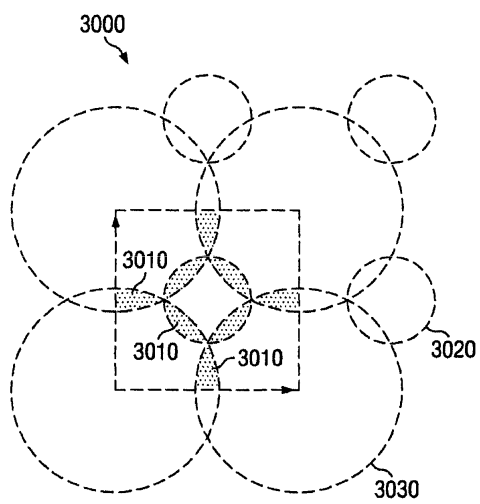
Фиг. 27



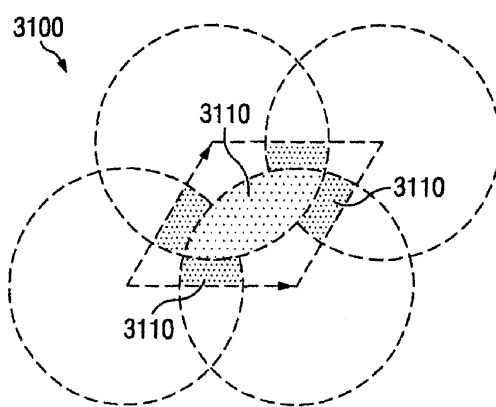
Фиг. 28



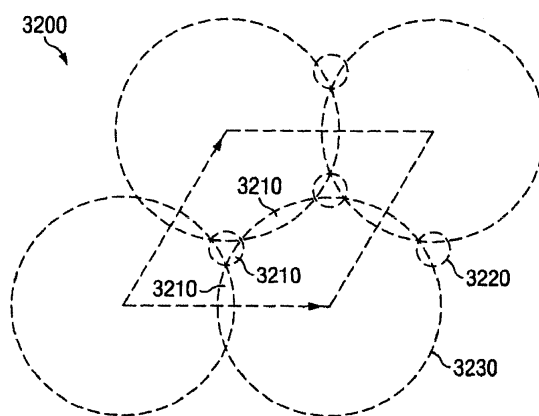
Фиг. 29



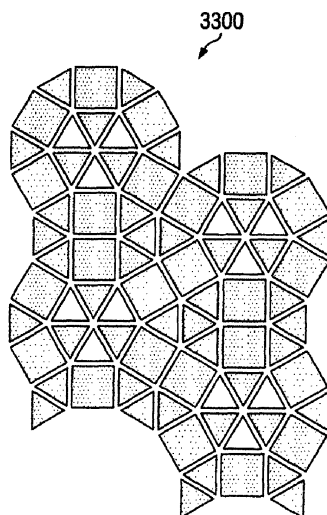
Фиг. 30



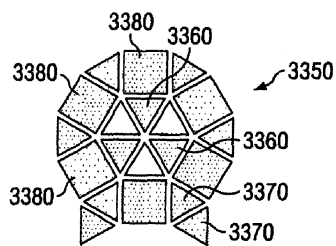
Фиг. 31



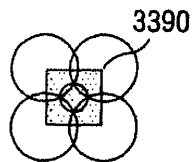
Фиг. 32



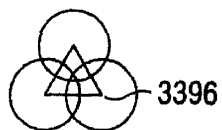
Фиг. 33А



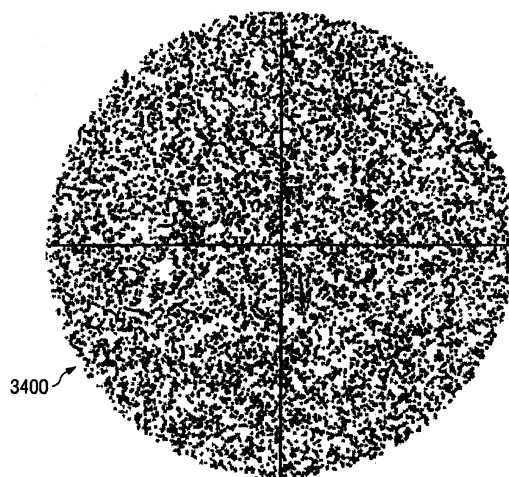
Фиг. 33Б



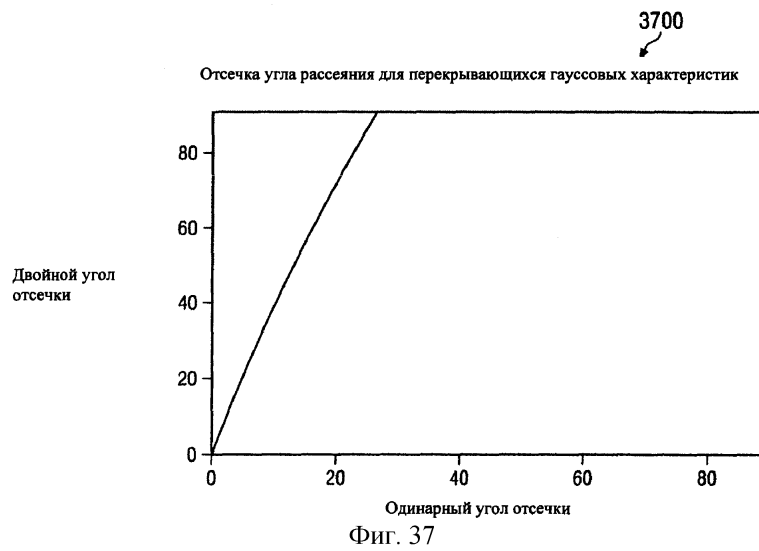
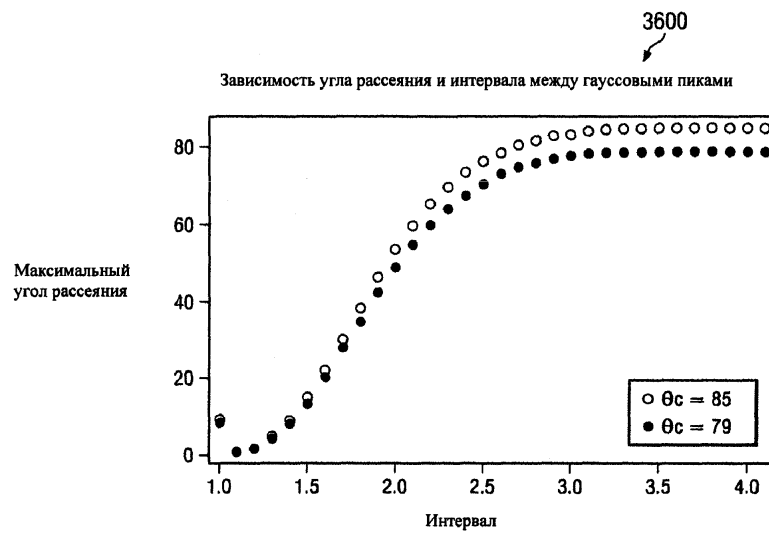
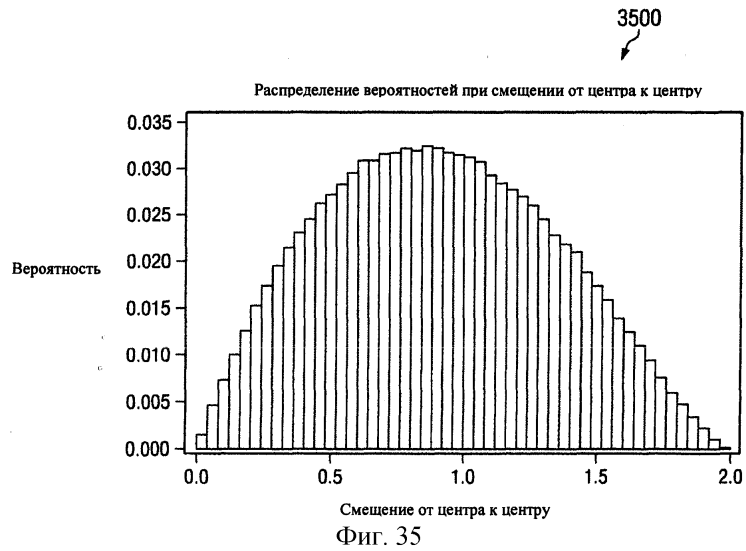
Фиг. 33В



Фиг. 33Г

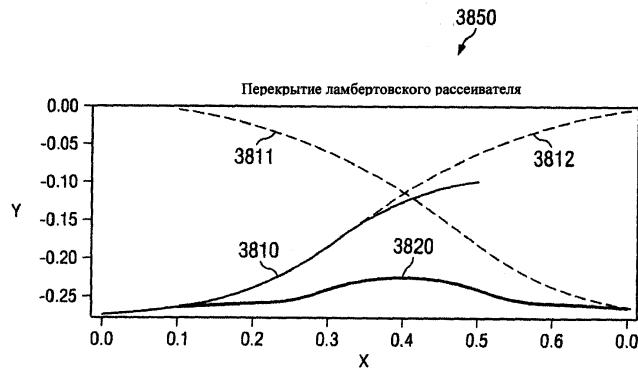


Фиг. 34

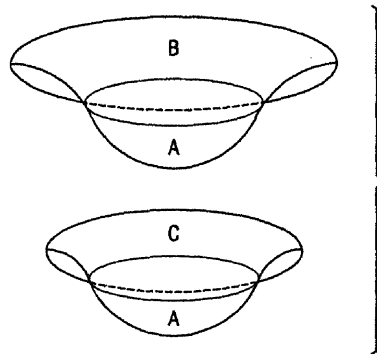




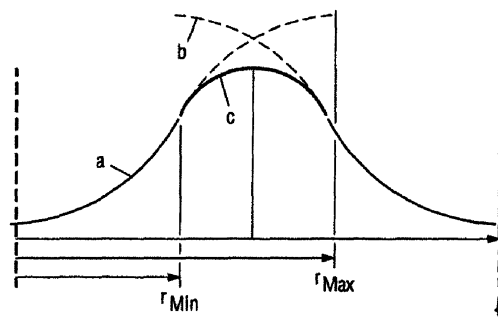
Фиг. 38А



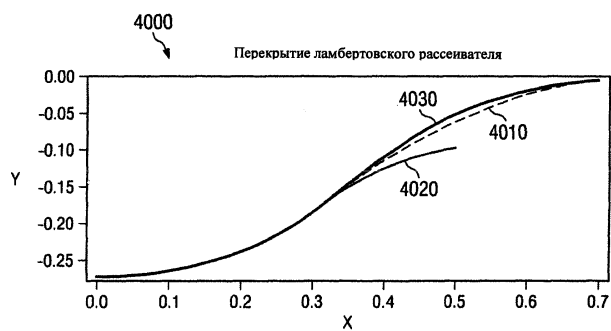
Фиг. 38Б



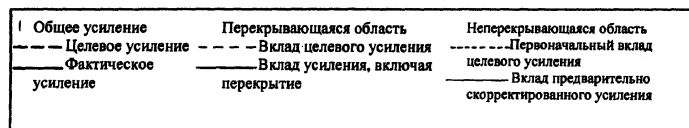
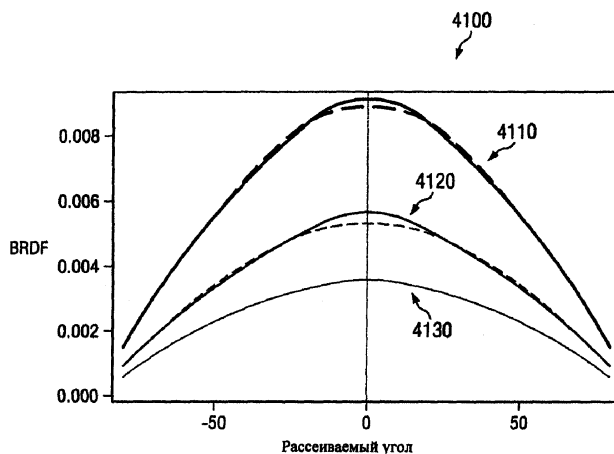
Фиг. 39А



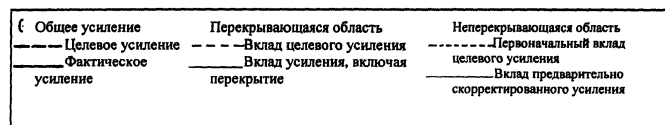
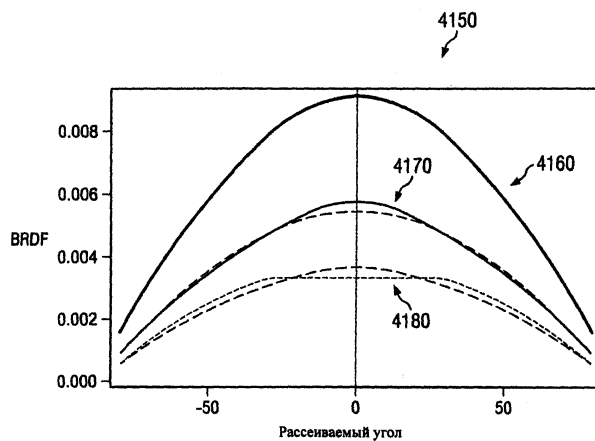
Фиг. 39Б



Фиг. 40



Фиг. 41А



Фиг. 41Б

