

R U 2 7 0 5 7 2 9 C 2



(19) RU (11) 2 705 729⁽¹³⁾ C2
(51) МПК
G02B 27/26 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G02B 27/2264 (2019.08); *G02B 5/3083* (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2018102550, 24.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.06.2016

Дата регистрации:
11.11.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
25.06.2015 US 14/750,227

(43) Дата публикации заявки: 26.07.2019 Бюл. № 21

(45) Опубликовано: 11.11.2019 Бюл. № 32

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 25.01.2018

(86) Заявка РСТ:
IB 2016/001004 (24.06.2016)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2016/207724 (29.12.2016)

Адрес для переписки:
191036, Санкт-Петербург, а/я 24,
"НЕВИНПАТ"

(72) Автор(ы):
ПАЛМЕР Стефан (SE)

(73) Патентообладатель(и):
ВОЛЬФОНИ Эр анд Ди ЕУРЛ (FR)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: FR 3000232 A1, 27.06.2014. CN
101162296 B, 26.05.2010. US 8388138 B1,
05.03.2013.

(54) Система стереоскопической 3D-проекции с повышенным уровнем оптической световой эффективности

(57) Реферат:

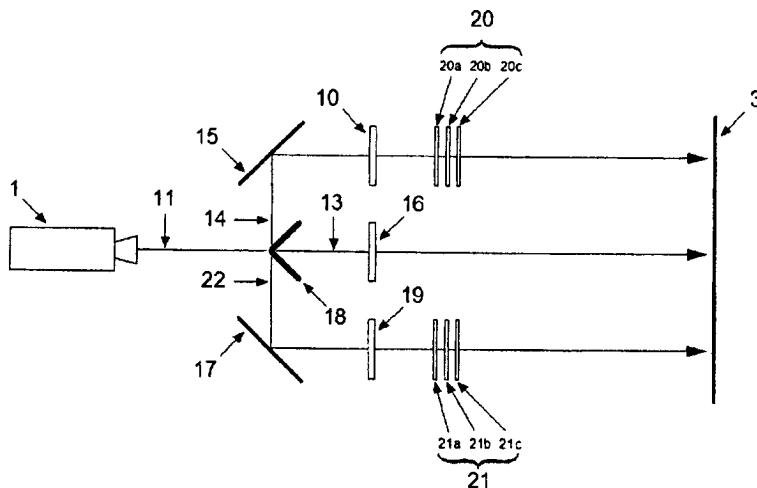
Изобретение относится к системам стереоскопических проекций. Система стереоскопической 3D-проекции с мультиплексированием по времени включает в себя элемент деления пучка для деления произвольно поляризованного пучка формирования изображения, генерированного проектором с одним объективом, на один первичный пучок формирования изображения, обладающий первым состоянием линейной поляризации, и два вторичных пучка формирования изображения, оба обладающие вторым состоянием линейной поляризации.

Состояния поляризации ортогональны друг другу. Первичный и вторичный пучки формирования изображения рекомбинируются для формирования полного изображения на поверхности проекционного экрана, сохраняющего поляризацию. В системе предусмотрены поляризационные модуляторы, которые модулируют первое и второе состояния линейной поляризации между состояниями левой и правой круговой поляризации. Пленка повышения контрастности расположена на оптическом пути первичного или вторичного пучка формирования изображения между

R U 2 7 0 5 7 2 9 C 2

поляризационным модулятором и проекционным экраном и содержит стопку из по меньшей мере трех одноосно растянутых пленок задержки, которые нарушают состояние круговой поляризации упомянутых пучков формирования

изображения и обладают значением задержки в плоскости, по существу равным 140 нм, 270 нм или 540 нм. Изобретение обеспечивает повышенный уровень оптической световой эффективности. 4 н. и 22 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.3

R U 2 7 0 5 7 2 9 C 2

RUSSIAN FEDERATION



(19)

RU (11)

2 705 729⁽¹³⁾ C2

(51) Int. Cl.
G02B 27/26 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
G02B 27/2264 (2019.08); *G02B 5/3083* (2019.08)

(21)(22) Application: 2018102550, 24.06.2016

(24) Effective date for property rights:
24.06.2016

Registration date:
11.11.2019

Priority:

(30) Convention priority:
25.06.2015 US 14/750,227

(43) Application published: 26.07.2019 Bull. № 21

(45) Date of publication: 11.11.2019 Bull. № 32

(85) Commencement of national phase: 25.01.2018

(86) PCT application:
IB 2016/001004 (24.06.2016)

(87) PCT publication:
WO 2016/207724 (29.12.2016)

Mail address:
191036, Sankt-Peterburg, a/ya 24, "NEVINPAT"

(72) Inventor(s):

PALMER Stephen (SE)

(73) Proprietor(s):

VOLFONI R&D EURL (FR)

R U 2 7 0 5 7 2 9 C 2

(54) STEREOSCOPIC 3D PROJECTION SYSTEM WITH HIGH LEVEL OF OPTICAL LIGHT EFFICIENCY

(57) Abstract:

FIELD: physics.

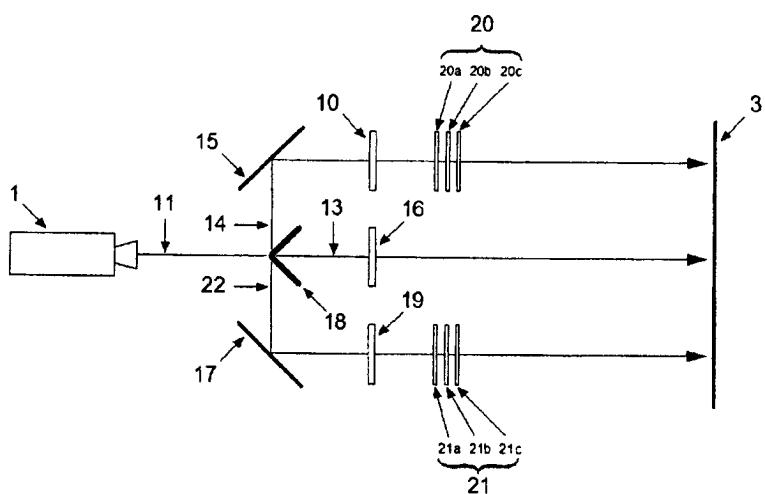
SUBSTANCE: invention relates to stereoscopic projection systems. System for stereoscopic 3D projection with time multiplexing includes a beam division element for dividing an arbitrarily polarized image forming beam generated by the projector with one lens, on one primary image forming beam, having a first linear polarization state, and two secondary image formation beams, both having a second state of linear polarization. Polarization states are orthogonal to each other. Primary and secondary image formation beams are recombined to form a full image on the surface of the projection screen which preserves polarization. System includes polarization modulators which

modulate the first and second linear polarization states between the left and right circular polarization states. Contrast enhancement film is placed on the optical path of the primary or secondary image formation beam between the polarization modulator and a projection screen and comprises a stack of at least three uniaxial stretched delay films which disrupt the circular polarization state of said image formation beams and have a delay value in the plane substantially equal to 140 nm, 270 nm or 540 nm.

EFFECT: invention provides high level of optical light efficiency.

26 cl, 4 dwg

R U 2 7 0 5 7 2 9 C 2



ФИГ.3

R U 2 7 0 5 7 2 9 C 2

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

По данной заявке испрашивается приоритет согласно заявке на патент США №14/750,227, поданной 25 июня 2015 г., содержание которой в полном объеме включено в данное описание путем ссылки.

5 ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее изобретение относится к системе стереоскопической 3D-проекции, обеспечивающей повышенный уровень оптической световой эффективности и предназначеннай для обеспечения стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени с использованием проектора с одним объективом 10 совместно с поляризационным светоделителем, поляризационным модулятором, киноэкраном и пассивными очками наблюдения с круговой поляризацией.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Системы стереоскопической 3D-проекции используются многие годы. Одна технология, известная в технике и описанная, например, в заявке на патент США №2006/15 0291053 A1, датированной 28 декабря 2006 г., под названием "Achromatic Polarization Switches", описывает, как поляризационный модулятор может располагаться перед проектором с одним объективом, например, цифровым кинопроектором 3-chip DLP.

Проектор предназначен для генерации одного пучка, содержащего последовательность изображений попаременно для левого и правого глаза с высокими 20 скоростями, обычно 144 Гц. Затем поляризационный модулятор сообщает состояние оптической поляризации изображениям, сгенерированным упомянутым проектором, и упомянуть поляризационный модулятор действует синхронно с упомянутым проектором, чтобы гарантировать, что все изображения для левого глаза обладают первым состоянием круговой поляризации и все изображения для правого глаза 25 обладают вторым состоянием круговой поляризации, причем упомянутые первое и второе состояния круговой поляризации ортогональны друг другу (т.е. обладают противоположными направлениями кругового вращения).

Затем упомянутые изображения для левого и правого глаза фокусируются на поверхность проекционного экрана, сохраняющего поляризацию, например, киноэкран 30 или другой предмет, что позволяет наблюдать стереоскопические 3D-изображения с мультиплексированием по времени с использованием пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что упомянутый поляризационный модулятор может содержать по меньшей мере один или более 35 жидкокристаллических элементов, уложенных в стопку друг на друга для достижения необходимых характеристик электрооптического переключения. Одна технология, известная в технике и описанная, например, в патенте США №7,760,157 B2, датированном 20 июля 2010 г., под названием "Enhanced ZScreen modulator techniques", описывает, как упомянутый поляризационный модулятор может содержать две 40 отдельные жидкокристаллические пи-ячейки, уложенные в стопку друг на друга во взаимно перекрещенной ориентации. Жидкокристаллические элементы пи-ячейки известны в технике и характеризуются тем, что их поверхностные директоры выравнивания на каждой подложке параллельны друг другу и выровнены в одном и том же направлении. Поэтому, в по меньшей мере одном оптическом состоянии 45 жидкокристаллический материал в упомянутой пи-ячейке образует спиралевидную структуру между упомянутыми подложками с полным поворотом 180 градусов (т.е. пи или π радиан). Подробное описание конструкции и функции пи-ячеек можно найти в различной литературе согласно уровню техники.

В этом случае, каждая пи-ячейка может, например, быстро переключаться между первым оптическим состоянием, обладающим в общем нулевой оптической задержкой при возбуждении высоким напряжением (например, 25 вольт) для преобразования жидкокристаллического материала в гомеотропную текстуру, и вторым оптическим состоянием, обладающим оптической задержкой, близкой к 140 нм (нанометров) при возбуждении низким напряжением (например, 3 вольта) для преобразования жидкокристаллического материала в скошенную текстуру с поворотом в общем нуль градусов. Кроме того, упомянутые пи-ячейки способны быстро переключаться между упомянутыми первым и вторым оптическими состояниями на скоростях, обычно превышающих 350 мкс (микросекунд) и поэтому часто используются при проектировании таких изделий поляризационного модулятора согласно уровню техники.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что, когда упомянутая пи-ячейка находится в оптическом состоянии, которое обладает значением задержки, близким к 140 нм, упомянутая пи-ячейка образует оптическую четвертьволновую пластиинку (QWP) для центральной части диапазона длин волн видимого света и, таким образом, будет преобразовывать линейно поляризованный видимый свет непосредственно в круговую поляризацию.

Таким образом, благодаря укладке в стопку двух отдельных пи-ячеек во взаимно перекрещенной ориентации совместно с фильтром линейной поляризации, расположенным на входных поверхностях упомянутой стопки для преобразования первоначально произвольно поляризованного (т.е неполяризованного) падающего света, сгенерированного проектором, в линейную поляризацию, изображения, сгенерированные упомянутым проектором, можно быстро модулировать между состояниями левой и правой круговой поляризации путем возбуждения упомянутых пи-ячеек, расфазированных друг с другом так, что когда упомянутая первая пи-ячейка работает на высоком напряжении (т.е. жидкокристаллический материал преобразуется в гомеотропную текстуру), упомянутая вторая пи-ячейка одновременно работает на низком напряжении (т.е. жидкокристаллический материал преобразуется в скошенную текстуру), и наоборот.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что каждая из двух линз, присутствующих в пассивных очках наблюдения с круговой поляризацией, обычно содержит фильтр линейной поляризации, наслойенный совместно с одиночной одноосно растянутой пленкой оптического задержки. Кроме того, упомянутая пленка задержки обычно обладает значением оптической задержки в плоскости по существу 140 нм для формирования четвертьволновой пластиинки (QWP) для центральной части диапазона длин волн видимого света. Это гарантирует, что свет, первоначально поляризованный по кругу, сначала будет преобразовываться в линейную поляризацию упомянутой пленкой задержки (QWP), после чего будет пропускаться или блокироваться упомянутым поляризационным фильтром в зависимости от ориентации упомянутого состояния линейной поляризации.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что оба фильтра линейной поляризации, присутствующих в обеих линзах обычных пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией, обычно ориентированы так, что их оси пропускания направлены горизонтально. Кроме того, для линзы левого глаза оптическая ось упомянутой пленки задержки (QWP) обычно направлена на -45 градусов (минус) в направлении по часовой стрелке относительно горизонтали, тогда как для линзы правого глаза оптическая ось упомянутой пленки задержки (QWP) обычно направлена на +45 градусов (плюс) относительно горизонтали, соответственно.

Это гарантирует, что свет, первоначально поляризованный по кругу влево (т.е. в направлении вращения против часовой стрелки) будет пропускаться линзой правого глаза и одновременно блокироваться линзой левого глаза, тогда как свет, первоначально поляризованный по кругу вправо (т.е. в направлении вращения по часовой стрелке), 5 напротив, будет блокироваться линзой правого глаза и одновременно пропускаться линзой левого глаза, соответственно.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что, когда пленка задержки (140 нм), присутствующая в одной из линз упомянутых очков наблюдения, перекрещивается с пленкой задержки (140 нм), присутствующей в одной из упомянутых 10 пи-ячеек, работающей на низком напряжении (т.е., когда жидкокристаллический материал преобразуется в скошенную текстуру), высокий уровень оптической компенсации будет возникать для всех длин волн видимого света.

Если же фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях 15 упомянутого поляризационного модулятора, направлен перпендикулярно (т.е. его ось пропускания вертикальна) относительно фильтра линейной поляризации, присутствующего в линзе упомянутых очков наблюдения, то высокий уровень оптической блокировки будет достигаться для всех длин волн видимого света, тем самым обеспечивая низкий уровень двоения изображения или перекрестных искажений 20 при наблюдении стереоскопических 3D-изображений; что является предпочтительной компоновкой согласно уровню техники технологии.

Если же пленка задержки (140 нм), присутствующая в одной из линз упомянутых очков наблюдения, параллельна пленке задержки (140 нм), присутствующей в одной из упомянутых пи-ячеек, работающей на низком напряжении, общая объединенная 25 задержка будет получена суммированием 140 нм (пи-ячейка) + 140 нм (очки наблюдения) = 280 нм, и, таким образом, система образует хроматическую полуволновую пластинку (HWP) для центральной части диапазона длин волн видимого света (т.е. длин волн зеленого света).

В этом случае, линейно поляризованный видимый свет, проходящий через систему, 30 будет поворачиваться приблизительно на 90 градусов упомянутой хроматической полуволновой пластинкой. Дополнительно, если фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора, также направлен перпендикулярно (т.е. его ось пропускания вертикальна) относительно фильтра линейной поляризации, присутствующего в одной из линз упомянутых очков наблюдения, то упомянутая линза будет пропускать свет с высокой эффективностью; 35 что также является предпочтительной компоновкой согласно уровню техники.

Если же фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора, параллелен (т.е. его ось пропускания горизонтальна) относительно упомянутого фильтра линейной поляризации, присутствующего в линзе упомянутых очков наблюдения, то, когда задержка в одной 40 из упомянутых пи-ячеек и одной из линз в упомянутых очках наблюдения суммируются для формирования хроматической полуволновой пластинки, то высокий уровень двоения изображения или перекрестных искажений будет возникать при наблюдении стереоскопических 3D-изображений, поскольку в этом случае упомянутая хроматическая полуволновая пластинка не способна полностью вращать все длины волн видимого 45 света в точности на 90 градусов.

Поэтому желательно избегать использования этой конкретной неблагоприятной компоновки и, вместо этого, гарантировать, что при укладке в стопку двух пи-ячеек во взаимно перекрещенной ориентации для конструирования поляризационного

модулятора согласно уровню техники, фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора, предпочтительно направлен перпендикулярно относительно фильтра линейной поляризации, присутствующего в обеих линзах упомянутых очков наблюдения с круговой поляризацией.

Кроме того, поскольку обе оси пропускания фильтров линейной поляризации, присутствующих в упомянутых линзах обычных пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией обычно направлены горизонтально, специалисту в данной области техники известно, что одна предпочтительная компоновка согласно уровню техники состоит в том, что ось пропускания фильтра линейной поляризации, расположенного на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора, должна выравниваться вертикально, чтобы гарантировать низкий уровень двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени.

Поэтому большинство изделий поляризационного модулятора, в настоящее время присутствующих на рынке, использует два жидкокристаллических элемента пи-ячейки, расположенных в стопку друг на друга во взаимно перекрещенной ориентации совместно с фильтром линейной поляризации, расположенным на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора и с осью пропускания упомянутого фильтра линейной поляризации, направленной вертикально.

Однако одна проблема вышеупомянутой однопучковой системы согласно уровню техники состоит в том, что поскольку изображения, сгенерированные типичными цифровыми кинопроекторами 3-chip DLP, первоначально являются произвольно поляризованными, фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора будет поглощать приблизительно 50% входящего света, сгенерированного упомянутым проектором. Это будет значительно снижать полную оптическую световую эффективность системы, что приводит к созданию стереоскопических 3D-изображений которым существенно не хватает яркости экранного изображения.

Одна технология, известная в технике для повышения полной оптической световой эффективности системы стереоскопической 3D-проекции, описанная, например, в патенте США №8,220,934 B2, датированном 17 июля 2012 г. под названием "Polarization conversion systems for stereoscopic projection", использует поляризационный элемент деления пучка для деления входящего произвольно поляризованного падающего пучка формирования изображения, сгенерированного проектором с одним объективом, на один первичный пучок формирования изображения, распространяющийся в том же направлении, что и упомянутый исходный падающий пучок формирования изображения, и обладающий первым состоянием линейной поляризации, и один вторичный пучок формирования изображения, распространяющийся в перпендикулярном направлении относительно упомянутого падающего пучка формирования изображения, и обладающий вторым состоянием линейной поляризации, причем упомянутые первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу.

Затем используется зеркало для отражения упомянутого вторичного пучка формирования изображения к поверхности проекционного экрана, и, таким образом, оба первичный и вторичный пучки формирования изображения располагаются так, что перекрываются друг с другом в значительной степени на поверхности упомянутого проекционного экрана. Поэтому такие двухпучковые системы предусматривают обе компоненты поляризации, содержащие начальный падающий пучок формирования

изображения, подлежащий использованию для генерации полного экранного изображения, что повышает яркость результирующего изображения.

Кроме того, поляризационные модуляторы затем размещаются на оптических путях обоих первичного и вторичного пучков формирования изображения и сконструированы

- 5 для модуляции состояний поляризации упомянутых пучков формирования изображения. В одном предпочтительном варианте осуществления вышеупомянутой двухпучковой системы согласно уровню техники, каждый из упомянутых поляризационных модуляторов содержит два отдельных жидкокристаллических элемента пи-ячейки, уложенные в стопку друг на друга во взаимно перекрещенной ориентации и
- 10 сконструированные для быстрого модулирования состояний линейной поляризации упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения между состояниями левой и правой круговой поляризации синхронно с изображениями, сгенерированными упомянутым проектором.

Однако для получения низкого уровня двоения изображения или перекрестных

- 15 искажений при использовании пи-ячеек описанного здесь типа, в вышеупомянутом патенте США №8,220,934 B2 указано, что состояние линейной поляризации упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения на входных поверхностях каждого поляризационного модулятора должно быть направлено перпендикулярно (т.е. входная поляризация должна быть вертикальной) относительно фильтров линейной
- 20 поляризации, присутствующих в обеих линзах упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией.

Однако, поскольку упомянутые первичный и вторичный пучки формирования изображения обладают ортогональными друг другу состояниями линейной поляризации, в вышеупомянутом патенте США №8,220,934 B2 описано, что этот критерий может

- 25 достигаться только с использованием вращателя плоскости поляризации, расположенного на оптическом пути вторичного пучка формирования изображения и сконструированного для поворота на 90 градусов состояния линейной поляризации упомянутого вторичного пучка формирования изображения, в результате чего, оно преобразуется в такое же состояние линейной поляризации, как у первичного пучка
- 30 формирования изображения; т.е. вращатель плоскости поляризации гарантирует, что оба первичный и вторичный пучки формирования изображения после этого обладают состоянием вертикальной линейной поляризации, которое перпендикулярно оси пропускания фильтров линейной поляризации, присутствующих в обеих линзах упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией.

- 35 Специалисту в данной области техники понятно, что для выполнения этого критерия, вращатель плоскости поляризации должен располагаться на оптическом пути вторичного пучка формирования изображения и располагаться где-то между элементом деления пучка и входной поверхностью упомянутого поляризационного модулятора, но может располагаться до или после отражающего зеркала. Кроме того, в случае,
- 40 когда упомянутый вращатель плоскости поляризации содержит несколько отдельных элементов, уложенных в стопку друг на друга, некоторые элементы могут, например, располагаться до упомянутого зеркала, а другие элементы могут располагаться после упомянутого зеркала, соответственно.

- 45 Хотя использование вращателя плоскости поляризации для поворота на 90 градусов состояния линейной поляризации вторичного пучка формирования изображения гарантирует, что система обладает низким уровнем двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений согласно уровню техники, оптическая эффективность упомянутого вращателя плоскости

поляризации обычно меньше приблизительно 90% в диапазоне длин волн видимого света, что приводит к потере оптической световой эффективности и снижению яркости полного экранного изображения.

Двухпучковая система, описанная выше в вышеупомянутом патенте США №8,220,934

- 5 B2 согласно уровню техники также имеет недостаток в наличии сравнительно большой разности длин оптического пути между упомянутыми первичным и вторичным пучками формирования изображения, в связи с чем, обычно требуется использовать пару телеобъективов и/или деформацию отражающего зеркала для компенсации упомянутой разности длин оптического пути. Однако это будет приводить к усложнению и
- 10 удорожанию системы в целом.

Усовершенствованная многопучковая система для отображения стереоскопических 3D-изображений высокой яркости, раскрыта во французском патенте №FR3000232A1, датированном 29 мая 2013 г. под названием "Dispositif de polarisation optique pour un projecteur d'images stéréoscopiques" и включенном сюда посредством ссылки, использует

- 15 элемент деления пучка, который разделяет произвольно поляризованный падающий пучок формирования изображения, сгенерированный проектором с одним объективом, на один первичный пучок формирования изображения, распространяющийся в том же направлении, что и упомянутый исходный падающий пучок формирования изображения, и обладающий первым состоянием линейной поляризации, и два вторичных пучка
- 20 формирования изображения, распространяющиеся во взаимно противоположных направлениях, оба из которых перпендикулярны упомянутому падающему пучку формирования изображения и обладают вторым состоянием линейной поляризации, причем упомянутые первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу.

- 25
- 25 Затем отражающие поверхности, например, зеркала или другие предметы используются для направления обоих вторичных пучков формирования изображения к проекционному экрану, сохраняющему поляризацию, и располагаются так, что упомянутые первичный и вторичный пучки формирования изображения частично перекрываются, рекомбинируя друг с другом для формирования полного изображения
- 30 на поверхности упомянутого проекционного экрана. Такие трехпучковые системы позволяют обеим компонентам поляризации, содержащим исходный падающий пучок формирования изображения, подлежащий использованию, воссоздавать полное экранное изображение, тем самым, обеспечивая высокий уровень яркости изображения.

- 35 Кроме того, поляризационные модуляторы затем размещаются на оптических путях каждого из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения и используются для модуляции состояний поляризации упомянутых пучков формирования изображения синхронно с изображениями, сгенерированными упомянутым проектором.

- 40 В одном предпочтительном варианте осуществления вышеупомянутой трехпучковой системы, каждый из упомянутых поляризационных модуляторов может содержать два отдельных жидкокристаллических элемента пи-ячейки, расположенные в стопку друг на друга во взаимно перекрещенной ориентации, и используется для преобразования состояний линейной поляризации упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения в круговую поляризацию.

- 45 Кроме того, поскольку состояния линейной поляризации упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения ортогональны друг другу, специалисту в данной области техники понятно, что состояние линейной поляризации по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования

изображения будет параллельно оси пропускания фильтров линейной поляризации, присутствующих в линзах упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией, и в этой неблагоприятной конфигурации согласно уровню техники обычно будет присутствовать нежелательно высокий уровень двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что для ослабления этой проблемы вращатель плоскости поляризации, расположенный на оптических путях упомянутых вторичных пучков формирования изображения и расположенный где-то между светофильтром и входной поверхностью упомянутых поляризационных модуляторов может использоваться для поворота на 90 градусов состояния линейной поляризации упомянутых вторичных пучков формирования изображения, так что упомянутое состояние линейной поляризации преобразуется в такое же состояние линейной поляризации упомянутого первичного пучка формирования изображения.

Однако, поскольку оптическая эффективность упомянутого вращателя плоскости поляризации обычно меньше приблизительно 90% в диапазоне длин волн видимого света, это будет приводить к нежелательной потере оптической световой эффективности и снижению яркости полного экранного изображения.

Специалисту в данной области техники также понятно, что вышеупомянутая

трехпучковая система будет обладать сравнительно малой разностью длин оптического пути между упомянутыми первичным и вторичным пучками формирования изображения по сравнению с ранее описанной двухпучковой системой согласно уровню техники, что избавляет от необходимости использовать пару телобъективов для компенсации упомянутой разности длин оптического пути, и, следовательно, снижает сложность и стоимость системы в целом.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задачей настоящего изобретения является обеспечение способа снижения уровня двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени с использованием многопучковой системы, содержащей два или более отдельных пучка формирования изображения, без необходимости использования вращателя плоскости поляризации, расположенного на оптическом пути по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения и который будет иначе снижать яркость полного экранного изображения.

Дополнительной задачей настоящего изобретения является обеспечение трехпучковой системы стереоскопической 3D-проекции, содержащей поляризационный модулятор для каждого из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения, причем каждый из упомянутых поляризационных модуляторов дополнительно содержит стопку из двух отдельных пи-ячеек, ориентированных во взаимно перекрещенной ориентации, которая обеспечивает низкий уровень двоения изображения или перекрестных искажений при поддержании более высокого уровня оптической эффективности по сравнению с другими технологиями уровня техники.

Изобретение базируется на понимании того, что, когда состояние линейной поляризации пучка формирования изображения на входных поверхностях поляризационного модулятора, содержащего стопку из двух отдельных пи-ячеек, параллельно фильтру линейной поляризации, присущему в по меньшей мере одной из линз упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией, высокий уровень оптической блокировки по-прежнему может достигаться для одной

из упомянутых линз путем включения подходящей пленки повышения контрастности, содержащей стопку из трех или более одноосно растянутых в плоскости пленок задержки, расположенной на выходной поверхности упомянутого поляризационного модулятора и сконструированной для нарушения и повышения уровня круговой

- 5 поляризации пучка формирования изображения, выходящего из упомянутого поляризационного модулятора без изменения полного состояния круговой поляризации упомянутого пучка формирования изображения для повышения степени оптической блокировки, достигаемой упомянутой линзой, тем самым, снижая уровень двоения изображения или перекрестных искажений при поддержании полной оптической
- 10 световой эффективности на высоком уровне.

В одном аспекте изобретения, раскрыта система стереоскопической 3D-проекции с мультиплексированием по времени для проецирования произвольно поляризованного падающего пучка формирования изображения, сгенерированного проектором с одним объективом, на проекционный экран, сохраняющий поляризацию. Система включает

- 15 в себя элемент деления пучка, выполненный с возможностью деления произвольно поляризованного падающего пучка формирования изображения, сгенерированного проектором с одним объективом, на один первичный пучок формирования изображения, имеющий путь первичного пучка формирования изображения, обладающий первым состоянием линейной поляризации, и два вторичных пучка формирования изображения,
- 20 каждый из которых имеет соответствующие пути вторичного пучка формирования изображения, оба обладающие вторым состоянием линейной поляризации. Первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу. Пути вторичного пучка формирования изображения для обоих упомянутых вторичных пучков формирования изображения отклоняются отражающими поверхностями, так что
- 25 первичный и вторичный пучки формирования изображения частично перекрываются и рекомбинируются друг с другом для формирования полного изображения на поверхности упомянутого проекционного экрана, сохраняющий поляризацию. Предусмотрен поляризационный модулятор, расположенный на каждом из пути первичного пучка формирования изображения и двух путей вторичного пучка
- 30 формирования изображения, выполненный с возможностью модуляции первого и второго состояний линейной поляризации между состояниями левой и правой круговой поляризации синхронно с изображениями, сгенерированными проектором. Предусмотрена также пленка повышения контрастности, расположенная на оптическом пути по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков
- 35 формирования изображения и расположенная между соответствующим поляризационным модулятором и проекционным экраном. Пленка повышения контрастности содержит стопку из по меньшей мере трех отдельных одноосно растянутых пленок задержки, выполненных с возможностью нарушения состояния круговой поляризации по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного
- 40 пучков формирования изображения, причем каждый по отдельности обладают значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм.

В других аспектах изобретения, каждая одноосно растянутая пленка задержки имеет оптическую ось, направленную под заданным углом, и по меньшей мере две из одноосно

- 45 растянутых пленок задержки имеют оптические оси, направленные под разными углами. Поляризационные модуляторы имеют выходную поверхность, через которую проходят, соответственно, первичный и вторичный пучки формирования изображения, и где пленка повышения контрастности располагается вблизи выходной поверхности

соответствующего ей поляризационного модулятора. Пленка повышения контрастности связана с выходной поверхностью соответствующего ей поляризационного модулятора и располагается вблизи поляризационного модулятора на пути первичного пучка формирования изображения. Состояние линейной поляризации первичного пучка

5 формирования изображения сконфигурировано параллельным оси пропускания фильтра линейной поляризации, присутствующего в упомянутых пассивных очках наблюдения с круговой поляризацией. Пленки повышения контрастности располагаются на выходных поверхностях каждого из поляризационных модуляторов и связаны с выходными поверхностями соответствующего им поляризационного модулятора.

10 Одноосно растянутые пленки задержки, образующие пленку повышения контрастности, связаны друг с другом с использованием оптического адгезива. Каждый из поляризационных модуляторов содержит стопку из двух отдельных жидкокристаллических элементов пи-ячейки, расположенных один за другим, и два

15 отдельных жидкокристаллических элемента пи-ячейки располагаются в ориентации взаимного перекрещивания и переключаются между первым состоянием оптической обработки и вторым состоянием оптической обработки. Первое состояние оптической обработки и второе состояние оптической обработки обуславливают модулирование первичного пучка формирования изображения и двух вторичных пучков формирования изображения между состояниями левой и правой круговой поляризации, соответственно.

20 В прочих аспектах изобретения, пленка повышения контрастности для размещения на оптическом пути пучка формирования изображения, выходящего из поляризационного модулятора раскрыто. Пленка повышения контрастности выполнена с возможностью нарушения состояния круговой поляризации пучка формирования изображения. Пленка повышения контрастности содержит стопку из по меньшей мере

25 трех отдельных одноосно растянутых пленок задержки, причем каждая одноосно растянутая пленка задержки по отдельности обладает значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм. Каждая одноосно растянутая пленка задержки имеет оптическую ось, направленную под заданным углом, причем по меньшей мере, две из одноосно растянутых пленок задержки имеют оптические оси,

30 направленные под разными углами.

Одноосно растянутые пленки задержки, образующие пленку повышения контрастности, связаны друг с другом с использованием оптического адгезива.

В дополнительных аспектах, раскрыт способ стереоскопической 3D-проекции с мультиплексированием по времени для проецирования произвольно поляризованного 35 падающего пучка формирования изображения, сгенерированного проектором с одним объективом, на проекционный экран, сохраняющий поляризацию. Способ включает в себя деление, с использованием элемента деления пучка, произвольно поляризованный падающий пучок формирования изображения, сгенерированный проектором с одним объективом, на один первичный пучок формирования изображения, имеющий путь

40 первичного пучка формирования изображения, обладающий первым состоянием линейной поляризации, и два вторичных пучка формирования изображения, каждый из которых имеет соответствующие пути вторичного пучка формирования изображения, оба обладающие вторым состоянием линейной поляризации. Первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу и оба упомянутые пути вторичного

45 пучка формирования изображения для упомянутых вторичных пучков формирования изображения отклоняются отражающими поверхностями, так что упомянутые первичный и вторичный пучки формирования изображения частично перекрываются и рекомбинируются друг с другом для формирования полного изображения на

поверхности упомянутого проекционного экрана, сохраняющий поляризацию. Способ включает в себя модулирование, с использованием поляризационного модулятора, расположенного на каждом из путей первичного пучка формирования изображения и двух путей вторичного пучка формирования изображения, первое и второе состояния 5 линейной поляризации между состояниями левой и правой круговой поляризации синхронно с изображениями, генерированными проектором. Он также включает в себя размещение пленки повышения контрастности на оптическом пути по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения, расположенных между соответствующим поляризационным модулятором 10 и проекционным экраном. Пленка повышения контрастности содержит стопку из по меньшей мере трех отдельных одноосно растянутых пленок задержки, выполненных с возможностью нарушения состояния круговой поляризации по меньшей мере одного из первичного и вторичного пучков формирования изображения. Каждая одноосно растянутая пленка задержки по отдельности обладает значением задержки в плоскости, 15 по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм.

В некоторых аспектах, раскрыт способ, включающий в себя выравнивание оптических осей каждой из одноосно растянутых пленок задержки под заданным углом. По меньшей мере, две из одноосно растянутых пленок задержки имеют оптические оси, направленные под разными углами. Способ включает в себя размещение пленки повышения 20 контрастности на выходной поверхности поляризационного модулятора. Способ дополнительно включает в себя связывание пленки повышения контрастности с выходной поверхностью поляризационного модулятора. Раскрыта также пленка повышения контрастности, расположенная вблизи поляризационного модулятора на пути первичного пучка формирования изображения, причем состояние линейной 25 поляризации первичного пучка формирования изображения сконфигурировано параллельным оси пропускания фильтра линейной поляризации, присущего в пассивных очках наблюдения с круговой поляризацией. Способ дополнительно включает в себя размещение пленок повышения контрастности на выходных поверхностях каждого из упомянутых поляризационных модуляторов и связывание упомянутых 30 пленок повышения контрастности с выходными поверхностями соответствующих им поляризационных модуляторов. Этап связывания предусматривает использование оптического адгезива. Каждый из поляризационных модуляторов содержит стопку из двух отдельных жидкокристаллических элементов пи-ячейки, расположенных один за другим, и два отдельных жидкокристаллических элемента пи-ячейки располагаются в 35 ориентации взаимного перекрещивания и переключаются между первым состоянием оптической обработки и вторым состоянием оптической обработки. Первое состояние оптической обработки и второе состояние оптической обработки обуславливают модулирование первичного пучка формирования изображения и двух вторичных пучков формирования изображения между состояниями левой и правой круговой поляризации, 40 соответственно.

Способ дополнительно включает в себя нарушение состояния круговой поляризации пучка формирования изображения, имеющего оптический путь, выходящий из поляризационного модулятора. Способ предусматривает размещение пленки повышения контрастности, имеющей по меньшей мере три отдельные одноосно растянутые пленки 45 задержки, на оптическом пути пучка формирования изображения, выходящего из поляризационного модулятора. Каждая одноосно растянутая пленка задержки по отдельности обладает значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм. Оптические оси для каждой из одноосно растянутых

пленок задержки направлены под заданными углами и по меньшей мере две из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки имеют оптические оси, направленные под разными углами. Способ дополнительно включает в себя связывание друг с другом, с использованием оптического адгезива по меньшей мере трех одноосно растянутых пленок задержки, образующих пленку повышения контрастности.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Специалист в данной области техники может лучше понять настоящее изобретение и его задачи и преимущества, обратившись к прилагаемым чертежам, где аналогичные ссылочные позиции обозначают аналогичные элементы на нескольких чертежах.

10 Фиг. 1 - система стереоскопической 3D-проекции, содержащая однопучковую компоновку согласно уровню техники.

Фиг. 2 - система стереоскопической 3D-проекции, содержащая двухпучковую компоновку согласно уровню техники.

15 Фиг. 3 - система стереоскопической 3D-проекции, содержащая трехпучковую компоновку согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 4 - пленка повышения контрастности, содержащая стопку из по меньшей мере трех отдельных одноосно растянутых пленок задержки, связанных друг с другом, согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

На фиг. 1 показана однопучковая система стереоскопической 3D-проекции согласно уровню техники, где поляризационный модулятор 10, содержащий стопку из одного или более жидкокристаллических элементов (не показана), располагается непосредственно перед объективом проектора 1, например, цифрового кинопроектора 25 3-chip DLP или иного устройства.

На этом чертеже и всех последующих чертежах, пути пучков формирования изображения представлены векторами, выполненными для наглядности, одной линией. Однако специалисту в данной области техники понятно, что упомянутые пучки формирования изображения обычно обладают некоторым уровнем углового расхождения, например, ± 10 градусов в вертикальной плоскости и ± 22 градуса в горизонтальной плоскости, соответственно. Однако следует понимать, что возникновение упомянутого расхождения пучка не выходит за рамки раскрытых здесь принципов изобретения и, поэтому, для наглядности, будет опущено в нижеследующих 30 чертежах.

Проектор 1 генерирует последовательность изображений попеременно для левого и правого глаза 11 на высоких частотах, обычно, 144 Гц, и упомянутый поляризационный модулятор 10 призван сообщать первое состояние круговой поляризации всем изображениям для левого глаза и второе состояние круговой поляризации всем изображениям для правого глаза, соответственно, при том, что упомянутые первое и 40 второе состояния круговой поляризации ортогональны друг другу.

Затем упомянутые изображения для левого и правого глаза фокусируются на поверхность проекционного экрана, сохраняющего поляризацию 3, например, киноэкран или другой предмет, что позволяет наблюдать стереоскопические 3D-изображения с мультиплексированием по времени с использованием пассивных очков наблюдения с 45 круговой поляризацией (не показаны).

Однако, поскольку типичные кинопроекторы, в настоящее время присутствующие на рынке, например, проекторы 3-chip DLP, генерируют изображения, которые первоначально являются произвольно поляризованными, специалисту в данной области

техники известно, что фильтр линейной поляризации (не показан) должен располагаться на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора 10.

Кроме того, согласно предпочтительному варианту осуществления согласно уровню техники, упомянутый поляризационный модулятор 10 содержит две отдельные

- 5 жидкокристаллические пи-ячейки (не показаны), расположенные в стопку друг на друга во взаимно перекрещенной ориентации. Пи-ячейки характеризуются тем, что их
- 10 поверхностные директоры выравнивания на каждой подложке направлены параллельно друг другу и ориентированы в одном и том же направлении, так что в по меньшей мере одном оптическом состоянии жидкокристаллический материал образует спиралевидную структуру между упомянутыми подложками, обладающими 180-градусным поворотом вращения (т.е. пи радиан).

Кроме того, упомянутая пи-ячейка может, например, переключаться между первым оптическим состоянием, обладающим нулевой задержкой при возбуждении высоким напряжением (например, 25 вольт) для преобразования жидкокристаллического

- 15 материала в гомеотропную текстуру, и вторым оптическим состоянием, обладающим оптической задержкой, близкой к 140 нм, при возбуждении низким напряжением (например, 3 вольт) для преобразования жидкокристаллического материала в скошенную текстуру с нулевым поворотом. Кроме того, когда упомянутая пи-ячейка находится в упомянутом втором оптическом состоянии, обладающем значением
- 20 задержки, близким к 140 нм, упомянутая пи-ячейка образует четвертьволновую пластинку (QWP) для центральной части диапазона длин волн видимого света и, таким образом, будет преобразовывать линейно поляризованный свет непосредственно в круговую поляризацию.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что упомянутые пи-

- 25 ячейки могут, предпочтительно, работать без фазировки друг с другом, причем в течение периода, когда упомянутая первая пи-ячейка работает на высоком напряжении (например, 25 вольт) упомянутая вторая пи-ячейка одновременно работает на низком напряжении (например, 3 вольт) и наоборот. Это позволяет быстро модулировать падающий световой пучок 11 между состояниями левой и правой круговой поляризации.

- 30 Специалисту в данной области техники также известно, что каждая из линз пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией обычно содержит фильтр линейной поляризации, наслойенный совместно с пленкой задержки. Кроме того, упомянутая пленка задержки обычно содержит одиночную одноосно растянутую пленку задержки со значением задержки в плоскости, близким к 140 нм.

- 35 Кроме того, если фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора 10, выровнен параллельно относительно фильтра линейной поляризации, присутствующего в линзах упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией, то, когда задержка (140 нм) в одной из упомянутых пи-ячеек, работающих на низком напряжении, параллельна
- 40 пленке задержки (140 нм), присутствующей в одной из упомянутых линз, полная задержка получается суммированием 140 нм (пи-ячейка) + 140 нм (очки наблюдения) = 280 нм, и, таким образом, система образует хроматическую полуволновую пластинку (HWP) для центральной части видимого спектра. В таком случае, поскольку упомянутая хроматическая полуволновая пластинка не способна вращать все длины волн видимого
- 45 света в точности на 90 градусов, упомянутая линза не способна полностью блокировать все длины волн видимого света, из-за чего возникает нежелательно высокий уровень двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени.

По этой причине, специалисту в данной области техники известно, что большинство изделий поляризационного модулятора, в настоящее время присутствующих на рынке, содержат две пи-ячейки, уложенные в стопку друг на друга во взаимно перекрещенной ориентации и с осью пропускания упомянутого фильтра линейной поляризации,

⁵ расположенного на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора, направленной перпендикулярно относительно фильтров линейной поляризации, присутствующих в обеих линзах упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией.

Кроме того, поскольку фильтры линейной поляризации, присутствующие в обеих ¹⁰ линзах упомянутых очков наблюдения обычно выровнены, когда их оси пропускания горизонтальны, специалисту в данной области техники известно, что предпочтительная компоновка возникает, когда фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора, выровнен с его вертикальной осью пропускания.

¹⁵ Однако, хотя однопучковая стереоскопическая 3D-система, описанная на фиг. 1, обеспечивает низкий уровень двоения изображения или перекрестных искажений, специалисту в данной области техники известно, что фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора 10, будет поглощать приблизительно 50% падающего произвольно поляризованного ²⁰ света, сгенерированного упомянутым проектором 1, что приводит к генерации стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени, которым существенно не хватает яркости экранного изображения.

На фиг. 2 показана альтернативная система стереоскопической 3D-проекции, содержащая двухпучковую компоновку согласно уровню техники, которая обеспечивает ²⁵ более высокий уровень яркости экранного изображения по сравнению с вышеупомянутой однопучковой системой.

В данном случае, элемент 12 деления пучка, расположенный перед объективом упомянутого проектора 1 делит входящий падающий пучок 11 формирования изображения на один первичный пучок 13 формирования изображения, ³⁰ распространяющийся в том же направлении, что и упомянутый исходный падающий пучок 11 формирования изображения, и обладающий первым состоянием линейной поляризации, и один вторичный пучок 14 формирования изображения распространяющийся в направлении, перпендикулярном упомянутому падающему пучку 11 формирования изображения, и обладающий вторым состоянием линейной ³⁵ поляризации, причем упомянутые первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу.

Деформируемое зеркало 15 используется для отражения упомянутого вторичного пучка 14 формирования изображения к проекционному экрану 3, сохраняющему поляризацию, расположенному так, что упомянутые первичный и вторичный пучки ⁴⁰ формирования изображения перекрываются друг с другом в значительной степени на поверхности упомянутого проекционного экрана 3 для воссоздания полного изображения. Таким образом, в этой компоновке согласно уровню техники, обе компоненты поляризации, содержащие исходный падающий пучок 11 формирования изображения, используются для генерации полного экранного изображения, в итоге, ⁴⁵ обеспечивая более высокий уровень яркости изображения.

Затем поляризационные модуляторы 16, 10 используются для модуляции оптических состояний поляризации упомянутых первичного и вторичного пучков 13, 14 формирования изображения соответственно и расположены так, что каждое из

изображений попеременно для левого и правого глаза, сгенерированных упомянутым проектором 1, обладает одним из состояний левой и правой круговой поляризации, соответственно, что позволяет наблюдать стереоскопические 3D-изображения с мультиплексированием по времени с использованием пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией (не показаны).

Кроме того, элемент 12 деления пучка может предпочтительно содержать поляризатор с проволочной сеткой или иное устройство и, дополнительно, может существовать или не существовать пара телескопических (не показана), расположенных на оптическом пути первичного пучка 13 формирования изображения для компенсации сравнительно большой разности длин оптического пути между упомянутыми первичным и вторичным пучками 13, 14 формирования изображения.

В одном предпочтительном варианте осуществления вышеупомянутой двухпучковой стереоскопической 3D-системы согласно уровню техники, каждый из упомянутых поляризационных модуляторов 10, 16 содержит два отдельных жидкокристаллических элемента пи-ячеек (не показаны), расположенных в стопку друг на друга во взаимно перекрещенной ориентации. Кроме того, каждая пи-ячейка может, например, переключаться между первым оптическим состоянием, обладающим нулевой задержкой при возбуждении высоким напряжением (например, 25 вольт), и второе оптическое состояние, обладающее значением задержки по существу 140 нм при возбуждении низким напряжением (например, 3 вольта), соответственно.

Кроме того, когда одна из упомянутых пи-ячеек возбуждается низким напряжением (например, 3 вольта), в результате чего она обладает значением задержки, близким к 140 нм, упомянутая пи-ячейка образует четвертьвольновую пластинку (QWP) для центральной части видимого спектра и, таким образом, будет преобразовывать линейно поляризованный видимый свет непосредственно в круговую поляризацию.

Поэтому специалисту в данной области техники понятно, что, если упомянутые пи-ячейки действуют не в фазе друг с другом, так что когда упомянутая первая пи-ячейка работает на высоком напряжении, упомянутая вторая пи-ячейка одновременно работает на низком напряжении и наоборот, то упомянутый поляризационный модулятор способен быстро модулировать линейно поляризованный пучок формирования изображения между состояниями левой и правой круговой поляризации.

Кроме того, специалисту в данной области техники известно, что линзы, присутствующие в типичных пассивных очках наблюдения с круговой поляризацией, каждая содержит фильтр линейной поляризации, наслойенный совместно с пленкой задержки. Кроме того, упомянутая пленка задержки обычно содержит одиночную одноосно растянутую пленку задержки, обладающую значением задержки в плоскости, близким к 140 нм.

Кроме того, когда задержка в одной из упомянутых пи-ячеек, работающей на низком напряжении (например, 3 вольта), направлена параллельно упомянутой пленке задержки, присутствующей в одной из упомянутых линз, полная задержка получается суммированием 140 нм (пи-ячейка) + 140 нм (очки наблюдения) = 280 нм и в таком случае система образует хроматическую полуволновую пластинку (HWP) для центральной части диапазона длин волн видимого света.

Дополнительно, если фильтр линейной поляризации, расположенный на входных поверхностях упомянутого поляризационного модулятора, выровнен параллельно относительно фильтра линейной поляризации, присутствующего в обеих линзах упомянутых очков наблюдения, то упомянутая линза не будет способна эффективно блокировать все длины волн видимого света, поскольку полученная хроматическая

половиновая пластина не способна поворачивать все длины волн видимого света в точности на 90 градусов. Это приведет к генерации относительно высокого уровня двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени.

- 5 Таким образом, поскольку обе оси пропускания фильтров линейной поляризации, присутствующих в обеих линзах упомянутых очков наблюдения, обычно направлены горизонтально, предпочтительный вариант осуществления согласно уровню техники состоит в том, чтобы гарантировать что оба фильтра линейной поляризации, расположенные на входных поверхностях для каждого из упомянутых поляризационных
- 10 модуляторов 10, 16, выровнены, причем их оси пропускания вертикальны, чтобы гарантировать достижение низкого уровня двоения изображения или перекрестных искажений с использованием типичных пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией.

Однако, поскольку состояния линейной поляризации упомянутых первичного и вторичного пучков 13, 14 формирования изображения ортогональны друг другу, этот критерий может достигаться только путем размещения вращателя 17 плоскости поляризации на оптическом пути упомянутого вторичного пучка 14 формирования изображения и сконструированного для поворота на 90 градусов состояния линейной поляризации упомянутого вторичного пучка 14 формирования изображения, так что упомянутое состояние линейной поляризации затем преобразуется в то же состояние линейной поляризации, что и у упомянутого первичного пучка 13 формирования изображения.

Соответственно, упомянутый вращатель 17 плоскости поляризации должен располагаться на оптическом пути упомянутого вторичного пучка 14 формирования изображения и располагаться где-то между упомянутым элементом 12 деления пучка и входной поверхностью упомянутого поляризационного модулятора 10, а в противном случае может располагаться до или после упомянутой отражающей поверхностью 15, чтобы гарантировать, что состояния линейной поляризации для обоих первичного и вторичного пучков 13, 14 формирования изображения выровнены вертикально на входных поверхностях упомянутых поляризационных модуляторов 16, 10, соответственно. Это гарантирует достижение низкого уровня двоения изображения или перекрестных искажений согласно уровню техники.

Однако, поскольку оптическая эффективность упомянутого вращателя 17 плоскости поляризации обычно составляет только приблизительно 90% в диапазоне длин волн видимого света, включение упомянутого вращателя 17 плоскости поляризации приведет к снижению полной оптической световой эффективности системы и, следовательно, снижению яркости результирующего экранного изображения.

Дополнительно, поскольку существует сравнительно большая разность длин оптического пути между упомянутыми первичным и вторичным пучками 13, 14 формирования изображения, специалисту в данной области техники понятно, что пара телобъективов (не показана) обычно должны располагаться на оптическом пути первичного пучка 13 формирования изображения для компенсации упомянутой разности длин оптического пути. Однако это будет дополнительно снижать яркость полного экранного изображения и повышать сложность и стоимость системы.

На фиг. 3 показан предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения, который ослабляет недостатки описанных здесь вышеупомянутых технологий уровня техники. В данном случае, раскрыта трехпучковая система стереоскопической 3D-проекции, содержащая элемент 18 деления пучка, который делит входящий пучок 11

формирования изображения на один первичный пучок 13 формирования изображения, распространяющийся в том же направлении, что и упомянутый исходный падающий пучок 11 формирования изображения и обладающий первым состоянием линейной поляризации, и два вторичных пучка 14, 22 формирования изображения,

5 рас пространяющихся во взаимно противоположных направлениях, которые также оба перпендикулярны упомянутому падающему пучку 11 формирования изображения и оба обладают вторым состоянием линейной поляризации, причем упомянутые первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу.

Затем отражающие зеркала 15, 17 используются для отклонения упомянутых

10 вторичных пучков 14, 22 формирования изображения, соответственно, к проекционному экрану 3, сохраняющему поляризацию, например, киноэкрану или другому предмету, и затем упомянутые первичный и вторичный пучки 13, 14, 22 формирования изображения располагаются так, чтобы частично перекрываться, объединяясь друг с другом для воссоздания полного изображения на поверхности упомянутого проекционного экрана

15 3. Кроме того, упомянутые отражающие зеркала 15, 17 могут или не могут частично деформироваться для помощи в точном выравнивании упомянутых первичного и вторичного пучков 13, 14, 22 формирования изображения на поверхности упомянутого проекционного экрана 3.

Таким образом, обе компоненты поляризации, содержащие исходный падающий

20 пучок 11 формирования изображения, используются для генерации полного экранного изображения, тем самым повышая яркость полного изображения. Специалисту в данной области техники также понятно, что полученная разность длин оптического пути между упомянутыми первичным и вторичным пучками 13, 14, 22 формирования изображения теперь значительно снижается по сравнению с другими технологиями уровня техники,

25 следовательно, снижая необходимость использования дополнительной пары телобъективов или аналогичного элемента для компенсации упомянутой разности длин оптического пути и снижения сложности и стоимости системы в целом.

Элемент 18 деления пучка может содержать, например, две пластины поляризатора с проволочной сеткой (WGP), соприкасающиеся краями и выровненные друг с другом

30 под углом приблизительно 90 градусов. Кроме того, для минимизации полученного промежутка между упомянутыми пластинами, два соединяющиеся края могут быть дополнительно скошены (не показано) под углом приблизительно 45 градусов, чтобы упомянутые пластины располагались в непосредственной близости друг к другу.

Альтернативно, элемент 18 деления пучка может, например, альтернативно,

35 содержать два поляризационных светоделительных (PBS) куба, связанных друг с другом (не показаны) и расположенных так, что две поверхности деления пучка в упомянутых кубах выровнены друг с другом под углом приблизительно 90 градусов. Другие элементы деления пучка также могут использоваться для достижения описанного эффекта, не выходя за рамки раскрытоего здесь принципа изобретения.

40 Затем поляризационные модуляторы 16, 10, 19 располагаются на оптических путях для каждого из упомянутых первичного и вторичного пучков 13, 14, 22 формирования изображения, соответственно, и позволяют модулировать состояния линейной поляризации упомянутых пучков формирования изображения между первым и вторым состояниями круговой поляризации в ответ на сигнал возбуждения (не показан).

45 Кроме того, упомянутые поляризационные модуляторы 16, 10, 19 располагаются так, что все изображения для левого глаза, сгенерированные упомянутым проектором 1, приводятся в первое состояние круговой поляризации, и все изображения для правого глаза приводятся во второе состояние круговой поляризации, причем упомянутые

первое и второе состояния круговой поляризации ортогональны друг другу, что позволяет наблюдать стереоскопические 3D-изображения с мультиплексированием по времени на поверхности упомянутого проекционного экрана 3 с использованием пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией (не показаны).

- 5 Согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения, каждый из упомянутых поляризационных модуляторов 16, 10, 19 содержит стопку из двух отдельных пи-ячеек (не показана), расположенных во взаимно перекрещенной ориентации. В данном случае, каждая пи-ячейка может, например, переключаться между первым оптическим состоянием, обладающим нулевой задержкой при работе на высоком
10 напряжении (например, 25 вольт), и вторым оптическим состоянием, обладающим значением задержки, близким к приблизительно 140 нм при работе на низком напряжении (например, 3 вольта), соответственно.

Кроме того, специалисту в данной области техники понятно, что с использованием упомянутых пи-ячеек, расфазированных друг с другом, так что, когда упомянутая
15 первая пи-ячейка работает на высоком напряжении, упомянутая вторая пи-ячейка одновременно работает на низком напряжении и наоборот, упомянутый поляризационный модулятор сможет быстро модулировать состояния линейной поляризации упомянутых первичного и вторичного пучков 13, 14, 22 формирования изображения между состояниями левой и правой круговой поляризации.

- 20 Однако специалисту в данной области техники также понятно, что, когда состояние линейной поляризации одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения на входных поверхностях одно из упомянутых поляризационных модуляторов 16, 10, 19, соответственно, выровнено параллельно оси пропускания фильтров линейной поляризации, присутствующих в линзах упомянутых
25 очков наблюдения с круговой поляризацией, согласно уровню техники, одна из упомянутых линз обычно не сможет полностью блокировать все длины волн света, что приводит к образованию высокого уровня двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени.

30 Однако в предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения состояния линейной поляризации обоих вторичных пучков 14, 22 формирования изображения на входных поверхностях упомянутых поляризационных модуляторов 10, 19, соответственно, выровнены параллельно фильтрам линейной поляризации, присутствующим в линзах упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией. В таком случае, согласно варианту осуществления настоящего изобретения, пленки 20, 21 повышения контрастности располагаются на выходных поверхностях каждого из упомянутых поляризационных модуляторов 10, 19, соответственно, и сконструированы для нарушения и повышения степени круговой поляризации двух вторичных пучков формирования изображения, выходящих из
40 упомянутых поляризационных модуляторов без изменения общих состояний круговой поляризации для упомянутых вторичных пучков формирования изображения, таким образом повышая уровень блокировки света, достижимый упомянутыми очками наблюдения, и снижая общий уровень двоения изображения или перекрестных искажений при поддержании яркости результирующего экранного изображения на высоком уровне.

- 45 Кроме того, согласно еще одному аспекту настоящего изобретения, обе упомянутые пленки 20, 21 повышения контрастности содержат стопку из по меньшей мере трех отдельных одноосно растянутых пленок 20a, 20b, 20c и 21a, 21b, 21c задержки, соответственно, связанных друг с другом с использованием оптического адгезива или

иным образом, и с каждой пленкой задержки, обладающей индивидуальным значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм и 540 нм, соответственно.

Конкретная конструкция для каждой пленки 20, 21 повышения контрастности 5 характеризуется каждой отдельной пленкой 20a, 20b, 20c и 21a, 21b, 21c задержки, обладающей конкретным значением задержки (в нанометрах), и ориентация оптической оси (в градусах) и упомянутые пленки 20, 21 повышения контрастности оптимизируются так, чтобы максимизировать степень круговой поляризации упомянутых вторичных 10 пучков 14, 22 формирования изображения, выходящих из упомянутых поляризационных модуляторов 10, 19, соответственно. Таким образом, упомянутые пленки 20, 21 повышения контрастности способны снижать общий уровень двоения изображения или перекрестных искажений при наблюдении стереоскопических 3D-изображений с мультиплексированием по времени при поддержании яркости полного экранного изображения на более высоком уровне по сравнению с другими технологиями уровня 15 техники.

На фиг. 4 показан пример конструкции упомянутой пленки 20 повышения контрастности согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения. В данном случае, упомянутая пленка 20 повышения контрастности содержит стопку из двенадцати (12) отдельных одноосно растянутых пленок 20a-1 20 задержки, связанных друг с другом. Кроме того, каждая отдельная пленка 20a-1 задержки по отдельности обладает значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм и 540 нм, соответственно, и оптическая ось для каждой отдельной пленки 20a-1 задержки по отдельности направлена под заданным раскрытым здесь углом согласно одному аспекту настоящего изобретения для оптимизации общей 25 производительности упомянутой пленки 20 повышения контрастности.

Кроме того, в показанном здесь примере упомянутые пленки 20b,c,e,f,g,h,j,k задержки обладают значением задержки в плоскости, равным по существу 270 нм, тогда как упомянутые пленки 20a,d,i,l задержки обладают значением задержки в плоскости, равным по существу 140 нм. Однако специалисту в данной области техники понятно, 30 что другие комбинации отдельных пленок задержки также можно использовать для достижения аналогичных результатов, не выходя за рамки принципа изобретения. Также можно понять, что отдельные пленки задержки также могут располагаться одна за другой, не будучи связанными друг с другом с использованием оптического адгезива, или альтернативно располагаться в отдельных позициях на оптических путях 35 упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения, не выходя за рамки принципа изобретения.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения возникает, когда упомянутые пленки 20, 21 повышения контрастности связаны с выходными поверхностями каждого из упомянутых поляризационных модуляторов 40 10, 19, соответственно. Однако следует понимать, что упомянутые пленки 20, 21 повышения контрастности могут альтернативно располагаться в другом месте между выходными поверхностями упомянутых поляризационных модуляторов 10, 19 и упомянутым проекционным экраном 3 без отхода от раскрытоого изобретения. Например, по меньшей мере одна из упомянутых пленок 20, 21 повышения 45 контрастности может быть альтернативно включена в отдельные выходные окна (не показаны), которые могут присутствовать или отсутствовать.

Следует также понимать, что, если, альтернативно, состояние линейной поляризации первичного пучка 13 формирования изображения располагается параллельно оси

пропускания фильтров линейной поляризации, присутствующих в линзах упомянутых пассивных очков наблюдения с круговой поляризацией, то, в этом случае, одиночная пленка повышения контрастности должна располагаться на выходной поверхности упомянутого поляризационного модулятора 16 и располагаться на оптическом пути

упомянутого первичного пучка 13 формирования изображения, в то время как дополнительные пленки повышения контрастности не нужны ни для одного из двух вторичных пучков 14, 22 формирования изображения. Однако такая компоновка также раскрыта здесь и включена как дополнительный вариант осуществления настоящего изобретения.

Хотя здесь показаны и описаны предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения, можно предложить различные их модификации, не выходя за рамки принципа изобретения настоящего изобретения. Соответственно, следует понимать, что настоящее изобретение описано выше в порядке иллюстрации, а не ограничения.

15

(57) Формула изобретения

1. Система стереоскопической 3D-проекции с мультиплексированием по времени для проецирования произвольно поляризованного падающего пучка формирования изображения, сгенерированного проектором с одним объективом, на проекционный экран, сохраняющий поляризацию, причем система содержит:

элемент деления пучка, выполненный с возможностью деления произвольно поляризованного падающего пучка формирования изображения, сгенерированного проектором с одним объективом, на один первичный пучок формирования изображения, имеющий путь первичного пучка формирования изображения и обладающий первым состоянием линейной поляризации, и два вторичных пучка формирования изображения, каждый из которых имеет соответствующие пути вторичного пучка формирования изображения, оба обладающие вторым состоянием линейной поляризации, причем упомянутые первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу, и оба упомянутые пути вторичного пучка формирования изображения для упомянутых вторичных пучков формирования изображения отклоняются отражающими поверхностями, так что упомянутые первичный и вторичный пучки формирования изображения частично перекрываются и рекомбинируются друг с другом для формирования полного изображения на поверхности проекционного экрана, сохраняющего поляризацию;

35 поляризационный модулятор, расположенный на каждом из путей первичного пучка формирования изображения и двух путей вторичного пучка формирования изображения, выполненный с возможностью модуляции упомянутых первого и второго состояний линейной поляризации между состояниями левой и правой круговой поляризации синхронно с изображениями, сгенерированными упомянутым проектором;

40 пленку повышения контрастности, расположенную на оптическом пути по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения и расположенную между соответствующим поляризационным модулятором и проекционным экраном;

45 причем упомянутая пленка повышения контрастности содержит стопку из по меньшей мере трех отдельных одноосно растянутых пленок задержки, выполненных с возможностью нарушения состояния круговой поляризации по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения;

при этом каждая из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки по

отдельности обладает значением задержки в плоскости по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм.

2. Система по п. 1, в которой каждая из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки имеет оптическую ось, направленную под заданным углом, причем по меньшей мере две из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки имеют оптические оси, направленные под разными углами.

3. Система по п. 1, в которой упомянутые поляризационные модуляторы имеют выходную поверхность, через которую проходят, соответственно, первичный и вторичный пучки формирования изображения, и упомянутая пленка повышения контрастности располагается вблизи выходной поверхности соответствующего ей поляризационного модулятора.

4. Система по п. 3, в которой упомянутая пленка повышения контрастности связана с выходной поверхностью соответствующего ей поляризационного модулятора.

5. Система по п. 3, в которой упомянутая пленка повышения контрастности располагается вблизи поляризационного модулятора на пути первичного пучка формирования изображения, причем состояние линейной поляризации первичного пучка формирования изображения сконфигурировано параллельным оси пропускания фильтра линейной поляризации, присущей в пассивных очках наблюдения с круговой поляризацией.

6. Система по п. 3, дополнительно включающая в себя пленки повышения контрастности, расположенные на выходных поверхностях каждого из упомянутых поляризационных модуляторов.

7. Система по п. 6, в которой упомянутые пленки повышения контрастности связаны с выходными поверхностями соответствующего им поляризационного модулятора.

8. Система по п. 1, в которой упомянутые одноосно растянутые пленки задержки упомянутой пленки повышения контрастности связаны друг с другом с использованием оптического адгезива.

9. Система по п. 1, в которой каждый из упомянутых поляризационных модуляторов содержит стопку из двух отдельных жидкокристаллических элементов пи-ячейки, расположенных один за другим.

10. Система по п. 9, в которой упомянутые два отдельных жидкокристаллических элемента пи-ячейки располагаются в ориентации взаимного перекрещивания и переключаются между первым состоянием оптической обработки и вторым состоянием оптической обработки.

11. Система по п. 10, в которой упомянутое первое состояние оптической обработки и упомянутое второе состояние оптической обработки обуславливают модулирование первичного пучка формирования изображения и двух вторичных пучков формирования изображения между состояниями левой и правой круговой поляризации, соответственно.

12. Пленка повышения контрастности для размещения на оптическом пути пучка формирования изображения, выходящего из поляризационного модулятора, причем пленка повышения контрастности выполнена с возможностью нарушения состояния круговой поляризации пучка формирования изображения, причем упомянутая пленка повышения контрастности содержит:

стопку из по меньшей мере трех отдельных одноосно растянутых пленок задержки; причем каждая из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки по отдельности обладает значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм; при этом каждая из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки имеет оптическую ось, направленную под заданным углом, причем по меньшей мере

две из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки имеют оптические оси, направленные под разными углами.

13. Пленка по п. 12, в которой упомянутые одноосно растянутые пленки задержки упомянутой пленки повышения контрастности связаны друг с другом с использованием оптического адгезива.

14. Способ стереоскопической 3D-проекции с мультиплексированием по времени для проецирования произвольно поляризованного падающего пучка формирования изображения, сгенерированного проектором с одним объективом, на проекционный экран, сохраняющий поляризацию, причем способ содержит этапы, на которых:

10 делают, с использованием элемента деления пучка, произвольно поляризованный падающий пучок формирования изображения, сгенерированный упомянутым проектором с одним объективом, на один первичный пучок формирования изображения, имеющий путь первичного пучка формирования изображения и обладающий первым состоянием линейной поляризации, и два вторичных пучка формирования изображения,

15 каждый из которых имеет соответствующие пути вторичного пучка формирования изображения, оба обладающие вторым состоянием линейной поляризации, причем упомянутые первое и второе состояния линейной поляризации ортогональны друг другу, и оба упомянутые пути вторичного пучка формирования изображения для упомянутых вторичных пучков формирования изображения отклоняются отражающими

20 поверхностями, так что упомянутые первичный и вторичный пучки формирования изображения частично перекрываются и рекомбинируются друг с другом для формирования полного изображения на поверхности проекционного экрана, сохраняющего поляризацию;

25 модулируют, с использованием поляризационного модулятора, расположенного на каждом из путей первичного пучка формирования изображения и двух путей вторичного пучка формирования изображения, упомянутые первое и второе состояния линейной поляризации между состояниями левой и правой круговой поляризации синхронно с изображениями, сгенерированными проектором;

30 размещают пленку повышения контрастности на оптическом пути по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения, расположенному между соответствующим поляризационным модулятором и проекционным экраном;

35 причем упомянутая пленка повышения контрастности содержит стопку из по меньшей мере трех отдельных одноосно растянутых пленок задержки, выполненных с

возможностью нарушения состояния круговой поляризации по меньшей мере одного из упомянутых первичного и вторичного пучков формирования изображения;

при этом каждая из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки по отдельности обладает значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм.

40 15. Способ по п. 14, дополнительно включающий в себя этап, на котором направляют каждую из оптических осей упомянутой одноосно растянутой пленки задержки под заданным углом, причем по меньшей мере две из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки имеют оптические оси, направленные под разными углами.

45 16. Способ по п. 14, в котором размещение пленки повышения контрастности включает в себя этап, на котором размещают упомянутую пленку на выходной поверхности упомянутого поляризационного модулятора.

17. Способ по п. 16, дополнительно включающий в себя этап, на котором связывают упомянутую пленку повышения контрастности с выходной поверхностью

поляризационного модулятора.

18. Способ по п. 16, дополнительно включающий в себя этап, на котором размещают упомянутую пленку повышения контрастности вблизи поляризационного модулятора на пути первичного пучка формирования изображения и конфигурируют состояние линейной поляризации первичного пучка формирования изображения параллельным оси пропускания фильтра линейной поляризации, присущего в пассивных очках наблюдения с круговой поляризацией.

19. Способ по п. 16, дополнительно включающий в себя этап, на котором размещают пленки повышения контрастности на выходных поверхностях каждого из упомянутых поляризационных модуляторов.

20. Способ по п. 19, дополнительно включающий в себя этап, на котором связывают упомянутые пленки повышения контрастности с выходными поверхностями соответствующих им поляризационных модуляторов.

21. Способ по п. 19, в котором на этапе связывания используют оптический адгезив.

22. Способ по п. 14, в котором каждый из упомянутых поляризационных модуляторов содержит стопку из двух отдельных жидкокристаллических элементов пи-ячейки, расположенных один за другим.

23. Способ по п. 22, в котором упомянутые два отдельных жидкокристаллических элемента пи-ячейки располагаются в ориентации взаимного перекрещивания и переключаются между первым состоянием оптической обработки и вторым состоянием оптической обработки.

24. Способ по п. 23, в котором упомянутое первое состояние оптической обработки и упомянутое второе состояние оптической обработки обуславливают модулирование первичного пучка формирования изображения и двух вторичных пучков формирования изображения между состояниями левой и правой круговой поляризации, соответственно.

25. Способ нарушения состояния круговой поляризации пучка формирования изображения, имеющего оптический путь, выходящий из поляризационного модулятора, причем способ содержит этапы, на которых;

размещают пленку повышения контрастности, содержащую по меньшей мере три

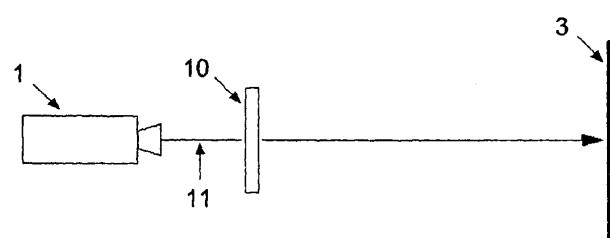
отдельные одноосно растянутые пленки задержки, на оптическом пути пучка формирования изображения, выходящего из поляризационного модулятора; причем каждая из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки по отдельности обладает значением задержки в плоскости, по существу равным одному из 140 нм, 270 нм или 540 нм; и

направляют оптические оси всех упомянутых одноосно растянутых пленок задержки под заданными углами, причем по меньшей мере две из упомянутых одноосно растянутых пленок задержки имеют оптические оси, направленные под разными углами.

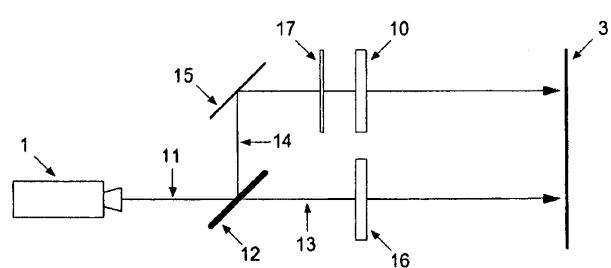
26. Способ по п. 25, дополнительно включающий в себя этап, на котором связывают друг с другом, с использованием оптического адгезива, упомянутые по меньшей мере три одноосно растянутые пленки задержки упомянутой пленки повышения контрастности.

1/4

Фиг.1

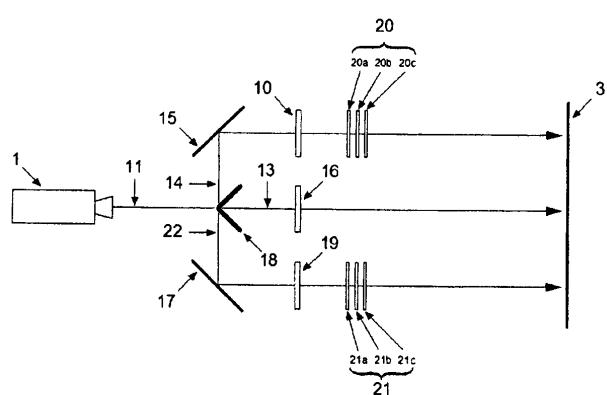


Фиг.2



3/4

Фиг.3



4/4

Фиг.4

