



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G02F 1/13 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022109747, 11.04.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.04.2022

Дата регистрации:
13.01.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.04.2022

(45) Опубликовано: 13.01.2023 Бюл. № 2

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,
стр. 38, ИФ СО РАН, отдел патентной и
изобретательской работы

(72) Автор(ы):

Давлетшин Николай Николаевич (RU),
Иконников Денис Андреевич (RU),
Сутормин Виталий Сергеевич (RU),
Вьюнышев Андрей Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр "Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук" (ФИЦ КНЦ СО
РАН, КНЦ СО РАН) (RU)

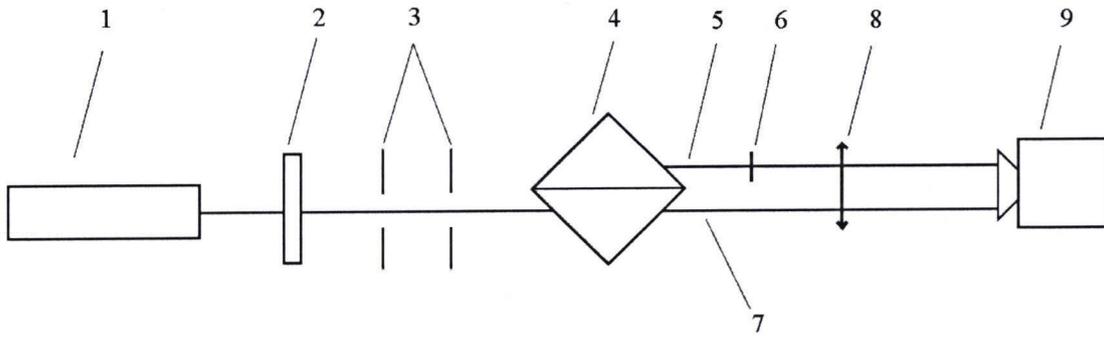
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2008204847 A1, 28.08.2008. Lin,
Xin, Junji Ohtsubo, and Tamiki Takemori.
"Generation of a joint pattern for optical speckle
JTC by using a liquid crystal cell and a
birefringent plate." Optics communications 98.1-
3 (1993): 41-46. Kirby, Mitchell A., Kosar
Khaksari, and Sean J. Kirkpatrick. "Assessment
of incident intensity on laser speckle (см. прод.)

(54) ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМЫЙ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКЛ-СТРУКТУР

(57) Реферат:

Изобретение относится к оптоэлектронной технике, в частности к устройствам, основанным на жидких кристаллах, и предназначено для генерации случайного распределения света (спекл-структур) при воздействии электрического поля. Электроуправляемый жидkokристаллический элемент для получения динамических спекл-структур содержит две стеклянные подложки с прозрачными электродами на внутренних сторонах, покрытых полимерными пленками-ориентантами, задающими начальную ориентацию молекул в отсутствие внешнего электрического поля, между которыми

расположен слой жидкого кристалла, и источник электрического напряжения. В качестве жидкого кристалла используют нематический жидкий кристалл с отрицательной диэлектрической анизотропией, а в качестве источника электрического напряжения используют генератор низкочастотных сигналов, способный генерировать знакопеременное напряжение 10-20 В и частотой 100-700 Гц, приводящее к возникновению в слое жидкого кристалла электрогидродинамической неустойчивости, сопровождаемой динамическим рассеянием света. 6 ил.



Фиг. 4

(56) (продолжение):

contrast imaging using a nematic liquid crystal spatial light modulator." Journal of Biomedical Optics 21.3 (2016): 036001.

RU 2787935 C1

RU 2787935 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G02F 1/13 (2022.08)

(21)(22) Application: **2022109747, 11.04.2022**

(24) Effective date for property rights:
11.04.2022

Registration date:
13.01.2023

Priority:

(22) Date of filing: **11.04.2022**

(45) Date of publication: **13.01.2023** Bull. № 2

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,
str. 38, IF SO RAN, otdel patentnoj i
izobretatelskoj raboty**

(72) Inventor(s):

**Davletshin Nikolaj Nikolaevich (RU),
Ikonnikov Denis Andreevich (RU),
Sutormin Vitalij Sergeevich (RU),
Vyunyshev Andrej Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (FITS KNTS SO RAN, KNTS SO RAN)
(RU)**

(54) **ELECTRICLY CONTROLLED LIQUID-CRYSTAL ELEMENT FOR OBTAINING DYNAMIC SPECKLE STRUCTURES**

(57) Abstract:

FIELD: optoelectronic engineering.

SUBSTANCE: invention relates to optoelectronic engineering, in particular to devices based on liquid crystals, and is intended to generate a random distribution of light (speckle patterns) when exposed to an electric field. An electrically controlled liquid crystal element for obtaining dynamic speckle structures contains two glass substrates with transparent electrodes on the inner sides, covered with orienting polymer films that specify the initial orientation of molecules in the absence of an external electric field, between which there is a liquid crystal layer, and an electric voltage

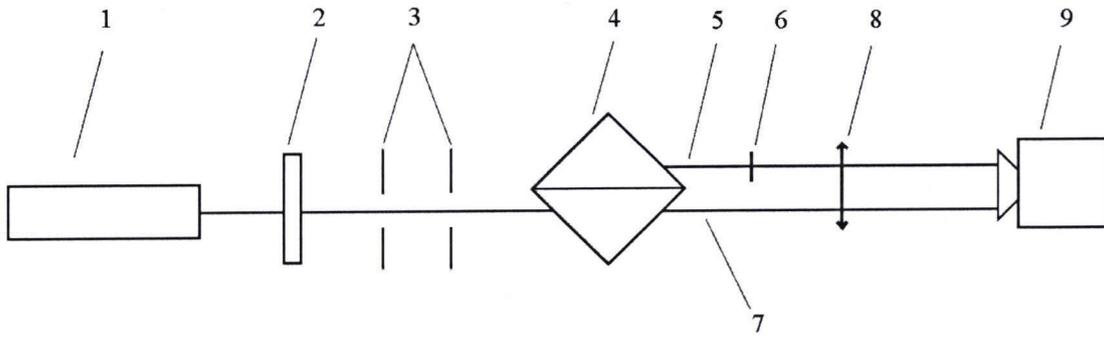
source. A nematic liquid crystal with negative dielectric anisotropy is used as a liquid crystal, and a low-frequency signal generator is used as an electric voltage source, capable of generating an alternating voltage of 10-20 V and a frequency of 100-700 Hz, leading to the occurrence of electrohydrodynamic instability in the liquid crystal layer, accompanied by dynamic light scattering.

EFFECT: invention allows to generate a random distribution of light (speckle patterns) when exposed to an electric field.

1 cl, 6 dwg

RU 2 787 935 C1

RU 2 787 935 C1



Фиг. 4

RU 2787935 C1

RU 2787935 C1

Изобретение относится к оптоэлектронной технике, в частности к устройствам, основанным на жидких кристаллах (ЖК) и предназначено для генерации случайного распределения света (спекл-структур) при воздействии электрического поля.

5 В методах визуализации, основанных на использовании скоррелированных световых полей со случайными распределениями интенсивности и/или фазы, важным аспектом является получение спекл-структур с использованием когерентного света. Под спекл-структурами понимают световые поля, являющиеся результатом интерференции рассеянных световых волн на случайно-неоднородных объектах [1].

10 Известно устройство для генерации случайного распределения света [2], которое представляет собой прозрачный диск, имеющий шероховатое покрытие, при прохождении через которое или отражении, от которого пучок света приобретает случайное распределение интенсивности в поперечном сечении. Вращение диска обеспечивает динамическую модуляцию интенсивности света в пространстве. Периодичность вращения приводит к периодическому воспроизведению
15 пространственного распределения интенсивности при полном повороте диска, что является существенным недостатком. Другим недостатком устройства является необходимость осуществления механического движения.

На сегодняшний день для генерации случайных распределений света часто применяются сложные оптоэлектронные устройства - модуляторы света. Одним из
20 таких модуляторов лазерного излучения является цифровое микрозеркальное устройство [3]. Этот модулятор относится к матричным устройствам, которые модулируют отраженный от них свет по амплитуде. Данное устройство представляет собой набор (массив) поворотных микрозеркал (линейные размеры 10-16 мкм), способных наклоняться независимо друг от друга на некоторый угол. Генерируемые на компьютере
25 двумерные бинарные распределения (паттерны) определяют положение (состояние) каждого микрозеркала, и таким образом, интенсивность света в области, соответствующей данному микрозеркалу. В результате, формируется дифракционная картина распределения интенсивности, которая динамически изменяется при смене паттернов. Возможность адресации к произвольному элементу массива позволяет
30 формировать произвольные распределения интенсивности света и осуществлять пространственную модуляцию света. Несмотря на механическое крепление микрозеркал, используемые шарниры выдерживают до 1 триллиона циклов.

Известен жидкокристаллический пространственный модулятор света (ЖК ПМС) [4]. В отличие от цифрового микрозеркального устройства, ЖК ПМС позволяет
35 модулировать свет в поперечном сечении не только по амплитуде, но также по фазе. ЖК ПМС представляет собой массив плоских ячеек, состоящий из двух стеклянных подложек с прозрачными электродами на внутренних поверхностях которых нанесены ориентирующие покрытия. Полость между стеклянными подложками заполняется жидким кристаллом. Генерируемые на компьютере двумерные паттерны определяют
40 напряжения, подаваемые на ячейки ЖК ПМС, и тем самым, задают требуемые конфигурации директора в массиве ЖК ячеек. В зависимости от конфигурации директора свет, падающий на соответствующую ячейку, приобретает определенный набег фазы в пределах указанной области, что позволяет осуществлять пространственную модуляцию фазы и/или амплитуды в поперечном сечении пучка света.

45 В части генерации спекл-паттернов, общими недостатками цифрового микрозеркального устройства и ЖК ПМС являются необходимость использования драйвера со стандартным цифровым видеointерфейсом, специального программного обеспечения для коммутации устройств с компьютером, и непосредственно компьютер.

Это приводит к усложнению и удорожанию оптической системы. Помимо этого, получение случайных паттернов в данных устройствах обеспечивается путем использования в алгоритмах генератора псевдослучайных чисел, что может вносить искажения в результаты эксперимента.

5 Наиболее близким аналогом является оптический модулятор на основе электрооптической сегнетоэлектрической жидкокристаллической ячейки [5], содержащий две параллельно расположенные прозрачные диэлектрические пластины, на внутренние стороны которых нанесены токопроводящие покрытия, жидкий кристалл, заполняющий пространство между токопроводящими покрытиями, изменяющий свою оптическую
10 анизотропию под воздействием электрического поля, прозрачное анизотропное покрытие, задающее начальную ориентацию молекул жидкого кристалла в отсутствие внешнего электрического поля, причем источник электрического напряжения выполнен с возможностью питания ячейки знакопеременным электрическим полем одновременно на низкой и высокой частоте, а состав и толщина слоя жидкого кристалла выбраны из
15 условия обеспечения образования в слое жидкого кристалла мелкомасштабных пространственно-неоднородных и быстро изменяемых во времени структур со случайным распределением градиентов показателя преломления.

Недостатки этого модулятора заключаются в том, что для работы описанного выше оптического модулятора требуется специфичное знакопеременное поле, способное
20 генерировать сигнал одновременно на низкой (50-500 Гц) и высокой (500-8000 Гц) частотах.

Техническим результатом изобретения является упрощение конструкции электроуправляемого жидкокристаллического элемента и возможность управления основными характеристиками спекл-структур.

25 Технический результат достигается тем, что в электроуправляемом жидкокристаллическом элементе для получения динамических спекл-структур, содержащем две стеклянные подложки с прозрачными электродами на внутренних сторонах, покрытых полимерными пленками-ориентантами, задающими начальную ориентацию молекул в отсутствие внешнего электрического поля, между которыми
30 расположен слой жидкого кристалла и источник электрического напряжения, новым является то, что используют нематический жидкий кристалл с отрицательной диэлектрической анизотропией, а в качестве источника электрического напряжения используют генератор низкочастотных сигналов, способный генерировать знакопеременное напряжение 10-20 В и частотой 100-700 Гц, приводящее к
35 возникновению в слое жидкого кристалла электрогидродинамической неустойчивости, сопровождаемой динамическим рассеянием света.

Таким образом, заявляемый электроуправляемый жидкокристаллический элемент для получения динамических спекл-структур отличается от прототипа тем, что в нем используют нематический жидкий кристалл с отрицательной диэлектрической
40 анизотропией, а управление элементом осуществляют переменным электрическим полем с величиной 10-20 В и частотой 100-700 Гц (одночастотный периодический сигнал), которое вызывает в жидком кристалле электрогидродинамическую неустойчивость, приводящую к динамическому рассеянию света и формированию динамических спекл-структур.

45 Перечисленные отличительные признаки позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях при изучении данных и смежных областей техники и,

следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Изобретение поясняется чертежами:

На фиг. 1 представлена сделанная микроскопом фотография статической доменной структуры в слое нематического жидкого кристалла с периодическим распределением директора.

На фиг. 2 представлена сделанная микроскопом фотография трансформации доменной структуры в слое нематического жидкого кристалла при увеличении напряжения приложенного поля выше порогового значения.

На фиг. 3 представлена сделанная микроскопом фотография нематической жидкокристаллической ячейки во время формирования пространственно-неоднородных и быстро изменяющихся во времени случайных структур директора при значительном увеличении напряжения приложенного поля выше порогового значения.

На фиг. 4 представлена схема экспериментальной установки.

На фиг. 5 представлены автокорреляционная функция спекл-структур, сгенерированных оптическим модулятором (а) и диаграмма взаимной корреляции для записанных спекл-реализаций (б).

На фиг. 6 представлены исходный объект (а) и результаты эксперимента по восстановлению изображения объекта с использованием различных примеров жидкокристаллических ячеек (б, в, г).

Одноэлементная ЖК ячейка представляет собой две стеклянные пластины с прозрачными электродами на внутренних сторонах, покрытых полимерными пленками-ориентантами. Между подложками располагается слой нематического ЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией. Для задания преимущественной ориентации молекул ЖК полимерные пленки однонаправленно натираются.

Для осуществления механизма электрогидродинамической неустойчивости приводящего к динамическому рассеянию света необходимо сгенерировать переменное электрическое поле с величиной находящейся в диапазоне 10-20 В и с частотой 100-700 Гц с помощью генератора низкочастотных сигналов, подключенного к электроуправляемому жидкокристаллическому элементу.

Данная ЖК ячейка функционирует следующим образом. В отсутствие внешнего электрического поля в ячейке формируется однородная планарная конфигурация директора, которая не рассеивает проходящий свет. Приложение к ячейке переменного электрического поля выше порогового значения приводит к возникновению электродинамической неустойчивости в ЖК, сопровождаемое формированием статической доменной структуры с периодическим распределением директора (Фиг. 1). Дальнейшее увеличение приложенного поля приводит к трансформации доменных структур (Фиг. 2). При значениях напряжения, значительно превышающих пороговое, наблюдается турбулентное течение ЖК, сопровождаемое формированием пространственно-неоднородных и быстро изменяющихся во времени случайных структур директора (Фиг. 3), приводящее к динамическому рассеянию проходящего света. Данный режим позволяет генерировать спекл-структуры с контролируемым средним размером спеклов и случайной статистикой.

Таким образом, принцип действия предлагаемого устройства основан на электрогидродинамической неустойчивости в электрооптической ЖК ячейке, которая приводит к динамическому рассеянию проходящего света на изменяющихся во времени пространственно-неоднородных случайных структурах директора.

Для демонстрации возможности получения динамических спекл-структур у

предлагаемого изобретения было изготовлено несколько электрооптических ЖК ячеек на основе нематического кристалла с отрицательной диэлектрической анизотропией.

Конструкция четырех реализаций изобретения на основе ЖК ячейки одинаковая и состоит из двух стеклянных подложек с прозрачными ИТО (оксид индия-олова) электродами на внутренних сторонах, покрытыми полиимидными полимерными пленками. Направление натирки верхней и нижней подложек было антипараллельным.

Пример 1.

Первая ячейка заполнялась нематическим жидким кристаллом, представляющим собой смесь 2,3-дифтор-4-этокси-4'-(4-бутил-циклогексил)бифенил и 4-метоксибензилиден-4'-н-бутиланилин, которая имеет отрицательную диэлектрическую анизотропию. Толщина слоя нематика составляла 15 мкм. Наибольшее значение коэффициента корреляции составляет 1.57 (для методов визуализации максимальное значение коэффициента составляет 2) и достигается приложением переменного электрического поля частотой 100 Гц и величиной 10 В. При прохождении света через данную ячейку свет испытывал меньшее рассеяние.

Особенностью данной ячейки является то, что динамическое рассеяние света наблюдается при более низкой частоте приложенного электрического поля.

Пример 2.

Вторая ячейка была заполнена нематическим жидким кристаллом 4-метоксибензилиден-4'-н-бутиланилин, имеющим отрицательную диэлектрическую анизотропию. Толщина слоя нематика составляла 15 мкм. Наибольшее значение коэффициента корреляции составляет 1.73 и достигается приложением переменного электрического поля частотой 230 Гц и величиной 15 В. Также как и в первом примере, данная ячейка меньше рассеивает проходящий через нее свет.

Пример 3.

Третья ячейка заполнялась нематическим жидким кристаллом, представляющим собой смесь 4-этокси-2,3-дифтор-4'-(4-пентил-циклогексил)бифенил, 4-метоксибензилиден-4'-н-бутиланилин и MLC-2048, имеющим отрицательную диэлектрическую анизотропию. Толщина слоя нематика составляла 15 мкм. Наибольшее значение коэффициента корреляции составляет 1.87 и достигается приложением переменного электрического поля частотой 500 Гц и величиной 17 В. Размеры спеклов при таком поле были минимальными, что наилучшим образом сказывается на конечном результате в методах визуализации.

Пример 4.

В качестве четвертого примера использовалась идентичная предыдущему примеру ячейка, которая заполнялась нематическим жидким кристаллом представляющим смесь 4-этокси-2,3-дифтор-4'-(4-пентил-циклогексил)бифенил, 4-метоксибензилиден-4'-н-бутиланилин и MLC-2048, имеющим отрицательную диэлектрическую анизотропию. Толщина слоя нематика составляла 15 мкм. Приложенное электрическое поле частотой 700 Гц и величиной 20 В приводит к динамическому рассеянию света. В этом случае спеклы имели больший размер, по сравнению с третьим примером. Коэффициент корреляции в данном примере составляет 1.83.

Классический метод восстановления изображения объекта (фантомные изображения) представляет собой процесс восстановления функции пространственной корреляции между двумя пучками:

- объектным, который регистрируется интегрирующим по пространству детектором (фотодиод);

- вспомогательным, который регистрируется детектором с пространственным

разрешением (матричный фотоприемник).

Была собрана оптическая система для получения фантомных изображений по аналогии с [2]. Схема экспериментальной установки представлена на Фиг. 4.

Использовался гелий-неоновый лазер 1 с длиной волны 543 нм и максимальной мощностью ~1 мВт. Лазерный пучок направлялся на ЖК ячейку 2, которая подключена к генератору. Затем спекл-пучок проходил через систему диафрагм 3 и разделялся на два пучка с помощью светоделителя 4. Разделенные спекл-пучки образуют систему из двух каналов. Первый канал 5, который проходит через амплитудную маску 6 является объектным, а второй канал 7 - вспомогательным. После амплитудной маски 5 находилась фокусирующая линза 8, которая проецирует изображение из плоскости маски в область сенсора камеры 9. Расположение фокусирующей линзы и камеры выбрано таким образом, чтобы удовлетворить условию, соответствующему случаю восстановления изображения объекта с помощью классических световых полей.

В методе получения фантомных изображений ключевыми требованиями являются пространственная корреляция между двумя каналами и независимость реализаций спекл-структур. Выполнение указанных требований дает возможность восстановить изображение за конечное число реализаций спекл-структур.

Рассмотрим подробно процесс восстановления изображения объекта на третьем примере со смесью 4-этоксидифтор-4'-(4-пентилциклогексил) бифенил, 4-метоксибензилиден-4'-н-бутиланилин и MLC-2048, имеющей отрицательную диэлектрическую анизотропию. Для оценки указанных характеристик в экспериментальной установке отсутствовала амплитудная маска 5 (Фиг. 4). Были рассмотрены авто- и кросскорреляционные функции $F(\xi, \eta)$ генерируемых спекл-структур, где ξ и η - приведенные координаты. График автокорреляции (Фиг. 5а) имеет узкий центральный пик, свидетельствующий о высокой случайности распределения интенсивности по кадру (спекл-картине).

Для проверки уникальности генерируемых ЖК ячейкой спекл-структур, были записаны n спекл-картин ($n=200$ реализаций). Используя полученные кросскорреляционные функции этих спекл-картин, была построена диаграмма (Фиг. 5б), на которой отображаются моменты интенсивности второго порядка между различными реализациями n_1, n_2 . Как видно, диагональные элементы диаграммы ($n_1=n_2$), которые соответствуют сигналу автокорреляции, имеют максимальные значения момента интенсивности второго порядка. Низкие значения недиагональных элементов диаграммы свидетельствуют о невозможности реализации спекл-структур. Данный факт подтверждает возможность применения предлагаемой ЖК ячейки в качестве генератора динамических спекл-структур.

Амплитудная маска представляла собой предметное стекло, покрытое слоем хрома, на котором методом оптической литографии формировался транспорант с изображением (объект), как показано на Фиг. 6а. Геометрические размеры маски составляли 3.5×2.5 мм². Восстановление изображения объекта производилось с помощью формулы [6]:

$$G(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (B_n - \langle B \rangle) I_n(x, y),$$

где G - массив восстановленного изображения на n -ой реализации, N - общее количество реализаций, B_n - интегральная интенсивность (по сечению объектного пучка), $\langle B \rangle$ - среднее значение B_n по N , I_n - распределение интенсивности во вспомогательном пучке.

Результат восстановления по 5000 реализациям представлен на Фиг. 6г. видно, что

восстановленное изображение различимо на фоне шумов и воспроизводит изображение рассматриваемого объекта. В данном случае соотношение сигнал/шум, рассчитанное по формуле [7] составило ≈ 0.32 .

В отличие от третьего примера остальные ячейки менее активно рассеивают лазерное излучение, что приводит к неравномерному распределению спеклов по кадру. Для первого и второго примеров это связано с подбором неоптимальных параметров прикладываемого поля. Вследствие этого интенсивность некоторых спеклов в кадре была выше, относительно других. Методика восстановления изображения объекта занимала 5000 реализаций. Сами же восстановленные изображения получились более контрастными, по сравнению с третьим примером, при этом качество восстановленного объекта снизилось (Фиг. 6б., Фиг. 6в.). Соотношения сигнал/шум для первого и второго примеров составляют ≈ 0.27 и ≈ 0.24 , соответственно. Это связано с неравномерным рассеянием проходящего света, что приводит к неравномерному распределению спеклов на амплитудной маске. Для повышения качества результатов следует увеличивать число реализаций, согласно зависимости, сигнал/шум $\sim \sqrt{N}$, где N - число реализаций.

Сравнение третьего (Фиг. 6г.) и четвертого (Фиг. 6д.) примеров, в которых использовался идентичный нематический жидкий кристалл, позволило сделать вывод о том, что увеличение приложенного поля не всегда приводит к улучшению конечного результата (соотношение сигнал/шум ≈ 0.3). Из этого следует, что для каждого нематического жидкого кристалла с отрицательной диэлектрической анизотропией необходимо подбирать оптимальные параметры электрического поля для достижения максимального значения коэффициента корреляции и качества восстановленного изображения.

Ввиду простоты конструкции и удобства в использовании, предложенный электроуправляемый жидкокристаллический элемент для получения динамических спекл-структур может применяться в таких системах визуализации как лазерная спекл-контрастная визуализация и фантомные изображения.

Источники информации

1. Goodman J.W. In Laser Speckle and Related Phenomena (ed. Dainty J.C.), SpringerVerlag, Berlin, p. 9-75 (1984)
2. A. Gatti, M. Bache, D. Magatti, E. Brambilla, F. Ferri, and L.A. Lugiato Coherent imaging with pseudo-thermal incoherent light // Journal of Modern Optics, - 2005. - 53(5) - P. 11.
3. Larry Hornbeck DIGITAL MICROMIRROR DEVICE // United States Patent - 1987. - Patent No.: US 5,061,049
4. Wang et al. SPATIAL LIGHT MODULATOR // United States Patent - 2004. - Patent No.: US 6,798,550 B1
5. Патент РФ №2373558, МПК G02F 1/13, опубл. 20.11.2009, бюл. №32.
6. Y. Broomberg, O. Katz, Y. Silberberg Ghost imaging with a single detector // Phys. Rev., - 2009. - A 79. - 053840.
7. F. Ferri, D. Magatti, L. A. Lugiato, and A. Gatti Differential Ghost Imaging // Phys. Rev. Lett, - 2010. - A 104. - 253603.

(57) Формула изобретения

Электроуправляемый жидкокристаллический элемент для получения динамических спекл-структур, содержащий две стеклянные подложки с прозрачными электродами на внутренних сторонах, покрытых полимерными пленками-ориентантами, задающими начальную ориентацию молекул в отсутствие внешнего электрического поля, между которыми расположен слой жидкого кристалла и источник электрического напряжения,

отличающийся тем, что используют нематический жидкий кристалл с отрицательной диэлектрической анизотропией, а в качестве источника электрического напряжения используют генератор низкочастотных сигналов, способный генерировать знакопеременное напряжение 10-20 В и частотой 100-700 Гц, приводящее к
5 возникновению в слое жидкого кристалла электрогидродинамической неустойчивости, сопровождаемой динамическим рассеянием света.

10

15

20

25

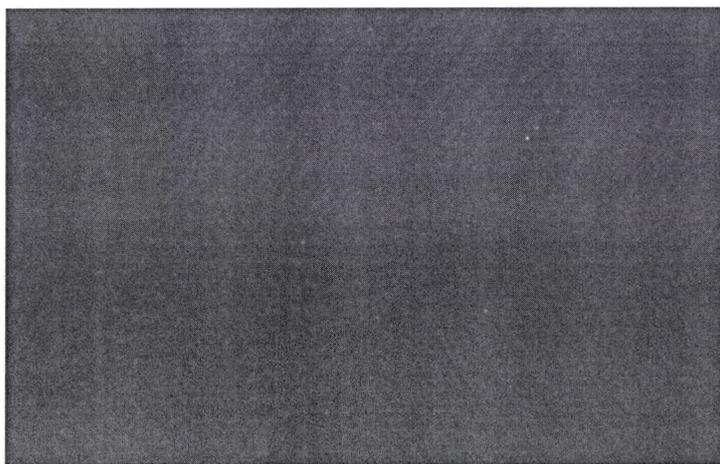
30

35

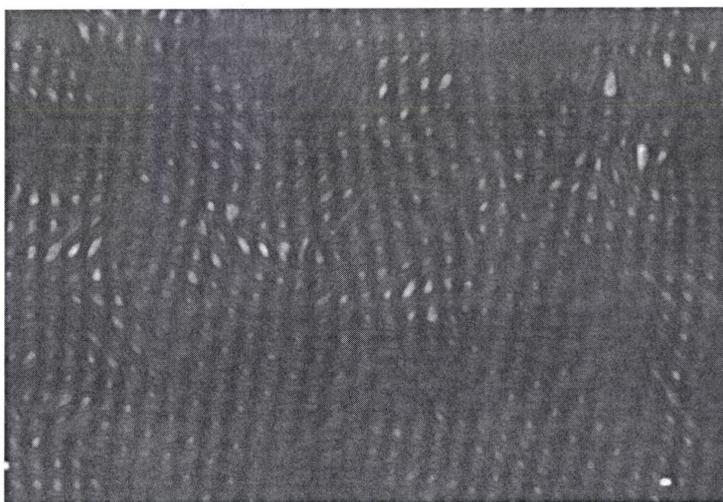
40

45

1

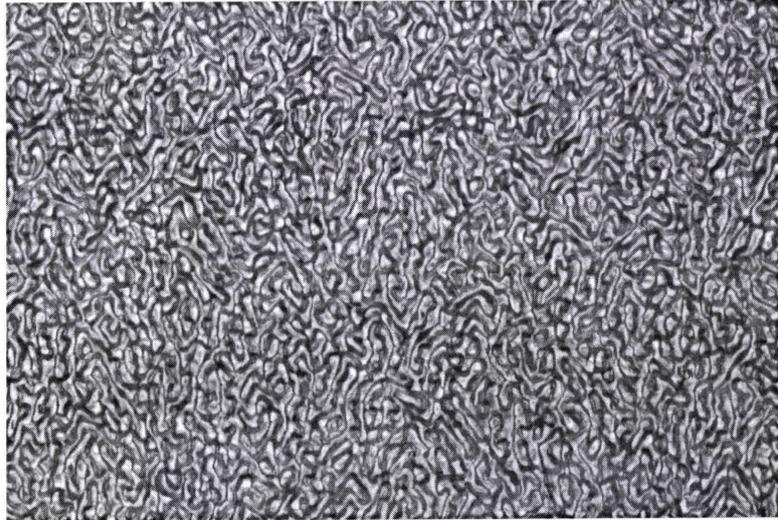


Фиг. 1

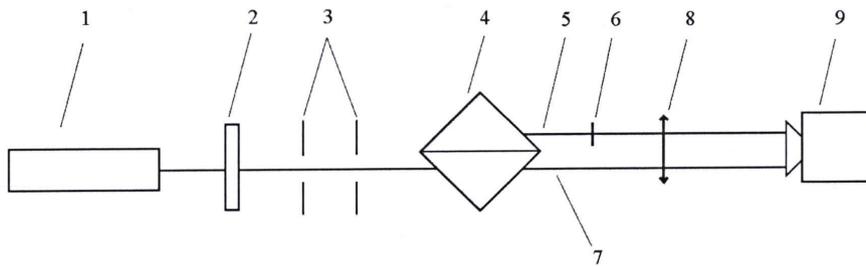


Фиг. 2

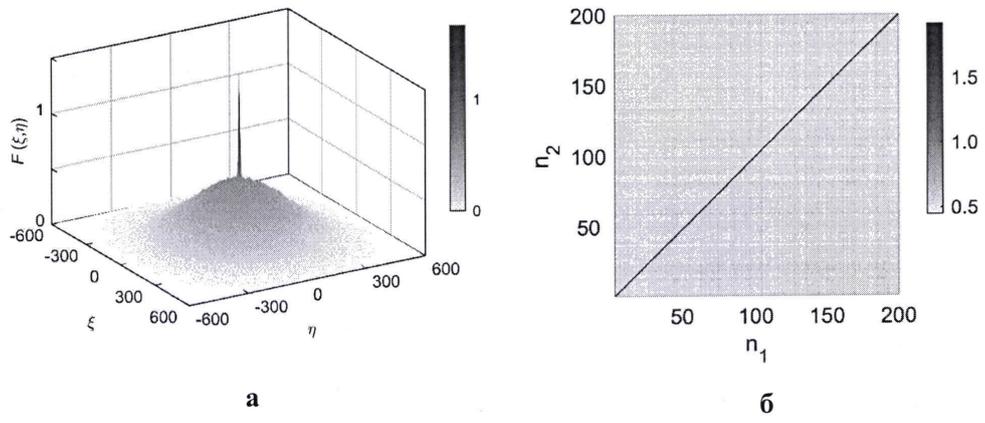
2



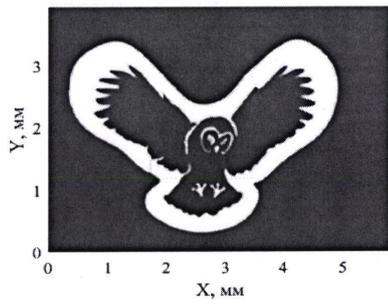
Фиг. 3



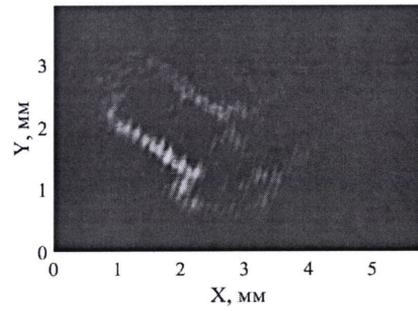
Фиг. 4



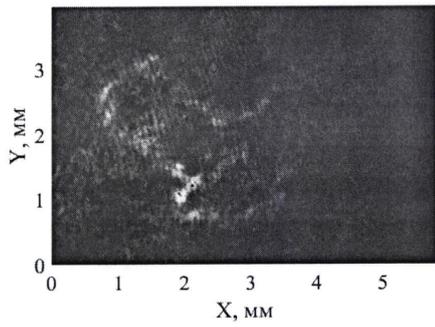
Фиг. 5



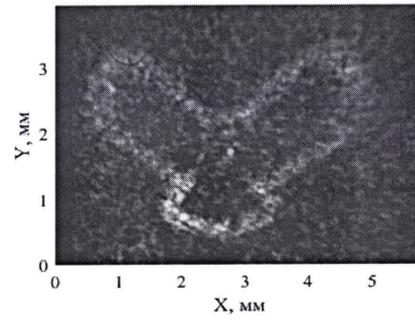
а



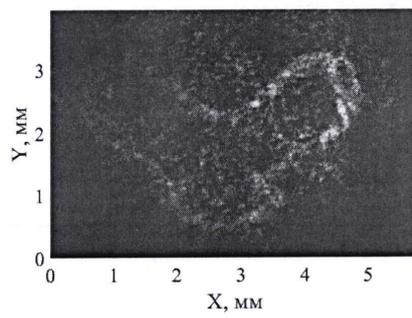
б



в



г



д

Фиг. 6