

ISSN 1561-2430 (Print)
 ISSN 2524-2415 (Online)
 УДК 535.543.1
<https://doi.org/10.29235/1561-2430-2022-58-1-101-109>

Поступила в редакцию 19.10.2021
 Received 19.10.2021

Л. В. Танин¹, А. И. Горчарук¹, П. В. Моисеенко¹, А. Л. Толстик², Е. А. Мельникова²

¹ЗАО «Голографическая индустрия», Минск, Республика Беларусь
²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ КОДИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФНО-ФАЗОВЫХ ГОЛОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД

Аннотация. Основой современных методов защиты продукции, товаров, документов и ценных бумаг являются голографические защитные технологии, развитие которых свидетельствует о том, что они совершенствуются, появляются новые оборудование и материалы, разрабатываются новые методы записи голограмм, повышается их технологичность, упрощается идентификация и проверка подлинности. В современной голографии комбинированные изображения применяются очень широко. При создании комбинированных изображений возникают различные оптические эффекты, такие как муар, параллакс, изменение цвета и другие, которые в комбинации между собой, а также с другими изображениями (микротекст, скрытые изображения, последовательная нумерация, маркировка, кодирование, химические индикаторы) позволяют использовать их как для защиты документов, так и для получения оригинального художественного эффекта. В статье рассматриваются комбинированные защитные элементы на основе рельефно-фазовой голограммы с нанесенным полимерным слоем-носителем, содержащим скрытое изображение, видимое в поляризованном свете. Данный защитный элемент получил название «кристаллограмма». В процессе разработки кристаллограммы был освоен синтез мономеров и приготовление анизотропной поляризуемой композиции, получен слой полимеризуемых жидких кристаллов (ПЖК) с контрастной визуализацией скрытого изображения. Отработана технология совмещения рельефно-фазовой голограммы с нанесенным полимерным слоем-носителем с последующим блокированием слоя ПЖК защитными лаковыми слоями.

Ключевые слова: голографические защитные технологии, методы записи голограмм, комбинированные изображения, кристаллограмма, полимеризуемые жидкие кристаллы

Для цитирования. Аналого-цифровое кодирование рельефно-фазовых голограмм с использованием анизотропных сред / Л. В. Танин [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2022. – Т. 58, № 1. – С. 101–109. <https://doi.org/10.29235/1561-2430-2022-58-1-101-109>

Leonid V. Tanin¹, Andrey I. Harcharuk¹, Petr V. Moiseenko¹, Alexei L. Tolstik², Elena A. Melnikova²

¹CJSC Holography industry, Minsk, Republic of Belarus
²Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

THE ANALOG-TO-DIGITAL CODING OF RELIEF-PHASE HOLOGRAMS USING ANISOTROPIC MEDIA

Abstract. The basis of the modern methods of protecting products, goods, documents, and equities are holographic security technologies, the development of which indicates that they are improving, new equipment and materials appear, new methods of hologram recording are being developed, their manufacturability is increasing, identification and authentication are being simplified. Combined images are widely used in modern holography. When creating combined images, various optical effects arise, such as moire, parallax, color change, etc., which, in combination with each other, as well as with other images (microtext, hidden images, sequential numbering, marking, coding, chemical indicators), permit to use them both to protect documents and to obtain an original artistic effect. This article discusses combined protective elements based on a relief-phase hologram with a deposited polymer carrier layer containing a latent image visible in polarized light. This protective element is named crystallogram. In the process of developing a crystallogram, the synthesis of monomers and the preparation of an anisotropic polarizable composition was mastered, a layer of polymerizable liquid crystals (PLC) was obtained with a contrast visualization of a latent image. A technology was developed for combining the relief-phase hologram with the deposited polymer carrier layer with the subsequent blocking of the polarizable liquid crystals (PLC) layer by protective varnish layers.

Keywords: holographic protective technologies, recording holograms methods, combined images, crystallogram, polarizable liquid crystals

For citation. Tanin L. V., Harcharuk A. I., Moiseenko P. V., Tolstik A. L., Melnikova E. A. The analog-to-digital coding of relief-phase holograms using anisotropic media. *Vesti Natsyional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya fizika-matematichnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physics and Mathematics series*, 2022, vol. 58, no. 1, pp. 101–109 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-2430-2022-58-1-101-109>

Введение. Среди защитных элементов с переменными оптическими свойствами, наиболее трудно воспроизводимыми, выделяются элементы, содержащие скрытые изображения, видимые только в поляризованном свете. В данной статье рассмотрен способ записи скрытых поляризационных изображений в прозрачных полимерных пленках, которые применяются совместно с рельефной голограммой для защиты от подделки ценных бумаг и документов. Подробно теория голографической поляризационной записи рассмотрена в [1, 2]. Настоящее исследование представляет собой одну из реализаций указанных работ и разработано с целью применения в качестве комбинированных оптических защитных средств – юниграммы и кристаллограммы [3]. В статье описаны физические принципы получения скрытого поляризационного изображения и объединения его с рельефной голограммой, а также технологические особенности, связанный с комбинированием скрытого поляризационного изображения и рельефной голограммы.

Постановка задачи. Как правило, скрытые поляризованные изображения получают на поверхности или в объеме полимерного слоя-носителя скрытого изображения в результате формирования оптической анизотропии в локальной области данного полимерного слоя, а именно изменения величины двулучепреломления [4]. Локальное изменение величины двулучепреломления может быть достигнуто либо вариацией направления оптической анизотропии прозрачного материала в определенных его участках, либо модулированием толщины прозрачного анизотропного материала. Эти эффекты получают путем механического, химического, фотофизического или термомеханического воздействий. Во всех этих случаях скрытое поляризованное изображение формируется в предварительно подготовленном специальном образе полимерном слое либо на поверхности твердой подложки.

В настоящее время широкое применение получило средство защиты под названием «юниграмма». Данный защитный элемент имеет в качестве основы голограмму с присущими ей защитными элементами и специальный слой, интегрированный с голограммой и содержащий латентное изображение, визуализируемое с помощью поляроида [5].

В юниграмме для визуализации скрытой латентной информации используют видоизмененный полярископ (рис. 1). Полярископ состоит из поляризатора, после прохождения которого свет становится линейно поляризованным, и фазовой пластинки $\lambda/4$, которая преобразует линейно поляризованный свет в свет с круговой поляризацией (циркулярная поляризация с правым или левым направлением вращения светового вектора). За фазовой пластинкой устанавливают зеркало, которое отражает свет обратно. При отражении от зеркала меняется направление вращения светового вектора на противоположное (с правого на левое или, наоборот, с левого на правое). В результате после повторного прохождения через пластинку $\lambda/4$ получается линейно поляризованный свет с ортогональной поляризацией относительно исходного светового пучка. Такой пучок поляризатор не пропускает, и мы наблюдаем темное поле. Если вместо зеркала поместить голографическую фольгу, которая играет роль зеркала, с нанесенной на ее поверхность полимерной многослойной пленкой со скрытым поляризационным изображением, то в местах, где среда изотропна, поле останется темным. В местах, где среда анизотропна, произойдет дополнительное изменение поляризации света, и в наблюдаемом поле можно будет увидеть локализацию этих участков с дополнительно наведенной анизотропией [6].



Рис. 1. Оптическая схема полярископа для визуализации юниграмм

Fig. 1. The optical set-up of a polariscope for the visualization of unigrams

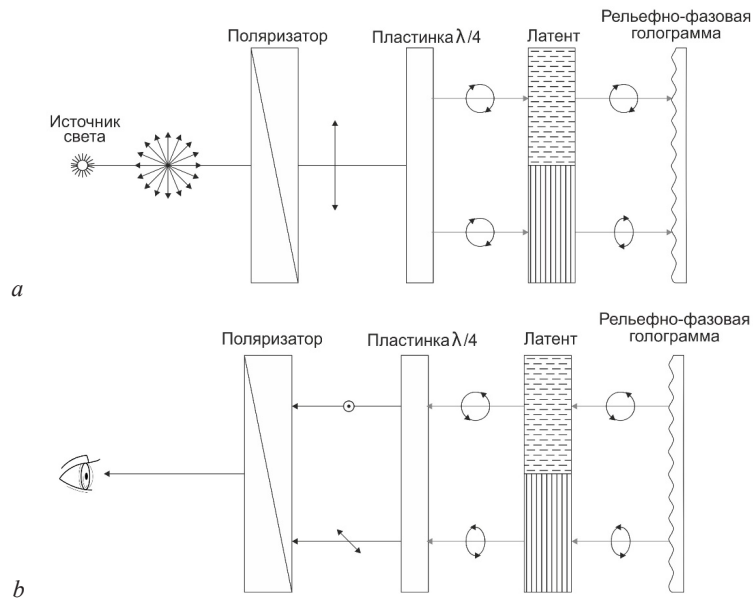


Рис. 2. Оптическая схема идентификации скрытого латентного изображения юниграммы: *a* – изменение поляризации излучения при прохождении слоев юниграммы до отражения от рельефо-фазовой голограммы; *b* – изменение поляризации излучения при прохождении слоев юниграммы после отражения от рельефо-фазовой голограммы

Fig. 2. The optical set-up for the identification of the latent image of a unigram: *a* – change of the radiation polarization when passing through the layers of the unigram before the reflection from the relief-phase hologram; *b* – change of the radiation polarization when passing through the layers of the unigram after reflection from the relief-phase hologram

На рис. 2 представлена схема воспроизведения скрытого изображения юниграммы.

Поляризатор селективирует естественный свет, выделяя из него часть света с заданным направлением вектора электрического поля, вследствие чего свет становится линейно поляризованным. Далее линейно поляризованный свет проходит фазовую пластинку $\lambda/4$, которая преобразует его в свет, поляризованный по кругу (циркулярная поляризация с правым направлением вращения светового вектора). За фазовой пластинкой находится изотропный информационный полимерный лаковый слой (латент), на котором формируется анизотропия в локальных областях слоя. Циркулярно-поляризованный свет, проходя изотропный участок 1, не меняет поляризацию, а при прохождении анизотропной среды 2 приобретает эллиптическую поляризацию. При отражении от рельефо-фазовой голограммы (рис. 2, *a*) меняется направление вращения светового вектора на противоположное (с правого на левое или, наоборот, с левого на правое). В результате после повторного прохождения через пластинку $\lambda/4$ получается линейно поляризованный свет, но его ориентация для изотропных и анизотропных участков различна. Для изотропного участка перед поляризатором свет приобретает ортогональное направление колебаний светового вектора относительно исходного. Это направление колебаний поляризатор не пропускает, и мы наблюдаем темное поле. Для анизотропного участка перед поляризатором свет приобретает направление колебаний светового вектора менее 90° относительно исходного. Это направление колебаний поляризатор пропускает частично, и мы наблюдаем светлое поле. Таким образом, отличие в визуализации полей от изотропных и анизотропных участков позволяет считывать закодированную информацию.

Визуализация скрытого изображения юниграммы производится простым в обращении и недорогим прибором, представляющим собой поляризатор, совмещенный с фазовой пластинкой $\lambda/4$ [7]. Следует отметить, что визуализируемая информация при идентификации скрытых изображений не зависит от угла поворота идентификатора относительно юниграммы. Также длительный срок нахождения в качестве средства защиты и широкое распространение знаний технологии изготовления юниграммы ставят задачи перед производителями защитной продукции в необходимости замены анизотропной среды.

Кристаллограмма является следующим поколением многокомпонентных комбинированных защитных оптических элементов на базе рельефно-фазовой голограммы и полимерных слоев со скрытым поляризационным изображением¹. Уникальность данного защитного средства обусловлена тем, что в процессе визуализации закодированной информации при вращении идентификатора скрытых изображений наблюдается изменение одних элементов на другие, а также меняется цветовая гамма элементов скрытого поляризационного изображения. Формирование скрытого поляризационного изображения осуществляется в слое жидкокристаллического материала, который наносится на защитную голограмму.

Рассмотрим формирование цветных скрытых изображений, которые имеют место в кристаллограмме. Эти области можно визуализировать при помощи поляризатора и анализатора.

В отличие от оптической схемы юниграммы в кристаллограмме фазовая пластинка $\lambda/4$ соединена с исследуемой средой. Свет, проходя через поляризатор, становится линейно поляризованным. Анализатор, пропускающий свет только с одним направлением колебаний светового вектора, устанавливается так, чтобы свет не выходил, т. е. скрещивают оси поляризатора и анализатора. В рабочее пространство между поляризатором и анализатором вводят слой полимеризованных жидких кристаллов (ПЖК), нанесенных на слой структурированного репликационно-го лака. Параллельный пучок естественного света, направленный на поляризатор, превращаясь в линейно-поляризованный, падает на ПЖК перпендикулярно его поверхности. При нормальном падении пучка лучей на одноосный кристалл, оптическая ось в котором параллельна преломляющей поверхности, возникают два луча – обыкновенный o и необыкновенный e . Эти лучи будут распространяться в одном направлении, но с разными скоростями. Лучи, обыкновенный и необыкновенный, созданные линейно-поляризованным светом, являются когерентными, а пройдя анализатор, будут иметь колебания векторов E_o и E_e в одной плоскости².

Различие в скоростях обыкновенного и необыкновенного лучей внутри полимеризованных жидких кристаллов приводит к возникновению некоторой разности фаз, а следовательно, к оптической разности хода между двумя когерентными лучами. Таким образом, вышедшие из анализатора два луча удовлетворяют всем условиям, необходимым для осуществления интерференции. При выходе из вещества оба луча приобретут соответственно дополнительные фазы:

$$\varphi_e = \frac{2\pi}{\lambda} dn_e, \quad \varphi_o = \frac{2\pi}{\lambda} dn_o, \quad (1)$$

где n_e и n_o – показатели преломления необыкновенного и обыкновенного лучей; λ – длина световой волны в вакууме; d – толщина слоя ПЖК; dn_e или dn_o – оптический путь в веществе.

Тогда разность фаз, которую приобрели два луча по выходе из вещества, будет равна

$$\Delta\varphi = \varphi_o - \varphi_e = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_o - n_e). \quad (2)$$

Максимумы интенсивности будут иметь место, если

$$\frac{2\pi}{\lambda} d(n_o - n_e) = 2\pi k \quad (3)$$

и

$$\Delta = d(n_o - n_e) = k\lambda, \quad (4)$$

т. е. оптическая разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей равна целому числу волн. Так как колебания E_o и E_e когерентны, то они интерферируют, в результате чего выходящий из анализатора свет будет иметь максимальную интенсивность.

Минимумы интенсивности будут иметь место, если

¹ Идентификационная метка: пат. 5765 Респ. Беларусь. № 20080089; заявл. 11.02.2008; опубл. 30.12.2009. Бюл. № 6. С. 224.

² Устройство для идентификации голографических марок: пат. 307 Респ. Беларусь. № u20000162; заявл. 20.10.2000; опубл. 02.04.2001. Бюл. № 3. С. 147.

$$\frac{2\pi}{\lambda}d(n_o - n_e) = (2k + 1)\pi \tag{5}$$

и

$$\Delta = d(n_o - n_e) = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \tag{6}$$

т. е. оптическая разность хода двух лучей будет равна нечетному числу полуволн и происходит гашение. Следовательно, и исходящий из анализатора свет будет меньшей интенсивности.

Если на пластинку направлять не монохроматический, а белый свет, то благодаря частично-му гашению некоторых участков спектра прошедший свет уже будет не белым, а окрашенным.

На рис. 3, *a, b* показана схема воспроизведения скрытого изображения кристаллограммы.

Таким образом, проходя через участки кристаллограммы с различной ориентацией полимеризованных жидких кристаллов при визуализации через идентификатор, данные элементы будут отличаться друг от друга по контрасту. На рис. 3, *c* показана визуализация скрытого поляризационного изображения в виде надписи «ТП», где на каждой букве, включая фон, своя ориентация ПЖК. При вращении идентификатора контраст элементов будет изменяться.

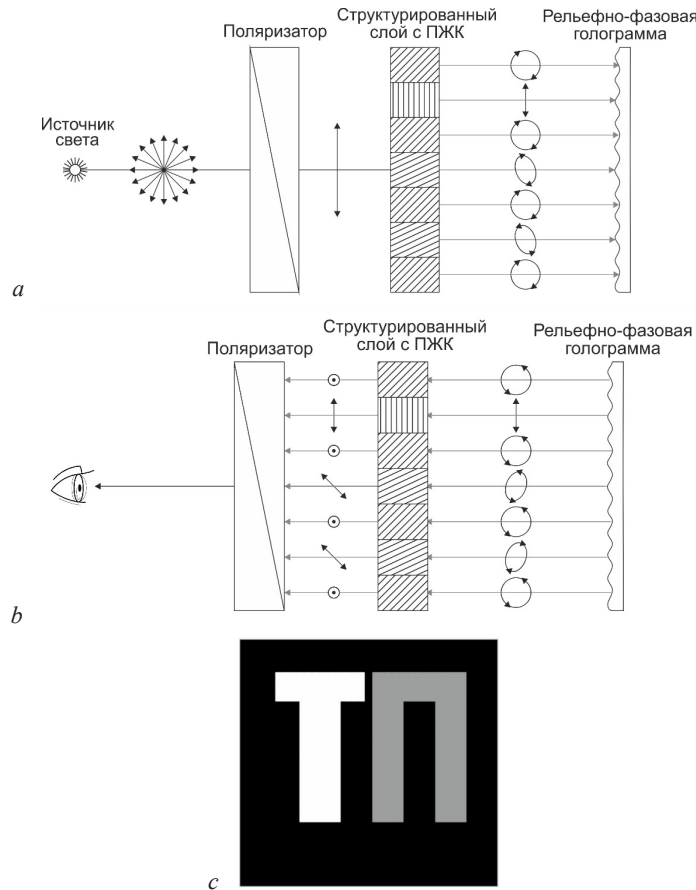


Рис. 3. Оптическая схема идентификации скрытого латентного изображения кристаллограммы: *a* – изменение поляризации излучения при прохождении слоев кристаллограммы до отражения от рельефно-фазовой голограммы; *b* – изменение поляризации излучения при прохождении слоев кристаллограммы после отражения от рельефно-фазовой голограммы; *c* – визуализация скрытого изображения в виде надписи «ТП» с различным контрастом букв и фона

Fig. 3. The optical set-up for the identification of the latent image of a crystallogram: *a* – change of the radiation polarization when passing through the layers of the crystallogram before reflection from the relief-phase hologram; *b* – change of the radiation polarization when passing through the layers of the crystallogram after reflection from the relief-phase hologram; *c* – visualization of the latent image with the lettering “TP” from contrasting letters and the background

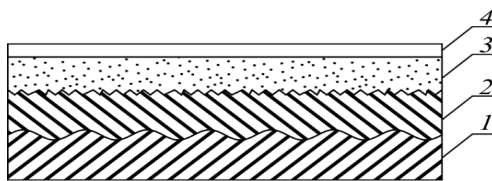


Рис. 4. Структура кристаллограммы: 1 – подложка; 2 – полимерная композиция; 3 – композиция, содержащая мономеры жидких кристаллов; 4 – защитный слой

Fig. 4. The structure of a crystallogram: 1 – substrate; 2 – polymer composition; 3 – composition with liquid crystal monomers; 4 – protective layer

На рис. 4 представлен общий вид структуры кристаллограммы в поперечном сечении.

На подложку 1 с отражающим слоем, которая может быть представлена в виде голографической фольги с нанесенным оригинальным рисунком или позолотной фольги, или металлизированной бумаги, наносят полимерную композицию 2, затем производят ее сушку и получают на подложке полимерный слой. Далее осуществляют структурирование методом тиснения всей поверхности полимерного слоя дифракционными рельефными структурами в виде символов (изображений) и пробельных мест, направление ориентации которых для каждого символа индивидуальное. На структурированную поверхность наносят композицию, содержащую мономеры жидких кристаллов 3. Под действием теплового воздействия происходит ориентирование и выстраивание жидкокристаллических мономеров вдоль направления штрихов дифракционных структур, при этом меняются оптические свойства слоя 3 – возникает двулучепреломление.

После этапа ориентации директора жидких кристаллов (ЖК) производят УФ-полимеризацию нанесенной композиции, что стабилизирует свойства слоя 3, и наносят защитный прозрачный полимерный слой 4 на всю поверхность слоя, содержащего символы (изображения) и пробельные места из заподимеризованных жидких кристаллов. Если участок, созданный посредством такой дифракционной структуры, рассматривают сквозь линейный поляризатор и вращают плоскость пропускания такого поляризатора, то визуализируются защитные признаки в виде символов, цифр или какой-либо другой закодированной информации, которые генерируются на основании изменения направления поляризации зон со скрытыми изображениями.

Для оптимизации условий ориентации директора ЖК были отработаны методики измерения азимутальной энергии сцепления и определения параметра качества ориентации жидкого кристалла. Исходя из физико-химических свойств, в качестве материалов для ориентации жидкокристаллических мономеров была выбрана триацетат целлюлоза (ТАЦ). ТАЦ-пленка характеризуется высокой прозрачностью в спектральном диапазоне 380–820 нм (коэффициент пропускания порядка 95 %), а УФ-излучение с длиной волны $\lambda < 380$ нм пленка поглощает полностью. Оптические спектры пропускания ТАЦ-пленки для световых волн с *s*- и *p*-поляризацией полностью идентичны, что свидетельствует об отсутствии наведения поверхностной анизотропии.

В качестве экспериментальных образцов использовались ТАЦ-пленки, покрытые слоем ориентирующего репликационного лака. Формирование планарных ориентирующих структур на поверхности репликационного лака было реализовано методом отиска образцов на оборудовании ЗАО «Голографическая индустрия». Далее на поверхность образцов наносились тонкие слои ПЖК-материалов с различной концентрацией компонент, после чего производилось их облучение УФ-светодиодом ($\lambda = 365$ нм, доза облучения $D = 2,0$ Дж/см²) для фиксации наведенной ориентации. На рис. 5 показаны поляризационные фотографии изготовленных образцов. Соответствующие спектральные зависимости параметра качества ориентации жидкого кристалла приведены на рис. 6. Параметр качества q определялся из соотношения

$$q = (T_{\max} - T_{\min}) / (T_{\max} + T_{\min}), \quad (7)$$

где T_{\max} и T_{\min} – максимальное и минимальное пропускание жидкокристаллической композиции. Эти значения определялись, исходя из измеренных спектров пропускания при двух ортогональных положениях анализатора.

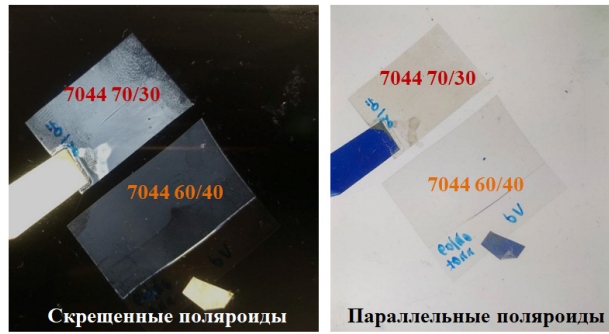


Рис. 5. Поляризационные фотографии образцов с ПЖК-материалами на основе ТАЦ-пленок с репликационным лаком

Fig. 5. Polarized photos of the PLC samples based on cellulose triacetate films with replicative varnish

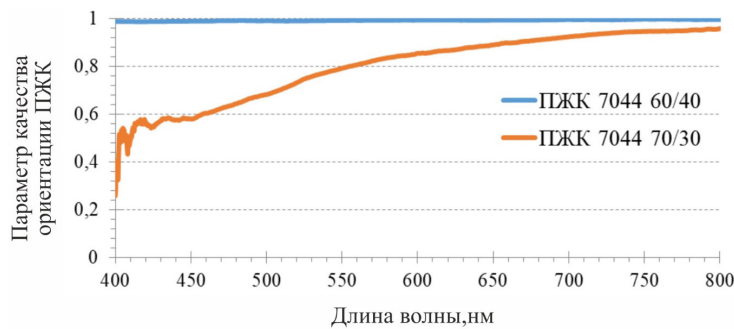


Рис. 6. Спектральные зависимости параметра качества ориентации ПЖК для образцов ТАЦ-пленок с репликационным лаком

Fig. 6. Spectral dependences of the quality parameter of PLC orientation for cellulose triacetate films samples

В соответствии с данными, представленными на рис. 6, видно, что образец с ПЖК 7044 (60/40) характеризуется бездефектной ориентацией и высоким значением параметра качества ($q > 0,998$). Однако проведенные измерения показали, что использование в качестве ориентанта ТАЦ-слоев обеспечивает величину азимутальной энергии сцепления порядка $W_A = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Дж/м² при угле закрутки жидкого кристалла $\beta = 84,53^\circ$, что оказалось ниже, чем для эталонного нейлона $W_\phi > 5 \cdot 10^{-4}$ Дж/м², угол закрутки ЖК составляет $\phi_0 \approx 90^\circ$, параметр качества – $q = 0,996–0,998$ [8].

С целью повышения энергии сцепления были изучены ориентирующие свойства растворов амида, допированного полимерными добавками. На рис. 7 показаны фотографии и микрофото-

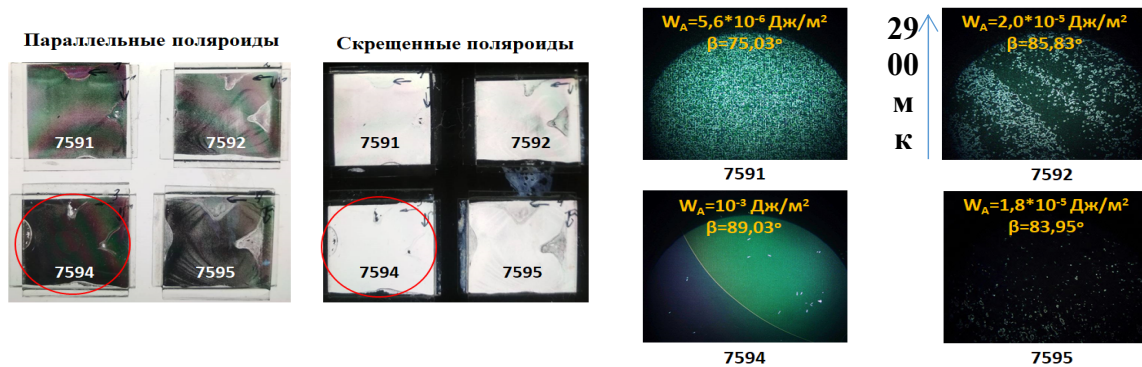


Рис. 7. Поляризационные фотографии твист ЖК-ячеек на основе допированного полимерными добавками амида и соответствующие значения величин азимутальной энергии сцепления

Fig. 7. Polarized photos of twist liquid crystal cells based on amide doped with polymer additives and the corresponding values of azimuthal adhesion energy

графии экспериментальных твист-ячеек и приведены результаты измерений величин азимутальной энергии сцепления для четырех вариантов ориентирующих материалов на основе амида.

Согласно результатам измерений установлено, что раствор амида, допированный полимерной добавкой 7594, обладает выраженными ориентирующими свойствами: величина азимутальной энергии сцепления составляет $W_A = 10^{-3}$ Дж/м² при угле закрутки жидкого кристалла $\beta = 89,03^\circ$, что отвечает или превосходит значения, достигнутые для эталонного нейлона.

Необходимо отметить, что жидкие кристаллы представляют собой раствор акрилатных мономеров в сольвентном растворителе с необходимыми добавками и являются по существу полиграфическими красками. Таким образом, способы их нанесения предусматривают широко известные полиграфические процессы, такие как флексопечать, глубокая и трафаретная печать и т. д., что позволяет использовать соответствующим образом модернизированное современное полиграфическое оборудование.

Закключение. Предложенный в работе способ получения комбинированных защитных оптических элементов на базе рельефно-фазовой голограммы под названием «кристаллограмма» существенно увеличивает защищенность документа, усложняет его подделку, изменение и несанкционированный доступ к защищаемой информации. Освоено серийное производство данного изделия. Особую сложность составляли такие этапы производства, как синтез мономеров и приготовление анизотропной поляризуемой композиции, получение слоя ПЖК с контрастной визуализацией скрытого изображения, блокирование слоя ПЖК защитными лаковыми слоями, организация эффективного контроля на всех этапах изготовления и использования ПЖК.

Список использованных источников

1. Танин, Л. В. Голографические защитные элементы: синтез и анализ / Л. В. Танин, В. К. Ероховец // *Лазерная физика и применения лазеров: тез. докл. Междунар. конф., Минск, 14–16 мая 2003 г.* – Минск, 2003. – С. 11–17.
2. Какичашвили, Ш. Д. О поляризационной записи голограмм / Ш. Д. Какичашвили // *Оптика и спектроскопия.* – 1972. – Т. 33, № 2. – С. 324–327.
3. Renesse van, R. L. Hidden and Scrambled Images – a review / R. L. van Renesse // *Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV, San Jose, Ca., 23–25 January 2002.* – SPIE, 2002. – Vol. 3973. – P. 126–138. <https://doi.org/10.1117/12.462726>
4. Ормачеа, О. Поляризационное многоволновое взаимодействие в растворах лазерных красителей / О. Ормачеа, А. Л. Толстик // *Изв. РАН. Сер. физ.* – 2005. – Т. 69, № 8. – С. 1144–1146.
5. Калитеевский, Н. И. Волновая оптика / Н. И. Калитеевский. – М.: Высш. шк., 1995. – 463 с.
6. Кольер, Р. Оптическая голография: пер. с англ. / Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. – М.: Мир, 1973. – 698 с.
7. Голографические методы записи и средства идентификации комбинированных объемных и плоских изображений / Л. В. Танин [и др.] // *Голография в России и за рубежом. Наука и практика: тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 26–28 окт. 2006 г.* – М., 2006. – С. 19–20.
8. Electrically switchable photonic liquid crystal devices for routing of a polarized light wave / I. I. Rushnova [et al.] // *Opt. Commun.* – 2018. – Vol. 413. – P. 179–183. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.12.029>

References

1. Tanin L. V., Erohovets V. K. Holographic security elements: synthesis and analysis. *Lazernaya fizika i primeneniya lazerov: tezisy dokladov Mezhdunarodnoi konferentsii, Minsk, 14–16 maya 2003 g.* [Laser Physics and Laser Application: Abstracts of International Conference, Minsk, May 14–16, 2003]. Minsk, 2003. pp. 11–17 (in Russian).
2. Kakichashvili Sh. D. About polarized hologram recording. *Optika i spektroskopiya = Optics and Spectroscopy*, 1972. vol. 33, no. 2, pp. 324–327 (in Russian).
3. Renesse van R. L. Hidden and Scrambled Images - a review. *Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV, San Jose, Ca., 23–25 January 2002.* SPIE, 2002, vol. 3973, pp. 126–138. <https://doi.org/10.1117/12.462726>
4. Ormachea O., Tolstik A. L. Polarized multiwave interaction in laser dye solutions. *Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Science. Physical Series*, 2005, vol. 69, no. 8, pp. 1144–1146 (in Russian).
5. Kaliteevsky N. I. *Wave Optics*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1995. 463 p. (in Russian).
6. Collier R. J., Burckhardt C. B., Lin L. H. *Optical Holography*. New York, Academic Press, 1971. 605 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-181050-4.X5001-X>
7. Tanin L. V., Korolenko A. A., Moiseenko P. V., Vitkevich L. I. Holographic recording methods and means of identification of combined volume and flat images. *Golografiya v Rossii i za rubezhom. Nauka i praktika: tezisy dokladov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Moskva, 26–28 oktyabrya 2006 g.* [Abstract of the 3d International Scientific and Practical Conference “Holography in Russia and abroad”]. Moscow, 2006, pp. 19–20 (in Russian).

8. Rushnova I. I., Melnikova E. A., Tolstik A. L., Muravsky A. A. Electrically switchable photonic liquid crystal devices for routing of a polarized light wave. *Optics Communication*, 2018, vol. 413, pp. 179–183. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.12.029>

Информация об авторах

Танин Леонид Викторович – доктор физико-математических наук, академик Международной инженерной академии, председатель Совета директоров – главный советник, ЗАО «Голографическая индустрия» (пер. Калинина, 12, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: leonidtanin@gmail.com

Горчарук Андрей Иванович – начальник отдела матриц, ЗАО «Голографическая индустрия» (пер. Калинина, 12, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: gaiholin@gmail.com

Моисеенко Петр Васильевич – кандидат технических наук, заместитель директора по науке и инновационной деятельности, ЗАО «Голографическая индустрия» (пер. Калинина, 12, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: moi@holography.by

Толстик Алексей Леонидович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета, Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tolstik@bsu.by

Мельникова Елена Александровна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета, Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: melnikova@bsu.by

Information about the authors

Leonid V. Tanin – Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Academician of the International Academy of Engineering, Chairman of the Board of Directors – Chief Adviser of CJSC “Holography Industry” (12, Kalinina Lane, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: leonidtanin@gmail.com

Andrey I. Harcharuk – Head of the Matrix Department of CJSC “Holography industry” (12, Kalinina Lane, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gaiholin@gmail.com

Petr V. Moiseenko – Ph. D. (Engineering), Deputy Director for Science and Innovation, CJSC “Holography industry” (12, Kalinina Lane, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: moi@holography.by

Alexei L. Tolstik – Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Laser Physics and Spectroscopy Department, Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tolstik@bsu.by

Elena A. Melnikova – Ph. D. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: melnikova@bsu.by