

УДК 532.783, 535.42

## УПРАВЛЯЕМАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОГО МАССИВА ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ДОМЕНОВ

О. С. КАБАНОВА<sup>1)</sup>, И. И. РУШНОВА<sup>1)</sup>,  
Е. П. ПАНТЕЛЕЕВА<sup>1)</sup>, Е. А. МЕЛЬНИКОВА<sup>1)</sup>, А. Л. ТОЛСТИК<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

**Аннотация.** На основе эффекта фотоориентации оптимизирована технология формирования двумерного массива жидкокристаллических доменов с закрученной и планарной ориентациями директора, функционирующего в режиме двумерной дифракционной решетки. С помощью метода поляризованной микроскопии установлено

---

### Образец цитирования:

Кабанова ОС, Рушнова ИИ, Пантелеева ЕП, Мельникова ЕА, Толстик АЛ. Управляемая дифракционная решетка на основе двумерного массива жидкокристаллических доменов. *Журнал Белорусского государственного университета. Физика.* 2025;1:66–76.  
EDN: WZJAAF

### For citation:

Kabanova OS, Rushnova II, Pantsialejeva YeP, Melnikova EA, Tolstik AL. Switchable diffraction grating based on a two-dimensional array of liquid crystal domains. *Journal of the Belarusian State University. Physics.* 2025;1:66–76. Russian.  
EDN: WZJAAF

---

### Авторы:

**Ольга Сергеевна Кабанова** – кандидат физико-математических наук, доцент; заведующий кафедрой высшей математики и математической физики физического факультета.  
**Ирина Ивановна Рушнова** – кандидат физико-математических наук, доцент; старший научный сотрудник кафедры высшей математики и математической физики физического факультета.  
**Екатерина Петровна Пантелеева** – аспирантка кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета. Научный руководитель – Е. А. Мельникова.  
**Елена Александровна Мельникова** – доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета.  
**Алексей Леонидович Толстик** – доктор физико-математических наук, профессор; заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета.

### Authors:

**Olga S. Kabanova**, PhD (physics and mathematics), docent; head of the department of higher mathematics and mathematical physics, faculty of physics.  
[kabanovaos@bsu.by](mailto:kabanovaos@bsu.by)  
<https://orcid.org/0000-0001-5100-9708>  
**Irina I. Rushnova**, PhD (physics and mathematics), docent; senior researcher at the department of higher mathematics and mathematical physics, faculty of physics.  
[rushnova@bsu.by](mailto:rushnova@bsu.by)  
<https://orcid.org/0000-0002-1049-1953>  
**Yekatsiaryna P. Pantsialejeva**, postgraduate student at the department of laser physics and spectroscopy, faculty of physics.  
[pantsialejevakate@gmail.com](mailto:pantsialejevakate@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-9364-7724>  
**Elena A. Melnikova**, doctor of science (physics and mathematics), full professor; professor at the department of laser physics and spectroscopy, faculty of physics.  
[melnikova@bsu.by](mailto:melnikova@bsu.by)  
<https://orcid.org/0000-0001-5097-5832>  
**Alexei L. Tolstik**, doctor of science (physics and mathematics), full professor; head of the department of laser physics and spectroscopy, faculty of physics.  
[tolstik@bsu.by](mailto:tolstik@bsu.by)  
<https://orcid.org/0000-0003-4953-4890>

соответствие ориентации директора в объеме жидкокристаллического слоя заданной геометрии. Экспериментально изучено влияние электрического поля на дифракционные и поляризационные свойства разработанной двумерной решетки. Найдено оптимальное значение управляющего напряжения, обеспечивающее максимальные величины дифракционной эффективности в первых порядках дифракции. Экспериментально исследованы состояния поляризации излучения, дифрагированного в направлении нулевого и первых порядков, в выключенном состоянии и при приложении к решетке оптимального напряжения, соответствующего максимальной дифракционной эффективности. Установлено, что прошедший и дифрагированные в первые порядки световые пучки характеризуются ортогональными поляризациями. Таким образом, предлагаемая дифракционная решетка на основе двумерного массива жидкокристаллических доменов обеспечивает пространственное разделение входного оптического сигнала на несколько каналов с возможностью управления состоянием поляризации и величиной дифракционной эффективности, что открывает перспективы для применения данных структур в оптоэлектронных устройствах, реализующих управление оптическим излучением.

**Ключевые слова:** дифракционная решетка; жидкий кристалл; поляризация; фотоориентация.

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф23М-070).

## SWITCHABLE DIFFRACTION GRATING BASED ON A TWO-DIMENSIONAL ARRAY OF LIQUID CRYSTAL DOMAINS

O. S. KABANOVA<sup>a</sup>, I. I. RUSHNOVA<sup>a</sup>,  
Ye. P. PANTSIALEYEVA<sup>a</sup>, E. A. MELNIKOVA<sup>a</sup>, A. L. TOLSTIK<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: O. S. Kabanova (kabanovaos@bsu.by)

**Abstract.** The technique of fabricating a two-dimensional array of liquid crystal domains with twist-planar director orientation functioning as a two-dimensional phase diffraction grating has been improved. The correspondence of the director orientation in the volume of the liquid crystal layer to the given geometry has been established by the polarised light microscopy. The influence of electric voltage on diffraction and polarisation properties of the proposed two-dimensional grating has been experimentally studied. The optimal value of the applied voltage providing the maximum values of diffraction efficiency in the first diffraction orders has been found. The rotation angles of the polarisation plane of the transmitted radiation, as well as of the radiation diffracted into the first orders in the voltage-off state and under optimal voltage applied have been determined. It is established that light beams diffracted in the first orders are characterised by a higher degree of ellipticity compared to the transmitted light beam, which is related to the phase overrun in the nematic liquid crystal layer. It is shown that the transmitted and diffracted light beams are characterised by orthogonal polarisations. The proposed diffraction grating based on a two-dimensional array of liquid crystal domains provides spatial distribution of the input optical signal through several channels with the possibility of controlling the polarisation state and the diffraction efficiency value, which opens up the prospects for their application in devices realising the control of the optical signal.

**Keywords:** diffraction grating; liquid crystal; polarisation; photoalignment.

**Acknowledgements.** This work was carried out with the financial support of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (grant No. F23M-070).

## Введение

Свойство самоорганизации, присущее мягким органическим материалам, открывает большие перспективы для создания пространственно упорядоченных оптических микро- и наноструктур, востребованных на современном рынке. Нематические жидкие кристаллы, обладая относительно большой величиной оптической анизотропии и выраженным оптическим откликом на воздействие внешних полей, успешно применяются для решения актуальных задач фотоники, связанных с генерацией, детектированием световых пучков и преобразованием их фазово-поляризационных характеристик. В частности, двумерные жидкокристаллические (ЖК) решетки позволяют пространственно разделять падающий световой пучок на несколько оптических каналов и управлять состояниями поляризации в различных каналах. Изменение интенсивности дифрагированного света при этом осуществляется с помощью внешнего электрического поля. Современные области применения дифракционных ЖК-решеток включают дисплейные технологии, оптическую связь, а также фотонику.

В последние два десятилетия ЖК-решетки привлекают внимание исследователей благодаря превосходным дифракционным и поляризационно-селективным свойствам [1; 2]. С одной стороны, одномерные дифракционные ЖК-структуры [3; 4] широко изучены и успешно адаптированы к решению большого круга задач современной фотоники. С другой стороны, развитие методов пространственного, фазового и поляризационного управления оптическими сигналами активно стимулирует разработку и создание многолучевых оптических устройств. В связи с этим переключаемые двумерные дифракционные ЖК-решетки [5], обеспечивающие разделение входного сигнала на несколько оптических каналов и эффективную модуляцию излучения, являются востребованными и конкурентоспособными.

Несмотря на то что существующие двумерные дифракционные ЖК-структуры реализованы в микронном масштабе, они могут быть легко адаптированы к другим масштабам (в частности, для изготовления метаматериалов в терагерцевом, инфракрасном и даже видимом диапазонах). В связи с этим разработка и создание новых переключаемых дифракционных структур на основе бинарной ориентации жидкого кристалла для реализации пространственно-поляризационного управления световыми пучками является актуальной задачей.

Цель настоящего исследования – разработка и изготовление электрически переключаемой дифракционной решетки на основе двумерного массива ЖК-доменов для реализации пространственно-поляризационного управления световыми пучками.

### Материалы и методы исследования

Пространственно упорядоченные массивы ЖК-доменов с бинарной ориентацией директора жидкого кристалла [6] являются функциональной основой современных двумерных дифракционных решеток с управляемыми оптическими свойствами. При создании двумерного массива ЖК-доменов хорошо зарекомендовал себя способ, предполагающий перекрестную сборку (перекрестное наложение) двух одномерных решеток с бинарной ориентацией директора, сформированных на токопроводящих подложках. Бинарно ориентированные ЖК-структуры, в свою очередь, могут быть получены с помощью голографической записи на фоточувствительных подложках [7], а также с применением метода текстурированной фотоориентации [8] ориентирующих пленок.

Дизайн предлагаемой двумерной ЖК-решетки основан на перекрестной сборке двух одномерных дифракционных структур, использующих планарно-ортогональную геометрию бинарной ориентации жидкого кристалла (рис. 1, *a*). Перекрестное наложение данных структур позволяет сформировать двумерный массив ЖК-доменов с закрученной и планарной ориентациями директора (рис. 1, *b*). Оптимальный пространственный размер ЖК-доменов при этом составляет 7–20 мкм.

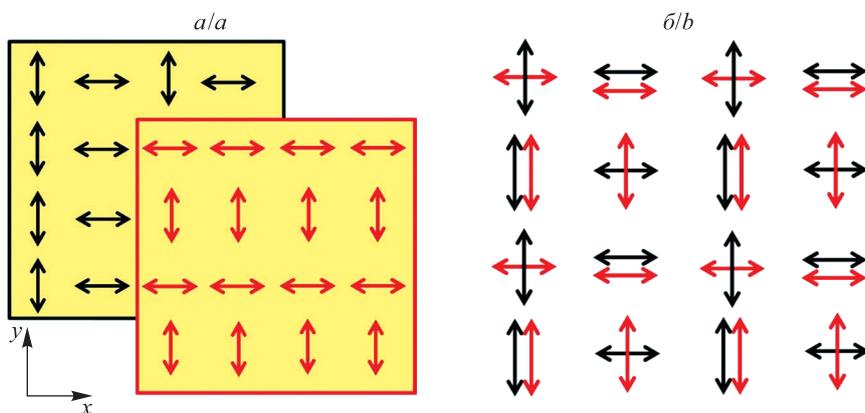


Рис. 1. Дизайн двумерной ЖК-решетки (*b*) на основе перекрестного наложения двух одномерных дифракционных структур с бинарной ориентацией жидкого кристалла (*a*). Стрелками схематично показаны направления ориентации директора жидкого кристалла

Fig. 1. Design of two-dimensional liquid crystal (LC) grating (*b*) based on cross-assembly of two one-dimensional diffraction structures with binary LC alignment (*a*). The arrows schematically indicate the orientation directions of the LC director

Для изготовления предлагаемой двумерной дифракционной структуры был применен метод текстурированной фотоориентации нематического жидкого кристалла [8; 9], основные этапы которого иллюстрирует рис. 2.

В работе использовались стеклянные подложки, покрытые токопроводящим слоем оксида индия и олова (ИТО) и обеспечивающие возможность электрического управления оптическими свойствами. Жидкостное нанесение ультратонкой (толщиной около 30 нм) ориентирующей пленки на основе азокрасителя

на поверхность тщательно очищенной стеклянной подложки осуществлялось методом род-коутинга. В качестве ориентирующего материала был выбран фоточувствительный азокраситель AtA-2 [10], разработанный и синтезированный в лаборатории материалов и технологий ЖК-устройств Института химии новых материалов НАН Беларуси. Ориентирующие свойства пленок азокрасителя AtA-2 формируются в результате облучения их линейно-поляризованным синим светом, при этом направление наведенной ориентации перпендикулярно направлению поляризации активирующего излучения. Следует отметить, что азокраситель AtA-2 обладает обратимостью ориентирующих свойств, что позволяет легко изменить направление наведенной ориентации посредством повторного облучения пленки. Так, для формирования бинарно ориентирующей структуры производилось двухэтапное облучение подложки. На первом этапе пленка азокрасителя однородно облучалась линейно-поляризованным синим светом ( $\lambda = 465$  нм) с величиной экспозиционной дозы порядка джоуля на квадратный сантиметр. На втором этапе применялась амплитудная фотомаска с периодом 20 мкм, а направление поляризации активирующего излучения поворачивалось на угол  $90^\circ$ . Для переориентации молекул азокрасителя в немаскированных областях пленки величина экспозиционной дозы (при повторном облучении) была увеличена в 2 раза. В итоге на поверхности пленки азокрасителя была сформирована бинарно ориентирующая структура.

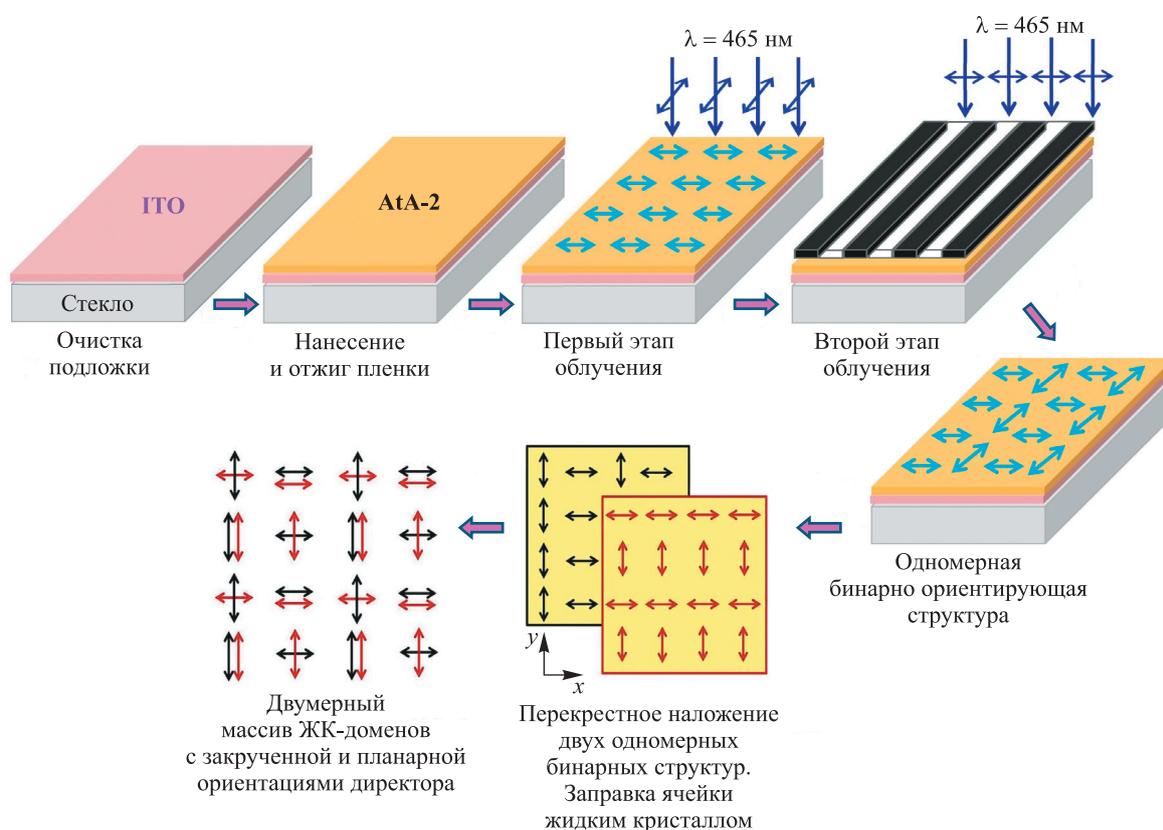


Рис. 2. Схема процесса формирования двумерного массива ЖК-доменов на основе технологии текстурированной фотоориентации

Fig. 2. Schematic diagram of the fabrication process of a two-dimensional array of LC domains based on patterned alignment technology

С помощью вышеописанной технологии были подготовлены две текстурированные подложки с бинарно ориентирующими структурами на поверхности. Методом перекрестной сборки подложек сформирована плоскопараллельная стеклянная ячейка с толщиной воздушного зазора 7 мкм. Заправка ячейки нематическим жидким кристаллом типа ЖК-1282 реализована в условиях изотропной фазы. В результате получен электрически переключаемый двумерный массив ЖК-доменов с закрученной и планарной ориентациями директора, представляющий собой дифракционную фазовую решетку. Описанная технология позволяет легко изменять геометрию ориентации директора жидкого кристалла в смежных доменах.

Изучение текстуры нематического жидкого кристалла и оценка параметра качества ориентации последнего выполнялись с помощью метода поляризационной микроскопии. На рис. 3 приведены микрофотографии в поляризованном свете двумерного массива ЖК-доменов с закрученной и планарной ориентациями директора. Полученные изображения упорядоченных доменов в ЖК-слое подтверждают формирование

периодической дифракционной структуры. На каждой микрофотографии видны области, соответствующие одномерным ЖК-решеткам (вертикальные светлые и темные полосы справа и горизонтальные темные и светлые полосы снизу), перекрестное наложение которых приводит к образованию двумерного массива ЖК-доменов с пространственными размерами 10 мкм.

При наблюдении дифракционной структуры в поляризованном свете в случае, когда поляризатор и анализатор параллельны (см. рис. 3, *a*), области с планарной ориентацией директора визуализируются как светлые участки, а области с закрученной ориентацией директора соответствуют темным участкам. Когда же поляризатор и анализатор скрещены (см. рис. 3, *в*), планарно ориентированные ЖК-домены визуализируются как темные области, а закрученные ЖК-домены, наоборот, соответствуют светлым областям, поскольку в результате твист-эффекта реализуется поворот плоскости поляризации прошедшего излучения на угол  $90^\circ$ . Можно заметить, что при вращении анализатора имеет место взаимное преобразование светлых областей в темные и обратно, что подтверждает пространственно модулированное изменение ориентации директора жидкого кристалла. Также отметим, что дефекты ориентации жидкого кристалла в пределах сформированного двумерного массива отсутствуют.

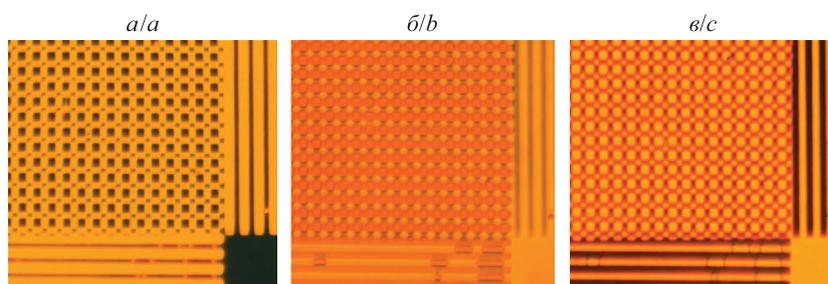


Рис. 3. Поляризационные микрофотографии фазовой дифракционной решетки на основе двумерного массива ЖК-доменов (период структуры 20 мкм):  
*a* – оси поляризатора и анализатора параллельны; *б* – оси поляризатора и анализатора ориентированы под углом  $45^\circ$ ; *в* – оси поляризатора и анализатора скрещены

Fig. 3. Polarised micrographs of a phase diffraction grating based on a two-dimensional array of LC domains (the period of the structure is 20  $\mu\text{m}$ ):  
*a* – the axes of the polariser and analyser are parallel;  
*b* – the axes of the polariser and analyser are positioned at an angle of  $45^\circ$ ;  
*c* – the axes of the polariser and analyser are crossed

Величина параметра качества начальной ориентации жидкого кристалла в изготовленной решетке составила  $q = 0,998$ , что подтверждает оптимальность применения технологии текстурированной фотоориентации азокрасителя А1А-2 для создания двумерных дифракционных ЖК-структур.

### Результаты и их обсуждение

Для изучения дифракционных свойств двумерной ЖК-решетки использовалась экспериментальная установка, включающая He – Ne-лазер с линейно-поляризованным (вдоль оси  $Oy$ ) излучением на длине волны 632,8 нм, ирисовую диафрагму, анализатор и фотодетектор. Для определения поляризации прошедшего и дифрагированных световых пучков применялся анализатор, который поворачивался в диапазоне углов  $0-360^\circ$  с шагом  $10^\circ$ . Для поворота плоскости поляризации падающего излучения на заданный угол использовалась полуволновая пластинка. С помощью генератора сигналов прямоугольной формы («Унипро», Россия) на электроды ЖК-решетки подавалось низкочастотное (порядка килогерца) электрическое напряжение с амплитудой в диапазоне  $0-10$  В.

На рис. 4 приведены экспериментальные дифракционные картины, формируемые двумерной решеткой в случае отсутствия управляющего напряжения (в выключенном состоянии). Изображения получены при разных состояниях поляризации падающего излучения. Особенностью формируемых дифракционных картин является наличие дифракционных максимумов по двум пространственным осям (оси  $Ox$  и  $Oy$ ) в плоскости наблюдения. Установлено, что интенсивность прошедшего и дифрагированного в первые порядки излучения зависит от состояния поляризации лазерного пучка, падающего на решетку. Также на распределение интенсивности в наблюдаемой двумерной дифракционной картине влияет направление оси анализатора. Для исследуемой двумерной решетки имеет место поворот плоскости поляризации прошедшего и дифрагированного излучения относительно направления поляризации падающего излучения. В связи с этим далее будут построены полярные поляризационные диаграммы световых пучков на выходе дифракционной решетки.

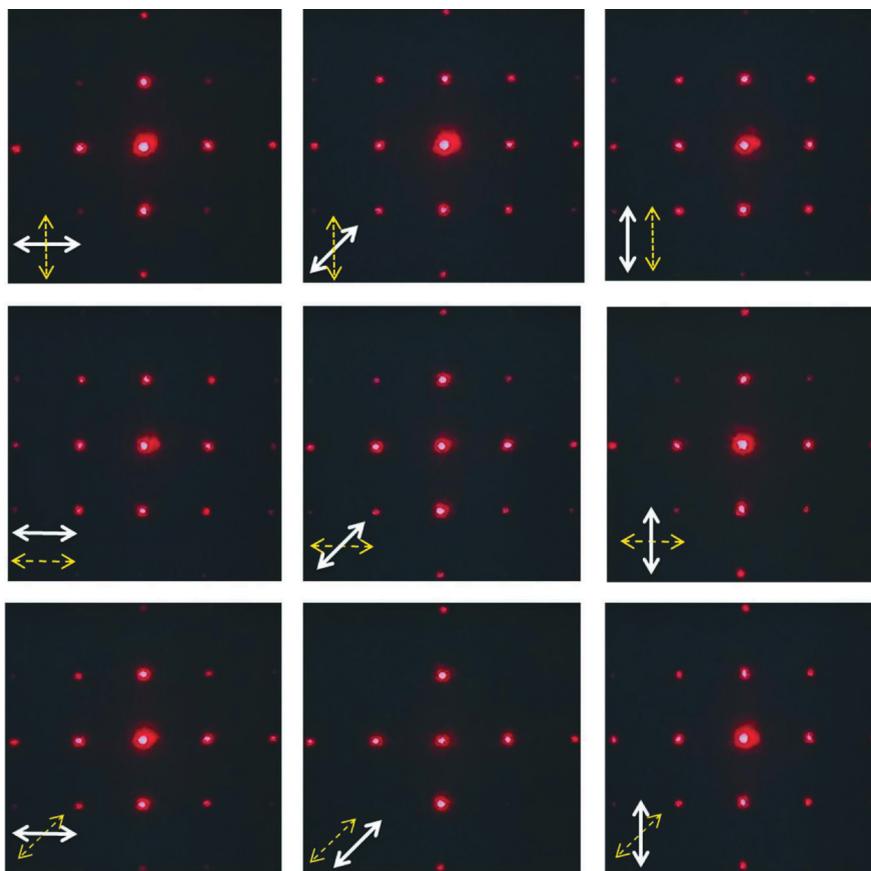


Рис. 4. Дифракционные картины, формируемые двумерной ЖК-решеткой в отсутствие напряжения. Пунктирной стрелкой показано направление поляризации падающего на решетку излучения, а сплошной стрелкой – направление оси ориентации анализатора

Fig. 4. Diffraction patterns formed by a two-dimensional LC grating at voltage-off state. The dotted arrow indicates the direction of polarisation of the incident light, and the solid arrow indicates the direction of the analyser orientation axis

Выраженный электрооптический отклик ЖК-среды обеспечивает возможность эффективного управления дифракционными свойствами решетки с помощью внешнего электрического напряжения, приложенного к электродам ячейки. Для исследуемой ЖК-решетки были экспериментально измерены интенсивности  $I$  прошедшего и дифрагированных в первые порядки световых пучков при управляющих напряжениях в диапазоне 0–10 В. Пороговое напряжение для используемого нематического жидкого кристалла составляет 1,1 В. Полученные зависимости дифракционной эффективности от величины напряжения для нулевого и первых порядков дифракции приведены на рис. 5, в. Падающее на решетку излучение было линейно поляризовано вдоль вертикальной оси (ось  $Oy$ ). Значения дифракционной эффективности (в %), характеризующей распределение энергии прошедшего света по порядкам дифракции  $m$ , рассчитывались по формуле

$$\eta_m = \frac{I_m}{I_0} \cdot 100,$$

где  $\eta_m$  – дифракционная эффективность  $m$ -го порядка дифракции;  $I_m$  – интенсивность излучения в  $m$ -м порядке дифракции;  $I_0$  – суммарная интенсивность светового пучка, падающего на решетку.

В отсутствие напряжения ( $U = 0$  В) ЖК-структура функционирует в режиме двумерной дифракционной решетки (см. рис. 5, а) и обеспечивает разделение входного сигнала на несколько оптических каналов. При напряжении  $U = 10$  В наблюдается значительное уменьшение интенсивности дифрагированного излучения, в то время как интенсивность прошедшего светового пучка является максимальной (см. рис. 5, б). Это связано с тем, что при достаточно высоких напряжениях (на порядок и более превышающих пороговое значение) в результате перехода Фредерикса происходит переориентация молекул жидкого кристалла вдоль линий напряженности электрического поля (гомеотропная ориентация жидкого кристалла в каждом домене), приводящая к исчезновению дифракционных свойств решетки. Максимум дифракционной эффективности при напряжении  $U = 1,5$  В объясняется формированием фазовой компоненты дифракционной решетки, обладающей более высокой дифракционной эффективностью [11].

В выключенном состоянии ЖК-решетка продемонстрировала значения дифракционной эффективности, приведенные в таблице. При напряжении  $U = 1,5$  В были достигнуты максимальные величины дифракционной эффективности в первых порядках:  $\eta_{1y} = 16\%$  и  $\eta_{1x} = 6\%$ . Дифракционная эффективность нулевого порядка, в свою очередь, достигает минимума:  $\eta_0 = 32\%$ . При напряжениях  $U = 5$  В и более наблюдается исчезновение дифракционных свойств решетки в результате переориентации жидкого кристалла в гомеотропное состояние в объеме ЖК-слоя.

**Дифракционная эффективность двумерной ЖК-решетки с закрученной и планарной ориентациями директора жидкого кристалла**

**Diffraction efficiency of a two-dimensional LC grating with twist-planar LC director orientation**

| Напряжение на ячейке, В | Дифракционная эффективность, % |                            |             |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|
|                         | В нулевом порядке дифракции    | В первом порядке дифракции |             |
|                         |                                | По оси $Ox$                | По оси $Oy$ |
| 0                       | 57                             | 5                          | 10          |
| 1,5                     | 32                             | 6                          | 16          |
| 10                      | 91                             | 0                          | 0           |

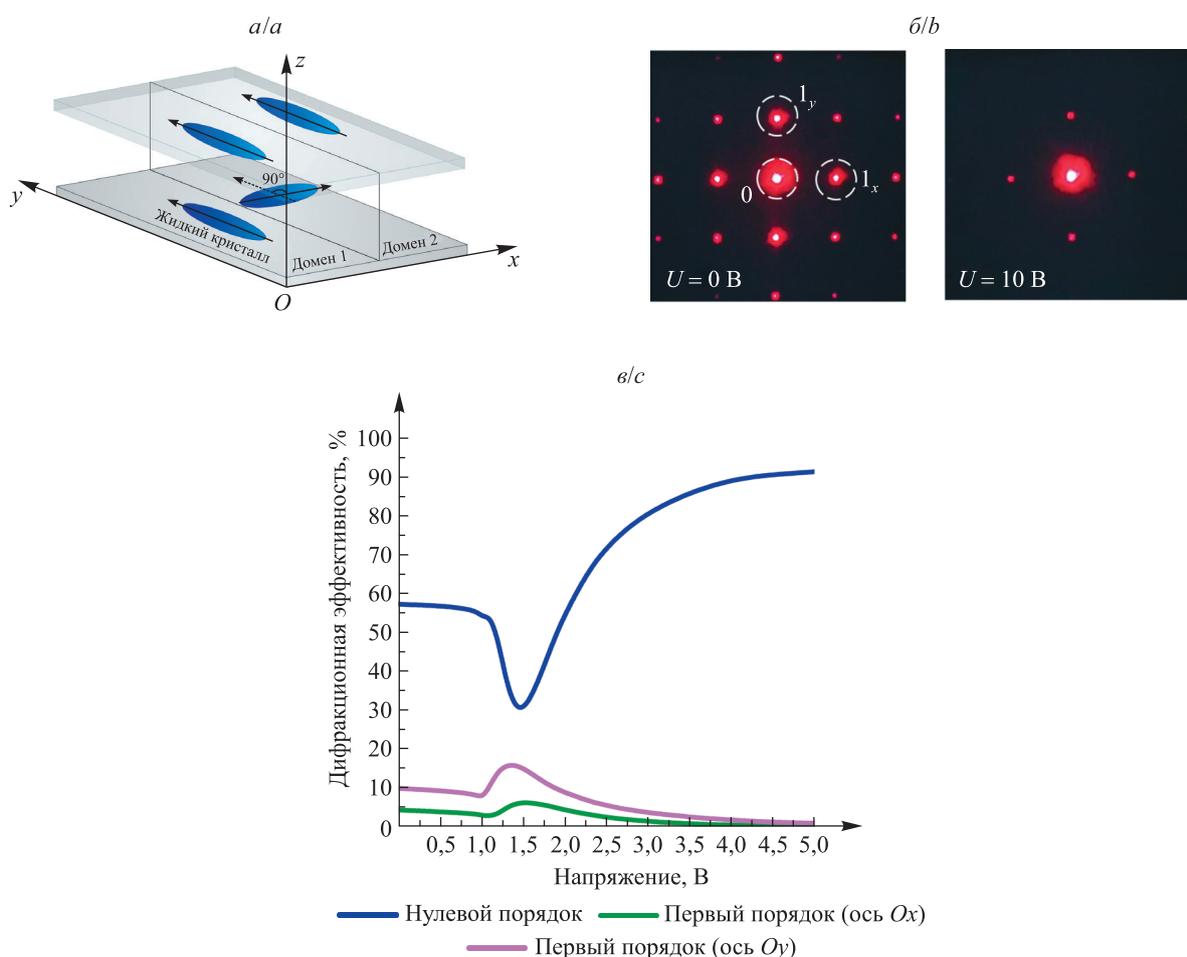


Рис. 5. Дифракционные свойства переключаемой двумерной ЖК-решетки с закрученной и планарной ориентациями директора жидкого кристалла:

- $a$  – схема ориентации ЖК-молекул в смежных доменах;
- $b$  – дифракционная картина, формируемая переключаемой двумерной ЖК-решеткой;
- $c$  – зависимость дифракционной эффективности от величины напряжения

Fig. 5. Diffraction properties of a switchable two-dimensional LC grating with twist-planar LC director orientation:  $a$  – scheme of LC molecules orientation in adjacent domains;  $b$  – diffraction pattern formed by a switchable two-dimensional LC grating;  $c$  – voltage-dependent diffraction efficiency

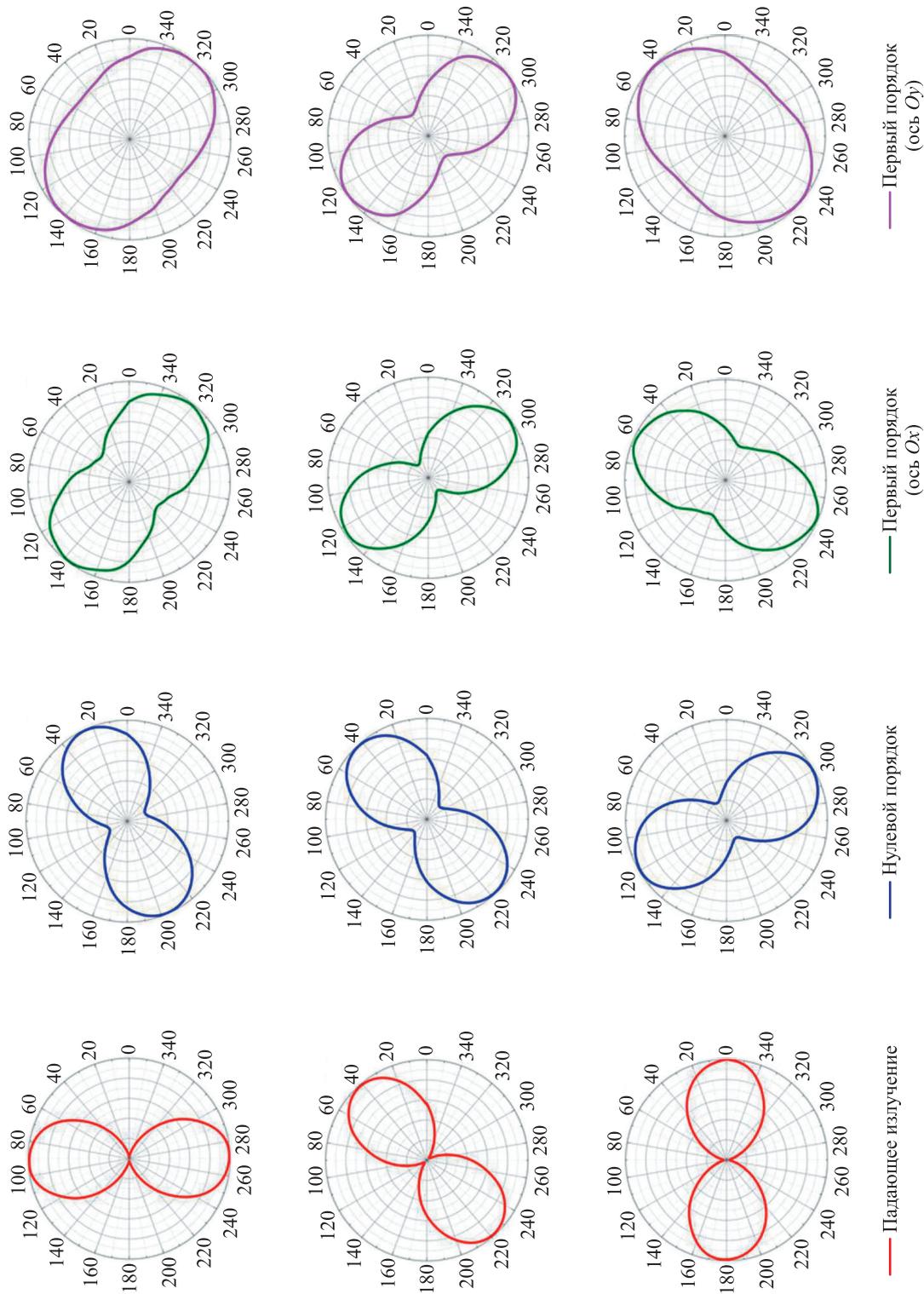


Рис. 6. Полярные поляризационные диаграммы прошедшего и дифрагированных в первые порядки световых пучков для двумерной ЖК-решетки в отсутствие напряжения  
 Fig. 6. Polarisation diagrams of the transmitted and diffracted in the first orders light beams for a two-dimensional LC grating in the absence of voltage

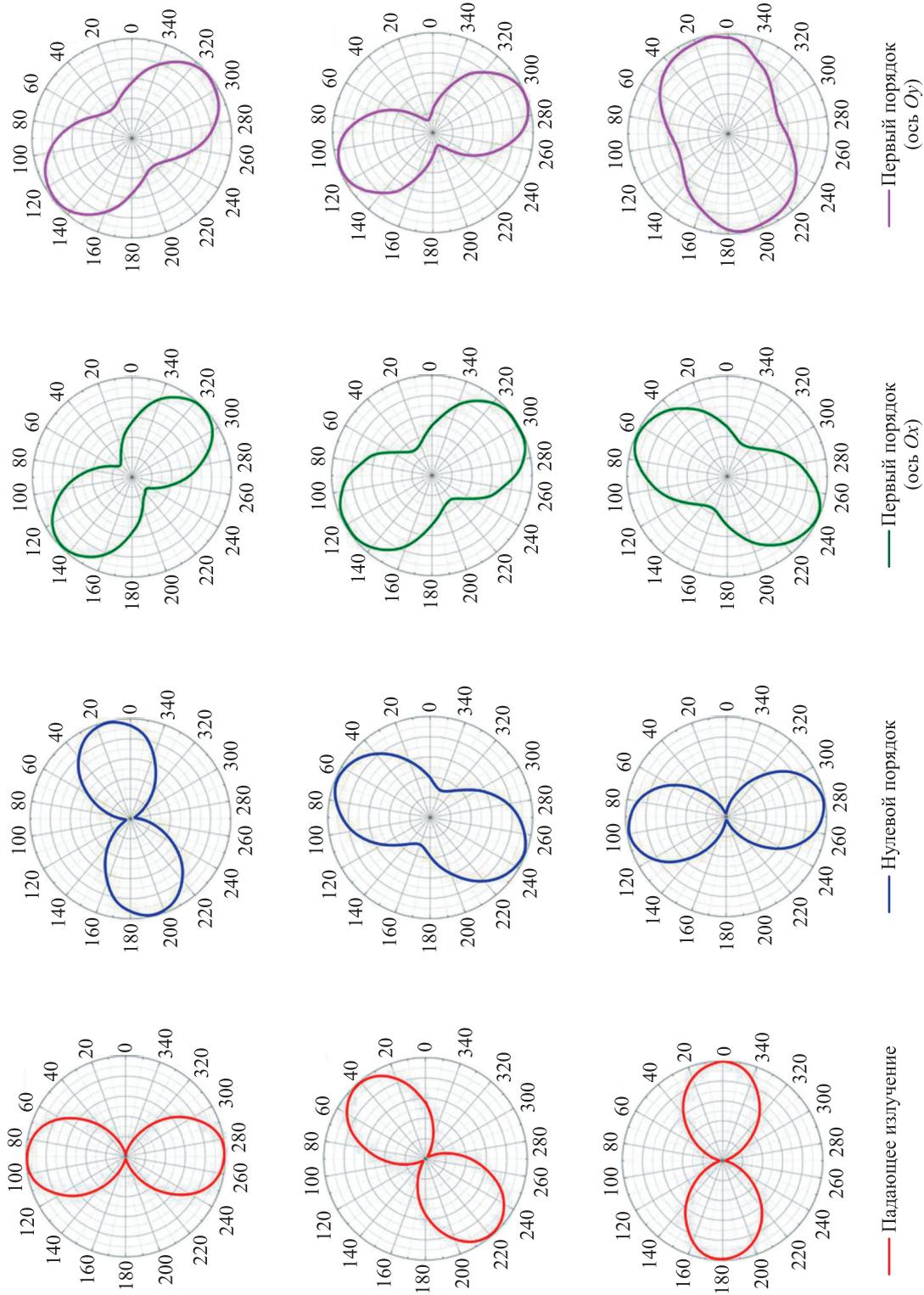


Рис. 7. Полярные поляризационные диаграммы прошедшего и дифрагированных в первые порядки световых лучков для двумерной ЖК-решетки при напряжении  $U = 1,5$  В  
 Fig. 7. Polarisation diagrams of the transmitted and diffracted in the first orders light beams for a two-dimensional LC grating at voltage  $U = 1.5$  V

На рис. 6 приведены экспериментальные полярные диаграммы прошедшего и дифрагированных в первые порядки (вдоль осей  $Ox$  и  $Oy$ ) световых пучков для двумерной ЖК-решетки, построенные при разных состояниях поляризации падающего лазерного излучения. Прошедший световой пучок (нулевой порядок дифракции) и дифрагированные в первые порядки световые пучки имеют ортогональные состояния поляризации, при этом дифрагированные в первые порядки световые пучки характеризуются большим значением степени эллиптичности. Наибольшей степенью эллиптичности (близкой к круговой поляризации) характеризуются световые пучки в первых порядках дифракции по оси  $Oy$  для случаев горизонтальной (ось  $Ox$ ) и вертикальной (ось  $Oy$ ) поляризации падающего излучения. Заметим, что дифрагированные в первые порядки световые пучки имеют схожие состояния поляризации, отличающиеся только степенью эллиптичности. Для случая падающего излучения с линейной поляризацией под углом  $45^\circ$  наблюдаются сохранение исходного состояния поляризации для прошедшего светового пучка и поворот плоскости поляризации на угол  $90^\circ$  для дифрагированного в первые порядки излучения.

На рис. 7 представлены поляризационные диаграммы прошедшего и дифрагированного света при оптимальном напряжении на ячейке ( $U = 1,5$  В). Можно заметить, что по сравнению с результатами, приведенными на рис. 6, имеет место уменьшение степени эллиптичности как для прошедшего, так и для дифрагированного света. Еще одним отличием является поворот плоскости поляризации на угол  $20^\circ$  для прошедшего и дифрагированного в первый порядок по оси  $Oy$  световых пучков.

### Заключение

По результатам проведенных исследований оптимизирована технология формирования двумерного массива ЖК-доменов с закрученной и планарной ориентациями директора, функционирующего в режиме двумерной дифракционной решетки. Экспериментально определены параметры двухэтапного экспонирования пленок азокрасителя AtA-2 для формирования бинарно ориентирующих структур. С использованием метода поляризационной микроскопии установлено, что предложенные конфигурации ориентации директора обеспечивают формирование двумерного массива ЖК-доменов в объеме ЖК-слоя, причем ориентация жидкого кристалла является бездефектной. Величина параметра качества начальной ориентации жидкого кристалла по результатам эксперимента составила  $q = 0,998$ , что подтверждает оптимальность применения технологии текстурированной фотоориентации азокрасителя для создания двумерных дифракционных ЖК-структур. Полученные результаты способствуют упрощению технологии изготовления двумерных дифракционных ЖК-решеток, обеспечивающих разделение входного сигнала на несколько оптических каналов и эффективную модуляцию излучения.

Разработанная ЖК-решетка продемонстрировала двумерную дифракционную картину с наличием дифракционных максимумов по двум пространственным осям (оси  $Ox$  и  $Oy$ ) в плоскости наблюдения. Использование токопроводящих подложек обеспечило возможность управления оптическими свойствами предлагаемой дифракционной структуры с помощью внешнего электрического поля. Показано, что в отсутствие напряжения ЖК-структура функционирует в режиме двумерной дифракционной решетки и осуществляет разделение входного сигнала на несколько оптических каналов. При управляющих напряжениях  $U = 5$  В и более наблюдается исчезновение дифракционных свойств ЖК-структуры, обусловленное переориентацией директора вдоль линий напряженности электрического поля (гомеотропная ориентация жидкого кристалла). Установлена зависимость интенсивности прошедшего и дифрагированных световых пучков на выходе ЖК-решетки от состояния поляризации падающего лазерного излучения и положения анализатора. Экспериментально определены закономерности преобразования состояния поляризации прошедшего и дифрагированного излучения при изменении подаваемого электрического напряжения.

Таким образом, ЖК-структура на основе двумерного массива ЖК-доменов выполняет функции двумерной дифракционной решетки и обеспечивает распределение входного оптического сигнала по массиву приемников с возможностью управления пространственными, поляризационными и фазовыми характеристиками оптического излучения.

### Библиографические ссылки

1. Zuo K, Shi Y, Luo D. A review of two-dimensional liquid crystal polarization gratings. *Crystals*. 2021;11(9):1015. DOI: 10.3390/cryst11091015.
2. Kamiak KG, Kabanova OS, Rushnova II, Melnikova EA, Tolstik AL. Switchable diffraction gratings based on the periodic binary alignment of a nematic liquid crystal. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2021;85(12):1496–1500. DOI: 10.3103/S106287382112011X.
3. Lu Y-Q, Hu W, Srivastava A, Chigrinov VG. Fabrication of liquid crystal gratings based on photoalignment technology. In: Chien L-C, Broer DJ, Chigrinov VG, Yoon T-H, editors. *Emerging liquid crystal technologies VIII; 2013 February 5–6; San Francisco, USA*. Bellingham: SPIE; 2013. p. 86420G (Proceedings of SPIE; volume 8642). DOI: 10.1117/12.2004245.

4. Nieborek M, Rutkowska K, Woliński TR, Bartosewicz B, Jankiewicz B, Szmigiel D, et al. Tunable polarization gratings based on nematic liquid crystal mixtures photoaligned with azo polymer-coated substrates. *Crystals*. 2020;10(9):768. DOI: 10.3390/cryst10090768.
5. Li S-Z, Zhao Z-W, Wang C-M, Wang Q-D, Yao L, Peng Z-H, et al. Electrically tunable photo-aligned two-dimensional liquid crystal polarisation grating. *Liquid Crystals*. 2019;46(8):1175–1182. DOI: 10.1080/02678292.2018.1543781.
6. Yu C-J, Jang E, Lee S-D, Kim H-R. Design and fabrication of high-performance liquid crystal gratings. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2006;454(1):363–376. DOI: 10.1080/15421400600656095.
7. Пантелеева ЕП, Кабанова ОС, Мельникова ЕА. Формирование переключаемых дифракционных решеток в слое жидкого кристалла методом поляризационной голографии. *Журнал Белорусского государственного университета. Физика*. 2023; 2:39–50. EDN: IBNISS.
8. Кабанова ОС, Рушнова ИИ, Мельникова ЕА, Толстик АЛ, Муравский АлА, Муравский АнА и др. Двумерная дифракционная оптическая структура на основе текстурированной фотоориентации полимеризуемого жидкого кристалла. *Журнал Белорусского государственного университета. Физика*. 2019;3:4–11. DOI: 10.33581/2520-2243-2019-3-4-11.
9. Chigrinov V, Kudreyko A, Guo Q. Patterned photoalignment in thin films: physics and applications. *Crystals*. 2021;11(2):84. DOI: 10.3390/cryst11020084.
10. Muravsky A, Mikulich V, Murauski A, Bezruchenko V. P-115: new photoalignment material: azimuthal anchoring energy decreases at very high photo-induced order parameters. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 2015;46(1):1602–1604. DOI: 10.1002/sdtp.10006.
11. Melnikova E, Stashkevich I, Rushnova I, Tolstik A, Timofeev S. Polarization properties of the electrically controlled twist-planar liquid crystal diffraction structure. *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*. 2022;25(3):229–244. DOI: 10.33581/1561-4085-2022-25-3-229-244.

Получена 06.01.2025 / исправлена 12.01.2025 / принята 12.01.2025.  
Received 06.01.2025 / revised 12.01.2025 / accepted 12.01.2025.