УДК: 538.911

DOI: 10.18384/2310-7251-2020-4-73-85

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ ПЕРЕНАСТРАИВАЕМЫХ (ПЕРЕЗАПИСЫВАЕМЫХ) СВЕТООРИЕНТИРУЕМЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Соломатин А. С.¹, Царева Е. В.¹, Богданов Д. Л.², Барабанова Н. Н.²,
Усачев В. В.³, Данкин Д. Г.⁴, Бугримов А. Л.⁵**

¹ Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, Российская Федерация

² Московский государственный областной университет
141014, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, Российская
Федерация

³ Российский университет дружбы народов
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Российская Федерация

⁴ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, Российская Федерация

⁵ Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии.
Дизайн. Искусство)
117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, Российская Федерация

Аннотация

Цель. Развитие новых принципов управляемых оптических элементов – дифракционных, фокусирующих и дифракционно-фокусирующих – в широком диапазоне их применения, и в том числе как для оптического, так и для инфракрасного излучения.

Процедура и методы. Показана перспективность для решения поставленной задачи ЖК композитов 4-циано-4-октилоксидифенил (8ОЦБ) в боросилоксановых (БС) матрицах. Методика фиксации пространственного распределения ЖК-композитов заключается в их предварительной пространственной ориентации по некоторому заранее заданному плану (при температуре выше 55 °С – температуры плавления) и последующем охлаждении. Цикл нагрев-охлаждение технически легко реализуем. ЖК-композит ориентируется различными способами, и в данной работе предложено использовать с этой целью светоориентирование.

Результаты. Предложена светууправляемая ЖК линза с регулируемыми параметрами. Рассмотрена как принципиальная возможность многократной перезаписи centrosymmetric фазовых пластин с анизотропной ориентацией молекул в тонкой пленке, так и обеспечивающая плавное изменение оптической оси техника записи элементов, с цилиндрически-симметричным и планарно-симметричным распределением.

Теоретическая и практическая значимость. При смене режимов неуправляемые элементы приходится заменять, что бывает неудобно. Управляемые оптические элементы обычно

дороги и энергозависимы – требуют постоянного контроля их состояния и регулирования полем. Следовательно, актуальны оптические элементы различной (по назначению и свойствам) классификации, перезаписываемые (перерегулируемые) в дискретные моменты времени и энергонезависимые в остальной (возможно, весьма продолжительный) период эксплуатации.

Ключевые слова: жидкие кристаллы, 4-циано-4-октилоксидифенил (8ОСВ), оптическая анизотропия, светоориентируемые, боросилоксановые гели, жидкокристаллические композиты, фазовая пластина.

NEW PRINCIPLES FOR THE ORGANIZATION OF LIQUID CRYSTAL COMPOSITE RETURNABLE (REWITABLE) LIGHT-ORIENTED GEOMETRIC PHASE ELEMENTS

A. Solomatin¹, Ye. Tsareva¹, D. Bogdanov², N. Barabanova², V. Usachev³, D. Dankin⁴, A. Bugrimov⁵

¹ Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia
9 Miusskaya ploshad', Moscow 125047, Russian Federation

² Moscow Region State University
24 ulitsa Very Voloshinoi, Mytishchi 141014, Moscow Region, Russian Federation

³ People's Friendship University of Russia
6 Miklukho-Maklaya, Moscow 117198, Russian Federation

⁴ National University of Science and Technology «MISIS»
4 Leninsky Prospekt, Moscow 119049, Russian Federation

⁵ The Kosygin State University of Russia
33 ulitsa Sadovnicheskaya, Moscow 117997, Russian Federation

Abstract

Aim: Development of new principles of controllable optical elements – diffractive, focusing and diffractive-focusing – in a wide range of their application, including both for optical and infrared radiation.

Methodology. It was shown that LC composites of 4-cyano-4-octyloxydiphenyl (8OCB) in borosiloxane (BS) matrices are promising for solving the problem. After distributing the LC (at temperatures above 55 °C – the melting temperature) spatially according to some predetermined rule, then cool and thereby fix the spatial distribution. The heating-cooling cycle is technically easy to implement. The LC composite is oriented in various ways, and in this work, it is proposed to use light orientation for this purpose.

Results. A light-controlled LCD lens with adjustable parameters is proposed. Both the fundamental possibility of multiple rewriting of centrosymmetric phase plates with anisotropic orientation of molecules in a thin film, and the technique of recording elements with a cylindrically symmetric and planar symmetric distribution, which provides a smooth change in the optical axis, are considered.

Research implications. When changing modes, uncontrolled elements have to be replaced, which is inconvenient. Controlled optical elements are usually expensive and volatile – they require constant monitoring of their state and field regulation. Consequently, optical elements of various (according to purpose and properties) classification are relevant, rewritable (re-adjustable) at discrete moments of time and non-volatile in the rest (possibly very long) period of operation.

Keywords: liquid crystals, 4-cyano-4-octyloxydiphenyl (8OSB), borosiloxanegels, liquid crystalcomposites

Введение

Роль жидких кристаллов и ЖК-композитов в оптических устройствах исключительно велика [1]. В настоящее время наблюдается отчётливая тенденция к всё более широкому распространению управляемых оптических элементов – фокусирующих, дифракционных и дифракционно-фокусирующих. Однако их принципиальные недостатки, именно вследствие широкого распространения, стали очевидны. Главной проблемой является довольно высокая стоимость устройств, требующих постоянного контроля их состояния и регулирования их свойств прилагаемым полем, энергозатраты, особенно невыгодные в устройствах с аккумуляторным питанием.

Всё более значимое место год за годом завоёвывают оптические элементы, не требующие постоянного контроля и регулирования полем – энергонезависимые. Однако их необходимо заменять при смене режимов использования, так как они нерегулируемые.

Актуально конструктивное решение, обеспечивающее сочетание преимуществ тех и других без наследования их недостатков. В данной работе, являющейся продолжением [2–10], предложено новое решение этой задачи, заключающееся в том, что оптические элементы регулируются, но не непрерывно, а в отдельные (дискретные) моменты времени, а в периоды времени между перезаписью свойства энергонезависимых оптических элементов не изменяются (стабильны). Также предусмотрено размещение перерегулируемых (перезаписываемых) в дискретные моменты времени оптических элементов мозаично (как шахматная доска – клетки разных типов чередуются) с возможностью при одновременной перезаписи группы элементов переместить их границы, то есть перейти к новой геометрии размещения комплекса оптических элементов с совершенно новыми (перерегулированными в широком диапазоне) характеристиками, что особенно важно для матричных дифракционных или фокусирующих оптических элементов.

Новые принципы управляемых оптических элементов – дифракционных, фокусирующих и дифракционно-фокусирующих – актуальны в широком диапазоне их применения, и в том числе как для оптического, так и для инфракрасного излучения. Показана в [4] перспективность для решения поставленной задачи ЖК композитов 4-циано-4-октилоксидифенил (8ОЦБ) в боросилоксановых (БС) матрицах. Распределив ЖК (при температуре выше 55°C – температуры плавления) пространственно по некоторому заранее заданному правилу, следу-

ет затем охладить и тем самым зафиксировать пространственное распределение. Цикл нагрев-охлаждение технически легко реализуем. ЖК-композит ориентируется различными способами, и в данной работе предложено использовать с этой целью светоориентирование.

Широко известно (например, [11]) ориентирование молекул ЖК в приложенном внешнем электрическом поле и, в том числе, в луче поляризованного света. При повороте плоскости поляризации частицы поворачиваются согласованно с ней. Это позволяет задавать азимутальный угол ориентации молекул ЖК в пределах области, подвергающейся достаточно сильному ориентирующему воздействию. Также известен такой приём, как введение хорошо ориентируемой длинной частицы с заданным спектральным диапазоном её прозрачности (например, управляется в инфракрасном луче), переориентирование которой приводит к изменению пространственного распределения молекул ЖК в окружающей области. Также возможно для перезаписи (перерегулирования) использовать комплексно управление прилагаемым полем и светоориентирование.

Светоориентируемая ячейка ЖК

В [6–8] рассмотрены матричные структуры на ЖК-композитной основе и показана возможность их использования с целью регулирования интенсивности и плоскости поляризации лучей проходящего через них света, образующих, в соответствии с геометрией расположения элементов регулирующей матрицы, упорядоченное распределение интенсивности и поляризации излучения, как ещё можно сказать, подвергнутое пространственно-временной модуляции света (ПВМС), то есть модулированное. Помещённые в прозрачную среду, через которую проходят вышеупомянутые лучи света, светоориентируемые частицы будут ориентированы, перейдут к положению равновесия с упругими силами. В зависимости от спектральных характеристик используемого сорта ЖК может быть удобно ориентировать инфракрасным светом специально добавленные длинные частицы с соответствующими светоориентационными характеристиками, а они будут задавать пространственное распределение директора ЖК. Таким образом, например, можно получать такое пространственное распределение директора ЖК, которое чрезвычайно сложно (или практически невозможно) было бы получить путём ориентирования полем. Это важное обстоятельство следует особо отметить для понимания преимуществ и, следовательно, актуальности предлагаемого подхода – светоориентирования.

Рассмотрим предлагаемый подход более подробно. На рис. 1 изображена ячейка ЖК.

Нижняя (на рис. 1) поверхность имеет ориентирующее покрытие – покрыта ориентантом, задающим приповерхностный угол (в плоскости рисунка, полярный угол) директора ЖК с подложкой, обозначенный θ_0 . Отметим, что азимутальный угол – директор ЖК в плоскости рисунка – также задаётся ориентирующим покрытием (с учётом его поверхностной геометрии). Слева на рис. 1 предполагается упомянутая выше матричная система подсветки. На рис. 1 отображаются горизонтальные (параллельные подложке) лучи света с плоскостью поляризации, совпадающей с пло-

скостью рисунка (поляризация перпендикулярна подложке). Переориентируясь в подсвеченном слое, директор ЖК будет изменять угол от приповерхностного θ_0 и до некоего угла θ_{const} , который будет транслироваться до противоположной стороны ячейки, если покрыть противоположную (верхнюю на рис. 1) сторону ячейки покрытием, не проявляющим ориентирующих свойств.

Рис. 1. Ячейка ЖК. Электрическое поле поляризованного луча света обуславливает изменение угла наклона директора ЖК. Чем толще слой ЖК, сквозь который проходит луч поляризованного света, тем больше различие между приповерхностным углом θ_0 и углом θ_{const} на другом крае освещённого слоя ЖК. Этот угол остаётся постоянным для всего неосвещённого слоя ЖК в ячейке / Fig. 1. LC cell. With an increase in the thickness of the LC layer subjected to orienting radiation (optical or infrared), the difference between the near-surface angle θ_0 and θ_{const} , which translates to the other side of the cell, increases.

Источник: составлено авторами.

В зависимости от толщины подсвеченного слоя (при той же равномерно распределённой плотности светового ориентирующего потока), как показано на рис. 1, угол θ_{const} возрастает вплоть до перпендикуляра к поверхности подложки. Толщина подсвеченного слоя регулируется количеством рядов матричной подсветки. Градиент угла директора ЖК задаётся интенсивностью (плотностью светового потока) подсветки.

Если задавать в смежных слоях ЖК различную интенсивность и поляризацию ориентирующей (например, инфракрасной) подсветки, получим сложное слоистое распределение ориентации директора ЖК, оптически эквивалентное стопке плоскопараллельных ячеек ЖК, ориентированных (каждая индивидуально) электрическим полем пар прозрачных электродов. Очевидно, что светоориентированная конструкция проще и дешевле, а также регулируется в более широких пределах.

55 °С – температура плавления для 4-циано-4-октилосидифенила (8ОЦБ). Для фиксирования (записи) полученного состояния в данной работе предлагается воспользоваться свойствами ЖК-композиата 4-циано-4-октилосидифенил (8ОЦБ) на основе боросилоксанового (БС) геля [6–8; 10], которые могут быть переориентированы [12; 13] электрическим полем при нагревании композиатов (требуется включения соответствующих элементов в конструкцию) выше 55 °С.

При последующем (достаточно интенсивном) охлаждении ЖК кристаллизуется, и сформировавшиеся микроструктуры долговременно фиксируются, с размерами от долей до десятков микрон. Таким образом, каждый ЖК домен (капля) в боросилоксановой матрице может быть переориентирован и затем зафиксирован на длительное время. Получается перезаписываемая в дискретные моменты времени и энергонезависимая оптическая матричная система – пространственно дисперсно распределённый жидкий кристалл (ПДЖК), или матричная дифракционная (дифракционно-фокусирующая) система, или матрица микролинз с перерегулируемыми характеристиками.

Переориентируемую систему (слой) можно располагать комбинированно (параллельно, послойно) с оптически анизотропным слоем с постоянными свойствами. Быстро переориентируемый тонкий слой позволяет корректировать оптические свойства системы в достаточно широких пределах и такая система перспективна для оптических затворов, а также ёмкостных, светофильтрующих, дифракционных, фокусирующих элементов.

Для светофильтров – как в скрещенных, так и в параллельных поляроидах – такие комбинированные структуры, светоориентируемые в дискретные моменты времени с целью регулировать их спектральные характеристики, перспективны, так как, например, позволяют получить три цветных снимка RGB цветов с одной монохромной матрицы фотоприёмных элементов.

Для фокусирующих – например, позволяют получить серию снимков с разным фокусным расстоянием, содержащих детализированную информацию как о близко расположенных, так и об удалённых объектах, что актуально, в частности, в методах «оптического пинцета» – светового манипулирования мелкодисперсными частицами и средами. Также возможно переключение в оптических системах, например, от линзы собирающей к линзе рассеивающей.

На рис. 2 показана ЖК линза [13] со светорегулируемым (например, инфракрасным светом) фокусным расстоянием. На рисунке снизу вверх направлен ориентирующий свет. Фотоэлемент (заштрихован посередине внизу) принимает собираемый линзой свет. Лучи света падают на рисунок сверху и фокусируются. Лучи ориентирующей подсветки исходят из центрально-симметричной матрицы – её элементы показаны на рис. 2 внизу по кругу, в одной горизонтальной плоскости с фотоэлементом. Ориентирующая подсветка имеет (каждый луч) поляризацию в радиальной (для линзы) плоскости.

На рис. 3 показано радиальное сечение этой же линзы ЖК. Нижняя поверхность покрыта ориентантом, задающим гомеотропную ориентацию в радиальной плоскости (например, рельеф поверхности ориентанта центрально-симметричен). Верхняя поверхность покрыта неориентирующим покрытием. Управляющие (ориентирующие) световые лучи показаны на рис. 3 стрелками, они направлены снизу вверх, плотность светового потока неравномерна, что проиллюстрировано количеством стрелок на рис. 3 – где они более многочисленны, там плотность потока больше. Необходимый для линзы ЖК градиент фазовой задержки обусловлен неравномерной ориентацией директора ЖК, а он, в свою очередь, задан неравномерной плотностью управляющей подсветки.

Рис. 2. ЖК линза со светорегулируемым фокусным расстоянием / Fig. 2. Light-Oriented LCD Lens.

Источник: составлено авторами.

Рис. 3. Радиальное сечение ЖК линзы со светорегулируемым фокусным расстоянием / Fig. 3. Light-oriented LCD lens, its radial plane.

Источник: составлено авторами.

Формирование ориентированных структур

На рис. 4 показано планарно-симметричное ориентирование. Оно получается следующим образом [5]. Поворотом полуволновой пластины ($\lambda/2$) меняется поляризация проходящего через пластину линейно поляризованного лазерного излучения, которое затем фокусируется линзой на слое ЖК-композита на подложке, вращающейся с некоторой угловой скоростью ω . Управляющая система позиционирует, после каждого полного оборота подложки, на одно деление – ширину записываемой концентрической дорожки по радиусу – весь записывающий комплекс: лазер, полуволновую пластину, линзу. Всё время одного оборота полуволновая пластина неподвижна, то есть плоскость поляризации лазера постоянна для всей записываемой дорожки.

Рис. 4. Планарно-симметричное ориентирование / Fig. 4. Planar-symmetric orientation.

Источник: [5].

Рис. 5. Цилиндрически-симметричное ориентирование / Fig. 5. Cylindrically symmetric orientation.

Источник: [5].

На рис. 5 показано цилиндрически-симметричное ориентирование. Оно получается аналогичным образом [5], с той разницей, что подложка и плоскость поляризации лазера (то есть полуволновая пластина) согласованно вращаются, и плоскость поляризации лазера образует постоянный угол с радиусом для всей записываемой за один оборот дорожки. Поворот полуволновой пластины на другой угол с радиусом и позиционирование на следующую дорожку происходят после каждого полного оборота.

В обоих случаях директор ЖК ориентируется под действием поляризованного света.

Как уже упоминалось выше, перезапись осуществляется в рамках цикла нагрев-охлаждение. Это означает, что можно прогревать сразу всю подложку со слоем ЖК-композита или локальный участок непосредственно перед местом воздействия луча – получается своего рода головка записи, как у некоторых других средств записи с дорожками различной природы. Принципиально можно перезаписывать не только светоориентированием, но и головкой записи на основе переориентирования директора ЖК магнитным или электрическим полем, причём тоже в рамках цикла нагрев-охлаждение.

Для приведённых на рис. 4 и рис. 5 геометрий на фотоориентированном ЖК-полимере получены в [5]: многопериодные фазовые транспаранты с периодом ~ 200 мкм – планарно-симметричные; дифракционные элементы – цилиндрически-симметричные. Дифракционные элементы, при освещении линейно поляризованным лучом, формируют дифракционную картину в виде двух концентрических окружностей с разной (одна с правой, другая с левой) поляризацией. При освещении лучом с правой круговой поляризацией формируется одна окружность с левой круговой поляризацией, и наоборот, при освещении лучом с левой круговой поляризацией формируется одна окружность с правой круговой поляризацией.

Для цилиндрически-симметричных структур в [5] было показано, что если по квадратичному закону изменяется от центра к краю пространственный период (записывающий узел передвигается по радиусу, то есть от записанной концентрической дорожки к новой дорожке, с соответствующим шагом), то элемент обладает фокусирующими свойствами – формируется показанная на рис. 6 и рис. 7 структура Френеля. Для её формирования процесс записи модифицируется следующим образом: один из интерферирующих пучков формирует сферический волновой фронт (для чего проходит через линзу), а затем перекрывается на определённом расстоянии с лучом с плоским волновым фронтом.

В зависимости от круговой поляризации падающего пучка света, она (по принципу геометрической фазы с непрерывно изменяющейся периодичностью) является либо собирающей, либо (в случае ортогональной круговой поляризации) рассеивающей линзой. Данное свойство отличает её от обычной линзы Френеля.

Рис. 6. Фотография, сделанная с помощью поляризационного микроскопа.

Структура Френеля /

Fig. 6. Image of the Fresnel structure obtained under a polarizing microscope.

Источник: [5].

Рис. 7. Для структуры Френеля с рис.5, радиальное распределение колец имеет высокую степень симметрии и хорошо описывается параболой / Fig. 7. The distribution of rings away from the center has a high degree of symmetry and is well described by a parabola.

Источник: [5].

Выводы

Предложены новые принципы организации жидкокристаллических композитных перенастраиваемых (перезаписываемых) светоориентируемых геометрических фазовых элементов. Предложенные элементы перспективны как дифракционные, дифракционно-фокусирующие и фокусирующие дискретно перезаписываемые (перенастраиваемые) энергонезависимые оптические элементы. Также показана возможность использования предложенных принципов перенастройки (перезаписи) в светофильтрах, оптических затворах и широком ряде других оптических элементов.

Статья поступила в редакцию 16.12.2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чаусов Д. Н., Курилов А. Д., Беляев В. В. Жидкокристаллические нанокомпозиты, легированные наночастицами редкоземельных элементов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2020. Т. 20. № 2. С. 6–22. DOI: 10.18083/LCAppl. 2020.2.6.
2. Соломатин А. С. Светоориентируемые ячейки нематического ЖК с одной стороной, покрытой ориентантом // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2018. № 2. С. 21–33. DOI: 10.18384/2310-7251-2018-2-21-33.
3. Соломатин А. С. Линзы на основе жидких кристаллов с неоднородным радиальным распределением директора // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2016. № 3. С. 37–45. DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-37-45.

4. Формирование упорядоченных кристаллических микроструктур 4-циано-4-октилосидифенила в боросилоксановых гелях / Ермакова М. В., Мащенко В. И., Чаусова О. В., Соломатин А. С., Волосникова Н. И., Чаусов Д. Н. // Жидкие кристаллы и их практическое использование 2019. Т. 19. № 4. С. 61–66. DOI: 10.18083/LCAppl.2019.4.61.
5. Запись геометрических фазовых элементов на основе жидкокристаллических полимеров / Маргарян А. Л., Абрамян В. К., Оганесян Д. Л., Акопян Н. Г., Арутюнян В. М., Беляев В. В., Соломатин А. С. // Известия НАН Армении. Физика. 2017. Т. 52. № 3. С. 353–360.
6. Особенности формирования микроструктуры и оптические свойства жидкокристаллических композитных твист-ячеек / Соломатин А. С., Мащенко В. И., Шашкова Ю. О., Беляев В. В. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2017. № 2. С. 53–63. DOI: 10.18384/2310-7251-2017-2-53-63.
7. Особенности формирования микроструктуры жидкокристаллических композитов на основе боросилоксана / Мащенко В. И., Шашкова Ю. О., Соломатин А. С., Беляев В. В. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2017. № 2. С. 34–45 DOI: 10.18384/2310-7251-2017-2-34-45.
8. Микроструктуры жидкокристаллических композитов на основе боросилоксана. Оптические свойства дисперсной жидкокристаллической структуры на их основе / Мащенко В. И., Соломатин А. С., Шашкова Ю. О., Беляев В. В. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2017. № 3. С. 97–107. DOI: 10.18384/2310-7251-2017-3-97-107.
9. Особенности процесса кристаллизации 4,4'-азоксианизола в виде множественных «кофейных колец» / Васильчикова Е. Н., Константинов М. С., Мащенко В. И., Кучеров Р. Н., Чаусов Д. Н., Дадиванян А. К. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2020. Т. 20. № 1. С. 47–52. DOI: 10.18083/LCAppl.2020.1.47.
10. Патент №0002607454 Способ получения смеси жидкого кристалла с полимером для дисплейной техники и оптоэлектроники / В. В. Беляев, В. И. Мащенко, А. С. Соломатин, Д. Н. Чаусов; Приоритет от 27.04.2015.
11. Соифер В. А. Нанопотоника и дифракционная оптика // Компьютерная оптика. 2008. Т. 32. № 2. С. 110–118.
12. Коншина Е. А. Оптика жидкокристаллических сред. СПб: СПб НИУ ИТМО, 2012. 99 с.
13. Невская Г. Е., Томилин М. Г. Адаптивные линзы на основе жидких кристаллов // Оптический журнал. 2008. Т. 75. №. 9. С. 35–48.

REFERENCES

1. Chausov D. N., Kurilov A. D., Belyaev V. V. [Liquid crystal nanocomposites doped with rare earth elements]. In: *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoe ispol'zovanie* [Liquid Crystals and their Application], 2020, vol. 20, no. 2, pp. 6–22. DOI: 10.18083/LCAppl.2020.2.6.
2. Solomatina A. S. [Light-oriented nematic lcd cells covered with orientant on one side]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2018, no. 2, pp. 21–33. DOI: 10.18384/2310-7251-2018-2-21-33.
3. Solomatina A. S. [LC lenses with various radial orientational distribution]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2016, no. 3, pp. 37–45. DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-37-45.

4. Ermakova M. V., Mashchenko V. I., Chausova O. V., Solomatin A. S., Volosnikova N. I., Chausov D. N. [Formation of ordered crystalline microstructures of 4-cyano-4-octyloxydiphenyl in borosiloxane gels]. In: *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoe ispol'zovanie* [Liquid Crystals and their Application], 2019, vol. 19, no. 4, pp. 61–66. DOI: 10.18083/LCAppl.2019.4.61.
5. Margaryan A. L., Abramyan V. K., Oganessian D. L., Akopyan N. G., Arutyunyan V. M., Belyaev V. V., Solomatin A. S. [Recording of geometric phase elements based on liquid crystal polymers]. In: *Izvestiya NAN Armenii. Fizika* [Proceedings of National Academy of Sciences of Armenia], 2017, vol. 52, no. 3, pp. 353–360.
6. Solomatin A. S., Mashchenko V. I., Shashkova Yu. O., Belyaev V. V. [Formation and optical properties of twist structures in a nematic liquid crystal composite]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2017, no. 2, pp. 53–63. DOI: 10.18384/2310-7251-2017-2-53-63.
7. Mashchenko V. I., Shashkova Yu. O., Solomatin A. S., Belyaev V. V. [Peculiarities of the formation of a microstructure of borosiloxane liquid crystal composites]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2017, no. 2, pp. 34–45. DOI: 10.18384/2310-7251-2017-2-34-45.
8. Mashchenko V. I., Solomatin A. S., Shashkova Yu. O., Belyaev V. V. [Microstructures of liquid crystalline composites based on borosiloxane. Optical properties of their dispersion liquid crystalline structure]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2017, no. 3, pp. 97–107. DOI: 10.18384/2310-7251-2017-3-97-107.
9. Vasil'chikova E. N., Konstantinov M. S., Mashchenko V. I., Kucherov R. N., Chausov D. N., Dadivanyan A. K. [Specific features of crystallization process of 4,4'-azoxyanisole in the form of multiple «coffee rings»]. In: *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoe ispol'zovanie* [Liquid Crystals and their Application], 2020, vol. 20, no. 1, pp. 47–52. DOI: 10.18083/LCAppl.2020.1.47.
10. Belyaev V. V., Mashchenko V. I., Solomatin A. S., Chausov D. N. *Patent №0002607454 Sposob polucheniya smesi zhidkogo kristalla s polimerom dlya displeynoy tekhniki i optoelektroniki; Prioritet ot 27.04.2015.* [Patent No. 0002607454 A method of producing a mixture of a liquid crystal with a polymer for display technology and optoelectronics; Priority from 27.04.2015].
11. Soifer V. A. [Nanophotonics and diffractive optics]. In: *Kompyuternaya optika* [Computer Optics], 2008, vol. 32, no. 2, pp. 110–118.
12. Konshina E. A. *Optika zhidkokristallicheskich sred* [Optics of liquid crystal media]. St. Petersburg, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics Publ., 2012. 99 p.
13. Nevskaya G. E., Tomilin M. G. [Adaptive lenses based on liquid crystals]. In: *Opticheskii zhurnal* [Journal of Optical Technology], 2008, vol. 75, no. 9, pp. 35–48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соломатин Алексей Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и компьютерного проектирования Российского химико-технологического университета;

e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru;

Царева Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и компьютерного проектирования Российского химико-технологического университета;

e-mail: ellyyy@mail.ru;

Богданов Дмитрий Леонидович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики Московского государственного областного университета;

e-mail: kaf-obfiz@mgou.ru;

Барабанова Наталья Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики Московского государственного областного университета;

e-mail: nn.barabanova@mgou.ru;

Усачев Владимир Владимирович – аспирант департамента механики и мехатроники Российского университета дружбы народов;

e-mail: usachev.burevestnik@yandex.ru;

Данкин Денис Геннадьевич – старший преподаватель кафедры физики Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»;

e-mail: dankin84@mail.ru;

Бугримов Анатолий Львович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Российского государственного университета имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство);

e-mail: bugrimov-al@rguk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey S. Solomatin – Dr. Sci. (Engineering), Prof., Department of Informatics and computer design, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia;

e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru;

Elena V. Tsareva – Cand. Sci. (Engineering), Assoc. Prof., Department of Informatics and Computer Design, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia;

email: ellyyy@mail.ru;

Dmitry L. Bogdanov – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Department of General Physics, Moscow Region State University;

e-mail: kaf-obfiz@mgou.ru;

Nataya N. Barabanova – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof., Department of General Physics, Moscow Region State University;

e-mail: nn.barabanova@mgou.ru;

Vladimir V. Usachev – Postgraduate student, Department of Mechanics and Mechatronics, Peoples' Friendship University of Russia;

e-mail: usachev.burevestnik@yandex.ru;

Denis G. Dankin – Senior Lecturer, Department of physics, National University of Science and Technology «MISIS»;
e-mail: dankin84@mail.ru;

Anatoly L. Bugrimov – Dr. Sci. (Engineering), Prof., Head of the Department of Physics, The Kosygin State University of Russia;
e-mail: bugrimov-al@rguk.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Новые принципы организации жидкокристаллических композитных перенастраиваемых (перезаписываемых) светоориентируемых геометрических фазовых элементов / Соломатин А. С., Царева Е. В., Богданов Д. Л., Барабанова Н. Н., Усачев В. В., Данкин Д. Г., Бугримов А. Л. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. 2020. № 4. С. 73–85.
DOI: 10.18384/2310-7251-2020-4-73-85

FOR CITATION

Solomatin A. S., Tsareva E. V., Bogdanov D. L., Barabanova N. N., Usachev V. V., Dankin D. G., Bugrimov A. L. New principles for the organization of liquid crystal composite returnable (rewritable) light-oriented geometric phase elements. In: *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics-Mathematics*, 2020, no. 4, pp. 73–85.
DOI: 10.18384/2310-7251-2020-4-73-85