

## СЕКЦИЯ 1. ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-125-7-13-20>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 539.22

### ГРАДИЕНТНЫЕ ОРИЕНТИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ С РАЗНЫМ ПОРОГОМ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-НЕЗАВИСИМЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИНЗ

БЕЗРУЧЕНКО В.С.<sup>1,2</sup>, МУРАВСКИЙ Ал.А.<sup>1</sup>, МУРАВСКИЙ Ан.А.<sup>1</sup>, СТАНКЕВИЧ А.И.<sup>2</sup>,  
МОГИЛЬНЫЙ В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии новых материалов НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Физический факультет белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 5 ноября 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

**Аннотация.** Разработка управляемых жидкокристаллических (ЖК) линз является перспективной и многообещающей для большого числа применений, например, для систем визуализации, пико-проекторов, систем оптического зума, офтальмологии, и др. Особого внимания заслуживает разработка поляризационно-независимых ЖК линз, так как позволяет исключить из прикладных устройств поляризаторы, которые снижают эффективность прохождения света сквозь оптические системы. Разработаны ориентирующие бензальдегидные фоточувствительные материалы, способные изменять углы преднаклона нематических жидких кристаллов от 90 до 0° контролируемым образом под действием ультрафиолетового (УФ) экспонирующего излучения. Генерация анизотропии бензальдегидных ориентирующих слоев осуществлялась путем двухстадийной обработки, состоящей из однородного натирания тканью и последующего неполяризационного УФ экспонирования. Неоднородное УФ облучение однородно натертых тканью ориентирующих слоев позволяет сформировать градиент показателя преломления внутри ЖК ячейки. Продемонстрирован принцип изготовления управляемых поляризационно-независимых самосовмещенных ЖК линз на основе градиентных ориентирующих материалов с различным порогом фоточувствительности. Самосовмещение двух поляризационно-зависимых суб-линз обеспечивается благодаря простому единичному акту УФ экспонирования двух ориентирующих слоев, которые располагались по обе стороны одной стеклянной подложки, формируя общую оптическую ось поляризационно-независимых ЖК линз. Независимость от поляризации ЖК линз достигалась путем задания азимутального направления натирания ориентирующих слоев двух поляризационно-зависимых ЖК линз перпендикулярными друг другу. Ячейки суб-линз характеризовались однородным зазором, а их управление осуществлялось независимым образом с использованием низких управляющих напряжений. Устройства, изготавливаемые на основе градиентных бензальдегидных ориентирующих материалов, могут быть использованы в различных современных оптических и фотонных устройствах.

**Ключевые слова:** градиентные ориентирующие материалы, угол преднаклона, поляризационно-независимая ЖК линза.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Безрученко В.С., Муравский Ал.А., Муравский Ан.А., Станкевич А.И., Могильный В.В. Градиентные ориентирующие материалы с разным порогом фоточувствительности для создания управляемых поляризационно-независимых жидкокристаллических линз Доклады БГУИР. 2019; 7 (125): 13-20.

## GRADIENT ALIGNMENT MATERIALS WITH DIFFERENT PHOTSENSITIVITY FOR TUNABLE POLARIZATION-INDEPENDENT LIQUID CRYSTAL LENS

VERONICA S. BEZRUCHENKO<sup>1,2</sup>, ALEXANDER A. MURAVSKY<sup>1</sup>,  
ANATOLI A. MURAUSKI<sup>1</sup>, ALEXANDER I. STANKEVICH<sup>2</sup>, ULADIMIR V. MAHILNY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Chemistry of New Materials NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Physical Department of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus*

*Submitted 5 November 2019*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

**Abstract.** The development of electrically tunable liquid crystal (LC) lenses is perspective and promising for a wide range of applications, for example, for imaging system, pico projectors, optical zoom systems, ophthalmology applications and other. Of particular note is the development of polarization-independent LC lenses, as eliminates polarizers from application devices that reduce the efficiency of light transmission through optical systems. Alignment benzaldehyde photosensitive materials, capable of changing the pretilt angles of nematic LC from 90 to 0 °C in a controlled manner under UV exposure are developed. The anisotropy of the benzaldehyde alignment layers is generated by a two-stage treatment consisting of uniform rubbing with a cloth and subsequent non-polarized UV exposure. Inhomogeneous UV exposure of uniformly rubbed alignment layers allows formation of refractive index gradient inside the LC cell. The concept of tunable polarization-independent self-aligned LC lens based on gradient pretilt angle alignment materials with different photosensitivity is demonstrated. Self-alignment of two polarization-dependent sub-lens is achieved due to a single UV exposure act of two alignment layers, which are located on the same piece of glass on both sides, forming one common optical axis for a polarization-independent LC lens. The independence of the polarization of LC lenses is achieved by setting the azimuthal rubbing direction of the alignment layers of two polarization-dependent LC lenses perpendicular to each other. The sub-lens cells have uniform cell gap and are independently controlled using low-voltage driving. Devices based on gradient benzaldehyde alignment materials can be used in many modern optical and photonic devices.

**Keywords:** Gradient alignment materials, pretilt angle, polarization-independent LC lens.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Bezruchenko V.S., Muravsky A.A., Murauski A.A., Stankevich A.I., Mahilny U.V. Gradient alignment materials with different photosensitivity for tunable polarization-independent liquid crystal lens. Doklady BGUIR. 2019; 7 (125): 13-20.

### Введение

Благодаря развитию оптоэлектроники на смену громоздким оптическим устройствам пришли компактные и высокоэффективные аналоги. Исследования и разработка новых технологических материалов направлены, в частности, на миниатюризацию оптических компонентов, в том числе оптических линз и массивов микролинз. Наиболее эффективными типами таких линз являются управляемые жидкокристаллические (ЖК) микролинзы, которые в настоящее время предложены в различных реализациях [1–3]. Известными проблемами при создании управляемых ЖК микролинз являются [4, 5]: большое количество дефектов, ограниченный максимальный и минимальный диаметр; необходимость увеличения зазора ячеек для повышения оптической силы устройств; большое время отклика устройств с увеличенным зазором; высокое напряжение, необходимое для изменения показателя

преломления; зависимость от поляризации ЖК линз и др. Создание ЖК микролинз на основе градиентных ориентирующих материалов [6] является перспективным подходом, который решает ряд обозначенных проблем благодаря особым свойствам ориентантов. На ориентирующие материалы с переменным углом подвеса налагаются высокие требования: высокая энергия сцепления, воспроизводимость углов преднаклона, бездефектная ориентация, низкие управляющие напряжения для изменения показателя преломления и т. д. Все эти требования выполнимы при использовании градиентных бензальдегидных фоточувствительных ориентирующих слоев для создания управляемых ЖК линз [6–8], обладающих следующими свойствами:

- низкая температура отжига материала – 70–90 °С;
- стандартный процесс ориентации натиранием тканью;
- увеличенная энергия сцепления ориентирующего слоя;
- чувствительность к УФ-Б излучению в диапазоне 300–330 нм;
- воспроизводимое монотонное изменение угла преднаклона от 90 до 0 °С при неполяризованном УФ экспонировании;
- настраиваемый порог фоточувствительности ориентирующего слоя, определяемый соотношением мономеров в ходе сополимеризации;
- отсутствие поглощения в видимом спектральном диапазоне;
- высокая фотостабильность свойств при фотоориентации.

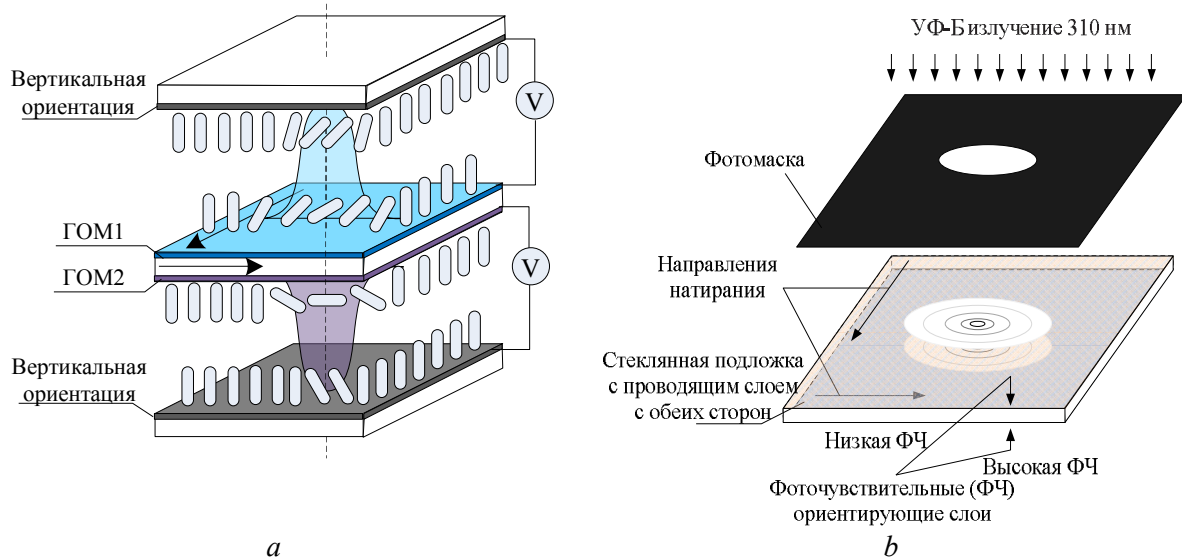
Управляемые поляризационно-зависимые (ПЗ) ЖК линзы фокусируют падающие лучи с вектором электрического поля, параллельным направлению натирания ориентирующего слоя ЖК линзы, а лучи с ортогональной поляризацией проходят через нее без изменений [9]. Использование поляризатора перед ЖК линзой позволяет выбирать подходящие лучи с необходимой поляризацией, однако снижает эффективность прохождения света через оптические системы, ограничивая их применение. Поэтому перспективно разрабатывать поляризационно-независимые (ПНЗ) ЖК устройства [10–12]. Комбинация двух ПЗ ЖК линз с взаимно перпендикулярным направлением ориентации является наиболее простым методом создания ПНЗ ЖК линз, решающим проблему их взаимного согласования. Результирующее изображение от ПЗ ЖК линз состоит из двух изображений, сформированных каждой линзой отдельно, и когда две линзы сделаны независимо, всегда имеет место смещение их оптических осей, а следовательно, и формируемых линзами изображений относительно друг друга. Точная взаимная комбинация двух линз – самосовмещение – является решением этой проблемы. Целью данной работы является разработка и применение градиентных ориентирующих материалов с различным порогом фоточувствительности для получения ПНЗ ЖК линзы, состоящей из двух управляемых ПЗ суб-линз, расположенных в одной управляемой ЖК системе [13].

### Методика проведения эксперимента

*Градиентные ориентирующие материалы с различными порогами фоточувствительности.* Исследован наклон директора ЖК на двух градиентных ориентирующих материалах (ГОМ), включающих 40 % мольных (ГОМ1) и 25 % мольных (ГОМ2) вертикально ориентирующих групп в ходе УФ облучения ориентирующих слоев. На стеклянные подложки наносили полимерные слои (45–80 нм) из 2 %-го раствора ГОМ в бутилацетате методом род-коутинга. После сушки при 70 °С в течение 5 мин. слои равномерно натирали тканью и подвергали воздействию неполяризованного УФ экспонирования светом люминесцентной лампы Т8-UVC-15W-G13 (AerVita, Россия) с интенсивностью 4 мВт/см<sup>2</sup>. Поверхность слоя ГОМ была разделена на несколько областей, которые облучались в течение различных временных интервалов. Готовые подложки с ГОМ собирали в антипараллельные ЖК ячейки с зазором 20 мкм. Ячейки заполнялись жидким кристаллом E7 и герметизировались УФ клеем NOA 65 (Norland, США). Углы преднаклона измеряли методом вращения ячейки между скрещенными поляризаторами [14] на длине волны He-Ne-лазера 0,633 мкм.

*Самосовмещение ПНЗ ЖК линзы, разработка и изготовление.* Ячейки ПНЗ ЖК линз на основе ГОМ с разными порогами фоточувствительности состояли из двух совмещенных ПЗ

ячеек и трех подложек, расположенных в виде сэндвича. Вертикально ориентирующие материалы наносили на две крайние стеклянные подложки со слоями индий-олова оксида (ITO) методом центрифугирования из 1% массового раствора в бутилацетате при 3000 об/мин в течение 60 с. Затем осуществляли отжиг при 90 °С на горячей плитке в течение 5 мин, однородно облучали неполяризованным УФ излучением в течение 5 мин ГОМ1 и ГОМ2 наносили с обеих сторон стеклянной подложки с ITO, расположенной посередине сэндвича (рис. 1, а). В качестве средней подложки ЖК ячейки использовали двухстороннюю стеклянную подложку с покрытием ITO толщиной 0,1 мм (рис. 1, б). 1% массовый раствор полимера ГОМ1 в бутилацетате наносили методом центрифугирования на одну сторону стеклянной подложки при 3000 об./мин в течение 60 с. Ориентирующий слой отжигали при 90 °С на горячей плитке в течение 5 мин.



**Рис. 1.** ПНЗ ЖК линза: *a* – структура; *b* – схема экспозиционного самосовмещения ориентирующих слоев на средней подложке

**Fig. 1.** Polarization-independent LC lens: *a* – structure; *b* – self-aligning Exposure Scheme of the alignment layers on the intermediate substrate

1%-процентный массовый раствор полимера ГОМ2 в бутилацетате наносили на другую сторону средней стеклянной подложки. Ориентирующий слой отжигали, после чего ориентирующие слои однородно натирали в ортогональных направлениях тканью и осуществляли неоднородное УФ экспонирование трубчатой ртутной лампой с использованием фотомаски с «круглым отверстием». Такие условия обработки позволяли индуцировать градиент угла преднаклона ПЗ ЖК линз. Расстояние между фотомаской и ориентирующими слоями с низкой и высокой фоточувствительностью (ГОМ1 и ГОМ2 соответственно) составляло 0,5 мм. Диаметр круглого отверстия фотомаски и время облучения составляли 1,5 мм и 32 мин соответственно. Зазор ЖК ячеек – 20 мкм – фиксировали волоконными спейсерами. ЖК ячейки заполняли жидким кристаллом E7 и герметизировали УФ клеем NOA 65. Структура полученной ПНЗ самосовмещенной ЖК линзы показана на рис. 1.

### Результаты и их обсуждение

В процессе исследования наклона директора ЖК на градиентных ориентирующих материалах ГОМ1 и ГОМ2 зарегистрировано монотонное снижение углов преднаклона от вертикального до планарного состояния (рис. 2).

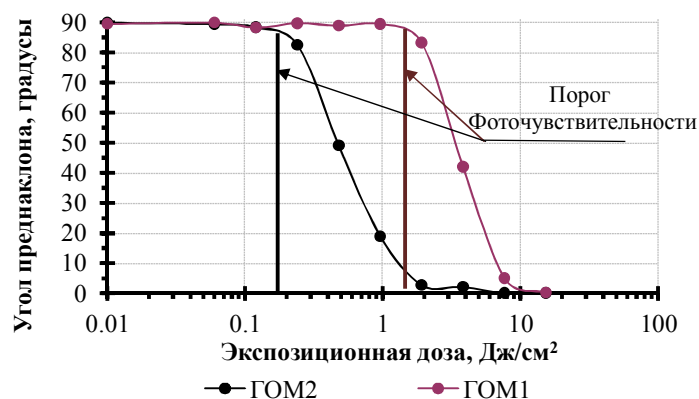


Рис. 2. Зависимость угла преднаклона от экспозиционной дозы для ГОМ1 и ГОМ2

Fig. 2. The pretilt angle dependences on exposure dose for GOM1 and GOM2

Бензальдегидные ориентирующие материалы с различным содержанием вертикально ориентирующих групп подробно исследованы в [7]. На основании градиентного ориентирующего материала с содержанием вертикальных алкильных групп 30 % мольных изготовлена ПЗ ЖК линза. Полученные в [7] данные использованы для изготовления ПНЗ ЖК линзы. В качестве центральной подложки (рис. 1, *b*) использовано покровное стекло толщиной 0,1 мм, покрытое слоями ИТО с двух сторон. Его коэффициент пропускания в средневолновой области УФ (300–330 нм) составлял около 10 %. Ориентирующий материал, расположенный в процессе облучения на нижней стороне подложки, согласно вышеизложенному, получал в 10 раз меньшую световую дозу, чем материал на верхней стороне. Интенсивность проходящего через подложку излучения связана с излучением, падающим на подложку, следующим соотношением:

$$I_2 = TI_1. \quad (1)$$

Дозы поглощенного света ГОМ1 и ГОМ2,  $D_1$  и  $D_2$ , соответственно, прямо пропорциональны интенсивности падающего света на верхний ориентирующий слой:

$$D_1 = I_1 t, \quad (2)$$

$$D_2 = I_2 t = TI_1 t, \quad t = \text{const}. \quad (3)$$

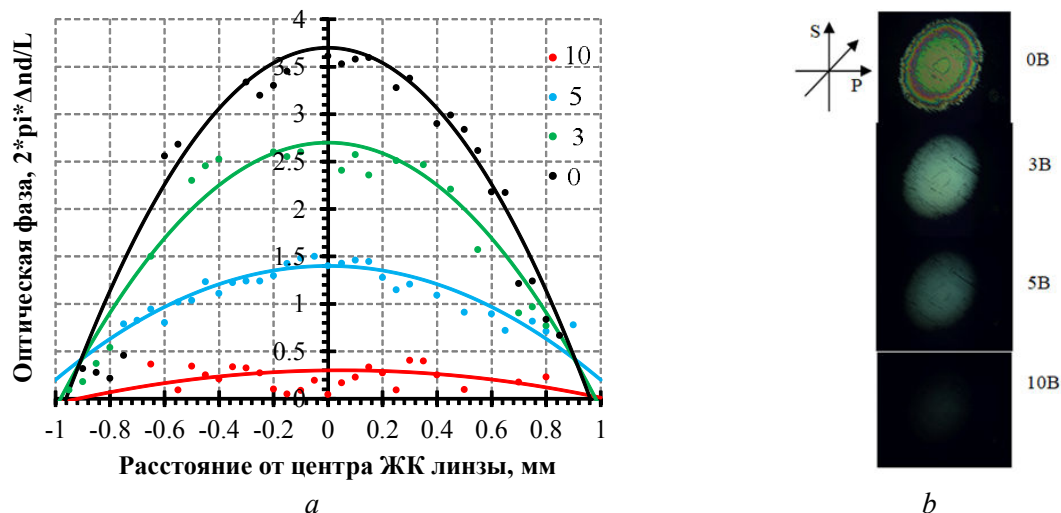
Из-за поглощения света подложкой на верхней и нижней ее сторонах получаются разные значения интенсивностей света. Однако форма распределения интенсивности света, которая индуцирует градиент угла преднаклона линзы на ориентирующих слоях, остается такой же, как и взаимная ориентация центров световых пятен на верхней и нижней сторонах двухсторонней стеклянной подложки с ИТО. Таким образом, к чувствительности ориентирующих материалов, нанесенных на верхнюю и нижнюю сторону средней подложки, налагаются требования: на нижней стороне требуется материал, в 10 раз более чувствительный к УФ излучению. Согласно рис. 2, наблюдается удовлетворительное соответствие фоточувствительности ГОМ1 и ГОМ2 этому ограничению.

Экспозиция двух слоев ориентирующих материалов за один акт облучения обеспечивает самосовмещение оптических осей двух линз, сформированных путем создания градиента показателя преломления на верхней и нижней сторонах подложек, и, следовательно, позволяет получить общую оптическую ось двух ячеек внутри системы ПНЗ ЖК линзы.

Изготовленная ЖК линза (рис. 3) состоит из двух ПЗ суб-линз, оси которых ортогональны друг другу. Каждая ПЗ ЖК линза имеет два электрода (рис. 1, *a*) и может управляться независимо. Точная идентичность распределения угла преднаклона и одинаковая толщина суб-линз должны привести к взаимной компенсации двойного лучепреломления. В этом случае фазовый градиент ПНЗ ЖК линзы не наблюдается в поляризационном микроскопе, когда оси линзы находятся под углом  $45^\circ$  к скрещенным осям поляризатора и анализатора. Фактически в проведенном эксперименте оптическое пропускание системы, измеренное спектрометром Ocean Optics HR4000CG UV-NIR, США, в пределах объектива,

было постоянным в пределах 5 %. Это подтверждает высокую степень сходства фазовых распределений для обеих суб-линз при нулевом напряжении.

Для наблюдения и анализа оптического фазового профиля ЖК линз использовался независимый контроль образца. Сначала на верхнюю суб-линзу был подан высокий уровень напряжения 15 В, чтобы отключить линзу путем переключения жидкого кристалла в равномерную вертикальную ориентацию. Затем различные уровни напряжения от 0 до 10 В были приложены к нижней суб-линзе. Установлено, что напряжения 10 В достаточно, чтобы включить жидкий кристалл суб-линзы вертикально и перестроить фокусное расстояние линзы на бесконечность.



**Рис. 3.** Образец ПНЗ ЖК линзы: *a* – фазовый профиль; *b* – микрофотографии при 0–10 В  
**Fig. 3.** Polarization-independent LC lens sample: *a* – phase profile; *b* – micrographs at 0–10 V

Для измерения фазового профиля ПНЗ ЖК ячейку помещали на тонкий микрометрический винт (7Т164-10, Standa, Вильнюс, Литва), расположенный на столике поляризационного микроскопа, между скрещенными поляризаторами под углом  $45^\circ$  к оси поляризатора. К одной ПЗ ЖК линзе прикладывали поочередно поле 0, 3, 5 и 10 В, при этом при помощи спектрометра Ocean Optics HR4000CG UV-NIR, USA, регистрировали пропускание ЖК ячейки на длине волны 550 нм. Таким образом, осуществляли сканирование линзы по оси  $x$  с шагом 50 мкм от одного ее края к другому через центр ЖК линзы. Путем преобразования полученных данных построены фазовые профили при разных приложенных напряжениях одной ПЗ ЖК линзы (рис. 3, *a*). При прикладывании поля ЖК линза выключалась (рис. 3, *b*) (оптическая фаза уменьшалась), а ее фокусное расстояние устремлялось к бесконечности.

Диаметр полученной ЖК линзы зависел от напряжения и в отличие от обычных линз не являлся постоянным. Таким образом, диаметр ЖК линзы составлял около  $\sim 2,0$  мм для 0 В и увеличивается до 2,5 мм для 3 В приложенного напряжения. Это специфическое свойство ЖК линз, зарегистрированное на основе градиентных ориентирующих материалов с углами преднаклона, изготовленными по предложенной технологии экспонирования с использованием фотомаски с круглым отверстием. Вероятно, это связано с упругими свойствами жидкого кристалла и его взаимодействием с бензальдегидными ориентирующими материалами.

### Заключение

В работе представлены градиентные ориентирующие материалы с разными порогами фоточувствительности, которые использованы для изготовления ПНЗ самосовмещенной ЖК линзы. ПНЗ ЖК линза на основе бензальдегидных ориентирующих материалов, способных изменять углы преднаклона воспроизводимым образом, монотонно с  $90$  до  $0^\circ$  при УФ экспонировании, состояла из двух ПЗ суб-линз, азимутальное направление ориентации которых было ортогональным, а зазор однородным. Самосовмещение оптической оси двух суб-линз реализовывалось в процессе единичного акта облучения градиентных ориентирующих

слоев с различными порогами фоточувствительности, нанесенных по обе стороны одной стеклянной подложки. Независимость от поляризации достигалась благодаря перпендикулярному направлению ориентации ЖК линз, которое задавалось в процессе натирания ориентирующих слоев, зависящих от поляризации. Полученные ПНЗ ЖК линзы управляются параллельно, независимым образом, с использованием низких уровней переменного напряжения 0–10 В. Градиентные бензальдегидные полимеры были успешно применены для изготовления ПНЗ самосовмещенной ЖК линзы [14].

### Список литературы / Reference

1. Algorri J.F., Bennis N., Urruchi V., Morawiak P., Sánchez-Pena J.M., Jaroszewicz L.R. *Tunable liquid crystal multifocal microlens array*. *Scientific Reports*. 2017; 7 (1): 17318. DOI: 10.1038/s41598-017-17688-1.
2. Cheng C.C., Chang C.A., Liu C.H., Yeh J.A. *A tunable liquid-crystal microlens with hybrid alignment*. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*. 2006; 8 (7): S365. DOI: 10.1088/1464-4258/8/7/S12/meta.
3. Xu S., Li Y., Liu Y., Sun J., Ren H., Wu S.T. *Fast-response liquid crystal microlens*. *Micromachines*. 2014; 5 (2): 300-324. DOI: 10.3390/mi5020300.
4. Algorri J., Urruchi V., García-Cámara B., Sánchez-Pena J. *Liquid crystal microlenses for autostereoscopic displays*. *Materials*. 2016; 9 (1): 36. DOI: 10.3390/ma9010036.
5. Algorri J.F., Zografopoulos D.C., Urruchi V., Sánchez-Pena J.M. *Recent advances in adaptive liquid crystal lenses*. *Crystals*. 2019; 9 (5): 272. DOI: 10.3390/cryst9050272.
6. Bezruchenko V.S., Muravsky A.A., Murauski A.A., Stankevich A.I., Mahilny U.V. *Tunable liquid crystal lens based on pretilt angle gradient alignment*. *Molecular crystals and liquid crystals*. 2016; 626 (1): 222-228. DOI: 10.1080/15421406.2015.1106890.
7. Bezruchenko V.S., Muravsky A.A., Murauski A.A., Stankevich A.I., Mahilny U.V. *Alignment materials with controllable anchoring energy*. *Journal of the Society for Information Display*. 2018; 26 (9): 561-566. DOI: 10.1002/jsid.675.
8. Bezruchenko V.S., Mahilny U.V., Stankevich A.I., Muravsky A.A., Murauski A.A. *New photocrosslinkable benzaldehyde polymers for creating liquid crystal lenses*. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2018; 85(4): 704-709. DOI: 10.1007/s10812-018-0708-3.
9. Xin Z., Tong Q., Lei Y., Wei D., Zhang X., Liao J., Xie C. *An electrically tunable polarization and polarization-independent liquid-crystal microlens array for imaging applications*. *Journal of Optics*. 2017; 19 (9): 095602. DOI: 10.1088/2040-8986/aa7c2e/meta.
10. Lin Y.-H., Yu-Shih T. *A polarization independent liquid crystal phase modulation adopting surface pinning effect of polymer dispersed liquid crystals*. *Journal of Applied Physics*. 2011; 110 (11): 114516. DOI: 10.1063/1.3666053.
11. Lin Y.H., Chen H.S., Lin H.C., Tsou Y.S., Hsu H.K., Li W.Y. *Polarizer-free and fast response microlens arrays using polymer-stabilized blue phase liquid crystals*. *Applied Physics Letters*. 2010; 96 (11): 113505. DOI: 10.1063/1.3360860.
12. Lin Y.H., Chen H.S. *Electrically tunable-focusing and polarizer-free liquid crystal lenses for ophthalmic applications*. *Optics express*. 2013; 21(8): 9428-9436. DOI: 10.1364/OE.21.009428.
13. Al-Saud T.S.M., Altamimi R.M., Agabekov V.E., Muravsky A.A., Murauski A.A., Biazruchanka V.S. *Alignment material for liquid crystal lens and liquid crystal lens system*. Patent US 9513510 B1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 2016.
14. Cuminal M.P., Brunet M. *A technique for measurement of pretilt angles arising from alignment layers*. *Liquid crystals*. 1997; 22 (2): 185-192. DOI: 10.1080/026782997209559.

### Вклад авторов

Безрученко В.С. выполнил исследование и анализ свойств градиентных бензальдегидных материалов, подбор условий для изготовления ПЗ и ПНЗ ЖК линз, изготовление ЖК линз.

Муравский А.А. принял участие в разработке концепции ПЗ и ПНЗ ЖК линз, в консультациях в проведении исследований, в консультациях в теоретических аспектах исследований.

Муравский А.А. принял участие в разработке концепции ПЗ и ПНЗ ЖК линз, в консультациях в проведении исследований, в консультациях в теоретических аспектах исследований.

Станкевич А.И. выполнил синтез градиентных бензальдегидных материалов, принял участие в консультациях в проведении исследований, в консультациях в теоретических аспектах исследований;

Могильный В.В. выполнил разработку градиентных бензальдегидных материалов, принял участие в консультациях в проведении исследований, в консультациях в теоретических аспектах исследований.

### Authors contribution

Bezruchenko V.S. performed research and analysis of the properties of gradient benzaldehyde materials, the selection of conditions for the manufacture of PZ and PZZ LCD lenses, the manufacture of LCD lenses.

Muravsky A.A. took part in the development of the concept of PZ and PZZ ZhK lenses, in consultations in conducting research, in consultations in theoretical aspects of research.

Murauski A.A. took part in the development of the concept of PZ and PZZ ZhK lenses, in consultations in conducting research, in consultations in theoretical aspects of research.

Stankevich A.I. performed the synthesis of gradient benzaldehyde materials, took part in consultations in research, in consultations in theoretical aspects of research;

Mogilny V.V. completed the development of gradient benzaldehyde materials, took part in consultations in research, in consultations in theoretical aspects of research.

### Сведения об авторах

Безрученко В.С., м.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории «Материалы и технологии ЖК-устройств» института химии новых материалов НАН Беларуси.

Муравский А.А., к.ф.-м.н., доцент, заведующий лабораторией «Материалы и технологии ЖК-устройств» института химии новых материалов НАН Беларуси.

Муравский А.А., к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Материалы и технологии ЖК-устройств» института химии новых материалов НАН Беларуси.

Станкевич А.И., к.х.н., старший научный сотрудник кафедры физической оптики физического факультета БГУ.

Могильный В.В., д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры физической оптики физического факультета БГУ.

### Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,  
г. Минск, пр-т. Независимости, д. 4,  
Белорусский государственный университет  
тел. +375-29-181-28-57;  
e-mail: Veronika.Bezruchenko@gmail.com  
Безрученко Вероника Сергеевна

### Information about the authors

Bezruchenko V.S., MSc Degree in Physics and Mathematics, Researcher of the «Materials and Technologies of LC Devices» Laboratory in Institute of Chemistry of New Materials NAS of Belarus

Muravsky A.A., PhD in Electrical and Electronic Engineering, Associated Professor, Head of the «Materials and Technologies of LC Devices» Laboratory of Institute of Chemistry of New Materials NAS of Belarus.

Murauski A.A., PhD in Electrical and Electronic Engineering, Leading Researcher of the «Materials and Technologies of LC Devices» Laboratory of Institute of Chemistry of New Materials NAS of Belarus.

Stankevich A.I., PhD in Chemical Sciences, Senior Researcher of Physical Optics Department of Physics Faculty BSU.

Mahilny V.V., Doctor of Sciences, Full Professor, Professor of the Physical Optics Department of Physics Faculty BSU.

### Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,  
Minsk, Nezavisimosti av., 4,  
Belorussian State University  
tel. +375-29-181-28-57;  
e-mail: Veronika.Bezruchenko@gmail.com  
Bezruchenko Veronika Sergeevna