

УДК 532.783

Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-1-201-209

Для цитирования: Электрооптический отклик пленок капсулированного полимером нематика с коническими граничными условиями / К. А. Фейзер, М. Н. Крахалев, В. Ф. Шабанов, В. Я. Зырянов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 1. С. 201–209. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-1-201-209.

For citation: Feyzar K. A., Krakhalev M. N., Shabanov V. F., Zyryanov V. Ya. Electrooptical response of the films of polymer dispersed nematic with conical boundary conditions // Siberian Aerospace Journal. 2021, Vol. 22, No. 1, P. 201–209. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-1-201-209.

Электрооптический отклик пленок капсулированного полимером нематика с коническими граничными условиями

К. А. Фейзер^{1*}, М. Н. Крахалев^{1,2}, В. Ф. Шабанов³, В. Я. Зырянов^{1,3}

¹Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/38

²Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

³Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50

E-mail address: fka@iph.krasn.ru

Исследован электрооптический отклик пленок капсулированного полимером нематика с коническими граничными условиями. В каплях нематика формируется аксиал-биполярная конфигурация директора. Показано, что изначально ориентация осей симметрии структуры капель хаотичная как в плоскости образца, так и по отношению к нормали к подложкам. Приложенное напряжение U ориентирует биполярные оси капель параллельно электрическому полю, а процесс переориентации является пороговым только в случае исходно ортогональной ориентации биполярной оси и нормали к подложкам. Соответственно, в исходном состоянии образцы интенсивно рассеивают свет, а процесс отклика на электрическое поле имеет беспороговый характер. Исследовались образцы с толщиной пленки 5, 10, 20 и 30 мкм. Для всех исследуемых образцов характерно высокое значение максимального коэффициента пропускания и коэффициента контрастности, которые для пленки толщиной 30 мкм равны 84 % и 5536, соответственно, и достигаются при напряжении $U = 12$ В. Полученные результаты актуальны для использования в оптоэлектронных устройствах с низким энергопотреблением, которые требуются для развития энергосберегающих технологий в аэрокосмической технике.

Ключевые слова: электрооптический материал, капсулированный полимером жидкий кристалл, нематик, конические граничные условия, ориентационная структура.

Electrooptical response of the films of polymer dispersed nematic with conical boundary conditions

К. А. Feyzar^{1*}, М. Н. Krakhalev^{1,2}, V. F. Shabanov³, V. Ya. Zyryanov^{1,3}

¹Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS
50/38, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

²Institute of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University
79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

³Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences”
50, Akademgorodok St., Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation
E-mail address: fka@iph.krasn.ru

The electrooptic response of films of polymer dispersed nematic under conical boundary conditions has been investigated. An axial-bipolar director configuration is formed in nematic droplets. It has been shown that initially, the orientation of droplet's bipolar axes is chaotic both in the sample plane and relative to the normal to the substrates. The applied voltage U orients the droplet's bipolar axes parallel to the electric field and the re-orientation process is threshold only when the bipolar axis is initially orthogonal to the substrate normal. Accordingly, the samples strongly scatter light in the initial state, and the optical response to an electric field is thresholdless. The samples with a film thickness of 5, 10, 20 and 30 μm have been studied. All the samples under study are characterized by a high transmittance and contrast ratio, which for a 30 μm sample are equal to 84 % and 5536, respectively, and achieved at $U = 12$ V. The results obtained are relevant for use in low-power optoelectronic devices required for the development of energy-saving technologies in aerospace engineering.

Keywords: electro-optical material, nematic, polymer dispersed liquid crystal, electro-optical response, conical boundary conditions, orientation structure.

Введение. Пленки капсулированного полимером жидкого кристалла (КПЖК) состоят из капель жидкого кристалла, диспергированного в полимерную матрицу [1; 2]. В последнее время большое внимание уделяется ЖК композитам в связи с их широкими возможностями применения в электрооптических устройствах, таких как умные окна, оптические датчики, гибкие устройства отображения информации и пр. [3; 4]. Разрабатываются новые композитные материалы с улучшенными оптическими характеристиками и уменьшенными управляющими напряжениями [5; 6]. Оптические свойства таких материалов зависят от исходной конфигурации директора (единичного вектора, ориентированного вдоль длинных осей молекул жидкого кристалла), формирующейся в каплях, изменяя которую воздействием внешних факторов (однаправленным растяжением пленки [7–9], изменением температуры [10], приложением электрического поля [3]) можно управлять светопропусканием всей пленки. Так, в исходном состоянии градиент показателей преломления между полимерной матрицей n_p и необыкновенным показателем преломления жидкого кристалла n_e приводит к интенсивному светорассеянию падающего света. При включении электрического поля, направленного перпендикулярно плоскости образца, директор ЖК ориентируется вдоль поля и пленка переходит в прозрачное состояние при условии, что показатель преломления полимера n_p равен обыкновенному показателю преломления ЖК n_o .

На сегодняшний день хорошо изучен электрооптический отклик КПЖК пленок, в которых на межфазной границе директор ориентирован перпендикулярно (гомеотропные граничные условия) [11] и параллельно [12; 13] (тангенциальные граничные условия) поверхности капли. Напряжения, требуемые для переключения КПЖК пленок с такими граничными условиями в прозрачное состояние, на сегодняшний день составляют десятки и сотни вольт, что заметно больше значений, требуемых для современных ЖК устройств. Улучшить электрооптические характеристики ЖК композитов можно различными способами, например при добавлении в ЖК дихроичного красителя (эффект гость – хозяин) увеличивается контрастное отношение образцов, при этом управляющие поля не меняются [11]. В работе [5; 6] введение в ЖК хиральной добавки и фотосшиваемого полимера позволило уменьшить управляющие поля.

В КПЖК пленках, в которых для нематика задаются конические граничные условия (директор на межфазной границе капель ориентирован под углом 40° к нормали к поверхности)

формируется аксиал-биполярная конфигурация директора [14]. Капли с такой конфигурацией под действием электрического поля стремятся сориентироваться осью симметрии вдоль приложенного поля, а процесс переориентации оси симметрии носит пороговый характер. При этом величина порогового поля в несколько раз меньше порогового поля, необходимого для переориентации аналогичных капель с биполярной ориентационной структурой, которая формируется при тангенциальных граничных условиях [15]. Однако макроскопические оптические свойства КПЖК пленок с коническими граничными условиями и их изменение при воздействии электрического поля на сегодняшний день практически не исследованы.

В данной работе исследован электрооптический отклик КПЖК пленок с каплями нематика, имеющими аксиал-биполярную ориентационную структуру поля директора, в случае, когда электрическое поле приложено перпендикулярно плоскости пленки.

Материалы и методы. Были изучены КПЖК пленки на основе нематической смеси ЛН-396 (Белорусский государственный технологический университет), диспергированной в полимерную матрицу, в качестве которой использовался полиизобутилметакрилат (ПиБМА) (Sigma). Образцы были изготовлены по смешанной технологии SIPS и TIPS [2; 16] с весовым соотношением ЛН – 396 : ПиБМА = 60 : 40. На первом этапе гомогенная смесь нематика / полимера / этилацетата наносилась на стеклянную подложку, покрытую ITO электродом и высушивалась до полного удаления растворителя этилацетата. В результате происходило фазовое разделение и формирование композитной КПЖК пленки. Далее на части подложки, не покрытой композитной пленкой, располагались тефлоновые спейсеры. Для получения образцов с различной толщиной КПЖК пленки использовались спейсеры толщиной 5, 10, 20 или 30 мкм. Композитная пленка и тефлоновые спейсеры накрывались второй стеклянной пластиной с прозрачным ITO электродом, и полученная ячейка помещалась под пресс, нагревалась до 70 °С и выдерживалась при этой температуре в течение 30 мин. После нагревания вышеописанная ячейка извлекалась из пресса и охлаждалась до комнатной температуры в течение 1 мин.

Исследование электрооптического отклика проводилось на типовой установке. Луч от He-Ne лазера (Linos) с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм использовался в качестве источника излучения. Коэффициент пропускания КПЖК пленок измерялся с помощью кремниевого фотодетектора PDA100A-EC (Thorlabs). Сигнал с фотодетектора регистрировался цифровым мультиметром 34465A (KEYSIGHT Technologies). Рассеянное на образцах излучение задерживалось диафрагмой с угловым размером 50 мин., что позволяло регистрировать только проходящий свет. На КПЖК ячейку подавалось переменное напряжение с частотой 1 кГц от генератора сигналов ГЗ-123. Морфология образцов и оптические текстуры капель нематика исследовались с помощью поляризационного оптического микроскопа (ПОМ) AxioImager.M1m (CarlZeiss). Для микроскопических исследований процесса отклика капель на электрическое поле был изготовлен образец с толщиной спейсеров 30 мкм и средним размером капель 7,2 мкм. Для этого на заключительной стадии процесса изготовления образец охлаждался до комнатной температуры в течение 60 мин.

Электрооптический отклик КПЖК пленок. На рис. 1 показаны фотографии участка образца композитной пленки с каплями ЖК, имеющими средний размер 7,2 мкм. В исходном состоянии биполярные оси капель во всем объеме пленки ориентированы хаотично, что способствует интенсивному рассеянию падающего на них излучения (рис. 1, *a*). Образец изучался в неполяризованном свете, при этом видно, что различные отдельные капли по-разному рассеивают свет. Данный эффект связан с различной ориентацией осей симметрии структуры капель относительно нормали к плоскости пленки (направлению наблюдения) [14]. Соответственно, минимальное рассеяние будет наблюдаться на каплях, у которых биполярная ось параллельна

оси наблюдения, и наоборот, максимально рассеивать свет будут капли с осью симметрии, лежащей в плоскости образца. Характер отклика капель напрямую зависит от ориентации биполярной оси по отношению к прикладываемому полю, которое параллельно направлению наблюдения. Если угол между полем и осью капли отличен от 90° , то процесс отклика является практически безпороговым и уже при малых полях происходит переориентация биполярной оси (рис. 1, *b*). При этом чем больше приложенное напряжение, тем сильнее капли ориентируются по полю (рис. 1, *c*). И, наоборот, при ортогональной ориентации биполярной оси капли по отношению к прикладываемому полю, процесс переориентации носит пороговый характер, при этом начало процесса переориентации происходит при напряжениях, вызывающих практически полную переориентацию капель с исходно неортогональной ориентацией оси симметрии (рис. 1, *d*).

При изготовлении ячеек для электрооптических исследований скорость охлаждения образцов была выше, что способствовало уменьшению среднего размера капель до значения 2,1 мкм. При этом исходное распределение ориентации биполярных осей капель в образцах было аналогично описанному выше и показанному на рис. 1. Как следствие, описанный процесс отклика на электрическое поле ансамбля капель ЖК проявляется и в электрооптическом отклике исследуемых образцов.

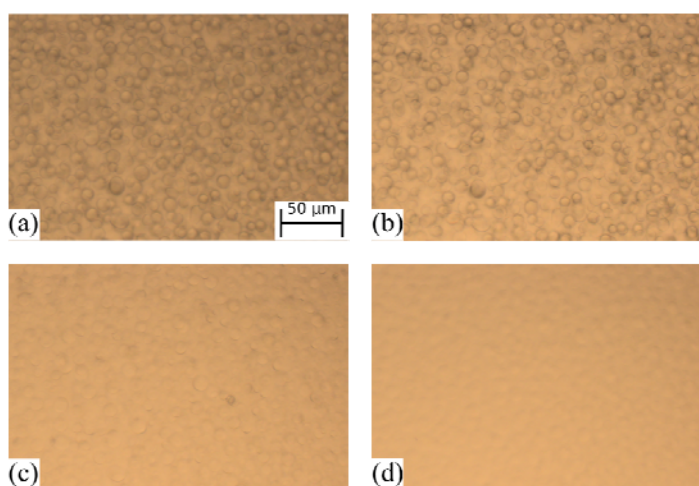


Рис. 1. Фотографии КПЖК пленки, сделанные при приложении электрического напряжения $U = 0$ В (*a*), 5 В (*b*), 7 В (*c*), 10 В (*d*)

Fig. 1. Photos of the PDLC film taken at the applied voltage $U = 0$ V (*a*), 5 V (*b*), 7 V (*c*), 10 V (*d*)

Описанный выше характер отклика на электрическое поле ансамбля капель ЖК проявляется соответствующим образом и в макроскопическом электрооптическом отклике исследуемых образцов. На рис. 2, *a* представлены зависимости светопропускания T образцов от величины приложенного напряжения U . Светопропускание T определялось как отношение интенсивности I света, прошедшего через образец, к интенсивности I_0 падающего излучения: $T = (I / I_0)$. Из зависимостей видно, что изменение светопропускания при приложении напряжения практически безпороговое. При воздействии относительно малых напряжений происходит незначительное увеличение светопропускания, затем происходит резкое возрастание коэффициента T с ростом U , после чего процесс изменения замедляется и выходит на насыщение. Так, уровень пропускания 10 % от максимального значения коэффициента T_{\max} достигается при напряжениях $U_{10} = 1,8$ В для образца с толщиной спейсеров 5 мкм, а в 30 мкм образце $U_{10} = 8,0$ В. Видно, что

с увеличением толщины образца d напряжение U_{10} возрастает (рис. 2, b), при этом для образцов толщиной от 10 до 30 мкм наблюдается практически линейная зависимость $U_{10}(d)$.

Для всех исследуемых образцов характерным являются низкие значения напряжения, при котором достигается максимальное светопропускание (рис. 2). Так, уровень пропускания 90 % от T_{\max} достигается при напряжениях $U_{90} = 4,8$ В для образца с толщиной спейсеров 5 мкм, а в 30 мкм образце $U_{90} = 12,0$ В. При этом с ростом толщины образцов d происходит увеличение напряжения U_{90} , однако величина отношения U_{90}/d монотонно уменьшается с ростом d . Исследуемые образцы характеризуются высоким значением максимального коэффициента пропускания. Так, $T_{\max} = 91$ % для образца толщиной 5 мкм, и $T_{\max} = 84$ % при толщине спейсеров 30 мкм. Это позволяет добиваться значительной величины контрастного отношения $CR = T_{\max}/T_{\min}$ (T_{\min} – коэффициент пропускания образца в исходном состоянии), которое достигает значения 5078 для 30 мкм образца (рис. 2, b). Уменьшение значения CR с уменьшением d обусловлено тем, что в более тонких образцах в исходном состоянии образцы рассеивают свет менее интенсивно, что проявляется в большем значении коэффициента T_{\min} . Так, для КПЖК пленки толщиной 5 мкм $T_{\min} = 17,4$ % и $T_{\min} = 0,015$ % для пленки с $d = 30$ мкм.

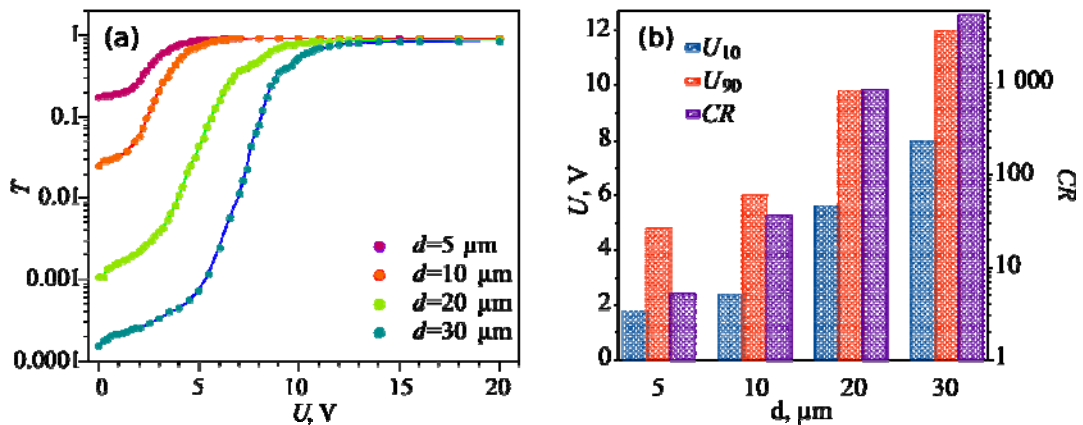


Рис. 2. Зависимость светопропускания T от приложенного напряжения U (a); напряжение при $T = 10$ % (U_{10}), напряжение при $T = 90$ % (U_{90}) и коэффициент контрастности (CR) для КПЖК пленок толщиной $d = 5, 10, 20$ и 30 мкм (b)

Fig. 2. Dependences of light transmittance T on applied voltage U (a); the voltage at $T = 10$ % (U_{10}), the voltage at $T = 90$ % (U_{90}), and contrast ratio (CR) of PDLC films with a thickness of $d = 5, 10, 20$ and 30 μm (b)

Для анализа светопропускания образцов используют экспоненциальную зависимость коэффициента пропускания $T = \exp(-N\sigma d)$ от толщины d рассеивающей среды. Здесь N – плотность расположения капель ЖК; σ – эффективное сечение рассеяния отдельной капли, зависящее от соотношения необыкновенного показателя преломления ЖК n_e и полимера n_p , радиуса капель и длины волны света [16]. На рис. 3 показаны зависимости T_{\min} и T_{\max} от толщины образцов. Видно, что для КПЖК пленок толщиной спейсеров d от 5 до 20 мкм наблюдается близкая к линейной зависимость $\log(T_{\min})$. Отклонение от данной зависимости для более толстого образца можно объяснить существенным вкладом многократного рассеяния на каплях ЖК, что способствует замедлению уменьшения коэффициента пропускания с увеличением толщины рассеивающего слоя. При этом для зависимости $\log(T_{\max})$ наблюдается противоположная тенденция ускоренного уменьшения коэффициента T_{\max} с ростом d . Данный эффект, по-видимому, связан со сложной ориентационной структурой капель, рассеивающих излучение. Например, наличие точечных и линейного дефектов, дающих дополнительное рассеяние света внутри капель.

Данное рассеяние слабо проявляется в исходном состоянии, когда преобладает рассеяние света вследствие значительного градиента показателя преломления между полимером и ЖК. При этом в режиме насыщения данный градиент показателя преломления становится незначительным, а дополнительный вклад от рассеяния на дефектах ориентационной структуры внутри капель ЖК способен оказывать значительное влияние на общую картину рассеяния, и, как следствие, на коэффициент пропускания образца T_{\max} .

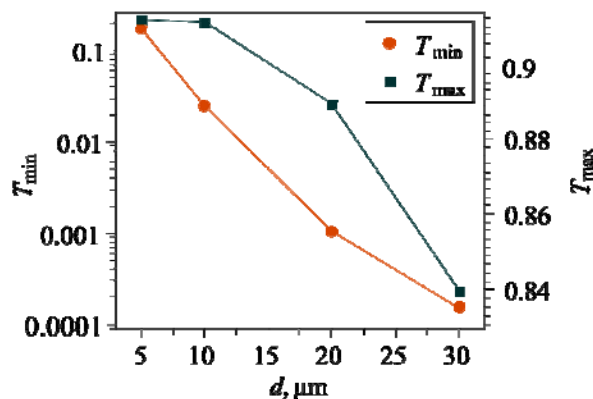


Рис. 3. Зависимости минимальных (T_{\min}) и максимальных (T_{\max}) значений светопропускания от толщины КПЖК пленок d

Fig. 3. Dependences of minimal (T_{\min}) and maximal (T_{\max}) light transmittance on the sample thickness d

Заключение. В данной работе нами был исследован электрооптический отклик ячеек на основе КПЖК пленок, в которых полимер задает конические граничные условия для нематического жидкого кристалла. Описан процесс переориентации ансамбля капель с аксиал-биполярной конфигурацией директора, показано что в исходном состоянии биполярные оси капель ориентированы случайным образом как в плоскости образца, так и относительно нормали к плоскости ячейки. Как следствие, в процессе отклика исследуемых КПЖК ячеек отсутствует явно выраженный порог, однако при небольших приложенных напряжениях происходят незначительные изменения ориентационной структуры капель нематика и, соответственно, пропускания света. Электрооптический отклик исследовался для образцов КПЖК пленок различной толщины, для которых были измерены зависимости коэффициента пропускания света от величины приложенного напряжения. Для исследованных образцов характерны малые управляющие поля, но одновременно с этим достигаются высокий коэффициент пропускания ячеек во включенном состоянии и большие значения контрастного отношения CR , наблюдаемого в образцах толщиной 20 мкм и более. Для напряжения U_{10} характерна практически обратно-пропорциональная зависимость от толщины образца d . Полученные результаты показали, что КПЖК пленки с коническим сцеплением на межфазных границах раздела перспективны для использования в качестве электрооптических материалов с низким управляющим напряжением и высоким контрастным отношением.

Библиографические ссылки

1. Kitzerow H.-S. Polymer-dispersed liquid crystals From the nematic curvilinear aligned phase to ferroelectric films // Liquid Crystals. 1994. Vol. 16, № 1. P. 1–31.
2. Жаркова Г. М., Сонин А. С. Жидкокристаллические композиты. М. : Наука, 1994. 214 с.

3. Drzaic P. S. Polymer dispersed nematic liquid crystal for large area displays and light valves // *Journal of Applied Physics*. American Institute of Physics. 1986. Vol. 60, No. 6. P. 2142–2148.
4. Kurihara S., Masumoto K., Nonaka T. Optical shutter driven photochemically from anisotropic polymer network containing liquid crystalline and azobenzene molecules // *Appl. Phys. Lett.* American Institute of Physics. 1998. Vol. 73, No. 2. P. 160–162.
5. Guo S. et al. An electrically light-transmittance-controllable film with a low-driving voltage from a coexistent system of polymer-dispersed and polymer-stabilised cholesteric liquid crystals // *Liquid Crystals*. 2018. Vol. 45, No. 12. P. 1854–1860.
6. Liu F. et al. Effects of monomer structure on the morphology of polymer networks and the electro-optical properties of polymer-dispersed liquid crystal films // *Liquid Crystals*. 2012. Vol. 39, No. 4. P. 419–424.
7. Ya Zyryanov V. et al. Uniaxially Oriented Films of Polymer Dispersed Liquid Crystals: Textures, Optical Properties and Applications // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2005. Vol. 438, No. 1. P. 163/[1727]–173/[1737].
8. Aphonin O. Optical properties of stretched polymer dispersed liquid crystal films: Angle-dependent polarized light scattering // *Liquid Crystals*. 1995. Vol. 19, No. 4. P. 469–480.
9. Zyryanov V. Ya., Smorgon S. L., Shabanov V. F. Elongated films of polymer-dispersed liquid crystals as scattering polarizers // *Molecular Engineering*. 1992. Vol. 1, No. 4. P. 305–310.
10. Temperature switch and thermally induced optical bistability in a PDLC / P. Mormile et al. // *Optics Communications*. 1998. Vol. 147, No. 4. P. 269–273.
11. Preparation and electrooptic study of reverse mode polymer dispersed liquid crystal: Performance augmentation with the doping of nanoparticles and dichroic dye / V. Sharma et al. // *Journal of Applied Polymer Science*. 2020. Vol. 137, No. 22. P. 48745.
12. Wu B.-G., Erdmann J. H., Doane J. W. Response times and voltages for PDLC light shutters // *Liquid Crystals*. Taylor & Francis. 1989. Vol. 5, No. 5. P. 1453–1465.
13. Polymer Dispersed Liquid Crystals for Display Application / J. W. Doane et al. // *Molecular Crystals and Liquid Crystals Incorporating Nonlinear Optics*. Taylor & Francis. 1988. Vol. 165, No. 1. P. 511–532.
14. Director configurations in nematic droplets with tilted surface anchoring / M. N. Krakhalev et al. // *Liquid Crystals*. 2017. Vol. 44, No. 2. P. 355–363.
15. Electrically induced structure transition in nematic liquid crystal droplets with conical boundary conditions / V. Yu. Rudyak et al. // *Physical Review E*. 2017. Vol. 96, No. 5. P. 052701-1– 052701-5.
16. Drzaic P. S. *Liquid crystal dispersions*. Singapore□; River Edge, NJ: World Scientific, 1995. 429 p.

References

1. Kitzerow H. S. Polymer-dispersed liquid crystals From the nematic curvilinear aligned phase to ferroelectric films. *Liquid Crystals*. 1994, Vol. 16, No 1, P. 1–31.
2. Zharkova G. M., Sonin A. S. *Zhidkokristallicheskie kompozity* [Liquid crystal composites]. Moscow, Nauka, 1994, 214 p.
3. Drzaic P. S. Polymer dispersed nematic liquid crystal for large area displays and light valves. *Journal of Applied Physics, American Institute of Physics*. 1986, Vol. 60, No 6, P. 2142–2148.
4. Kurihara S., Masumoto K., Nonaka T. Optical shutter driven photochemically from anisotropic polymer network containing liquid crystalline and azobenzene molecules. *Appl. Phys. Lett. American Institute of Physics*. 1998, Vol. 73, No. 2, P. 160–162.

5. Guo S. et al. An electrically light-transmittance-controllable film with a low-driving voltage from a coexistent system of polymer-dispersed and polymer-stabilised cholesteric liquid crystals. *Liquid Crystals*. 2018, Vol. 45, No 12. P. 1854–1860.
6. Liu F. et al. Effects of monomer structure on the morphology of polymer networks and the electro-optical properties of polymer-dispersed liquid crystal films. *Liquid Crystals*. 2012, Vol. 39, No 4, P. 419–424.
7. Ya Zyryanov V. et al. Uniaxially Oriented Films of Polymer Dispersed Liquid Crystals: Textures, Optical Properties and Applications. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2005, Vol. 438, No 1, P. 163/[1727]–173/[1737].
8. Aphonin O. Optical properties of stretched polymer dispersed liquid crystal films: Angle-dependent polarized light scattering. *Liquid Crystals*. 1995, Vol. 19, No 4, P. 469–480.
9. Mormile P. et al. Temperature switch and thermally induced optical bistability in a PDLC. *Optics Communications*. 1998, Vol. 147, No 4, P. 269–273.
10. Sharma V. et al. Preparation and electrooptic study of reverse mode polymer dispersed liquid crystal: Performance augmentation with the doping of nanoparticles and dichroic dye. *Journal of Applied Polymer Science*. 2020, Vol. 137, No 22. P. 48745.
11. Wu B.-G., Erdmann J. H., Doane J. W. Response times and voltages for PDLC light shutters. *Liquid Crystals*. Taylor & Francis. 1989, Vol. 5, No 5, P. 1453–1465.
12. Wu B.-G., Erdmann J. H., Doane J. W. Response times and voltages for PDLC light shutters. *Liquid Crystals*. Taylor & Francis. 1989, Vol. 5, No 5, P. 1453–1465.
13. Doane J. W. et al. Polymer Dispersed Liquid Crystals for Display Application. *Molecular Crystals and Liquid Crystals Incorporating Nonlinear Optics*. Taylor & Francis. 1988, Vol. 165, No 1. P. 511–532.
14. Krakhalev M. N. et al. Director configurations in nematic droplets with tilted surface anchoring. *Liquid Crystals*. 2017, Vol. 44, No, 2, P. 355–363.
15. Rudyak V. Yu. et al. Electrically induced structure transition in nematic liquid crystal droplets with conical boundary conditions. *Physical Review E*. 2017, Vol. 96, No 5, P. 052701-1– 052701-5.
16. Drzaic P. S. Liquid crystal dispersions. Singapore ; River Edge, NJ: World Scientific, 1995, 429 p.

© Фейзер К. А., Крахалев М. Н., Шабанов В. Ф., Зырянов В. Я., 2021

Фейзер Кристина Андреевна – инженер лаборатории молекулярной спектроскопии; Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН. E-mail: fka@iph.krasn.ru.

Крахалев Михаил Николаевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной спектроскопии; Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН; доцент кафедры общей физики; Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. E-mail: kmn@iph.krasn.ru.

Шабанов Василий Филиппович – доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель; Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН). E-mail: shabanov@ksc.krasn.ru.

Зырянов Виктор Яковлевич – доктор физико-математических наук, профессор, руководитель научного направления, заведующий лабораторией молекулярной спектроскопии; Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН; заведующий отделом молекулярной электроники; Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН). E-mail: zyr@iph.krasn.ru.

Feyzer Kristina Andreevna – engineer, laboratory of molecular spectroscopy; Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS. E-mail: fka@iph.krasn.ru.

Krakhalev Mikhail Nikolaevich – Cand. Sc., senior researcher, laboratory of molecular spectroscopy, Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS, Associate Professor at the Department of General Physics, Institute of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University. E-mail: kmn@iph.krasn.ru.

Shabanov Vasily Philipovich – Dr. Sc., Professor, Academician, Scientific director of Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”. E-mail: shabanov@ksc.krasn.ru.

Zyryanov Victor Yakovlevich – Dr. Sc., Professor, Head of the scientific direction and Laboratory of molecular spectroscopy, Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS; Head of the Department of Molecular Electronics, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”. E-mail: zyr@iph.krasn.ru.
