УДК: 538.911

DOI: 10.18384/2310-7251-2017-2-34-45.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ БОРОСИЛОКСАНА¹

Мащенко В.И., Шашкова Ю.О., Соломатин А.С., Беляев В.В.

*Московский государственный областной университет,
105005, г. Москва, ул. Радио, 10А, Российская Федерация*

Аннотация. Методами оптической поляризационной микроскопии, спектрофотометрии и рефрактометрии исследованы микроструктура и оптические свойства полученных впервые жидкокристаллических композитов (ЖК-композитов) на основе боросилоксана, и нематического жидкого кристалла ЖК-1282. При одноосной вытяжке композитов обнаружено новое явление формирования в матрице боросилоксана микронитей ЖК с длиной до нескольких сантиметров. Экспериментально и теоретически охарактеризованы процессы образования микронитей и их самопроизвольного разрушения с образованием микрокапель ЖК. Предложены и экспериментально подтверждены модель наблюдаемых процессов и аналитическое выражение, связывающее длину и радиус сформированной нити с размерами капель, образующихся при её разрушении. Материалы на базе исследованных ЖК-композитов могут быть использованы в дисплейной технике и оптоэлектронике, например, в качестве микрорезонаторов и электронно-оптических датчиков.

Ключевые слова: жидкокристаллический композит, нематический жидкий кристалл, боросилоксан, микроструктура, оптическая поляризационная микроскопия, математическое моделирование процессов.

PECULIARITIES OF THE FORMATION OF A MICROSTRUCTURE OF BOROSILOXANE LIQUID CRYSTAL COMPOSITES

V. Mashchenko, A. Solomatin, Y. Shashkova, V. Belyaev

*Education & Research Lab of Theoretical and Applied Nanotechnology, Moscow Region State University,
ul. Radio 10A, 105005 Moscow, Russian Federation*

Abstract. Using the methods of optical polarization microscopy, spectrophotometry and refractometry, we study the microstructure and optical properties of liquid crystal composites (LC composites) based on borosiloxane and LCD-1282 nematic liquid crystal that have been obtained for the first time. In the uniaxial stretching of composites, a new phenomenon in the formation of borosiloxane of microfilaments of liquid crystals in a matrix up to several centimeters in length is observed. The formation of microfilaments and their spontaneous destruction with the formation of microdroplets of liquid crystals are experimental and theoretically characterized. The model

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-57-00089Бел_а.

© Мащенко В.И., Шашкова Ю.О., Соломатин А.С., Беляев В.В., 2017.

of observed processes and an analytical expression relating the length and radius of the formed filament with the size of the droplets formed during its destruction are proposed and experimentally confirmed. Materials based on the investigated LC composites can be used in display technology and optoelectronics, for example, as microresonators and electron-optical sensors.

Key words: liquid crystal composite, nematic liquid crystal, borosiloxane, microstructure, optical polarization microscopy, mathematical modeling of processes.

Введение

Исследованиями жидких кристаллов (ЖК) занимаются с 1960-х годов. ЖК и композиты на их основе (ЖК-композиты) нашли широкое применение в дисплейной технике и других устройствах [1–4]. Большое количество работ [1; 5] посвящено получению и исследованию ЖК-композитов, где ЖК в виде микрокапель равномерно диспергированы в инертной среде, например, в полимерной матрице. Большое значение придается формированию в таких композитах микроструктуры, которая обусловила бы получение требуемых макрохарактеристик материала или устройства [6; 7; 9; 10].

Ввиду широкого развития миниатюризации, микро- и нанотехнологий, наряду с макрохарактеристиками материалов научный и практический интерес представляют системы, где отдельная микрокапля или микроучасток поверхности ЖК используется в качестве функционального элемента микроустройства.

В качестве инертной среды для размещения капли ЖК часто используются силиконовые масла и полимеры ввиду их высокой прозрачности (вследствие аморфности структуры), инертности, постоянства параметров в широком интервале температур и технологичности. Силиконы обладают показателем преломления около 1,4, что меньше показателя преломления большинства традиционных ЖК (обычно более 1,5). Они являются отличными электрическими изоляторами, обладают хорошей теплопередачей и не являются легковоспламеняющимися, обладают био- и химической инертностью, эластичностью, долговечностью и экологичностью.

Боросилоксан (БС) интересен в качестве матрицы ЖК-композита, так как, сохраняя все достоинства силиконовых материалов, он обладает уникальными механическими свойствами дилатантной жидкости: маслообразной текучестью при статической нагрузке и каучукоподобной способностью к растяжению при резком воздействии. Получают БС реакцией силоксанов с соединениями бора (борангидридом, борной кислотой и др.).

Целью данной работы является исследование микроструктуры и оптических свойств жидкокristаллических композитов на основе боросилоксана.

Экспериментальная часть

В качестве ЖК была использована нематическая смесь ЖК-1282 ($T_{CN} = 253,1$ К; $T_{NI} = 335,1$ К), которая состоит из алкоксицианбифенилов (80% массовой доли), эфира Демуса (16%) и эфира Грея (4%), производства ФГУП «НИОПИК» (РФ).

Боросилоксан получен по методике, адаптированной для данной задачи из патента РФ [10].

Жидкокристаллические композиты были получены с помощью метода фазового разделения индуцированного испарением растворителя SIPS (Solvent-Induced Phase Separation).

Микроскопические снимки сделаны с использованием оптического поляризационного микроскопа – Альтами Полар 3 (РФ). Для определения показателя преломления использован рефрактометр ИРФ-454 (РФ). УФ-спектры получены с помощью спектрофотометра УСФ-1 (РФ).

Результаты и их обсуждение

Микроструктура и оптические свойства ЖК-композитов

Боросилоксан представляет собой неньютоновскую (дилатантную) жидкость, которая при растяжении ведёт себя подобно жевательной резинке, а при отсутствии внешнего напряжения ведёт себя подобно вязкому силиконовому маслу, растекаясь по поверхности подложки.

Для получения ЖК-композита боросилоксан и ЖК в соотношении 1 к 1 растворили в совместном растворителе (этаноле). Полученный прозрачный гомогенный раствор вылили на стекло и высушили в течение нескольких суток при комнатной температуре. Далее для полного удаления этилового спирта композиты досушили в сушильном шкафу при температуре 80 °С.

После удаления растворителя композиты стали мутными, часть жидкого кристалла выделилась в виде капель на поверхность. Микроскопические исследования данных образцов показали, что композиты имеют выраженную двухфазную природу, где ЖК-фаза заключена в каплях размером от единиц до сотен микрон (рис. 1).

Рис. 1. Микроскопический снимок образца ЖК-композита на основе БС и ЖК-1282, полученного методом SIPS, в скрещённых поляризаторах.

Интересную волнистую морфологию имеет большая капля. Оптические волнистые линии внутри неё, по-видимому, являются так называемыми буджумами. В каплях размером менее 100 мкм наблюдается морфология типа Мальтийского креста.

Далее данный ЖК-композит был подвергнут десятикратной одноосной вытяжке (и в поляризованном микроскопе было обнаружено, что морфология образца значительно изменилась (Рис. 2).

Фаза ЖК теперь уже представляла собой не капли, а микрофиламенты, наполненные ЖК (Рис 2а). Но картина не оставалась статичной, а видоизменя-

лась. Микрофиламенты с течением времени снова превращались в микрокапли (рис. 26).

Рис. 2. ЖК-композит на основе боросилоксана, наполненный ЖК-1282, одноосно вытянутый в 10 раз: а) – сразу после вытяжки, б) – 10 мин после вытяжки (часть вытянутых объектов уже разделилась на капли или отдельные вытянутые объекты, из которых в дальнейшем образуются капли).

Исследована морфология ЖК-композитов в статике и динамике с помощью оптического поляризационного микроскопа. Обнаружено явление образования протяжённых вытянутых объектов цилиндрической формы с конусами на концах, содержащих ЖК в массе боросилоксана в процессе одноосной вытяжки. Также обнаружен последовавший за этим эффект дробления данных объектов, наполненных ЖК, на капли, названный авторами «эффект хайвэя» за внешнее сходство с фотографиями ночного оживленного шоссе (Рис. 2).

Оказалось, что боросилоксан, благодаря своей способности не липнуть ни к рукам, ни к эластичным перчаткам, легко смешивается с ЖК вручную. Данный процесс напоминает вытягивание жевательной резинки. Боросилоксан легко насыщается ЖК вплоть до концентрации в 40 масс. % в случае ручного смешения, где процессы многократной вытяжки чередуются с перемешиванием (рис. 3).

Рис. 3. Фотография вытянутого образца БС (сверху) и ЖК-композита на основе БС и ЖК-1282 (снизу).

Хорошо видно, что исходный боросилоксан является прозрачным материалом, напоминающим силиконовый герметик, в то время как ЖК-композит является молочно-белым. Окраска ЖК-композита, по-видимому, связана с рассеянием на границе раздела фаз БС – ЖК, обусловленным разницей в показателях преломления. Важно отметить, что способность к вытяжке у БС, наполненного 40 масс. % ЖК, сохраняется. Данное явление, по-видимому, связано с микроструктурой композита, где капли ЖК распределены изолированно друг от друга, не нарушая целостность боросилоксановой матрицы.

На данный способ получения ЖК-композитов подана заявка на патент РФ [11]. На данный момент Федеральным институтом промышленной собственности уже принято решение о выдаче патента РФ. Такой композит был изучен методами поляризационной микроскопии и спектрофотометрии (рис. 4 а, б). Показано, что с течением времени микрокапли укрупняются за счёт коалесценции, и композит становится менее мутным, по-видимому, за счёт снижения количества центров рассеяния, что хорошо видно на зависимостях оптической плотности от длины волны.

Рис. 4а. Микроскопический снимок образца ЖК-композита на основе БС и ЖК-1282 сразу после ручного перемешивания (слева), через 2 суток после перемешивания (справа).

Полученный композит также не липнет к резиновым перчаткам и в микроскопе имеет структуру швейцарского сыра, где размеры микрокапель изменяются во времени вплоть до некоторого равновесного значения. Микроскопические исследования в поляризованном свете показали, что исходный БС не обладает двулучепреломлением. Наличие двулучепреломления капель ЖК хорошо видно на микрофотографии, сделанной при скрещённых поляризаторах. Капли ЖК в БС имеют размер от ~ 1 мкм до 10 мкм. Таким образом, структура данного композита является двухфазной, где капли ЖК распределены в матрице боросилоксана.

При помощи рефрактометра ИРФ-454 установлено, что показатель преломления ЖК-композитов близок к показателю преломления исходного БС (см. Таблицу 1).

Рис. 46. Зависимость оптической плотности D (усл. ед.) образцов ЖК-композиов на основе боросилоксана и ЖК-1282 от длины волны λ , нм. %) (1-БС, 2-ЖК-1282, 3-ЖК-композит, 4-10 минут после формирования, 5-2-е суток).

Таблица 1.

Показатели преломления образцов ЖК, боросилоксана и ЖК-композита на их основе.

Образец	Показатель преломления при 25 °С	Расчётная концентрация ЖК, масс. %
Боросилоксан	1,4051	0
ЖК-1282	1,5084	100
ЖК-композит максимально насыщенный (41,2 масс. %)	1,4073	2,13
Расчётное значение (исходя из аддитивного закона)	1,4477	41,2

По-видимому, структура композитов такова, что на поверхности постоянно присутствует только силиконовый материал, обволакивая и смачивая ЖК во внутреннем объёме. Так как показатель преломления материала определяется на рефрактометре ИРФ-454 за счёт его приповерхностного слоя, показатель преломления меняется не сильно. Произведён перерасчёт изменения показателя преломления по аддитивному закону. Композит с содержанием ЖК 41,2 масс. % имеет показатель преломления на уровне концентрации ЖК в материале 2,13 масс. %. По-видимому, 2,13% – это то количество ЖК, которое растворяется в боросилоксане при комнатной температуре. Следует отметить, что, по литературным данным, растворимость ЖК близкого химического состава в силиконах обычно составляет около 4 масс. % [13], что в целом хорошо согласуется с нашими экспериментальными данными.

Описание механизма образования и разрушения микрофиламентов ЖК

Для описания процесса образования цилиндров и капель была предложена схема (рис. 5).

Рис. 5. Схема образования вытянутых объектов, наполненных ЖК, в боросиликоновой матрице и процессов их деления на капли (слева). Микрофотографии вытянутого образца БС, наполненного ЖК-1282, в скрещённых поляризаторах. Справа сверху – видно яркий микрофиламент ЖК в БС, а также выстроенные вдоль одной линии микрокапли уже поделившегося более тонкого микрофиламента. Справа снизу – процесс деления на капли вытянутого объекта с ЖК.

Изначальное механическое смешивание компонентов приводит к формированию в объёме БС капель ЖК. Далее, за счёт прикладываемого к композиту механического воздействия – одноосного растяжения, капли сильно вытягиваются, становясь длинными нитевидными объектами (цилиндрами с заострёнными конусами на концах).

Далее, когда механическое воздействие прекращается, БС перестаёт вести себя подобно эластомеру и превращается в вязкую жидкость. Начинает проявляться известный эффект деления растянутой капли внутри другой, несмешиваемой с ней, жидкости [14]. Однако обычно не удавалось получить длину таких нитей до нескольких сантиметров. Практически длина вытянутой нити ЖК равна длине всего вытянутого объекта. В нашем случае до 10 и более сантиметров при толщине нити около 2–10 мкм.

В нашем случае имеет место ранее не описанный в литературе эффект множественного деления на капли. Отсутствие упоминаний о таком эффекте в литературе обусловлено тем, что обычно каплю жидкости либо вытягивают и она заполняет образованный цилиндр в резине, или при вытяжке не удаётся растянуть жидкость столь многократно [14].

Образец сразу после вытяжки имеет структуру, в которой присутствуют и длинные цилиндры, наполненные ЖК, и микрокапли. Следует отметить, что чем тоньше исходный образовавшийся вытянутый объект, тем быстрее он

распадается на капли. Так, для наиболее тонких объектов (менее 10 мкм) данный распад занимает около 10 минут, для объектов более толстых (50 и более мкм) окончательное оформление свободных капель из цилиндра занимает до суток.

Процесс разделения происходит по следующим стадиям:

1. Появление мест с большей и меньшей толщиной в вытянутом объекте.
2. Деление вытянутого объекта на двухсторонние конусовидные объекты (линзовидные двояковыпуклые), заострённые на концах и имеющие максимальный диаметр обычно в середине такого объекта.
3. Превращение последнего объекта в каплю.

Спустя несколько минут все цилиндры превращаются в капли за счёт эффекта деления “pinch-off”. Также такое явление имеет название как мосты жидкости, возникающие, например, между песчинками в мокром песке.

Повторение вышеозначенных процедур приводит к отсутствию в образце крупных капель. Остаются только капли микронных размеров и менее. Известно, что оптический микроскоп позволяет достаточно точно определять размеры объектов микронных и менее размеров, поэтому определить размеры более мелких капель микроскопически не представляется возможным.

Показано, что вытянутый объект распадается на капли различного диаметра, причём диаметр образовавшейся капли обычно больше, чем диаметр исходного цилиндра от 1,15 раз до 5 раз.

Математическая модель деления нитей на капли

Для математического анализа наблюдаемых процессов были сделаны следующие допущения:

1. Исходный вытянутый объект (нить) представлен как бесконечный цилиндр. Данное допущение можно сделать, так как длины экспериментальных вытянутых объектов значительно превосходят их радиус. Обычно длина порядка 1–10 см, а толщина 1–10 мкм. То есть длины объектов больше их толщин на 3–4 порядка.

2. Для моделирования выбрана часть данного цилиндра, ограниченная плоскими основаниями. Таким образом, экспериментально определив радиус r и длину L данного цилиндра, мы находим его объём $V_{\text{цил}}$. Вкладом боковых оснований пренебрегаем, по причине, описанной в п. 1.

$$V_{\text{цил}} = \pi r^2 L. \quad (1)$$

3. Так как количество вещества (ЖК) в цилиндре остаётся постоянным при делении его на капли, то, соответственно, объёмы исходного цилиндра $V_{\text{цил}}$ и образованных из него капель $V_{\text{сф}}$ равны. Также допускаем, что образующиеся капли имеют одинаковый радиус R , а их количество составляет n штук.

$$V_{\text{цил}} = V_{\text{сф}} n \quad (2)$$

$$\pi r^2 L = \frac{4}{3} \pi R^3 n \quad (3)$$

$$n = \frac{3r^2L}{4R^3}. \quad (4)$$

4. Здесь мы также пренебрегаем вкладом в процесс возможного временного или постоянного растворения ЖК в БС в процессе вытяжки, а также процессом высаживания из раствора ЖК (фазового разделения в растворе ЖК-БС) при снятии вытягивающего напряжения. Предполагается, что силиконовая матрица уже представляет собой гомогенный 2,13% раствор ЖК в ней, что определено рефрактометрическим методом.

5. С точки зрения термодинамики система стремится к равновесию, то есть изменение свободной энергии системы меньше нуля. Объект в виде капли более термодинамически устойчив, чем в виде цилиндра, поэтому и происходит самопроизвольное образование капель из вытянутого объекта. Вкладом боковых оснований цилиндра в значение площади также пренебрегаем, по причине, описанной в п.1.

$$F_{\text{цил.}} = \sigma \times S_{\text{бок.пов.цил.}} = \sigma \times 2\pi rL \quad (5)$$

$$F_{\text{сф.}} = \sigma \cdot S_{\text{пов.сф.}} = \sigma \cdot 4\pi R^2L \quad (6)$$

$$F_{\text{сф.}} < F_{\text{цил.}}, \quad (7)$$

где $F_{\text{сф.}}$ – свободная поверхностная энергия капли, $F_{\text{цил.}}$ – свободная поверхностная энергия цилиндра, $S_{\text{бок.пов.цил.}}$ – площадь боковой поверхности цилиндра, $S_{\text{пов.сф.}}$ – площадь поверхности сферы, σ – поверхностное натяжение на границе ЖК – боросилоксан.

6. Путём простых математических преобразований приходим к выражению:

$$\Delta F = F_{\text{сф.}} - F_{\text{цил.}} = 2\sigma\pi RL \left(\frac{3r}{2R} - 1 \right) \quad (8)$$

$$\Delta F = F_{\text{droplet}} - F_{\text{filament}} = 2\sigma\pi RL \left(\frac{3r}{2R} - 1 \right),$$

из которого следует, что радиус образовавшихся капель должен быть как минимум в 1,5 раза больше радиуса исходного цилиндра.

$$R > \frac{3}{2}r. \quad (9)$$

Как было показано выше, сравнение с экспериментом показало, что действительно радиус капель больше радиуса исходного цилиндра, однако капли, образующиеся из исходного вытянутого объекта, имеют обычно различные радиусы, отличающиеся от исходного радиуса цилиндра на величину от 1,15 до 5 раз. Обычной является ситуация, когда цилиндр распадается на несколько маленьких капель, радиус которых в 1,5 раза больше радиуса цилиндра, и меньшее количество больших капель в 3–5 раз большего радиуса.

Выводы

Методом оптической поляризационной микроскопии исследованы новые ЖК-композиты на основе боросилоксана, обладающие свойствами дилатантной жидкости и нематического жидкого кристалла ЖК-1282. Показано, что при одноосной вытяжке ЖК-композитов происходят процессы образования цилиндров, наполненных ЖК, с последующим их делением на капли. Предложена феноменологическая модель данного процесса и аналитическое выражение, связывающее радиус, образующихся из цилиндра каплей R , с его исходными длиной и радиусом. В работе впервые достигнута высокая стабильность радиуса цилиндра, заполненного ЖК, на всём его протяжении.

Материалы на базе исследованных ЖК-композитов могут быть использованы в дисплейной технике и оптоэлектронике, например, в качестве волоконно-оптических датчиков, а также при разработке новых устройств для биосовместимой наноэлектроники.

* * *

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №16-57-00089_Бел_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: Наука, 1994. 214 с.
2. Беляев В.В. Дисплеи 90-х годов. М.: Химия, 2000. 91 с.
3. Parab S.S., Malik M.K., Deshmukh R.R. Dielectric relaxation and electro-optical switching behavior of nematic liquid crystal dispersed in poly(methyl methacrylate) // Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. V. 358. № 18–19. P. 2713–2722.
4. Su Y.-C., Chu C.-C., Chang W.-T., Hsiao V.K.S. Characterization of optically switchable holographic polymer-dispersed liquid crystal transmission gratings // Optical Materials. 2011. V. 34. № 1. P. 251–255.
5. Deshmukh R.R., Malik M.K. Effect of dichroic dye on phase separation kinetics and electro-optical characteristics of polymer dispersed liquid crystals // Journal of Physics and Chemistry of Solids. 2013. V. 74. № 2. P. 215–224.
6. Ralesh K., Kikuchi H., Stark M., Guckenberger R., Kajiyama T. Morphology and Interface of Liquid Crystal / Polymer Composite System at Nano Scale: A Model Investigation // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1999. V. 329. P. 171–180.
7. Безбородов В.С., Лапаник В.И. Жидкокристаллические соединения с высоким значением положительной диэлектрической анизотропии // Труды БГТУ (Белорусский государственный технологический ун-т). IV. Химия, технология органических веществ и биотехнология, Минск, 2009. Вып. XVII. С. 8–13.
8. Luminita M., Popescua M.-C., Zabolica A., Hiroshi Uji-I, Fron E. Chitosan as matrix for bio-polymer dispersed liquid crystal systems // Carbohydrate Polymers 95., 2013. P. 16–24.
9. Luminita M., Ailincăi D., Paslaru E. Monodisperse PDLC composites generated by use of polyvinyl alcohol boric acid as matrix // RSC Adv. 2014. 4. P. 38397–38404.
10. Мащенко В.И., Алексеев А.Н., Картавенко Т.В., Оленин А.В. Патент, РФ, №2473216 // Способ получения масс для лепки с биоцидными свойствами.
11. Беляев В.В., Мащенко В.И., Соломатин А.С., Чаусов Д.Н. Заявка на патент РФ № 2015107901 от 10.03.2015 // Способ получения смеси жидкого кристалла с полимером для дисплейной техники и оптоэлектроники.

12. Bedjaoui L., Benmouna M., Maschke U. Thermophysical analysis of polysiloxane and nematic liquid crystal mixture. *Physical Chemical News* 49 121–124 (2009).
13. Bedjaouia L., Gogibus N., Ewenb B., Pakulab T., Coqueret X., Benmouna M., Maschke U. // Preferential solvation of the eutectic mixture of liquid crystals E7 in a polysiloxane// *Polymer*. V. 45. 2004. P. 6555–6560.
14. Lekkerkerker, H.W., Verhoef A.A. Droplet snap-off in fluids with nematic liquid crystalline ordering // *New Journal of Physics*. 2012. 14. 12 p.

REFERENCES

1. Zharkova G.M., Sonin A.S. *Zhidkokristallicheskie kompozity* [Liquid crystal composites]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1994. 214 p.
2. Belyaev V.V. *Displei 90-kh godov* [Displays of the 1990s]. Moscow, Khimiya Publ., 2000. 91 p.
3. Parab S.S., Malik M.K., Deshmukh R.R. Dielectric relaxation and electro-optical switching behavior of nematic liquid crystal dispersed in poly(methyl methacrylate). In: *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2012, vol. 358, no. 18–19, pp. 2713–2722.
4. Su Y.-C., Chu C.-C., Chang W.-T., Hsiao V.K.S. Characterization of optically switchable holographic polymer-dispersed liquid crystal transmission gratings. In: *Optical Materials*. 2011, vol. 34, no. 1, pp. 251–255.
5. Deshmukh R.R., Malik M.K. Effect of dichroic dye on phase separation kinetics and electro-optical characteristics of polymer dispersed liquid crystals. In: *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2013, vol. 74, no. 2, pp. 215–224.
6. Ralesh K., Kikuchi H., Stark M., Guckenberger R., Kajiyama T. Morphology and Interface of Liquid Crystal / Polymer Composite System at Nano Scale: A Model Investigation. In: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1999, vol. 329, pp. 171–180.
7. Bezborodov V.S., Lapanik V.I. Liquid crystal compounds with a high value of positive dielectric anisotropy. In: *Trudy BGTU (Belorusskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii un-t). IV. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* [The proceedings of the BSTU (the Belarus state technological University). IV. Chemistry, technology of organic substances and biotechnology]. Minsk, 2009, pp. 8–13.
8. Luminita M., Popescua M.-C., Zbulicaa A., Hiroshi Uji-I, Fron E. Chitosan as matrix for bio-polymer dispersed liquid crystal systems. In: *Carbohydrate Polymers* 95., 2013, pp. 16–24.
9. Luminita M., Ailincui D., Paslaru E. Monodisperse PDLC composites generated by use of polyvinyl alcohol boric acid as matrix. In: *RSC Adv*. 2014, no. 4, pp. 38397–38404.
10. Patent RF 2473216. *Sposob polucheniya mass dlya lepki s biotsidnymi svoistvami* [RF patent 2473216. A method of producing masses for modeling with biocidal properties], Mashchenko V.I., Alekseev A.N., Kartavenko T.V., Olenin A.V.
11. *Zayavka na patent RF 2015107901 ot 10.03.2015 Sposob polucheniya smesi zhidkogo kristalla s polimerom dlya displeinoy tekhniki i optoelektroniki* [The application for the patent of the Russian Federation 2015107901 dated 10.03.2015 A method of producing a mixture of a liquid crystal polymer for display technology and optoelectronics], Belyaev V.V., Mashchenko V.I., Solomatin A.S., Chausov D.N.
12. Bedjaoui L., Benmouna M., Maschke U. Thermophysical analysis of polysiloxane and nematic liquid crystal mixture. *Physical Chemical News*. 2009, no. 49, pp. 121–124.
13. Bedjaouia L., Gogibus N., Ewenb B., Pakulab T., Coqueret X., Benmouna M., Maschke U. Preferential solvation of the eutectic mixture of liquid crystals E7 in a polysiloxane. In: *Polymer*. 2004, vol. 45, pp. 6555–6560.
14. Lekkerkerker H.W., Verhoef A.A. Droplet snap-off in fluids with nematic liquid crystalline ordering. In: *New Journal of Physics*. 2012, no. 14. 12 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мащенко Владимир Игоревич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии, Московский государственный областной университет;
e-mail: mashchenko@genebee.msu.su

Шашкова Юлия Олеговна – инженер учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии, Московский государственный областной университет;
e-mail: pirmir123@mail.ru

Соломатин Алексей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, инженер учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии, Московский государственный областной университет;
e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru

Беляев Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики, Московский государственный областной университет;
e-mail: vic_belyaev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir I. Mashchenko – PhD in Chemical Sciences, senior researcher of the Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology at the Moscow Region State University;
e-mail: mashchenko@genebee.msu.su

Julia O. Shashkova – engineer of the Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology at the Moscow Region State University;
e-mail: pirmir123@mail.ru

Aleksei S. Solomatin – PhD in Physico-mathematical Sciences, engineer of the Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology at the Moscow Region State University;
e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru

Victor V. Belyaev – Doctor in Technical Sciences, professor, head of the department of theoretical physics at the Moscow Region State University;
e-mail: vic_belyaev@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Мащенко В.И., Шашкова Ю.О., Соломатин А.С., Беляев В.В. Особенности формирования микроструктуры жидкокристаллических композитов на основе боросилоксана // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика и математика. 2017. № 2. С. 34–45.

DOI: 10.18384/2310-7251-2017-2-34-45.

CORRECT REFERENCE TO THE ARTICLE

V. Mashchenko, A. Solomatin, Y. Shashkova, V. Belyaev. Peculiarities of the formation of a microstructure of borosiloxane liquid crystal composites. In: *Bulletin of Moscow Region State University*. Series: Physics & Mathematics. 2017, no. 2, pp. 34–45.

DOI: 10.18384/2310-7251-2017-2-34-45.