

УДК: 535.3 + 535.5

DOI: 10.18384/2310-7251-2017-4-68-78

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ТВИСТ-ЯЧЕЕК¹

Соломатин А.С., Мащенко В.И., Беляев В.В.*Московский государственный областной университет**105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10А, Российская Федерация*

Аннотация Разработана методика и смоделированы оптические свойства ячеек твист-ЖК-композитов, актуальных для элементной базы средств приёма, отображения и обработки информации. Предложен метод расчета и выполнена теоретическая и компьютерная модель зависимости интенсивности пропускания от ориентационных параметров твист-ЖК-композитной ячейки.

Ключевые слова: жидкокристаллический оптически анизотропный композит, твист-структуры, домены ЖК, моделирование оптических свойств, поликапролактон, 4-циано-4'-N-гептилбифенил, 7ЦБ.

OPTICAL PROPERTIES OF ASYMMETRICAL TWIST STRUCTURES IN A NEMATIC LIQUID CRYSTAL COMPOSITE

A. Solomatin, V. Mashchenko, V. Belyaev*Moscow Region State University**ul. Radio 10A, 105005 Moscow, Russian Federation*

Abstract. A technique is developed and the optical properties of cells of twist-LC composites, which are relevant for the element base of means for receiving, displaying and processing information, are modeled. A calculation method is proposed and a theoretical and computer model of the dependence of the transmission intensity on the orientation parameters of the twist-LC composite cell is performed.

Key words: liquid crystal optically anisotropic composite, polycaprolactone, 4-cyano-4'-N-heptylbiphenyl, 7CB, LC domains, optical properties simulation.

1. Введение

Твист-структуры играют важную роль, например, в дисплейной технике. Разработка методов формирования в нематических жидких кристаллах твист-структур представляет практический интерес для создания различных электро-оптических устройств [1]. Требования миниатюризации электронных устройств актуальны в настоящее время вплоть до микро- и нано-уровней размеров устройств [2].

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-57-00089Бел_а и гранта Президента № МК-7359.2016.9 / The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 16-57-00089Bel_a) and the RF President's Grants Council (Grant No. МК-7359.2016.9).

Целью данной работы является моделирование оптических свойств несимметричных твист-микроструктур в нематических ЖК-композитах, способ формирования которых разработан в [3].

2. Экспериментальная часть

В качестве матрицы ЖК-композита в [3] использован поликапролактон. Нематический ЖК 4-циано-4'-N-гептилбифенил (7ЦБ) был использован в качестве ЖК. По оригинальной методике (с использованием явления образования рэлеевских мостов жидкости) были получены ЖК-композиты. Полимерную композитную нить формировали, сочетая одноосные и торсионные деформации. Охлаждением поликапролактона до комнатной температуры фиксировали ЖК-композит.

3. Неоднородные композитные структуры, формирующие твист-ячейку

В [3] предложен способ изготовления твист-структуры на основании полученных экспериментальных результатов. Следует изготавливать композитную нить, короткую (длиной меньше 1 мм), содержащую тонкий ЖК цилиндр (в соответствии с экспериментальными результатами). Он имеет поперечное сечение, схематически подобное изображённому на рис. 1.

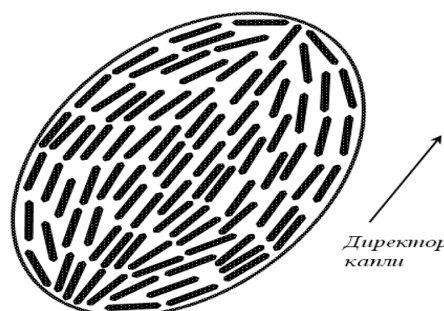


Рис. 1. Поперечное сечение ЖК цилиндра.

Затем следует повернуть один её конец на $\pi/2$. При прохождении луча света вдоль ЖК цилиндра, как в 90° твист-ячейке, будет происходить поворот плоскости поляризации. На рис. 2. показано, как отсчитывается угол наклона директора ЖК к направлению прохождения луча.

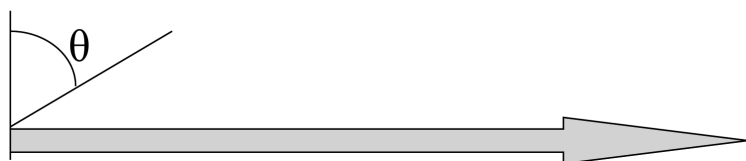


Рис. 2. Угол наклона директора ЖК к направлению прохождения луча отсчитывается от нормали к лучу, то есть от торца цилиндра.

От удлинения при вытягивании зависит угол наклона. Если различные участки композитной нити вытягивать различно, то есть задать градиент относительного удлинения при вытягивании, то цилиндрическая ЖК ячейка внутри нити будет аналогична ячейкам ЖК с неоднородным распределением директора, рассмотренным в работах [4–8].

Предлагаемая в [3] ЖК структура, для которой и разработан вышеописанный ЖК-композит, это установленный перед матрицей фотоэлементов упорядоченный блок ЖК микролинз и твист-ячеек. Он представляет собой матрицу из цилиндрических пор с нитями вышеописанного композита в них и затем, последовательно по ходу луча, микролинзы ЖК [9]. Фотоэлементы расположены по осям микролинз, образуя матрицу с такими же пространственными характеристиками. Называть подложкой ячейки будем в дальнейшем торец цилиндрической поры в матрице.

Если на фронтальной подложке ЖК-ячейки, помещённой между поляризатором и параллельным ему анализатором, направление директора совпадает с осью поляризатора, то интенсивность I света, прошедшего через ячейку толщиной L будет равна [10]:

$$I = \frac{\sin^2(\varphi \sqrt{1+q^2})}{1+q^2}, \quad (1)$$

где φ – угол закрутки твиста, а $q = \pi L \Delta n / \lambda \varphi$. Для 90° твист-эффекта $\varphi = \pi/2$.

Интенсивность пропускания I является осциллирующей функцией параметра L/λ . При отсутствии поля, как показано в [3], можно считать линейным распределение углов по толщине ячейки. Для случая $K_{33}/K_{11} = 1$ распределение угла θ по толщине ячейки будет линейным [8].

Как показано в [3], исходя из того, что

$$\frac{\pi d \Delta n}{\lambda \varphi} \quad (2)$$

и в то же время разность фазовых задержек

$$\Delta \Phi = \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda}, \quad (3)$$

получим:

$$q = \frac{\Delta \Phi}{2\varphi}, \quad (4)$$

где

$$\Delta \Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \left[\int_0^L \frac{n_o n_e dz}{(n_o^2 \cos^2 \theta(z) + n_e^2 \sin^2 \theta(z))^{1/2}} - n_o L \right]. \quad (5)$$

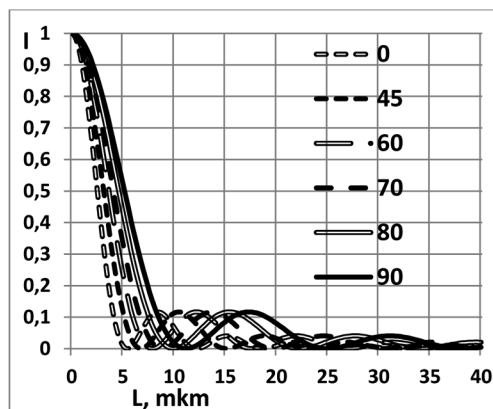
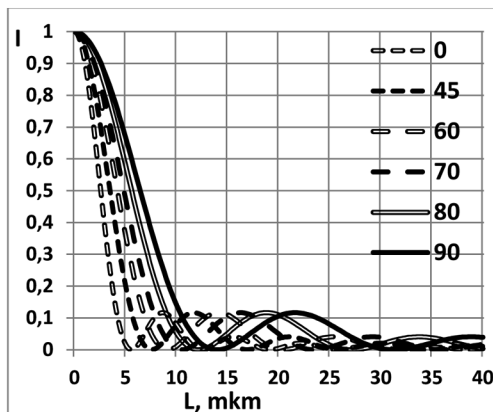
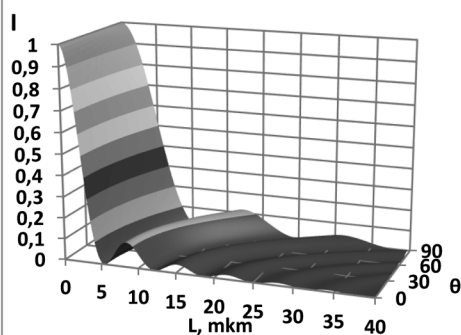
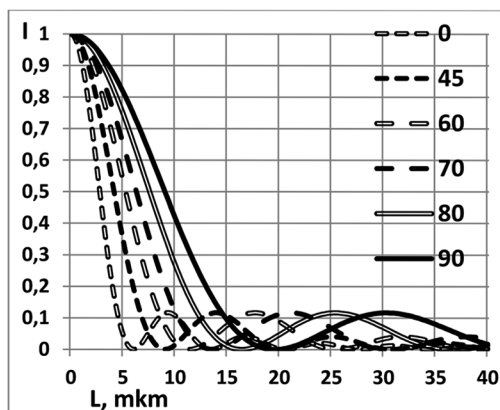
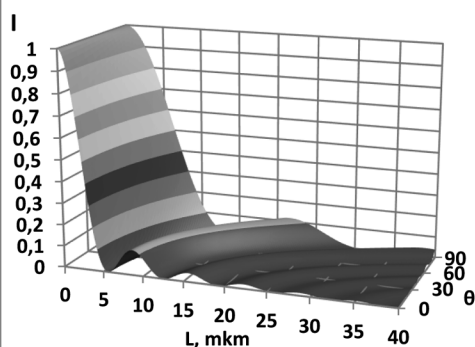
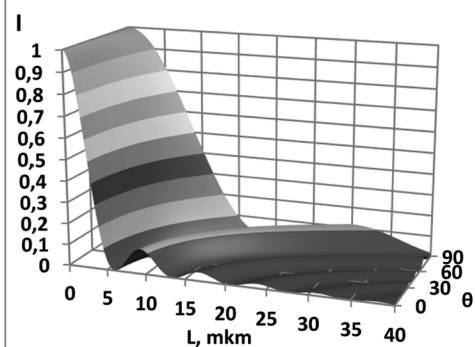

 $\theta_{\text{fixed}}=0$

 $\theta_{\text{fixed}}=15^\circ$

 $\theta_{\text{fixed}}=30^\circ$


Рис. 3. Зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов θ и θ_{fixed} и толщины L слоя ЖК для NSTH, то есть твист-гибридной ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами.

Угол θ_{fixed} изменяется от 0 до 75° сверху вниз. Окончание рисунка на стр. 72.

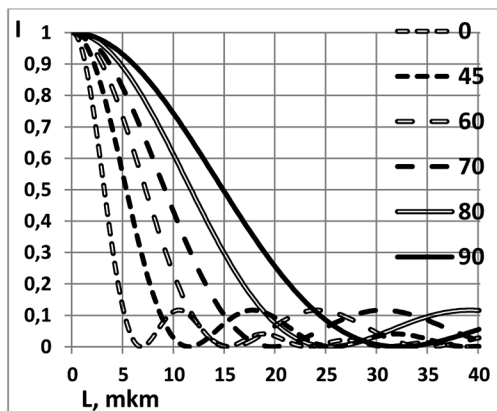
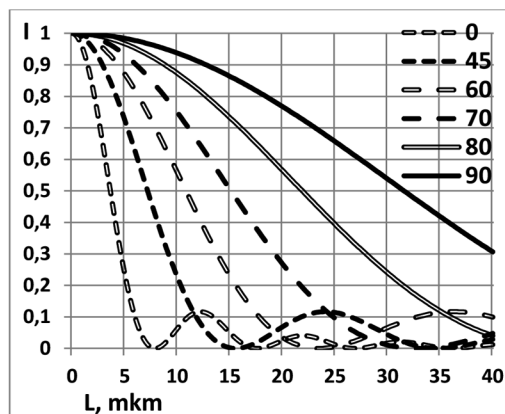
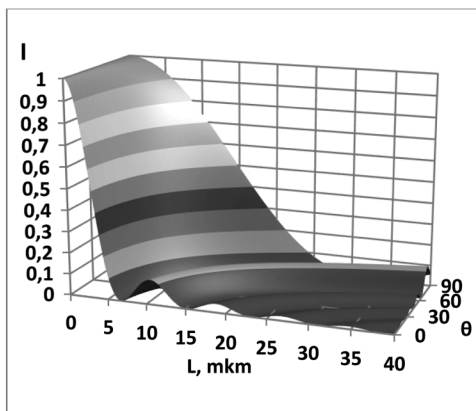
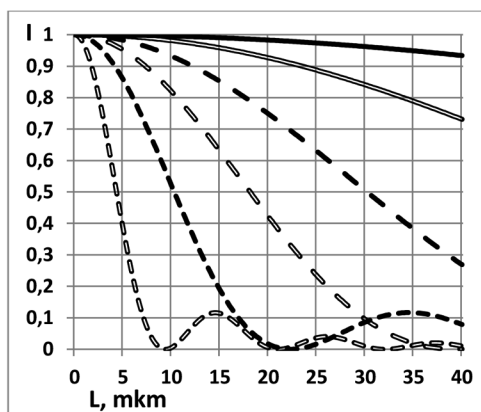
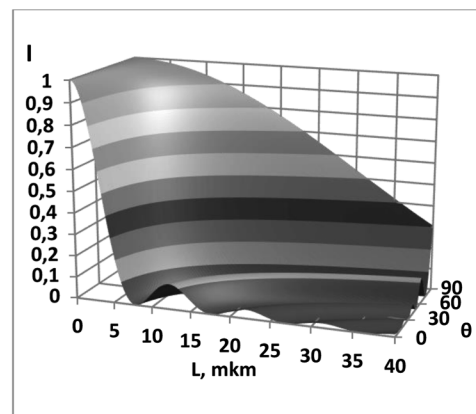
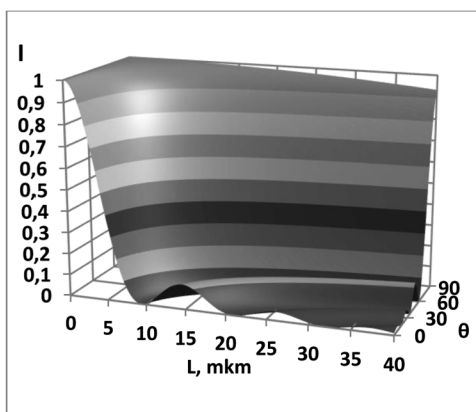

 $\theta_{fixed}=45^\circ$

 $\theta_{fixed}=60^\circ$

 $\theta_{fixed}=75^\circ$


Рис. 3. Окончание рисунка. Начало на стр. 71. Зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов θ и θ_{fixed} и толщины L слоя ЖК для NSTN, то есть твист-гибридной ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами. Угол θ_{fixed} изменяется от 0 до 75° сверху вниз.

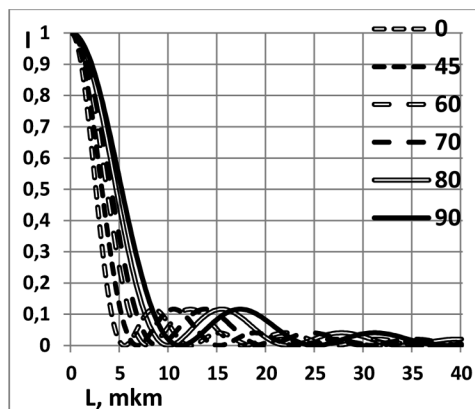
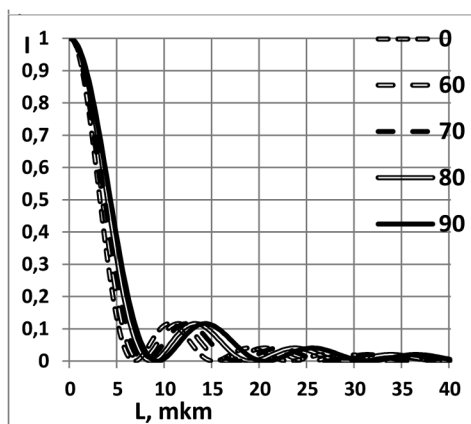
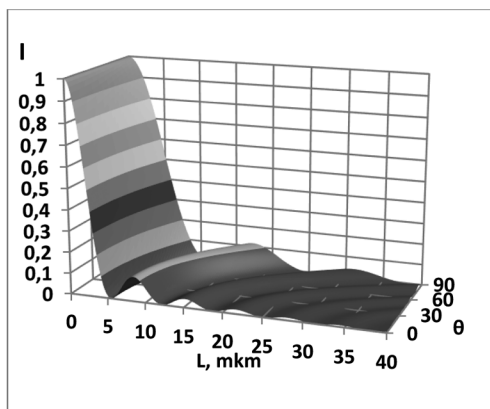
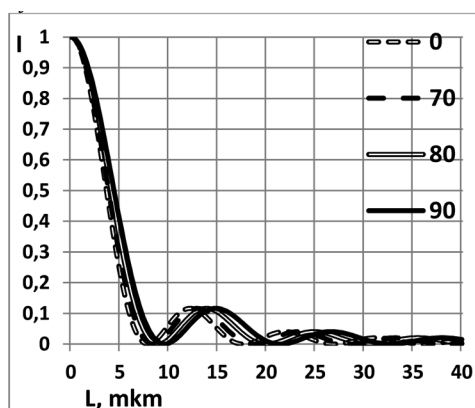
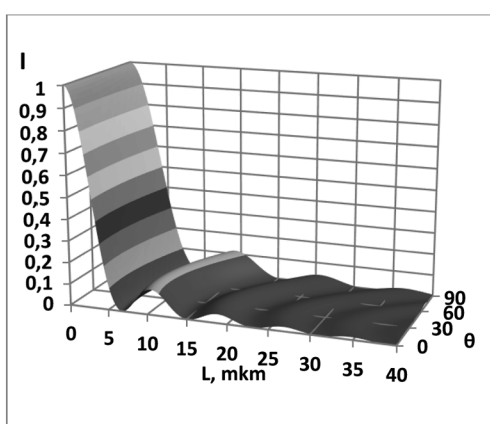
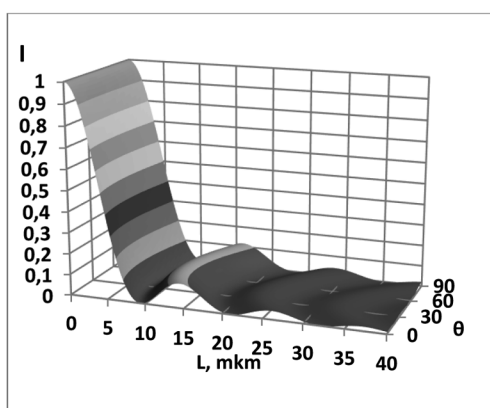

 $\theta_{fixed}=0$

 $\theta_{fixed}=45^\circ$

 $\theta_{fixed}=75^\circ$


Рис. 4. Зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов θ и θ_{fixed} и толщины L слоя ЖК для NSTS, то есть твист-сплей ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами.

Угол θ_{fixed} изменяется от 0 до 75° сверху вниз.

Следовательно, интенсивность пропускания в параллельных поляризаторах можно рассчитать по формуле (1) для различных пространственных распределений полярного угла наклона директора.

3.1. Несимметричная твист-гибридная ячейка (NSTH)

На рис. 3 для NSTH, то есть твист-гибридной ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами θ и θ_{fixed} и толщиной ЖК слоя L , показана зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов и толщины слоя ЖК. Здесь $n_o = 1,5$; $n_e = 1,6$; длина волны света 0,63 мкм, угол закрутки твиста 90° , плоскость поляризации входящего луча света совпадает с директором ЖК на входной поверхности ЖК ячейки.

3.2. Несимметричная твист-сплей ячейка (NSTS)

На рис. 4 для NSTS, то есть твист-сплей ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами θ и θ_{fixed} и толщиной ЖК слоя L , представлена зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов и толщины слоя ЖК. Здесь $n_o = 1,5$; $n_e = 1,6$; длина волны света 0,63 мкм, угол закрутки твиста 90° , плоскость поляризации входящего луча света совпадает с директором ЖК на входной поверхности ЖК ячейки.

3.3. Несимметричная твист-бенд ячейка (NSTB)

На рис. 5 для NSTB, то есть твист-бенд ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами θ и θ_{fixed} и толщиной ЖК слоя L , показана зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов и толщины слоя ЖК. Здесь $n_o = 1,5$; $n_e = 1,6$; длина волны света 0,63 мкм, угол закрутки твиста 90° , плоскость поляризации входящего луча света совпадает с директором ЖК на входной поверхности ЖК ячейки.

4. Выводы

Материалы на базе исследованных ЖК-композитов могут быть использованы в дисплейной технике и оптоэлектронике.

Разработана методика и смоделированы оптические свойства ячеек твист-ЖК-композитов, актуальных для элементной базы средств приёма, отображения и обработки информации.

Предложен метод расчёта и выполнена теоретическая и компьютерная модель зависимости интенсивности пропускания от ориентационных параметров твист-ЖК-композитной ячейки.

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.

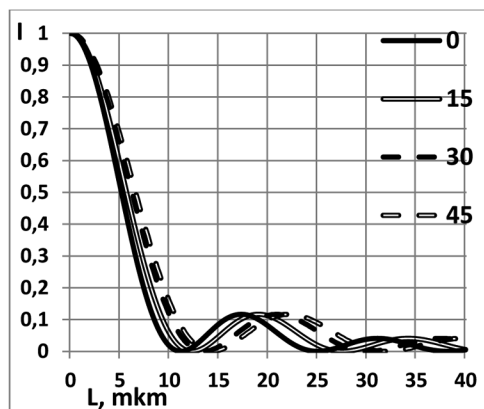
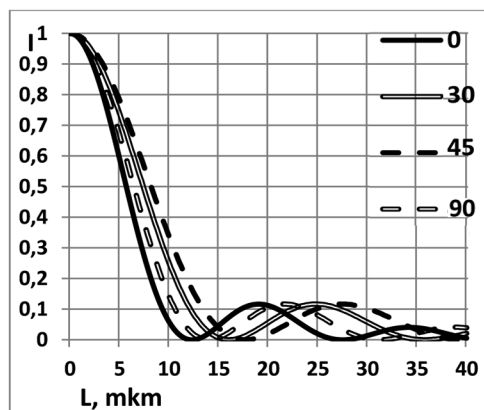
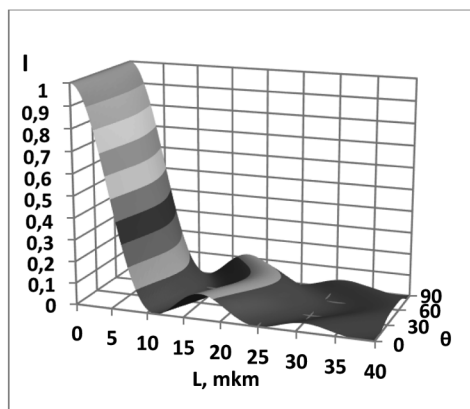
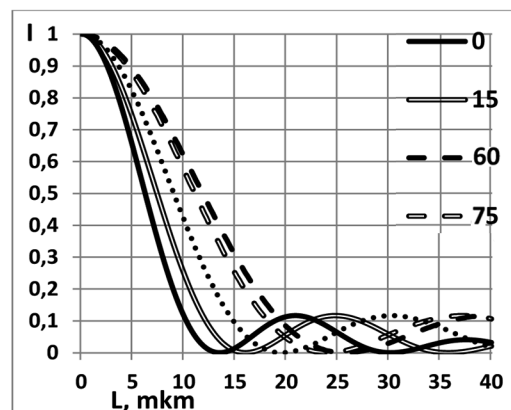
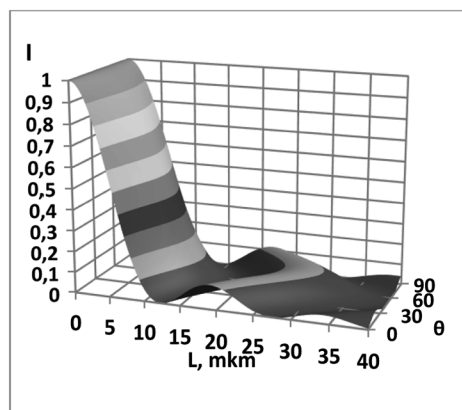
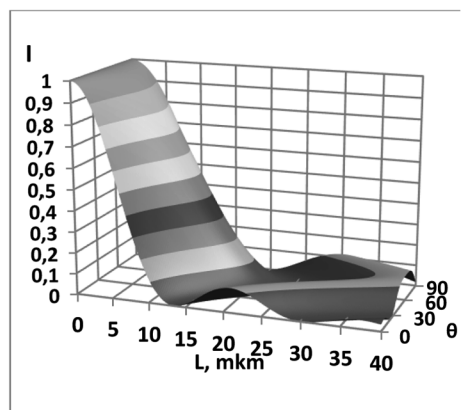
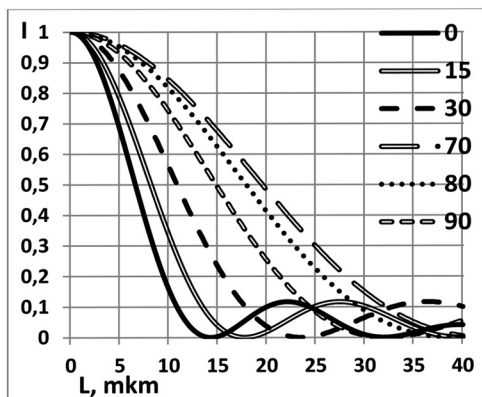
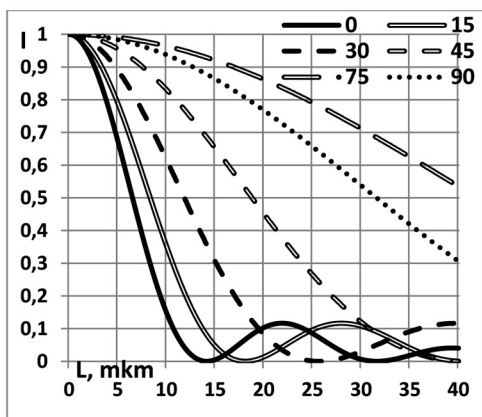
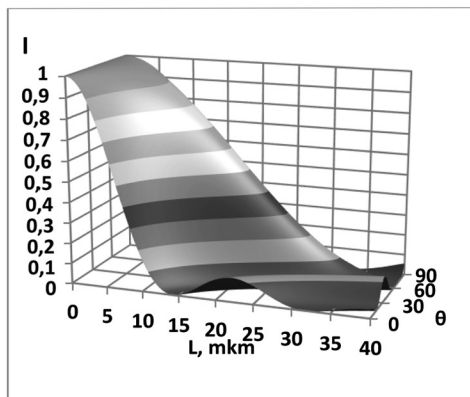

 $\theta_{fixed}=0$

 $\theta_{fixed}=15^\circ$

 $\theta_{fixed}=30^\circ$


Рис. 5. Зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов θ и θ_{fixed} и толщины L слоя ЖК. Для NSTB, то есть твист-бенд ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами.

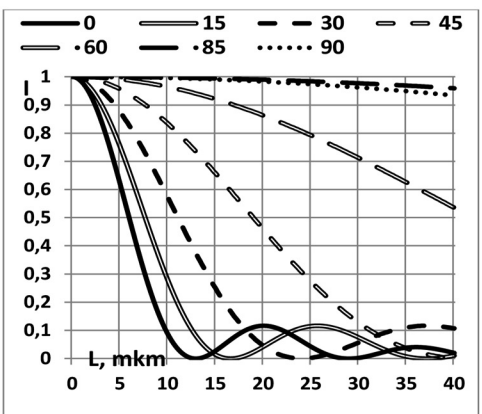
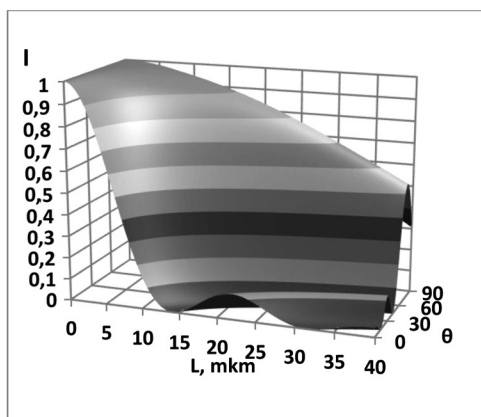
Угол θ_{fixed} изменяется от 0 до 75° сверху вниз. Окончание рисунка на стр. 76.



$\theta_{fixed}=45^\circ$



$\theta_{fixed}=60^\circ$



$\theta_{fixed}=75^\circ$

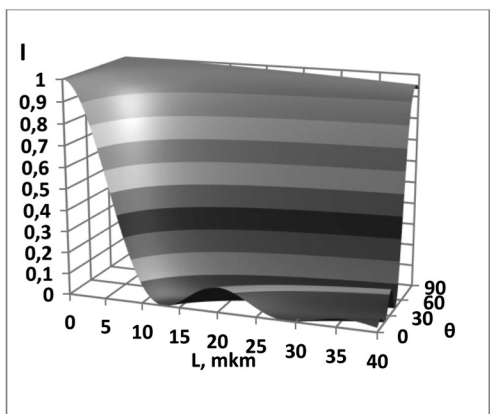


Рис. 5. Окончание рисунка. Начало на стр. 75. Зависимость интенсивности пропускания I при параллельных поляризаторах от приповерхностных углов θ и θ_{fixed} и толщины L слоя ЖК Для NSTB, то есть твист-бэнд ячейки ЖК с несимметричными приповерхностными углами. Угол θ_{fixed} изменяется от 0 до 75° сверху вниз.

3. Соломатин А.С., Мащенко В.И., Шашкова Ю.О., Беляев В.В. Особенности формирования микроструктуры и оптические свойства жидкокристаллических композитных твист-ячеек // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2017. № 2. С. 53–63.
4. Belyaev V.V., Chausov D.N., Solomatin A.S. Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration // Optics Express. 2013. V. 21. pp. 4244–4249.
5. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Kurilov A.D., Chausov D.N., Mazaeva V.G. Optical Properties of Hybrid Aligned Nematic (HAN) Cells with Different Pretilt Angles // Applied Optics, 2014. Vol. 53. Iss. 29. P. H51–H57.
6. Беляев В.В., Соломатин А.С. Оптические свойства гибридных жидкокристаллических ячеек при различных углах падения света // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 1. С. 41–48.
7. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. Phase retardation difference of liquid crystal cells with symmetric and asymmetric boundary conditions // Molecular Crystals & Liquid Crystals. 2014. Vol. 596. pp. 22–29.
8. Беляев В.В., Соломатин А.С., Чаусов Д.Н. Оптические свойства ЖК ячеек с произвольным краевым углом наклона директора // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2013. № 1. С. 32–41.
9. 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.
10. Коншина Е.А. Оптика жидкокристаллических сред. СПб: СПб НИУ ИТМО. 2012. 99 с.

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 90-ies]. Moscow, Khimiya Publ., 2000. 91 p.
3. Solomatin A.S., Mashchenko V.I., Shashkova YU.O., Belyaev V.V. [Features of forming microstructure and optical properties of composite of liquid crystal twist cells] In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2017, no. 2, pp. 53–63.
4. Belyaev V.V., Chausov D.N., Solomatin A.S. [Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration]. In: *Optics Express*, 2013, vol. 21, pp. 4244–4249.
5. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Kurilov A.D., Chausov D.N., Mazaeva V.G. [Optical Properties of Hybrid Aligned Nematic (HAN) Cells with Different Pretilt Angles]. In: *Applied Optics*, 2014, vol. 53, iss. 29, P. H51–H57.
6. Belyaev V.V., Solomatin A.S. [Optical properties of hybrid liquid crystal cell at various angles of incidence of light] In: *Opticheskii zhurnal* [Journal of Optical Technology], 2015, vol. 82, iss. 1, pp. 41–48.
7. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. [Phase retardation difference of liquid crystal cells with symmetric and asymmetric boundary conditions]. In: *Molecular Crystals & Liquid Crystals*, 2014, vol. 596, pp. 22–29.
8. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. [The optical properties of the LCD cell with arbitrary boundary angle of the Director] In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2013, no. 1, pp. 32–41.
9. Solomatin A.S. [Lenses based on liquid crystals with non-uniform radial distribution of the Director] In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-*

- matematika* [Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2016, no. 3, pp. 37–45.
10. Konshina E.A. *Optika zhidkokristallicheskikh sred* [Optics of liquid crystal media]. St. Petersburg, SPb NIU ITMO Publ., 2012. 99 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соломатин Алексей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, инженер учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии Московского государственного областного университета;
e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru;

Мащенко Владимир Игоревич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии Московского государственного областного университета;
e-mail: mashchenko@genebee.msu.su;

Беляев Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики Московского государственного областного университета;
e-mail: vic_belyaev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Victor V. Belyaev – Doctor in Engineering sciences, professor, head of the Department of Theoretical Physics, Moscow Region State University;
e-mail: vic_belyaev@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Соломатин А.С., Мащенко В.И., Беляев В.В. Оптические свойства жидкокристаллических композитных несимметричных твист-ячеек // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. 2017. № 4. С. 68–78.
DOI: 10.18384/2310-7251-2017-4-68-78

FOR CITATION

Solomatin A.S., Mashchenko V.I., Belyaev V.V. Optical properties of asymmetrical twist structures in a nematic liquid crystal composite. In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics*. 2017. no. 4. pp. 68–78.
DOI: 10.18384/2310-7251-2017-4-68-78