

УДК 771.36

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-37-45

ЛИНЗЫ НА ОСНОВЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ С НЕОДНОРОДНЫМ РАДИАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДИРЕКТОРА

Соломатин А.С.

*Московский государственный областной университет,
Учебно-научная лаборатория теоретической и прикладной нанотехнологии.
105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10А, Российская Федерация*

Аннотация. Получены расчётные данные о влиянии пространственного распределения директора ЖК на оптические свойства линзы ЖК. Предложены ориентационные распределения, пригодные к использованию как собирающая или как рассеивающая сферическая линза

Ключевые слова: линза ЖК, оптическая анизотропия, двулучепреломление, пространственно неоднородные структуры, оптические свойства.

LC LENSES WITH VARIOUS RADIAL ORIENTATIONAL DISTRIBUTION

A. Solomatina

*Education & Research Lab of Theoretical and Applied Nanotechnology,
Moscow State Regional University, ul. Radio 10a, 105005 Moscow, Russia*

Abstract. We have obtained data on the effect of the spatial distribution of the LC director on the optical properties of the LC lens. Orientation distributions are proposed, suitable for use as a collecting or scattering spherical lens.

Keywords: LC lens, optical anisotropy, birefringence, spatially inhomogeneous structure, optical properties.

1. Введение

Принципы и основы теории построения адаптивных линз (АЛ) рассмотрены в [1]. Повышение качества изображения, увеличение быстродействия и апертуры – основные тенденции их развития.

С изменением фазовой задержки слоя ЖК изменяется фокусное расстояние АЛ. Изменением параметров электрического поля (амплитуда, частота) осуществляется изменение фокусного расстояния АЛ. Фазовая задержка слоя ЖК изменяется при изменении зависящего от приложенного поля пространственного распределения директора ЖК.

Фокусное расстояние увеличивается с ростом диаметра микролинзы.

Если зависимость фазовой задержки от радиальной координаты квадратичная, то ЖК линза соответствует сферической линзе. Можно аналогично рассматривать зависимость необыкновенного показателя преломления от радиальной координаты, если толщина слоя ЖК одинакова по всему полю линзы и его радиальное ориентационное распределение одинаково по всему объёму ЖК слоя. Она соответствует сферической рассеивающей линзе, если разность показателей преломления возрастает квадратично от центра линзы (имеет форму параболы). Она соответствует сферической собирающей линзе, если разность показателей преломления убывает квадратично от центра линзы (имеет форму параболы).

2. Неоднородные ЖК структуры, формирующие микролинзу

В [2–6] рассмотрены нематические жидкокристаллические структуры с неоднородным распределением директора. На рис. 1 изображена предлагаемая ЖК структура.

Это упорядоченный (матрица из цилиндрических пор с ЖК микролинзами в них) блок микролинз, установленный перед матрицей фотоэлементов цифрового фотоаппарата на заранее определённом (толщина прозрачного слоя между матрицей линз и матрицей фотоэлементов) расстоянии, выбранном с учётом фокусного расстояния микролинз. Фотоэлементы стоят по осям микролинз, образуя матрицу с такими же пространственными характеристиками.

На рис. 2 представлена цилиндрическая пора, заполненная ЖК, для случая S распределения [2–6]. Это ЖК микролинза. У поверхности цилиндра угол директора ЖК отличается от угла посередине (на оси цилиндра, то есть линзы). Угол посередине равен нулю, то есть директор параллелен оси цилиндра (линзы).

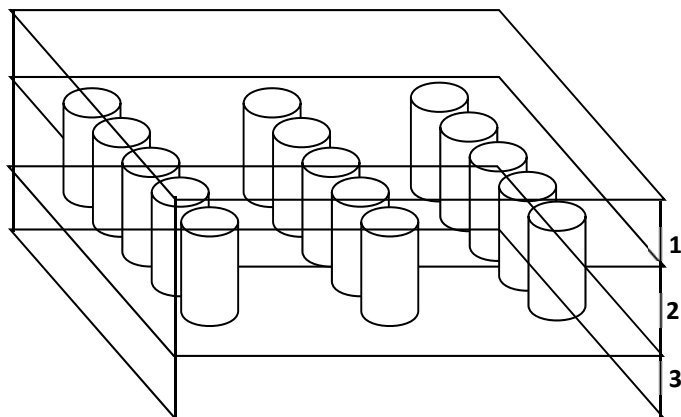


Рис. 1. Обозначения: 1 – прозрачный слой сверху (перед матрицей микролинз); 2 – непрозрачный слой, содержащий блок микролинз (цилиндрические поры, заполненные ЖК); 3 – прозрачный слой, отделяющий микролинзы от фотоэлементов. Фотоэлементы не показаны на рисунке. Свет падает сверху вниз.

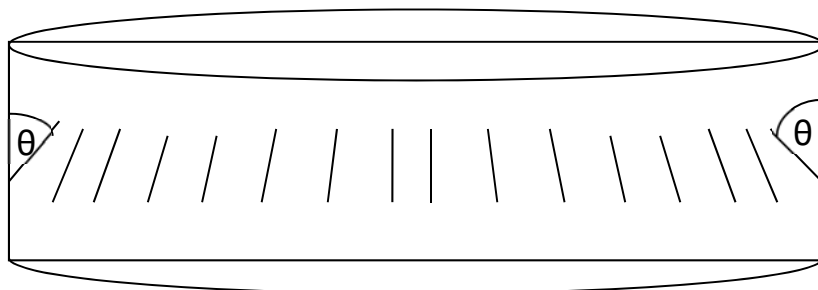


Рис. 2. ЖК микролинза. Цилиндрическая пора заполнена нематическим ЖК. Случай S распределения. Посередине директор ЖК параллелен оси линзы.

В данной работе распределение директора ЖК рассмотрено при отношении коэффициентов упругости от $K_{33}/K_{11}=0,5$ до $K_{33}/K_{11}=3$.

Распределения угла наклона директора ЖК по диаметру цилиндрической поры показаны на рис. 3. Приведены данные для S и B распределения [2–6].

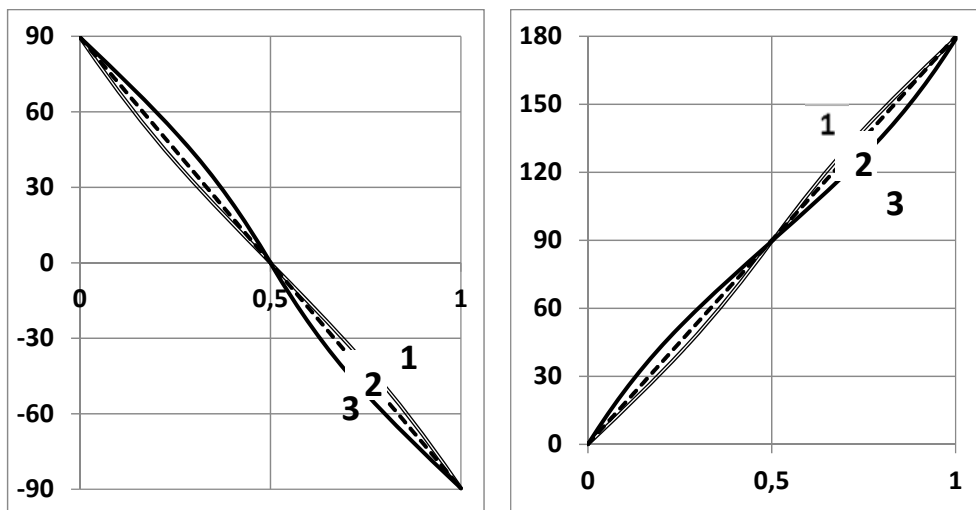


Рис. 3. Распределение угла наклона директора ЖК по диаметру микролинзы. Слева **S** распределение, справа **B** распределение. Отношение коэффициентов упругости: 1) $K_{33}/K_{11}=0,5$; 2) $K_{33}/K_{11}=1$; 3) $K_{33}/K_{11}=3$.

Достаточно обширны возможности управления ориентацией ЖК с помощью цилиндрического электрода (проводящего покрытия) на стенках цилиндрической поры и другого электрода, контакт которого расположен [1] на торцах цилиндра точно по оси. Так может прилагаться неоднородное электрическое поле. Электрическое поле может прилагаться и однородное с помощью прозрачных электродов [2–6] на торцах цилиндрической поры. Изменением параметров электрического поля (амплитуда, частота) осуществляется изменение фокусного расстояния адаптивной линзы (АЛ) [1]. Таким образом возможно управление оптическими свойствами микролинзы.

Можно получить микролинзу, аналогичную сферической, и без приложения поля. ЖК линза, как уже упоминалось выше, соответствует сферической линзе, если квадратична зависимость от радиальной координаты для необыкновенного показателя преломления.

В данной работе впервые предложены микролинзы ЖК **S** и **B** типов.

3. Микролинзы ЖК **S** и **B** типов

Для различных ЖК линз (различных ориентационных распределений) зависимости показателя преломления от радиальной координаты были

смоделированы. На рис.4 приведены данные для ориентационных распределений S типа.

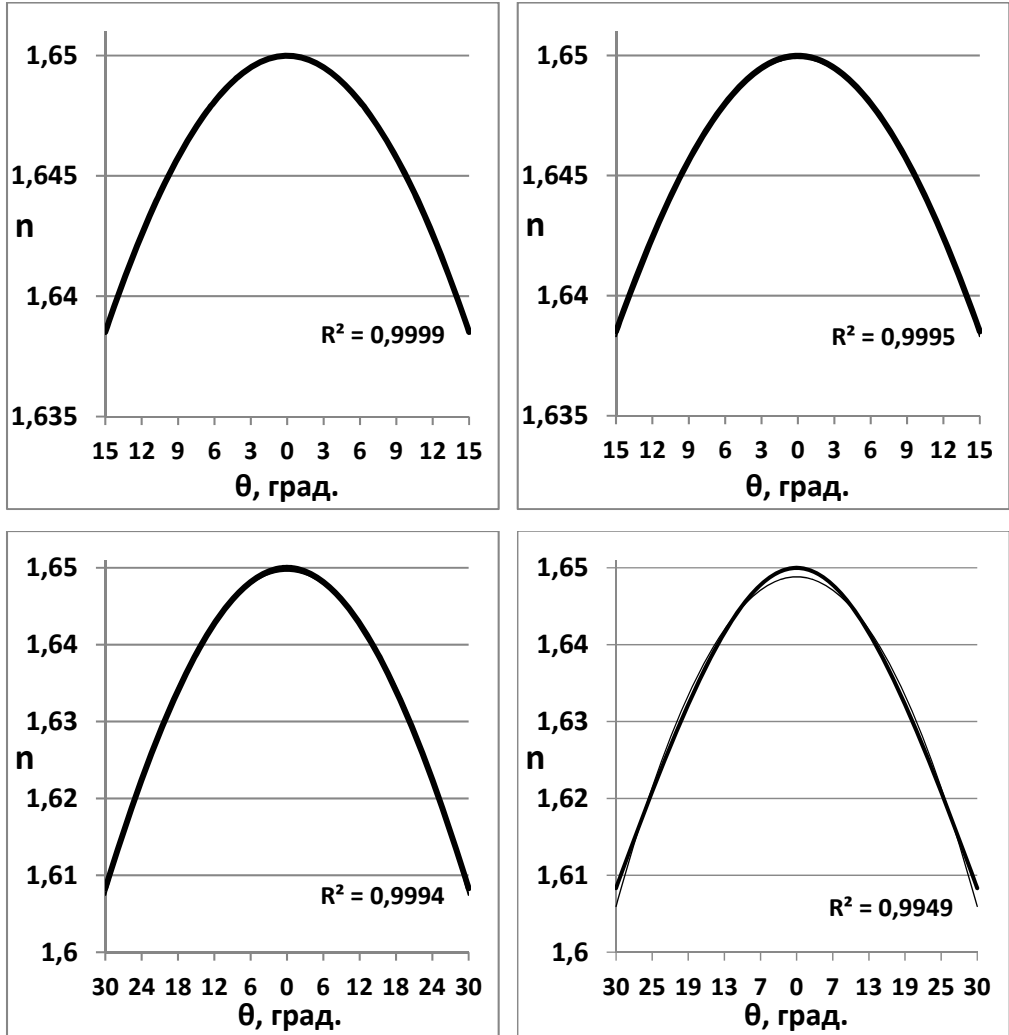


Рис. 4. Зависимость показателя преломления от угла наклона директора ЖК для цилиндрической поры с S распределением.

Слева $K_{33}/K_{11}=0,5$. Справа $K_{33}/K_{11}=3$.

На рис. 5 приведены данные для распределений B типа. Показатель преломления n вычисляется [1] по формуле:

$$n = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \theta + n_e^2 \sin^2 \theta}},$$

где угол θ зависит от радиальной координаты.

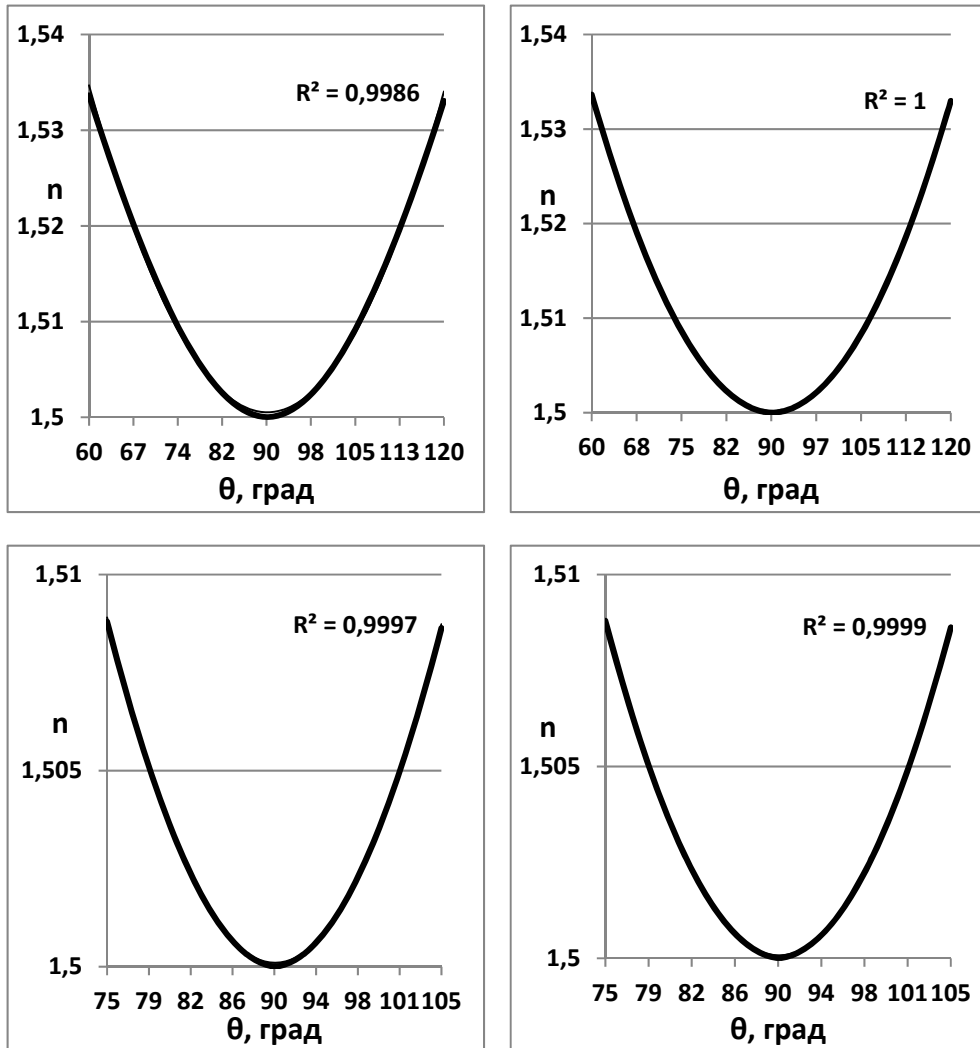


Рис. 5. Зависимость показателя преломления от углов наклона директора ЖК. Микролинзы с B распределением директора ЖК. Слева $K_{33}/K_{11}=0,5$. Справа $K_{33}/K_{11}=3$

Значения отношения коэффициентов упругости K_{33}/K_{11} в пределах от $K_{33}/K_{11}=0,5$ до $K_{33}/K_{11}=3$. Угол наклона директора ЖК, как показано на рис.3,

распределен по радиальной координате нелинейно при K_{33}/K_{11} отличном от единицы. В связи с этим по горизонтальной оси на рис.4 и рис.5 указаны углы наклона директора.

Для радиальной координаты по горизонтальной оси выбран линейный масштаб. Вследствие нелинейности зависимости углов наклона директора от радиальной координаты, они распределены вдоль горизонтальной оси неравномерно. Показано сравнение с квадратичной функцией для зависимости $n(r)$ показателя преломления от радиальной координаты. Параметр R^2 , показывающий их расхождение, крайне близок к единице. Радиальная координата на горизонтальной оси не подписана.

Зависимость показателя преломления от радиальной координаты, как видно из рис. 4, квадратична при небольших угловых диапазонах. Микролинза ЖК аналогична сферической линзе при приповерхностных углах до 30° . На практике механообработкой (формированием микрорельефа) и выбором покрытия (ориентанта) цилиндрической поверхности такие приповерхностные углы для **S** распределения вполне реализуемы [2–6].

Она соответствует сферической собирающей линзе, так как разность показателей преломления убывает квадратично от центра линзы.

Зависимость показателя преломления от радиальной координаты, как видно из рис. 5, квадратична при небольших угловых диапазонах. Таким образом, микролинза ЖК аналогична сферической линзе при приповерхностных углах более 60° . Для **B** распределения вполне реализуемы такие приповерхностные углы [2–6] на практике. Микролинза соответствует сферической рассеивающей линзе, разность показателей преломления возрастает квадратично от центра.

Отношение K_{33}/K_{11} играет, в целом, важную роль для оптических свойств ЖК слоя, но, как видно из рис. 4 и рис. 5, при небольших угловых диапазонах эффект от изменения K_{33}/K_{11} небольшой.

4. Выводы

Впервые предложены микролинзы ЖК **S** и **B** типов.

Смоделированы зависимости показателя преломления от радиальной координаты для различных ЖК линз.

Показано, что есть достаточно обширные возможности управления оптическими свойствами микролинзы, изменяя приложенным полем ориентацию ЖК.

Показано, что микролинзу, аналогичную сферической, можно получить и без приложения поля. Указаны диапазоны углов и оценено влияние упругих свойств ЖК.

Предложен блок микролинз, установленный перед матрицей фотоэлементов цифрового фотоаппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невская Г.Е., Томилин М.Г. Адаптивные линзы на основе жидких кристаллов // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 9. С. 35–48.
2. Belyaev V., Solomatin A., Chausov D. Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration // Optics Express. 2013. Vol. 21, pp. 4244–4249.
3. 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. Issue 29. pp. H51–H57.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

REFERENCES

1. Nevskaya G.E., Tomilin M.G. Adaptive lenses based on liquid crystals // Opticheskiy zhurnal. Vol. 75. 2008. no. 9. pp. 35–48.
2. Belyaev V., Solomatin A., Chausov D. Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration // Optics Express. 2013. Vol. 21, pp. 4244–4249.

3. 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. Issue 29. pp. H51–H57.
4. Belyaev V.V., Solomatin A.S. Opticheskie svoystva gibridnykh zhidkokristallicheskiy yacheek pri razlichnykh uglakh padeniya sveta [Optical properties of hybrid liquid crystal cell at various angles of incidence of light] // *Opticheskii Zhurnal*. Vol. 82. 2015. no. 1. pp. 41–48.
5. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. Opticheskie svoystva ZHK yacheek s proizvol'nym kraevym uglom naklona direktora [The optical properties of the LCD cell with arbitrary boundary angle of the Director] // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya «Fizika-Matematika»*. 2013. no. 1. pp. 32–41.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Solomatin Aleksei Sergeevich – candidate of physical and mathematical sciences, engineer of the Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology at the Moscow State Regional University;

e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Соломатин А.С. Линзы на основе жидких кристаллов с неоднородным радиальным распределением директора. // *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика*. 2016. № 3. С. 37–45.

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-37-45.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

A. Solomatin LC lenses with various radial orientational distribution. // *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics*. 2016. no. 3. pp. 37–45.

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-37-45.