

УДК 532.783

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩЕНИЯ
ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА
В ОБОГАЩЕННОЙ НАНОЧАСТИЦАМИ
ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОЙ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ
С АНИЗОТРОПНЫМ ДЕФЕКТНЫМ СЛОЕМ**

Э.С. КАРАГУЛЯН

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

e-mail: herminegharagulyan@ysu.am

(Поступила в редакцию 16 апреля 2015 г.)

Экспериментально показано, что в обогащённых наночастицами холестерических жидкокристаллических ячейках селективным отражением в видимом диапазоне света можно индуцировать дефект, управляемый внешним электрическим полем, и контролировать вращение плоскости поляризации света с помощью индуцированного дефекта. Основным результатом эксперимента является тот факт, что вращение плоскости поляризации света имеет место при более низких напряжениях, когда холестерический жидкий кристалл обогащён наночастицами. Представлена новая конфигурация жидкокристаллического устройства, которое работает в качестве контролирующего линейного поляризатора как для поляризованного, так и неполяризованного света.

1. Введение

Холестерические жидкие кристаллы (ХЖК) представляют особый интерес в силу их спонтанного самоорганизующего свойства и того факта, что фотонную запрещенную зону можно контролировать в широком диапазоне частот. С точки зрения оптических свойств главной особенностью холестериков является спиральная структура оси директора. Такая спиральность вызывает селективное отражение и прохождение кругового поляризованного света [1–2]. Другая их особенность заключается в том, что ХЖК являются оптически активными структурами. Такие среды принадлежат к классу одномерных хиральных фотонных кристаллов (ХФК). Главное различие между ХФК и обычными фотонными кристаллами состоит в том, что в ХФК фотонная запрещенная зона существует лишь для одной круговой поляризации, которая совпадает со знаком спирали хиральной среды в случае нормального падения света. Исследования ХЖК показали, что в фотонной запрещенной зоне можно создавать локализованные дополнительные моды с помощью индуцирования дефекта в периодической структуре [3–6]. С этой точки зрения очень важно исследовать жидкокристаллические среды с учетом возможности их контроля с помощью

внешних полей (в том числе оптических) [7].

В последнее время наблюдается большой интерес к ХЖК, обогащенным наночастицами (см. [8] и ссылки в ней). Наличие наночастиц (ферроэлектрических или ферромагнитных) в хиральной структуре приводит: к существенному повышению его локальной диэлектрической и магнитной анизотропии; к существенному изменению критической температуры фазового перехода «изотропная фаза – жидкий кристалл»; к значительному изменению фотонной запрещенной зоны (ширина и локализация частоты); изменению коэффициентов эластичности ХЖК; значительному увеличению возможности настройки ХЖК и так далее.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование поведения поляризации света в обогащённых наночастицами ХЖК средах в присутствии индуцированного планарного дефекта.

2. Подготовка образца

Для исследования вращения плоскости поляризации была подготовлена обогащенная наночастицами ХЖК ячейка, со смесью правовращающего пеларгоната ($C_{36}H_{62}O_2$), левовращающего олеата ($C_{45}H_{78}O_2$) и нематического жидкого кристалла E7 в весовом соотношении соответственно 30:60:10, а в качестве наночастиц был использован ферроэлектрик $BaTiO_3$, плотность которого в структуре составляет 1%. Параметры ХЖК: $\epsilon_1 = 2.85$, $\epsilon_2 = 2.47$. Смесь имела зеленый цвет и освещалась лазерным излучением с длиной волны 530 нм. Толщина образца составляла 40 мкм. Сначала стеклянные подложки с ИТО покрытием были тщательно очищены, затем внутренние стенки стеклянных подложек были покрыты тонкими полимерными слоями. Далее подложки были обработаны

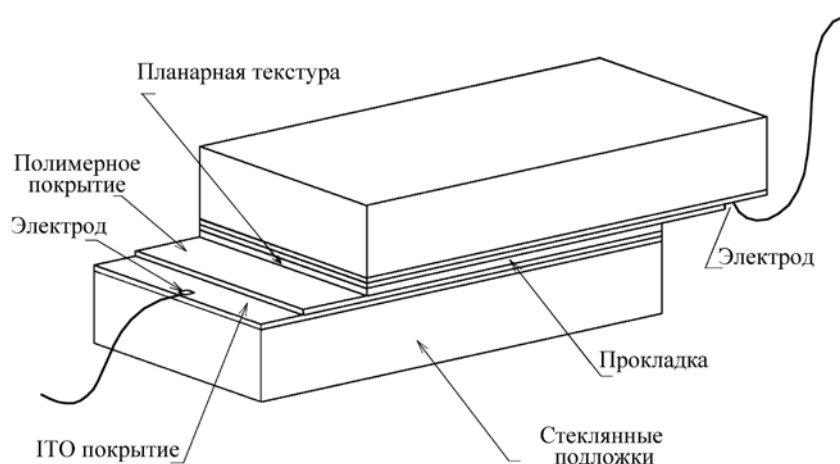


Рис.1. ХЖК ячейка типа «сэндвич». Лазерное излучение распространяется перпендикулярно поверхности ячейки ХЖК.

специальным материалом, в результате чего директор ХЖК был ориентирован в направлении, параллельном поверхностям стенок, а это указывает на то, что ось спирали перпендикулярна поверхности ячейки. Смесь вводилась в ячейку капиллярным методом. Электроды имели толщину 1 мкм, а расстояние между ними составляло 1 мм. На рис.1 показана используемая в эксперименте ХЖК ячейка типа «сэндвич».

3. Эксперимент

В эксперименте использовался ХФК с анизотропным дефектным слоем, являющимся планарным ХЖК, в котором дефект индуцировался внешним электрическим полем. Приложенное к ячейке ХЖК поле меняет направление ориентации молекул (направление директора). По нашим оценкам, нелокальность поля приводит к индуцированию дефекта с толщиной 2 мкм. Как показано на рис.2, наблюдались три случая индуцирования дефекта: вблизи входной стенки ячейки, в центре ячейки и вблизи выходной стенки ячейки. Прикладывая напряжение к специально установленным электродам, мы тем самым меняем расположение дефекта в жидкокристаллической системе. При некоторых значениях приложенного напряжения анизотропный слой действует как полуволновая пластина, которая меняет направление вращения поляризации [9]:

$$d \sim \frac{\lambda}{2(n_e - n_o)}, \quad (1)$$

где d – толщина слоя дефекта, λ – длина волны, n_o и n_e – соответственно показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волны. Известно, что циркулярно поляризованный свет, отраженный от ячейки ХЖК, не меняет направление поляризации. Если дефект расположен в центре ячейки, то левая и правая поляризации отражаются. Если дефект расположен вблизи стенки, то одна из поляризаций проходит, а другая отражается.

Для исследования вращения плоскости поляризации вначале нами была выявлена зона селективного отражения и для этой зоны было исследовано

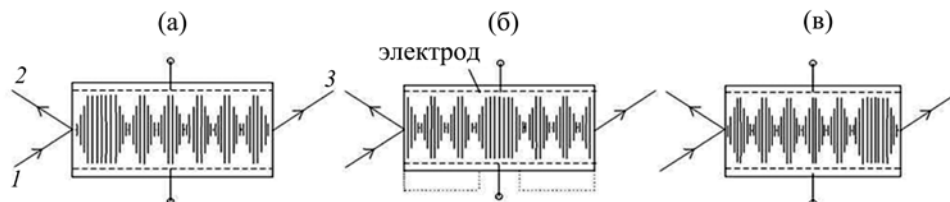


Рис.2. Схематическая диаграмма ячейки ХЖК с анизотропным дефектом, который индуцирован: (а) вблизи входной стенки ячейки ХЖК, (б) в середине, (в) вблизи выходной стенки ячейки ХЖК. 1, 2 и 3 – падающий, отраженный и проходящий лучи, соответственно.

вращение плоскости поляризации. Для исследуемого образца зона селективного отражения находилась в области 15–25°C. На рис.3 показана схема экспериментальной установки. В качестве источника света использовался непрерывный лазер с длиной волны 530 нм и с максимальной мощностью 30 мВт. Лазерное излучение, проходя через призму и поляризатор, становится линейно поляризованным, и после пластины $\lambda/4$ становится циркулярно поляризованным (внешний модулятор использовался для прерывного режима работы лазера). Свет падает на микрохолодильник (температура микрохолодильника плавно меняется с помощью термоконтроллера) и распространяется через ячейку ХЖК, после чего проходит через второй поляризатор (поляризаторы скрещены), попадает на фотодиод и регистрируется осциллографом.

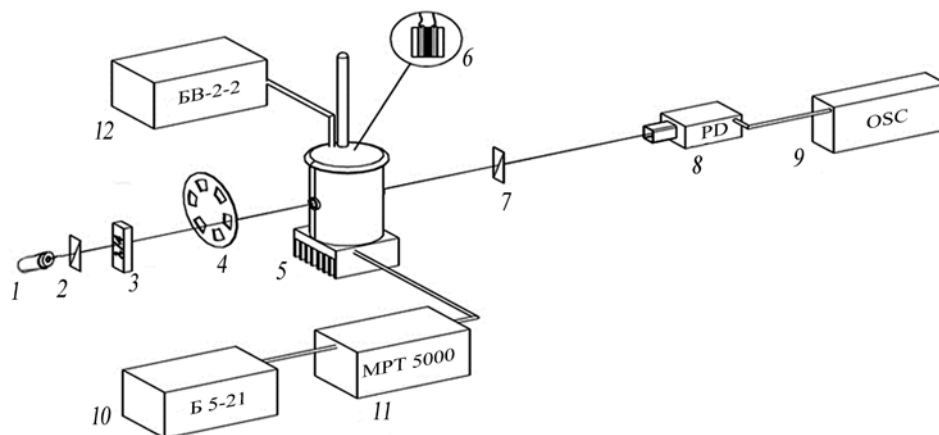


Рис.3. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер, 2 – поляризатор, 3 – пластина $\lambda/4$, 4 – модулятор, 5 – микрохолодильник, 6 – ячейка ХЖК, обогащенная наночастицами, 7 – поляризатор, 8 – фотодиод, 9 – осциллограф, 10 – источник постоянного тока, 11 – термоконтроллер, 12 – источник постоянного напряжения.

4. Результаты и их обсуждение

Предварительно, до изучения поворота плоскости поляризации света, были исследованы спектры отражения в ХЖК структурах, обогащенных наночастицами и без них. Результаты этих исследований приводятся на рис.4. Как видно из рисунка, при обогащении наночастицами ХЖК структур спектр отражения смещается в сторону коротковолновой области и расширяется.

Изменяя внешнее электрическое поле в интервале 500–950 В, измеряли угол вращения эллипса поляризации по отношению к начальному направлению. Для определения начального направления вращали выходной поляризатор на угол $\pi/4$ от скрещенной позиции поляризаторов. На рис.5 представлена зави-

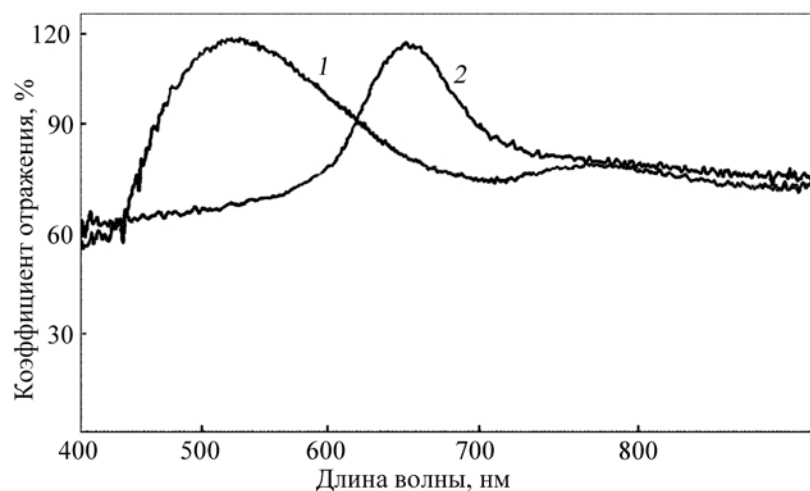


Рис.4. Спектры отражения в ХЖК структурах (обогащенные наночастицами (1) и без них (2)).

симось угла поворота плоскости поляризации от приложенного напряжения для ХЖК структур, обогащенных наночастицами и без них (дефект расположен в центре ячейки). Как видно из рис.5, в обогащенных наночастицами ХЖК ячейках плоскость поляризации света вращается при более низких напряжениях.

Проведенные исследования показывают, что когда дефект индуцируется вблизи входной стенки ячейки, плоскость поляризации вращается лишь на

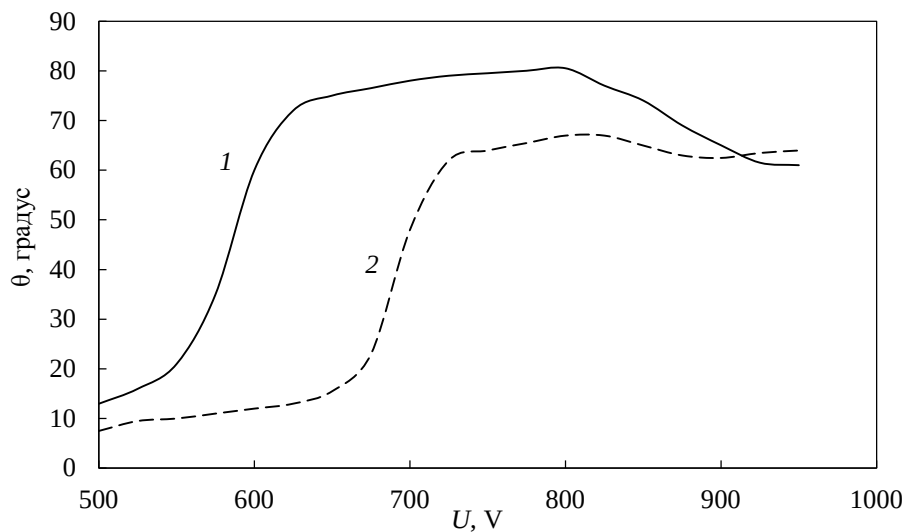


Рис.5. Зависимость угла поворота плоскости поляризации от приложенного напряжения для ХЖК структур, обогащенных наночастицами (1) и без них (2).

несколько градусов. При индуцировании дефекта в центре ячейки ХЖК вращение плоскости поляризации значительно и лишь при индуцировании дефекта вблизи выходной стенки ячейки вращение плоскости поляризации максимально [10]. Исследована также эллиптичность поляризации при нормальном падении света. Измерения были выполнены для различных температур в зоне селективного отражения исследуемого образца. При передвижении дефекта с одного конца ячейки к другому эллиптичность поляризации меняется.

5. Заключение

В работе экспериментально исследована возможность индуцирования дефекта в ячейке ХЖК, а также рассмотрено поведение поляризации света при индуцированном дефекте в ХЖК средах. Исследовано влияние положения дефектного слоя в ячейках ХЖК, а также показано, что с помощью индуцированного дефекта можно контролировать вращение плоскости поляризации света.

Важнейшим результатом проведенного эксперимента является тот факт, что плоскость поляризации света вращается при более низких напряжениях, когда ХЖК обогащен наночастицами. В результате эксперимента установлено, что вращение плоскости поляризации максимально, когда свет вначале распространяется через ХЖК фотонную структуру и затем падает на анизотропный слой.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГКН МОН РА (грант 13–1с240) и Армянского национального фонда науки и образования (ANSEF опт–3517).

Автор благодарен Р.Б. Алавердян за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Yu. Kolomzarov, A. Kozachenko, B. Lev, V. Nazarenko, V. Sorokin.** Jpn. J. Appl. Phys., **38**, 814 (1999).
2. **P.G. de Gennes, J. Prost.** The Physics of Liquid Crystals. Oxford, Clarendon Press, 1993.
3. **P.R. Villeneuve, S. Fan, J.D. Joannopoulos.** Phys. Rev. B, **54**, 7837 (1996).
4. **E. Yablonovitch, T.J. Gmitter.** Phys. Rev. Lett, **67**, 3380 (1991).
5. **A.H. Gevorgyan, M.Z. Harutyunyan.** J. Mod. Opt., **56**, 1163 (2009).
6. **A. Lakhtakia, V.C. Venugopal, M.W. McCall.** Opt. Commun, **177**, 57 (2000).
7. **F. Simoni.** NLO Properties of LC and PDLC. Singapore, World Scientific, 1997.
8. **S.-C. Jeng, S.-J. Hwang, Y.-H. Hung, S.-C. Chen.** Opt. Express, **18**, 22572 (2010).
9. **Р.Б. Алавердян, К.Р. Аллахвердян, А.А. Геворгян, А.Д. Чилингарян, Ю.С. Чилингарян.** ЖТФ, **80**, 85 (2010).
10. **R.B. Alaverdyan, A.H. Gevorgyan, H.S. Gharagulyan, H.H. Grigoryan.** Mol. Cryst. Liq. Cryst., **559**, 23 (2012).

ԼՈՒՅՍԻ ԲԵՎԵՌԱՅՄԱՆ ՀԱՐԹՈՒԹՅԱՆ ՊՏՈՒՅՏԻ
ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱՆԻՋՈՏՐՈՊ ԱՐԱՏԱՅԻՆ ՇԵՐՏՈՎ
ՆԱՆՈՄԱՍՆԻԿՆԵՐՈՎ ՀԱՐՍՏԱՅՎԱԾ ԽՈԼԵՍՏԵՐԻԿ
ՀԵՂՈՒԿ-ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ԲԶԶՈՒՄ

Հ.Ս. ՂԱՐԱԳՈՒԼՅԱՆ

Փորձնականորեն ցույց է տրված, որ լույսի տեսանելի տիրույթում ընտրողաբար անդրադարձման հատկությամբ օժտված նանոմասնիկներով հարստացված խոլեստերիկ հեղուկ-բյուրեղային բջիջներում հնարավոր է մակածել արտաքին էլեկտրական դաշտով կառավարվող արատ և մակածված արատի միջոցով հնարավոր է կառավարել լույսի բևեռացման հարթության պտույտը: Փորձի հիմնական արդյունքն այն փաստն է, որ լույսի բևեռացման հարթության պտույտը տեղի ունի ավելի ցածր լարումների դեպքում, երբ խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղը հարստացված է նանոմասնիկներով: Մեր կողմից ներկայացված է հեղուկ-բյուրեղային սարքի նոր կոնֆիգուրացիա, որն աշխատում է որպես կառավարվող գծային բևեռացուցիչ ինչպես բևեռացած, այնպես էլ չբևեռացած լույսի համար:

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POLARIZATION PLANE ROTATION
OF LIGHT IN NANOPARTICLE-ENRICHED CHOLESTERIC
LIQUID CRYSTAL CELL WITH AN ANISOTROPIC DEFECT LAYER

H.S. GHARAGULYAN

The possibility of defect induction controlled by external electric field in nanoparticle-enriched cholesteric liquid-crystalline cells with selective reflection in visible range of light and control the rotation of polarization plane of light by induced defect was experimentally demonstrated. The main result of the experiment is the fact that the rotation of the polarization plane of light occurs at lower voltages when the cholesteric liquid crystal is enriched by nanoparticles. A new configuration of liquid crystal device that performs as a tunable linear polarizer for both polarized and unpolarized lights is presented.