

Key words. Soliton, vertical mode, nonlinearity, the modified Korteweg - de Vries equation

УДК 535.31

ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМОГО ФАЗОВОГО ТРАНСПАРАНТА

Е.В. Бурый, Д.А. Семеренко

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5*

Аннотация. Обоснована целесообразность применения фазового транспаранта для формирования псевдослучайных реализаций отсчетов поля интенсивностей излучения при изучении свойств корреляционной функции 6-го порядка этого поля. Предложен способ построения фазового транспаранта, основанный на применении ячеек, заполненных нематическим жидким кристаллом, в которых реализована переменная величина зазора между стеклами с прозрачными электродами. Показано, что технологичная в изготовлении ячейка с клиновидным зазором обеспечивает реализацию требуемых величин фазового сдвига, а система таких последовательно расположенных ячеек позволит увеличить число формируемых статистически независимых реализаций отсчетов поля интенсивностей излучения.

Ключевые слова: жидкий кристалл, корреляционная функция, фазовый транспарант

Введение

В задачах исследования характеристик корреляционных функций (КФ) высших порядков поля излучения возникает необходимость формирования независимых реализаций поля когерентного излучения и получаемых реализаций отсчетов интенсивностей, используемых для построения КФ [1 – 4].

Широко применяемый способ формирования таких реализаций поля когерентного излучения, основанный на прохождении когерентного излучения лазера через стеклянный диск с односторонним матированием [2], не позволяет сформировать реализации отсчетов поля интенсивностей, полностью удовлетворяющих требованиям их статистической независимости при одновременном выполнении условия сохранения фазовых соотношений КФ 6-го порядка. Имеющее место частичное нарушение фазовых соотношений для КФ 6-го порядка обусловлено особенностями взаимодействия когерентного излучения с микронеровностями шероховатой поверхности стеклянного диска.

Альтернативным решением является применение фазового транспаранта, обеспечивающего псевдослучайное изменение фазы излучения в различных областях сечения луча, проходящего через этот транспарант. Такой транспарант можно реализовать, используя жидкокристаллические ячейки.

Оптические свойства жидких кристаллов, обеспечивающие возможность построения фазового транспаранта

Жидкие кристаллы (ЖК) находят широкое применение в различных приложениях оптоэлектроники. Наиболее широко используются термотропные ЖК, физические свойства которых зависят от температуры. Разновидностью термотропных ЖК является

нематический ЖК (НЖК), который характеризуется дальним ориентационным порядком и представляет собой оптически одноосный кристалл [8].

Принцип работы активных оптических ЖК элементов основан на изменении величины двулучепреломления Δn ЖК за счёт переориентации его молекул под действием внешних полей – электрического, магнитного или теплового [9]. Для обеспечения максимального диапазона изменения величины Δn в ячейке, содержащей НЖК с положительной диэлектрической анизотропией $\Delta\epsilon$, создают планарную ориентацию молекул ЖК. Если $\Delta\epsilon < 0$, то в ячейке создают гомеотропную ориентацию молекул. Однако, в этом случае диапазон изменения величины Δn оказывается в несколько раз меньшим по отношению к случаю использования НЖК с $\Delta\epsilon > 0$ [8].

Экспериментально установлена зависимость уменьшения величин Δn и вязкости НЖК при увеличении температуры. Для НЖК существует температура T_c , которую часто называют температурой просветления, при превышении которой ЖК приобретает свойства обычной изотропной жидкости [7, 8].

При положительных температурах, меньших T_c , зависимость Δn от температуры T определяется эмпирическим выражением [5]:

$$\Delta n \cong g_0 \frac{\lambda^2 \lambda^{*2}}{\lambda^2 - \lambda^{*2}} \exp\left[-(T - T_0)/T_c \left(1 - \frac{0,98T}{T_c}\right)^{0,22}\right],$$

где λ – длина волны излучения, λ^* – резонансная длина волны ЖК, $T_0 \approx 293\text{K}$, g_0 – нормировочная константа, зависящая от типа НЖК.

Изменение величины Δn НЖК также достигается за счёт создания переменного во времени электрического поля, наличие которого приводит к возникновению ориентационного эффекта в ячейке с НЖК. Ориентирующее действие электрического поля связано с анизотропией диэлектрической проницаемости ЖК [8]. Обычно это поле создают, прикладывая к прозрачным электродам ячейки переменное напряжение. В результате переориентации молекул НЖК изменяется величина Δn :

$$\Delta n = \frac{1}{d} \int_0^d [n_e(z) - n_o] dz, \quad (1)$$

где $n_e(z)$ – функция значений показателя преломления n_e необыкновенного луча, вид которой зависит от величины напряженности электрического поля в ячейке, z – координата в направлении, перпендикулярном плоскости ячейки, n_o – показатель преломления обыкновенного луча, d – зазор ячейки, заполненная ЖК [5]. Изменение Δn приводит к изменению величины фазовой задержки излучения $\Delta\varphi$, проходящего через ячейку:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} (n_e(\theta) - n_o). \quad (2)$$

Таким образом, управляемый фазовый транспарант на основе ячейки с НЖК может

быть создан, если удастся обеспечить управляемое изменение функции $n_e(z)$ для различных областей поперечного сечения ячейки.

Очевидно, что изменять вид $n_e(z)$ НЖК в различных областях ячейки путем формирования пространственно-случайного поля температур технически сложно. Кроме того, инерционность тепловых процессов существенно ограничивает достижимую скорость формирования реализаций профиля $\Delta\varphi$ (экспериментально установлено, что постоянная времени может составлять 5...10 с вследствие низкой теплопроводности стекол ячейки). Формирование планарной многоэлектродной структуры для реализации пространственных неоднородного электрического поля требует значительных аппаратных затрат для реализации управления транспарантом.

Управляемый фазовый транспарант на основе жидкого кристалла

Из (1) следует, что изменение фазы в различных областях сечения луча, проходящего через ячейку, заполненную ЖК, возможно, если в пределах плоскости ячейки реализована пространственная неоднородность толщины слоя ЖК – рис.1.

Основной проблемой создания такой ячейки является изготовление оптически прозрачного стекла, одна поверхность которого представима случайной двумерной функцией, характеризующей средней высотой профиля сечения h и средним периодом положения локальных максимумов r . Кроме проблем технологического характера, при реализации такой ячейки возникает проблема обеспечения необходимой электрической прочности при малой величине H .

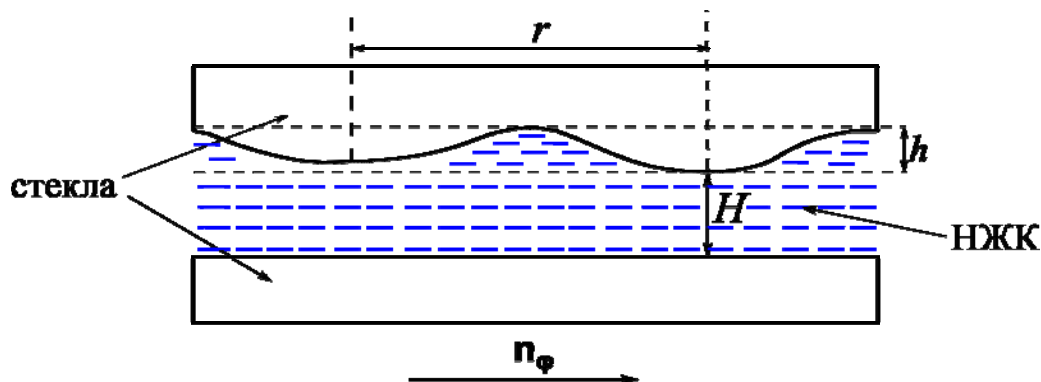


Рис.1. Ячейка с одним стеклом переменного профиля, заполненная НЖК

Оценку величины $\Delta\varphi$, реализуемой в пределах рабочей области ячейки с НЖК можно получить, используя уравнение (2). Угол θ отклонения директора НЖК найдем из выражения:

$$\frac{U}{U_{tr}} = 1 + \frac{1}{4} \left(1 + k + \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon_{\perp}} \right) \theta^2,$$

где $U_{tr} = \pi\sqrt{4\pi k / \Delta\varepsilon}$ – пороговое напряжение, k – эффективная константа упругости Франка, $\Delta\varepsilon$ – диэлектрическая анизотропия, $\varepsilon_{\perp}$ – диэлектрическая проницаемость НЖК в направлении, перпендикулярном направлению преимущественной ориентации молекул. Величина k определяется формулой:

$$k = \frac{K_{33} - K_{11}}{K_{11}},$$

где K_{11} – коэффициент поперечной деформации ЖК, K_{33} – коэффициент продольной деформации ЖК.

Напряжение $U > U_{tr}$, приложенное к ячейке, вызывает изменение ориентации θ директора НЖК, и, следовательно, приводит к изменению показателя преломления необыкновенного луча:

$$n_e(\theta) = \frac{n_e \cdot n_o}{\sqrt{n_e^2 \cdot \cos^2(\theta) + n_o^2 \cdot \sin^2(\theta)}}.$$

Анализ показывает, что для смеси НЖК Е7 с параметрами $n_e = 1,727$, $n_o = 1,518$, $\varepsilon_{\perp} = 5,2$, $\Delta\varepsilon = 13,8$ значение $\Delta\varphi$ может изменяться в пределах от 0 до π рад при $h = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м и изменении управляющего напряжения U от 2 до 8 В. Заметим, что величина H , которая должна существенно превышать h для обеспечения необходимой электрической прочности ячейки (опыт создания ЖК ячеек показывает [6], что целесообразно обеспечить $H = 5 \dots 10 \cdot 10^{-6}$ м), не оказывает существенного влияния на реализуемую величину $\Delta\varphi$.

Величина r будет определять характерный размер области сечения луча, в пределах которой изменение фазы будет значимым. Отметим, что формирование поверхности с величиной r , меньшей $1 \cdot 10^{-4}$ м, представляется трудно разрешимой задачей. Использование поверхностей с большими значениями r приводит к уменьшению числа пространственных степеней свободы поля формируемого излучения. Кроме того, практическая реализация ячейки с ЖК такой конструкции осложняется невозможностью обеспечения взаимного положения стекол при сборке ячейки по традиционной технологии, основанной на использовании спейсеров [6].

Альтернативным решением является применение клиновидной ячейки с ЖК – рис.2. Основным недостатком использования такой ячейки в качестве фазового транспаранта является выраженное линейное изменение фазы излучения в одном направлении, которое будем характеризовать вектором $\mathbf{n}_{\varphi}$. Этот недостаток можно компенсировать, расположив несколько клиновидных ячеек последовательно таким образом, чтобы векторы $\mathbf{n}_{\varphi}$ каждой ячейки были не коллинеарны.

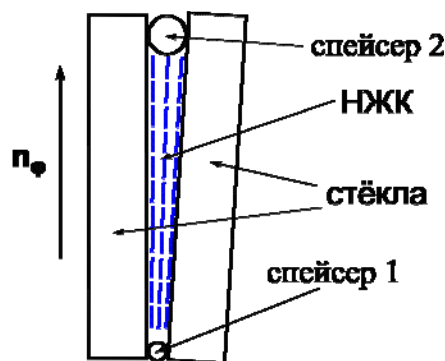


Рис.2. Ячейка клиновидной формы с НЖК

Как показали эксперименты, проведенные с заполненной смесью НЖК Е7 клиновидной ячейкой (толщины спейсеров 1 и 2 – $10 \cdot 10^{-6}$ и $15 \cdot 10^{-6}$ м соответственно), даже такой простейший фазовый транспарант пригоден для проведения экспериментальных исследований корреляционных функций высших порядков поля излучения. При изменении напряжения U в пределах от 2,2 до 10,0 В удалось сформировать более 30 реализаций отсчетов интенсивностей (по 600 отсчетов в каждой реализации) поля излучения He-Ne лазера с $\lambda = 0,633 \cdot 10^{-6}$ м, прошедшего через фазовый транспарант. Эти реализации удовлетворяют условиям формирования независимых реализаций отсчетов КФ 6-го порядка.

Заключение

Показано, что управляемый фазовый транспарант, обеспечивающий псевдослучайное изменение величины фазового сдвига $\Delta\varphi$ в пределах его рабочей области, может быть создан на основе ячейки с переменной величиной зазора, заполненной НЖК. Система ячеек с клиновидными зазорами обеспечивает величину фазового сдвига в пределах $0 \dots \pi$ рад и более. Для обеспечения такого фазового сдвига величина угла при вершине клина каждой ячейки должна составлять не менее $2 \cdot 10^{-3}$ рад. Целесообразно независимо изменять величины управляющих напряжений каждой ячейки, что обеспечит формирование псевдослучайных реализаций фазовых сдвигов в пределах рабочей области транспаранта.

Работа поддержана грантом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» НК-530П/3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый, Е.В., Митрофанов А.Л. Оценка функции когерентности 4-го порядка методом пространственной свертки и перспективы ее применения в лазерных информационных системах // Квантовая электроника, 1996. – Т. 23, № 5. – с. 460 - 464.
2. Бурый, Е.В., Митрофанов А.Л. Точность измерения углового радиуса объекта по оценкам функции когерентности четвертого порядка в оптически однородных и турбулентных средах // Квантовая электроника. – 1997. – Т. 24, № 1. – с. 82 – 84.
3. Бурый, Е.В., Косыгин А.А. Оценка габаритных угловых размеров объектов в условиях регистрации поля излучения малой интенсивности // Квантовая электроника, 2008. – Т. 38, № 2. – С. 194 – 198.
4. Brown, H.R, Twiss R.Q. “A test of a new type of stellar interferometer on Sirius” // Nature. – 1956. – V. 178. – p. 1046 – 1048.
5. De Bougrenet, J.L., De La Tournaye. Engineering liquid crystals for optimal uses in optical communication systems. // Liq. Cryst. – 2004. - Vol. 31, N. 2. – p. 241-269
6. Deng-Ke Yang, Shin-Tson Wu. Fundamentals of Liquid Crystal Devices. – London: “Wiley”, 2006
7. Dunmur, D. Fukuda A., Luckhurst G. Physical properties of Liquid crystals: Nematics. – London: “INSPEC”, 2001
8. De Gennes, P.G. and Prost J. The Physics of Liquid Crystals. – New York: “Oxford University press”, 1993
9. Iam-Choon Khoo. Liquid Crystals. – London: “Wiley”, 2007

USAGE OF LIQUID CRYSTAL FOR IMPLEMENTATION SPATIAL LIGHT PHASE MODULATOR

E. Buryi, D. Semerenko

*N.E. Bauman Moscow State Technical University
5, 2-nd Baumanskaya, Moscow, 105005, Russia*

Abstract. Expediency of spatial light phase modulator for forming quasi-random realization sampling of irradiation field for study behavior of correlation function of sixth order was explained. The way of creation the spatial light phase modulator based on usage of liquid crystal cell with variable cell-gap was suggested. Variation of the cell-gap in necessary range is easy to produce by usage of vee-type gap. This type of cell provides required amount realizations of magnitude phase shift. System of sequentially liquid crystals cells can provide enlarge number of statistically independent realization of sample of field irradiation intensity.

Key words: liquid crystals, correlation function, phase transparent

УДК 538.956

ОРИЕНТАЦИОННАЯ СТРУКТУРА НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА ОГРАНИЧЕННОГО В ПОРАХ ПОРИСТОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЁНКИ

С.В. Пасечник, Д.А. Семеренко, Д.В. Шмелёва, А.П. Чопик

*Московский государственный университет приборостроения и информатики
107996, Москва, Стромынка, 20*

Аннотация. В статье описывается метод определения ориентационной структуры жидкого кристалла в порах пористой плёнки. Данный метод основан на измерении зависимости электрической ёмкости композиционного образца (пористая плёнка, заполненная жидким кристаллом) от температуры. В качестве пористой структуры была выбрана пористая полиэтилентерефталатная плёнка из-за возможности создания пор заданной ориентацией и заданными радиусами. В измерениях использовались образцы пористой плёнки с радиусами пор 75, 170, 210, 300 и 425 нм. В экспериментах была использована оригинальная конструкция ячейки, в которой поверхности пористой плёнки были покрыты токопроводящим слоем. Теоретические расчёты, выполненные на основе экспериментальных данных, показали, что ориентационная структура жидкого кристалла внутри пор характеризуется выходом директора из плоскости нормальной к оси поры.

Ключевые слова: Пористые полимерные плёнки, жидкие кристаллы, ориентационная структура ЖК, диэлектрические измерения

ВВЕДЕНИЕ

Среди композиционных жидко – кристаллических систем различных типов (аэросилы, полимер диспергированный жидкий кристалл и др.) пористые плёнки, заполненные нематическим жидким кристаллом (НЖК), привлекают большой интерес исследователей. Это в первую очередь связано с возможностью создания строгой периодичности