

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

пор с заданным средним радиусом пор, что увеличивает их эффективность в управлении оптическим излучением. На основе пористых плёнок, заполненных ЖК, в настоящее время реализуют различные оптические элементы, такие как, фильтры, модуляторы, затворы и др. [7,8]. Однако эффективность работы таких элементов зависит от начальной ориентации молекул НЖК в порах плёнки и от её параметров. Известно, что в зависимости от радиусов пор, энергии сцепления, температуры и др. возможно появления различных ориентационных структур НЖК в поре: планарно – радиальная, осевая, а также структуры с точечными и линейными дефектами [2,5]. Для определения ориентации директора НЖК в порах используют широко известные методы, такие как калориметрия, ЯМР, динамическая корреляционная спектроскопия [2-4]. В данной работе предложен простой метод определения ориентационной структуры НЖК в поре на основе диэлектрических измерений.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Метод определения типа ориентационной структуры НЖК в поре основан на измерении электрической ёмкости образцов пористых плёнок, заполненных НЖК. В качестве пористого материала была выбрана плёнка пористого полиэтилентерефталата (ПЭТФ) из-за простоты изготовления, включающая две стадии: первая – бомбардирование тяжёлыми ионами, вторая – травление [1]. Преимущество этого материала перед хорошо исследованными пористыми плёнками оксида алюминия является возможность создания пор в широком диапазоне значений радиусов. При этом характер распределения пор по поверхности случайный.

Характеристики исследованных образцов представленные в таблице 1. Пористость P образцов пористых плёнок определялось как соотношение суммарной площади пор поперечного сечения к площади образца.

Таблица 1

Характеристики исследованных образцов

Радиус $r, 10^{-9}\text{м}$	Плотность $\rho, \text{м}^{-2}$	$P, \%$
75	$1 \cdot 10^{12}$	5
170	$2,2 \cdot 10^{12}$	20
210	$2,5 \cdot 10^{12}$	34,6
300	$3 \cdot 10^{11}$	8,5
425	$6 \cdot 10^{11}$	34

В случае стандартной ячейки «сэндвичного» типа, когда плёнку зажимают между двумя стёклами, образуются паразитные слои ЖК, находящиеся между стеклом и плёнкой, что искажает результат измерения. Для предотвращения формирования паразитного слоя ЖК, поверхности образцов пористых ПЭТФ плёнок были нанесены прозрачные электроды. Конструкция ячейки показана на рисунке 1. Ячейка собрана таким образом, что поверхности пористой плёнки не касаются поверхностей стёкол. Распределение электрического поля внутри пор ПЭТФ плёнки достаточно однородно и имеет малые искажения только у краёв пор, что не существенно с точки зрения измерения электрической ёмкости образцов.

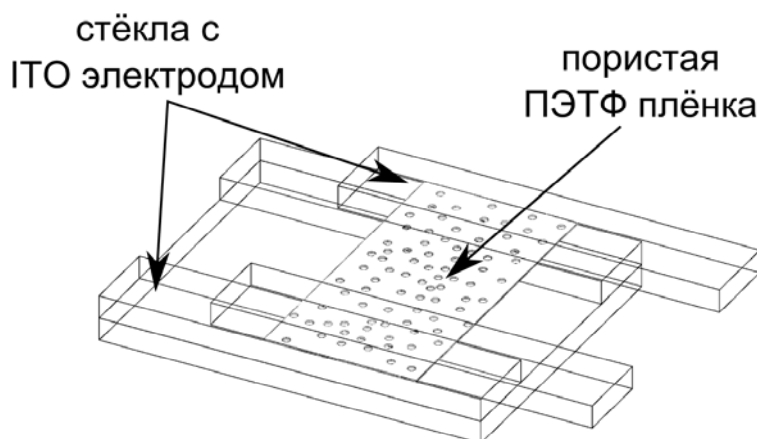


Рис.1. Конструкция экспериментальной ЖК ячейки

В качестве НЖК был выбран стандартный и хорошо изученный нематик 5СБ. Имеющаяся информация о параметрах данного НЖК позволяет выполнить оценочный расчет среднеквадратичного угла между директором НЖК и осью поры. Пористые ПЭТФ плёнки заполнялись НЖК в вакууме под действием капиллярных сил, что позволило исключить образование воздушных пузырей внутри пор пористой ПЭТФ плёнки.

Для измерения электрической ёмкости образцов в зависимости от температуры был использован LCR метр HP 4284A. Измерение зависимости ёмкости от температуры пористых плёнок с различными радиусами пор были получены при охлаждении образцов от температуры T , которая больше температуры просветления НЖК T_c на несколько градусов, до $T = 293\text{K}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные экспериментальные зависимости ёмкости от температуры $C(T)$ показывают резкие изменения в температурном коэффициенте $k_T = \partial C / \partial T$ ёмкости, которые могут быть связаны с фазовым переходом первого рода нематик – изотропная жидкость (N-I). Следует отметить, что при уменьшении радиуса пор температура фазового перехода НЖК в порах уменьшается, что может быть связано с влияниями поверхности. Рассмотрение сдвига температуры фазового перехода в зависимости от радиуса пор выходит за рамки статьи.

Уменьшение величины ёмкости при увеличении температуры соответствует случаю параллельной ориентации поля директора ЖК в объёмном образце [6]. Сравнение зависимостей $C(T)$ полученных для ЖК в порах и в объёмном образце можно исключить из рассмотрения планарно – полярную или планарно – радиальную ориентационную структуру НЖК в поре, т.к. в последнем случае температурный коэффициент ёмкости должен был бы менять знак с положительного на отрицательный, что противоречит поведению ёмкости исследованных образцов. Поэтому, можно предположить, что ориентация ЖК в поре близка к осевой (директор параллелен оси поры). Однако однородная осевая структура не соответствует данным электрооптическим измерениям, при которых наблюдался электрооптический отклик для ЖК с положительной диэлектрической анизотропией. Таким образом можно сделать вывод о том, что в порах реализуется

промежуточный тип ориентации характеризуемый зависящим от радиуса средним полярным углом θ отклонения директора от оси поры, который возможно оценить используя следующее соотношение:

$$\varepsilon_{LC}^N = \varepsilon_{||} - \Delta\varepsilon \langle \sin^2 \theta \rangle, \quad (1)$$

где ε_{LC}^N – диэлектрическая проницаемость НЖК в поре в нематической фазе, $\varepsilon_{||}$ – диэлектрическая проницаемость в параллельном направлении молекулы НЖК, $\Delta\varepsilon$ – диэлектрическая анизотропия НЖК, θ – полярный угол между осью поры и директором ЖК. Соотношение (1) получено по аналогии с объёмным образцом

Для вычисления ε_{LC}^N и принимая во внимание, что электрическое поле близко к однородному, рассмотрим пористую плёнку, заполненную НЖК, как две параллельно соединённые ёмкости: C_{pol} – плёнки и C_{LC} – ЖК соответственно. В этом случае ёмкость пористой плёнки, заполненной НЖК, определяется:

$$C = C_{pol} + C_{LC} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{pol} S_{pol}}{h} + \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{LC} S_{LC}}{h}, \quad (2)$$

где S_{pol} , S_{LC} – площадь плёнки и пор, заполненных НЖК, соответственно. Принимая во внимание, пористость плёнки $P = \frac{S_{LC}}{S_{LC} + S_{pol}}$ запишем уравнение (2) с учётом пористости:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{LC} S_{\Sigma} P}{h} \left[1 + \frac{1-P}{P} \frac{\varepsilon_{pol}}{\varepsilon_{LC}} \right], \quad (3)$$

где h – толщина плёнки.

Уравнение (3) может быть записано как отношение емкостей ЖК в нематической и изотропной фазах:

$$\frac{C^{nem}}{C^{iso}} = \frac{\varepsilon_{LC}^N}{\varepsilon_{LC}^{iso}} \frac{1 + \frac{1-P}{P} \frac{\varepsilon_{pol}}{\varepsilon_{LC}^N}}{1 + \frac{1-P}{P} \frac{\varepsilon_{pol}}{\varepsilon_{LC}^{iso}}} = r_c, \quad (4)$$

где ε_{LC}^{iso} – диэлектрическая проницаемость ЖК в изотропной фазе, r_c – коэффициент отношения емкости в нематической к ёмкости в изотропной фазе, которое вычисляется экспериментальным путём.

Выражая из уравнения (4) ε_{LC}^N , получим следующее выражение для диэлектрической проницаемости НЖК в поре:

$$\varepsilon_{LC}^N = r_c \varepsilon_{LC}^{iso} + \frac{1-P}{P} (r_c - 1) \varepsilon_{pol} \quad (5)$$

Подставляя уравнение (5) в (1), получим выражение для расчёта вычисления средне-квадратичного синуса угла между осью поры и ориентацией директора ЖК в поре.

На рис.2 показана рассчитанная зависимость $\langle \sin^2 \theta \rangle$ от радиуса пор по экспериментальным данным (точки), что подтверждает формирование ER конфигурации НЖК в поре, соответствующей выходу директора НЖК из плоскости, перпендикулярной оси поры. Выражение для $\langle \sin^2 \theta \rangle$ может быть получено в аналитическом виде в одноконстантном приближении:

$$\langle \sin^2 \theta \rangle = 2 \frac{1+\sigma}{\sigma-1} \left(\ln \left(\frac{2\sigma}{\sigma+1} \right) - \frac{\sigma-1}{2\sigma} \right),$$

где $\sigma = \frac{rW}{K} + \frac{K_{24}}{K} - 1$ – безразмерный поверхностный параметр, K – эффективное значение коэффициента упругости Франка, K_{24} – модуль упругости связанный с поверхностным вкладом в свободную энергию образца, W – сила поверхностного сцепления. На рис.1 (сплошная линия) показан результат аналитического расчёта среднеквадратичного синуса угла ориентации директора НЖК при $W = 10^{-4}$ Дж/м², $K = 6.5 \cdot 10$ пН и $K_{24} = 18 \cdot 10$ пН в зависимости от r .

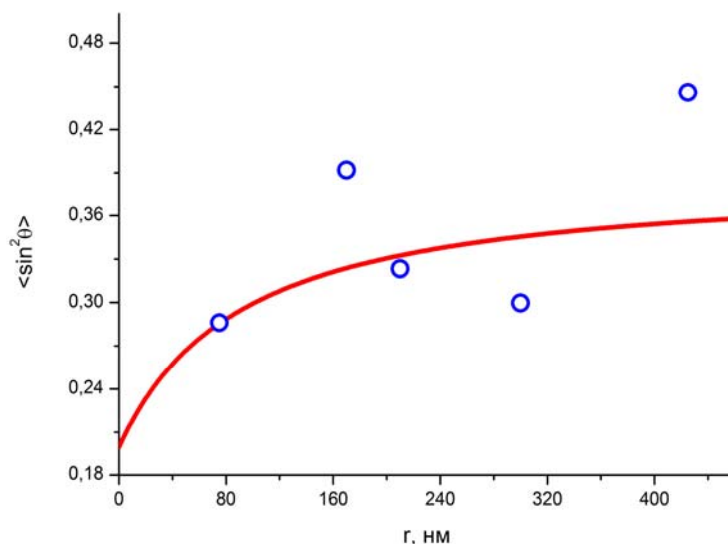


Рис.2. Зависимость среднеквадратичного синуса угла:
точки – экспериментальные данные,
сплошная линия – аналитический расчёт

Наблюдается соответствие экспериментальных данных и теоретических расчётов, что подтверждает образование в порах ER конфигурации. Разброс экспериментальных данных может быть связан с погрешностями измерений ёмкости в образцах малой пористости, а также с вероятностью образования точечных дефектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применённый тип конструкции ячейки позволил исключить из рассмотрения паразитные слои ЖК, что позволило с большей точностью определить зависимость электрической ёмкости образцов пористых плёнок, заполненных НЖК, от температуры. Предложенный метод определения среднего угла ориентации директора ЖК может быть применён и для других типов пористых плёнок с цилиндрической формой пор. Точность метода зависит от скорости охлаждения образца и для повышения точности измерения необходимо, чтобы скорость охлаждения была минимальной. Измерения $C(T)$ проводились при скорости охлаждения 0,1К/мин, что позволило установить экспериментальную зависимость, согласующуюся с аналитическим выражением. Из экспериментальных данных и аналитического решения установлено, что при увеличении радиуса пор среднеквадратичный синус угла между директором ЖК и осью поры увеличивается. Данные эксперимента соответствуют теоретическим расчётам для ER конфигурации.

Работа поддержана грантами Российского агентства по образованию АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010)" 2.1.1/5873, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» НК-410П/77 и стипендией Президента РФ для обучения за рубежом.

Авторы статьи благодарны проф. Сочугову Н.С. из Института сильноточной электроники за оказанную помощь в создании прозрачных токопроводящих покрытий на поверхностях пористых плёнок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Apel, P.* Track etching technique in membrane technology // *Radiation Measurements*. - 2001. - Vol. 34. - p. 559–566
2. *Bradac, Z., Kralj S., and Zumer S.* Molecular dynamics study of nematic structures confined to a cylindrical cavity // *Phys. Rev. E*. - 1998. - Vol. 58, N.6. - p. 7447–7454
3. *George Cordoyiannis, Lynn K. Kurihara, Luz J. Martinez-Miranda, Christ Glorieux, and Jan Thoen.* Effects of magnetic nanoparticles with different surface coating on the phase transitions of octylecyanobiphenyl liquid crystal // *Phys. Rev. E*. - 2009. - Vol/ 79, N.1. - p. 011702-011706
4. *Crawford, G.P. and Zumer S.* Liquid Crystals in Complex Geometries. - London: "Taylor & Francis", 1996
5. *Renata-Maria Marroum, Germano S. Iannacchione, Daniele Finotello and Michael A. Lee.* Numerical study of cylindrically confined nematic liquid crystals // *Phys. Rev. E*. - 1995. - Vol. 51, N. 4. - p. R2743-2746
6. *Pasechnik, S.V., Chigrinov V.G. and Shmeliova D.V.* Liquid Crystals. Viscous and Elastic Properties.- Berlin: "Wiley – VCH", 2009
7. *Semerenco, D., Shmeliova D., Pasechnik S., Murauskii A., Tsvetkov V. and Chigrinov V.* Optically controlled transmission of porous polyethylene terephthalate films filled with nematic liquid crystal // *OPTICS LETTERS*. - 2010. - V. 35, N 13. - p. 2155 – 2157
8. *Weiss, S., Ouyang H., Zhang J. and Fauchet Ph.* Electrical and thermal modulation of silicon photonic bandgap microcavities containing liquid crystals // *Optics Express*. - 2005. - Vol. 13, N. 4. - p. 1090-1097

ORIENTATIONAL STRUCTURE OF NEMATIC LIQUID CRYSTAL

CONFINED BY PORES OF POLYMER FILMS

S. Pasechnik, D. Semerenko, D. Shmeliova, A. Chopik

*Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science
20, Stromynka st., Moscow, 107966, Russia*

Abstract. The paper describes a method of detection orientational structure of liquid crystals inside a pore of porous film. Measurement of electric capacity of composite material (porous film is filled with liquid crystals) in dependence on temperature is main principle of this method. Porous polyethylene terephthalate films (track membranes) were used in experiments because of fabrication of different pores radius and orientation is easy. The porous films with different pores radius 75, 170, 210, 300 and 425nm were investigated. New type of liquid crystal cell was used in experiments. Surfaces of the porous films were covered by conducting electrodes. Results of a theoretical calculation based on the experimental data shown that escaped radial structure of liquid crystal formed in pores of polyethylene terephthalate films.

Key words: polymer porous films, liquid crystals, orientational LC structure, dielectric measurements

УДК 519.677.2

О ПОСТАНОВКЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ДВУМЕРНЫХ МИКРОПОЛЕЙ

В.П. Трифоненков, М.А. Петрова

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, Москва, Каширское ш., 31*

Аннотация. Рассматривается математическая модель схемы исследования двумерного микрополя пучком электронов. Получены соотношения, учитывающие интегральную зависимость параметров пучка от распределения напряженности поля вдоль его траектории. На их основе рассматривается постановка обратной задачи нахождения гармонической функции, описывающей распределение магнитного (или электрического) поля.

Ключевые слова: обратная задача, микрополе, гармоническая функция.

Для исследования магнитных и электрических микрополей широко применяются электронно-оптические методы [1]. Естественным развитием традиционных аналоговых методов является разработка методов вычислительной диагностики, учитывающих интегральную зависимость регистрируемых параметров электронного пучка от распределения напряженности поля вдоль его траектории [2].