

УДК 635.36

## ПОЛЯРИЗАЦИОННО НЕЗАВИСИМАЯ МОДУЛЯЦИЯ ФАЗЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПЛЕНКАМИ КАПСУЛИРОВАННОГО ПОЛИМЕРОМ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

С.М. ДМИТРИЕВ<sup>1</sup>, В.П. ДИК<sup>2</sup>, Н.Н. КОСТЮК<sup>1</sup>, Т.А. ДИК<sup>1</sup>, В.А. ЛОЙКО<sup>2</sup><sup>1</sup> Белорусский государственный университет, пр. Независимости 4, 220030, Минск, Беларусь<sup>2</sup> Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, пр. Независимости 68, 220072, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 29 апреля 2008

Описана методика изготовления тонких пленок полиметилметакрилата с диспергированными в нем каплями жидкого кристалла. Приведены результаты измерений индуцированного электрическим полем сдвига фазы световой волны. Показано, что фазовый сдвиг может достигать величины 5 радиан при напряженностях приложенного электрического поля около 10 В/мкм, причем его величина не зависит от состояния поляризации оптического излучения.

*Ключевые слова:* диспергированный полимером жидкий кристалл, пропускание, рассеяние, фазовый сдвиг

### Введение

Пленки капсулированного полимером жидкого кристалла (КПЖК-пленки) являются одним из классов жидкокристаллических (ЖК) объектов, которые интенсивно изучаются в настоящее время [1-10]. Интерес к КПЖК-пленкам обусловлен наличием у последних ряда важных в практическом отношении свойств, вытекающих из их конструктивных особенностей. Так например, КПЖК-пленки обладают высокой механической прочностью и могут сравнительно просто изготавливаться в виде экранов больших размеров. Они могут быть изготовлены в виде гибких пленок и могут наноситься на поверхность произвольной формы. Кроме того, КПЖК-пленки позволяют отказаться от использования поляризаторов, что упрощает их конструкцию и повышает яркость передаваемого с их помощью изображения.

КПЖК-пленки представляет собой пленку полимера-основы с вкраплениями капель жидкого кристалла (ЖК), размером, как правило, от долей до единиц микрон. Вследствие различия показателей преломления полимера и ЖК, такая пленка является светорассеивающей. Причем величина светорассеяния может изменяться путем изменения ориентации молекул в ЖК-каплях, например, внешним электрическим полем [11-13]. Это свойство КПЖК-пленок позволяет использовать их для управления интенсивностью оптического излучения.

Кроме возможности управления величиной светорассеяния, КПЖК-пленки имеют еще одно важное свойство – способность управления фазой прошедшего через пленку излучения [2-5,6-10,12]. При разработке новых оптоэлектронных устройств это свойство может оказаться даже более важным, чем возможность управления интенсивностью оптического излучения

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию оптических свойств КПЖК-пленки. При этом особое внимание уделяется способности КПЖК-пленок управлять

фазой световой волны. С этой целью в работе исследовались достаточно прозрачные КПЖК-пленки, имеющие слабое светорассеивание. Методика изготовления образцов и методика измерений пропускания и фазового сдвига описаны в разделах 2 и 3. В разделе 4 анализируются полученные результаты.

### Методика изготовления образцов

В данной работе для получения ЖК-дисперсий использовался индуцированный испарением растворителя методом разделения фаз [11,13]. В экспериментах использовался жидкий кристалл на основе цианобифенила (ВИН-9). В качестве полимерной матрицы был выбран полиметилметакрилат (ПММА), который специально синтезировался для этих целей. Некоторые физические свойства использованных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физические свойства жидкого кристалла и полимерной матрицы

	ВИН-9	ПММА
Показатель преломления	1,6804 ( $n_{  }$ ) 1,5109 ( $n_{\perp}$ )	1,492
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,05	1,19
Средневязкостная молекулярная масса в бензоле	-	300 000

Использованные в экспериментах образцы изготавливались следующим образом. ЖК и ПММА, взятые в определенных пропорциях растворялись в толуоле. Затем тонкий слой раствора наносился на стекло с прозрачным проводящим покрытием (тонкой пленкой оксида индия). После полного испарения растворителя, которое осуществлялось в комнатных условиях, стекло с образованным на нем тонким слоем диспергированного жидкого кристалла покрывалось вторым стеклом с прозрачным токопроводящим покрытием.

Обратим внимание, что время испарения растворителя зависело от толщины слоя раствора, наносимого на стекло. Для тонких пленок оно было меньше, чем для толстых. Поэтому морфология изготовленных пленок (в частности, концентрация и размер ЖК-капель) зависела как от соотношения ЖК-ПММА в исходном растворе, так и от толщины сформированных КПЖК-пленок.

При изготовлении пленок использовались три типа растворов, отличавшихся весовым соотношением ЖК-ПММА: тип А, образованный из 55% ЖК и 45% ПММА, тип В, образованный из 65% ЖК и 35% ПММА и тип С, образованный из 70% ЖК и 30% ПММА. На их основе были изготовлены КПЖК-пленки разной толщины  $h$ , перечень которых и использованная маркировка приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры КПЖК-пленок

Марка образца	Соотношение ЖК:ПММА(по весу)	Толщина пленок, мкм
А6	11:9	6
А11	11:9	11
В16	13:7	16
С17	14:6	17
С24	14:6	24

### Методика измерений электрооптических параметров КПЖК-пленок

Исследования прозрачности жидкокристаллических дисперсий проводились на установке, схема которой приведена на рис. 1. Установка позволяет проводить измерения для светорассеивающих и прозрачных объектов в видимой области, в диапазоне длин волн от 450 до

750 нм. Она состоит из двух основных частей, осветительной и регистрирующей. Осветительная часть включает монохроматор 1, точечную диафрагму 2, расположенную в выходной плоскости монохроматора, объектив 3 и прерыватель 4. Объектив 3 формирует пучок света малой расходимости, равной 15 угловым минутам, который отражается от зеркала 5 и проходит через исследуемый образец 6, расположенный горизонтально. Прерыватель 4 модулирует падающее на исследуемый образец излучение с частотой 1000 гц. Регистрирующая часть включает объектив 7 и диафрагму 8 с меняющейся апертурой, позволяющей менять угол зрения приемной системы от 35 угловых минут до 4,6 градусов. Прошедшее через диафрагму 8 излучение попадает на фотоумножитель 9, сигнал от которого усиливается узкополосным услителем 10 и регистрируется цифровым вольтметром 11. Тестовые измерения показали, что при использованных в установке мощности осветителя, уровня шумов и линейности приемной системы, установка позволяет измерять коэффициенты пропускания образцов в широком диапазоне, от 1 до  $10^{-6}$ , при погрешностях измерения не превышающей 4%.

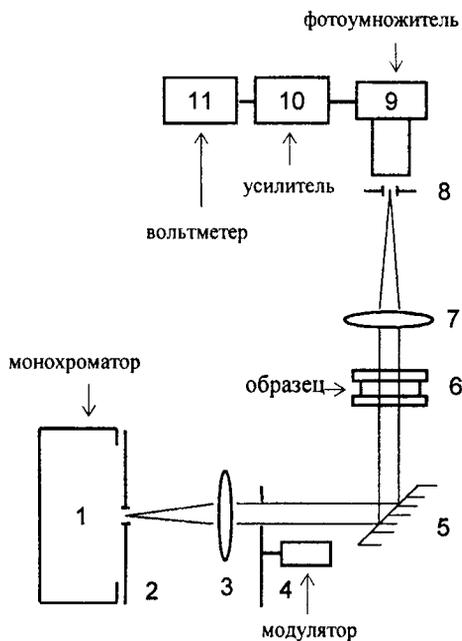


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для измерения коэффициентов пропускания светорассеивающих объектов

Методика измерений и схема установки для определения фазового сдвига в слоях диспергированного полимером жидкого кристалла выбирались исходя из специфики исследуемого объекта. А именно, исходя из необходимости проводить измерения показателей преломления а) неоднородных сред, которыми являются дисперсии жидкого кристалла, б) тонких слоев, расположенных между прозрачными стеклянными пластинками при разных значениях приложенного к слоям управляющего напряжения.

В качестве метода измерений, удовлетворяющих вышеперечисленным требованиям, была выбрана процедура, основанная на использовании двухлучевого интерферометра [14]. Схема этой установки представлена на рис. 2. Она состоит из гелий-неонового лазера 1, дифракционной решетки 2, длиннофокусной линзы 3, микрообъектива 5 и регистрирующего устройства 6. Дифракционная решетка используется для расщепления лазерного пучка и формирования двух неколлинеарных когерентных пучков света, в один из которых помещается исследуемый объект 4. Длиннофокусная линза 3 сводит два когерентных пучка света. В области пересечения пучков, вследствие их когерентности, образуется интерференционная картина. Эта картина увеличивается с помощью микрообъектива 5 и регистрируется ПЗС-камерой 6, соединенной с персональной ЭВМ. Сдвиг фазы световой волны определяется по положению полос интерференционной картины в плоскости ПЗС-матрицы.

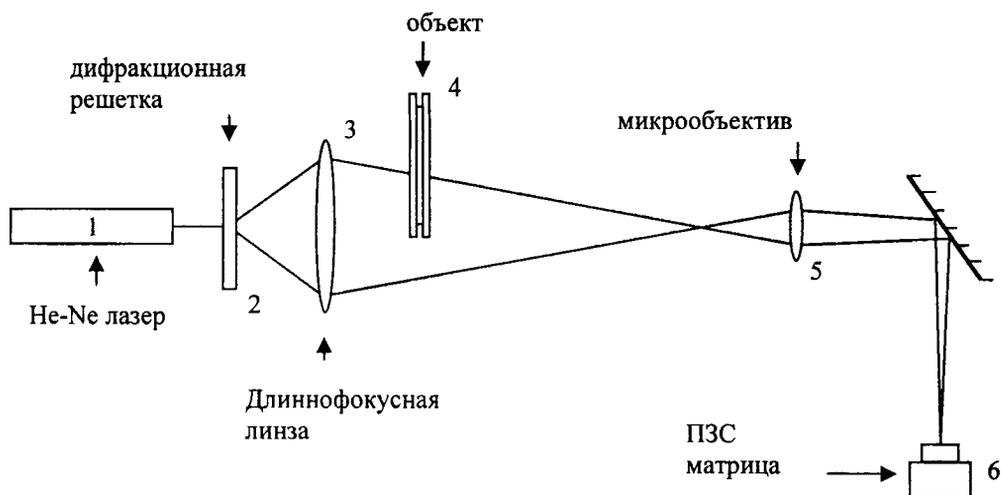


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для измерений показателя преломления дисперсных сред

### Результаты и обсуждение

Результаты измерений коэффициента пропускания  $t$  и фазового сдвига  $\Delta\varphi$ , проведенных для описанных выше образцов, представлены на рис. 3. Можно видеть, что прозрачность исследованных КПЖК-пленок определяется в первую очередь их толщиной  $h$ . Наиболее прозрачным является слой А6 толщиной 6 мкм, наиболее оптически плотным – слой С24 толщиной 24 мкм. Чувствительность пропускания к внешнему электрическому полю для исследованных КПЖК-пленок также определяется в первую очередь их толщиной  $h$ . В частности, с увеличением толщины пленки растет пороговое напряжение (напряжение, при котором пропускание на 10% превышает минимальное [15]).

Величина фазового сдвига, как можно видеть из рис. 3, сильно зависит как от концентрации ЖК в пленке, так и от ее толщины. При этом наилучшими показателями обладает самый тонкий слой А6 толщиной 6 мкм, при формировании которого использовалась смесь ЖК-ПММА в соотношении 11:9. Для этой пленки фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$  достигает 5 радиан при напряженности электрического поля около 10 В/мкм. Это значительно превосходит результаты, известные из литературы [8, 10].

Наиболее адекватными параметрами, характеризующими оптические свойства ЖК дисперсий, являются пропускание и фазовый сдвиг слоев единичной толщины. Поэтому из экспериментальных данных рассчитывались удельный фазовый сдвиг  $\Delta\varphi_1$  и показатель ослабления  $\mu$ , которые численно равны фазовому сдвигу и оптической толщине для КПЖК-пленок единичной толщины. Расчет  $\Delta\varphi_1$  и  $\mu$  проводился по формулам

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi / h, \quad (1)$$

и

$$\mu = -\ln(t/t_0) / h, \quad (2)$$

где  $t_0$  -пропускание стекол, между которыми находился КПЖК-слой (в проведенных экспериментах пропускание  $t_0$  равнялось 0.79)

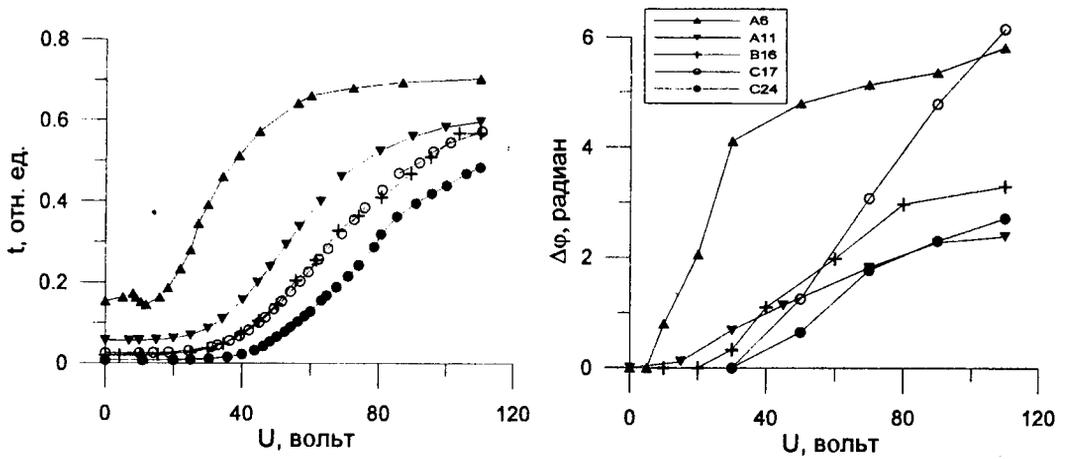


Рис. 3. Пропускание  $t$  и фазовый сдвиг  $\Delta\phi$  для КПЖК-пленок при разных значениях приложенного напряжения  $U$

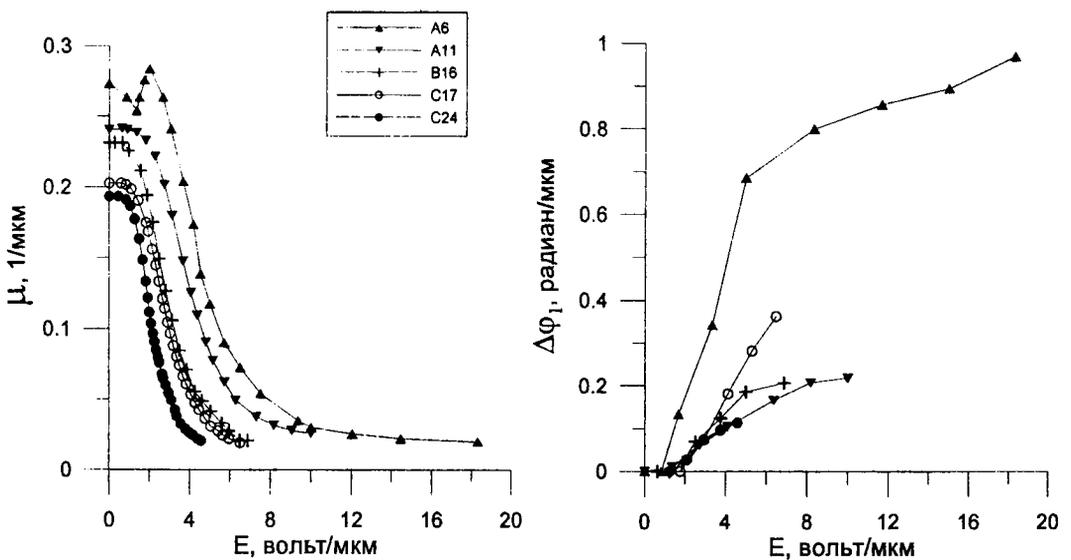


Рис. 4. Показатель ослабления  $\mu$  и удельный фазовый сдвиг  $\Delta\phi_1$  для исследованных КПЖК-пленок при разных значениях напряженности приложенного электрического поля  $E$

Значения  $\Delta\phi_1$  и  $\mu$  в зависимости от напряженности приложенного электрического поля для исследованных образцов представлены на рис. 4. Можно видеть, что электрооптические параметры КПЖК-пленок зависят от методики изготовления КПЖК-пленок, а именно, от соотношения ЖК-ПММА в исходном растворе и от скорости испарения растворителя при высушивании КПЖК-пленки. Причем скорость испарения растворителя при высушивании КПЖК-пленки оказывает определяющее влияние на показатель ослабления  $\mu$ . В частности, наибольшей прозрачностью обладает пленка А6 толщиной 6 мкм, при формировании которых скорость испарения растворителя была максимальной, а наименьшей - пленки С24 толщиной 24 мкм, при формировании которых скорость испарения растворителя была минимальной.

Из рис. 4 можно видеть, что увеличение доли ЖК в смеси ЖК-ПММА от 55% до 70% сравнительно слабо сказывается на величине удельного фазового сдвига  $\Delta\phi_1$ . В то же время величина  $\Delta\phi_1$  существенным образом зависит от скорости испарения растворителя. А именно, из сравнения значений  $\Delta\phi_1$  для пленок А6 и А11, а также С17 и С24 видно, что  $\Delta\phi_1$  тем больше, чем выше скорость испарения растворителя. Особенно сильно зависимость  $\Delta\phi_1$  от скорости испарения растворителя проявляется для достаточно тонких пленок, А6 и А11.

Представленные на рис. 3 и 4 данные получены для линейно поляризованного падающего излучения. Для исследования влияния состояния поляризации падающего излучения на электрооптические параметры КПЖК-пленок, пропускание и фазовый сдвиг измерялись при разной ориентации плоскости поляризации излучения. Полученные результаты показывают, что пропускание и фазовый сдвиг исследованных КПЖК-пленок не меняются при изменении состояния поляризации падающего излучения, являются поляризационно-независимыми

### Заключение

В настоящей работе экспериментально исследованы электрооптические параметры КПЖК-пленок, полученных методом испарения растворителя. Описана процедура изготовления пленок и приведены результаты измерений пропускания и фазового сдвига. Показано, что определяющее влияние на прозрачность и способность изменять фазу световой волны оказывает скорость испарения растворителя при изготовлении КПЖК-пленок. Причем чем выше скорость испарения растворителя, тем выше прозрачность КПЖК-пленок и тем сильнее они сдвигают фазу световой волны. Показано, что фазовый сдвиг может достигать 5 радиан при напряженностях приложенного электрического поля около 10 В/мкм, причем его величина не зависит от состояния поляризации оптического излучения.

## POLARIZATION-INDEPENDENT MODULATION OF PHASE AND INTENSITY OF LIGHT BY POLYMER DISPERSED LIQUID CRYSTAL FILMS

S.M. DMITRIEV, V.P. DICK, N.N. KOSTYUK, T.A. DICK, V.A. LOIKO

### Abstract

The technique to make polymethylmethacrylate thin films with imbedded liquid crystal droplets is described. The results of measurements of light wave phase shift induced by electric field are given. It is shown that the phase shift about 5 radians is implemented at the applied electric field strength about 10 V/ $\mu\text{m}$  and does not depend on the light polarization.

### Литература

1. Vita F., Marino A., Tkachenko V., Abbate G. // Phys. Rev. E. 2005. Vol. 72. P. 011702.
2. Amimori I., Eakin J. E., Qi J., Skaëej G., Žumer S., Gregory P. // Phys. Rev. E. 2005. Vol. 71. P. 031702.
3. Benmouna, R. , Racht, V., Le Barny, P., Feneyrou, P., Maschke, U., Coqueret X. // J. Polymer Engineering. 2006. Vol. 26. P.499.
4. McKenna, L. , Miller, L.S., Peterson, I.R. //Polymer. 2004. Vol. 45. P.6977.
5. Dolgov L. O. Yaroshchuk O. V. //Journal of the SID. 2006. Vol. 14. P.657.
6. Ren H., Lin Y.-H., Fan Y.-H., Wu S. T. //Applied Physics Letters. 2005. Vol.86. P.141101.
7. Ren H., Lin Y.-H., Fan Y.-H., Wu S. T. // Optics Communications. 2005, Vol. 247. P.101
8. Luchetta D. E. , Karapinar R. Manni A. Simoni F. // J. Appl. Phys. 2002, Vol.91. P. 6060.
9. Dick V. P., Loiko V. A.//. J. Phys. D. 2004, Vol.37. P.1834.
10. Vicari L.// J. Appl. Phys. 1997. Vol. 81. P.6612.
11. Drzaic P. S. Liquid crystals dispersions. Singapore, World Scientific, 1995
12. Simoni F. Nonlinear optical properties of liquid crystals and polymer dispersed liquid crystals, Singapore, World Scientific, 1997
13. Жаркова Г. М., Сонин А. С. Жидкокристаллические композиты. М., 1994.
14. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973.
15. Сухариер А. С. Жидкокристаллические индикаторы. М., 1991.