

УДК 535.514;532.783;535.016;535.36

АНИЗОТРОПИЯ РАССЕЯНИЯ СВЕТА В ОДНООСНО ВЫТЯНУТЫХ ПЛЕНКАХ КАПСУЛИРОВАННОГО ПОЛИМЕРОМ НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

© 2017 г. О. О. Прищепа^{1,2,*}, А. В. Бурина², М. Н. Крахалев^{1,2}, В. А. Лойко³, В. Я. Зырянов¹

¹Федеральный исследовательский центр “Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук” Институт физики имени Л.В. Киренского, Красноярск, Академгородок

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Сибирский федеральный университет”, Красноярск

³Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

*E-mail: p_oksana@iph.krasn.ru

Исследовано пространственное распределение интенсивности света, рассеянного одноосно вытянутой пленкой капсулированного полимером нематического жидкого кристалла. Образец представлял собой полимерную пленку, растянутую в 3 раза, с однослойным ансамблем капель нематика, инкапсулированных в ней. Приведены индикатрисы рассеяния поляризованных компонент, показывающие, что для рассматриваемой структуры характерна существенная анизотропия светорассеяния.

DOI: 10.7868/S0367676517050192

ВВЕДЕНИЕ

Для изготовления поляроидных пленок обычно используют термопластики, допированные дихроичными молекулярными красителями или микрокристаллами иглообразной формы. Поляроидные пленки отличаются простой и недорогой технологией производства, а их площадь ограничивается лишь возможностями оборудования. Большим недостатком таких пленок является невозможность их использования в случае мощных световых потоков, которые из-за сильного поглощения способны вызвать тепловое разрушение их одноосно упорядоченной структуры. Основные достоинства поляроидных пленок можно реализовать в композитных пленках, поляризующих оптическое излучение за счет анизотропии светорассеяния. Примером таких структур являются одноосно растянутые пленки капсулированных полимером жидких кристаллов (КПЖК). Впервые оптическая анизотропия в одноосно растянутых холестерических КПЖК пленках была выявлена для селективного рассеяния света в работе [1]. Возможность использования анизотропии светорассеяния в одноосно деформированных (за счет растяжения или сдвига) нематических КПЖК-пленках для изготовления поляризаторов была запатентована в [2]. Такой поляризатор представляет собой полимерную пленку с инкапсулированным в ней ансамблем вытянутых эллипсоидальных капель нематического жидкого кристалла (ЖК),

длинные оси которых ориентированы преимущественно в направлении растяжения (рис. 1). Вследствие тангенциального сцепления нематика с полимером директор ЖК (единичный вектор, направленный вдоль преимущественной ориентации длинных осей молекул ЖК) внутри капель образует биполярную конфигурацию, при этом линии директора идут вдоль меридианов эллипсоида и собираются вместе в топологических дефектах (бужумах), совпадающих с полюсами эллипсоида [3]. Состав композита выбирают таким, чтобы ортогональная компонента показателя преломления нематика n_{\perp} была равна показателю преломления n_p полимерной матрицы $n_{\perp} \cong n_p$, а величина двулучепреломления ЖК $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$ была максимальной. Здесь значками \parallel и \perp отмечается поляризация света параллельно и перпендикулярно директору соответственно.

В этом случае свет, поляризованный параллельно направлению растяжения пленки, интенсивно рассеивается вследствие большого градиента показателя преломления ($n_{\parallel} - n_p$) на границе раздела полимер–ЖК. Ортогонально поляризованная компонента света проходит, испытывая слабое рассеяние лишь вблизи бужумов. Впервые исследование анизотропии светопропускания для прямо проходящего излучения в зависимости от степени удлинения КПЖК-пленки были проведены в [4].

В данной работе представлены результаты исследования пространственного распределения интенсивности света, характерного для рассеяния одноосно вытянутой пленкой капсулированного полимером нематического жидкого кристалла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования был выбран широко известный нематик 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ), имеющий температуры переходов кристалл – (22°C) – нематик – (35°C) – изотропная жидкость. При $T = 22^\circ\text{C}$ ($\lambda = 0.633$ мкм) показатели преломления 5ЦБ $n_{\parallel} = 1.717$; $n_{\perp} = 1.530$ [4]. В качестве полимерной матрицы был использован поливиниловый спирт (ПВС). Показатель преломления полимера n_p различных марок поливинилового спирта варьируется в диапазоне 1.49–1.53 при $T = 22^\circ\text{C}$, что дает возможность подобрать состав компонентов, удовлетворяющих соотношению $n_{\perp} \cong n_p$. Для повышения эластичности поливиниловый спирт пластифицировали глицерином (Гл). Образцы КПЖК пленок изготавливали методом эмульгирования 5ЦБ в водном растворе смеси полимера и глицерина. Весовое соотношение компонентов составляло ПВС : Гл : 5ЦБ = 1 : 0.25 : 0.15. Эмульсию ЖК в водном растворе полимера наносили на поверхность стеклянной подложки и высушивали. Полученная КПЖК-пленка имела однослойное распределение капель нематика в объеме полимерной матрицы. Для получения одноосного растяжения изготовленную КПЖК-пленку отделяли от подложки и растягивали в 3 раза относительно исходной длины. Пространственное распределение интенсивности поляризованного компонента рассеянного лазерного излучения измеряли на оптической установке с шагом 15 ± 2.5 угловых минут [5].

ИНТЕНСИВНОСТЬ РАССЕЯННОГО СВЕТА

На рис. 2 представлены фотографии картин пространственного распределения рассеянного света, характерных для исследованной КПЖК-пленки. Видно, что компонента света, поляризованного перпендикулярно направлению растяжения пленки, проходит с гораздо меньшим рассеянием. Следует отметить, что для обеих компонент поляризованного излучения рассеяние происходит в основном в плоскости, перпендикулярной направлению растяжения.

На рис. 3 приведены индикатрисы рассеяния исследуемого образца, соответствующие фотографиям на рис. 2. Измерения проводили в плоскости, перпендикулярной направлению растяжения, совпадающей с прямо проходящим излучением (рис. 3а) и в плоскости, параллельной направлению растяжения (рис. 3б).

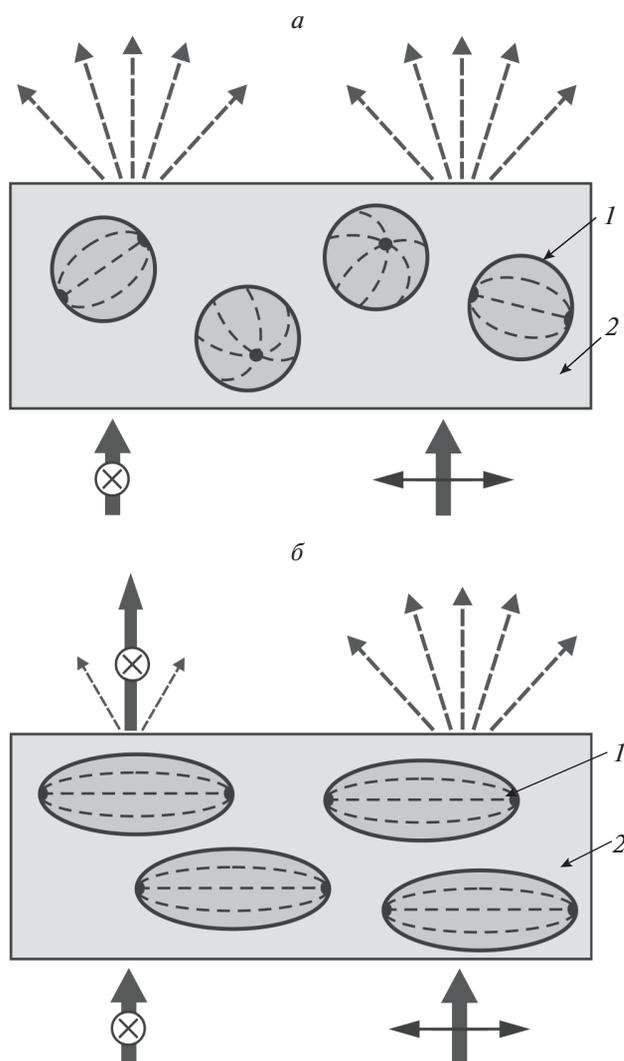


Рис. 1. Светопропускание линейно-поляризованного света через КПЖК пленку с различной ориентацией нематических капель (1) в полимерной матрице (2): а – в случае хаотичной ориентации биполярных осей сфероидальных капель свет любой поляризации интенсивно рассеивается; б – в ансамбле одноосно вытянутых биполярных капель, ориентированных вдоль оси растяжения, свет, поляризованный параллельно оси растяжения, интенсивно рассеивается, а свет, поляризованный перпендикулярно оси растяжения рассеивается слабо.

Из индикатрис видно, что излучение с поляризацией света, перпендикулярной направлению растяжения, рассеивается гораздо слабее излучения с поляризацией, параллельной направлению растяжения. Интенсивность рассеянного света, поляризованного перпендикулярно направлению растяжения, быстро уменьшается с увеличением угла рассеяния. При этом наблюдается инверсия отношения интенсивностей поляризованных компонент рассеянного излучения при углах $\theta_{s\perp} \cong 5.5^\circ$ в плоскости, перпендикулярной на-

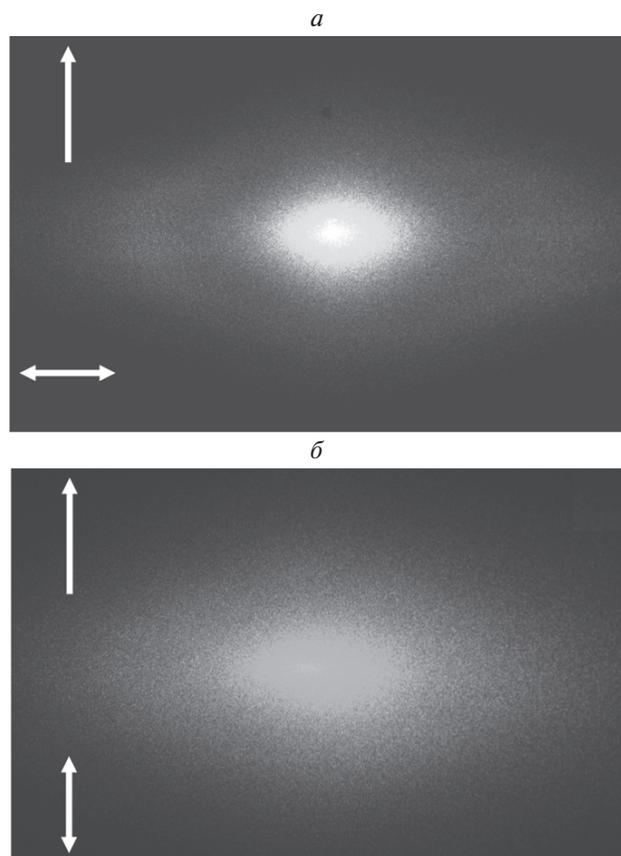


Рис. 2. Фотографии картин рассеяния линейно поляризованного лазерного излучения одноосно вытянутой в вертикальном направлении КПЖК пленкой для случаев, когда падающий луч поляризован горизонтально (*a*) и вертикально (*б*). Направление растяжения показано одинарной стрелкой, направление поляризации падающего излучения — двойными стрелками.

правлению растяжения (рис. 3*a*), и $\theta_{\text{сл}} \cong 3.5^\circ$ в плоскости, параллельной направлению растяжения (рис. 3*б*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одноосно вытянутые КПЖК-пленки так же просты в изготовлении и компактны, как и поляроидные пленки. Но, по сравнению с последними, они имеют заметные преимущества. Во-первых, КПЖК-пленку можно использовать для поляризации гораздо более мощного излучения, так как поляроидная пленка поглощает более половины падающего излучения и от перегрева разрушается, а композитная пленка лишь рассеивает свет и, следовательно, нагревается значительно слабее. Во-вторых, КПЖК-пленки способны поляризовать проходящее излучение во всей области прозрачности используемых компонентов (видимая и ближняя ИК-область), в то время как

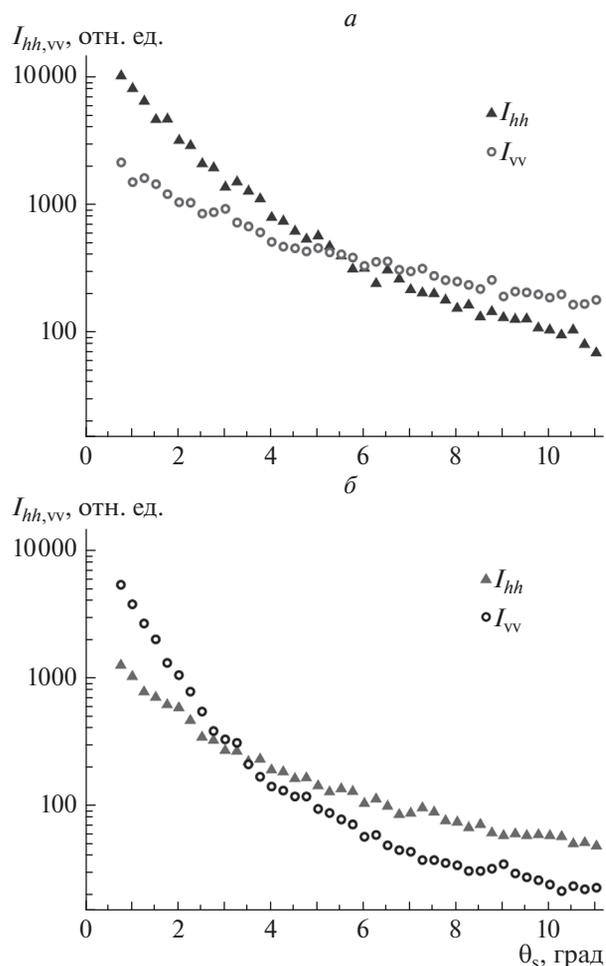


Рис. 3. Интенсивности I_{hh} и I_{vv} поляризованного света, рассеянного вытянутой в вертикальном (*a*) и горизонтальном (*б*) направлениях КПЖК пленкой в зависимости от угла рассеяния θ_s в горизонтальной плоскости. Треугольными символами обозначены индикатрисы, полученные для случая, когда направления поляризатора и анализатора горизонтальны (*hh* — компонента рассеянного света), круглыми символами — направления поляризатора и анализатора вертикальны (*vv* — компонента рассеянного света).

поляроиды — только в полосе поглощения собственного или растворенного в них дихроичного красителя. Необходимо упомянуть еще одно важное преимущество КПЖК-пленок, основанное на возможности управления их степенью поляризации в диапазоне от 0 до 1 посредством приложения электрического [6, 7] или магнитного [8, 9] полей. Однако следует отметить и ту особенность поляризаторов на основе анизотропии светорассеяния, которая существенно ограничивает область их применения — они перспективны для использования лишь в таких оптических устройствах, где, диафрагмируя прямо проходящее излучение, мож-

но отсечь рассеянный свет, например в проекционных дисплеях, лазерных системах и т.п.

Работа выполнена частично при поддержке РФФИ и Правительства Красноярского края (грант № 16-42-240704 р_а), РФФИ (гранты № 15-02-06924 и 16-53-00073), а также РАН (грант № 0358-2015-0010 комплексной программы П.2Р).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сонин А.С., Шибачев И.Н. // Журн. физ. химии. 1981. Т. 55. № 5. С. 1263.
2. West J.L., Doane J.W., Zumer S. Patent US 4,685,771. Int.Cl. G02F 1/13. Publ. 11.08.1987.
3. Воловик Г.Е., Лаврентович О.Д. // ЖЭТФ. 1983. Т. 85. № 6 (12). С. 1997.
4. Zyryanov V.Ya., Smorgon S.L., Shabanov V.F. // Mol. Eng. 1992. V. 1. № 4. P. 305.
5. Loiko V.A., Krakhalev M.N., Konkolovich A.V., Prishchepa O.O., Miskevich A.A., Zyryanov V.Ya. // J. Quant. Spectr. Radiat. Transf. 2016. V. 178. P. 263.
6. Зырянов В.Я., Пресняков В.В., Сморгон С.Л., Шабанов В.Ф. // Докл. Академии наук. 1997. Т. 354. № 2. С. 178.
7. Presnyakov V.V., Smorgon S.L., Zyryanov V.Ya., Shabanov V.F. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1998. V. 321. P. 259.
8. Прищепина О.О., Шабанов А.В., Зырянов В.Я., Паршин А.М., Назаров В.Г. // Письма в ЖЭТФ. 2006. Т. 84. Вып. 11. С. 723.
9. Prishchepa O.O., Parshin A.M., Shabanov A.V., Zyryanov V.Ya. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2008. V. 488. P. 309.