

Оптическая мультистабильность в композиционном материале на основе полимера, жидкого кристалла и ионного сурфактанта при воздействии электрического поля

А. П. Гардымова, А. Я. Тихонов, В. Я. Зырянов

Разработан композиционный материал на основе полимера, жидкого кристалла (ЖК) и ионного сурфактанта, характеризующийся оптической мультистабильностью и механической гибкостью. Оптические свойства данного материала варьируются за счет переключения капель холестерического ЖК между различными структурными состояниями, остающимися стабильными после выключения управляющего электрического сигнала. Функциональным инструментом для управления ориентационной структурой капель холестерика внешним электрическим полем является наноразмерный слой ионного сурфактанта. Подобраны параметры электрических сигналов, переключающих капли в новые стабильные состояния, а также возвращающих их в исходную радиальную структуру.

Ключевые слова: холестерический жидкий кристалл, полимер, ионный сурфактант, оптическая мультистабильность.

A composite material based on polymer, liquid crystal and ionic surfactant is developed, which is characterized by the optical multistability and mechanical flexibility. Optical properties of the material are varied by switching the cholesteric droplets between different structural states remaining stable after breaking the control electrical signal. Functional tool to control the orientational structure of cholesteric droplets by an external electric field is a nanosized layer of ionic surfactant. The parameters of electrical signals switching the droplets in new stable states and returning them in the initial radial structure are chosen.

Keywords: cholesteric liquid crystal, polymer, ionic surfactant, optical multistability.

Введение

В настоящее время ЖК широко используют в различных оптоэлектронных устройствах, в особенности, в технике отображения информации [1]. Это связано с тем, что ЖК обладают существенной анизотропией механических, электрических, оптических свойств и все же характеризуются высокой степенью текучести, которая иногда может быть сравнима с текучестью обычной жидкости. Засчет такого свойства, как текучесть, структурными и оптическими свойствами жидких кристаллов легко управлять внешними воздействиями, например внешним электрическим полем. Но с другой стороны текучесть иногда ограничивает эксплуатационные возмож-

ности ЖК. В свою очередь полимеры известны как материалы, имеющие широкий спектр применений. Они обладают механической прочностью, и в то же время им можно придать необходимую степень гибкости. Синтез физических свойств жидких кристаллов и полимеров открывает новые возможности электронной техники. Такой материал может стать основой для гибких и практически не ограниченных по размеру дисплеев. Следует также отметить, что в ЖК, заполняющим небольшую полость, наблюдаются специфические ориентационные структуры и могут реализоваться электрооптические эффекты, нехарактерные для плоских образцов.

Цель данной работы — исследование условий для реализации эффекта оптической мультистабиль-

ности в композитном материале на основе полимера и холестерического жидкого кристалла (ХЖК), допированного ионным сурфактантом, наноразмерные слои которого при воздействии электрического поля изменяют поверхностное сцепление ХЖК с полимерной матрицей.

Приготовление образцов

Образцы капсулированного полимером холестерического жидкого кристалла (КПХЖК) изготавливали методом эмульгирования ЖК в водном растворе полимера с последующим испарением растворителя [2, 3]. В качестве холестерика использовали смесь нематического ЖК с хиральной добавкой. Для этого в нематический жидкий кристалл 4-н-пентил-4'-цианофенил (5ЦБ) был добавлен холестерилацетат (ХЗ) с содержанием 1,5 вес. %. В холестерическую смесь до приготовления эмульсии добавлялся ионообразующий сурфактант цетилтриметил-аммоний бромид (ЦТАБ). В качестве полимера был выбран поливиниловый спирт (ПВС), пластифицированный глицерином (Гл). Соотношение компонентов ЖК : ПВС : Гл : ЦТАБ составляло 1 : 19 : 6 : 0.1 по весу. Как известно [3], на чистой поверхности ПВС, в том числе, и пластифицированного Гл, ЖК ориентируется тангенциально.

Выбранный сурфактант, растворяясь в жидком кристалле, распадается на анионы брома Br^- и катионы цетилтриметил-аммония ЦТА^+ . Ионы ЦТА^+ , адсорбируясь на межфазной границе, при достаточной концентрации могут формировать наноразмерный слой, задающий гомеотропную ориентацию молекул ЖК [4]. В свою очередь ионы Br^- не оказывают существенного влияния на граничные условия [5–9].

Методика эксперимента

КПХЖК пленки без добавки и с добавкой сурфактанта были исследованы поляризационно-оптическим методом на микроскопе Axio Imager (CARL ZEISS). Установлено, что в каплях ХЖК без добавки сурфактанта при условии $P_0 > R$ (P_0 — шаг холестерической спирали, R — радиус капли) реализуется закрученная биполярная конфигурация поля директора (рис. 1а) В каплях холестерика с концентрацией ЦТАБ 10% при условии $P_0 > R$ формируется закрученная радиальная структура (рис. 1б). Таким образом, это означает, что ионы сурфактанта ЦТА^+ в рассматриваемой дисперсной системе “полимер – ЖК” частично адсорбируются на границе раздела фаз, изменяя поверхностное сцепление от тангенциального к гомеотропному.

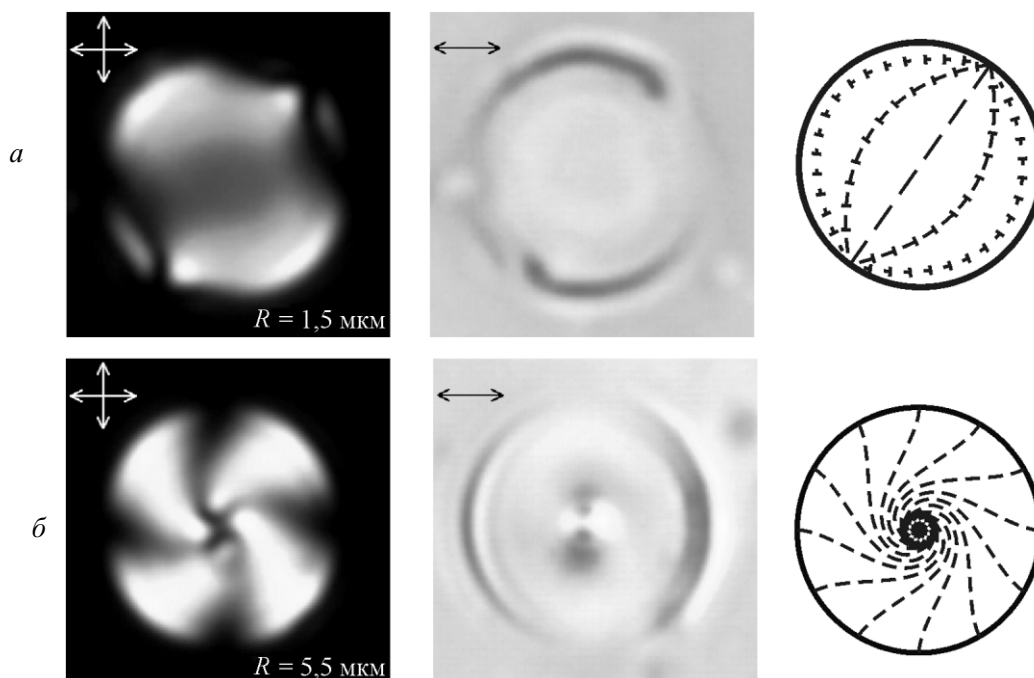


Рис. 1. Микрофотографии капель холестерического жидкого кристалла, диспергированного в полимерной матрице. Первый столбец — фотографии в скрещенных поляризаторах, второй столбец — с выключенным анализатором и третий столбец — схематическое изображение структуры жидкого кристалла. а — капля ХЖК с закрученной биполярной конфигурацией; б — капля ХЖК с закрученной радиальной конфигурацией.

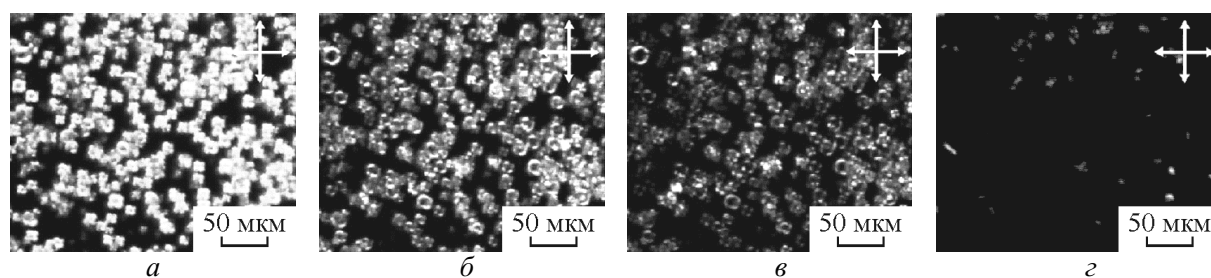


Рис. 2. Микрофотографии КПХЖК пленки в четырех оптических состояниях в геометрии скрещенных поляризаторов.

Формирование гомеотропных граничных условий за счет наноразмерного слоя катионного сурфактанта дает возможность управлять поверхностным сцеплением, прикладывая электрическое поле. В свою очередь, влияние поверхностных сил благодаря упорядоченному молекулярному строению мезофазы распространяется далеко в объем, определяя структуру и оптические свойства капель холестерика.

В процессе эксперимента КПХЖК пленку помещали между двумя стеклянными подложками с прозрачными электродами на внутренних сторонах. Такая геометрия электрооптической ячейки позволяет приложить внешнее электрическое поле перпендикулярно плоскости композитной пленки. Размер исследуемых капель ХЖК в плоскости полимерной пленки составлял в среднем около 10 мкм. Ранее нами были проведены исследования структурных превращений в композите “ХЖК – полимер – ионный сурфактант” при воздействии электрического поля вдоль плоскости пленки [10].

Результаты и обсуждение

Если приложить к КПХЖК пленке толщиной около 30 мкм, находящейся в исходном состоянии (рис. 2а), биполярный прямоугольный электрический сигнал амплитудой 50 В и частотой 1 Гц, то капли холестерика переключаются в первое промежуточное состояние (рис. 2б). В центре капель реализуется небольшая область с однородным распределением поля директора, направленного перпендикулярно плоскости пленки, а в оставшейся части объема капли сохраняется радиальная конфигурация директора с линейным кольцевым дефектом. Следует отметить, что данная структура является стабильной не менее 250 часов.

Если приложить к исследуемой электрооптической ячейке, находящейся в исходном либо в первом промежуточном состоянии, биполярный прямоугольный электрический сигнал амплитудой 80 В и частотой 1 Гц, то капли холестерика переключаются

во второе промежуточное состояние (рис. 2в). Область с однородным распределением поля директора здесь значительно больше, чем в первом промежуточном состоянии. Данная структура также является стабильной не менее 250 часов. Экспериментально показано, что размер области с однородным распределением директора зависит от параметров электрического сигнала и в свою очередь определяет величину проходящего излучения. Это позволяет кроме вышеописанных получить и другие стабильные оптические состояния пленки с различными градиентами яркости.

Если к образцу, находящемуся в первом, либо во втором промежуточном состоянии, приложить биполярный синусоидальный электрический сигнал амплитудой около 140 В и частотой 1 кГц, то практически все капли холестерика переключаются в полностью однородную структуру (рис. 2г).

Как однородную, так и промежуточные структуры можно вернуть в исходную конфигурацию следующим образом. Однородную структуру можно перевести в промежуточное состояние, воздействуя переменным электрическим полем с частотой 2 Гц и амплитудой около 75 В. После воздействия второго импульса переменного электрического поля частотой 2 Гц и амплитудой около 40 В переходная структура трансформируется в исходную радиальную структуру.

В геометрии скрещенных поляризаторов свет проходит через капли холестерика с исходной радиальной структурой (рис. 2а). Если капли имеют однородную структуру с ориентацией директора перпендикулярно плоскости пленки, то свет не проходит (рис. 2г). В промежуточном состоянии капли ХЖК частично пропускают излучение (рис. 2б, в).

Выводы

Показана возможность получения мультистабильных структурных и оптических состояний в полимерно-жидкокристаллическом композитном материале, используя ионно-сурфактантный метод

управления. При этом можно сформировать стабильную однородную конфигурацию директора, а также стабильные ориентационные структуры, промежуточные между радиальной и однородной. Подобраны параметры электрических сигналов, переключающих капли в новые состояния, а также возвращающих их в исходную радиальную структуру. Разработанный материал перспективен для использования в гибких дисплеях с энергонезависимой памятью и устройствах типа “электронная книга”.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-03-01007; госконтрактов 02.740.11.0220 и П901 по ФЦП “Кадры России”, проектов 110 и 144 СО РАН. А.П. Гардымова выражает благодарность за поддержку МБНФ им. К.И. Замараева; грантам Carl Zeiss и РНП.2.1.1.3455.

Литература

1. Takato K., Hasegawa M., Koden M., Itoh N., Hasegawa R., Sakamoto M. Alignment Technologies and Applications of Liquid Crystal Devices. New York, Taylor & Francis, 2005, 255 p.
2. Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: Наука, 1994, 214 с.
3. Drzaic P.S. Liquid crystal dispersions. Singapore: World Scientific. 1995, 430 p.
4. Коньяр Ж. Ориентация нематических жидких кристаллов и их смесей. Минск: Университетское, 1986, 104 с. (Cognard J. Alignment of Nematic Liquid Crystals and Their Mixtures. London: Gordon and Breach Science Publishers. 1982).
5. Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов А.В. Ориентационно-структурные превращения в каплях нематика, обусловленные ионной модификацией межфазной границы под действием электрического поля. Письма в ЖЭТФ, 2007, т. 86, вып. 6, с. 440 – 445.
6. Zyryanov V.Ya., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O. Texture transformation in nematic droplets caused by ionic modification of boundary conditions. Mol.Cryst.Liq. Cryst., 2008, v. 489, p. 273/[599] – 279[605].
7. Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов А.В. Инверсная мода эффекта ионной модификации поверхностного сцепления в каплях нематика. Письма в ЖЭТФ, 2008, т. 88, вып. 9, с. 688 – 692.
8. Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Зырянов В.Я., Лойко В.А., Шабанов А.В. Электроуправляемое поверхностное сцепление в КПЖК пленках. Доклады БГУИР, 2008, №5 (35), с. 138 – 140.
9. Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Shabanov A.V., Zyryanov V.Ya. Inverse mode of ionic-surfactant method of director reorientation inside nematic droplets. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 2009, v. 512, p. 152/[1998] – 157/[2003].
10. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Эффект бистабильности в композитных полимерных пленках с каплями холестерического ЖК, допированного ионным сурфактантом. Жидкие кристаллы и их практическое использование, 2009, вып. 4, с. 56 – 64.

Гардымова Анна Петровна — Институт инженерной физики и радиоэлектроники ФГОУ ВПО “Сибирский федеральный университет” (г. Красноярск), аспирант. Специализируется в области композитных ЖК материалов. E-mail: gard@iph.krasn.ru.

Тихонов Алексей Яковлевич — Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН (г. Новосибирск), доктор химических наук, заместитель директора по научной работе. Специалист в области органической химии. E-mail: alyatikh@nioch.nsc.ru

Зырянов Виктор Яковлевич — Институт физики им. Л.В. Киренского, Красноярский научный центр, СО РАН (г. Красноярск), доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией. Специалист в области ЖК материалов. E-mail: zyr@iph.krasn.ru.