

УДК 532.783
DOI 10.18101/2306-2363-2019-1-38-43

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНО-ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ, ДОПИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

© **М. А. Цыренова**

аспирант,
Бурятский государственный университет
670000, Улан-Удэ, Смолина, 24а
E-mail: mtcyrenova93@mail.ru

© **Т. А. Чимытов**

старший преподаватель,
Бурятский государственный университет
670000, Улан-Удэ, Смолина, 24а
E-mail: chimytov@gmail.com

© **Н. А. Романов**

научный сотрудник,
Институт физического материаловедения СО РАН
670047, Сахьяновой 6, Улан-Удэ
E-mail; nromanov@mail.ru

© **С. В. Калашников**

директор ЦКП,
Бурятский государственный университет
670000, Улан-Удэ, Смолина, 24а
E-mail: betch_kail@mail.ru

© **Э. Ч. Хартаева**

младший научный сотрудник,
Институт физического материаловедения СО РАН
670047, Сахьяновой 6, Улан-Удэ, Россия
E-mail: erzhenahar@mail.ru

© **А. В. Номоев**

доктор физико-математических наук, директор,
Институт физического материаловедения СО РАН
670047, Сахьяновой 6, Улан-Удэ, Россия
E-mail: nomoevav@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования влияния магнитных наночастиц оксида железа (Fe_3O_4) на оптовременные характеристики нематических жидких кристаллов. Результаты исследования показывают, что введение наночастиц Fe_3O_4 в нематическую среду сокращает оптическое время отклика в электрическом поле. При этом уменьшается максимальное значение напряжения фотосигнала, что свидетельствует о снижении прозрачности образцов. Для чистых жидких кристаллов осциллограммы со временем не меняются

Ключевые слова: нематические жидкие кристаллы; жидкокристаллические пленки; магнитные наночастицы; жидкие кристаллы; магнитные наночастицы; янус подобные наночастицы.

Для цитирования:

Цыренова М. А., Чимытов Т. А., Романов Н. А., Калашников С. В., Хартаева Э. Ч., Номоев А. В. Исследование электрооптических свойств полимерно-дисперсных жидких кристаллов допированных наночастицами оксида железа // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2019. Вып. 1. С. 38–43.

В данной работе рассматриваются полимерно-дисперсные жидкие кристаллы (ПДЖК), включающие в себя микро- и наноразмерные наночастицы оксида железа Fe_3O_4 . В последние годы добавление различных наночастиц в ПДЖК активно исследуется для улучшения их свойств [1, 2]. Для работы были выбраны нематические жидкие кристаллы, так как нематики являются достаточно доступным для исследования материалом и легко управляемым. Они выдерживают существенные внешние механические и световые нагрузки. Допирование наночастицами ПДЖК пленок приводит к уменьшению размера капель жидких кристалл (ЖК) в процессе полимеризации, что влечет за собой снижение значений времен отклика и порогового напряжения.

Ранее нами определено, что янус подобные наночастицы обладают значительным дипольным моментом и уменьшают время включения ПДЖК [3, 4]. Дипольный момент способствует дополнительному увеличению диэлектрической анизотропии ПДЖК по сравнению с оксидными и металлическими наночастицами, это дает уменьшение времен отклика ПДЖК. Прикладываемое электрическое поле разворачивает эти частицы в соответствии с их дипольным моментом, тем самым ускоряя поворот молекул нематических жидких кристаллов. В случае использования наночастиц, обладающих магнитным моментом, предполагается, что магнитные наночастицы будут взаимодействовать с электромагнитным полем, создающимся в результате изменения управляющего напряжения, подаваемого на ПДЖК. Очевидно, это приведет к изменению электрооптических свойств жидких кристаллов. Исследований, по влиянию магнитных наночастиц на электрофизические свойства ПДЖК, до настоящей работы не проводилось.

Экспериментальное оборудование

В качестве материалов для создания полимерно-дисперсных жидких кристаллов использовались следующие соединения: коммерческие поливинилацетат и нематический жидкий кристалл с положительной диэлектрической анизотропией 4-пентил-4'-цианобифенил (5CB). Выбор этих компонентов объясняется их доступностью и достаточной изученностью. Для допирования исходной полимерно-жидкокристаллической смеси использовались наночастицы Fe_3O_4 , которые были получены методом лазерной абляции в потоке кислорода [5]. Концентрация добавляемых частиц составила 1%. Взвешивание суспензии производилась на аналитических весах (Vibra AF 224RCE). Смесь полимера, жидких кристаллов и наночастиц обрабатывалась ультразвуком в течение 10 мин при частоте 22 кГц. Полученный раствор наносился на стеклянную подложку с токопроводящим по-

крытием. При испарении растворителя происходит фазовое разделение «жидкий кристалл — полимер». В результате образуется пленка, содержащая капли жидких кристаллов. После полного испарения растворителя пленку накрывают вторым стеклом с токопроводящим покрытием и помещают на 10 минут в печь, нагретую до 120°C, затем охлаждают до комнатной температуры. Получившуюся ячейку помещают на экспериментальную установку для исследования жидкокристаллических систем [6]. На данной установке можно регулировать электрическое напряжение, необходимое для открытия ячейки жидких кристаллов, это позволяет исследовать зависимость их электрооптических свойств от управляющего напряжения. Установка эффективна при измерении быстродействия и световой прозрачности ячейки жидких кристаллов, так как частотой и напряжением электрического сигнала, подаваемого на ячейку, возможно управлять в широких пределах. Исследование оптического отклика образцов проводилось при подаче на них напряжения 62 В, являющимся напряжением насыщения (соответствующее 0,9 от величины максимального пропускания) и частотой сигнала 50 Гц.

Временные характеристики ЖК делятся на 2 периода: τ_{on} — время включения ЖК и τ_{off} — время выключения ЖК. Сумма этих времен и дает в конечном счете время отклика жидких кристаллов [7]. Время включения и выключения описываются формулами:

$$\tau_{\text{on}} = \frac{4\pi\eta}{\Delta\varepsilon(f)} \frac{d^2}{(U^2 - U_0^2)},$$

$$\tau_{\text{off}} = \eta d^2 / \pi^2 K,$$

где η — вязкость ЖК, $\Delta\varepsilon(f)$ — диэлектрическая анизотропия, зависящая от частоты, d — толщина слоя ЖК, U — приложенное напряжение, U_0 — пороговое напряжение электрооптического эффекта, K — коэффициент упругости Франка.

Пороговое напряжение U_0 зависит от свойств жидкого кристалла — диэлектрической анизотропии $\Delta\varepsilon$ и коэффициента упругости Франка [8].

Из формул видно, что ускорить процесс релаксации можно с помощью уменьшения вязкости жидкого кристалла, поднимая температуру ЖК и повышая коэффициент их упругости. Изменение напряжения, прикладываемого к слою жидкого кристалла, влияет только на ускорение оптического отклика нематического жидкого кристалла [9].

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показаны зависимости времен отклика чистых ЖК и ЖК, допированных наночастицами Fe_3O_4 в течении всего эксперимента. Видно, что время отклика ЖК, допированных наночастицами Fe_3O_4 , изменяется со временем и в среднем уменьшается (линия 1). В то время как время отклика для чистых кристаллов не меняется (линия 2). С определенного момента (20 мин от начала эксперимента) время отклика ЖК+ Fe_3O_4 становится меньше, чем в немодифицированных жидких кристаллах. Время отклика чистых ЖК не изменялось в течении 80 мин. Такое поведение времени отклика для ЖК, допированных наночастицами Fe_3O_4 , может свидетельствовать об изменении (уменьшении) вязкости в течении всего эксперимента.

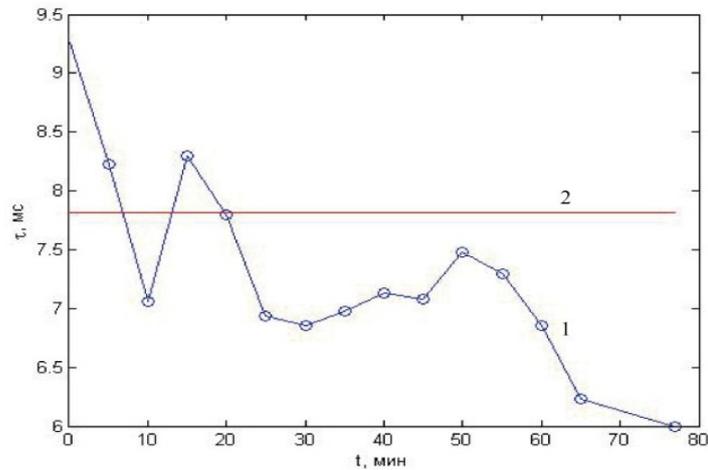


Рис. 1. Зависимости времен отклика чистых ЖК (линия 2) и ЖК допированных наночастицами Fe_3O_4 (линия 1) в течении всего эксперимента.

Результаты измерений электрооптических характеристик ПДЖК пленок, содержащих наночастицы Fe_3O_4 , представлены на рис. 2. Показаны осциллограммы оптического отклика образцов с наночастицами Fe_3O_4 при подаче на них управляющего напряжения 62 В (рис. 2, слева). Значения времен отклика при этом изменяется от 8,23 мс до 6,23 мс. Видно, что с течением времени эксперимента время выключения уменьшается. При этом также уменьшается максимальное значение напряжения фотосигнала, что свидетельствует о снижении прозрачности образцов. Для чистых ЖК осциллограммы со временем не меняются (рис. 2, справа). Время отклика при этом равно 7,82 мс.

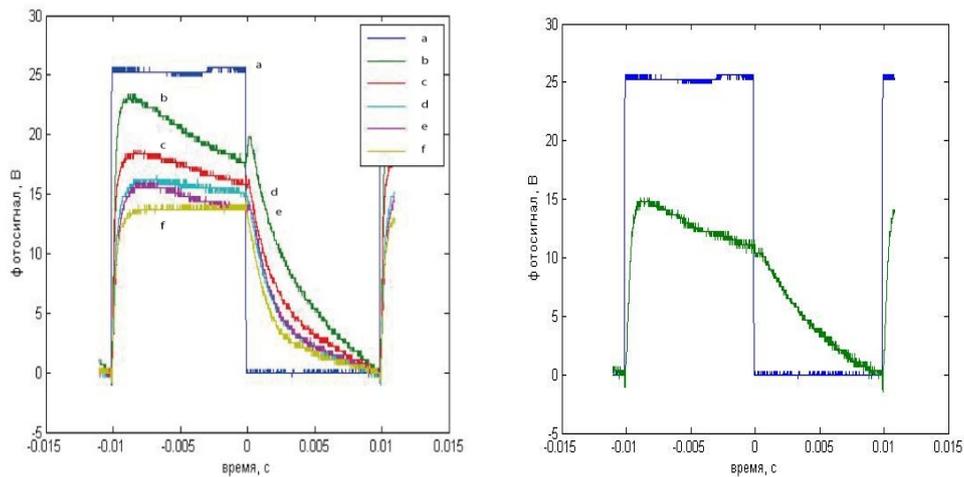


Рис. 2. Осциллограммы оптического отклика: слева — ПДЖК+ Fe_3O_4 а — управляющее напряжение; b — 15 с начала эксперимента; c -30 минут с начала эксперимента; d -45 минут с начала эксперимента; e — 60 минут с начала эксперимента; справа — чистые ПДЖК

Заключение

Проведены исследования влияния магнитных наночастиц Fe_3O_4 на скорость оптического отклика полимерно-дисперсных жидкокристаллических пленок.

При добавлении наночастиц Fe_3O_4 времена отклика в среднем уменьшаются. С определенного момента времени время отклика ПДЖК, допированных наночастицами Fe_3O_4 , становится меньше чем в чистом ПДЖК. Полученные данные показывают целесообразность использования наночастиц Fe_3O_4 для модификации ПДЖК-композиции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10143).

Литература

1. Подъячева О. Ю., Матус Е. В., Субоч А. Н., Жаркова Г. М. Оптические свойства полимерно-дисперсных жидкокристаллических композитов, допированных углеродными нанотрубками // Жидкие кристаллы и их практическое использование. — 2018. — Т. 18, № 3. — С. 53-58
2. Подъячева О. Ю., Матус Е. В., Субоч А. Н., Жаркова Г. М. Исследование закономерностей формирования полимерно-дисперсных жидкокристаллических материалов, допированных углеродными нанотрубками // Жидкие кристаллы и их практическое использование. — 2018. — Т. 18, № 3. — С. 82-88.
3. Andrey V. Nomoev, Sergey P. Bardakhanov, Makoto Schreiber, Dashima Zh. Bazarova, Boris B. Baldanov and Nikolai A. Romanov. Characterization, and Mechanism of Formation of Janus-Like nanoparticles of Tantalum Silicide-Silicon (TaSi_2/Si) // Nanomaterials. — 2015. — № 5. — P. 26–35
4. Номоев А. В., Бардаханов С. П. Синтез и механизм образования янусподобных наночастиц силицида тантала-кремния (TaSi_2/Si) // Плазменная эмиссионная электроника: труды IV междунар. Крейнделевского семинара. — 2012. — С. 190-193.
5. Хартаева Э. Ч., Номоев А. В., Бардаханов С. П., Шолохов Е.С., Батороев А. С., Сызранцев В. В., Жалсанов Б. Г., Лыгденов В. Ц. Получение, характеристика и применения магнитных наночастиц созданных лазерной абляцией // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. — 2018. — Вып. 2–3. С. 3-14.
6. Романов Н. А., Номоев А. В., Калашников С. В. Установка для измерения электрооптических свойств жидких кристаллов // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. — 2015. — № 3. — С.114-117.
7. Чигринов В. Г. Ориентационные эффекты в нематических жидких кристаллах в электрическом и магнитном полях // Кристаллография. — 1982.— Т. 27, Вып. 2. — С. 404–430.
8. Lopatina L. M., Selinger J. V. Theory of Ferroelectric Nanoparticles in Nematic Liquid Crystals // Phys. Rev. Lett. — 2009. — V. 102. — 197802.
9. Блинов Л. М. Электрооптические эффекты в жидких кристаллах // УФН. — 1974. — Т. 114, Вып. 1. — С. 67–96.

STUDY OF ELECTROOPTIC PROPERTIES OF POLYMER-DISPERSE LIQUID CRYSTALS DOPED BY IRON OXIDE NANOPARTICLES

M. A. Tsyrenova

Postgraduate

Buryat State University, Ulan-Ude
670000, Ulan-Ude, Smolina Str., 24a
E-mail: mtcyrenova93@mail.ru

T. A. Chimytov

старший преподаватель

Buryat State University, Ulan-Ude
670000, Ulan-Ude, Smolina Str., 24a
E-mail: chimytov@gmail.com

N. A. Romanov

Researcher

Institute of Physical Materials Science SB RAS
Sakhyanova Str. 6, Ulan-Ude, 670042, Russia
E-mail: nromanov@mail.ru

S. V. Kalashnikov

директор ЦКП,

Buryat State University, Ulan-Ude
670000, Ulan-Ude, Smolina Str., 24a
E-mail: betch_kail@mail.ru

E. Ch. Hartaeva

Researcher

Institute of Physical Materials Science SB RAS
Sakhyanova Str. 6, Ulan-Ude, 670042, Russia
E-mail: erzhenahar@mail.ru;

A. V. Nomoev

доктор физико-математических наук, директор

Institute of Physical Materials Science SB RAS
Sakhyanova Str. 6, Ulan-Ude, 670042, Russia
E-mail: nomoevav@mail.ru

The paper presents the results of an experimental study of the effect iron oxide nanoparticles (Fe_3O_4) on the wholesale characteristics of nematic liquid crystals. The results of the study show that the introduction of Fe_3O_4 nanoparticles into a nematic medium reduces the response time in an electric field. This reduces the maximum value of the voltage of the photo signal, which indicates a decrease in the transparency of the samples. For pure liquid crystals, the waveforms do not change over time.

Keywords: nematic liquid crystals; liquid crystal films; magnetic nanoparticles; liquid crystals; magnetic nanoparticles; Janus-like nanoparticles.