УДК 539.378.6
doi 10.18101/978–5–9793–0803–6–132–136

ДИПОЛЬНЫЙ МОМЕНТ НАНОЧАСТИЦ В ПОЛИМЕРНО-ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

© ***Романов Николай Александрович***, научный сотрудник
лаборатории физики наносистем Бурятского государственного университета
Россия, г. Улан-Удэ
E-mail: nromanovv@mail.ru

© ***Калашников Сергей Васильевич***, научный сотрудник
лаборатории физики наносистем Бурятского государственного университета
Россия, г. Улан-Удэ
E-mail: betch_kail@mail.ru

© ***Цыренова Марина Александровна***, аспирант
лаборатории физики наносистем Бурятского государственного университета
Россия, г. Улан-Удэ
E-mail: mtcyrenova@mail.ru

© ***Номоев Андрей Валерьевич***, доктор физико-математических наук, доцент,
и. о. проректора по научно-исследовательской работе
Бурятского государственного университета
Россия, г. Улан-Удэ
E-mail: nomoevav@mail.ru

В статье исследуются электрооптические свойства полимерно-дисперсных жидкокристаллических (ПДЖК) пленок с добавлением наночастиц, а именно зависимость диэлектрической анизотропии ПДЖК пленок от дипольного момента композитных частиц. Для подтверждения данного предположения было произведено измерение дипольного момента наночастиц. Для этого взят метод, основанный на измерении диэлектрической проницаемости вещества. Эти измерения проводятся в постоянном поле и при низких частотах. Процедура определения дипольного момента в разбавленных растворах основана на предположении об аддитивности свойств компонентов. Показаны расчеты по нахождению величины постоянного дипольного момента наночастиц. Проведены эксперименты по изучению влияния изменения диэлектрической анизотропии на время отклика жидких кристаллов. Предложены два механизма взаимодействия наночастиц с жидкими кристаллами в пленках.
Ключевые слова: нанотехнологии, нанопорошки, жидкие кристаллы, жидкокристаллические пленки, композитные наночастицы, янус-подобные частицы, дипольный момент.

DIPOLE MOMENT OF NANOPARTICLES IN THE POLYMER-DISPERSED LIQUID CRYSTAL FILMS

Nikolay A. Romanov, Research Associate of Laboratory
of Physics of Nanosystems, Buryat State University

Ulan-Ude, Russia
Sergey V. Kalashnikov, Institute of Physical Material Science,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Ulan-Ude, Russia

Marina A. Tsyrenova, Postgraduate Student at the Laboratory
of Physics of Nanosystems, Buryat State University
Ulan-Ude, Russia

Andrey V. Nomoev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor, Acting Vice Rector for Research Work,
Buryat State University
Ulan-Ude, Russia

The paper studies the electro-optical properties of polymer-dispersed liquid crystal films with the addition of nanoparticles. The dependence of the dielectric anisotropy of the PDLC film on the dipole moment of the composite particles has been investigated. The dipole moment of nanoparticles has been calculated to prove this hypothesis. For this purpose a method based on measuring the dielectric constant material has been taken. The measurement of the dielectric constant has been conducted in a constant field or low frequencies. The procedure of determining the dipole moment in dilute solutions is based on the assumption of additivity of properties of the components. Calculations for finding the constant dipole moment of nanoparticles are presented in the paper. Results showed that higher dielectric anisotropies resulted in faster response time for the liquid crystals. Two mechanisms of interaction of nanoparticles with liquid crystals in the films are proposed.
Keywords: nanotechnology, nanopowders, liquid crystals, liquid crystal films, composite nanoparticles, Janus-like nanoparticles, dipole moment.

Увеличение диэлектрической анизотропии полимерно-дисперсных жидкокристаллических (ПДЖК) пленок модифицированными наночастицами $TaSi_2/Si$ и Ag/Si с большой вероятностью вызвано тем, что композитные частицы обладают выраженным дипольным моментом.

Для подтверждения данного предположения было произведено измерение дипольного момента наночастиц. Для этого мы взяли метод, основанный на измерении диэлектрической проницаемости (ε) вещества [1]. Считается, что при наложении электрического поля на диэлектрик его полная поляризация P складывается из наведенной или индуцированной поляризации $P_м$ и поляризации $P_{ор}$ и связана с дипольным моментом μ уравнением Ланжевена-Дебая, являющимся обобщением уравнения Клаузиуса-Моссотти [2]:

$$P = P_M + P_{op} = \frac{(\varepsilon-1)M}{(\varepsilon+1)\rho} = \frac{1}{3\varepsilon_0} N_A \left(\alpha + \frac{\mu_0^2}{3kT}\right), \quad (1)$$

где M — молекулярная масса, ρ — плотность, α — электронная поляризуемость молекулы (пренебрежима ввиду малости ее значения), N_A — число Авогадро, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура.

Измерения диэлектрической проницаемости проводятся в постоянном поле или при низких частотах. Процедура определения μ_o в разбавленных растворах основана на предположении об аддитивности свойств компонентов:

$$P_{1,2} = P_1X_1 + P_2X_2, \quad (2)$$

где $P_{1,2}$, P_1, P_2 — молекулярные поляризации раствора, растворителя и растворенного вещества соответственно, X_1, X_2 — мольные доли растворителя и растворенного вещества.

С учетом уравнения (1) уравнение (2) для раствора будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\varepsilon_{1,2}-1}{\varepsilon_{1,2}+2} \cdot \frac{M_1X_1+M_2X_2}{\rho_{1,2}} = P_1X_1 + P_2X_2, \quad (3)$$

где M_1 и M_2 — молекулярные массы растворителя и растворенного вещества, $\varepsilon_{1,2}$ — диэлектрическая проницаемость раствора, ε — диэлектрическая проницаемость растворителя, $\rho_{1,2}$ — плотность раствора, ρ — плотность растворителя.

Из уравнения (3) можно вычислить P_2. Значение P_2 экстраполируем на нулевую концентрацию ($X_2 = 0$) и находим значение молекулярной поляризации растворенного вещества при бесконечном разбавлении ($P_2 \to \infty$).

Найденное в эксперименте значение $P_2 \to \infty$ включает в себя электронную ($P_{эл}$) и атомную ($P_{ат}$) молекулярные поляризации, и поэтому $P_{ор}$ вычисляется как $P_{ор} = (P_2 \to \infty) - P_{ат} - P_{эл}$. $P_{эл}$ считаем равной рефракции вещества и находим по формуле:

$$P_1 = \frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{M_1}{\rho}. \quad (4)$$

$P_{ат}$ вследствие ее малости пренебрегаем.

Величину постоянного дипольного момента находим по формуле:

$$\mu = 3\sqrt{\frac{kT\varepsilon_0}{N_A}P_{ор}}, \text{ Кл·м}. \quad (5)$$

Для определения дипольного момента наночастиц были проведены экспериментальные исследования в соответствии с вышеизложенным. В таблице 1 приведены концентрации различных наночастиц в неполярной жидкости — бензоле, и соответствующие им диэлектрическая проницаемость, поляризуемость и дипольный момент. Измерения производились при температуре 295 K.

Исходя из экспериментальных данных определения дипольного момента нанопорошков, можно судить о его высоком значении для янус-подобных наночастиц. Это объясняет увеличение диэлектрической анизотропии ПДЖК пленок и, соответственно, улучшение их временных характеристик.

Таблица 1

Диэлектрическая проницаемость раствора наночастиц в бензоле, его поляризация, поляризация наночастиц и их дипольный момент для различных частиц и концентраций

№	Наименование частиц	Концентрация, мольная доля	Диэлектрическая проницаемость ε	Поляризация $P_{1,2}$, м^3	Поляризация P_2, м^3	Дипольный момент μ, Кл·м
1	Cu	0,02	2,31	$2{,}67\cdot10^{-5}$	$3{,}62\cdot10^{-5}$	0
		0,06	2,30	$2{,}65\cdot10^{-5}$	$2{,}60\cdot10^{-5}$	
		0,08	2,29	$2{,}64\cdot10^{-5}$	$2{,}53\cdot10^{-5}$	
2	Ag	0,02	2,33	$2{,}70\cdot10^{-5}$	$5{,}10\cdot10^{-5}$	0
		0,06	2,30	$2{,}74\cdot10^{-5}$	$4{,}13\cdot10^{-5}$	
		0,08	2,30	$2{,}76\cdot10^{-5}$	$4{,}01\cdot10^{-5}$	
3	Si	0,02	2,42	$2{,}79\cdot10^{-5}$	$9{,}33\cdot10^{-5}$	0
		0,06	2,41	$2{,}71\cdot10^{-5}$	$3{,}67\cdot10^{-5}$	
		0,08	2,42	$2{,}68\cdot10^{-5}$	$2{,}96\cdot10^{-5}$	
4	SiO_2	0,02	2,40	$2{,}81\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-4}$	0
		0,06	2,38	$2{,}78\cdot10^{-5}$	$4{,}83\cdot10^{-5}$	
		0,08	2,44	$2{,}77\cdot10^{-5}$	$4{,}12\cdot10^{-5}$	
5	$TaSi_2$/Si	0,02	2,58	$2{,}67\cdot10^{-5}$	$3{,}10\cdot10^{-4}$	$1{,}35\cdot10^{-29}$
		0,06	2,61	$2{,}65\cdot10^{-5}$	$3{,}62\cdot10^{-5}$	
		0,08	2,60	$2{,}64\cdot10^{-5}$	$2{,}65\cdot10^{-5}$	
6	Ag/Si	0,02	2,52	$2{,}70\cdot10^{-5}$	$2{,}53\cdot10^{-5}$	$1{,}05\cdot10^{-29}$
		0,06	2,47	$2{,}74\cdot10^{-5}$	$5{,}10\cdot10^{-5}$	
		0,08	2,53	$2{,}76\cdot10^{-5}$	$4{,}13\cdot10^{-5}$	

С другой стороны, действие наночастиц на электрооптические свойства жидкого кристалла может быть объяснено другими механизмами. Первый механизм: металлические проводящие частицы приводят к локализации электрического поля на них. При этом электрического поля в проводящей частице не существует. Плотность поверхностного заряда проводящих наночастиц таким образом изменяет локальную напряженность электрического поля в ПДЖК пленках. Явление усиления электрического поля в результате этого делает подвижными молекулы, ускоряя их переориентацию, а также приводит к понижению порогового напряжения. Экранирующий эффект, вызванный адсорбированными на поверхности подложек ионными зарядами, создает внутреннее поле постоянного тока, понижая эффективное напряжение на ЖК слое. Второй механизм: наночастицы металла в жидком кристалле могут стать ловушками ионов, которые способствуют эффективному уменьшению ионов примесей на ориентирующем слое, таким образом снижая эффект экранирования [3].

Выводы

Были исследованы электрооптические свойства ПДЖК пленок с добавлением наночастиц, проведены эксперименты по изучению влияния изменения диэлектрической анизотропии на время отклика жидких кристаллов и установлено, что металлические наночастицы Ag, Cu и композитные наночастицы Ag/Si и $TaSi_2$/Si увеличивают диэлектрическую анизотропию ПДЖК пленок, что вызывает уменьшение времени отклика жидко-кристаллических пленок.

Литература

1. Осипов О. А. Справочник по дипольным моментам. М.: Высш. шк., 1971. 414 с.

2. Пентин Ю. А., Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии. М.: Изд-во АСТ, 2003. 683 с.

3. Enhancement of electro-optic properties in liquid crystal devices via titanium nanoparticle doping / Yong-Seok Ha, Hyung-Jun Kim, Hong-Gyu Park, and Dae-Shik Seo // “Homeotro-pic alignment of liquid crystals on a nano-patterned polyimide surface using nanoimprint lithography,” Soft Matter 7(12), 5610–5614 (2011).