Матвеева Айнур Гашамовна

Влияние наночастиц серебра на электрические свойства лиотропных жидких кристаллов на основе лаурата калия

02.00.04 - физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата химических наук

Работа выполнена на кафедре наноматериалов и нанотехнологии Российского химикотехнологического университета им. Д.И. Менделеева

Научный руководитель: член-корреспондент РАН,

доктор химических наук, профессор

Юртов Евгений Васильевич,

заведующий кафедрой наноматериалов и

нанотехнологии

Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор

Астахов Михаил Васильевич,

заведующий кафедрой физической химии

Национального исследовательского

технологического университета «МИСиС»

доктор химических наук, профессор Вишняков Анатолий Васильевич, профессор кафедры физической химии Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева

Ведущая организация: Институт геохимии и аналитической химии

им. В.И. Вернадского РАН

Защита состоится 15 мая 2012 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.204.11 при РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в ауд. 443 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан 13 апреля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.204.11

Мурашова Н.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

На сегодняшний день одной из наиболее важных и актуальных задач химической технологии является проблема создания перезаряжаемого источника тока большой ёмкости, сочетающего в себе компактность, мощность, техническую и экологическую безопасность. Существует несколько способов создания таких перезаряжаемых источников тока, одним из которых является получение наноструктурированных электролитов, обладающих высокой ионной проводимостью и ёмкостью, низкой коррозионной активностью, стабильным фазовым составом.

Исследования, которые проводились в последние годы, показали, что в качестве такого электролита могут выступать лиотропные жидкие кристаллы, поскольку они способны проводить ток наравне с типичными жидкими электролитами, обладая при этом рядом преимуществ в конструкционном отношении и сохраняя высокую по сравнению с твёрдыми электролитами подвижность носителей заряда.

Предметом данного исследования являются электрические свойства жидких кристаллов, поэтому объект исследования должен обладать ионной проводимостью. В качестве основы для получения жидких кристаллов был выбран лаурат калия, поскольку это вещество является амфифильным, имеет ионогенную группу в полярной части молекулы, а также неполярный «хвост» молекулы достаточно длинный, чтобы сохранять способность к самоорганизации и при этом достаточно короткий для обеспечения наименьшего расстояния между разделёнными зарядами (ионами К⁺).

В последнее время появились работы, в которых исследуется влияние наночастиц металлов и их оксидов на проводимость полимеров, при этом наблюдается значительное изменение их электрических свойств, в частности проводимости. Этот эффект прослеживается сильнее при уменьшении размера вводимых наночастиц. В связи с этим можно предполагать, что введение наночастиц металлов в лиотропный жидкий кристалл может приводить к улучшению его электрических свойств. Для данной работы были выбраны наночастицы серебра в виде водной дисперсии, поскольку это металл с низкой энергией ионизации, наночастицы которого могут быть получены в водной среде без использования ПАВ.

Цель работы: изучение влияния наночастиц серебра на электрические свойства, фазовое состояние и вязкость ламеллярного жидкого кристалла на основе лаурата калия, а также исследование ёмкости двухслойных конденсаторных ячеек с полученными жидкими кристаллами в качестве электролита.

Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи:

- 1. определить электрические свойства жидких кристаллов систем «лаурат калия вода» и «лаурат калия 1-деканол вода»;
- 2. разработать методику введения наночастиц серебра в жидкокристаллическую матрицу;
- 3. изучить влияние наночастиц серебра на проводимость, ёмкость, фазовое состояние и вязкость систем «лаурат калия вода» и «лаурат калия 1-деканол вода»;
- 4. изучить взаимодействие наночастиц серебра с лиотропными жидкими кристаллами;
- 5. показать возможность применения исследуемых систем в качестве перспективных электролитов для перезаряжаемых источников тока.

Научная новизна

Изучено влияние наночастиц серебра на фазовое состояние, вязкость, проводимость и ёмкость ламеллярных жидких кристаллов в системах «лаурат калия – вода» и «лаурат калия – 1-деканол – вода». Впервые получена эквивалентная электрическая схема для ламеллярных жидких кристаллов и композиционных систем на их основе с наночастицами серебра с использованием метода импедансной спектроскопии. Показано, что термическая зависимость проводимости лиотропных жидких кристаллов, а также композиционных систем на их основе с наночастицами серебра подчиняется уравнению Аррениуса, определены энергии активации проводимости.

Впервые получена зависимость электрокинетического потенциала наночастиц серебра в ламеллярной жидкокристаллической матрице от их концентрации.

Практическая значимость

Показана возможность применения лиотропных жидких кристаллов, а также композиционных систем на их основе с наночастицами серебра, в качестве

электролитов для перезаряжаемых источников тока. Представленные в работе результаты могут быть использованы при разработке жидкокристаллических электролитов нового типа для перезаряжаемых источников энергии, в том числе для электролитических конденсаторов и ионисторов.

На защиту выносятся:

- 1. Результаты исследования влияния наночастиц серебра на фазовое состояние, вязкость и электрические свойства ионных ламеллярных жидких кристаллов в системах «лаурат калия вода» и «лаурат калия 1-деканол вода».
- 2. Результаты исследования зависимости проводимости и ёмкости композиционных систем на основе ламеллярных жидких кристаллов «лаурат калия вода» и «лаурат калия 1-деканол вода» от концентрации наночастиц серебра, полученные методом импедансной спектроскопии.
- 3. Результаты исследования зависимости электрокинетического потенциала наночастиц серебра от их концентрации в ламеллярном жидком кристалле.
- 4. Результаты исследования зависимости ёмкости двухслойных ячеек с полученными композиционными жидкими кристаллами в качестве электролита от концентрации наночастиц серебра.

Апробация работы

Материалы исследования были доложены и обсуждены на следующих конференциях:

- VI Международный конгресс молодых учёных по химии и химической технологии, Москва, 2010;
- VII Международный конгресс молодых учёных по химии и химической технологии, Москва, 2011;
- Первая Всероссийская школа-семинар студентов, аспирантов и молодых учёных «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества», Москва, 2010;
- IV Всероссийская конференция по химической технологии с международным участием XT'12, 2012.

Личный вклад

Результаты, представленные в диссертации, получены лично автором либо при непосредственном его участии.

Публикации

Основные материалы диссертации изложены в 6 публикациях, в том числе в одной статье в ведущем рецензируемом научном журнале из перечня ВАК, а также пяти тезисах докладов научно-технических конференций.

Структура и объём диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, литературного обзора (глава 1), экспериментальной части (глава 2), результатов и их обсуждения (главы 3-5), выводов и списка цитируемой литературы, содержащего 141 наименование и списка сокращений. Работа изложена на 140 страницах и содержит 51 рисунков и 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* отражена актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, отмечены научная новизна и практическая значимость работы.

Глава 1. Литературный обзор

В первой части литературного обзора излагаются общие сведения о перезаряжаемых источниках питания, принципе работы и области применения двухслойных и электролитических конденсаторов, обсуждаются физико-химические аспекты применения различных типов электролитов в данных конденсаторах. Во второй части проанализирована информация о жидких кристаллах, типах их структур, их физико-химические, электрические свойства. Показано, что в настоящее время, электрические свойства лиотропных жидких кристаллов изучены недостаточно.

Глава 2. Методика эксперимента

В первой части данной главы приведены использованные в работе реактивы и материалы, методики их синтеза и методы приготовления исследуемых образцов. Объектами исследования в работе служили ламеллярные жидкие кристаллы (ЖК) составов «лаурат калия – водная дисперсия наночастиц серебра», «лаурат калия – 1-деканол – водная дисперсия наночастиц серебра».

Во второй части подробно описаны методы исследования, применяемые в работе. Контроль фазового состояния жидкокристаллических образцов осуществлялся методом поляризационной микроскопии с помощью микроскопа Axiostarplus для наблюдения в проходящем свете (Carl Zeiss, Германия) с цифровой фотокамерой марки Canon. По характеру полученных в поляризованном свете

изображений делались выводы о типе структуры жидкого кристалла. Размер и ξпотенциал наночастиц серебра в водной дисперсии определялся с помощью прибора Zetasizer Nano ZS (Malvern, Германия). Температурная область существования жидких кристаллов определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии (с помощью совмещенного ТГА/ДСК/ДТА анализатора SDT Q600), а также при непосредственном наблюдении с использованием поляризационного микроскопа и специально сконструированной схемы нагрева исследуемого образца. Вязкость образцов жидкого кристалла определялась с помощью ротационного вискозиметра PEOTECT 2 (Rheotest 2, MLW, Германия) с измерительной системой «конус-пластина К1» в диапазоне скоростей сдвига 5.56 – 4860 с⁻¹. Электрические свойства жидких кристаллов исследовались методом импедансной спектроскопии с помощью импедансметра Z-500P (ООО «Элинс», г. Черноголовка) в диапазоне частот 500 кГц -0.5Гц, при амплитуде колебаний в 10 мВ.

Водная дисперсия наночастиц серебра была получена импульсно-дуговым методом на кафедре «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» РГТУ им. К.Э. Циолковского (зав. кафедрой проф. Слепцов В.В.).

Глава 3. Жидкокристаллический композит «лаурат калия — водная дисперсия наночастиц серебра»

Третья глава посвящена исследованию композиционной системы на основе жидкого кристалла состава «лаурат калия – вода» (62 %масс. ПАВ) и наночастиц серебра (НЧ). Для проведения исследования была выбрана система «лаурат калия (62 %масс.) - вода», поскольку она может существовать в виде ламеллярной мезофазы при комнатной температуре. Для определения электрических свойств образца использовался метод импедансной спектроскопии. Была получена диаграмма Найквиста (зависимость мнимой части сопротивления образца от действительной), согласно которой объёмная проводимость образца составила 54±0,5 мСм/см. Полученное значение проводимости на 3-6 порядков превышает проводимость ионных термотропных жидких кристаллов и по порядку величины совпадает с известной в литературе проводимостью лиотропных жидких кристаллов.

Также было получено несколько образцов системы «лаурат калия – водная дисперсия наночастиц серебра» с различной концентрацией НЧ серебра в водной

дисперсии (от 25 до 500 мг/л, что соответствует 9,5·10⁻⁴ %масс. и 2·10⁻² %масс. НЧ серебра в ЖК). Использовалось две методики приготовления композиционных ЖК – с предварительной стабилизацией НЧ и без неё. Образцы ЖК, приготовленные без предварительной стабилизации содержали небольшое количество кристаллической фазы через 72 часа выдерживания при 60 °C, а образцы ЖК, полученные методом, включающим предварительную стабилизацию, не содержали кристаллов и были готовы уже через 36 часов. Для дальнейших исследований были выбраны образцы ЖК, приготовленные с предварительной стабилизацией.

Исследование водной дисперсии НЧ серебра с помощью прибора Zetasizer Nano ZS показало, что размер наночастиц в водной дисперсии составил 6-10 нм (что соответствует данным электронной микроскопии), а их ξ -потенциал равен \approx -30мB.

НЧ серебра, введённые в ЖК «лаурат калия — вода» не повлияли на фазовое состояние системы. Все образцы имели ламеллярную ЖК структуру, как и образец без НЧ серебра, что было подтверждено методом поляризационной оптической микроскопии.

Температурный диапазон существования полученных образцов определялся методом поляризационной оптической микроскопии. Для этого предметное стекло, на котором помещался образец, нагревалось до определённой температуры. Для всех композиционных ЖК наблюдалось два фазовых перехода: 1) из кристаллической фазы в ламеллярную в диапазоне температур 18 – 22 °C и 2) из ламеллярной фазы в изотропную в диапазоне температур 52 – 55 °C. Также температурный диапазон существования композиционных ЖК был подтверждён методом ДСК. Таким образом, дальнейшие исследование температурных зависимостей свойств полученных образцов проводились в диапазоне температур 25 – 50 °C.

Для определения проводимости и ёмкости жидких кристаллов использовался метод импедансной спектроскопии, поскольку он позволяет выделить отдельные электрические процессы из суммарного отклика системы на слабые возмущения, не нарушающие её стационарного состояния. Для каждого образца композиционного ЖК были получены диаграммы Найквиста в диапазоне температур 25 – 50 °C. Все полученные диаграммы включали две полуокружности (рис. 1) и были

смоделированы одной эквивалентной электрической схемой (рис. 2), подобранной с помощью программы ZView.

В эквивалентной схеме на рис. 2 сопротивление R_{00} моделирует ионное сопротивление объёма электролита, сопротивление R_{\parallel} и постоянный фазовый элемент CPE_{\parallel} – сопротивление и распределённую ёмкость жидкого кристалла вдоль ламеллярных слоёв, а сопротивление $R_{\text{м.д.}}$ и постоянный фазовый элемент $CPE_{\text{м.д.}}$ – сопротивление и распределённую ёмкость жидкого кристалла между доменами с различной ориентацией ламеллярных слоёв.

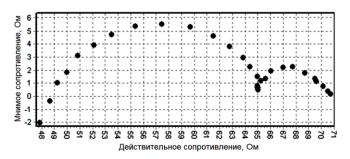


Рис. 1. Вид диаграммы Найквиста для образца композиционного жидкого кристалла «лаурат калия — водная дисперсия наночастиц серебра (35 мг/л)», t = 35 °C.

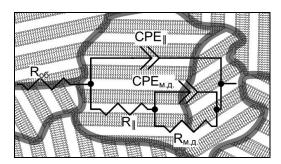


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема композиционного ЖК «лаурат калия – водная дисперсия НЧ серебра в области существования жидкокристаллической фазы.

Для всех полученных годографов были определены значения параметров, соответствующих элементам эквивалентной схемы. На ИХ основании были рассчитаны значения удельной проводимости и ёмкости полученных образцов (рис. 3). Объёмная проводимость с ростом концентрации наночастиц серебра возрастает в 1,5 раза (от $54\pm0,5$ до $75\pm0,5$ мСм/см). До концентрации наночастиц в водной фазе в 100 мг/л, что соответствует $\approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ %масс. в ЖК, проводимость между доменами с}$ различной ориентацией ламеллярных слоёв возрастает в 5,2 раза (от 82±0,5 до 426±0,5 мСм/см), а затем уменьшается. При этом проводимость вдоль ламеллярных слоёв снижается в ≈ 1.2 раза (от 222 ± 0.5 до 188 ± 0.5 мСм/см) при содержании НЧ в водной фазе 100 мг/л, а выше этой концентрации возрастает в 2,6 раз (рис. 3, а). Это можно объяснить тем, что при небольших концентрациях наночастицы серебра встраиваются в водные слои ЖК, затрудняя тем самым возможность переноса заряда вдоль них. При этом происходит увеличение разупорядоченности доменов с различной ориентацией ламеллярных слоёв. При более высоком содержании наночастицы серебра приводят к структурированию жидкого кристалла таким образом, чтобы количество доменов с параллельной ориентацией слоёв увеличилось, что в сумме даёт увеличение объёмной проводимости. Суммарное значение удельной ёмкости при максимальной концентрации наночастиц остаётся практически неизменным (рис. 3, б и в).

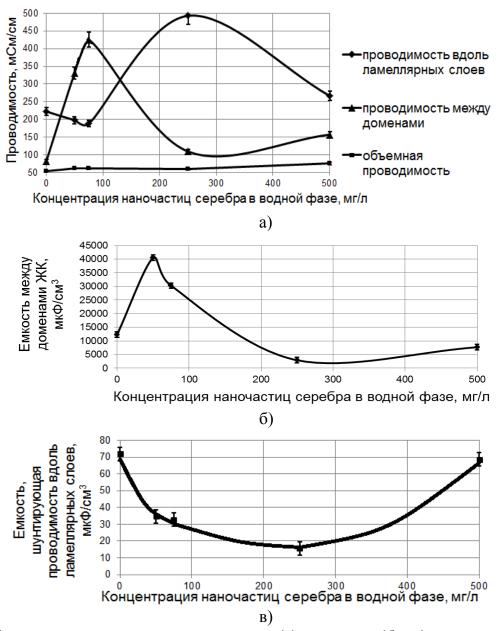


Рис. 3. Зависимость удельных проводимости (а) и ёмкости (б и в) композиционных ЖК от концентрации НЧ серебра в водной фазе, t = 25 °C.

Температурная зависимость удельной электропроводности ламеллярных жидких кристаллов, в отличие от изотропных растворов электролитов, подчиняется уравнению Аррениуса. В то же время, в литературе аналогичная зависимость

встречается для термотропных ЖК. На рис. 4 приведены графики $ln(\sigma)=f(1/T)$ для композиционных ЖК. По полученным зависимостям были определены эффективные энергии активации проводимости для образцов с различным содержанием НЧ серебра с погрешностью 1,55%. $E_{9\varphi\varphi}$. проводимости ламеллярного ЖК без НЧ составила 0,16±0,003 эВ, что находится в согласии с литературными данными. С ростом концентрации НЧ серебра эффективная энергия активации снижается до 0,145±0,002 эВ для композиционного ЖК, содержащего 0,02 %масс. НЧ серебра (рис. 5), что говорит в пользу структурирующей роли НЧ серебра в ламеллярном ЖК.

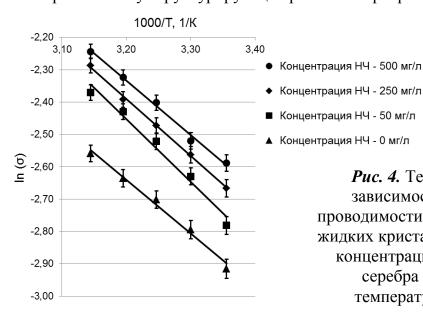
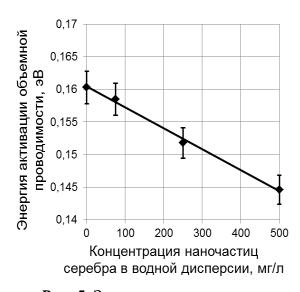


Рис. 4. Температурные зависимости объёмной проводимости композиционных жидких кристаллов с различной концентрацией наночастиц серебра в диапазоне температур 25 – 45 °C

Глава 4. Жидкокристаллический композит «лаурат калия — 1-деканол — водная дисперсия наночастиц серебра»

В четвёртой исследовалась главе композиционная система на основе жидкого кристалла состава «лаурат калия – 1-деканол – вода» (29,5 %масс., 7,0%масс., 63,5%масс. соответственно) и наночастиц серебра. Было определено влияние НЧ серебра размером 6 -10 нм на вязкость жидкого кристалла, его электрокинетический потенциал, также зависимость электрических свойств OT



Puc. 5. Зависимость энергии активации объёмной проводимости от концентрации НЧ серебра в водной фазе композиционных ЖК

концентрации введенных наночастиц серебра.

Для проведения эксперимента было приготовлено несколько образцов системы «лаурат калия — 1-деканол — водная дисперсия наночастиц серебра» с различным содержанием НЧ (максимальное содержание НЧ в композиционном ЖК составило 0,01 %масс., что соответствует водной дисперсии с концентрацией НЧ 200 мг/л).

Динамическая вязкость жидких кристаллов, включающих НЧ серебра, сильно превышает вязкость систем идентичного состава без НЧ. В частности, динамическая вязкость композиционного ЖК с концентрацией НЧ 200 мг/л в водной фазе (0,01 %масс.) в 6 раз превышает аналогичную величину ЖК без наночастиц при малых (до 50 с⁻¹) скоростях сдвига. Поскольку вязкость ЖК сильно зависит от их структуры, то результаты данного эксперимента говорят о более плотной упаковке внутренней структуры систем с НЧ серебра.

Для исследования взаимодействия НЧ серебра, обладающих достаточно большим отрицательным электрокинетическим потенциалом в водной среде, с ламеллярным жидким кристаллом был проведен эксперимент по изучению ξ-потенциала композиционной системы «лаурат калия – 1-декнол – водная дисперсия наночастиц серебра». Для этого, с помощью прибора Zetasizer Nano ZS (Malvern, Германия), была исследована зависимость ξ-потенциала НЧ серебра от их концентрации в ЖК, а также концентрационная зависимость проводимости композиционных ЖК (табл. 1).

Таблица 1. Результаты исследования образцов композиционных ЖК «лаурат калия — 1-деканол — водная дисперсия НЧ серебра» с помощью прибора Zetasizer Nano ZS.

N⁰	Концентрация наночастиц в		ζ-потенциал,	Проводимость,	
	водной дисперсии, мг/л	ЖК, % масс.	мВ	мСм/см	
61	0	0	-	56,53	
62	25	1,2 *10 ⁻³	-18,40	54,11	
63	35	1,7*10 ⁻³	-19,50	54,47	
64	50	$2,4\cdot 10^{-3}$	-20,83	54,73	
65	100	$4,7 \cdot 10^{-3}$	-24,00	53,51	
66	200	1.10-2	-28,06	58,72	

Электрокинетический потенциал НЧ серебра в водной дисперсии равен \approx -30 мВ. Таким образом, появление значительного отрицательного ξ -потенциала в композиционном ЖК связано с наличием НЧ серебра.

При этом ξ-потенциал наночастиц серебра в композиционном ЖК по абсолютному значению меньше, чем в водной дисперсии. Это говорит о том, что ионы К⁺, находящиеся в жидком кристалле, снижают абсолютное значение ξ-потенциала наночастиц. С ростом концентрации наночастиц серебра в жидком кристалле ξ-потенциал снижается, приближаясь к значению, характерному для наночастиц серебра в водной дисперсии. Это свидетельствует в пользу появления электрокинетического потенциала в жидкокристаллическом композите вследствие введения в неё наночастиц серебра. При этом абсолютное количество катионов, участвующих в снижении ξ-потенциала НЧ остается постоянным с ростом концентрации наночастиц серебра, поскольку проводимость композиционных ЖК практически неизменна в данном диапазоне концентраций НЧ (табл. 1).

Для более детального определения электрических свойств исследуемых композиционных жидких кристаллов и исследования влияния на них наночастиц серебра был использован метод импедансной спектроскопии. Были получены диаграммы Найквиста для образцов «лаурат калия — 1-деканол — водная дисперсия наночастиц серебра» с различным содержанием НЧ серебра (рис. 6).

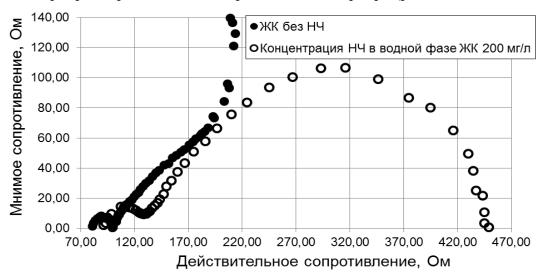
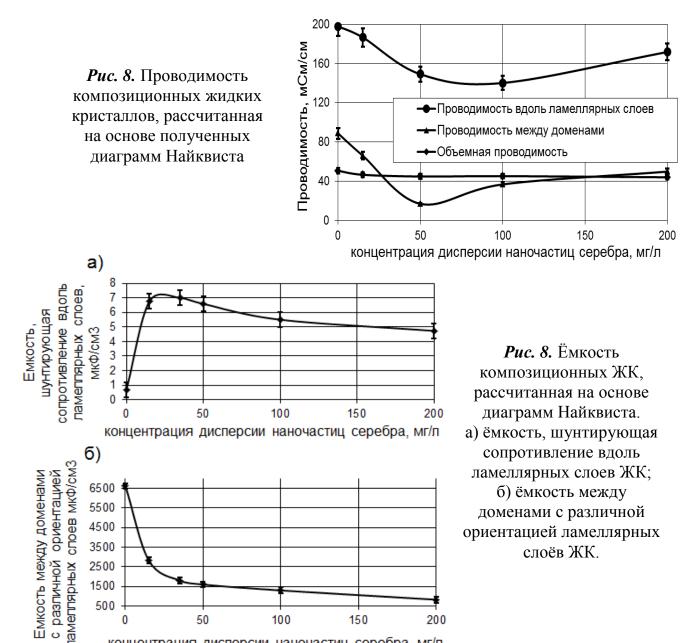


Рис. 6. Диаграммы Найквиста для образца ЖК без наночастиц и композиционного ЖК с концентрацией наночастиц серебра в водной фазе 200 мг/л, t = 25 °C.

По структуре полученные диаграммы Найквиста не отличаются от годографов для системы «лаурат калия — водная дисперсия наночастиц серебра» и описываются той же эквивалентной схемой (рис. 3). При этом стоит отметить, что для образца ЖК

без НЧ в годографе отсутствует низкочастотная полуокружность, что говорит о том, что изменение параметров второй полуокружности отвечает изменению концентрации введённых наночастиц. На рис. 7 и 8 приведены графики зависимости величин проводимости и ёмкости, полученных из диаграмм Найквиста для всех образцов, от концентрации НЧ серебра в водной фазе.



С ростом концентрации наночастиц серебра проводимость вдоль ламеллярных слоёв снижается на 20%, что связано с адсорбцией носителей заряда (К⁺) на поверхности наночастиц. Это, в свою очередь, приводит к резкому скачку ёмкости (почти на порядок), шунтирующей проводимость вдоль ламеллярных слоёв (СРЕ).

концентрация дисперсии наночастиц серебра, мг/л

Также в пользу структурирования говорит уменьшение (почти на порядок) ёмкости между доменами с различной ориентацией ламеллярных слоёв (CPE $_{\perp}$). С ростом концентрации НЧ ориентация доменов становится более однородной. Объёмная проводимость, полученная из диаграмм Найквиста, практически совпадает с проводимостью, полученной при измерении ξ -потенциала образцов (табл. 1).

Таким образом, все полученные данные говорят о том, что при введении наночастиц серебра в ламеллярную жидкокристаллическую матрицу они сохраняют двойной электрический слой, который взаимодействует с ионами в водном слое жидкого кристалла. За счёт этого наблюдается некоторое снижение проводимости вдоль ламеллярных слоёв, которое, компенсируется увеличением упорядоченности структуры ЖК, что в сумме приводит к постоянству объёмной проводимости исследованных образцов.

Глава 5. Лиотропный жидкий кристалл в качестве электролита в двухслойной конденсаторной ячейке.

В данной главе исследовалась возможность применения ламеллярных ЖК «лаурат калия – вода» и композитов на их основе с НЧ серебра в качестве электролита

в двухслойном конденсаторе (ионисторе). Двухслойная ячейка представляла собой обкладки (1 cm^2) , между которыми располагался диэлектрик (конденсаторная бумага). обкладку нанесён тонкий слой электролита. В качестве электролита исследуемые выступали образцы композиционного ЖК «лаурат калия (62 %масс.) – водная дисперсия наночастиц серебра» с различным содержанием НЧ. Электродами служили полированные и мезопористая поверхность никелевые пластины нанесённого алюминий, удельной титана, площадью $200 \text{ cm}^2/\text{cm}$.

Измерение ёмкости проводилось методом импедансной спектроскопии. Вид полученных

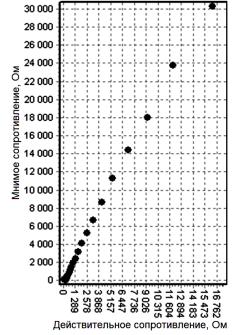


Рис. 9. Диаграмма Найквиста для двухслойной конденсаторной ячейки, электролит – ЖК «лаурат калия – вода»

диаграмм Найквиста приведен на рис. 9. Все годографы состояли из высокочастотной полуокружности и прямой. Частота перехода между ними оставалась постоянной для всех образцов и составила \approx 11 к Γ ц.

Ёмкость ячейки определялась по низкочастотному участку годографа, который описывался эквивалентной схемой, включающей последовательно соединённые сопротивление и постоянный фазовый элемент, который при условии значения тангенса фазового угла 0.8-1 интерпретируется как распределённая ёмкость. Ёмкость двухслойных конденсаторных ячеек приведена в табл. 2.

Ёмкость полученных двухслойных конденсаторных ячеек превышает ёмкость типичных конденсаторов с такой же поверхностью электродов на несколько порядков. При этом стоит отметить, что для мезопористых электродов с ростом концентрации наночастиц в электролите ёмкость значительно снижается. С ростом содержания наночастиц в композиционном ЖК его структура становится более плотной и взаимодействие с пористой поверхностью уменьшается.

Таблица 2. Ёмкость двухслойных конденсаторных ячеек с композиционными ЖК «лаурат калия – водная дисперсия наночастиц серебра» в качестве электролита

Концентрация НЧ в водной фазе, мг/л	0	25	50	150	250	500
Материал обкладок	Ёмкость, мк Ф /см²					
Γ ладкий никель, C_{I}	8,3	6,1	14,0	12,8	14,1	17,4
Мезопористый титан на алюминиевой подложке, $S=200\ {\rm cm}^2/{\rm cm}^2,\ C_2$	1767	1068	1459,5	939	1024	1071
Отношение ёмкостей, С2/С1	213,7	176,5	103,9	73,4	72,4	61,5

Таким образом, можно сделать вывод, что использование лиотропных ЖК и композитов с НЧ серебра на их основе в качестве электролитов в ионисторах является перспективным.

выводы

1. Выявлено, что жидкие кристаллы «лаурат калия (62 %масс.) – вода» и «лаурат калия – 1-деканол – вода» (29,5 %масс., 7,0 % масс., 63,5% масс.) обладают проводимостью 54-56 мСм/см при комнатной температуре, что сопоставимо по величине с электропроводностью изотропных водных растворов электролитов.

- 2. Установлено, что НЧ серебра размером 6-10 нм в пределах концентрации до 0,02 %масс. не влияют на фазовое состояние ЖК «лаурат калия (62 %масс.) вода», и приводят к увеличению плотности и вязкости жидкокристаллической системы «лаурат калия 1-деканол вода» (29,5 %масс., 7,0 % масс., 63,5% масс.).
- 3. Определена эквивалентная схема и значения её параметров для композиционных ЖК «лаурат калия (62 %масс.) водная дисперсия НЧ серебра» и «лаурат калия 1-деканол водная дисперсия НЧ серебра» (29,5 %масс., 7,0 % масс., 63,5% масс.). Установлено, что введение 0,02 %масс. НЧ серебра в систему «лаурат калия вода» приводит к увеличению её проводимости в 1,5 раза (до 75±0,5 мСм/см). Проводимость системы «лаурат калия 1-деканол вода» при аналогичной концентрации НЧ меняется незначительно.
- 4. Показано, что температурная зависимость проводимости композиционных лиотропных ЖК подчиняется уравнению Аррениуса. С ростом концентрации НЧ серебра до 0,02 %масс. энергия активации объёмной проводимости снижается на 9,4% (от 0,16±0,003 до 0,145±0,002 эВ).
- 5. Определено значение электрокинетического потенциала наночастиц серебра в лиотропной жидкокристаллической матрице. Оно увеличивается по абсолютному значению с ростом концентрации наночастиц в диапазоне до 0.01 %масс., но не превышает значения ξ -потенциала наночастиц в водной среде.
- 6. Выявлено, что ёмкость двухслойных конденсаторных ячеек с лиотропным ЖК на основе лаурата калия и их композитов с НЧ серебра в качестве электролита превышает ёмкость типичных конденсаторов с такой же поверхностью электродов на несколько порядков. Использование лиотропных ЖК на основе лаурата калия и их композитов с НЧ серебра в качестве электролитов в ионисторах является перспективным и требует дальнейшего исследования.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях из перечня ВАК:

1. Матвеева А.Г., Юртов Е.В., Прокопова Л.А. Электрические свойства жидких кристаллов на основе лаурата калия // Химическая технология. 2010. Т.11, №12. С.711-716.

Другие публикации:

- 2. Прокопова Л.А., Чопурова (Матвеева) А.Г., Юртов Е.В. Электрические свойства жидких кристаллов на основе лаурата калия // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т.ХХІV, №7 (112). М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. С.126-129.
- 3. Чопурова (Матвеева) А.Г., Прокопова Л.А., Юртов Е.В. Электрические свойства жидких кристаллов на основе лаурата калия // Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества: сб. тр. Первой Всероссийской школысеминара студентов, аспирантов и молодых учёных. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. С.100-103.
- 4. А.В. Захарова, И.А. Сизова, А.Г. Матвеева, Е.В. Юртов. Влияние наночастиц серебра на свойства трёхкомпонентной жидкокристаллической системы «лаурат калия 1-деканол вода» // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т.ХХV, №8 (124). М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. С. 16-20.
- 5. Матвеева А.Г., Кузьмин А.В., Гейдт П.В., Юртов Е.В., Слепцов В.В., Церулёв М.В. Влияние наночастиц серебра на электрические свойства жидких кристаллов на основе лаурата калия // Химическая технология: сб. тез. докл. IV Всероссийская конференция по химической технологии, Всероссийская молодежная конференция по химической технологии, Всероссийская школа по химической технологии для молодых ученых и специалистов, Всероссийский симпозиум по химии и технологии экстракции и сорбции. Т.2. М., 2012. С. 41-43.
- 6. Захарова А.В., Матвеева А.Г., Юртов Е.В. Электрокинетический потенциал наночастиц серебра в ламеллярном жидком кристалле «лаурат калия 1-деканол вода» // Химическая технология: сб. тез. докл. IV Всероссийская конференция по химической технологии, Всероссийская молодежная конференция по химической технологии, Всероссийская школа по химической технологии для молодых ученых и специалистов, Всероссийский симпозиум по химии и технологии экстракции и сорбции. Т.2. М., 2012. С. 91-93