

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель УФИЦ РАН,
профессор, доктор хим. наук



В.П. Захаров

«28» апреля 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук на диссертационную работу

Караави Ахмеда Рахима Шилтага «Механизм уменьшения времени электрооптического переключения в сегнетоэлектрических жидких кристаллах, допированных золотыми наночастицами»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07- Физика конденсированного состояния

Актуальность темы.

Жидкие кристаллы представляют собой уникальный тип материалов, обладающих как ориентационным (иногда и пространственным) упорядочением, так и текучестью. Комбинация физических свойств ЖК приводит к существованию электрооптических эффектов в малых управляющих электрических полях, которые находят применение в различных оптоэлектронных устройствах.

Наиболее исследованными и применяемыми на практике являются нематические жидкие кристаллы (НЖК), характеризующихся ориентационным упорядочением молекул. Из свойств симметрии следует, что НЖК не могут иметь макроскопического дипольного момента и, как следствие, они не чувствительны к

знаку приложенного электрического поля, а типичные времена переключения лежат в миллисекундном диапазоне.

С другой стороны, сегнетоэлектрические жидкие кристаллы (СЖК) обладают как ориентационным, так и пространственным (группа симметрии C_2) упорядочением, что допускает существование спонтанной поляризации у СЖК. Это приводит к зависимости электрооптического отклика от полярности приложенного электрического поля, быстрым временам переключения в микросекундном диапазоне, а также к возможности вращения оптической оси под действием электрического поля в плоскости ячейки. Благодаря этим свойствам, сегнетоэлектрические ЖК являются перспективным материалом для создания нового поколения электро-оптических устройств на жидких кристаллах.

Известно, что электрическая структура жидкокристаллических ячеек существенно влияет на их электрооптический отклик. Электрические свойства ЖК ячейки можно описать при помощи эквивалентной электрической схемы, состоящей из емкости и сопротивления объемного слоя, а также дополнительных элементов, моделирующих поведение ориентирующих покрытий, двойных электрических слоев, адсорбционных явлений и т.д. Вклад дополнительных элементов эквивалентной схемы может приводить к существенному отличию падения напряжения в объеме жидкокристаллического слоя от приложенного к электродам ячейки. Корректное измерение параметров эквивалентных электрических схем и их учет в моделировании электрооптического отклика необходимо для оптимизации устройств на жидких кристаллах и жидкокристаллических дисперсий с наноматериалами.

Недавние исследования продемонстрировали, что добавление наночастиц в СЖК, как правило, уменьшает время отклика электрооптических устройств. Интересно, что этот эффект не зависит от природы диспергированных наночастиц, а уменьшение времени переключения составляет примерно 30%. В настоящее время предложено несколько механизмов влияния наночастиц на время отклика СЖК, однако общепринятой теории не существует. В данной диссертационной

работе предложен новый подход, основанный на электрической модели СЖК ячейки.

Научная новизна представленной работы заключается в следующем.

1. Впервые продемонстрирован метод измерения ионной проводимости слоя сегнетоэлектрического жидкого кристалла в ячейке с полимерным покрытием электродов при помощи емкостного тока.
2. Впервые исследованы диэлектрические и электрооптические характеристики смеси сегнетоэлектрического жидкого кристалла CHS1 с золотыми наночастицами во всем температурном диапазоне хиральной SmC фазы.
3. Впервые проведен анализ эквивалентных электрических схем допированных золотыми наночастицами СЖК ячейки.
4. Впервые измерены температурные зависимости ионной проводимости слоя СЖК с золотыми наночастицами в ячейке с полимерным покрытием электродов.
5. Впервые показано, что доминирующим механизмом уменьшения времени электрооптического переключения СЖК, допированного золотыми наночастицами, является увеличение падения напряжения на объемном слое, вызванного уменьшением ионной проводимости СЖК.

Дисперсии сегнетоэлектрических жидких кристаллов с наночастицами обладают рядом уникальных свойств, одно из которых – снижение времени электрооптического переключения. Вне зависимости от типа наночастиц время переключения обычно снижается на 10-50% по сравнению с недопированным жидким кристаллом. Для объяснения этого явления было предложено несколько подходов, которые, однако, не позволяют дать количественную оценку влияния наночастиц на время переключения и предсказать результаты измерений.

Теоретическая значимость работы определяется предложенным универсальным механизмом уменьшения времени электрооптического переключения сегнетоэлектрических жидких кристаллов, допированных наночастицами.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для разработки нанокompозитных материалов на основе

сегнетоэлектрических жидких кристаллов при создании нового поколения электрооптических устройств.

Анализ основного содержания работы.

Во введении отражена актуальность выбранной темы, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость проведенного исследования, представлена информация об апробации, выделен личный вклад автора работы.

В первой главе приведен обзор литературы, где рассмотрены электрооптические и диэлектрические свойства сегнетоэлектрических жидких кристаллов. Основное внимание уделено влиянию наночастиц на электрические и электрооптические свойства жидких кристаллов, а также особенностям движения микрочастиц в жидких кристаллах. В данной главе показано, что вне зависимости от типа наночастиц, диспергированных в СЖК, время электрооптического переключения уменьшается примерно на 30%-50%.

Вторая глава посвящена описанию методов измерения физических свойств сегнетоэлектрических жидких кристаллов и обработки экспериментальных данных. Представлены результаты измерения диэлектрических свойств и материальных параметров СЖК и дисперсии золотых наночастиц в СЖК. Показано, что допирование золотыми наночастицами СЖК приводит к уменьшению спонтанной поляризации и уменьшению времени электрооптического переключения.

В третьей главе представлены результаты исследования влияния золотых наночастиц на электрическую проводимость СЖК. Показано, что известные способы измерения с использованием тока проводимости в ЖК ячейке с блокирующими электродами не позволяют корректно оценить величину проводимости. Описана выполненная в данной работе адаптация емкостного метода, основанного на измерении мнимой компоненты переменного тока, что позволило измерить величины ионной проводимости СЖК и допированного наночастицами СЖК. Измерений показали, что золотые наночастицы заметно изменяют электрическую проводимость нанокompозита. Интерпретация

результатов основана на предположении об адсорбции примесных ионов жидкого кристалла наночастицами.

В четвертой главе представлены исследования, направленные на определение доминирующего механизма уменьшения времени электрооптического переключения сегнетоэлектрического жидкого кристалла, допированного золотыми наночастицами. Анализ экспериментально измеренных спектров импеданса ячеек, заполненных СЖК и дисперсией с наночастицами, позволил определить распределение падения напряжения на элементах эквивалентной электрической схемы. Показано, что допирование СЖК золотыми наночастицами приводит к увеличению электрического напряжения, падающего на объемном слое СЖК, что уменьшает время электрооптического переключения СЖК с наночастицами. Количественные оценки вращательной вязкости СЖК показали, что эта величина не зависит от наличия наночастиц.

В заключении автором сделаны достаточно аргументированные и теоретически обоснованные выводы. Список цитируемой литературы содержит 140 наименований.

Вопросы и замечания .

1. На Рис.3.5 приведены зависимости электрической проводимости от температуры, которые показывают, что в СЖК проводимость растет с температурой быстрее, чем в допированном наночастицами СЖК. Этот эффект объясняется увеличением концентрации ионов в СЖК без наночастиц. Однако проводимость пропорциональна концентрации и подвижности ионов. К сожалению, в работе не сделаны оценки подвижности ионов, поэтому вывод об увеличении концентрации ионов в СЖК без наночастиц при изменении температуры не достаточно обоснован.

2. На Рис. 3.5 при температуре 300К значение проводимости СЖК ниже, чем допированного наночастицами СЖК, что противоречит предположению об адсорбции ионов золотыми наночастицами. В это смысле представляется важным

получение данных о проводимости обоих образцов после нагрева и остужения до 300К.

3. В главе 4 приводятся результаты аппроксимации спектров импеданса на основе моделей эквивалентных электрических цепей. Известно, что в ячейках с блокирующими электродами значение проводимости по постоянному току можно оценить из уровня плато действительной части импеданса. Интересно было бы сравнить полученные оценки с результатами измерений емкостного тока, описанных в главе 3.

4. На Рис.4.2 приведены результаты аппроксимации спектров импеданса моделями на основе эквивалентных схем. К сожалению, выбранное автором представление данных затрудняет сравнение результатов аппроксимации с экспериментальными данными.

5. На Рис. 4.3 показана зависимость вращательной вязкости от температуры в диапазоне 300-350К. Однако на Рис. 4.6 скорректированные значения вращательной вязкости приведены только для трех значений температур в диапазоне 300 - 317К. Представляется важным верификация разработанного в работе метода коррекции вращательной вязкости во всем температурном интервале существования смектической фазы.

Характеризуя работу в целом, отметим следующее:

Достоверность основных результатов не вызывает сомнений; она подтверждается использованием хорошо апробированных экспериментальных и численных методов. Защищаемые положения и выводы, сформулированные в диссертации, являются достаточно обоснованными. Полученные результаты в достаточной мере аргументированы и обладают несомненной научной значимостью и новизной.

Работа написана ясным и четким языком, основные положения и следствия представлены последовательно и обоснованно, отличается высоким качеством оформления, как самого текста, так и иллюстраций. Полученные автором результаты опубликованы в известном зарубежном научном журнале с высоким impact-фактором – *Liquid Crystals*, который включен в список ВАК. Результаты

также были представлены на международных и всероссийских конференциях и хорошо известны среди специалистов. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, актуальность, научную новизну и другие ключевые моменты.

Полученные результаты весьма перспективны с точки зрения их практического использования при создании фотоэлектронных преобразователей нового поколения, новых устройств отображения информации, в микрожидкостных приложениях.

Результаты и выводы, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы к использованию и дальнейшему развитию в лабораториях Института кристаллографии РАН, Института физики молекул и кристаллов УНЦ РАН, Башкирском, Ивановском, Уральском и Самарском государственных университетах.

Соответствие работы научной специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния. В работе установлены количественные соотношения между физическим составом, структурой вещества и его свойствами. Область исследований соответствует пп. 2, 3, 6, 7 паспорта специальности.

Заключение

Диссертационная работа Караави А.Р.Ш. «Механизм уменьшения времени электрооптического переключения в сегнетоэлектрических кристаллах, допированных золотыми наночастицами» является законченным научным исследованием, в котором решена актуальная задача физики конденсированного состояния – установление доминирующего механизма уменьшения времени электрооптического переключения в сегнетоэлектрических жидких кристаллах, допированных золотыми наночастицами. Диссертационная работа выполнена с применением современных численных методов и теоретических подходов, по своему содержанию и выводам соответствует специальности 01.04.07 – «Физика

конденсированного состояния», а также соответствует критериям п. II п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, а ее автор, Караави Ахмед Рахим Шилтаг, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на семинаре Института физики молекул и кристаллов Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (протокол № 279 от 29 апреля 2021 г.).

Отзыв подготовил зав. лабораторией Физики твердого тела, д.ф.-м.н., проф. Скалдин О. А. (специальность 01.04.07 – Физика твердого тела)

(согласен на обработку своих персональных данных)

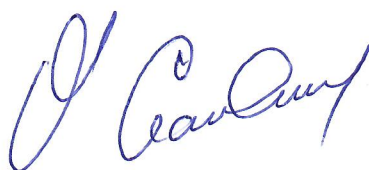
ИФМК УФИЦ РАН

scala@anrb.ru

Тел.: +7(347) 235-60-22

Почтовый адрес: 450054, Уфа, Республика Башкортостан

г. Уфа, пр. Октября, д.71



Скалдин Олег Алексеевич