

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Емельяненко Александра Вячеславовича

на диссертацию Ткаченко Тимофея Павловича
«Диэлектрические и электрооптические свойства ферриэлектриков в смесях неполярного жидкого кристалла и хиральных соединений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния.

Полярные фазы смектических C^* жидких кристаллов, а именно сегнетоэлектрические и антисегнетоэлектрические, выгодно отличаются своим повышенным быстродействием относительно коммерчески применяемых неполярных нематических жидких кристаллов. Ферриэлектрические фазы смектиков C^* также известны, но они обычно существуют при высоких, по сравнению с комнатными, температурах, в узком температурном диапазоне, и часто называются промежуточными фазами, так как обычно они наблюдаются между сегнетоэлектрической и антисегнетоэлектрической фазами. По этой причине исследователей в основном интересовало их структурное многообразие, а также различные вопросы фазовых переходов в электрическом поле, которые происходят в этих мезофазах. Вопросы практического применения до сих пор не рассматривались.

Диссертационная работа Т.П. Ткаченко посвящена разработке и исследованию диэлектрических и электрооптических свойств ферриэлектрических жидких кристаллов. Прежде всего работа сконцентрирована на разработке жидкокристаллических материалов, которые обладают широким диапазоном существования ферриэлектрических фаз, включая комнатные температуры. **Актуальность** диссертационной работы Ткаченко Т.П. не вызывает сомнений, так как разработка широкотемпературных жидкокристаллических ферриэлектриков позволяет использовать их на практике, в том числе, в качестве электрооптических материалов для фазовой модуляции света, работающих при комнатных температурах.

Работа Т.П. Ткаченко является экспериментальным исследованием диэлектрических и электрооптических свойств разработанных им ферриэлектрических жидких кристаллов. Проблематика исследования, цели и задачи определены четко, а интерпретация полученных результатов проводится в рамках подходов физики конденсированного состояния и на основе квалифицированного анализа имеющихся литературных данных.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Общий объём диссертации составляет 143 страницы, 74 рисунка и 6 таблиц. Список литературы содержит 188 наименований.

Введение содержит краткие сведения о жидких кристаллах, включая историю их открытия и область практического применения. Перечислены различные типы полярных фаз в смектических С* жидких кристаллах и их преимущества перед неполярными фазами, на основании чего сформулирована актуальность тематики, сформулированы цели и задачи исследования, указаны научная новизна, практическая значимость и защищаемые положения.

Глава 1 является обзорной и содержит классификацию неполярных фаз жидких кристаллов с указанием параметров порядка, присущих этим фазам. Приведена диэлектрическая и структурная классификация полярных фаз смектических С* жидких кристаллов. Рассмотрены электрооптические эффекты, характерные для жидкокристаллических сегнето- и антисегнетоэлектриков, и области их практического использования. Указано многообразие надмолекулярных упаковок жидкокристаллических ферриэлектриков и описаны различные направления исследований этих материалов.

Глава 2 посвящена методам экспериментальной работы. Описана технология сборки жидкокристаллических ячеек с требуемой ориентацией жидких кристаллов, методика приготовления жидкокристаллических смесей. Подробно описаны методы диэлектрических и электрооптических измерений, с указанием используемого оборудования.

Глава 3 посвящена разработке жидкокристаллических ферриэлектриков и исследованию их диэлектрических свойств. Описан метод подбора неполярной смектической С матрицы и используемых немезофазных хиральных соединений. Приведены подходы физического материаловедения, согласно которым разрабатывались жидкокристаллические смеси. Охарактеризован двухкомпонентный жидкокристаллический ферриэлектрик FerriLCM-1-B, обладающий ферри-фазой при комнатных температурах. Для характеристики его свойств построены температурные зависимости диэлектрической восприимчивости и критических электрических полей. Проведено сравнение в двухкомпонентных смесях разных хиральных добавок. На основе соединений, обеспечивающих минимизацию времени электрического отклика, разработаны два трехкомпонентных жидкокристаллических ферриэлектрика, существующих при комнатной температуре, но с отличными от FerriLCM-1-B свойствами.

Глава 4 содержит исследование электрооптических свойств жидкокристаллических ферриэлектриков. Показано, что в электрическом поле ниже первого критического наблюдается электрооптический отклик в

режиме деформированного электрическим полем геликоида, который известен в сегнетоэлектрических и антисегнетоэлектрических фазах. Также обнаружено, что ферриэлектрические жидкие кристаллы в полях меньших, чем первое критическое электрическое поле, ведут себя аналогично сегнетоэлектрическим смектикам C^* , а именно демонстрируют безгистерезисный отклик в режиме V-shape и квадратичную зависимость эффективного двулучепреломления от величины электрического поля (ориентационный эффект Керра).

Отдельно стоит отметить, что разработанный жидкокристаллический ферриэлектрик FerriLCM-1 характеризуется самым большим коэффициентом ориентационного эффекта Керра среди всех известных термотропных жидких кристаллов. На основании температурных измерений времени электрооптического отклика, диэлектрической восприимчивости, коэффициента ориентационного эффекта Керра, а также частотной зависимости температуры слияния критических полей, был сделан вывод о том, что ферриэлектрическая фаза в разработанной смеси существует до фазового перехода в изотропную фазу.

Глава 5 посвящена сравнению свойств ферриэлектрических и сегнетоэлектрических жидких кристаллов в режиме деформированного электрическим полем геликоида. Проводилось сравнение двух ферриэлектриков, разработанных Ткаченко Т.П., с двумя сегнетоэлектрическими жидкими кристаллами, известными из рецензируемых научных изданий и разработанных без участия автора диссертации. Обсуждаются критерии окончания эффекта деформированного электрическим полем геликоида, сравниваются температурные зависимости критических электрических полей, коэффициентов ориентационного эффекта Керра и максимально достижимого электроуправляемого эффективного двулучепреломления. В результате сравнения показано, что ферриэлектрики обладают интересной особенностью – увеличением электроуправляемого эффективного двулучепреломления с ростом температуры, которое сопровождается снижением времени электрооптического отклика.

Также в главе на основе экспериментальных данных получены эмпирические уравнения, описывающие частотную и толщинную зависимость диэлектрической восприимчивости и критического электрического поля. Используя эти уравнения, рассчитаны управляющие напряжения, необходимые для достижения фазового сдвига π и 2π в диапазоне частот 1Гц-1кГц для толщин слоев ферриэлектрического жидкого кристалла от 1 мкм до 100 мкм. Вышеупомянутый результат упрощает разработку электрооптических модуляторов на основе полярных фаз смектиков C^* .

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы, основным результатам и выводам.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Впервые индуцированы ферриэлектрические фазы смектических С* жидких кристаллов в смесях соединений, не обладающих ферриэлектрическими фазами в индивидуальном состоянии. При этом ферриэлектрические фазы не являются промежуточными между сегнетоэлектрическими и антисегнетоэлектрическими, поскольку в этих смесях не наблюдаются классические сегнетоэлектрическая и антисегнетоэлектрическая фазы.
2. Предложен подход к управлению типом индуцируемой в смесях ферриэлектрической фазы, основанный на управлении шагом геликоида методами физического материаловедения.
3. Обнаружены и объяснены качественные различия между сегнетоэлектрическими и ферриэлектрическими фазами в температурном поведении электроуправляемого эффективного двулучепреломления.

Содержание диссертации грамотно изложено, работа логически целостная. Положения, выносимые на защиту, и выводы, сформулированные в диссертации, обладают **высокой степенью обоснованности**. Результаты диссертации опубликованы в пяти статьях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, в одной статье в журнале, рекомендуемом ВАК, а также апробированы на международных и всероссийских конференциях. **Достоверность** результатов диссертации подтверждается использованием современных методик, воспроизводимостью результатов экспериментов и непротиворечивостью с результатами других научных групп.

Результаты диссертационной работы, несомненно, имеют **практическую значимость**, поскольку в разработанных широкотемпературных ферриэлектрических жидких кристаллах обнаружены эффект деформированного электрическим полем геликоида и ориентационный эффект Керра, позволяющие обеспечивать электроуправляемую фазовую модуляцию света при уменьшенных управляющих напряжениях относительно ранее известных смектических С* жидких кристаллов.

Результаты работы могут быть использованы в российских организациях, занимающихся экспериментальными и теоретическими исследованиями жидких кристаллов и устройств на их основе, таких как Отделение «Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова» Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт», Институт Физики твердого тела им. Ю.А. Осипяна РАН и др.

В качестве **замечаний** к диссертации можно отметить следующее:

1. Литературный обзор содержит весьма подробное описание практического использования полярных фаз смектических C* жидких кристаллов в различных электрооптических режимах и для задач как фазовой модуляции света, так и для устройств отображения информации. Однако теории, описывающие трансформацию ферриэлектрических фаз, приведены лишь в виде ссылок.
2. В диссертации критические электрические поля определялись как поля, при которых диэлектрическая восприимчивость максимальна, на основании чего строилась зависимость критических электрических полей от температуры. Однако существует и другие способы, например, основанный на измерении двулучепреломления, как в работе [Emelyanenko A.V., *The European Physical Journal E*, **28**, 441, 2009]. В диссертации не приводится обоснование выбора методики.
3. Идентификация ферриэлектрических фаз в малых электрических полях проводилась посредством вычисления отношения диэлектрической восприимчивости к спонтанной поляризации и сравнением этой величины только с одним жидкокристаллическим сегнетоэлектриком и одним антисегнетоэлектриком. На основании этого делалось предположение о трехслойной или четырехслойной упаковке феррифазы. Несмотря на то, что в диссертации отмечено многообразие возможных ферриэлектрических упаковок, подобный метод является весьма грубым и не позволяет надежно идентифицировать ни указанные упаковки, ни более сложные.
4. В работе присутствуют данные о поведении поляризации, угла отклонения главной оптической оси и времен отклика в электрических полях между первым и вторым критическим полем, однако никак не комментируется ни это поведение, ни возможные структуры в данном диапазоне полей.

Отмеченные замечания не снижают научную значимость результатов диссертации и не влияют на позитивную оценку работы.

Заключение по диссертационной работе.

На основании всего вышеизложенного, можно заключить, что диссертационная работа «Диэлектрические и электрооптические свойства ферриэлектриков в смесях неполярного жидкого кристалла и хиральных соединений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу и полностью удовлетворяет всем требованиям к кандидатским

диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Ткаченко Тимофей Павлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор РАН,
ведущий научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов
физического факультета Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Емельяненко Александр Вячеславович

«23» июня 2026 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(495)939-1013, e-mail: emel@polly.phys.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Адрес места работы: 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, строение
35.

Подпись д.ф.-м.н., проф. РАН А.В. Емельяненко заверяю:

И.о. декана физического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова,
д.ф.-м.н., профессор В.В. Белокурова

Список основных работ официального оппонента Емельяненко Александра Вячеславовича по тематике диссертации Т.П. Ткаченко в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1. Ye F., Hou Y., Yang C., Zhang X., Huang X., Larin D. E., Emelyanenko A.V., Aya S., Huang M. Intrinsic relaxor-like nature in single-component polar nematic fluids, *Small*, 2026, 22 (14), e12407 <https://doi.org/10.1002/sml.202512407>
2. Emelyanenko A. V., Rudyak V. Yu., Shvetsov S. A., Araoka F., Nishikawa H., Ishikawa K. Transformation of polar nematic phases in the presence of an electric field, *Physical Review E*, 2024, 109 (1), 014701. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.109.014701>
3. Emelyanenko A. V., Shmeliova D. V. Optimization of the domain size in stressed liquid crystals, *Liquid Crystals and their Application*, 2024, 24 (1), 60–68. <https://doi.org/10.18083/LCAppl.2024.1.60>
4. Larin D. E., Shibaev A. V., Shmeliova D. V., Emelyanenko A. V. Dynamic gel formation in solutions of associating macromolecules with mesogenic groups, *Liquid Crystals and their Application*, 2024, 24 (3), 52–60. <https://doi.org/10.18083/LCAppl.2024.3.52>
5. Daniil E. Larin, Andrey V. Shibaev, Ch.-Y. Liu, Alexander V. Emelyanenko The effect of dynamic cross-links and mesogenic groups on the swelling and collapse of polymer gels, *Giant*, 2024, 20, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2024.100341>
6. Emelyanenko A. V., Shvetsov S. A. Discotic nematic state in a system of rod-like molecules, *Liquid Crystals and their Application*, 2023, 23 (1), 78–89. <https://doi.org/10.18083/LCAppl.2023.1.78>
7. Chausov D. N., Kurilov A. D., Smirnova A. I., Stolbov D. N., Kucherov R. N., Emelyanenko A. V., Savilov S. V., Usol'tseva N. V. Mesomorphism, dielectric permittivity, and ionic conductivity of cholesterol tridecylate doped with few-layer graphite fragments, *Journal of Molecular Liquids*, 2023, 374, 121139. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.121139>
8. Emelyanenko A. V., Rudyak V. Yu., Shvetsov S. A., Araoka F., Nishikawa H., Ishikawa K. Emergence of paraelectric, improper antiferroelectric, and proper ferroelectric nematic phases in a liquid crystal composed of polar molecules, *Physical Review E*, 2022, 105 (6), 064701. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.105.064701>
9. Shvetsov S. A., Orlova T., Emelyanenko A. V., Zolot'ko A. S., H. L. Ong H. L. Optical nonlinearity of a dual-frequency nematic liquid crystal via temperature-mediated mapping of dielectric anisotropy, *Optics Express*, 2022, 30 (26), 47909-47920. <https://doi.org/10.1364/OE.478321>
10. Shvetsov S. A., Orlova T., Emelyanenko A. V. Light-Induced Structures and Microparticle Transportation in a Free-Surface Frustrated Chiral Nematic Film, *Crystals*, 2022, 12 (4), 549. <https://doi.org/10.3390/cryst12040549>