

## ОТЗЫВ

### официального оппонента на диссертацию Трашкеева Сергея Ивановича «Структурные и нелинейно-оптические преобразования в жидких кристаллах и полупроводящих полимерах», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – оптика

Диссертация Трашкеева Сергея Ивановича посвящена развитию нового подхода, позволяющего изучать структуры и нелинейно-оптические свойства так называемых мягких сред на предельно малых пространственных и временных масштабах. Комплексность работы в виде сочетания оригинальных теоретических моделей и последующих экспериментальных исследований позволила описать дефектообразование в жидких кристаллах (ЖК) и установить непосредственные связи наноразмерных структур среды с протекающими в ней нелинейно-оптическими процессами.

В диссертации рассматривается ряд вопросов физики ЖК и полупроводящих полимеров, часть из которых на сегодняшний день не имели однозначного ответа или появились и были определены в процессе исследований. К наиболее важным из обнаруженных явлений можно отнести возможность нелинейного преобразования частоты излучения мягкими органическими средами микронного и субмикронного размеров с высокими эффективностями. Из приведенных данных следует, что экспериментально продемонстрированные свойства генерируемых гармоник определяются образованными исходным излучением дефектами или специфическими структурами с особенностью ориентационного порядка и измененной симметрией. К появлению дефектов приводит обнаруженный и изученный в диссертации термоориентационный эффект, который получилось достаточно просто реализовать при использовании волоконных лазерных систем, также как и само нелинейное преобразование излучения. Многие эксперименты диссертации можно было провести и с обычными оптическими элементами, однако предложенное сочетание нелинейной среды и волокна, кроме упрощения исследований, позволяет говорить о возможности практического использования конструкции для создания малогабаритных источников и преобразователей излучения.

Актуальность темы диссертации определяется прежде всего современными тенденциями, направленными на поиск новых сред или создание искусственных материалов с ранее неизвестными свойствами. К таким можно отнести исследованные в диссертации ЖК, насыщенные дефектами, и субмикронные слои полупроводящих полимеров с изменением параметра порядка на нанометровых масштабах кристаллических областей. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения.

Во *Введении* описываются особенности мягких сред, рассматриваются предыдущие исследования и вопросы, поставленные в них, формулируется цель работы, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приводятся данные о личном вкладе автора, положениях, выносимых на защиту, апробации работы.

*Первая глава* посвящена теоретическим вопросам о способах решения сложных трехмерных уравнений для расчета ориентационных структур и обоснованию континуальной модели деформированного состояния на основе предположения о распределенности ЖК-среды. Показывается адекватность и непротиворечивость предложенной модели, выводятся необходимые уравнения.

Во *второй главе* рассматриваются вопросы, посвященные использованию уравнений Максвелла в сложных нелинейных задачах взаимодействия структурированной среды с излучением. Предлагается новая формулировка уравнений Максвелла через потенциалы, более удобная, по мнению автора, для численных исследований различных оптических процессов и систем, включая волоконные конструкции.

*Третья глава* относится к экспериментальной и теоретической разработке вопросов, связанных с формированием структур ЖК под действием формы ограничивающей поверхности и теплового потока. Обосновывается существование нового типа ориентационного взаимодействия молекул, квадратичного по градиенту температуры или параметру порядка, реализуемому без гидродинамического перемещения жидкости.

В *главе 4* решаются задачи, связанные с ориентационными изменениями в ЖК под действием электрических полей сложной конфигурации и радиочастотного диапазона. Полученные данные о возможных видах колебаний директора интересны сами по себе и могут иметь практическое значение для систем быстрого управления световыми потоками.

*Глава 5* посвящена нелинейно-оптическим явлениям ориентационно-электронного типа, связанным с деформацией структуры ЖК под действием когерентного излучения, и изменениям самого излучения в результате такой деформации. Исследована возможность генерации оптических вихрей, самоколлимации и других изменений за счет теплового воздействия излучения на ЖК, рассмотренного в *главе три*. Приведены данные экспериментов, доказывающих возможность высокоэффективной генерации излучения четных гармоник и разностных частот в ЖК с начальной центральной симметрией.

В *шестой главе* приведено дальнейшее рассмотрение вопросов нелинейной оптики мягких сред. Исследованы отличия генерационных характеристик ЖК и полупроводящих полимеров от традиционных сред. Экспериментально и теоретически показывается квадрупольный механизм оптической нелинейности в структурированной среде, позволяющий реализовать высокоэффективные частотные преобразования излучения на микронных и субмикронных размерах этой среды. Последнее особенно важно для использования в волоконных лазерных системах.

Материал, представленный в диссертации, соответствует *целям и задачам*, сформулированным во введении. Основная часть полученных результатов на момент их публикации была *новой* и не содержала данных предыдущих исследований.

В теоретическом плане несомненный интерес вызывает распределенная модель ЖК, доведенная до рабочих формулировок. Заслуживает внимание и упорство автора, проделавшего до конца весьма громоздкие и нетривиальные тензорные вычисления. Оказалось, что при распределенном подходе достаточно только квадратичных членов градиентов параметра порядка в функционале плотности свободной энергии, в то время как при локальном подходе необходим учет старших членов разложения.

Формулировка уравнений Максвелла в виде системы эволюционных уравнений первого порядка для потенциалов, предложенная автором для решения сложных задач нелинейной оптики мягких сред, имеет собственную ценность хотя бы потому, что дала возможность записать уравнения для потенциалов в произвольной переменной среде, включающей проводимость.

В экспериментальной части диссертации описан новый термоориентационный вид взаимодействия ЖК с тепловым потоком или градиентом параметра порядка, что является

вкладом в общее представление о ЖК как структурированных сред. Что касается нелинейно-оптического взаимодействия мягких сред с излучением, предположение о возможности существования сверхбольших нелинейных восприимчивостей в органических кристаллах и полимерах существует достаточно давно, но экспериментального подтверждения до работ автора не было. Можно сделать вывод, что в области оптики ЖК или вообще мягких сред обосновано новое направление, относящееся к нелинейной оптике структурированной материи.

С прикладной точки зрения вызывает интерес предложение о совмещении нелинейных мягких сред с волоконными лазерными системами. Здесь при наличии высоких нелинейностей в рассмотренных веществах можно говорить о создании генераторов и преобразователей когерентного излучения, интегрированных в волоконную структуру. Мягкость среды дает дополнительное преимущество в управляемости всей системой с помощью внешних электромагнитных полей умеренной напряженности.

Работа С.И. Трашкеева достаточно обширна и представляет комплексное исследование важной проблемы структурных и нелинейно-оптических преобразований в мягких средах. Диссертация носит законченный, фундаментальный характер, а ее результаты не вызывают сомнений с точки зрения научной новизны, значимости и обоснованности положений, выносимых на защиту.

Несмотря на общую положительную оценку работы, имеется ряд замечаний. В диссертации представлен достаточно большой теоретический и экспериментальный материал, однако такой объем имеет и отрицательную сторону, связанную с недостаточно глубокой проработкой некоторых вопросов.

1. В приводимых экспериментальных данных по генерации гармоник нет четкого определения границ необходимых плотности мощности и ее градиента, в интервале которых наблюдаются исследуемые высокоэффективные нелинейно-оптические процессы. В представленных данных с импульсной накачкой отсутствуют временные характеристики генерируемых гармоник.

2. В работе наблюдается интересное явление генерации широкого спектра излучения при непрерывной накачке, автор называет его суперконтинуумом по аналогии с широкополосным излучением, генерируемым в оптических волокнах, однако их свойства сильно отличаются. В частности, в ЖК узкополосное излучение накачки преобразуется только в коротковолновую область, что требует дополнительных объяснений.


3. В связи с предложенной интересной возможностью интеграции нелинейных преобразователей в волоконную структуру, имеет смысл сравнить полученные характеристики нелинейного преобразования с другими полностью волоконными преобразователями, такими как полингованные оптические волокна.

Перечисленные замечания не снижают общую высокую оценку представленного материала и больше относятся к пожеланиям для формирования дальнейших исследований. Содержание диссертации представлены в опубликованных работах. Автореферат отражает основное содержание диссертации. Диссертация соответствует специальности 1.3.6 – оптика.

Диссертация Трашкеева С.И. «Структурные и нелинейно-оптические преобразования в жидких кристаллах и полупроводящих полимерах» удовлетворяет всем требованиям к докторским диссертациям, установленным Положением о присуждении

ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а автор, Трашкеев Сергей Иванович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – оптика.

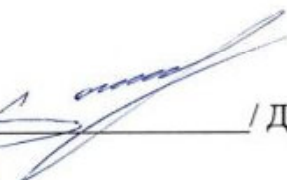
Официальный оппонент,  
исполняющий обязанности директора,  
член-корреспондент РАН,  
доктор физико-математических наук

  
Бабин Сергей Алексеевич  
“ 29 ” “ 03 ” 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и  
электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук  
Адрес: 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1  
Тел.: (383)330-79-69  
e-mail: babin@iae.nsk.su

Подпись Бабина С.А. удостоверяю  
Ученый секретарь ИАиЭ СО РАН, к.ф.-м.н.



  
/ Донцова Е.И. /