

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Швецова Сергея Александровича "Светоиндуцированные ориентационные эффекты в жидкокристаллических полимерах и композитных системах", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика

Работа посвящена актуальному направлению исследований в области оптики жидких кристаллов (ЖК), жидкокристаллических полимеров и композитов. Автором исследуются нелинейно-оптические явления, обусловленные переориентацией молекул под воздействием света. Основная цель работы - это поиск и изучение новых жидкокристаллических материалов, обладающих высоким ориентационным нелинейно-оптическим откликом. Конкретные задачи, которые решаются в ходе работы, связаны с установлением закономерностей влияния высокомолекулярных поглощающих добавок на ориентационную нелинейность; изучением процессов фотоизомеризации поглощающих добавок и их роли в эффекте ориентационной нелинейности; исследованием светоиндуцированных эффектов как в прозрачных нематических ЖК полимерах (НЖКП), так и в НЖКП, легированных красителями; выяснением влияния состояния поляризации света на фотоиндуцированные ориентационные переходы в нематических ЖК с примесью дендримеров. Ориентационное состояние нематических ЖК анализируется в терминах фазовых диаграмм, что является интересным и нетрадиционным подходом к рассмотрению изучаемых явлений. В работе также анализируются перспективы применения эффекта ориентационной нелинейности для создания фильтров Цернике и опто-оптических модуляторов, что определяет практическую значимость диссертации.

Работа состоит из Введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Актуальность, обоснованная во Введении, сомнений не вызывает.

В первой главе автор приводит краткое описание основополагающих свойств жидких кристаллов и жидкокристаллических полимеров. Здесь описываются способы создания граничных условий для получения однородно ориентированных жидкокристаллических образцов, рассматривается эффект переориентации в низкочастотных электрических полях (в частности, рассмотрен эффект в твист-ячейке), а также ориентационное воздействие световых полей. Автор кратко иллюстрирует известные закономерности влияния структуры поглощающих добавок на нелинейно-оптический отклик, рассматривает эффект фотоориентации в полимерах, включая жидкокристаллические полимеры с азофрагментами. Заключительные разделы первой

главы посвящены методикам регистрации нелинейно-оптического отклика, используемым в диссертационной работе, а также методу визуализации фазового контраста.

Вторая глава посвящена ориентационному эффекту в нематических ЖК, слабо легированных высокомолекулярными соединениями. В качестве легирующих материалов использовались поглощающие свет азобензольные соединения различного строения и молекулярной массы. Исследования показали, что для всех образцов переориентация директора ЖК была в направлении от вектора поляризации света, т.е. наблюдалась отрицательная нелинейность, когда эффективное значение показателя преломления уменьшается. Существенным результатом является то, что увеличение молекулярной массы добавки приводит к значительному уменьшению пороговой мощности переориентации. Например, при использовании в качестве добавки дендримеров четвертой генерации вместо второй генерации наблюдалось десятикратное уменьшение пороговой мощности переориентации. Схожие результаты получены как в случае использования дендримеров, так и в случае азобензольных гребнеобразных полимеров. Для прояснения причин наблюдаемых закономерностей были изучены спектральные свойства материалов, что позволило определить концентрации цис- и транс-изомеров, а также оценить факторы усиления вращающего момента сил для каждого из изомеров по отношению к нелегированной ЖК-матрице. Важный вывод, сделанный в этой главе, состоит в том, что увеличение времени вращательной диффузии способствует возрастанию эффективности светового воздействия.

Если вторая глава посвящена изучению нематических жидких кристаллов, то в третьей главе ориентационная нелинейность изучается в жидкокристаллических полимерах. Ориентационная нелинейность изучена как в нелегированных НЖКП, так и в НЖКП с добавками азобензольного и антрахинонового красителей. Существенное отличие НЖКП от нематических ЖК - это существенно более высокая вязкость, что даже потребовало проведения экспериментов при повышенной температуре (в диапазоне 90 - 115 °С). В ходе экспериментов были обнаружены сильные температурные зависимости отношения вращательной вязкости к константе упругости. Показано, что в силу высокой вращательной вязкости ориентационные процессы в НЖКП идут на два порядка медленнее в сравнении с нематическими ЖК. Если для нелегированного НЖКП наблюдалась положительная ориентационная нелинейность, связанная с поворотом директора к направлению поляризации света, то после легирования азокрасителем (КД-1) эффект менял знак, а мощности светового воздействия, необходимые для переориентации

директора НЖКП, падали более чем в 100 раз. Столь существенное возрастание эффективности переориентации диссертант объясняет как увеличением времени вращательной диффузии, так и большой концентрацией транс-изомеров и, соответственно, малой концентрацией цис-изомеров. В случае использования в качестве добавки антрахинонового красителя, который является конформационно стабильным, наблюдаемая ориентационная нелинейность была сравнима с нелинейностью, индуцируемой тем же красителем в низкомолекулярном ЖК.

Наконец, в четвертой главе рассмотрены различные нелинейно-оптические эффекты в нематических ЖК и в НЖКП, легированных красителями. Особенностью этой главы является то, что наблюдаемая ориентационная нелинейность интерпретируется в терминах переходов первого и второго рода, аналогично подходу в теории фазовых переходов Л.Д. Ландау. В качестве физической величины, аналогичной параметру порядка в теории Ландау, рассматривается угол поворота директора ЖК в центре слоя. В рамках данного подхода были построены фазовые диаграммы ориентационного состояния директора ЖК в зависимости от интенсивности светового пучка с состоянием поляризации, соответствующим необыкновенной волне в слое ЖК. Это позволило интерпретировать особенности ориентационных переходов в терминах переходов первого и второго рода, изучить трансформацию перехода первого рода при изменении поляризации света, а также исследовать переход первого рода при одновременном воздействии световой волны и низкочастотного электрического поля. В заключительной части четвертой главы (параграфы 4.4 и 4.5) приведены результаты модуляции света, вызванной оптическим воздействием, а также продемонстрирована возможность визуализации фазовых объектов с помощью метода Цернике, где в качестве материала для фильтра использовались легированные нематические ЖК и НЖКП с добавками азокрасителя.

В Заключении сформулированы основные выводы работы. Список литературы достаточно полно отражает работы в данной области.

Результаты работы опубликованы в рецензируемых журналах, цитируемых международной базой Web of Science. Они прошли апробацию и обсуждение на многочисленных международных конференциях. Достоверность полученных диссертантом результатов не вызывает сомнений.

Данные, полученные в работе, имеют практическую значимость и могут быть рекомендованы для использования как в научно-исследовательских организациях, работающих в области жидких кристаллов (ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН, ИФТТ РАН, МГУ и др.), так и для организаций, занимающихся производством жидкокристаллических устройств.

В процессе чтения диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. На стр.22-25 описание переориентации директора чрезмерно упрощено. Например, сцепление у границ слоя даже не упоминается. Между тем, без определения граничных условий рассматривать упругий момент сил не корректно.
2. Методика определения главных значений показателя поглощения вызывает множество вопросов. Остается неясным, как учитывалось отражение от образцов? Была ли учтена спектральная дисперсия главных показателей преломления? Как учитывалась возможная переориентация направления главных осей комплексного тензора диэлектрической проницаемости?
3. Выражение (4.3) для оптического момента не достаточно обосновано и вызывает вопросы. Так, согласно (4.3) при отсутствии диэлектрической анизотропии ЖК ($\Delta\epsilon=0$) оптический момент вращения обращается в ноль. Однако известно, что даже без жидкокристаллической матрицы молекулы азокрасителей, аналогичные тем, которые используются в работе, проявляют эффект светоиндуцированной оптической анизотропии, т.е. в тонких пленках данных красителей осцилляторы поглощения молекул отворачиваются от поля световой волны при облучении в полосе поглощения. Известны также работы по переориентации молекул азокрасителей в вязких изотропных растворах, где $\Delta\epsilon=0$.
4. Во многих местах в тексте диссертации отсутствует определение физических величин непосредственно там, где эти величины употребляются, что затрудняет чтение работы. Например, на странице 30 при описании режима Могена используется параметр " p ", который не определен. Соответственно неясно, как этот параметр соотносится с толщиной ячейки L , чтобы понимать последующее утверждение о безусловной выполнимости условия Могена. Кроме того, термин "твист-ячейка" не обязательно подразумевает закрутку директора на 90 градусов - возможны произвольные значения угла. Соответственно в тексте следовало дать четкое определение граничных условий.

Сделанные замечания не снижают значимость полученных диссертантом результатов. Диссертационная работа производит очень приятное впечатление. Выполнен

не просто большой объем экспериментальных исследований, а получены существенные экспериментальные результаты, однозначно указывающие на существенную роль вязкости материалов и диффузионных процессов в эффекте ориентационной нелинейности.

Автореферат правильно отражает содержание диссертационной работы. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным "Положением о присуждении ученых степеней". Несомненно, автор работы, Швецов Сергей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика.

Заведующий лабораторией жидких кристаллов Института кристаллографии им. А. В. Шубникова ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН,
доктор физико-математических наук

Палто Сергей Петрович

13 сентября 2016 г

Подпись доктора физико-математических наук С.П. Палто заверяю:

И.о. Ученого секретаря ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН,
кандидат физико-математических наук

Алексеева Ольга Анатольевна

Контактная информация:

Федеральное государственное учреждение "Федеральный научно-исследовательский центр "Кристаллография и фотоника" Российской академии наук

119333, Москва, Ленинский проспект, д. 59,

тел. 8(495)3307847; e-mail: sergei.palto@gmail.com



Список публикаций

официального оппонента Палто Сергея Петровича по тематике диссертации С.А. Швецова "Светоиндуцированные ориентационные эффекты в жидкокристаллических полимерах и композитных системах", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

1. Палто С.П., Барник М.И., Касьянова И.В., Гейвандов А.Р., Штыков Н.М., Артемов В.В., Горкунов М.В., "Плазмонный электрооптический эффект в субволновой металлической нанорешетке с нематическим жидким кристаллов", Письма в ЖЭТФ, **103**, с. 27 (2016).
2. Palto S.P., Barnik M.I., Geivandov A.R., Kasyanova I.V., Palto V.S., Shtykov N.M., "Fast electric field switched 2D-photonic liquid crystals", Optics Letters, **40**., p. 1254 (2015).
3. Palto S.P., Barnik M.I., Geivandov A.R., Kasyanova I.V., Palto V.S., "Spectral and polarization structure of field-induced photonic bands in cholesteric liquid crystals", Physical Review E, **92**, p. 032502 (2015).
4. Palto S.P., Barnik M.I., Artemov V.V., Shtykov N.M., Geivandov A.R., Yudin S.G., Gorkunov M.V. "Liquid crystal on subwavelength metal gratings", Journal of Applied Physics, **117**, p. 223108 (2015).
5. Штыков Н.М., Палто С.П., Уманский Б.А., Гейвандов А.Р., "Лазерная генерация света слоем нематического жидкого кристалла в ячейке с системой встречно-штыревых электродов", Квантовая электроника, **45**, с. 305 (2015).
6. Штыков Н.М., Палто С.П., "Моделирование лазерной генерации света в холестерических жидких кристаллах с помощью кинетических уравнений", ЖЭТФ, **145**, с. 933 (2014).
7. Блинов Л.М., Палто С.П., "Пороги лазерной генерации в спиральных фотонных структурах с различным расположением одиночного витка спирали, усиливающего свет", Квантовая электроника, **43**, с. 841 (2013).
8. Уманский Б.А., Блинов Л.М., Палто С.П., "Угловые зависимости люминесценции и плотности фотонных состояний в хиральном жидком кристалле", Квантовая электроника, **43**, с. 1078 (2013).
9. Барник М.И., Гейвандов А.Р., Палто С.П., Палто В.С., Уманский Б.А., Штыков Н.М., "Компенсация спектральной дисперсии состояний поляризации света в электрооптических модуляторах на основе хиральных жидких кристаллов", Кристаллография, **58**, с. 128 (2013).

10. Палто С.П., Барник М.И., Гейвандов А.Р., Палто В.С., "Наведение полос селективного отражения импульсным электрическим полем в слоях хиральных ЖК", Письма в ЖЭТФ, **98**, с. 193 (2013).

Заведующий лабораторией жидких кристаллов Института кристаллографии им. А. В. Шубникова ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН,
доктор физико-математических наук

 Палто Сергей Петрович

Подпись доктора физико-математических наук С.П. Палто заверяю:

И.о. Ученого секретаря ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН,
кандидат физико-математических наук, Алексеева Ольга Анатольевна

