

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Семкина Артема Олеговича «Неоднородные фазовые и поляризационные дифракционные структуры на основе фотополимерно-жидкокристаллических композитов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Актуальность диссертационной работы определяется широким использованием оптических систем передачи, хранения и обработки информации. Увеличение объемов данных и скорости их обработки и передачи требует разработки полностью оптических устройств, не предусматривающих оптоэлектронных и электрооптических преобразований сигналов. В связи с этим актуальным является выявление новых особенностей и развитие известных принципов взаимодействия оптического излучения со статическими и динамическими структурами, сформированными в неоднородных и нелинейных средах.

С этой точки зрения перспективными представляются фотополимерные композиции, в том числе содержащие жидкие кристаллы. В них возможно голографическое формирование фазовых, а также поляризационных дифракционных структур, параметры которых полностью определяются составом материала и условиями формирования.

Таким образом, создание теоретических моделей формирования структур и дифракции волн на них, которые учитывают произвольные характеристики формирующего поля, динамическое изменение параметров материала в процессе формирования, а также произвольный характер внешнего воздействия, представляется актуальной задачей.

Диссертационная работа Семкина А.О. посвящена вышеупомянутым вопросам и является актуальной.

Структурно диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 138 наименований и четырех приложений. Работа содержит 177 страниц машинописного текста, включая 50 рисунков. По результатам диссертационной работы получено 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, 1 патент на полезную модель, опубликована 21 работа. Из них публикаций в научных

журналах, которые включены в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – «Перечень») – 7, статей в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus – 4, статей в научных журналах, не включенных в «Перечень», – 4, статей в сборниках материалов международных научных и научно-практических конференций – 6.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи работы, выносимые на защиту научные положения, определены новизна, научная и практическая значимость научных положений и полученных результатов.

В первой главе приведен обзор литературы, посвященной формированию голографических дифракционных структур в фотополимеризующихся композициях различного состава, а также дифракции волн оптического диапазона на данных структурах. Рассмотрены композиционные фотополимерные материалы, содержащие жидкие кристаллы.

Во второй главе описана трехмерная негармоническая теоретическая модель голографического формирования фазовых дифракционных структур в фотополимерных композициях, содержащих жидкие кристаллы. Данная модель (в отличие от известных) учитывает пространственную неоднородность амплитудных и фазовых распределений формирующего поля, а также произвольное соотношение скоростей фотополимеризационного и диффузионного процессов формирования.

В третьей главе изложена теоретическая модель голографического формирования поляризационных дифракционных структур произвольно поляризованными пучками света с учетом фотоиндуцированного изменения коэффициента поглощения материала и сильного поверхностного сцепления молекул жидкого кристалла с ограничивающими поверхностями.

Здесь показано, что в условиях интенсивности записывающего поля, превышающей критическую величину, возмущение тензора диэлектрической проницаемости и, следовательно, показателя преломления, вызванное процессами формирования поляризационной структуры, может быть соизмеримо с возмущением, вызванным процессами формирования фазовой структуры в этом же материале. Особенно ярко

данный эффект будет проявляться при состояниях поляризации записывающих пучков, близких к ортогональным.

В четвертой главе представлены теоретические модели дифракции Брэгга световых пучков на неоднородных голографических дифракционных структурах. Рассмотрены дифракционные и поляризационные характеристики данных структур. В основе полученных моделей лежат уравнения связанных волн, записанные для амплитуд прошедшего и дифрагировавшего в первый порядок пучков. Энергообмен между ними происходит вследствие периодического изменения диэлектрической проницаемости материала.

Также, рассмотрено влияние внешнего электрического поля (в том числе пространственно неоднородного) на характеристики структур с учетом сильного сцепления молекул ЖК с опорными поверхностями.

Показано, что для знакопеременного поля зависимость дифракционной эффективности структуры от относительной фазовой расстройки и величины внешнего электрического поля имеет неоднородный характер, при этом скорость спада величины дифракционной эффективности при воздействии знакопеременного поля в 1,6 раза выше, чем при воздействии пространственно однородного поля.

Кроме этого, показано, что применение пространственно-неоднородного внешнего электрического поля может частично компенсировать искажение формы дифракционной характеристики неоднородной (чирпированной) структуры, при этом для максимальной компенсации необходимо выполнять подбор функции пространственной неоднородности не только для заданного вида амплитудно-фазового профиля структуры, но и для заданной величины внешнего воздействия.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Новизна научных положений и результатов работы. Новизна первого защищаемого положения и соответствующих результатов заключается в разработанной трехмерной аналитической модели формирования фазовой структуры, которая, в отличие от известных моделей, одновременно учитывает:

- фотоиндуцированное изменение коэффициента поглощения;
- неоднородность формирующего поля;
- нелинейный характер процесса формирования, обусловленный произвольным соотношением времен полимеризации и диффузии компонент материала.

Новизна второго защищаемого положения и соответствующих результатов заключается в теоретическом обосновании экспериментальных результатов других авторов по формированию поляризационных дифракционных структур в фотополимерно-жидкокристаллических материалах, а также впервые разработанной аналитической модели формирования данных структур, одновременно учитывающей:

- произвольное состояние поляризации формирующих пучков;
- фотоиндуцированное изменение коэффициента поглощения материала;
- сильное сцепление молекул жидкого кристалла с ограничивающими поверхностями.

Новизна третьего и четвертого защищаемых положений и соответствующих результатов обусловлена отсутствием в литературных источниках сведений о влиянии пространственно-неоднородного электрического поля на дифракционные характеристики фазовых и поляризационных дифракционных структур в исследуемых материалах, в том числе в условиях неоднородности структур. В работе впервые разработаны аналитические модели дифракции световых пучков на данных структурах при воздействии на них электрического поля, имеющего пространственную неоднородность различной формы.

На основе полученных в рамках научных положений аналитических моделей разработано программное обеспечение для моделирования характеристик устройств на основе описанных дифракционных структур. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2015610165 от 12.01.20115; №2015662631 от 27.11.15; №2015663325 от 15.12.15.

На основе полученных в рамках третьего научного положения результатов разработан дифракционный оптический элемент с более эффективной (по сравнению с известными аналогами) характеристикой управления. Патент на полезную модель №161905 от 20.04.2016 (приоритет с 29.10.15).

Научная значимость работы заключается в том, что полученные аналитические модели формирования фазовых и поляризационных дифракционных структур позволяют, во-первых точнее обосновывать экспериментальные результаты, а во-вторых позволяют прогнозировать характеристики данных структур с учетом условий формирования и материальных параметров веществ, входящих в композицию, до проведения эксперимента.

Разработанные аналитические модели дифракции позволяют прогнозировать дифракционные и поляризационные характеристики исследуемых структур при воздействии на них пространственно-неоднородного электрического поля. Кроме этого, разработанные модели позволяют до проведения эксперимента подобрать форму пространственной неоднородности внешнего воздействия для получения заданных характеристик структуры.

Работа выполнялась в рамках фундаментальных исследований кафедры СВЧМКР ТУСУР и была поддержана государственными фондами и организациями, в том числе:

- по проекту 3.878.2014/К в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации;
- по проекту 2014/225 в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации;
- грантом РФФИ 14-32-50205 мол_нр.

Практическая значимость работы. Методом численного моделирования в работе показано, что воздействие знакопеременного поля на голографические фазовые дифракционные структуры в фотополимерно-жидкокристаллических материалах в условиях сильного поверхностного сцепления молекул жидкого кристалла с ограничивающими поверхностями позволяет снизить величину управляющего напряжения по сравнению с аналогичной структурой при воздействии пространственно-однородного электрического поля.

Кроме этого показано, что плавная пространственная неоднородность управляющего электрического поля, воздействующего на дифракционную структуру с неоднородным амплитудно-фазовым профилем, позволяет снизить асимметрию изменения дифракционной характеристики структуры под действием поля до уровня не более 5%.

Работа поддерживалась грантом У.М.Н.И.К., фонда содействия развитию МФП в НТС, по проекту № УМНИК-1-13-1 000120, по теме «Разработка управляемых оптических делителей для реконфигурируемых оптических сетей нового поколения (PON)».

Представленные в работе результаты получены численно-аналитическими методами. Их достоверность основывается на корректности постановки задач, использовании апробированных теоретических методов решения и физически-

обоснованных приближений. Кроме этого, в пользу достоверности и обоснованности полученных результатов свидетельствует переход (в частных случаях) разработанных моделей к подтвержденным экспериментально теоретическим моделям других авторов, а также соответствие полученных теоретических зависимостей экспериментальным результатам других авторов. Таким образом, все полученные А.О. Семкиным результаты **обоснованы и достоверны**.

Результаты диссертации А.О. Семкина могут быть использованы в Институте автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирском институте органической химии СО РАН, Институте теоретической и прикладной механики СО РАН, Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики, Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе РАН, Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН, в Санкт-Петербургском государственном университете информатики, точной механики и оптики, в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, в Национальном исследовательском университете «МИЭТ», в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана, в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете имени В.И. Ульянова и других организациях.

В целом кандидатская диссертация Семкина А.О. представляет собой научное исследование, содержащее решение задачи установления закономерностей взаимодействия оптического излучения с фотополимерно-жидкокристаллическими композициями в процессе голографического формирования в них неоднородных дифракционных структур, а также в процессе дифракции электромагнитных волн на них в условиях воздействия пространственно-неоднородного электрического поля.

Вместе с тем рецензируемая работа не лишена недостатков:

1. Поскольку фотоиндуцированный переход Фредерикса является пороговым эффектом, в третьей главе диссертации представляется необходимым указать количественные оценки пороговой интенсивности формирующего поля излучения и соответственно, количественно оценить вклад ориентационных процессов в изменение диэлектрической проницаемости.

2. Для большей убедительности выводов и положений, содержащихся в третьем и четвертом защищаемых положениях, следовало бы провести собственные

экспериментальные исследования дифракции световых пучков на управляемых неоднородным электрическим полем структурах.

3. В четвертом защищаемом положении утверждение о зависимости асимметрии дифракционной характеристики от формы пространственной неоднородности и величины внешнего электрического поля представляется достаточно очевидной. Следовало бы указать характер этой зависимости и выполнить количественные оценки влияния как амплитудно-фазового профиля дифракционной структуры, так и параметров внешнего воздействия.

Указанные замечания, тем не менее, не снижают высокую оценку, которую заслуживает рецензируемая работа. Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает основное содержание диссертации.

Диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Семкин Артем Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник
лаборатории экологического приборостроения
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института мониторинга
климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии
наук,
доктор физико-математических наук
(01.04.05 – Оптика),
доцент по кафедре физики

Павел Пантелеевич Гейко

634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; тел.: (3822) 492-265;
e-mail: post@imces.ru;
www.imces.ru

Подпись П.П. Гейко заверяю,
Ученый секретарь Ученого совета
ФГУБН ИМКЭС СО РАН



Ольга Васильевна Яблокова

01 марта 2017 г.