

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

Диссертационная работа Семкина А. О. посвящена теоретическому исследованию фазовых и поляризационных периодических дифракционных структур на основе фотополимерно-жидкокристаллических композиционных материалов, перспективных для использования в оптических системах передачи, хранения и обработки информации. Следует отметить, что периодические структуры на основе различных оптических материалов в настоящее время уже нашли весьма широкое применение в науке и технике. Однако, задачи выявления новых и развития известных фундаментальных принципов взаимодействия оптического излучения со статическими и динамическими структурами, сформированными в неоднородных и нелинейных средах, по-прежнему является актуальным. Подобные структуры могут найти применение, например, в волоконно-оптических системах связи, интегральных устройствах оптики и оптической обработки информации. Принципиальным ограничением быстродействия и пропускной способности данных систем является необходимость проведения ряда оптоэлектронных и электрооптических преобразований полезного сигнала. В связи с этим, необходимо вести поиск новых прозрачных для света сред, в которых возможно осуществить управление оптическим излучением при внешнем воздействии на среду.

Известно, что управляемые устройства на основе электрооптических эффектов относительно просты в изготовлении, при этом их характеризует стабильность работы, высокая чувствительность и малые управляющие мощности. Примером таких устройств могут выступать элементы на основе дифракционных структур в фотополимерно-жидкокристаллических средах. Присутствие жидкокристаллической фазы в среде является определяющим, так как этим обеспечивается возможность управления условиями распространения электромагнитных волн в подобных средах. Это означает, что управление характеристиками волн может осуществляться при воздействии на среду внешних электрических или магнитных полей. Для создания

дифракционных структур в данных средах может быть использован голографический метод, поскольку он позволяет заранее определить параметры формируемых оптических элементов за счет изменения состава материала и геометрии формирования структуры. Ожидается, что на основе данных структур будут созданы эффективные и широкополосные устройства обработки информации и управления параметрами света в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне.

Таким образом, **важность и актуальность темы** диссертационного исследования Семкина А. О. не вызывает сомнений.

Рецензируемая работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 138 наименований и четырех приложений, содержит 177 страниц машинописного текста, 50 рисунков. По результатам работы опубликовано 25 работ: 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ; 1 патент на полезную модель; 7 статей в научных журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата или доктора наук; 4 статьи, не включенные в данный перечень; 4 публикации в зарубежных научных журналах, индексируемых системами Web of Science и Scopus; 6 статей в сборниках материалов международных научных и научно-практических конференций.

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

В первой главе диссертации содержится обзор литературы, из которого становится ясной тематика исследования. В главе также сделан обзор научных статей посвященных 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. Отмечено, что на сегодняшний день проведен широкий ряд экспериментальных и теоретических исследований по формированию различных дифракционных структур в указанных материалах и дифракции на них электромагнитных волн различных частотных

диапазонов, однако остаются до конца неисследованными вопросы влияния пространственной неоднородности формирующего оптического поля, а также внешних воздействий на дифракционные характеристики указанных структур.

Во второй главе приведена разработанная диссертантом трехмерная негармоническая модель голографического формирования фазовых дифракционных структур в фотополимерных композициях, содержащих жидкие кристаллы. В отличие от известных данная модель учитывает пространственную неоднородность амплитудных и фазовых распределений формирующего поля, а также произвольное соотношение скоростей фотополимеризационного и диффузионного процессов формирования. Отмечается, что при описании процесса формирования фазовых дифракционных структур неоднородным полем в фотополимерных композитах, содержащих жидкие кристаллы, необходимо учитывать как основную, как и высшие пространственные гармоники. Достоверная информация о пространственном распределении показателя преломления структуры позволит повысить точность предсказания её дифракционных свойств.

В третьей главе приведена разработанная диссертантом 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. Показано, что при напряженности формирующего поля, превышающей критическую, изменения показателя преломления из-за процессов формирования поляризационной структуры, могут быть одного порядка с соответствующими изменениями из-за формирования фазовой структуры. Оказалось, что данный эффект наиболее заметен при ортогональной поляризации записывающих пучков.

В четвертой главе приведены разработанные диссертантом теоретические модели брэгговской дифракции световых пучков на неоднородных голографических дифракционных структурах. Рассмотрены дифракционные и поляризационные характеристики данных структур. Предложенные модели основаны на использовании уравнений связанных волн для амплитуд прошедшего и дифрагировавшего в первый порядок пучков. Диссертантом рассматривается влияние внешнего однородного и,

главное, пространственно неоднородного электрического поля на характеристики структур, характеризующихся сильным сцеплением молекул жидкого кристалла с опорными поверхностями.

В данном разделе работы показано, что для знакопеременного поля зависимость дифракционной эффективности структуры от относительной фазовой расстройки и величины внешнего электрического поля имеет неоднородный характер. При этом уменьшение дифракционной эффективности при воздействии знакопеременного поля происходит в 1,6 раза сильнее, чем при воздействии пространственно однородного поля. Кроме этого, диссертантом доказано, что применение пространственно-неоднородного внешнего электрического поля может частично компенсировать искажение формы дифракционной характеристики неоднородной структуры. Оказалось, что для максимальной компенсации необходимо подбирать пространственную неоднородность в соответствии с видом амплитудно-фазового профиля структуры, а также величиной внешнего воздействия.

К основным результатам диссертационной работы можно отнести следующее:

1. Диссертантом разработаны аналитические модели формирования голографических дифракционных структур в фотополимерно-жидкокристаллических композитах. При этом удалось одновременно учесть важнейшие параметры, определяющие процессы формирования структур, а именно, состояние поляризации формирующих пучков, фотоиндуцированное изменение коэффициента поглощения, неоднородность записывающего поля, нелинейность процесса формирования, а также особенности сцепления капсул жидкого кристалла с ограничивающими поверхностями.

2. В диссертационной работе показано, что в процессе формирования фазовых структур при амплитудной и фазовой неоднородности записывающего поля, высокой степени нелинейности процесса записи, а также при фотоиндуцированном изменении поглощения оптического излучения в каждой локализованной точке образца и в каждый момент времени формируемая структура характеризуется сложным гармоническим составом. Выявленная закономерность влияет на дифракционные характеристики формируемой структуры.

3. Показано, что индуцируемое изменение диэлектрической проницаемости материала при записи поляризационных структур сравнимо по величине с изменением,

обусловленным записью фазовых структур. Это доказывает необходимость учета поляризационного механизма формирования дифракционной структуры при голографической записи оптическим пучками с произвольной поляризацией.

4. Диссертантом разработана аналитическая модель брэгговской дифракции световых пучков в структурах с амплитудной и фазовой неоднородностью при воздействии пространственно неоднородного электрического поля. Показано, что воздействие неоднородного электрического поля на дифракционные структуры позволяет их динамически аподизировать. Также предсказано, что при сильном поверхностном сцеплении молекул жидкого кристалла с поверхностью электродов дифракционная эффективность голографической фазовой структуры при воздействии знакопеременного поля в 1,6 раза выше, чем при воздействии пространственно однородного поля.

Новизна научных положений и результатов работы заключается в том, что разработанные А.О. Семкиным теоретические модели формирования дифракционных структур в фотополимерно-жидкокристаллических композициях, а также модели дифракции световых пучков на них, являются более общими по сравнению с известными моделями других авторов.

Кроме этого, в пользу **новизны и значимости** полученных результатов свидетельствует разработанное программное обеспечение, полученный патент на полезную модель, а также поддержка исследований по тематике диссертации государственными фондами и организациями.

Достоверность полученных результатов основывается на корректности постановки решаемых задач, использовании апробированных методов решения и физически-обоснованных приближений. Также, полученные А.О. Семкиным модели в частных случаях переходят к подтвержденным экспериментально теоретическим моделям других авторов. Кроме этого, некоторые результаты (в частности, полученные в рамках второго защищаемого положения) соответствуют экспериментальным результатам других авторов. Таким образом, все полученные результаты диссертации строго **обоснованы** и не вызывают сомнений в **достоверности**.

Недостатками работы являются:

1. Ограничение рассмотрения задачи дифракции брэгговским режимом взаимодействия с двумя дифракционными максимумами. При длине волны света 633 нм, малом размере области взаимодействия 10 микрон и периоде структуры порядка несколько микрон вполне вероятен режим дифракции с несколькими дифракционными порядками. Поэтому представляется необходимым проведение соответствующих оценок пространственных периодов структур, для которых справедливы выводы теории.

2. При коэффициентах тензора диэлектрической проницаемости среды для двух ортогональных поляризованных компонент, отличающихся в 4-8 раз, необыкновенная электромагнитная волна распространяется с большими углами сноса энергии по сравнению с направлением волнового вектора. В тексте диссертации необходимо сделать оценку угла оптического сноса энергии и показать, что этот снос заметно сказывается на эффективности взаимодействия.

3. Представляется неудачным использования словосочетания «предсказательная способность». Вместо этого предпочтительнее использование термина «достоверность предсказания» или «обоснованность предсказания». Также непонятно происхождение изломов на графиках рисунков 4.10 и 4.22. Представленные функциональные зависимости должны быть плавными.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными, не затрагивают существа диссертационной работы Семкина А. О. и не снижают её общей хорошей оценки.

Результаты диссертации А.О. Семкина могут быть использованы в Институте автоматики и электрометрии СО РАН, Институте теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирском институте органической химии СО РАН, Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики, Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (Москва), в Институте общей физики РАН (Москва), в Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете информатики, точной механики и оптики, в Национальном исследовательском университете «МИЭТ» (Москва), в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана, в Институте радиотехники и электроники РАН (Москва), в Санкт-

Петербургском государственном электротехническом университете имени В.И.Ульянова, в Университете дружбы народов имени П.Лумумбы (Москва) и других организациях.

Содержание автореферата соответствует содержанию рукописи диссертации.

В заключение необходимо отметить, что диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о присуждения 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

Доцент кафедры физики колебаний
физического факультета Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»,
кандидат физико-математических наук

Виталий Борисович ВОЛОШИНОВ

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы,
МГУ им. М.В.Ломоносова
тел.: (495) 939-44-04
e-mail: volosh@phys.msu.ru

Подпись В.Б. Волошинова заверяю

Декан физического факультета
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»,
доктор физико-математических наук, профессор



Николай Николаевич СЫСОЕВ

06 марта 2017 года