

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Авдеевой Анастасии Юрьевны
«Перестраиваемые оптические моды в наноструктурированных
фотонных кристаллах с резонансной дисперсией»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальностям 1.3.6. Оптика и
1.3.8. Физика конденсированного состояния**

Диссертационная работа Авдеевой А.Ю. посвящена изучению распространения света в одномерных фотонных кристаллах, использующих в качестве основы материалы с резонансной частотной дисперсией. Значительный интерес к фотонным кристаллам связан с возможностью их практических приложений для реализации широкого класса функциональных элементов оптических систем, в том числе в интегральном исполнении. Для успешной разработки таких элементов требуется создать теоретические модели, адекватно описывающие используемые физические явления. В представленной диссертационной работе такие теоретические модели исследуются для фотонных структур, сопряженных с металлическими пленками, а также с резонансно-поглощающими слоями. Для теоретического анализа методов управления характеристиками оптического излучения в фотонных структурах требуется междисциплинарный подход, с привлечением аппарата как оптики, так и физики конденсированного состояния. В связи с изложенным выше, тема диссертационной работы Авдеевой А.Ю., целью которой является поиск новых способов управления пространственными, спектральными и поляризационными характеристиками излучения оптического диапазона в одномерных наноструктурированных фотонных кристаллах с резонансной дисперсией, является актуальной. Полагаю также, что имеются хорошие перспективы для практической реализации предложенных автором способов.

Диссертация Авдеевой А.Ю. состоит из введения, шести глав, выводов по работе, библиографического списка. Текст диссертации изложен на 111 страницах. Библиографический список включает 176 наименований.

Вх. № 287-03/08-86
от 16.09.2021

Во введении соискателем обоснована актуальность темы диссертационного исследования и сформулированы цель и задачи работы, решению которых она посвящена. Далее представлены сведения о научной новизне работы и сформулированные автором основные положения, выносимые на защиту, а также обсуждена теоретическая и практическая значимость исследования, его методология и используемые методы. Уделено также внимание достоверности и апробации результатов диссертации и личному вкладу в нее автора.

В первой главе проведен краткий анализ современных работ по теме диссертационного исследования, включающий подразделы по фотонным кристаллам, металл-диэлектрическим нанокомпозитам, плазмон-поляритонам Тамма и гибридным таммовским модам, а также хиральному таммовскому состоянию.

Вторая глава посвящена исследованию спектральных и поляризационных свойств одномерного фотонного кристалла с дефектным слоем нанокомпозита, который представляет собой прозрачную матрицу с наночастицами серебра. Положение резонанса для изучаемого нанокомпозита лежит в видимой области и зависит, в частности, от концентрации и формы наночастиц. В работе Авдеевой А.Ю. впервые показано, что дефектная мода скалярного фотонного кристалла, содержащего структурный дефект, расщепляется на две локализованные моды, что реализуется при сближении частоты дефектной моды с частотой плазмонного резонанса нанокомпозита. Ею показана возможность управления величиной расщепления путем изменения концентрации металлических нановключений и вариацией угла падения излучения на исследуемый образец. Также выявлено, что в зависимости от угла падения, когда резонансная частота оказывается вблизи края запрещенной зоны фотонного кристалла, либо попадает в область сплошного спектра, в спектре пропускания фотонного кристалла появляются дополнительные полосы пропускания и запрещенные области частот. Совокупность полученных автором результатов демонстрирует новые возможности для управления поляризацией и интенсивностью излучения, прошедшего через фотонную структуру.

Третья глава диссертации посвящена исследованиям поверхностных состояний, реализуемых на границе металлического зеркала и нанокомпозита, сопряженного с брэгговским отражателем. В этой модели слой нанокомпозита играет роль микрорезонатора. Определение частот таммовских плазмон-поляритонов

выполнено методом матрицы переноса и подтверждено решением дисперсионного уравнения. Диссертантом продемонстрировано спектральное раздвоение частоты таммовского поверхностного состояния при условии сближения частоты таммовского плазмон-поляритона с резонансной частотой нанокомпозита. Показано, что при учете поправки на размер наночастиц спектральное раздвоение таммовского плазмон поляритона сохраняется.

В четвертой главе исследованы гибридные таммовские моды, обусловленные связью между микрорезонаторной модой одномерного фотонно-кристаллического зеркала с нанокомпозитным дефектом и таммовским плазмон-поляритоном, реализуемым на границе зеркала и слоя серебра и проявляющихся в спектре пропускания в виде расталкивающихся резонансов. Здесь автором обсуждаются различные способы управления гибридными модами при варьировании толщины и фактора заполнения нанокомпозитного слоя, а также количества слоев диэлектрического зеркала.

Пятая глава диссертации посвящена исследованиям спектральных и поляризационных свойств одномерного фотонного кристалла, наполненного парами атомов ртути, при вариации угла падения на образец, для электромагнитных волн p - и s -поляризации. Весьма интересным представляется обнаруженное автором появление дополнительных узких полос пропускания в запрещенной зоне и дополнительных запрещенных областей в спектре пропускания фотонного кристалла, что может быть использовано для достижения высоких значений контраста при фильтрации оптического излучения.

В шестой главе описаны оптические свойства композитной структуры, образованной сохраняющим поляризацию анизотропным зеркалом и холестерическим жидким кристаллом, допированным молекулами красителя. Наличие анизотропного зеркала существенно для локализации света в исследуемой структуре. Здесь Авдеевой А.Ю. впервые показано, что при допировании холестерика молекулами красителя локализованное состояние, реализуемое на границе между анизотропным зеркалом и холестерическим жидким кристаллом, расщепляется. Далее ею показана возможность перестраивания полученных мод по частоте с помощью внешних полей; путем изменения параметров красителя, а также угла поворота анизотропного зеркала относительно жидкого кристалла, в плоскости их границы.

В заключении приводятся основные результаты работы и выводы, которые представляются надежно обоснованными.

Анализ диссертационной работы и публикаций автора по теме исследования свидетельствуют об **обоснованности защищаемых научных положений**, выносимых автором на защиту. Ряд результатов обладает **научной новизной**: Авдеевой А.Ю. впервые обнаружено расщепление дефектной моды в одномерном фотонном кристалле с дефектным слоем нанокомпозита; ею впервые предсказано существование гибридных мод, обусловленных связью между микрорезонаторной модой фотонного кристалла с нанокомпозитным дефектом и таммовским плазмон-поляритоном, сформированным на границе фотонного кристалла и серебряной плёнки; впервые описан эффект резонансного расщепления при сближении частоты оптического таммовского состояния, реализованного на границе между сохраняющим поляризацию анизотропным зеркалом и холестерическим жидким кристаллом, с частотой резонанса молекул красителя.

Практическая и научная значимость работы

Результаты исследований получены с использованием современного аппарата теоретической и математической физики, сопоставлением данных, полученных численными и аналитическими методами решения задач. Высокая **научная и практическая значимость полученных результатов** обусловлена тем, что автором решены задачи эффективного управления спектральными и поляризационными характеристиками фотоннокристаллических систем, путем их трансформации с помощью сопряжения скалярных фотонных кристаллов с металлическими пленками, а также с резонансно-поглощающими структурами. Проведенные в работе исследования открывают возможности для создания оптических датчиков и перестраиваемых фильтров на основе расщепления спектральных полос.

Автореферат правильно и полно отражает основное содержание диссертации.

В числе **недостатков** диссертации стоит отметить следующие.

1. Как известно, оптическое таммовское состояние связано с возбуждением плазмонных мод. При этом, необходимым условием существования плазмонов у поверхности среды является отрицательное значение действительной части диэлектрической проницаемости, как это имеет место в случае металлических пленок. Описываемая в главе 6 фотонно-кристаллическая структура,

содержащая анизотропное зеркало и жидкий кристалл с хиральной добавкой, допированный молекулами красителя, не включает в себя элементов с отрицательной диэлектрической проницаемостью. Таким образом, возникает вопрос о применимости к рассматриваемой структуре термина «оптическое таммовское состояние».

2. На стр. 15 автором утверждается, что «Распространение электромагнитных волн в ФК (рис. 1.1) описывается уравнениями Максвелла в системе единиц СИ» и приводятся уравнения (1.1) – (1.4), соответствующие системе единиц измерения СГС. Полагаю, что описание распространения электромагнитных волн в этих двух системах единиц измерений, конечно, является равнозначным, а приведенная выше формулировка является неудачной. Видимо, отнесение системы единиц измерений для уравнений (1.1) – (1.4) к СИ является опечаткой?
3. Имеются отдельные замечания по оформлению текста диссертации. Например, в третьей строке снизу на стр. 35 вместо «оксид циркония» автор употребил термин «оксид цикория». На рисунке 4.1 (стр. 58) использован английский язык, при этом на остальных рисунках, что является несомненным плюсом диссертационной работы, все подписи приведены на русском языке.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не вносят принципиальных изменений в сформулированные автором выводы по диссертации и положения, выносимые им на защиту.

Результаты исследования, вошедшие в диссертацию, опубликованы в ведущих отечественных и международных журналах с достаточно высоким импакт-фактором; они неоднократно обсуждались на представительных международных и всероссийских конференциях.

Заключение

Считаю, что в целом диссертационная работа Авдеевой А.Ю. «Перестраиваемые оптические моды в наноструктурированных фотонных кристаллах с резонансной дисперсией» выполнена на актуальную тему и на высоком научном уровне. Текст диссертации сопровождается необходимыми иллюстрациями и написан ясным языком. Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную

исследовательскую работу; она отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям в соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842 (в редакции от 01.10.2018 г.) (пп. 9 – 14), а ее автор, Авдеева Анастасия Юрьевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.6. Оптика и 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
профессор кафедры электронных приборов
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Томский государственный
университет систем управления и радиоэлектроники»,
доктор физико-математических наук (01.04.03 – Радиофизика),
профессор по кафедре электронных приборов

 Шандаров Станислав Михайлович
тел.: +7 (3822) 41-38-87
e-mail: stanislav.m.shandarov@tusur.ru

«15» сентября 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (просп. Ленина, 40, Томск, Томская область, 634050, тел.: +7(3822) 51-05-30, e-mail: office@tusur.ru, <https://www.tusur.ru>)

Подпись доктора физико-математических наук, профессора Станислава Михайловича Шандарова **УДОСТОВЕРЯЮ:**

Нач. общего отдела

Телефон: 8 (3822) 51-32-62



С.В. Мощанская

СПИСОК

**избранных публикаций официального оппонента, д.ф.-м.н. С.М. Шандарова за
2017-2021 гг. по теме диссертации А.Ю. Авдеевой «Перестраиваемые
оптические моды в наноструктурированных фотонных кристаллах с
резонансной дисперсией»**

1. Naunyka V.N., Shepelevich V.V., Shandarov S.M. The Influence of Reconstruction-Wave Polarization and Circular Dichroism on Diffraction Efficiency of a Reflection Hologram Recorded in a Cubic Optically Active Photorefractive Absorbing Piezoelectric Crystal // Optics and Spectroscopy. 2021. V. 129 (1). – P. 84-92.
2. Savchenkov E.N., Dubikov A.V., Sharaeva A.E., Burimov N.I., Shandarov, S.M., Esin A.A., Akhmatkhanov A.R., Shur V.Y. Observation of the Photoinduced Conductivity in a Regular Domain Structure with Tilted Walls in MgO:LiNbO_3 at a Wavelength of 632.8 nm at Bragg Diffraction // JETP Letters. – 2020. – V. 112 (10) – P. 602-606.
3. Shandarov S.M., Savchenkov E.N., Burimov N.I., Akhmatkhanov A.R., Shur V.Y. Perturbations of a dielectric tensor induced by domain walls of periodic domain structures in ferroelectric crystals: Contribution to the Bragg diffraction of light waves // Laser Physics. – 2020. – V. 30 (2), № 025401.
4. Mambetova K.M., Shandarov S.M., Tatyannikov A.I., Smirnov S.V. Aggregation of Dielectric Nanoparticles on the X-Cut of $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ Crystal by Electric Fields of Photorefractive Holograms Russian Physics Journal. – 2019. – V. 62 (4) – P. 658-663.
5. Savchenkov E.N., Shandarov S.M., Smirnov S.V., Esin A.A., Akhmatkhanov A.R., Shur V.Y. Diffraction of Light on a Regular Domain Structure with Inclined Walls in MgO: LiNbO_3 // JETP Letters. – 2019. – V. 110. – №. 3. – С. 178-182.
6. Макаревич А.В., Шепелевич В.В., Навыко В.Н., Аманова М.А., Шандаров С.М. Дифракционная эффективность смешанных пропускающих голограмм в фоторефрактивном оптически активном пьезокристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ произвольного среза // Кристаллография. – 2019. – Т. 64. – №. 5. – С. 769-775.
7. Kokhanchik L.S., Shandarov S.M., Volk T.R., Savchenkov E.N., Borodin M.V. Effect of titanium in LiNbO_3 on domain growth during e-beam writing //Materials Research Express. – 2019. – V. 6. – №. 10. – P. 106205.
8. Шандаров С.М., Коханчик Л.С., Волк Т.Р., Савченков Е.Н., Бородин М.В. Преобразование спектральных характеристик лазерного излучения в периодических доменных структурах, записанных электронно-лучевым методом в планарных волноводах, сформированных диффузией Ti в LiNbO_3 Y-ориентации / /Квантовая электроника. – 2018. – Т. 48. – №. 8. – С. 761-766.
9. Shandarov S.M., Shepelevich V.V. Impact of piezoelectric and flexoelectric effects on the wave mixing in photosensitive crystals //Journal of

Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2017. – V. 867. – №. 1. – P. 012001.

10. Makarevich A.V., Shepelevich V.V., Shandarov S.M. Output characteristics of mixed holograms in the (110)-Cut $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ crystal // Technical Physics. – 2017. – V. 62. – №. 5. – P. 785-790.

Официальный оппонент,
профессор кафедры электронных приборов
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Томский государственный
университет систем управления и радиоэлектроники»,
доктор физико-математических наук (01.04.03 – Радиофизика),
профессор по кафедре электронных приборов

Шандаров Станислав Михайлович
тел.: +7 (3822) 41-38-87
e-mail: stanislav.m.shandarov@tusur.ru

«15» сентября 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (просп. Ленина, 40, Томск, Томская область, 634050, тел.: +7(3822) 51-05-30, e-mail: office@tusur.ru, <https://www.tusur.ru>)

Подпись доктора физико-математических наук, профессора Станислава Михайловича Шандарова УДОСТОВЕРЯЮ:

Нач. общего отдела
Телефон: 8 (3822) 5



С.В. Мошанская