

**Отзыв**  
**официального оппонента на диссертационную работу Панкина Павла**  
**Сергеевича «Спектральные и поляризационные свойства нанострук-**  
**турированных фотонных кристаллов»,**  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальностям 01.04.05 – оптика и 01.04.07 –  
физика конденсированного состояния.

***Актуальность темы***

Диссертационная работа П.С. Панкина посвящена теоретическому исследованию оптических процессов в наноструктурированных материалах. В настоящее время фотоника и плазмоника выделились в отдельные, быстро развивающиеся научные направления, расположенные на стыке оптики и физики конденсированного состояния вещества. Прогресс в современных технологиях сделал возможным создание металлических, диэлектрических и полупроводниковых нанообъектов с различными параметрами, структурой и разрешением вплоть до субатомных масштабов. При этом, по моему мнению, развитие технологии в некоторых случаях опережает наше понимание физики взаимодействия оптического излучения с наноструктурами. В диссертации Панкина П.С. с единой точки зрения обсуждаются задачи управления положением запрещенных зон в одномерных фотонных кристаллах с нарушениями периодичности структуры и проблемы возбуждения таммовских плазмон-поляритонных мод на границах металл – фотонный кристалл и гибридных мод на их основе, дается ясная физическая интерпретация полученных результатов. Поэтому данная диссертация, несомненно, является **актуальным научным исследованием**. Рассмотренные в диссертации способы создания наноструктурированных материалов с заданными спектральными характеристиками послужат основой для разработки новых искусственных наносистем.

***Общая характеристика работы***

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения. Ее текст изложен на 140 страницах, включая 67 рисунков. Библиографический список содер-

жит 158 наименований. Основные результаты работы изложены в 9 публикациях, включая статьи в ведущих российских и международных физических журналах.

Во введении дается общая характеристика диссертационной работы, раскрываются ее актуальность и практическая значимость, формулируются цели, задачи и новизна настоящего исследования.

В первой главе дан краткий обзор современного состояния исследований в области оптики квазипериодических фотонных кристаллов, оптических таммовских состояний на границах между металлом и структурой с периодической диэлектрической проницаемостью, а также гибридных мод, возбуждаемых при взаимодействии таммовских плазмон-поляритонов с другими модами фотонного кристалла.

Во второй главе рассматривается новый метод создания одномерных квазипериодических фотонных кристаллов. При этом показатель преломления структуры модулируется двумя функциями, параметры которых определяют независимое положение и глубину возникающих запрещенных зон в спектре пропускания кристалла, что демонстрируется расчетами, выполненными методом матриц переноса. Доказана возможность использования полученных квазипериодических фотонных кристаллов в качестве зеркал микрорезонатора, что позволяет настраивать независимо друг от друга положение нескольких резонансных мод в его спектре. Несомненным украшением данной главы и работы в целом является экспериментальное подтверждение теоретических результатов, выполненное путем измерений спектров отражения и пропускания излучения через изготовленные образцы наноструктурированных материалов из пористого кремния.

В третьей главе диссертации рассматриваются две схемы возбуждения таммовских плазмон-поляритонов, представляющих собой локализованные волновые состояния на границе между металлической пленкой и одномерным фотонным кристаллом: возбуждение локализованной моды через тонкий слой металла на границе с полубесконечным фотонным кристаллом и обрат-

ная ситуация возбуждения плазмон-поляритона на границе толстого – по сравнению с глубиной скин-слоя – металла через полупрозрачный фотонный кристалл. В аналитическом виде построено дисперсионное уравнение, определяющее собственные частоты таких волновых состояний. С использованием временной теории связанных мод определены условия оптимальной связи волноводных и резонаторных мод в рассматриваемой задаче. Показано, что при удовлетворении этим условиям схема возбуждения таммовского плазмон-поляритона через фотонный кристалл обеспечивает большую добротность. В этой главе вновь продемонстрировано экспериментальное подтверждение теоретических построений автора диссертации на примере тепловых эмиттеров на основе таммовских плазмон-поляритонов.

Четвертая глава диссертации посвящена изучению гибридных мод, возникающих в одномерных фотонных кристаллах с дефектами, покрытых тонкой металлической пленкой, как результат взаимодействия таммовских плазмон-поляритонов и дефектных мод таких структур. В качестве дефектного слоя рассматривается нематический жидкий кристалл. В главе обсуждаются различные способы управления гибридными модами в таких структурах с помощью изменения параметров микрорезонаторных мод как за счет теплового воздействия на слой нематика, так и за счет влияния на него внешнего электрического поля. Весьма интересными представляются обнаруженное автором работы влияние поляризационных характеристик падающего света на поведение температурных зависимостей спектров пропускания таких структур, равно как выявленная возможность управления величиной локализации светового поля на границе между слоем металла и фотонным кристаллом за счет величины приложенного к нематику напряжения, открывающие возможности для разнообразных практических приложений структур, поддерживающих оптические таммовские резонансы.

В пятой главе подробно рассматриваются спектральные свойства фотонных кристаллов, содержащие в своем составе слои из нанокompозитов. В ка-

честве последних в работе изучаются композиты из серебряных наночастиц как в форме сфероидов, так и обычных сфер. С использованием формулы Максвелла-Гарнетта определена эффективная диэлектрическая проницаемость таких материалов. Для слоя сфероидов установлена существенная зависимость диэлектрических параметров композита от поляризации падающего излучения, и, как следствие, выявлена поляризационная чувствительность спектра пропускания фотонного кристалла, в котором такой слой присутствует в качестве дефектного. Исследованы спектральные свойства фотонных кристаллов, сопряженных с изотропным композитом из сферических частиц, располагающимся с одной или обеих сторон структуры. Установлена возможность возникновения - наряду с дефектными модами – таммовских плазмон-поляритонов в местах сопряжения, а также гибридизации указанных мод. Показано, что формирование композита из изотропных диэлектрических частиц, покрытых металлической оболочкой, открывает новые возможности управления спектральными свойствами таких структур за счет изменения параметров частиц.

Основные результаты диссертационного исследования четко сформулированы в заключении.

Анализ материала диссертационной работы и публикаций автора свидетельствует об **обоснованности научных положений**, выносимых автором на публичную защиту **и выводов**, сделанных автором по результатам исследований.

**Достоверность результатов**, полученных в диссертации, подтверждается их внутренней непротиворечивостью, использованием современного аппарата теоретической и математической физики, сопоставлением данных, полученных с использованием численных и аналитических методов решения поставленных задач. Ряд ключевых результатов диссертации подтвержден экспериментальными данными.

Высокая **научная и практическая значимость** этих результатов обусловлена тем, что автором решены **важные задачи** эффективного управле-

ния спектральными характеристиками наноструктурированных систем типа фотонных кристаллов как путем трансформации изначально периодических слоистых структур в квазипериодические, так и путем их сопряжения с металлическими, нанокомпозитными объектами, а также слоями на основе нематических жидких кристаллов. Это открывает большие возможности по созданию различных устройств преобразования излучения в оптическом диапазоне, что и продемонстрировано в экспериментальной части работы.

К диссертации Панкина П.С. имеются **следующие замечания**:

1. В главе 2 развивается ««метод суперпозиции модуляции показателя преломления». Суперпозиция – наложение процессов, функций и т.д. Поэтому, правильнее было бы – «метод суперпозиции *модуляций* показателя преломления».
2. В главе 2 (стр. 28-29) функция-сигнатура  $\text{sgn}(x)$  названа функцией Кронекера, что не совсем корректно.
3. В главе 3 работы рассматриваются условия возбуждения таммовских плазмон-поляритонов в месте сопряжения металла и фотонного кристалла, и доказываемая большая эффективность их возбуждения через фотонный кристалл по сравнению с возбуждением через металл. При этом в заключительной части главы (стр. 56) говорится: « Из рисунков видно, что для схемы возбуждения ТПП через ФК ... не удастся подобрать условия критической связи с заданными ПП и толщинами слоев. ... Если сделать оптический контраст слоев и их толщины меньше, то это позволит подобрать их необходимое количество для достижения условий критической связи». На мой взгляд, следовало бы это продемонстрировать в работе на конкретном примере.
4. В описании к рис. 5.3 (стр. 76): «Из рисунка видно, что при близких значениях МР моды с резонансными частотами НК...». Насколько я могу судить, из рисунка это не видно.
5. При общем хорошем качестве оформления диссертации, мне кажется не совсем правильным использование в русскоязычной диссертации рисунков с

англоязычными подписями. И если в обзорной части работы это, возможно, оправдано, то в содержательной части диссертации (рис. 3.8, 3.9) явно диссоциирует с оформлением остальных рисунков.

Указанные замечания ни в коей мере не уменьшают ценности данной диссертации, выполненной на очень высоком и современном научном уровне.

### **Общее заключение**

Диссертационная работа Панкина П.С. выполнена по актуальной тематике. Проведенные исследования характеризуются комплексностью, внутренним единством и логической завершенностью. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Оформление работы соответствует установленным требованиям ВАК.

**Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям физико-математического профиля, а ее автор Панкин Павел Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.05 – оптика и 01.04.07 – физика конденсированного состояния.**

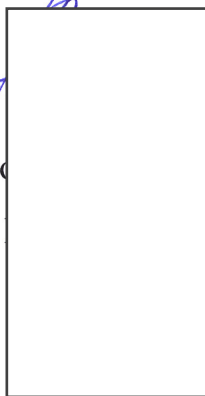
Официальный оппонент

К.ф.-м.н.(01.04.03 – Радиофизика), старший научный сотрудник  
Лаборатории радиозондирования природных сред  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физического материаловедения Сибирского отделения РАН  
Ветлужский Александр Юрьевич

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6,  
рабочий телефон: 8(301-2) 43-31-84,  
e-mail: vay@ipms.bscnet.ru

Подпись Ветлужского удосто

Ученый секретарь ИФМ СО



*Ветлужский А.Ю.*



Батуева Е.В.



## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ ВЕТЛУЖСКОГО АЛЕКСАНДРА ЮРЬЕВИЧА

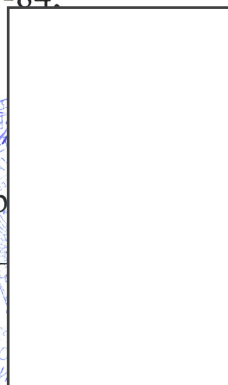
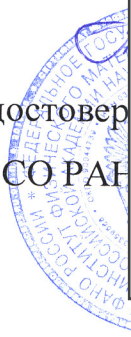
1. Ветлужский А.Ю., Ломухин Ю.Л. Собственные волны многопроводной среды // ПЖТФ, 2015, т.41, № 19, С.38 - 45.
2. Ветлужский А.Ю. Эффективные электрофизические свойства металлических электромагнитных кристаллов // Журнал радиоэлектроники. № 1, 2015.  
<http://jre.cplire.ru/jre/jan15/index.html>
3. Ветлужский А.Ю. Отрицательное преломление или резонанс отрицательной пространственной гармоника? // Журнал радиоэлектроники. 2015. № 12.  
<http://jre.cplire.ru/jre/dec15/17/text.html>.
4. Ветлужский А.Ю. О локализации излучения в фотонных кристаллах // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 8. С. 46-48.
5. Ветлужский А.Ю. Взаимодействие импульсного излучения с фотонным кристаллом // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 11.  
<http://jre.cplire.ru/jre/nov16/10/text.pdf>.
6. Ветлужский А.Ю. Локализация импульсного излучения в фотонном кристалле // Фотоника. 2017. № 1. С. 102-107.
7. Ветлужский А.Ю. Волноводные устройства на основе линейных дефектов в металлических электромагнитных кристаллах // ЖТФ. 2017. Т. 87. № 1. С. 150-154.
8. Ветлужский А.Ю., Ломухин Ю.Л. Аналитическое описание электродинамических свойств металлических фотонных кристаллов // Оптика и спектроскопия. 2017. Т. 123. № 2(8). С. 269-275.

Официальный оппонент

К.ф.-м.н.(01.04.03 – Радиофизика), старший научный сотрудник  
Лаборатории радиозондирования природных сред  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физического материаловедения Сибирского отделения РАН  
Ветлужский Александр Юрьевич

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6,  
рабочий телефон: 8(301-2) 43-31-84.  
e-mail: vay@ipms.bsnet.ru

Подпись Ветлужского удостоверить  
Ученый секретарь ИФМ СО РАН



*Ветлужский А.Ю.*

*Батуева Е.В.*

Батуева Е.В.