



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»  
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,  
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251  
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080  
office@spbstu.ru

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе ФГАОУ  
ВО «СПбПУ»,  
доктор технических наук, член-  
корреспондент Российской академии  
наук, профессор

Сергеев В.В.

26 февраля 2021 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» – на диссертацию **Голеницкого Кирилла Юрьевича** на тему: «**Поверхностные оптические состояния в слоистых средах**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников

**Актуальность работы**

Поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль границы раздела двух сред, давно привлекают внимание исследователей. Очевидно, что характеристики таких волн полностью определяются параметрами этих сред, в связи с этим возможно существование поверхностных волн различных типов. К настоящему времени успехи технологии создания не существующих в природе сред привели к тому, что довольно подробно исследованы поверхностные волны, распространяющиеся вдоль границ как природных, так и искусственно созданных материалов. В частности, хорошо исследованы поверхностные плазмон-поляритоны, одним из условий существования которых является различный знак вещественной части

диэлектрической проницаемости слоев, составляющих структуру. Исследованы поверхностные волны в слоистых средах (поверхностные волны Тамма), распространяющиеся вдоль границы изотропного диэлектрика или металла и слоистой диэлектрической структуры. Учет оптической анизотропии сред, составляющих металл-диэлектрическую периодическую структуру, может приводить к возникновению новых эффектов, которые были предсказаны в настоящей работе. Ранее не изученные поверхностные волны типа продольных мод шепчущей галереи в микрорезонаторах могут возникать при учете пространственной дисперсии диэлектрической проницаемости среды. Особенно ярко это должно проявляться для частот, близких к частотам характерных возбуждений в среде. Хорошо известны поверхностные волны Дьяконова, распространяющиеся вдоль границы двух диэлектриков, хотя бы один из которых является анизотропным. Значительный интерес вызывает изучение новых типов волн Дьяконова в средах, сформированных метаматериалами, или в сложных конфигурациях с природными кристаллами. Отдельной проблемой является экспериментальное наблюдение и исследование поверхностных волн Дьяконова, что связано с отсутствием подходящих материалов с сильной анизотропией диэлектрической проницаемости в оптической области.

Интерес к изучению новых типов поверхностных волн связан с сильной чувствительностью характеристик этих волн к параметрам сред и границы раздела, что позволяет создавать на их основе эффективные сенсоры, элементы нелинейной оптики и нанофотоники. Настоящая работа посвящена исследованию поверхностных электромагнитных волн в слоистых средах из материалов с анизотропией с учетом пространственной дисперсией диэлектрической проницаемости. Все сказанное выше позволяет сделать вывод, что тема диссертационной работы Кирилла Юрьевича Голеницкого несомненно является актуальной.

## **Новизна исследований и полученных результатов**

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается, в первую очередь, в следующем:

1. Предсказано существование нового типа поверхностных электромагнитных волн (поверхностных волн Тамма-Ленгмюра) в слоистой среде, распространяющихся в металл-диэлектрических структурах с анизотропной плазменной частотой металлических слоев. Теоретически исследованы свойства таких поверхностных электромагнитных волн.

2. Показано, что учет пространственной дисперсии диэлектрической проницаемости приводит к существованию приповерхностных мод продольной поляризации в микрорезонаторах наподобие стандартных мод шепчущей галереи. Исследованы спектр и распределения полей в этих модах.

3. Теоретически исследован спектр поверхностных электромагнитных волн гибридной поляризации (дьяконовских плазмонов), распространяющихся вдоль границы анизотропного гиперболического метаматериала, в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах на примере короткопериодной слоистой щелевой структуры Si/ZnO:Al. Показано, что дьяконовский плазмон сильно локализован на границе структуры.

## **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, подтверждается примененным автором подходом к решению задач исследования, заключающимся в использовании в качестве основы для проведения теоретических расчетов уравнений Максвелла и метода матриц переноса в анизотропных средах; систематическом характере проведенных исследований, основанных на применении единого подхода к описанию свойств структур различного типа. Где это было возможно, полученные автором расчетные результаты

сравнивались с имеющимися экспериментальными данными, было получено хорошее согласие.

**Теоретическая и практическая ценность работы,** наряду с изложенным ранее, заключается в следующем:

1. Выполнен теоретический анализ поверхностных электромагнитных волн, распространяющихся в различных условиях: вдоль слоёв полубесконечной периодической слоистой структуры с анизотропными проводящими слоями; в микрорезонаторах с учетом пространственной дисперсии диэлектрической проницаемости; вдоль границы анизотропного гиперболического метаматериала. На этой основе предсказано существование ранее не описанных в литературе поверхностных электромагнитных волн: поверхностных волн Тамма-Ленгмюра; поверхностных мод продольной поляризации в микрорезонаторах; дьяконовских плазмонов.

2. Предложен и обоснован метод для экспериментального подтверждения существования поверхностных волн Дьяконова на границе двух одинаковых анизотропных кристаллов со скрещенными оптическими осями.

### **Рекомендации для использования результатов и выводов диссертационной работы**

Полученные в работе результаты и развитые подходы могут быть использованы при теоретическом исследовании различных типов поверхностных электромагнитных волн в структурах на базе различных материалов, а также при разработке оптоэлектронных приборов нового поколения в различных научно-исследовательских и производственных организациях, среди которых можно выделить такие как Институт физики микроструктур РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Институт физики твердого тела РАН, Санкт-Петербургский государственный университет, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербургский

политехнический университет Петра Великого, Академический университет им. Ж.И. Алфёрова, Университет ИТМО, Новосибирский государственный технический университет и др.

### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, связанную с исследованием поверхностных электромагнитных волн в структурах различного типа, и представляющую в настоящее время как научный, так и практический интерес. Автором применены надежные методы расчета характеристик электромагнитных волн, четко сформулированы и обоснованы основные научные выводы диссертационной работы.

### **Замечания по диссертационной работе**

Несмотря на в целом положительное мнение о диссертации, к ней имеются некоторые вопросы и замечания:

1. Понятие "микрорезонатор" в главе 2 и в положениях, выносимых на защиту, используется для обозначения закрытых объёмных резонаторов. Стоило бы детальнее обсудить вопрос применимости изложенного рассмотрения к другим микрорезонаторам.

2. В главе 3 на рисунках 17 и 18 приведены зависимости вещественной части эффективной диэлектрической проницаемости слоистой структуры от длины волны. Складывается впечатление, что мнимой частью можно пренебречь. Далее в тексте диссертации указывается, что в расчётах учитывалась и мнимая часть эффективной диэлектрической проницаемости. Насколько вещественная и мнимая части соизмеримы друг с другом?

3. Одними из результатов расчётов в главе 4 являются зависимости коэффициента отражения от угла падения и положения их особенностей относительно угла полного внутреннего отражения. Из них следует, что в

эксперименте требуется измерять углы падения с точностью до тысячных долей градуса. В тексте вопрос о возможной реализации такого эксперимента не раскрыт достаточно подробно.

4. В главе 4 предлагается использовать твёрдые кристаллы КТР и ZnSe в оптическом диапазоне. Какого качества должны быть поверхности кристаллов и призмы?

Указанные замечания не являются принципиальными, не противоречат результатам и выводам, сформулированным в работе, и не уменьшают, тем самым, научную значимость проведённого К.Ю. Голеницким исследования.

### **Апробация работы**

Все основные результаты проведенных автором исследований, представленные в диссертационной работе, опубликованы в 8 научных статьях в реферируемых журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в международных научных базах (Scopus, Web of Science). Результаты работы представлялись на трех российских и международных научных конференциях по ее тематике, проведенных в 2013-2017 гг., а также докладывались на ряде научных семинаров. Автореферат диссертации правильно и достаточно полно отражает содержание диссертационной работы и соответствует ее основным положениям.

### **Заключение**

Диссертационная работа Голеницкого Кирилла Юрьевича на тему: «Поверхностные оптические состояния в слоистых средах», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая существенное

значение для современной физики полупроводников – теоретически исследованы поверхностные электромагнитные волны в искусственных структурированных средах из анизотропных материалов с учетом пространственной дисперсии диэлектрической проницаемости.

Уровень диссертации соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель, Голеницкий Кирилл Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Высшей инженерно-физической школы, протокол № 3 от 19 февраля 2021 г.

Отзыв подготовил:

доктор физико-математических наук (01.04.10)

профессор Высшей инженерно-физической школы

Дмитрий Анатольевич Фирсов

Председатель заседания:

директор Высшей инженерно-физической школы,

доктор физико-математических наук (01.04.04), доцент

Валентина Владимировна Журихина

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Адрес: 195251 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Телефон: +7 (812) 775-05-30

E-mail: office@spbstu.ru