

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Тиходеева Сергея Григорьевича

на диссертацию Голеницкого Кирилла Юрьевича
«Поверхностные оптические состояния в слоистых средах»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертация К. Ю. Голеницкого посвящена теоретическому исследованию поверхностных электромагнитных волн в искусственных структурированных средах из материалов с анизотропией и/или пространственной дисперсией диэлектрической проницаемости. Тематика диссертационного исследования представляется **актуальной** в связи с активно развивающимися в мире в последние годы направлениями оптики. **Значимость** результатов состоит как в развитии фундаментальных теоретических методов описания поверхностных электромагнитных мод на границах между структурированными материалами, так и в возможности непосредственного использования результатов диссертации при разработке новых устройств нанофотоники, сенсорики, в нелинейно-оптических приложениях.

Диссертация изложена на 121 странице, состоит из введения, четырёх глав и заключения. Работа содержит 33 рисунка, список цитируемой литературы насчитывает 177 наименований. Во *введении* приведён краткий обзор литературы по тематике диссертации и формальные сведения о работе – цели, научная новизна и практическая значимость. В начале каждой главы есть введение, в котором приводится более детальный обзор литературы, связанный с рассматриваемой задачей.

Первая глава посвящена исследованию поверхностных электромагнитных волн на границе периодической структуры из слоёв диэлектрика и анизотропной проводящей среды. Подробно описан метод решения задачи о поиске собственных состояний периодической слоистой структуры с учётом анизотропии слоёв и метод расчёта коэффициентов отражения, прохождения и поглощения. На качественном примере показана возможность существования нового типа поверхностных волн – волн Тамма-Ленгмюра, в области частот, когда анизотропная проводящая среда является гиперболическим метаматериалом. Подробно исследованы и описаны свойства новой

поверхностной волны. Также делается акцент на возможной экспериментальной конфигурации для их наблюдения.

Вторая глава посвящена исследованию приповерхностных электромагнитных волн в закрытом резонаторе из среды, имеющей пространственную дисперсию диэлектрической проницаемости. В рассматриваемой среде могут распространяться дополнительные волны при определённых соотношениях для диэлектрической проницаемости. Теоретически предсказано существование дополнительных волн продольной поляризации в шаровом микрорезонаторе, которые схожи с модами шепчущей галереи в диэлектрических резонаторах. Показано, что исследуемые волны могут существовать в металлических микрорезонаторах на частотах вблизи плазменной частоты.

В *третьей* главе описывается исследование поверхностных волн, распространяющихся вдоль границы периодической щелевой структуры на основе $\text{ZnO:Al} - \text{Si}$, которая является гиперболической средой для определённых длин волн в диапазоне 2 – 14 мкм. В этом случае оптическая ось среды лежит в плоскости границы, и при определённых соотношениях возможно распространение поверхностных волн (дьяконовских плазмонов) в ограниченном диапазоне углов в плоскости границы. В главе теоретически исследован спектр и дисперсия дьяконовских плазмонов на границе щелевой структуры и проведено численное моделирование спектров отражения, в которых использовались параметры эффективной диэлектрической проницаемости. Проведено сравнение с экспериментально измеренными спектрами отражения и получено хорошее согласие с теоретическими предсказаниями.

Четвёртая глава посвящена подробному описанию возможной экспериментальной конфигурации для исследования поверхностных волн Дьяконова, распространяющихся вдоль границы между одинаковыми анизотропными кристаллами со скрещёнными оптическими осями. Предлагаемая конфигурация состоит из призмы и двух слоёв кристаллов, повернутых друг относительно друга. В главе анализируется общий случай двуосных кристаллов. Проведены численные расчёты спектров отражения для кристаллов КТР (KTiOPO_4) и ZnSe призмы в оптическом диапазоне. Важно отметить, что в скрещённых поляризациях особенности проявляются в виде узкого высокого пика (конверсия поляризация достигает 90-100%). Установлена однозначная связь между особенностями в коэффициентах отражения и поверхностными волнами

Дьяконова на границе между анизотропными кристаллами. Предложены другие системы для исследования волн Дьяконова, в частности TiO_2 в дальнем инфракрасном диапазоне.

В *заключении* указаны основные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Впервые исследованы поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль границы и вдоль слоёв периодической слоистой структуры с анизотропными проводящими слоями.
2. Впервые исследовано влияние пространственной дисперсии диэлектрической проницаемости материала микрорезонатора на дисперсию дополнительных продольных приповерхностных волн.
3. Впервые исследованы поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль границы периодической слоистой структуры на основе кремния и оксида цинка, легированного алюминием, с гиперболической дисперсией диэлектрической проницаемости в инфракрасном диапазоне длин волн.
4. Впервые предложен экспериментальный метод возбуждения и исследования поверхностных волн Дьяконова, распространяющихся вдоль границы между двумя одинаковыми анизотропными диэлектрическими кристаллами со скрещенными оптическими осями.

Достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту, обеспечивается применением современных методов электродинамики, а также сравнением результатов с литературными данными.

К **недостаткам** работы можно отнести следующее:

1. В Главе 1 диссертации исследованы поверхностные электромагнитные моды, дисперсионные зависимости которых расположены под световыми конусами как полубесконечного внешнего по отношению к слоистой системе диэлектрика, так и внутренних диэлектрических слоев. При этом за рамками исследования остались возможные поверхностные резонансные состояния над световыми конусами, которые также могут быть весьма полезны, например, для сенсорики, ввиду как чувствительности к ближайшему окружению поверхностного интерфейса, так и их излучательной активности в окружающее пространство и вытекающей из этого удобности для экспериментальной

регистрации. Кстати, такие поверхностные (таммовские) моды не попали и в число обсуждаемых автором диссертации поверхностных состояний в обзорных частях работы.

2. В Главе 3 диссертации для теоретического описания слоистого метаматериала используется приближение эффективной среды с компонентами тензора диэлектрической проницаемости, полученными усреднением диэлектрических проницаемостей слоев и их обратных величин. Для верификации модели автором проведено сравнение получающихся в приближении эффективной среды спектров отражения с экспериментально исследованными. Однако было бы интересно сравнить полученные результаты с результатами какого-нибудь более точного и последовательного электродинамического расчета, например, фурье-модального разложения для оптической матрицы рассеяния. Добавлю, что этот метод, являющийся естественным обобщением широко используемого в диссертации метода матриц переноса – на слоистые системы, содержащие, помимо однородных слоев, слои периодически структурированных метаматериалов и/или фотонных кристаллов, – к сожалению, вообще остался за рамками работы.

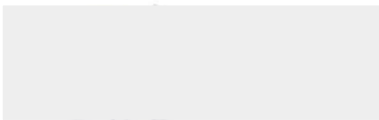
3. И диссертация и автореферат, в целом, написаны очень хорошим русским языком, с четкими логическими связями и последовательно. Но, к сожалению, не свободны от опечаток, в части знаков препинания, согласования членов предложений, следов редактирования текста (например, на сс. 8, 12, 55, 74 диссертации и 3,6 автореферата). Рисунок 1б автореферата содержит опечатку в подписях к световым конусам (в соответствующем месте диссертации все правильно).

Указанные недостатки ни в коей мере не уменьшают ценности диссертации, выполненной на высоком и современном научном уровне. Автореферат диссертации соответствует содержанию работы. Результаты работы опубликованы в 5 научных статьях в рецензируемых журналах, входящих в базу Web of Science, а также в 3 тезисах докладов автора на российских и международных конференциях.

Диссертация Голеницкого Кирилла Юрьевича «Поверхностные оптические состояния в слоистых средах» представляет собой законченное исследование и полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры общей физики и физики конденсированного состояния Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доктор физико-математических наук, профессор



Тиходеев Сергей Григорьевич

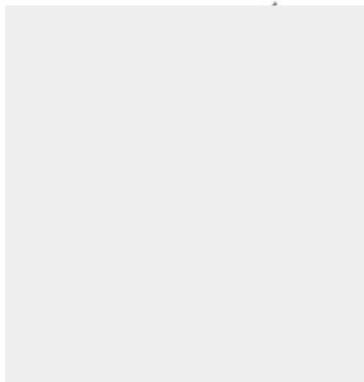
Адрес: 119991 г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1

Телефон: +7(495)-939-11-12

E-mail: tikh@gpi.ru

Подпись профессора Тиходеева С.Г. удостоверяю

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



Сысоев Николай Николаевич

10 марта 2021 г.