

Отзыв официального оппонента на диссертационную работу
Голеницкого Кирилла Юрьевича
«Поверхностные оптические состояния в слоистых средах»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности «01.04.10 – физика
полупроводников»

Поверхностные оптические состояния вызывают неподдельный интерес исследователей благодаря их нетривиальным волновым свойствам и возможностям использования локализованных волн на практике. Теоретический анализ поверхностных плазмон-поляритонов и волн Дьяконова уже выявил закономерности их существования в разнообразных структурах, включающих металлы, диэлектрики, анизотропные кристаллы, периодические среды и метаматериалы. Свойства поверхностных плазмон-поляритонов позволяют объяснить разрешение субдлинноволновых объектов в микроскопии, применить литографию за пределами дифракционного предела Аббе, создать чувствительные сенсоры и модуляторы. Таким образом, тема диссертации К.Ю. Голеницкого является несомненно актуальной.

Научные результаты, полученные в диссертации, и выносимые на защиту положения являются новыми. Одним из наиболее значимых результатов является доказательство существования и определение свойств нового типа поверхностных электромагнитных волн Тамма-Ленгмюра на поверхности слоистого метаматериала в виде периодической последовательности диэлектрических и анизотропных проводящих слоев. Важно, что в диссертационной работе уделено внимание воплощению концепции волн Тамма-Ленгмюра на практике, а именно созданию анизотропного металла и возбуждению таких поверхностных состояний.

Другим типом поверхностных оптических состояний являются приповерхностные моды, теория которых была разработана К.Ю. Голеницким в диссертации. Такие состояния возникают в резонаторах с учетом

пространственной дисперсии. Соискатель впервые построил решения для мод продольной поляризации, проанализировал дополнительные граничные условия и продемонстрировал решения на примере золотых микрорезонаторов.

К.Ю. Голеницким получено хорошее согласие теоретических и экспериментальных значений коэффициента отражения от гиперболического метаматериала. Любопытным результатом является идентификация поверхностных дьяконовских и объемных состояний в рассмотренных слоистых структурах. Новым результатом представляется исследование спектров конверсии поляризации с целью детектирования поверхностных волн Дьяконова на границе раздела анизотропных кристаллов со скрещенными осями. Предложенный метод способен повысить чувствительность детектирования волн Дьяконова.

Выводы, представленные в диссертации К.Ю. Голеницкого, обоснованы использованием хорошо зарекомендовавших себя метода матриц переноса, методов описания распространения волн в средах с пространственной дисперсией и поверхностных волн Дьяконова. Полученные результаты следуют из логики изложения, и их достоверность не вызывает сомнений.

Научная значимость результатов диссертации К.Ю. Голеницкого связана с обнаружением и всесторонним исследованием нового типа поверхностных электромагнитных волн, обоснованием новых экспериментальных методов детектирования поверхностных волн Дьяконова. Полученные результаты имеют прямую практическую направленность, так как в дальнейшем могут быть применены для конструирования чувствительных сенсоров, основанных на поверхностных дьяконовских волнах и поверхностных состояниях в микрорезонаторах, для создания устройств нанофотоники на чипе, для модуляции и переключения оптических сигналов.

Диссертация «Поверхностные оптические состояния в слоистых средах», выполненная К.Ю. Голеницким, представляет собой исследование

поверхностных электромагнитных волн в наноразмерных структурах и соответствует специальности «01.04.10 – физика полупроводников».

На основании результатов, полученных К.Ю. Голеницким, освоенных им теоретических методов и экспериментальных методик, публикаций в престижных научных изданиях следует заключить о соответствии квалификации соискателя ученой степени кандидата физико-математических наук, на которую он претендует. Диссертация и автореферат К.Ю. Голеницкого «Поверхностные оптические состояния в слоистых средах» удовлетворяют необходимым требованиям к оформлению квалификационной научной работы на соискание ученой степени кандидата наук. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Изложение материала диссертации дано последовательно, хорошим научным языком. В то же время работа не лишена некоторых недостатков.

1) В нижней части с. 15 диссертации есть неточности в обозначениях. В соотношении $i=1, \dots, n'$ используются буквы, которые не упоминались ранее и правильно было бы писать $j'=1, \dots, m$. Когда речь идет о структуре, находящейся справа на рис. 2, то нужно использовать индекс r в величинах d и ε .

2) Величина \tilde{k} согласно определению $\tilde{k} = k_x/\varepsilon_{||}$, даваемому первой формулой на с. 20, является размерной, тогда как ниже на этой же странице она используется как безразмерная величина в формуле $\cos \theta = \tilde{k}\sqrt{\varepsilon}$.

3) В верхней строке на с. 33 введено понятие «figure-of-merit». Следовало бы дать перевод этого названия на русский язык, например, «добротность».

4) На с. 44 решения уравнения (44в) делятся на три типа. Третий тип может быть определен в более общем виде, если правая часть уравнения (45) представляет собой $\text{rot } \mathbf{b}(\mathbf{r})$, где $\mathbf{b}(\mathbf{r})$ – произвольный вектор. Необходимо было бы прокомментировать, будут ли в этом случае новые решения или они сведутся к решениям уравнения (45).

5) В первом уравнении (46) пропущен множитель ω^2/c^2 перед α_{\perp} .

6) В формуле (64) и в последующем абзаце пропущен верхний индекс * у ε_0 .

- 7) В абзаце перед подразделом 3.4.1 волновые числа должны быть размерными величинами.
- 8) На с. 70 говорится, что минимумы находятся на кривой, похожей на гиперболу, но кривая на рис. 25 похожа на параболу.
- 9) На с. 75 нужно вместо ε_{\parallel} и ε_{\perp} использовать диэлектрические проницаемости необыкновенной ε_e и обыкновенной ε_o волн в неравенстве для изотропной среды. Там же неверно указано, что ε_e и ε_o – показатели преломления.
- 10) В диссертационной работе используется термин «двухосный кристалл», хотя обычно кристаллы называют двуосными.
- 11) На с. 81 пропущен номер подраздела 4.2.3.
- 12) В формуле на с. 82 должен быть $\cos^2 x$, а не $\cos x^2$.
- 13) В работе много стилистических неточностей.

Данные замечания не снижают общего хорошего впечатления о работе.

К.Ю. Голеницкому может быть присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности «01.04.10 – физика полупроводников» за

- предсказание нового типа поверхностных электромагнитных волн на поверхности сверхрешетки, состоящей из диэлектрических и анизотропных проводящих слоев;
- формулировку свойств поверхностных волн Тамма-Ленгмюра, особенностей их поглощения и возбуждения;
- теоретический анализ частот мод в условиях пространственной дисперсии диэлектрической проницаемости и обнаружение приповерхностных мод микрорезонаторов;
- установление соответствия между теоретическими и экспериментальными спектрами отражения и выявление дьяконовских плазмонов на границе гиперболического метаматериала;
- разработку экспериментальной методики детектирования поверхностных волн Дьяконова на границе раздела анизотропных кристаллов со

- установление соответствия между теоретическими и экспериментальными спектрами отражения и выявление дьяконовских плазмонов на границе гиперболического метаматериала;
- разработку экспериментальной методики детектирования поверхностных волн Дьяконова на границе раздела анизотропных кристаллов со скрещенными осями с использованием спектров отражения и конверсии поляризации.

Таким образом, диссертационная работа К.Ю. Голеницкого «Поверхностные оптические состояния в слоистых средах» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством кандидата физико-математических наук А.А. Богданова, доцента федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН», научного сотрудника сектора «Теории оптических и электрических явлений в полупроводниках», содержащей новое решение актуальной научной задачи об описании возбуждения, распространения и детектирования поверхностных электромагнитных волн, имеющей существенное значение для специальности «01.04.10 – физика полупроводников».

09.02.2021

Доктор физико-математических наук,
доцент, профессор кафедры теоретической
физики и астрофизики
Белорусского государственного университета

А.В. Новицкий

220030, Республика Беларусь, г. Минск,
пр-т Независимости, 4
тел. +375172095114, e-mail: novitsky@bsu.by

