

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию И.А. Нечепуренко
«Исследование свойств плазмонных структур и их возможные приложения»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 –
Электрофизика, электрофизические установки

Диссертационная работа И.А. Нечепуренко представлена на 149 страницах, содержит 70 рисунков и состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. К работе приложен автореферат на 20 страницах.

Актуальность исследования. Диссертационная работа посвящена теоретическому исследованию оптических свойств различного рода плазмонных наноструктур, таких как плазмонные фотонные кристаллы, спазеры и сенсоры на поверхностных плазмон-поляритонах (ПП). Выбранное соискателем направление является одним из самых перспективных направлений в современной фотонике. Наноструктурированные металлические и металл-диэлектрические среды зачастую обладают уникальными оптическими свойствами, которые не встречаются в природных материалах. Особую роль в работе занимают источники когерентных ПП — спазеры — которые до сих пор являются недостаточно исследованной системой; в работе проведен исчерпывающий анализ одной из разновидностей спазера, не исследованной ранее. Эти обстоятельства позволяют говорить о том, что проведенное исследование обладает не только актуальностью, но и высокой научной новизной.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы, включающего 215 наименований.

Первая глава работы носит обзорный характер. Рассмотрены свойства поверхностных волн на границе раздела металл-диэлектрик, а также в трехслойных конфигурациях. Приведены общие данные о локальных ПП на субволновых частицах, о материалах с искусственной дисперсией диэлектрической и магнитной проницаемостей, рассмотрены среды с гиперболической дисперсией, явления отрицательного преломления и каналирования эванесцентных мод. Отдельное место во введении занимают источники когерентных плазмонов — спазеры — и подход к их описанию.

Вторая глава посвящена плазмонным фотонным кристаллам (ПФК). ПФК — это важный частный случай двухслойного одномерного фотонного кристалла, в котором один из слоев является металлическим. В данной главе дана исчерпывающая классификация таких сред в пространстве параметров, зависящих от диэлектрических проницаемостей металлических и диэлектрических слоев ПФК. В приближении отсутствия дисперсии и поглощения определены положения разрешенных и запрещенных зон, а также на с. 72 выведено важное условие в пространстве параметров ПФК для возникновения режима отрицательного преломления в среде.

В третьей главе описываются среды с усилением ПП в параболических металлических канавках, заполненных квантовыми точками. Приведены результаты моделирования явления генерации когерентных ПП путем численного решения уравнений Максвелла-Блоха. Показана возможность квазипериодичной пиковой генерации с частотой порядка 1 ТГц при добавления насыщающегося поглотителя, что становится возможным благодаря малым размерам резонатора. Важно отметить: делается утверждение, что режим плазмонной генерации достижим при экспериментально реализуемых параметрах среды. Это делает рассматриваемую систему чрезвычайно привлекательной для создания компактных источников когерентных электромагнитных волн оптического диапазона.

В четвертой главе описаны результаты автора по совершенствованию различного рода сенсорных методик, основанных на возбуждении ПП. Предложен способ детектирования изменения показателя преломления жидкости, в которую погружено оптоволокно с брэгговской решеткой, запыленное тонким слоем меди. Описаны новые методики внутрирезонаторной спектроскопии, основанные, в отличие от классических лазерных методик, на генерации ПП в спазерах. Рассмотрено явление, в котором при добавлении среды с дисперсией показателя преломления и поглощения в резонатор возникает режим устойчивой генерации. В целом, результаты, описанные в четвертой главе, являются важным шагом для усовершенствования существующих методик детектирования сверхмалых концентраций веществ в жидкостях и газах, что определяет практическую значимость данной работы.

Научная новизна и достоверность результатов. Новизна полученных результатов и их научная ценность заключается в том, что впервые классифицированы одномерные ПФК и выведено общее условия для возникновения отрицательного преломления в них, предложен новый метод внутрирезонаторной спазерной спектроскопии поглощения на основе золотых канавок, плазмонов графена и локальных плазмонов зонда туннельного микроскопа, а также предложено несколько оригинальных способов усовершенствования существующих сенсорных методик на основе ПП и поверхностных волн в фотонных кристаллах.

Достоверность результатов определяется использованием проверенных методик численного анализа электромагнитных свойств пространственно-неоднородных сред, в том числе сред с усилением, а также хорошее совпадение с имеющимися экспериментальными данными. Все утверждения подтверждены ссылками на источники, перечисленными в последней части диссертации, содержащей 215 наименований.

Недостатки диссертации

1. Результаты, приведенные во второй главе работы, получены в

приближении отсутствия дисперсии диэлектрической проницаемости металлических частей ПФК. Поскольку среда с постоянной отрицательной действительной частью диэлектрической проницаемости в сколь угодно малом спектральном диапазоне противоречит соотношениям Крамерса-Кронига, требуется дополнительное обоснование выбора модели и более подробное описание влияния неравенства нулю дисперсии диэлектрической проницаемости на результаты расчетов.

2. Для описания уширения плазмонного резонанса в четвертой главе было искусственно введено поглощение в среде, связанное с ее предполагаемой деградацией. Мнимая часть диэлектрической проницаемости была положена равной $25i$, что является большой величиной, несвойственной ни меди, ни ее нативному оксиду или карбонату. С другой стороны, не рассмотрены процессы радиационных потерь ПП, возникающих на пленках с неровностями.

3. В одном из выводов делается утверждение о «контринтуитивном явлении уменьшения порога генерации спазера при увеличении резонансных потерь». При ближайшем рассмотрении выясняется, что первопричиной данного явления становятся не резонансные потери как таковые, а связанная с дисперсией показателя поглощения дисперсия показателя преломления. Иными словами, для наблюдения этого явления необязательно добавление поглощения; наблюдается некоторая подмена понятий.

4. Текст работы содержит заметное количество опечаток, а также графики с надписями на английском языке.

Оценка диссертации в целом. Тем не менее, указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов. Диссертационная работа И. А. Нечепуренко выполнена на высоком научном уровне. Результатом работы является решение важных задач актуального направления в фотонике. Приведенные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение. Диссертация написана доходчиво и аккуратно оформлена.

Заключение

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Нечепуренко Игорь Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки».

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник
кафедры квантовой электроники физического факультета
МГУ имени М. В. Ломоносова

М. Р. Щербаков

Подпись Щербакова М. Р. удостоверяю

Зам. декана физического факультета

МГУ имени М. В. Ломоносова



А. А. Федянин

Данные официального оппонента по диссертации — М. Р. Щербакова:

Почтовый адрес: 119991, Москва Ленинские горы, МГУ имени
М.В.Ломоносова Дом 1, строение 2, Физический Факультет

Телефон (рабочий): +7 495 939 39 10

Электронная почта: shcherbakov@nanolab.phys.msu.ru