

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора

Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Институт спектроскопии
Российской академии наук

д.ф.-м.н., профессор В.Н. Задков

«11» ноября 2015 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Нечепуренко И.А. "Исследование свойств плазмонных структур и их возможные приложения", представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

В диссертации И.А. Нечепуренко рассматривается круг актуальных задач современной электродинамики, относящихся к областям: (1) плазмонные кристаллы, (2) квантовая наноплазмоника, (3) плазмонные сенсоры. Эти области испытывают интенсивное развитие, что во многом обусловлено необходимостью повышения точности измерительных методов, их быстродействия, а также миниатюризацией устройств. Традиционно оптические устройства не могли иметь размер, меньший длины волны света. Прогресс в областях наноплазмоники и литографии плазмонных наноструктур позволили решить эту проблему благодаря использованию плазмонного резонанса, который сопровождается локализацией света в субволновых областях. Поэтому плазмонные наноструктуры нашли свое применение в рамках спектроскопии, микроскопии, а также при создании метаматериалов и плазмонных кристаллов – сред, которые резонансно

взаимодействуют с электромагнитным полем. Плазмонные кристаллы – это периодические среды, обеспечивающие распространение поверхностных плазмонов, последовательно возбуждаемых на границах металлических слоев. Следует отдельно подчеркнуть проведенное в диссертации И.А. Нечепуренко всестороннее исследование одномерных плазмонных кристаллов.

Существенным ограничением работы устройств на основе плазмонного резонанса являются большие потери в металле. Недавно было предложено использовать усиливающие среды для решения этой проблемы. Это привело к образованию и бурному развитию нового направления в плазмонике - активной плазмоники, задач которой посвящена существенная часть диссертации. Таким образом, задачи, решенные в диссертации И.А. Нечепуренко, безусловно, являются **актуальными**.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы, включающего 215 наименований.

Во введении обсуждаются актуальность и новизна результатов, их достоверность и практическая ценность, цели исследования, положения, выносимые на защиту, приведены публикации по теме диссертации.

В первой главе диссертации предлагается обзор литературы, имеющей отношение к работе в целом. Первая часть обзора посвящена общим вопросам плазмоники, обсуждаются основные понятия и круг рассматриваемых задач, а также их практическое значение. Во второй части обзора обсуждаются метаматериалы и фотонные кристаллы, в том числе содержащие плазмонные элементы. Третья часть обзора посвящена плазмонным лазерам (спазерам) – новым устройствам области активной плазмоники, широко обсуждаемым в литературе. В четвертой части обзора приведен вывод системы уравнений Максвелла-Блоха с учетом дисперсии материала, которая позволяют описывать плазмонные лазеры.

Вторая глава диссертации посвящена плазмонным фотонным кристаллам. Рассматривается частный случай одномерных фотонных

кристаллов, ячейка которых состоит из двух слоев металла и диэлектрика. Проводится классификация таких систем по типу их зонной структуры и форме изочастотных кривых. При этом основное внимание уделяется анализу отрицательного преломления в плазмонных фотонных кристаллах, которое связано с возможностью создания линз Пендри и Белова. В частности, из соотношения фазовой и групповой скоростей аналитически выводится критерий отрицательного преломления света на границе одномерных плазмонных фотонных кристаллов.

Третья глава диссертации посвящена плазмонным лазерам. В качестве геометрии резонатора такого лазера выбрана параболическая канавка в металле. В первом разделе главы анализируется возможность генерации в такой системе. Во втором разделе главы предлагается создание генератора импульсов с терагерцовой частотой за счет добавления в плазмонный резонатор поглощающих сред.

Четвертая глава диссертации является наиболее обширной, и в ней обсуждаются сенсорные применения плазмонных устройств. В начале этой главы проводится исследование поверхностного плазмона на медной пленке, нанесенной на поверхность оптического световода, содержащего наклонную брэгговскую решетку. Значительная часть четвертой главы посвящена методу внутррезонаторной спазерной спектроскопии. Суть метода заключается в уменьшении интенсивности генерации спазера при внесении поглощающего образца в ближнее поле резонаторной плазмонной моды. К сожалению, в силу новизны и сложности данный метод пока не реализован экспериментально. В заключительной части главы предлагается усиление метода гигантского комбинационного рассеяния света с помощью поверхностной волны фотонного кристалла. Проанализировано влияние количества слоев и омических потерь в системе на коэффициент усиления сигнала комбинационного рассеяния света.

В диссертации содержится ряд **новых результатов**.

1. Впервые получена полная картина возможных типов зонной структуры одномерных плазмонных фотонных кристаллов при всевозможных параметрах системы. Получен критерий возникновения эффекта отрицательного преломления.
2. Впервые предложен генератор плазмонов, распространяющихся в канавке на поверхности металла. Показано, что добавление насыщаемого поглотителя в резонатор генератора плазмонов на основе параболической канавки приводит к возникновению режима пассивной модуляции добротности. Впервые предложено создать генератор терагерцовой тактовой частоты, используя этот режим генерации.
3. Предложен новый метод внутрирезонаторной спектроскопии поглощения на основе плазмонного генератора (спазерная спектроскопия).
4. Предложена реализация метода внутрирезонаторной спазерной спектроскопии на основе плазмонов графена. Найдена чувствительность метода.
5. Предложено использовать поверхностную волну в фотонном кристалле для дополнительного усиления сигнала в схеме SERS. Установлена связь между оптимальным количеством слоев фотонного кристалла и потерями, свойственными самой схеме SERS.

Достоверность результатов подтверждается совпадением теоретических расчётов с результатами численного моделирования, а также публикациями в ведущих мировых журналах.

Полученные в работе Нечепуренко И.А. результаты представляют практический интерес и могут быть рекомендованы для использования в МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН и других институтах РАН.

Диссертация не лишена недостатков:

1. Разделы четвертой главы диссертации, посвященные новому методу внутрирезонаторной спазерной спектроскопии, следовало выделить в отдельную главу как самостоятельный результат.

2. Раздел четвертой главы, посвященный методу измерения показателя преломления на основе оптического световода, покрытого слоем металла, можно было исключить из диссертации для достижения большего единства работы.

3. Из диссертации остается неясным вопрос о том, нашли ли практическое применение метаматериалы, содержащие плазмонные включения.

4. Также остается неясным, как зависят характеристики исследуемых плазмонных устройств от параметров активной среды.

Однако отмеченные недостатки не умаляют достоинств диссертации. Диссертационная работа И.А. Нечепуренко является завершённым исследованием, посвящённым актуальной научной задаче и содержащим оригинальные результаты. Она удовлетворяет п.9 положения ВАК о порядке присуждения учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании лаборатории лазерной спектроскопии Института спектроскопии Российской академии наук.

Отзыв утверждён и одобрен на заседании семинара отдела лазерной спектроскопии ИСАН 11.11.2015, протокол № 1.

Старший научный сотрудник
Института спектроскопии РАН,
к.ф.-м.н.

П.Н. Мелентьев

Подпись заверяю
Ученый секретарь
Института спектроскопии РАН,
к. ф.-м.н.



Е. Б. Перминов