

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Кондратова Алексея Владимировича** на тему **«Взаимодействие света с метаматериалами с отрицательным показателем преломления и экстремальной оптической хиральностью»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа Кондратова А.В. посвящена теоретическому решению ряда задач, относящихся преимущественно к области оптики метаматериалов, являющейся активно развивающейся областью физики, что определяет актуальность выполненных исследований. Новые возможности по формированию нано- и микроструктур с различными структурными и, соответственно, физическими и оптическими свойствами, приводит к появлению новых задач, требующих развития теоретического описания, моделирования и экспериментального изучения. В рамках данной работы рассмотрены задача описания и вычисления давления света в средах с отрицательным показателем преломления, механизмы появления высоких значений оптической активности в плазмонных наноструктурах на основе пленок металлов с нанотверстиями хиральной формы, а также метод определения 3D формы структуры элементарной ячейки периодических массивов нанотверстий нетривиальной формы их анализа их АСМ изображений.

Первая задача относится к области классической электродинамики по определению импульса электромагнитной волны в среде, в частности, в метаматериалах, для которых может быть реализовано отрицательное значение показателя преломления (глава 2). В диссертационной работе предложена формулировка подхода, обеспечивающего физически непротиворечивое описание давления света в как в традиционных, так и средах с отрицательной рефракцией. Данный результат полезен, в том числе, при решении разнообразных прикладных задач, например, вычислении сил при оптических манипуляциях микрообъектами.

В главах 3, 4 и 5 рассмотрен круг явлений, связанных с оптической хиральностью метаматериалов на основе пленки серебра с квадратной решеткой отверстий сложной (хиральной) 3D формы. В настоящее время признано, что структуры с искусственной хиральностью перспективны для решения многих прикладных задач, таких как создание круговых поляризаторов, оптической диагностики диэлектрического окружения и естественной молекулярной оптической активности. Поэтому изучение механизмов оптического отклика таких сред, развитие методов их описания и определение путей

усиления эффектов оптической активности является актуальной и практически значимой задачей.

Можно отметить следующие наиболее интересные результаты, полученные диссертантом и описанные в его работе.

1. На основе численного моделирования и расчетов, проведенных в рамках развитого метода связанных мод, показано, что большие значения оптической активности и эффекта кругового дихроизма достигаются при наличии в рассмотренной структуре (пленке серебра с хиральными 3D отверстиями) двух близкорасположенных плазмонных резонансов, приводящих к возникновению резонанса Фано. Данный вывод должен быть справедлив для различных видов хиральных метаматериалов.

2. Предложен метод усиления эффектов хиральности диэлектрического слоя вещества за счет помещения его в область усиленного локального поля плазмонных структур. Данный эффект может быть также использован для определения пространственного распределения электромагнитного поля вблизи металлических наноструктур.

3. Предложен достаточно интересный метод определения формы элементарной ячейки массива наноструктур по их АСМ изображениям с использованием зондов различной формы. Построение таких трехмерных изображений структур перспективно для анализа их оптического отклика в дальнем поле.

Диссертация Кондратова А.В. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, содержащего 108 наименований, и списка 29 рисунков, изложена на 92 страницах.

Представленные в работе методы, подходы и результаты имеют существенную научную значимость и новизну.

По теме диссертационной работы опубликовано 4 статьи в журналах, индексируемых международными базами цитирований и рекомендованных ВАК: Physical Review A, Physical Review B, Ultramicroscopy, JOSA B. Результаты, полученные в рамках выполнения диссертации, представлены на 5 международных конференциях и опубликованы в сборниках тезисов докладов.

При общем положительном впечатлении от диссертационной работы Кондратова А.В. следует, тем не менее, сделать ряд **замечаний**:

1. В разделе 3.2.2. (теория связанных мод) введены «амплитуды плазмонов» p_v , однако смысл данных параметров не объяснен, им не сопоставлены какие либо измеряемые физические величины.
2. В разделе 4.1 указано, что дополнительный вклад в хиральность оптического отклика метаматериалов могут вносить нелинейные оптические эффекты, однако

далее в тексте они не обсуждаются, тем более отсутствует рассмотрение схемы предполагаемого эксперимента для наблюдения механизма нарушения зеркальной симметрии за счёт нелинейности.

3. В Главе 5 приведен метод определения усредненных параметров трехмерных элементарных ячеек метаматериалов на основе пленки металла с отверстиями хиральной формы. Насколько общим является предложенный метод? Возможно ли его использовать применительно к другим типам периодических структур?
4. Формулировка научной новизны, относящаяся к Главе 5, не вполне корректна: рельеф периодической структуры не восстановлен (на основе предложенного метода обработки данных АСМ измерений); скорее, получено усредненное по массиву структур изображение элементарной ячейки. Причем это изображение, скорее всего, как раз потеряло ряд своих специфических особенностей.
5. В тексте диссертации присутствуют неудачные формулировки. Так, в обзоре литературы (Глава 1, стр. 15) говорится, в частности, о передаче оптической хиральности между молекулами и плазмонами. Словосочетание «хиральный резонанс Фано» (параграф 3.2) лучше заменить, например, на резонанс Фано в хиральной среде. Выражение «...отверстия с толщиной ...» лучше заменить на отверстия в пленке, толщина которой... Наконец, в тексте присутствуют пунктуационные ошибки.

Выводы и заключение по диссертации.

Указанные замечания не снижают общего высокого научного уровня и ценности работы соискателя. Несмотря на то, что работа состоит из двух основных частей, ее можно охарактеризовать как логически целостное и завершенное научное исследование, в рамках которого получен ряд новых результатов, представляющих несомненный фундаментальный и практический интерес. Материал диссертации изложен последовательно, рисунки и графики хорошо иллюстрируют полученные автором результаты. Сформулированные в конце каждой главы и заключении диссертации основные результаты и выводы отражают перспективы дальнейших исследований. Все результаты, изложенные в диссертации, получены с использованием современных методов численного и математического моделирования и хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными, что подтверждает их достоверность.

Автореферат диссертации соответствует ее тексту, правильно и в полном объеме отражает результаты и выводы работы.

Таким образом, диссертационная работа Кондратова А.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальных физических задач, имеющих фундаментальное и практическое применение. Диссертационная работа является законченным исследованием и полностью соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным согласно разделу 2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, а её автор, Кондратов Алексей Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук

Доцент Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

кафедра квантовой электроники

Татьяна Владимировна Мурзина

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва,

Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова

Дом 1, строение 2, Физический факультет

Телефон: +7 (495) 939-36-69

E-mail: mur@shg.ru

01.06.2018 г.

Декан Физического факультета МГУ
профессор



Н.Н. Сысоев