

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.

Оптика метаматериалов и наноструктур является одной из самых активно развивающихся областей современной оптики. Здесь особенно интересны так называемые хиральные метаматериалы, в которых электрические и магнитные свойства перепутываются. Такого рода эффекты позволяют произвольно управлять поляризационными свойствами света, а на их основе можно создавать новые оптические устройства. Таким образом тема диссертация является актуальной.

В диссертации проведено численное моделирование пропускание периодических плазмонных наноструктур сложной формы методом FDTD с использованием восстановленной трёхмерной модели реальной структуры и построена модифицированная теория связанных мод, учитывающая хиральность взаимодействия плазмонов с падающими и исходящими плоскими волнами и описывающая экстремальные значения оптической хиральности. Изложенный метод реконструкции формы реальных наноструктур с большим аспектным отношением применим для исследования и моделирования оптических свойств намного более широкого класса структур и метаматериалов по сравнению с представленными в работе, что имеет несомненную практическую значимость.

В работе подробно исследована чувствительность массивов наноотверстий различной формы к малым изменениям диэлектрического окружения. Проведено сравнение периодических плазмонных массивов

наноотверстий сложной трёхмерной (киральной) и простой цилиндрической формы и показано, что простые круговые также эффективны для задачи усиления естественной оптической активности. Продемонстрированное усиление молекулярной оптической активности тонкого слоя в 10 раз за счёт возбуждения плазмонного резонанса цилиндрического отверстия имеет прикладное значение и позволяет рекомендовать использование таких структур для оптической диагностики молекулярной хиральности.

По теме диссертационной работы опубликовано 4 статьи в высокорейтинговых рецензируемых журналах. Результаты представлены на 5 профильных международных конференциях в виде устных или приглашённых докладов. Индекс Хирша диссертанта мал - $h=2$ (Web of Science).

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

По диссертационной работе Кондратова А.В. имеется ряд замечаний:

Научная новизна ни в диссертации, ни в автореферате выпукло не показана, автор вместо этого приводит список полученных результатов и предполагает, что читатель сам догадается, почему эти результаты новые. Какие результаты новые в Главе 2 – непонятно.

Глава 2 -Макроскопическая теория давления света - не связана с основной частью работы (хиральные метаматериалы) , написана поверхностно и ни каким новым выводам не приводит. Это не соответствует п. 10 положения о том, в той его части, что диссертация должна обладать внутренним единством.

Если говорить по существу содержания Главы 2, то следует заметить, что проблема нахождения тензора напряжений электромагнитного поля имеет долгую (более 150 лет) историю и ей посвящены тысячи публикаций, которые не согласуются друг с другом. Сейчас общепринято, что задача нахождения тензора напряжений электромагнитного поля без учета тензора напряжений вещества не имеет однозначного решения и любая новая работа в данном направлении должна учитывать этот аспект. В рассматриваемой диссертации этого не делается.

Поверхностность изложения в данной главе видна уже из того что используемые уравнения Максвелла не приводятся, хотя из (2.13) можно сделать вывод что это уравнения Максвелла без внешних источников, то есть с нулевыми плотностями сторонних зарядов ρ и токов \mathbf{j} :

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\mathbf{E} &= i\frac{\omega}{c}\mathbf{B}; \operatorname{div}\mathbf{D} = 0 \\ \operatorname{rot}\mathbf{H} &= -i\frac{\omega}{c}\mathbf{D}; \operatorname{div}\mathbf{B} = 0 \\ \mathbf{D} &= \varepsilon\mathbf{E}; \mathbf{B} = \mu\mathbf{H} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Далее, критикуя предложенное самим диссертантом выражение для тензора напряжений (2.10) (см., также, С.Р. де Гроот, Л. Г. Сатторп, *Электродинамика*, М., Наука 1982)):

$$T_{ij} = \frac{1}{4\pi} \left[E_i E_j + B_i B_j - \frac{\delta_{ij}}{2} (E^2 + B^2) \right] \quad (1.2)$$

он пишет, что из (1.2) следует, что «сила давления света примет следующий вид

$$\mathbf{F}_L = \rho\mathbf{E} + \frac{1}{c}(\mathbf{j} \times \mathbf{B}) \quad (1.3)$$

то есть макроскопические поля действуют на макроскопические же плотности заряда ρ и тока \mathbf{j} » и что «данная сила отлична от нуля уже в случае суперпозиции двух электромагнитных волн одинаковой частоты, распространяющихся в противоположных направлениях внутри непоглощающей однородной среды, то есть обмен импульсом происходит в отсутствие реального взаимодействия». Здесь автор допускает некорректность, так как сторонние (макроскопические) заряды ρ и токи \mathbf{j} в рассматриваемой им системе равны нулю (см (1.1)), что приводит к равенству нулю и силы (1.3). Более корректный анализ предложенного автором выражения (1.2) ((2.10) в диссертации) показывает, что оно действительно некорректно, так как приводит к ненулевой силе действующей на вещество в симметричной стоячей волне. Кроме того, выражение (1.2) находится в противоречии с однозначно известным выражением для плотности энергии

$$T^{00} = \frac{1}{4\pi}(\mathbf{E}\mathbf{D} + \mathbf{H}\mathbf{H}) , \quad (1.4)$$

так что возникновение парадоксов, связанных с (1.2), неудивительно. После этого диссертант берет хорошо известное выражение для тензора напряжений электромагнитного поля

$$T_{ij} = \frac{1}{8\pi}[E_i D_j + D_i E_j + H_i B_j + B_i H_j - \delta_{ij}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{B})] \quad (1.5)$$

и соответствующую ему силу (тоже известную см., например, И.Е.Тамм «Основы теории электричества»)

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi c} \frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{D} \times \mathbf{B}) \quad (1.6)$$

и тривиально показывает, что оно не приводит к объемным силам в случае периодических по времени полей, то есть в определенном смысле известное выражение (1.5) корректно. Коротко говоря, содержание Главы 2 можно выразить так: выражение предложенное автором некорректно, а известное - корректно.

Среда с отрицательным показателем преломления рассмотрена еще более формально, и здесь не учтено, что отрицательный показатель преломления в реальной жизни будет связан с поглощением. Всего отрицательному показателю преломления посвящено 2 страницы без хотя бы одной новой формулы, хотя эта тема фигурирует в названии диссертации наравне с экстремальной хиральностью.

Никаких полезных выводов и новых результатов в Главе 2 я не нашел. Это скорее поверхностный обзор имеющихся в литературе вариантов и положение 1, выносимое на защиту, оказывается неинформативным и не новым. Кроме того, тематика Главы 2 не относится к специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Эта часть имела бы некоторый смысл, если бы автор рассмотрел случай киральных метаматериалов, который обычно не рассматривается. Это позволило бы ему как получить новые результаты, так и связать данную главу с основной частью диссертации. Но этого сделано не было

Вторая часть диссертации – посвященная хиральности - гораздо более интересна, так как связана с экспериментами и актуальностью темы. Однако и здесь есть замечания.

Название раздела 4.1 - Нарушение симметрии планарных 2D-хиральных наноструктур за счёт нелинейности - неудачное, так как фактически в данном разделе нелинейных расчетов нет, а исследуется линейная задача влияния на хиральность тонкого однородного слоя диэлектрика.

На основании интересных результатов («экстремальная хиральность»), полученных при моделировании линейной системы, автор пытается построить схему управления экстремальной хиральностью за счет нелинейности. Эта довольно интересная и актуальная задача. Однако, здесь уже имеется существенная некорректность: нелинейного усиление показателя преломления имеет место только в «горячих» точках,

$$n(\mathbf{r}) = n_b + \kappa I(\mathbf{r}), \quad (1.7)$$

общая площадь которых мала по сравнению со сплошным однородным слое, который использовался при моделировании.

Однако авторы не учитывают это, и считают, что изменение показателя преломления во всем слое равно изменению показателя преломления в горячих точках

$$\Delta n = \kappa \xi^2 I_0, \xi^2 \approx 10 \quad (1.8)$$

что, конечно, неправильно, и в реальности реально нелинейный эффект будет существенно ниже (если вообще будет) и оценка становится некорректной.

Это существенно влияет на положение 3, выносимое на защиту:

«Относительная разница показателя преломления $\Delta n \approx 1\%$ тонких приповерхностных слоёв с разных сторон массива планарных двумерно хиральных наноотверстий в серебре приводит к появлению оптической активности $\sim 1^\circ$. Предложен механизм нарушения зеркальной симметрии за счёт нелинейности при погружении структуры в среду с нелинейностью Керра»,

так как предложенный механизм не имеет корректного обоснования.

Раздел 4.2 - Оптическая диагностика молекулярной хиральности с помощью массивов плазмонных наноотверстий - это интересный раздел, в котором предлагается измерять оптическую активность при помощи решеток наноотверстий. Здесь в качестве замечания следует заметить только то, что трудно вообразить, как образуется мембрана толщиной 20 нм из оптически активных молекул внутри отверстия.

Глава 5 – очень интересная и важная глава, так как в ней решается обратная задача восстановления формы решетки наноотверстий по результатам эксперимента. В качестве замечания к этой главе следует отметить, что предложенный метод не тестировался на шаблонных профилях и не сравнивался с результатами, полученными при помощи SEM.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделанные замечания существенно снижают уровень представленной работы.

Рассматриваемая диссертационная работа «Взаимодействие света с метаматериалами с отрицательным показателем преломления и экстремальной оптической хиральностью» удовлетворяет всем критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям разделом II (п.п. 9-14) «Положения о присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ, кроме п. 10 положения в части о том, что диссертация должна обладать внутренним единством: Глава 2. - Макроскопическая теория давления света- не связана с основной частью работы, написана формально и ни каким новым выводам не приводит. Это не соответствует п. 10 положения в той части, что диссертация должна обладать внутренним единством.

Тем не менее, материалы диссертации (кроме Главы 2) довольно интересны и показывают, что Кондратов Алексей Владимирович имеет

достаточную квалификацию для присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент
Доктор физико-математических наук
Начальник отдела разработки
оптических устройств нового поколения
ФГУП «ВНИИА»

В.В. Климов

Подпись Климова В.В. заверяю

Учёный секретарь ФГУП «ВНИИА»

04.06.2018 г.



С.И. Дубовик

Россия, 127055, г. Москва, Сушеvская ул., д.22, ФГУП «ВНИИА»

Телефон: +7 (915) 075-96-52

E-mail: klimov256@gmail.com