

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Мамонова Евгения Александровича «Генерация второй оптической гармоники в планарных хиральных наноструктурах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Хиральность молекул, обнаруженная в 1948 году Пастером широко используется в органической химии, она играет важную роль при создании органических материалов для нелинейной оптики, жидких сегнетоэлектрических кристаллов. Чуть более десяти лет назад были искусственно созданы хиральные метаматериалы. Они взаимодействуют с циркулярно-поляризованным светом или создают его. Циркулярно-поляризованный свет имеет самые разнообразные применения, например, в 3D кинематографе, управлении спиновым состоянием электронов, управлением синтезом белков. Плазмонные асимметричные наноструктуры также могут обладать свойством хиральности, при этом они являются двумерными. Такие структуры обладают рядом преимуществ, например, эффектом усиления пропускания. Кроме того, даже единичная структура размером порядка одного микрона может служить эффективным сенсором хиральности малого количества органических молекул. Если линейные оптические свойства таких структур исследованы достаточно полно, то нелинейно-оптические свойства практически не изучены. Вместе с тем известно, что, например, процесс генерации второй гармоники чувствителен к большому числу параметров системы и дает существенно больший контраст при анализе световых потоков. Таким образом, тема диссертации Мамонова Е.А. актуальна, а ее результаты могут найти применение как для развития диагностических методик анализа двумерных хиральных структур, так и при создании оптических сенсоров хиральных микросистем.

Диссертационная работа Мамонова Е.А. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы. Во введении сформулированы актуальность проводившихся исследований, их научная новизна, отмечены практическая значимость результатов и личный вклад автора в проведенных исследованиях, приведены основные положения, выносимые на защиту. Первая глава посвящена обзору литературы по теме работы, в трех остальных представлены оригинальные результаты, полученные автором.

В первой главе основное внимание уделено описанию механизмов нелинейно-оптического отклика поверхности различных сред, рассмотрены симметрия тензора квадратичной восприимчивости хиральной изотропной среды, особенности

оптического и нелинейно-оптического отклика металлических наноструктур. В заключительной части главы приведены сведения об использовавшихся в работе экспериментальных методах. Описаны работы по изучению нелинейно-оптических эффектов в планарных метаматериалах.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию генерации второй оптической гармоники (ВГ) в золотых планарных хиральных наноструктурах в форме плоской спирали на (буквы G латинского алфавита) методом микроскопии второй гармоники. Впервые автором реализована методика микроскопии ВГ с разрешением по поляризации, что позволило получить ряд новых результатов. Например, проведенные автором исследования показали, что хиральность данного вида наноструктур приводит к изменению поляризации излучения ВГ в локализованных источниках, или хот-спотах (hot-spots), внутри одной G-структуры. Было обнаружено, что направление поворота плоскости поляризации ВГ для энантиомерных структур (т.н. G и mirror-G структур) противоположно, кроме того, знак эллиптичности излучения ВГ в них также различен. В работе экспериментально показано, что указанные особенности существуют при любой ориентации плоскости поляризации излучения накачки, определяющей конфигурацию локализованных источников ВГ.

В данной главе представлены также результаты численных расчетов, проведенных диссертантом, которые показали, что определяющую роль в формировании отклика исследованных структур на частоте ВГ играют параметры распределения и поляризация поля на частоте накачки.

Результаты второй главы кажутся мне наиболее интересными и значимыми, как экспериментальные, так и теоретические. Экспериментально показаны симметричные свойства хотспотов для различных стоксовых параметров в энантиомерах. Интересными являются результаты расчета, показывающие различия в осцилляциях тока на основной частоте и частоте второй гармоники.

Третья глава диссертации Е.А. Мамонова посвящена результатам исследования нелинейно-оптического отклика двумерного массива планарных хиральных наноструктур в форме плоской спирали с элементарной ячейкой, состоящей из одной G-наноструктуры. В результате исследования свойств поляризации ВГ при различных взаимных ориентациях массива наноструктур и плоскости поляризации излучения накачки был сделан вывод о существенном вкладе деполяризованного сигнала в общую интенсивность ВГ. Также была обнаружена анизотропия как поляризованной, так и деполяризованной составляющих ВГ, объясненная с помощью численных расчетов влиянием факторов локального поля на частоте

излучения накачки. Другим важным результатом, описанным в этой главе, является наблюдение «обратного» эффекта циркулярного дихроизма ВГ, заключающегося в существенно различной эллиптичности излучения ВГ для двух энантиомеров при определенной ориентации плоскости поляризации накачки относительно наноструктуры. Эти результаты отражают проявление хиральности структуры в формировании ее нелинейно-оптического отклика. Во второй части данной главы предложено две модели описания данного эффекта: основанной на анализе свойств симметрии тензора квадратичной восприимчивости, и на рассмотрении интерференции излучения второй гармоники от различных локализованных источников ВГ в структуре.

В четвертой главе описаны результаты экспериментов по излучению генерации ВГ от массива планарных хиральных наноструктур в форме буквы G с элементарной ячейкой, состоящей из четырех наноструктур, т.е. имеющей осевую симметрию четвертого порядка. Как было указано в диссертации, в данном случае роль анизотропии индивидуальной G-структуры должна быть существенно меньше по сравнению с несимметричными структурами, рассмотренными во второй главе. В то же время, хиральность отдельного G-элемента может приводить к появлению особенностей в квадратичном отклике всего массива. Данное предположение было подтверждено экспериментально. Для данных структур также был обнаружен «обратный» эффект циркулярного дихроизма ВГ, параметры которого существенно менее зависели от взаимной ориентации наноструктур и плоскости поляризации излучения накачки, а также различное направление вращения главных осей эллипса поляризации излучения ВГ для энантиомеров при изменении азимутального положения наноструктур. Другими словами, было показано, что хиральность структур определенно участвует в формировании отклика на частоте ВГ, хотя при увеличении угла падения также начинают проявляться эффекты анизотропии массива мета-атомов. В результате изучения эффекта циркулярного дихроизма ВГ был сделан вывод о значительном влиянии геометрии эксперимента, а именно угла падения излучения накачки на образец на свойства данного эффекта. В зависимости от поляризации излучения ВГ оно заключается в пропадании эффекта или в смене его знака при усреднении значений по всем азимутальным положениям образца.

Помимо самих результатов хочется отметить подробный и качественный обзор литературы по тематике диссертации, подробное и качественное описание экспериментальных установок и методики эксперимента, обоснование погрешностей измерений, логику изложения материала и аккуратность оформления.

В тоже время диссертация не лишена недостатков, некоторые из которых отмечены ниже:

1. В постановке задачи хотелось бы видеть более четкое определения понятия «полное» исследование поляризации излучения ВГ с указанием уже имеющихся результатов для аналогичных структур.
2. В работе недостаточно обоснован выбор геометрии и материала исследованных метаматериалов, образованных наноструктурами в форме плоской спирали (буквы G).
3. В расчетах не рассмотрено возможное влияние параметров подложки на параметры генерации ВГ от исследованных наноструктур.
4. Не обсуждается вопрос о связи пространственного разрешения на длине волны ВГ, размера пятна и понятия хиральности. Ясно, что, если пространственное разрешение меньше размера наноблока, то наноблок не будет работать как хиральный элемент. Если размер пятна несколько больше размера наноблока, то в поляризационных свойствах могут проявляться краевые эффекты. Необходимо было оценить влияние таких эффектов.

Тем не менее, эти замечания не носят принципиального характера и не снижают научной значимости работы. По теме диссертации опубликовано 5 работ в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, а полученные результаты неоднократно докладывались на международных и всероссийских научных конференциях.

В автореферате диссертации перечислены научная новизна, практическая значимость, цели диссертационной работы, и кратко приведены основные полученные в работе результаты. Также приведен список публикаций автора в журналах и сборниках тезисов. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Мамонова Е.А. «Генерация второй оптической гармоники в планарных хиральных наноструктурах» отвечает всем требованиям ВАК РФ, а ее автор Мамонов Евгений Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 (лазерная физика).

Заведующая лабораторией
фемтосекундной оптики для нанотехнологий,
доктор физико-математических наук, профессор

Мишина Елена Дмитриевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский технологический университет»
119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78
Тел.: +7(495)434-80-29 e-mail: mishina_elena57@mail.ru

Подпись Мишиной Е.Д. удостоверяю

Начальник
Управления кадров **С.С. Чернышев**

