

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Яникова Михаила Владимировича**
«**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ И ГИБРИДНЫХ
МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОПАЛОВ»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Яникова М.В. посвящена изучению закономерностей оптических явлений в фотонных кристаллах и гибридных металлодиэлектрических структурах на основе опалов. Интенсивное развитие фотоники в последние десятилетия обусловило потребность в создании и исследовании новых оптических материалов. Металлодиэлектрические плазмонно-фотонные гетерокристаллы, привлекают внимание исследователей с точки зрения создания устройств фотоники для управления потоками электромагнитного излучения. В случае плазмонно-фотонных гетерокристаллов функциональные возможности управления потоками электромагнитного излучения значительно расширяются благодаря дополнительным эффектам переноса энергии вдоль границы металл-диэлектрик за счёт поверхностных плазмон-поляритонов. Одним из основных методов исследования структуры и оптических свойств фотонных кристаллов на основе опалов является метод брэгговской спектроскопии, информативность которого по ряду причин существенно уменьшается при больших углах падения света на образец. Поэтому разработка экспериментальных методик исследования именно для указанного диапазона углов имеет научное и прикладное значение, а тема диссертационной работы представляется мне **актуальной**.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, рассмотрены проблемы, сформулированные в предыдущих исследованиях, изложены цели и задачи работы, сформулированы защищаемые положения, отмечена новизна и практическая ценность полученных результатов.

Первая глава представляет собой аналитический обзор литературы. Рассмотрены существующие представления о структуре и оптических свойствах фотонных кристаллов. Предложен обзор основных методов изготовления трёхмерных фотонных кристаллов. Рассмотрены такие методы синтеза, как трёхмерная лазерная литография, травление фокусированным ионным пучком, сварка с последующей микросборкой слоёв,

полимеризация движущимся лазерным лучом. Описано современное состояние физики и оптики плазмонно-фотонных кристаллов.

Во второй главе описываются методы экспериментальных исследований, использованные в работе. Описаны свойства фотонных кристаллов и опалов, методы синтеза нанокомпозитов, методы изучения структуры и оптических свойств экспериментальных образцов.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования оптических свойств образцов. Представлены результаты исследования «пустых» опалов, нанокомпозитов типа йод/опал, а также гибридных многослойных металл-диэлектрических композитов. Сравнение спектров отражения материала йод / опал и исходной матрицы, полученных при одинаковом угле падения света, позволяет автору сделать вывод о том, что введение наночастиц йода приводит к заметному сдвигу брэгговских максимумов в «красную» область спектра, что объясняется увеличением эффективного показателя преломления образца. Для объяснения спектров отражения гибридных многослойных металл-диэлектрических структур предложен механизм гибридизации плазмонных и фотонных мод. Анализ спектров отражения исходной матрицы опала и нанокомпозитного материала Ag/опал показывает, что введение серебра в опаловую матрицу приводит к заметному сдвигу максимумов брэгговского отражения фотонного кристалла в «красную» область при фиксированных значениях угла падения света. Приведено объяснение формы полос отражения появлением резонанса Фано.

В **заключении** описаны основные результаты диссертационной работы.

Научная значимость и новизна диссертационной работы определяется следующим:

Автором диссертации экспериментально показана возможность использования для определения оптических свойств фотонно-кристаллических структур наряду с методом брэгговской спектроскопии метода спектральной эллипсометрии.

Установлен ряд новых закономерностей, а именно:

- корреляция спектральных зависимостей эллипсометрического параметра и спектров брэгговского отражения фотонных кристаллов на основе опалов, а также сдвиг максимумов в спектрах обоих типов в «синюю» область при увеличении угла падения света;
- на примере образцов Ag/опал, установлена возможность существенной модификации фотонно-энергетической структуры опала, которая проявляется в виде асимметрия профиля резонансных полос в спектрах отражения;

– асимметричная форма профиля резонансных полос в спектрах отражения нанокомпозита Ag/опал автором объяснена возникновением резонанса Фано, при взаимодействии фотонных мод с рассеянным на металлических наночастицах излучением.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

Проведенные автором исследования имеют практическое значение для развития технологии приготовления многослойных металлодиэлектрических структур, в частности, гибридных коллоидных плазмонно-фотонных кристаллов, что позволяет расширить функциональные возможности фотонных кристаллов за счет дополнительного переноса энергии поверхностными плазмон-поляритонами вдоль границы раздела металл-диэлектрик.

Автором установлено, что метод спектральной эллипсометрии позволяет определять положения фотонных запрещенных зон в опале при больших углах падения света на образец. Это существенно дополняет возможности метода брэгговской спектроскопии по исследованию оптических свойств ФК на основе опалов в указанном диапазоне углов.

К достоинствам диссертационной работы Яникова М.В. можно отнести тщательную подготовку экспериментов и подробное описание методик проведения измерений, с выявлением «подводных камней», которые могут привести к искажению результатов. Это указывает на высокий профессиональный уровень автора, как экспериментатора и подтверждает достоверность проведенных исследований и полученных результатов.

По диссертационной работе Яникова М.В. имеются следующие замечания:

1. В защищаемом научном положении №2 выражение «Существует возможность...» вряд ли допустимо применительно к научному положению.
2. В главе 2 следовало бы провести обоснование выбора йода в качестве наполнителя опала.
3. В параграфе 3.2 следовало бы привести оценку объемной концентрации йода в опале и оценку размера наночастиц йода.
4. В параграфе 3.2 следовало бы привести данные по дисперсии показателя преломления и коэффициента поглощения йода, для лучшего понимания полученных результатов.
5. В параграфе 3.2 следовало бы оценить влияние поглощения йода на результаты численного моделирования.
6. В параграфе 3.3 автор, объясняя спектры отражения и пропускания опалов в сочетании с пленкой серебра и трехслойным интерферометром Ag/SiO₂/Ag, предполагает возможности гибридизации плазмонных и фотонных мод. В качестве подтверждения этого

приводит результаты численного моделирования фотонного кристалла и интерферометра с двумя металлическими зеркалами. Однако реальная структура представляет собой не двух, а трехзеркальный интерферометр, имеющий уже иные оптические свойства.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Все представленные в работе выводы и положения в достаточной степени обоснованы и не противоречат существующим представлениям физики. Достоверность полученных результатов обеспечивается большим объемом экспериментальных данных, согласованностью полученных результатов с результатами, опубликованными другими авторами. Научная новизна представленных выводов и положений не вызывает сомнений.

Работа написана грамотно, стиль изложения логичный и доказательный. Работа является законченной научным трудом и выполнена автором на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

По результатам диссертации имеется 15 статей. Промежуточные этапы исследований обсуждались на 15 научных конференциях.

Диссертация Яникова М.В. удовлетворяет всем требованиям (п.7 Положения о порядке присуждения ученых степеней), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Яников Михаил Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Доктор физико-математических наук,

профессор кафедры Оптоинформационных технологий

и материалов Университета ИТМО

Санкт-Петербург, 197101, Биржевая линия, д. 4,

т. 9205938, e-mail: sidorov@oi.ifmo.ru

/А.И. Сидоров /

Подпись
удостоверена
Начальником
Университета ИТМО

