

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Замковца Анатолия Дмитриевича «Резонансные взаимодействия оптического излучения с плазмонными наноструктурами и слоистыми средами», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика»

1. Соответствие диссертации специальности, отрасли науки и области исследований, по которым она представлена к защите.

Диссертация Замковца Анатолия Дмитриевича «Резонансные взаимодействия оптического излучения с плазмонными наноструктурами и слоистыми средами» посвящена исследованию оптических свойств плотноупакованных монослоев наночастиц благородных металлов в спектральной области проявления в таких структурах полос локализованного резонанса поверхностного плазмонного поглощения, а также слоистых сред с субволновой периодичностью в области формирования в таких средах фотонных запрещенных зон. В работе проведено систематическое исследование по выявлению механизмов и установлению закономерностей резонансных взаимодействий оптического излучения с металл-диэлектрическими структурами различной конфигурации, а также с гибридными системами, в которых металлические наночастицы граничат с тонкими органическими пленками. Детальный анализ задач исследования, содержания диссертации, полученных результатов и выводов, а также использованных методов позволяет заключить, что диссертация соответствует заявленной специальности 01.04.05 – оптика, отрасль науки – физико-математические науки, область исследований – нанофотоника.

2. Актуальность темы диссертации.

В последние десятилетия отмечается бурный рост исследований в области физики и химии наноструктурированных материалов, различного вида структур с пониженной размерностью. Особые оптические и оптоэлектронные свойства таких объектов, во многом обусловленные проявлением эффектов пространственного конфинмента в металло-полупроводниковых и металл-диэлектрических композитах, способствуют достижению высокой функциональности создаваемых на их основе приборов и устройств. К этому направлению относится и диссертационная работа Замковца А.Д. Объектами исследования в ней являются плотноупакованные монослои металлических наночастиц, в которых проявляются в видимом и ближнем ИК диапазонах полосы поверхностного плазмонного резонансного поглощения, возникающие вследствие коллективных колебаний электронов проводимости в наночастицах благородных металлов. В сочетании с различными матрицами, а также в составе многослойных структур с субволновыми разделительными слоями такие объекты занимают значимое место как новый тип плазмонных материалов с селективным оптическим откликом на электромагнитные воздействия. Учитывая способность плазмонных наночастиц значительно усиливать локальные поля вблизи своей поверхности, такие материалы востребованы для усиления гигантского комбинационного рассеяния, управления излучательными свойствами хромофоров, создания новых типов оптических сенсоров, оптоэлектронных и инфокоммуникационных элементов и т.д.

Результаты исследований, которые составили основу диссертационной работы Замковца А.Д., получены при выполнении заданий крупных государственных программ и тем, а также конкурсных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. Решаемые в диссертации задачи и обсуждаемые вопросы соответствуют современным представлениям, концепциям и направлениям развития фундаментальных и прикладных исследований.

Тема диссертации соответствует п.6 «Электроника и фотоника» и п.8 «Многофункциональные материалы и технологии» перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы» (утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190), а также п.4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и **инновационные материалы**» перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, включающего:

- лазерные, плазменные, **оптические технологии** и оборудование;
- микро-, опто- и СВЧ-электронику, **фотонику**, микросенсорику;
- **композиционные и многофункциональные материалы**;
- **наноматериалы и нанотехнологии**, нанодиагностику.

(Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156). Совпадение по нескольким позициям перечня приоритетных направлений научной деятельности с тематикой диссертации Замковца А.Д. подтверждает актуальность данной работы, ее соответствие современным научным и научно-техническим тенденциям.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации и научных положений, выносимых на защиту.

Все полученные в диссертационной работе научные результаты и вынесенные на защиту научные положения являются новыми.

4. Обоснованность и достоверность основных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Все основные выводы и заключения в диссертации сделаны на основе анализа спектральных характеристик широкого класса образцов, полученных термическим испарением в вакууме. Исследование образцов проводилось с использованием спектроскопии пропускания и отражения, просвечивающей и зондовой микроскопии, люминесценции, методики возбуждение-зондирование фемтосекундной спектроскопии. Полученные экспериментальные результаты при необходимости сопоставлялись с теоретическими расчетами. В зависимости от типа образцов, проводилось моделирование их спектральных свойств с использованием расширенной теории Ми, квазикристаллического и интерференционного приближений статистической теории многократного рассеяния волн, комбинированной модели эффективной среды и др. Такой комплексный подход, а также согласованность эксперимента и теории позволил обеспечить обоснованность и достоверность результатов и выводов, сформулированных в диссертации.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию.

Научная значимость полученных в диссертации результатов состоит в становлении определяющей роли когерентных межчастичных 2D взаимодействий, приводящих к длинноволновому концентрационному сдвигу максимума полосы поверхностного плазмонного резонансного поглощения плотноупакованного монослоя наночастиц серебра относительно спектрального положения полосы локализованного плазмонного резонанса разреженных ансамблей коллоидных частиц с такими же размерами, а также обнаружении высокой чувствительности коллективной резонансной полосы поверхностного плазмонного поглощения плотноупакованного монослоя наночастиц серебра к изменению показателя преломления диэлектрического окружения;

- выявлении влияния поглощения в фуллереновой матрице на ослабление когерентных электродинамических взаимодействий в металлофуллереновых наноструктурах Me-C₆₀ с параметром перекрытия $\eta < 1$, что приводит к подавлению

длинноволнового концентрационного сдвига максимума полосы поверхностного плазмонного резонанса поглощения в таких структурах;

– установлении закономерности проявления межслойной интерференции и локализации светового излучения в многослойных плазмонно-фотонных структурах различных конструкций в условиях, когда фотонная запрещенная зона сформирована на частоте плазмонного резонанса;

– определении оптимальных морфологических и топологических параметров гибридных структур Ag-CuPc, Ag-NiPc, способствующих увеличению в видимой области спектра эффективного поглощения тонких пленок CuPc, NiPc, контактирующих с плотноупакованными монослоями наночастиц серебра в условиях сильного ближнепольного взаимодействия между металлическими наночастицами;

– обнаружении плазмон-зависимой модификации спектрально-кинетических свойств тонких пленок CuPc, находящихся в контакте с плотноупакованными монослоями наночастиц серебра в гибридных наноструктурах Ag-CuPc, при возбуждении данных наноструктур фемтосекундными лазерными импульсами на частоте плазмонного резонанса.

Практическая значимость полученных результатов состоит в следующем:

– установленные закономерности влияния конструктивных параметров плазмонных 2D наноструктур (размеров частиц, плотности их упаковки в монослое), а также слоисто-периодического строения плазмонно-фотонных систем (толщин разделительных диэлектрических промежутков, количества плазмонных слоев), на их спектральные свойства позволили целенаправленно воздействовать на характеристики пропускания, отражения и поглощения создаваемых спектрально-селективных покрытий и фильтров;

– выявленные особенности влияния усиления локального поля вблизи плазмонных наночастиц, находящихся в контакте с диэлектрическими, органическими и наноструктурированными металлическими средами, на спектральные характеристики соответствующих композитных структур, следует учитывать при разработке новых конструкций оптических сенсоров, действие которых основано на использовании ближнепольных эффектов, а также создании компонентов интегральной оптики;

– установленные закономерности нелинейно-оптического отклика многослойных плазмонно-фотонных наноструктур Ag-Na₃AlF₆ и гибридных наноструктур Ag-CuPc на возбуждение фемтосекундными лазерными импульсами открывают новые возможности создания быстродействующих (с пикосекундными временными параметрами) оптических модуляторов и переключателей;

– совокупность полученных результатов способствует решению задачи создания новых типов функциональных нано- и микроструктурированных материалов различного назначения для оптических, оптоэлектронных и инфокоммуникационных применений.

В приложении к диссертации имеются 2 акта использования разработанных спектрально-селективных устройств при выполнении научно-исследовательских проектов.

6. Опубликованность результатов диссертации.

По материалам диссертации опубликовано 94 печатных работы, из них 35 статей в рецензируемых научных журналах, большинство из которых реферируется поисковой базой Scopus, 31 статья в сборниках материалов конференций, 26 тезисов докладов, 2 патента. Основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту, в достаточной степени представлены в 33 статьях, опубликованных в научных изданиях, соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Материалы диссертации апробированы на достаточно представительных международных и региональных конференциях и совещаниях по лазерной физике, спектроскопии, люминесценции и материаловедению.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК. Диссертационная работа состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, семи глав, заключения, библиографического списка, 3-х приложений. Полный объем диссертации составляет 250 страниц. Библиографический список содержит список использованных источников (333 наименования) и список публикаций соискателя (94 наименования). Материал диссертации излагается логично и последовательно. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.

Анализ содержания диссертационной работы, уровня представления и обсуждения результатов позволяет заключить, что автор глубоко владеет современным состоянием проблемы резонансных взаимодействий электромагнитного излучения с металлодиэлектрическими и гибридными структурами, характеризующимися наличием плазмонных резонансов и субволновой периодичности. Изложение материала и его обсуждение ведется на высоком уровне, доказательно и аргументированно, с привлечением имеющейся в литературе информации по обсуждаемым вопросам. Проводится детальный анализ и сопоставление полученных экспериментальных результатов с результатами теоретического моделирования, что в совокупности свидетельствует как о достоверности результатов и выводов диссертации, так и о соответствии квалификации соискателя искомой ученой степени доктора физико-математических наук. Об этом же свидетельствует и его участие в выполнении ряда заданий государственных программ научных исследований и проектов фонда фундаментальных исследований.

Оценивая диссертацию в целом положительно, следует сделать некоторые замечания:

1. Соискатель не рассматривает влияние степени окисления наночастиц серебра и меди, которое неизбежно происходит на воздухе (особенно в тонком слое) и в оксидных матрицах, на наблюдаемые эффекты;

2. Малое количество публикаций (одна) в журналах первого квартиля;

3. В диссертации приводятся количественные данные о крутизне границы отрезания рассеивающих фильтров (см., например, стр. 197), однако нет информации о том, каким образом она определялась;

4. Было бы целесообразно привести некоторые ссылки на литературные источники во введении к диссертации;

5. В методической главе диссертации на стр. 45 сообщается, что «...наноструктуры изготавливались термическим испарением... на подложки из оптического стекла, кварца или полимера (полиэтилентерефталата, полиимида, полиэтилена, полипропилена), однако в далее какая-либо информация о наноструктурах, полученных на подложках из полипропилена отсутствует;

6. На стр. 77 приведены сравнительные данные об электроотрицательности атомов серебра, водорода и углерода по шкале Полинга. Целесообразно было бы отметить, как соотносятся эти элементы по электроотрицательности в других классификациях.

7. К оформлению рисунков в диссертации следовало подойти с более унифицированными критериями (размеры шрифта, расположение вспомогательных элементов и т.д.).

9. Заключение.

Несмотря на указанные замечания и принимая во внимание всю совокупность полученных результатов, можно заключить, что диссертация Замковца Анатолия Дмитриевича «Резонансные взаимодействия оптического излучения с плазмонными наноструктурами и слоистыми средами» представляет собой законченную квалификационную работу и удовлетворяет всем требованиям ВАК Беларуси, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Автору диссертации Замковцу А.Д. следует присудить искомую ученую степень по специальности 01.04.05 – «Оптика» за новые научно обоснованные результаты, совокупность которых вносит значимый вклад в развитие направления исследований, связанного с резонансными взаимодействиями оптического излучения с плотноупакованными плазмонными наноструктурами и слоистыми средами с субволновой периодичностью. Эти результаты включают:

- обоснование природы концентрационного длинноволнового сдвига полосы коллективного поверхностного плазмонного резонанса поглощения плотноупакованного монослоя наночастиц серебра относительно полосы локализованного резонанса для отдельной сферической частицы аналогичного размера, и выявление высокой чувствительности максимума коллективного резонанса к изменению показателя преломления диэлектрического окружения;
- комплексное исследование (эксперимент и привлечение теоретического моделирования) влияния поглощения в фуллереновой матрице C_{60} на проявление когерентных 2D взаимодействий между металлическими наночастицами в однослойных металлофуллереновых наноструктурах Au- C_{60} и Cu- C_{60} ;
- установление закономерностей проявления межслойной интерференции и локализации света в многослойных плазмонно-фотонных структурах с плотноупакованными монослоями наночастиц серебра, разделенными диэлектрическими слоями субволновой толщины, на основе сопоставления результатов эксперимента и теоретических расчетов;
- экспериментальное выявление оптимальных условий увеличения в видимом диапазоне эффективного поглощения тонких пленок CuPc, NiPc, граничащих в гибридных структурах Ag-CuPc, Ag-NiPc с плотноупакованными монослоями наночастиц серебра;
- установление закономерностей нелинейно-оптического отклика многослойных плазмонно-фотонных наноструктур Ag- Na_3AlF_6 на облучение фемтосекундными лазерными импульсами, и обнаружение плазмон-зависимой модификации спектрально-кинетических свойств тонкой пленки фталоцианина меди в присутствии плазмонных наночастиц при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на гибридную систему Ag-CuPc в области полосы плазмонного резонанса.

Я, Малашкевич Георгий Ефимович, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси в сети Интернет.

Официальный оппонент:
главный научный сотрудник
Института физики им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси, доктор физ.-мат. наук
23.11.2022



Г.Е. Малашкевич



Загурская М.А.