

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ЮНЦ РАН

С.В. Бердников



« 15 » февраля 2021 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Шишканова Олега Николаевича  
**«Электрополевая коалесценция атомов серебра, спектрально-  
оптические и колориметрические свойства образованных ими  
наночастиц металла»**, представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.05 – оптика

**Актуальность диссертационной работы.** Диссертация Шишканова О.Н. посвящена одному из актуальных направлений в области оптики наноструктур – формированию наночастиц благородных металлов непосредственно на границе раздела двух и более конденсированных сред аморфной и/или кристаллической структуры, прозрачных в оптическом диапазоне электромагнитного спектра. Исследуемым металлом автор выбрал серебро, поскольку его наночастицы обладают большим перечнем ценных для оптики и оптических технологий свойств, начиная от проявления поверхностного плазмонного резонанса и заканчивая простотой получения наночастиц этого металла. В диссертации решается одна из актуальных проблем – управляемое получение названных частиц на границе раздела диэлектрических сред независимо от их оптических свойств. На основании этой проблемы в работе ставится цель комплексного исследования процесса электрополевой коалесценции атомов серебра на примере микрокристаллов его галогенных соединений под действием электрического поля и определение спектрально-оптических и колориметрических свойств формируемых в результате этого процесса наночастиц серебра, а также физико-математическому моделированию процесса коалесценции. Поставленная цель достигнута решением четырех задач, одна из которых носит прикладной характер и основана на результатах фундаментальных исследований как самого процесса электрополевой коалесценции атомов серебра – «электротопографического эффекта», так и на спектрально-

оптических свойствах образованных из них наночастиц металла в полимерной матрице на примере желатины. Благодаря этим исследованиям автору удалось разработать методику бесконтактной (дистантной) неразрушающей дефектоскопии материалов и изделий фотоники, микро- и оптоэлектроники, не допускающих или полностью исключаящих какое-либо механическое воздействие во время их контроля качества изготовления.

**Научная новизна диссертации состоит в следующем:**

1. Впервые продемонстрирована возможность реализации электротопографического эффекта на современных галогенсеребряных фотоматериалах для рентгенографии. Установлены условия эффективной коалесценции атомов серебра в микрокристаллах его галогенидов, заключающиеся в определенной сбалансированности удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости подложки и эмульсионного слоя фотоматериала.

2. Впервые разработана феноменологическая физико-математическая модель процессов (включая их кинетику) электрополевой коалесценции атомов серебра как в глубине, так и на поверхности микрокристаллов его галогенидов размерами от 10 нм до 1 мкм. С ее помощью показано и экспериментально подтверждено повышение эффективности агломерации атомов серебра на переменном напряжении до 1 кВ и частотой 50 Гц, а также в очень узком диапазоне изменения температуры 6 К (298 – 292 К), либо замещением в беспримесных микрокристаллах 5 % ионов брома ионами йода. Кроме того, показана зависимость этого процесса от вариации влагосодержания фотоэмульсии в диапазоне от 3 до 8 % или концентрации содержащихся в ней микрокристаллов от 5 до 30 %.

3. Впервые продемонстрирована возможность выделения различной цветовой гаммой градиентов электрополевого воздействия на фотоэмульсионные микрокристаллы галогенидов серебра зарядов межфазной (межслоевой) поляризации. С привлечением сильных восстановителей (на примере дихлорида олова) достигнуты условия, исключающие необходимость использования оптически непрозрачных подложек при рассмотрении полихромных электрополевых изображений, сформированных наночастицами серебра, в отраженном свете.

4. Разработана методика дистантной электрополевой визуализации (на расстоянии до 200 мкм между объектом визуализации и сканирующим электродом) и устройство для ее реализации – «Электрополевой сканер». С его помощью продемонстрирована возможность бесконтактной дефектоскопии оптически непрозрачных изделий микроэлектроники и фотоники на предмет скрытых технологических дефектов размером порядка 100 нм.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов работы.** Она обусловлена большой статистикой данных разновариантных экспериментов, привлечением широко используемых

методов и средств в оптике, научной фотографии, физике кристаллов, наночастиц металлов и полимерных материалов, а также приемов их физико-математического описания. Достоверность разработанной модели подтверждается хорошим согласованием результатов расчетов и экспериментальных исследований, а также их согласованностью с данными однотипных исследований других авторов.

Научные положения, выносимые на защиту в диссертационной работе Шишканова О.Н. достаточно полно отражены в двадцати девяти опубликованных работах, шесть из которых – в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, СА и Scopus, а 22 работы – в материалах международных и российских конференций. Кроме того, по полученным автором экспериментальным и теоретическим результатам издано одно учебно-методическое пособие – лабораторный практикум для аспирантов, обучающихся по специальностям 01.04.05 – оптика и 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

**Научная ценность работы** состоит в теоретическом и экспериментальном исследовании закономерностей процессов электрополевой коалесценции атомов серебра на границе раздела микрокристаллов его галогенных солей, дисперсно-распределенных в оптически прозрачном полимерном связующем (матрице) – желатине. Разработана феноменологическая физико-математическая модель этих процессов, с помощью которой показана эффективность коалесценции в узком температурном интервале 292–298 К, либо при замещении в микрокристаллах бромистого серебра 5% ионов брома ионами йода, а также вариацией влагосодержания галогенсеребряной фотоэмульсии в диапазоне от 3 до 8 % или концентрации содержащихся в ней микрокристаллов от 5 до 30 %. Перечисленные результаты моделирования получили экспериментальное подтверждение. Продемонстрирована возможность дистантной электрополевой дефектоскопии материалов и изделий фотоники, микро- и оптоэлектроники, что может быть востребовано при их производстве на каждом этапе технологического процесса.

**Практическая значимость и рекомендации по использованию результатов.** Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке методов управления процессами поатомной сборки наночастиц благородных металлов и их агломератов на границе раздела двух и более оптических сред с кристаллической и/или аморфной структурой, изготовления средств записи и хранения информации. Кроме того, они могут быть полезны при разработке новых приборов и устройств неразрушающей диагностики и контроля материалов и изделий фотоники, микро- и оптоэлектроники, и представлять интерес для учреждений Российской академии наук, а также для предприятий, специализирующихся на создании приборов фотоники, микро- и оптоэлектроники, средств записи и хранения информации, такими как ИОФ РАН (Москва), ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Санкт-

Петербург), СПбГТУ-ЛЭТИ (Санкт-Петербург), НИУ ИТМО (Санкт-Петербург), ИФ им. Л.В. Киренского (Красноярск), МИФИ (Москва), РХТУ им. Д.И. Менделеева (Москва), КНИТУ (Казань), ИФП СО РАН (Новосибирск), ЮФУ (Ростов-на-Дону), ЮНЦ РАН (Ростов-на-Дону), ОАО «Сатурн» (Краснодар), а также в других научных и образовательных учреждениях.

### **Соответствие диссертационной работе и автореферата критериям Положения о присуждении ученых степеней**

Представленная диссертация соответствует требованиям Паспорта научной специальности 01.04.05 – оптика, а полученные результаты в полной мере удовлетворяют формуле этой специальности и соответствуют следующим областям исследований:

– п. 1 *«Формирование и обработка оптических изображений, топография.»* (в работе описаны основные принципы формирования оптических и электрополевых изображений и методов их обработки и анализа, в том числе с помощью топографических исследований – разделения изображений на глубинную и поверхностную составляющие);

– п. 2 *«Явления на границах сред. Фотометрия»* (в работе представлены фундаментальные результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов формирования наночастиц серебра и их агломератов на границе раздела микрокристаллы галогенидов серебра–желатин и полимерная подложка–фотоэмульсионный слой, проведены фотометрические исследования образованных из них электрополевых изображений и предложены сенситометрические параметры для их количественной оценки, разработана феноменологическая физико-математическая модель кинетики процесса электрополевой коалесценции атомов серебра в микрокристаллах его галогенидов под действием внешнего неоднородного электрического поля);

– п. 3 *«Оптическая активность сред и структур. Оптические исследования фундаментальных свойств материи»* (с привлечением полихромной методики преобразования агломератов серебра электрополевых изображений в работе исследована оптическая активность образовавшихся при этом процессе разноразмерных наночастиц металла, представлены спектрально-оптические и колориметрические исследования наночастиц серебра, формирующих полихромные электрополевые изображения, выявлена корреляция между оптической плотностью названных изображений и максимумом спектров их поглощения);

– п. 6 *«Фотохимические процессы.»* (с привлечением хорошо известных методов научной фотографии (химико-фотографическая обработка, оптическая денситометрия) и совместного применения полихромной технологии в работе показана возможность эффективной визуализации изделий фотоники, микро- и оптоэлектроники на основе оптического стекла и монокристаллического кремния, а также влияния восстановителей серебра на электрополевую коалесценцию его атомов).

Диссертация Шишканова О.Н. обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе соискателя. Содержание диссертации отражено на 165 страницах, содержащих 41 рисунок и 20 таблиц. Наличие некорректного заимствования материала в диссертационной работе без ссылки на автора и (или) источник заимствования не обнаружено.

Автореферат диссертации по содержанию, актуальности, степени разработанности темы исследования, цели и задачам, научной новизне, теоретической и практической значимости соответствует рукописи диссертации.

Основные положения, выносимые на защиту, а также новизна и значимость обоснованы и раскрыты полностью.

### **Основные замечания по диссертационной работе.**

1. Для исследований «электротопографического эффекта» – электрополевой коалесценции атомов серебра автор использовал в диссертационной работе только галогенные соли этого металла. Однако известна, например, свето- и рентгеночувствительность других соединений серебра – оксалатов, фосфатов и пр. Поскольку в диссертации об этом ничего не сказано, то возникает вопрос о возможности реализации названного эффекта на перечисленных соединениях серебра. Этот вопрос касается и для соединений других благородных металлов – золота, платины, палладия и пр.

2. На представленных в диссертационной работе и ее автореферате спектрах поглощения (рисунки 33 и 4 соответственно) отдельных участков полихромных электрополевых изображений матриц оптических микролинз образцов №1 и №2 имеются существенные различия в спектральных диапазонах, несмотря на то, что, судя по содержанию диссертации, образцы изготовлены на стекле одной и той же марки, а их изображения получены на фотопленке «Agfa» при одинаковой (отрицательной) полярности и величине напряжения. Однако причина различий в спектрах изображений исследованных образцов автором не раскрыта.

3. В работе приводится математическая зависимость (критерий) баланса между диэлектрической проницаемостью и удельной электропроводностью фотоэмульсионного слоя и полимерной подложки, обеспечивающего эффективную коалесценцию атомов серебра в микрокристаллах его галогенидов. Приводятся и границы этого баланса для случая дистантной электрополевой визуализации полупроводниковых и диэлектрических изделий фотоники 0.09 – 0.23. Однако из содержания работы не понятно каким путем получены величины этих границ – теоретически, экспериментально или полуэмпирически? То же относится и к указанной величине расстояния в 200 мкм для бесконтактной (дистантной) электрополевой дефектоскопии изделий фотоники на основе оптического стекла и монокристаллического кремния.

4. Кроме того, вызывает сожаление, что автор, синтезировав с учетом специфики проводимых исследований специальные галогенсеребряные фотоматериалы, разработал методику бесконтактной электрополевой дефектоскопии для изделий фотоники и устройство для ее реализации – «Электрополевой сканер», ограничился лишь апробацией результатов их публикацией в центральной печати, тогда как содержащаяся в исследованиях новизна и практическая значимость, достойны патентования.

Отмеченные замечания не являются критическим, не снижают ценности полученных результатов и не сказываются на высоком уровне проведенных исследований.

#### **Общее заключение по диссертационной работе.**

Диссертационная работа Шишканова О.Н. «Электрополевая коалесценция атомов серебра, спектрально-оптические и колориметрические свойства образованных ими наночастиц металла» по своему содержанию, актуальности, научной новизне, теоретической значимости и практической ценности соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (пп. 9–14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор **Шишканов Олег Николаевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Диссертационная работа Шишканова О.Н. и отзыв о ней заслушаны и обсуждены на научном семинаре лаборатории физики и технологии полупроводниковых наногетероструктур для СВЧ-электроники и фотоники ФГБУН «ЮНЦ РАН» 05.02.2021 г., протокол № 1.

Отзыв составлен:

канд. физ.-мат. наук, руководитель лаборатории физики и технологии полупроводниковых наногетероструктур для СВЧ-электроники и фотоники, вед. науч. сотр.



Пащенко Александр Сергеевич

Подпись А.С. Пащенко заверяю:  
ученый секретарь ЮНЦ РАН,  
к.б.н.



Булышева Н.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук»

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (ЮНЦ РАН), 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, т. (863)250-98-29, т.-факс (863)266-56-77, e-mail: ssc-ras@ssc-ras.ru