

На правах рукописи  
УДК: 538.915

**Смирнов Александр Павлович**

**СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫЕ ФОТОПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ  
СТЕАРАТ СЕРЕБРА – ГАЛОГЕНИД СЕРЕБРА**

Специальность: 1.3.8. Физика конденсированного состояния

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург  
2022

Работа выполнена на кафедре физической электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры физической электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»

**Горяев Михаил Александрович**

**Официальные оппоненты:**

– доктор физико-математических наук, профессор, профессор Высшей школы физики и технологии материалов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

**Немов Сергей Александрович;**

– доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники твердого тела федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

**Барабан Александр Петрович**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе» РАН.

Защита состоится «16» февраля 2023 г. в 15.00 на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 99.2.018.02, созданного на базе Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена и Национального исследовательского университета ИТМО по адресу: 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 48, корп. 3, ауд. 52.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, (191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 48, корп. 5) и на сайте университета по адресу: [https://dissser.herzen.spb.ru/Preview/Karta/karta\\_000000887.html](https://dissser.herzen.spb.ru/Preview/Karta/karta_000000887.html)

Автореферат разослан «\_\_\_» декабря 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Яковлева Светлана Анатольевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В современной науке и технике чрезвычайно широко используются сложные и многокомпонентные структуры. В частности, такие объекты применяются в электронной промышленности, в устройствах преобразования световой энергии в электрическую, а также для регистрации оптических изображений. Помимо классических галогенсеребряных материалов и ПЗС матриц, для оперативной регистрации оптических изображений в ряде случаев используются фототермографические материалы (ФТМ) на основе композиций галогенидов серебра и серебряных солей жирных кислот. Экспонирование в устройствах, использующих в своей работе данный тип материалов, осуществляется путем поэлементного сканирования с помощью модулированного светового лазерного источника света или электронно-лучевой трубки по поверхности регистрирующего материала. Проявление скрытого изображения в таких композициях осуществляется при температурах от 370 до 420 К в течение нескольких секунд [1, 2].

В процессе изготовления ФТМ композиции светочувствительный компонент – галогенид серебра может, как синтезироваться на поверхность частицы соли жирной кислоты, так и перемешиваться с другими компонентами данного типа материалов. При добавлении различных красителей - сенсibilизаторов в ФТМ происходит спектральная сенсibilизация данной светочувствительной композиции, что позволяет добиться высокой светочувствительности данных материалов практически в любой области спектра – от синей до инфракрасной.

Помимо светочувствительного галогенида серебра, одним из наиболее важных компонентов ФТМ является карбоксилат серебра, в частности, стеарат серебра. В данных фотоматериалах стеарат серебра активно участвует в проявлении скрытого изображения, а также в процессе сенсibilизации ФТМ. Во время изготовления ФТМ молекулы сенсibilизирующего красителя адсорбируются как на кристаллик галогенида серебра, так и на частицу стеарата серебра. В виду того, что стеарат серебра является диэлектриком, прозрачным во всей видимой области спектра, он может играть роль световода и тем самым эффективно осуществлять передачу энергии фотовозбуждения от адсорбированного на нем красителя на бромид серебра [3]. При этом остается не до конца выясненным вопрос о том, какой вклад в процесс спектральной сенсibilизации дают молекулы органического красителя, адсорбированные на стеарате серебра, по сравнению с вкладом молекул красителя, адсорбированных непосредственно на микрокристалле галогенида серебра. Кроме того, в процессе проявления скрытого изображения в ФТМ серебро из стеарата серебра мигрирует на центры чувствительности галогенида серебра, усиливая тем самым скрытое изображение, полученное в процессе экспонирования [1, 2]. В связи с этим являются **актуальными** подробные исследования оптических и электрофизических свойств стеарата серебра, выявление структурных особенностей данного вещества. Также чрезвычайно важными являются исследования различных свойств и структурных особенностей стеарата серебра с адсорбированными органическими красителями.

**Целью данного диссертационного исследования** является изучение особенностей процесса спектральной сенсibilизации ФТМ, основанных на галогениде серебра и стеарате серебра, а также влияние структурных особенностей и физических свойств основных компонентов ФТМ на данный процесс. Для достижения сформулированной выше цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Измерение показателя преломления стеарата серебра.
2. Измерение спектров и квантового выхода люминесценции органических красителей, адсорбированных на стеарате серебра.
3. Количественная оценка вклада в процесс спектральной сенсibilизации молекул органического красителя, адсорбированного на стеарате серебра, по сравнению с вкладом молекул красителя, адсорбированного непосредственно на галогениде серебра.
4. Исследование влияния структурных особенностей и электрофизических свойств как чистого стеарата серебра, так и стеарата серебра с адсорбированным органическим красителем на процесс спектральной сенсibilизации ФТМ.

**Научная новизна** данной работы заключается в следующем – впервые:

1. Определено значение показателя преломления стеарата серебра.
2. Установлены высокий квантовый выход люминесценции и сильное перекрывание спектров поглощения и люминесценции органических красителей, адсорбированных на стеарате серебра.
3. Был проведен количественный расчет вклада красителя, адсорбированного на стеарате серебра, в процесс спектральной сенсibilизации, который показал соизмеримость данного вклада с вкладом красителя, адсорбированного на галогениде серебра.
4. Обнаружен металлический характер проводимости стеарата серебра при температурах проявления скрытого изображения в ФТМ, а также увеличение диэлектрической проницаемости стеарата серебра при адсорбции красителя родамина бЖ.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Наличие полного внутреннего отражения в оптической системе «стеарат серебра - поливинилбутираль» обеспечивает реализацию световодного механизма, оказывающего существенное влияние на процесс спектральной сенсibilизации в ФТМ.
2. Высокий квантовый выход люминесценции, а также сильно перекрывающиеся спектры поглощения и люминесценции адсорбированного на стеарате серебра красителя, обеспечивают значительный вклад молекул красителя, находящихся на поверхности стеарата серебра, в процесс спектральной сенсibilизации ФТМ.
3. Адсорбция красителя родамина бЖ на стеарат серебра приводит к значительному увеличению диэлектрической проницаемости системы, связанному с увеличением диполь - дипольного взаимодействия между молекулами компонентов данной системы, что может способствовать повышению эффективности

световодного механизма спектральной сенсibilизации из-за увеличения показателя преломления полученной системы.

4. Наличие на температурной зависимости проводимости стеарата серебра с адсорбированным красителем участка, характеризующего металлический характер удельной проводимости, в температурном диапазоне проявления скрытого изображения в ФТМ обеспечивает определяющий вклад стеарата серебра в процесс проявления изображения в ФТМ.

**Теоретическая значимость работы** определяется более глубоким пониманием процесса спектральной сенсibilизации различных сложных фоточувствительных структур. Усовершенствована модель световодного механизма в ФТМ.

**Практическая значимость работы** определяется возможностью использования структуры типа «диэлектрик – полупроводник» для решения широкого круга задач, таких как разработка эффективных солнечных элементов, высокочувствительных фотоматериалов, обладающих высоким разрешением и т. д. Разработан, протестирован и успешно применен простой и удобный метод измерения показателей преломления порошкообразных твердых тел. Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный курс «Методы исследования в физике конденсированного состояния».

**Достоверность и научная обоснованность** полученных результатов обеспечивались использованием различных методов исследований и анализа, хорошей воспроизводимостью результатов измерений и расчетов, а также соответствием результатов данного диссертационного исследования результатам работ других авторов по данной тематике.

**Апробация работы.** Результаты, полученные в процессе выполнения данной работы, были представлены на следующих конференциях: молодежной научной конференции «Физика и прогресс» (СПбГУ, Санкт-Петербург, 2009 год), XI Международной учебно - методической конференции «Современный физический практикум» (БГУ, БГПУ им. М. Танка, Минск, 2010 год), Российской молодежной конференции по физике и астрономии (ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 2013 год), III, IV, VIII, X Международных конференциях по фотонике и информационной оптике (НИЯУ МИФИ, Москва, 2013, 2015, 2019, 2021 года), XIII Международной конференции «Физика в системе современного образования» (РГПУ им. А. И. Герцена, 2015), XII, XIII, XIV, XV Международных конференциях «Физика диэлектриков» (РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, 2011, 2014, 2017, 2020 года).

**Публикации.** Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 17 работах, из которых: 8 – статьи в рецензируемых журналах ВАК, 3 – статьи в журналах, входящие в международные реферативные базы данных (Scopus, Web of science), 1 – учебно-методическое пособие.

**Личный вклад автора** заключается в совместной с научным руководителем формулировке цели и задач диссертационного исследования, написании обзора

литературных источников по теме диссертации. Кроме того, автором разработан и собственноручно собран ряд экспериментальных установок, необходимых для выполнения диссертационного исследования, а также получена и проанализирована основная часть экспериментальных результатов. Также автором осуществлялась активная работа по представлению результатов диссертационного исследования в виде научных статей и/или тезисов конференций.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы из 120 наименований, включающего собственные публикации автора. Работа изложена на 120 страницах, включая список литературы, и содержит 49 рисунков и 6 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приведено обоснование актуальности темы диссертационного исследования, представлена краткая информация о фототермографических материалах, а также об одном из наиболее важных компонентов этих материалов – стеарате серебра. Далее сформулированы цель и задачи данной работы, представлена научная новизна, практическая значимость работы, теоретическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, представлена информация по апробации данного диссертационного исследования.

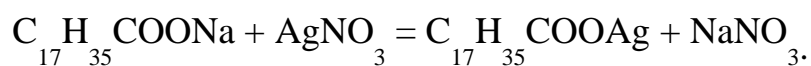
**В главе I** «Спектральная сенсibilизация фоточувствительных композиций» рассмотрены процессы спектральной сенсibilизации органическими красителями различных светочувствительных композиций. В первом параграфе рассмотрены механизмы спектральной сенсibilизации, такие как механизм переноса энергии и механизм переноса заряда от красителя к фоточувствительным полупроводникам. Во втором параграфе описано использование процесса спектральной сенсibilизации для повышения эффективности солнечных элементов, а также показана перспективность применения данного процесса для развития технологий солнечной энергетики. В третьем параграфе описываются фототермочувствительные композиции: их состав, характеристики и свойства. В заключительном параграфе этой главы описаны свойства и известные структурные особенности карбоксилатов серебра, к которым относится стеарат серебра. Кроме того, приводится подробное описание системы «карбоксилат серебра – галогенид серебра».

**В главе II** «Методы исследования» описаны экспериментальные методы, а также схемы, устройства и принцип действия экспериментальных установок, использованных в процессе выполнения данного диссертационного исследования. В первом параграфе подробно описана разработанная и изготовленная нами экспериментальная установка для измерения показателя преломления порошкообразных веществ. В следующем параграфе этой главы описан метод диэлектрической спектроскопии, широко применяемый в фундаментальной и

прикладной науке для исследования электрофизических свойств, определения различных электрических параметров, а также для выявления структурных особенностей различных материалов. Для исследования образцов методом диэлектрической спектроскопии использовалась измерительная система Novocontrol Technologies «Concept 81». В данном диссертационном исследовании указанный метод использовался для изучения электрофизических свойств, а также выявления структурных особенностей как чистого стеарата серебра, так и стеарата серебра, окрашенного органическим красителем. В третьем параграфе главы приведено описание метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), позволяющего достаточно достоверно выявлять фазовые переходы в разных материалах. Метод ДСК был реализован с помощью измерительной установки ДСК – спектрографа Setaram DSC131. В заключительном параграфе данной главы описаны принципы работы и схемы изготовленных нами экспериментальных установок для исследований спектров поглощения и спектров люминесценции различных материалов, а также дано подробное описание экспериментальной установки для измерения истинного квантового выхода люминесценции красителей, адсорбированных на различных диэлектриках.

***В главе III «Оптические, диэлектрические свойства и структурные особенности стеарата серебра»*** приведены результаты исследования стеарата серебра без адсорбированного красителя. Получено значение показателя преломления стеарата серебра, а также исследованы электрофизические свойства и структурные особенности стеарата серебра.

Стеарат серебра получают в результате обменной реакции замещения натрия при избыточной концентрации нитрата серебра в виде частиц размером около микрона [1, 4]:



Для оптических исследований такого вещества, необходимо использовать специальные методы измерений и анализа, в частности, иммерсионный метод. Нами был предложен достаточно простой вариант иммерсионного метода, суть которого заключается в измерении интенсивности пройденного через стеклянную кювету, содержащую в себе иммерсионную жидкость и исследуемый порошкообразный материал, лазерного излучения. При совпадении показателей преломления иммерсионной жидкости и исследуемого вещества интенсивность света, пройденного через кювету, будет максимальной ввиду минимального светорассеяния в кювете. Стоит отметить, что стеарат серебра не смачивается водой, поэтому применение иммерсионных жидкостей (в частности, водных растворов йодидов кадмия и калия в различных концентрациях) на водной основе для рефрактометрических исследований данного вещества является неэффективным. Поэтому нами был предложен альтернативный вариант известной ранее иммерсионной жидкости, в котором вместо воды растворителем является ацетон, в котором стеарат серебра хорошо смачивается.

На рисунке 1 приведены результаты рефрактометрических измерений стеарата серебра. Из данного рисунка видно, что показатель преломления стеарата

серебра оказался равным  $1.515 \pm 0.005$ . Показатель преломления наиболее часто используемого связующего компонента в ФТМ поливинилбутирала равен 1.485. Следовательно, имеет место явление полного внутреннего отражения света люминесценции адсорбированных на стеарате серебра молекул красителя, на границе раздела «стеарат серебра – поливинилбутираль». При данных значениях показателей преломления стеарата серебра и поливинилбутирала предельный угол падения равен  $78.5^\circ$

Наличие полного внутреннего отражения на границе раздела «стеарат серебра – поливинилбутираль», а также оптическая прозрачность стеарата серебра, обуславливают реализацию световодного механизма спектральной сенсibilизации в ФТМ (рисунок 2) [3].

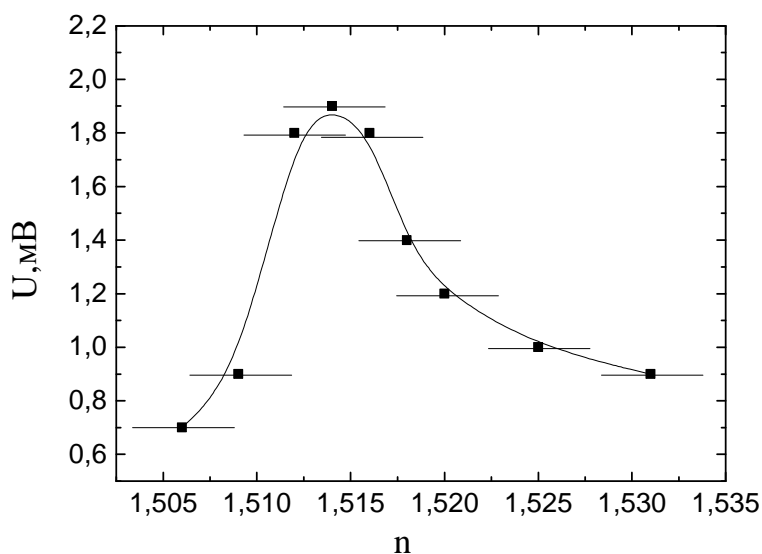


Рисунок 1. Зависимость величины сигнала на фотоэлементе от показателя преломления иммерсионной жидкости для случая стеарата серебра

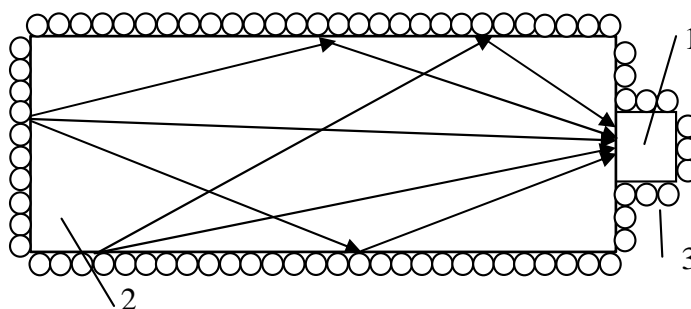


Рисунок 2. Схема световодного механизма спектральной сенсibilизации термопроявляемых фотоматериалов: 1 – AgBr, 2 – стеарат серебра, 3 – адсорбированные молекулы красителя

Результаты исследований стеарата серебра методами диэлектрической спектроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии (рисунки 3 и 4) показывают наличие фазового перехода стеарата серебра в температурном диапазоне  $120 - 130^\circ\text{C}$ , а также, вероятно, низкотемпературного фазового перехода



в районе 60°C. При фазовом переходе, который протекает при 127°C, происходит, с одной стороны, разупорядочивание в упаковке метиленовых цепей, с другой стороны, начинается процесс высвобождения металлического серебра в слоях стеарата серебра. Процесс появления металлического серебра в слоях стеарата серебра обуславливает повышение эффективности проявления скрытого изображения в ФТМ, которое как раз осуществляется, как правило, при температурах 110 - 150°C [1, 2].

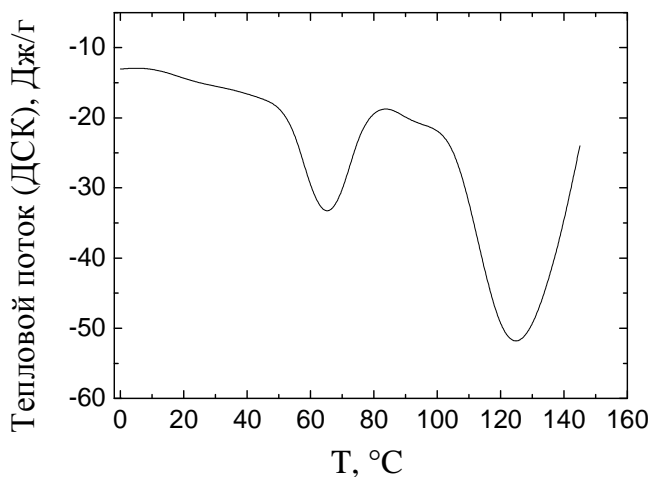


Рисунок 3. Кривая ДСК исследуемого образца стеарата серебра

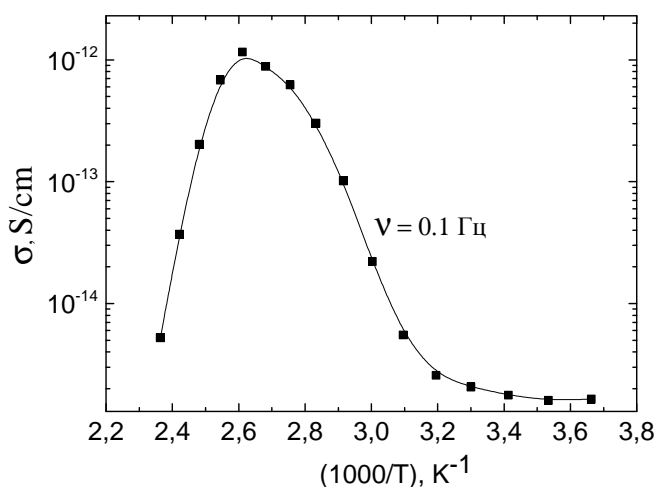


Рисунок 4. Температурная зависимость удельной проводимости монолитных слоев стеарата серебра при частоте 0.1 Гц

***В главе IV*** «Оптические, диэлектрические свойства и структурные особенности стеарата серебра с адсорбированным красителем» приведены результаты исследования стеарата серебра с адсорбированными органическими красителями, в частности, родамином бЖ и эритрозином.

В первом параграфе данной главы приведены результаты исследования люминесценции органических красителей, адсорбированных на стеарате серебра. С помощью собранных экспериментальных установок были получены спектры

поглощения и люминесценции адсорбированных на стеарате серебра органических красителей родамина бЖ и эритрозина, а также измерен квантовый выход люминесценции родамина бЖ, адсорбированного на стеарате серебра. На рисунке 5 представлены спектры поглощения и люминесценции адсорбированного на стеарате серебра родамина бЖ. Аналогичные результаты получены и для случая эритрозина.

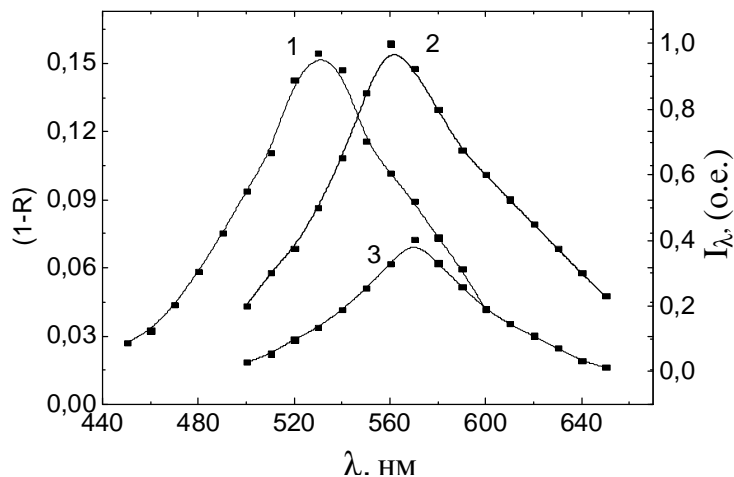


Рисунок 5. Спектры поглощения и люминесценции родамина бЖ, адсорбированного на стеарате серебра

- 1 – спектр поглощения разбавленного MgO образца,
- 2 – спектр люминесценции разбавленного MgO образца,
- 3 – спектр люминесценции неразбавленного образца

Из рисунка 5 видно, что родамин бЖ, адсорбированный на стеарате серебра, имеет сильно перекрывающиеся спектры поглощения и люминесценции. Этот факт приводит к тому, что в ФТМ свет люминесценции, испускаемый молекулами органического красителя, расположенных на стеарате серебра, способен эффективно поглощаться молекулами этого же красителя, расположенными на микрокристалле (МК) галогенида серебра. Это, в свою очередь, приводит к усилению процесса спектральной сенсibilизации согласно классическим гипотезам механизма спектральной сенсibilизации в системе «органический краситель – галогенид серебра» [1, 3].

На рисунке 6 изображена зависимость технического квантового выхода люминесценции родамина бЖ, адсорбированного на стеарате серебра, от степени разбавления окрашенных образцов порошком «белого стандарта» окисью магния MgO. В порошкообразных объектах сильны эффекты светорассеяния и перепоглощения, что приводит к искажению спектров люминесценции, а также к существенному занижению результатов по измерению квантового выхода люминесценции. Разбавление (перемешивание) «белым стандартом» необходимо для минимизации этих процессов и, следовательно, для получения неискаженных спектров люминесценции и истинного значения квантового выхода люминесценции [5].

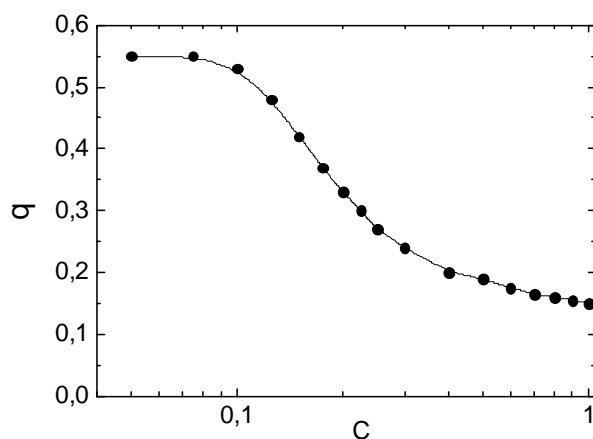


Рисунок 6. Зависимость квантового выхода люминесценции родамина бЖ, адсорбированного на стеарате серебра, от степени разбавления окисью магния

Из рисунка 6 видно, что при разбавлении «белым стандартом» в соотношении 1:20 и выше, технический квантовый выход люминесценции практически перестает увеличиваться, и его значение при этом с большой степенью точности соответствует истинному значению квантового выхода. Квантовый выход люминесценции родамина бЖ, адсорбированного на стеарате серебра, оказался равным 0.55.

Результаты измерения квантового выхода люминесценции, а также результаты расчетов доли света люминесценции молекул красителя, адсорбированного на стеарате серебра, попадающей на галогенид серебра в ФТМ, позволили произвести количественную оценку вклада молекул органического красителя, адсорбированного на стеарате серебра, в процесс спектральной сенсibilизации ФТМ по сравнению с вкладом молекул сенсibilизирующего красителя, находящихся на самом МК галогенида серебра. Стоит отметить, что в процессе проведения данных расчетов дополнена модель световодного механизма спектральной сенсibilизации ФТМ, в частности, было выявлено, что, не считая молекул красителя, находящихся на самом галогениде серебра, наибольшее влияние на спектральную сенсibilизацию оказывает свет люминесценции, испускаемый молекулами красителя, находящимися на грани частицы стеарата серебра, на которой синтезирован МК галогенида серебра (рисунок 7).

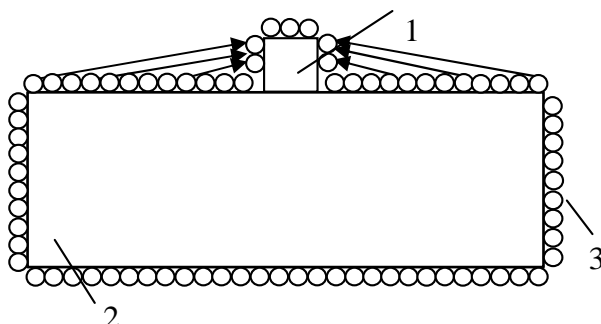


Рисунок 7. Влияние света люминесценции, испускаемого молекулами красителя, находящихся рядом с галогенидом серебра, на процесс спектральной сенсibilизации термопроявляемых фотоматериалов:

1 – AgBr, 2 – стеарат серебра, 3 – адсорбированные молекулы красителя

Результаты расчетов показали, что вклад молекул сенсibilизирующего красителя, находящегося на частице стеарата серебра, в процесс спектральной сенсibilизации ФТМ, составляет, в зависимости от типа красителя, порядка нескольких десятков процентов относительно вклада молекул данного красителя, находящихся непосредственно на галогениде серебра, что хорошо согласуется с качественными оценками, представленными в предыдущих работах, вклада сенсibilизирующего красителя, находящегося на стеарате серебра в процесс спектральной сенсibilизации ФТМ [3, 6].

В заключительном параграфе главы IV приведены результаты исследований окрашенного родамином бЖ стеарата серебра, полученных с помощью метода диэлектрической спектроскопии. Было выявлено, что адсорбция красителя на стеарат серебра приводит к существенным изменениям электрофизических свойств и параметров стеарата серебра.

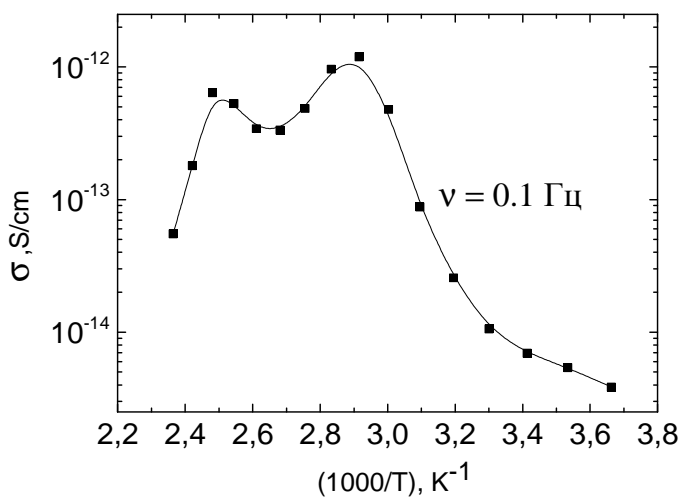


Рисунок 8. Зависимость удельной проводимости стеарата серебра с адсорбированным красителем родамином бЖ при частоте 0.1 Гц от обратной температуры

Например, из рисунка 8 видны существенные изменения поведения температурной зависимости удельной проводимости стеарата серебра при окрашивании (см. рисунок 4). Однако в диапазоне температур, в котором производится проявление скрытого изображения в ФТМ (как правило, 110 - 140°C), отличие поведения удельной проводимости чистого стеарата серебра и окрашенного родамином бЖ стеарата серебра несущественно. Следовательно, наличие красителя практически не препятствует высвобождению металлического серебра из слоев стеарата серебра при нагревании стеарата серебра, что является чрезвычайно важным для процесса проявления скрытого изображения в ФТМ. Таким образом, краситель не оказывает существенного влияния на процесс проявления скрытого изображения в ФТМ.

В свою очередь, из рисунка 9 видно, что при адсорбции красителя на стеарат серебра происходит значительный рост диэлектрической проницаемости получившегося композита, что приводит к некоторому увеличению показателя пре-

ломления, что, в свою очередь, приводит к повышению эффективности световодного механизма спектральной сенсibilизации.

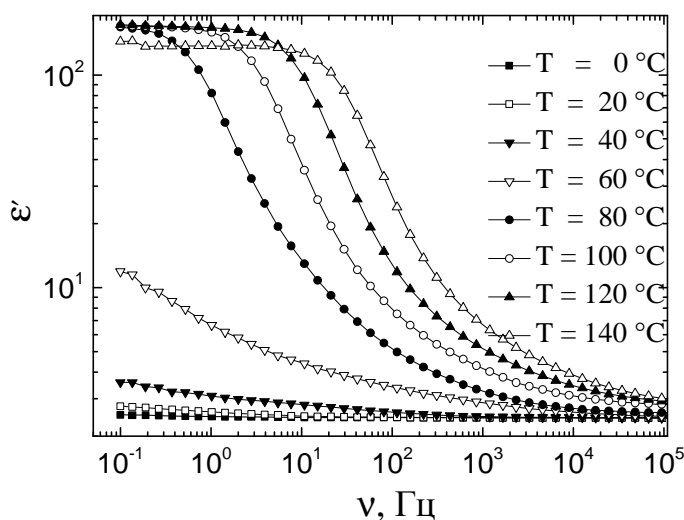


Рисунок 9. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  окрашенного стеарата серебра при различных температурах

## ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Разработан оригинальный вариант технической реализации иммерсионного метода измерения показателя преломления порошкообразных веществ, а также предложен модифицированный вариант известной иммерсионной жидкости, что позволило определить значение показателя преломления стеарата серебра, которое оказалось равным 1.515, что больше показателя преломления поливинилбутирала (1.485). Таким образом, обеспечивается реализация световодного механизма спектральной сенсibilизации в ФТМ.

2. Сильные перекрытия спектров поглощения и люминесценции адсорбированных на стеарате серебра органических красителей, а также высокий квантовый выход люминесценции данных адсорбированных красителей (в случае родамина бЖ это значение равно 0.55), обеспечивают значительный вклад молекул сенсibilизирующего красителя, расположенных на частице стеарата серебра, в процесс спектральной сенсibilизации ФТМ.

3. С помощью численных методов подтверждено, что вклады в процесс спектральной сенсibilизации в ФТМ молекул органического красителя, находящихся на галогениде серебра и стеарате серебра, соизмеримы.

4. Результаты исследований электрофизических свойств и структурных особенностей стеарата серебра подтверждают наличие процесса высвобождения металлического серебра из слоев стеарата серебра при температурах, близких к температурам проявления скрытого изображения в ФТМ, что, в свою очередь, обеспечивает основной вклад стеарата серебра в проявление скрытого изображения в ФТМ.

5. Адсорбция органического красителя на стеарат серебра приводит к значительному увеличению диэлектрической проницаемости полученных образцов, что также может способствовать повышению эффективности световодного механизма спектральной сенсibilизации ФТМ за счет некоторого увеличения показателя преломления стеарата серебра.

## **ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

- 1) Смирнов А. П. Спектральная сенсibilизация фототермографических материалов и оптические свойства стеарата серебра / М. А. Горяев, А. П. Смирнов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2012. – № 144. – С. 29 - 36. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)
- 2) Смирнов А. П. Технология физического эксперимента: оптические свойства твердых тел./ М. А. Горяев, А. П. Смирнов // Физическое образование в ВУЗах. – 2014. – Т. 20. – № 2. – С. 164 - 168. (0,25 п.л. / 0,12 п.л.)
- 3) Смирнов А. П. Галогениды серебра как уникальные фотохимически чувствительные полупроводники / М. А. Горяев, А. П. Смирнов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2014. – № 165. – С. 52 - 60. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)
- 4) Смирнов А. П. Технология физического эксперимента: спектры и квантовый выход люминесценции / М. А. Горяев, И. О. Попова, А. П. Смирнов // Физическое образование в ВУЗах. – 2015. – Т. 21. – № 4. – С. 39 - 48. (0,6 п.л. / 0,2 п.л.)
- 5) Смирнов А. П. Технология физического эксперимента: сенсibilизированная фотопроводимость / М. А. Горяев, И. О. Попова, А. П. Смирнов // Физическое образование в ВУЗах, 2015. – Т. 21. – № 2. – С. 103-108. (0,4 п.л. / 0,13 п.л.)
- 6) Смирнов А. П. Люминесценция адсорбированного на стеарате серебра красителя и сенсibilизация фототермографических материалов / М. А. Горяев, А. П. Смирнов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2015. – № 173. – С. 50 - 54. (0,25 п.л. / 0,12 п.л.)
- 7) Смирнов А. П. Недебаевский диэлектрический отклик в монолитных слоях стеарата серебра / Р. А. Кастро, М. А. Горяев, А. П. Смирнов // Физика твердого тела. 2017. – Т. 59. – № 2. – С. 255 - 259. (0,25 п.л. / 0,08 п.л.)
- 8) Smirnov A. P. Dielectric properties and structure particularity of silver stearate / M. A. Goryaev R. A. Castro, A. P. Smirnov // Journal of Physics: Conference Series. – 2014. – V. 572. – № 1. – P. 012041. (0,25 п.л. / 0,08 п.л.)

- 9) Смирнов А. П. Диэлектрическая релаксация и перенос заряда в слоях стеарата серебра с адсорбированным красителем родамином 6Ж / А. П. Смирнов, Р. А. Кастро, М. А. Горяев, Е. Е. Фомичева // Университетский научный журнал. – 2017. – №27. – С. 69 - 77. (0,5п.л. / 0,12п.л.)
- 10) Smirnov A. Luminescence of organic sensitizing dyes adsorbed on silver stearate / M. Goryaev, A Smirnov // В сборнике: AIP Conference Proceedings. XV, International conference. – 2020. – Vol. 2308. – P. 030007 - 030012. (0,3 п.л. / 0,15 п.л.)
- 11) Смирнов А. П. Измерение показателей преломления порошкообразных твердых тел / А. П. Смирнов // Материалы молодежной научной конференции «Физика и прогресс». Санкт-Петербургский Государственный Университет. – 2009. – С. 93 - 94. (0,07 п.л.)
- 12) Смирнов А.П. Рефрактометрия порошкообразных твердых тел / М. А. Горяев, А. П. Смирнов // В сборнике: Современный физический практикум, материалы XI Международной учебно-методической конференции. Минск, изд. центр БГУ. – 2010. – С. 225 - 227. (0,15 п.л. / 0,07п.л.)
- 13) Смирнов А. П. Методы исследования в физике конденсированного состояния / М. А. Горяев, И. О. Попова, А. П. Смирнов // СПб, Фора принт, 2015. – 96 С. (6 п.л. / 2 п.л.)
- 14) Smirnov A. P. Low-frequency dielectric relaxation in silver stearate layers / A. P. Smirnov, R. A. Castro, M. A. Goryaev // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – Vol. 47. – № 5. – Ч. 5. – С. 16 - 20. (0,25 п.л. / 0,08 п.л.)
- 15) Smirnov A. Dielectric properties and structural features of silver stearate - adsorbed dye rhodamine 6G" system / R. Castro, M. Goryaev, A. Smirnov // Smart Nanocomposites. – 2017. – Т. 8. – № 2. – С. 315 - 317. (0,15п.л. / 0,05 п.л.)
- 16) Smirnov A. P. Dye – sensitized photoprocesses in “Silver stearate – silver bromide” system / М. А. Goryaev, А. Р. Smirnov // Physics of Complex Systems. – 2020. – Vol. 1. – № 1. – P. 10 - 14. (0,25п.л. / 0,12 п.л.)
- 17) Smirnov A. P. Additional dye options for spectral sensitization of photo processes in silver stearate – silver bromide system / М. А. Goryaev, А. Р. Smirnov, А. А. Luzhkov // Physics of complex systems. – 2021. – Vol. 2. – №3. – P. 110 - 114. (0,25п.л. / 0,08 п.л.)

### СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Горяев М. А. Термопроявляемые фотоматериалы на основе неорганических систем / М. А. Горяев // Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии. – 1991. – Т. 36. – № 5. – С. 421 - 430.
- 2) Sahyun M. R. V. Thermally Developable Photographic Materials (TDPM): a review of the state-of-the-art in mechanistic understanding / M. R. V. Sahuun // Journal of imaging science and technology. – 1998. – Vol. 42. – №1. – P. 23 - 30.

- 3) Горяев М. А. Световодный механизм спектральной сенсibilизации красителями фотопроцессов в системе полупроводник - диэлектрик / М. А. Горяев // Письма в Журнал технической физики. – 1994. – Т. 20. – № 21. – С. 40 - 43.
- 4) Горяев М. А. Управление фотохимической чувствительностью термически проявляемых серебряных материалов / М. А. Горяев // Журнал прикладной химии. – 1994. – Т. 67. – № 6. – С.963 - 966.
- 5) Горяев М. А. Метод определения спектрально-люминесцентных характеристик порошкообразных систем / М. А. Горяев // Письма в Журнал технической физики. – 1980. – Т. 6. – № 11. – С. 1132 - 1135.
- 6) Горяев М. А. Дополнительные пути повышения эффективности спектральной сенсibilизации фототермографических систем / М. А. Горяев // Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии. – 1998. – Т. 43. – № 3. – С. 1 - 8.



Подписано в печать 13.12.2022  
Тираж 100 экз. Заказ № 361

---

Отпечатано в типографии ООО «АБЕВЕГА»,  
Россия, Санкт-Петербург, ул.Савушкина, 12, тел. 88124306719,  
Лицензия на полиграфическую деятельность ПЛД № 65-299