

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
**«Костромской государственный  
университет»**  
(КГУ)

Дзержинского ул., д. 17/11, г. Кострома, 156005  
Тел. (4942) 63-49-00  
E-mail:info@ksu.edu.ru



"УТВЕРЖДАЮ"  
К.М.Н.

Буйкин С. В.

"20" ноября 2024 г

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

### ведущей организации на диссертационную работу

Пагава Леонида Леонидовича на тему «Разработка и исследование лазерного метода контроля состояния и динамики образования кластеров наночастиц в коллоидных растворах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

### Актуальность работы

В настоящее время использование наноматериалов для модификации поверхностей обосновано не только повышением их физических характеристик, но и возможностью получения оптических свойств с их управляемостью. Исследования, направленные на изучение резонансных эффектов, могут открыть значительные перспективы в данной области. При модификации поверхности для контроля качества проводятся несколько стадий оценки, включающие анализ как самих нанообъектов до модификации поверхности, так и уже полученных модифицированных поверхностей. Одним из способов повышения качества является разработка новых методов контроля, которые можно внедрить в технологические процессы без потерь времени производства.

В настоящее время на многих предприятиях используются комбинированные методы анализа наночастиц. Учитывая, что исследуемые частицы находятся в жидкой матрице, при анализе возникают значительные погрешности и шумовые составляющие. Кроме того, до настоящего времени остается много проблем, связанных с влиянием методов контроля на исследуемые образцы. В этой связи диссертационная работа Пагава Л.Л., направленная на разработку нового метода контроля наночастиц в жидкой матрице, представляет несомненную актуальность как с научной, так и с практической точки зрения.

### **Общая характеристика работы**

Достоинством диссертационной работы Пагава Л.Л. является то, что автору удалось подробно исследовать возможность возникновения плазмонного и экситонного резонансов при облученииnanoструктур лазерным излучением для различных материалов, таких как InP, GaAs, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ag, Ni, MgO и другие. Автором рассмотрены основные методы контроля подобных систем и выделены их сильные и слабые стороны, позволяющие обоснованно выбрать оптимальный подход к исследованию.

Основными проблемами, как правильно отмечает автор, являются влияние мощности лазерного источника на наночастицы и невозможность контролировать необходимый комплекс параметров системы одним методом. На этой основе автор предложил новый метод контроля, позволяющий определять основные параметры исследуемых систем в жидкой матрице, такие как концентрация частиц, средний размер, тип частиц и момент наступления термодинамической нестабильности.

В работе предложен новый способ достижения вынужденного рассеяния Мандельштама–Брэдлюэна посредством попадания в резонансную полосу для каждого исследуемого материала. Реализация в металлах происходит за счет плазмонного резонанса, а для полупроводниковых частиц – за счет экситонного резонанса.

Разработана и экспериментально подтверждена математическая модель, позволяющая рассчитывать основные параметры лазерного излучения для попадания в резонансные полосы. Это позволяет сократить время калибровки экспериментальной установки и определить принципиальную возможность достижения необходимого эффекта. Рассмотрены основные погрешности, возникающие в разработанной экспериментальной установке. Для повышения точности измерений были предоставлены технические рекомендации по реализации подобных систем. Разработанное программное обеспечение для автоматизированного контроля позволяет без особых сложностей внедрять данную разработку в технологические процессы предприятий-изготовителей.

Научный интерес представляют исследования, направленные на определение характеристик спектрального распределения вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна для определения типов резонансных эффектов и возможных для данного метода типов веществ. Было установлено, что при разработке автоматизированных систем контроля следует учитывать стабильность характеристик лазера, так как плазмонный и экситонный резонансы сильно зависят от энергетических параметров лазерного излучения. Кроме того, автор выявил необходимость тщательного подбора параметров экспериментальной установки для обеспечения высокой точности и повторяемости результатов.

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы включает разработанные рекомендации к установке контроля наночастиц в жидкой фазе. Разработан метод контроля, позволяющий без особых проблем внедрить его в производство. Разработанное программное обеспечение является открытым для изучения и не вызывает сомнений в корректности использования.

Немаловажно, что разработанные автором рекомендации прошли успешную апробацию в ООО «СЭРВЭТ» и «ЭНЕРГОСПЕЦСТРОЙ», что свидетельствует о практической ценности проведенных исследований.

### **Наиболее важные полученные результаты**

Научная новизна диссертационной работы Пагава Л.Л. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать параметры резонансных эффектов в наночастицах различных материалов при взаимодействии с лазерным излучением. Полученные результаты имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными других исследователей.
2. Определены материалы, для которых возможно использовать предложенный подход, и установлены критерии их выбора.
3. Предложены методики определения основных параметров наночастиц в жидкой матрице с помощью эффекта вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна, возникающего при попадании в резонансную полосу материала.
4. Установлены зависимости между характеристиками спектрального распределения вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна и основными параметрами наночастиц в растворе.
5. Определены калибровочные кривые и опробована методика измерения, позволяющая точно определять концентрацию и размеры наночастиц в жидкой матрице.
6. Разработаны технические рекомендации к установке контроля для повышения диапазона измерений и уменьшения погрешности и разброса данных.

### **Рекомендации по практическому использованию основных результатов диссертации**

Представленные в диссертационной работе новые научные результаты и практические разработки могут быть использованы в области исследования резонансных эффектов различных типов, что позволяет определить возможности модифицированных поверхностей. Работа также направлена на совершенствование технологических процессов получения и осаждения наночастиц, применяемых в авиакосмической, транспортной, медицинской и других наукоемких отраслях. Научные и методические разработки автора могут найти применение при создании новых функциональных композиционных конструкций в ведущих отраслевых институтах (ГНЦ «ВИАМ» и др.), академических учреждениях (ИМЕТ РАН и др.) и вузах (МАИ, МГТУ «СТАНКИН», Костромской ГУ и др.).

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов подтверждается применением современных методов исследования, хорошим совпадением результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Структурные исследования наночастиц в жидкой матрице также подвергались контролю методами световой микроскопии и спектрального анализа. Повторяемость результатов и эффективность разработанного метода подтверждается большим количеством экспериментальных образцов (более 1000). На каждый образец также проводилось усреднение измерений посредством анализатора, что увеличивает точность результатов.

Разработанный метод был внедрен в ООО «СЭРВЭТ» для измерения остаточных примесей тяжелых металлов и микропластика после очистки питьевой воды, а также в процессе нанесения покрытия из наносеребра в компании «ЭНЕРГОСПЕЦСТРОЙ», что повысило энергетическую эффективность экспериментального модуля на 15,8% по сравнению с контрольным. Результаты внедрения подтверждены соответствующим актом.

## **Замечания**

Отмечая достоинства диссертационной работы Пагава Л. Л., в качестве замечаний следует указать:

1. В главе 2 при выборе материалов, которые автор указывает как основные, используемые в данных технологиях, не хватает уточнений о том, для чего подобные материалы используются и какие характеристики они повышают. Было бы полезно подробнее рассмотреть функциональные свойства этих материалов и их влияние на конечные свойства модифицированных поверхностей.

2. В главе 3 не хватает графиков сравнения хотя бы для нескольких материалов, где было бы показано насколько сильно идет расхождение между предлагаемым методом и основными в данной области методами.

3. При разработке математической модели нет описания оптических характеристик выбранных материалов, а только параметры среды, источника излучения и размеров частицы. При описании модели стоит также указать основные оптические характеристики материалов, так как в базах данных существуют материалы различных годов и исследований с отличающимися свойствами. Этот момент важен для воспроизводимости результатов и общей точности модели.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертации и общей высокой оценки работы.

## **Заключение**

Диссертационная работа Пагава Леонида Леонидовича выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную и законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения для контроля параметров наночастиц в жидкой матрице с целью повышения качества модифицируемой поверхности.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли аprobацию на 12 научно-технических конференциях, опубликованы в 23 печатных работах, из них 2 в изданиях, входящих в перечень ВАК, и 8 в журналах, включенных в международные системы цитирования.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам и содержанию представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9–16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор, Пагава Леонид Леонидович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры общей и теоретической физики, протокол № 5 от 29 октября 2024 года. На заседании присутствовало 10 членов из 10. Результаты голосования: «за» – 10, против – нет, воздержавшихся – нет.

Заведующий кафедрой  
общей и теоретической физики  
к.т.н., доцент

С.Ю. Шадрин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Костромской государственный университет»  
156005, Россия, Костромская область, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17/11  
Электронная почта: [info@ksu.edu.ru](mailto:info@ksu.edu.ru), Адрес в сети интернет: <https://www.ksu.edu.ru>  
Телефон: +7 (4942) 63-49-00 (доб. 1010)

Подпись руки \_\_\_\_\_  
заверяю \_\_\_\_\_  
Начальник канцелярии \_\_\_\_\_  
Н.В. Кузнецова \_\_\_\_\_



20.11.2024