

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

Федотиковой Марии Владимировны

«Теоретические и прикладные аспекты повышения выработки энергии фотоэлектрическими преобразователями модификацией их поверхности нанокластерами серебра»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

**Актуальность темы диссертационной работы.** Тема диссертационной работы посвящена актуальной проблеме – разработке приемов повышения эффективности фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). В настоящее время применение гелиостанций постоянно растет, при этом их повсеместному распространению препятствует низкая эффективность ФЭП, составляющая 15–20% от падающего солнечного излучения. Наиболее технологически простым и достаточно эффективным способом повышения указанного показателя является использование функциональных покрытий. Наибольшую эффективность показали слои из наночастиц металлов за счет такого явления, как поверхностный плазмонный резонанс.

Существующие в настоящее время способы нанесения на подложку наночастиц металлов обладают определенными недостатками, ограничивающими их применение в данной области. В связи с вышесказанным диссертационная работа Федотиковой М.В., направленная на формирование функционального слоя наночастиц серебра из коллоидного раствора электрофоретическим методом, является актуальной.

**Общая характеристика работы.** На отзыв представлена диссертационная работа Федотиковой М.В. объемом 158 страниц и автореферат объемом 22 страницы. Полученные результаты работы подробно раскрыты в тексте диссертационной работы, включающем введение, пять глав с выводами к каждой из них, общие выводы и список цитируемой литературы, состоящий из 172 наименований. Главы логически связаны между собой и дополняют друг друга. Работа содержит 97 рисунков и 11 таблиц.

В работе обоснована актуальность темы работы, сформулированы цели исследования, научная новизна, практическая значимость работы и основные научные положения, выносимые на защиту.

В диссертационной работе приведен анализ современного состояния и тенденций развития ФЭП и методов их формирования. Проанализированы

публикации в указанной области и сделан вывод, что наибольшие перспективы улучшения функциональных свойств ФЭП и эксплуатационных характеристик устройств на их основе связаны с применением покрытий из наночастиц серебра.

На основании проведенного анализа литературы и полученных экспериментальных данных было определено, что для формирования слоя из наночастиц серебра наиболее перспективным для промышленного применения является электрофоретическое осаждение наночастиц из коллоидного раствора. Диссертантом экспериментально показана возможность формирования слоя из наночастиц серебра на приемной поверхности ФЭП электрофоретическим способом. При выполнении работы диссертантом использовано технологическое оборудование, обеспечивающее проведение процессов в заданных параметрах. Частицы серебра получали при тщательном контроле параметров технологического процесса. В работе представлены особенности строения наночастиц серебра, полученных электрофоретическим методом. Показано, что слой шаровых наночастиц серебра, нанесенный указанным способом, обладает плазмонными свойствами.

Были разработаны концептуальная модель электрофоретического осаждения и феноменологическая модель зависимости условий появления поверхностного плазмонного резонанса. Обнаружена зависимость вероятности возникновения поверхностного плазмонного резонанса от наличия примесных атомов бора в наночастице серебра. Сформулированы технологические условия проведения отдельных основных операций в алгоритмической форме.

Диссертационная работа Федотиковой М.В. является хорошо оформленной научной работой. Материал диссертационной работы логично скомпонован и изложен современным техническим языком. Экспериментальные результаты достоверны, а приведенные выводы обоснованно сформулированы. Основные положения, выносимые на защиту, последовательно подтверждаются экспериментальными результатами.

**Научная новизна работы.** В ходе исследований получены результаты, имеющие научную новизну:

– доказана возможность формирования электрофоретическим методом на приемной поверхности ФЭП слоя шаровых наночастиц серебра, обладающего плазмонными свойствами;

– разработана феноменологическая модель, поясняющая условия возникновения поверхностного плазмонного резонанса, в том числе с учетом влияния неметаллических примесей;

– разработана методика тестирования ФЭП, основанная на измерении коэффициента обратного рассеяния лазерного излучения.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке технологических условий формирования электрофоретическим методом слоев на основе шаровых наночастиц серебра на ФЭП для улучшения их функциональных свойств и эксплуатационных характеристик. Результаты работы могут быть применены для дальнейших теоретических и прикладных аспектов повышения выработки энергии ФЭП. Результаты работы внедрены в устройство энергообеспечения медицинского оборудования в санаторно-курортном комплексе Крыма, что подтверждено актом о применении результатов НИР.

Результаты диссертационной работы могут быть полезны специалистам, разрабатывающим устройства электронной техники на основе наноразмерных материалов и упорядоченных многослойных структур. Результаты исследований в области создания конструкции и технологического процесса изготовления ФЭП с улучшенными эксплуатационными характеристиками показывают возможность их эффективного применения при изготовлении различных устройств электронной техники.

**Достоверность** полученных результатов диссертационной работы подтверждена экспериментальными исследованиями, обеспечена использованием современного поверенного измерительного и аналитического оборудования с лицензионным программным обеспечением, проведением испытаний в соответствии с ГОСТ. Полученные результаты согласуются с литературными данными и соответствуют современному уровню научных знаний.

Результаты диссертационной работы обсуждались на 11 конференциях всероссийского и международного уровней и достаточно полно опубликованы в 22 научных изданиях, в том числе 3 из списка журналов, рекомендованных ВАК РФ, а также 3 – в изданиях, входящих в базы данных международных систем цитирования. Публикации по теме диссертационной работы в полной мере отражают основные положения, выносимые на защиту.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Диссертантом представлены «рациональные» условия процесса нанесения слоя из наночастиц серебра электрофоретическим методом. Однако, отсутствует обоснование выбора параметров процесса как «рациональных».

2. В диссертационной работе кратко описаны условия процесса нанесения слоя из наночастиц серебра. Хотелось бы увидеть также электронно-

микроскопические изображения слоев наночастиц, сформированных при различных параметрах процесса нанесения.

3. Диссертантом не показаны зависимости плотности размещения наночастиц серебра на поверхности подложки от условий процесса нанесения, а также влияние плотности наночастиц на функциональные характеристики ФЭП.

4. В работе частицы серебра, осажденные на подложку, названы (десять раз) то наночастицы, то нанокластеры, однако не представлены данные об их размере для образцов, на которых проведены измерения характеристик ФЭП.

5. Недостаточно представлены экспериментальные данные, показывающие состав и строение шаровых наночастиц серебра и материала слоя многослойной подложки, на котором они сформированы. Для исследования кристаллической и аморфной составляющих указанных материалов целесообразно привлечение помимо использованных в работе таких методов как, например, рентгеновской дифрактометрии и спектроскопии комбинационного рассеяния света.

6. Работа содержит ряд технических недостатков:

– Неточности в используемой терминологии, например, шаровые частицы серебра диссертант называет сферами (стр. 26, 29, 34 и др.).

– На некоторых рисунках имеются нечитаемые надписи (рис. 21, 23 и др.).

– Значительная часть рисунков имеет надписи не на русском языке (рис. 1, 2, 46, 47 и др.).

Отмеченные замечания не влияют на общий высокий уровень работы, не снижают положительную оценку представленной диссертационной работы, ее научной и практической значимости и не сказываются на достоверности полученных результатов.

### **Заключение**

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение выработки энергии ФЭП.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 11 научно-технических конференциях, опубликованы в 22 научных работах, в том числе в 6 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, из которых 3 статьи опубликованы в журналах, включенных в международные системы цитирования.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Федотикова Мария Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник Инновационно-инжинирингового центра  
микросенсорики Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования "МИРЭА –  
Российский технологический университет"

Белянин Алексей Федорович  
20 ноября 2023 г.

Адрес организации: 119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

Телефон: +7 (916) 961-81-39

Адрес электронной почты:

[belianinaf@yandex.ru](mailto:belianinaf@yandex.ru); [belyanin@mirea.ru](mailto:belyanin@mirea.ru)

Подпись Белянина Алексея Федоровича удостоверяю



Н.И. Прокопов