

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20 мая 2024 г № 65

О присуждении Ковалец Наталье Павловне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Механические и электрофизические свойства композитов и нанокompозитов полимер/металл, полученных матричным синтезом на трековых мембранах» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите 25 декабря 2023 года (протокол заседания № 57) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Ковалец Наталья Павловна, 28 августа 1991 года рождения, в 2014 году с отличием окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет» (МПГУ) по направлению подготовки 011200 «Физика» по профилю образовательной программы «Фундаментальная физика». С 2014 года обучалась в аспирантуре МПГУ по направлению подготовки 28.06.01 «Нанотехнологии и наноматериалы», направленность «Нанотехнологии и наноматериалы» и закончила её в 2018 году. С 2014 года является сотрудником МПГУ, в настоящее время занимает должность младшего научного сотрудника лаборатории физики перспективных

материалов и наноструктур МПГУ. С 2023 года занимает по совместительству должность высококвалифицированного младшего научного сотрудника лаборатории новых фотонных материалов отдела перспективной фотоники и сенсорики Троицкого обособленного подразделения ФИАН, включающего "Троицкий технопарк ФИАН" (ТОП ФИАН).

Диссертационная работа Ковалец Н.П. выполнена на кафедре теоретической физики имени Э.В. Шпольского Института физики, технологии и информационных систем МПГУ и в Лаборатории новых фотонных материалов отдела перспективной фотоники и сенсорики ТОП ФИАН.

Научный руководитель: член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор РАН Наумов Андрей Витальевич, специалист в области селективной лазерной спектроскопии конденсированных сред и наноструктур, работает в должности руководителя ТОП ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Вайнштейн Илья Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор РАН, главный научный сотрудник ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»;
2. Харинцев Сергей Сергеевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», город Москва, в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук, доцентом Насимовой Ириной Рашитовной, заместителем декана факультета фундаментальной физико-химической инженерии МГУ, и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем

Анатолевичем, проректором - начальником управления научной политики МГУ, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, опубликовано 10 работ. Кроме того, по теме диссертации получен один патент.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем Ковалец Н. П. работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Гумирова В.Н., Абдурашидова Г.С., Бедин С.А., Забалуева (Ковалец) Н.П., Кувайцева М.А., Разумовская И.В. Особенности разрушения трековых мембран и композитов полимер/металл, полученных на их основе методом шаблонного синтеза. Физика твердого тела, 57 (2), 328-331 (2015).
2. Ковалец Н.П., Разумовская И.В., Кечекьян А.С., Бедин С.А. Прочность композитов металл / полимер на основе трековых мембран с различной ориентацией системы пор. Деформация и разрушение материалов, 4, 20-23 (2018).
3. Разумовская И.В., Ковалец Н.П., Бедин С.А., Григорьев Ю.В. Агломерация нанопроволок на подложке для гигантского комбинационного рассеяния, ЖЭТФ, 159 (5), 924-929 (2021).

4. Kovalets N.P., Kozhina E.P., Razumovskaya I.V., Bedin S.A., Piryazev A.A., Grigoriev Y.V., Naumov A.V. Towards single molecule surface-enhanced Raman scattering with novel type of metasurfaces synthesized by crack-stratching of metallized track membranes. *J. Chem. Phys.* 156 (3), 034902 (13 pp) (2022).
5. Ковалец Н.П., Разумовская И.В., Бедин С.А., Наумов А.В. Гигантское комбинационное рассеяние света на поверхностях из плазмонных металлов как метод контроля их функциональных и надмолекулярных структурных характеристик, Письма в ЖЭТФ, 118 (4), 245–251 (2023).

На автореферат диссертации поступил отзыв от кандидата физико-математических наук Макарова Павла Андреевича, доцента, старшего научного сотрудника лаборатории экспериментальной физики Физико-математического института Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук". В отзыве Макарова П.А. отмечается, что существенным достоинством работы является её высокая практическая ориентированность. В отзыве указано, что Ковалец Н.П. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор Вайнштейна Ильи Александровича в качестве официального оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области оптической спектроскопии твердого тела и физикохимии широкозонных функциональных материалов.

Выбор Харинцева Сергея Сергеевича в качестве официального оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области оптической люминесценции и физики наночастиц.

Выбор ведущей организации обоснован её репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области физического материаловедения.

Диссертационная работа Ковалец Н.П. посвящена систематическому исследованию физических особенностей разрушения и деформации полимерных композитов на основе трековых мембран, получению зависимостей физических свойств (механических, электрических, оптических) от параметров выбранных полимерных матриц, а также возможным техническим применениям исследуемых материалов. Актуальность исследования определяется необходимостью комплексного изучения механических свойств композитов трековая мембрана/металл, ввиду сопутствующего изменения других их свойств, важных, в том числе, для технических применений. Условия возникновения системы микро- и нанотрещин и их связь с пористостью исходной матрицы определяют влияние на прочность, адгезию и проводимость металлической поверхности. Разрушение или существенная деформация композита может привести к утрате функциональных свойств устройств на его основе.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Прочность и электрофизические свойства металл-полимерных композитов трековая мембрана/металл существенно зависят от взаимодействия механических напряжений вокруг заполненных металлом пор, что позволяет регулировать систему микротрещин и функциональные свойства композита путем изменения расстояния между порами матрицы.

2. На основе критерия суммирования разрушений (критерия Бейли) по скоростным зависимостям прочности исследуемых композитов проведена оценка их дефектности и вида временной зависимости прочности, что позволяет подтвердить вклад металлического покрытия в механические свойства этого композита. Увеличение толщины напыления приводит к

увеличению прочности и снижению разрывной деформации.

3. Сформированная в поверхностном слое система нано- и микротрещин в результате либо однократного растяжения металлизированной (Au-, Ag-) трековой мембраны, либо контролируемого нанесения микроцарапин с использованием индентора Виккерса на металлизированную полимерную пленку, обеспечивает усиление сигнала гигантского комбинационного рассеяния света (ГКРС) (коэффициент усиления вплоть до 10^4 раз).

4. Разработана модель и рассчитан энергетический критерий слипания нанопроволок на жесткой подложке, включающий радиус нанопроволок и среднее расстояние между ними, а также характеристики материала, из которого они состоят (модуль упругости и поверхностная энергия).

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

- Впервые получены и систематизированы зависимости прочности композитов ТМ/металл (Cu, Ni, Ag) от характеристик матрицы (диаметра пор, их плотности и ориентации системы пор).

- Впервые показано, что прочность композитов на основе ТМ меньше прочности соответствующих ТМ и зависит от локальных механических перенапряжений на порах, заполненных металлом, взаимодействия полей упругих напряжений вокруг частиц наполнителя и характера эволюции формы пор при растяжении.

- Впервые получены скоростные зависимости прочности композитов для оценки вида временной зависимости прочности исследованных композитов.

- Впервые предложена методика металлизации ТМ с частичным заполнением пор, которые одновременно являются начальными дефектами металлической поверхности и точками сцепления с полимером. Более высокая адгезия достигается за счет снижения взаимодействия полей напряжений вокруг пор за счет оптимизации их диаметра и поверхностной плотности.

- Обнаружен эффект усиления сигнала ГКР на микротрещинах металлизированной плазмонным металлом (Ag, Au) ТМ при ее растяжении и еще большее усиление при разгрузке и релаксации деформации. Предложен оптический неразрушающий метод контроля растрескивания металлической поверхности для плазмонных металлов.

- Впервые разработана методика получения системы микроцарапин на металлизированной поверхности полимера с контролируемыми параметрами, одновременно являющаяся методом получения новой ГКР-активной подложки и позволяющая моделировать возникновение «горячих точек» на границах микротрещин.

- Впервые разработан энергетический критерий, позволяющий установить степень агломерации плотноупакованных нанопроволок, зафиксированных на жесткой подложке и находящихся в сплошной среде (воздух, жидкость) в отсутствие капиллярных явлений.

Практическая значимость полученных соискателем результатов заключается в потенциале их применения для создания более эффективных функциональных материалов для нужд нанопотоники, электроники, для приложений солнечной энергетики (фотовольтаики). Учет роли взаимодействия полей механических напряжений вокруг полностью или частично заполненных металлом пор ТМ позволяет задавать определенные механические и электрофизические свойства композита, то есть контролировать параметры системы микротрещин при растяжении композитов полимер/металл. На основе этого подхода предложен и запатентован оптический неразрушающий метод контроля растрескивания металлической пленки для плазмонных металлов, а также методика изготовления эффективных ГКР-поверхностей для высокочувствительного спектрохимического анализа. Предложенный энергетический критерий агломерации нанопроволок применим к производству деталей микро- и наномеханизмов. Металлизация ТМ с частичным заполнением пор позволяет получать гибкие пленки с хорошей проводимостью и адгезией

полимер/металл, что открывает возможность для целого спектра приложений: например, для создания гибридных композитных пленок для авиакосмической отрасли, элементов гибкой электроники, нагревательных элементов.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в исследованиях в области полимерных микро- и нанокомпозитов, которые проводятся в таких организациях, как Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Институт спектроскопии РАН, Московский физико-технический институт, Московский педагогический государственный университет, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт".

Достоверность и обоснованность результатов, представленных в диссертации, обеспечена проведением экспериментальных измерений на современном научном оборудовании с высокой точностью и воспроизводимостью результатов; соответствием экспериментальных результатов имеющимся литературным данным и теоретическим моделям, в том числе, развитым диссертантом.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Ковалец Н. П., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор принимала участие в описанных в работе экспериментах, обрабатывала экспериментальные данные, проводила теоретические расчеты. Помимо этого, автором также была предложена оригинальная модель и разработан энергетический критерий агломерации нанопроволок на жесткой подложке в сплошной среде (воздух, жидкость). Подготовка публикаций проводилась совместно с соавторами, при этом вклад соискателя был определяющим.

В ходе защиты соискатель Ковалец Н. П. аргументированно ответила на заданные ей вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 20 мая 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Ковалец Н. П. учёную степень кандидата физико-математических

наук за решение научной задачи по установлению влияния характеристик трековых мембран, используемых в качестве матриц при получении нанокompозитов и наноструктур, на геометрические и физические особенности системы микротрещин и системы нанопроволок, позволяющие их использовать в качестве ГКР-подложек, что необходимо для развития научной области, связанной с разработкой эффективного анализа одиночных органических молекул.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 22 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.8 — Физика конденсированного состояния), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 22,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

20 мая 2024 г.