

## **ОТЗЫВ официального оппонента**

**на диссертацию Завидовского Ильи Алексеевича «Влияние параметров импульсно-плазменного осаждения углеродных покрытий на их структуру, электрофизические и антибактериальные свойства», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5– «физическая электроника»**

Диссертационная работа Завидовского Ильи Алексеевича посвящена исследованию влияния параметров импульсно-плазменного осаждения углеродных покрытий на их структуру, электрофизические и антибактериальные свойства. Наноструктурированные покрытия и материалы используются в промышленности и медицине как обладающие высокими функциональными свойствами, такими как прочность, износостойкость, контролируемый коэффициент трения в сопрягающихся узлах. Используются в плазмонике, разработках компонентов электроники, газовых сенсоров, систем накопления энергии. Это дает основание считать тему диссертации безусловно **актуальной**.

Диссертационная работа Завидовского И. А. хорошо структурирована, материал представлен последовательно и логично. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, методология диссертационной работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, отмечены научная новизна и практическая значимость. Во введении также обоснована достоверность полученных результатов, содержатся сведения об апробации результатов и личном вкладе автора.

Первая глава представляет собой литературный обзор, который достаточно полно отражает текущее состояние вопроса. Здесь обсуждаются вопросы вариативности гибридизации орбиталей атомов углерода, позволяющей изготавливать углеродные материалы, свойства

которых могут изменяться в широком диапазоне. Также в данной главе рассмотрено многообразие методик синтеза углеродных материалов. В разделе 2.1 второй главы рассматривается метод импульсно-плазменного осаждения, относящийся к классу методик вакуумно-дугового осаждения. Импульсный характер метода позволяет осуществлять нанесение пленок на подложки, чувствительные к нагреву. В разделе 2.2 данной главы рассматриваются методики аттестации образцов (ПЭМ, СЭМ, электронной дифракции, СХПЭЭ, КР-спектроскопии, РФЭС) в применении к анализу углеродных наноматериалов. В разделе 2.3 описаны методики оценки электрофизических, оптических, антибактериальных и антибиопленочных свойств покрытий, а также их биосовместимости. В Главе 3 рассмотрена структура и электрофизические свойства покрытий, изготовленных путем импульсно-плазменного распыления графитового катода в атмосфере смеси аргона и метана. В Главе 4 рассмотрена структура и электрофизические свойства покрытий, изготовленных методом импульсно-плазменного осаждения в атмосфере смеси 80% аргона и 20% азота в условиях ионной стимуляции. установлено, что встраивание азота в углеродную пленку в процессе ионно-стимулированного осаждения приводит к формированию в структуре субнанометровых графитовых кластеров. В Главе 5 рассмотрены структурные и оптические свойства покрытий, изготовленных путем распыления графитового катода с серебряными вставками в атмосфере аргона в условиях ионной стимуляции при различных мощностях распыления. Показано, что введение ионного пучка в процесс осаждения покрытий приводит к формированию серебряных включений двух характерных размеров и вариации доли  $sp^2/sp^3$ -углерода. Глава 6 посвящена рассмотрению структуры, биосовместимости, антимикробных и антибиопленочных свойств покрытий, изготовленных методом импульсно-плазменного осаждения в атмосфере смеси аргона, кислорода и азота, а также при их осаждении в условиях ионного ассистирования в атмосфере смеси

аргона и азота. В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационного исследования.

Полученные автором результаты и положения, выносимые на защиту, обладают научной **новизной**. Из новых результатов, полученных в диссертационной работе, особый интерес представляют следующие:

1. Впервые установлено, что в процессе импульсно-плазменного распыления графитового катода в атмосфере смеси аргона и метана в структуре углеродных пленок формируется фаза на основе sp-гибридизованных углеродных цепочек, оказывающая влияние на удельное электросопротивление углеродных покрытий.
2. Впервые показано, что встраивание азота в углеродную пленку в процессе ионно-стимулированного импульсно-плазменного осаждения приводит к формированию в структуре нанометровых графитовых кластеров, что позволяет уменьшать электросопротивление покрытий на 4–5 порядков относительно покрытий, полученных без ионной стимуляции.
3. Впервые проведено комплексное описание роли процессов ионноиндуцированного дефектообразования, поверхностной диффузии и селективного распыления на структуру углерод-серебряных покрытий.
4. Впервые проведено систематическое описание влияния структурной модификации углеродных покрытий путем создания поверхностного оксидированного и азотированного слоя, а также внедрения серебряных включений, на антибактериальные и антибиопленочные свойства материалов.

Диссертационное исследование, выполненное И. А. Завидовским, помимо научной ценности, обладает практической направленностью. В частности, разработанные автором методики позволяют осуществлять контролируемое увеличение и уменьшение электросопротивления покрытий на несколько порядков, позволят расширить перспективы использования разрабатываемых покрытий в качестве компонентов наноэлектроники. Предложенных диссертантом методики, позволяют наносить

биосовместимые пленки, которые обладают антибактериальной и антибиопленочной активностью, могут послужить основой для разработки покрытий медицинских изделий, которые будут эффективно препятствовать возникновению перипротезных инфекций при эндопротезировании.

**Достоверность** представленных результатов обеспечена использованием современного оборудования для напыления покрытий и для их аттестации методами микроскопии и спектроскопии, а также согласием результатов, полученных при помощи различных аналитических методов. Результаты и выводы диссертации были апробированы автором на российских и международных конференциях и опубликованы в авторитетных научных журналах, включая *Thin Solid Films*, *Vacuum*, *ЖЭТФ* и др. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Однако, диссертационная работа не свободна от некоторых недостатков.

- На стр.50 неверно указана ссылка на рис.19, очевидно вместо рис.17.
- В нижнем абзаце на стр.50 не верна ссылка на рис. 1(b).
- На стр. 51, не верна ссылка на рис. 3. – Трижды повторяется нумерация рис.29, дважды – рис.30. Вместе с тем, отсутствует рис.31.
- Не приведены значения масштабных линеек на рис. 30.
- Не поясняется смысл обозначений, в частности стрелок, на рис. 56.
- Считаю, что следовало бы избегать смешивать латино-образное и русско-язычное обозначение рисунков (a), (b), (c) ..., объединенных в один, вместо (а), (б), (в)..(рис. 26, 28, 29)

– Терминологический вопрос. Понятие «текстура» в бытовом смысле и в физике различно. В физике текстура означает преимущественную кристаллографическую ориентацию зерен в образце. Поэтому использование этого понятия для интерпретации контраста изображений ПЭМ, рис. 17, 19, 23, вводит в заблуждение. В этом случае изображение является светлопольным, поэтому достаточно слабый контраст отражает не текстуру,

как утверждается, а, скорее всего, неоднородность по толщине, или волнообразную шероховатость образца.

Сделанные замечания относятся к погрешностям оформления, не носят принципиального характера, не затрагивают основного содержания работы и не изменяют общей положительной оценки диссертации Завидовского И. А. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.5 – физическая электроника, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Завидовский Илья Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5 – физическая электроника.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики атомного ядра Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова» (НИИЯФ МГУ)

Чеченин Николай Гаврилович

Контактные данные:

тел.: +7-495-939-23-48, e-mail: chechenin@sinp.msu.ru

Специальности, по которым официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.16 – «Физика ядра и элементарных частиц», 01.04.04 – «Физическая электроника»

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына (НИИЯФ МГУ), отдел физики атомного ядра  
Тел.: 8-495-939-2348; e-mail: chechenin@yandex.ru

Подпись сотрудника Н.Г. Чеченина удостоверяю:

Зам. директора НИИЯФ МГУ

Д.О. Еременко