

ОТЗЫВ

о диссертации И.А. Завидовского «Влияние параметров импульсно-плазменного осаждения углеродных покрытий на их структуру, электрофизические и антибактериальные свойства», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5 – физическая электроника

Диссертационная работа И.А. Завидовского посвящена исследованию структурных особенностей углеродных покрытий, полученных методом импульсно-плазменного осаждения. Актуальность этой темы связана с широкой областью практического использования подобных покрытий, которые, с одной стороны, применяются для повышения механических и электрических характеристик материалов и изделий, а с другой стороны, при некоторых условиях обладают бактерицидными свойствами.

Основным содержанием диссертации является получение наноуглеродных покрытий с использованием импульсного плазменного осаждения и исследование зависимостей структурных, электрических и антибактериальных характеристик этих покрытий от условий их формирования, в частности, от энергии и плотности тока ионов, содержания метана и состава буферного газа. В диссертации детально описываются методы получения покрытий, включающие в себя химическое осаждение паров с использованием метана в качестве углеродосодержащего газа и последующее облучение поверхности ионными пучками, способствующее формированию необходимой структуры покрытия и его электрических характеристик. Для получения наноуглеродных покрытий автором использовались различные подходы, включающие импульсное распыление графитовой мишени плазменным потоком в смеси метана с аргоном, распыление графитовой мишени в сочетании с облучением подложки ионным пучком и импульсно-плазменное распыление графитового катода с серебряными вставками в атмосфере аргона.

Варьирование в широких пределах энергии, вводимой в плазму, энергии и тока ионов и состава плазмообразующего газа позволили автору получить целый значительный набор покрытий с различными структурными, электрическими и антибактериальными характеристиками. Связь между условиями получения и характеристиками покрытий является существенным достижением автора, которое может быть использовано технологами и исследователями, имеющими дело с наноуглеродными покрытиями. Результаты, полученные в диссертации, открывают возможность создания пленок с заданными характеристиками, что представляет значительную практическую ценность.

Существенную ценность представляют полученные автором данные о химическом состоянии атомов углерода, составляющих основу покрытия, в зависимости от условий формирования покрытий. Важным выводом

исследования является факт образования в процессе импульсно-плазменного распыления графитового катода в атмосфере смеси аргона и метана фазы на основе sp-гибридизованных углеродных цепочек, оказывающей влияние на удельное электросопротивление углеродных покрытий.

Диссертация И.А. Завидовского не свободна от недостатков. Так, вызывает удивление отсутствие ссылок на работы, выполненные несколько лет назад в МЭИ (например, Бочаров Г.С., Елецкий А.В., Захаренков А.В., Зилова О.С., Слива А.П., Терентьев Е.В., Федорович С.Д., Г.Н. Чурилов. «Оптимизация упрочнения стальной поверхности углеродными наноструктурами с последующей обработкой высокоинтенсивными источниками». *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования* 2018. №1. С. 33-39; Г.С. Бочаров, А.В. Елецкий, О.С. Зилова, Е. В. Терентьев, С.Д. Федорович, О.В. Чудина, Г.Н. Чурилов «Исследование механизма поверхностного упрочнения сталей наноуглеродными материалами с использованием лазерного нагрева» *Физика металлов и металловедение* **119** (2) с. 197–201 (2018); N. Abusaif, G. S. Bocharov, A. V. Eletsii, A. V. Uvarov, S. D. Fedorovich “Surface reinforcement of metals by carbon nanomaterials followed by high intense energy irradiation” *Advanced Materials Letters*. **9** (10), pp. 733-736 (2018) и др.). В этих работах исследуется влияние наноуглеродных покрытий в сочетании с последующей обработкой высокоэнергичными источниками (лазер, электронный пучок) и их направленность, безусловно, представляется близкой к тематике данной диссертации.

При анализе механизма формирования наноуглеродного покрытия с вкраплениями серебряных нитей в диссертации не рассматривается изменение температуры частиц серебра в результате изменения энергии и тока ионного пучка, что может оказаться одной из причин структурных зависимостей, рассмотренных в работе. .

Раздел диссертации (С. 44), содержащий описание процедуры измерения удельного сопротивления пленок, написан недостаточно подробно, так что остается неясным, в какой конфигурации проводились измерения и, в частности, каково расположение четырех зондов, о которых упоминается в тексте.

В работе встречаются выражения, требующие детальных пояснений, без которых эти выражения вызывают недоуменные вопросы. Так, на С. 27. упоминается «капельная фаза разряда», С. 62: «энергия диссоциации молекулярных ионов азота составляет 9.8 эВ, вследствие чего при взаимодействии иона с поверхностью молекулярный ион диссоциирует за счет обратного Оже-процесса или при в результате неупругого соударения иона и материала». С. 53: Утверждается, что D- линия на частоте около 1200 см^{-1} соответствует дыхательной моде гексагонов. Это утверждение противоречит принятой точке зрения на дыхательную моду и требует разъяснений.

С. 84: Следующая фраза представляется противоречивой: «Рекристаллизация частиц способствует их переходу в более энергетически выгодное состояние, что выражается в увеличении степени их монокристалличности и огранки». Так рекристаллизация или увеличение степени монокристалличности?

Рассматривая диссертационную работу И.А. Завидовского в целом, следует отметить, что, несмотря на отмеченные выше недостатки, она производит благоприятное впечатление. Это законченное научное исследование, содержащее решение практически важной задачи создания наноуглеродных покрытий в условиях импульсно-плазменного облучения и исследования структурных, электрических и антибактериальных свойств этих покрытий. Высокой оценки заслуживает использование автором диссертации современных методов исследования, позволяющих определять не только химический состав и структурные характеристики покрытия, но также состояние углерода в этих структурах в зависимости от условий облучения. Среди этих методов следует упомянуть просвечивающую электронную микроскопию, сканирующую электронную микроскопию, спектроскопию характеристических потерь энергии электронов, электронную дифракцию, спектроскопию комбинационного рассеяния и рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию. Немногие отечественные работы сочетают столь значительный набор современных методов исследования. Диссертация написана хорошим языком, автор хорошо понимает предмет исследования. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих научных журналах. Работа обладает существенной степенью новизны. Автореферат адекватно отражает содержание опубликованных работ. Защищаемые положения находят обоснование как в тексте работы, так и в публикациях по теме работы.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что рассматриваемая диссертационная работа, содержащая решение актуальной научной задачи создания наноуглеродных покрытий методом импульсного плазменного осаждения и исследования их структурных, физико-химических и антибактериальных характеристик, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в МГУ имени М.В. Ломоносова, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физ.- мат. наук профессор А.В.Елецкий. Профессор кафедры Общей Физики и Ядерного Синтеза НИУ МЭИ. Тел. +79169053637. Email: eletskii@mail.ru. Адрес: Москва, 111250, Красноказарменная ул., д. 14.

Подпись проф. А.В.Елецкого заверяю

08.02.2023