

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Каменецких Александра Сергеевича «Генерация плазмы и синтез покрытий с интенсивным ионным сопровождением в газоразрядных системах с плазменным и самонакаливаемым катодами», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.13 «Электрофизика, электрофизические установки».

Актуальность тематики рецензируемой диссертационной работы связана, прежде всего, с возрастающей потребностью в принципиально новых инновационных технологиях модификации поверхностных свойств различных материалов, включая технологии синтеза защитных и функциональных покрытий, перспективностью и привлекательностью использования для этих целей пучково-плазменных методов и подходов, а также необходимостью их развития и совершенствования в связи с появлением новых материалов и новых технологических задач. Предлагаемый в диссертационной работе комплексный подход к решению современных проблем пучково-плазменной модификации в сочетании с обеспечением эффективного управления в широком диапазоне параметрами воздействия отражает современные тенденции развития пучково-плазменного оборудования и технологий и именно поэтому представляется целесообразным и обоснованным.

Конкретными объектами исследования в данной работе выбраны:

- плазменно-эмиссионные устройства на основе двухступенчатых разрядных систем с так называемой «сеточной стабилизацией» эмиссионной поверхности плазмы, обеспечивающие генерацию низкоэнергетичных электронных пучков;
- оборудование и процессы нанесения покрытий в магнетронных распылительных системах с поддержкой разряда низкоэнергетичным электронным

пучком плазменного катода с сеточной стабилизацией;

- электроразрядные устройства с самокалящимся катодом и испаряемым анодом с интенсивным ионным ассистированием для высокоскоростного синтеза покрытий.

Выбор данных объектов и направлений исследований во многом обусловлен необходимостью решения конкретных научно-практических задач. Тем не менее, полученные результаты имеют более широкую значимость с точки зрения общих тенденций современного развития пучково-плазменного оборудования и технологии модификация материалов, а также создания защитных и функциональных покрытий.

Тематика диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 1.3.13. «Электрофизика, электрофизические установки» (отрасль науки – технические) по п.7. «Разработка новых технологических процессов и устройств с использованием, электроразрядных, пучковых, плазменных, фотоэлектронных и электромагнитных, в том числе лазерных, методов и подходов».

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и приложений, общим объемом 304 машинописные страницы, 167 рисунков и 6 таблиц. Список цитируемой литературы и собственных публикаций включает 483 наименования.

Диссертация четко структурирована и написана ясным литературным русским языком. В этом также проявляется высокая квалификация автора, его эрудиция и кругозор. Каждая глава содержит конкретные содержательные выводы, проясняющие достигнутые результаты исследований.

Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

В представленном списке основных публикаций по теме диссертационной работы, которые отмечены как «Публикации в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science», указаны выходные данные 27 статей. В этом списке статьи в ведущих отечественных и зарубежных журналах с высоким импакт-фактором: Журнал технической физики, Письма в Журнал технической физики, Приборы и техника эксперимента, Surface & Coatings Technology, Thin Solid Films, Plasma Sources Science and Technology и др. Результаты проведенных исследований неоднократно докладывались и обсуждались на ведущих международных и российских конференциях и симпозиумах. Технические решения по созданию

пучково-плазменных устройств, а также способы создания покрытий, защищены 9 патентами Российской Федерации. Таким образом, результаты исследований, представленные в рецензируемой диссертационной работе, достаточно полно опубликованы, они апробированы и известны научной общественности.

Не отвлекаясь на изложение содержания каждой из глав рецензируемой диссертационной работы, остановимся на ключевых моментах диссертации.

Объектами исследований являются принципиально различные электроразрядные системы, использование которых нацелено на решение проблемы повышения скорости осаждения и качества различных покрытий. При этом, как следует из диссертационной работы, ключевым фактором решения проблем дальнейшего развития пучково-плазменной техники и технологии является поиск и привлечение новых методов синтеза покрытий, увеличение номенклатуры управляемых параметров и расширение диапазона их варьирования.

Рецензируемая диссертационная работа является, главным образом, экспериментальной. Представлен значительный объем исследований, проведенных за более, чем двадцатилетний период научной деятельности соискателя. Характерной особенностью экспериментов является их тщательность и многосторонность. Явно выражено стремление исследовать наблюдаемое явление с различных сторон с одновременным использованием различных методов диагностики. Методика и техника эксперимента, также, как и результаты исследований, изложены в диссертации достаточно подробно.

В диссертационной работе, наряду с исследованиями процессов функционирования пучково-плазменных устройств на основе различных электроразрядных систем с использованием, в том числе, оригинальных методик диагностики параметров плазмы, достаточно большое внимание уделено вопросам практического применения полученных результатов разработок и исследований. Отметим в этой связи синтез нитридных нанокompозитных (TiAlSiN), бинарных (BN) покрытий, покрытий из Mn-Co шпинели, легированной иттрием, которые сегодня широко востребованы.

Среди наиболее важных результатов исследования рецензируемой диссертационной работы отметим следующие:

- получение новых достоверных экспериментальных данных по особенностям генерации в системах с плазменным катодом низкоэнергетичных электронных пучков и их использование в магнетронных распылительных системах;
- выявление степени влияния обратного ионного потока из пучковой плазмы на условия функционирования и свойства плазменного катода, а также на возникновение колебательной неустойчивости эмиссионных параметров катода;
- реализация процессов управления в широких пределах параметрами магнетронной распылительной системы и достижение высокого качества синтезируемых покрытий при интенсивном ионном ассистировании;
- реализация процесса реактивного осаждения покрытий с высокой скоростью осаждения в разрядной системе с термическим анодным испарением и самонакаливаемым полым катодом.

Результаты исследований рецензируемой диссертационной работы обладают новизной, подтверждённой многочисленными публикациями в высокорейтинговых физических журналах, апробацией результатов исследований на конференциях и полученными патентами. Достоверность полученных результатов исследований обусловлена комплексностью подхода, тщательным проведением экспериментов на высоком уровне с использованием современных, в том числе оригинальных, экспериментальных методик.

По рецензируемой диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Диссертационная работа отражает большой объем проведенных исследований, каждый из полученных результатов связан с решением отдельной научной или практической задачи. Взаимосвязь различных объектов исследований, которая определяет целостность диссертационной работы, недостаточно обоснована.
2. Формулировки научной новизны излишне конкретизированы и в ряде пунктов они практически дублируют выносимые на защиту научные положения.
3. Пункт научной новизны о снижении ионизационной способности низкоэнергетичных электронов является, по своей сути, отрицательным результатом. В формулировке этого пункта научной новизны следовало бы указать методы и подходы, а также технические решения, нивелирующие этот эффект.

4. Влияние расширения площадей анода и эмиссионного электрода на параметры и характеристики плазменного эмиттера электронов на основе тлеющего разряда обсуждается, главным образом, с точки зрения возможности замены мелкоструктурной сетки на перфорированный крупно-апертурный электрод для повышения ресурса и анализа влияния размера апертур на эффективность генерации ионов, тогда как такой не менее важный результат, как стабилизация параметров плазменного катода при кратно более высоких давлениях рабочего газа, в диссертации обсуждается недостаточно детально..

5. Неоднократно используемый в диссертационной работе термин «сеточная стабилизация» в большей степени отражает одно из возможных конструктивных решений, обеспечивающих стабилизацию параметров источника электронов с плазменным катодом. Кроме сеток может быть также использован электрод с одним или множеством перфорированных эмиссионных отверстий и даже со щелевой эмиссионной поверхностью. Во всех случаях реализуется физический механизм, обуславливающий отрицательную обратную связь в виде реакции эмиссионных параметров плазмы на случайное изменение тока электронного пучка. Такой механизм стабилизации отчетливо проявляется при протяженности анодного слоя, соизмеримого с характерным размером эмиссионной структуры. Именно поэтому с точки зрения физических процессов эмиссии электронов из плазмы правильнее использовать термин «слоевая стабилизация».

6. Привлечение для объяснения полученных результатов параметра «потенциал плазменного катода», под которым, очевидно, подразумевается потенциал эмиссионной плазмы, затрудняет восприятие диссертационного материала.

7. Из представленного списка основных публикаций по теме диссертационной работы, входящих в перечень ВАК, следует исключить статьи в журнале «Известия ВУЗов. Физика» выпуски с дробной чертой (автореферат, номера в списке публикаций по теме диссертации 6,11,12,13), поскольку эти выпуски не переводились и являются трудами конференций.

Сформулированные замечания носят редакционно-рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

В заключение следует отметить, что диссертационная работа Каменецких А.С. «Генерация плазмы и синтез покрытий с интенсивным ионным сопровождением в газоразрядных системах с плазменным и самонакаливаемым катодами» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения в области техники и технологии пучково-плазменной модификации материалов, а также синтеза покрытий, перспективных для широкого практического использования. Представленная диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, а ее автор, Каменецких Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.13. - электрофизика, электрофизические установки.

Доктор технических наук, профессор



Е.М. Окс

Окс Ефим Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией плазменной электроники/заведующий кафедрой физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.

E-mail: oks@fet.tusur.ru, тел: (3822) - 414712

Подпись руки Окса Ефима Михайловича удостоверяю:

Секретарь Ученого совета ТУСУР




Е.Е. Прокопчук