

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель директора по научной работе  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института физического  
материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИФМ СО РАН),

Д.Т.Н.

Т.Н.Чимитдоржиев



## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертацию КРЫСИНОЙ Ольги Васильевны «Генерация газометаллической плазмы в дуговых разрядах низкого давления для синтеза многокомпонентных нанокристаллических защитных покрытий», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Изучение диссертации и публикаций в рецензируемых научных журналах подтверждает, что диссертация является научно-квалификационной работой. В полной мере соответствует требованиям, установленным действующим постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 "О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней».

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Предложенные автором диссертации решения строго аргументированы и оценены по сравнению с известными техническими решениями. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Диссертацию О.В.Крысиной можно признать научным трудом, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития Российской Федерации. В частности, физико-технические решения задачи генерации газометаллической плазмы в дуговых разрядах

низкого давления, получения сверхтвердых покрытий с нанокристаллической структурой и комплексного исследования структурно-фазовых, физико-механических и эксплуатационных характеристик композитных нитридных защитных покрытий. Кроме того, характер результатов диссертации имеет значение важное для развития критических технологий Российской Федерации, в частности, «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов».

Диссертационная работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №14-29-00091.

Актуальность избранной темы обуславливается неослабевающим интересом исследователей к изучению физических процессов происходящих в межэлектродном пространстве вакуумной дуги и определяющих характер протекания плазмохимических реакций на подложке, свойства, химический состав и структуру осаждаемых покрытий. Притом, представляет важный научный и практический интерес понимание процессов испарения материала катода катодными пятнами вакуумной дуги, транспортировки продуктов эрозии (ионы, пары, кластеры) от катода до подложки, состава и параметров генерируемой дуговыми разрядами газометаллической плазмы, конденсации покрытий на подложке и свойств синтезируемых покрытий.

К началу выполнения настоящей работы оставались недостаточно изученными особенности генерации газометаллической плазмы при испарении спеченных композиционных катодов и синтеза нанокристаллических защитных композитных нитридных покрытий в условиях влияния газоразрядной азотной плазмы вспомогательного дугового разряда на свойства покрытий. Целесообразность исследований подтверждается обстоятельным критическим анализом реальной ситуации, сложившейся в последнее время при нанесении защитных, упрочняющих и износостойких покрытий на режущий инструмент, детали, узлы и агрегаты технологического оборудования и изделия машиностроения.

Диссертация О.В.Крысиной, строго соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам, направляемым в печать, содержит совокупность новых результатов и научных положений, обоснованность и достоверность которых сомнений не вызывает.

К наиболее значимым относятся:

Доказательство идентичности характеристик катодного пятна (средний ток, скорость перемещения по поверхности катода, коэффициент ионной эрозии) при использовании в электродуговом испарителе композитного катода Ti–Cu с содержанием Cu ≤ 12 ат.% в сравнении с титановым катодом. Синтез сверхтвердых композитных покрытий с нанокристаллической структурой при одинаковых токах дугового разряда и эксплуатационно-технических параметрах (ресурс, скорость роста покрытий, доля капельной фракции) близких к испарителю с титановым катодом.

Утверждение, что изменение тока вспомогательного дугового разряда обеспечивает регулирование доли ионов атомарного азота в

газометаллической плазме, и как следствие, управление элементным составом и структурным состоянием покрытий.

Установление особенностей формирования композитных нанокристаллических TiN–Cu покрытий электродуговым испарением композитных катодов в азотной плазме вспомогательного дугового разряда с накаленным и полым катодами с совокупностью свойств перспективных для промышленного использования: сверхтвердостью  $\geq 45$  ГПа, коэффициентом трения  $\sim 2 \cdot 10^{-1}$ , износостойкостью  $< 3000$  мкм<sup>3</sup>/Н·м, степенью упругого восстановления  $> 50\%$ , адгезионной прочностью к металлической и твердосплавной подложке  $> 30$  Н, термической стабильностью до 1373 К и стойкостью к окислению до 1073 К.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается систематическим характером исследований, применением независимых экспериментальных методик, сопоставлением эксперимента и расчета, сравнением полученных результатов с уже признанными результатами других исследователей, созданием и модифицированием конструкции ионно-плазменной установки.

Значима практическая ценность работы. Предложенные О.В.Крысиной технологические процессы формирования композитных защитных нанокристаллических покрытий TiN–Cu при относительно низких рабочих давлениях  $\sim 0,1$  Па, строго аргументированы и критически оценены по сравнению с известными принципиальными техническими решениями. Проведена компоновка генератора газометаллической плазмы с дуговым испарителем и генератора азотной плазмы с вспомогательным дуговым разрядом с накаленным и полым катодами в промышленные установки с  $\geq 0,1$  м<sup>3</sup> вакуумными объемами. При этом, как свидетельствуют прилагаемые акты, результаты исследований использованы в ООО «Пучково-плазменные технологии» (Томск), Shenyang Jinfeend Special Cutting Tools Co., Ltd. (Shenyang, China), ООО «ПРОЕКТ-Р» (Новосибирск).

Наряду с достаточной научной обоснованностью технических разработок, обеспечивающих решение важной прикладной задачи: повышения эффективности процессов генерации металлической и газометаллической плазмы при испарении катодов моно- и полиэлементного состава в дуговых разрядах низкого давления, создания композитных нанокристаллических защитных покрытий TiN–Cu и исследование их структурно-фазовых, физико-механических и эксплуатационных характеристик, - в диссертации обнаруживаются следующие замечания:

- введение и глава 1 (критический анализ) с вытекающей постановкой задач исследования в объеме диссертации чрезмерно перегружен, занимают 65 страниц, что составляет 40%;
- требует пояснения утверждение о 100% степени ионизации паров в вакуумно-дуговом разряде (с. 4, абзац 4), так как синтез нитрид титана протекает не в объеме, а на подложке в последовательности химических превращений пары Ti – атомарный азот N;
- неубедительно выглядит «...нанокристаллические Ti-Cu-N

покрытия...», скорее правильно писать TiN-Cu (с. 160, раздел «заключение» п. 4);

- в автореферате указано, «...включая... 1 монографию, 1 главу в монографии...» (с. 6, раздел «публикации»), однако библиографические ссылки на монографию и главу в монографии отсутствуют (с. 18-19, раздел «основные публикации по теме диссертации»);

- вряд ли целесообразно Оже-спектроскопией анализировать элементный состав покрытия TiN (с. 116, рис. 3.27), ведь Оже-спектры покрытий TiN доступны широко в научных публикациях;

- вывод о том, что титан и азот не образуют соединений с медью (с. 140, абзац 2) – общезвестен;

- принципиальные технические решения (новые способы) не защищены патентами.

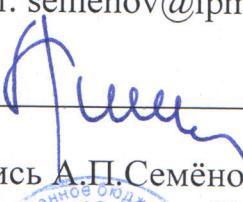
Несмотря на отмеченные замечания. Принимая во внимание наукометрические показатели О.В.Крысиной (российский индекс научного цитирования – 104, научную продуктивность ученого, индекс Хирша – 5), высокий научный уровень 32 печатных работ по теме диссертации, причем 8 статей опубликовано в рецензируемых журналах с импакт-фактором 0,276-0,944. Апробацию результатов диссертации на 17 представительных научных форумах, в том числе 9 международных. Достаточную степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и выдвигаемых автором для публичной защиты, их достоверность и новизну. Предложенные автором новые принципиальные технические решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными решениями. Считаю, что КРЫСИНА Ольга Васильевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН), доктор технических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника, профессор по специальности 01.04.04 - физическая электроника,

Семенов Александр Петрович.

670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6,  
телефон: 8(3012)433184,

e-mail: semenov@ipms.bscnet.ru



А.П.Семенов

подпись А.П.Семёнова удостоверяю  
Ученый секретарь ИФМ СО РАН, к.ф.-м.н.

Е.В.Батуева

" 06 " сентября 2016 г.

