

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Антонова Александра Сергеевича

«Изучение морфологических и электрических характеристик металлических нанопокрытий на диэлектрических подложках методом сканирующей тунNELьной микроскопии»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации обусловлена активным освоением современной наукой и технологиями наномасштабного диапазона размеров объектов. Диссертация А.С. Антонова вносит определенный вклад в понимание и обоснование методик исследования поверхностей с помощью сканирующей тунNELьной микроскопии (СТМ) и обработки полученной информации, поэтому считаю работу актуальной.

Краткий анализ содержания диссертации с точки зрения требований «Положения о присуждении ученых степеней».

Структура диссертации традиционна. Она состоит из введения, трех глав, основных результатов и выводов и списка цитированной литературы. Изложена на 198 стр., содержит 72 рисунка и пять таблиц. Список цитированной литературы составляет 255 наименований.

В введении обосновывается актуальность диссертации, формулируется цель и задачи исследования, формулируется научная новизна и значимость результатов работы, их обоснованность и достоверность в оценке автора, приводятся другие формальные сведения о диссертации. Приводятся также ссылки на гранты РФФИ и Министерства науки и образования РФ, в выполнении которых участвовал автор, что является косвенным подтверждением актуальности темы диссертации, поскольку актуальность является одним из критериев оценки заявки в конкурсной процедуре получения финансирования из указанных источников.

Цель и задачи исследования сформулированы корректно и охватывают основные научные и практические результаты диссертации.

Первая глава содержит анализ современного состояния исследований по тематике диссертации, обширный по объему (ровно $\frac{1}{4}$ диссертации) но не всегда критический. Иногда не понятно, для чего цитируется та или иная публикация – как отправная точка для дальнейших исследований, как подтверждение результатов исследований автора или с целью критики положений цитируемой работы. Тем не менее, в результате обзора автор констатирует необходимость дополнительных исследований взаимодействия зонда с образцом в СТМ, а также дополнительных исследований влияния технологических параметров получения покрытий на их структуру. Отсюда вытекают задачи исследования.

Вторая глава посвящена исследованию взаимодействия зонда с поверхностью образца в СТМ, в частности, оценке влияния теплового расширения на величину тунNELьного зазора. Более того, показана возможность смыкания его, в чем, на наш взгляд, состоит один из основных важных научных и практических результатов диссертации.

Однако начинается глава опять-таки с обзора основных методик тунNELьной микроскопии и изготовления зондов: еще 15 обзорных страниц. Приводится во многом известная информация, которая без ущерба могла быть заменена ссылками на соответствующие литературные методики.

Результаты моделирования зонда с поверхностью образца наглядно (рис. 30 – 33) показывают возможность смыкания тунNELьного промежутка и возможность массопереноса с зонда на исследуемую поверхность. Это, естественно, недопустимо для штатного функционирования СТМ, но, как отмечает автор, такая ситуация может иметь и положительные стороны для модификации поверхности с помощью СТМ.

По материалам данной главы имеются два основных замечания. Первое касается недостаточно убедительной аргументации необходимости использования именно потенциала Гупта для моделирования взаимодействия зонд – образец. Математическое выражение

потенциала содержит 5 констант, методика определения которых и соответствующие погрешности не поясняются. Необходимых справочных данных явно недостаточно, поэтому автор вынужден был при моделировании заменить реальный вольфрамовый зонд на медный. Адекватность такой замены также не обсуждается. Не может ли такая замена свести на нет все преимущества данного потенциала, если таковые имеются? Очевидно, следовало бы рассмотреть и другие варианты описания взаимодействия зонда с поверхностью образца. Или альтернатив нет? Тогда это надо обосновать.

Второе. Блок-схема и алгоритм МК-моделирования на рис. 29 иллюстрируют скорее взаимодействие вычислительных средств, а не логику моделирования. Непосредственно алгоритм моделирования состоит из двух пунктов на стр. 96 и еще нескольких строк на стр. 99, которых недостаточно, чтобы представить логику функционирования модели.

Третья глава посвящена исследованию морфологии покрытий золото, серебро и хром на слюде, в том числе фрактального характера покрытий. Получены гистограммы распределения пиков на поверхности покрытий. Определены фрактальные размерности профиля D_L и поверхности D_f (обозначения автора). Получен интересный результат, заключающийся в том, что сами величины фрактальной размерности являются случайными числами, изменяющимися практически в пределах возможных диапазонов: $1 \leq D_L \leq 2$; $2 \leq D_f \leq 3$. Автор приводит полученные им соответствующие распределения величин фрактальных размерностей.

Результаты исследования морфологии поверхностей покрытий, полученные с помощью СТМ, проверены и подтверждены альтернативными исследованиями по методике атомной силовой микроскопии (АСМ) в НИТУ «МИСиС». Это вселяет уверенность в достоверности полученных результатов, так как фрактальные размерности поверхностей и профилей покрытий, полученные двумя различными методами, совпадают в пределах погрешности результата.

В этой же главе приведены результаты исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) туннельного контакта зонд-образец. Получен важный результат, свидетельствующий об изменении ВАХ с увеличением продолжительности эксперимента. Автор объясняет это термическим расширение зонда и возможным массопереносом с поверхности зонда на исследуемое покрытие, что вытекает из результатов моделирования, описанных во второй главе.

Однако здесь возникает логическая неувязка. Термическое расширение зонда должно привести к уменьшению величины зазора между зондом и поверхностью и, как следствие, к увеличению туннельного тока. По результатам же экспериментов туннельный ток уменьшается с увеличением продолжительности эксперимента (рис. 63, 69, 70, 72). Это противоречие никак не комментируется в диссертации.

При анализе ВАХ туннельного контакта W-Ag отмечено наличие запрещенной зоны, что автор связывает с присутствием оксидной пленки на поверхности серебра. В таком случае в контакте W-Cr тем более следует ожидать подобного эффекта, но его нет. Почему?

Обращает на себя внимание еще один результат, никак не прокомментированный автором, касающийся соотношения фрактальных размерностей профиля и поверхности одного и того же покрытия. Например, на рис. 57 фрактальная размерность профиля покрытия золото на слюде $D_L = 1,89$ и $D_L = 1,85$ (СТМ и АСМ соответственно), тогда как фрактальные размерности поверхности $D_f = 2,08$ и $D_f = 2,11$ (СТМ и АСМ соответственно). То есть слегка фрактальная поверхность имеет сильно фрактальный профиль. То же касается покрытия серебро на слюде (рис. 58). Результат явно нуждается в комментариях, но их нет.

Общая оценка работы.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность результатов обоснована применением различных по физическим принципам методик и оборудования (СТМ и АСМ) с хорошей сходимостью. В частных

случаях результаты диссертации согласуются с известными из литературы экспериментальными и теоретическими результатами других исследователей.

Научная общественность имела все возможности ознакомиться с результатами соискателя и оценить их на 20 российских и международных научных конференциях и симпозиумах и в 21 публикации, из которых 9 в научных журналах из перечня ВАК.

Наиболее существенные новые научные результаты, полученные автором, на наш взгляд, следующие:

1. Обоснование необходимости учета теплового расширения зонда СТМ под действием джоулева тепла и эффекта Ноттингема. Результаты моделирования взаимодействия зонд-образец позволяют исключить электрический контакт зонда с поверхностью исследуемого образца в самом неблагоприятном случае и избежать искажения результатов эксперимента вследствие влияния теплового расширения на ВАХ туннельного контакта в штатном режиме работы СТМ.

2. Определение факторов, влияющих на морфологию проводящих покрытий на диэлектрических образцах для исследования последних с помощью СТМ, что дает возможность, во-первых, получения покрытий с заданной микро- иnanoструктурой и, во-вторых, обеспечить сохранность информации о морфологии исследуемой поверхности диэлектрика.

Перечисленные результаты имеют как теоретическую, так и практическую значимость.

Общие замечания по работе.

Помимо приведенных выше при анализе содержания диссертации конкретных замечаний и вопросов имеется также ряд замечаний общего характера.

1. Автор не всегда приводит расшифровку используемых обозначений и не всегда указывает размерность используемых величин. Это относится, например, к таблице 1, содержащей параметры вышеупомянутого потенциала Гупта. В частности, непонятно, что собой представляют параметры p и q , названными в диссертации упругими постоянными кристаллической структуры. Очевидно, что это не те упругие постоянные, которые традиционно в физике твердого тела понимаются под этим термином, которые имеют размерность и коих в общем случае 21. Тогда что это?

То же относится к величине N на рис. 34. По-видимому, это число частиц в кластере, но об этом можно только догадываться.

2. Автор иногда делает излишне категорические и недостаточно доказательные утверждения и выводы. Так, в разделе «Основные результаты и выводы» на стр. 167 автор утверждает, что в образцах хром на стекле не образуются фрактальные структуры. На наш взгляд, можно говорить лишь о том, что автору не удалось их обнаружить.

Обсуждая гистограммы распределения высот пиков на поверхности образцов (рис. 44,50), автор делает вывод о том, что «поверхность однородна, типа плато» (цит.). Что под этим подразумевается? Если высоты всех пиков одинаковы или почти одинаковы, то гистограмма имела бы вид дельта-функции или стремилась бы к ней. Если пики равномерно распределены по высоте, гистограмма имела бы вид прямоугольника или стремилась к нему.

Диапазон высот $-0,4 \div 0,4$ нм, в котором, по мнению автора, находится большинство пиков, выбран без всякого обоснования.

Заключение. Считаю, что диссертация Антонова Александра Сергеевича представляет собой научно-квалификационную работу, результаты которой способствуют более глубокому пониманию и обоснованию такого метода исследования поверхностей твердых тел, как сканирующая тунNELьная микроскопия и интерпретации получаемых с его помощью результатов, что повышает их достоверность. Результаты диссертации А.С. Антонова могут рассматриваться как вклад в развитие таких наук, как физика поверхности и физика конденсированного состояния.

Диссертация содержит все необходимые признаки, предусмотренные п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», выполнена на высоком научном уровне, содержит новые научные результаты и имеет практическую значимость, тем самым она соответствует

требованиям этого положения, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и позволяет составить адекватное представление о выполненных исследованиях и их результатах.

Официальный оппонент:

профессор кафедры прикладной физики
ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет,
доктор технических наук, профессор

Измайлова Владимир Васильевич

170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина ~~6~~, 22, ТвГТУ
Тел. (4822)78-88-80, email: iz2v@tvcom.ru

06.03.18