

## ОТЗЫВ

официального оппонента Пятакова Александра Павловича на диссертационную работу Томилина Сергея Владимировича «Влияние размерных эффектов на свойства электронной подсистемы металлических островковых плёнок», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Диссертация Томилина С.В. посвящена разработке технологии синтеза металлических островковых пленок, исследованию механизмов их формирования, изучению транспортных и оптических свойств электронной подсистемы в таких пленках.

**Актуальность** проведенных исследований несомненна, поскольку развитие физики конденсированного состояния вещества, сканирующих методов исследования поверхностей, а также полупроводниковых технологий вывело исследования на уровень наноразмерных структур, к которым не применимы традиционные подходы, выработанные при работе с макроскопическими объектами. Островковые пленки металлов на полупроводниковых подложках, изучаемые в диссертации имеют большое **практическое значение** для применений в электронике, оптике и сенсорной технике. Важной проблемой является разработка технологий нанесения пленок металлов с учетом всех возможных механизмов взаимодействия пленка – подложка. Диссертационная работа С.В. Томилина как раз отвечает этим потребностям – она предлагает **новый** технологический подход к выращиванию островковых пленок, представляет большой объем экспериментальных результатов по электрофизическим и оптическим свойствам таких систем, а также содержит теоретический анализ механизмов проводимости в сверхтонких и наноостровковых пленках.

Диссертация изложена на 177 страницах текста, содержит 73 рисунка и 9 таблиц. Диссертация содержит следующие части: введение, литературный обзор по теме исследования (Глава 1), четыре оригинальные главы, которые посвящены разработанным автором методам и основным результатам работы, выводы и список использованных источников из 142 наименований.

Во **введении** излагаются цели и задачи работы.

В **первой главе** традиционно содержится обзор литературы по теме диссертации. Проведен подробный анализ современных исследований по следующим направлениям:

-методики выращивания островковых и сверхтонких пленок путем осаждения из газовой фазы;

-проводимость наноостровковых пленок и ее механизмы: прыжковая и активационная;

-поверхностные плазмон-поляритоны и плазмонный резонанс в тонких пленках и наночастицах.

Во **второй главе** диссертации описаны оригинальные экспериментальные методики получения островковых пленок, а именно:

-Методы напыления островковых пленок. Описан созданный автором метод тонкой заслонки, позволяющий создавать надежное островковое покрытие.

-Методы контроля толщины пленки и исследования морфологии поверхности.

-Методы исследования электрофизических свойств пленок. Созданы оригинальные комплектующие для снятия вольт-амперных характеристик образцов в воздухе и в вакууме.

-методы исследования оптических свойств и плазмонного резонанса.

В **третьей главе** диссертационной работы представлены результаты исследования механизмов диффузии по поверхности, приводящих к образованию островков. Проанализирована теоретическая модель диффузии, при этом результаты моделирования и экспериментов совпадают в пределах погрешности. Проведены исследования морфологии поверхности пленок. Исследован механизм создания наноостровковой структуры в процессе роста пленок методом тонкой заслонки, разработанным автором диссертации.

**Четвертая глава** посвящена исследованию электрофизических свойств тонких наноостровковых пленок. Измерены вольт-амперные характеристики пленок различной толщины при различных временах отжига, температурные зависимости проводимости для пленок различной толщины и различного состава. Интересным эффектом является обнаруженный автором температурный гистерезис проводимости, подробно исследованы механизмы этого эффекта, как экспериментально, так и теоретически.

**Пятая глава** посвящена исследованию оптических и плазмонных свойств островковых пленок. Напылены пленки золота различной толщины на различных подложках, обнаружен и исследован плазмонный резонанс, и изменение его

характеристик в зависимости от эффективной толщины пленок. Подробно описаны условия реализации дипольного и квадрупольного резонанса в пленках, их интенсивность и добротность, и связь с эффективной толщиной и диаметром островков. Показано, что добротность плазмонных мод резко уменьшается при переходе к островковой структуре. Обнаружена дополнительная плазмонная мода в нанокompозитной пленке иттриевого феррит-граната с золотом на подложке гадолиний-галлиевого граната.

В **заключении** представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа представляет собой завершенное и целостное научное исследование, созданные в рамках работы экспериментальные методики, установки, а также теоретические модели будут в дальнейшем успешно применены для дальнейших исследований в данной области. Научные результаты, полученные автором, обладают достоверностью и новизной, представляют большой интерес и будут полезны для развития нанотехнологий в России.

Кроме высокой научной значимости результатов, полученных в диссертационной работе, к ее достоинствам можно отнести ясность и четкость изложения материала, глубину анализа результатов, как эксперименты, так и теоретические модели описаны подробно и доступно, аккуратно выполнены оригинальные рисунки и чертежи экспериментальных установок.

При общей высокой оценке диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

- 1) Пятая глава выделяется на фоне остальных феноменологическим характером описания плазмонных свойств. Хотелось бы пожелать здесь такой же глубины теоретического анализа экспериментальных данных как в четвертой главе, посвященной электрофизическим свойствам.
- 2) На рис.1.7 (график) приведены цифры, но не указано, к какому конкретно веществу они относятся. В электронвольтах измеряется не частота, а энергия, между тем на данном графике именно частота. Попадаются также рисунки низкого качества (напр.1.2, 1.8), взятые из литературных источников;
- 3) На с. 67 , перед формулой 3 предложение не закончено и не соответствует

содержанию формулы: «несложно показать, что такая температура» и далее следует выражение для изменения температуры  $\Delta T$ .

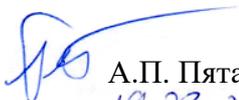
- 4) На стр.122 – «гиперболическое уравнение» не совсем точный термин для описываемого случая, корректнее сказать «обратная пропорциональность».
- 5) Присутствует небольшое количество опечаток и ошибок в пунктуации: на с. 29 «зависимоти», с.50 «накрывлась», с. 91 «обоазцы», с. 99 «повышение напряжение», с. 127 «Кардана» вместо «Кардано».

Приведенные замечания в основном носят рекомендательный или редакционный характер и не умаляют общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Результаты работы докладывались на научных конференциях (14 докладов), а также представлены в статьях, опубликованных в рецензируемых журналах (9 статей). Также автором зарегистрированы 3 патента на изобретения и полезные модели. Текст автореферата и диссертации хорошо отражает основное содержание и выводы работы.

Таким образом, можно заключить, что диссертационная работа Томилина Сергея Владимировича по актуальности, новизне, научному уровню и практической значимости полностью соответствует специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, и удовлетворяет всем критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней. Автор работы, Томилин Сергей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Профессор кафедры физики колебаний  
физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук,  
профессор РАН

  
А.П. Пятаков  
19.03.2018

г. Москва, Ленинские горы, д.1, строение 2, физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, тел. +7 (495)939-41-38, e-mail: pyatakov@physics.msu.ru

Декан физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



  
Н.Н. Сысоев