

ОТЗЫВ

оппонента Барышева Александра Валериевича на диссертационную работу Томилиной Ольги Андреевны на тему «Влияние прямого и обратного перколяционного перехода на свойства металлических сверхтонких плёнок», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния

Диссертация Томилиной О.А. посвящена исследованию влияния прямого и обратного перколяционного перехода в металлических сверхтонких плёнках на их структурно-фазовые, электропроводящие, оптические, плазмонные и каталитические свойства.

Актуальность проведенных исследований несомненна, поскольку тонкоплёночные материалы и структуры находят всё более широкое применение в планарных технологиях микроэлектроники, устройствах плазмонной и магнитоплазмонной сенсорики, для создания управляющих элементов волоконно-оптических линий связи, оптических системах, устройствах фотовольтаики, фотоники, спинтроники и т.д. При этом изменение структуры металлических нанопокровов от островковой к сплошной и наоборот (перколяционный переход) существенно влияет на электрофизические, оптические и другие свойства данного покрытия. Диссертационная работа Томилиной О.А. благодаря оригинальным технологическим подходам синтеза и исследования градиентных пленок на всех стадиях перколяционного перехода демонстрирует систематические сравнительные результаты динамики постадийного изменения структурных, электропроводящих, оптических, плазмонных и каталитических свойств металлических плёнок как при прямом, так и при обратном перколяционных переходах, а также содержит теоретический анализ механизмов проводимости в дискретных nanoостровковых пленках ниже порога перколяции.

Диссертация изложена на 136 страницах текста, содержит 60 рисунков и 2 таблицы. Диссертация состоит из вступления, пяти глав, выводов и списка цитируемой литературы из 125 наименований. Глава 1 содержит литературный обзор по теме исследования, в главе 2 описаны применённые экспериментальные методы и методики, главы 3–5 посвящены описанию основных результатов исследования.

Во **введении** обосновывается актуальность темы, выбор направления и методов исследований, формулируются цели и задачи диссертационной работы, отображаются защищаемые положения, научная новизна и практическое значение полученных результатов, приводится информация о личном вкладе соискателя и апробации работы.

Первая глава традиционно содержит обзор литературы по теме диссертации. Проведен подробный анализ современных исследований по следующим направлениям:

- методики синтеза островковых и сверхтонких пленок путем осаждения из газовой фазы;
- проводимость nanoостровковых пленок в окрестности порога перколяции и ее механизмы;
- поверхностные плазмон-поляритоны и плазмонный резонанс в тонких пленках и наночастицах;
- физические методы релаксационного и ростового катализа на металлических наночастицах.

Во **второй главе** диссертации описаны экспериментальные методы и методики получения сверхтонких и nanoостровковых металлических покрытий на подложках

различного типа, а также приведено описание оборудования для практической реализации описанных методов. В этой же главе приводится описание экспериментального оборудования и методик проведения лабораторных исследований структурных, электрофизических, оптических, плазмонных и каталитических свойств полученных образцов сверхтонких и наноостровковых металлических плёнок, приводится описание устройства и принципа работы изготовленного оригинального оборудования.

В третьей главе диссертационной работы представлены результаты исследования особенностей изменения структуры сверхтонких металлических плёнок при прямом и обратном перколяционном переходе. На примере градиентной плёнки золота на диэлектрической подложке монокристаллического гадолиний-галлиевого граната методом растровой электронной микроскопии исследована динамика прямого перколяционного перехода на всех его стадиях. На примере однородных плёнок золота исследована временная и температурная динамика обратного перколяционного перехода при термической грануляции сплошной плёнки. Методом атомно-силовой микроскопии исследована пространственная форма металлических наноостровков ниже порога перколяции при прямой и обратной перколяции.

Четвертая глава посвящена исследованию электрофизических, оптических и плазмонных свойств тонких металлических пленок при прямом и обратном перколяционных переходах. В частности, определены пороговые значения поверхностной концентрации металлической компоненты при прямой перколяции и значения энергии активации проводимости в островковой плёнке при обратной перколяции. Предложена модель активационной проводимости островковых плёнок ниже порога перколяции с учётом квантовых эффектов и реальной формы потенциального барьера, образованного двумя кулоновскими потенциалами зеркального изображения. Показано, что перколяционный переход можно исследовать по изменению оптического поглощения в тонких плёнках с резонансного плазмонного на объёмное или по изменению коэффициента экстинкции вне плазмонного резонанса. Также показано, что при перколяционном переходе изменяются условия возбуждения плазмонного резонанса в тонких металлических плёнках. Ниже порога перколяции возбуждаются локализованные плазмонные моды в наночастицах, а выше порога перколяции возбуждаются поверхностные бегущие плазмонные волны.

Пятая глава диссертации посвящена исследованию влияния размерных эффектов на каталитические свойства сверхтонких металлических плёнок в окрестности порога перколяции. Исследовались особенности физических методов катализа, а именно релаксационного гетерогенного катализа реакции рекомбинации атомарного водорода на плёнках Pt и Pd и ростового катализа синтеза углеродных нанотрубок на плёнках Ni. В частности, приведены результаты исследования влияния размера наночастиц Ni-катализатора на размерные параметры углеродных нанотрубок (УНТ), синтезированных методом каталитического пиролиза углеводорода (этанола).

Показано, что существует корреляция между размерами каталитических наночастиц Ni и диаметром синтезированных углеродных нанотрубок. В зависимости от размера частиц катализатора наблюдаются три размерных диапазона синтеза углеродных нанотрубок: когда диаметр нанотрубок примерно равен диаметру катализатора, существенно меньше диаметра катализатора и, когда диаметр нанотрубок не зависит от диаметра катализатора.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа представляет собой завершённое и целостное научное исследование, созданные в рамках работы экспериментальные методики, установки, а также теоретические модели будут в дальнейшем успешно применены для научных исследований в данной области. Достоверность и новизна научных результатов, полученных автором, не вызывает сомнений. Сами результаты представляют интерес и будут полезны для дальнейшего развития технологии осаждения тонких плёнок и их практического применения в России.

Кроме высокой научной значимости результатов, полученных в диссертационной работе, к ее достоинствам можно отнести ясность и четкость изложения материала, глубину анализа результатов. Экспериментальные методы, методики и результаты, а также 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) Раздел 3.2: при обсуждении обратного перколяционного перехода нет данных о скорости нагрева плёнок, упомянуты только температуры. Какие использовались режимы отжига?
- 2) Изменения структурных свойств наноплёнок, автор интерпретирует как (геометрический) фазовый переход второго рода, на основании излома, например, зависимости размера островков от времени ТАГ, рис. 3.76. Однако, начальный участок данной зависимости определяется как прямая, проведенная между двумя точками без указания доверительного интервала. Корректно ли в данном конкретном случае употребление терминологии фазовых переходов?
- 3) Рис. 3.14: Насколько профиль наночастицы, сканируемый кантилевером, соответствует реальной форме наночастицы? Учитывая, что золото имеет малую адгезию к кварцу, возможно ли предположить, что наночастица - это не полусфера (цитирую, "полуэллипс, блин"), а, в общем случае, эллипс, подобный капле воды на гидрофобной поверхности?
- 4) Что известно про титан имеет ли материал хорошую адгезию к оксиду кремния и какова структура наночастиц при обратном перколяционном переходе?
- 5) На странице 96 приведена формула для (коэффициента) экстинкции, характеризующей по определению ослабление пучка света при его распространении в веществе за счёт поглощения и рассеяния, в которой отсутствует коэффициент отражения. Почему выбран такой вид представления? Измерялись ли коэффициенты зеркального и диффузного отражения?
- 6) Рисунок 4.12 и обсуждение: Минимумы в спектрах соответствующие двум крайним толщинам плёнки с прямым перколяционным переходом явно не прослеживаются на рис. 4.12. Каким образом они были определены?
- 7) Что является причиной повышения добротности полосы поглощения при обратном перколяционном переходе и малых спектральных смещениях этой полосы по сравнению со случаем прямого перехода?
- 8) В параграфе 4.6 нет информации о длине волны возбуждающего излучения, какова она?
- 9) Страница 100: "Схеме Кретчмана" ... или Кречманна?
- 10) Раздел 5.2: Обсуждается рост на затравочной поверхности из наночастиц никеля полученных ТАГ в вакууме.
- 11) Известно, что поверхность кремния покрыта нативным слоем оксида кремния.

Возможно ли образование наночастиц оксида никеля, а не никеля, и соответствующего силицида при длительном процессе ТАГ?

Диссертационная работа выполнена на высоком уровне, а приведенные замечания в основном носят рекомендательный или редакционный характер.

Результаты работы докладывались на многочисленных научных конференциях (9 тезисов докладов и 7 статей в сборниках трудов), а также представлены в статьях, опубликованных в рецензируемых журналах (9 статей). Также автором получено авторское свидетельство на результат интеллектуальной деятельности в виде ноу-хау. Текст автореферата и диссертации хорошо отражает основное содержание, защищаемые положения и выводы работы.


Таким образом, можно заключить, что диссертационная работа Томилиной Ольги Андреевны по актуальности, новизне, научному уровню и практической значимости полностью соответствует специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния, и удовлетворяет всем критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней. Автор работы, Томилина Ольга Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Оппонент:

Начальник оптической лаборатории ФГУП «ВНИИА»

доктор физико-математических наук

Александр Валерьевич Барышев

« 01 » декабря 2022 г. 
подпись

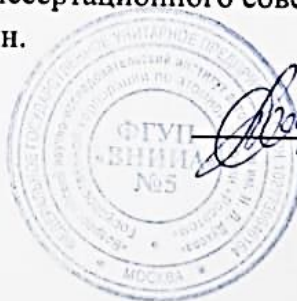
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»,

127030, Москва, ул. Сущевская, д. 22, тел.: +7 (917) 563-88-99, e-mail: baryshev@vniia.ru

Подпись Барышева А.В. заверяю

Учёный секретарь специализированного диссертационного совета

на базе ФГУП «ВНИИА» Д 74.1.002.02, к.т.н.



 Л.В. Феоктистова