

Отзыв на диссертацию

Колосовского Данила Антоновича «Влияние газодинамики разлета продуктов лазерной абляции на процесс осаждения и свойства проводящих покрытий» представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Колосовского Д.А. посвящена исследованию процессов, определяющих формирование тонких и сверхтонких проводящих покрытий при наносекундном лазерном осаждении, с особым вниманием к роли газодинамики разлёта продуктов лазерной абляции. Работа относится к актуальному направлению современной физики разреженных газов, плазмы и функциональных материалов.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью разработки технологий формирования прозрачных и полупрозрачных проводящих покрытий, востребованных в оптоэлектронике, сенсорике и микроэлектронных устройствах. Особый интерес представляют сверхтонкие (< 10 нм) металлические пленки, способные сочетать высокую электропроводность и оптическую прозрачность. Вместе с тем их получение на несмачивающихся подложках связано с фундаментальными ограничениями, обусловленными островковым механизмом роста металла. Рассмотрение данной проблемы с позиций анализа газодинамического разлёта продуктов лазерной абляции является научно обоснованным и позволяет по новому подойти к управлению процессами осаждения.

В диссертации использован комплексный подход, включающий экспериментальные исследования и численное моделирование. Эксперименты выполнены с использованием установок наносекундного лазерного осаждения, а для анализа образцов применен широкий набор измерительных методов. Существенное внимание уделено моделированию динамики разлета продуктов абляции методом прямого статистического моделирования, что позволяет исследовать кинетику переноса частиц в лазерном факеле.

В рамках работы были поставлены и решены следующие задачи:

- исследование динамики разлета продуктов лазерной абляции в вакууме и в разреженном фоновом газе при варьировании давления, расстояния мишень–подложка и площади лазерного пятна;
- установление взаимосвязи между параметрами газодинамического разлета и морфологией, а также электрооптическими свойствами формируемых покрытий;
- разработка физического механизма формирования сверхтонких пленок золота;
- получение проводящих тонких и сверхтонких пленок золота на несмачивающихся подложках.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- показано, что морфология и проводящие свойства сверхтонких металлических пленок определяются параметрами газодинамического переноса частиц;
- предложен параметр, характеризующий соотношение кинетической энергии осаждаемых частиц и их потока, и установлена его связь с порогом перколяции пленки;
- выявлена немонотонная зависимость характеристик пленок от давления фонового газа, связанная с переходом между различными режимами разлета лазерного факела;

- установлено влияние геометрии лазерного воздействия (в частности, площади пятна) на параметры газодинамического потока и структуру покрытия;
- предложен механизм формирования сверхтонких пленок, учитывающий конкуренцию процессов коалесценции и роста островков;
- продемонстрирована возможность получения проводящих пленок золота толщиной порядка нескольких нанометров без применения адгезионных подслоев.

Следует отметить, что предложенная интерпретация результатов с позиций газодинамики является содержательной и позволяет связать параметры разлета частиц с наблюдаемыми морфологическими переходами в пленках.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных результатов при разработке прозрачных электродов, нагревательных элементов и чувствительных элементов датчиков. Экспериментальная реализация соответствующих макетов подтверждает прикладной потенциал выполненных исследований.

Достоверность результатов обеспечивается использованием современных методов экспериментальной диагностики, воспроизводимостью полученных данных, а также согласованием результатов моделирования с экспериментальными наблюдениями и литературными данными.

В диссертации представлен достаточно полный обзор литературы, позволяющий определить место работы в ряду современных исследований.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 129 страницах, содержит иллюстративный материал и обширный список источников. Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях и апробированы на научных конференциях.

Замечания по работе:

1) Экспериментальные исследования по осаждению пленок золота выполнены на ограниченном наборе подложек, кремний и кварц. Представляет интерес вопрос о переносимости полученных результатов на другие типы подложек.

2) В работе рассматривается влияние параметра E_k/J на процесс перколяции. Однако влияет ли данный параметр на свойства плёнок при толщинах, превышающих порог перколяции?

3) В Главе 3 ("Полученные данные качественно согласуются с представлениями о росте сопротивления тонких металлических плёнок при доминировании рассеяния носителей на границах, описываемом моделью Фукса–Зондгеймера") не приведена формула известной модели зависимости удельного сопротивления от толщины и не показано сравнения зависимостей экспериментальных данных с аналитической кривой. Подобное сравнение было бы полезно провести: с аппроксимацией и нахождением параметра (ρ) в модели.

4) замечания по стилистике:

- в формуле 5.4 отсутствует квадрат $u \theta$

- Проведено исследование динамика разлета облака продуктов (1й пункт заключения)

Тем не менее, отмеченные замечания носят уточняющий характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение.

Диссертационная работа Колосовского Данила Антоновича является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, имеющая значение для развития механики жидкости, газа и плазмы, и смежных областей. Диссертация соответствует требованиям, установленным п.п. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. в действующей редакции), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 — Механика жидкости, газа и плазмы.

Кандидат физико-математических наук (01.04.04 - Физическая электроника, физико-математические науки), старший научный сотрудник Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Подпись старшего научного сотрудника лаборатории двумерных материалов и наноустройств (научно-исследовательская лаборатория МФТИ), к.ф.-м.н. Д.И. Якубовского заверяю



Якубовский Дмитрий Игоревич

Ученый секретарь ученого совета МФТИ
Евсеев Евгений Григорьевич

141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

Телефон +7 (985) 425 5962

Адрес электронной почты dmitrii.yakubovskii@phystech.edu

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Я, Якубовский Дмитрий Игоревич, даю свое согласие ИТ СО РАН на обработку моих следующих персональных данных:

фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, место работы, должность в целях размещения в информационно-телекоммуникационной сети и в единой информационной системе:

- паспортные данные, ИНН, СНИЛС, банковские реквизиты - в случае заключения договора возмездного оказания экспертных услуг по оппонированию диссертации для проведения бухгалтерских операций и налоговых отчислений.

Также данным согласием я разрешаю сбор моих персональных данных, их хранение, систематизацию, обновление, использование, а также осуществление любых иных действий, предусмотренных действующим законом Российской Федерации.