

Б.И.И.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Сдобняков Н.Ю., Антонов А.С., Иванов Д.В.

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ**

МОНОГРАФИЯ

Тверь – 2019

УДК 539.25
ББК В379.316
С27

ISBN 978-5-7609-1441-5

Сдобняков Н.Ю., Антонов А.С., Иванов Д.В.

С27 Морфологические характеристики и фрактальный анализ металлических пленок на диэлектрических поверхностях. – Тверь: Тверской государственный университет, 2019. – 168 с.

Монография является результатом обобщения исследований, выполнявшихся в рамках ряда научных проектов Тверского государственного университета, на кафедре теоретической физики и в дальнейшем на кафедре общей физики с 2009 года по начало 2019 года. Представлены результаты экспериментальных исследований и теоретического анализа морфологических и фрактальных характеристик металлических пленок (золото, серебро, хром, никель, медь) на диэлектрических поверхностях (слода, стекло) методом сканирующей туннельной микроскопии. Особое внимание было уделено определению фрактальной размерности профиля и поверхности металлических пленок. Важным, но вспомогательным объектом исследования являлся туннельный контакт зонд-образец – для изучения его вольт-амперных характеристик в процессе сканирования.

Предназначена для студентов, аспирантов и преподавателей физических, химических и технологических факультетов вузов. Также издание может быть полезным научным сотрудникам, работающим в области изучения морфологических характеристик поверхности металлов, использующих методики сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии, а также представляет интерес для специалистов в области нанозлектроники и технологии синтеза нанокomпозиционных материалов.

Табл. 8. Ил. 91. Библиограф. 276 назв.

Рецензенты:

Ларин С.В. – заместитель директора по научной работе ФГБУН Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, к.ф.-м.н.;

Комаров П.В. – ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук, д.ф.-м.н., доцент.

Sdobnyakov N.Yu., Antonov A.S., Ivanov D.V.

C27 Morphological characteristics and fractal analysis of metal films on dielectric substrates. – Tver: Tver State University, 2019. – 168 p.

The monograph is the result of generalization of the studies carried out in the framework of a number of scientific projects at Tver State University, the Department of Theoretical Physics, and later at the Department of General Physics from 2009 to the beginning of 2019. The results of experimental studies and theoretical analysis of the morphological and fractal characteristics of metal films (gold, silver, chromium) on dielectric surfaces (mica, glass) using scanning tunneling microscopy are presented. Particular attention is paid to the determination of the fractal dimension of the profile and the surface of metal films. An important but auxiliary object of the study is the tunnel contact probe-sample - for studying its current-voltage characteristics in the scanning process.

Designed for students, post-graduate students, and teachers of physical, chemical, and technological faculties of universities. It can also be useful for researchers working in the field of studying the morphological characteristics of the surface of metals using methods of scanning tunneling and atomic force microscopy, and is also of interest for specialists in the field of nanoelectronics and synthesis technology of nanocomposite materials.

8 tabl. 91 fig. 276 bibliogr. References.

Science critics:

Larin S.V. – Deputy Director for Science of Institute of Macromolecular Compounds Russian Academy of Sciences, PhD;

Komarov P.V. – Leading Researcher of A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences, DrSc, docent.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом Тверского государственного университета. Монография опубликована при поддержке РФФИ (проекты № 18-03-00132, № 18-38-00571-мол_а).

УДК 539.25
ББК В379.316

ISBN 978-5-7609-1441-5

© Сдобняков Н.Ю., Антонов А.С., Иванов Д.В., 2019
© Тверской государственный университет, 2019

Предисловие.....	3
Введение.....	4
Глава 1. Современное состояние исследований в области изучения морфологических характеристик наночастиц и электрических характеристик туннельного контакта зонд-образец методами атомной, зондовой и туннельной микроскопии.....	10
1.1. Теоретические и практические аспекты изучения фрактальной размерности в наносистемах	10
1.2. О взаимосвязи между механизмом напыления наноразмерных пленок и их морфологическими характеристиками	35
1.3. Исследование электрических характеристик туннельного контакта зонд-образец.....	38
1.4. О моделировании формы зонда и исследование механизма его взаимодействия с образцом	42
1.5. Об обработке изображений, полученных сканирующим туннельным микроскопом «УМКА – 02G».....	44
1.6. Заключение к Главе 1.....	46
Глава 2. Технологические основы современных сканирующих зондовых микроскопов: обзор основных методик туннельной микроскопии. Нанотехнологический комплекс «УМКА – 02G».....	47
2.1. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Метод постоянного тока и метод постоянной высоты.....	47
2.2. Изготовление зонда	54
2.3. О методике подготовки образцов для изучения фрактальной размерности и электрических свойств контакта зонд-образец с помощью сканирующего туннельного микроскопа	60
2.4. О проведении компьютерного эксперимента по моделированию взаимодействия зонда сканирующего микроскопа с образцом и оценка размерного и температурного интервалов для штатного функционирования	64
2.4.1. О применении потенциала Гупты для описания межмолекулярного взаимодействия между зондом и образцом.....	65
2.4.2. Об алгоритме компьютерной программы для моделирования термодинамических и структурных характеристик для ГЦК нанокластеров металлов.....	67
2.4.3. Компьютерное моделирование процесса взаимодействия зонда силового туннельного микроскопа с образцом на примере системы медь (зонд) – золото (образец).....	69
2.4.4. Моделирование процесса взаимодействия в системе зонд СТМ – образец со сложным рельефом: рекомендации по штатному технологическому режиму работы.....	74
2.4.5. Оценка размерного и температурного интервалов штатного функционирования сканирующего туннельного микроскопа для изучения отдельных участков поверхности.....	81

Глава 3. Исследование морфологии рельефа, фрактальных свойств поверхности и электрических характеристик контакта зонд-образец для наноразмерных металлических пленок на диэлектрических подложках методом сканирующей туннельной микроскопии.....	86
3.1. Исследование морфологии рельефа и фрактальных свойств образца «золото на слюде».....	86
3.2. Исследование морфологии рельефа и фрактальных свойств образца «серебро на слюде».....	101
3.3. Сопоставление результатов по исследованию фрактальных свойств наноразмерных пленок золота, серебра: атомно-силовая и туннельная микроскопия.....	106
3.4 Исследование морфологии рельефа образца «хром на стекле».....	112
3.5. Об исследовании морфологии рельефа пленок меди на поверхности слюды.....	116
3.6. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта вольфрам–золото.....	120
3.7. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта вольфрам–серебро.....	126
3.8. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта вольфрам–хром.....	129
3.9. К вопросу создания технологии «выращивания» структур покрытий на примере наноразмерных пленок никеля и меди.....	131
3.10. Основные результаты и выводы к Главе 3.....	140
Заключение.....	142
Список цитируемой литературы.....	143
Оглавление.....	165