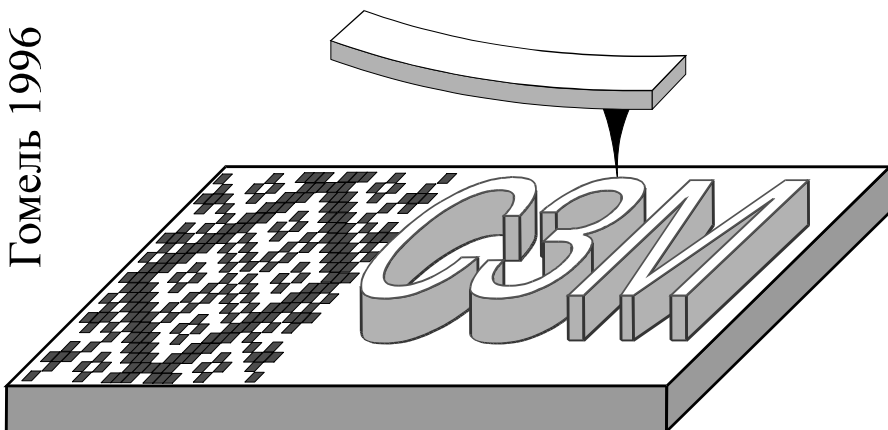


І Первый
Белорусский семинар
по сканирующей зондовой микроскопии

Гомель 1996



Программа
Тезисы докладов

Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого АНБ
Институт физики твердого тела и полупроводников АНБ
Белорусский государственный университет
Отдел проблем ресурсосбережения АНБ

**ПЕРВЫЙ
БЕЛОРУССКИЙ СЕМИНАР
ПО СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

25-26 апреля 1996 г.

Заседания семинара будут проходить в актовом зале Института механики металлополимерных систем им.В.А.Белого АНБ по адресу: *г. Гомель, ул. Кирова 32а.*

Начало заседаний в 10⁰⁰.

Оргкомитет семинара

Плескачевский Ю.М. <i>Председатель</i>	ИММС АНБ, член-корр. АНБ, д.т.н.
Свириденко А.И. <i>Сопредседатель</i>	ОПР АНБ, академик АНБ, д.т.н.
Олехнович Н.М. <i>Сопредседатель</i>	ИФТТ и П АНБ, член-корр. АНБ, д.ф.-м.н.
Чижик С.А. <i>Ученый секретарь</i>	ИММС АНБ, к.т.н.
Гурин В.С.	НИИ ФХП БГУ, к.х.н.
Свекло И.Ф.	ОПР АНБ, к.ф.-м.н.
Солонович В.К.	ИФТТ и П АНБ, к.ф.-м.н.

Содержание:	Стр.
Программа семинара	1
Тезисы докладов	5

Телефоны для справок: (0232) 55 32 19, 52 42 89; Факс: 52 53 62

ПРОГРАММА СЕМИНАРА

25 апреля

Вступительное слово – директор ИММС АНБ,
член-корр. АНБ, д.т.н. *Плескачевский Ю.М.*

Перспективы развития и использования СЗМ-технологий в науке и промышленности Беларуси
– директор ОПР АНБ, академик АНБ, д.т.н.
Свириденко А.И.

1. *Солонович В.К. (Пленарный доклад)*

Ближайшие задачи и перспективные направления развития нанотехнологии, наноэлектроники и формирования наноструктур на базе СТМ и АСМ (*стр.6*)

2. *Гоголинский К.В., Плитенко В.Н., Решетов В.Н. (Пленарный доклад)*

Использование системы NanoScan для контроля топологии и физико-механических свойств поверхностей различных материалов (*стр.7*)

3. *Чижик С.А. (Пленарный доклад)*

Большепольная атомно-силовая микроскопия и ее приложения к задачам прецизионной механики и материаловедения (*стр.8*)

4. *Кухаренко Л.В., Солонович В.К., Корбут Н.А., Стукалов О.М., Григорьев К.П., Солдатов В.С., Агабеков В.Е., Жавнерко Г.К., Кучук Т.Н.*

О механизмах формирования СТМ и АСМ изображений молекулярной структуры пленок типа Ленгмюра-Блоджетт (*стр.9*)

5. *Русецкий М.С., Вариченко В.С., Зайцев А.М., Стельмах В.Ф., Фриз Т.*

АСМ исследования поверхности алмаза, облученного ионами высоких энергий (*стр.10*)

6. *Солонович В.К., Кухаренко Л.В., Корбут Н.А., Стукалов О.М., Прохоревич М.М., Григорьев К.П.*

Некоторые закономерности изображений пиролитического графита, снятых в СТМ на воздухе и в глубоком вакууме (стр.11)

7. Шадров В.Г., Болтушкин А.В., Чижик С.А., Точицкий Т.А.

Исследование морфологии поверхности магнито жестких пленок на основе Со (стр.12)

8. Дубравин А.М., Матюхина Т.Г., Чижик С.А.

Использование АСМ в стереологии форменных элементов крови (стр.13)

9. Дубравин А.М.

Электронная схема цифрового управления зондом для расширения возможностей АСМ (стр.14)

10. Пехота В.В.

Пьезоэлектрическое инерционное устройство вертикального перемещения (стр.15)

11. Юхневич А.В., Новик А.Ф., Демеш И.Ю.

Кремниевые монокристаллические зонды для СТМ и АСМ (стр.16)

12. Гайдук Н.Б., Горбунов В.В.

Банк СТМ/АСМ-изображений «НАНОТОП-ИНФО» и управление им (стр.17)

13. Ковалев А.В., Чижик С.А.

Математическая интерпретация колебательной системы образец -зонд в жестком контактном режиме АСМ (стр.18)

14. Ковалев В.А., Бондарь Я.С.

Методика ориентационного анализа трехмерных текстурных изображений (стр.19)

15. Григорьев А.Я.

Сравнение параметрических описаний изображений (стр.20)

16. *Гурин В.С. (Пленарный доклад)*

Использование СТМ для управляемого формирования наноструктур на поверхности: обзор экспериментальных данных и теоретических представлений (стр.21)

17. *Новиков Н.В., Грушко В.И., Андросов И.М., Валуйский В.Ю., Дробязко В.В. (Пленарный доклад)*

Проблема достоверности экспериментов по исследованию поверхности тонких проводящих покрытий методом сканирующей туннельной микроскопии (стр.22)

18. *Кабаев М.М., Липин Ю.В., Свекло И.Ф., Свириденко А.И. (Пленарный доклад)*

Изменение структуры поверхности полиимидной пленки в результате низкотемпературной плазменной обработки (стр.23)

19. *Горбунов В.В.*

Методы и методики исследования сверхгладких шероховатых поверхностей трения (стр.24)

20. *Суслов А.А.*

Перспективы использования СЗМ в исследованиях смазывавшихся поверхностей трения (стр.25)

21. *Сенькова Е.Л.*

Микроизменения топографии поверхности стали при эксплуатации в узлах трения (стр.26)

22. *Овчинников Е.В., Струк В.А.*

Исследование морфологии поверхностей тонких фторсодержащих пленок методами АСМ (стр.27)

23. *Сенько А.Ф., Тройчанская П.Е., Бойко Ю.С., Губанов В.А., Герман А.Е., Овчинников Е.В.*

Морфология пленок фторсодержащих олигомеров при предварительном энергетическом воздействии (стр.28)

24. Чижик С.А., Короткевич С.В.

Интерпретация механизмов трения сверхгладких поверхностей на основании АСМ-данных (стр.29)

25. Гольдаде А.В., Короткевич С.В.

Исследование ростовых структур алмазоподобных пленок углерода и их влияния на коэффициент трения (стр.30)

Подведение итогов работы семинара

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКИ И ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР НА БАЗЕ СТМ И АСМ

Солонович В.К.

Институт физики твердого тела и полупроводников АНБ

Целью доклада является освещение проблемных и перспективных вопросов, касающихся развития в ближайшее время нанотехнологии, наноэлектроники и формирования наноструктур на базе СТМ и АСМ с атомным разрешением. Рассматривается целый ряд вопросов, среди которых выделяются следующие:

- анализ современных методов формирования наноэлементов на базе СТМ и АСМ;
- различные методы нанотехнологии на базе СТМ и АСМ для формирования наноструктур, например, для записи и считывания информации на молекулярном уровне;
- классификация фундаментальных физических параметров, влияющих на СТМ и АСМ изображения;
- основные физические механизмы формирования СТМ и АСМ изображений локальных участков твердых тел;
- простейшие физические модели формирования СТМ изображений и визуализации функциональных структур;
- поатомная сборка функциональных наноструктур на базе АСМ как наиболее перспективный метод нанотехнологии.

В работе обсуждается и ряд других важных вопросов по развитию нанотехнологии и формированию наноструктур на базе СТМ и АСМ, в частности, на органических пленках типа Ленгмюра-Блоджетт.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ NANOSCAN ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОПОЛОГИИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гоголинский К.В.¹, Плитенко В.Н.¹, Решетов В.Н.²

¹ЗАО «НТЕ», 103681, Москва, а/я 6. Тел.(095) 531-8556.

²Московский Инженерно-Физический Институт

В последнее десятилетие активно развиваются методы сканирующей зондовой микроскопии. Разработаны устройства, позволяющие исследовать химические, электрические, магнитные и другие свойства тонкого приповерхностного слоя различных объектов. Они различаются по конструкции зонда, физическим принципам взаимодействия его с поверхностью и способам получения информации об этом взаимодействии. Важным моментом является также интерпретация полученных результатов. На сегодняшний день особый интерес представляют методы исследования механических свойств материалов с нанометровым пространственным разрешением.

Измерительная система NanoScan разработана фирмой «НТЕ» в сотрудничестве с МИФИ. Принципиальной особенностью данного прибора является оригинальная конструкция датчика (зонд + схема съема информации). Использование в качестве зонда пьезокерамического резонатора с относительно высоким значением коэффициента жесткости позволяет исследовать топоологию поверхности и измерять локальный модуль Юнга [1]. Применение игл из ультратвердого фуллерита, полученного в НТЦ «Сверхтвердые материалы», г.Троицк, дает возможность осуществлять индентирование поверхности любых материалов вплоть до сверхтвердых [2]. Система NanoScan нашла ряд практических применений.

1. *Исследование топоологии поверхностей и измерение их характеристик (шероховатость, неплоскостность и др.)*. Особенность конструкции зонда позволяет исследовать как поверхность вязкого слоя на твердой подложке так и поверхность твердой подложки под вязким слоем. Это важно при работе на открытом воздухе, так как позволяет игнорировать неизбежно возникающий в этом случае слой вязкой жидкости. Примером является работа по исследованию шероховатости и обнаружению дефектов на сапфировых пластинах, проведенная совместно с НТЦ «Сапфир», Зеленоград.

2. *Исследование механических свойств поверхностей при сканировании*. Чувствительность зонда к механическим свойствам материала поверхности в точке контакта позволяет получать карты модуля Юнга с нанометровым пространственным разрешением. Совместно с НПП «Темп», г. Москва, проведены исследования наноструктуры твердых сплавов на основе ВN_k [3]. Совместно с МИФИ разрабатывается методика технологического контроля твердых сплавов на основе WC [4].

3. *Определение механических свойств поверхностей путем индентирования*. Совместные исследования с НТЦ «Сверхтвердые материалы» показали, что ультратвердый фуллерит обладает твердостью, превышающей твердость алмаза (111). Использование игл из этого материала позволило методом склерометрии построить шкалу твердости от грани алмаза (111). Особый интерес может представлять методика измерения механических свойств тонких пленок толщиной менее 1 мкм. Совместно с ИММС АНБ проводится разработка методов контроля тонких алмазоподобных пленок.

Литература. 1. Chijik S.A., Gogolinsky K.V., Kovalev A.V., Reshetov V.N./Proc. Int.I Conf. «Surface Forces», Moscow, 1996, (in press). 2. V. Blanc, M. Popov, K. Gogolinsky, V. Reshetov./Proc. Int. Conf. ICNDST-5, Tours, France, 1996, (in press). 3. Гоголинский К.В., Новиков С.В., Решетов В.Н., Ульянова Т.Н./Сб. материалов VII Международного семинара «Структура дислокаций и механические свойства металлов и сплавов, Екатеринбург, 1996г. С.52. 4. Гоголинский К.В., Кудрявцева В.И., Новиков С.В., Решетов В.Н. Применение атомно-силовой микроскопии для исследования микроструктуры твердых сплавов на основе карбида вольфрама. Препринт/002-96. М: МИФИ, 1996.

БОЛЬШЕПОЛЬНАЯ АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ПРЕЦИЗИОННОЙ МЕХАНИКЕ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Чижик С.А.

Институт механики металлополимерных систем им.В.А.Белого АНБ

Уникальность и перспективы использования зондовой микроскопии (СЗМ) в фундаментальных исследованиях связываются, в первую очередь, с возможностью проведения с ее помощью измерений на атомном и молекулярном уровнях, созданием на ее базе нанотехнологий, где СЗМ не имеет альтернатив.

В то же время, достаточно эффективным оказывается использование СЗМ в традиционных и новых задачах контактной механики и материаловедения. Во многом дублируя возможности сканирующей электронной и оптической микроскопии, СЗМ является менее дорогостоящим методом и дает значительные преимущества в интерпретации и анализе изображений, оценке свойств приповерхностных слоев материалов. Данные приложения не требуют реализации столь трудно достижимых характеристик атомно-молекулярного разрешения, однако для них важным является увеличение полей сканирования.

На опыте разработок сектора зондового анализа поверхности ИММС АНБ показаны особенности реализации большепольной атомно-силовой микроскопии. Конструкционное решение для узла сканирования по большим участкам (до 40×40 мкм) основывается на использовании специальных трубчатых пьезодвижителей. На примерах рассмотрены основные причины возникновения и характер артефактов в результатах сканирования: нелинейность пьезодвижителей и кривизна сканирования; отклонения формы иглы; загрязнения поверхности. В зависимости от степени достоверности АСМ-изображения оказываются пригодными либо для качественного анализа, либо для статистического анализа параметров поверхности. Во втором случае может быть осуществлена метрология сверхгладких поверхностей и оценены эксплуатационные характеристики их взаимодействия в прецизионных сопряжениях на основании статистических или компьютерных моделей контакта. Показана возможность компьютерного моделирования поведения композиционных материалов на основании данных АСМ исследования компонент. Приведены примеры использования АСМ для анализа механических свойств приповерхностных слоев в бесконтактном и контактном режимах.

Работа проведена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

О МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ СТМ И АСМ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОК ТИПА ЛЕНГМЮРА- БЛОДЖЕТТ

Кухаренко Л.В.¹, Солонович В.К.¹, Корбут Н.А.¹, Стукалов О.М.¹, Григорьев К.П.¹, Солдато В.С.², Агабеков В.Е.², Жавнерко Г.К.²,
Кучук Т.Н.²

¹Институт физики твердого тела и полупроводников АНБ

²Институт физико-органической химии АНБ

Формирование СТМ-изображений молекулярной структуры одно- и двухкомпонентных пленок Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) и их визуализация происходит по следующей модели. Переход электронов с подложки (графит + пленка ЛБ), по-видимому, осуществляется тремя группами. Первой группой являются неупруго туннелирующие электроны непосредственно с занятых поверхностных состояний графита с потерей энергии при прохождении пленки ЛБ на свободные поверхностные состояния зонда СТМ. Вторая группа - упруго туннелирующие электроны с занятых поверхностных состояний углеводородных цепочек пленки ЛБ на свободные состояния зонда СТМ.

Сценарий электронного перехода для третьей группы электронов имеет более сложный характер. В этом случае электроны, локализованные на поверхностных состояниях графита, имеют вероятность перейти неупруго на резонансные поверхностные состояния пленки ЛБ, где они двигаются по прыжковому механизму, и затем переходят упруго на свободные поверхностные состояния зонда СТМ.

Обсуждаются также физические механизмы формирования АСМ-изображений пленок ЛБ, где главное внимание уделяется вопросам возникновения поверхностных сил, действующих между зондом АСМ и исследуемым объектом. Поверхностные силы включают ван-дер-Ваальсовские, электростатические, а также силы, возникающие в результате переноса зарядов под влиянием, например, собственной разности потенциалов.

**АСМ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗА,
ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

Русецкий М.С.¹, Вариченко В.С.¹, Зайцев А.М.¹, Стельмах В.Ф.¹,
Фриз Т.²

¹ Белорусский государственный университет, Минск

² Fries Research & Technology, Bergesh Gadbah, FRG.

Использование треков высокоэнергетичных ионов в сверхтвердой кристаллической матрице представляется весьма перспективным для создания элементов сверхплотной электроники. Для изучения свойств таких структур с помощью АСМ проводились исследования поверхности синтетического алмаза, облученного ионами Кг с энергией 210 МэВ и дозой 10^{11} см⁻³. Исследования проводились на микроскопе «NanoScope-III».

Исходные изображения поверхности имели слишком высокий уровень шумов, что не затрудняло анализ структуры поверхности. Вследствие этого проводилась компьютерная обработка полученных данных с помощью оригинального программного обеспечения, разработанного авторами. Программное обеспечение включает в себя процедуры фильтрации, вычитания тренда, набор функций построения изображений. Кроме того созданы процедуры коррекции изображений при некоторых специфических видах шума.

Такая математическая обработка экспериментальных данных позволила отфильтровать шумы и показать, что в результате взаимодействия высокоэнергетичных ионов с поверхностью алмаза происходит образование «кратеров» с диаметром 10-13 нм (что хорошо подтверждает данные косвенных измерений). Каждый такой кратер можно ассоциировать с выходом на поверхность трека, сформированного высокоэнергетичным ионом при его торможении в кристаллической решетке.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТА, СНЯТЫХ В СТМ НА ВОЗДУХЕ И В ГЛУБОКОМ ВАКУУМЕ

Солонович В.К., Кухаренко Л.В., Корбут Н.А., Стукалов О.М.,
Прохоревич М.М., Григорьев К.П.

Институт физики твердого тела и полупроводников АНБ

Обнаружены следующие особенности локальной структуры пиролитического графита: на одних и тех же СТМ-изображениях наблюдаются как центрированная гексагональная упаковка атомов, так и каждый второй атом углерода; на некоторых СТМ-изображениях видна симметричная периодическая структура, где отчетливо проявляются раздвоенные максимумы с различной по амплитуде гофрировкой. Наблюдаемая асимметрия в высоте двойных максимумов связывается с различием в величине локальной плотности электронных состояний вблизи уровня Ферми атомов углерода, занимающих физически равные позиции. Относительно высокая амплитуда гофрировки каждого второго атома на локальных участках графита объясняется увеличением туннельного тока вследствие резонансного туннелирования через локализованные поверхностные состояния, а также через поверхностные коллективно-связанные состояния, возникающие вследствие ван-дер-ваальсовских сил. На СТМ-изображениях, полученных в высоком вакууме при различных окнах сканирования, наблюдается только ярко выраженная гексагональная упаковка атомов углерода. Обсуждаются различия в СТМ-изображениях графита на воздухе и в вакууме. Рассматриваются модели и энергетические диаграммы с целью выяснения физических механизмов формирования этих изображений.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТОЖЕСТКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ Co

Щадров В.Г., Болтушкин А.В., Чижик С.А.*, Тоцицкий Т.А.

Институт физики твердого тела и полупроводников АНБ
*Институт механики металлополимерных систем им.В.А.Белого АНБ

Значительный интерес в настоящее время представляет изучение покрытий со столбчатой микроструктурой, многослойных покрытий и т.д., магнитные свойства которых в значительной мере определяются составом, структурой, геометрическим состоянием поверхностных слоев и поверхностей раздела. В данной работе методами электронной и атомно-силовой микроскопии проведено исследование морфологии поверхности электролитических пленок CoW (до 25 вес.%W) и CoNiW со столбчатой микроструктурой.

Показано, что существенную роль в формировании морфологии поверхности играет адсорбция продуктов электродных реакций на катоде, а также режим электролиза, текстура осадка, процессы двойникования. В частности, при температуре электролита 20°C (текстура [001]) покрытия толщиной 1 мкм имеют агрегаты неправильной шестиугольной формы размером 0,7-1,2 мкм. При T=32°C (текстура [100]) на микрофотографиях поверхности появляются выходы стенок, соответствующие пластинчатым кристаллитам, которые затем (при T=40 °C) сменяются пирамидами.

Использование АСМ (НАНОТОП-201) показало, что изменение текстуры пленок с [001] на [100] приводит к увеличению как максимальной, так и среднеквадратичной высоты рельефа с 38 и 5,3 нм до 358 и 67,7 нм. Одной и той же текстуре может соответствовать несколько различных морфологий, связанных с условиями электролиза. Так, увеличение перенапряжения с ростом плотности тока осаждения (до 30 мА/см) приводит к измельчению кристаллитов при сохранении текстуры [001]. Влияние двойникования на морфологию поверхности носит более опосредованный характер. В частности, с двойникованием по плоскостям {10L}, где L=1-5, связана асимметричность формы кристаллитов в случае текстуры [100] и [110]. В случае же текстуры [001] процессы двойникования стимулируют срастание столбиков в более крупные агрегаты и тем самым обуславливают значительный разброс размеров кристаллитных образований по поверхности осадков по сравнению с текстурами [100] и [110] для больших толщин.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСМ В СТЕРЕОЛОГИИ ФОРМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРОВИ

Дубравин А.М., Матюхина Т.Г.*, Чижик С.А.

Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого АНБ

*Гомельский медицинский институт

Измерения пространственной формы биологических микрообъектов возможно лишь при использовании «мягких» неразрушающих воздействий. С этой целью в последнее время применяются оптические методы. Однако, данный подход требует дополнительного декорирования исследуемых тел специальными красителями и не позволяет регистрировать субмикроскопические особенности строения.

Нами решалась задача стереологии (измерения формы и геометрических параметров) эритроцитов крови, которая может быть положена в основу диагностики ряда заболеваний. Для этого предлагается использовать метод атомно-силовой микроскопии в бесконтактном режиме сканирования. Применялась стандартная для электронной микроскопии (без напыления) методика приготовления эритроцитов. Поскольку характерные их размеры могут достигать 10 мкм, то было реализовано сканирование по большим участкам. При измерении объектов с большой высотой (около 5 мкм) в процессе сканирования дополнительно применялась операция подвода-отвода зонда.

В результате исследований удалось провести измерение кривизны эритроцита и других его геометрических параметров, а также оценить особенности изменения формы эритроцитов при подготовке образцов. Показаны существенные различия в строении дискоцитов и сфероцитов, отражающие кинетику старения элементов крови.

Анализ результатов сканирования показал незначительность воздействия используемого аналитического зонда на исследуемые ткани. Достижимое разрешение наряду с оценкой формы объекта позволяло также различать текстурное строение его поверхностных тканей.

В работе обсуждаются перспективы использования АСМ в медицинских приложениях, включая оценки вязкости и эластичности тканей, а также для субмикротрепарирования биологических объектов.

ЭЛЕКТРОННАЯ СХЕМА ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗОНДОМ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АСМ

Дубравин А.М.

Институт механики металлополимерных систем им.В.А.Белого АНБ

Стандартные решения по электронным схемам управления АСМ, использующие аналоговую обратную связь имеют ряд недостатков: старение аналоговых элементов обратной связи приводит к необходимости постоянной подстройки параметров цепи; температурная и временная нестабильность аналоговой цепи обратной связи увеличивает погрешность измерений; использование аналогово-цифровых преобразователей для цепей управления ведет к увеличению времени измерений; затруднено управление параметрами динамического зонда в процессе сканирования.

Данные недостатки отсутствуют у приборов с цифровой обратной связью. Однако такие схемные решения требуют применения дорогостоящих быстродействующих комплектующих (в частности, процессоров).

Нами реализована схема цифровой обратной связи, позволяющая простыми средствами управлять положением зонда. Принцип ее работы заключается в следующем. Цифровой код с реверсивных счетчиков поступающий на цифро-аналоговый преобразователь определяет напряжение на пьезодвижителе, тем самым задает положение зонда над поверхностью. Сигнал, поступающий с выхода системы регистрации параметров колебаний зонда, сравнивается с опорным. По данным сравнения значение реверсивного счетчика увеличивается или уменьшается до нулевого рассогласования.

Предлагаемая схема цифровой обратной связи расширяет возможности применения АСМ в исследовании поверхности и ее свойств. В настоящее время ведется разработка алгоритмов управления прибором, создание электронных схем и оригинальных компьютерных методик для исследования поверхностных силовых полей на расстояниях от единиц ангстрем до сотен нанометров от исследуемой поверхности.

Работа частично финансировалась Фондом фундаментальных исследований Республики Беларусь (проект Т94-350).

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ИНЕРЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Пехота В.В.

Институт механики металлополимерных систем им.В.А.Белого АНБ

Разработано пьезоэлектрическое устройство линейного перемещения, основанное на периодическом инерционном скольжении. Оно позволяет осуществлять воспроизводимые одиночные шаги, а также непрерывное шаговое перемещение. Контролируемое перемещение образца возможно в диапазоне нескольких сантиметров. Особенностью устройства является то, что оно осуществляет перемещение в вертикальном направлении против силы тяжести. Такой эффект обеспечивается благодаря использованию в устройстве поднимающей пружины. Поскольку в устройстве не используются механические соединения, оно пригодно для атомной силовой микроскопии и для других применений.

Основной частью устройства вертикального перемещения является трубка из пьезокерамики. К одному концу трубки прикреплена головка, содержащая сапфировые направляющие и постоянный магнит. Магнит расположен так, чтобы обеспечить устойчивое позиционирование движущегося узла в канавке направляющих V-образного сечения. Вдоль направляющих свободно перемещается металлический стержень с утяжелителем, к концу которого прикреплена пружина, оттягивающая его вверх. Натяжение пружины подбирается так, чтобы скомпенсировать вес стержня с грузом.

Разработанное устройство испытывалось в различных режимах при пилообразном напряжении на пьезопреобразователе и в настоящее время с высокой эффективностью используется в качестве лифта для перемещения предметного столика в АСМ.

КРЕМНИЕВЫЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ЗОНДЫ ДЛЯ СТМ И АСМ

А.В.Юхневич, А.Ф.Новик, И.Ю.Демеш

НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета

Твердотельные зонды являются основными элементами датчиков сигналов в сканирующих туннельных микроскопах (СТМ) и в атомно-силовых микроскопах (АСМ). Тип материала и форма зондов определяет природу контраста и разрешающую способность при формировании изображений. В частности, пространственное разрешение СТМ и АСМ будет тем лучше, чем меньше радиус кривизны и угол при вершине (апертура) зонда. В работе изучался один из перспективных способов изготовления кремниевых монокристаллических зондов, основанный на анизотропном химическом растворении кристаллов в водных растворах гидроксидов щелочных металлов.

Зонды формировались в результате травления кристалла под маскирующими элементами на поверхности (001). С помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) экспериментально изучалась зависимость формы зондов от условий растворения. Пленочные маскирующие элементы, имеющие форму круга или квадрата, с характерными размерами из диапазона 5-100 мкм, формировались методом проекционной фотолитографии на основе слоев оксида или нитрида кремния толщиной 0,1-0,5 мкм, предварительно нанесенных на поверхность кристалла. Опыты проводились на бездислокационных монокристаллах кремния n- и p-типа с удельным сопротивлением 0,3-100 Ом·см при обработке в растворах гидроксидов натрия, калия и цезия с концентрацией 8-14 М, в диапазоне температур 40-80°C, с различной кристаллографической ориентацией квадратных маскирующих элементов. Установлено, что состав и температура раствора, размер и ориентация маскирующих элементов существенно определяют форму зондов. В различных условиях растворения могут быть воспроизводимо сформированы монокристаллические зонды высотой 5-50 мкм в виде конуса, четырех- или восьмигранной пирамиды с апертурой в диапазоне 10-40 градусов, с радиусом кривизны вершины меньше 20 нм (разрешение РЭМ). Данная технология формирования зондов согласуется с технологией изготовления держателей и упругих элементов (для датчиков сигнала АСМ) на основе оксида, нитрида и монокристаллического кремния.

БАНК СТМ/АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ «НАНОТОП-ИНФО» И УПРАВЛЕНИЕ ИМ

Гайдук Н.Б., Горбунов В.В.*

Гомельский государственный университет

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого АНБ

Систематические исследования поверхностей с помощью сканирующей зондовой микроскопии приводит к накоплению большого объема информации в виде СТМ/АСМ -изображений. Во многих случаях полученные данные являются уникальными и требуют сохранения. В связи с обобщающим анализом по мере накопления фактического материала, а также развитием интерпретирующих моделей и новых методик на базе СЗМ необходимо многократное обращение к изображениям.

В течение пятилетнего использования СТМ и АСМ в ИММС АНБ получено более трех тысяч значимых изображений для поверхностей различных материалов и методов их обработки. Для упорядочения и доступа к ним была разработана информационно-поисковая система «Нанотоп-Инфо» на основе СУБД Clipper 5.01. Система позволяет осуществлять оперативный выбор нужной информации из большого количества не систематизированных данных в соответствии с определенными признаками: именем файла, способом измерения, а также обеспечивает комплексный поиск (по наименованию материала, виду образца, способу его формирования, размеру поля сканирования). Непосредственно в каждом информационном поле банка содержатся также данные о параметрах шероховатости исследовавшихся поверхностей, которые были получены с помощью соответствующих методик компьютерного анализа. Помещаемые в банк данных изображения проходят предварительную корректирующую обработку (вычитание наклона и поверхности второго порядка возникающей в результате криволинейности сканирования).

Банк данных «Нанотоп-Инфо» является открытой системой для пополнения и использования совместно с заинтересованными лицами и организациями.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЗЕЦ-ЗОНД В ЖЕСТКОМ КОНТАКТНОМ РЕЖИМЕ АСМ.

Ковалев А.В., Чижик С.А.*

Гомельский государственный университет им.Ф.Скорины

*Институт механики металлополимерных систем им.В.А.Белого АНБ

Одним из условий получения высокого разрешения в атомно-силовой микроскопии является использование в качестве зонда по возможности более мягких (вплоть до 0.5 Н/м) консолей с закрепленным острием. Однако, всего год назад были получены чрезвычайно интересные результаты с применением очень жестких консолей (около нескольких тысяч Н/м). В данных случаях острие зонда соприкослось с поверхностными слоями материала и приводилось в колебательное движение. Такой подход оказался эффективным при исследовании не столько топографии поверхности, сколько структуры приповерхностных слоев материала и его упругих свойств. При этом достигается субмикронное латеральное разрешение, которое не возможно для других методов.

Для интерпретации результатов измерений записывается уравнение колебаний, в котором сила действующая на зонд зависит от величины упругого деформирования им материала образца. Система зонд-образец рассматривается как единое целое и характеризуется некоторой эквивалентной колеблющейся массой. Достаточно простое решение уравнения дает функциональную связь между частотой колебаний системы, перемещением иглы (амплитудой колебаний) и механическими параметрами исследуемого материала.

Для описания колебаний нами предлагается использовать два уравнения, описывающие колебания рассматриваемой системы. Отличительной особенностью такой постановки задачи является разделение эквивалентной массы на две части: колеблющаяся масса в острие зонда и присоединенная колеблющаяся масса материала в образце. В результате поэтапного решения уравнений получена зависимость амплитуды результирующих колебаний от присоединенной массы, резонансных частот и коэффициентов потерь для зонда и образца.

Предлагается также система дифференциальных уравнений описывающих одномерное колебание с двумя степенями свободы (для зонда и образца), более адекватно характеризующая реальный динамический контакт. Однако ее решение сопряжено с определенными математическими трудностями и составляет перспективу дальнейших исследований.

Работа проведена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

МЕТОДИКА ОРИЕНТАЦИОННОГО АНАЛИЗА ТРЕХМЕРНЫХ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ковалев В.А., Бондарь Я.С.

Гомельское отделение Института математики АНБ

Ориентационный анализ является признанным методом компьютерной обработки двумерных изображений и имеет широкий диапазон применения: от оценки качества высокоточных поверхностей [1] до организации поиска в базах видеоданных [2]. Цель данной работы – обобщение методов ориентационного анализа для трехмерных изображений. Методика ориентационного анализа 2D и 3D изображений включает четыре аспекта: (i) выбор способа определения ориентации сигнала в локальной окрестности элемента изображения; (ii) расчет гистограммы частот распределения точек изображения по радиальным направлениям; (iii) визуализация гистограммы подходящим способом; (iv) вычисление интегральных характеристик анизотропии по гистограмме. Для определения локальной ориентации в окрестности элемента изображения использовалось трехмерное обобщение дискретного дифференциального оператора Превитт, обеспечивающее практически линейную зависимость между истинной и вычисленной ориентацией. Оператор Превитт предполагает вычисление в каждой точке изображения $P(x,y,z)$ трех ортогональных градиентных функций: $g_x(x,y,z)$, $g_y(x,y,z)$ и $g_z(x,y,z)$, значения которых есть составляющие вектора дискретного градиента. Для построения гистограммы частот распределения направлений векторов градиента проводится разбиение полного телесного угла таким образом, чтобы площади сегментов единичной сферы, отсекаемые каждым углом α_i разбиения были равны. Каждому углу разбиения α_i ставится в соответствие частота ω_i попадания в него вектора градиента. Для визуализации гистограммы предложено использовать т.н. «сферограмму» (аналогично «поларограмме»). Построение сферограммы осуществляется путем притягивания сферы с центром в начале координат к вершинам векторов, соответствующих элементам гистограммы. Как и в 2D случае, для частотной гистограммы вводится коэффициент трехмерной анизотропии [1] как отношение максимальной и минимальной частот. Аналогично обобщается понятие главной оси анизотропии. Демонстрируется применение описанной методики для анализа текстуры реальных трехмерных биологических изображений.

Литература: 1. Ковалев В.А., Чижик С.А. //Трение и износ. Т.12, N5. с.781-788.

2. M.M.Gorkani, R.W.Picard. //Proc. of 12th Int. Conf. on Pattern Recognition, Jerusalem, Israel, Oct. 9-13, 1994, pp. 459-464.

(Адрес: 246000, Гомель, Кирова, 32-А goim@nauka.belpak.gomel.by)

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОПИСАНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

Григорьев А.Я.

Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого АНБ

В работе рассмотрены результаты сравнения изображений с помощью метода, основанного на оценке расстояний между объектами в многомерном пространстве. Были проанализированы изображения ряда технологически неоднородных шероховатых поверхностей. Каждое изображение характеризовалось набором параметров, значения которых интерпретировались как координаты точки в пространстве признаков соответствующей размерности. В качестве параметров использовались статистические оценки различных высотных, шаговых и угловых характеристик поверхности. Поскольку положение точки в пространстве признаков зависит от параметрических особенностей конкретного изображения, исходный набор изображений отображался в некоторую область пространства признаков. Для оценки сходства/различия изображений использовалась величина расстояния между соответствующими им точками. Введена мера сходства, позволяющая проводить сравнение с заданной степенью точности.

Рассмотрены вопросы построения иерархии сходства произвольной по числу изображений выборки и определения значимости используемых параметров. Предложен метод построения классификатора изображений, основанный на определении границ классов в двухмерном отображении исходного многомерного пространства признаков. Размерности плоскости классификации определялись регрессией параметров на ее оси. Такой подход позволяет легко оценить влияние различных параметров на результаты классификации.

Проведенные исследования показали, что рассмотренный метод значительно облегчает интерпретацию результатов анализа изображений. Полученные результаты хорошо согласуются с визуальной оценкой их сходства.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТМ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ: ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ.

Гурин В.С.

НИИ физико-химических проблем БГУ

Возможности СТМ по формированию структур ультрамалого размера на поверхности за счет заданного воздействия с помощью зонда привлекают большое внимание как в связи с перспективностью создания элементов памяти для сверхплотной записи информации, так и исследованием нового типа физико-химических явлений, протекающих в области действия зонда СТМ. В докладе представляется обзор довольно широкого спектра данных по изменению свойств поверхности (рельефа, химического состава, электронной структуры и др.) в результате воздействия зонда СТМ (механического, полевого переноса вещества зонда), СТМ-стимулированных химических и электрохимических процессов, комбинированного действия света и зонда СТМ. Экспериментальные результаты, полученные с участием автора, показывают возможности химической трансформации в ряде тонкопленочных структур вследствие кратковременных импульсов потенциала зонда, приводящие к образованию особенной рельефа в виде малых частиц металла, локальных участков травления, локальных изменений проводимости (в зависимости от химической природы материалов).

Анализируются теоретические представления о природе процессов, протекающих в результате воздействия зонда СТМ на поверхность твердого тела. Представляются существующие в литературе подходы о возможных механизмах таких процессов, рассматриваются предполагаемые аналогии с фото- и радиационно-стимулированными явлениями. Разрабатываемые автором методы моделирования СТМ-стимулированных явлений как кратковременного воздействия электрического поля высокой напряженности на локальные фрагменты поверхности (кластеры) показываются с использованием данных полуэмпирических и *ab-initio* квантовохимических расчетов.

**ПРОБЛЕМА ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО
ИССЛЕДОВАНИЮ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПРОВОДЯЩИХ
ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ
МИКРОСКОПИИ**

Новиков Н.В., Грушко В.И., Андросов И.М., Валуйский В.Ю.,
Дробязко В.В.

Институт сверхтвёрдых материалов им. В.М. Бакуля, Киев, Украина

В настоящее время общепринятым является представление о том, что величина туннельного тока в системе острие–образец сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) определяется лишь несколькими атомами на электродах. Эти представления обосновываются, во-первых, возможностью достижения на туннельном микроскопе атомарного разрешения и, во-вторых, детальным квантово-механическим рассмотрением модельных систем игла-образец, состоящих из нескольких атомов. Однако, как правило, при таком рассмотрении не учитываются макроскопические геометрические характеристики образца. Вместе с тем можно предположить, что в случае, когда геометрические особенности изучаемых образцов будут сравнимы с толщиной туннельного промежутка, будет иметь место их влияние на величину туннельного тока и, соответственно, на достоверность СТМ-топограмм.

Мы вычисляем и анализируем зависимость туннельного тока от параметров системы игла-образец СТМ (учитываются толщина проводящего покрытия, материалы иглы и образца, а также параметры сканирования). Указанный анализ выполняется с точки зрения оценки достоверности экспериментов по исследованию с помощью СТМ поверхности тонких проводящих пленок.

В ходе анализа обнаружено существенное влияние толщины тонкой пленки на величину туннельного тока при сканировании близко ($1-3\text{\AA}$) к поверхности.

Даются рекомендации по проведению наиболее достоверного измерения структуры изучаемой поверхности.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИИМИДНОЙ ПЛЕНКИ В РЕЗУЛЬТАТЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Кабаев М.М.¹, Липин Ю.В.², Свекло И.Ф.³, Свириденко А.И.³

¹Каунасский технологический университет, Литва

²АО «SIDRABE», Рига, Латвия

³Отдел проблем ресурсосбережения АНБ, г.Гродно, Беларусь

Низкотемпературная плазменная обработка широко используется для модификации поверхности полимерных материалов и, в частности, для улучшения адгезионных свойств [1]. В данной работе изучалось влияние этой обработки на структуру и химический состав пленок поли-N,N'-бис(финоксифенил) пиромеллитимида (ПИ) [2]. Плазмообразующими газами являлись аргон и кислород. Модификация ПИ проводилась на установках промышленного типа производства АО «Sidrabe». Строение поверхностных слоев изучалось методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) и спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО). Размер участка сканирования АСМ обычно составлял $\approx 2 \times 2$ мкм²; в качестве количественных характеристик поверхности использовалось относительное увеличение площади поверхности и величина среднеквадратичной шероховатости. Данные МНПВО - относительное изменение интенсивностей спектральных линий 1780 см⁻¹ (валентные колебания С=О связей) и 1244 см⁻¹ (простая ароматическая связь) позволяют оценить площадь фактического контакта пленки с призмой и находятся в качественном согласии с данными АСМ. Чувствительность метода АСМ к изменению топографии поверхности на нанометровом уровне позволила оценить изменение микрорельефа даже при незначительных вариациях условий плазменного воздействия на ПИ пленку. Не исключено, что вклад в увеличение адгезионного взаимодействия модифицированных образцов с покрытиями может вносить и иная ориентация отдельных межатомных связей в слоях, вскрытых в результате плазменного травления. Результаты исследований использованы для обработки технологических режимов нанесения вакуумных покрытий из меди на ПИ пленку с целью создания гибких печатных плат и прогнозирования поведения ПИ-материалов при экстремальных условиях эксплуатации.

Литература

- 1 Липин Ю.В., Рогачев А.В., Харитонов Е.В. Вакуумная металлизация полимерных материалов. -М., Химия, 1987.
- 2 Адрова Н.А. и др. Полиимиды - новый класс термостойких полимеров. - Л.: Наука, 1968.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕРХГЛАДКИХ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

Горбунов В.В.

Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого АНБ

Одним из путей развития технологий наукоемких отраслей промышленности (машиностроение, приборостроение, электроника, медицина) является повышение точности изготовления деталей и узлов, их миниатюризация. Для устройств точной механики создание прецизионных узлов трения и сопряжений связано с использованием сверхгладких поверхностей (с высотами неровностей порядка нанометров). Поскольку традиционные методы измерений и расчетов в триботехнике не учитывают особенностей контакта сверхгладких поверхностей, то проектирование прецизионных сопряжений требует использования новых методов анализа топографии и прогнозирования характеристик контактного взаимодействия рабочих поверхностей на нанометровом уровне отклонений высот неровностей рельефа. Изучение поведения контакта на молекулярном масштабном уровне имеет также важное значение для выявления механизмов трения и износа, развития теории трения. Применительно к задаче оценки свойств контакта сверхгладких поверхностей разработаны алгоритмы сбора и обработки информации о топографии и свойствах поверхностей трения на молекулярном масштабном уровне с использованием сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ), а также с применением современных средств вычислительной техники и программирования. Поскольку использование в прецизионных трибосопряжениях сверхгладких поверхностей обуславливает повышение роли адгезионной составляющей силы трения, то для анализа процессов контактирования на базе компьютерной модели контакта реальной шероховатой поверхности с идеально гладкой плоскостью создана методика оценки фактической площади контакта с учетом адгезионного взаимодействия сопряженных поверхностей. Представлены результаты применения данных методов и методик при сравнительном анализе поверхностей жестких магнитных дисков (ЖМД) использующихся в системах магнитной записи информации и полученных различными способами механического текстурирования. На основании результатов анализа были выбраны оптимальные методы текстурирования с целью уменьшения возможности адгезионного «сцепления» поверхностей магнитного диска и магнитной головки и, следовательно, уменьшения вероятности отазов с системе магнитной записи.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЗМ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СМАЗЫВАВШИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

Суслов А.А.

Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого АНБ

С помощью сканирующих зондовых методик были исследованы поверхности трения, сформированные в различных смазочных средах, что позволило выявлять характер субмикрорельефа, свойственный для данного типа смазки. Так, при использовании масла с присадками, реализующими слоистую структуру граничной пленки, например, дисперсией дисульфида молибдена или жидких кристаллов, образуются сглаженные поверхности без следов механического изнашивания на субмикроруровне, чего не наблюдается в случае применения обычных масел. Компьютерная обработка СЗМ-изображений позволила анализировать изменения топографии на различных масштабных уровнях.

Поскольку смазка представляет собой существенное препятствие при исследованиях поверхностей трения с помощью сканирующей туннельной микроскопии, т.к. оказывается в роли загрязнений, то для данного направления перспективным можно назвать использование атомного силового микроскопа. При этом появляется возможность исследовать непроводящие поверхности и исключается проблема глубокой очистки поверхности металла, в том числе наблюдать поверхности вместе с адсорбированными на них слоями, работающими в реальных трибосистемах. Методики снятия кривых подвода/отвода, реализуемые с помощью атомной силовой микроскопии, дополнительно позволяют оценивать относительную толщину адсорбированной на поверхности пленки смазочного материала.

Предлагается использование модификации АСМ для оценки реологических свойств поверхностных слоев на наноуровне. Предполагается, что движение острия сканирующей иглы в объеме граничной смазочной пленки может дать ценную информацию о вязкости и упругости последней.

Работа проведена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

МИКРОИЗМЕНЕНИЯ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Сенькова Е.Л.

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

Метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) дает возможность наблюдения и измерения поверхностной топографии стали в нанометровых масштабах. Основные исследования проведены в Институте механики металлополимерных систем им В.А.Белого АНБ.

Измерения рельефа проводились на атомно-силовом микроскопе с оптической системой детектирования. Наряду с измерением стандартных шаговых и высотных параметров шероховатости проводилась оценка размеров, формы и ориентации элементов топографии.

Объектом исследований служили гладкие цилиндрические образцы, изготовленные из нормализованного проката (сталь45). Выбор материала обусловлен широкой применимостью его в узлах трения на транспорте и в машиностроении.

Основной задачей исследований было установление качественной зависимости между макроскопическими и микроструктурными проявлениями разрушения.

В зависимости от условий нагружения наблюдался различный характер разрушения поверхности на микроуровне:

- 1) образование ямок выкрашивания;
- 2) межзеренное глубинное разрушение;
- 3) внутризеренное разрушение (дробление блоков материала) с увеличением плотности трещин.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы. Разрушение контактирующих поверхностей при трении определяется многократным формоизменением рельефа и накоплением дефектов структуры в тонких поверхностных слоях (порядка сотен нанометров). Топография поверхностей трения определяется в первую очередь условиями нагружения. Элементарные акты разрушения (образования микротрещин) в процессе контактирования проявляются на поверхности достаточно однородно, но распределены по поверхности случайным образом вследствие случайности процесса зарождения и накопления повреждаемости.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОНКИХ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ АСМ

Овчинников Е.В., Струк В.А.

Гродненский государственный университет

В работах [1–3] изучены физико-механические свойства тонких пленок фторсодержащих олигомеров (ФСО) на поверхности твердых тел. Интерес к данному классу веществ обусловлен все большим применением ФСО в промышленности в качестве антифрикционных, антикоррозионных покрытий. Однако работ по изучению структуры и морфологии данных покрытий на поверхности твердых тел недостаточно, что не позволяет спрогнозировать поведение тонких антифрикционных покрытий при различных режимах трения. Цель данной работы – изучение морфологии тонких покрытий на металлах. Было установлено, что при изменении толщины покрытия на поверхности меди фторсодержащий олигомер с общей формулой $R_f\text{-COOH}$ образует «сэндвич»-структуру. Изменение концентрации фторсодержащего олигомера в исходном растворе оказывает существенное влияние на морфологию покрытия ФСО. Превышение концентрации более 7% приводит к увеличению удельной поверхности. Применение менее полярного ФСО ($R_f\text{-}R_f$) приводит к образованию структуры на поверхности меди. Аналогичная ситуация наблюдается при нанесении этого типа ФСО на другие материалы.

Литература:

1. Гарбар И.М., Кисель А.С., Рябинин Н.А., Сапгир В.В. // Трение и износ. Т.4. № 6. С.987–996.
2. Струк В.А., Исакович В.С., Струк В.А., Губанов В.А., Тройчанская П.Е., Напреев Р.С. // Трение и износ. Т.13 (1992). № 2. С.306–310.
3. Овчинников Е.В. // Трение и износ. Т.15 (1994). № 6. С.1098–1101.

**МОРФОЛОГИЯ ПЛЕНОК ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОМЕРОВ
ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Сенько А.Ф., Тройчанская П.Е., Бойко Ю.С., Губанов В.А.,
Герман А.Е., Овчинников Е.В.

Гродненский государственный университет

Влияние энергетических факторов (температуры, плазмы, ионизирующих излучений) приводит к изменению в структуре обрабатываемых материалов. Эти изменения особенно существенны в поверхностных слоях.

Цель данной работы – изучение морфологии тонких пленок фторсодержащих олигомеров (ФСО), предварительно облученных или термообработанных.

Исследования показали, что на поверхности металлов пленки фторсодержащих олигомеров образуют специфическую структуру, в которой аморфные (неупорядоченные) участки покрывают кристаллические (упорядоченные). Воздействие рентгеновского излучения на данную тонкую структуру приводит к процессам кристаллообразования, в результате чего для ФСО с общей формулой R_f-COOH образуются кристаллиты в виде чешуек. Этот процесс протекает на начальных этапах воздействия и в дальнейшем от дозы облучения не зависит. Воздействие излучения на ФСО с общей формулой R_f-R_f приводит на начальных этапах облучения к кристаллообразованию, а увеличение дозы до 24 рад приводит к преобладанию деструктивных процессов.

Термообработка ФСО приводит к процессам кристаллообразования при температуре $T=250^{\circ}C$ для R_f-COOH и $T=200^{\circ}C$ для R_f-R_f . Дальнейшее увеличение температуры свыше $300^{\circ}C$ приводит к деструкции пленки ФСО и обнажению структуры поверхности подложки.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ТРЕНИЯ СВЕРХГЛАДКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВАНИИ АСМ-ДАННЫХ

Чижик С.А., Короткевич С.В.

Институт механики металлополимерных систем АНБ им. В.А.Белого

В работе рассматриваются результаты экспериментальных исследований трения скольжения сверхгладких поверхностей по схеме индентор (шар, сталь) – плоскость. В качестве исследуемых объектов использовались наиболее распространенные в прецизионных узлах трения поверхности, отличающиеся высокой гладкостью и твердостью: сапфир, монокристалл кремния, ситалл, победит, алмазоподобные покрытия, стекло, и другие металлы.

Данные измерения коэффициента трения образуют монотонно убывающий ряд в направлении возрастания жесткости тестируемых материалов. Исследовалась реакция рассматриваемых фрикционных пар на изменения (в нанометровом масштабе) зазора разделяющего поверхности. Моделирование такой ситуации проводилось путем введения в зону контакта ультрадисперсных алмазов (УДА). Создаваемая в зоне контакта среда может рассматриваться как дополнительная шероховатость, либо как частицы износа. Согласно данным АСМ-анализа, размеры вводимых элементов составляли 5–7 нм для отдельных частиц и 20–30 нм для их агломератов.

В зависимости от природы исследуемых материалов, влияние вводимых УДА происходило соответственно адгезионному (уменьшение коэффициента трения), либо деформационному (увеличение коэффициента трения) механизму трения. С учетом рельефа исследуемых поверхностей, измеренного с помощью АСМ, и табличных значений параметров упругости и поверхностной энергии материалов был рассчитан параметр адгезионности контакта, который позволил достаточно адекватно интерпретировать результаты экспериментальных измерений.

Полученные результаты указывают возможные пути регулирования параметров трения в прецизионных сопряжениях.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТОВЫХ СТРУКТУР АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК УГЛЕРОДА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ

Гольдаде А.В., Короткевич С.В.

Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого АНБ

Углеродные пленки, получаемые методами вакуумного осаждения и обладающие свойствами, подобными природному алмазу, характеризуются высокой твердостью, химической стойкостью, прозрачностью для видимого и ИК излучения, высокой термостойкостью. Алмазоподобные пленки углерода (АППУ) могут эффективно применяться в различных областях науки и техники, в частности, в качестве функциональных износостойких пленок в устройствах точной механики и оптики.

В настоящей работе методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) исследовались ростовые структуры АППУ толщиной 0,02-0,25 мкм, полученных методом конденсации ускоренной углеродной плазмы импульсного дугового разряда в вакууме (изготовитель – инженерный центр «Плазмотех» АНБ, г.Минск). Измерения проводились на воздухе, образцы подвергались очистке ацетоном и толуолом.

Обнаружено, что на начальной стадии рост пленок характеризуется появлением островковых структур высотой до 10 нм, обусловленных неровностями подложки. Как следствие, островки имеют серповидную форму в связи с наличием конуса затенения для каждого выступа. При увеличении толщины пленки возрастает плотность серповидных структур и происходит их слияние, что приводит к образованию сплошного бесструктурного (аморфообразного) слоя. Наряду с этим наблюдается преимущественный рост отдельных островков (высотой до 90 нм), имеющих собственную структуру, возникновение которой, по-видимому, может быть объяснено процессами локальной кристаллизации. Для более толстых пленок рост островковых структур замедляется, происходит возникновение зеренных структур фоновых слоев пленки.

Полученные результаты позволили дать качественное объяснение экстремальной зависимости коэффициента трения от толщины АППУ. Максимальный коэффициент трения достигается в случае преобладания островковых структур.

ПЕРВЫЙ БЕЛОРУССКИЙ СЕМИНАР ПО СКАНИРУЮЩЕЙ
ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ. Тез. докладов. (25–26 апреля 1996 г.,
г.Гомель) – Гомель: ИнфоТрибо, 1996. – 30 с.

Научное издание

Семинар проведен при финансовой поддержке
**Фонда фундаментальных исследований
Республики Беларусь**

Редакционная коллегия

С.А.Чижик, А.В.Гольдаде, А.А.Суслов (макет)

Формат издания 84×108 1/32. Усл. печ. л. 1,5. Тираж 50 экз.

Издание ИММС АНБ и ООО «ИнфоТрибо», г.Гомель, ул.Кирова 32а

Лицензии: ЛП N205, ЛВ N413



©Институт механики металлополимерных систем
им.В.А.Белого АНБ