

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Кафедра инженерной психологии и эргономики

УДК 537.533.35

Грибков  
Андрей Викторович

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ  
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО  
МИКРОСКОПА

1-23 80 08 – Психология труда, инженерная психология, эргономика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание академической степени магистра технических наук

Заведующий кафедрой ИПиЭ  
Константин Дмитриевич Яшин  
кандидат технических наук,  
доцент

Научный руководитель В.А. Рыбак,  
кандидат технических наук, доцент

Минск 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Физика поверхностных явлений в настоящее время является одним из разделов науки, который интенсивно развивается. Именно на фундаментальных исследованиях в области физики поверхности твердого тела основаны успехи современной микро и нано электроники. Поэтому исследования различных электронных, атомных и молекулярных процессов, происходящих на поверхности твердых тел, остается актуальной задачей. И заветное желание ученых на протяжении многих лет – непосредственное наблюдение за поведением отдельных атомов на поверхности твердого тела и изучение процессов с участием одиночных или небольших групп атомов. Первостепенное значение для понимания свойств любого объекта, имеет знания его атомной структуры, поэтому определение поверхностных структур – один из самых важных разделов физики поверхности. Последние 30 лет микроструктура поверхности твердых тел интенсивно изучалась методами дифракции и рассеяния электронных и ионных пучков, а также электронной спектроскопии. Однако, большинство этих методов изначально разрабатывались для исследования объемной структуры твердых тел, поэтому они не всегда годятся для получения информации о структуре поверхности, тем более на атомном уровне. Долгое время основным методом исследования структуры поверхности служил метод дифракции медленных электронов (ДМЭ), с применением которого связан существенный прогресс в развитии науки о поверхности. С помощью ДМЭ была открыта атомная реконструкция поверхностей – особого структурного состояния, отличного от объемного, и обнаружено большое количество специфических фазовых переходов на поверхностях, как чистых, так и покрытых адсорбированными пленками. В методе ДМЭ тонкий коллимированный моноэнергетический пучок электронов низкой, до десятков электрон-вольт, энергии направляется на поверхность исследуемого кристалла. Поскольку энергия падающих электронов сравнительно невелика, то они проникают на глубину всего одного, двух атомных слоев, поэтому анализ углового распределения дифракционных рефлексов, образованных рассеянным пучком, дает информацию о расположении атомов в поверхностном слое. Такая информация методично связана со структурой обратной решетки и является усредненной по большой площади поверхности кристалла.

В настоящее время существуют приборы, позволяющие отображать отдельные атомы: полевой ионный микроскоп и просвечивающий электронный микроскоп высокого разрешения, однако оба они имеют

существенные ограничения по применимости, связанные со специфическими требованиями к форме образцов. В первом случае образцы должны иметь форму острых игл с проводящего материала с радиусом закругления не более 1000 Å, а во втором – тонких полосок толщиной менее 1000 Å. Первые изображения атомов были получены с помощью полевого ионного микроскопа, изобретенного Е. Мюллером в 1951 году. В этом приборе игольчатый образец, обычно изготавливается из тугоплавкого металла типа вольфрама, располагается в вакуумной камере напротив флуоресцирующего экрана. Камера заполняется инертным газом, гелием или аргоном, к давлению  $10^{-4}$  –  $10^{-5}$  Торр, и после подачи на острие высокой положительного напряжения вблизи наиболее выступающих участков поверхности происходит полевая ионизация атомов газа за счет туннелирования их электронов в образец. Образовавшиеся ионы ускоряются этим же полем и бомбардируют флуоресцирующий экран, отражая выступающие участки с большим увеличением.

Поэтому изобретение в 1982 году Г.Биннигом и Г.Рорером сканирующего туннельного микроскопа, не накладывающего ограничений на размеры образцов, реально открыл дверь в новый микроскопический мир. В своих работах они показали, что это достаточно простой и весьма эффективный способ исследования поверхности с очень высоким пространственным разрешением, достигающим до атомарного. Настоящее признание данная методика получила после визуализации атомарной структуры поверхности ряда материалов и, в частности, реконструированной поверхности кремния. В 1986 году за создание туннельного микроскопа Г.Биннигу и Г.Рореру была присуждена Нобелевская премия по физике. Появление сканирующего туннельного микроскопа дало толчок к бурному развитию сканирующей микроскопии. Вслед за туннельным микроскопом в течение короткого времени были созданы атомно–силовой микроскоп (АСМ), магнитно–силовой микроскоп (МСМ), электросилового микроскоп (ЕСМ), ближнепольный оптический микроскоп (БОМ) и многие другие приборы со схожими принципами работы, которые были названы сканирующими зондовыми микроскопами.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Наиболее молодым и в тоже время перспективным направлением в исследовании свойств поверхности твердых тел является сканирующая зондовая микроскопия.

Сканирующая зондовая микроскопия является наиболее эффективным методом для исследования нанообъектов и свойств поверхностей со сверхвысокой разделительной способностью. Сегодня в области нанотехнологий появляются все более сложные задачи, что приводит к появлению новых требований к используемому оборудованию. Зондовые микроскопы имеют рекордную разделительную способность менее 0,1 нм. Они могут исследовать поверхность и вывести ее трехмерное изображение на экран компьютера

Методы зондовой микроскопии позволяют не только исследовать атомы и молекулы, но и влиять на них. При этом объекты могут изучаться не обязательно в вакууме, что обычно для электронных микроскопов, но и в различных газах и жидкостях.

Для реализации высокого разрешения требуется очень точное позиционирование зонда сканирующего зондового микроскопа, которое может обеспечить пьезопривод, получивший широкое распространение в системах нанопозиционирования.

Цель работы - исследование системы позиционирования сканирующего зондового микроскопа

Объект исследования - система позиционирования сканирующего зондового микроскопа

Предмет исследования - методы повышения эффективности системы позиционирования сканирующего зондового микроскопа

## ЗАДАЧИ

Задачи:

- Обзор общих принципов сканирующей зондовой микроскопии;
- Разработка структурной схемы системы позиционирования сканирующего зондового микроскопа;
- Разработка электрической принципиальной схемы системы позиционирования сканирующего зондового микроскопа ;
- Анализ динамики системы автоматического управления пьезодвигателем

Библиотека БГУИР

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе были рассмотрены основные принципы работы сканирующего зондового микроскопа на примере сканирующего туннельного микроскопа, была выбрана конструкция и рассчитаны статические и динамические характеристики пьезодвигателя сканирующего зондового микроскопа, разработана, настроена и смоделирована система автоматического управления пьезодвигателем СОМ, реализующий принцип постоянного туннельного тока.

Рассчитан пьезодвигатель двигатель, обеспечивающий нужную разделительную способность  $1\text{Å}/\text{В}$ , для использования в сканирующем туннельном микроскопе.

Сканирующая туннельная микроскопия является перспективным, современным методом исследования поверхности твердого тела без непосредственного контакта с поверхностью, исключающим повреждение образца.

По материалам диссертации подготовлены тезисы на 56 студенческую научно-техническую конференцию студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР.