

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 17144

(13) С1

(46) 2013.06.30

(51) МПК

G 01Q 40/00 (2010.01)

## (54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСА ЗАКРУГЛЕНИЯ ОСТРИЯ ЗОНДА СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА

(21) Номер заявки: а 20091731

(22) 2009.12.07

(43) 2011.08.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Циркунова Наталья Григорьевна; Борисенко Виктор Евгеньевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и Радиоэлектроники" (ВУ)

(56) VESENKA J. etc. Biophysical Journal. - 1993. - V. 65. - P. 992-997.

RU 2325619 C2, 2008.

RU 2335735 C1, 2008.

RU 2121131 C1, 1998.

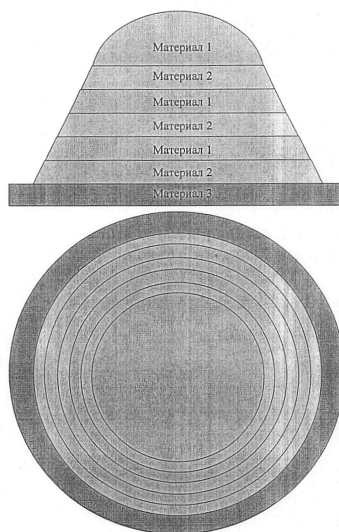
RU 2295783 C2, 2007.

CN 101256070 A, 2008.

(57)

1. Способ определения радиуса закругления острия зонда сканирующего зондового микроскопа, в котором сканируют контролируемым зондом многослойный выступ рельефной поверхности структуры пирамидальной или конусообразной формы с заданным количеством слоев равной толщины  $T$ , составляющей от 5 до 50 нм для каждого слоя, и постоянным углом при основании от  $65^\circ$  до  $80^\circ$ , получают полосчатое изображение указанной структуры, а затем определяют искомый радиус  $R$  в соответствии с выражением

$$R = 1,5kT,$$



Фиг. 1

ВУ 17144 С1 2013.06.30

где  $k$  - число, равное разности количества просканированных слоев указанного выступа и количества полос на указанном изображении.

2. Устройство для определения радиуса закругления острия зонда сканирующего зондового микроскопа, представляющее собой структуру с рельефной поверхностью, каждый элемент которой выполнен с постоянным углом при основании, **отличающееся** тем, что каждый указанный элемент выполнен в виде многослойного выступа пирамидальной или конусообразной формы с равной толщиной слоев, составляющей от 5 до 50 нм, и углом при основании от  $65^\circ$  до  $80^\circ$  для образования шкалы с дискретностью, определяемой толщиной слоя.

---

Изобретение относится к области нанометрологии и калибровочным структурам, а именно к способам и устройствам, обеспечивающим наблюдение и оценку геометрической формы зонда сканирующего зондового микроскопа (СЗМ), а также калибровку СЗМ.

Существующий способ определения радиуса острия зонда СЗМ сводится к сканированию рельефа тестовой структуры [1]. Проведя сканирование такой структуры, мы получим искаженное изображение. По форме искажения возможно математически рассчитать форму трехмерного изображения иглы зонда. Данный способ требует достаточно сложных математических расчетов.

Известна тестовая структура для определения геометрических размеров острия иглы сканирующего зондового микроскопа, представляющая собой основание и расположенные на нем нанотрубки диаметром 1-10 нм [2]. Недостатком является то, что использование методики отображения рельефа структуры не позволяет определить относятся ли полученные отклонения к артефактам, вносимым радиусом закругления зонда, или являются результатом неправильной калибровки прибора.

Данный недостаток отсутствует в тестовом объекте, наиболее близком по технической сущности, выбранном в качестве прототипа [3]. Данный объект представляет собой структуру с рельефной поверхностью, элементы которой имеют профиль с проекциями боковых сторон на плоскость нижнего основания, превышающими размеры зондов СЗМ; во всех элементах рельефной поверхности выдержан постоянный угол, между боковой гранью и плоскостью нижнего основания; четыре пары стыкующихся ступенек образуют рельефную структуру крестообразного выступа. Недостатком данной тестовой структуры является то, что использование методики отображения рельефа структуры не позволяет определить переход от верхней плоскости к боковой стороне за счет закругления радиуса зонда, определение которого, в свою очередь, будет требовать достаточно сложных математических расчетов.

Задачей настоящего изобретения является создание способа, позволяющего наглядно оценивать форму зонда посредством введения шкалы; структуры, позволяющей разделять артефакты, вносимые радиусом закругления зонда, и артефакты, являющиеся результатом неправильной калибровки прибора, а также избежать геометрических ограничений, накладываемых технологическими процессами формирования наноразмерных структур.

Для решения поставленной задачи был предложен новый подход к существующей проблеме.

Способ определения радиуса острия зонда СЗМ, заключающийся в том, что проводят сканирование тестового образца с использованием методики измерения электрофизических параметров материалов, по полученному изображению структуры, состоящей из нескольких слоев материалов, проводят оценку радиуса закругления зонда.

Устройство для определения радиуса закругления острия зонда сканирующего зондового микроскопа, представляющее собой структуру с рельефной поверхностью, каждый

элемент которой выполнен с постоянным углом при основании, отличающееся тем, что каждый указанный элемент выполнен в виде многослойного выступа пирамидальной или конусообразной формы с равной толщиной слоев, составляющей от 5 до 50 нм, и углом при основании от 65 до 80° для образования шкалы с дискретностью, определяемой толщиной слоя.

Как правило, при оценке формы острия зонда используют методики, отображающие лишь топографию поверхности, и по отклонению полученного профиля от геометрии реальной тестовой структуры судят о форме зонда. В предложенном методе оценки используются режимы измерения электрофизических параметров материалов. Далее, для простоты изъяснения, будет использоваться методика фазового контраста. Известно, что данная методика позволяет различать материалы за счет разницы в поверхностной активности и сил межатомного взаимодействия для различных материалов. Изобретение поясняется приведенными чертежами:

фиг. 1. - общий вид структуры;

фиг. 2. - схематическое изображение предлагаемой тестовой структуры в режиме измерения латеральных сил или фазового контраста а) общий 3D-вид; б) сечение;

фиг. 3 - демонстрация принципа действия.

В предлагаемом нами решении создается шкала путем формирования многослойной пирамидальной или конусообразной структуры из различных материалов, различаемых в режимах измерения электрофизических параметров. Толщина слоев выбирается в диапазоне от 5 нм до 50 нм и определяет дискретность формируемой шкалы. Угол при основании пирамидальной или конусообразной структуры одинаков для всех выступов и составляет порядка 65-80° (фиг. 1). Данный угол обусловлен тем, что более острый угол будет уплощать поверхность, тем самым снижая разрешающую способность способа тестирования. Большой угол (до 90°) будет приводить к тому, что со структурой в процессе сканирования будет взаимодействовать боковая поверхность острия зонда и, соответственно, протестировать радиус закругления зонда будет невозможно.

Оценка радиуса закругления зонда с помощью тестовой структуры, согласно изобретению, выполняется следующим образом. Тестовая структура устанавливается на столик СЗМ для образцов и выполняется сканирование по методике фазового контраста. Получаемое изображение, при использовании чередования материалов, будет иметь ступенчатую структуру (фиг. 2) с шириной ступеней, равной толщине слоя, деленной на синус угла при основании конусообразной или пирамидальной структуры. Данные о размере формируемой ступеньки будут приведены в паспорте тестовой структуры. Несоответствие данному значению будет свидетельствовать о неправильной калибровке прибора. Зная реальное значение, можно скорректировать полученное изображение.

Так как зонд не является точкой, то при получении изображения вносится ошибка за счет того, что с образцом взаимодействует определенный участок сферической поверхности зонда. При сканировании перехода от боковой поверхности структуры к плоскости, перпендикулярной выбранному сечению, появляется "слепая зона". На этом строится принцип создания шкалы на многослойной структуре. Первоначально структура имеет заранее известное количество слоев. Чем больше радиус закругления зонда, сканирующего структуру, тем меньшее количество полос мы будем наблюдать на отображении по методу фазового контраста (фиг. 3). В зависимости от количества отсутствующих на формируемом изображении слоев мы определяем радиус закругления зонда R

$$R = 1,5kT,$$

где k - число, равное разности количества просканированных слоев указанного выступа и количества полос на указанном изображении;

T - толщина одного слоя.

Значения количества и толщины слоя для упрощения процедуры оценки радиуса закругления зонда могут приводиться в техническом паспорте.

При изготовлении тестовой структуры можно использовать от двух и более материалов. Для формирования металлических слоев толщиной 5-50 нм можно использовать магнетронное напыление. Для формирования слоистой структуры из кремния можно использовать эпитаксиальное наращивание. Для формирования конусообразной или пирамидальной структуры можно использовать плазмохимическое или ионное травление.

В предложенном описании, для удобства восприятия, используется три материала. Количество слоев определяется необходимой величиной линейки. Идеальной толщиной слоя является величина, соизмеримая с радиусом закругления зонда.

## **Пример 1.**

Допустим, необходимо оценить острие зонда с радиусом закругления, находящимся в диапазоне от 10 до 50 нм. Это означает, что минимальная величина "слепой зоны" по высоте будет составлять порядка 10 нм, а максимальное значение будет приближено к 50 нм. Если в создаваемой структуре выберем толщину слоя порядка 50 нм, то для определения радиусов предложенных зондов будет достаточно двух слоев. Однако при определении минимального радиуса (10 нм) мы будем терять точность в оценке, так как данное острие будет визуализировать все имеющиеся полосы, искажая лишь ширину последней. И так как ширина полосы заведомо больше минимального радиуса, мы получим потерю в разрешении нашего метода.

Идеальным для острия с радиусом закругления 10 нм будет использование устройства с шириной слоев 10 нм. Но тогда, для того чтобы использовать эту структуру для больших радиусов закругления, необходимо увеличить количество слоев. Расчет количества слоев прост: максимальное значение радиуса закругления делится на выбранное значение толщины слоя и к полученной величине добавляется один слой. В нашем случае  $50:10 = 5$  слоев, плюс один - получаем структуру с шестью слоями, толщиной 10 нм каждый.

## **Пример 2.**

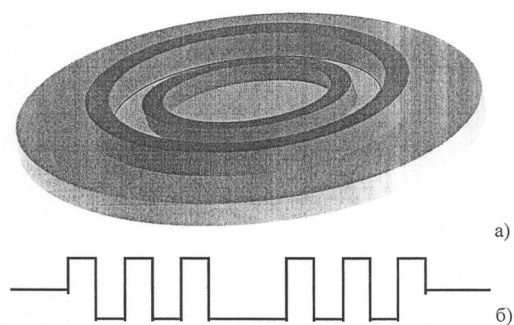
Допустим, необходимо оценить острие зонда с радиусом закругления, находящимся в диапазоне от 1 до 3 нм. В данном случае на минимальное значение толщины слоя накладываются технологические ограничения и мы вынуждены использовать слои толщиной 5 нм. Для оценки радиуса зондов будет достаточно формирования на подложке и двух слоев. Однако известно, что при сканировании часто наблюдается увеличение радиуса закругления зонда из-за его деградации. Если известно максимальное возможное значение для заданного зонда, то количество слоев определяется методом, описанным в первом примере. Если значение не известно, то предлагается использование 10 слоев, так как увеличение значения радиуса закругления зонда на порядок говорит о снижении разрешающей способности зондового метода при измерении параметров поверхности и невозможности его использования для исследования в данном диапазоне.

## Источники информации:

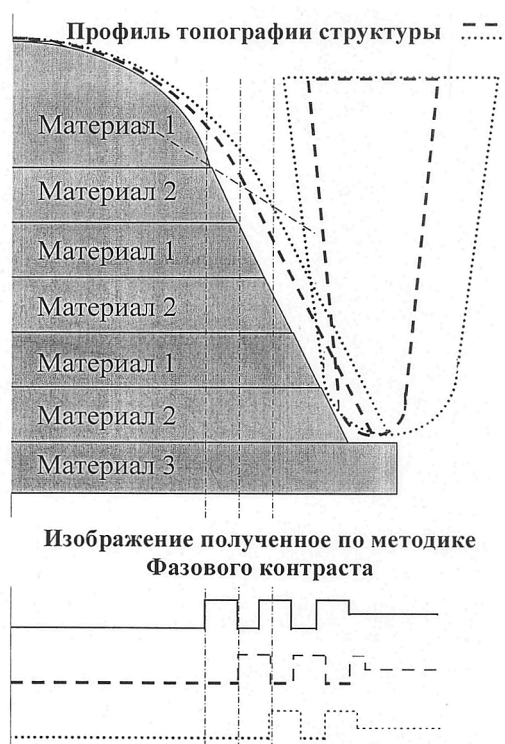
1. Vesenka J., Manne S., March Henderson. Colloidal gold particles as an incompressible atomic force microscope imaging standard for assessing the compressibility of biomolecules. *Biophysical J.* - 1993. - V. 65. - P. 1-6 (прототип).

2. Патент RU 2308414, МПК G01B 15/00, 2007.

3. Патент RU 2325619, МПК G01B 15/00, 2008 (прототип).



Фиг. 2



Фиг. 3