

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ФАКУЛЬТЕТ ФИЗИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ  
КАФЕДРА НАНОМЕТРОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

УДК 539.25

ОТЧЁТ ПО НИР

на тему:

КОНТАКТНЫЙ И ПОЛУКОНТАКТНЫЙ МЕТОД  
АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ.  
ОЦЕНКА ШЕРОХОВАТОСТИ НАНОСТРУКТУР

Долгопрудный 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,

\_\_\_\_\_ М. Спиридонов

подпись, дата

Исполнители темы

\_\_\_\_\_ Д.В. Додонов

подпись, дата

\_\_\_\_\_ А.А. Сапегин

подпись, дата

## Реферат

Отчет 13 с., 1 ч., 8 рис., 2 табл.

АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОП (АСМ), КОНТАКТНЫЙ МЕТОД РАБОТЫ АСМ, ПОЛУКОНТАКТНЫЙ МЕТОД РАБОТЫ АСМ, МШПС 2.0К, ШЕРОХОВАТОСТЬ.

Объектом исследования являются: МШПС 2.0К (образец №1) и кремниевая пластина (образец №2).

Цель работы — изучение методов работы АСМ, получение навыков анализа и обработки данных, калибровка АСМ с использованием МШПС 2.0К, оценка шероховатости образца №2 в полуконтактном режиме работы.

В работе использовался микроскоп Ntegra Aura, с помощью которого были получены изображения исследуемых структур.

В результате работы был откалиброван АСМ, оценена шероховатость пластины кремния.

## Содержание

Обозначения и сокращения .....	5 стр.
Основная часть .....	6 стр.
Выводы .....	13 стр.

## Обозначения и сокращения

АСМ – атомно-силовой микроскоп

СЗМ – сканирующий зондовый микроскоп

## Основная часть

### 1. Оборудование

В работе использовался СЗМ Ntegra Aura (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Микроскоп Ntegra Aura

В основе работы АСМ лежит силовое взаимодействие между зондом и поверхностью, для регистрации которого используются специальные зондовые датчики, представляющие собой упругую консоль с острым зондом на конце (рис. 2). Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли. Регистрируя величину изгиба, можно контролировать силу взаимодействия зонда с поверхностью. Регистрация проводится с помощью оптической системы, которая юстируется таким образом, чтобы излучение полупроводникового лазера фокусировалось на консоли зондового датчика, а отраженный пучок попадал в центр фоточувствительной области фотоприемника (рис. 3). В качестве позиционно-чувствительных фотоприемников применяются четыре секционные полупроводниковые фотодиоды.



Рисунок 2 – Схема зондового датчика

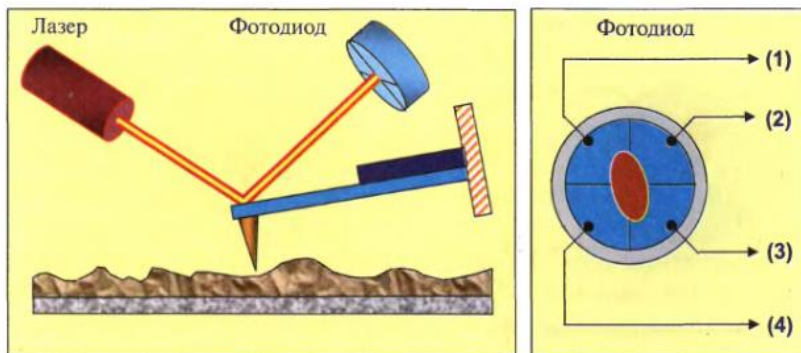


Рисунок 3 – Схема оптической регистрации

## 2. Исследуемый образец

В работе исследуются два образца: МШПС 2.0К (образец №1, Рисунок 4), состоящий из нанорельефных шаговых структур, сформированных на поверхности кремния и образец №2, представляющий собой кремниевую пластину (Рисунок 5).

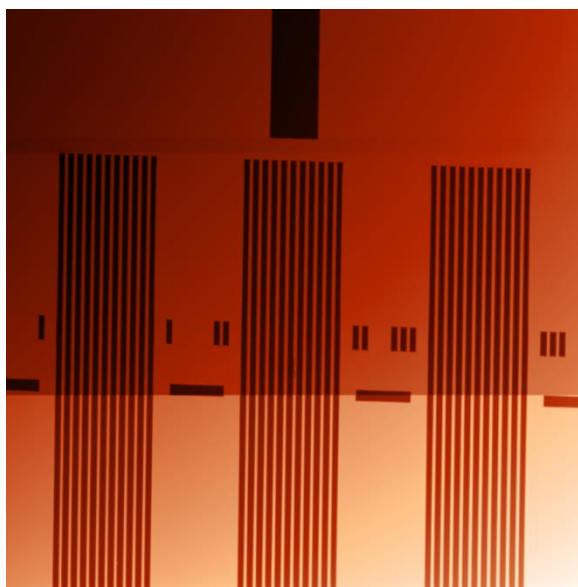


Рисунок 4 – Образец №1

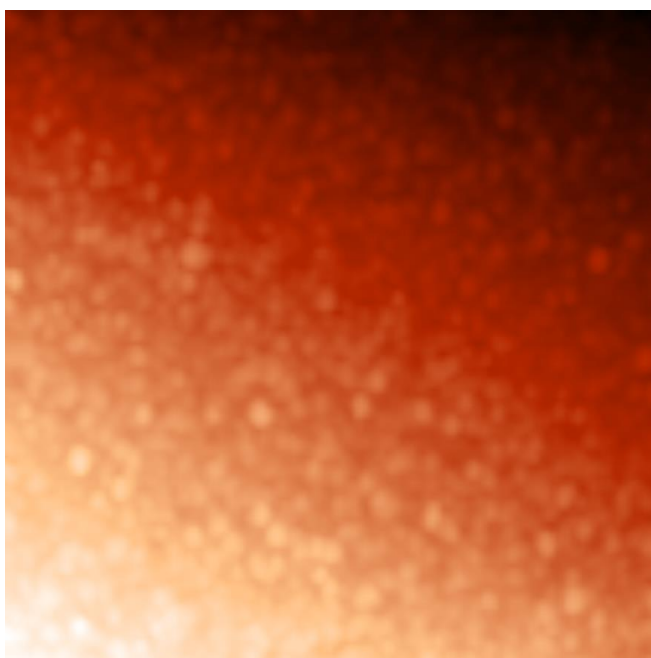


Рисунок 5 – Образец №2



### 3. Калибровка

Сначала фотографии (Рисунок 6) выравнивались (поворачивались). Критерий выравнивания: рассматривалось две строки – 100-ая и 500-ая (отступ от нижней границы информативной части изображения ~ 500 строк); затем поворотом изображения добивались совпадения горизонтальных координат первого максимума высоты для обеих строк. С целью уменьшения отношения сигнал/шум проводилось суммирование по 10 строкам изображения. При этом координаты последних максимумов вдоль этих же строк тоже получались одинаковые.

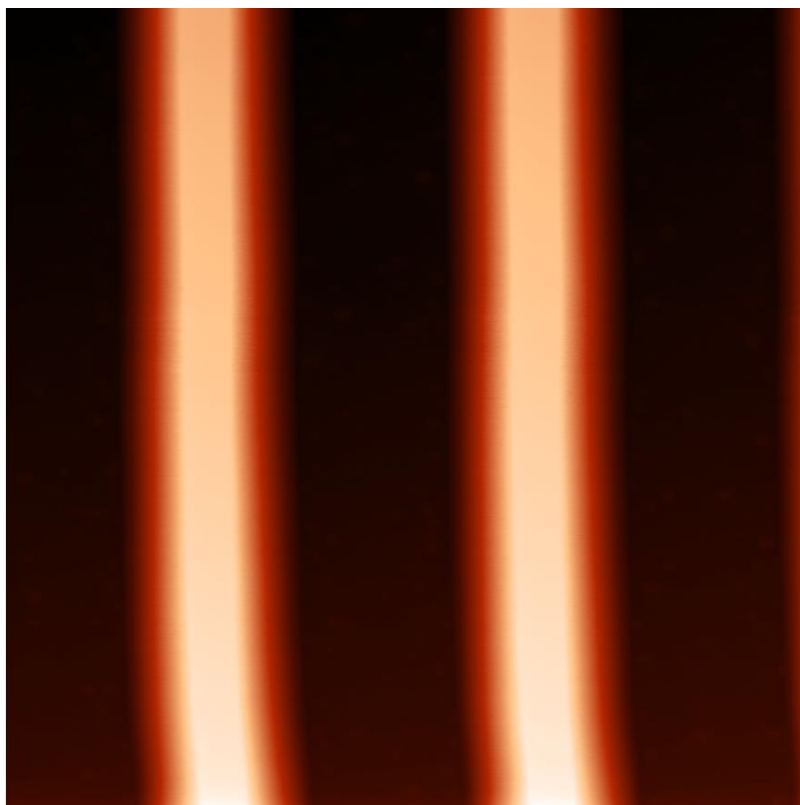


Рисунок 6 – Рельеф поверхности

При анализе полученных изображений использовалась функция Average Profile в программе Image Analysis 3.5, с помощью которой строился рельеф поверхности, усреднённый по 400 строкам (Рисунок 7). Шаг T определялся как расстояние между соседними вершинами структуры (вершина – точка с максимальным значением высоты). Основной вклад в погрешность внёс шаг микроскопа в горизонтальном направлении.

$$T = 2040 \pm 5 \text{ нм.}$$

Таким образом, калибровочный коэффициент равен:

$$k = \frac{2000}{2040} = 0.9804$$

$$k = 0.9804 \pm 0.0025$$

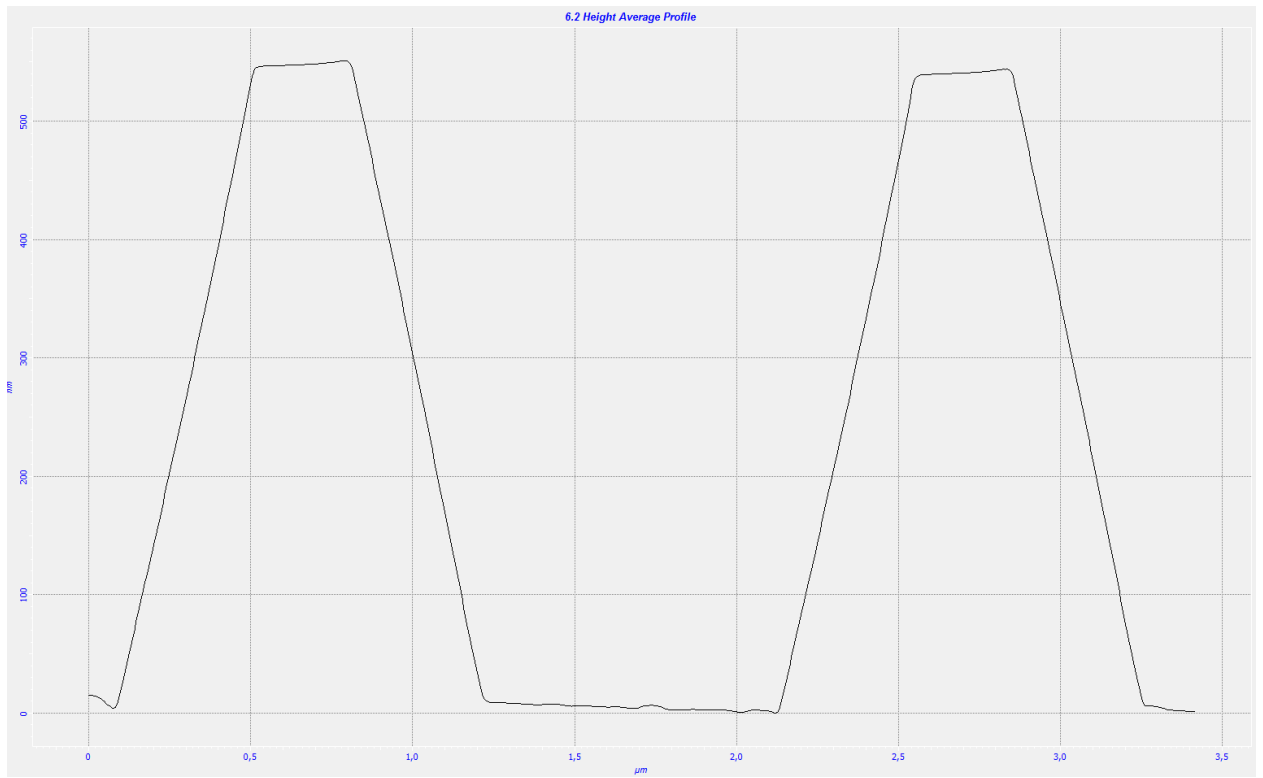


Рисунок 7 – Профиль поверхности

## 4. Измерение шероховатости

В ходе работы были получены изображения пластины кремния при различных разрешениях и размерах исследуемой области. Для анализа шероховатости изображения предварительно применялась функция Fit Lines by Area, после чего использовалась функция Roughness Analysis.

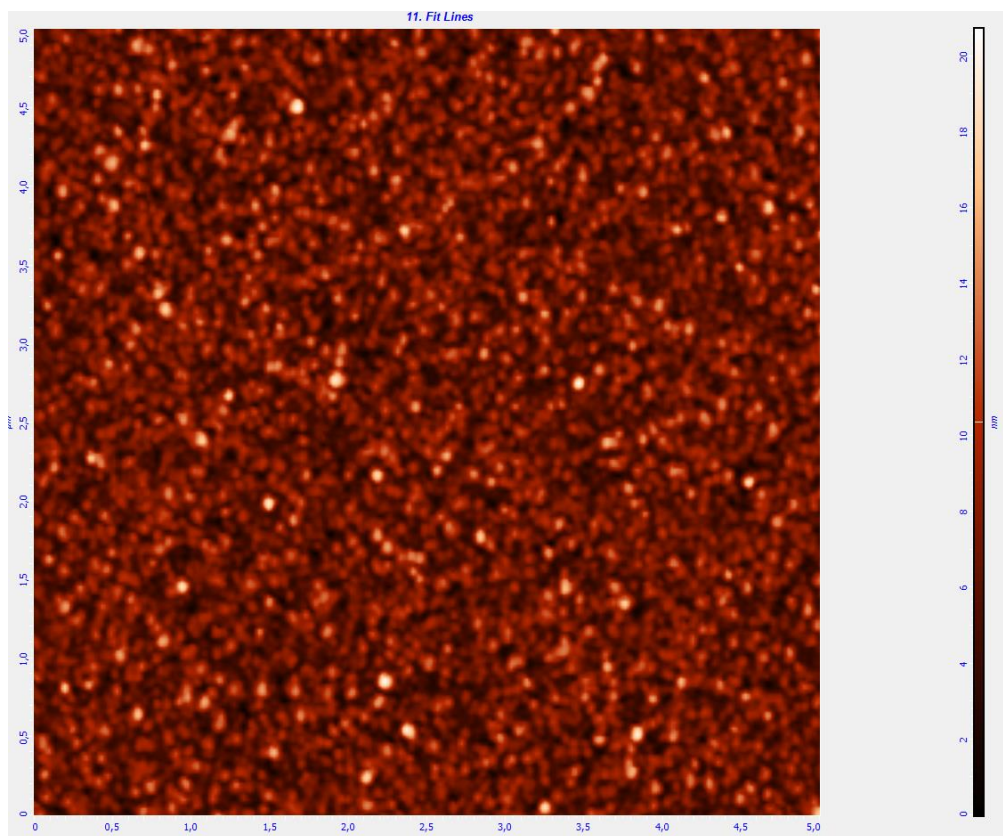


Рисунок 8 – Изображение образца №2 после применения Fit Lines by Area

Результаты обработки функцией Roughness Analysis с учётом калибровки представлены в таблице 1.

Таблица – 1

Шероховатость	2,52 мкм, 128 пикселей	5,02 мкм, 512 пикселей
$S_a$ , нм	1,82	1,82
$S_q$ , нм	2,33	2,34

В таблице 1  $S_a$  – средняя шероховатость,  $S_q$  – среднеквадратичная шероховатость.

$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_k, y_l) - \mu|$$

где  $\mu$  – средняя высота изображения:

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} z(x_k, y_l)$$

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_k, y_l) - \mu|^2}$$

## Выводы:

В ходе работы:

1. Изучены методы работы атомно-силового микроскопа;
2. Получен калибровочный коэффициент  $k = 0.9804 \pm 0.0025$ ;
3. Оценена шероховатость пластины кремния при различных разрешениях.

Таблица – 2

Шероховатость	2,52 мкм, 128 пикселей	5,02 мкм, 512 пикселей
$S_a$ , нм	1,82	1,82
$S_q$ , нм	2,33	2,34