

Сравнение атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии нанопор на поверхности травимых кристаллов оливина, облученных быстрыми тяжёлыми ионами

54-я Международная Тулиновская конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами, 2025

С.А. Горбунов^{1,*}, А.Е. Волков^{1,2,4}, М.В. Горшенков³, Р. А. Рымжанов⁴, Г.В. Калинина¹



1) Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва



2) НИЦ «Курчатовский институт», Москва



3) ОИЯИ, Дубна



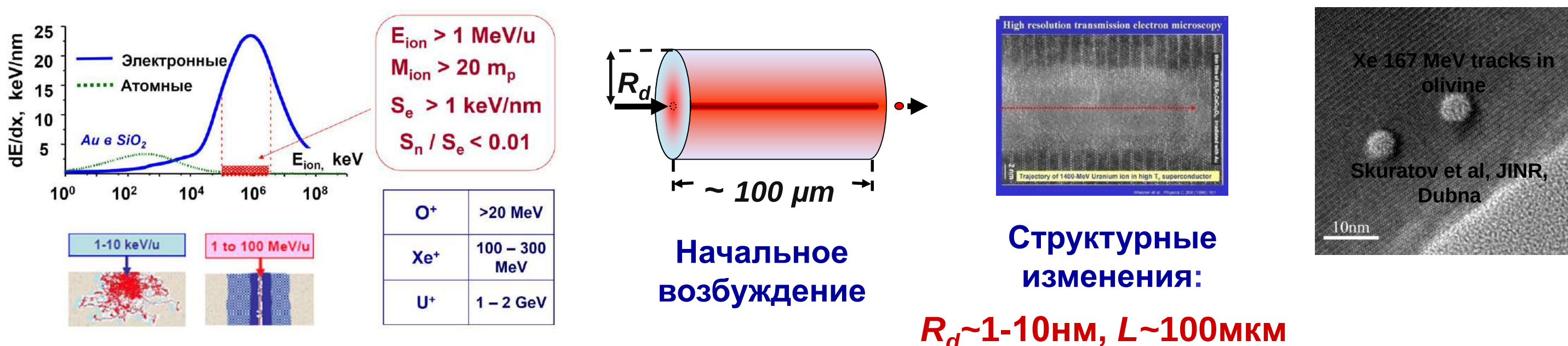
4) НИТУ МИСиС, Москва

* gorbunovsa@lebedev.ru

1. Синтез нанопор при помощи БТИ

Быстрые тяжёлые ионы (БТИ): $E > 1 \text{ МэВ/нукл}$, $M > 20 \text{ а.е.м.}$

1) Облучение



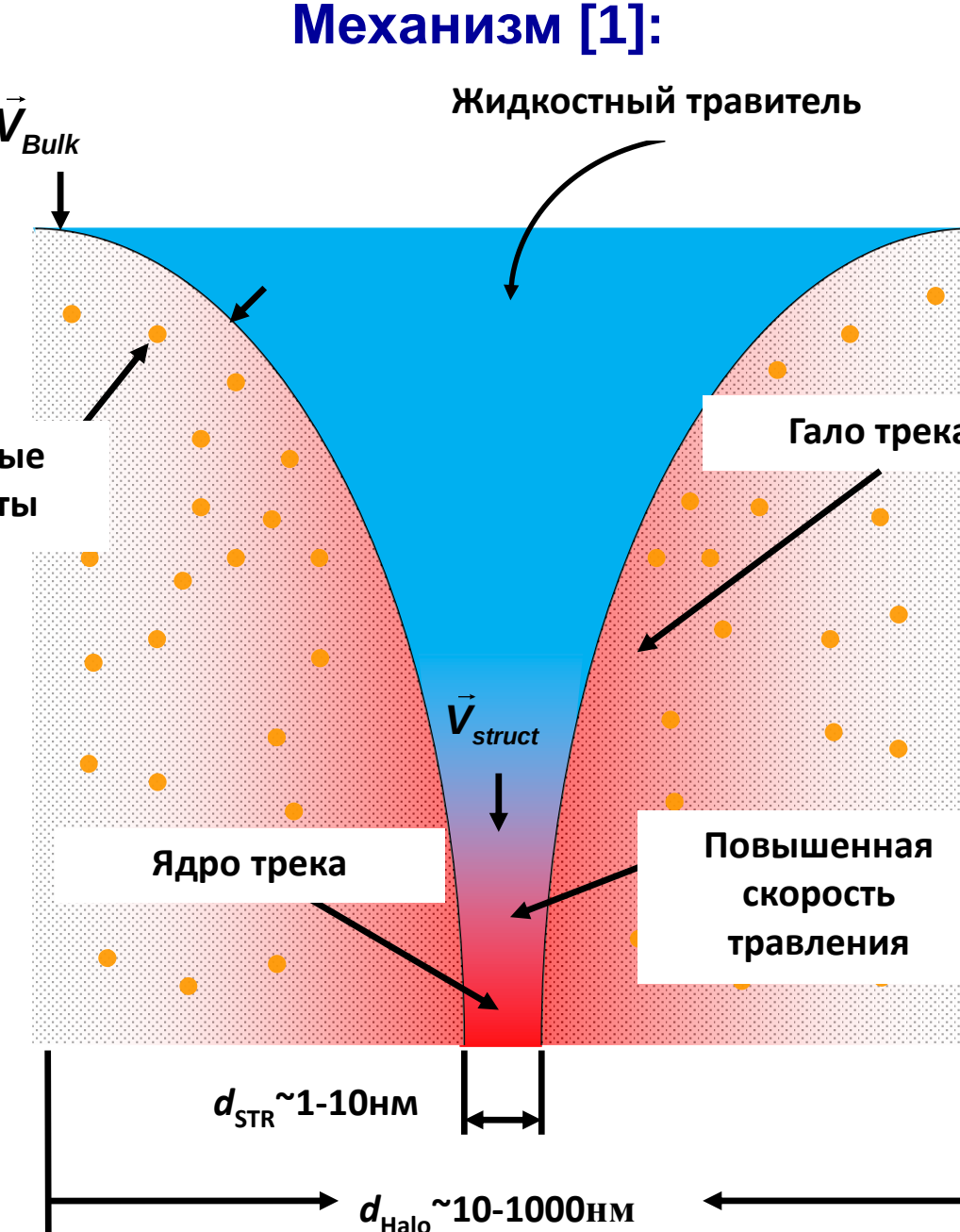
$R_d \sim 1\text{-}10 \text{ нм}$, $L \sim 100 \text{ мкм}$

Начальное возбуждение

Структурные изменения:

2) Травление

Механизм [1]:



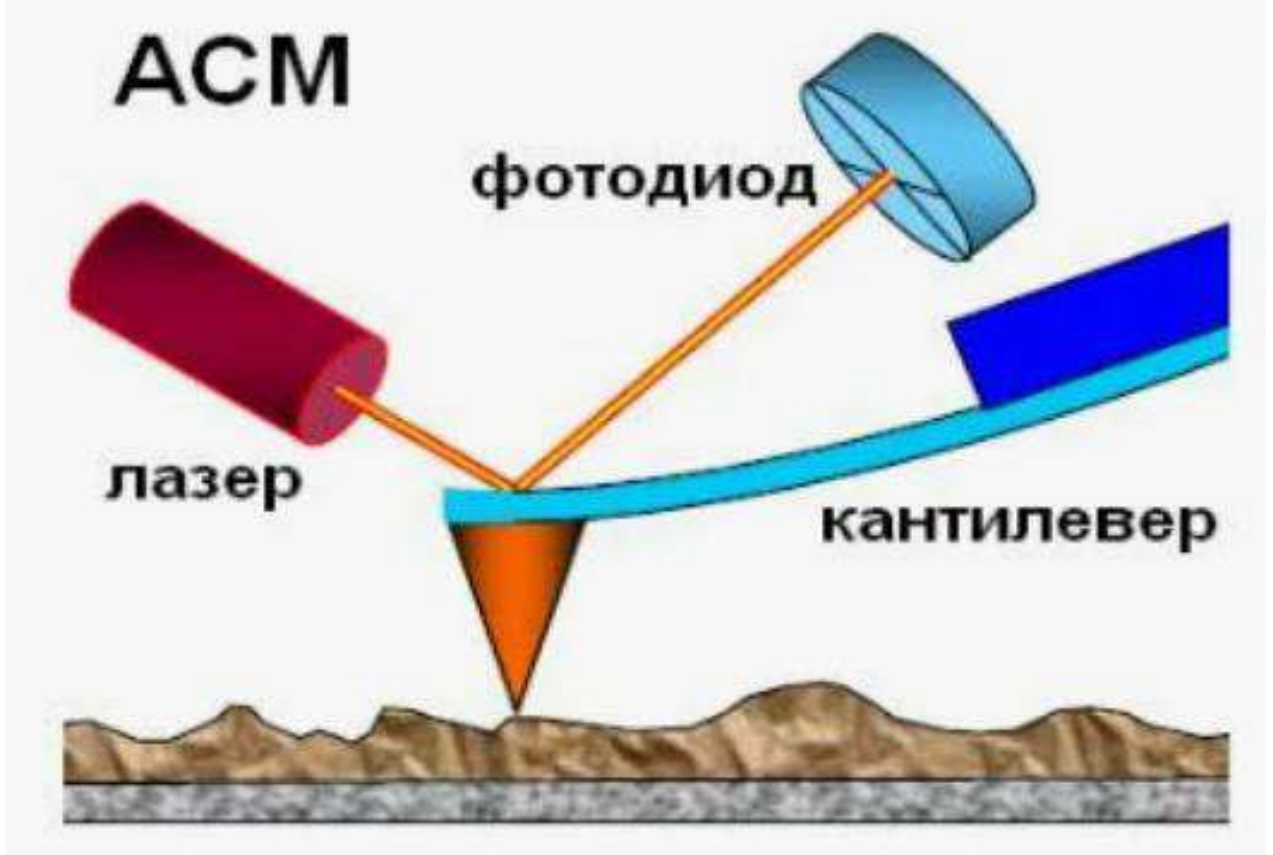
При использовании кристаллического образца с анизотропией травления можно получить полигональные поры

2. АСМ и СЭМ методы

Атомно-силовой микроскоп

Принцип работы атомно-силового микроскопа – перемещение заострённой иглы по поверхности образца.

Характерный размер острия сравним с диаметром нанопоры – могут быть искажения

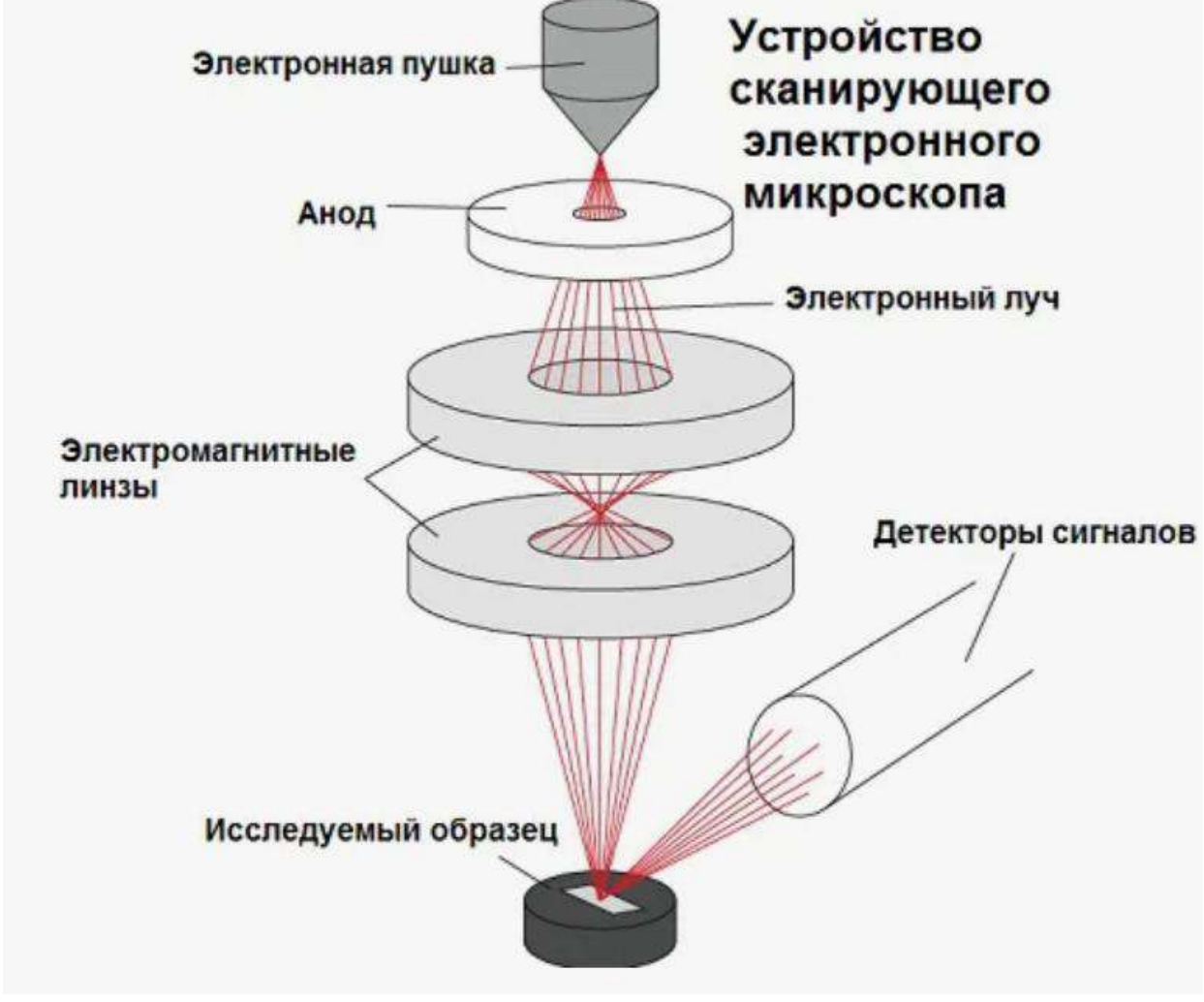


Сканирующий электронный микроскоп

Фокусированный электронный луч перемещается по поверхности образца. По отражённому пучку определяется форма поверхности.

Однако, диэлектрическая мишень накапливает заряд – сканирование невозможно. Для исследования наносят токопроводящий слой, как правило напыляют платину.

Наноразмерный слой платины тоже может создавать искажения формы нанопор



Оба метода могут вносить искажения в итоговую картину

3. Эксперимент [2]

а) Образцы оливина были смонтированы в эпоксидную таблетку

б) Полировка

- Алмазная паста (зерно $\sim 1 \text{ мкм}$)
- Коллоидный кремний (зерно $\sim 10 \text{ нм}$)

в) Облучение

- Ионы Xe 156

г) Травление

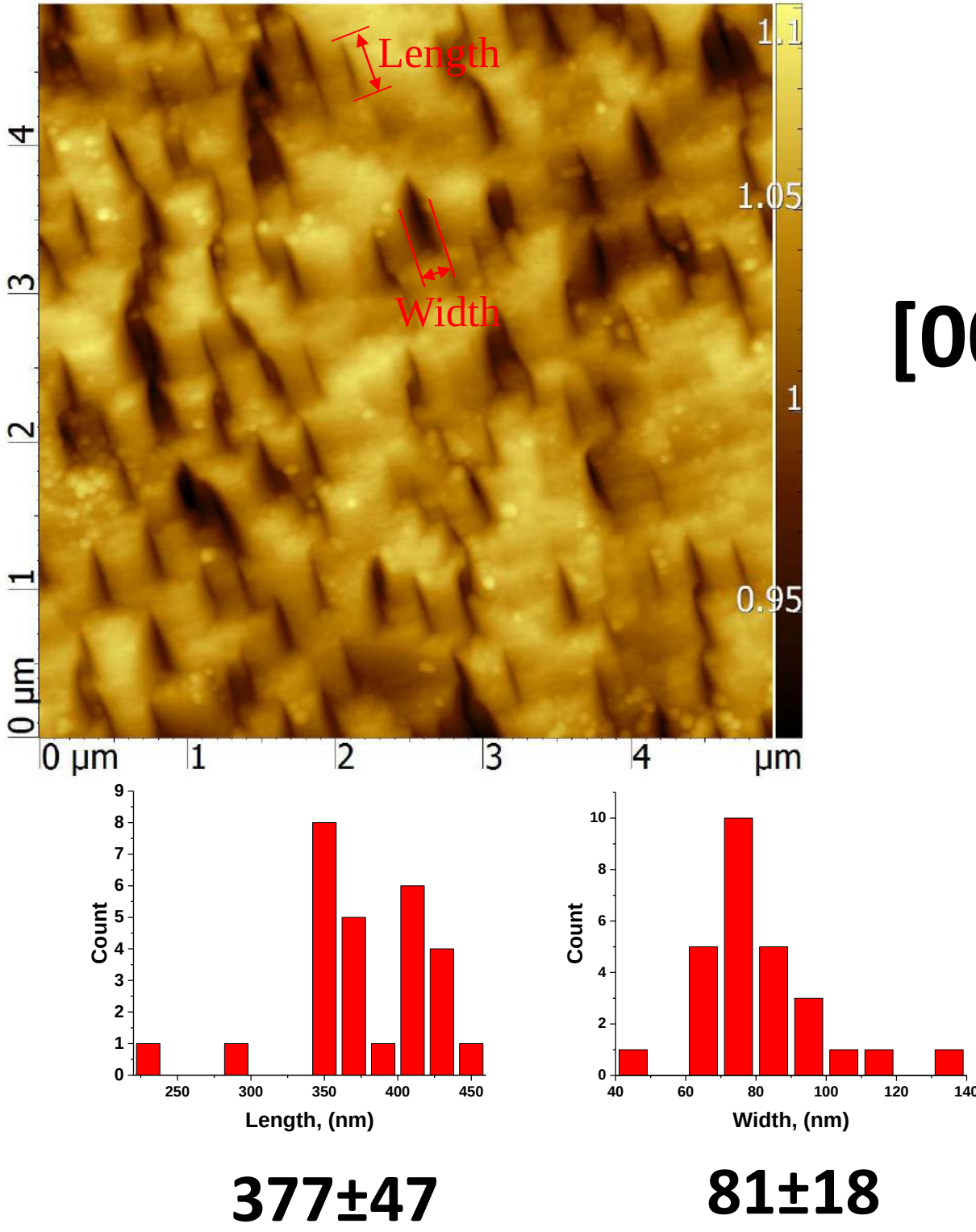
- WN-раствор: 40г ЭДТА, 1г щавелевая кислота, 1мл ортофосфорная кислота, 100мл вода

Результаты

Атомно-силовой микроскоп

Микроскоп AISN-NT Smart SP 1000

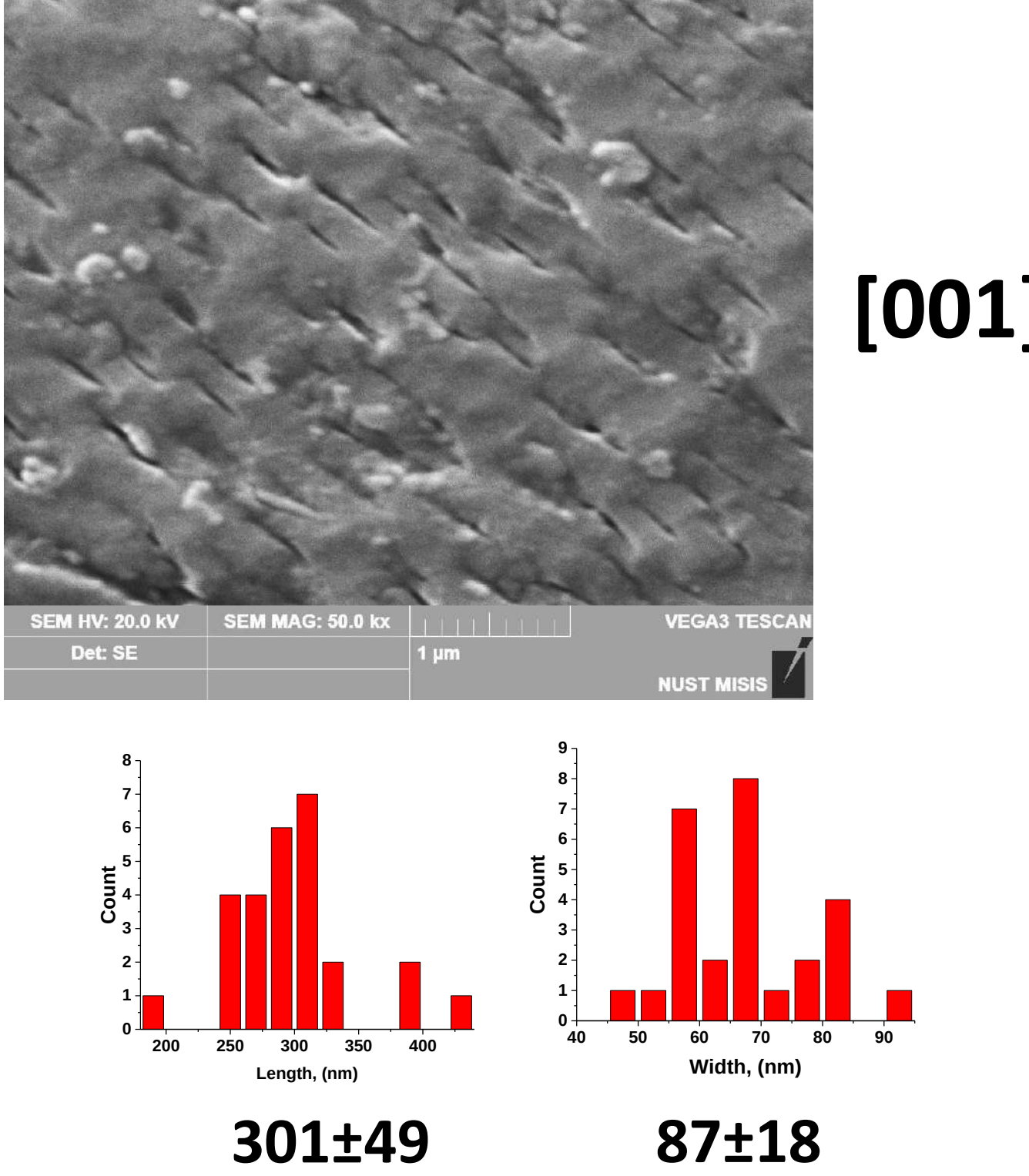
Радиус кривизны наконечника кантилевера 20 нм



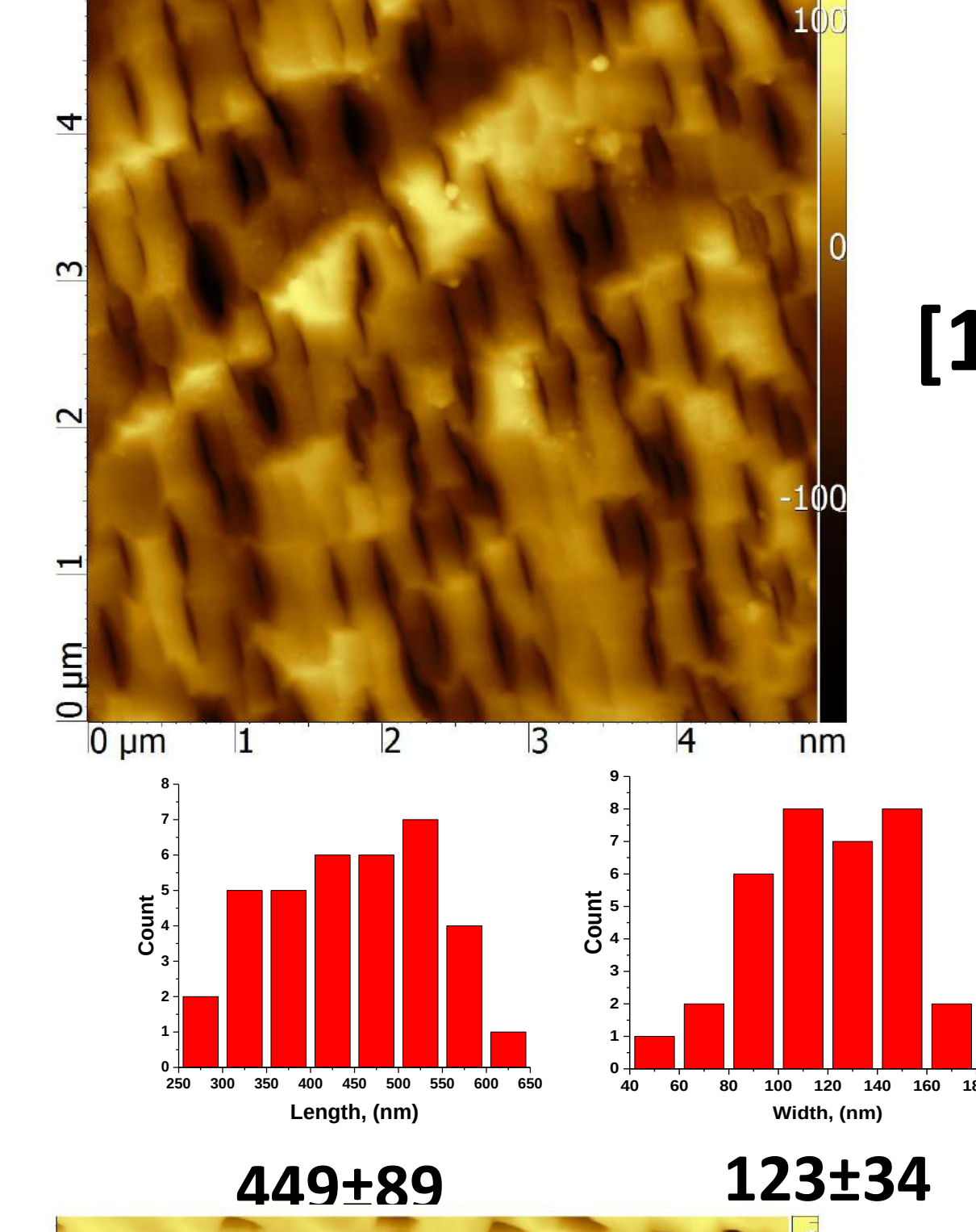
Сканирующий электронный микроскоп

Микроскоп Tescan Vega 3. Напряжение 20 кВ

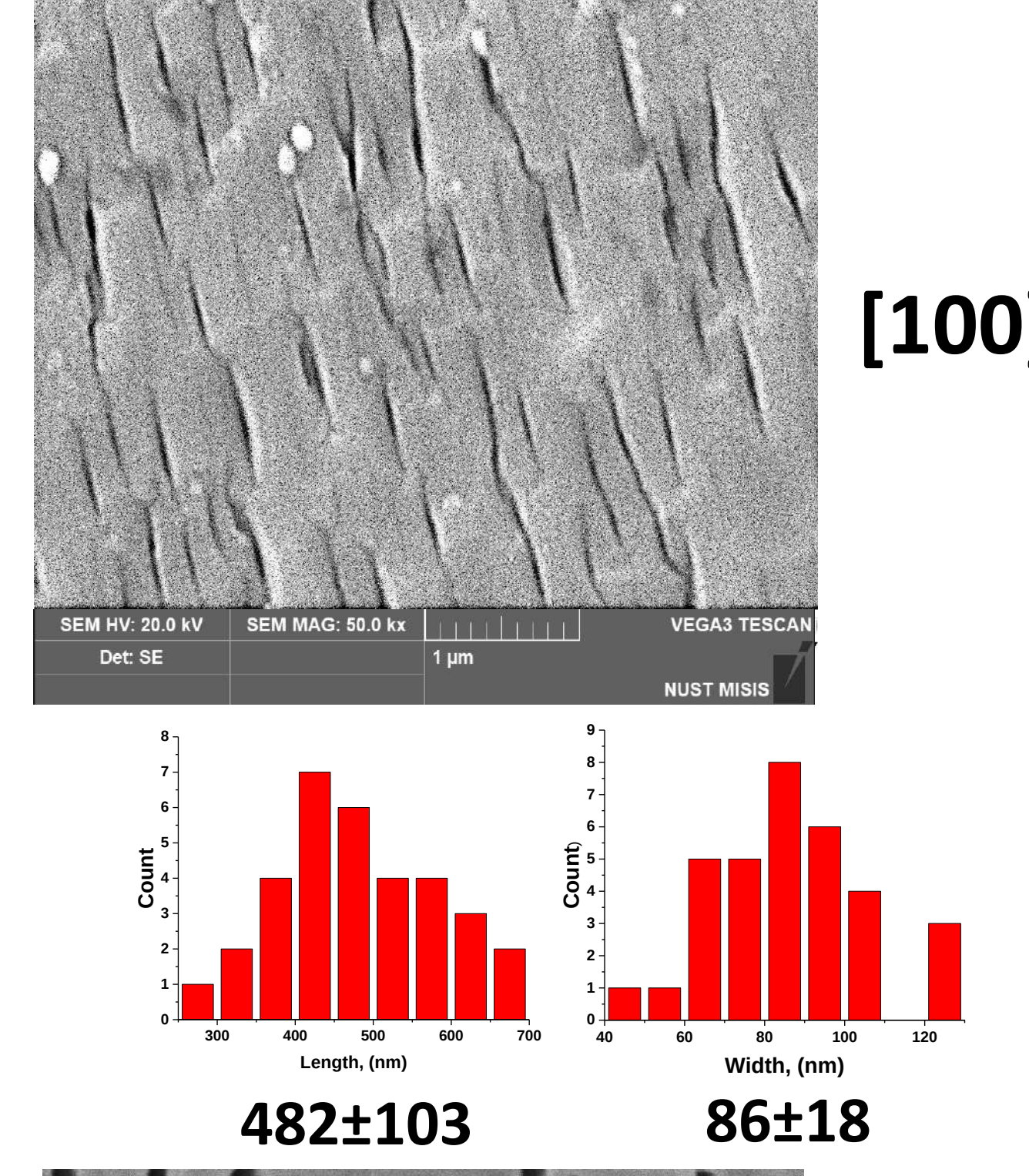
Напылён слой 5 нм на поверхность образца



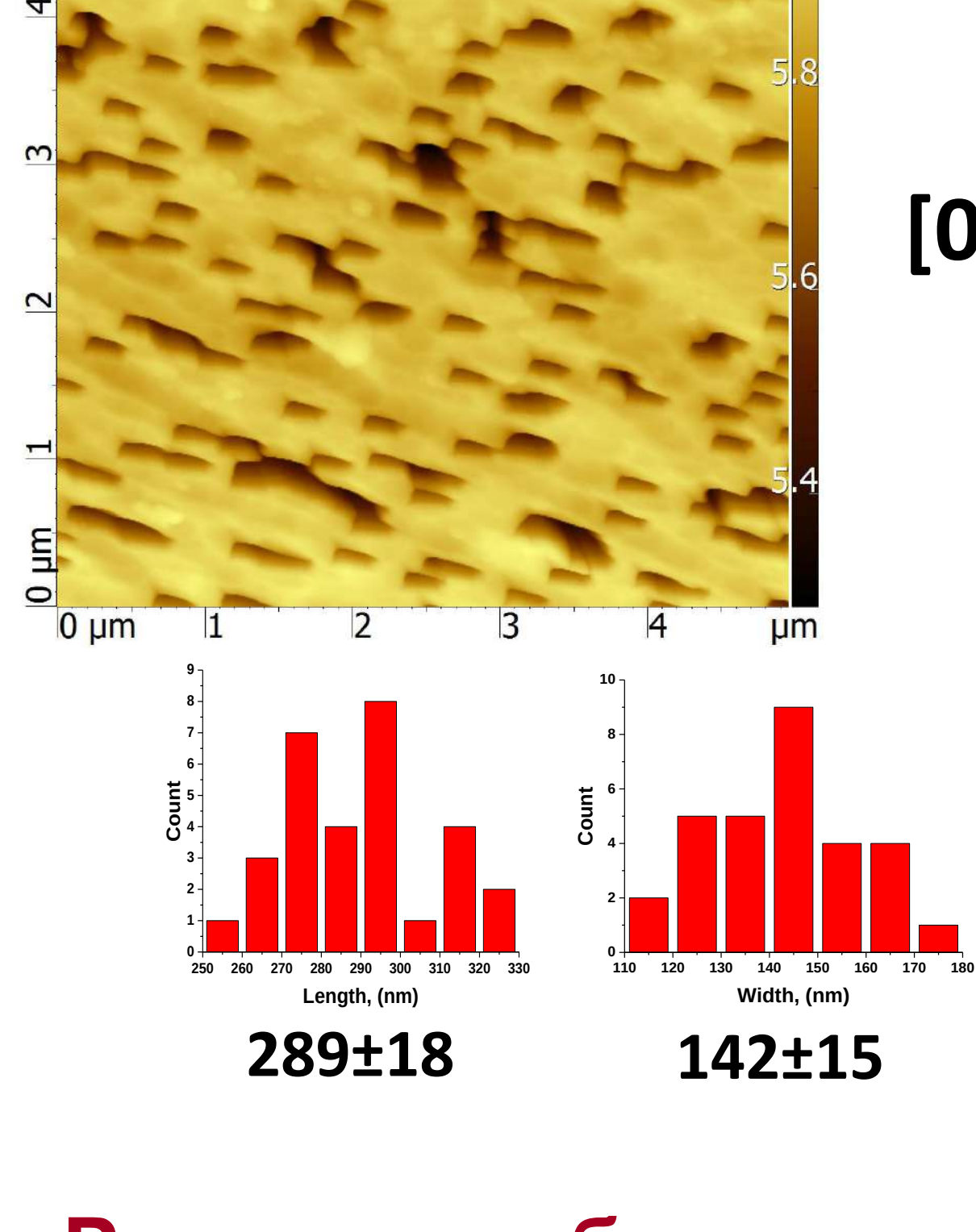
[001]



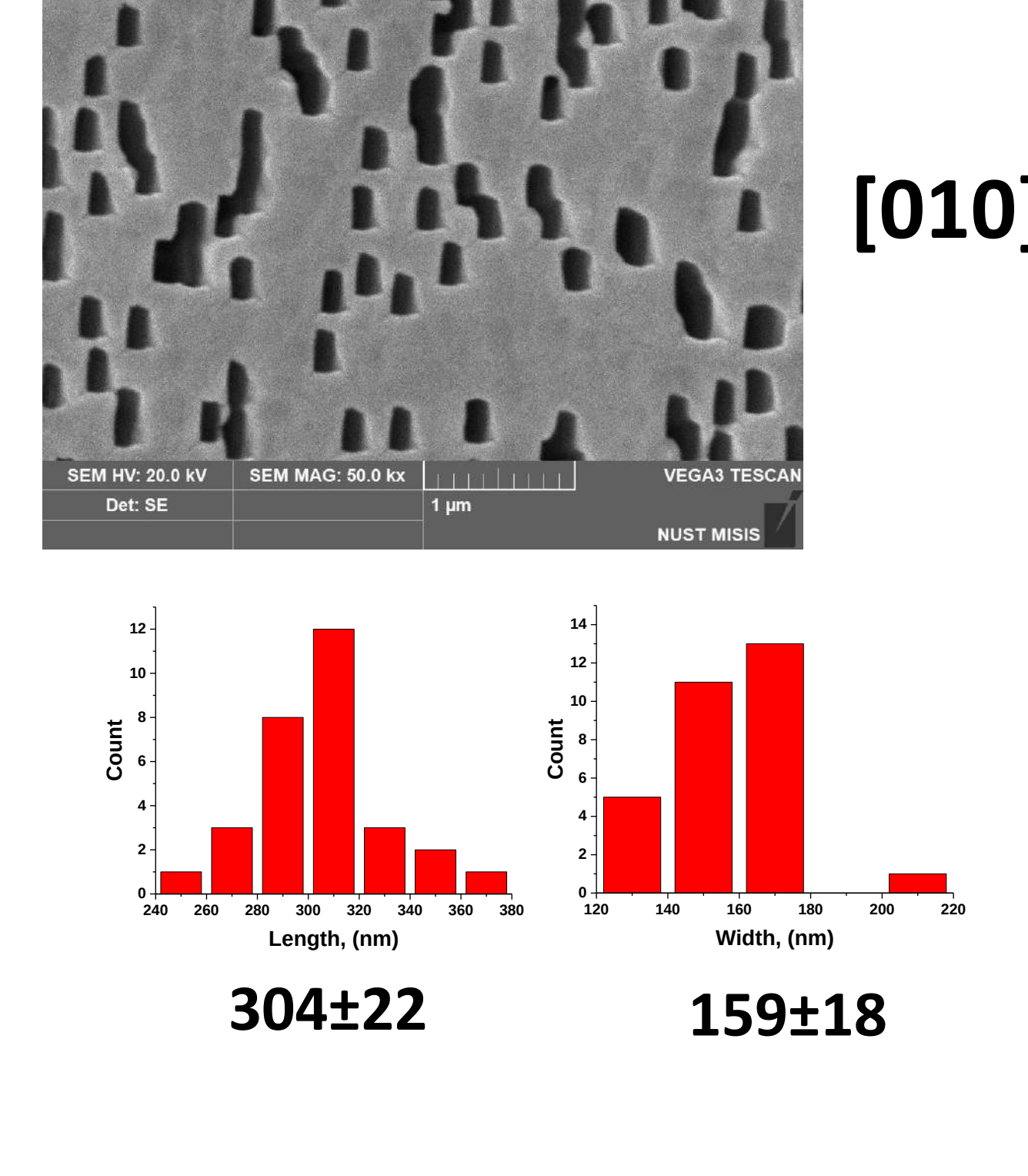
[100]



[100]



[010]



[010]

Размеры наблюдаемых нанопор могут зависеть от применяемого метода микроскопии

Заключение

- Травление оливина, облученного быстрыми тяжёлыми ионами, может использоваться для синтеза нанопор с некруговым поперечным сечением
- Формой пор можно управлять, изменяя направление кристаллических осей оливина относительно налетающих ионов.
- Наблюдаемые размеры и визуальная форма синтезируемых нанопор могут зависеть от применяемого метода микроскопии. При этом, между АСМ и СЭМ нет однозначного соответствия в сторону увеличения и уменьшения размеров.

Литература

[1] S A Gorbunov et. al, 2017, J. Phys. D: Appl. Phys. 50 395306

[2] S.A. Gorbunov, et. al, Radiation Physics and Chemistry 232 (2025) 112675