

Синтез наноразмерных пор с некруговым поперечным сечением при помощи облучения оливина быстрыми тяжёлыми ионами

52-я Международная Тулиновская конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами, 2023

С.А. Горбунов^{1,*}, П.А. Бабаев¹, А.Е. Волков^{1,2}, Р.А. Воронков¹, 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



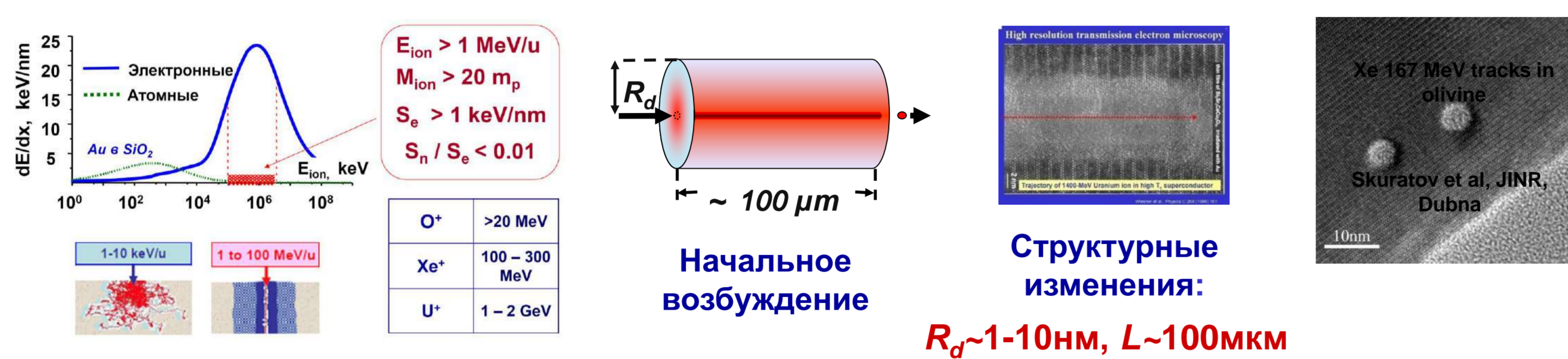
4) НИТУ МИСиС, Москва

*gorbunovsa@lebedev.ru

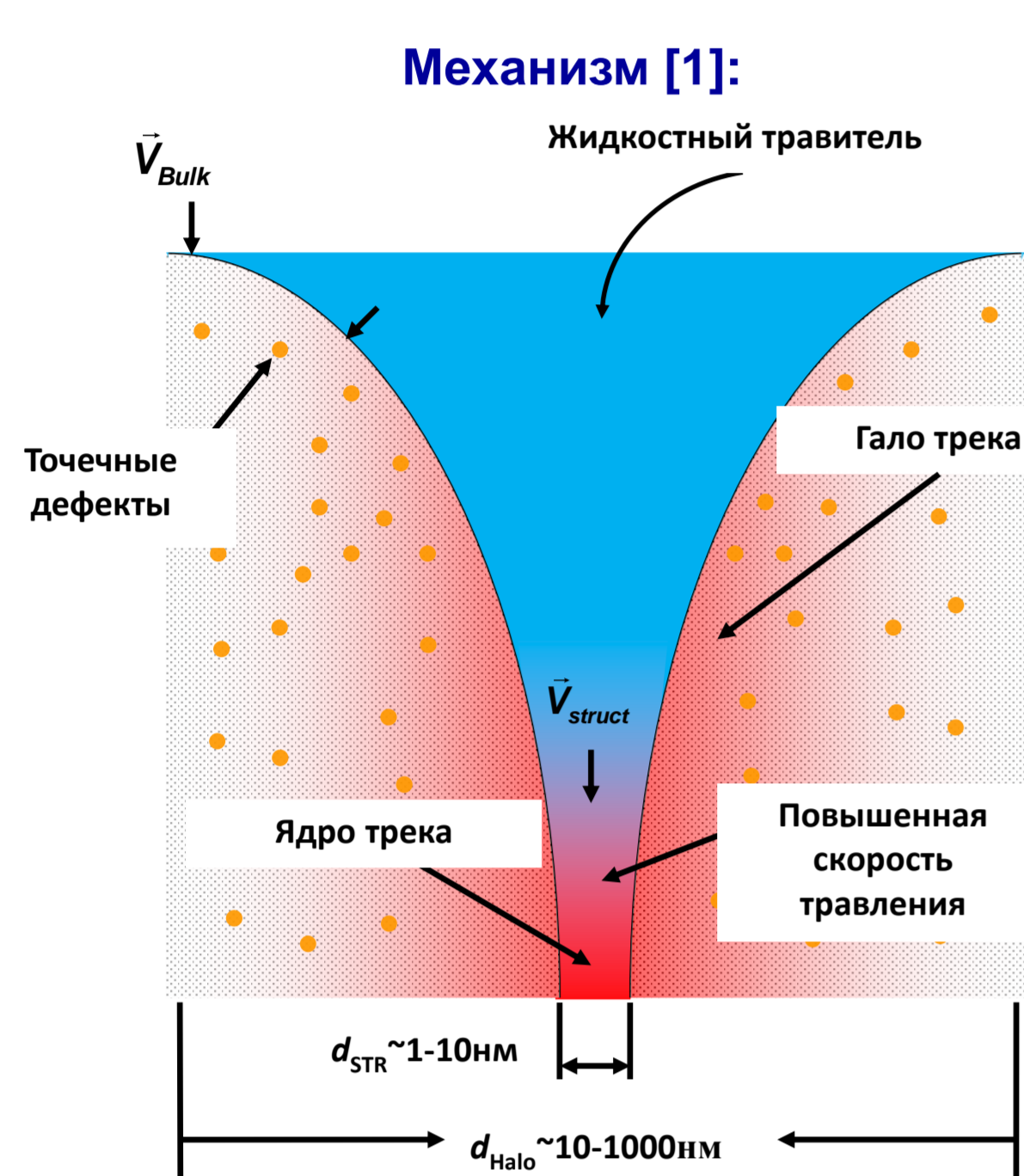
1. Синтез нанопор при помощи БТИ

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

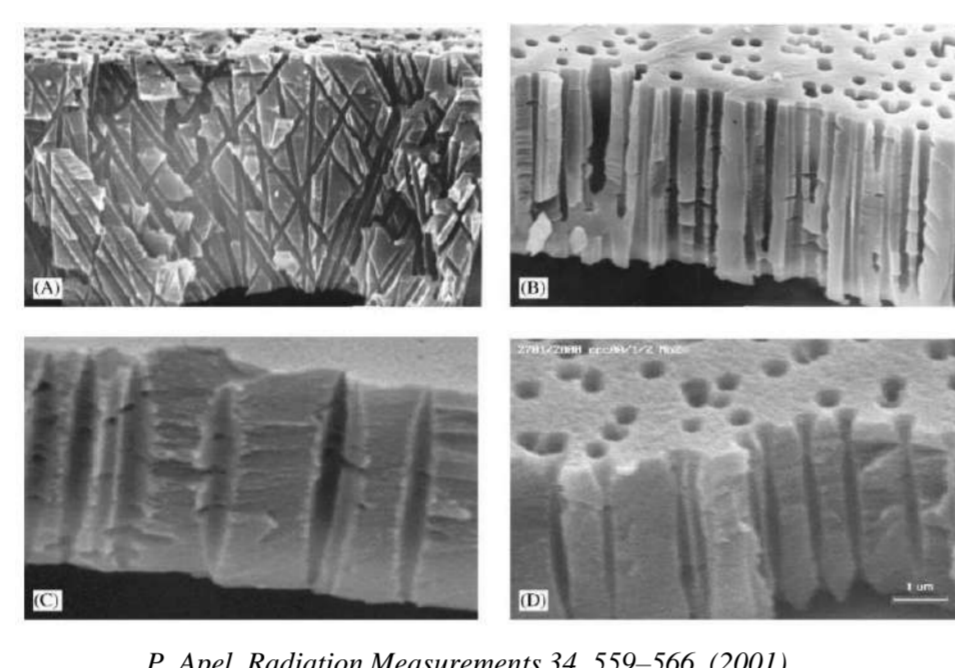
1) Облучение



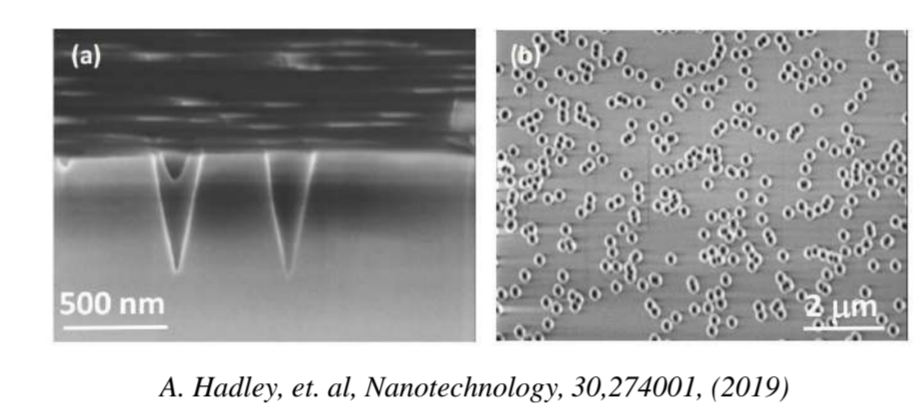
2) Травление



Поры в полимерах:



Поры в SiO₂:

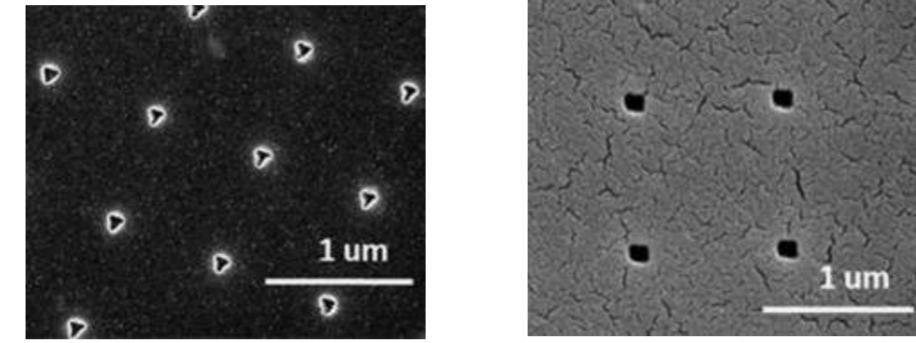


Как правило, используются изотропные материалы => поры круглые

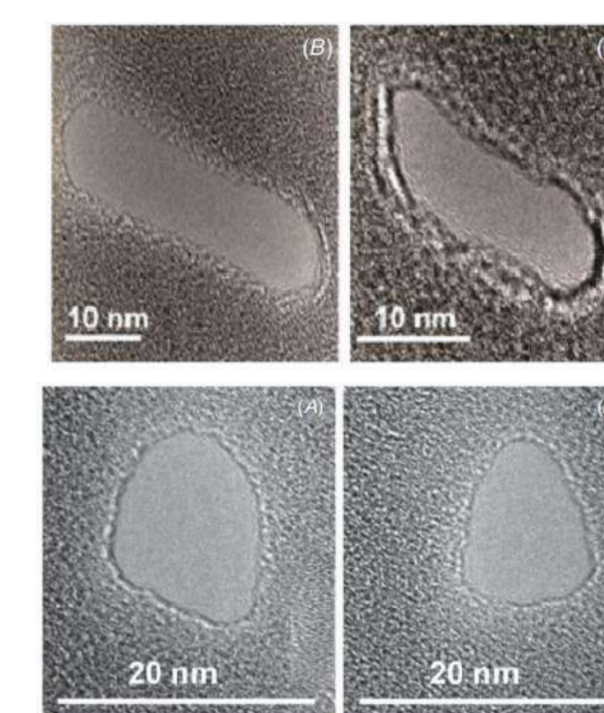
2. Поры с некруговым поперечным сечением

Синтез нанопор с некруговым поперечным сечением

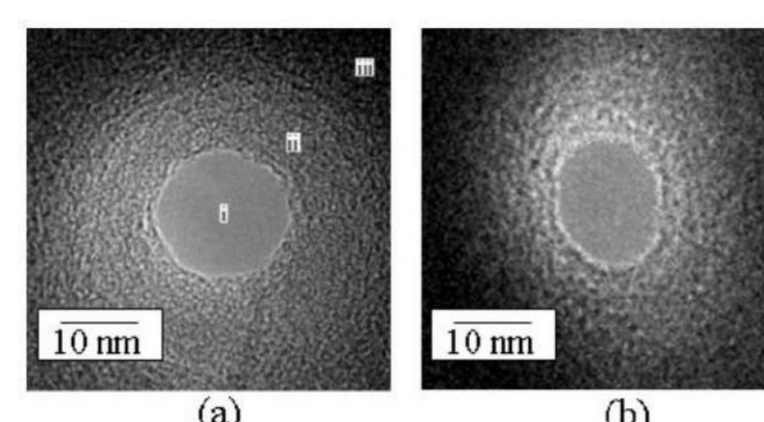
Электронная наноитография:



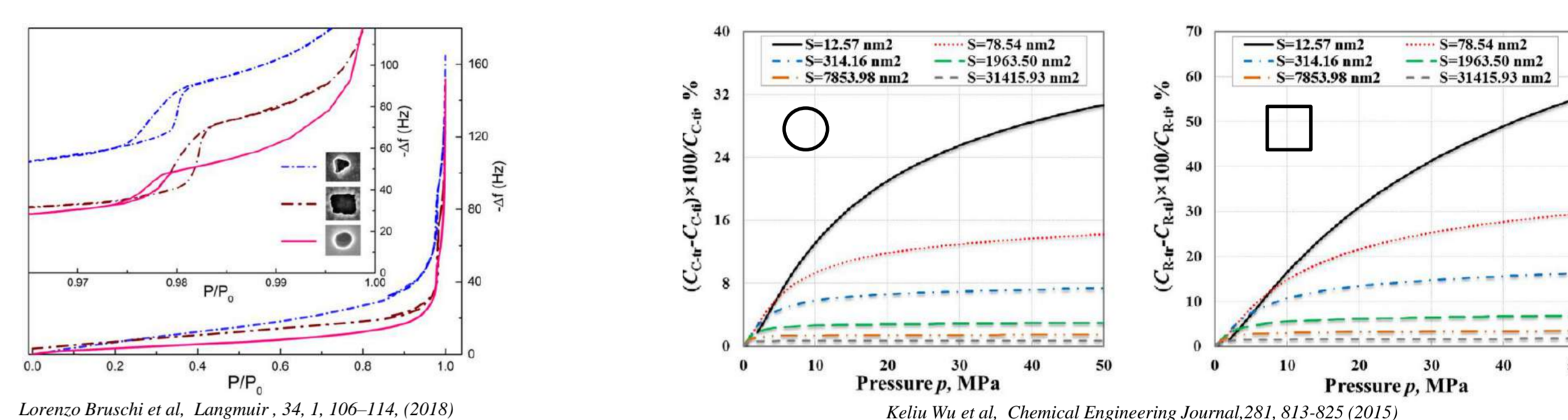
Просвечивающий электронный микроскоп:



Фокусированный ионный пучок



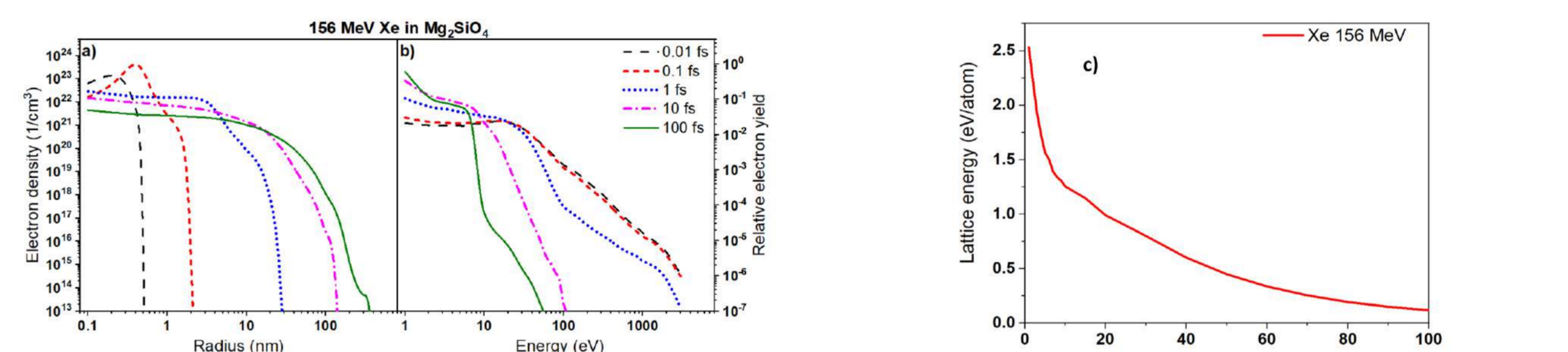
Адсорбционные и транспортные свойства пор с различным сечением:



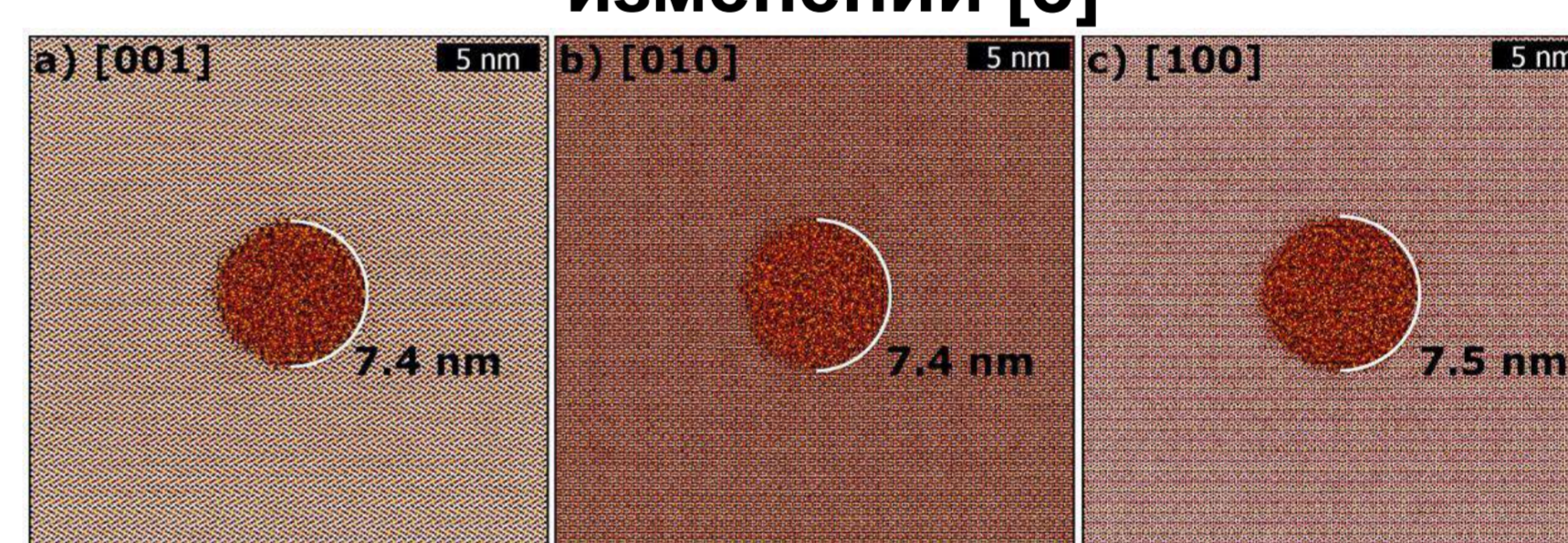
Форма сечения пор играет существенную роль

4. Атомистическая модель травления [2]

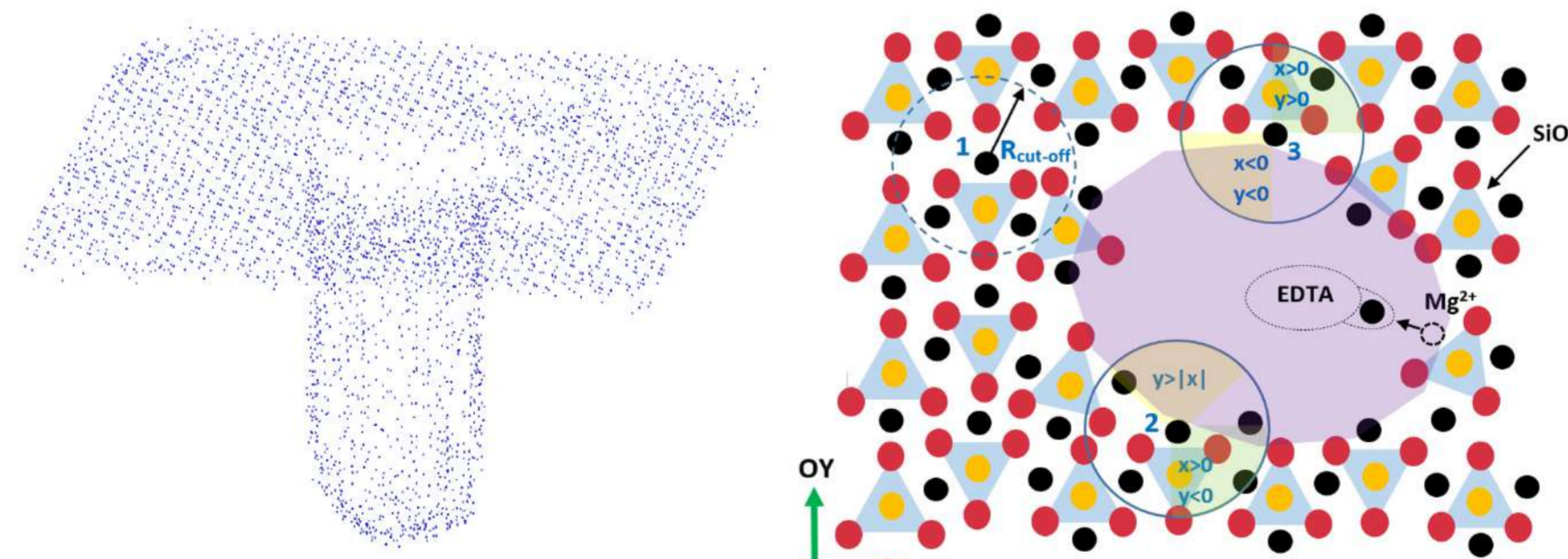
Монте-Карло модель TREKIS [3] возбуждения материала в треке



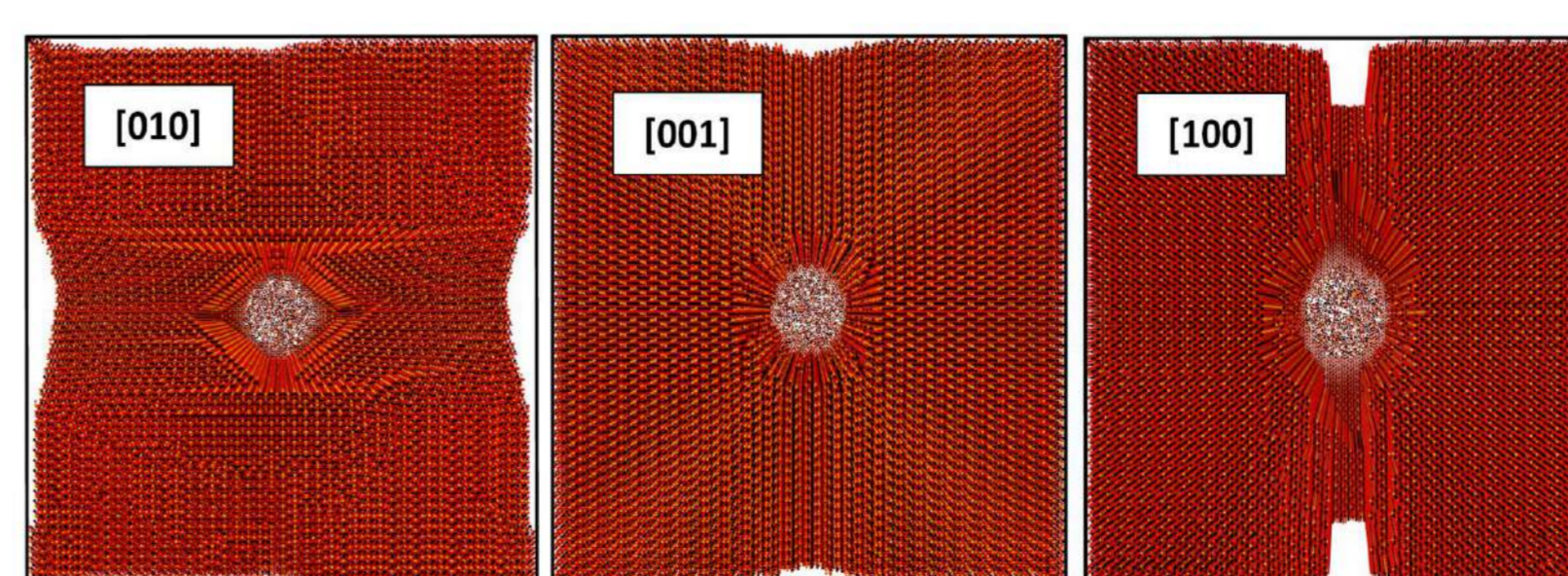
Молекулярно-динамическое моделирование структурных изменений [3]



Автоматический поиск и последовательное удаление поверхностных атомов



Результаты



Форма пор зависит от ориентировки кристалла

3. Синтез некруговых пор при помощи БТИ в оливине

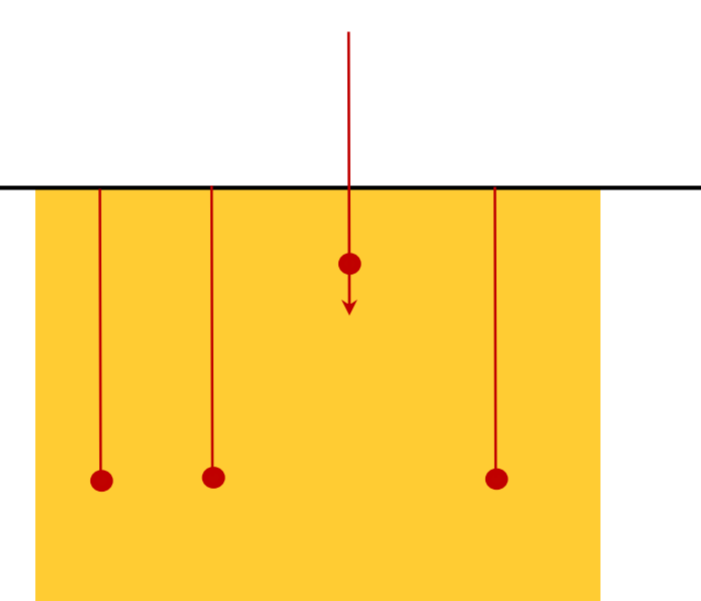
а) Образцы оливина были смонтированы в эпоксидную таблетку



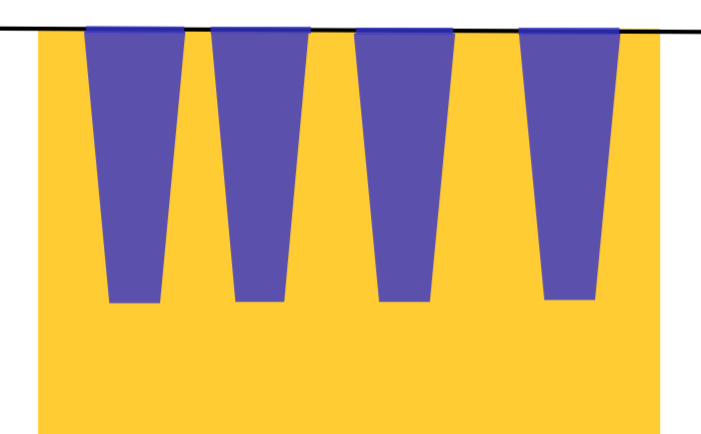
б) Полировка
• Алмазная паста (зерно ~1 мкм)
• Коллоидный кремний (зерно ~10 нм)



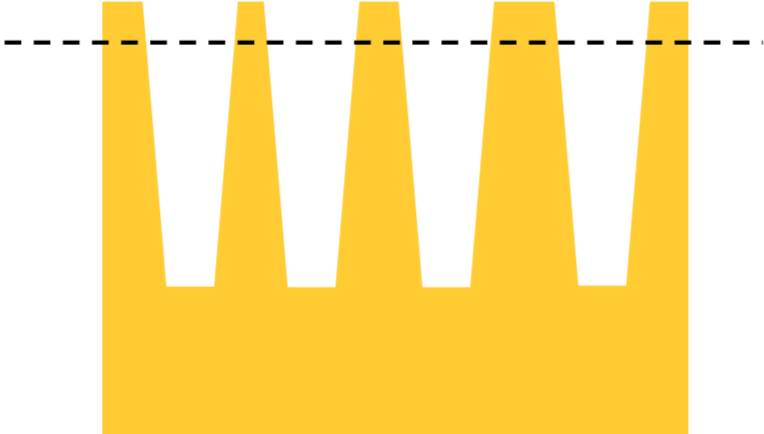
в) Облучение
• Ионы Au 11.4 МэВ/нукл



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

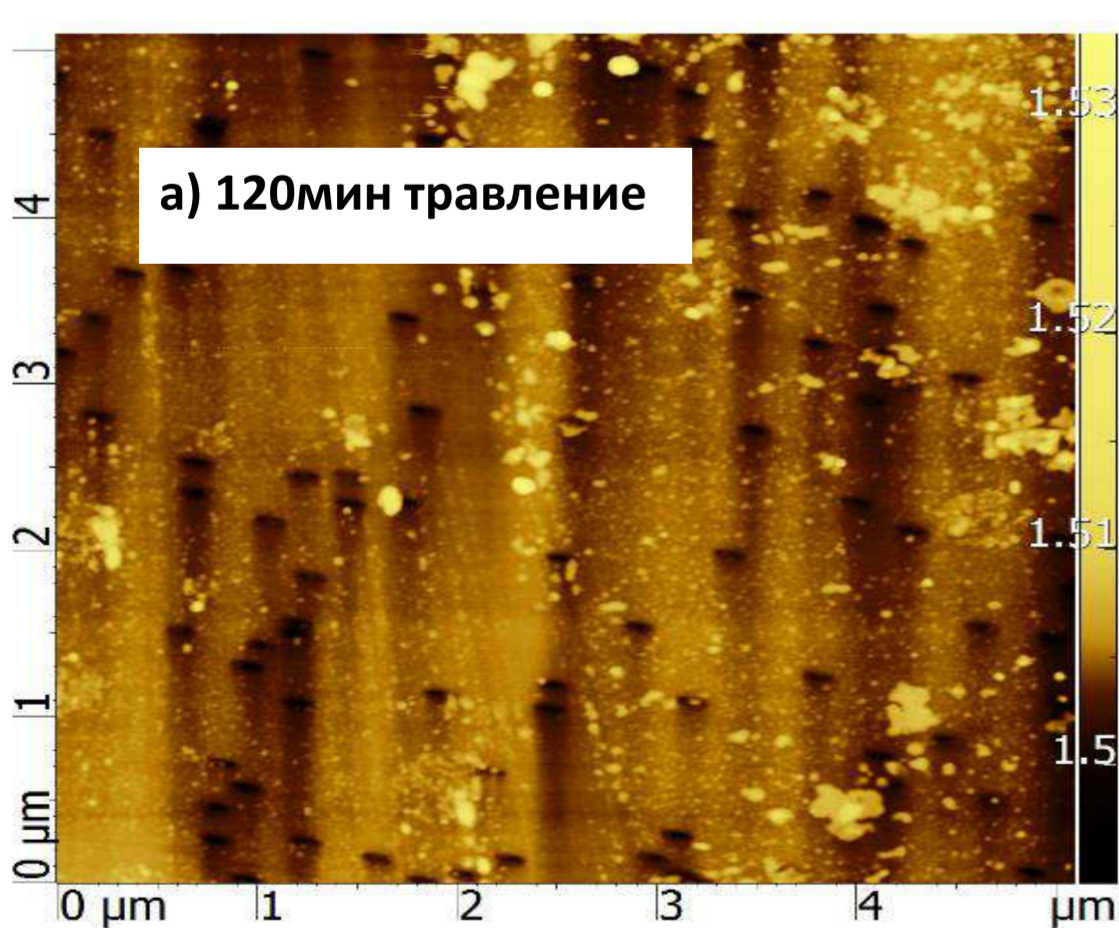


г) Повторная шлифовка

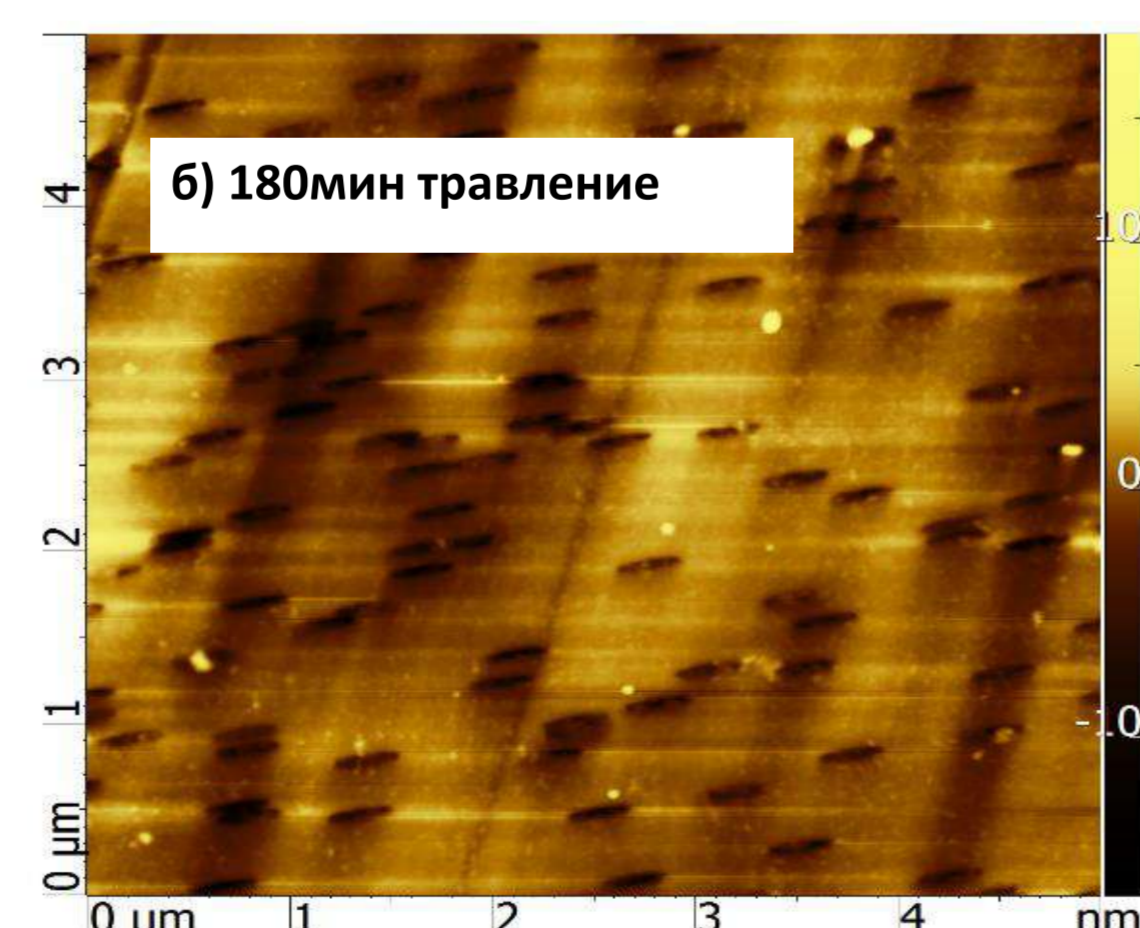


Результаты

Атомно-силовой микроскоп AIN-NT Smart SP 1000



Поры с овальным сечением ~60*120 нм



Поры с овальным сечением ~120*300 нм

Заключение

- Травление оливина, облученного быстрыми тяжёлыми ионами, может использоваться для синтеза нанопор с некруговым поперечным сечением
- Моделирование показывает, что формой пор можно управлять, изменяя направление кристаллических осей оливина относительно налетающих ионов.

Литература

- [1] S A Gorbunov et. al, 2017, J. Phys. D: Appl. Phys. 50 395306
- [2] S.A. Gorbunov, et. al, J. Phys. Chem. C 2023, 127, 10, 5090-5097
- [3] N. A. Medvedev, et. al, Journal of Applied Physics 133, 100701 (2023)