

Формы нанопор, синтезируемых при травлении треков быстрых тяжёлых ионов, в зависимости от кристаллической ориентировки образцов

53-я Международная Тулиновская конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами, 2024

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



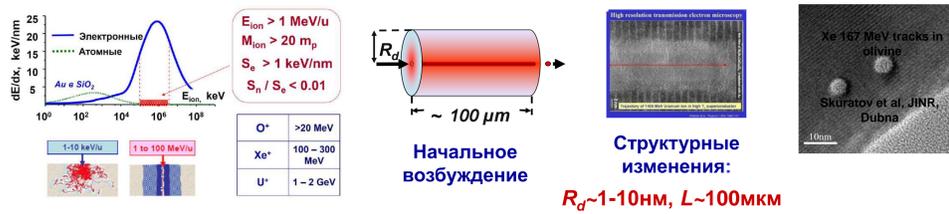
4) НИТУ МИСиС, Москва

* gorbunovsa@lebedev.ru

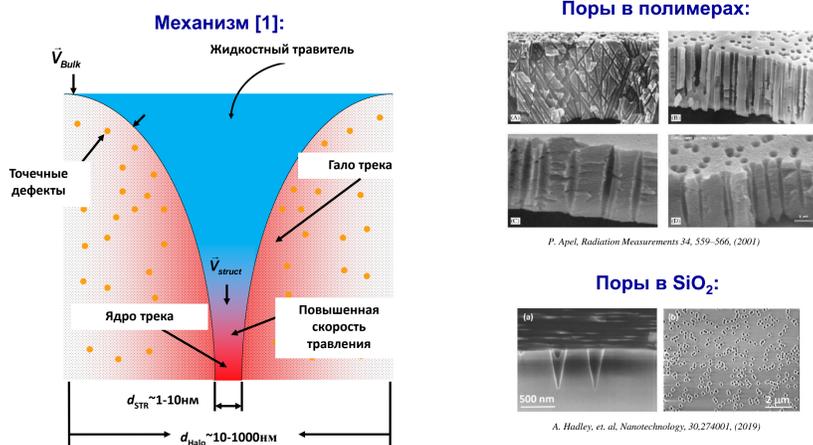
1. Синтез нанопор при помощи БТИ

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

1) Облучение

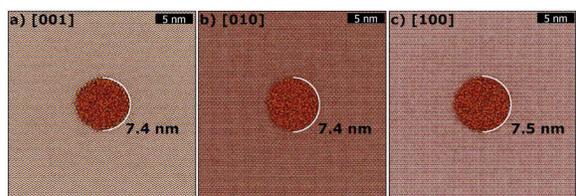


2) Травление

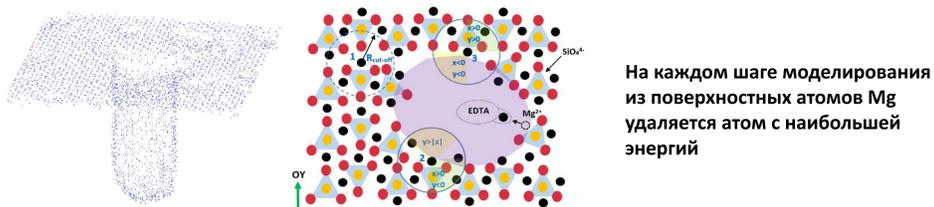


3. Модель травления [2]

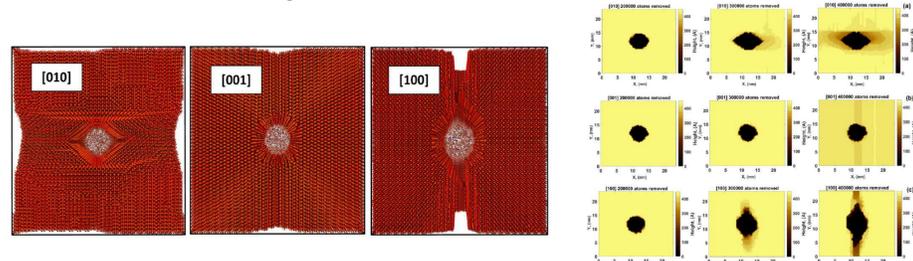
Монте-Карло модель TREKIS [3] возбуждения электронной подсистемы материала в треке+Молекулярно-динамическое моделирование структурных изменений [3]



Автоматический поиск и последовательное удаление поверхностных атомов



Результаты моделирования

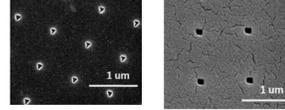


Форма пор зависит от ориентировки кристалла

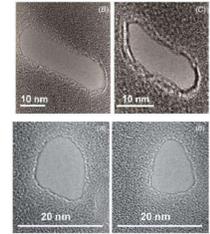
2. Поры с некруговым поперечным сечением

Синтез нанопор с некруговым поперечным сечением

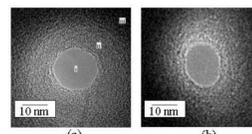
Электронная нанолитография:



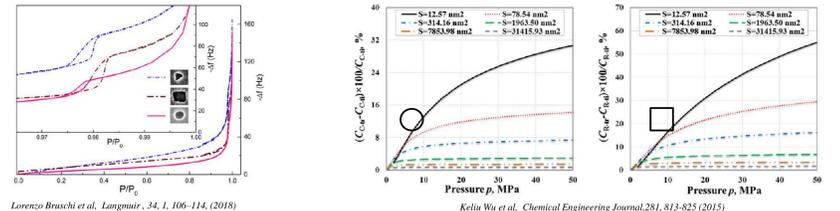
Просвечивающий электронный микроскоп:



Фокусированный ионный пучок



Адсорбционные и транспортные свойства пор с различным сечением:



Форма сечения пор играет существенную роль

4. Эксперимент

а) Образцы оливина были смонтированы в эпоксидную таблетку



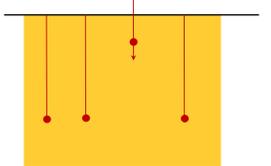
б) Полировка

- Алмазная паста (зерно ~1 мкм)
- Коллоидный кремний (зерно ~10 нм)



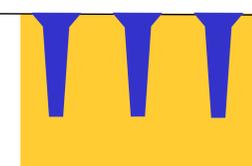
в) Облучение

- Ионы Au 11.4 МэВ/нукл

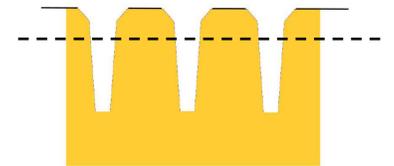


г) Травление

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



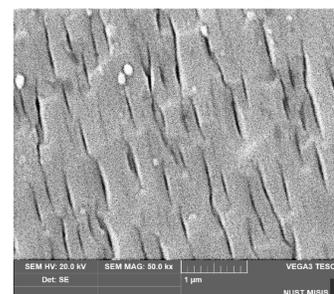
д) Повторная шлифовка. Срезаем слой 2 мкм, содержащий лунку травления



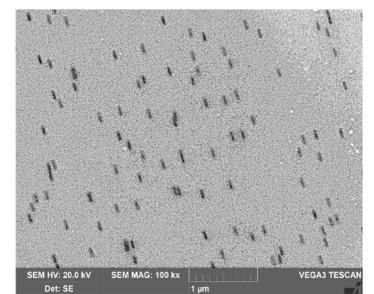
Результаты

Сканирующий электронный микроскоп Tescan Vega 3

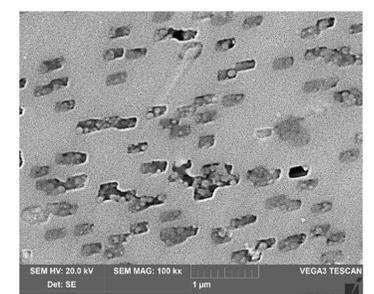
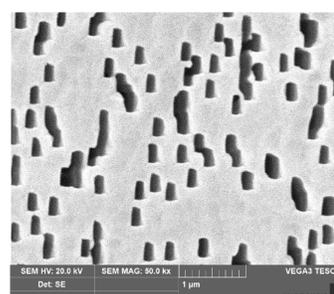
До повторной шлифовки



После повторной шлифовки



[100]



[010]

Форма, размер нанопоры и наличие лунки травления зависят от ориентировки кристалла

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.
- В зависимости от ориентировки кристалла лунки травления может и не быть. После среза слоя, содержащего лунку травления, поры становятся более однородными.

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)