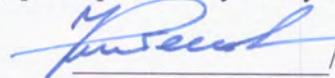


УТВЕРЖДАЮ:

Директор Института наук о Земле СПбГУ

 / Чистяков К.В. /

« 17 » 10 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Актуальность темы диссертации

Диссертация посвящена проблеме расширения возможностей исследования процессов дислокационного роста кристаллов на наноуровне. Изучение процессов, протекающих на растущей кристаллической поверхности, имеет большое значение для дополнения существующих и выработки новых теоретических механизмов различных явлений роста кристаллов. Актуальность работы обусловливается необходимостью развития кристаллогенетических методов *in situ*. Используемый в работе метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) является на сегодняшний день единственным инструментом, позволяющим проводить прямые наблюдения в растворе на наноуровне.

Прямое слежение за процессами в элементарном масштабе имеет также значение для решения задач промышленного получения необходимого качества кристаллов для разных отраслей, от энергетики и оптоэлектроники до фармакологической промышленности. Анализ кинетических данных по влиянию специальных механических воздействий на рост и растворение кристаллов в наномасштабе актуален для выработки методов эффективного использования механических факторов для технологии выращивания кристаллов.

Экспериментально-теоретические исследования кристаллогенеза обеспечивают развитие научной базы реконструкции процессов природного кристаллообразования.

Обоснованность и достоверность результатов исследований

Обоснованность и достоверность результатов работы обусловлены: 1. Применением проверенных экспериментальных исследовательских методов и использованием современного сертифицированного оборудования. 2. Высокой точностью данных и большим их объемом, который позволил применить методы математической статистики. 3. Воспроизводимостью результатов исследования. 4. Обсуждением полученных результатов с ведущими специалистами, апробацией, а также опубликованием результатов в рецензируемых научных изданиях.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов

(1) В каждом из представленных в работе экспериментов новизна определяется фактами регистрации конкретных наномасштабных явлений роста и растворения и последующей расшифровкой их механизмов. Некоторые явления зарегистрированы в наномасштабе впервые, к примеру, процесс прорастания дислокации сквозь накрывшие ее массивные слои.

(2) Впервые проведены прямые АСМ-наблюдения послойных процессов на границе срастания индивидов, в области трещин и на сжатых с противоположных сторон гранях.

Зарегистрировано возникновение разных типов дефектов при таких воздействиях, доказано их значительное влияние на морфологию поверхности, динамику и кинетику процессов в микро- и наномасштабе.

(3) Предложен трехстадийный механизм возникновения винтовой дислокации, инициированной внедренной частицей примеси, который заключается в релаксации напряжений вокруг частицы путем формирования одной или нескольких дислокаций еще до ее зарастания на первой стадии, присоединения к ним краевых дислокаций в момент зарастания на второй стадии, появлением результирующей дислокации и ее прорастанием сквозь накрывшие слои на третьей стадии.

(4) Для снятия координатных данных с изображений АСМ разработан авторский метод, полученные данные позволяют проводить масштабные кинетические расчеты. С их помощью установлено, что нанесение царапин провоцирует флуктуационно-диссипативную перестройку поверхности и возникновение автоколебаний скорости, в то время как поверхность, захватившая множество твердых частиц, напротив, характеризуется ровным характером скорости и малыми флуктуациями.

(5) Рост и растворение в наномасштабе в кинетическом режиме, доказаны как необратимые процессы.

Теоретическая и практическая значимость определяется важностью полученной принципиально новой информации о микро- и нанопроцессах на растущих гранях кристаллов для теории роста кристаллов, управления процессами промышленного выращивания кристаллов и развития научной базы реконструкции процессов природного кристаллообразования.

Разработаны методики для определения с помощью АСМ влияния на поверхностные процессы различных механических факторов. Исследования могут способствовать разработке научных основ применения механических факторов для ускорения требуемой и подавления нежелательной кристаллизации в различных областях промышленности.

Прямым применением результатов исследования являются изготовленные по данным АСМ 9 цифровых видеofilьмов, демонстрирующих различные явления роста кристаллов, которые используются в университетских учебных программах.

Личный вклад автора

Личный вклад автора включает постановку задач, подбор модельных объектов, разработку методик, постановку *in-situ* и *ex-situ* АСМ-экспериментов, сбор и обработку данных, интерпретацию результатов. Часть экспериментов на атомно-силовом микроскопе проведена самим автором в качестве оператора.

Замечания по диссертационной работе

Существенные недостатки работы не выявлены.

Общая характеристика диссертационной работ

Диссертация характеризуется значительной научной и практической значимостью, которая определяется представительным набором оригинальных данных, характеризующим как методические аспекты атомно-силовой микроскопии роста кристаллов, так и кинетико-морфологические особенности кристаллизации на наноуровне. Статистическая обработка массива полученных кинетических данных обеспечивает результатам работы высокую достоверность.

Все это, в свою очередь, определяет значимость защищаемых положений, которые находятся в полном соответствии с материалами диссертации и получили достаточное экспериментально-теоретическое обоснование.

Результаты исследования опубликованы в 17 статьях, в том числе: в рецензируемых

научных изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки РФ - 2 публикации; в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus – 15 публикаций. Результаты представлялись на российских и международных конференциях, о чем свидетельствуют 35 тезисов докладов.

Учитывая вышесказанное, диссертация Пискуновой Натальи Николаевны «Послойный рост и растворение кристаллов на дефектах», представленная на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности «1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» является научно-квалификационной работой, содержащей данные о кинетико-морфологических особенностях кристаллообразования на наноуровне. Полученные результаты важны для теории роста кристаллов, реконструкции условий их роста в природе и управления процессами промышленного выращивания кристаллов.

Заключение

По итогам рассмотрения и обсуждения диссертации Пискуновой Натальи Николаевны «Послойный рост и растворение кристаллов на дефектах», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности «1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» и выполненной в Институте геологии имени академика Н.П. Юшкина - обособленном подразделении федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Сыктывкар, Россия, 2024 г., а также представленных соискателем научных публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, приняты следующие решения, замечания и рекомендации:

Диссертационная работа Пискуновой Натальи Николаевны «Послойный рост и
растворение кристаллов на дефектах», представленная на соискание ученой степени,
доктора геолого-минералогических наук по специальности «1.6.4 Минералогия,
кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»
соответствует требованиям и рекомендуется к защите в Дис. Совете СПбГУ по
специальности «1.6.4 Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых».

Нарушения со стороны _____ Пискуновой Натальи Николаевны _____
ФИО соискателя

п. 11 Приказа СПбГУ от «19» ноября 2021 г. №11181/1

_____ не выявлены _____

не выявлены, выявлены

и Приказа СПбГУ от 03.07.2023 № 9287/1

_____ не выявлены _____

не выявлены, выявлены

Все (либо указать исключения) основные выносимые на защиту научные материалы диссертации опубликованы в предложенных соискателем статьях:

1. Piskunova N. N. Non-reversibility of crystal growth and Dissolution: Nanoscale direct observations and kinetics of transition through the saturation point // *J. of Crystal Growth*. 2024. V. 631. 127614.
2. Пискунова Н. Н. Исследование влияния различных факторов на рост кристаллов из раствора с помощью атомно-силовой микроскопии // *Геохимия*. 2024. Т.62. № 6. Переводная версия: N. N. Piskunova Study of the Effects of Different Factors on Crystal Growth from Solution: Data of Atomic Force Microscopy // *Geochemistry International*, 2024, Vol. 62, No. 6, pp. 634–646.
3. Пискунова Н. Н. Прямое наблюдение процессов роста на кристаллической поверхности, инициируемых захватом примеси // *ЗРМО*. 2023. Т. 152. №3. С. 82–97.
4. Piskunova N. N. Nanoscale crystal growth processes triggered by captured solid impurity particles // *J. of Crystal Growth*. 2023. V. 603. 127013.
5. Пискунова Н. Н. Наночастицы оксидов железа в тонких пленках на поверхности природных кристаллов кварца // *ДАН. Науки о земле*. 2020. Т. 492. № 2. С. 31–34. Переводная версия: Piskunova N. N. Iron oxide nanoparticles in the thin films on the surfaces of natural quartz crystal // *Doklady Earth Sciences*, V. 492 № 2. P. 415–417.
6. Piskunova N. N. The effect of nanoindentation on crystal growth rate fluctuations investigated by in-situ atomic force microscopy // *J. of Crystal Growth*. 2021. V. 575. 126359
7. Пискунова Н. Н. Изучение процессов самоорганизации на поврежденной поверхности кристалла с помощью атомно-силовой микроскопии // *ЗРМО*. 2022. Ч. СЛІ. № 5. С. 112–127.
8. Пискунова Н. Н. Возможности атомно-силовой микроскопии в решении задач исследования кристаллов и процессов их роста // *Известия Коми научного центра*. 2018. №4. С.39–45.
9. Перовский И. А., Пискунова Н. Н. Наноразмерные морфологические характеристики синтетических порошков из продуктов переработки лейкоксена // *Стекло и керамика*. 2017. №4. С. 6–10. Переводная версия: Perovskii I. A., Piskunova N. N. Nanosize morphological characteristics of synthetic powders obtained using the products of leucoxene reprocessing // *Glass and Ceramics*. 2017. V. 74. №. 3 – 4. P. 118–122.
10. Пискунова Н. Н., Асхабов А. М. Влияние механических деформаций на рост кристаллов (по данным атомно-силовой микроскопии) // *ДАН*. 2017. Т. 474. № 2. С. 164–167. Переводная версия: N. N. Piskunova, A. M. Askhabov. Effect of Mechanical Deformations on the Growth of Crystals (According to Atomic Force Microscopy Data) // *Doklady Physics*. 2017. V. 62. № 5. P. 236–239.
11. Машина Е. В. Пискунова Н. Н., Асхабов А. М., Макеев Б. А. Механизм роста кристаллов моногидрата холестерина в холелитах // *ЗРМО*. 2015. № 5. С. 112–119.
12. Сокерина Н. В., Шанина С.Н., Пискунова Н. Н., Зыкин Н. Н., Исаенко С. И. Условия формирования золоторудной минерализации на проявлении Синильга, Приполярный Урал (по данным изучения флюидных включений) // *ЗРМО*. 2013. № 6. С. 89–105.
13. Трейвус Е. Б., Пискунова Н. Н., Симакова Ю. С. Скульптура кубических граней кристаллов пирита из Испании и возможная причина ее возникновения // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2011. №8. С.60–64.
14. Сокерина Н. В., Пискунова Н. Н. Условия роста кристаллов кварца на месторождении Желанное, Приполярный Урал (по данным изучения флюидных и твердых включений) // *Геохимия*. 2011. № 2. С. 192-201. Переводная версия: Sokerina N.V., Piskunova N.N. Growth Condition of Quartz Crystals at the Zhelannoe Deposit in the Nether Polar Urals: Evidence from Fluid and Solid Inclusions *Geochemistry International*. 2011. V. 49. № 2. P. 181–190.

15. Piskunova N. N. AFM study of instability of growing crystal surface morphology // Functional Materials. 2010. V. 17. № 2. P. 196–200.
16. Piskunova N. N., Rakin V. I. Statistical analysis of dynamics of elementary processes on the surface of the growing crystal (by the AFM data) // Journal of Crystal Growth. 2005. V.275. № 1-2. P. 1661–1664
17. Piskunova N. N., Askhabov A. M. AFM-observation of elementary processes of crystal growth from solution // Journal of Optoelectronics and advanced materials. 2007. V. 9, № 5. P. 1290–1293.

Коллектив сотрудников кафедры кристаллографии Института Наук о Земле СПбГУ
наименование подразделения

РЕКОМЕНДОВАЛ

рекомендовал / не рекомендовал / рекомендовал при условии устранения замечаний

диссертацию Пискуновой Натальи Николаевны на тему «Послойный рост и растворение кристаллов на дефектах» к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности «1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Потенциальные кандидаты в члены диссертационного совета СПбГУ:

1. Гуржий Владислав Владимирович, д.г.-м.н., профессор каф. кристаллографии Института Наук о Земле СПбГУ, vladislav.gurzhiy@spbu.ru.
2. Франк-Каменецкая Ольга Викторовна, д.г.-м.н., профессор каф. кристаллографии Института Наук о Земле СПбГУ, o.frank-kamenetskaia@spbu.ru.
3. Таусон Владимир Львович, д.х.н., главный научный сотр. лаборатории моделирования геохимических процессов ФБГУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН, vltauson@igc.irk.ru.
4. Пальянов Юрий Николаевич, член-корреспондент РАН, д.г.-м.н., заведующий лабораторией экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН, palyanov@igm.nsc.ru.
5. Мальцев Виктор Викторович, д.х.н., ст. научный сотр. кафедры кристаллографии и кристаллохимии Московского государственного университета, maltsev@geol.msu.ru.

При проведении голосования коллектива сотрудников подразделения (протокол заседания № 43/1/13-02-8 от 25.06.2024) в количестве 9 человек, участвовавших в заседании из 14 человек штатного состава:

Проголосовали «за»: 9,

«против»: 0,

«воздержались»: 0.

Подписал: зав. каф. кристаллографии

(должность)

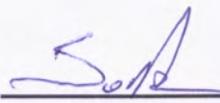
Института наук о Земле СПбГУ

(наименование структурного подразделения)

Д.Г.-М.Н.

(ученая степень)

(ученое звание)



(подпись)

А.А. Золотарев 03.10.2024

Расшифровка подписи, дата



Подпись от руки
Золотарева А.А.

ДОСТОВЕРЯЮ

Мальцев В.В.

10 20 24