NANOINDUSTRY
НАНОИНДУСТРИЯ
На двух языках
ISSN 1993-8578 (print)
ISSN 2687-0282 (online)
https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.5
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
5
2025



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ АЛКИДНОЙ ЭМАЛЕВОЙ КРАСКИ НА СВОЙСТВА ТЕРМОСТОЙКОСТИ, УСТОЙЧИВОСТИ К УФ-ИЗЛУЧЕНИЮ И ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ

Исследовано влияние углеродных нанотрубок, покрытых наночастицами оксида кремния, на устойчивость к термическим изменениям и ультрафиолетовому

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПЫЛИ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

По результатам анализа кадров, полученных с первого в мире космического СЗМ СММ-2000С, работающего в открытом космосе, высказана гипотеза о существовании механизма

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТА НИКЕЛЯ С СЕРЕБРОМ

Установлено, что в состав нанокомпозита входят кристаллогидрат гексацианоферрата никеля и фаза наноразмерного серебра с кубической гранецентрированной решеткой

В НОМЕРЕ:

- ИННОВАЦИИ
- ДОСТИЖЕНИЯ
- ДИСКУССИИ

ЭФФЕКТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ В УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОМ СПЛАВЕ Al–Zn–Mg В УСЛОВИЯХ МНОГООСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

По оптимальным температурно-скоростным режимам деформирования при пониженных температурах с помощью метода конечных элементов и физического эксперимента разработана технология многоосной деформации наноструктурного Al–Zn–Mg-сплава

Том 18 | №5 | 2025
Журнал: www.nanoindustry.su
Издательство: www.technosphera.ru

Получено: 9.07.2025 г. | Принято: 15.07.2025 г. | https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.5.248.252
Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПЫЛИ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Б.А.Логинов[1, 4, 5], нач. лаб., рук. проекта, *ORCID: 0000-0001-5081-1424* / ***b-loginov@mail.ru***
В.А.Беспалов[1], чл.-корр. РАН, д.т.н., *ORCID: 0000-0003-4976-8515*
Ю.В.Хрипунов[2, 5], к.ф.-м.н., доц., *ORCID: 0000-0003-2250-0420*
А.Б.Логинов[1, 3, 4], асп., *ORCID: 0000-0003-2090-5301*
В.Б.Логинов[1, 4], вед. констр., *ORCID: 0000-0002-2116-7411*
М.А.Щербина[2, 5], асс., *ORCID: 0009-0001-8873-4986*
В.С.Акинина[5], студ., *ORCID: 0009-0006-7028-9331*
Д.А.Батурова[5], студ., *ORCID: 0009-0003-8692-4051*
А.В.Пичугина[5], студ., *ORCID: 0009-0008-8585-9960*
А.С.Серенок[5], студ., *ORCID: 0009-0008-8897-0103*
И.И.Ульева[5], студ., *ORCID: 0009-0001-4397-6025*
Д.С.Шевченко[5], студ., *ORCID: 0009-0009-8866-0268*

Аннотация. По результатам анализа уникальных кадров, полученных с первого в мире космического сканирующего зондового микроскопа СММ-2000С, работающего в открытом космосе в спутнике Земли "Нанозонд-1" и снимающего с нанометровой точностью изменение рельефа металлической поверхности, открытой на воздействие солнечного ветра, высказана гипотеза о существовании еще одного механизма образования пыли в околоземном пространстве – за счет образования частиц из атомов, снятых ионами солнечного ветра с поверхности космических объектов. Описан проведенный и подтверждающий эту гипотезу эксперимент. Предложено развитие отдельного прикладного направления исследований по разработке физики стойких к солнечному ветру материалов для соблюдения экологии космоса и для совершенствования надежности космических кораблей ввиду негативного воздействия образующейся с них пыли на элементы в том числе этих же кораблей.

Ключевые слова: сканирующая зондовая микроскопия, спутник Земли, космическая пыль, солнечный ветер, взаимодействие ионов с веществом

Для цитирования: Б.А. Логинов, В.А. Беспалов, Ю.В. Хрипунов, А.Б. Логинов, В.Б. Логинов, М.А. Щербина, В.С. Акинина, Д.А. Батурова, А.В. Пичугина, А.С. Серенок, И.И. Ульева, Д.С. Шевченко. Исследование механизмов образования пыли в космическом пространстве. НАНОИНДУСТРИЯ. 2025. Т. 18. № 5. С. 248–252. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.5.248.252.

Received: 9.07.2025 | Accepted: 15.07.2025 | https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.5.248.252
Original paper

RESEARCH ON DUST FORMATION MECHANISMS IN SPACE

B.A.Loginov[1, 4, 5], Head of Laboratory, *ORCID: 0000-0001-5081-1424* / ***b-loginov@mail.ru***
V.A.Bespalov[1], Corr. Member of RAN, Doct. of Sci (Tech), *ORCID: 0000-0003-4976-8515*

[1] Национальный исследовательский университет МИЭТ, Москва, Зеленоград, Россия / National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow, Zelenograd, Russia
[2] Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия / Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
[3] МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия / Lomonosov Moscow State University, Physical Department, Moscow, Russia
[4] АО "Завод ПРОТОН", Москва, Зеленоград, Россия / JSC PROTON Plant, Moscow, Zelenograd, Russia
[5] Образовательный центр "Сириус", федеральная территория "Сириус", Россия / Educational Centre "Sirius", Sirius Federal Territory, Russia

Yu.V.Khripunov[2, 5], Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Docent, *ORCID: 0000-0003-2250-0420*
A.B.Loginov[1, 3, 4], Postgraduate, *ORCID: 0000-0003-2090-5301*
V.B.Loginov[1, 4], Leading Designer, *ORCID: 0000-0002-2116-7411*
M.A.Shcherbina[2, 5], Assistant, *ORCID: 0009-0001-8873-4986*
V.S.Akinina[5], Student, *ORCID: 0009-0006-7028-9331*
D.A.Baturova[5], Student, *ORCID: 0009-0003-8692-4051*
A.V.Pichugina[5], Student, *ORCID: 0009-0008-8585-9960*
A.S.Serenok[5], Student, *ORCID: 0009-0008-8897-0103*
I.I.Uleva[5], Student, *ORCID: 0009-0001-4397-6025*
D.S.Shevchenko[5], Student, *ORCID: 0009-0009-8866-0268*

Abstract. Based on the analysis of unique images obtained from the world's first space scanning probe microscope SMM-2000S, which operates in open space aboard the Earth satellite "Nanosond-1" and captures changes in the relief of a metal surface exposed to solar wind with nanometer precision, a hypothesis has been proposed regarding existence of another mechanism for dust formation in near-Earth space – through formation of particles from atoms removed by solar wind ions from the surfaces of cosmic objects. An experiment has been described that was conducted and supports this hypothesis. The development of a separate applied research direction has been proposed for development of materials resistant to solar wind for the purpose of maintaining space ecology and improving reliability of spacecraft due to the negative effects of dust generated from them on elements, including those of the spacecraft themselves.

Keywords: scanning tunneling microscopy, Earth satellite, cosmic dust, solar wind, ion interaction with matter

For citation: B.A. Loginov, V.A. Bespalov, Yu.V. Khripunov, A.B. Loginov, V.B. Loginov, M.A. Shcherbina, V.S. Akinina, D.A. Baturova, A.V. Pichugina, A.S. Serenok, I.I. Uleva, D.S. Shevchenko. Research on dust formation mechanisms in space. NANOINDUSTRY. 2025. Vol. 18. No. 5. PP. 248–252. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.5.248.252.

ВВЕДЕНИЕ

Россией в космос 27 июня 2023 года в спутнике Земли "Нанозонд-1" (https://r4uab.ru/satdb/nanozond-1/) был запущен первый в мире [1] спутниковый сканирующий зондовый микроскоп марки "СММ-2000С", который продолжает успешно работать в открытом космосе. Для анализа мировым научным сообществом опубликованы [2] многие полученные в нем с нанометровой точностью кадры изменения металлической поверхности, открытой на влияние космоса. Например, стали известны кадры обдирания поверхности солнечным ветром (рис.1). Однако, если ранее акцент анализа этих кадров был только на разрушении поверхности, то в данной публикации впервые поднят вопрос о судьбе материала, снятого с поверхности ионами солнечного ветра.

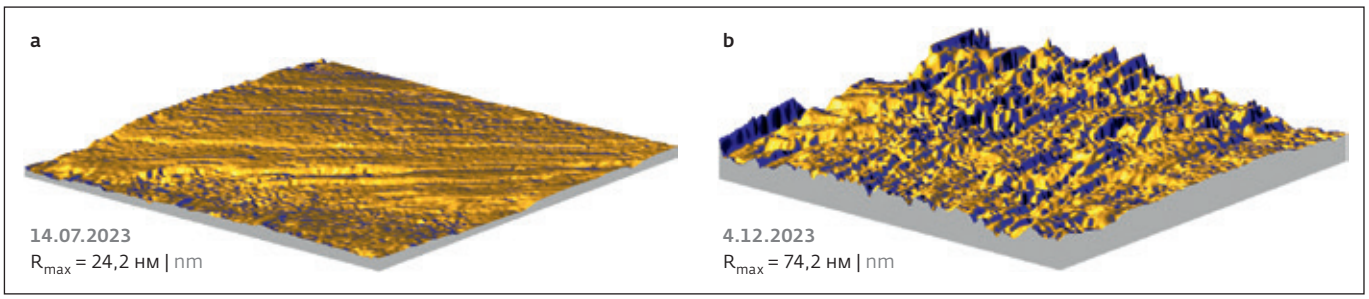


Рис.1. Кадры с одной и той же точки поверхности открытой на космос золотой пластинки с первого в мире спутникового сканирующего зондового микроскопа СММ-2000С: a – 18-й день полета, b – 161-й день полета. Размер кадров 4 × 4 мкм. Полный разброс высот в кадре: R_{max}

Fig.1. Frames from the same point of the surface of the golden plate open to space from the world's first satellite scanning probe microscope SMM-2000S: a – 18th day of flight, b – 161st day of flight. Frame size 4 × 4 μm. Total height variation in the frame: R_{max}

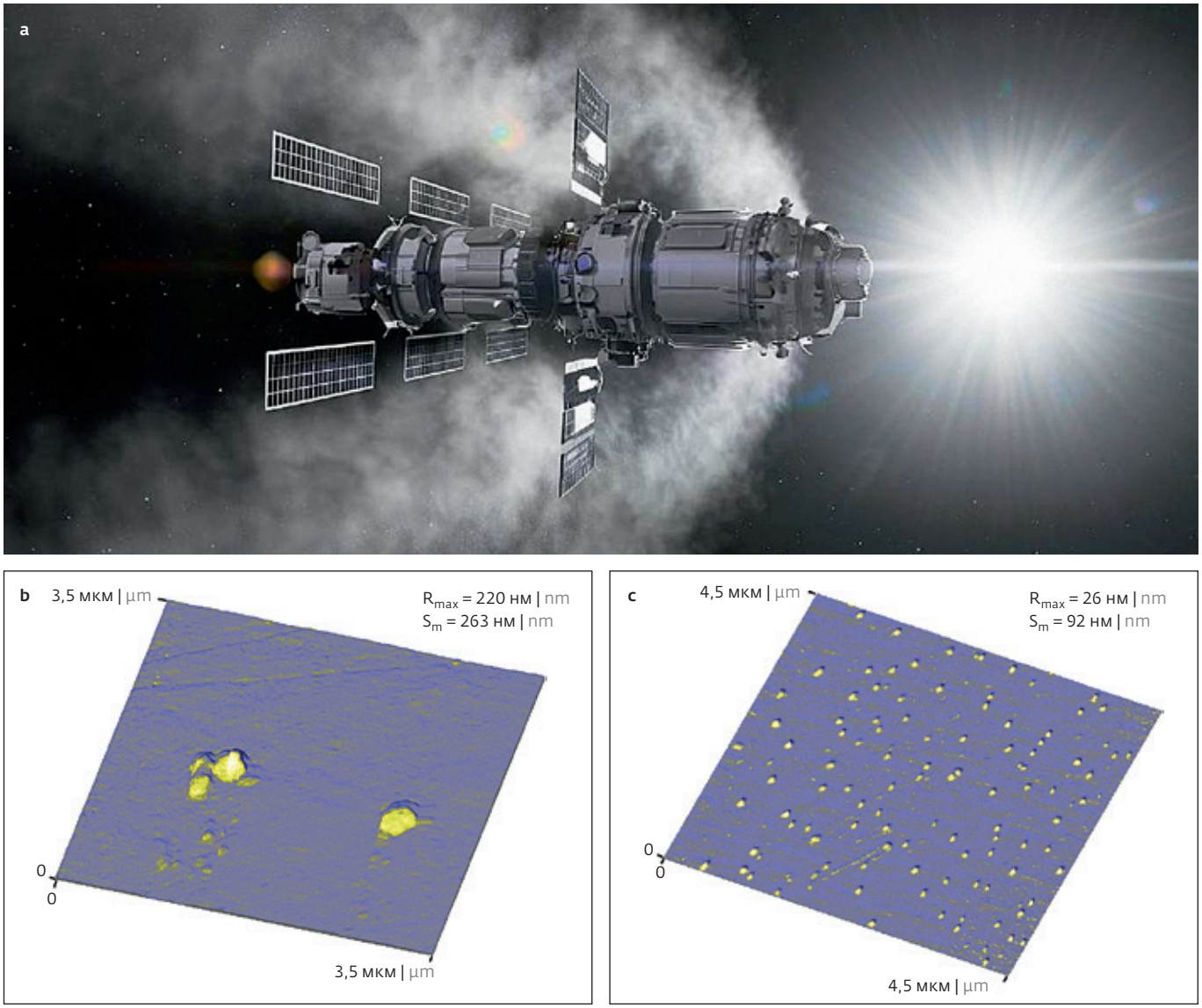


Рис.2. Образное представление космических кораблей в виде кометы с хвостом из пыли (a), и кадры пылинок, образовавшихся на расстоянии 100 мм от места попадания аналогичной солнечному ветру плазмы на пластинки из меди М0 (b) и бронзы БрБ2 (c). Полный разброс высот в кадре R_{max}, средний размер пылинок S_m

Fig.2. A graphic representation of spacecraft in the form of a comet with a tail of dust (a), and frames of dust particles formed at a distance of 100 mm from the impact site of plasma similar to solar wind on plates made of copper M0 (b) and bronze BrB2 (c). The total range of heights in the frame R_{max}, average size of dust particles S_m

ГИПОТЕЗА И ЭКСПЕРИМЕНТ

Возникновение гипотезы о еще одном механизме возникновения пыли в космическом пространстве связано с возникшим вопросом о том, куда и как направляются атомы материала поверхности, снятые ионами солнечного ветра с поверхности. Общеизвестно, что в результате различных видов снятия или эмиссии атомов с поверхности, например, при нагреве, испарении лазером или при ионной бомбардировке, атомы, или же целые кластеры из атомов, улетают, собираясь между собой по мере полета в частицы. Для условий космоса они являются ничем иным, как частицами пыли. Таким образом, образно говоря, все космические аппараты, а также все остальные космические тела, в том числе космический мусор, представляют собой "кометы с хвостом из пыли" (рис.2).

Ставится вопрос – мешает ли эта пыль другим космическим аппаратам, или же она является помехой и для того же самого космического корабля, с которого летит? Для выяснения



Рис.3. Команда научно-исследовательского проекта H12-1 "Исследование и реализация моделей возникновения и регистрации космической пыли": a – (слева направо): Хрипунов Юрий, г. Орел; Пичугина Александра, г. Бийск; Логинов Борис, Зеленоград, Москва; Акинина Вероника, г. Кемерово; Батурова Дарья, г. Кемерово; Серенок Александра, г. Череповец; Ульева Ирина, г. Тамбов; Шевченко Дарья, г. Череповец, b – процесс воздействия плазмой на материалы

Fig.3. The team of the research project N12-1 "Investigation and Implementation of Models for the Occurrence and Registration of Cosmic Dust": a – (from left to right): Khripunov Yuri, Orel; Pichugina Alexandra, Biysk; Loginov Boris, Zelenograd, Moscow; Akiniina Veronika, Kemerovo; Baturova Daria, Kemerovo; Serenok Alexandra, Cherepovets; Uleva Irina, Tambov; Shevchenko Daria, Cherepovets; b – the process of plasma impact on materials

этого вопроса был проведен эксперимент. В "Вакуумно-плазменной установке МАГ-5" (Завод ПРОТОН", Зеленоград, Россия, www.microscopy.su) [3], на одну минуту зажигалась эквивалентная по энергии солнечному ветру аргоновая плазма (рис.3), которая направлялась на пластинки размером около 100×100 мм из разных материалов, в первую очередь на часто использующуюся в космосе для ловли микрометеоритов медь [4], при этом на расстоянии всего около 100 мм от плазмы устанавливалась подложка в виде кварцевой пластинки, предварительно покрытой слоем хрома толщиной 90 нм для лучшей адгезии к осаждению на нее частиц из распыляемого плазмой материала. Далее кварцевые подложки просматривались в "Микроскопе сканирующем зондовом СММ-2000" (Завод ПРОТОН", Зеленоград, Россия, www.microscopy.su) в произвольных точках (рис.2), при этом устойчиво регистрировались упавшие частицы, подтверждая гипотезу, и подтверждая, что частицы пыли образуются в непосредственной близости от поверхности, и поэтому опасны в том числе и для того же космического корабля, с поверхности которого образуются. Далее, для статистики, для разных применяемых в космических аппаратах материалов на разных расстояниях от места воздействия плазмой до подложки измерялась плотность и средний диаметр упавших на подложку частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, высказанная Логиновым Б.А. на XXIX Симпозиуме "Нанофизика и наноэлектроника" (Нижний Новгород, 10–14 марта 2025 г.) гипотеза о еще одном возможном механизме образования в космосе пыли от снятого солнечным ветром с поверхности космических объектов материала – подтверждена. Подтверждена также опасность данной пыли не только для других космических кораблей, но и именно для того же космического корабля, с поверхности которого эта пыль образуется. Гипотеза будет далее подтверждаться непосредственно в космосе на последующих запускаемых в космос [5] космических зондовых микроскопах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная работа выполнена при партнерстве Национального исследовательского университета МИЭТ, АО "Завод ПРОТОН", г. Зеленоград, Орловского государственного университета имени И. С. Тургенева, а также Образовательного центра "Сириус", на базе которого на направлении "Новые материалы и нанотехнологии" (рис.3) научно-технологической проектной образовательной

программе "Большие вызовы" в 2025 году были реализованы вышеописанные эксперименты по подтверждению гипотезы.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

Декларация о конфликте интересов. *Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.*

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Логинов Б.А.** Комплекс зондовой микроскопии для работы в космическом пространстве и атмосфере. Патент на изобретение 2778278 C1, 17.08.2022. Заявка № 2021128836 от 04.10.2021.
2. **Логинов Б.А.**, **Беспалов В.А.**, **Хрипунов Ю.В.**, **Логинов А.Б.**, **Логинов В.Б.**, **Панфилов А.А.**, **Пашков Д.А.** Первичный анализ снимков с первого в мире космического зондового микроскопа "СММ-2000С" в спутнике Земли "Нанозонд-1". НАНОИНДУСТРИЯ. 2025. Т. 18. № 2. С. 88–102. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.2.88.102
3. **Логинов Б.А.**, **Беспалов В.А.**, **Образцов А.Н.**, **Логинов А.Б.**, **Логинов В.Б.**, **Хрипунов Ю.В.**, **Щербина М.А.**, **Севостьянова Д.А.**, **Богданова Д.С.**, **Горбачев Р.Г.**, **Кондратьева К.Е.**, **Лебедева М.А.**, **Мульгин А.А.**, **Шевченко Д.А.** Разработка широкопольного сканера профилометра и новых способов измерения твердости для первого в мире атомно-силового микроскопа спутника Земли. НАНОИНДУСТРИЯ. 2024. Т. 17. № 5. С. 248–258. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2024.17.5.248.258
4. **Беспалов В.А.**, **Логинов Б.А.**, **Новиков Л.С.**, **Никитушкина О.Н.** Исследование ударной микроструктуры на поверхности медной пластины, экспонировавшейся в открытом космосе. Физика и химия обработки материалов. 2008. № 2. С. 28–31.
5. **Логинов Б.А.** Первый в мире сканирующий зондовый микроскоп в виде спутника как старт этапа научных спутников-лабораторий. НАНОИНДУСТРИЯ. 2021. № 5. С. 22–26. https://doi.org/ 10.22184/1993-8578.2021.14.5.270.274



ЗАВОД ПРОТОН



МИКРОСКОП СКАНИРУЮЩИЙ

ЗОНДОВЫЙ «СММ-2000»

Единственный в мире зондовый микроскоп, летающий в космосе в виде спутника Земли, работающий в перчаточных и горячих камерах атомных реакторов и внутри термоядерного реактора ТОКАМАК.



+7 (495) 364-60-93 | z-proton.ru | microscopy.su | b-loginov@mail.ru

ВСТРОЕННАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ И ВЫСОЧАЙШЕЕ РАЗРЕШЕНИЕ

В базовой комплектации показывает атомы пиролитического графита в режиме сканирующей туннельной микроскопии.
Для качественного осмотра малых и больших объектов микроскоп имеет сканеры с разными размерами полей по X/Y/Z.

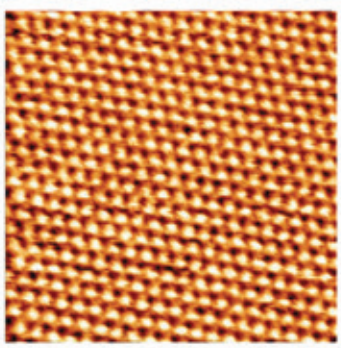
Микроскоп предоставляет уникальную возможность сборки его и разборки — для встраивания в различные системы и для лучшего обучения, выдерживая сборки-разборки до 12 лет в учебных классах



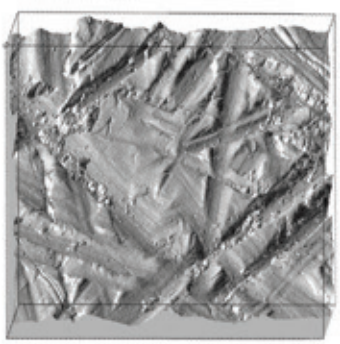
Микроскоп СММ-2000 работает со стандартными зондами-кантилеверами, имеет 3 основных режима сканирующей туннельной, полуконтактной и контактной атомно-силовой микроскопии, а также более 25 дополнительных режимов по снятию карт различных физических характеристик.



- Увеличение от 2 тыс. до 10 млн. крат
- Разрешение вплоть до АТОМОВ
- Трехмерный вид поверхности
- Измерение размеров от 0,2 нм до 40 мкм
- Распределение размеров зерен
- Анализ шероховатости до 0,2 нм
- Техподдержка 24/7 на «микроскоп.su»
- Серийный выпуск в России
- Для точных производств, науки и университетов
- Надежен даже для обучения в школах!



АТОМЫ ПИРОГРАФИТА
кадр 8,8×8,8 нм



ШЛИФ СТАЛИ, кадр 10×10 мкм,
шероховатость Ra = 0,007 мкм

Микроскоп позволяет: отсканировать поверхность в выбранной точке образца, снять образец с микроскопа, воздействовать на образец тем или иным способом, например, напылить, протравить или облучить, обратно установить образец в микроскоп и просканировать ту же с нанометровой точностью ранее выбранную точку на образце.