



Путешествие в наномир: УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ...



Василина Лапицкая,
старший научный сотрудник
лаборатории нанопроцессов
и технологий Института
тепло- и массообмена
имени А.В. Лыкова
НАН Беларуси, кандидат
технических наук

Применение высокоточных зондовых методов (в частности, атомно-силовой микроскопии) для описания структуры и свойств синтезированных новых материалов позволяет увидеть то, чего не разглядеть человеческим глазом. Уровень исследований находится в диапазоне от микро- до нанометров. Для визуализации при этом используют зонд атомно-силового микроскопа (АСМ) – тончайшую консоль с острием (рис. 1 а, б), имеющим радиус закругления в несколько нанометров. Толщина консоли составляет в среднем около 2 мкм (в 50 раз тоньше человеческого волоса).

Таким образом можно получать 3D-изображения поверхностей различных материалов: от сверхтвердых керамик, алмазоподобных и износостойких покрытий до биологических клеток и полимерных пленок – в субмикронном и наномасштабе с высоким разрешением: по оси XY до 0,2 нм, по Z – до 0,03 нм [1]. При этом на острие зонда АСМ со стороны исследуемой поверхности действуют следующие силы: Ван-дер-Ваальса, межатомные, электростатические, адгезии. Исследователи задействуют две методики: в одном случае образец меняет положение относительно неподвижного зонда (рис. 1а), в другом – наоборот (рис. 1б). Горизонтальное перемещение образца либо зонда АСМ в про-

цессе сканирования осуществляется с помощью пьезосканера (рис. 1 а, б) [2]. Атомно-силовой микроскоп детектирует положение зонда в каждой точке измерений. Когда его острие находится у поверхности, происходит изгиб (отклонение) консоли зонда, для измерения которого используют фотодетектор – четырехсегментный полупроводниковый фотодиод. Луч лазера, отраженный от обратной стороны консоли зонда АСМ, попадает на фотодетектор, на котором происходит смещение пятна лазера [2]. По изменению его положения система управления определяет расстояние между зондом и образцом, а затем прикладывает соответствующее напряжение на пьезосканер для поддержания постоянного расстояния или силы взаимодействия между ними [2].

Помимо топографических изображений зонд АСМ позволяет визуализировать поверхностные свойства материалов и получать карты распределения сил адгезии, магнитных сил, проводимости, модуля упругости [1]. Таким образом исследователь открывает для себя новый наномир.

Подобные визуализации можно творчески обработать, добиваясь наилучшего контраста и максимально акцентируя внимание на определенных деталях материала (рис. 3–5). Интерпретируя снимки, перекрашивая их в различные цвета, можно достичь сходства с вещами и объектами, которые встречаются в жизни человека. Так, например, изображения, приведенные на рис. 1, после обработки очень напоминают известные всем объекты или места.

На рис. 2а и 3б представлены работы-победители конкурса научной фотографии и визуализации

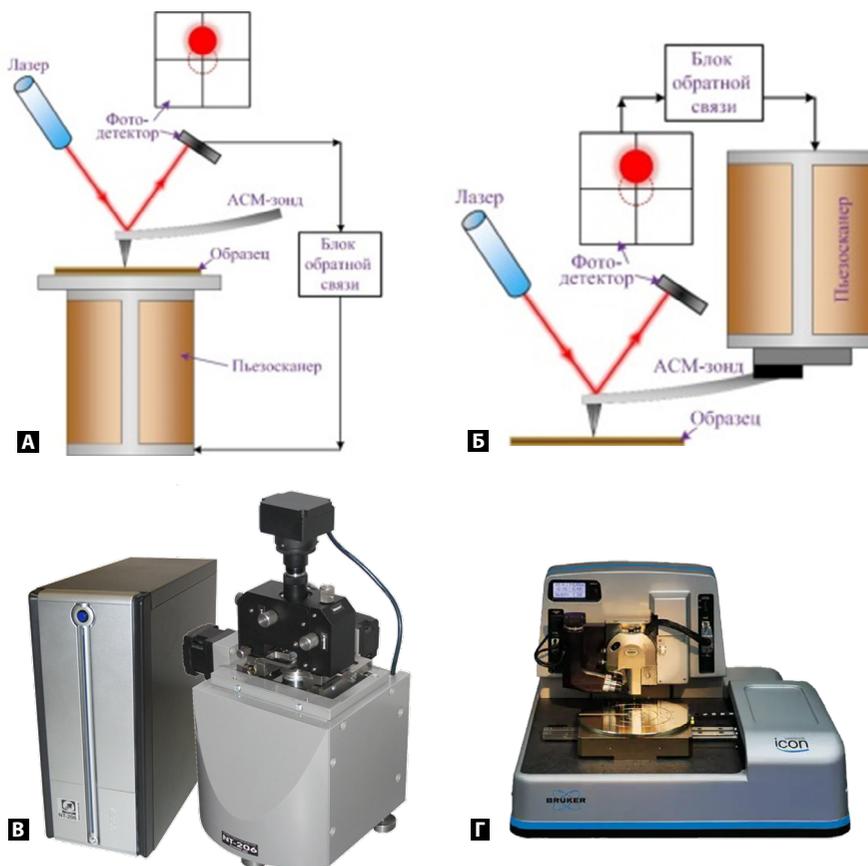


Рис. 1. Схемы блока сканирования атомно-силового микроскопа с регистрацией отклонения зонда АСМ по отклонению отраженного луча лазера (а, б) и внешний вид атомно-силовых микроскопов: в – HT-206 (ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь); г – Dimention FastScan (Bruker, США)

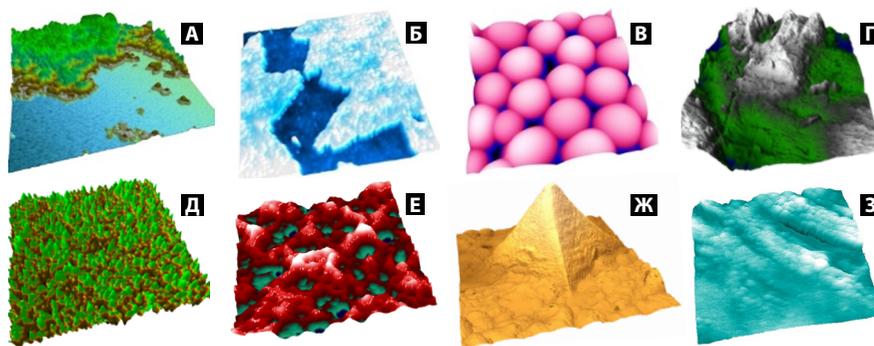


Рис. 2. АСМ-изображения различных структур: а – нанопластины графена с наночастицами магнетита, 10 мкм² (схоже с тропическим островом); б – пленка графена, 5 мкм² (схоже с ледником); в – полимерные сферы, 4 мкм² (схоже с Bubble Gum); г – сталь после кавитации, 8 мкм² (схоже с горами); д – покрытие AlSiN, 10 мкм² (схоже с ростками зелени); е – покрытие MoN, 10 мкм² (схоже с кораллами); ж – перевернутое изображение отпечатка от четырехгранного алмазного индентора Виккерса на покрытии MoCN, 13 мкм² (схоже с пирамидами в Египте); з – одна из граней отпечатка четырехгранного алмазного индентора Виккерса на покрытии MoN, 2 мкм² (схоже с морскими волнами)

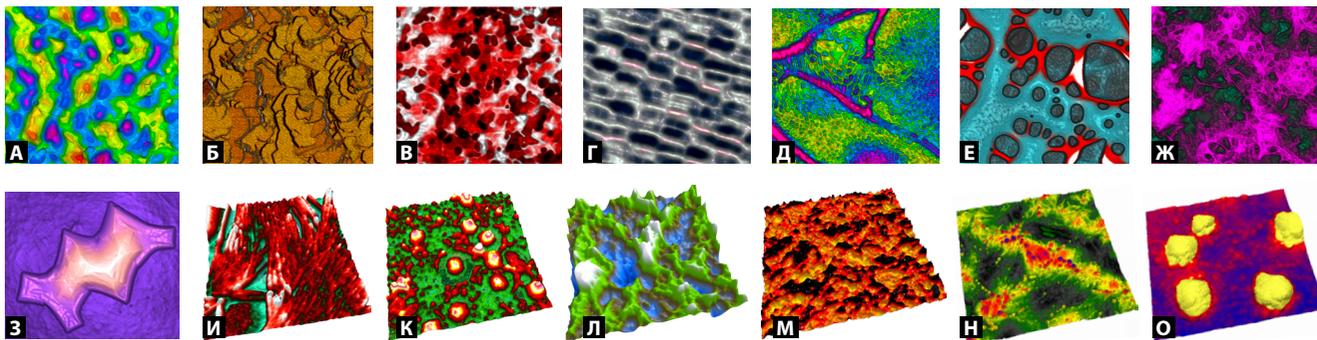


Рис. 3. АСМ-изображения различных структур: а – покрытие ZrN, 1 мкм²; б – поверхность титана, 3 мкм²; в – покрытие ZrN, 2 мкм², режим адгезии; г – жесткий диск, 5 мкм², режим магнитных сил; д – гиалуроновая кислота, 10 мкм²; е – пленка полиметилметакрилата, 20 мкм²; ж – нанотрубки, 10 мкм²; з – тромбоцит, 50 мкм²; и – стекло, 10 мкм²; к – лимфоциты в окружении тромбоцитов, 50 мкм²; л – покрытие MoN, 10 мкм²; м – покрытие MoN, 30 мкм²; н – аморфное покрытие Al-Si-N, 3 мкм²; о – нанокристаллическое покрытие Al-Si-N, 3 мкм²

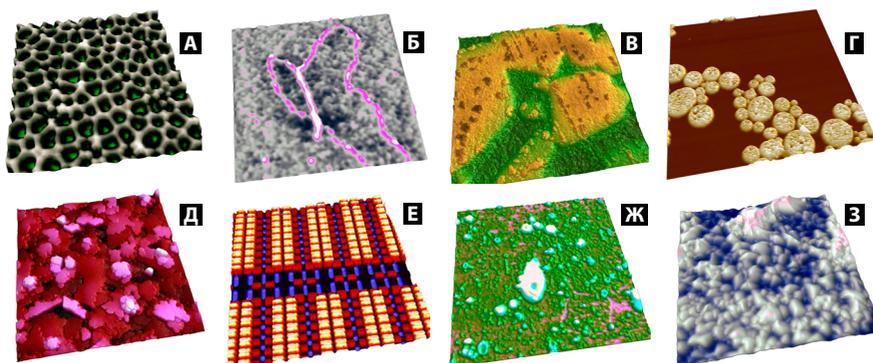


Рис. 4. АСМ-изображения различных структур: а – пористый оксид алюминия, 5 мкм²; б – молекула ДНК, 500 нм²; в – карбидокремниевая керамика, 10 мкм²; г – поливинилкарбазол, 10 мкм²; д – покрытие GaN, 10 мкм²; е – элемент микросхемы, 40 мкм²; ж – покрытие NiP, 60 мкм²; з – покрытие VN, 5 мкм²

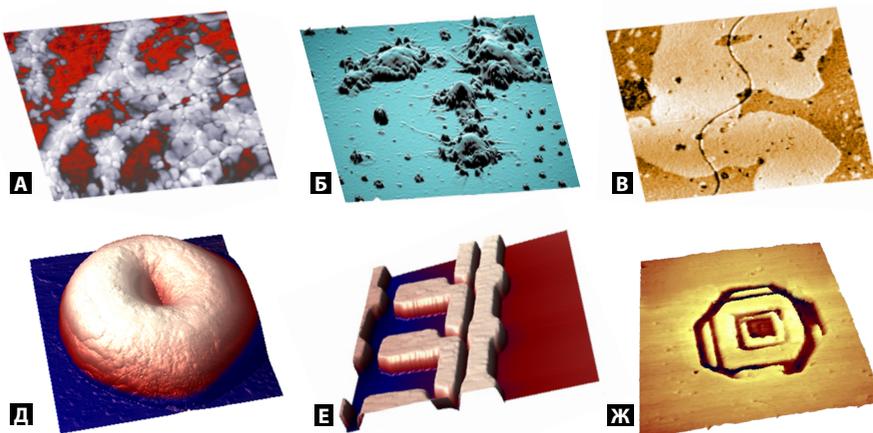


Рис. 5. АСМ-изображения различных структур: а – слои трибографитизации на алмазоподобных покрытиях, 10 мкм², режим фазы; б – клетки лимфобластомы, 20 мкм²; в – молекула ДНК, 3,5 мкм²; г – эритроцит, 8 мкм²; д – элемент микросхемы, 20 мкм²; е – механическая нанолитография, 15 мкм²

«Visualization of Science» 2019 г., который организовала редакция журнала «Наука и инновации» (№1 (191) 2019 г.) [3].

Они выполнены на атомно-силовых микроскопах НТ-206 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь) и Dimension FastScan (Bruker, США) (рис. 1 в, з). Обработка сделана в программе SurfaceExplorer и NanoScope Analysis 1,8 этих же предприятий соответственно. Следует отметить, что схема сканирования, при которой образец перемещается вокруг неподвижного зонда (рис. 1а), реализована на отечественном АСМ НТ-206, а движение зонда относительно неподвижного образца – на американском (рис. 1б).

На рис. 3–5 приведены некоторые изображения различных материалов, полученные на атомно-силовом микроскопе. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецова Т.А. Нанодиагностика и атомно-силовая микроскопия / Т.А. Кузнецова, В.А. Лапицкая, С.А. Чижик // Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси. Творческая жизнь Института. 70 лет. – Гомель, 2022.
2. Техника наноконтроля: лабораторный практикум: в 2 ч. / сост.: С.А. Чижик, Т.А. Кузнецова. – Минск, 2011. – Ч. 1.
3. Увидеть невидимое // Наука и инновации. 2019. №1. С. 81–84.