СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ SCANNING PROBE MICROSCOPY OF TRANSITION METAL DICHALCOGENIDES

И.В.Яминский^{1,2,3} д.ф.-м.н., профессор МГУ имени М.В.Ломоносова, физический и химический факультеты, генеральный директор Центра перспективных технологий, директор Энергоэффективных технологий (ORCID: 0000-0001-8731-3947), А.И.Ахметова^{1,2,3}, инженер НИИ ФХБ имени А.Н.Белозерского МГУ, ведущий специалист Центра перспективных технологий и Энергоэффективных технологий (ORCID: 0000-0001-6363-8202), Г.Б.Мешков¹, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр. физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова (ORCID: 0000-0003-3930-3730) / yaminskiy@nanoscopy.ru

I.V.Yaminskiy^{1,2,3}, Doct. Sc. (Physics and Mathematics), Prof., Director of Advanced Technologies Center, Director of Energy Efficient Technologies, (ORCID: 0000-0001-8731-3947), A.I.Akhmetova^{1,2,3}, Engineer of A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Leading Specialist of Advanced Technologies Center and of Energy Efficient Technologies, (ORCID: 0000-0001-6363-8202), G.B.Meshkov¹, Cand. of Sc. (Physics and Mathematics), Senior Researcher, Physical Department of Lomonosov Moscow State University, (ORCID: 0000-0003-3930-3730)

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.2.132.134

Получено: 11.03.2020 г.

С помощью зондовой микроскопии можно проводить различные измерения перспективных материалов. За счет простоты метода измерения могут дать внушительный объем информации: морфологию и структуру поверхности, проводимость, исследование свойств материала при нагреве (при использовании нагревающего столика возможен нагрев до 100°C) [1, 2, 3].

Scanning probe microscopy is a tool for taking various measurements of the promising materials. Simplicity of the measurement method allows of obtaining an impressive scope of information pertaining to morphology and surface structure, conductivity, study of material properties at heating (it is possible to achieve temperature up to 100°C when using a heating table) [1, 2, 3].

Монослои дихалькогенидов переходных металлов являются перспективными кандидатами для создания оптоэлектронных устройств нового поколения. Оптические свойства этих двумерных материалов, однако, варьируются и изменяются со временем, что затрудняет управление оптоэлектронными свойствами. Существует множество различных факторов, которые могут изменять оптические свойства, включая легирование зарядов, дефекты, деформацию, окисление, адсорбированные молекулы и интеркаляцию воды. Определение присутствующих изменений обычно не является простым и требует многократных измерений с использованием нескольких экспериментальных методов, что создает препятствия при попытке оптимизировать подготовку этих материалов.

Богатая приборная база дает возможность российской научной группе проводить разносторонние исследования в рамках международного проекта совместно с Технологическим университетом имени Шарифа (Тегеран).

Иранской научной группой были подготовлены и предоставлены образцы для проведения исследований с помощью сканирующего зондового микроскопа "ФемтоСкан". В контактном режиме атомно-силовой микроскопии исследовались свойства и топография образцов WS₂ на кремнии, TiS₃ на золоте, а также Fe₂O₃ на поверхности стекла FTO (стекло с покрытием из оксида олова, легированного фтором).

Структурно WS₂ могут представлять собой как отдельно взятые чешуйки, так и слои чешуек.

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова / Lomonosov Moscow State University, Physical and Chemical departments.

² ООО НПП "Центр перспективных технологий" / Advanced Technologies Center.

³ ООО "Энергоэффективные технологии" / Energy Efficient Technologies.

Рис.1. Изображения высоты и сечения выбранной области образца дисульфида вольфрама. Расстояние между красными точками по вертикали составляет 24 нм

Fig.1. Image of height and section of the selected area of disulphide tungsten sample. The distance between red points is 24 nm by height

WS₂ благодаря кристаллическому строению, схожему с графитом, является эффективной твердой смазкой для узлов трения при повышенных температурах и контактных нагрузках. Наблюдаемая

в атомно-силовой микроскоп высота пленки WS₂ на поверхности кремния составляет 24 нм.

Измерения с помощью сканирующей зондовой микроскопии не ограничивались монослоями

Transition metal dichalcogenide monolayers are the prospective structures to manufacture optical devices of new generation. However, the optical properties of these 2D materials may vary and change over time, which makes it difficult to control the optoelectronic properties. There are numbers of different factors that may change optical properties, including doping of charges, defects, deformation, oxidation, adsorbed molecules and intercalation of water. Determination of the existing changes is usually not a simple task requiring multiple measurements use of several experimental methods which makes it difficult to optimize a preparation of these materials.

A significant instrument base enables the Russian scientific group to conduct comprehensive research in the framework of an international project in conjunction with the Sharif University of Technology (Tehran).

The Iranian scientific team prepared and provided samples for research using a FemtoScan scanning probe microscope. In the contact mode of atomic force microscopy the properties of the topography of WS₂ samples on silicon, TiS₃ on gold, and Fe₂O₃ on the surface of FTO glass (glass coated with tin oxide doped with fluorine) were studied.

Structurally, WS₂ can be either individual flakes or layers of flakes. WS₂, due to its crystalline structure similar to graphite, is an effective solid lubricant for friction units at elevated temperatures and contact loads. The recorded height of the WS₂ film on the silicon surface visible in an atomic force microscope is 24 nm.

Scanning probe microscopy measurements were not limited to WS₂ monolayers but were also applied to other 2D materials with optical transitions. In particular, the conductivity of TiS₃ was measured on gold. In so doing,

conductive cantilevers were used. According to the data obtained, when correlating the images of height and conductivity, an increase in the conductive properties is noticeable when the layers of titanium trisulfide drop.

Probe microscopy allows of a precise control over quality of the deposition of samples on substrates, in particular, when Fe₂O₃ is applied to the surface of FTO glass. Thanks to the FemtoScan Online software [4, 5], it is possible to use various color palettes and represent not only 2D, but 3D images of the scanned area.

Our results obtained with the aid of the scanning probe and capillary microscopy demonstrate the promising properties of WS₂ and TiS₃ for optoelectronic and nanophotonic devices. ■

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the scientific project No. 17-52-560001.

Рис.2. Измерение проводимости TiS_3 на золоте. Верхнее изображение – высота, нижнее – проводимость. Потенциал зонда – 1В относительно земли
Fig.2. Conductivity measurement of TiS_3 on gold. The top image is the height, the bottom is the conductivity. The probe potential relative to ground is 1 V

Рис.3. Трехмерное изображение пленки Fe_2O_3 на поверхности стекла FTO
Fig.3. 3D image of Fe_2O_3 film deposited on the FTO glass surface

WS_2 , а также применялись к другим 2D-материалам с оптическими переходами. В частности проводились измерения проводимости TiS_3 на золоте. Для этого использовались проводящие кантилеверы. По полученным данным при соотнесении изображений высоты и проводимости заметно увеличение проводящих свойств при перепаде слоев трисульфида титана.

Зондовая микроскопия позволяет осуществлять четкий контроль за качеством нанесения образцов на подложки, в частности при нанесении Fe_2O_3 на поверхность стекла FTO. Благодаря программному обеспечению "ФемтоСкан Онлайн" [4, 5] можно использовать различные цветовые палитры и представлять не только 2D-, но 3D-изображение отсканированной области.

Наши результаты, полученные с помощью сканирующей зондовой и капиллярной микроскопии, демонстрируют перспективные свойства WS_2 и TiS_3 для оптоэлектронных и нанопотонных устройств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 17-52-560001.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B. Scanning probe microscopy in studies of thin films // NANOINDUSTRY. 2019. Vol. 12. No. 2(88). PP. 128–130.
2. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B., Salehi F. FemtoScan in Tehran // NANOINDUSTRY. 2019. Vol. 12. No. 1. PP. 68–71.
3. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B., Salehi F. Combined capillary and probe microscopy // NANOINDUSTRY. 2018. Vol. 1. No. 80. PP. 44–48.
4. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B. FemtoScan Online Software and Visualization of Nano-Objects in High Resolution Microscopy // NANOINDUSTRY. 2018. Vol. 11. No. 6 (85). PP. 414–416.
5. Filonov A.S., Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B. FemtoScan Online! Why it // NANOINDUSTRY. 2018. Vol. 11. No. 5 (84). PP. 339–342.

XVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

БИОТЕХПРОМ & АНАЛИТИКА

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

- Аналитика
- БИОФарма
- Функциональные продукты питания
- БИОЛаб
- БИОСофт
- БИОМед
- БИОАгро
- БИОВенчур, БИОФранчайзинг, Стартапы, Кластеры, Технопарки
- Промышленная биотехнология
- Лабораторная мебель БИОЛабДрайв

XVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

БИОТЕХНОЛОГИЯ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОТОКИ ФОРУМА

- Фундаментальные вопросы биотехнологии
- Геномная инженерия
- Биотехнология и медицина
- Биофарма
- Биоинформатика
- Сельское хозяйство
- Life science

CON

27-29 МАЯ
МОСКВА
ГОСТИНЫЙ ДВОР

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

RED
GROUP

+7 (495) 780-41-09
+7 (495) 722-20-74

info@biomos.ru
www.biomos.ru