

РАСШИРЕНИЕ РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА НАГРУЗКИ ИНДЕНТИРОВАНИЯ В НАНОТВЕРДОМЕРАХ СЕРИИ "НАНОСКАН-4D"

EXPANSION LOAD RANGE OF INDENTATION IN NANOSCAN-4D SCANNING NANO-HARDNESS TESTER

УДК 681.2.083

М.Бутюто*, А.Русаков*, К.Кравчук*, А.Усеинов*, И.Маслеников* / useinov@mail.ru M.Butyuto*, A.Rusakov*, K.Kravchuk*, A.Useinov*, I.Maslenikov*

Продемонстрированы результаты применения нового модуля расширения диапазона нагрузки при измерении твердости методом индентирования с помощью нанотвердомеров серии "НаноСкан-4D". Устройство увеличивает рабочий диапазон прикладываемых сил от 1 до 50 Н.

The application of the new module for expansion the load range at measurement of hardness by indentation with use of NanoScan-4D scanning nano-hardness tester is shown. The device increases the range of applied forces from 1 to 50 newton.

зучение механических свойств материалов с нанометровым пространственным разрешением уже давно не является узкоспециальной задачей. Нанотехнологии прочно укоренились во многих областях человеческой деятельности: науке, медицине, машиностроении и т.д. Совершенствование используемых в наноиндустрии материалов и технологий влечет за собой необходимость соответственного развития измерительных приборов, которые требуются уже не только в крупных исследовательских центрах, но и в небольших лабораториях и производствах. Год от года предъявляются все более жесткие требования к точности, надежности, качеству изготовления и, конечно, функциональности оборудования. Перед пользователями все чаще возникают задачи исследования совершенно разнородных материалов: от пластичных до сверхтвердых. При этом измерения могут выходить за рамки нанодиапазона.

Разумеется, для простоты и удобства целесообразно иметь один универсальный комплекс, используя который можно реализовать большое количество измерительных методик в различных диапазонах прикладываемых нагрузок и перемещений, чем содержать несколько узкоспециализированных приборов, имеющих различные пользовательские интерфейсы и программное обеспечение для обработки данных. Таким образом, расширение функциональности измерительных систем за счет увеличения числа реализуемых методик и расширения диапазонов применимости является одним из приоритетных трендов развития аналитического приборостроения.

Примером современного отечественного измерительного прибора является сканирующий нанотвердомер "НаноСкан-4D" (рис.1), который разработан Технологическим институтом сверхтвердых и новых углеродных материалов (ТИСНУМ) и позволяет реализовать более 30 измерительных методик физико-механических свойств, начиная с базовых измерений твердости и модуля упругости методами инструментального индентирования [1] и нанесения царапин [2] (склерометрия) до "экзотических" испытаний прочности микрообъектов плоским штампом [3] и динамических измерений жесткости [4]. Возможность использования большого количества измерительных методик позволяет исследовать широкий спектр разнообразных объектов – от тонких пленок до сложных многослойных покрытий, структура которых характеризуется существенной пространственной неоднородностью механических свойств [5].

Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов (ТИСНУМ) / Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials (TISNCM)

CONTROL AND MEASUREMENT

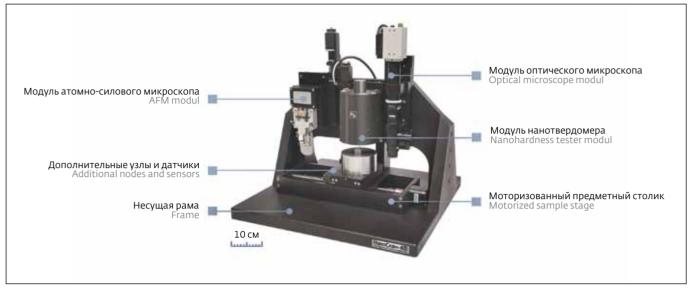


Рис.1. Общий вид сканирующего нанотвердомера "НаноСкан-4D"

Fig.1. General view of NanoScan-4D scanning nano-hardness tester

В конструкции сканирующего нанотвердомера "НаноСкан-4D" реализован модульный принцип, что позволяет комплектовать каждый прибор под конкретные нужды пользователя. Если требуется решение узкого диапазона задач, то можно ограничиться прибором в минимальной комплектации, например при контроле качества изделий на производстве с ограниченной номенклатурой. В то же время, всегда

есть возможность расширить функциональность каждого прибора, если такая необходимость возникает в ходе эксплуатации. Такой гибкий подход к компоновке системы значительно снижает расходы на формирование парка измерительного оборудования.

Стандартная предельная нагрузка, прикладываемая к образцу при индентировании, для приборов серии "НаноСкан-4D" составляет 1 Н. Этого достаточно

he study of mechanical properties of materials with nanometer spatial resolution is no longer a highly specialized task. Nanotechnology is firmly entrenched in many areas of human activity: science, medicine, engineering, etc. The improvement of materials and technologies for nanoindustry entails a corresponding development of measuring devices that are required by not only large research centers, but also by small laboratories and factories. Increasingly stringent requirements are imposed for the accuracy, reliability, quality of production and, of course, functionality of the equipment. Users are increasingly faced with the task of

research quite different materials: from flexible to super hard. And measurements can be performed outside the nanoscale.

Of course, for simplicity and convenience, it is advisable to have one universal device that can implement a large number of measuring methods in different ranges of applied loads and displacements than to maintain multiple highly specialized devices having different user interfaces and software for data processing. Thus, the expansion of the functionality of measuring systems by increasing in the number of implemented methods and expanding the range of applicability is one of the priority trends of development in analytical instrument engineering.

An example of modern domestic measuring device is NanoScan-4D scanning nano-hardness tester (Fig.1), which is developed by Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials (TISNCM) and allows more than 30 measurement methods for physical-mechanical properties, from basic measurement of hardness and elastic modulus by instrumental indentation methods [1] and scratching (sclerometry) [2], to "exotic" strength testing of micro-objects using flat punch [3] and dynamic measurements of stiffness [4]. The ability to use a large number of measuring techniques allows to study a wide variety of objects from thin films to complex multilayer coatings whose

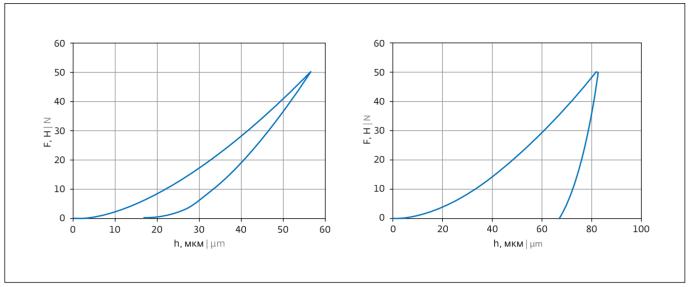


Рис. 2. Кривые нагрузка-внедрение на плавленом кварце (a) и стали 40X13 (b)

Fig.2. "Load-indentation" curve for fused quartz (a) and 40X13 steel (b)

для измерений физико-механических свойств в нанодиапазоне, но для испытания материалов в классическом микродиапазоне требуется возможность индентирования с большей прикладываемой силой [6]. Индентирование в микродиапазоне с использованием индентора Виккерса позволяет напрямую сравнивать свойства материалов со справочными параметрами твердости НV. Индентирование с большими нагрузками позволяет измерить свойства объемных материалов без влияния поверхностного слоя. Это может быть полезным, когда необходимо сопоставить

свойства подложки и тонкого покрытия или когда поверхностный слой нарушен в результате грубой шлифовки или окисления. Увеличение нагрузки способствует изменению режима деформации от упругой к пластической и от пластической к хрупкой, а значит позволяет реализовать режим измерения трещиностойкости для большего числа материалов [7].

Принимая во внимание вышеизложенное в ТИСНУМ разработан новый модуль, позволяющий расширить диапазон прикладываемой при индентировании нагрузки до 50 Н. Данное устройство

structure is characterized by significant spatial inhomogeneity of mechanical properties [5].

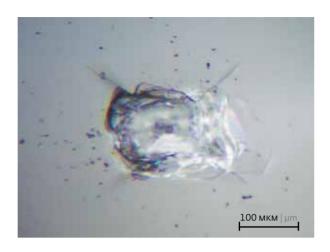
Modular design of NanoScan-4D scanning nano-hardness tester allows to equip each device according to the specific needs of the user. If the solution for narrow range of tasks is required, then it is possible to use the device in the minimum configuration, for example for quality control in the manufacturing of a limited range of products. At the same time, there is always an opportunity to expand the functionality of each device, if such a need arises during operation. This flexible

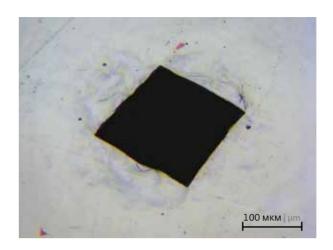
approach to system design significantly reduces the cost of measuring equipment.

Standard maximum load applied to the sample during indentation in NanoScan-4D devices is 1 newton. This is sufficient for measurement of physical and mechanical properties at the nanoscale, but testing of materials in classical micro range requires the ability to indent with a larger applied force [6]. The indentation in the micro range using the Vickers indenter allows to directly compare the properties of materials with reference parameters of HV hardness. Indentation with high

loads allows to measure properties of bulk materials without affect of the surface layer. This can be useful for comparison of the properties of the substrate and thin coating on the surface or when the surface layer is broken by rough grinding or surface oxidation. The increased load contributes to a change in mode of deformation from elastic to plastic and from plastic to brittle, and allows to measure the fracture strength of a larger number of materials [7].

Taking into account the above, the TISNCM develops a new module that extends the range of the applied indentation load up to





Puc.3. Отпечатки индентора Виккерса на плавленом кварце (a) и на стали 40X13 (b) при нагрузке 50 H Fig.3. Indentation of the Vickers indenter on fused quartz (a) and 40X13 steel (b) at a load of 50 N

устанавливается непосредственно на индентирующий модуль "НаноСкан-4D", расширяя его возможности. Важным преимуществом является то, что новый модуль не снижает функциональности сканирующего нанотвердомера и позволяет реализовывать все измерительные методики, прикладывая при необходимости большие нагрузки. Интересно, что измерения в разных диапазонах по силе могут проводиться без замены индентора и калибровок. Простота конструкции допускает доукомплектование нанотвердомера "НаноСкан-4D" новым расши-

рением непосредственно на месте эксплуатации прибора рядовым пользователем – для этого не требуются специальные навыки.

Пример работы модуля для приложения больших нагрузок иллюстрирует рис.2, на котором изображена диаграмма нагрузка-внедрения для уколов, сделанных в плавленый кварц и сталь 40X13 с максимальной нагрузкой в 50 H.

На рис.3 показан отпечаток на стали и на кварце, сделанный индентором Виккерса с максимальной нагрузкой 50 H. Отпечаток на кварце имеет коль-

50 newton. The device is mounted directly on indentation module of NanoScan-4D for expansion of his capabilities. An important advantage is that the new module does not reduce the functionality of the scanning nano-hardness tester and allows to implement all methods of measuring, applying, if necessary, large loads. It is important that the measurements in the different ranges of load can be performed without replacement of the indenter and calibrations. The simplicity of the design allows the upgrade of NanoScan-4D nanohardness tester with new extension module directly at the place of

operation by user without special skills.

An example of using the module for the application of heavy loads is illustrated in Fig.2, which shows the "load-introduction" curve for fused quartz and 40X13 steel with a maximum load of 50 newton.

Fig.3 shows the imprint on the steel and on the quartz, made by the Vickers indenter with a maximum load of 50 newton. The imprint on the quartz has a ring and radial cracks. Imprint on the steel is plastic with small mounds on the perimeter.

Thus, this paper shows one of the areas of development of the NanoScan-4D scanning nano-hardness tester, namely, the extension of its functionality by adding a new module. The new module makes it possible to measure mechanical properties by instrumental indentation with a maximum loading force of 50 newton. This increases the range of researches and in some cases allows to go beyond the nano level and reduces the number of necessary research devices.

The project is executed at financial support of the Ministry of education and science of the Russian Federation under the agreement No. 14.577.21.0088 (unique project identifier RFMEFI57714X0088).



цевые и радиальные микротрещины. Отпечаток на стали – пластичный, по периметру образуются небольшие валы.

Таким образом, в данной работе продемонстрировано одно из направлений развития сканирующего нанотвердомера серии "НаноСкан-4D", а именно расширение его функциональности за счет добавления нового модуля. Разработанный модуль делает возможными измерения механических свойств методом инструментального индентирования с максимальной силой нагружения до 50 Н. Это увеличивает диапазон исследований, в некоторых случаях позволяет выйти за рамки нанодиапазона и уменьшает количество необходимых для проведения исследований устройств.

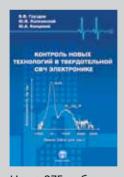
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках соглашения № 14.577.21.0088 (уникальный идентификатор проекта RFMEFIS7714X0088).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 8.748-2011 (ИСО 14577-1:2002) ГСИ. Металлы и сплавы. Измерение твердости и других характеристик материалов при инстру-

- ментальном индентировании. Часть 1. Метод испытаний.
- 2. **Useinov A.S., Useinov S.S.** Scratch hardness evaluation with in-situ pile-up effect estimation // Philos. Mag. 2012. Vol. 92, № 25. P. 3188–3198.
- 3. Усеинов А., Кравчук К., Маслеников И., Решетов В., Мария Ф. Исследование прочности микрообъектов с помощью сканирующего нанотвердомера "НаноСкан" // Наноиндустрия. 2015. № 4(58). С. 54–61.
- 4. Маслеников И., Гладких Е., Усеинов А., Решетов В., Логинов Б. Построение объемных карт механических свойств в режиме динамического механического анализа // Наноиндустрия. 2016. № 2(64). С. 36-41.
- 5. **Усеинов А.С., Кравчук К.С., Маслеников И.И.** Получение томограммы механических свойств методами наноиндентирования // Наноиндустрия. 2014. № 1. С. 34–39.
- 6. ГОСТ 9450-76 (СТ СЭВ 1195-78). Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.
- 7. **Усеинов А., Кравчук К., Маслеников И.** Индентирование. Измерение твердости и трещиностойкости покрытий // Наноиндустрия. 2013. № 45(7). С. 48–57.

НОВЫЕ КНИГИ ИЗЛАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 975 руб.

КОНТРОЛЬ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ СВЧ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Груздов В.В., Колковский Ю.В., Концевой Ю.А.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 328 с. ISBN 978-5-94836-426-1

В книге представлено обобщение накопленного опыта по созданию методов входного и технологичес-кого контроля при разработке и производстве СВЧ транзисторов на основе широкозонных материалов, в частности, транзисторов на гетероструктурах типа AlGaN/GaN. Рассмотрены системы отечественных и зарубежных стандартов, на основе которых проводятся разработки СВЧ транзисторов. Подробно описаны физические основы гетероструктур, описаны свойства широкозонных полупроводников, методы изготовления СВЧ транзисторов. Детально анализируется технология производства транзисторов с учетом имеющегося опыта их реального изготовления. Рассмотрены электрические, оптические, рентгеновские, электронно-микроскопические и аналитические методы, которые применяются при входном и технологическом методах контроля. Рассмотрен опыт создания в ОАО "НПП "Пульсар" СВЧ транзисторов и СВЧ блоков на их основе.

Книга будет полезна специалистам в области электроники, исследователям, инженерам-практикам и разработчикам радиоэлектронной аппаратуры.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

№ 125319, Москва, а/я 91; ****(495) 234-0110; **(495)** 956-3346; **knigi@technosphera.ru**, **sales@technosphera.ru**