КАЛИБРОВКА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С НАНО- И ПИКОМЕТРОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ CALIBRATION OF THE DISPLACEMENT WITH NANO- AND PICOMETER PRECISION

Одна из проблем, с которой сталкиваются производители и пользователи сканирующих зондовых и электронных микроскопов, а также других приборов для измерения геометрии объектов в нанодиапазоне – сложность калибровки из-за отсутствия стандартизированных наноразмерных мер и эталонов. Российская компания "НАНО-АТТО Метрия" предложила оригинальное решение, основанное на применении пьезокристаллов (см. также статью "Стандарты нано- и пикометрового диапазонов на основе мер перемещения" ("Наноиндустрия", 2015, 5(59)). Об этой разработке рассказал руководитель проекта Петр Николаевич Лускинович.

One of the problems faced by producers and users of scanning probe and electron microscopes, and other devices for measuring the geometry of objects at the nanoscale is the difficulty in calibration due to the lack of nanoscale standardized measures and gauges. The Russian company Nano-Atto Metria offered an original solution based on the use of piezoelectric crystals (see also the article "Standards for nano- and picometer ranges on the basis of displacement gauges", Nanoindustry, No.5(59), 2015). The project manager Petr Luskinovich told about this development.

Петр Николаевич, чем обусловлена необходимость создания нового типа эталонов для калибровки зондовых и электронных микроскопов?

В метрологии принято считать, что точность меры должна быть выше требуемой точности измерений хотя бы на порядок. В области нановеличин реализовать этот принцип сложно, а в диапазоне нескольких пикометров пока технически невозможно. К тому же, использование традиционных "статических" наноразмерных эталонов требует решения целого комплекса проблем, связанных с сохранением постоянства их размеров, в частности, предотвращением адсорбции и попадания пыли. Поэтому мы выбрали другой путь: применение "активных" систем – мер перемещения на базе материалов с обратным пьезоэлектрическим эффектом. Мы используем синтетические монокристаллы, например ниобат лития, которые характеризуются большей линейностью, чем пьезокерамика. Геометрические размеры таких кристаллов изменяются пропорционально подаваемому на них электрическому напряжению. Величины этих изменений в зависимости от приложенного напряжения определяются с помощью высокоточных оптических интерферометров. Таким образом, на

базе кристаллов ниобата лития без применения нанотехнологий создан новый тип калибровочных мер для нано- и пикометрового диапазонов, которые могут использоваться при калибровке измерительных приборов – сканирующих зондовых и электронных микроскопов, – а также для других задач. Наше изобретение защищено четырьмя патентами.

Насколько существенно влияние внешних условий на величину деформации пьезокристалла?

На величину перемещения не влияют ни состав атмосферы, ни состав отсчетной поверхности, ни магнитные поля. Изменения температуры в несколько градусов Цельсия также сколько-нибудь существенного влияния не оказывают, а большие перепады в современных лабораториях и высокотехнологических производствах исключены.

Как калибруется оптический интерферометр, с помощью которого контролируется величина деформации пьезокристалла и каковы погрешности измерения?

Для калибровки оптического интерферометра используются эталоны Росстандарта. Частота лазерного излучения в наших интерфероме-

трах стабилизируется цезиевыми ячейками, поэтому точность измерения достаточно высока для работы не только в нано-, но и в пикометровом диапазоне. При одиночных измерениях уровень шумов составляет 50 пикометров, но при выполнении серий отношение сигнал/шум может быть улучшено на величину, определяемую, как квадратный корень из числа измерений. Время измерений очень мало, поэтому на практике вполне реально выполнить от 100 до 10 тыс. измерений, снизив уровень шумов в 10-100 раз. Например, мы экспериментально показали возможность регистрации перемещений в единицы пикометров. Отмечу, что все используемые методики измерений и обработки результатов стандартны и широко применяются в научной и производственной практике.

Возможна ли интеграция систем калибровки в измерительные приборы?

Мы разработали несколько видов оптических интерферометров, в том числе, миниатюрные, которые могут встраиваться в атомно-силовые микроскопы. Это позволит калибровать работу пьезопроводов кантелеверов и повысить точность измерений.

П.Н.Лускинович, компания "НАНО-АТТО Метрия"
Petr Luskinovich, NANO-ATTO Metria

Mr. Luskinovich, why we need a new type of standards for calibrating scanning probe and electronic microscopes?

In metrology it is assumed that the accuracy of the gauge should be higher than the required accuracy of measurement at least an order of magnitude. In the field of nano values implementation of this principle is difficult, and in the range of a few picometers is technically impossible. In addition, the use of traditional "static" standards requires the solution of a whole complex of problems associated with maintaining consistency in their sizes, in particular, the prevention of adsorption

and dust. Therefore, we chose another way – use of "active" systems, displacement gauges on the basis of materials with the reverse piezoelectric effect. We use synthetic single crystals, such as lithium niobate, which are characterized by a better linearity than the piezoelectric ceramics. The geometrical sizes of such crystals change in proportion to the applied voltage. The magnitude of these changes depending on the applied voltage is determined using a high-precision optical interferometers. Thus, on the basis of lithium niobate crystals without the use of nanotechnology a new type of calibration gauges for

nano- and picometer ranges is created that can be used for the calibration of measuring instruments: scanning probe and electron microscopes, as well as for other tasks. Our invention is protected by four patents.

How does the environment influence on the degree of deformation of piezoelectric crystal?

Neither the atmospheric composition nor the composition of the reference surface, nor the magnetic field does not affect the magnitude of the displacement. A few degrees of temperature change also does not have any significant effect, and

Каковы перспективы внедрения ваших разработок в метрологическую практику?

Наши меры перемещения получили высокую оценку во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологической службы (ВНИИМС), и есть предпосылки к тому, что они приобретут статус государственных эталонов. Участие в международных выставках и конференциях в Европе, Азии, Америке показало, что интерес к нашей разработке велик и у компаний-производителей приборов, и у образовательных институтов, и у метрологических организаций. В частности, мы провели предварительные тесты в немецком метрологическом институте PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) и представили совместные доклады на нескольких конференциях. В даль-

нейшем рассчитываем на широкое внедрение наших мер перемещения за рубежом, так как надежные и простые в эксплуатации эталоны нано- и пикометровых величин требуются во всех странах, где развиваются нанотехнологии.

Конечно, одно из необходимых условий для внедрения изобретения в практику – подготовка специалистов. Мы организовываем обучающие курсы, причем возможно дистанционное обучение с использованием удаленного управления калибровочной системой. Для студентов проводятся факультативные лекции в МГУ им. М.В.Ломоносова и МИРЭА, поэтому надеемся, что новое поколение специалистов сможет обеспечить высокую точность измерений в нано- и пикометровом диапазонах. ■

large variations are excluded in modern laboratories and high-tech production facilities.

How to calibrate the optical interferometer, which controls the amount of deformation of the piezoelectric crystal, and what is the measurement error?

For calibration of the optical interferometer measures of Rosstandart are used. The cesium cells are used to stabilize the frequency of laser radiation in our interferometers, so the measurement accuracy is high enough for use not only in nano-but also in the picometer range. At single measurements the noise level is 50 picometres, but when a series of measurements are performed the signal-to-noise ratio can be improved by an amount defined as the square root of the number of measurements. The measurement time is very short, so in practice it is realistic to perform from 100 to 10 thousand measurements, reducing the noise level in 10-100 times. For example, we experimentally showed

the possibility of measurement of picometers displacements. It should be noted that all the used methods of measurements and results processing are standard and widely used in scientific and industrial practice.

Is it possible to integrate calibration system and measuring instrument?

We have developed several types of optical interferometers, including miniature, which can be integrated in atomic force microscopes. This will allow to calibrate the operation of the cantilever drives and improve the accuracy of measurements.

What are the prospects for the use of your developments in metrological practice?

Our displacement gauges were highly appreciated by the All-Russian research Institute of metrological service (VNIIMS), and there are prerequisites to the fact that they will acquire the status of the state standards. Participation in international exhibitions and

conferences in Europe, Asia and America showed that interest in our development is great at devices manufacturers, educational institutions, and metrology organizations. In particular, we conducted preliminary tests in German metrological Institute PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) and presented joint reports at several conferences. In the future we expect wide implementation of our displacement gauges abroad as a reliable and easy to use nano- and picostandards are required in all countries that are developing nanotechnologies.

Of course, one of the necessary conditions for the implementation of the invention into practice is the education of specialists. We organize training courses, and remote learning with the use of the remote control of the calibration system. An optional lecture for students are held at Lomonosov MSU and MIREA, so I hope that a new generation of professionals will be able to provide high accuracy measurements in nano- and picometer ranges. ■