

УДК 389.14

**АНАЛИЗ ЭТАЛОНОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ
ПАРАМЕТРОВ В НАНОДИАПАЗОНЕ**

Егошина Е.В.

Научный руководитель Ушаков И.Е.

Санкт-Петербургский горный университет

Проводится анализ современного состояния эталонной базы и средств измерений, применяемых в области нанодиапазона

В настоящий момент на мировом рынке появляется все больше видов продукции, изготовленных с применением нанотехнологий. В области метрологического обеспечения наноиндустрии точные, достоверные и прослеживаемые измерения являются основой для эффективного и безопасного развития нанотехнологий. Высокий уровень точности измерений также способен содействовать стремительному развитию экономики.

Нанометрии принадлежит особая роль ключевых основополагающих элементов приборно-аналитической, технологической составляющих в наноиндустрии [1].

Из определения нанотехнологий следует, что задача измерений геометрических параметров объекта стоит очень высоко, поэтому существует необходимость обеспечения единства линейных измерений в диапазоне 1-100 нм [2].

Результаты измерений в нанодиапазоне должны быть прослеживаемы к единице длины в системе СИ, то есть к метру. Сегодня наиболее распространённым для практической реализации метра является излучение гелий-неонового ($\text{He-Ne}/I_2$) лазера, стабилизированного по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127, с длиной волны $\lambda = 632,9914$ нм [3, 4].

В Российской Федерации государственные первичные эталоны единиц величин предназначены для воспроизведения, хранения и передачи единиц величин с наивысшей точностью. Государственным первичным эталоном единицы длины в РФ также является метр. Институт-хранитель данного эталона: ФГУП "ВНИИМ им. Д.И.Менделеева" (г. Санкт-Петербург). Номер эталона в госреестре: гэт2-2010. Он применяется в диапазоне: $1 \cdot 10^{-9}$... 30 м. Номинальное значение длины волны, при котором воспроизводится единица, составляет 0,633 мкм.

Межатгестанционный интервал для государственного первичного эталона единицы длины составляет 5 лет.

Обобщенная схема обеспечения прослеживаемости измерений линейных размеров в Российской Федерации в нанометровом диапазоне представлена на рис. 1.

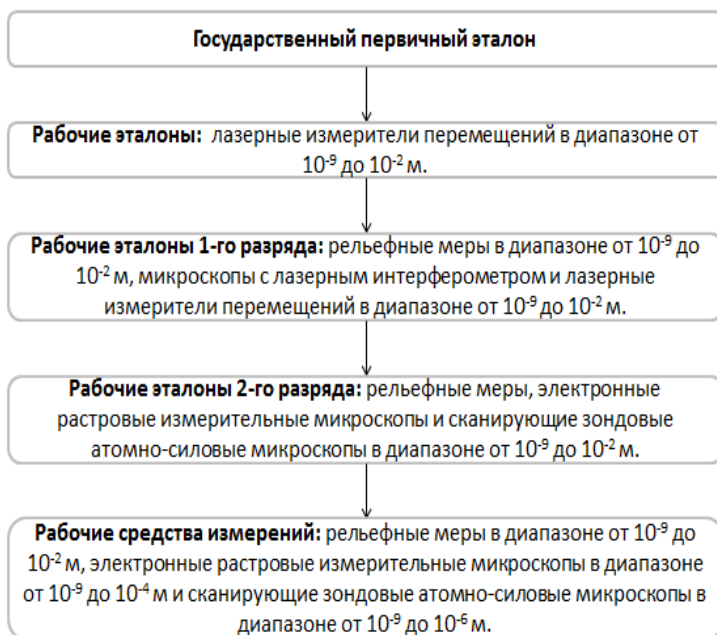


Рис. 2 – Схема обеспечения прослеживаемости в нанометровом диапазоне

Измерения геометрических параметров объектов в нанодиапазоне, как правило, проводятся с помощью растровых электронных (РЭМ) и сканирующих зондовых (СЗМ) микроскопов, расположенных у пользователя.

Растровый электронный микроскоп – это электронный микроскоп, формирующий изображение объекта при сканировании его поверхности электронным зондом.

Сканирующим зондовым атомно-силовым микроскопом называют зондовый атомно-силовой микроскоп с нормированными метрологическими характеристиками, предназначенный

для измерения линейных размеров элементов рельефа поверхности и/или расстояний между ними путем сканирования поверхности острием зонда.

РЭМ и СЗМ являются средствами измерений в случае, если их параметры соответствующим образом аттестуются, проверяются (калибруются).

Одной из самых главных задач метрологического обеспечения линейных измерений в нанометровом диапазоне является создание вещественных носителей размера. Примером подобных носителей являются меры с программируемым нанорельефом поверхности. Такие меры должны обеспечить поверку (калибровку) средств измерений с наивысшей точностью.

Рельефной мерой нанометрового диапазона принято называть меру, содержащую элементы рельефа, линейный размер хотя бы одного из которых менее 10^{-6} м.

Именно такие трехмерные меры малой длины (рис. 2), например, МШПС, остаются единственным возможным средством поверки (калибровки) СЗМ и РЭМ пользователей [6 – 10].

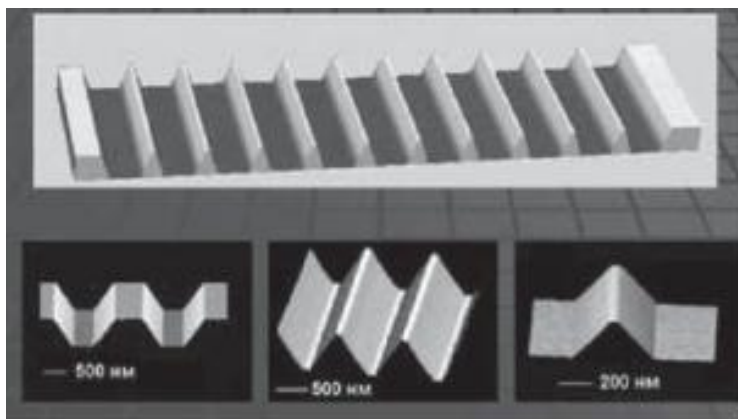


Рис. 3 – Рельефная мера малой длины

Мера ширины и периода, специальная, номинальный размер которой составляет 2,0 мкм, (МШПС-2.0К), сформирована на поверхности квадратной кремниевой монокристаллической пластины. Диапазон передачи размера единицы длины для меры: от 10^{-9} м до 10^{-4} м. Мера состоит из пяти одинаковых модулей, расположенных по четырем углам квадрата 1×1 мм² и в его центре [11].

Модуль меры представляет собой три шаговые рельефные структуры на поверхности кремния, каждая из которых состоит из 11 канавок. Геометрическая форма элементов рельефа шаговой структуры - это трапеции с равными боковыми сторонами и заданным углом их наклона относительно плоскости нижнего основания. Номинальный значение шага шаговой структуры составляет 2 мкм [12]. Масса меры не более 0,009 кг; габаритные размеры (ширина×глубина×высота) не более $10 \times 10 \times 0,5$. Межповерочный интервал для данной меры составляет 1 год. Номер в госреестре: 33598-06.

Данная мера применяется при поверке (калибровке) увеличения и измерении диаметра электронного зонда РЭМ. В случае атомно-силовых микроскопов она позволяет дополнительно осуществлять калибровку радиусов острия зондов, линейности шкал и ортогональности сканеров [13].

Таким образом, при геометрических измерениях размеров нанобъектов возникают наибольшие проблемы, так как на сегодняшний день научно-технический прогресс находится на очень высоком уровне. Следовательно, требуется разработка теории, методов (методик) и инструментов для проведения подобных сверхточных измерений, а также создания соответствующих эталонных установок и стандартных образцов сравнения. Это все составляет основу для обеспечения единства измерений в нанометрологии [14].

Библиографический список

1. Афанасьев А. А., Ивлева К. С., Прохоренков Д. С. *Нанометрология в технических исследованиях – основа дальнейшего развития науки // Вестник ИрГТУ. 2015. №3.*
2. Бурганова Л. Р., Дресвянников А. Ф. *Метрологическое обеспечение измерений линейных параметров нанобъектов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №7.*
3. Яминский Д., Яминский И. *Эталон нанометра // Наноиндустрия. 2009. №4*
4. Тодуа П., Гавриленко В. *Нанометрология – основа устой-*

чивого развития нанотехнологий//Наноиндустрия. 2013.-№5.

5. ГОСТ Р 8.763-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм».

6. Тодуа П.А. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях // Фотоника. 2010. №1.

7. ГОСТ 21006-75. Микроскопы электронные. Термины, определения и буквенные обозначения

8. ГОСТ 8.593-2009 ГСИ. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика поверки

9. ГОСТ Р 8.628-2007 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния. Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления (с Изменением № 1)

10. Гоголинский К., Усеинов А., Кузнецов А., Решетов В., Голубев С. Метрологическое обеспечение измерений линейных размеров в нанометровом диапазоне // Наноиндустрия. 2012. №1.

11. Тодуа П. Нанометрология и стандартизация в нанотехнологиях // Наноиндустрия. 2010. №5.

12. Рачков М.Ю. Измерения физических величин в нанометровом диапазоне // Машиностроение и инженерное образование, 2013, №2.

13. Трапашко Г.А. Калибровка установок измерений размеров элементов микроэлектронных структур // Наука и техника. – 2012. №4.

14. Штыков С. Н. Наноаналитика: проблемы концепции и метрологии // Вестник ННГУ. 2013. №5-1.

УДК 539.3:620.193:669

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ НАВОДОРОЖИВАНИЯ НА НДС ПОЛОГОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Кузнецова В.О.

Научный руководитель Трещев А.А.

Тульский государственный университет

В статье рассматривается создание математической модели, которая описывает влияние агрессивных водородных сред на напряжённо-деформированное состояние тонкой пологой оболочки, вычерченной по