ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.629— 2007

Государственная система обеспечения единства измерений

МЕРЫ РЕЛЬЕФНЫЕ НАНОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

Методика поверки

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2011

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума», Федеральным государственным учреждением «Российский научный центр «Курчатовский институт», Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 441 «Наукоемкие технологии» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 мая 2007 г. № 97-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ИЗДАНИЕ (декабрь 2010 г.) с Изменением № 1, утвержденным в ноябре 2010 г. (ИУС 2—2011)

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2007
© СТАНДАРТИНФОРМ, 2011

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Операции и средства поверки 2
5 Требования к квалификации поверителей 3
6 Требования безопасности 3
7 Условия поверки и подготовка к ней 4
8 Проведение поверки 4
9 Обработка результатов измерений 6
10 Оформление результатов поверки 8
Приложение А (справочное) Вычисление показателя преломления воздуха 9
Библиография 11

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

МЕРЫ РЕЛЬЕФНЫЕ НАНОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

Методика поверки

State system for ensuring the uniformity of measurements.
Nanometer range relief measures with trapezoidal profile of elements.
Methods for verification

Дата введения — 2008—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на рельефные меры нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов (далее — рельефные меры), линейные размеры и материал для изготовления которых соответствуют требованиям ГОСТ Р 8.628. Рельефные меры применяют для измерения линейных размеров в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-6} м.

Настоящий стандарт устанавливает методику первичной и периодических поверок рельефных мер.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 8.628—2007 Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния. Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления

ГОСТ Р ИСО 14644-2—2001 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия ГОСТ Р ИСО 14644-1*

ГОСТ Р ИСО 14644-5—2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация

ГОСТ 12.1.040—83 Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения

ГОСТ 12.2.061—81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам

ГОСТ ИСО 14644-1—2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

* ГОСТ Р ИСО 14644-1—2000 отменен; с 01.04.2004 действует ГОСТ ИСО 14644-1—2002.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по РМГ 29 [1], а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **рельеф поверхности (твердого тела):** Поверхность твердого тела, отклонения которой от идеальной плоскости обусловлены естественными причинами или специальной обработкой.

3.2 **элемент рельефа (поверхности):** Пространственно локализованная часть рельефа поверхности.

3.3 **элемент рельефа в форме выступа (выступ):** Элемент рельефа, расположенный выше прилегающих к нему областей.

3.4 **геометрическая форма элемента рельефа:** Геометрическая фигура, наиболее адекватно аппроксимирующая форму минимального по площади сечения элемента рельефа.

Пример — Трапецеидальный выступ, представляющий собой элемент рельефа поверхности, геометрическая форма минимального по площади сечения которого наиболее адекватно аппроксимируется трапецией.

3.5 **мера (физической) величины:** Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в узаконенных единицах и известны с необходимой точностью [1].

3.6 **рельефная мера:** Средство измерений длины, представляющее собой твердый объект, линейные размеры элементов рельефа которого установлены с необходимой точностью.

Примечание — Рельефная мера может быть изготовлена с помощью средств микро- и нанотехнологии или представлять собой специально обработанный объект естественного происхождения.

3.7 **рельефная мера нанометрового диапазона:** Мера, содержащая элементы рельефа, линейный размер хотя бы одного из которых менее 10^{-6} м.

3.8 **рельефная мера (нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов):** Рельефная мера нанометрового диапазона, геометрическая форма элементов рельефа которой представляет собой трапецию.

3.9 **пиксель:** Наименьший дискретный элемент изображения, получаемый в результате математической обработки информативного сигнала.

3.10 **сканирование (элемента исследуемого объекта):** Перемещение зонда вдоль выбранного отрезка на исследуемом объекте с одновременной регистрацией информативного сигнала.

3.11 **изображение на экране монитора микроскопа (видеоизображение):** Изображение на экране монитора микроскопа в виде матрицы из n строк по m пикселей в каждой, яркость которых прямо пропорциональна значению сигнала соответствующей точки матрицы.

Примечание — Яркость пикселя определяется силой света, излучаемой им в направлении глаза наблюдателя.

3.12 **видеопрофиль (информационного сигнала):** Графическая зависимость значения информативного сигнала, поступающего с детектора микроскопа, от номера пикселя в данной строке видеоизображения.

3.13 **масштабный коэффициент (видеоизображения микроскопа):** Отношение длины исследуемого элемента на объекте измерений к числу пикселей этого элемента на видеоизображении.

Примечание — Масштабный коэффициент определяют для каждого микроскопа.

3.14 **Z-сканер сканирующего зондового атомно-силового микроскопа (Z-сканер):** Устройство сканирующего зондового атомно-силового микроскопа, позволяющее в процессе сканирования перемещать зонд над поверхностью исследуемого объекта (или перемещать исследуемый объект под зондом) в вертикальном направлении.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

4 Операции и средства поверки

4.1 При проведении первичной и периодических поверок рельефной меры должны быть выполнены операции и применены средства поверки, указанные в таблице 1.

Таблица 1 — Операции и применяемые средства поверки

Наименование операции	Номер подраздела настоящего стандарта	Наименование средства поверки и его основные технические и метрологические характеристики
Внешний осмотр	8.1	Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400^X)
Опробование	8.2	Сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп. Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400^X). Два лазерных двухлучевых интерферометра с источником излучения — гелий-неоновым лазером, длина волны которого стабилизирована по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде и определена с относительной погрешностью не более $3 \cdot 10^{-7}$ %. В комплект поставки каждого лазерного интерферометра должны входить два зеркала, предназначенные для формирования опорного и информативного лучей, по фазовому сдвигу $\Delta\Phi$ между которыми определяют перемещение поверяемого элемента в процессе его сканирования атомно-силовым микроскопом. Абсолютная погрешность определения фазового сдвига $\Delta\Phi$ — не более 0,002 рад
Определение метрологических характеристик	8.3	Атомно-силовой микроскоп. Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400^X). Два лазерных двухлучевых интерферометра с источником излучения — гелий-неоновым лазером, длина волны которого стабилизирована по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде и определена с относительной погрешностью не более $3 \cdot 10^{-7}$ %. В комплект поставки каждого лазерного интерферометра должны входить два зеркала, предназначенные для формирования опорного и информативного лучей, по фазовому сдвигу $\Delta\Phi$ между которыми определяют перемещение поверяемого элемента в процессе его сканирования атомно-силовым микроскопом. Абсолютная погрешность определения фазового сдвига $\Delta\Phi$ — не более 0,002 рад. Средства измерений параметров окружающей среды с абсолютными погрешностями не более: - температуры окружающей среды — ± 0,2 °С; - относительной влажности воздуха — ± 3 %; - атмосферного давления — ± 130 Па

(Измененная редакция, Изм. № 1).

4.2 Допускается применять другие средства поверки, точность которых соответствует требованиям настоящего стандарта.

5 Требования к квалификации поверителей

Поверку рельефных мер должны проводить штатные сотрудники метрологической службы предприятия, аккредитованной в установленном порядке на право проведения поверки средств измерений.

Сотрудники должны иметь высшее образование, профессиональную подготовку, опыт работы со сканирующими зондовыми атомно-силовыми микроскопами (далее — АСМ) и двухлучевыми лазерными гетеродинными интерферометрами и знать требования настоящего стандарта.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

6 Требования безопасности

При поверке рельефных мер необходимо соблюдать правила электробезопасности по [3], [4], требования лазерной безопасности по ГОСТ 12.1.040 и требования по обеспечению безопасности на рабочих местах по ГОСТ 12.2.061, [5], [6].

Рабочие места поверителей должны быть аттестованы по условиям труда в соответствии с требованиями трудового законодательства.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

7 Условия поверки и подготовка к ней

7.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды . . . . . (20 ± 3) °С;
- относительная влажность воздуха . . . . . не более 80 %;
- атмосферное давление . . . . . (100 ± 4) кПа;
- напряжение питающей сети . . . . . (220 ± 22) В;
- частота питающей сети. . . . . (50,0 ± 0,4) Гц.

Разность значений параметров окружающей среды до и после окончания поверки не должна превышать указанных в приложении А.

7.2 Помещение (зона), в котором размещают средства измерений для поверки рельефных мер, должно быть в эксплуатируемом состоянии и обеспечивать класс чистоты не более класса 8 ИСО по взвешенным в воздухе частицам размерами 0,5 и 5 мкм и концентрациями, определенными по ГОСТ ИСО 14644-1. Периодичность контроля состояния помещения (зоны) определяют по ГОСТ Р ИСО 14644-2. Эксплуатацию помещения (зоны) осуществляют по ГОСТ Р ИСО 14644-5.

7.1, 7.2 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

7.3 Перед началом поверки необходимо подать напряжение питания на основные средства поверки и подготовить их к работе в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

8 Проведение поверки

8.1 Внешний осмотр

8.1.1 При внешнем осмотре поверяемой рельефной меры должно быть установлено:

- соответствие комплекта поставки данным, приведенным в паспорте (формуляре) на рельефную меру;

- отсутствие механических повреждений футляра, в котором осуществлялось хранение и транспортирование рельефной меры.

8.1.2 Рельефную меру извлекают из футляра, проводят предварительный визуальный внешний осмотр для выявления возможных повреждений и с помощью специальных зажимов устанавливают меру на рабочий стол АСМ.

При установке рельефной меры необходимо обеспечить:

- плотное прилегание плоскости подложки меры к поверхности рабочего стола АСМ;

- параллельность плоскости, образованной верхним основанием выступа поверяемого элемента рельефной меры, направлению горизонтального перемещения зонда (или рабочего стола) АСМ, а также ортогональностью такого перемещения к линии пересечения верхнего основания выступа с его наклонной стенкой.

8.1.3 С помощью вспомогательного оптического микроскопа осматривают и проверяют качество поверхности рельефной меры. Шаговая структура на поверхности рельефной меры должна быть однородной, при этом на примерно 75 % поверхности меры не должно быть повреждений маркерных линий, искажений краев элементов рельефа в виде впадин и выступов, соизмеримых с шириной элементов рельефа.

8.1.2, 8.1.3 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

8.2 Опробование

8.2.1 С помощью вспомогательного оптического микроскопа устанавливают зонд АСМ в положение, соответствующее началу сканирования поверяемого элемента рельефной меры.

Начальное положение определяют следующим образом: зонд АСМ устанавливают на плоскость нижнего основания на расстоянии от поверяемого элемента, равном не менее 20 % и не более 50 % ширины нижнего основания поверяемого элемента. Аналогично определяют конечное положение зонда АСМ при сканировании.

8.2.2 На неподвижном элементе в камере образцов АСМ устанавливают зеркало лазерного интерферометра, предназначенное для формирования опорного луча, а на рабочем столе АСМ — другое зеркало для формирования информативного луча. Лазерный интерферометр (далее — горизонтальный лазерный интерферометр) располагают вдоль оси, совпадающей с горизонтальным направлением сканирования (далее — ось абсцисс).

Второй комплект зеркал устанавливают на Z-сканере и на неподвижном элементе камеры образцов АСМ. Эти зеркала предназначены для формирования информативного (на Z-сканере) и опорного (на неподвижном элементе камеры) лучей, что позволяет регистрировать перемещение Z-сканера АСМ в вертикаль-

ном направлении сканирования (далее — ось ординат). Второй лазерный интерферометр (далее — вертикальный лазерный интерферометр) устанавливают соответственно расположению зеркал.

Горизонтальный и вертикальный лазерные интерферометры должны обеспечивать регистрацию информативных и опорных лучей в процессе сканирования поверяемого элемента. Необходимо также обеспечить для каждого интерферометра взаимную параллельность информативного и опорного лучей при всех положениях стола и Z-сканера АСМ в процессе сканирования поверяемого элемента. Допустимый угол расхождения опорного и информативного лучей для каждого интерферометра не должен превышать 1′.

Такое взаимное расположение двух лазерных интерферометров в комплекте с зеркалами позволяет в процессе сканирования поверяемого элемента рельефной меры проводить регистрацию видеопрофиля элемента и одновременно с этим регистрацию перемещения рельефной меры и Z-сканера двумя лазерными интерферометрами.

8.2.3 В соответствии с инструкцией по эксплуатации АСМ проводят пробное сканирование поверяемого элемента рельефа. При этом предварительно:

- выполняют юстировку зеркал в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемых лазерных интерферометров;
- путем изменения угла наклона исследуемого объекта обеспечивают взаимную параллельность направления прохождения информативного луча вертикального лазерного интерферометра и направления вертикального перемещения Z-сканера АСМ при сканировании элемента рельефа;
- в соответствии с инструкциями по эксплуатации применяемых АСМ и лазерных интерферометров определяют частоту и скорость сканирования поверяемого элемента, при которых в электронно-фазометрических системах интерферометров можно четко регистрировать количество целых и дробных полос интерференции, соответствующих значениям фазовых сдвигов между опорными и информативными лучами горизонтального и вертикального интерферометров;
- устанавливают показания электронно-фазометрических систем применяемых лазерных интерферометров в «нулевое» положение, определяемое нестабильностью младшего разряда используемых аналого-цифровых преобразователей в указанных электронно-фазометрических системах.

8.2.2, 8.2.3 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

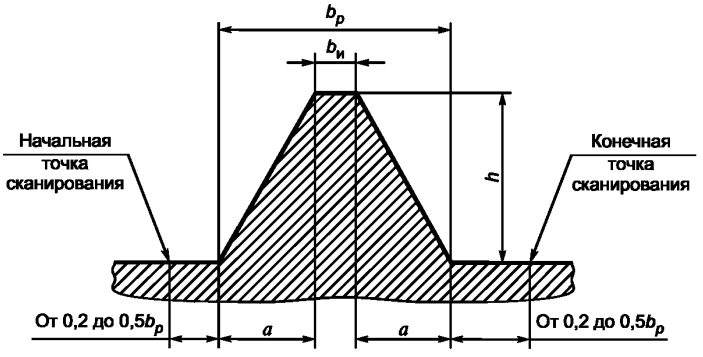
8.3 Определение метрологических характеристик

8.3.1 Проводят измерение параметров окружающей среды и показателей качества питающей электрической сети и проверяют выполнение требований, указанных в 7.1.

8.3.2 В соответствии с инструкциями по эксплуатации применяемых АСМ и лазерных интерферометров проводят сканирование выступа поверяемого элемента рельефной меры. Одновременно с помощью лазерных интерферометров проводят измерения горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ и вертикального перемещения Z-сканера АСМ.

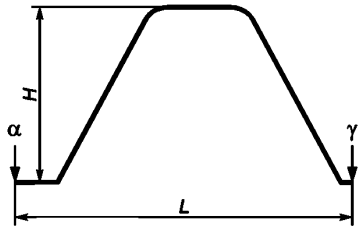
Сечение выступа трапецеидальной формы и места начального и конечного положений зонда АСМ приведены на рисунке 1.

Видеопрофиль, соответствующий этому выступу, представлен на рисунке 2.



$b_р$ — ширина нижнего основания выступа; $b_и$ — ширина верхнего основания выступа; h — высота выступа; a — значение проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа

Рисунок 1 — Сечение поверяемого элемента рельефной меры



α — точка на видеопрофиле, соответствующая начальному положению зонда АСМ при сканировании; γ — точка на видеопрофиле, соответствующая конечному положению зонда при сканировании; H — высота выступа, измеренная по видеопрофилю; L — разность абсцисс конечной и начальной точек горизонтального сканирования, соответствующая величине горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ, вычисленная по видеопрофилю

Рисунок 2 — Видеопрофиль сечения поверяемого элемента рельефной меры, приведенного на рисунке 1 (направление сканирования — слева направо)

8.3.3 По показаниям электронно-фазометрической системы горизонтального лазерного интерферометра определяют значение горизонтального фазового сдвига $\Delta\Phi_Г$ в радианах между информативным и опорным лучами этого интерферометра.

8.3.4 По показаниям электронно-фазометрической системы вертикального лазерного интерферометра определяют значение вертикального фазового сдвига $\Delta\Phi_В$ в радианах между информативным и опорным лучами этого интерферометра.

8.3.5 Проводят измерение параметров окружающей среды и показателей качества питающей электрической сети и проверяют выполнение требований, указанных в 7.1.

8.3.1—8.3.5 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

8.4 Оформление протокола поверки

Результаты измерений параметров рельефной меры по 8.3.2—8.3.4, а также приведенных на рисунке 2, оформляют в виде протокола. Также в протоколе указывают данные условий поверки до начала и после окончания измерений по 8.3.1 и 8.3.5.

Форма протокола — произвольная. Протокол с результатами поверки должен храниться как минимум до следующей поверки рельефной меры.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

9 Обработка результатов измерений

9.1 (Исключен, Изм. № 1).

9.2 Вычисление горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ при сканировании поверяемого элемента рельефа

Горизонтальное перемещение подвижной части рабочего стола ΔL, нм, от начального до конечного положения при сканировании поверяемого элемента рельефа вычисляют по формуле

$$\Delta L = \frac{\lambda_1}{4\pi n}\Delta\Phi_Г,$$

где λ_1 — длина волны излучения гелий-неонового лазера в вакууме, приведенная в паспорте (формуляре) на горизонтальный лазерный интерферометр, нм;

$\Delta\Phi_Г$ — фазовый сдвиг, измеренный по 8.3.3, рад;

n — показатель преломления воздуха при фактических значениях температуры окружающей среды, влажности воздуха и атмосферного давления, вычисленный по приложению А.

9.3 Вычисление масштабного коэффициента видеоизображения для оси абсцисс

Масштабный коэффициент видеоизображения m, нм/пиксель, для оси абсцисс вычисляют по формуле

$$m = \frac{\Delta L}{L},$$

где ΔL — перемещение подвижной части рабочего стола АСМ при горизонтальном сканировании, вычисленное по 9.2, нм;

L — разность абсцисс конечной и начальной точек горизонтального сканирования, соответствующая горизонтальному перемещению подвижной части рабочего стола АСМ, вычисленная по видеопрофилю (см. рисунок 2), пиксель.

9.4 **(Исключен, Изм. № 1).**

9.5 Вычисление вертикального перемещения Z-сканера АСМ при сканировании поверяемого элемента

Вертикальное перемещение Z-сканера АСМ ΔH, нм, при сканировании поверяемого элемента вычисляют по формуле

$$\Delta H = \frac{\lambda_2}{4\pi n}\Delta\Phi_в,$$

где λ_2 — длина волны излучения гелий-неонового лазера в вакууме, приведенная в паспорте (формуляре) на вертикальный лазерный интерферометр, нм;

$\Delta\Phi_в$ — фазовый сдвиг, измеренный по 8.3.4, рад;

n — показатель преломления воздуха при фактических значениях температуры окружающей среды, влажности воздуха и атмосферного давления, вычисленный по приложению А.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

9.6 **(Исключен, Изм. № 1).**

9.7 Вычисление высоты выступа поверяемого элемента рельефа

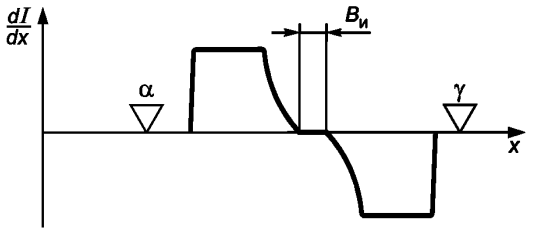
Значение высоты выступа h в нанометрах равно значению вертикального перемещения Z-сканера ΔH, вычисленному по 9.5.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

9.8 Вычисление вспомогательной величины для определения ширины верхнего основания выступа поверяемого элемента рельефа

При определении ширины верхнего основания трапецеидального выступа $b_и$ используют вспомогательную величину, для вычисления которой:

- вычисляют производную по горизонтальной координате. Для видеопрофиля, изображенного на рисунке 2, результат такого вычисления приведен на рисунке 3;



x — ось абсцисс по 8.2.2; α, γ — начальная и конечная точки положения зонда АСМ при сканировании поверяемого элемента, расположенные по 8.2.1; $\frac{dI}{dx}$ — ось ординат по значению производной величины видеосигнала по координате x.

Рисунок 3 — Графическое изображение первой производной видеопрофиля по координате в направлении горизонтального перемещения подвижной части стола АСМ

- проводят анализ результатов вычисления производной видеопрофиля по координате и вычисляют вспомогательную величину $B_и$, пиксель, которая равна разности соответствующих абсцисс точек, как показано на рисунке 3.

9.9 Вычисление ширины верхнего основания трапецеидального выступа

Ширину верхнего основания выступа $b_и$, нм, вычисляют по формуле

$$b_и = mB_и,$$

где m — масштабный коэффициент видеоизображения для оси абсцисс, вычисленный по 9.3, нм/пиксель;

$B_и$ — вспомогательная величина, вычисленная по 9.8, пиксель.

9.10 Вычисление ширины нижнего основания трапецеидального выступа

Ширину нижнего основания трапецеидального выступа $b_р$, нм, вычисляют по формуле

$$b_р = b_и + 1{,}4142h,$$

где $b_и$ — ширина верхнего основания поверяемого выступа, вычисленная по 9.9, нм;

h — высота поверяемого выступа, вычисленная по 9.7, нм.

9.11 Вычисление проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа

Проекцию наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа a, нм, вычисляют по формуле

$$a = 0{,}7071h,$$

где h — высота выступа, вычисленная по 9.7, нм.

9.12 Погрешность измерений

При соблюдении условий проведения измерений и использовании средств поверки с метрологическими характеристиками не хуже указанных в 4.1 абсолютные погрешности измерений значений линейных размеров поверяемого элемента рельефной меры приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Абсолютные погрешности измерений значений линейных размеров $b_и$, $b_р$, h и a

Наименование и обозначение линейного размера поверяемого элемента рельефной меры	Абсолютная погрешность измерений, нм, не более
Ширина верхнего основания трапецеидального выступа, $b_и$	± 0,8
Ширина нижнего основания трапецеидального выступа, $b_р$	± 1,4
Высота трапецеидального выступа, h	± 0,3
Проекция наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа, a	± 0,3

9.10—9.12 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

10 Оформление результатов поверки

10.1 Результаты поверки оформляют в виде свидетельства установленной формы и внесением соответствующей записи в паспорт (формуляр) рельефной меры.

10.2 На лицевой стороне свидетельства о поверке наносят знак поверки (поверительное клеймо), а также указывают даты выдачи и окончания срока действия свидетельства. На оборотной стороне свидетельства о поверке и в паспорте (формуляре) рельефной меры должны быть приведены значения высоты выступа, ширины верхнего и нижнего его оснований, а также значение проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа поверяемого элемента. Для перечисленных метрологических характеристик рельефной меры необходимо также указать абсолютные погрешности их измерений, приведенные в подразделе 9.12 настоящего стандарта.

10.1, 10.2 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

Приложение А
(справочное)

Вычисление показателя преломления воздуха

А.1 Исходные данные

При вычислении показателя преломления воздуха n исходными данными являются следующие параметры окружающей среды:

- температура t, °С;
- атмосферное давление p, Па;
- относительная влажность ρ, %.

Параметры окружающей среды измеряют до начала и после окончания измерений, при этом разность показаний должна быть не более:

- температуры окружающей среды — ± 1 °С;
- атмосферного давления — ± 300 Па;
- относительной влажности воздуха — ± 10 %.

А.2 Константы для вычисления показателя преломления воздуха

При вычислениях используют константы, приведенные в таблице А.1.

Таблица А.1 — Константы для вычисления показателя преломления воздуха

Обозначение константы	Числовое значение	Обозначение константы	Числовое значение
A	8342,54	E	0,601
B	2406147	F	0,00972
C	15998	G	0,003661
D	96095,43	—	—

А.3 Вычисление вспомогательной величины S

Вспомогательную величину S вычисляют по формуле

$$S = \frac{4 \cdot 10^5}{(\lambda_1 + \lambda_2)^2},$$

где λ_1, λ_2 — значения длин волн излучения в вакууме гелий-неоновых лазеров по 9.2 и 9.5, нм, соответственно.

А.4 Вычисление вспомогательной величины n_s

Вспомогательную величину n_s вычисляют по формуле

$$n_s = 1 + 10^{-8}\left(A + \frac{B}{130 - S} + \frac{C}{38{,}9 - S}\right),$$

где A, B,C — константы по А.2;

S — вспомогательная величина, вычисленная по А.3.

А.5 Вычисление вспомогательной величины X

Вспомогательную величину X вычисляют по формуле

$$X = \frac{1 + 10^{-8}(E - Ft)p}{1 + Gt},$$

где E, F, G — константы по А.2;

t — температура окружающей среды, °С;

p — атмосферное давление, Па.

А.6 Вычисление вспомогательной величины n_1

Вспомогательную величину n_1 вычисляют по формуле

$$n_1 = 1 + \frac{p(n_s - 1)X}{D},$$

где p — атмосферное давление, Па;

n_s — вспомогательная величина, вычисленная по А.4;

X — вспомогательная величина, вычисленная по А.5;

D — константа по А.2.

А.7 Вычисление парциального давления паров воды

Парциальное давление паров воды p_w, Па, вычисляют по формуле

$$p_w = \frac{\rho}{100} p_{sw}(t),$$

где ρ — относительная влажность воздуха, %;

$p_{sw}(t)$ — давление насыщенного водяного пара при температуре окружающей среды t, вычисленное по А.8 — А.14, Па.

А.8 Константы для вычисления давления насыщенного водяного пара

Для вычисления давления насыщенного водяного пара при температуре окружающей среды t, °С, используют константы, приведенные в таблице А.2.

Таблица А.2 — Константы для вычисления давления насыщенного водяного пара

Обозначение константы	Значение	Обозначение константы	Значение
K_1	1167,05214528	K_6	14,9151086135
K_2	–724213,167032	K_7	–4823,26573616
K_3	–17,0738469401	K_8	405113,405421
K_4	12020,8247025	K_9	–23,8555575678
K_5	–3232555,03223	K_{10}	650,175348448

А.9 Вычисление вспомогательной величины Ω

Вспомогательную величину Ω вычисляют по формуле

$$\Omega = t + 273{,}15 + \frac{K_9}{t + 273{,}15 - K_{10}},$$

где t — температура окружающей среды, °С;

K_9, K_{10} — константы по А.8.

А.10 Вычисление вспомогательной величины *M*

Вспомогательную величину M вычисляют по формуле

$$M = \Omega^2 + K_1 \Omega + K_2,$$

где Ω — вспомогательная величина, вычисленная по А.9;

K_1, K_2 — константы по А.8.

А.11 Вычисление вспомогательной величины *N*

Вспомогательную величину N вычисляют по формуле

$$N = K_3 \Omega^2 + K_4 \Omega + K_5,$$

где K_3, K_4, K_5 — константы по А.8;

Ω — вспомогательная величина, вычисленная по А.9.

А.12 Вычисление вспомогательной величины *R*

Вспомогательную величину R вычисляют по формуле

$$R = K_6 \Omega^2 + K_7 \Omega + K_8,$$

где K_6, K_7, K_8 — константы по А.8;

Ω — вспомогательная величина, вычисленная по А.9.

А.13 Вычисление вспомогательной величины *W*

Вспомогательную величину W вычисляют по формуле

$$W = -N + \sqrt{N^2 - 4MR},$$

где N — вспомогательная величина, вычисленная по А.11;

M — вспомогательная величина, вычисленная по А.10;

R — вспомогательная величина, вычисленная по А.12.

А.14 Вычисление давления насыщенного водяного пара

Давление насыщенного водяного пара $p_{sw}(t)$, Па, вычисляют по формуле

$$p_{sw}(t) = 10^6 \left(\frac{2R}{W}\right)^4,$$

где R — вспомогательная величина, вычисленная по А.12;

W — вспомогательная величина, вычисленная по А.13.

А.15 Вычисление показателя преломления воздуха

Показатель преломления воздуха n вычисляют по формуле

$$n = n_1 - 10^{-10} \frac{292{,}75(3{,}7345 - 0{,}0401S)p_w}{t + 273{,}15},$$

где n_1 — вспомогательная величина, вычисленная по А.6;

S — вспомогательная величина, вычисленная по А.3;

p_w — парциальное давление паров воды, вычисленное по А.7, Па;

t — температура окружающей среды, °С.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

Библиография

[1] РМГ 29—99 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

[2] **(Исключен, Изм. № 1).**

[3] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. № 6; зарегистрированы Минюстом России 22.01.2003 г., рег. № 4145)

[4] ПОТ РМ-016—2001
РД 153.34.0-03.150—00 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок

[5] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191—03 Электромагнитные поля в производственных условиях

[6] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

[7] **(Исключен, Изм. № 1).**

УДК 531.711.7.089:006.354 ОКС 17.040.01 Т88.1

Ключевые слова: рельефные меры нанометрового диапазона, с трапецеидальным профилем элементов, сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп, лазерный интерферометр, методика поверки

Редактор *М.И. Максимова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 31.01.2011. Подписано в печать 08.02.2011. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,45. Тираж 81 экз. Зак. 83.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6

gost.e-ecolog.ru