
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

БЗ 4—2007/106



Москва
Стандартинформ
2007

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»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 441 «Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума» 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

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 национального Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартиформ, 2007

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

II

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

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 при измерении линейных размеров в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-6} м.

Настоящий стандарт устанавливает методику первичной и периодических поверок рельефных мер.

Межповерочный интервал рельефной меры — один год.

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

П р и м е ч а н и е — 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.

Издание официальное

1.

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

3.2 элемент рельефа поверхности (элемент рельефа): 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 — Трапецидальный выступ, представляющий собой элемент рельефа поверхности, геометрическая форма минимального по площади сечения которого наиболее адекватно аппроксимируется трапецией.

3.5 мера физической величины (мера 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 трапецидальным профилем элементов (рельефная мера): 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 (сканирование): 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 информативного сигнала (видеопрофиль): Графическая зависимость значения информативного сигнала, поступающего с детектора микроскопа, от номера пикселя в данной строке видеоизображения.

3.13 масштабный коэффициент видеоизображения микроскопа (масштабный коэффициент): 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 удерживать зонд в вертикальном положении и обеспечивающее постоянное расстояние между острием зонда и поверхностью исследуемого объекта.

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.

Т а б л и ц а 1 — Операции и применяемые средства поверки

Наименование операции	Номер пункта настоящего стандарта	Наименование средства поверки и его основные технические и метрологические характеристики	Обязательность проведения операции при поверке
Внешний осмотр	8.1	Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400 \times), входящий в комплект поставки сканирующего зондового атомно-силового микроскопа.	+
Опробование	8.2	Сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп. Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400 \times), входящий в комплект поставки сканирующего зондового атомно-силового микроскопа. 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 \times), входящий в комплект поставки атомно-силового микроскопа. 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 — $\pm 0,2$ °С; - относительной влажности воздуха — ± 3 %; - атмосферного давления — ± 130 Па	+
Примечание — Знак «+» обозначает необходимость проведения операции.			

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

5 Требования к квалификации поверителей

К поверке рельефных мер допускаются лица, имеющие опыт работы с атомно-силовыми микроскопами (далее — АСМ) и двухлучевыми лазерными гетеродинными интерферометрами, знающие требования настоящего стандарта и аттестованные по [2].

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].

7 Условия поверки и подготовка к ней

7.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха не более 80 %;
- атмосферное давление (100 ± 4) кПа;
- напряжение питающей сети 220_{-33}^{+22} В;
- частота питающей сети 50^{+10} Гц.

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

7.2 Помещение (зона) размещения средств 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.

7.3 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 этом должно быть обеспечено плотное прилегание нижней плоскости подложки меры к поверхности рабочего стола АСМ.

8.1.3 С помощью вспомогательного оптического микроскопа осматривают и проверяют качество поверхности рельефной меры. Шаговая структура поверхности 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.

8.2 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 вертикальном 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. Допустимости

мый угол расхождения опорного и информативного лучей для каждого интерферометра не должен превышать $1'$.

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:

- выполняют юстировку зеркал в соответствии с инструкцией по эксплуатации лазерных интерферометров;

- путем перемещения и изменения угла наклона детектора лазерного интерферометра обеспечивают совпадение направлений горизонтального сканирования и вертикального перемещения Z-сканера АСМ с соответствующими направлениями информативных и опорных лучей.

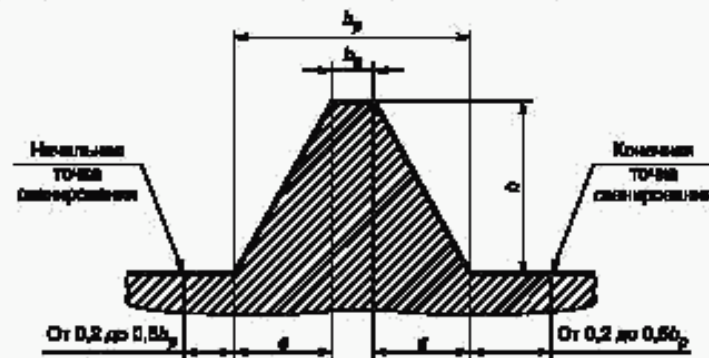
8.3 Определение метрологических характеристик

8.3.1 Проводят измерение параметров окружающей среды и проверяют, соблюдаются ли требования, указанные в 7.1.

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

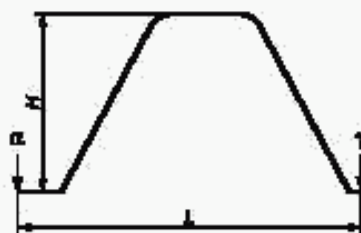
Сечение выступа трапециевидальной формы и места начального и конечного положений зонда АСМ приведены на рисунке 1.

Видеопрофиль, соответствующий этому выступу, представлен на рисунке 2.



b_1 — ширина нижнего основания выступа; b_2 — 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 Для определения горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ измеряют:

- фазовый сдвиг между информативным и опорным лучами горизонтального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_d$, рад, до начала сканирования; при этом зонд АСМ должен находиться в начальной точке, а все элементы АСМ должны быть в неподвижном состоянии (далее — начальный фазовый сдвиг для горизонтального лазерного интерферометра);

- целое число полос интерференции N_r , соответствующее значению фазового сдвига между опорным и информативным лучами горизонтального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента по 8.3.2;

- значение дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_r$, рад, при сканировании поверяемого элемента по 8.3.2.

8.3.4 Для определения высоты вертикального перемещения Z-сканера АСМ измеряют:

- фазовый сдвиг между информативным и опорным лучами вертикального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_v$, рад, до начала сканирования; при этом зонд АСМ должен находиться в начальной точке, а все элементы АСМ должны быть в неподвижном состоянии (далее — начальный фазовый сдвиг для вертикального лазерного интерферометра);

- целое число полос интерференции N_v , соответствующее значению фазового сдвига между опорным и информативным лучами вертикального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента по 8.3.2;

- значение дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами вертикального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_v$, рад, при сканировании поверяемого элемента по 8.3.2.

8.3.5 Проводят измерение параметров окружающей среды и проверяют, соблюдаются ли требования, указанные в 7.1.

8.4 Оформление протокола поверки

Результаты измерений параметров рельефной меры по 8.3.2 и 8.3.3, 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.

9 Обработка результатов измерений

9.1 Вычисление фазового сдвига между опорным и информативным лучами горизонтального лазерного интерферометра

Фазовый сдвиг $\Delta\Phi_r$, рад, между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента вычисляют по формуле

$$\Delta\Phi_r = 2\pi N_r + \Delta\varphi_r - \Delta\varphi_d,$$

где N_r — целое число полос интерференции, соответствующее значению фазового сдвига между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра, измеренное по 8.3.3;

$\Delta\varphi_r$ — значение дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра, измеренное по 8.3.3, рад;

$\Delta\varphi_d$ — начальный фазовый сдвиг для горизонтального лазерного интерферометра, измеренный по 8.3.3, рад.

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

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

$$\Delta L = \frac{\lambda_1}{4\pi l} \Delta\Phi_r,$$

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

$\Delta\Phi_r$ — фазовый сдвиг, вычисленный по 9.1, 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 Вычисление фазового сдвига между опорным и информативным лучами вертикального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента

Фазовый сдвиг $\Delta\Phi_0$, рад, между опорным и информативными лучами вертикального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента вычисляют по формуле

$$\Delta\Phi_0 = 2\pi N_0 + \Delta\varphi_0 - \Delta\varphi_{0_0},$$

где N_0 — целое число полос интерференции, соответствующее фазовому сдвигу между опорным и информативным лучами вертикального лазерного интерферометра, измеренное по 8.3.4;

$\Delta\varphi_0$ — значение дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами вертикального лазерного интерферометра, измеренное по 8.3.4, рад;

$\Delta\varphi_{0_0}$ — начальный фазовый сдвиг для вертикального лазерного интерферометра, измеренная по 8.3.4, рад.

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

$$\Delta H = \frac{\lambda_2}{4\pi n} \Delta\Phi_0,$$

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

$\Delta\Phi_0$ — фазовый сдвиг, вычисленный по 9.4, рад;

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

9.6 Вычисление масштабного коэффициента видеоизображения для оси ординат

Масштабный коэффициент видеоизображения k , нм/пиксель, для оси ординат вычисляют по формуле

$$k = \frac{\Delta H}{H},$$

где ΔH — вертикальное перемещение Z-сканера АСМ при сканировании поверяемого элемента, вычисленное по 9.5, нм;

H — высота выступа, измеренная по видеопрофилю, пиксель.

9.7 Вычисление высоты выступа поверяемого элемента рельефа

Высоту выступа h , нм, вычисляют по формуле

$$h = kH,$$

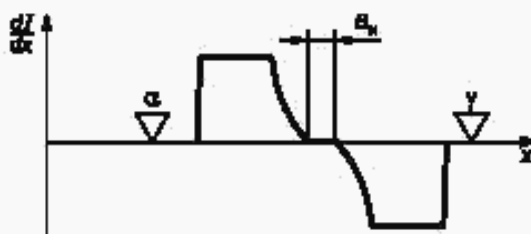
где k — масштабный коэффициент видеоизображения для оси ординат, вычисленный по 9.6, нм/пиксель;

H — высота выступа, измеренная в пикселях по видеопрофилю поверяемого элемента рельефа.

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

При определении ширины верхнего основания трапецеидального выступа b_n , 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_n , 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_n , нм, вычисляют по формуле

$$b_n = mB_n,$$

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

B_n — вспомогательная величина, вычисленная по 9.8, пиксель.

9.10 Вычисление ширины нижнего основания трапецеидального выступа

Ширину нижнего основания трапецеидального выступа b_p , нм, вычисляют по формуле

$$b_p = b_n + 2,8284h,$$

где b_n — 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

$$a = 0,771h,$$

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

9.12 Погрешность измерений

Абсолютные погрешности измерений значений b_n , b_p , h и a поверяемого элемента рельефной меры не превышают 0,1 нм при условии использования средств поверки, обеспечивающих погрешности измерений не хуже указанных в 4.1.

10 Оформление результатов поверки

10.1 Результаты поверки оформляют в виде свидетельства установленной формы по [7].

10.2 На оборотной стороне свидетельства о поверке и в паспорте (формуляре) на рельефную меру должны быть указаны значения всех поверенных параметров рельефной меры, приведенных на рисунке 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.

Т а б л и ц а А.1 — Константы для вычисления показателя преломления воздуха

Обозначение константы	Числовое значение	Обозначение константы	Числовое значение
<i>A</i>	8342,54	<i>E</i>	0,601
<i>B</i>	2406147	<i>F</i>	0,00972
<i>C</i>	15998	<i>G</i>	0,003661
<i>D</i>	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 6.2 и 6.5, нм, соответственно.

А.4 Вычисление вспомогательной величины n_s

Вспомогательную величину n_s вычисляют по формуле

$$n_s = 1 + 10^{-8} \left(A + \frac{B}{130 - S} + \frac{C}{389 - S} \right).$$

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

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

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

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

где p — 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.

Т а б л и ц а А.2 — Константы для вычисления давления насыщенного водяного пара

Обозначение константы	Значение	Обозначение константы	Значение
K_1	1167,05214528	K_8	14,9151086135
K_2	-724213,167032	K_9	-4823,26573616
K_3	-17,0738469401	K_{10}	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 $p_{\text{нв}}(t)$, Па, вычисляют по формуле

$$p_{\text{нв}}(t) = 10^5 \left(\frac{2R}{W} \right)^4,$$

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:

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

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

S — вспомогательная величина, вычисленная по А.3;

$p_{\text{нв}}$ — парциальное давление паров воды, вычисленное по А.7, Па;

t — температура окружающей среды, °С.

Библиография

- | | |
|---|--|
| [1] РМГ 29—99 | Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения |
| [2] ПР 50.2.012—94 | Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей средств измерений |
| [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] ПР 50.2.006—94 | Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений |

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

Редактор *Т.А. Леонова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 16.06.2007. Подписано в печать 16.07.2007. Формат 60x84¹/₂. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,40. Тираж 137 экз. Зак. 520.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.

Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6