



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ И ВАКУУМА»

СОГЛАСОВАНО
Генеральный директор
АО «НИЦПВ»



Д.М. Михайлюк

«30» апреля 2025 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Микроскоп электронно-ионный растровый измерительный
Helios NanoLab 650

Методика поверки
МП СС-27-23-2024

г. Москва
2025 г.

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика распространяется на микроскоп электронно-ионный растровый измерительный Helios NanoLab 650 фирмы «FEI Company», США, заводской № 9921793, (далее - микроскоп) и устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверок.

1.2 Микроскоп предназначен для измерений линейных размеров микрорельефа поверхности твердотельных материалов и структур, проведения локальной структурной модификации поверхности твердотельных объектов сфокусированным ионным пучком и измерения локального элементного состава методом энергодисперсионной спектроскопии.

1.3 Реализация данной методики обеспечивает прослеживаемость результатов измерений линейных размеров к ГЭТ 2-2021 согласно Государственной поверочной схемы, утвержденной приказом Ростандарта от 29.12.2018 № 2840.

Прослеживаемость результатов измерений энергетического разрешения энергодисперсионного спектрометра обеспечивается привязкой к данным ГСССД 252-2011 «Энергия характеристического рентгеновского излучения при переходах в электронных оболочках атомов химических элементов с атомным номером от 4 до 100. Таблицы стандартных справочных данных».

1.4 Поверка осуществляется методом прямых измерений с использованием меры ширины и периода специальной МШПС-2.0К, меры длины концевой плоскопараллельной и ГСО 12665-2024.

2 Перечень операции поверки

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены следующие операции, указанные в таблице 1:

Таблица 1. Операции, выполняемые при проведении поверки.

Наименование операций	Номер пункта методики	Обязательность проведения	
		При первичной поверке	При периодической поверке
1. Внешний осмотр микроскопа	7	да	да
2. Подготовка к поверке и опробование микроскопа.	8	да	да
3. Проверка программного обеспечения микроскопа	9	да	да
4.1 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений линейных размеров	10.1	да	да
4.2 Определение энергетического разрешения энергодисперсионного спектрометра на линии $K\alpha$ марганца	10.2	да	да
4.3 Подтверждение соответствия микроскопа метрологическим требованиям	10.3	да	да
5. Оформление результатов поверки	11	да	да

2.2 Операции поверки проводятся юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, аккредитованными в установленном порядке.

2.3 Проведение поверки не в полном объеме, для меньшего числа поддиапазонов измерений и для меньшего числа измеряемых величин не предусмотрено.

3 Метрологические и технические требования к средствам поверки

3.1 При проведении поверки применяются средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки, используемые при поверке

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п.10.1 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений линейных размеров.	Мера ширины и периода – эталон 2-го разряда в соответствии с Приказом Росстандарта от 29.12.2018 №2840, номинальное значение шага шаговой структуры 2,00 мкм с допустимым отклонением не более $\pm 0,05$ мкм. Мера длины концевая плоскопараллельная с номинальным значением 1 мм - эталон 3-го разряда согласно поверочной схеме, утвержденной приказом Росстандарта от 29.12.2018 № 2840. Класс точности 1.	Мера ширины и периода специальная МШПС-2.0К. Рег. № 33598-06 (далее – ПО-1). Меры длины концевые плоскопараллельные. Рег. № 74059-19. Набор №2 (далее – ПО-2).
п.10.2 Определение энергетического разрешения энергодисперсионного спектрометра на линии К α марганца	Массовая доля марганца в стандартном образце не менее 95 %.	Стандартный образец состава марганца металлического типа Мн95 (ИСО Ф5/1) ГСО 12665-2024 (далее – ПО-3)
п.6	Средство измерений температуры окружающей среды в диапазоне от +15 до +25 ⁰ С с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,5^0$ С. Средство измерений относительной влажности окружающей среды в диапазоне от 10 до 80% с абсолютной погрешностью не более $\pm 3\%$. Средство измерений атмосферного давления в диапазоне от 84 до 106,7 кПа с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,5$ кПа.	Прибор комбинированный Testo 622, рег. №53505-13

3.2 Допускается использование других средств поверки с метрологическими и техническими характеристиками, обеспечивающими требуемую точность передачи единиц величин поверяемому средству измерений.

4. Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

4.1 При проведении поверки должны соблюдаться требования ГОСТ 12.3.019-80 «Правила эксплуатации электроустановок потребителем».

4.2 Должны соблюдаться «Правила устройства электроустановок», утвержденные приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002г.

5. Требования к специалистам, осуществляющим поверку

5.1 К проведению измерений для поверки допускаются лица:

- прошедшие обучение и имеющие удостоверение поверителя для данного вида измерений;
- имеющие опыт работы с электронными микроскопами;
- изучившие техническое описание и методику поверки поверяемого микроскопа.

6 Требования к условиям проведения поверки

6.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающей среды, °C от +18 до +22
- относительная влажность воздуха, %, не более 80

7 Внешний осмотр микроскопа

7.1 При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие микроскопа следующим требованиям:

- наличие товарного знака изготовителя, заводской номер, год изготовления;
- прочность закрепления, плавность действия и обеспечение надежности фиксации всех органов управления;
- соответствие функциональному назначению и четкость всех надписей на органах управления и индикации;
- наружная поверхность не должна иметь следов механических повреждений, которые могут влиять на работу микроскопа;
- чистота и целостность разъемов;
- соединительные провода должны быть исправными;
- комплектность микроскопа должна соответствовать комплектности, указанной в эксплуатационной документации.

7.2 Результаты внешнего осмотра микроскопа считают положительными, если выполняются все требования п. 7.1

8 Подготовка к поверке и опробование микроскопа

8.1 В соответствии с Руководством по эксплуатации включить микроскоп, убедиться в наличии связи между управляющих ПЭВМ и микроскопом.

8.2 Установить в микроскоп образец ПО-1 (мера ширины и периода специальная МШПС-2.0К) и получить электронно-микроскопическое изображение рельефной структуры центральной области образца при увеличениях 1000 и 10000 крат.

8.3 Убедиться в возможности переключения с помощью управляющей программы ускоряющих напряжений в диапазоне от 1 кВ до 30 кВ.

8.4 Убедиться, что детекторы вторичных электронов (далее - ВЭ) и обратно рассеянных электронов (далее - ОРЭ) функционирует в соответствии с технической документацией.

8.5 Убедиться, что обеспечивается предусмотренный технической документацией диапазон увеличений.

8.6 Микроскоп считается годным к поверке, если результаты проверок по пп. 8.1 – 8.5 положительные.

9 Проверка программного обеспечения микроскопа

9.1 Для проверки идентификационных данных программного обеспечения (ПО) микроскопа необходимо:

- запустить рабочую программу микроскопа согласно Руководству по эксплуатации»;
- в верхней панели нажать на кнопку «Option»;
- в выпавшем списке выбрать кнопку «About»;
- считать в появившемся окне название программы и номер версии.

Микроскоп считается прошедшим операцию проверки с положительным результатом, если идентификационные признаки ПО микроскопа соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 - Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационное наименование ПО	xT Microscope Control
Номер версии (идентификационный номер) ПО	5.5.1.3318
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода)	-

10 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений линейных размеров

10.1.1 Установить в держатель микроскопа образец ПО-1 (мера МШПС-2.0К). Ввести держатель в микроскоп и произвести откачку. Установить ускоряющее напряжение 15 кВ.

10.1.2 В соответствии с руководством по эксплуатации микроскопа получить изображение шаговой структуры центрального модуля ПО-1.

10.1.3 Поворотом изображения добиться приблизительной параллельности дорожек вертикальным границам изображения. В соответствии с руководством по эксплуатации, добиться оптимальной фокусировки изображения и максимальной компенсации астигматизма. Фокусировку, регулировку яркости и контрастности выполнять в ручном режиме, обращая внимание на отсутствие участков с ограничением сигнала. Выбрать такое максимально возможное увеличение, чтобы на изображении поместилось полностью 2 выступа. Сохранить полученное изображение на жесткий диск.

10.1.4. Выбрать такое увеличение, чтобы на изображении помещалось полностью 9 шагов меры. Сохранить полученное изображение.

10.1.5 Установить в держатель микроскопа ПО-2 (концевую меру), ориентируя образец так, чтобы рабочие плоскости концевой меры были расположены вертикально. Ввести держатель в микроскоп и произвести откачку. Установить ускоряющее напряжение 15 кВ.

10.1.6. Получить изображение концевой меры при минимальном увеличении, производя фокусировку на верхних границах рабочих плоскостей концевой меры. Ориентировать изображение таким образом, чтобы края изображения концевой меры были расположены вертикально. Сохранить полученное изображение на жесткий диск.

10.1.7. В соответствии с руководством по эксплуатации, на полученных в п. 10.1.3, п.10.1.4 и п.10.1.6 снимках произвести измерения линейных размеров, используя встроенный режим измерения согласно разделу 5 Руководства по эксплуатации (кнопка ). Для шаговых структур измерения следует проводить между эквивалентными точками выступов таким образом, чтобы на измеряемом отрезке укладывалось либо 1 шаг (для изображения по п.10.1.3) либо 9 шагов (для изображения по п.10.1.4). Измерения провести $n = 10$ раз, каждый раз смещаясь по структуре.

Для изображения концевой меры произвести измерения расстояния между краями концевой меры, всего 10 измерений.

10.1.8 На изображении, полученном по п. 10.1.3, проверить возможность измерения линейного размера, равного половине значения шага шаговой структуры (1 мкм). Для этого отрезок, соответствующий значению шага, разбить на два примерно равных отрезка l_1 и l_2 и подтвердить возможность измерений каждого из отрезков l_1 и l_2 .

10.1.9 Вычисление доверительных границ погрешности результатов измерений провести в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011. Вычислить результат измерений линейных размеров элемента $\bar{l}$ длиной 2 мкм по формуле:

$$\bar{l} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} l_i \quad (1)$$

где $\bar{l}$ – результат измерений линейного размера элемента, мкм;

l_i – результат i -го измерения расстояния между эквивалентными точками структуры, ($i = 1, 2, \dots, 10$) на изображении по п.10.1.3.

Абсолютную погрешность измерений линейных размеров Δ_1 , для номинального линейного размера $\bar{l} = 2$ мкм вычислить по формуле:

$$\Delta_1 = \bar{l} - l_{ref} \quad (2)$$

где l_{ref} – аттестованное значение линейного размера элемента, мкм

10.1.10 По аналогии с п.10.1.9, вычислить абсолютные погрешности измерений линейных размеров Δ_2 и Δ_3 для номинальных значений размеров элемента $\bar{l}$ соответственно 18 мкм и 1000 мкм.

10.2 Определение энергетического разрешения энергодисперсионного спектрометра на линии Ка марганца (при наличии в комплекте поставки энергодисперсионного спектрометра)

10.2.1 Установить поверочный образец ПО-3 (стандартный образец состава марганца металлического ГСО 12665-2024) на подложку, используя проводящий скотч. Излишек порошка образца ПО-3 сдуть потоком воздуха.

10.2.2 Установить следующие параметры:

- время обработки – максимальное значение
- время накопления 30 с

10.2.3 Получить электронно-микроскопическое изображение элемента ПО-3 с увеличением около 1000х.

10.2.4 Установить значение интенсивности тока пучка такое, чтобы значение мертвого времени не превышало 10%.

10.2.5 На полученном рентгеновском спектре определить интенсивность в максимуме $I_{\max}$ линии Ка марганца, а также среднее значение тормозного фона I_{ϕ} .

10.2.6 Определить точки E_1 и E_2 по оси энергии рентгеновского спектра по обе стороны от максимума линии Ка марганца ($E_1 < E_2$), соответствующие интенсивности линии Ка марганца на полувысоте, то есть для значения интенсивности счета

$$I_{1/2} = I_{\phi} + (I_{\max} - I_{\phi})/2$$

10.2.7 Энергетическое разрешение спектрометра на линии Ка марганца ΔE_{Mn} , эВ, вычисляют по формуле:

$$\Delta E_{Mn} = E_2 - E_1,$$

где значения E_1 и E_2 определяют по п.10.2.6 и выражают в эВ.

10.3 Подтверждение соответствия микроскопа метрологическим требованиям

10.3.1 Результаты определения диапазона и абсолютной погрешности измерений линейных размеров считают положительными, если:

- выполнены требования п.п.10.1.7-10.1.8, при этом диапазоном измерений линейных размеров следует считать диапазон от 0,003 до 1000 мкм;
- границы абсолютной погрешности измерений линейных размеров $\pm \Delta$, определенные по п.п.10.1.9,10.1.10, удовлетворяют требованию:

$$|\Delta_i| \leq \pm(0,001+3L/100),$$

где L – измеряемый размер в мкм, Δ_i – определяется по п.п.10.1.9, 10.1.10

10.3.2 Результаты определения энергетического разрешения энергодисперсионного спектрометра на линии Ка марганца считают положительными, если выполнено условие:

$$\Delta E_{Mn} \leq 129 \text{ эВ},$$

где ΔE_{Mn} определяется по п.10.2.7.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки оформляются протоколом, в котором указывают результаты измерений по п.п. 10.1-10.2 и выводы о соответствии метрологическим требованиям по п.10.3 настоящей методики. Протокол хранится в организации, проводившей поверку.

11.2 Микроскоп, удовлетворяющий требованиям настоящей методики, признают годным к применению. Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Свидетельство о поверке оформляется в соответствии с требованиями нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. Знак поверки наносится на свидетельство о поверке в виде наклейки.

11.3 При отрицательных результатах поверки микроскоп запрещают к применению и выдают извещение о непригодности с указанием причин по установленной форме.

Ведущий научный сотрудник
отдела электронной микроскопии АО «НИЦПВ»



В.Г. Маслов