

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора
ФГБУ «ВНИИОФИ»



Е.А. Гаврилова
«13» июня 2025 г.

«ГСИ. Меры толщины двухслойных оптических покрытий (комплект).
Методика поверки»

КВФШ.401259.003 МП

Главный метролог
ФГБУ «ВНИИОФИ»

С.Н. Негода
«13» июня 2025 г.

г. Москва
2025 г.

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки применяется для поверки мер толщины двухслойных оптических покрытий (комплект) (далее – комплект мер толщины), предназначенных для воспроизведения, хранения и передачи единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий средствами измерений: лазерным, спектральным, многоугловым эллипсометрам и спектральным рефлектометрам, а также их поверки и калибровки, в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений комплексного показателя преломления и толщины оптических покрытий, утвержденной Приказом Росстандарта от 09 сентября 2024 г. № 2154, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

1.2 По итогам проведения поверки должна обеспечиваться прослеживаемость к Государственному первичному специальному эталону единицы комплексного показателя преломления и единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий ГЭТ 203-2024 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений комплексного показателя преломления и толщины оптических покрытий, утвержденной приказом Росстандарта от 09 сентября 2024 г. № 2154.

1.3 Поверка комплекта мер толщины выполняется методом косвенных измерений.

1.4 В результате поверки комплекта мер толщины должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики комплекта мер толщины

Наименование характеристики	Значение
Диапазон допускаемых (номинальных) значений толщины оптического покрытия, нм* - силицид титана TiSi_2 /двуокись кремния SiO_2 - нитрид титана TiN /двуокись кремния SiO_2 - алюминий Al /двуокись кремния SiO_2 - двуокись кремния SiO_2 /аморфный кремний A-Si - двуокись кремния SiO_2 /нитрид кремния Si_3N_4 - двуокись кремния SiO_2 /нитрид кремния Si_3N_4	от 46 до 54/от 950 до 1050 от 60 до 80/ от 950 до 1050 от 75 до 85/ от 950 до 1050 от 5 до 8/от 114 до 126 от 12 до 18/ от 76 до 84 от 45 до 55/ от 950 до 1050
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины оптического покрытия, нм	$\pm 0,5$
* Действительные значения допускаемых (номинальных) толщин оптического покрытия мер определяются при их первичной поверке	

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении первичной и периодической поверок должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операции поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операции поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям.	Да	Да	9
Определение номинальных значений толщины оптического покрытия мер	Да	Да	9.1
Определение пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины оптического покрытия мер	Да	Да	9.2

2.2 При получении отрицательных результатов при проведении хотя бы одной операции поверка прекращается.

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки комплекта мер толщины должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от плюс 15 до плюс 20;
- относительная влажность, %, не более 70;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104.

3.2 Помещение, в котором проводится поверка комплекта мер толщины, должно быть темным, без прямых солнечных лучей, чистым и сухим, свободным от пыли. Допускаемый перепад температуры при проведении поверки мер не более 1,0 °С.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие настоящую методику поверки, а также руководства по эксплуатации комплекта мер толщины и применяемых средств поверки, ознакомленные с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанными в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903н.

4.2 Поверку комплекта мер толщины осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении первичной и периодической поверок комплекта мер толщины должны быть использованы средства, указанные в таблице 3.

Таблица 3 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средство измерений климатических параметров с диапазоном измеряемой относительной влажности от 0 % до 90 %, пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 2 %; с диапазоном измеряемой температуры от 0 °С до плюс 60 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3$ °С; с диапазоном измеряемого атмосферного давления от 70 до 110 кПа, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений $\pm 0,25$ кПа	Термогигрометр ИВА-6Н-Д, рег. № в ФИФ ОЕИ 46434-11
п. 9 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Государственный первичный специальный эталон (ГПСЭ) единицы комплексного показателя преломления и единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий ГЭТ 203-2024: -диапазон значений толщины покрытий от 1 до 1000 нм, расширенная неопределенность 0,2 нм.	Государственный первичный специальный эталон единицы комплексного показателя преломления и единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий ГЭТ 203-2024 (далее - ГПСЭ)

5.2 Средства поверки, указанные в таблице 3, должны быть аттестованы (поверены) в установленном порядке. Допускается применение других средств поверки, не приведенных в таблице 3, но обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемого комплекта мер толщины с требуемой точностью.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки следует руководствоваться «Правилами устройства электроустановок», утвержденными приказом Минэнерго России № 204 от 08.07.2002, «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии», утвержденными приказом Минэнерго России № 811 от 12.08.2022 и приказом Минтруда РФ «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» № 903н от 15.12.2020.

6.2 Помещение, в котором проводится поверка, должно соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

6.3 Оборудование, применяемое при поверке, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-91. Воздух рабочей зоны должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005-88 при температуре помещения, соответствующей условиям испытаний для легких физических работ.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 При внешнем осмотре комплекта мер толщины должно быть установлено:

- соответствие комплекта мер толщины описанию, приведенному в описании типа и Руководстве по эксплуатации;
 - отсутствие видимых механических повреждений, вкраплений, царапин, загрязнений на поверхности мер толщины, влияющих на их работоспособность;
 - наличие маркировки (наименование, заводской номер, изготовитель, год выпуска).
- 7.2 Комплект мер толщины считается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если он соответствует вышеперечисленным требованиям.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

- 8.1 Изучить Руководство по эксплуатации комплекта мер толщины и ГПСЭ.
- 8.2 Проверить наличие средств поверки по таблице 3, укомплектованность их документацией.
- 8.3 Подготовить комплект мер толщины к измерениям. Вынуть контейнеры с мерами из ударопрочного кейса. Открыть контейнеры с мерами.
- 8.4 Выдержать меры в открытом контейнере и средства поверки в условиях, указанных в п. 3 настоящей методики поверки, не менее 2 часов.
- 8.5 Подготовить к работе цифровой спектральный многоугловой эллипсометр SENresearch 4.0 из состава ГЭТ 203-2024 (далее по тексту – эллипсометр) в соответствии с п. 1 Руководства по эксплуатации КВФШ.412219.001 РЭ «Установка измерительная. Цифровой спектральный многоугловой эллипсометр SENresearch 4.0, модель SER 850-FTIR. Руководство по эксплуатации».

9 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

9.1 Определение номинальных значений толщины оптического покрытия мер

- 9.1.1 Выполнить действия, приведенные в п.2 Руководства по эксплуатации КВФШ.412219.001 «Установка измерительная. Цифровой спектральный многоугловой эллипсометр SENresearch 4.0, модель SER 850-FTIR. Руководство по эксплуатации».
- 9.1.2 Установить первую меру из комплекта мер толщины на рабочий стол эллипсометра.
- 9.1.3 Провести серию из пяти измерений, последовательно перемещая рабочий стол с мерой на 1 мм от центра «вверх-вниз» и «вправо-влево». Обработать результаты измерений в соответствии с п.3 Руководства по эксплуатации КВФШ.412219.001 РЭ.
- 9.1.4 Повторить операции по п.п. 9.1.1-9.1.3 для всех остальных мер из комплекта мер толщины.
- 9.1.5 Результат определения номинальных значений толщины оптического покрытия мер считается положительным, если допускаемые (номинальные) значения толщины оптических покрытий лежат в диапазоне допускаемых (номинальных) значений, указанных в таблице 1.
- 9.1.6 За номинальные значения толщины покрытия мер принимают среднее арифметическое значение $\bar{x}$, вычисленное по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

- где x_i – результат i -того измерения толщины меры, нм ($i=1, 2, \dots$);
- n – номер измерения; $n=5$ – количество измерений (по одному измерению в 5-ти разных точках поверхности меры).

- 9.1.7 Результаты определения номинальных значений толщины оптического покрытия мер занести в протокол поверки в соответствии с приложением А.

9.2 Определение абсолютной погрешности измерений толщины оптического покрытия мер

9.2.1 Обработка полученных результатов измерений проводится по ГОСТ Р 8.736-2011.

9.2.2 Выполнить расчет абсолютного $S_{абс}$ среднего квадратического отклонения (СКО) среднего арифметического по следующей формуле:

$$S_{абс} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (2)$$

9.2.3 Вычислить доверительные границы абсолютной $\varepsilon_{абс}$ случайной погрешности измерений толщины оптического покрытия мер по формуле:

$$\varepsilon_{абс} = t \cdot S_{абс}, \quad (3)$$

где $t = 2,776$ – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ и числа результатов наблюдений $n=5$.

9.2.4 За границу абсолютной $\theta_{абс}$ неисключенной систематической погрешности (НСП) измерений толщины оптического покрытия принимаем НСП эталона ГЭТ 203-2024, которая равна $\theta_{абс} = 0,007$ нм в диапазоне от 1 до 1000 нм.

9.2.5 Абсолютную $\Delta_{абс}$ погрешность измерений толщины оптического покрытия мер рассчитывают по формуле:

$$\Delta_{абс} = K_{абс} \cdot \sqrt{\frac{\theta_{абс}^2}{3} + S_{абс}^2}, \quad (4)$$

где

$$K_{абс} = \frac{\varepsilon_{абс} + \theta_{абс}}{S_{абс} + \frac{\theta_{абс}}{\sqrt{3}}}, \quad (5)$$

9.2.6 Комплект мер толщины считается выдержавшим процедуру поверки, если абсолютная погрешность измерений толщины оптического покрытия мер не превышает $\pm 0,5$ нм.

10 Оформление результатов поверки

10.1 Результаты поверки оформляются протоколом поверки. Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в приложении А.

10.2 По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, с учетом требований методики поверки, аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки (подтверждено соответствие средства измерений метрологическим требованиям) выдает свидетельство о поверке, оформленное в соответствии с требованиями к содержанию свидетельства о поверке, утвержденными приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31.07.2020 № 2510. Нанесение знака поверки на средство измерений не предусмотрено.

10.3 По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, с учетом требований методики поверки, аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае отрицательных результатов поверки (не подтверждено соответствие средства измерений метрологическим требованиям) выдает извещение о непригодности к применению средства измерений.

10.4 Сведения о результатах поверки (как положительных, так и отрицательных) передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Начальник отделения М-44



В.Л. Минаев

Начальник лаборатории М-44



Г.Н. Вишняков

ПРИЛОЖЕНИЕ А к КВФШ.401259.003 МП
(рекомендуемое)
Рекомендуемая форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ _____ ПОВЕРКИ № _____

Меры толщины двухслойных оптических покрытий (комплект)
(наименование, тип СИ и модификации в соответствии с описанием типа, в
единственном числе)

Заводской номер:	
Год выпуска:	
Изготовитель:	
Регистрационный номер в ФИФ:	
Владелец СИ:	
Применяемые средства поверки:	
Применяемая методика поверки:	КВФШ.401259.003МП
Место проведения поверки:	
Условия поверки:	
– температура окружающего воздуха, °С	
– атмосферное давление, кПа	
– относительная влажность воздуха, %	

Проведение поверки:

- | | | |
|---|--|---|
| 1 | Внешний осмотр средства измерений: | Соответствует/не соответствует |
| 2 | Подготовка к поверке и опробование средства измерений: | Соответствует/не соответствует |
| 3 | Определение метрологических характеристик: | Приводятся результаты определения метрологических характеристик |
| 4 | Заключение по результатам поверки: | По результатам поверки средство измерений соответствует (не соответствует) метрологическим характеристикам, указанным в описании типа средства измерений, соответствует (не соответствует) уровню рабочего эталона по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 09.09.2024 г. № 2154, и признается пригодным к применению. |

Таблица А1 – Результаты определения метрологических характеристик

№	Заводской номер меры из комплекта мер толщины	Номинальные значения толщины покрытия, нм	Измеренные значения толщины покрытия, нм	Средние значения толщины покрытия, нм	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, нм
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Поверитель:

подпись

Ф.И.О.

Дата поверки: _____

Руководитель:

подпись

Ф.И.О.