

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора

ФГБУ «ВНИИОФИ»

Е.А. Гаврилова

2025 г.



**ГСИ. Эллипсометр настольный спектральный SEI-Mapping
Методика поверки**

МП 014.М44-25

Главный метролог

ФГБУ «ВНИИОФИ»

С.Н. Негода

2025 г.

Москва
2025 г.

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки применяется для поверки эллипсометра настольного спектрального SEI-Mapping, производства «WUHAN EOPTICS TECHNOLOGY CO., LTD», Китай (далее по тексту – эллипсометр), предназначенного для измерения толщины и показателя преломления оптических покрытий плоских образцов посредством бесконтактного измерения эллипсометрических углов Пси и Дельта.

1.2 В результате поверки эллипсометра должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений толщины покрытий, нм	от 2 до 4500
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины покрытий: - в поддиапазоне от 2 до 10 нм включ. - в поддиапазоне св. 10 до 1000 нм	± 1 ± 5
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений толщины покрытий в поддиапазоне от 1000 до 4500 нм, %	± 1
Диапазон измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм	от 1,460 до 2,022
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм	$\pm 0,004$

1.3 Прослеживаемость при поверке эллипсометра к Государственному первичному специальному эталону единицы комплексного показателя преломления и единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий ГЭТ 203-2024 обеспечивается в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерения комплексного показателя преломления и толщины оптических покрытий, утвержденной приказом № 2154 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 09.09.2024.

1.4 Поверка эллипсометра выполняется методом прямых измерений.

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	Обязательство 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
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия метрологическим требованиям	Да	Да	10
Определение диапазона измерений толщины покрытий и диапазона измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм	Да	Да	10.1
Определение пределов допускаемой абсолютной и относительной погрешности измерений толщины покрытий. Определение пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм	Да	Да	10.2

2.2 Проверка эллипсометра проводится исходя из комплектности при поставке средства измерений.

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

2.4 Проверку эллипсометра осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели. Проведение проверки осуществляется в полном объеме.

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки эллипсометра должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающей среды, °С от +14 до +26;
 - относительная влажность воздуха, % от 35 до 60;
 - атмосферное давление, кПа от 75 до 101,4;
 - напряжение сети переменного тока, В от 210 до 230;
 - частота сети переменного тока, Гц от 49 до 51.

3.2 Эллипсометр не должен подвергаться воздействию солнечных лучей, а также не должен устанавливаться на расстоянии менее 2 метров от отопительных приборов.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие настоящую методику поверки, а также руководства по эксплуатации эллипсометра и применяемых средств поверки, ознакомленные с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанных в

приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903н.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении первичной и периодической поверок эллипсометра 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 $\pm 2 \%$; с диапазоном измеряемой температуры от 0 °C до +60 °C, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; с диапазоном измеряемого атмосферного давления от 70 до 110 кПа, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений $\pm 0,25 \text{ kPa}$	Термогигрометр ИВА-6Н-Д, (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ № 46434-11)
п. 8 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средство измерений габаритных размеров с диапазоном измерений: 10000 мм, ширина штриха 0,4 мм, Допускаемое отклонение действительной длины интервалов шкалы $\pm 0,2 \text{ mm}$; Средство измерений напряжения переменного тока и частоты Диапазон измерений напряжения переменного тока: от 210 до 230 В; пределы допускаемой погрешности $\pm(0,012 \cdot X + 5 \cdot k)$, Диапазон измерений частоты: от 49 до 51 Гц, Пределы допускаемой погрешности $\pm(0,0001 \cdot X + 1 \cdot k)$, где X – значение измеренной величины, k – верхний предел диапазона измерений	Рулетка измерительная металлическая Р10УЗК, (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ № 11505-92) Мультиметр цифровой модификация APPA-305 (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ № 20088-05)

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки																					
п. 10 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	<p>Рабочие эталоны согласно государственной поверочной схеме, утвержденной Приказом Росстандарта от 09 сентября 2024 года № 2154.</p> <p>Доверительные границы абсолютной погрешности при доверительной вероятности 0,95 для толщины оптических покрытий составляют 0,5 нм для диапазона значений от 2 до 1000 нм.</p> <p>Доверительные границы относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95 для толщины оптических покрытий составляют 0,7 % для диапазона значений от 1000 до 4500 нм.</p>	<p>Меры единицы комплексного показателя преломления и единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий из состава государственного первичного специального эталона единицы комплексного показателя преломления и единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий ГЭТ 203-2024</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>№ меры</th><th>Состав</th><th>Толщина, нм</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>SiO₂/Si-2</td><td>2</td></tr> <tr> <td>2</td><td>SiO₂/Si-10</td><td>10</td></tr> <tr> <td>3</td><td>Si₃N₄/Si-90</td><td>90</td></tr> <tr> <td>4</td><td>SiO₂/Si-500</td><td>500</td></tr> <tr> <td>5</td><td>SiO₂/Si-1000</td><td>1000</td></tr> <tr> <td>6</td><td>КНИ-4500</td><td>4500</td></tr> </tbody> </table>	№ меры	Состав	Толщина, нм	1	SiO ₂ /Si-2	2	2	SiO ₂ /Si-10	10	3	Si ₃ N ₄ /Si-90	90	4	SiO ₂ /Si-500	500	5	SiO ₂ /Si-1000	1000	6	КНИ-4500	4500
№ меры	Состав	Толщина, нм																					
1	SiO ₂ /Si-2	2																					
2	SiO ₂ /Si-10	10																					
3	Si ₃ N ₄ /Si-90	90																					
4	SiO ₂ /Si-500	500																					
5	SiO ₂ /Si-1000	1000																					
6	КНИ-4500	4500																					

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

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки эллипсометра следует руководствоваться «Правилами устройства электроустановок», утвержденными Минэнерго России № 204 от 08.07.2002, «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденными Минэнерго России № 6 от 13.01.2003 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 эллипсометра, 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 эллипсометра, 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 эллипсометра должно быть установлено:

- комплектность в соответствии с технической документацией;
- отсутствие механических повреждений, влияющих на работоспособность;
- наличие маркировки на корпусе эллипсометра.

7.2 Эллипсометр 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 эллипсометра.

8.2 Проверить наличие средств поверки по таблице 3, укомплектованность их документацией и необходимыми элементами соединений.

8.3 Эллипсометр и меры из состава ГЭТ 203-2024 необходимо выдержать в условиях, указанных в разделе 3, не менее 3 часов.

8.4 Перед началом измерений необходимо включить эллипсометр в сеть и прогреть не менее 30 минут. Для включения эллипсометра необходимо:

8.4.1 Включить сетевой фильтр: нажать кнопки Power 1 и Power 2. (Рисунок 1).

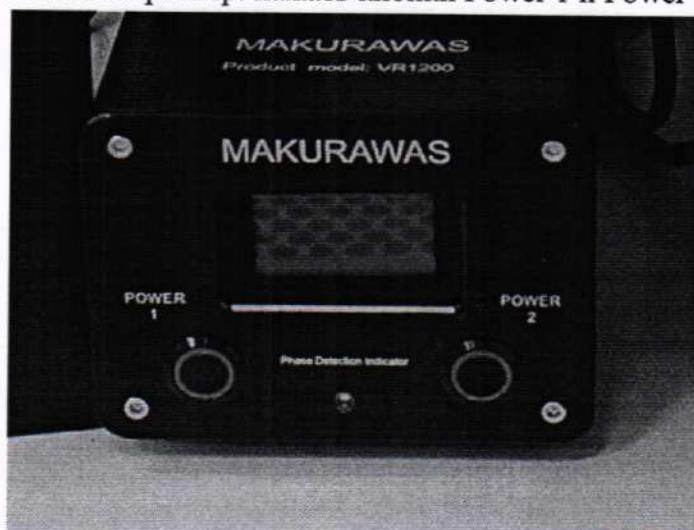


Рисунок 1 - Сетевой фильтр

8.4.2 Включить блок управления (Рисунок 2):

- Включить блок кнопка START (большая зелёная кнопка);
- Включить галогеновую лампу (кнопка QTH Lamp);
- Включить дейтериевую лампу (кнопка D2 Lamp).

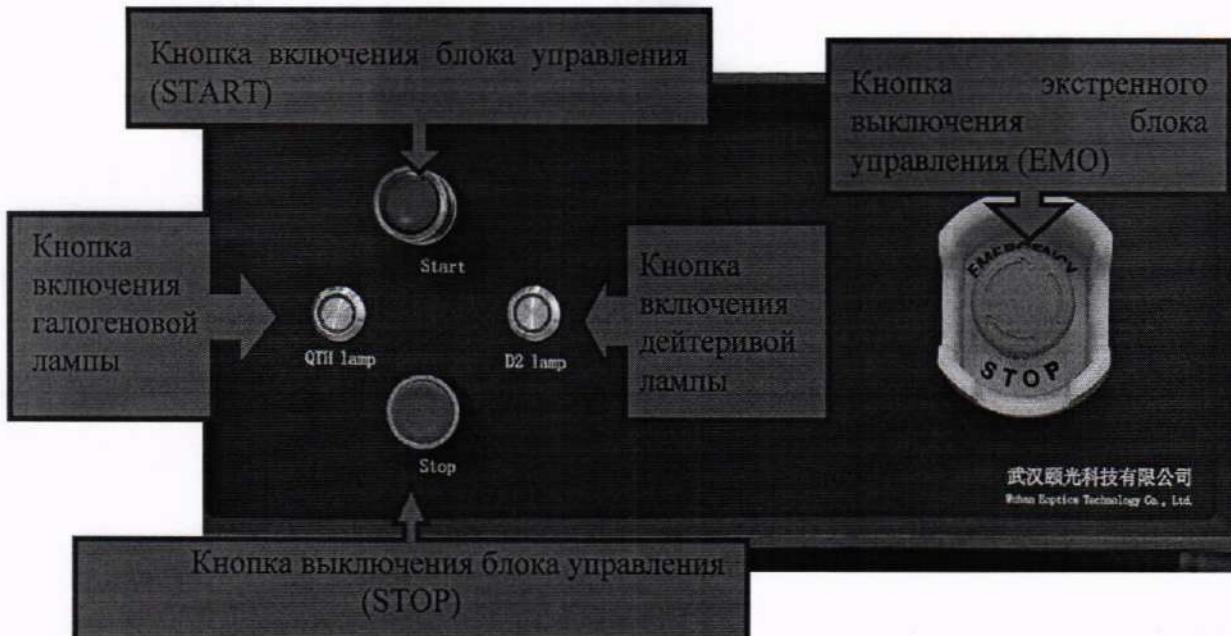


Рисунок 2 - Блок управления

8.4.3 Включить управляющий компьютер (Рисунок 3).



Рисунок 3 - Управляющий компьютер

8.5 На рабочем столе компьютера необходимо найти иконку программы «EometricsPro» (Рисунок 4) и, нажав левую кнопку мыши, запустить программное обеспечение (далее – ПО), (Рисунок 4).

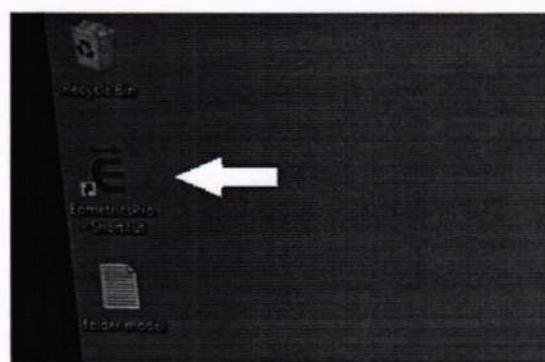


Рисунок 4 - Иконка программы «EometricsPro»

После запуска программы откроется окно управляющей программы и терминал (Рисунок 5).

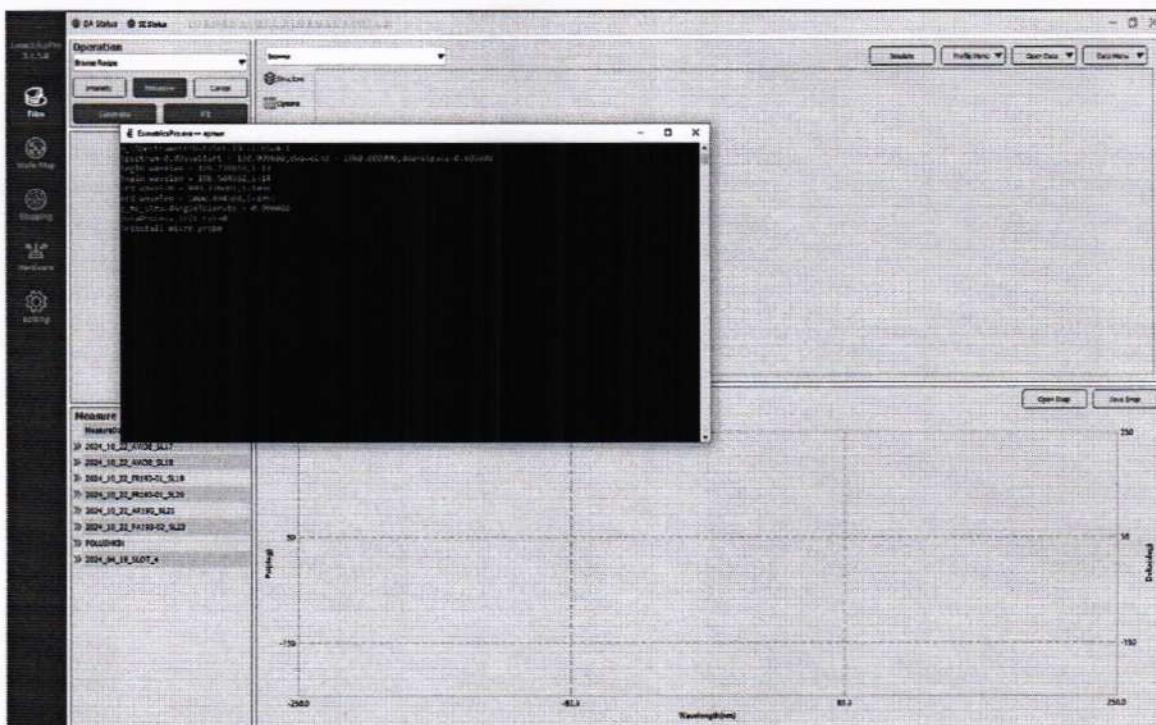


Рисунок 5 - Окно управляющей программы и терминала



Рисунок 6 - Идентификационные данные ПО и статус готовности эллипсометра к работе

8.6 Проверить в левом верхнем углу статусы готовности эллипсометра, зеленый цвет (Рисунок 7).

Все необходимые предварительные настройки осуществляются в процессе пуско-наладочных работ и не предусматривают каких-либо изменений в процессе эксплуатации.

Перейти во вкладку Hardware нажать кнопку Load/Unload (Рисунок 7). При этом, предметный столик выдвигается в позицию загрузки/выгрузки.

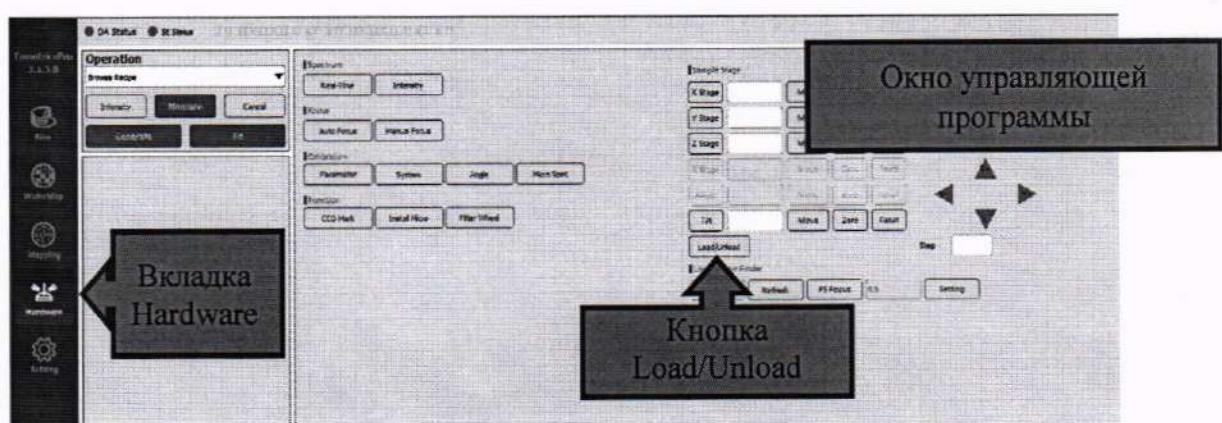


Рисунок 7 - Положение вкладки Hardware и кнопки Load/Unload в управляющей программе

8.7 Положить измеряемую меру из состава ГЭТ 203-2024 на столик эллипсометра (Рисунок 8).

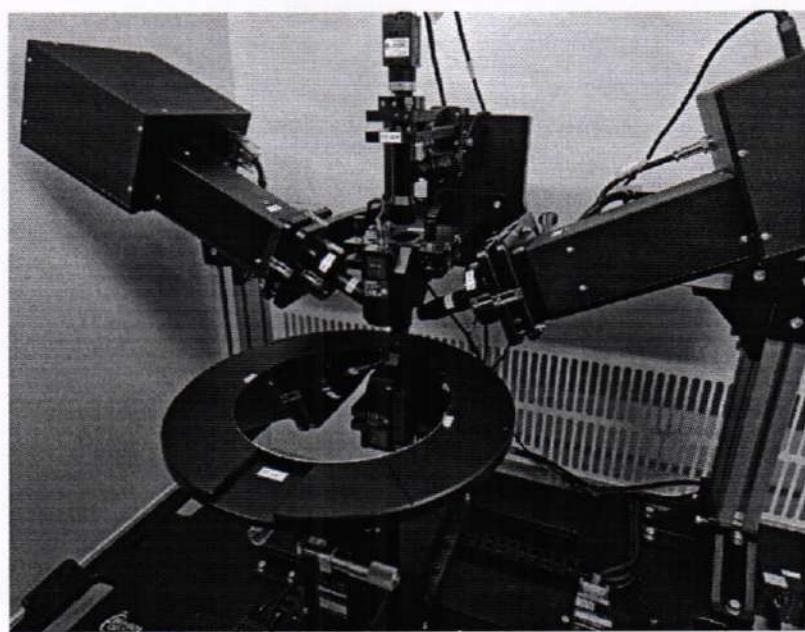


Рисунок 8 - Мера на предметном столике

8.8 Отцентрировать меру с помощью специальных ограничителей на предметном столике (Рисунок 9).



Рисунок 9 - Ограничители для центрирования меры

8.9 Зафиксировать меру на предметном столике с помощью вакуумной присоски, для этого нужно перевести тумблер подачи вакуума в положение ON (Рисунок 10).



Рисунок 10 - Тумблер подачи вакуума под меру

8.10 Из контекстного меню поля Operation выбрать пункт Browse Recipe (Рисунок 11). В открывшемся окне выбрать соответствующий измерительный рецепт с расширением «.rec» (Рисунок 12).

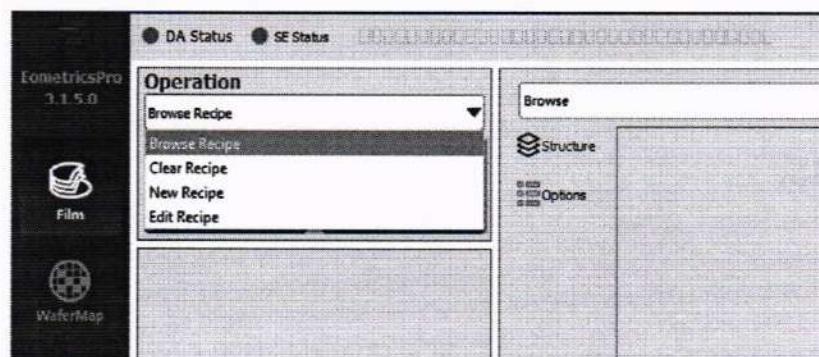


Рисунок 11 - Меню поля Operation, выбор пункта Browse Recipe

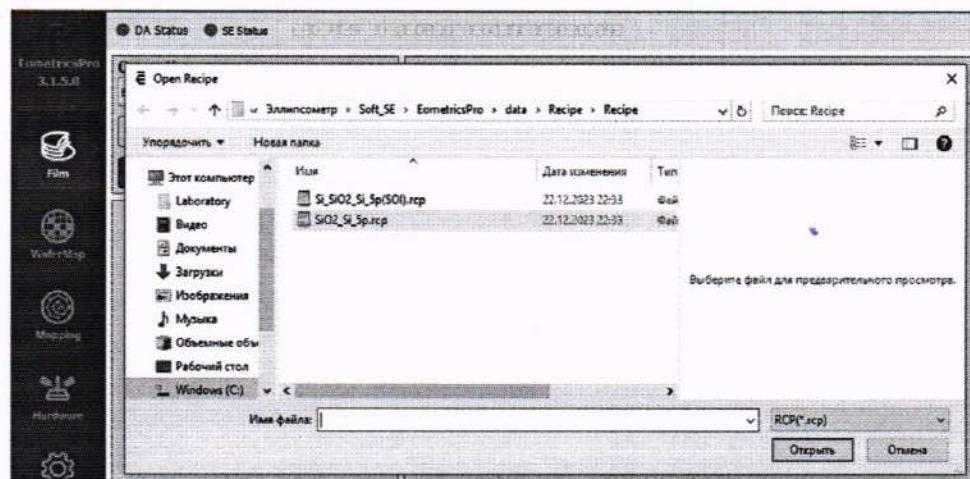


Рисунок 12 - Выбор измерительного рецепта

8.11 Во вкладке Film убедиться, что загрузился соответствующий профиль измерения (Рисунок 13).

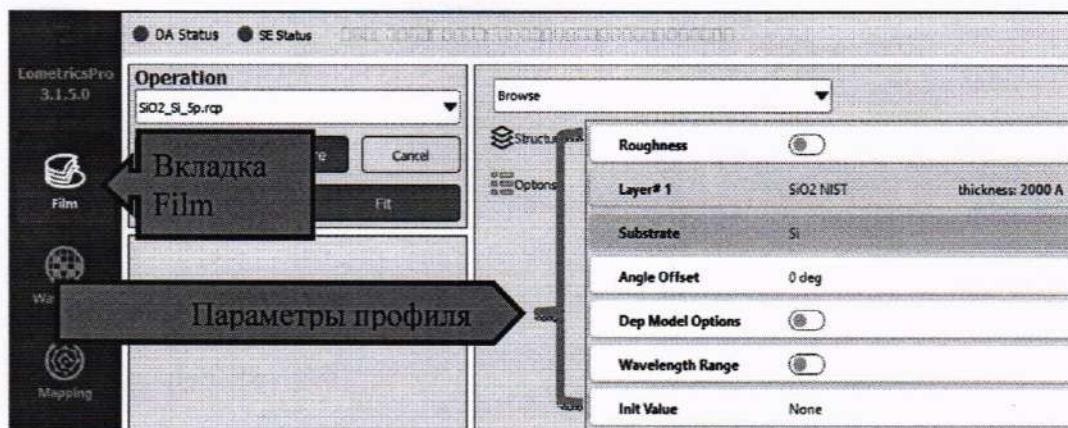


Рисунок 13 - Вкладка Film с профилем измерения

8.12 Во вкладке Mapping убедиться, что загрузилась соответствующая карта обхода (Рисунок 14).

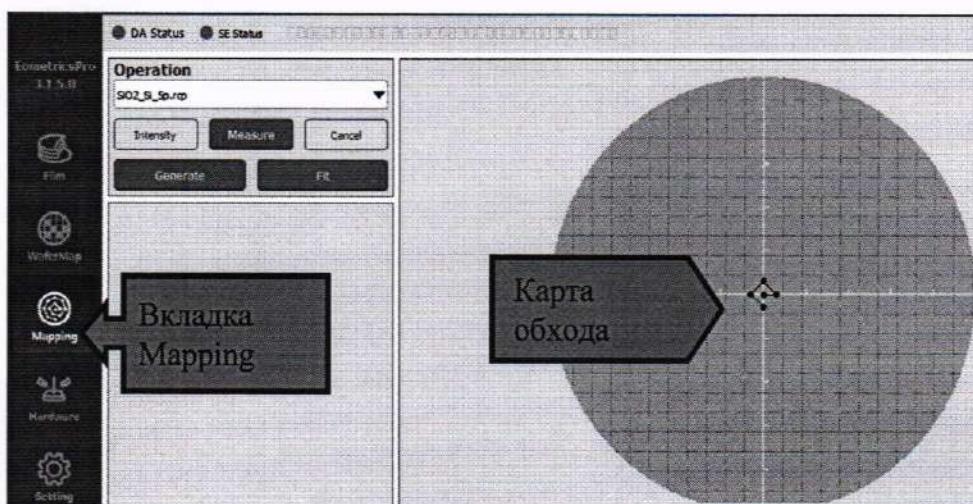


Рисунок 14 - Вкладка Mapping с картой обхода

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 На рабочем столе персонального компьютера (ноутбука) необходимо найти файл «EometricsPro» и, нажав левую кнопку мыши, запустить ПО, в левом верхнем углу появится информация о номере версии ПО.

9.2 Проверить в левом верхнем углу соответствие идентификационных данных ПО сведениям, приведенным в таблице 4.

9.3 Эллипсометр считается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если идентификационные данные ПО соответствуют значениям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	EometricsPro
Номер версии (идентификационный номер) ПО, не ниже	v.3.1.5.0
Цифровой идентификатор ПО	-

соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение диапазона измерений толщины покрытий и диапазона измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм

10.1.1 Запустить процедуру измерения по измерительному рецепту, нажав кнопку Measure в окне Operation (Рисунок 15).

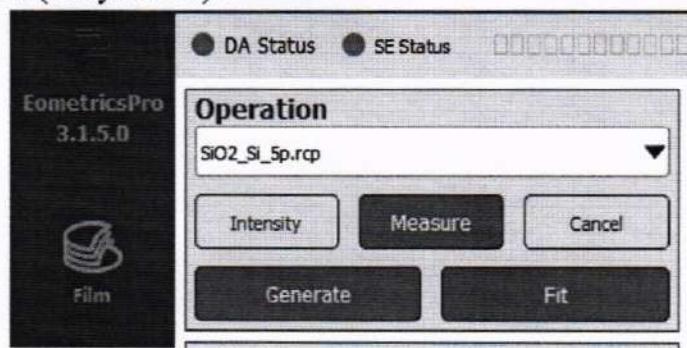


Рисунок 15 - Окно Operation с кнопкой Measure

10.1.2 После завершения измерений, сохраните результаты. Для этого во вкладке Mapping нужно выбрать вкладку Layers и нажать кнопку Export. В открывшемся диалоговом окне выбрать папку сохранения и ввести название файла и нажать кнопку «Сохранить/Safe» (Рисунок 16).

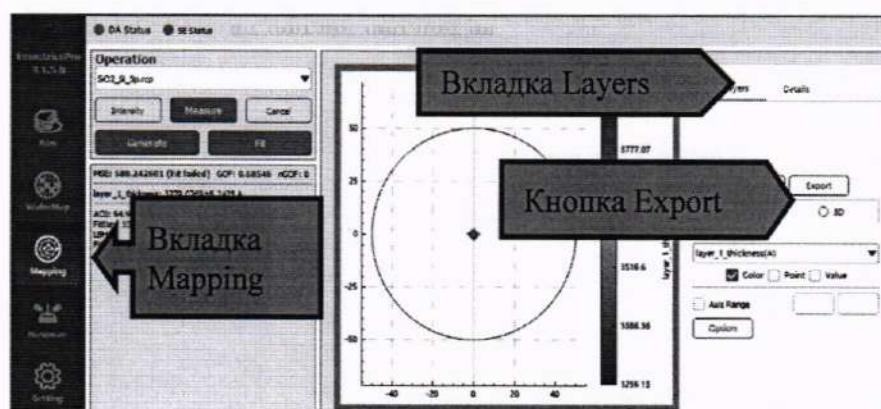


Рисунок 16 - Сохранение результатов измерений

10.1.3 Выполнить подготовку к измерениям по п.п. 8.9 – 8.12 для меры №1 из состава ГЭТ 203-2024 (инв. номер 2037).

10.1.4 Выполнить измерения по п.п. 10.1.1 – 10.1.2 для меры №1, расположив меру на столике системы так, чтобы луч попадал в центр меры (точка 1 на рисунке 17). Сохранить результаты измерений показателя преломления и толщины покрытия. Сместить меру в плоскости рабочего столика на расстояние от 1 до 2 мм в вертикальном направлении, в точку 2, как показано на рисунке 17, и повторить измерения. Последовательно перемещая меру в точки 3, 4 и 5 по схеме, изображенной на рисунке 17, провести измерения.

10.1.5 Провести операции по п. 10.1.3 и выполнить измерения по п. 10.1.4 для всех оставшихся мер №№2-4 (см. Таблицу 3).

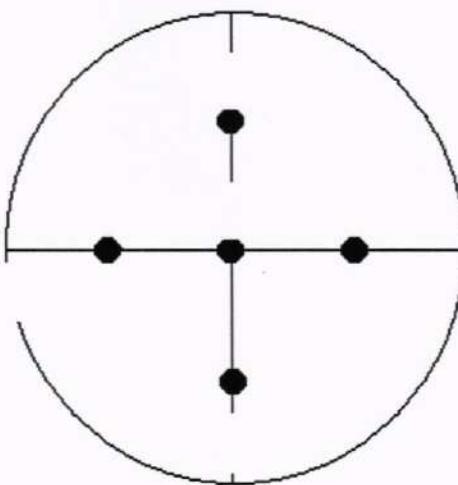


Рисунок 17 – Схема измерений

10.1.6 После сохранения результатов, выгрузите меры со стола эллипсометра. Для этого во вкладке Hardware нажмите Load/Unload (Рисунок 7), убедитесь, что предметный столик находится в положении загрузки/выгрузки меры (Рисунок 9), отключите вакуумный прижим меры на предметном столике, для этого переведите тумблер подачи вакуума в положение OFF (Рисунок 11), выгрузите меру с предметного столика в контейнер.

10.1.7 Эллипсометр считается прошедшим процедуру поверки с положительным результатом, если диапазон измерений толщины покрытий от 2 до 4500 нм и диапазон измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм от 1,460 до 2,022 нм.

10.2 Определение пределов допускаемой абсолютной и относительной погрешности измерений толщины покрытий. Определение пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм

10.2.1 Обработка результатов измерений.

10.2.2 За результат измерения параметров толщины покрытия 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 параметров меры в нм для параметра толщина и в безразмерных единицах для параметра показатель преломления; $i=1, 2, \dots n$ - номер измерения; $n=5$ – количество измерений (по одному измерению в 5-ти разных точках поверхности меры).

10.2.3 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины покрытий в поддиапазонах от 2 до 10 нм включ. и св. 10 до 1000 нм, а также пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм следует определять по формуле:

$$\Delta = |x_{\text{ном}} - \bar{x}|, \quad (2)$$

где $x_{\text{ном}}$ - номинальные значения параметров меры, указанные в протоколах аттестации эталона.

10.2.4 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений толщины покрытий в поддиапазоне от 1000 до 4500 нм следует определять по формуле:

$$\delta = \frac{|x_{\text{ном}} - \bar{x}|}{x_{\text{ном}}} \times 100\%. \quad (3)$$

10.2.5 Эллипсометр считается прошедшим процедуру поверки с положительным результатом, если:

- пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины покрытий в поддиапазоне от 2 до 10 нм включ. не превышают ± 1 нм, в поддиапазоне св. 10 до 1000 нм не превышают ± 5 нм;

- пределы допускаемой относительной погрешности измерений толщины покрытий в поддиапазоне от 1000 до 4500 нм не превышают $\pm 1\%$;

- пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений показателя преломления покрытий на длине волны 632,8 нм не превышают $\pm 0,004$.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки оформляются протоколом поверки. Рекомендуемая форма протокола приведена в приложении А. Протокол может храниться на электронных носителях.

11.2 По заявлению владельца эллипсометра или лица, предоставившего его на поверку, с учетом требований методики поверки аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки (подтверждено соответствие эллипсометра 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. Предусмотрено нанесение знака поверки на эллипсометр.

11.2 По заявлению владельца эллипсометра или лица, предоставившего его на поверку, с учетом требований методики поверки аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае отрицательных результатов поверки (не подтверждено соответствие эллипсометра метрологическим характеристикам) выдает извещение о непригодности к применению эллипсометра.

11.3 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Начальник отделения М-44
ФГБУ «ВНИИОФИ»


V.L. Минаев

Начальник лаборатории отделения М-44
ФГБУ «ВНИИОФИ»


Г.Н. Вишняков

ПРИЛОЖЕНИЕ А (рекомендуемое)
к МП 014.М44-25

ПРОТОКОЛ **ПЕРВИЧНОЙ**
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ **ПОВЕРКИ №** _____

(наименование, тип СИ и модификации в соответствии с описанием типа, в единственном числе, регистрационный №)

Заводской номер: _____ Год выпуска: _____

Изготовитель: _____

Владелец СИ: _____

Применяемые средства поверки: _____

Применяемая методика поверки: _____

Условия поверки:

- температура окружающего воздуха _____ °C;
- относительная влажность воздуха _____ %;
- атмосферное давление _____ кПа;
- напряжение сети переменного тока _____ В;
- частота сети переменного тока _____ Гц.

Место проведения поверки: _____

Проведение поверки:

- | | |
|--|--|
| 1 Внешний осмотр средства измерений: | Соответствует/не соответствует |
| 2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений: | Соответствует/не соответствует |
| 3 Проверка программного обеспечения средства измерений: | Указывается идентификационный номер и версия ПО |
| 4 Определение метрологических характеристик: | Описываются все процедуры определения метрологических характеристик, измеренные величины, расчет погрешности |

Таблица А.1 – Результаты определения метрологических характеристик

Метрологические характеристики	Средства поверки				
	Модификация эллипсометра, зав. №				
Номинальные значение толщины меры $d_{\text{ном}}$, нм					
Полученные значения толщины меры d_i , нм	1	2	3	4	5
Среднее арифметическое значение толщины меры \bar{d} , нм					
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений параметра толщины меры Δ , нм					
Предел допускаемой относительной погрешности измерений параметра толщины меры δ , нм					
Номинальные значение показателя преломления меры $n_{\text{ном}}$					
Полученные значения показателя преломления меры n_i					
Среднее арифметическое показателя преломления меры \bar{n}					
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений показателя преломления меры δ					

5 Заключение по результатам поверки:

По результатам поверки средство измерений соответствует (не соответствует) метрологическим характеристикам, указанным в описании типа средства измерений, и признается пригодным (не пригодным) к применению.

Поверитель:

подпись

Ф.И.О.

Дата

проверки: