

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора  
ФГУП «ВНИИОФИ»



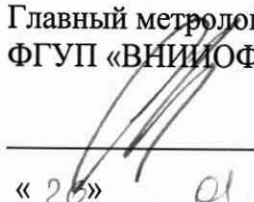
  
« 26 »

И.С. Филимонов  
2022 г.

**«ГСИ. Система измерения толщины покрытий на кремниевых пластинах и мембранах F40-NIR. Методика поверки»**

МП 048.М44-19

Главный метролог  
ФГУП «ВНИИОФИ»

  
С.Н. Негода  
« 26 » 2022 г.

Москва  
2022 г.

## 1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на систему измерения толщины покрытий на кремниевых пластинах и мембранах F40-NIR (далее по тексту – система), изготовленную «Filmetrics. Inc», США, и устанавливает методы и средства проведения первичной и периодических поверок. Система предназначена для бесконтактных измерений толщины покрытий, нанесенных на полупроводниковые пластины. Покрытия могут быть выполнены из различных материалов, включая фоторезист, оксиды, нитриды, поликремниевые пленки. Система позволяет также измерять толщину антибликовых и защитных оптических покрытий, покрытий из полиамида и резиста для дисплеев с плоским экраном, различных покрытий, которые используются при производстве CD и DVD дисков.

1.2 По итогам проведения поверки должна обеспечиваться прослеживаемость при помощи передачи единицы от ГЭТ 203-2012 к средству измерений. Поверка систем выполняется методом прямых измерений.

1.3 Метрологические характеристики систем указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений толщины покрытий, нм	от 10 до 1000
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины покрытий, нм	$\pm 6$

## 2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 Для поверки систем должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	8
Опробование и идентификация программного обеспечения	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик			10
Проверка диапазона измерений толщины покрытий	Да	Да	10.1
Определение пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины покрытий	Да	Да	10.2

2.2 Поверку систем осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

2.3 При получении отрицательных результатов при проведении той или иной операции поверка прекращается.

## 3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающей среды, °C от 15 до 25;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104.

3.2 Помещение, где проводится поверка, должно быть чистым и сухим.

#### 4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются лица:

- изучившие настоящую методику и эксплуатационную документацию на систему;
- прошедшие обучение на право поверки по требуемому виду измерений;
- имеющие квалификационную группу не ниже III в соответствии с Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанных в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020 № 903н;

4.2 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, приведенные в эксплуатационной документации системы.

4.3 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. 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.

#### 5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки применяются средства поверки, указанные в таблице 3.

Таблица 3 – Средства поверки

Операция поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п.7 и п.8 Контроль условий поверки	диапазон измерений температуры от минус 20 до плюс 60 °С; предел допускаемой основной абсолютной - погрешности измерения температуры $\pm 0,3$ °С; диапазон измерений относительной влажности от 0 до 98 %; предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерения относительной влажности $\pm 3$ %; диапазон измерения атмосферного давления от 300 до 1100 гПа; предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерения давления $\pm 2,5$ гПа.	Термогигрометр ИВА-6Н-Д; рег. № 46434-11
п.10 Определение метрологических характеристик	Эталон единицы длины в области измерения толщины оптических покрытий не ниже уровня рабочего эталона с расширенной неопределенностью измерения толщины покрытий $\pm 1,2$ нм при $P = 0,95$ и $k = 2$ в соответствии с «Локальной поверочной схемой для средств измерений толщины покрытий в диапазоне значений от 1 до 1000 нм», утвержденной ФГУП «ВНИИОФИ»	Государственный рабочий эталон единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий в диапазоне от 10 до 1000 нм, рег. № 3.1.ZZA.0123.2019; Комплект №1 А толщиной 13,1 нм В толщиной 26,2 нм С толщиной 59,2 нм D толщиной 109,0 нм E толщиной 493,6 нм F толщиной 998,4 нм

5.2 Средства поверки, указанные в таблице 3 должны быть аттестованы (поверены) в установленном порядке.

5.3 Допускается применение других средств поверки, не приведенных в таблице 3, но обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых систем с требуемой точностью.

## **6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки**

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, приведенные в Руководстве по эксплуатации на систему и средства поверки.

### **7 Подготовка к поверке**

7.1 Провести измерения параметров окружающей среды.

7.2 Проверить выполнение требований, указанных в п.3.

7.3 Выдержать систему и оборудование, используемое при поверке, в условиях, указанных в п.3, не менее 2 часов.

7.4 Включить систему в сеть.

7.5 Включить компьютер и запустить программу «FILMeasure».

## **8 Внешний осмотр**

8.1 При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие поверяемого системы следующим требованиям:

- соответствие комплектности системы с руководством по эксплуатации «Система измерения толщины покрытий на кремниевых пластинах и мембранах F40-NIR»;
- наличие маркировки на системе (наименование или товарный знак завода-изготовителя, условное обозначение и заводской номер системы);
- отсутствие механических повреждений.

8.2 Система считается прошедшей операцию поверки, если:

- комплектность прибора соответствует руководству по эксплуатации;
- отсутствуют механические повреждения корпуса прибора, дисплея, элементов управления;
- на шильдике прибора указаны наименование или товарный знак завода-изготовителя, тип и заводской номер.

## **9 Опробование и идентификация программного обеспечения**

9.1 Опробование системы осуществляется путем измерения толщины покрытия SiO<sub>2</sub> на кремниевой подложке эталона TS-Focus-SiO<sub>2</sub>-4-10000, входящего в комплект системы.

9.2 Выберите структуру покрытия, которую необходимо измерить – в данном случае «SiO<sub>2</sub> on Si» – из выпадающего списка «Recipe Name» на главном экране (см. рисунок 1).

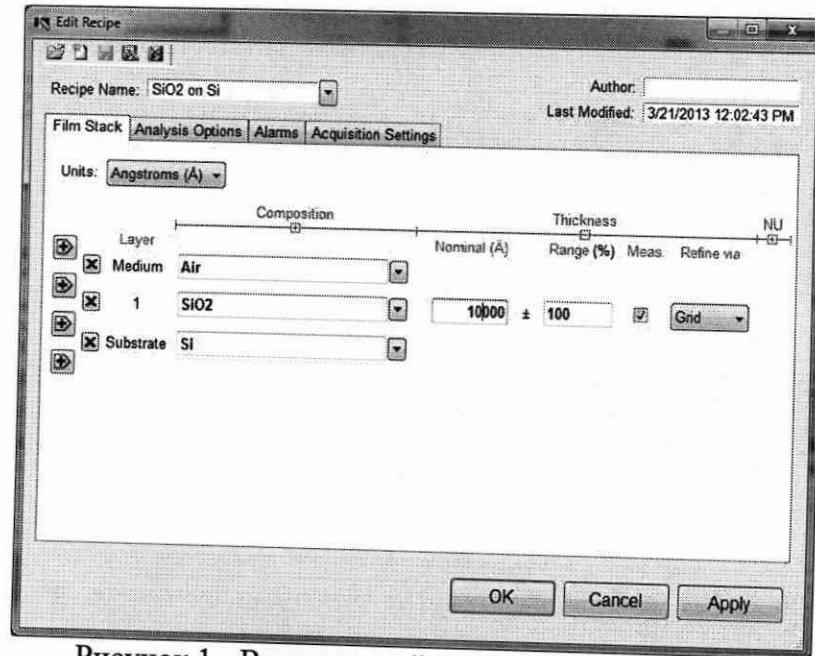



Рисунок 1 - Выпадающий список «Recipe Name»

9.3 В этом окне установить, что эталон имеет номинальную толщину 10000 ангстрем (Å) с диапазоном отклонений 100 Å. Отметьте галочкой окошко во вкладке «Measure», чтобы убедиться, что система проведет вычисление толщины слоя SiO<sub>2</sub>. В качестве подложки должен быть выбран кремний - Si. Во вкладке «Analysis Options» в разделе «Analysis Method» выберите «Exact», больше ничего не отмечайте. После внесения изменений сохраните настройки, нажав на значок , или подтвердите изменения без сохранения в настройках, нажав кнопку «OK».

9.4 Проведите измерение базового уровня. Для этого сначала нажмите на кнопку «Baseline» на главном экране. Откроется диалоговое окно с инструкциями. Следуйте им и убедитесь, что выбранный материал соответствует эталону отражения. Если вы столкнулись со сложностями при фокусировке системы, см. Раздел 3 «Проведение измерений» Руководства по эксплуатации. Для эталона TS-Focus-SiO<sub>2</sub>-4-10000 используйте в качестве стандарта отражения контрольный прямоугольник.

9.5 Выполните измерение, поместив эталон TS-Focus-SiO<sub>2</sub>-4-10000 на столик с прямоугольником SiO<sub>2</sub> под лучом, затем нажмите кнопку «Measure». ПО «FILMeasure» соберет данные спектра и рассчитает соответствующую толщину. Если измерение выполнено успешно, минимальное и максимальное значение рассчитанного отражения (красная линия на графике на рисунке 2) будут совпадать по длине волны с минимальным и максимальным значением измеренного отражения (синяя линия на графике).

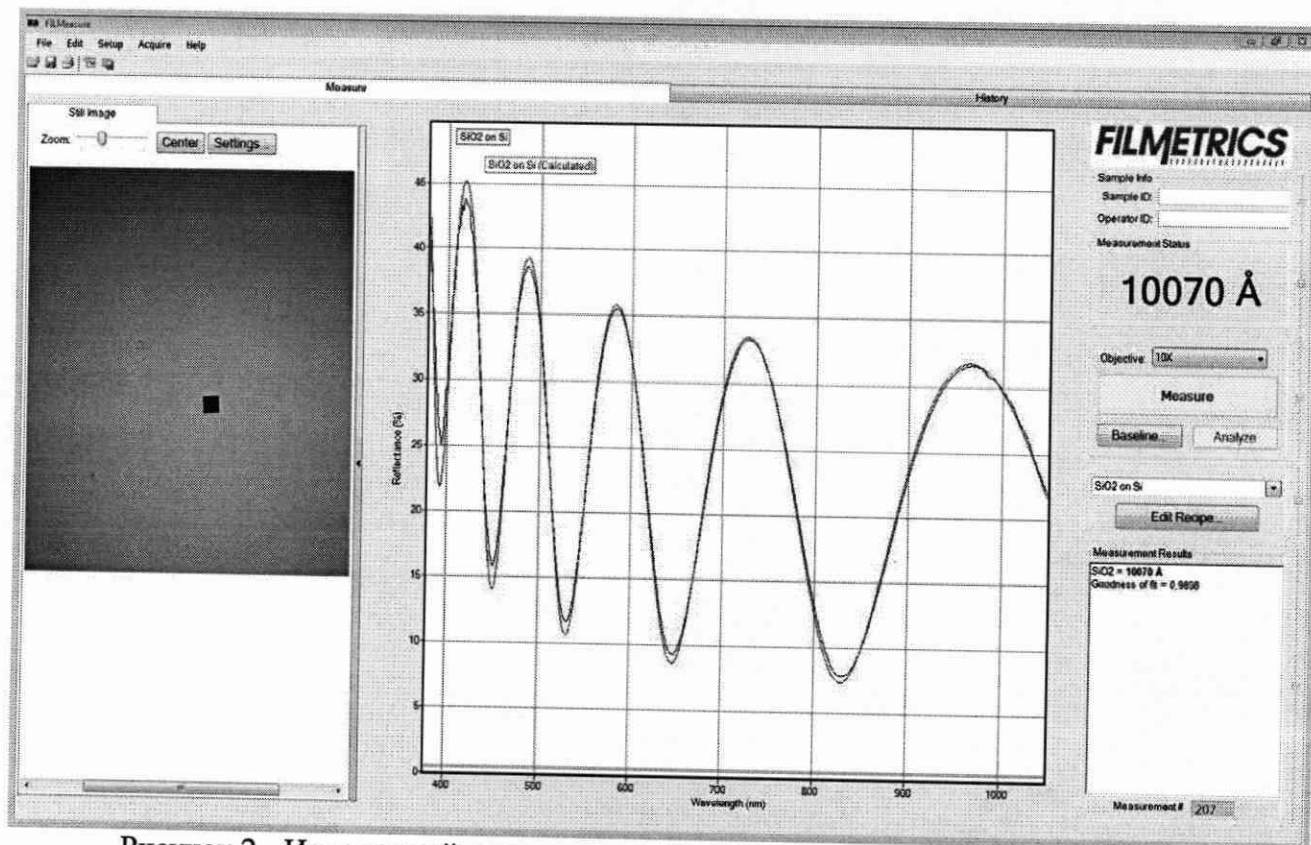


Рисунок 2 - Измеренный и рассчитанный спектры отражения при измерении толщины эталона SiO<sub>2</sub> на кремнии.

После успешного завершения измерения измеренный и рассчитанный спектры отражения выводятся на график, а толщина покрытия будет указана справа в окне с результатами.

#### 9.6 Идентификация программного обеспечения:

Перейти к главному окну программного обеспечения, в основном меню которого нажать клавишу «Help». Затем из выпадающего окна выбрать клавишу «About FILMeasure...». Для возврата на главное окно ПО нажать клавишу «ОК».

Идентификационные данные (признаки) метрологически значимой части программного обеспечения системы приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	FILMeasure
Номер версии (идентификационный номер) ПО, не ниже	8.12.6.0
Цифровой идентификатор ПО	-

9.7 При опробовании прибора должно быть установлено соответствие следующим требованиям:

- подвижные части системы должны двигаться плавно, без заеданий, стойка фиксации микроскопа системы должна быть исправна;
- кнопки управления должны быть исправны и иметь соответствующие надписи, указывающие их назначение.

9.8 Систему считают прошедшей операцию поверки, если:

- при измерении минимальное и максимальное значение рассчитанного отражения (красная линия на графике на рисунке 2) совпадают по длине волны с минимальным и максимальным значением измеренного отражения (синяя линия на графике);
- номер версии программного обеспечения соответствует таблице 3;
- подвижные части прибора двигаются плавно, без заеданий, стойка фиксации микроскопа исправна;
- кнопки управления исправны и имеют соответствующие надписи, указывающие их назначение.

## 10 Определение метрологических характеристик

### 10.1 Проверка диапазона измерений толщины покрытий

10.1.1 Определение диапазона измерений толщины покрытий осуществляется с помощью меры толщины покрытий плоской TS-SiO<sub>2</sub>-6-Multi из состава Рабочего эталона единицы длины в области измерений толщины оптических покрытий в диапазоне значений от 10 до 1000 нм. Мера состоит из 6-ти участков, обозначенных буквами А, В, С, D, Е, F, имеющих различную номинальную толщину покрытия из двуокиси кремния (см. Таблицу 3). Мера располагается на столике системы так, чтобы луч попадал в центр участка А (точка 1 на рисунке 3).

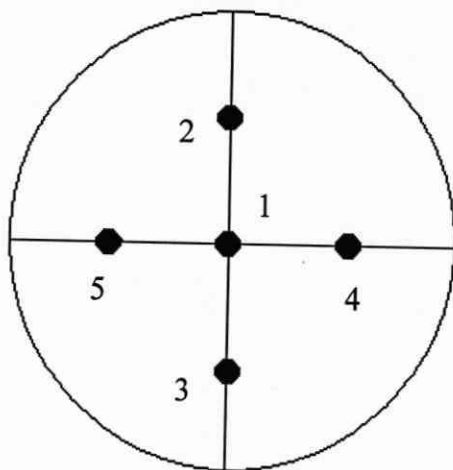



Рисунок 3 – Схема измерений

10.1.2 Из выпадающего списка «Recipe Name» на главном экране (см. рисунок 1). Выберите структуру покрытия «SiO<sub>2</sub> on Si».

10.1.3 В этом окне установить значение номинальной толщины данного участка А меры (из действующего сертификата калибровки) в ангстремах с диапазоном отклонений 10 Å. Отметьте галочкой окошко во вкладке «Measure», чтобы убедиться, что система проведет вычисление толщины слоя SiO<sub>2</sub>. В качестве подложки должен быть выбран кремний - Si. Во вкладке «Analysis Options» в разделе «Analysis Method» выберите «Exact», больше ничего не отмечайте. После внесения изменений сохраните настройки, нажав на значок , или подтвердите изменения без сохранения настроек, нажав кнопку «ОК».

10.1.4 Выполните измерение нажав кнопку «Measure». ПО «FILMeasure» соберет данные спектра и рассчитает соответствующую толщину. Если рассчитанные (красный) и измеренные (синий) минимум и максимум совпадают, значит измерение прошло успешно. В ином случае измерение прошло неуспешно и для более подробного изучения проблемы см. Раздел «Устранение неисправностей» Руководства по эксплуатации. После успешного завершения измерений измеренный и рассчитанный спектры отражения выводятся на график, а толщина покрытия будет указана справа в окне с результатами. Запишите измеренное значение толщины покрытий в протокол (Приложение А).

10.1.5 Повторите измерения по п. 10.1.4 для первого участка меры А сместив меру в плоскости рабочего столика приблизительно на 2 мм в вертикальном направлении, в точку 2, как показано на рисунке 3. Последовательно перемещая меру в точки 3, 4 и 5 по схеме, изображенной на рисунке 3, провести измерения для участка А меры, и результаты занести в протокол.

10.1.6 Повторить операции по п.п. 10.1.1 – 10.1.5 для остальных участков В, С, D, Е, F меры толщины покрытий.

10.1.7 Систему считают прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если полученные значения толщин оптических покрытий находятся в диапазоне значений от 10 до 1000 нм. В противном случае, процедура поверки прекращается, необходимо связаться с заказчиком.

## 10.2 Определение пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины покрытий.

10.2.1 Для каждого участка меры определить среднее арифметическое значение результатов измерений толщины покрытий по формуле (1):

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

где  $x_i$  – результат измерения толщины покрытий меры, нм;

$i=1, 2, \dots$  - номер измерения;

$n=5$  – количество измерений (по одному измерению в 5-ти разных точках каждого участка поверхности меры).

10.2.2 Вычислить абсолютную погрешность результата измерения толщины покрытий по формуле (2):

$$\Delta = \bar{x} - d, \quad (2)$$

где  $d$  - номинальная толщина покрытий меры, указанная в действующем сертификате калибровки или свидетельстве о поверке, нм.

10.2.3 Система считается прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если абсолютная погрешность измерения толщины оптических покрытий не превышает  $\pm 6$  нм.

## 11 Оформление результатов поверки

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

11.2 При положительных результатах поверки и соответствии обязательным требованиям сведения о средстве измерений (системе) передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений с приложением протокола поверки. Средство измерений признается годным и допускается к применению. По заявлению владельца средства измерений свидетельство о поверке может быть оформлено на бумажном носителе в установленной форме.

11.3 При отрицательных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений может быть оформлено извещение о непригодности в установленной форме с указанием причин непригодности.

11.4 Сведения о результатах поверки (как положительные, так и отрицательные) передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Начальник отделения  
ФГУП «ВНИИОФИ»

Начальник лаборатории  
ФГУП «ВНИИОФИ»



В.Л. Минаев



Г.Н. Вишняков



к Методике поверки МП 048.М44-19  
 «ГСИ. Система измерения толщины покрытий на кремниевых пластинах  
 и мембранах F40-NIR. Методика поверки»

**ПРОТОКОЛ**  
**первичной / периодической поверки**  
 от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ года

Средство измерений: «Система измерения толщины покрытий на кремниевых пластинах и мембранах F40-NIR»

Наименование СИ, тип (если в состав СИ входят несколько автономных блоков)	
Заводской №	№/№
№/№	Заводские номера блоков
Принадлежащее	
Наименование юридического лица, ИНН, КПП	
Поверено в соответствии с методикой поверки	МП 048.М44-19 «ГСИ. Система измерения толщины покрытий на кремниевых пластинах и мембранах F40-NIR. Методика поверки», согласованной ФГУП «ВНИИОФИ»
Наименование документа на поверку, кем утвержден (согласован), дата	

С применением эталонов:

(наименование, заводской №, разряд, класс точности или погрешность)

При следующих значениях влияющих факторов:

Температура, °С

Влажность, %

Давление, кПа

(приводят перечень и значения влияющих факторов, нормированных в методике поверки)

Внешний осмотр

Опробование

Версия ПО

Определение метрологических характеристик

Таблица 1

Обозначение участка	A	B	C	D	E	F
Номинальные значения толщины покрытия, нм						
Измеренные значения толщины покрытия, нм						
Среднее измеренное значение толщины покрытия, нм						
Допускаемая абсолютная погрешность измерений толщины покрытия, нм						

Исполнители \_\_\_\_\_

Подписи, Ф.И.О., должность