

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора по инновациям
ФГУП «ВНИИОФИ»



И.С. Филимонов

« 09 » 06



Государственная система обеспечения единства измерений

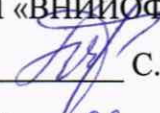
**УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЛОЕВ OPPI PROBE 7341 XP**

Методика поверки

МП 016.M44-21

Главный метролог

ФГУП «ВНИИОФИ»



С.Н. Negroда

« 09 » 06 2021 г.

Москва

2021 г.

1 Введение

Настоящая методика поверки распространяется на Установку толщины диэлектрических и полупроводниковых слоев Opti Probe 7341 XP (далее по тексту – установка) и устанавливает методы и средства проведения первичной и периодических поверок. Установка предназначена для автоматизированного измерения толщин полупрозрачных пленок (полупроводниковые, диэлектрические, электрооптические, SOI или SOS материалы; многослойные, оптические антиотражающие покрытия; тонкие металлы; материалы планарных волноводов; стекло с покрытием; многослойные тонкопленочные структуры).

По итогам проведения поверки должна обеспечиваться прослеживаемость к ГЭТ 203-2012. Поверка установки выполняется методом косвенных измерений.

Интервал между поверками – 1 год.

2 Перечень операций поверки средств измерений

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены операции, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

№ п/п	Наименование операций	Номер пункта документа по поверки	Проведение операций при	
			первичной поверке	периодической поверке
1	Внешний осмотр	7	Да	Да
2	Опробование	8	Да	Да
3	Проверка идентификации программного обеспечения	9	Да	Да
4	Определение метрологических характеристик	10		
5	Определение диапазона измерений толщины и определение доверительных границ абсолютной погрешности измерений толщины	10.1-8	Да	Да

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

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

3 Метрологические и технические требования к средствам поверки

3.1 При проведении первичной и периодической поверок применяются средства, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операция поверки	Средство поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки	Рекомендуемые типы средств поверки
п. 10	Государственный первичный эталон единицы комплексного показателя преломления по Локальной поверочной схеме средств измерений толщины покрытий в диапазоне значений от 1 до 1000 нм, утвержденной ФГУП «ВНИИОФИ» 08.08.2019	<p>Среднее квадратическое отклонение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для действительной части n не более 0,001 - для мнимой части k не более 0,002 <p>Неисключенная систематическая погрешность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для действительной части n не более 0,0007 - для мнимой части k не более 0,0004 <p>Диапазон значений комплексного показателя преломления $\tilde{n}=n-ik$, в котором воспроизводятся единицы, составляет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для действительной части n (показатель преломления) от 0,5 до 5,0; - для мнимой части k (главный показатель поглощения) от 0,01 до 8,0 	ГЭТ 203-2012 Государственный первичный эталон единицы комплексного показателя преломления
Вспомогательные средства поверки			
Определение условий проведения поверки	Средства измерений температуры	<p>Диапазон измерений температуры от минус 20 до плюс 60 °С;</p> <p>Предел допускаемой основной абсолютной - погрешности измерения температуры $\pm 0,3$ °С;</p>	Термогигрометр ИВА-6Н-Д, рег.№ 46434-11
	Средства измерений относительной влажности воздуха	<p>Диапазон измерений относительной влажности от 0 до 98 %;</p> <p>Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерения относительной влажности ± 2 %;</p>	

Операция поверки	Средство поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки	Рекомендуемые типы средств поверки
	Средства измерений атмосферного давления	Диапазон измерения атмосферного давления от 300 до 1100 гПа; Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерения давления $\pm 2,5$ гПа.	

3.2 Средства поверки должны быть аттестованы (поверены) в установленном порядке.

3.3 Допускается применение средств поверки, не приведенных в таблице 2, но обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемой установки с требуемой точностью.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению поверки допускают лиц, изучивших настоящую методику поверки и руководство по эксплуатации установки, имеющих квалификационную группу не ниже I 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 и прошедших полный инструктаж по технике безопасности, прошедших обучение на право проведения поверки по требуемому виду измерений.

5 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

5.1 При поверке установки необходимо соблюдать требования лазерной безопасности по ГОСТ 12.1.040-83, требования к обеспечению безопасности на рабочих местах по ГОСТ 12.2.061-81.

5.5 При проведении поверки должны соблюдаться меры безопасности, указанные в руководстве по эксплуатации на установку и общие требования безопасности по ГОСТ 12.3.019-80 с изменением № 1.

6 Требования к условиям проведения поверки

6.1 При проведении поверки следует соблюдать следующие условия:

- температура воздуха (21 ± 3) °С;
- относительная влажность воздуха от 30 до 70 %;
- атмосферное давление (100 ± 4) кПа;

6.2 Помещение, в котором производится поверка, должно соответствовать классу 3 ИСО согласно ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017.

6.3 Разность значений параметров окружающей среды до и после окончания поверки не должна превышать:

- температура окружающей среды ± 1 °С;
- атмосферное давления ± 300 Па;
- относительная влажность воздуха ± 10 %.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 При проведении внешнего осмотра установки должно быть установлено:

- отсутствие механических повреждений на деталях установки;
- наличие и прочность органов управления и коммутации, четкость фиксации их положения;
- чистота гнезд, разъемов и клемм;

– состояние соединительных кабелей.

7.2 Установка считается прошедшей операцию поверки, если корпус, внешние элементы, органы управления и индикации не повреждены, соединительные провода исправны.

8 Подготовка к поверки и опробование средства измерений

8.1 Подготовить используемое при поверке оборудование к работе в соответствии с его Руководством по эксплуатации. Расположение установки должно быть вдали от отопительных устройств и осветительной аппаратуры.

8.2 Выдержать установку и оборудование, используемое при поверке, в условиях, указанных в п.6 настоящей методики поверки, не менее 2 часов

8.3 Убедитесь, что оборудование находится в состоянии UP (если оборудование находится в состоянии Down - не приступайте к проведению испытаний)

8.4 Убедитесь, что установка включена: на экране монитора - главное меню установки (рисунок 1 или рисунок 2).

Зелёные кружки слева от названия узла свидетельствуют об исправности узла установки (если один или несколько кружков красные – не приступайте к проведению испытаний).

8.5. Подготовка устройства к испытаниям:

8.5.1 Убедитесь, что на устройстве загрузки установки (порт 1 и 2) отсутствуют SMIF-контейнеры с пластинами.

8.5.2 Если занят хотя бы один порт загрузки, проверьте пиктограммы кассет на вкладках Cassette 1 и Cassette 2 главного меню (рисунок 3), для чего нажмите мышкой ярлыки соответствующих вкладок.

Если установка не занята пользователем, пиктограмма «кассета» имеет вид, указанный на рисунке 1 или рисунке 2.

Если установка занята пользователем, пиктограмма «кассета» имеет вид, указанный на рисунке 3.

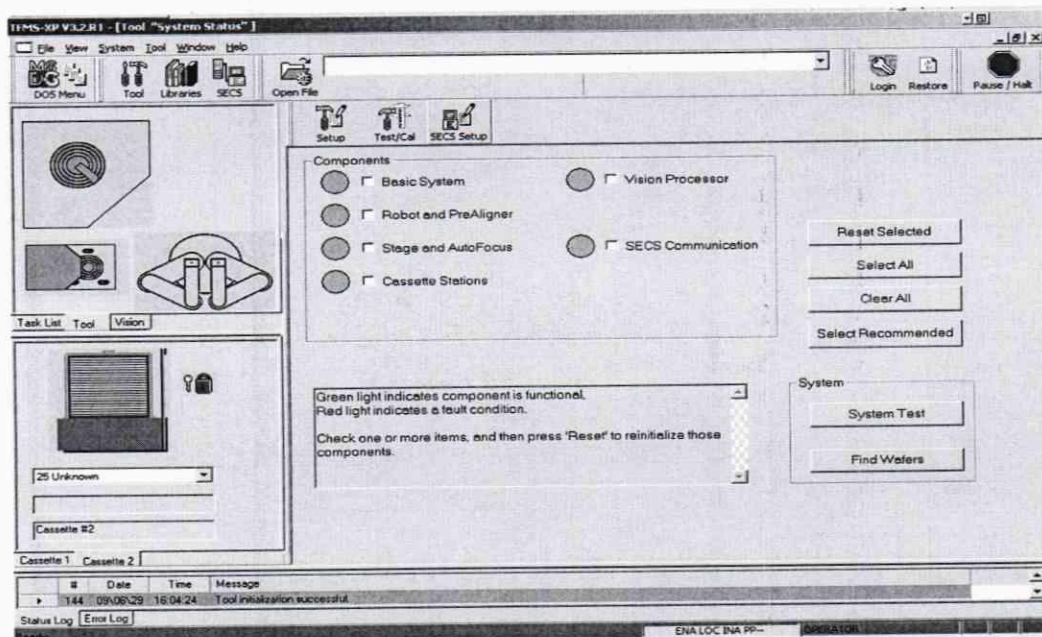


Рисунок 1

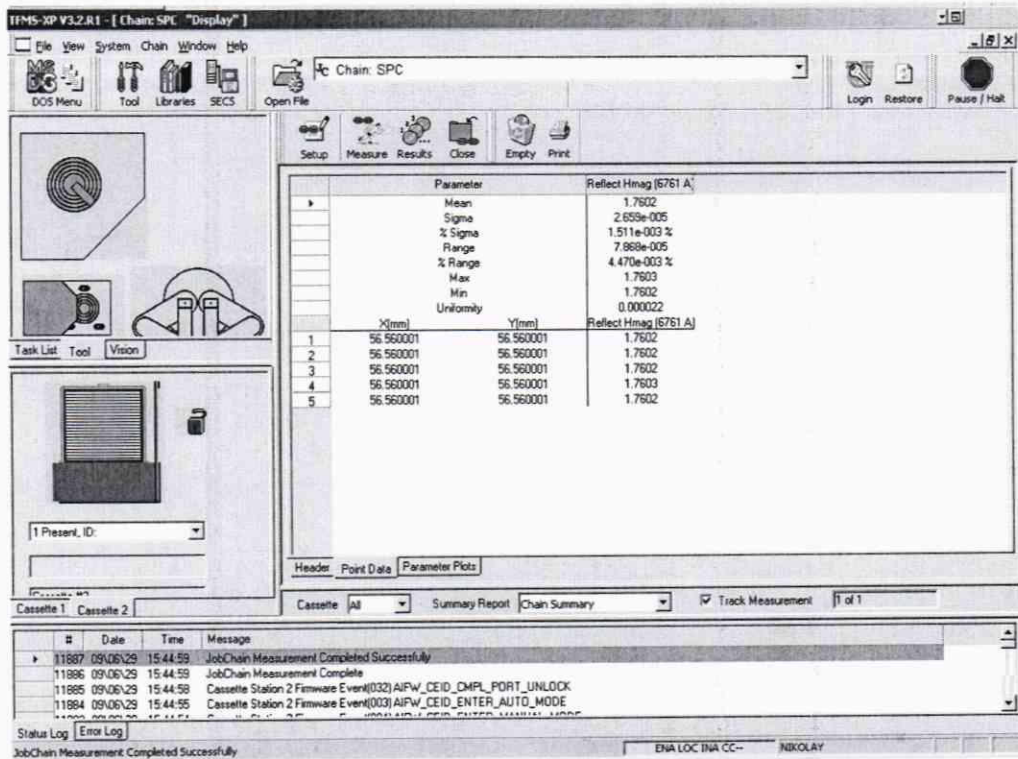


Рисунок 2

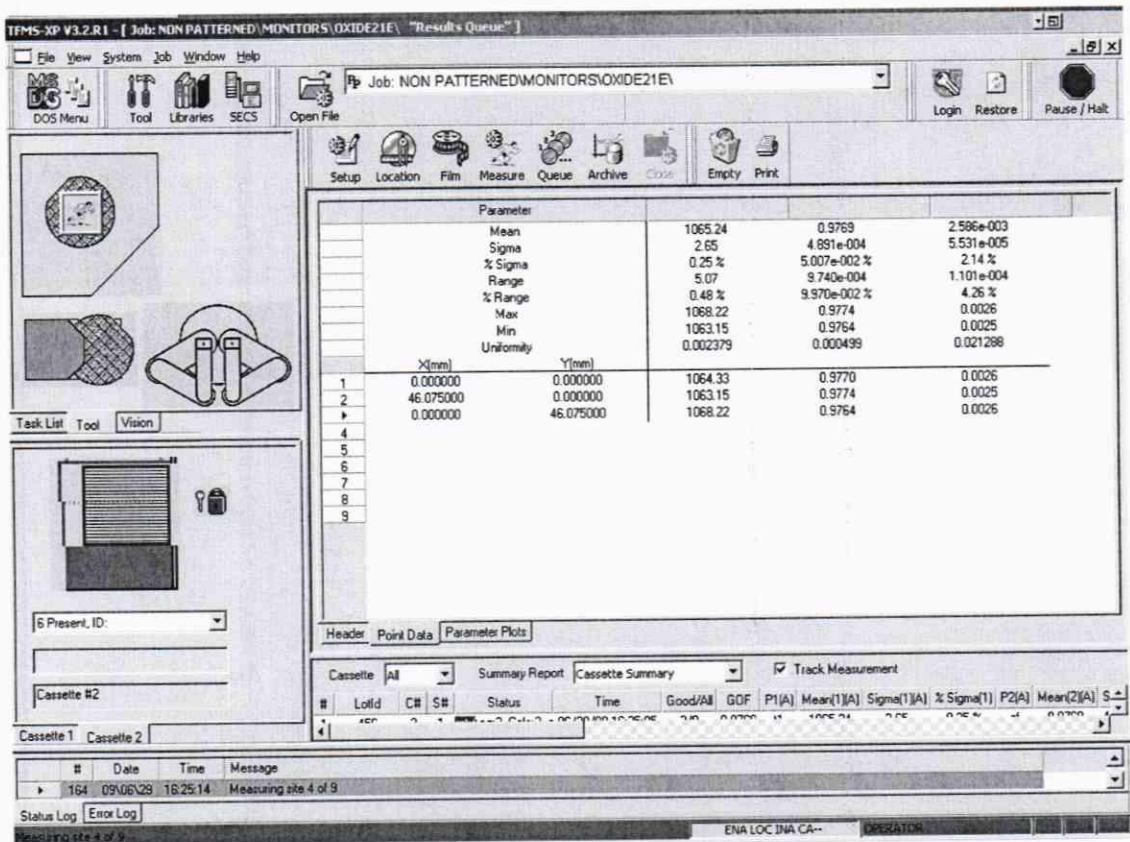


Рисунок 3

8.6 Установите SMIF-контейнер с кремниевыми пластинами из комплекта установки на свободный порт загрузочного устройства установки.

8.7 Измерение при использовании отдельных файлов «Job files».

8.7.1. В главном меню (рисунок 2 или 3), нажмите кнопку «Login», появится окно диалога (рисунок 4).

8.7.2. Введите пароль в строке «User Name» (например, «Operator»), а в строке «Password» - пароль группы операторов (например, «Operator»). Нажмите кнопку «Login».

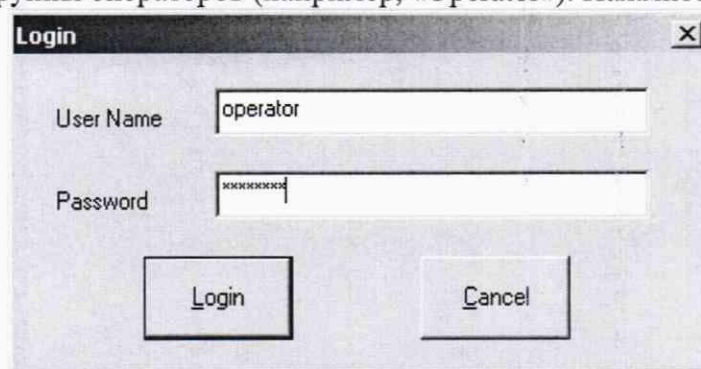


Рисунок 4

8.7.3. В главном меню (рисунок 2 или рисунок 3), нажмите кнопку «Open File», откроется окно «Open Job File» (рисунок 5а, б). В директории «M_Nonpatterned» находятся рецепты для пластин без рисунка: мониторинговые и для выполнения QT по участкам. В директории «M_patterned» находятся рецепты для продуктовых пластин с рисунком, рецепты сгруппированы в папках с номерами кристаллов.

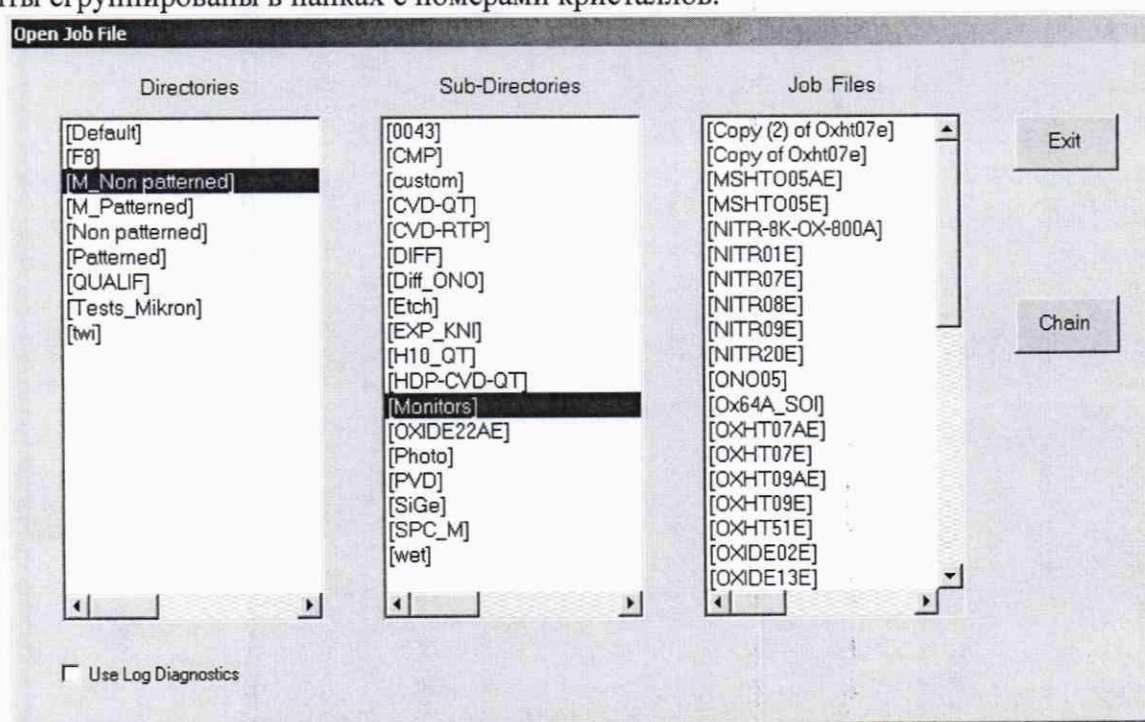


Рисунок 5а

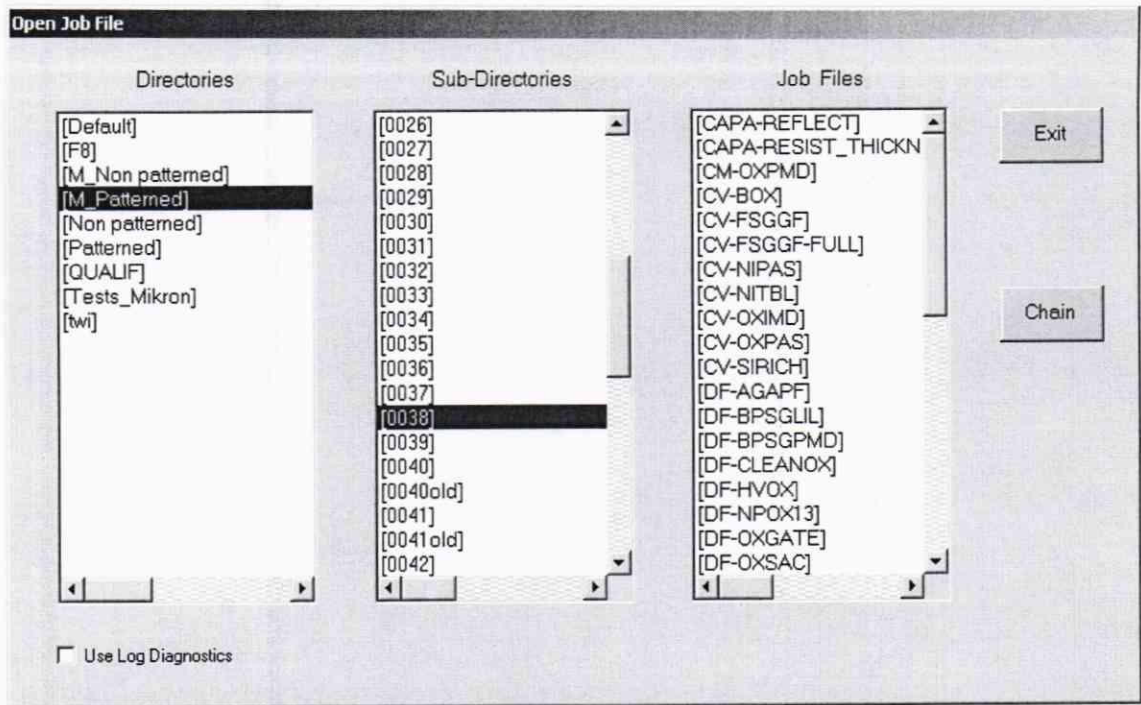


Рисунок 5б

8.7.4. Выберите рабочий файл в окне «Job Files», для чего укажите путь к файлу Directories/ Sub-Directories/ Job Files. Появится экран, указанный на рисунке 6.

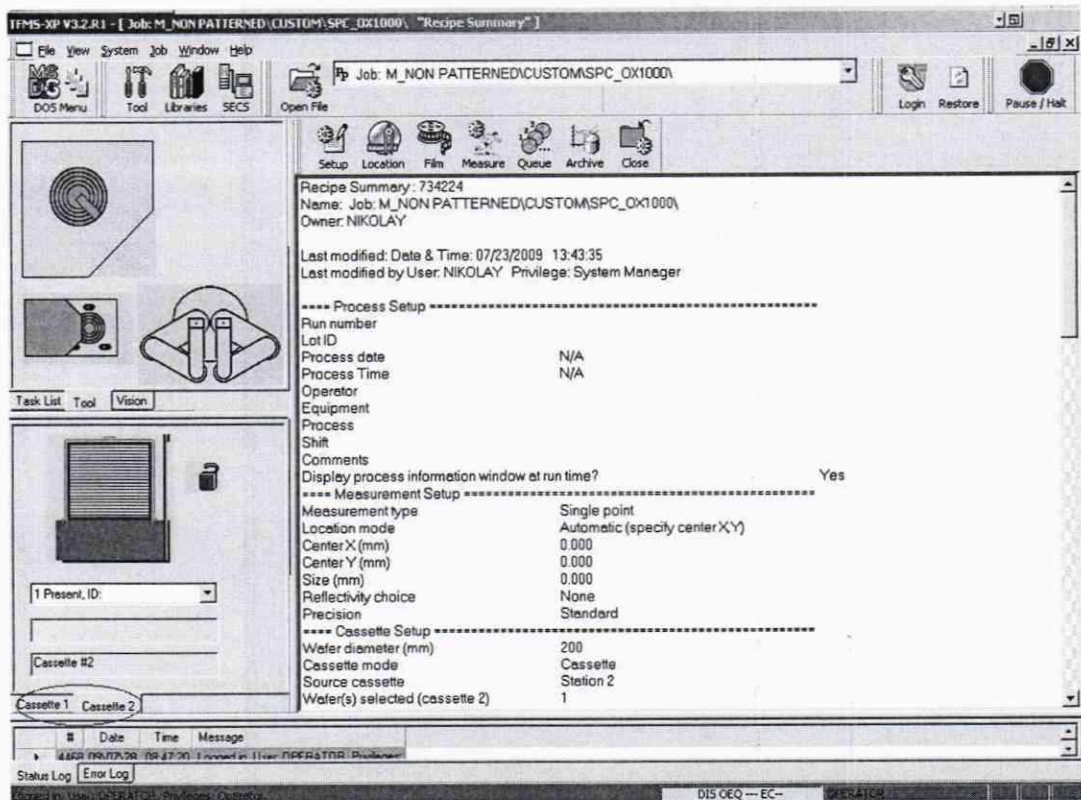


Рисунок 6

8.7.5. Кликните мышкой вкладку «Cassette1» или «Cassette2» (рисунок 6) в зависимости от того, на какой порт установлен контейнер с пластинами. Правой клавишей мыши нажмите на пиктограмму «кассета».

В появившемся меню (рисунок 7) нажмите «Load Cassette». Произойдет загрузка установленной кассеты.

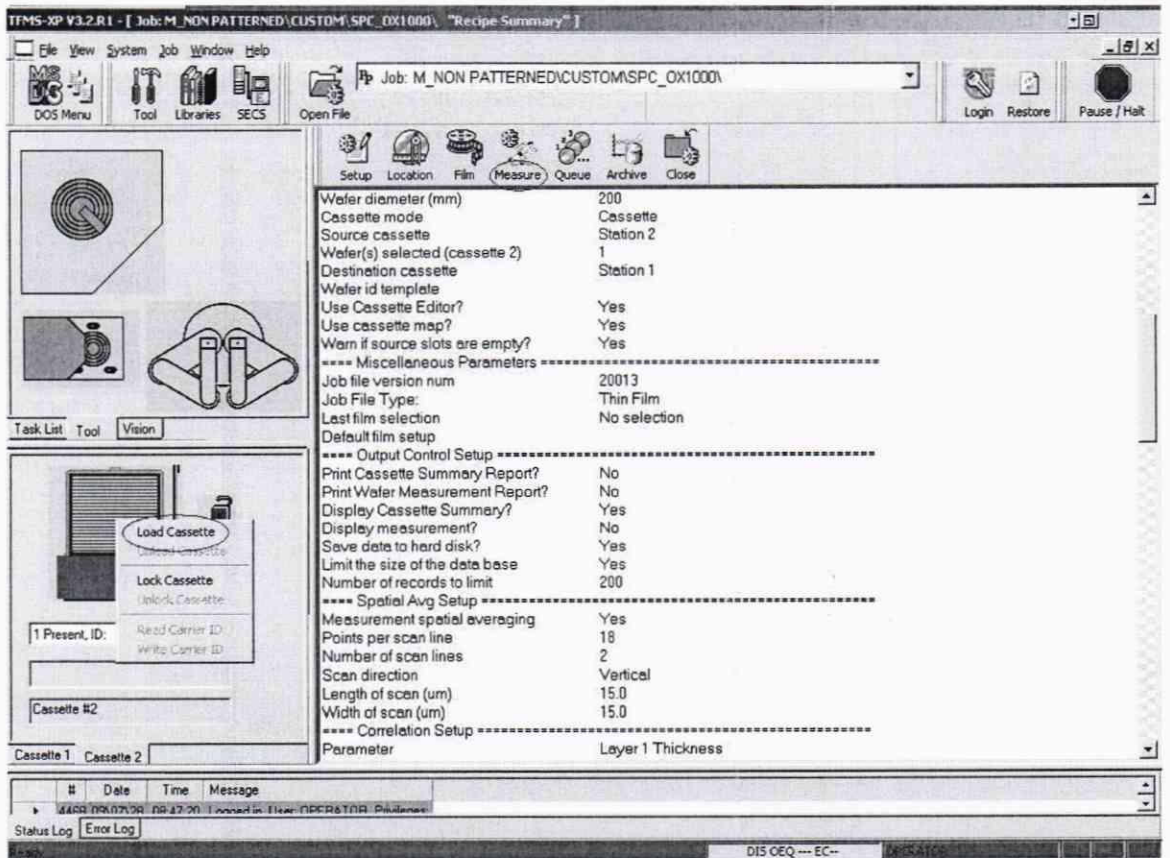


Рисунок 7

В окне под пиктограммой кассеты нажмите стрелку для раскрытия списка. В раскрывшемся списке проверьте, в каких пазах кассеты имеются пластины.

8.7.6. После загрузки кассеты нажмите «Measure», откроется всплывающее меню, как показано на рисунок 9.

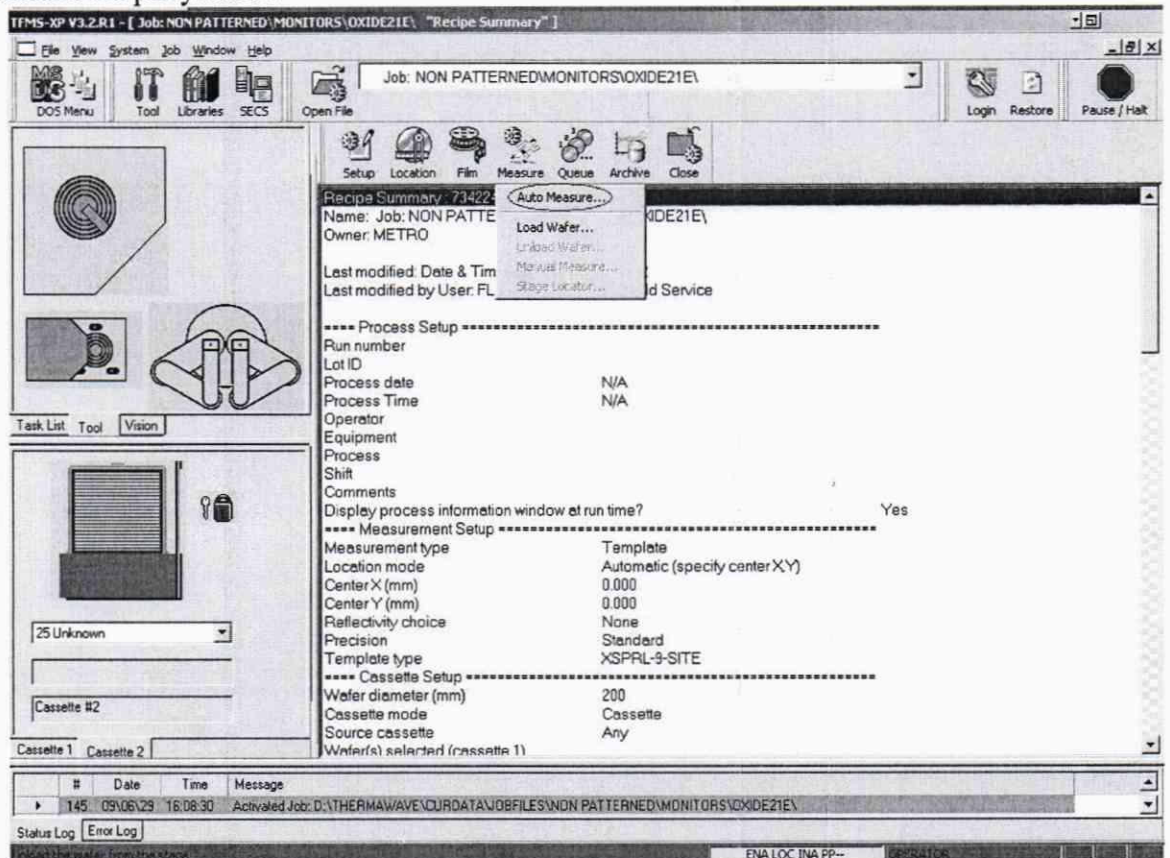


Рисунок 8

8.7.7. Нажмите «Auto Measure» (рисунок 8). Появится окно диалога «Enter Process Information» для ввода информации о процессе (рисунок 9).

The screenshot shows a dialog box titled "Enter Process Information". At the top, there are two dropdown menus: "Source cassette" set to "Station 2" and "Destination" set to "Cassette 2". Below these is a section labeled "Cassette 2" containing several input fields: "Run number", "Lot ID", "Operator", "Equipment", "Process", "Shift", and "Comments". At the bottom of this section is a field for "Wafer(s) selected (cassette 2)" with the value "1". At the very bottom of the dialog are three buttons: "Clear All", "Exit", and "Go".

Рисунок 9

8.7.8 С помощью клавиатуры или эмулятора клавиатуры окна диалога (рисунок 10) введите данные. Нажмите «Enter» на клавиатуре или мышкой в окне диалога.

The screenshot shows a dialog box titled "Lot ID". It features a large text input field at the top containing the characters "1234". Below the input field is a virtual keyboard with keys for numbers 1-0, tilde, hyphen/underscore, equals/asterisk, letters q-w, e-r, t-y, u-i, o-p, left/right parentheses/ampersand, letters a-s, d-f, g-h, j-k, l, semicolon/apostrophe, colon/semicolon/asterisk, letters z-x, c-v, b-n, m, exclamation mark, left/right curly braces, comma/less-than, period/greater-than, forward slash/underscore, hash, dollar, percent, at, and arrow keys. To the right of the keyboard are five buttons: "Exit", "Enter", "Shift", "BackSp", and "Clear".

Рисунок 10

8.7.9 В строку Wafer(s) selected (Cassette 2) введите номера измеряемых пластин (рисунок 11).

Примечание. Номера пластин вводятся через запятую с помощью клавиатуры или эмулятора клавиатуры окна диалога. Диапазон пластин вводится через чёрточку. Количество измерений пластины задаётся через двоеточие.

Пример записи: 1,3,5, 7-10, 11:3, т.е. выбраны пластины № 1,3,5, далее с №7 по №10, пластина №11 будет измеряться 3 раза.

8.7.10 Нажмите Enter на клавиатуре или мышкой в окне диалога.

8.7.11 Нажмите Go в окне диалога (рисунок 9).

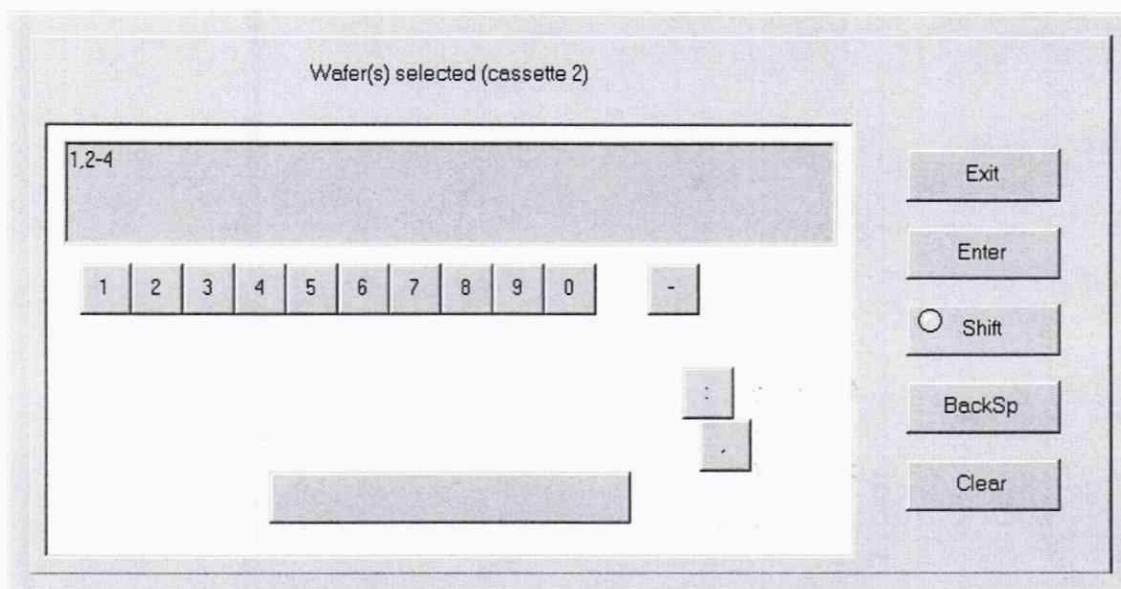


Рисунок 11

8.7.12 Проверьте номер паза пластины для измерения или измените порядок измерения пластин, для чего нажмите на пазы с пластинами для измерения. В чек - боксах появятся крестики (рисунок 12).

Примечания:

1. Можно выбрать/отказаться от выбора пластины, используя клавиши-стрелки «вверх»/«вниз» с последующим нажатием клавиши «пробел».

2. Если был выбран ошибочно паз без пластины, в первой колонке появится красный крест (например, для паза 12) (рисунок 11).

3. Установка позволяет выбрать последовательность измерения пластин, для чего введите номера пластин в желаемой последовательности, например, 5, 3, 10 или сначала выполните Reset ID, затем последовательно становитесь курсором на строки с пластинами в желаемой последовательности, и нажимайте клавишу «пробел».

8.7.13 Нажмите Go (рисунок 12).

Начнётся процесс измерения в автоматическом режиме (загрузка пластин в установку, ориентация по базовому срезу, загрузка пластин на предметный столик, точная ориентация пластин, если она используется, измерение пластин в соответствии с картой обхода, выгрузка пластин).

По завершении измерения появляется сообщение в строке состояния о завершении измерения (рисунок 13, внизу окна).

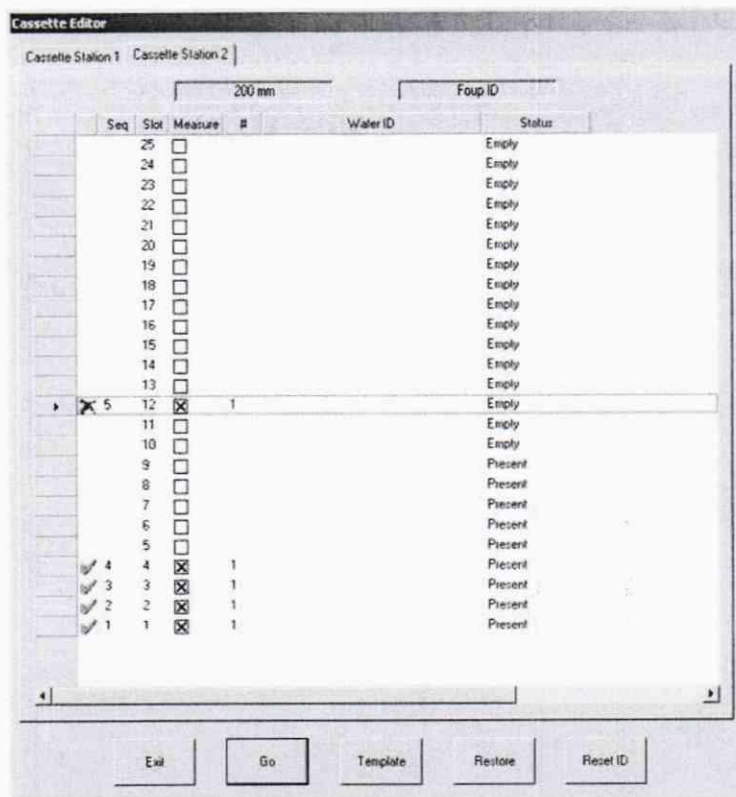


Рисунок 12

Примечания:

1. Пример информации во время измерения показан на рисунке 13.
2. Перед началом измерения партии или в процессе измерения установка калибруется. На экране появляется предупреждающее сообщение (рисунок 13).
3. Запрещается выполнять какие-либо действия с установкой в процессе калибровки.

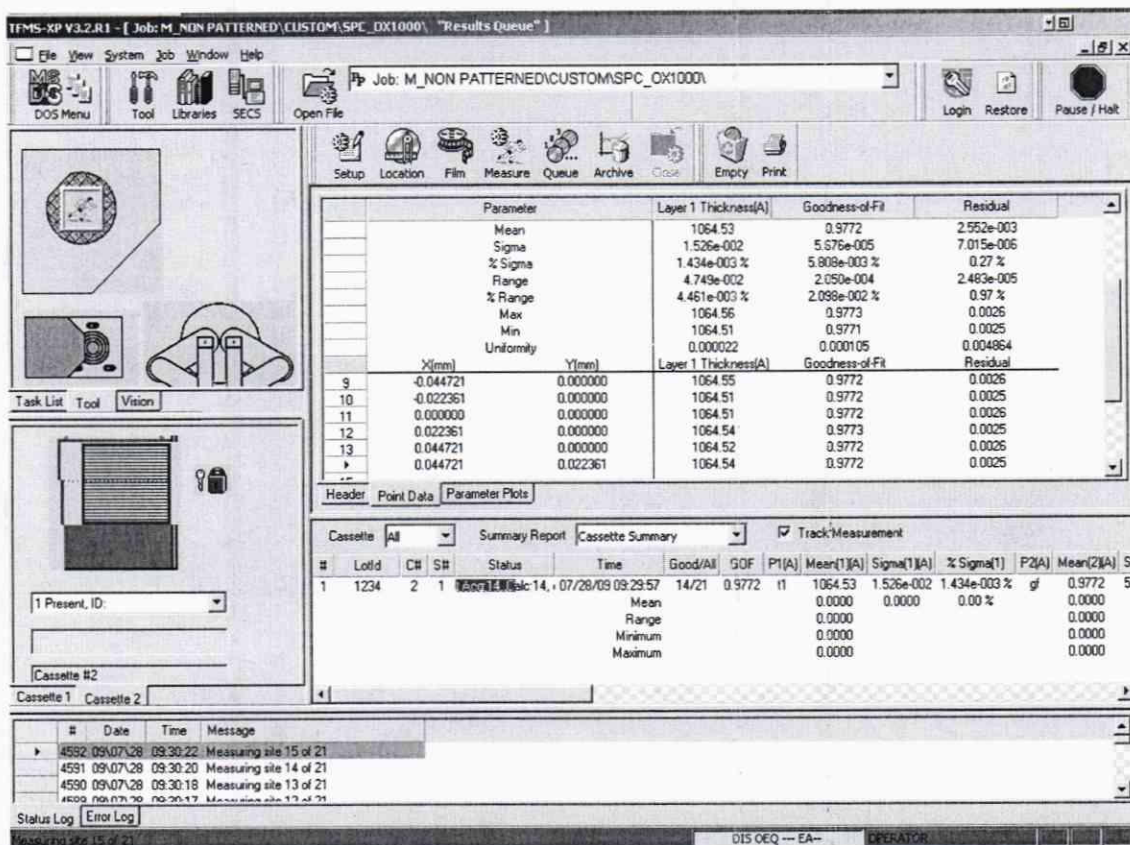


Рисунок 13а

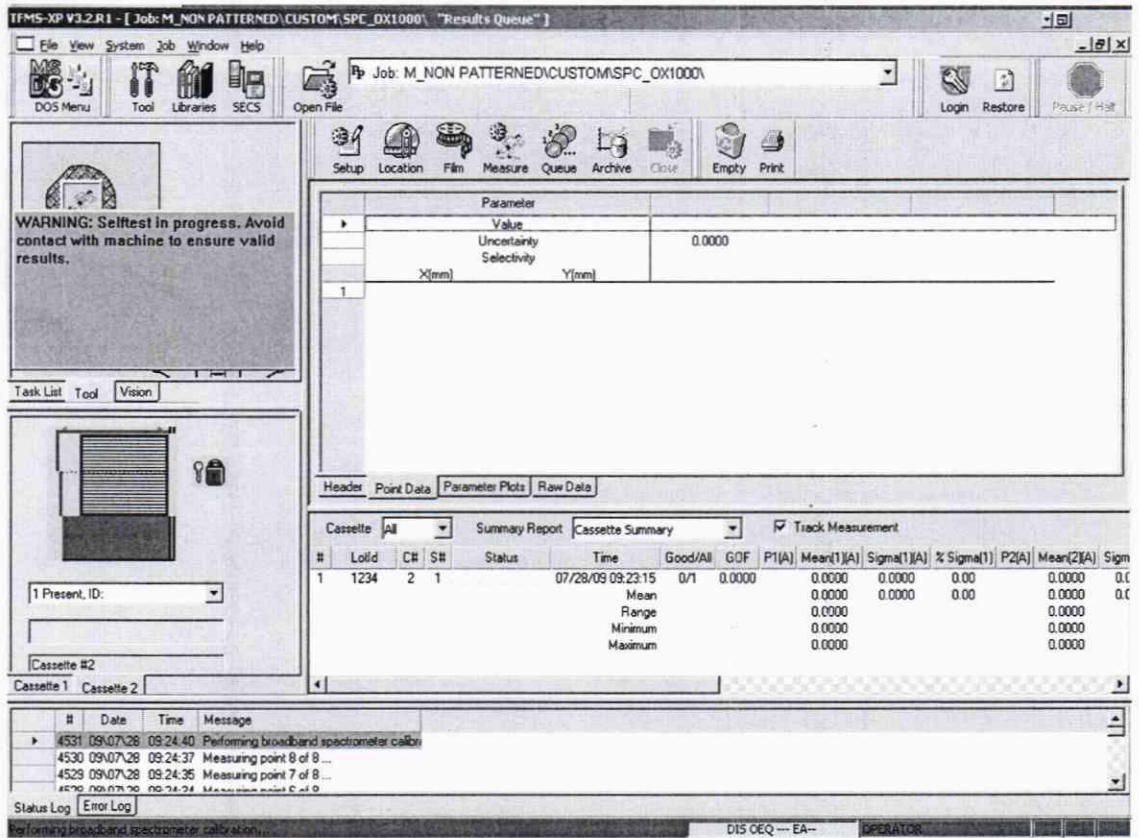


Рисунок 136

8.7.14 Просмотрите результаты измерения в правом нижнем окне главного меню (рисунок 13).

8.7.15 Установка считается прошедшей операцию поверки, если измерения толщины были выполнены по центральным координатам каждой кремниевой пластины. Показателем успешного выполнения измерений будет наличие измеренных значений толщины в центральных участках пластины и отсутствие сообщений об ошибках программного обеспечения.

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 Проверить соответствие заявленных идентификационных данных программного обеспечения: идентификационное наименование программного обеспечения, номер версии программного обеспечения (далее – ПО). Номер версии ПО отображается в заголовке окна программы «TFMS-XP». Также номер версии ПО можно узнать, открыв вкладку «About» в окне программы.

9.2 Установка считается прошедшей поверку, если идентификационные данные программного обеспечения соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	TFMS-XP
Номер версии (идентификационный номер) ПО	V3.2R1 SR-2 HF20 или выше
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода)	-

10 Определение метрологических характеристик средства измерений

10.1 Определение диапазона измерений толщины и определение абсолютной погрешности измерений толщины с помощью ГЭТ 203-2012 и установки методом компарирования.

10.2 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений толщины осуществляется с помощью ГЭТ 203-2012.

10.2.1 Подготовить ГЭТ 203-2012 к работе в соответствии с Приложением А «Правила содержания и применения Государственного первичного эталона единицы комплексного показателя преломления ГЭТ 203-2012».

10.2.2 Расчет толщины покрытий осуществляется с помощью программы «CompleteEASE», входящей в состав ГЭТ 203-2012.

10.2.2.1 Поместить на держатель образца эллипсометра из состава ГЭТ 203-2012 кремниевую пластину диаметром 200 мм с SiO_2 с толщиной пленки: 20 нм, входящую в комплект поставки установки, чтобы требуемая область на мере располагалась в зоне измерений.

10.2.2.2 Переместить переключатель помпы в положение «Вкл» для фиксации пластины на держателе образца (Приложение А «Правила содержания и применения Государственного первичного эталона единицы комплексного показателя преломления ГЭТ 203-2012»).

10.2.2.3 В программе «CompleteEASY» из состава ГЭТ 203-2012 перейти на закладку «Measurement».

10.2.2.4 В поле «Measurement Controls» выбрать следующие параметры (рисунок 7):

«Mode» – «Long»

«Sample Alignment» – «Standard»

«Model» – «None»

10.2.2.5 Поставить галочку напротив «Save Data after Measurement», если необходимо после каждого измерения сохранять в файл измеренные данные эллипсометрических углов Пси и Дельта для всего спектра, иначе – снять.

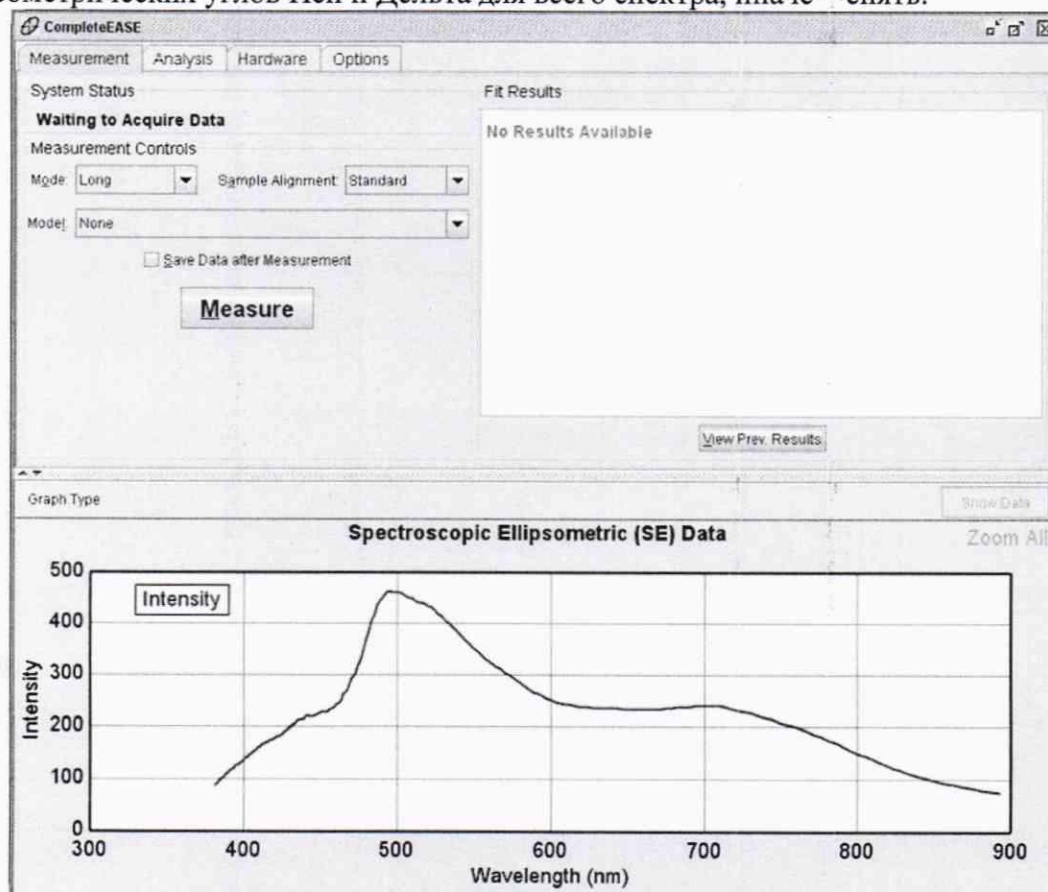


Рисунок 14 – Настройка закладки «Measurement»

10.2.2.6 Нажать кнопку «Measure» для начала измерений (рисунок 14). После завершения процесса измерений в нижней половине окна программы «CompleteEASY» появятся графики зависимости измеренных значений эллипсометрических углов Пси и Дельта от длины волны (рисунок 15).

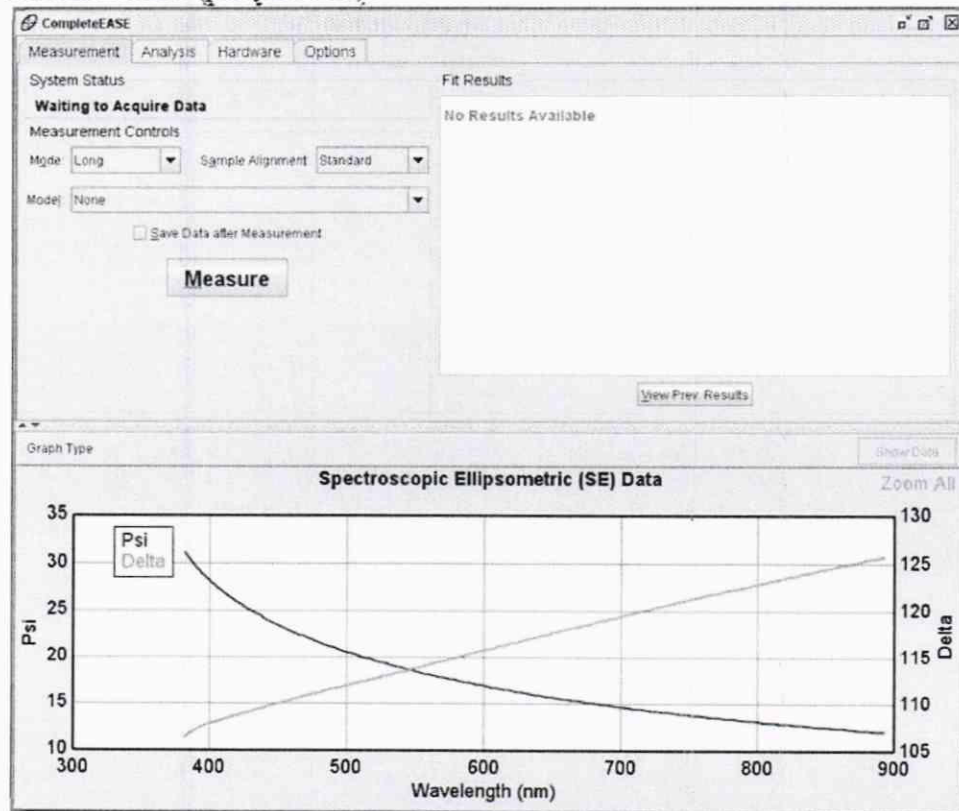


Рисунок 15 – Получение результатов

10.2.2.7 Перейти во вкладку «Analysis» и в поле «Model» нажать кнопку «Open» (рисунок 9).

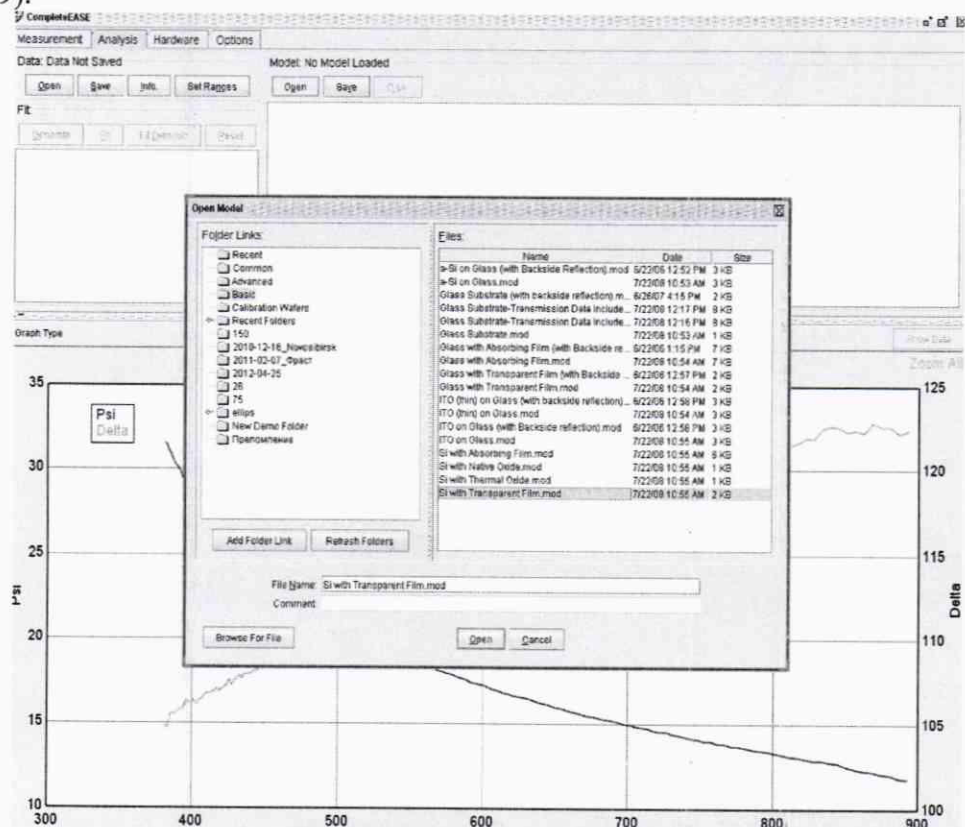


Рисунок 16 – Открытие документа

10.2.2.8 В открывшемся окне «Open Model» выбрать директорию «Basic» и модель «Si with Transparent Film.mod» (рисунок 16). Нажать кнопку «Open».

10.2.2.9 В окне программы «CompleteEASY» перейти в поле «Fit» и нажать кнопку «Fit» (рисунок 16). В поле «Fit» появятся рассчитанные значения толщины слоя «Thickness» (рисунок 17).

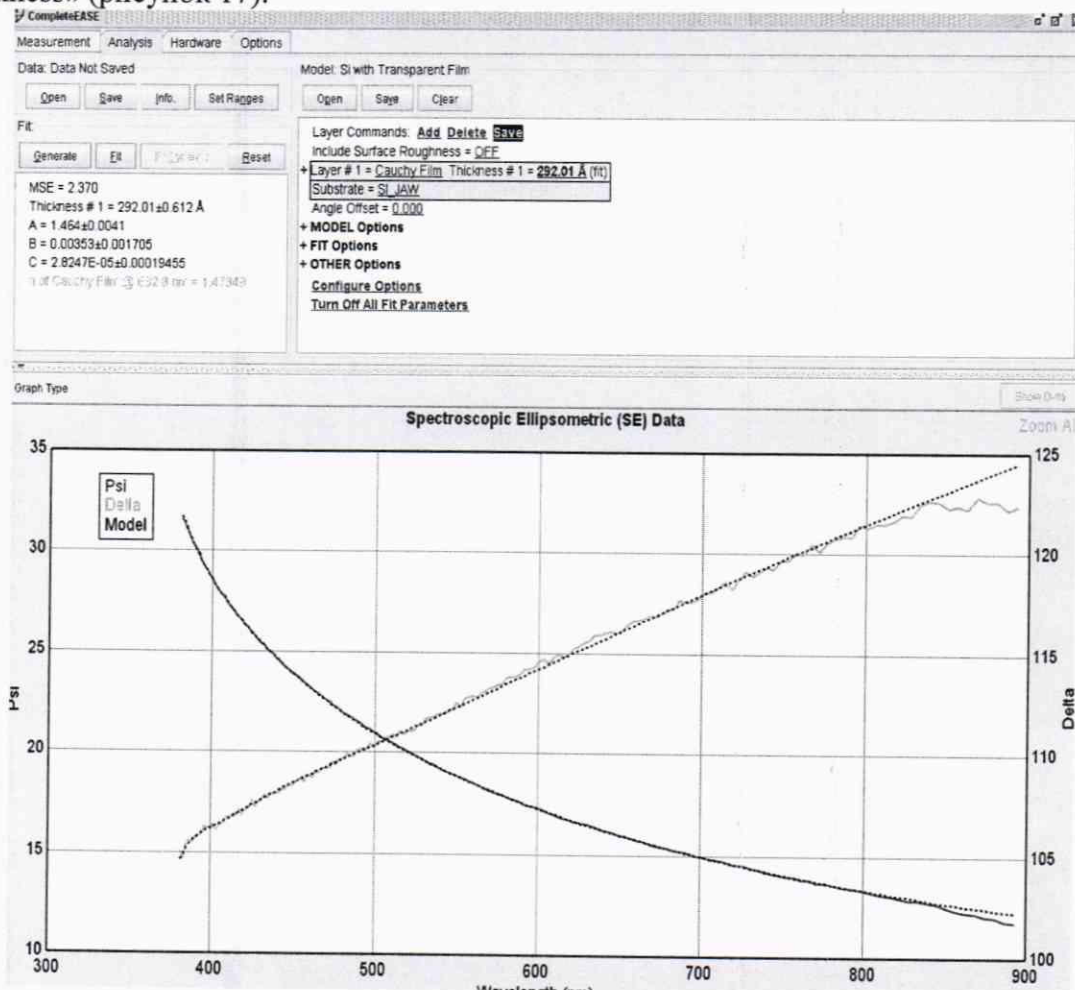


Рисунок 17 – Выбор директории

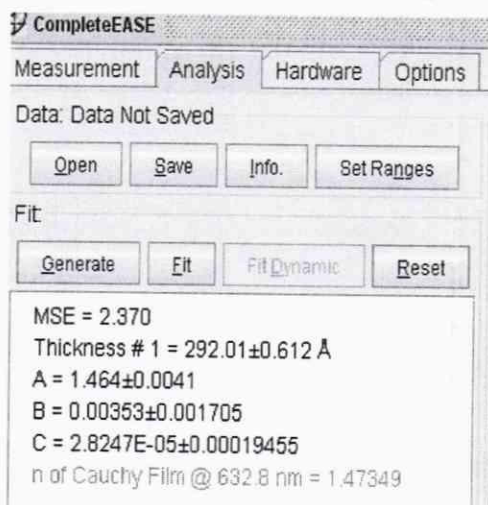


Рисунок 18 – Результаты расчета толщины

10.2.2.10 Результаты измерений толщины (рисунок 18) занести в протокол (Приложение А).

10.2.2.11 Повторить п.п. 10.2.2.1 - 10.2.2.10 для каждой кремниевой пластинки не менее 5 раз.

10.3 Определение толщины покрытия с помощью установки.

10.3.1 Определение толщины покрытия кремниевые пластинки с помощью установки произвести в соответствии с п. 7.2. настоящей методики поверки не менее 5 раз для каждой кремниевой пластинки..

10.3.2 Результаты измерений толщины участка кремниевой пластины занести в протокол (Приложение А).

11 Подтверждение соответствия средств измерений метрологическим требованиям

11.1 Расчет толщины покрытия в виде слоя двуокиси кремния на подложке, нм, проводится с помощью программы «CompleteEASE» согласно п. 10.2.

11.1.1 За результат расчета толщины покрытия, нм, принимается среднее арифметическое значение результатов измерений толщины для каждой кремниевой пластинки по формуле (1):

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

где x_i – результат измерений толщины меры с помощью ГЭТ 203-2012, нм;
 $i = 1, 2, \dots$ - номер измерения;
 $n = 5$ – количество измерений.

11.1.2 Повторить пп. 8.1.1 для каждой меры. Результаты измерений толщины участка пластин занести в протокол (Приложение А).

11.2 За результат расчета толщины покрытия, нм, с помощью установки принимается среднее арифметическое значение результатов измерений толщины для каждой кремниевой пластинки по формуле (2):

$$\bar{x}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{y_i}, \quad (2)$$

где x_{y_i} – результат измерений толщины меры с помощью установки, нм;
 $i = 1, 2, \dots$ - номер измерения;
 $n = 5$ – количество измерений.

11.3 Установка считается прошедшей операцию поверки, если диапазон измерений толщины покрытия соответствует значениям от 20 до 800 нм, а предел абсолютной погрешности измерений толщины Δ , вычисленный по формуле (3) не превышает значения, указанные в таблице 3.

Таблица 3 - Предел абсолютной погрешности измерений толщины

Наименование характеристики	Значение
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины, нм:	
- в диапазоне от 20 до 300 включ. нм;	± 2
- в диапазоне св. 300 до 800 включ. нм.	± 3

$$\Delta = \pm |\bar{x} - \bar{x}_y|, \quad (3)$$

где \bar{x} – среднее значение толщины пластины, полученное с помощью ГЭТ 203-2012,

\bar{x}_y – среднее значение толщины пластины, полученное с помощью установки.

12 Оформление результатов поверки

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

12.2 При положительных результатах поверки по запросу заказчика может быть оформлено свидетельство о поверке в установленной форме.

12.3 При отрицательных результатах поверки по запросу заказчика может быть оформлено извещение о непригодности в установленной форме с указанием причин непригодности.

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

Начальник отдела М-44
ФГУП «ВНИИОФИ»



В.Л. Минаев

Начальник лаборатории отдела М-44
ФГУП «ВНИИОФИ»



Г.Н. Вишняков

Старший научный сотрудник отдела М-44
ФГУП «ВНИИОФИ»



И.В. Горяинова

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)
к Методике поверки МП 016.М44-21

**«УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЛОЕВ OPTI PROBE 7341 XP»**

ПРОТОКОЛ
первичной / периодической поверки
от «__» _____ 20__ года

Средство измерений: установка для контроля толщины диэлектрических и полупроводниковых слоев Opti Probe 7341 XP

Зав.№ _____ ; год выпуска _____ ;

Заказчик _____
Наименование юридического лица, ИНН

Поверено в соответствии с методикой поверки «Установка для контроля толщины диэлектрических и полупроводниковых слоев Opti Probe 7341 XP. Методика поверки МП 016.М44-21», согласованной ФГУП «ВНИИОФИ»
Наименование документа на поверку, кем утвержден (согласован), дата

С применением эталонов _____
(наименование, заводской номер, разряд, класс точности или погрешность)

Место проведения поверки: _____
(адрес места проведения поверки)

Условия поверки:

- температура окружающего воздуха, °С
- относительная влажность воздуха, %
- атмосферное давление, кПа

Результаты поверки:

Таблица 1. Соответствие результатам поверки

Операция поверки	Соответствие требованиям методики поверки
Внешний осмотр	
Проверка идентификации программного обеспечения	
Опробование	
Определение метрологических характеристик	
Определение диапазона измерений толщины и определение абсолютной погрешности измерений толщины	

Таблица 2 – Результаты измерений

наименование меры	Пластина №	Пластина №	Пластина №
Номинальное значение толщины покрытия, нм	20,00	300,00	800,00
Измеренные значения значение толщины покрытия на ГЭТ 203-2012, нм			
Среднее измеренное значение толщины покрытия ГЭТ 203-2012, нм			
Измеренные значения значение толщины покрытия на установке, нм			
Среднее измеренное значение толщины покрытия на установке, нм			
Разность значений толщины покрытия, измеренной на ГЭТ 203-2012 и установке, нм			
Предел абсолютной погрешности измерений не более, нм	4	8	10

Рекомендации

Средство измерений признать пригодным (или непригодным) для применения

Поверитель:

ФИО, должность, подпись