

г.р. 11648 - 88

**КОНТРОЛЬНЫЙ  
ЭКЗЕМПЛЯР**

СОГЛАСОВАНО  
ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛИ ПРЕДПРИЯТИЯ  
П/я В-8584  
А. И. ТРУБНИКОВ  
\_\_\_\_\_ 198\_\_ г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
Эллипсометр ЛЭЭ-ЭМ-1  
Методика поверки.

Нач. отдела  
предприятия П/я В-8584  
\_\_\_\_\_ В. П. Кузнецов.

Зам. главного инженера  
предприятия П/я А-7137  
\_\_\_\_\_ А. Г. Куксов.

Ведущий инженер  
предприятия П/я В-8584  
\_\_\_\_\_ М. О. Бочарова.

Главный метролог  
предприятия П/я А-7137  
\_\_\_\_\_ А. Д. Шахов.

Федеральное бюро испытаний и сертификации  
«Государственный региональный центр  
стандартизации, метрологии и  
испытаний в Томской области»  
634012 Томская область,  
г. Томск ул. Космонавта д. 47/б

1989г.

Настоящие методические указания распространяются на эллипсометры ЛЭФ-ЗМ-1 ТУЗ-3.2109-88 и устанавливают методику их первичной и периодической поверок.

## 1. ОПЕРАЦИИ И СРЕДСТВА ПОВЕРКИ.

1.1. При проведении поверки эллипсометра должны быть выполнены следующие операции и применены средства поверки, указанные в таблице.

Наименование операции	Номер пункта методических указаний.	Наименование образцового средства измерений основные метрологические характеристики.
Внешний осмотр.	4.1.	
Спробование	4.2.	
Определение метрологических характеристик	4.3.	Образцовая эллипсометрическая призма (приложение 2) $\delta\psi \pm 1,5; \delta\Delta \pm 2.$

## 2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.

2.1. Электронная аппаратура эллипсометра в части требований безопасности должна соответствовать ГОСТ 22261-82 и ГОСТ ГОСТ 12.007.0-75.

2.2. Эллипсометр должен быть надежно заземлен, во время работы кожухи электронной аппаратуры должны быть закрыты.

2.3. Присоединение кабелей связи и замену предохранителей производить до включения прибора в сеть.

2.4. Установленные предохранители должны соответствовать маркировке на панелях эллипсометра.

2.5. Запрещается вскрывать и переставлять составные части эллипсометра при включенных кабелях питания.

2.6. При использовании в качестве источника монохроматического излучения лазера необходимо пользоваться светофильтрами ГОСТ 9411-81Е, руководствоваться эксплуатационной документацией на лазеры и "Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров," утвержденными Минздравом СССР от 21.04.81г. № 2392-81.

## 3. УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ И ПОДГОТОВКИ К НЕЙ.

3.1. При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

температура окружающего воздуха, °C 20<sup>+</sup>-5  
колебания температуры на время измерения параметров  $\psi, \Delta$   
в четырех зонах, °C не более 0,5  
относительная влажность воздуха, % не более 80  
напряжение сети, В 220±22  
частота сети, Гц 50±0,5

Электронные блоки эллипсометра перед началом работы необходимо прогреть в течение времени, указанного в паспорте на прибор.

#### 4. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ.

##### 4.1. Внешний осмотр.

4.1.1. При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие эллипсометра следующим требованиям:  
наличие полного комплекта прибора в соответствии с паспортом;  
наличие маркировки типа прибора, товарного знака предприятия-изготовителя, заводского номера, года выпуска;  
наличие четкой гравировки штрихов, надписей и цифр; отсутствие дефектов и повреждений наружных поверхностей, влияющих на его эксплуатационные характеристики и ухудшающие внешний вид.

##### 4.2. Опробование.

4.2.1. При опробовании необходимо убедиться в том, что плечи поляризатора и анализатора поднимаются и опускаются плавно, без скачков и заеданий. Проверить плавность линейного перемещения и надежность фиксации предметного столика вокруг вертикальной оси на 360°, пределы его перемещения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и механизм качания столика в горизонтальной плоскости.

4.2.2. Вращение поляризационных элементов должно быть плавным, без рывков и заеданий.

4.2.3. Проверить возможность визуальной индикации светового пучка на экране для чего:

включить электронный блок эллипсометра и источник питания лазера в сеть. Убедиться, что на предметном столике появляется световое пятно, и при нажатии кнопки ВКЛ электронного блока загорается лампа подсветки шкалы индикатора интенсивности пучка излучения.

Эллипсометр считается опробованным, если появляется световое пятно и загорается лампа подсветки.

##### 4.3. Определение метрологических характеристик.

4.3.1. Перед определением метрологических характеристик эллипсометра необходимо провести измерение нулевых параметров прибора  $P_0$ ,  $A_0$ ,  $C_0$ , для этого:

4.3.2. Установить на предметный столик эллипсометра юстировочную пластину из комплекта прибора.

4.3.3. Механизмом подъема плеч установить угол падения  $2\psi = 140^\circ$ .

4.3.4. Вращением поляризатора, анализатора и компенсатора добиться минимального значения интенсивности света на выходе анализатора и зафиксировать соответствующие углы  $P_1$ ,  $A_1$ ,  $C_1$ .

4.3.5. Перевести анализатор из положения  $A_1$  в положение  $A_2 = A_1 \pm 90^\circ$ .

4.3.6. Вращением поляризатора и компенсатора добиться гашения света на выходе анализатора. Зафиксировать азимутальные углы  $P_2$  и  $C_2$ .

4.3.7. Перевести поляризатор в положение  $P_3 = P_2 \pm 90^\circ$ .

4.3.8. Вращением анализатора и компенсатора получить минимум интенсивности света на выходе анализатора, зафиксировав при этом азимутальные углы  $A_3$  и  $C_3$ .

4.3.9. Повторить пункты 4.3.4.-4.3.7., каждый раз фиксируя значения азимутальных углов  $P_n$ ,  $A_n$ ,  $C_n$  до тех пор, пока значения  $P_n$ ,  $A_n$ ,  $C_n$  не будут отличаться от значения  $P_{n-2}$ ,  $A_{n-2}$ ,  $C_{n-2}$  более, чем на цену деления лимба угломерного устройства.

4.3.10. Установить угол падения пучка излучения, равный углу Брюстера для материала, из которого изготовлена юстировочная пластинка ( приложение I ), равный  $56^\circ 40'$ .

4.3.11. Установить на лимбах поляризатора и компенсатора значения  $P_n$  и  $C_n$ . Если гашение света наблюдается при любом положении анализатора, то  $P_n = P_0$ ,  $C_n = C_0$ ,  $A_n = A_0$ . Если гашение света наблюдается при определенном положении анализатора ( $A_n$ ), то  $P_{n-1} = P_0$ ,  $C_{n-1} = C_0$ ,  $A_{n-1} = A_0$ . Пример определения нулевых параметров приводится в приложении 3.

4.3.12. Проверка эллипсометра осуществляется посредством определения поляризационных углов  $\psi$  и  $\Delta$  образцовой эллипсометрической призмы ( приложение 2 ),

4.3.13. Поместить призму на предметный столик и его перемещениями и механизмом подъема плеч привести призму в рабочее положение: падающий луч попадает в центр экрана призмы, проходит сквозь переднюю грань, отражается от основания и выйдя из призмы, попадает в центр приемной части эллипсометра. Отраженный от передней грани луч должен попасть в центр диафрагмы плеча поляризатора.

4.3.14. Механизмом подъема плеч установить угол падения рабочего пучка излучения, указанный в свідетельстве о метрологической аттестации образцовой эллипсометрической призмы. Убедиться, что призма находится в рабочем положении, в противном случае достигая этого регулировкой рабочего столика.

4.3.15. Произвести измерения азимутов поляризатора P и анализатора A в положении гашения при заданных положениях компенсатора в каждой из четырех измерительных зон эллипсометра согласно техническому описанию на приборе (раздел II).

Повторить пункт 4.3.15. десять раз, при этом положение образцовой эллипсометрической призмы должно оставаться постоянным.

## 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.

5.1. Вычислить значения поляризационных углов  $\psi$  и в каждой из четырех измерительных зон по формулам:

$$\psi_1 = (\Lambda_1 - \Lambda_0) \quad \Delta_1 = -2(P_1 - P_0) \frac{\pi}{2} \pm 2\pi n \quad (5.1.)$$

$$\psi_2 = (\Lambda_2 - \Lambda_0) \quad \Delta_2 = -2(P_2 - P_0) \frac{\pi}{2} \pm 2\pi n \quad (5.2.)$$

$$\psi_3 = (\Lambda_3 - \Lambda_0) \quad \Delta_3 = 2(P_3 - P_0) + \frac{\pi}{2} \pm 2\pi n \quad (5.3.)$$

$$\psi_4 = (\Lambda_4 - \Lambda_0) \quad \Delta_4 = 2(P_4 - P_0) - \frac{\pi}{2} \pm 2\pi n \quad (5.4.)$$

где,  $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3, \Lambda_4, P_1, P_2, P_3, P_4$  — значения азимутов анализатора и поляризатора в положении гашения в соответствующих зонах, выраженные в угловых градусах (из п.4.3.15.  $\Lambda_0, P_0$  — калибровочные параметры из п.4.3.11.).

5.2. Вычислить усредненные по четыре измерительных зонам значения поляризационных углов  $\psi_i, \Delta_i$  по формулам:

$$\bar{\psi} = \frac{1}{4} (\psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \psi_4) \quad (5.5)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{4} (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4) \quad (5.6.)$$

5.3. Вычислить среднее арифметическое значение из десяти измерений поляризационных углов  $\bar{\psi}$  и  $\bar{\Delta}$  по формулам:

$$\bar{\psi} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \psi_i \quad (5)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \Delta_i \quad (6)$$

5.4. Допускаемая основная абсолютная погрешность определения поляризационных углов вычисляется по формулам:

$$\delta\psi = \bar{\psi} - \psi_{np} \quad (9)$$

$$\delta\Delta = \bar{\Delta} - \Delta_{np} \quad (10)$$

где  $\psi_{np}$ ,  $\Delta_{np}$  — номинальные значения поляризационных углов образцово́й призмы, занесенные в свидетельство при ее метрологической аттестации.

5.5. Поверяемый эллипсометр считается годным, если определенные в п.5.4. значения  $\delta\psi$ ,  $\delta\Delta$  не превышают допускаемых основных абсолютных погрешностей, указанных в паспорте на прибор ( $\pm 0,08^\circ$  и  $\pm 0,1^\circ$ ).

## 6. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.

6.1. Положительные результаты первичной поверки эллипсометра оформляются записью в паспорте.

6.2. Положительные результаты периодической поверки эллипсометра, проведенной метрологической службой оформляются в установленном порядке.

6.3. При отрицательных результатах поверки эллипсометр к выпуску в обращение и применение не допускается и выдается извещение о его непригодности.

## Приложение I

## Справочное.

## ТЕРМИНЫ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Поляризационный угол  $\psi = \arctg |R_p / R_s|$ , где  $|R_p|, |R_s|$  — отношения амплитуд колебаний электрического вектора отраженной волны к амплитуде падающей волны, поляризованных соответственно в плоскости падения и перпендикулярно ей.

Поляризационный угол  $\Delta = \delta_{rp} - \delta_{rs}$ , где  $\delta_{rp}, \delta_{rs}$  — фазовые сдвиги, претерпеваемые при отражении соответствующих  $p$  и  $s$  — компонентами электрического вектора световой волны.  
 $P_0$  — угловое положение поляризатора, при котором это направление пропускания совпадает с плоскостью падения рабочего пучка излучения.

$A_0$  — угловое положение анализатора при котором это направление пропускания совпадает с плоскостью падения рабочего пучка излучения.

$C_0$  — угловое положение компенсатора, расположенного между поляризатором и анализатором, при котором происходит гашение излучения, прошедшего через поляризатор в положении  $P_0$ , анализатор в положении  $A_0 + 90^\circ$ ; при этом главные оси компенсатора совпадают с плоскостью падения рабочего пучка излучения и плоскостью вертикаликулярной ей.

Угол Брюстера — угол падения светового луча, при котором отраженный от диэлектрика свет полностью поляризуется.  $\varphi_{BP} = \arctg \frac{n_2}{n_1}$ , где  $n_2$  — показатель преломления среды, от которой отражается луч,  $n_1$  — показатель преломления среды в которой распространяется луч.

Плоскость падения — плоскость, содержащая в себе падающий луч, отраженный луч и нормаль к поверхности, на которую падает луч.

Приложение 2.

ОБРАЗЦОВАЯ ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРИЗМА.

I. Технические требования.

I.1. Эллипсометрическая призма Э 52.005.00.00 состоит из стеклянной призмы с металлизированным основанием 552.005.00.01 и основаниями 552.005.00.02 с экраном 552.005.00.03, предохраняющими от повреждения рабочей поверхности.

I.2. Стеклянная призма должна закрепляться на основании в ненапряженном состоянии.

I.3. При измерении запрещается касаться руками рабочей поверхностью эллипсометрической призмы.

I.4. Рабочие поверхности эллипсометрической призмы перед измерениями очищать от пыли с помощью обдува воздухом из резиновой груши.

2. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

2.1. Эллипсометрическая призма между измерениями должна быть всегда прикрыта крышкой 552.005.00.06 и помещена в футляр 552.006.00.00.

2.2. На футляре должны быть нанесены: обозначения настоящих методических указаний, номер образцовой эллипсометрической призмы.

2.3. Образцовые эллипсометрические призмы могут транспортироваться любым видом крытого транспорта при условии предохранения их от воздействия атмосферных осадков.

2.4. Образцовые эллипсометрические призмы должны храниться в сухих отапливаемых помещениях при температуре воздуха от 10 до 35°C и относительной влажности не более 80%. Воздух в помещении не должен содержать примесей агрессивных паров и газов.



## ОПТИЧЕСКАЯ КОСТИРОВКА.

( Пример определения нулевых параметров ).

P	C	A
180°00	359°42	94°12
81°02	8°46	<u>184°12</u>
171°02	8°46	116°58
37°24	321°53	<u>206°58</u>
127°24	322°09	165°15
187°03	352°35	<u>75°15</u>
97°03	352°28	358°10
182°11	357°27	<u>8 8°10</u>
92°11	357°27	0°
181°32	358°06	<u>90°00</u>
<u>91°32</u>	358°06	0°14
181°25	358°06	<u>90°00</u>
<u>91°32</u>	358°06	0°14
181°25	358°13	<u>90°14</u>
<u>91°25</u>	358°13	0°16
181°26	358°13	<u>90°16</u>
<u>91°26</u>	358°13	0°16
181°26	358°13	90°16

$$P_0 = 181^\circ 26$$

$$C_0 = 358^\circ 13$$

$$A_0 = 0^\circ 16$$