

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
8.643—  
2008

---

Государственная система обеспечения  
единства измерений

**РЕФЛЕКТОМЕТРЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН 10—30 нм**

**Методика поверки**

Издание официальное

БЗ 10—2007/329



Москва  
Стандартинформ  
2008

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

### Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП ВНИИОФИ)

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 июня 2008 г. № 113-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет*

Государственная система обеспечения единства измерений

**РЕФЛЕКТОМЕТРЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН 10—30 нм****Методика поверки**State system for ensuring the uniformity of measurements.  
Reflectometers for extreme ultraviolet radiation in 10—30 nm wave-length range. Verification procedure

Дата введения — 2009—02—01

**1 Область применения**

Настоящий стандарт распространяется на средства измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражений в диапазоне экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения — ЭУФ-рефлектометры, используемые в диапазоне измеряемых значений коэффициентов зеркального и диффузного отражений от 0,01 до 0,7 в диапазоне длин волн 10 — 30 нм (далее — ЭУФ-рефлектометры), и устанавливает методику их поверки.

Измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражений в диапазоне ЭУФ проводят для определения эффективности зеркал и дифракционных решеток при контроле технологических процессов формирования многослойных наноструктур.

В качестве источников ЭУФ-излучения используют источники синхронного излучения, переходного излучения и излучатели типа плазменный фокус. В качестве приемников ЭУФ-излучения используют кремниевые фотодиоды с многослойными нанопокрывтиями, вторичные электронные умножители и каналные электронные умножители.

Межповерочный интервал — не более одного года.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.197—2005 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости в диапазоне длин волн от 0,04 до 0,25 мкм.

ГОСТ 8.207—76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения

ГОСТ 8.552—2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений потока излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,03 до 0,40 мкм

**П р и м е ч а н и е** — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Операции поверки

При проведении поверки выполняют операции:

- внешний осмотр (8.1);
- опробование (8.2);
- определение метрологических характеристик (8.3);
- определение предела допускаемой погрешности ЭУФ-рефлектометров при измерении коэффициента зеркального отражения (8.3.1);
- определение предела допускаемой погрешности ЭУФ-рефлектометров при измерении коэффициента диффузного отражения (8.3.2).

Выполнение указанных операций при первичной и периодической поверках является обязательным.

### 4 Средства поверки

При проведении операций поверки по 8.3.1 и 8.3.2 ЭУФ-рефлектометров применяют следующее средство поверки:

- установку для измерений коэффициента линейности чувствительности фотоприемников ЭУФ-рефлектометров в составе рабочего эталона по ГОСТ 8.197 и ГОСТ 8.552, включающую в себя источники ЭУФ-излучения, спектральный компаратор и набор нейтральных ослабителей. Суммарное среднее квадратическое отклонение (СКО) указанной установки — 5 %.

### 5 Требования безопасности

При поверке ЭУФ-рефлектометров соблюдают правила электробезопасности. Измерения должны проводить два оператора, аттестованные по группе электробезопасности не ниже III, прошедшие инструктаж на рабочем месте по безопасности труда при эксплуатации электроустановок.

### 6 Требования к квалификации поверителей

Поверку должны проводить лица, аттестованные в качестве поверителей, освоившие работу с ЭУФ-рефлектометрами и используемыми средствами поверки, изучившие настоящий стандарт и эксплуатационные документы на средства поверки и ЭУФ-рефлектометры.

### 7 Условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха . . . . . (20 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха . . . . . (65 ± 15) %;
- атмосферное давление . . . . . от 84 до 104 кПа;
- напряжение питающей сети. . . . . (220 ± 4) В;
- частота питающей сети . . . . . (50 ± 1) Гц.

### 8 Подготовка и проведение поверки

Поверка ЭУФ-рефлектометров включает в себя подготовку к поверке, внешний осмотр, опробование и определение метрологических характеристик. При подготовке к поверке ЭУФ-рефлектометров необходимо включить все приборы в соответствии с их инструкциями по эксплуатации.

#### 8.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должны быть установлены:

- соответствие комплектности ЭУФ-рефлектометров паспортным данным;
- отсутствие механических повреждений блоков ЭУФ-рефлектометров, сохранность соединительных кабелей и сетевых разъемов;
- четкость надписей на панели ЭУФ-рефлектометров;
- наличие маркировки (тип и заводской номер ЭУФ-рефлектометров);
- отсутствие сколов, царапин и загрязнений на оптических деталях ЭУФ-рефлектометров.

## 8.2 Опробование

При опробовании должны быть установлены:

- наличие показаний ЭУФ-рефлектометров при освещении ЭУФ-излучением;
- правильное функционирование переключателей пределов измерений, режимов работы ЭУФ-рефлектометров.

## 8.3 Определение метрологических характеристик

### 8.3.1 Определение основной погрешности ЭУФ-рефлектометров при измерении коэффициента зеркального отражения

При измерении коэффициента зеркального отражения в ЭУФ-рефлектометр устанавливают плоское зеркало с многослойным покрытием. На монохроматоре ЭУФ-рефлектометра устанавливают длину волны 10 нм, соответствующую наименьшей длине волны рабочего диапазона ЭУФ-рефлектометра, и угол падения излучения на зеркало  $\varphi$ , равный  $45^\circ$ .

Фотоприемник ЭУФ-рефлектометра поочередно устанавливают в положение для измерения интенсивности прямого и зеркально отраженного пучков излучения, регистрируют сигналы фотоприемника для прямого пучка  $I^o(\lambda)$  и зеркально отраженного пучка  $I_r(\lambda)$  (приложение А). Затем на входе фотоприемника устанавливают блокирующий фильтр и регистрируют показания фотоприемника для прямого пучка  $J^o(\lambda)$  и зеркально отраженного пучка  $J_r(\lambda)$ , соответствующие рассеянному излучению в монохроматоре ЭУФ-рефлектометра. В качестве блокирующих фильтров используют фильтр из стекла  $MgF_2$  толщиной 1,5 мм. Измерения  $I^o(\lambda)$ ,  $I_r(\lambda)$ ,  $J^o(\lambda)$  и  $J_r(\lambda)$  выполняют 5 раз.

Результат  $i$ -го измерения коэффициента зеркального отражения  $\rho_{ri}(\lambda)$  рассчитывают по формуле

$$\rho_{ri}(\lambda) = [I_{ri}(\lambda) - J_{ri}(\lambda)] / [I_i^o(\lambda) - J_i^o(\lambda)]. \quad (1)$$

Вычисляют среднее арифметическое значение  $\bar{\rho}_r(\lambda)$ . Оценку относительного среднего квадратического отклонения  $S_0$  результатов  $n$  независимых измерений определяют по формуле

$$S_0 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n [\bar{\rho}_r(\lambda) - \rho_{ri}(\lambda)]^2 \right)^{0,5}}{\bar{\rho}_r(\lambda) [n(n-1)]^{0,5}}. \quad (2)$$

Определение  $\bar{\rho}_r(\lambda)$  и  $S_0$  повторяют для длин волн  $\lambda_j$  в пределах рабочего спектрального диапазона ЭУФ-рефлектометра с шагом 1,0 нм. При значении  $\rho_r(\lambda)$  не менее 0,01 для всех длин волн  $\lambda_j$  значение  $S_0$  не должно превышать 3 %.

Коэффициент линейности ЭУФ-рефлектометра определяется отклонением чувствительности фотоприемника ЭУФ-рефлектометра (далее — фотоприемник) от постоянного значения в рабочем диапазоне измеряемой величины.

Определение коэффициента линейности чувствительности фотоприемника при измерении зеркального отражения проводят на установке в составе рабочего эталона по ГОСТ 8.197 и ГОСТ 8.552 с использованием источника ЭУФ-излучения. Регистрируют показания фотоприемника без нейтральных ослабителей  $I_\Sigma$  и при использовании двух нейтральных ослабителей  $I_1$  и  $I_2$ . Показание  $I_\Sigma$  фотоприемника должно соответствовать верхнему пределу диапазона измерения коэффициента зеркального отражения. Измерения выполняют 5 раз с использованием экранирующих заслонок и рассчитывают коэффициент линейности чувствительности фотоприемника ЭУФ-рефлектометра  $G$  для каждого измерения по формуле

$$G = |I_1 I_2 / I_\Sigma (I_1 + I_2)|. \quad (3)$$

Определяют среднее арифметическое значение  $\bar{G}$  коэффициента линейности чувствительности фотоприемника ЭУФ-рефлектометра, относительное среднее квадратическое отклонение (СКО)  $S_0$ , суммарное СКО результатов измерений по формуле (2) и рассчитывают погрешность ЭУФ-рефлектометра, вызванную отклонением значения коэффициента линейности чувствительности фотоприемника от единицы  $\Theta$ , %, по формуле

$$\Theta = 100 |(\bar{G} - 1)|. \quad (4)$$

Затем поток излучения ламп ослабляют с помощью нейтральных ослабителей таким образом, чтобы показания  $I_1$  и  $I_2$  уменьшились в 5 раз, и вновь определяют  $\bar{G}$  и  $\Theta$ . Измерения повторяют при увеличении ослабления до достижения уровня коэффициентов зеркального отражения  $\leq 0,01$ . Все полученные значения  $\Theta$  не должны превышать 4 %.

### 8.3.2 Определение основной погрешности ЭУФ-рефлектометров при измерении коэффициента диффузного отражения

При измерении коэффициента диффузного отражения в ЭУФ-рефлектометр устанавливают плоский диффузно отражающий образец из вольфрама. На длине волны 10 нм проводят измерение потока падающего на образец излучения  $P_0(\lambda)$  (приложение А). Регистрируют сигналы фотоприемника ЭУФ-рефлектометра для прямого пучка  $I^{01}(\lambda)$  и рассеянного излучения  $J^{01}(\lambda)$  аналогично 8.3.1. Затем регистрируют показания фотоприемника, соответствующие диффузно отраженному излучению  $I^1(\lambda, \varphi)$  и рассеянному излучению  $J^1(\lambda, \varphi)$  (приложение А). При этом фотоприемник последовательно устанавливают в положения, соответствующие значениям угла  $\varphi$ , от  $\varphi_{\min}$  до  $\varphi_{\max}$  с шагом  $5^\circ$ .

Значение коэффициента диффузного отражения  $\rho_d(\lambda)$  определяют по формуле

$$\rho_d(\lambda) = \frac{q \sum_{i=1}^m [I^1(\lambda, \varphi_i) - J^1(\lambda, \varphi_i)]}{[I^{01}(\lambda) - J^{01}(\lambda)]m}, \quad (5)$$

где  $q$  — геометрический фактор, указанный в паспорте на ЭУФ-рефлектометр;

$m$  — число градаций по углу  $\varphi_i$ .

Определяют среднее арифметическое значение коэффициента диффузного отражения  $\bar{\rho}_d(\lambda)$  и СКО результата измерений  $S_0$  аналогично 8.3.1.

Определение  $\bar{\rho}_d(\lambda)$  и  $S_0$  повторяют для длин волн  $\lambda_j$  в пределах рабочего спектрального диапазона ЭУФ-рефлектометра с шагом 2 нм. При значении  $\rho_d(\lambda)$  не менее 0,01  $S_0$  не должно превышать 4 %.

Определение коэффициента линейности фотоприемника ЭУФ-рефлектометра для измерения коэффициента диффузного отражения проводят на установке в составе РЭ по ГОСТ 8.197 и ГОСТ 8.552 аналогично 8.3.1. Значения систематической погрешности  $\Theta$ , вызванной отклонением значения коэффициента линейности фотоприемника ЭУФ-рефлектометра от единицы, не должно превышать 7 %.

## 9 Обработка результатов поверки

Обработку результатов поверки ЭУФ-рефлектометров проводят в соответствии с ГОСТ 8.207.

9.1 Предел допускаемой основной относительной погрешности  $\Delta$  рассчитывают по формуле

$$\Delta = KS_2 = K(\Theta^2/3 + S_0^2)^{1/2}, \quad (6)$$

где  $K$  — коэффициент, определяемый соотношением случайной и неисключенной систематической погрешностей:

$$K = \frac{tS_0 + \Theta}{(\Theta^2/3 + S_0^2)^{1/2}}; \quad (7)$$

$\Theta$  — систематическая погрешность, обусловленная отклонением значения коэффициента линейности фотоприемника ЭУФ-рефлектометра от единицы;

$t$  — коэффициент Стьюдента ( $t = 2,78$ ).

9.2 Результаты поверки ЭУФ-рефлектометров для измерения коэффициентов зеркального отражения считают положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 12 % в диапазоне длин волн 10 — 30 нм.

9.3 Результаты поверки ЭУФ-рефлектометров для измерения коэффициентов диффузного отражения считают положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 18 % в диапазоне длин волн 10 — 30 нм.

## 10 Оформление результатов поверки

10.1 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о поверке, и ЭУФ-рефлектометр допускают к применению в качестве средства измерений коэффициентов зеркального (диффузного) отражения в диапазоне длин волн 10 — 30 нм.

10.2 При отрицательных результатах поверки свидетельство о поверке аннулируют и выдают извещение о непригодности.

**Приложение А**  
**(обязательное)**

**Определение коэффициентов зеркального и диффузного отражений**

Коэффициент зеркального отражения плоского зеркала для параллельного пучка излучения, падающего под углом  $\varphi$  к нормали,  $\rho_z(\lambda, \varphi)$  на длине волны  $\lambda$  рассчитывают по формуле

$$\rho_z(\lambda, \varphi) = P_r(\lambda, \varphi) / P_0(\lambda), \quad (\text{A.1})$$

где  $P_r(\lambda, \varphi)$  — поток излучения на длине волны  $\lambda$ , отраженный под углом  $\varphi$  к нормали;

$P_0(\lambda)$  — поток излучения на длине волны  $\lambda$ , падающий на зеркало под углом  $\varphi$  к нормали, Вт.

Коэффициент диффузного отражения  $\rho_d(\lambda)$  определяют в общем виде по формуле

$$\rho_d(\lambda) = \frac{\int_{\Omega} \int_A L_r(\lambda, \Omega) dA d\Omega}{P_0(\lambda)}, \quad (\text{A.2})$$

где  $L_r(\lambda, \Omega)$  — яркость рассеянного при отражении излучения, интегрируемая в пределах телесного угла  $\Omega = 2\pi$  и по площади  $A$ ;

$A$  — площадь области образца, освещаемой падающим излучением;

$P_0(\lambda)$  — поток падающего на образец под углом  $\varphi = 0$  параллельного пучка излучения при длине волны  $\lambda$ .

При определении коэффициента диффузного отражения измеряют угловую зависимость энергетической освещенности  $E(\varphi)$  рассеянного при отражении излучения с равномерным шагом по углу  $\varphi$ .

На практике коэффициент диффузного отражения рассчитывают с использованием интегральных сумм по формуле

$$\rho_d(\lambda) = \frac{2\pi \sum_{\varphi} [E(\varphi) \sin \varphi] R^2}{P_0(\lambda) m}, \quad (\text{A.3})$$

где  $R$  — расстояние от области образца, освещаемой падающим излучением, до фотоприемника ЭУФ-рефлектометра;

$m$  — число градаций по углу  $\varphi$ .

УДК 543.52:535.214.535.241:535.8:006.354

ОКС 17.020

T84.10

ОКСТУ 0008

Ключевые слова: рефлектометр, коэффициент диффузного отражения, коэффициент зеркального отражения, средство измерений, вакуумное ультрафиолетовое излучение, экстремальный ультрафиолет

---

Редактор *Л.В. Афанасенко*  
Технический редактор *Н.С. Гришанова*  
Корректор *В.И. Варенцова*  
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 23.06.2008. Подписано в печать 18.07.2008. Формат 60 × 84  $\frac{1}{8}$ . Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,70. Тираж 166 экз. Зак. 909.

---

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.  
[www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru) [info@gostinfo.ru](mailto:info@gostinfo.ru)

Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.

Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 8.