

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
8.627—  
2007

---

Государственная система обеспечения единства  
измерений

**ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗЕРКАЛЬНОГО  
И ДИФфуЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ  
ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Методика выполнения измерений**

Издание официальное

БЗ 9—2006/243



Москва  
Стандартинформ  
2007

## 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 № 26-ст от 28 февраля 2007 г.

### 4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в 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*

© Стандартинформ, 2007

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗЕРКАЛЬНОГО И ДИФFUЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ  
ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

## Методика выполнения измерений

State system for ensuring the uniformity of measurements.

Measurement of coefficients of regular and diffuse transmittance of ultraviolet radiation. Methods for measurements

Дата введения — 2007—07—01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на методику выполнения измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения в диапазоне вакуумного ультрафиолетового (далее — ВУФ) излучения, используемых для определения оптических констант материалов и тонких пленок, коэффициентов отражения зеркал и эффективности дифракционных решеток, а также при контроле технологических процессов в микроэлектронике.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.195—89 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещенности в диапазоне длин волн  $0,25 \div 25,00$  мкм; силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн  $0,2 \div 25,0$  мкм

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 замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяют в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Требования к погрешности измерений

Предел допускаемой погрешности результатов измерений коэффициента зеркального отражения не превышает 10 % в диапазоне длин волн  $0,12 \div 0,20$  мкм и 15 % в диапазоне длин волн  $0,03 \div 0,12$  мкм.

Предел допускаемой погрешности результатов измерений коэффициента диффузного отражения не превышает 15 % в диапазоне длин волн  $0,12 \div 0,20$  мкм.

#### 4 Средства измерений и вспомогательные устройства

При выполнении измерений в диапазоне значений коэффициентов зеркального и диффузного отражения от 0,01 до 0,99 применяют следующие средства измерений и вспомогательные устройства:

- ВУФ рефлектометры, например рефлектометр — монохроматор ВМР-2 в диапазоне длин волн  $0,03 \div 0,20$  мкм;
- комплект светофильтров на основе фтористого магния, кварцевого стекла КУ-1, увиолевого стекла УТ-49;
- сетчатый нейтральный ослабитель.

#### 5 Метод измерений

Метод измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения ВУФ излучения основан на прямых измерениях при преобразовании потока излучения в электрический сигнал при выполнении условий спектральной и угловой коррекции чувствительности фотопреобразователя. ВУФ рефлектометры для измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения должны быть поверены в соответствии с ГОСТ 8.195, ГОСТ 8.197 и ГОСТ 8.552.

#### 6 Требования безопасности

При проведении измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения ВУФ излучения необходимо соблюдение правил электробезопасности. Измерения должны выполнять два оператора, аттестованных на право проведения работ по группе электробезопасности не ниже III и прошедших инструктаж на рабочем месте по безопасности труда при эксплуатации электрических установок. При работе с источниками ультрафиолетового (УФ) излучения необходимо использовать средства защиты персонала от УФ излучения — защитные очки.

#### 7 Требования к квалификации операторов

К измерениям коэффициентов зеркального и диффузного отражения ВУФ излучения допускаются лица, освоившие работу с рефлектометрами и изучившие настоящий стандарт.

#### 8 Условия измерений

8.1 При проведении измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения ВУФ излучения соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С. . . . .  $20 \pm 5$
- относительная влажность воздуха, % . . . . .  $65 \pm 15$
- атмосферное давление, кПа. . . . .  $84 — 104$
- напряжение питающей сети, В . . . . .  $220 \pm 4$
- частота питающей сети, Гц. . . . .  $50 \pm 1$ .

8.2 При подготовке к проведению измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения ВУФ излучения необходимо включить все приборы в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

#### 9 Подготовка и проведение измерений

При подготовке к проведению измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения ВУФ излучения необходимо подготовить к работе и включить рефлектометр в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Для измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражения ВУФ излучения выполняют следующие операции:

##### 9.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должны быть установлены:

- соответствие комплектности ВУФ рефлектометров паспортным данным;
- отсутствие механических повреждений блоков ВУФ рефлектометров;

- сохранность соединительных кабелей и сетевых разъемов;
- четкость надписей на панели блоков ВУФ рефлектометров;
- наличие маркировки (тип и заводской номер ВУФ рефлектометра);
- отсутствие сколов, царапин и загрязнений на оптических деталях ВУФ рефлектометра.

## 9.2 Опробование

При опробовании должно быть установлено наличие сигнала фотоприемника ВУФ рефлектометра:

- при установке его в положение для измерения прямого пучка при включенном источнике ВУФ излучения;

- при установке диффузно отражающего образца при включенном источнике ВУФ излучения.

9.3 Для определения коэффициента зеркального отражения в ВУФ рефлектометр устанавливают исследуемое зеркало. На монохроматоре ВУФ рефлектометра устанавливают длину волны 0,03 мкм, соответствующую наименьшей длине волны рабочего диапазона рефлектометра, и угол падения излучения на зеркало.

Фотоприемник ВУФ рефлектометра поочередно устанавливают в положение для измерения интенсивности прямого и зеркально отраженного пучков излучения, регистрируют сигналы фотоприемника для прямого пучка  $I^0(\lambda)$  и зеркально отраженного пучка  $I_r(\lambda)$  в соответствии с приложением А. Затем на входе фотоприемника устанавливают блокирующий светофильтр и регистрируют показания приемника для прямого пучка  $J^0(\lambda)$  и зеркально отраженного пучка  $J_r(\lambda)$ , соответствующие рассеянному излучению в монохроматоре ВУФ рефлектометра. В качестве блокирующих фильтров используют: для диапазона длин волн 0,03 ÷ 0,11 мкм — фильтр из стекла  $MgF_2$  толщиной 1,5 мм; для диапазона длин волн 0,11 ÷ 0,16 мкм — фильтр из кварцевого стекла КУ-1 толщиной 1 мм; для диапазона длин волн 0,16 ÷ 0,20 мкм — фильтр из увиолевого стекла УТ-49 толщиной 1 мм. Измерения  $I^0(\lambda)$ ,  $I_r(\lambda)$ ,  $J^0(\lambda)$  и  $J_r(\lambda)$  проводят не менее пяти раз.

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

$$\rho_{ri}(\lambda) = [I_{ri}(\lambda) - J_{ri}(\lambda)] / [I_i^0(\lambda) - J_i^0(\lambda)]. \quad (1)$$

Вычисляют среднеарифметическое значение  $\bar{\rho}_r(\lambda)$ . Оценку относительного среднего квадратического отклонения (далее — СКО)  $S_0$  результатов  $n$  независимых измерений рассчитывают по формуле

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

Определение  $\bar{\rho}_r(\lambda)$  и  $S_0$  повторяют для длин волн  $\lambda_j$  в пределах рабочего спектрального диапазона рефлектометра. При значении  $\rho_r(\lambda)$  не менее 0,01 для всех длин волн  $\lambda_j$  значение  $S_0$  не должно превышать 2 % в диапазоне длин волн 0,12 ÷ 0,20 мкм и 3 % в диапазоне длин волн 0,03 ÷ 0,12 мкм.

Проверка коэффициента линейности ВУФ рефлектометра требует определения отклонения чувствительности фотоприемника ВУФ рефлектометра от постоянного значения в рабочем диапазоне измеряемой величины.

Определение коэффициента линейности чувствительности фотоприемника при измерении зеркального отражения проводят на установке в составе рабочего эталона потока излучения и энергетической освещенности (РЭ ПИ и ЭО) по ГОСТ 8.552 и с использованием двух источников ВУФ излучения — водородных ламп типа ВМФ-25 (проточных капиллярных ламп типов LVL-01, КРИС). Регистрируют показания измерителя сигналов фотоприемника отдельно от каждого из двух излучателей  $I_1$  и  $I_2$  и суммарное показание  $I_\Sigma$  от двух источников ВУФ излучения. Суммарное показание  $I_\Sigma$  фотоприемника должно соответствовать верхнему пределу диапазона измерений коэффициента зеркального отражения. Измерения проводят пять раз с использованием экранирующих заслонок и рассчитывают коэффициент линейности чувствительности фотоприемника ВУФ рефлектометра  $G$  для каждого измерения по формуле

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

Определяют среднеарифметические значения  $\bar{G}$  коэффициента линейности чувствительности фотоприемника ВУФ рефлектометра, относительное СКО  $S_0$ , суммарное СКО результатов измерений по формуле (2) и рассчитывают составляющую систематической погрешности измерений, вызванную отклонением значения коэффициента линейности чувствительности фотоприемника от единицы  $\Theta$ , %

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

Затем поток излучения ламп ослабляют с помощью нейтральных ослабителей таким образом, чтобы показания  $I_1$  и  $I_2$  уменьшились в пять 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 2 %.

9.4 Для определения коэффициента диффузного отражения в ВУФ рефлектометр устанавливают исследуемый диффузно отражающий образец. На длине волны 0,12 мкм проводят измерения потока, падающего на образец излучения  $P_0(\lambda)$  в соответствии приложением А. Регистрируют сигналы фотоприемника ВУФ рефлектометра для прямого пучка  $I^0(\lambda)$  и рассеянного излучения  $J^0(\lambda)$  аналогично 10.4. Затем регистрируют показания фотоприемника, соответствующие диффузно отраженному излучению  $I'(\lambda, \varphi)$  и рассеянному излучению  $J'(\lambda, \varphi)$  в соответствии с приложением А. При этом фотоприемник последовательно устанавливают в положения, соответствующие значениям угла  $\varphi_i$  от  $\varphi_{\min}$  до  $\varphi_{\max}$  с шагом 5°.

Коэффициент диффузного отражения  $\rho_d(\lambda)$  рассчитывают по формуле

$$\rho_d(\lambda) = \frac{q \sum_{i=1}^m [I'(\lambda, \varphi_i) - J'(\lambda, \varphi_i)]}{[I^0(\lambda) - J^0(\lambda)] m}, \quad (5)$$

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

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

Определяют среднеарифметическое значение коэффициента диффузного отражения  $\bar{\rho}_d(\lambda)$  и СКО результата измерений  $S_0$  аналогично 9.4.

Определение  $\bar{\rho}_d(\lambda)$  и  $S_0$  повторяют для длин волн  $\lambda_j$  в пределах рабочего спектрального диапазона в ВУФ рефлектометра. При значении  $\bar{\rho}_d(\lambda)$  не менее 0,01  $S_0$  не должно превышать 3 % в диапазоне длин волн 0,16 ÷ 0,20 мкм и 4 % в диапазоне длин волн 0,12 ÷ 0,16 мкм.

Проверку коэффициента линейности фотоприемника ВУФ рефлектометра, используемого для измерения коэффициента диффузного отражения, проводят на установке в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552 аналогично 9.4. Систематическая погрешность  $\Theta$ , обусловленная отклонением коэффициента линейности фотоприемника ВУФ рефлектометра от единицы, не должна превышать 2 % в диапазоне длин волн 0,16 ÷ 0,20 мкм и 4 % в диапазоне длин волн 0,12 ÷ 0,16 мкм.

## 10 Контроль погрешности результатов измерений

Контроль погрешности результатов измерений проводят по ГОСТ 8.207. Предел допускаемой погрешности рассчитывают по формуле

$$\Delta = K S_{\Sigma} = K (\Theta_0^2 / 3 + S_0^2)^{1/2}, \quad (6)$$

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

$$K = \frac{t S_0 + \Theta_0}{S_0^2 + (\Theta_0^2 / 3)^{1/2}}, \quad (7)$$

где  $\Theta_0$  — систематическая погрешность, обусловленная отклонением значения коэффициента линейности фотоприемника ВУФ рефлектометра от единицы, %;

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

## 11 Оформление результатов измерений

11.1 Результаты измерений оформляют по форме, принятой на предприятии, проводившем измерения.

11.2 Запись о результатах измерений должна содержать:

- дату проведения измерений;
- тип и номер средства измерений;
- цель проведения измерений;
- геометрические размеры исследуемого образца;
- коэффициенты зеркального и диффузного отражения;
- предел допускаемой погрешности результатов измерений;
- фамилию и подпись оператора.

**Приложение А**  
**(обязательное)**

**Определение коэффициентов зеркального и диффузного отражения**

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

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

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

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

где  $L_r(\lambda, \Omega)$  — яркость рассеянного при отражении излучения, которая интегрируется 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 освещенности рассеянного при отражении излучения  $E(\varphi)$  с равномерным шагом по углу  $\varphi$ .

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

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

где  $R$  — расстояние от области образца, освещаемой падающим излучением, до фотоприемника рефлектометра, м;  
 $m$  — число градаций по углу  $\varphi$ .

---

УДК 543.52:535.214.535.241:535.8:006.354

ОКС 17.020

T84.10

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

---

Редактор *Л.В. Коретникова*  
Технический редактор *Н.С. Гришанова*  
Корректор *Е.М. Капустина*  
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 16.03.2007. Подписано в печать 24.04.2007. Формат 60 × 84  $\frac{1}{8}$ . Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,65. Тираж 150 экз. Зак. 350. С 3957.

---

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., 6.