
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

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 ± 5
- относительная влажность воздуха, % 65 ± 15
- атмосферное давление, кПа. $84 — 104$
- напряжение питающей сети, В 220 ± 4
- частота питающей сети, Гц. 50 ± 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 MgF₂ 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 λ_j в пределах рабочего спектрального диапазона рефлектометра. При значении $\rho_r(\lambda)$ не менее 0,01 для всех длин волн λ_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_Σ от двух источников ВУФ излучения. Суммарное показание I_Σ 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 Θ , %, 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 пять раз и вновь определяют \bar{G} и Θ . Измерения повторяют при увеличении ослабления до достижения уровня коэффициентов зеркального отражения $\leq 0,01$. Все полученные значения Θ 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 с 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 φ_i от φ_{\min} до φ_{\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 φ .

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 λ_j в пределах рабочего спектрального диапазона 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 Θ , 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 Θ_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 φ к нормали, $\rho_r(\lambda, \varphi)$ на длине волны λ 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 λ , отраженный под углом φ к нормали, Вт;
 $P_\varphi(\lambda)$ — поток излучения на длине волны λ , падающий на зеркало под углом φ к нормали, Вт.
 Коэффициент диффузного отражения $\rho_d(\lambda)$ определяют в общем виде по формуле

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

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 λ .

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

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 φ .

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 info@gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.