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

gost.e-ecolog.ru

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

© Стандартинформ, 2008

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

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 нанопокрытиями, вторичные электронные умножители и канальные 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

Примечание — 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.

Издание официальное

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 φ, равный 45°.

Фотоприемник ЭУФ-рефлектометра поочередно устанавливают в положение для измерения интенсивности прямого и зеркально отраженного пучков излучения, регистрируют сигналы фотоприемника для прямого пучка $I^{\circ}(\lambda)$ и зеркально отраженного пучка $I_r(\lambda)$ (приложение А). Затем на входе фотоприемника устанавливают блокирующий фильтр и регистрируют показания фотоприемника для прямого пучка $J^{\circ}(\lambda)$ 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 $I^{\circ}(\lambda)$, $I_r(\lambda)$, $J^{\circ}(\lambda)$ и $J_r(\lambda)$ выполняют 5 раз.

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

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

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

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

Определение $\overline{\rho}_r(\lambda)$ и S_0 повторяют для длин волн λ_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 λ_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_{Σ} и при использовании двух нейтральных ослабителей I_1 и I_2. Показание I_{Σ} 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 $\overline{G}$ 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 Θ, %, по формуле

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

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 $\overline{G}$ и Θ. Измерения повторяют при увеличении ослабления до достижения уровня коэффициентов зеркального отражения ≤ 0,01. Все полученные значения Θ 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 φ_i от φ_{min} до φ_{max} с шагом 5°.

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 φ_i.

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

Определение $\overline{\rho}_d(\lambda)$ и S_0 повторяют для длин волн λ_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 Θ, 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 Δ рассчитывают по формуле

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

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

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

Θ — 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 φ к нормали, $\rho_r(\lambda, \varphi)$ на длине волны λ рассчитывают по формуле

$$\rho_r(\lambda, \varphi) = P_r(\lambda, \varphi)/P_\varphi(\lambda), \tag{А.1}$$

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

$P_\varphi(\lambda)$ — 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

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

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 λ.

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

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

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

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

m — число градаций по углу φ.

УДК 543.52:535.214.535.241:535.8:006.354 ОКС 17.020 Т84.10 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 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.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

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

gost.e-ecolog.ru