ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.716— 2010

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕФЛЕКТОМЕТРЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН от 10 до 30 нм

Методика измерений

Москва

2011

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 Научно-техническим управлением Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 декабря 2010 г. № 831-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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Требования к погрешности измерений . . . 2
4 Средства измерений и вспомогательные устройства . . . 2
5 Метод измерений . . . 2
6 Требования безопасности . . . 2
7 Требования к квалификации операторов . . . 2
8 Условия измерений . . . 2
9 Подготовка к выполнению измерений . . . 2
10 Порядок выполнения измерений . . . 3
11 Контроль погрешности результатов измерений . . . 4
12 Оформление результатов измерений . . . 5
Приложение А (обязательное) Коэффициенты зеркального и диффузного отражений . . . 6
Библиография . . . 7

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕФЛЕКТОМЕТРЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН от 10 до 30 нм

Методика измерений

State system for ensuring the uniformity of measurements. Reflectometers of the extreme ultraviolet radiation for measurements of the characteristics of multilayer nanostructures in the wavelength range from 10 to 30 nm. Measurement procedure

Дата введения — 2012—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на средства измерений (СИ) характеристик многослойных наноструктур в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм — рефлектометры экстремального вакуумного ультрафиолетового (ЭУФ) излучения (далее — ЭУФ рефлектометры), предназначенные для измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражений, и устанавливает методику выполнения измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражений.

ЭУФ рефлектометры обеспечивают в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм измерение коэффициентов зеркального и диффузного отражений в диапазоне значений от 0,01 до 0,99.

В качестве источников непрерывного ЭУФ излучения используют электронные накопительные кольца. В качестве источников импульсного ЭУФ излучения используют открытые излучатели на основе капиллярного разряда с испаряющейся стенкой или плазменного фокуса, а также электронные синхротроны. В качестве приемников ЭУФ излучения используют солнечно-слепые фотодиоды на основе многослойных наноструктур.

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.

3 Требования к погрешности измерений

При измерении коэффициентов зеркального отражения основная относительная погрешность результатов измерений не превышает 10 % в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм.

При измерении коэффициентов диффузного отражения основная относительная погрешность результатов измерений не превышает 15 % в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм.

4 Средства измерений и вспомогательные устройства

При выполнении измерений применяют следующие средства измерений и вспомогательные устройства:

а) рефлектометр-монохроматор скользящего падения или другой прибор со следующими характеристиками:

- диапазон длин волн — от 10 до 30 нм;
- диапазон измеряемых значений коэффициентов зеркального и диффузного отражений — от 0,01 до 0,99;
- основная относительная погрешность — от 10 % до 15 %;

б) комплект светофильтров на основе многослойных наноструктур;

в) сетчатый нейтральный ослабитель.

5 Метод измерений

Методы измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражений ЭУФ излучения (см. приложение А) основаны на прямых измерениях при преобразовании потока излучения в электрический сигнал при выполнении условий спектральной и угловой коррекций чувствительности фотопреобразователя по [1].

6 Требования безопасности

При проведении измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражений ЭУФ излучения соблюдают правила электробезопасности. Измерения выполняют два оператора, аттестованных на право проведения работ по группе электробезопасности не ниже III, прошедших инструктаж на рабочем месте по безопасности труда при эксплуатации электрических установок.

7 Требования к квалификации операторов

К измерениям коэффициентов зеркального и диффузного отражений ЭУФ излучения допускают лиц, освоивших работу с рефлектометрами, изучивших требования настоящего стандарта.

8 Условия измерений

При проведении измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражений ЭУФ излучения соблюдают следующие условия:

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

При подготовке к проведению измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражений ЭУФ излучения включают все приборы в соответствии с их инструкциями по эксплуатации.

9 Подготовка к выполнению измерений

При подготовке к проведению измерений выполняют следующие работы.

Включают и подготавливают к работе ЭУФ рефлектометр в соответствии с его инструкцией по эксплуатации.

Проверяют состояние оптики. На поверхности оптических деталей не допускаются царапины, помутнения и пятна.

10 Порядок выполнения измерений

Для измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражений ЭУФ излучения выполняют следующие операции.

Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают:

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

Опробование

При опробовании проверяют наличие сигнала фотоприемника ЭУФ рефлектометра:

- при установке его в положение для измерения прямого пучка при включенном источнике ЭУФ излучения;
- при установке диффузно отражающего образца при включенном источнике ЭУФ излучения.

Для определения коэффициента зеркального отражения в ЭУФ рефлектометр устанавливают исследуемый образец. На монохроматоре ЭУФ рефлектометра устанавливают длину волны 10 нм, соответствующую наименьшей длине волны рабочего диапазона рефлектометра, и угол падения излучения на зеркало. Фотоприемник ЭУФ 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 $I_r(\lambda)$ (см. ГОСТ 8.552). 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 ЭУФ рефлектометра. 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 $\rho_{ri}(\lambda)$ получают расчетом по формуле

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

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

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

Определение $\bar{\rho}_r(\lambda)$ и S_o повторяют для длин волн λ_j в пределах рабочего спектрального диапазона ЭУФ рефлектометра. При значении $\rho_r(\lambda)$ не менее 0,01 для всех длин волн λ_j значение S_o не должно превышать 2 % в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм. В целях проверки коэффициента линейности ЭУФ рефлектометра определяют значение отклонения чувствительности фотоприемника ЭУФ рефлектометра от постоянного значения в рабочем диапазоне измеряемой величины.

Определение коэффициента линейности чувствительности фотоприемника при измерении зеркального отражения проводят на электронном накопительном кольце (см. ГОСТ 8.197) при изменении тока пучка, соответствующего нижней и верхней границам диапазона измерений. Регистрируют сигнал фотоприемника I_1 для фиксированного тока пучка и сигнал фотоприемника I_2, соответствующий удвоенному значению тока пучка. Суммарный сигнал должен быть равен утроенному сигналу I_1. Измерения проводят пять раз с использованием экранирующих заслонок и рассчитывают коэффициент линейности чувствительности фотоприемника ЭУФ рефлектометра G для каждого измерения по формуле

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

Определяют среднее арифметическое значение $\overline{G}$ коэффициента линейности чувствительности фотоприемника ЭУФ рефлектометра, относительное среднее квадратическое отклонение (СКО) S_o, суммарное СКО S_Σ результатов измерений и рассчитывают составляющую систематической погрешности измерений, вызванную отклонением значения коэффициента линейности чувствительности фотоприемника от единицы Θ_o, %, по формуле

$$\Theta_o = 100\,(\overline{G} - 1). \quad (4)$$

Затем ток пучка повышают таким образом, чтобы показания I_1 увеличились в пять раз, и вновь определяют $\overline{G}$ и Θ_o. Измерения повторяют до достижения верхнего уровня коэффициента зеркального отражения 1,00. Все полученные значения Θ_o не должны превышать 2 %.

Для определения коэффициента диффузного отражения в ЭУФ рефлектометр устанавливают исследуемый диффузно отражающий образец. На длине волны 10 нм проводят измерение потока падающего на образец излучения $P_0(\lambda)$. Регистрируют сигналы фотоприемника ЭУФ рефлектометра для прямого пучка $I^{0\prime}(\lambda)$ и рассеянного излучения $J^{0\prime}(\lambda)$. Затем регистрируют показания фотоприемника, соответствующие диффузно отраженному излучению $I'(\lambda, \varphi)$ и рассеянному излучению $J'(\lambda, \varphi)$. 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

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

где q — геометрический фактор ЭУФ рефлектометра;

m — число градаций по углу φ.

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

Определение $\overline{\rho}_d(\lambda)$ и S_o повторяют для длин волн λ_j в пределах рабочего спектрального диапазона ЭУФ рефлектометра. При значении $\rho_d(\lambda)$ не менее 0,01 S_o не должно превышать 4 % в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм.

Значение систематической погрешности Θ_o, обусловленной отклонением значения коэффициента линейности фотоприемника ЭУФ рефлектометра от единицы, не должно превышать 4 % в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм.

11 Контроль погрешности результатов измерений

Контроль погрешности результатов измерений проводят по ГОСТ 8.207 в следующем порядке.

Основную относительную погрешность Δ_o рассчитывают по формуле

$$\Delta_o = KS_\Sigma = K(\Theta_o^2/3 + S_o^2)^{1/2}, \quad (6)$$

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

$$K = \frac{tS_o + \Theta}{S_o + (\Theta_o^2/3)^{1/2}}, \quad (7)$$

Θ_o — систематическая погрешность, обусловленная отклонением значения коэффициента линейности фотоприемника ЭУФ рефлектометра от единицы;

t — коэффициент Стьюдента (t = 2,78).

12 Оформление результатов измерений

Результаты измерений оформляют по форме, принятой на предприятии, проводившем измерения. Запись о результатах измерений должна содержать:

- дату проведения измерений;
- тип и номер средства измерений;
- цель проведения измерений;
- геометрические размеры исследуемого образца;
- значения коэффициентов зеркального и диффузного отражений;
- границы неисключенной систематической погрешности результатов измерений;
- инициалы, фамилию и подпись оператора.

Приложение А
(обязательное)

Коэффициенты зеркального и диффузного отражений

Измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражений в спектральном диапазоне ЭУФ излучения проводят для определения оптических констант материалов и тонких пленок, коэффициентов отражения зеркал и эффективности дифракционных решеток, а также при контроле технологических процессов в микроэлектронике. 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

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

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.

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

$$\rho_d(\lambda) = \frac{\int_{2\pi}\int_{A} L_r(\lambda,\Omega)dAd\Omega}{P_0(\lambda)}, \tag{A.2}$$

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 на длине волны λ.

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

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

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

где R — расстояние от области образца, освещаемой падающим излучением, до фотоприемника рефлектометра.

Библиография

[1] CIE N53 Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers. — 1982. — 24 p.

УДК 543.52:535.214.535.241:535.8:006.354 ОКС 17.020 Т84.10 ОКСТУ 0008

Ключевые слова: спектральные коэффициенты зеркального и диффузного отражений, сила излучения, спектральная чувствительность, средства измерений, ультрафиолетовое излучение