Р 50.2.016—2001

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗЕРКАЛЬНОГО И ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методика поверки

Издание официальное

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Техническим комитетом по стандартизации ТК 386 «Основные нормы и правила по обеспечению единства измерений в области ультрафиолетовой спектрорадиометрии», Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП ВНИИОФИ) Госстандарта России

ВЕСЕНЫ Техническим комитетом по стандартизации ТК 386 «Основные нормы и правила по обеспечению единства измерений в области ультрафиолетовой спектрорадиометрии»

2 ПРИНЯТЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 30 ноября 2001 г. № 510-ст

3 Настоящие рекомендации соответствуют рекомендациям Международной комиссии по освещению (МКО) № 53 «Методы определения характеристик радиометров и фотометров» (CIE № 53 Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers. — 1982)

4 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 2002

Настоящие рекомендации не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Операции и средства поверки 1
4 Требования к квалификации поверителей 2
5 Требования безопасности 2
6 Условия поверки и подготовка к ней 2
7 Проведение поверки 2
8 Оформление результатов поверки 4
Приложение А Определение коэффициентов зеркального и диффузного отражения 5
Приложение Б Библиография 6

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗЕРКАЛЬНОГО И ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методика поверки

Дата введения 2002—10—01

1 Область применения

Настоящие рекомендации распространяются на средства измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения в диапазоне вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения — ВУФ рефлектометры. Измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражения в спектральном диапазоне ВУФ 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.

Настоящие рекомендации распространяются на ВУФ рефлектометры в диапазоне измеряемых значений коэффициентов зеркального и диффузного отражения от 0,01 до 0,99. При этом коэффициент зеркального отражения измеряют в диапазоне длин волн 0,03—0,20 мкм, а коэффициент диффузного отражения — в диапазоне длин волн 0,12—0,20 мкм.

В качестве источников непрерывного ВУФ излучения используют водородные и дейтериевые капиллярные лампы.

В качестве источников импульсного ВУФ излучения используют открытые излучатели на основе капиллярного разряда с испаряющейся стенкой или плазменного фокуса. В качестве приемников ВУФ излучения используют фотоэлементы и фотоумножители с катодами CsI, RbTe, а также фотодиоды, фотосцинтилляционные преобразователи, вторичные электронные умножители и канальные электронные умножители. Настоящие рекомендации распространяются на методы и средства поверки ВУФ рефлектометров.

Межповерочный интервал для ВУФ рефлектометров — один год.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

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

ГОСТ 8.552—86 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений потока излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,03 ÷0,4 мкм

ПР 50.2.006—94 Порядок проведения поверки средств измерений

ПР 50.2.012—94 Порядок аттестации поверителей средств измерений

3 Операции и средства поверки

3.1 Методика поверки ВУФ рефлектометров в соответствии с требованиями ПР 50.2.006 включает в себя следующие операции:

- внешний осмотр;

Издание официальное

- опробование;
- определение метрологических характеристик ВУФ рефлектометров;
- обработку результатов измерений.

3.2 При проведении поверки ВУФ рефлектометров применяют средства поверки, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Номер пункта настоящих рекомендаций	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
7.3.1, 7.3.2	Установка для измерений коэффициента линейности чувствительности ВУФ фотоприемников в составе рабочего эталона потока излучения и энергетической освещенности (РЭ ПИ и ЭО) по ГОСТ 8.552, включающая в себя источники непрерывного и импульсного ВУФ излучения — проточные капиллярные лампы типов LVL-01, КРИС, водородные лампы типа ВМФ-25. Суммарное относительное среднее квадратическое отклонение (СКО) S_{Σ_0} — 3 %.

4 Требования к квалификации поверителей

К поверке ВУФ рефлектометров допускают лиц, освоивших работу с рефлектометрами, используемой установкой, изучивших настоящие рекомендации и прошедших аттестацию в соответствии с ПР 50.2.012.

5 Требования безопасности

При проведении поверки ВУФ рефлектометров необходимо соблюдение правил электробезопасности [1]. Измерения могут выполнять два оператора, аттестованных по группе электробезопасности не ниже III, прошедшие 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 в соответствии с требованиями [2].

6 Условия поверки и подготовка к ней

6.1 При проведении поверки ВУФ рефлектометров 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.

6.2 При подготовке к поверке ВУФ рефлектометров необходимо включить все приборы в соответствии с их инструкциями по эксплуатации.

7 Проведение поверки

7.1 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.

7.2 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.

7.3 Определение метрологических характеристик ВУФ рефлектометров

7.3.1 Определение основной относительной погрешности ВУФ рефлектометров для измерения коэффициента зеркального отражения

При измерении коэффициента зеркального отражения в ВУФ рефлектометр устанавливают плоское зеркало с золотым покрытием. На монохроматоре ВУФ рефлектометра устанавливают длину волны 0,03 мкм, соответствующую наименьшей длине волны рабочего диапазона рефлектометра, и угол падения излучения на зеркало $\varphi = 45°$.

Фотоприемник ВУФ рефлектометра поочередно устанавливают в положение для измерения интенсивности прямого и зеркально отраженного пучков излучения, регистрируют сигналы фотоприемника для прямого пучка $I(\lambda)$ в вольтах и зеркально отраженного пучка $I_r(\lambda)$ в вольтах (приложение А). Затем на входе фотоприемника устанавливают светофильтр и регистрируют показания приемника для прямого пучка $J(\lambda)$ в вольтах и зеркально отраженного пучка $J_r(\lambda)$ в вольтах, соответствующие излучению в монохроматоре ВУФ рефлектометра. В качестве светофильтров 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 выполняют 5 раз.

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

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

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

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

Определение $\overline{\rho}_r(\lambda)$ и S_0 повторяют для длин волн λ в пределах рабочего спектрального диапазона рефлектометра с шагом 30 нм. При значении $\overline{\rho}_r(\lambda)$ не менее 0,01 значение СКО S_0 не должно превышать 3 % — в диапазоне длин волн 0,12 — 0,20 мкм и 4 % — в диапазоне длин волн 0,03—0,12 мкм.

Определение коэффициента линейности ВУФ рефлектометра для измерения зеркального отражения проводят на установке в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552 с использованием двух источников ВУФ излучения — водородных ламп типа ВМФ-25 (проточных капиллярных ламп типов LVL-01, КРИС). Регистрируют показания фотоприемника ВУФ рефлектометра отдельно от каждого из двух источников излучения I_1 и I_2 и суммарное показание I_Σ в вольтах от двух источников ВУФ излучения. Суммарное показание I_Σ фотоприемника должно соответствовать верхнему пределу диапазона измерения коэффициента зеркального отражения ВУФ рефлектометра. Измерения проводят 5 раз с использованием экранирующих заслонок и рассчитывают коэффициент линейности G в относительных единицах для каждого измерения по формуле

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

Определяют среднее арифметическое значение $\overline{G}$ коэффициента линейности ВУФ рефлектометра; СКО S_0 по формуле (2). Рассчитывают систематическую погрешность ВУФ рефлектометра Θ_0, %, по формуле

$$\Theta_0 = 100\ (\overline{G} - 1). \qquad (4)$$

Затем поток излучения ламп ослабляют с помощью нейтральных ослабителей таким образом, чтобы показания I_1 и I_2 уменьшились в 5 раз, и определяют $\overline{G}$ и Θ_0. Измерения повторяют до достижения уровня коэффициентов зеркального отражения $\leq 0{,}01$. Значения Θ_0 не должны превышать 6 % в диапазоне длин волн 0,12 — 0,20 мкм, 9 % — в диапазоне длин волн 0,03 — 0,12 мкм.

7.3.2 Определение основной погрешности ВУФ рефлектометров для измерения коэффициента диффузного отражения

При измерении коэффициента диффузного отражения в ВУФ рефлектометр устанавливают плоский диффузно отражающий образец из вольфрама. На длине волны 0,12 мкм регистрируют сигналы фотоприемника ВУФ рефлектометра для падающего излучения $I'(\lambda)$ в вольтах и рассеянного излучения $J'(\lambda)$ в вольтах аналогично 7.3.1. Затем регистрируют показания фотоприемника, соответствующие диффузно отраженному излучению $I_d'(\lambda, \varphi)$ в вольтах и рассеянному излучению $J_d'(\lambda, \varphi)$ в вольтах (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 $\rho_d(\lambda)$ в относительных единицах определяют по формуле

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

где q — безразмерный коэффициент, указанный в паспорте на ВУФ рефлектометр;

m — число градаций по углу φ.

Определяют среднее арифметическое значение коэффициента диффузного отражения $\bar{\rho}_d(\lambda)$ и СКО результатов измерений S_o по формуле (2).

Определение $\rho_d(\lambda)$ и S_o повторяют с шагом 20 нм в пределах рабочего спектрального диапазона ВУФ рефлектометра. Значение СКО S_o не должно превышать 4 % в диапазоне длин волн 0,12 — 0,20 мкм.

Определение коэффициента линейности фотоприемника ВУФ рефлектометра для измерения коэффициента диффузного отражения проводят на установке в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552 аналогично 7.3.1. Значение систематической погрешности Θ_o, рассчитанное по формуле (4), не должно превышать 9 % в диапазоне длин волн 0,12—0,20 мкм.

7.4 Обработка результатов поверки ВУФ рефлектометров

Обработку результатов поверки ВУФ рефлектометров проводят в соответствии с ГОСТ 8.207.

7.4.1 Предел допускаемой основной относительной погрешности Δ_o рассчитывают по формуле

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

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

$$K = \frac{t S_o + \Theta_o}{S_o^2 + (\Theta_o^2/3)^{1/2}}, \qquad (7)$$

t — коэффициент Стьюдента (t = 2,78).

7.4.2 Результаты поверки ВУФ рефлектометров для измерения коэффициентов зеркального отражения считают положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 10 % в диапазоне длин волн 0,12 — 0,20 мкм и 15 % — в диапазоне длин волн 0,03 — 0,12 мкм.

7.4.3 Результаты поверки ВУФ рефлектометров для измерения коэффициентов диффузного отражения считают положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 15 % в диапазоне длин волн 0,12 — 0,20 мкм.

8 Оформление результатов поверки

8.1 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о государственной поверке в соответствии с ПР 50.2.006, и ВУФ рефлектометр допускают к применению в качестве средства измерений коэффициентов зеркального и диффузного отражения в соответствии с настоящими рекомендациями.

8.2 При отрицательных результатах поверки свидетельство о предыдущей поверке аннулируют и выдают извещение о непригодности с указанием причин в соответствии с ПР 50.2.006.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Определение коэффициентов зеркального и диффузного отражения

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

$$\rho_r(\lambda, \varphi) = P_r(\lambda, \varphi)/P_\varphi(\lambda), \qquad (A.1)$$

где $P_r(\lambda, \varphi)$ — 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 $\rho_d(\lambda)$ в относительных единицах определяют в общем виде по формуле

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

где $L_r(\lambda, \Omega)$ — яркость рассеянного при отражении излучения, которая интегрируется в пределах телесного угла $\Omega = 2\pi$ и по площади A, Вт/(м^2·ср);

A — площадь области образца, освещаемой падающим излучением, м^2;

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

При определении коэффициента диффузного отражения измеряют угловую зависимость освещенности отраженного излучения $E(\varphi)$ в ваттах на квадратный метр в пределах угла φ от 0° до 85° с шагом 5°. Коэффициент диффузного отражения при этом определяют по формуле

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

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

m — число градаций по углу φ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Библиография

[1] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. — 1986
[2] СанПиН 4557—88 Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях. — М., 1988

УДК 543.52:535.214:535.8:006.354 ОКС 17.020 17.240 Т84.10 ОКСТУ 0008

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

Р 50.2.016—2001

Рекомендации по метрологии

Государственная система обеспечения единства измерений

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗЕРКАЛЬНОГО И ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методика поверки

БЗ 7—2001/17

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *А.С. Черноусова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 24.12.2001. Подписано в печать 11.01.2002. Формат 60 × 84 $^{1}/_{8}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,40. Уч.-изд.л. 0,73. Тираж 300 экз. Зак. 43.
Изд. № 2827/4. С 3402.

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
e-mail: gost.e-ecolog.ru
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник", 103062, Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102

gost.e-ecolog.ru