ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.659— 2009

Государственная система обеспечения единства измерений

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ В НАНОФОТОЛИТОГРАФИИ

Методика поверки

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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 15 декабря 2009 г. № 972-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Апрель 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «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 (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2010, 2019

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Операции поверки 2
4 Средства поверки 2
5 Требования к квалификации поверителей 2
6 Требования безопасности 3
7 Условия поверки 3
8 Подготовка и проведение поверки 3
9 Обработка результатов измерений 9
10 Оформление результатов поверки 9
Библиография 10

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ В НАНОФОТОЛИТОГРАФИИ

Методика поверки

State system for ensuring the uniformity of measurements. Instruments measuring the characteristics of ultraviolet radiation of technological testing of nanophotolitography. Verification procedure

Дата введения — 2011—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на средства измерений (СИ) характеристик ультрафиолетового излучения (УФ-излучение), используемые при технологическом контроле в нанофотолитографии, и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Средства измерений характеристик УФ-излучения при технологическом контроле в нанофотолитографии обеспечивают измерения в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм следующих характеристик УФ-излучателей:

- энергетической яркости в динамическом диапазоне, нижняя граница которого составляет не более 10^3 Вт/(м^2 · ср), верхняя — не менее 10^8 Вт/(м^2 · ср);
- силы излучения в динамическом диапазоне, нижняя граница которого составляет не более 10^{-3} Вт/ср, верхняя — не менее 10^2 Вт/ср.

Методы оценки погрешностей СИ характеристик УФ-излучения при технологическом контроле в нанофотолитографии, представленные в настоящем стандарте, соответствуют рекомендациям № 53 Международной комиссии по освещению [1].

Межповерочный интервал — не более одного года.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.197 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности потока излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, спектральной плотности силы излучения, потока и силы излучения в диапазоне длин волн 0,001—1,600 мкм

ГОСТ 8.552 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений потока излучения, энергетической освещенности, спектральной плотности энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,0004—0,400 мкм

ГОСТ Р 8.736 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

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 ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта

Издание официальное

с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Операции поверки

При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер раздела подраздела пункта настоящего стандарта	Обязательность проведения операций при поверке	
		первичной	периодической
Внешний осмотр	8.1	+	+
Опробование	8.2	+	+
Определение метрологических характеристик	8.3	+	+
Определение погрешности спектральной коррекции чувствительности	8.3.1	+	–
Определение погрешности абсолютной чувствительности в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм	8.3.2	+	+
Определение погрешности, возникающей из-за отклонения коэффициента линейности от единицы. Определение границ диапазонов измерений энергетической яркости и силы излучения	8.3.3	+	–
Определение погрешности, возникающей из-за неидеальной коррекции угловой зависимости чувствительности	8.3.4	+	–
Обработка результатов измерений	9	+	+

4 Средства поверки

При проведении поверки применяют следующие средства:

- установку для измерений энергетической яркости и силы излучения в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм в составе вторичного эталона спектральной плотности энергетической яркости (далее — ВЭТ СПЭЯ) по ГОСТ 8.197. Относительное суммарное среднее квадратичное отклонение (далее — СКО) — не более 3 %;
- установку для измерений спектральной чувствительности приемников излучения в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм в составе рабочего эталона потока излучения и энергетической освещенности (далее — РЭ ПИ и ЭО) по ГОСТ 8.552. Относительное суммарное СКО — не более 3 %;
- установку для измерений коэффициента линейности чувствительности радиометров УФ-излучения в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552. Относительное суммарное СКО — не более 4 %;
- установку для измерений угловой зависимости чувствительности фотопреобразователей УФ-излучения в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552, включающую в себя гониометр. Относительное суммарное СКО — не более 5 %.

5 Требования к квалификации поверителей

Поверку должны проводить лица, аттестованные в качестве поверителей, освоившие работу с используемыми средствами поверки, изучившие настоящий стандарт и эксплуатационную документацию на средства поверки и средства измерений.

6 Требования безопасности

При поверке СИ характеристик УФ-излучения при технологическом контроле в нанофотолитографии должны быть соблюдены правила электробезопасности. Измерения должны проводить два оператора, аттестованных по группе электробезопасности не ниже III, прошедших инструктаж на рабочем месте по безопасности труда при эксплуатации электрических установок.

7 Условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:
- температура окружающего воздуха — 20 °С ± 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

Методика поверки СИ характеристик УФ-излучения в нанофотолитографии включает в себя подготовку к поверке, внешний осмотр, опробование и определение метрологических характеристик. При подготовке к поверке СИ необходимо включить все приборы в соответствии с их инструкциями по эксплуатации.

8.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должны быть установлены:
- соответствие комплектности СИ паспортным данным;
- отсутствие механических повреждений блоков СИ, сохранность соединительных кабелей и сетевых разъемов;
- четкость надписей на панели СИ;
- наличие маркировки (тип и заводской номер СИ);
- отсутствие сколов, царапин и загрязнений на оптических деталях СИ.

8.2 Опробование

При опробовании должны быть установлены:
- наличие показаний радиометра при освещении УФ-излучением;
- правильное функционирование переключателей пределов измерений, режимов работы СИ.

8.3 Определение метрологических характеристик

8.3.1 Определение погрешности спектральной коррекции чувствительности

Погрешность СИ, вызванную неидеальной спектральной коррекцией чувствительности, определяют по результатам измерений отклонений относительной спектральной чувствительности (далее — ОСЧ) поверяемого СИ от стандартной, равной единице в пределах рабочего спектрального диапазона 10—30 нм и нулю вне рабочего диапазона. ОСЧ поверяемого СИ сравнивают с известной спектральной чувствительностью эталонного фотопреобразователя УФ-излучения, поверенного в ранге РЭ по ГОСТ 8.552 в диапазоне длин волн от 7 до 1100 нм. Измерения относительной спектральной чувствительности поверяемого СИ УФ-излучения проводят с использованием источника синхротронного излучения, монохроматоров типов МДР-23, ВМР-2, ДФС-29, комплекта светофильтров из кварца и фтористого магния, фотоприемников типов AXUV, поверенных в ранге РЭ ПИ и ЭО ГОСТ 8.552. При определении погрешности измерений относительной спектральной чувствительности в диапазоне длин волн от 7 до 1100 нм эталонное и поверяемое СИ поочередно устанавливают за выходной щелью монохроматора таким образом, чтобы поток монохроматического излучения проходил в апертурную диафрагму. Показания эталонного радиометра $I^{\circ}(\lambda)$ и поверяемого СИ $I(\lambda)$ регистрируют поочередно пять раз на каждой длине волны с шагом 1 нм в диапазоне 7—30 нм, с шагом 5 нм в диапазоне 30—60 нм, с шагом 10 нм в диапазоне 60—1100 нм. Затем за выходной щелью монохроматора устанавливают светофильтр и регистрируют показания эталонного $J^{\circ}(\lambda)$ и поверяемого СИ $J(\lambda)$, соответствующие рассеянному излучению

в монохроматоре. Результат i-го измерения ОСЧ поверяемого СИ $S_i(\lambda)$ рассчитывают по известным значениям ОСЧ $S^{\circ}(\lambda)$ эталонного СИ и отношению значений измеренных сигналов по формуле

$$S_i(\lambda) = S^{\circ}(\lambda)\,[I_i(\lambda) - J_i(\lambda)]/[I^{\circ}_i(\lambda) - J^{\circ}_i(\lambda)]. \quad (1)$$

Для каждой длины волны определяют среднее значение ОСЧ $S(\lambda)$. Оценку относительного СКО S_0 результатов измерений для n независимых измерений определяют по формуле

$$S_0 = \frac{\left\{\sum_{i=1}^{5}\left[S(\lambda) - S_i(\lambda)\right]^2\right\}^{1/2}}{S(\lambda)\left[n(n-1)\right]^{1/2}}. \quad (2)$$

Граница относительной неисключенной систематической погрешности результата измерений ОСЧ Θ_0 определяется погрешностью РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552 (из свидетельства о поверке).

Относительное суммарное СКО результатов измерения ОСЧ S_Σ определяют по формуле

$$S_\Sigma = (S_0^2 + \Theta_0^2/3)^{1/2}. \quad (3)$$

Значение относительного суммарного СКО результатов измерений ОСЧ в диапазоне длин волн от 7 до 1100 нм не должно превышать 5 %.

Погрешность спектральной коррекции поверяемого СИ Θ_1 в процентах, вызванную отклонением относительной спектральной чувствительности $S(\lambda)$ от стандартной $S^{CT}(\lambda)$, определяют по формуле

$$\Theta_1 = \left|\frac{\int_7^{1100} L(\lambda)S(\lambda)d\lambda \int_7^{1100} L^{CT}(\lambda)S^{CT}(\lambda)d\lambda}{\int_7^{1100} L(\lambda)S^{CT}(\lambda)d\lambda \int_7^{1100} L^{CT}(\lambda)S(\lambda)d\lambda} - 1\right| 100, \quad (4)$$

где $L(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической яркости контрольных источников УФ-излучения;

$L^{CT}(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической яркости стандартного источника УФ-излучения.

Для определения возможности применения поверяемого СИ при технологическом контроле в нанофотолитографии установлен перечень контрольных и стандартных источников излучения. Табулированные значения $L(\lambda)$ и $L^{CT}(\lambda)$ приведены в таблицах 2—7. Значение погрешности спектральной коррекции чувствительности Θ_1 СИ характеристик УФ-излучения для каждого контрольного источника должно быть не более 6 %.

Таблица 2 — Значения $L^{CT}(\lambda)$ для стандартного источника синхротронного излучения при энергии 450 МэВ и радиусе орбиты 1,0 мм

Длина волны, нм	$L^{CT}(\lambda)$	Длина волны, нм	$L^{CT}(\lambda)$	Длина волны, нм	$L^{CT}(\lambda)$
9,8	231	50	1020	160	106
10	279	60	7791	180	81,4
13	680	70	601	200	63,6
15	975	80	471	225	47,8
18,5	1385	90	375	250	36,9
20	1504	100	302	275	29,1
25	1663	110	249	300	23,5
30	1622	120	206	350	15,9
35	1493	130	173	400	11,1
40	1326	140	146	500	6,38
45	1172	150	124	600	3,33

Окончание таблицы 2

Длина волны, нм	$L^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$L^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$L^{ст}(\lambda)$
700	2,67	900	1,38	1100	0,82
800	1,89	1000	1,04		

Таблица 3 — Значения $L(\lambda)$ для контрольного источника — ртутной лампы среднего давления

Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$
200	$5,55 \cdot 10^{-2}$	380	$1,03 \cdot 10^{-2}$	560	$5,40 \cdot 10^{-3}$
205	$8,19 \cdot 10^{-2}$	385	$7,87 \cdot 10^{-3}$	565	$5,51 \cdot 10^{-3}$
210	$1,04 \cdot 10^{-1}$	390	$2,27 \cdot 10^{-2}$	570	$6,27 \cdot 10^{-3}$
215	$1,04 \cdot 10^{-1}$	395	$5,82 \cdot 10^{-3}$	575	$9,48 \cdot 10^{-3}$
220	$1,23 \cdot 10^{-1}$	400	$7,40 \cdot 10^{-3}$	580	$7,04 \cdot 10^{-1}$
225	$1,29 \cdot 10^{-1}$	405	$3,30 \cdot 10^{-1}$	585	$5,47 \cdot 10^{-3}$
230	$1,18 \cdot 10^{-1}$	410	$7,52 \cdot 10^{-2}$	590	$5,07 \cdot 10^{-3}$
235	$1,02 \cdot 10^{-1}$	415	$8,64 \cdot 10^{-3}$	595	$5,05 \cdot 10^{-3}$
240	$8,64 \cdot 10^{-2}$	420	$8,36 \cdot 10^{-3}$	600	$5,02 \cdot 10^{-3}$
245	$4,87 \cdot 10^{-2}$	425	$9,92 \cdot 10^{-3}$	605	$4,98 \cdot 10^{-3}$
250	$9,05 \cdot 10^{-2}$	430	$1,39 \cdot 10^{-2}$	610	$4,99 \cdot 10^{-3}$
255	$4,42 \cdot 10^{-1}$	435	$6,38 \cdot 10^{-1}$	615	$4,92 \cdot 10^{-3}$
260	$1,75 \cdot 10^{-1}$	440	$2,37 \cdot 10^{-2}$	620	$4,97 \cdot 10^{-3}$
265	$2,93 \cdot 10^{-1}$	445	$1,20 \cdot 10^{-2}$	625	$4,94 \cdot 10^{-3}$
270	$1,01 \cdot 10^{-1}$	450	$7,58 \cdot 10^{-3}$	630	$4,92 \cdot 10^{-3}$
275	$6,52 \cdot 10^{-2}$	455	$6,42 \cdot 10^{-3}$	635	$4,95 \cdot 10^{-3}$
280	$1,78 \cdot 10^{-1}$	460	$5,43 \cdot 10^{-3}$	640	$4,99 \cdot 10^{-3}$
285	$2,15 \cdot 10^{-2}$	465	$5,19 \cdot 10^{-3}$	645	$5,02 \cdot 10^{-3}$
290	$8,08 \cdot 10^{-2}$	470	$5,57 \cdot 10^{-3}$	650	$5,07 \cdot 10^{-3}$
295	$1,21 \cdot 10^{-1}$	475	$5,65 \cdot 10^{-3}$	655	$5,16 \cdot 10^{-3}$
300	$1,48 \cdot 10^{-1}$	480	$5,38 \cdot 10^{-3}$	660	$5,25 \cdot 10^{-3}$
305	$3,67 \cdot 10^{-1}$	485	$6,13 \cdot 10^{-3}$	665	$5,27 \cdot 10^{-3}$
310	$1,20 \cdot 10^{-1}$	490	$1,79 \cdot 10^{-2}$	670	$6,07 \cdot 10^{-3}$
315	$6,09 \cdot 10^{-1}$	495	$7,15 \cdot 10^{-3}$	675	$5,22 \cdot 10^{-3}$
320	$1,50 \cdot 10^{-2}$	500	$4,26 \cdot 10^{-3}$	680	$5,21 \cdot 10^{-3}$
325	$1,19 \cdot 10^{-2}$	505	$4,49 \cdot 10^{-3}$	685	$5,23 \cdot 10^{-3}$
330	$1,13 \cdot 10^{-2}$	510	$4,63 \cdot 10^{-3}$	690	$5,82 \cdot 10^{-3}$
335	$1,03 \cdot 10^{-1}$	515	$4,70 \cdot 10^{-3}$	695	$5,27 \cdot 10^{-3}$
340	$9,48 \cdot 10^{-3}$	520	$4,65 \cdot 10^{-3}$	700	$5,25 \cdot 10^{-3}$
345	$7,87 \cdot 10^{-3}$	525	$4,69 \cdot 10^{-3}$	705	$5,34 \cdot 10^{-3}$
350	$6,71 \cdot 10^{-3}$	530	$4,74 \cdot 10^{-3}$	710	$7,11 \cdot 10^{-3}$
355	$9,12 \cdot 10^{-3}$	535	$9,77 \cdot 10^{-3}$	715	$5,05 \cdot 10^{-3}$
360	$9,51 \cdot 10^{-3}$	540	$6,49 \cdot 10^{-3}$	720	$5,01 \cdot 10^{-3}$
365	1,000	545	$7,18 \cdot 10^{-1}$	725	$4,94 \cdot 10^{-3}$
370	$2,68 \cdot 10^{-2}$	550	$5,61 \cdot 10^{-3}$	730	$4,89 \cdot 10^{-3}$
375	$1,01 \cdot 10^{-2}$	555	$5,50 \cdot 10^{-3}$	735	$4,90 \cdot 10^{-3}$

Окончание таблицы 3

Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$
740	$4{,}93 \cdot 10^{-3}$	865	$5{,}38 \cdot 10^{-3}$	990	$6{,}07 \cdot 10^{-3}$
745	$4{,}92 \cdot 10^{-3}$	870	$5{,}41 \cdot 10^{-3}$	995	$6{,}08 \cdot 10^{-3}$
750	$4{,}94 \cdot 10^{-3}$	875	$5{,}43 \cdot 10^{-3}$	1000	$6{,}09 \cdot 10^{-3}$
755	$4{,}98 \cdot 10^{-3}$	880	$5{,}45 \cdot 10^{-3}$	1005	$6{,}09 \cdot 10^{-3}$
760	$4{,}97 \cdot 10^{-3}$	885	$5{,}48 \cdot 10^{-3}$	1010	$6{,}23 \cdot 10^{-3}$
765	$4{,}99 \cdot 10^{-3}$	890	$5{,}52 \cdot 10^{-3}$	1015	$7{,}66 \cdot 10^{-2}$
770	$5{,}01 \cdot 10^{-3}$	895	$5{,}55 \cdot 10^{-3}$	1020	$6{,}18 \cdot 10^{-3}$
775	$5{,}04 \cdot 10^{-3}$	900	$5{,}58 \cdot 10^{-3}$	1025	$6{,}09 \cdot 10^{-3}$
780	$5{,}05 \cdot 10^{-3}$	905	$5{,}62 \cdot 10^{-3}$	1030	$6{,}08 \cdot 10^{-3}$
785	$5{,}11 \cdot 10^{-3}$	910	$5{,}65 \cdot 10^{-3}$	1035	$6{,}06 \cdot 10^{-3}$
790	$5{,}09 \cdot 10^{-3}$	915	$5{,}70 \cdot 10^{-3}$	1040	$6{,}04 \cdot 10^{-3}$
795	$5{,}11 \cdot 10^{-3}$	920	$5{,}72 \cdot 10^{-3}$	1045	$6{,}01 \cdot 10^{-3}$
800	$5{,}14 \cdot 10^{-3}$	925	$5{,}76 \cdot 10^{-3}$	1050	$5{,}96 \cdot 10^{-3}$
805	$5{,}16 \cdot 10^{-3}$	930	$5{,}79 \cdot 10^{-3}$	1055	$5{,}93 \cdot 10^{-3}$
810	$5{,}16 \cdot 10^{-3}$	935	$5{,}82 \cdot 10^{-3}$	1060	$5{,}89 \cdot 10^{-3}$
815	$5{,}16 \cdot 10^{-3}$	940	$5{,}84 \cdot 10^{-3}$	1065	$5{,}86 \cdot 10^{-3}$
820	$5{,}18 \cdot 10^{-3}$	945	$5{,}87 \cdot 10^{-3}$	1070	$5{,}82 \cdot 10^{-3}$
825	$5{,}18 \cdot 10^{-3}$	950	$5{,}89 \cdot 10^{-3}$	1075	$5{,}79 \cdot 10^{-3}$
830	$5{,}19 \cdot 10^{-3}$	955	$5{,}92 \cdot 10^{-3}$	1080	$5{,}75 \cdot 10^{-3}$
835	$5{,}22 \cdot 10^{-3}$	960	$5{,}96 \cdot 10^{-3}$	1085	$5{,}72 \cdot 10^{-3}$
840	$5{,}25 \cdot 10^{-3}$	965	$5{,}98 \cdot 10^{-3}$	1090	$5{,}69 \cdot 10^{-3}$
845	$5{,}28 \cdot 10^{-3}$	970	$6{,}01 \cdot 10^{-3}$	1095	$5{,}66 \cdot 10^{-3}$
850	$5{,}31 \cdot 10^{-3}$	975	$6{,}04 \cdot 10^{-3}$	1100	$5{,}69 \cdot 10^{-3}$
855	$5{,}33 \cdot 10^{-3}$	980	$6{,}05 \cdot 10^{-3}$		
860	$5{,}36 \cdot 10^{-3}$	985	$6{,}05 \cdot 10^{-3}$		

Таблица 4 — Значения $L(\lambda)$ для контрольного источника — лазерной плазмы, тип I

Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$
10,0	0,299	17,0	0,086	24,0	0,007
10,5	0,489	17,5	0,056	24,5	0,011
11,0	0,161	18,0	0,038	25,0	0,014
11,5	0,175	18,5	0,025	25,5	0,007
12,0	0,109	19,0	0,018	26,0	0,014
12,5	0,095	19,5	0,015	26,5	0,012
13,0	0,474	20,0	0,007	27,0	0,006
13,5	1,000	20,5	0,009	27,5	0,013
14,0	0,832	21,0	0,008	28,0	0,015
14,5	0,825	21,5	0,008	28,5	0,007
15,0	0,474	22,0	0,015	29,0	0,011
15,5	0,336	22,5	0,009	29,5	0,014
16,0	0,321	23,0	0,015	30,0	0,009
16,5	0,175	23,5	0,009		

Таблица 5 — Значения $L(\lambda)$ для контрольного источника — лазерной плазмы, тип II

Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$
9	1,00	20	1,02	300	$1,03 \cdot 10^{-2}$
11	1,44	30	0,87	400	$5,90 \cdot 10^{-3}$
13	5,62	40	0,59	500	$3,48 \cdot 10^{-3}$
13,5	6,40	50	0,21	600	$2,64 \cdot 10^{-3}$
14	5,84	60	0,14	800	$6,05 \cdot 10^{-3}$
15	3,80	80	0,074	1000	$2,02 \cdot 10^{-3}$
16	2,61	100	0,035	1100	$3,23 \cdot 10^{-4}$
18	1,32	200	$1,60 \cdot 10^{-2}$		

Таблица 6 — Значения $L(\lambda)$ для контрольного источника — лазерной плазмы, тип III

Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$
10,0	0,009	17,0	0,096	24,0	0,085
10,5	0,009	17,5	0,094	24,5	0,088
11,0	0,009	18,0	0,092	25,0	0,082
11,5	0,010	18,5	0,087	25,5	0,087
12,0	0,013	19,0	0,074	26,0	0,083
12,5	0,039	19,5	0,081	26,5	0,085
13,0	0,106	20,0	0,086	27,0	0,084
13,5	1,000	20,5	0,084	27,5	0,083
14,0	0,508	21,0	0,079	28,0	0,086
14,5	0,267	21,5	0,086	28,5	0,084
15,0	0,164	22,0	0,083	29,0	0,083
15,5	0,113	22,5	0,082	29,5	0,085
16,0	0,132	23,0	0,086	30,0	0,083
16,5	0,109	23,5	0,079		

Таблица 7 — Значения $L(\lambda)$ для контрольного источника — лазерной плазмы, тип IV

Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$	Длина волны, нм	$L(\lambda)$
8,00	0,175	11,00	0,161	14,00	0,832
8,25	0,226	11,25	0,146	14,25	0,788
8,50	0,263	11,50	0,175	14,50	0,825
8,75	0,336	11,75	0,102	14,75	0,672
9,00	0,584	12,00	0,109	15,00	0,474
9,25	0,504	12,25	0,073	15,25	0,394
9,50	0,460	12,50	0,095	15,50	0,336
9,75	0,474	12,75	0,153	15,75	0,285
10,00	0,299	13,00	0,474	16,00	0,321
10,25	0,394	13,25	0,803	16,25	0,263
10,50	0,489	13,50	1,000	16,50	0,175
10,75	0,292	13,75	0,978		

8.3.2 Определение погрешности абсолютной чувствительности средств измерений в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм

Определение погрешности абсолютной чувствительности средств измерений в диапазоне длин волн от 10 до 30 нм проводят с использованием источника синхротронного излучения. Эталонное и поверяемое средство измерений энергетической яркости поочередно устанавливают на одинаковом расстоянии от излучателя и юстируют по углу для получения изображения излучающей области источника. Показания эталонного средства измерений I° и поверяемого средства измерений I регистрируют поочередно пять раз. Значение абсолютной чувствительности поверяемого средства измерений рассчитывают по формуле

$$S = S^{\circ} I / I^{\circ}, \tag{5}$$

где S° — значение абсолютной чувствительности эталонного СИ.

Определяют среднеарифметическое значение абсолютной чувствительности поверяемого СИ, суммарное СКО результата измерений с учетом погрешности эталонного СИ по формулам (1) — (3). Предельная погрешность определения абсолютной чувствительности Θ_2 не должна превышать 6 %.

8.3.3 Определение погрешности, возникающей из-за отклонения коэффициента линейности средства измерений от единицы. Определение границ диапазона измерений энергетической яркости и силы излучения

Коэффициент линейности определяют по отклонению значения чувствительности СИ от постоянного значения в рабочем диапазоне измеряемой величины. Фиксируют ток источника синхротронного излучения I_1, соответствующий нижней границе диапазона измерений энергетической яркости, указанной в паспорте поверяемого СИ и составляющей не более 10^3 Вт/(м^2 · ср) или силы излучения, составляющей не более 10^{-3} Вт/ср. Увеличивают ток источника вдвое и регистрируют показания поверяемого СИ I_2. Измерения проводят пять раз. Определяют средние значения измеренных сигналов, СКО S_0, суммарное СКО результатов измерений, рассчитывают коэффициент линейности

$$K = (I_1 + I_2)/3\ I_1, \tag{6}$$

и погрешность поверяемого СИ Θ_3, вызванную нелинейностью чувствительности СИ,

$$\Theta_3 = 100|K - 1|. \tag{7}$$

При определении границ диапазона измерений энергетической яркости и силы излучения поверяемого СИ ток излучателя увеличивают таким образом, чтобы значение энергетической яркости (силы излучения) увеличилось на порядок. Измеряют значения сигналов и рассчитывают соответствующее значение погрешности Θ_3. Измерения повторяют до достижения верхней границы диапазона измерений, указанной в паспорте поверяемого СИ и составляющей не менее 10^8 Вт/(м^2 · ср) для энергетической яркости и 10^2 Вт/ср для силы излучения. По результатам измерений определяют границы диапазона измерений энергетической яркости и силы излучения поверяемого СИ, в пределах которого значение погрешности Θ_3 не превышает 3 %.

8.3.4 Определение погрешности средства измерений, возникающей из-за неидеальной коррекции угловой зависимости чувствительности

Поверяемое СИ устанавливают на поворотном столике гониометра с использованием в качестве излучателя источника синхротронного излучения. Регистрируют показания $I(\varphi)$ поверяемого СИ в зависимости от угла падения потока излучения φ в пределах от 0° до 30° с шагом 1°. Показания СИ $I(\varphi)$ для угла φ нормируют на показание СИ $I(\varphi_0)$ при нормальном угле падения φ_0 потока излучения. Рассчитывают угловую зависимость $f(\varphi)$ отклонения относительной чувствительности СИ от функции cos φ по формуле

$$f(\varphi) = 100\ \{I(\varphi)/[I(\varphi_0)\cos\varphi] - 1\}. \tag{8}$$

Косинусную погрешность СИ Θ_4 рассчитывают по формуле

$$\Theta_4 = \int_{0^{\circ}}^{30^{\circ}} \left| f(\varphi) \right| \sin 2\varphi d\varphi\ . \tag{9}$$

Значение Θ_4 должно быть не более 3 %.

При превышении указанного значения косинусной погрешности допускается ограничивать угол зрения СИ.

9 Обработка результатов измерений

Обработку результатов измерений характеристик СИ и определение основной относительной погрешности проводят в соответствии с ГОСТ Р 8.736.

Относительное СКО S_0 результатов измерений для n независимых измерений оценивают по формуле (2).

СКО S_0 определяют по результатам измерений в соответствии с 8.3.3 в динамическом диапазоне 10^3—10^8 Вт/(м^2 ср) для энергетической яркости, в динамическом диапазоне 10^{-3}—10^2 Вт/ср для силы излучения.

Границу относительной неисключенной систематической погрешности Θ_0 определяют по формуле

$$\Theta_0 = 1{,}1\left(\sum_{j=1}^{4}\Theta_j^2\right)^{1/2}, \qquad (10)$$

где Θ_j — составляющие неисключенной систематической погрешности:

Θ_1 — погрешность спектральной коррекции ($\Theta_1 \le 6$ %—по 8.3.1);

Θ_2 — погрешность определения абсолютной чувствительности ($\Theta_2 \le 6$ % — по 8.3.2);

Θ_3 — погрешность линейности ($\Theta_3 \le 3$ % — по 8.3.3);

Θ_4 — погрешность угловой коррекции ($\Theta_4 \le 3$ % — по 8.3.4).

Предел допускаемой основной относительной погрешности СИ Δ_0 рассчитывают по формуле

$$\Delta_0 = KS_{\Sigma_0} = K\left(\sum_{j=1}^{4}\Theta_j^2/3 + S_0^2\right)^{1/2}, \qquad (11)$$

где S_{Σ_0} — суммарное относительное СКО;

K — коэффициент, определяемый соотношением случайной и неисключенной систематической погрешностей.

При $\Theta_0 > 8S_0$ случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и принимают $\Delta_0 = \Theta_0$.

Результаты поверки СИ энергетической яркости и силы излучения считают положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 10 %.

10 Оформление результатов поверки

10.1 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о поверке и СИ допускают к применению.

10.2 При отрицательных результатах поверки свидетельство аннулируют и выдают извещение о непригодности СИ.

Библиография

[1] CIE N 53 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 ОКСТУ 0008

Ключевые слова: энергетическая яркость, сила излучения, спектральная чувствительность, средства измерений, ультрафиолетовое излучение, нанофотолитография, синхротронное излучение

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 10.04.2019. Подписано в печать 12.08.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,20.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва. Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru