ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.640— 2008

Государственная система обеспечения единства измерений

РАДИОМЕТРЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ФОТОЛИТОГРАФИИ

Методика поверки

Издание официальное

БЗ 8—2007/239

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 26 марта 2008 г. № 60-ст

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, 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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Операции поверки 1
4 Средства поверки 2
5 Требования к квалификации поверителей 2
6 Требования безопасности 2
7 Условия поверки 3
8 Подготовка и проведение поверки 3
9 Обработка результатов измерений 9
10 Оформление результатов поверки 9
Приложение А (обязательное) Характеристики радиометров УФ-излучения 10
Библиография 10

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

РАДИОМЕТРЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ФОТОЛИТОГРАФИИ

Методика поверки

State system for ensuring the uniformity of measurements. Radiometers of ultraviolet radiation measurements for photolithography technological processes testing. Verification methods

Дата введения — 2009—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на средства измерений (СИ) характеристик ультрафиолетового (УФ) излучения — радиометры УФ-излучения, используемые в фотолитографии (далее — радиометры УФ-излучения), и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Технологические УФ-излучатели применяют для фотолитографии при создании высоких уровней УФ-освещенности в микро- и наноэлектронике. Средства измерений характеристик УФ-излучения в фотолитографии обеспечивают в диапазоне длин волн от 0,01 до 0,25 мкм измерения энергетической освещенности в динамическом диапазоне, нижняя граница которого составляет не более 0,1 Вт/м^2, верхняя — не менее 100 Вт/м^2.

Методы оценки погрешностей радиометров УФ-излучения, 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 8.207—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 Операции поверки

При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Издание официальное

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта настоящего стандарта	Проведение операций при поверке	
		первичной	периодической
Внешний осмотр	8.1	+	+
Опробование	8.2	+	+
Определение метрологических характеристик	8.3	+	+
Определение погрешности коррекции спектральной чувствительности	8.3.1	+	—
Определение погрешности абсолютной чувствительности в диапазоне длин волн от 0,01 до 0,25 мкм	8.3.2	+	+
Определение погрешности, обусловленной отклонением коэффициента линейности от единицы. Определение границ диапазона измерений энергетической освещенности	8.3.3	+	—
Определение погрешности угловой коррекции чувствительности	8.3.4	+	—
Примечание — Знак «+» означает, что выполнение операций обязательно, знак «—»— необязательно.			

4 Средства поверки

При проведении поверки применяют следующие средства:

- установку для измерений спектральной чувствительности приемников излучения в диапазоне длин волн от 0,01 до 1,1 мкм в составе рабочего эталона потока излучения и энергетической освещенности (далее — РЭ ПИ и ЭО) по ГОСТ 8.552. Установка включает в себя источники излучения — лампы типов ДКсШ-120, КГМ-12-100, ЛД2(Д), ИПИ-47 (или аналогичные), монохроматоры типов МДР-23, ВМР-2, ДФС-29 (или аналогичные), светофильтр типа БС-2, фотоприемники типов ФПД-1, ФД-288К, AXUV-100 (или аналогичные). Относительное суммарное среднее квадратическое отклонение (далее — СКО) — не более 3 %;

- установку для измерений абсолютной чувствительности радиометров УФ-излучения в диапазоне длин волн от 0,01 до 0,25 мкм в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552. Установка включает в себя комплект источников излучения — лампы типов ДРТ-250, ДКсШ-120, ЛД2(Д), ИПИ-47 (или аналогичные), многоканальный радиометр УФ-излучения. Относительное суммарное СКО — не более 4 %;

- установку для измерений коэффициента линейности чувствительности радиометров УФ-излучения в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552. Установка включает в себя набор нейтральных ослабителей, источники излучения — лампы типов ДРШ-250, ЛД2(Д), ИПИ-47 (или аналогичные). Относительное суммарное СКО — не более 5 %;

- установку для измерений угловой зависимости чувствительности радиометров УФ-излучения в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552, включающую в себя гониометр типа ГС-5 (или аналогичный). Относительное суммарное СКО — не более 5 %.

5 Требования к квалификации поверителей

Поверку должны проводить лица, аттестованные в качестве поверителей, освоившие работу с радиометрами и используемыми средствами поверки, изучившие настоящий стандарт и эксплуатационные документы на средства поверки и радиометры УФ-излучения.

6 Требования безопасности

При поверке радиометров УФ-излучения 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 электрических установок. При работе с источниками УФ-излучения необходимо использовать средства защиты персонала от УФ-излучения — защитные очки, щитки, перчатки и т.п.

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

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

8.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должны быть установлены:

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

8.2 Опробование

При опробовании должны быть установлены:

- наличие показаний радиометра при освещении УФ-излучением;
- правильное функционирование переключателей пределов измерений, режимов работы радиометров УФ-излучения.

8.3 Определение метрологических характеристик

8.3.1 Определение погрешности коррекции спектральной чувствительности

Погрешность радиометров УФ-излучения, обусловленную неидеальной коррекцией спектральной чувствительности, определяют по результатам измерений отклонений относительной спектральной чувствительности (далее — ОСЧ) поверяемого радиометра от стандартной (приложение А). ОСЧ поверяемого радиометра УФ-излучения сравнивают с известной спектральной чувствительностью эталонного радиометра УФ-излучения, поверенного в ранге РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552 в диапазоне длин волн от 0,01 до 1,10 мкм. Измерения относительной спектральной чувствительности поверяемого радиометра УФ-излучения проводят с использованием источников УФ-излучения — ламп типов ДКсШ-120, КГМ-12-100, ЛД2(Д), ИПИ-47, а также монохроматоров типов МДР-23, ВМР-2, ДФС-29, светофильтра БС-2, фотоприемников типов ФПД-1, ФД-288К и AXUV-100, поверенных в ранге РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552.

При определении погрешности измерений относительной спектральной чувствительности в диапазоне длин волн от 0,01 до 1,1 мкм эталонный и поверяемый радиометры поочередно устанавливают за выходной щелью монохроматора таким образом, чтобы поток монохроматического излучения проходил в апертурную диафрагму. Показания эталонного $I^{\circ}(\lambda)$ и поверяемого $I(\lambda)$ радиометра регистрируют поочередно 5 раз на каждой длине волны с шагом 5 нм. Затем за выходной щелью монохроматора устанавливают светофильтр типа БС-2 и регистрируют показания эталонного $J^{\circ}(\lambda)$ и поверяемого $J(\lambda)$ радиометра, соответствующие рассеянному излучению в монохроматоре. Результат i-го измерения ОСЧ поверяемого радиометра $S_i(\lambda)$ рассчитывают по известным значениям ОСЧ $S^{\circ}(\lambda)$ эталонного радиометра и отношению значений измеренных сигналов по формуле

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

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

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

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

Относительное суммарное СКО результатов измерений ОСЧ S_Σ определяют по формуле

$$S_\Sigma = (S_o^2 + \Theta_o^2/3)^{1/2}. \qquad (3)$$

Значение относительного суммарного СКО результатов измерений ОСЧ в диапазоне длин волн от 0,01 до 1,1 мкм не должно превышать 5 %.

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

$$\Theta_1 = \left| \frac{\int_{0,01}^{1,1} E(\lambda)\, S(\lambda)\, d\lambda \int_{0,01}^{1,1} E^{ст}(\lambda)\, S^{ст}(\lambda)\, d\lambda}{\int_{0,01}^{1,1} E^{ст}(\lambda)\, S^{ст}(\lambda)\, d\lambda \int_{0,01}^{1,1} E^{ст}(\lambda)\, S(\lambda)\, d\lambda} - 1 \right| \cdot 100, \qquad (4)$$

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

$E^{ст}(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности стандартного источника УФ-излучения.

Для определения возможности применения поверяемого радиометра УФ-излучения в соответствии с настоящим стандартом установлен перечень контрольных и стандартных источников излучения. Табулированные значения $E(\lambda)$ и $E^{ст}(\lambda)$ приведены в таблицах 2 — 7. Значение погрешности спектральной коррекции Θ_1 радиометра УФ-излучения для каждого контрольного источника должно быть не более 8 %.

Таблица 2 — Значения $E^{ст}(\lambda)$ для стандартного источника синхротронного излучения при энергии 50 МэВ и радиусе орбиты 17 мм

Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$
9,8	231	70	601	250	36,9
10	279	80	471	275	29,1
13	680	90	375	300	23,5
15	975	100	302	350	15,9
18,5	1385	110	249	400	11,1
20	1504	120	206	500	6,38
25	1663	130	173	600	3,33
30	1622	140	146	700	2,67
35	1493	150	124	800	1,89
40	1326	160	106	900	1,38
45	1172	180	81,4	1000	1,04
50	1020	200	63,6	1100	0,82
60	7791	225	47,8		

Таблица 3 — Значения $E^{ст}(\lambda)$ для контрольного источника — ртутной лампы среднего давления

Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$
200	$5{,}55 \cdot 10^{-2}$	220	$1{,}23 \cdot 10^{-1}$	240	$8{,}64 \cdot 10^{-2}$
205	$8{,}19 \cdot 10^{-2}$	225	$1{,}29 \cdot 10^{-1}$	245	$4{,}87 \cdot 10^{-2}$
210	$1{,}04 \cdot 10^{-1}$	230	$1{,}18 \cdot 10^{-1}$	250	$9{,}05 \cdot 10^{-2}$
215	$1{,}04 \cdot 10^{-1}$	235	$1{,}02 \cdot 10^{-1}$	255	$4{,}42 \cdot 10^{-1}$

Окончание таблицы 3

Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$	Длина волны, нм	$E^{ст}(\lambda)$
260	$1{,}75 \cdot 10^{-1}$	545	$7{,}18 \cdot 10^{-1}$	830	$5{,}19 \cdot 10^{-3}$
265	$2{,}93 \cdot 10^{-1}$	550	$5{,}61 \cdot 10^{-3}$	835	$5{,}22 \cdot 10^{-3}$
270	$1{,}01 \cdot 10^{-1}$	555	$5{,}50 \cdot 10^{-3}$	840	$5{,}25 \cdot 10^{-3}$
275	$6{,}52 \cdot 10^{-2}$	560	$5{,}40 \cdot 10^{-3}$	845	$5{,}28 \cdot 10^{-3}$
280	$1{,}78 \cdot 10^{-1}$	565	$5{,}51 \cdot 10^{-3}$	850	$5{,}31 \cdot 10^{-3}$
285	$2{,}15 \cdot 10^{-2}$	570	$6{,}27 \cdot 10^{-3}$	855	$5{,}33 \cdot 10^{-3}$
290	$8{,}08 \cdot 10^{-2}$	575	$9{,}48 \cdot 10^{-3}$	860	$5{,}36 \cdot 10^{-3}$
295	$1{,}21 \cdot 10^{-1}$	580	$7{,}04 \cdot 10^{-1}$	865	$5{,}38 \cdot 10^{-3}$
300	$1{,}48 \cdot 10^{-1}$	585	$5{,}47 \cdot 10^{-3}$	870	$5{,}41 \cdot 10^{-3}$
305	$3{,}67 \cdot 10^{-1}$	590	$5{,}07 \cdot 10^{-3}$	875	$5{,}43 \cdot 10^{-3}$
310	$1{,}20 \cdot 10^{-1}$	595	$5{,}05 \cdot 10^{-3}$	880	$5{,}45 \cdot 10^{-3}$
315	$6{,}09 \cdot 10^{-1}$	600	$5{,}02 \cdot 10^{-3}$	885	$5{,}48 \cdot 10^{-3}$
320	$1{,}50 \cdot 10^{-2}$	605	$4{,}98 \cdot 10^{-3}$	890	$5{,}52 \cdot 10^{-3}$
325	$1{,}19 \cdot 10^{-2}$	610	$4{,}99 \cdot 10^{-3}$	895	$5{,}55 \cdot 10^{-3}$
330	$1{,}13 \cdot 10^{-2}$	615	$4{,}92 \cdot 10^{-3}$	900	$5{,}58 \cdot 10^{-3}$
335	$1{,}03 \cdot 10^{-1}$	620	$4{,}97 \cdot 10^{-3}$	905	$5{,}62 \cdot 10^{-3}$
340	$9{,}48 \cdot 10^{-3}$	625	$4{,}94 \cdot 10^{-3}$	910	$5{,}65 \cdot 10^{-3}$
345	$7{,}87 \cdot 10^{-3}$	630	$4{,}92 \cdot 10^{-3}$	915	$5{,}70 \cdot 10^{-3}$
350	$6{,}71 \cdot 10^{-3}$	635	$4{,}95 \cdot 10^{-3}$	920	$5{,}72 \cdot 10^{-3}$
355	$9{,}12 \cdot 10^{-3}$	640	$4{,}99 \cdot 10^{-3}$	925	$5{,}76 \cdot 10^{-3}$
360	$9{,}51 \cdot 10^{-3}$	645	$5{,}02 \cdot 10^{-3}$	930	$5{,}79 \cdot 10^{-3}$
365	1,000	650	$5{,}07 \cdot 10^{-3}$	935	$5{,}82 \cdot 10^{-3}$
370	$2{,}68 \cdot 10^{-2}$	655	$5{,}16 \cdot 10^{-3}$	940	$5{,}84 \cdot 10^{-3}$
375	$1{,}01 \cdot 10^{-2}$	660	$5{,}25 \cdot 10^{-3}$	945	$5{,}87 \cdot 10^{-3}$
380	$1{,}03 \cdot 10^{-2}$	665	$5{,}27 \cdot 10^{-3}$	950	$5{,}89 \cdot 10^{-3}$
385	$7{,}87 \cdot 10^{-3}$	670	$6{,}07 \cdot 10^{-3}$	955	$5{,}92 \cdot 10^{-3}$
390	$2{,}27 \cdot 10^{-2}$	675	$5{,}22 \cdot 10^{-3}$	960	$5{,}96 \cdot 10^{-3}$
395	$5{,}82 \cdot 10^{-3}$	680	$5{,}21 \cdot 10^{-3}$	965	$5{,}98 \cdot 10^{-3}$
400	$7{,}40 \cdot 10^{-3}$	685	$5{,}23 \cdot 10^{-3}$	970	$6{,}01 \cdot 10^{-3}$
405	$3{,}30 \cdot 10^{-1}$	690	$5{,}82 \cdot 10^{-3}$	975	$6{,}04 \cdot 10^{-3}$
410	$7{,}52 \cdot 10^{-2}$	695	$5{,}27 \cdot 10^{-3}$	980	$6{,}05 \cdot 10^{-3}$
415	$8{,}64 \cdot 10^{-3}$	700	$5{,}25 \cdot 10^{-3}$	985	$6{,}05 \cdot 10^{-3}$
420	$8{,}36 \cdot 10^{-3}$	705	$5{,}34 \cdot 10^{-3}$	990	$6{,}07 \cdot 10^{-3}$
425	$9{,}92 \cdot 10^{-3}$	710	$7{,}11 \cdot 10^{-3}$	995	$6{,}08 \cdot 10^{-3}$
430	$1{,}39 \cdot 10^{-2}$	715	$5{,}05 \cdot 10^{-3}$	1000	$6{,}09 \cdot 10^{-3}$
435	$6{,}38 \cdot 10^{-1}$	720	$5{,}01 \cdot 10^{-3}$	1005	$6{,}09 \cdot 10^{-3}$
440	$2{,}37 \cdot 10^{-2}$	725	$4{,}94 \cdot 10^{-3}$	1010	$6{,}23 \cdot 10^{-3}$
445	$1{,}20 \cdot 10^{-2}$	730	$4{,}89 \cdot 10^{-3}$	1015	$7{,}66 \cdot 10^{-2}$
450	$7{,}58 \cdot 10^{-3}$	735	$4{,}90 \cdot 10^{-3}$	1020	$6{,}18 \cdot 10^{-3}$
455	$6{,}42 \cdot 10^{-3}$	740	$4{,}93 \cdot 10^{-3}$	1025	$6{,}09 \cdot 10^{-3}$
460	$5{,}43 \cdot 10^{-3}$	745	$4{,}92 \cdot 10^{-3}$	1030	$6{,}08 \cdot 10^{-3}$
465	$5{,}19 \cdot 10^{-3}$	750	$4{,}94 \cdot 10^{-3}$	1035	$6{,}06 \cdot 10^{-3}$
470	$5{,}57 \cdot 10^{-3}$	755	$4{,}98 \cdot 10^{-3}$	1040	$6{,}04 \cdot 10^{-3}$
475	$5{,}65 \cdot 10^{-3}$	760	$4{,}97 \cdot 10^{-3}$	1045	$6{,}01 \cdot 10^{-3}$
480	$5{,}38 \cdot 10^{-3}$	765	$4{,}99 \cdot 10^{-3}$	1050	$5{,}96 \cdot 10^{-3}$
485	$6{,}13 \cdot 10^{-3}$	770	$5{,}01 \cdot 10^{-3}$	1055	$5{,}93 \cdot 10^{-3}$
490	$1{,}79 \cdot 10^{-2}$	775	$5{,}04 \cdot 10^{-3}$	1060	$5{,}89 \cdot 10^{-3}$
495	$7{,}15 \cdot 10^{-3}$	780	$5{,}05 \cdot 10^{-3}$	1065	$5{,}86 \cdot 10^{-3}$
500	$4{,}26 \cdot 10^{-3}$	785	$5{,}11 \cdot 10^{-3}$	1070	$5{,}82 \cdot 10^{-3}$
505	$4{,}49 \cdot 10^{-3}$	790	$5{,}09 \cdot 10^{-3}$	1075	$5{,}79 \cdot 10^{-3}$
510	$4{,}63 \cdot 10^{-3}$	795	$5{,}11 \cdot 10^{-3}$	1080	$5{,}75 \cdot 10^{-3}$
515	$4{,}70 \cdot 10^{-3}$	800	$5{,}14 \cdot 10^{-3}$	1085	$5{,}72 \cdot 10^{-3}$
520	$4{,}65 \cdot 10^{-3}$	805	$5{,}16 \cdot 10^{-3}$	1090	$5{,}69 \cdot 10^{-3}$
525	$4{,}69 \cdot 10^{-3}$	810	$5{,}16 \cdot 10^{-3}$	1095	$5{,}66 \cdot 10^{-3}$
530	$4{,}74 \cdot 10^{-3}$	815	$5{,}16 \cdot 10^{-3}$	1100	$5{,}69 \cdot 10^{-3}$
535	$9{,}77 \cdot 10^{-3}$	820	$5{,}18 \cdot 10^{-3}$		
540	$6{,}49 \cdot 10^{-3}$	825	$5{,}18 \cdot 10^{-3}$		

Таблица 4 — Значения $E(\lambda)$ для контрольного источника — ртутной лампы с люминофором типа ЛУФ

Длина волны, нм	$E(\lambda)$	Длина волны, нм	$E(\lambda)$	Длина волны, нм	$E(\lambda)$
280	$2{,}07 \cdot 10^{-6}$	390	$1{,}14 \cdot 10^{-1}$	500	$3{,}31 \cdot 10^{-4}$
285	$1{,}18 \cdot 10^{-5}$	395	$6{,}99 \cdot 10^{-2}$	505	$3{,}20 \cdot 10^{-4}$
290	$1{,}58 \cdot 10^{-4}$	400	$4{,}26 \cdot 10^{-2}$	510	$2{,}94 \cdot 10^{-4}$
295	$8{,}78 \cdot 10^{-4}$	405	$3{,}28 \cdot 10^{-1}$	515	$3{,}10 \cdot 10^{-4}$
300	$1{,}81 \cdot 10^{-3}$	410	$6{,}31 \cdot 10^{-2}$	520	$2{,}50 \cdot 10^{-4}$
305	$6{,}06 \cdot 10^{-3}$	415	$9{,}85 \cdot 10^{-3}$	525	$2{,}67 \cdot 10^{-4}$
310	$1{,}86 \cdot 10^{-2}$	420	$6{,}38 \cdot 10^{-3}$	530	$2{,}36 \cdot 10^{-4}$
315	$6{,}33 \cdot 10^{-2}$	425	$4{,}11 \cdot 10^{-3}$	535	$2{,}35 \cdot 10^{-4}$
320	$1{,}09 \cdot 10^{-1}$	430	$2{,}84 \cdot 10^{-3}$	540	$1{,}92 \cdot 10^{-4}$
325	$2{,}23 \cdot 10^{-1}$	435	$1{,}55 \cdot 10^{-1}$	545	$3{,}74 \cdot 10^{-1}$
330	$3{,}85 \cdot 10^{-1}$	440	$1{,}83 \cdot 10^{-3}$	550	$5{,}27 \cdot 10^{-4}$
335	$5{,}83 \cdot 10^{-1}$	445	$1{,}17 \cdot 10^{-3}$	555	$1{,}51 \cdot 10^{-4}$
340	$7{,}57 \cdot 10^{-1}$	450	$9{,}48 \cdot 10^{-4}$	560	$1{,}47 \cdot 10^{-4}$
345	$9{,}19 \cdot 10^{-1}$	455	$7{,}95 \cdot 10^{-4}$	565	$1{,}23 \cdot 10^{-4}$
350	1,000	460	$6{,}36 \cdot 10^{-4}$	570	$1{,}13 \cdot 10^{-4}$
355	$9{,}75 \cdot 10^{-1}$	465	$5{,}53 \cdot 10^{-4}$	575	$9{,}95 \cdot 10^{-5}$
360	$8{,}63 \cdot 10^{-1}$	470	$5{,}09 \cdot 10^{-4}$	580	$3{,}52 \cdot 10^{-1}$
365	$8{,}74 \cdot 10^{-1}$	475	$4{,}63 \cdot 10^{-4}$	585	$1{,}49 \cdot 10^{-4}$
370	$5{,}58 \cdot 10^{-1}$	480	$4{,}24 \cdot 10^{-4}$	590	$8{,}67 \cdot 10^{-5}$
375	$3{,}98 \cdot 10^{-1}$	485	$3{,}92 \cdot 10^{-4}$	595	$7{,}24 \cdot 10^{-5}$
380	$2{,}70 \cdot 10^{-1}$	490	$2{,}67 \cdot 10^{-3}$	600	$6{,}96 \cdot 10^{-5}$
385	$1{,}78 \cdot 10^{-1}$	495	$3{,}61 \cdot 10^{-4}$		

Таблица 5 — Значения $E(\lambda)$ для контрольного источника — ксеноновой лазерной плазмы

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

Таблица 6 — Значения $E(\lambda)$ для контрольного источника — ксеноновой лампы высокого давления

Длина волны, нм	$E(\lambda)$	Длина волны, нм	$E(\lambda)$	Длина волны, нм	$E(\lambda)$
200	$8{,}03 \cdot 10^{-4}$	270	$2{,}98 \cdot 10^{-1}$	340	$6{,}74 \cdot 10^{-1}$
205	$6{,}22 \cdot 10^{-3}$	275	$3{,}16 \cdot 10^{-1}$	345	$7{,}01 \cdot 10^{-1}$
210	$2{,}30 \cdot 10^{-2}$	280	$3{,}35 \cdot 10^{-1}$	350	$7{,}30 \cdot 10^{-1}$
215	$4{,}15 \cdot 10^{-2}$	285	$3{,}59 \cdot 10^{-1}$	355	$7{,}63 \cdot 10^{-1}$
220	$9{,}01 \cdot 10^{-2}$	290	$3{,}78 \cdot 10^{-1}$	360	$7{,}98 \cdot 10^{-1}$
225	$1{,}20 \cdot 10^{-1}$	295	$3{,}99 \cdot 10^{-1}$	365	$8{,}33 \cdot 10^{-1}$
230	$1{,}68 \cdot 10^{-1}$	300	$4{,}13 \cdot 10^{-1}$	370	$8{,}70 \cdot 10^{-1}$
235	$1{,}75 \cdot 10^{-1}$	305	$4{,}49 \cdot 10^{-1}$	375	$8{,}76 \cdot 10^{-1}$
240	$1{,}83 \cdot 10^{-1}$	310	$4{,}88 \cdot 10^{-1}$	380	$8{,}82 \cdot 10^{-1}$
245	$1{,}99 \cdot 10^{-1}$	315	$5{,}22 \cdot 10^{-1}$	385	$9{,}07 \cdot 10^{-1}$
250	$2{,}17 \cdot 10^{-1}$	320	$5{,}59 \cdot 10^{-1}$	390	$9{,}32 \cdot 10^{-1}$
255	$2{,}38 \cdot 10^{-1}$	325	$5{,}86 \cdot 10^{-1}$	395	1,000
260	$2{,}61 \cdot 10^{-1}$	330	$6{,}15 \cdot 10^{-1}$	400	$8{,}08 \cdot 10^{-1}$
265	$2{,}79 \cdot 10^{-1}$	335	$6{,}44 \cdot 10^{-1}$		

Таблица 7 — Значения $E(\lambda)$ для контрольного источника типа А

Длина волны, нм	$E(\lambda)$	Длина волны, нм	$E(\lambda)$	Длина волны, нм	$E(\lambda)$
270	$7,83 \cdot 10^{-4}$	550	$3,46 \cdot 10^{-1}$	830	$9,45 \cdot 10^{-1}$
275	$1,03 \cdot 10^{-3}$	555	$3,59 \cdot 10^{-1}$	835	$9,50 \cdot 10^{-1}$
280	$1,33 \cdot 10^{-3}$	560	$3,72 \cdot 10^{-1}$	840	$9,54 \cdot 10^{-1}$
285	$1,68 \cdot 10^{-3}$	565	$3,86 \cdot 10^{-1}$	845	$9,59 \cdot 10^{-1}$
290	$2,09 \cdot 10^{-3}$	570	$3,99 \cdot 10^{-1}$	850	$9,63 \cdot 10^{-1}$
295	$2,57 \cdot 10^{-3}$	575	$4,12 \cdot 10^{-1}$	855	$9,67 \cdot 10^{-1}$
300	$3,13 \cdot 10^{-3}$	580	$4,26 \cdot 10^{-1}$	860	$9,70 \cdot 10^{-1}$
305	$3,75 \cdot 10^{-3}$	585	$4,39 \cdot 10^{-1}$	865	$9,74 \cdot 10^{-1}$
310	$4,49 \cdot 10^{-3}$	590	$4,52 \cdot 10^{-1}$	870	$9,77 \cdot 10^{-1}$
315	$5,37 \cdot 10^{-3}$	595	$4,66 \cdot 10^{-1}$	875	$9,80 \cdot 10^{-1}$
320	$6,38 \cdot 10^{-3}$	600	$4,79 \cdot 10^{-1}$	880	$9,82 \cdot 10^{-1}$
325	$7,55 \cdot 10^{-3}$	605	$4,93 \cdot 10^{-1}$	885	$9,85 \cdot 10^{-1}$
330	$8,94 \cdot 10^{-3}$	610	$5,07 \cdot 10^{-1}$	890	$9,87 \cdot 10^{-1}$
335	$1,04 \cdot 10^{-2}$	615	$5,21 \cdot 10^{-1}$	895	$9,89 \cdot 10^{-1}$
340	$1,21 \cdot 10^{-2}$	620	$5,34 \cdot 10^{-1}$	900	$9,91 \cdot 10^{-1}$
345	$1,42 \cdot 10^{-2}$	625	$5,48 \cdot 10^{-1}$	905	$9,93 \cdot 10^{-1}$
350	$1,62 \cdot 10^{-2}$	630	$5,61 \cdot 10^{-1}$	910	$9,95 \cdot 10^{-1}$
355	$1,85 \cdot 10^{-2}$	635	$5,75 \cdot 10^{-1}$	915	$9,96 \cdot 10^{-1}$
360	$2,12 \cdot 10^{-2}$	640	$5,88 \cdot 10^{-1}$	920	$9,97 \cdot 10^{-1}$
365	$2,39 \cdot 10^{-2}$	645	$6,01 \cdot 10^{-1}$	925	$9,98 \cdot 10^{-1}$
370	$2,70 \cdot 10^{-2}$	650	$6,14 \cdot 10^{-1}$	930	$9,98 \cdot 10^{-1}$
375	$3,05 \cdot 10^{-2}$	655	$6,27 \cdot 10^{-1}$	935	$9,99 \cdot 10^{-1}$
380	$3,44 \cdot 10^{-2}$	660	$6,39 \cdot 10^{-1}$	940	$9,99 \cdot 10^{-1}$
385	$3,84 \cdot 10^{-2}$	665	$6,52 \cdot 10^{-1}$	945	1,000
390	$4,27 \cdot 10^{-2}$	670	$6,64 \cdot 10^{-1}$	950	1,000
395	$4,72 \cdot 10^{-2}$	675	$6,76 \cdot 10^{-1}$	955	1,000
400	$5,21 \cdot 10^{-2}$	680	$6,88 \cdot 10^{-1}$	960	$9,99 \cdot 10^{-1}$
405	$5,74 \cdot 10^{-2}$	685	$7,00 \cdot 10^{-1}$	965	$9,99 \cdot 10^{-1}$
410	$6,33 \cdot 10^{-2}$	690	$7,12 \cdot 10^{-1}$	970	$9,98 \cdot 10^{-1}$
415	$6,90 \cdot 10^{-2}$	695	$7,24 \cdot 10^{-1}$	975	$9,98 \cdot 10^{-1}$
420	$7,56 \cdot 10^{-2}$	700	$7,35 \cdot 10^{-1}$	980	$9,97 \cdot 10^{-1}$
425	$8,20 \cdot 10^{-2}$	705	$7,46 \cdot 10^{-1}$	985	$9,96 \cdot 10^{-1}$
430	$8,90 \cdot 10^{-2}$	710	$7,57 \cdot 10^{-1}$	990	$9,96 \cdot 10^{-1}$
435	$9,68 \cdot 10^{-2}$	715	$7,68 \cdot 10^{-1}$	995	$9,95 \cdot 10^{-1}$
440	$1,05 \cdot 10^{-1}$	720	$7,78 \cdot 10^{-1}$	1000	$9,94 \cdot 10^{-1}$
445	$1,13 \cdot 10^{-1}$	725	$7,88 \cdot 10^{-1}$	1005	$9,93 \cdot 10^{-1}$
450	$1,21 \cdot 10^{-1}$	730	$7,98 \cdot 10^{-1}$	1010	$9,91 \cdot 10^{-1}$
455	$1,30 \cdot 10^{-1}$	735	$8,07 \cdot 10^{-1}$	1015	$9,89 \cdot 10^{-1}$
460	$1,39 \cdot 10^{-1}$	740	$8,16 \cdot 10^{-1}$	1020	$9,88 \cdot 10^{-1}$
465	$1,48 \cdot 10^{-1}$	745	$8,25 \cdot 10^{-1}$	1025	$9,86 \cdot 10^{-1}$
470	$1,58 \cdot 10^{-1}$	750	$8,34 \cdot 10^{-1}$	1030	$9,83 \cdot 10^{-1}$
475	$1,68 \cdot 10^{-1}$	755	$8,42 \cdot 10^{-1}$	1035	$9,81 \cdot 10^{-1}$
480	$1,78 \cdot 10^{-1}$	760	$8,51 \cdot 10^{-1}$	1040	$9,79 \cdot 10^{-1}$
485	$1,88 \cdot 10^{-1}$	765	$8,59 \cdot 10^{-1}$	1045	$9,77 \cdot 10^{-1}$
490	$1,99 \cdot 10^{-1}$	770	$8,67 \cdot 10^{-1}$	1050	$9,74 \cdot 10^{-1}$
495	$2,10 \cdot 10^{-1}$	775	$8,75 \cdot 10^{-1}$	1055	$9,71 \cdot 10^{-1}$
500	$2,22 \cdot 10^{-1}$	780	$8,83 \cdot 10^{-1}$	1060	$9,68 \cdot 10^{-1}$
505	$2,33 \cdot 10^{-1}$	785	$8,90 \cdot 10^{-1}$	1065	$9,65 \cdot 10^{-1}$
510	$2,45 \cdot 10^{-1}$	790	$8,97 \cdot 10^{-1}$	1070	$9,62 \cdot 10^{-1}$
515	$2,57 \cdot 10^{-1}$	795	$9,04 \cdot 10^{-1}$	1075	$9,59 \cdot 10^{-1}$
520	$2,69 \cdot 10^{-1}$	800	$9,11 \cdot 10^{-1}$	1080	$9,56 \cdot 10^{-1}$
525	$2,81 \cdot 10^{-1}$	805	$9,18 \cdot 10^{-1}$	1085	$9,53 \cdot 10^{-1}$
530	$2,94 \cdot 10^{-1}$	810	$9,24 \cdot 10^{-1}$	1090	$9,50 \cdot 10^{-1}$
535	$3,07 \cdot 10^{-1}$	815	$9,30 \cdot 10^{-1}$	1095	$9,47 \cdot 10^{-1}$
540	$3,20 \cdot 10^{-1}$	820	$9,35 \cdot 10^{-1}$	1100	$9,43 \cdot 10^{-1}$
545	$3,33 \cdot 10^{-1}$	825	$9,40 \cdot 10^{-1}$		

8.3.2 Определение погрешности абсолютной чувствительности радиометров УФ-излучения в диапазоне длин волн от 0,01 до 0,25 мкм проводят с использованием излучателей типов ЛД2(Д), ИПИ-47. Эталонный и поверяемый радиометры УФ-излучения поочередно устанавливают на расстоянии 1 м от излучателя и юстируют по углу для достижения максимального сигнала. Показания эталонного радио-

метра I° и поверяемого радиометра I регистрируют пять раз для каждого контрольного источника. Значение абсолютной чувствительности поверяемого радиометра УФ-излучения S рассчитывают по формуле

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

где S° — значение абсолютной чувствительности эталонного радиометра УФ-излучения

Определяют среднеарифметическое значение абсолютной чувствительности поверяемого радиометра, суммарное СКО результатов измерений с учетом погрешности эталонного радиометра по формулам 1—3. Предельная погрешность определения абсолютной чувствительности Θ_2 не должна превышать 10 %.

8.3.3 Определение погрешности, обусловленной отклонением коэффициента линейности от единицы. Определение границ диапазона измерений энергетической освещенности

Измерение коэффициента линейности радиометра УФ-излучения проводят для определения границ диапазона измерений ЭО. Коэффициент линейности определяют по отклонению значения чувствительности радиометра от постоянного значения в рабочем диапазоне измеряемой величины. Устанавливают два источника УФ-излучения — лампы типов ЛД2(Д), ИПИ-47 на таком расстоянии от повторяемого радиометра, чтобы показания радиометра соответствовали нижней границе диапазона измерений ЭО, указанной в его паспорте и составляющей не более 0,1 Вт/м². Регистрируют показания поверяемого радиометра от каждого из двух излучателей I_1 и I_2 и суммарный сигнал I_{Σ} от двух излучателей. Измерения проводят 5 раз с использованием экранирующих заслонок. Определяют средние значения измеренных сигналов, СКО S_0, суммарное СКО результатов измерений, рассчитывают коэффициент линейности K, равный $I_{\Sigma} / (I_1 + I_2)$, и погрешность радиометра Θ_3, вызванную отклонением чувствительности радиометра, равную $100|K - 1|$.

При определении границ диапазона измерений ЭО поверяемого радиометра расстояние между ним и источниками излучения уменьшают таким образом, чтобы значение энергетической освещенности от каждого источника излучения увеличилось на порядок. Измеряют значения сигналов I_1, I_2, I_{Σ} и рассчитывают соответствующее значение погрешности Θ_3. Измерения повторяют каждый раз с увеличением значения ЭО на порядок до достижения верхней границы диапазона измерений, указанной в паспорте поверяемого радиометра и составляющей не менее 100 Вт/м². По результатам измерений определяют границы диапазона ЭО поверяемого радиометра, в пределах которого значение погрешности Θ_3 должно быть не более 6 %.

8.3.4 Определение погрешности угловой коррекции чувствительности

При определении погрешности угловой коррекции чувствительности радиометров УФ-излучения, обусловленной неидеальной коррекцией угловой зависимости чувствительности от угла падения потока излучения, поверяемый радиометр устанавливают на неподвижное плечо гониометра типа ГС-5, на подвижное плечо гониометра устанавливают источник излучения — лампу типа ЛД2(Д). Регистрируют показания $I(\varphi)$ поверяемого радиометра УФ-излучения в зависимости от угла падения потока излучения φ в пределах от 0° до 85° с шагом 5°. Показания радиометра $I(\varphi)$ для угла φ нормируют на показания радиометра $I(\varphi_0)$ при нормальном угле падения φ_0 потока излучения. Рассчитывают угловую зависимость $f(\varphi)$ отклонения относительной чувствительности радиометра от функции $\cos\varphi$ по формуле

$$f(\varphi) = 100 \{ I(\varphi) / [I(\varphi_0) \cos\varphi] - 1 \}. \tag{6}$$

Косинусную погрешность радиометра Θ_4, в процентах, рассчитывают по формуле

$$\Theta_4 = \int_0^{85^{\circ}} \left| f(\varphi) \right| \sin 2\varphi \, d\varphi. \tag{7}$$

Значение Θ_4 должно быть не более 7 %.

При превышении приведенного значения косинусной погрешности допускается ограничивать угол зрения радиометра УФ-излучения с указанием в паспорте радиометра значения угла зрения и поправочных коэффициентов, учитывающих угловые размеры излучателя.

9 Обработка результатов измерений

Обработку результатов измерений характеристик радиометров УФ-излучения и определение основной относительной погрешности проводят в соответствии с ГОСТ 8.207.

9.1 Оценку относительного среднего квадратического отклонения S_o результатов измерений для n независимых измерений проводят по формуле (1).

СКО S_o определяют по результатам измерений в соответствии с 8.3.3 в динамическом диапазоне от 0,1 до 100 Вт/м².

9.2 Границу относительной неисключенной систематической погрешности Θ_o определяют по формуле

$$\Theta_o = 1{,}1\left(\sum_{j=1}^{4}\Theta_j^2\right)^{1/2}, \qquad (8)$$

где Θ_j — составляющие неисключенной систематической погрешности:

Θ_1 — погрешность спектральной коррекции ($\Theta_1 \le 8$ % — по 8.3.1);

Θ_2 — погрешность определения абсолютной чувствительности ($\Theta_2 \le 10$ % — по 8.3.2);

Θ_3 — погрешность линейности ($\Theta_3 \le 6$ % — по 8.3.3);

Θ_4 — погрешность угловой коррекции ($\Theta_4 \le 7$ % — по 8.3.4).

Граница относительной неисключенной систематической погрешности радиометров УФ-излучения не должна превышать 16 %.

9.3 Предел допускаемой основной относительной погрешности результатов измерений ЭО Δ_o рассчитывают по формуле

$$\Delta_o = K\left(\sum_{j=1}^{4}\Theta_j^2/3 + S_o^2\right)^{1/2}, \qquad (9)$$

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

Так как для радиометра УФ-излучения $\Theta_o > 8\,S_o$, то случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и принимают $\Delta_o = \Theta_o$.

9.4 Результаты поверки радиометров УФ-излучения считают положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 20 %.

10 Оформление результатов поверки

10.1 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о поверке и радиометр допускают к применению в качестве средств измерений характеристик УФ-излучения в фотолитографии.

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

Приложение А
(обязательное)

Характеристики радиометров УФ-излучения

Радиометры УФ-излучения используют в фотолитографии для измерений энергетической освещенности в ваттах на квадратный метр (Вт/м²) в диапазоне длин волн [λ_1 — λ_2] в соответствии с ГОСТ 8.552. Значение энергетической освещенности $E_э$ определяют по формуле

$$E_э = A \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E(\lambda) d\lambda, \qquad (A.1)$$

где A — безразмерный коэффициент;

λ — длина волны, мкм;

$E(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической освещенности.

Спектральная чувствительность $S(\lambda)$ радиометров УФ-излучения в фотолитографии в соответствии с формулой (1) должна быть постоянной в диапазоне длин волн [λ_1 — λ_2] и равной нулю вне диапазона, так что показания радиометра пропорциональны измеряемому значению энергетической освещенности.

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: энергетическая освещенность, спектральная чувствительность, средства измерений, ультрафиолетовое излучение, радиометр, фотолитография

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 18.04.2008. Подписано в печать 15.05.2008. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,25. Тираж 161 экз. Зак. 475.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.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