ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 11551— 2015

Оптика и оптические приборы

ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ (СИСТЕМЫ)

Методика измерений коэффициента поглощения лазерного излучения оптическими элементами

ISO 11551:2003
Optics and optical instruments – Laser and laser-related equipment – Test method for absorptance of optical laser components
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП «ВНИИОФИ») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 206 «Эталоны и поверочные схемы»

3 Утверждени введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07 августа 2015 г. № 1111-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 11551:2003 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методика измерений коэффициента поглощения лазерного излучения оптическими элементами» (ISO 11551:2003 «Optics and optical instruments – Laser and laser-related equipment – Test method for absorptance of optical laser components»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0–2012 (раздел 8). 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, уведомления и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 2015

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 Термины и определения 1
4 Обозначения и единицы измерений 1
5 Подготовка образца и проведение измерений 2
6 Технические характеристики лазерного излучения 3
7 Выполнение измерений 3
8 Расчет 5
9 Протокол измерений 6
Приложение А (справочное) Эффекты, влияющие на поглощение 8
Приложение В (справочное) Влияние искажений сигнала 9
Приложение С (справочное) Алгоритм для параметризации температурных данных 11
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации 12

Предисловие
к международному стандарту ИСО 11551:2003 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методика измерений коэффициента поглощения лазерного излучения оптическими элементами»

ИСО (Международная организация по стандартизации) – всемирная федерация национальных органов по стандартизации (членов ассоциации). Разработку международных стандартов, как правило, проводят Технические комитеты. Каждый член ассоциации, заинтересованный в тематике, закрепленной за данным Техническим комитетом, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, связанные с ИСО, также принимают участие в работе. ИСО тесно сотрудничает с Международной электротехнической комиссией (МЭК) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Проекты международных стандартов разрабатывают в соответствии с правилами, изложенными в Директивах ИСО/МЭК, часть 2.

Проекты международных стандартов, принятые Техническими комитетами, рассылают членам ассоциации для голосования. Публикация проекта в качестве международного стандарта требует одобрения, по крайней мере, 75 % членов ассоциации, принявших участие в голосовании.

Некоторые положения настоящего стандарта могут быть предметом патентования. ИСО не несет ответственности за признание какого-либо или всех патентных прав.

Международный стандарт ИСО 11551 подготовлен Подкомитетом ПК 9 «Электрооптические системы» Технического комитета ИСО/ТК 172 «Оптика и фотоника».

Данное второе издание отменяет и заменяет первое издание (ИСО 11551:1997), которое было технически пересмотрено.

Введение
к международному стандарту ИСО 11551:2003 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методика измерений коэффициента поглощения лазерного излучения оптическими элементами»

Для характеристики любого оптического элемента важно знать значение коэффициента поглощения. При облучении оптического элемента, благодаря частичному поглощению излучения, происходит рост температуры образца. В настоящем стандарте рассмотрены измерения только той части поглощаемой мощности (энергии), которая преобразуется в тепло. При поглощении достаточно большого количества энергии оптические свойства элемента могут меняться, и, в конечном итоге, может произойти его разрушение. Коэффициент поглощения – это отношение поглощенного потока излучения к падающему на элемент потоку излучения.

Описанный в настоящем стандарте коэффициент поглощения определяют калориметрически, как отношение мощности или энергии, поглощенной в элементе, к общей мощности или энергии, падающей на образец. Предполагают, что коэффициент поглощения испытуемого образца неизменен в пределах температурных флуктуаций во время измерения и не зависит как от поглощенной доли падающего на поверхность образца пучка, так и от плотности мощности падающего излучения.

Для образцов некоторых материалов, таких как теллурид кадмия (CdTe), коэффициент поглощения зависит от ориентации падающего пучка относительно поверхности образца. Некоторым материалам, применяемым в инфракрасной области, свойственна сильная зависимость коэффициента поглощения от температуры, особенно при высоких температурах.

Введение
к национальному стандарту Российской Федерации
ГОСТ Р ИСО 11551–2015 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методика измерений коэффициента поглощения лазерного излучения оптическими элементами»

Настоящий стандарт подготовлен в целях прямого применения в Российской Федерации международного стандарта ИСО 11551:2003 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методика измерений коэффициента поглощения лазерного излучения оптическими элементами» как основополагающего нормативного документа, требования которого должны быть учтены при изготовлении и поставке на экспорт объекта стандартизации по договорам (контрактам).

ГОСТ Р ИСО 11551–2015 представляет собой полный аутентичный текст ИСО 11551:2003.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и оптические приборы

ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ (СИСТЕМЫ)

Методика измерений коэффициента поглощения лазерного излучения оптическими элементами

Optics and optical instruments. Laser and laser-related equipment. Test method for absorptance of optical laser components

Дата введения — 2016—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы и операции получения сопоставимых значений коэффициента поглощения оптических лазерных элементов.

2 Нормативные ссылки

Нижеследующие документы, на которые приводятся ссылки, являются обязательными для применения настоящего стандарта. В отношении датированных ссылок действительно только указанное издание. В отношении недатированных ссылок действительно последнее издание публикации (включая любые изменения), на которую дается ссылка:

ИСО 31-6:1992 Величины и единицы измерений. Часть 6. Свет и связанные с ним электромагнитные излучения (ISO 31-6:1992 Quantities and units – Part 6: Light and related electromagnetic radiations)

ИСО 11145:2001 Оптика и оптические приборы. Лазеры и относящееся к лазерам оборудование. Словарь и обозначения (ISO 11145:2001 Optics and photonics – Lasers and laser-related equipment – Vocabulary and symbols)

ИСО 14644-1:1999 Помещения чистые и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха (ISO 14644-1:1999 Cleanrooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air cleanliness)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 11145 и ИСО 31-6, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1 **коэффициент поглощения** α (absorptance): Отношение поглощенного потока излучения к потоку излучения, падающего на образец.

Примечание – Определение коэффициента поглощения, используемое в настоящем стандарте, охватывает только те процессы поглощения, при которых поглощенная энергия преобразуется в тепло. Для некоторых типов оптики и видов излучения дополнительные нетермические процессы могут приводить к потерям части поглощения, которые не детектируются описанным в настоящем стандарте методом (см. приложение А).

4 Обозначения и единицы измерений

Обозначение	Параметр	Единица измерения
c_i	Удельная теплоемкость испытуемого образца, держателя и т.д.	Дж/(кг·К)
$d_{\sigma x}$, $d_{\sigma y}$	Ширина пучка, падающего на испытуемый образец	мм
m_i	Масса испытуемого образца, держателя и т.д.	кг

Издание официальное

Окончание таблицы

Обозначение	Параметр	Единица измерения
P	Мощность	Вт
P_{av}	Средняя мощность для непрерывного режима излучения	Вт
P_{pk}	Пиковая мощность для импульсного режима	Вт
t_s	Длительность воздействия излучения	с
Δt	Интервал времени	с
T_{amb}	Температура окружающей среды	К
ΔT	Разница температур	К
α	Коэффициент поглощения	1
β	Угол падения	рад
γ	Коэффициент тепловых потерь	1/с
λ	Длина волны излучения	нм

5 Подготовка образца и проведение измерений

Хранение, очистку и подготовку образцов к измерениям выполняют в нормальных условиях в соответствии с руководством по эксплуатации.

В месте измерений воздух должен быть очищен от пыли и иметь относительную влажность менее 50 %. Присутствие остаточной пыли должно соответствовать требованиям класса 7 чистоты помещений в соответствии с ИСО 14644-1. В этой связи очень существенно полное исключение сквозняков для того, чтобы обеспечить постоянное термическое распределение и поддерживать тепловые потери за счет диффузии на минимально возможном уровне. Измерения коэффициента поглощения на образце в вакууме и при атмосферных условиях могут быть различными.

В качестве источника излучения необходимо использовать лазер. В целях снижения погрешности измерений мощность лазера выбирают настолько высокой, насколько это возможно, чтобы избежать повреждения элемента.

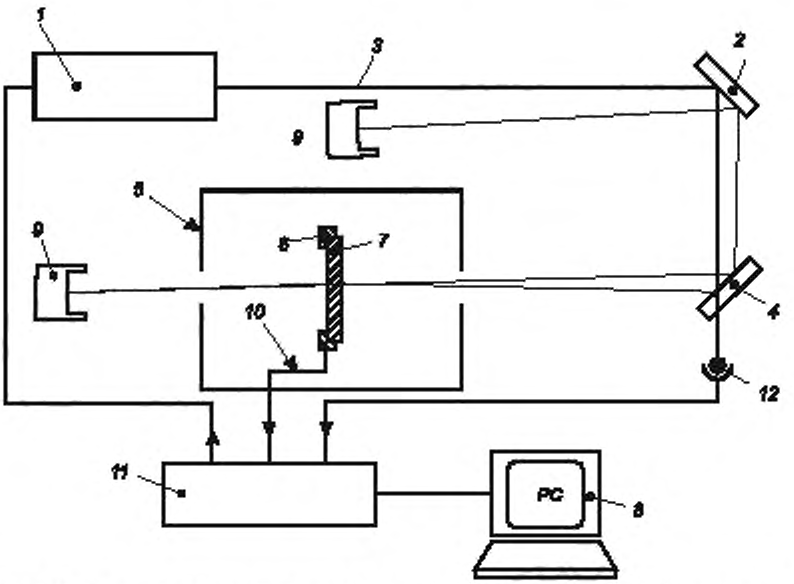
При проведении измерений длина волны, угол падения и состояние поляризации лазерного излучения должны соответствовать значениям, указанным в спецификации на испытуемый образец. При проведении измерений может быть выбрано любое сочетание длины волны, угла падения и состояния поляризации внутри допустимых интервалов значений этих параметров.

Образец устанавливают на подходящем держателе. Тепловые датчики подсоединяют непосредственно к поверхности образца либо к держателю образца. Необходимо обеспечить хороший тепловой контакт между датчиком и образцом или между держателем и образцом. Следует принять меры для исключения возможных потерь теплопередачи между испытуемым образцом и температурным датчиком.

Для того чтобы повысить точность измерений, образец должен быть установлен внутри теплоизолированной камеры с входным окном для лазерного пучка. Проведение температурных измерений не должно влиять на изменение температуры образца.

Для того чтобы лазерный пучок попадал только на испытуемый образец, а отраженное или рассеянное излучение не попадало на держатель или стенки камеры, на пути пучка перед и за испытуемым образцом должны быть размещены соответствующие диафрагмы. Число оптических элементов на пути излучения должно быть минимальным, чтобы исключить возможные искажения при многократных отражениях или рассеянии излучения. Прошедшая и отраженная части пучка должны быть направлены на входные элементы с минимальным обратным рассеянием.

На рисунке 1 приведена схема проведения измерений. Для исключения влияния на измерения рассеянного излучения необходимо использовать вогнутое поворотное зеркало М1 для фокусировки лазерного пучка на образец.



1 - лазер; *2* – зеркало М1; *3* – оптическая ось, *4* - зеркало М2; *5* – камера для образца; *6* - держатель образца; *7* - испытуемый образец; *8* - компьютер; *9* - поглотитель пучка; *10* – тепловой датчик; *11* – блок управления; *12* - измеритель мощности

Рисунок 1 – Схема установки для проведения измерений коэффициента поглощения

6 Технические характеристики лазерного излучения

Для характеристики лазерного излучения, применяемого при тестировании образцов, используют следующие физические параметры:

– длина волны λ;
– угол падения β;
– состояние и степень поляризации;
– размеры пучка на испытуемом образце $d_{\sigma x}$, $d_{\sigma y}$;
– средняя мощность P_{av} для непрерывного или непрерывно импульсного лазеров;
– пиковая мощность P_{pk} и энергия импульса Q для непрерывно импульсных лазеров;
– длительность излучения $t_в$.

7 Выполнение измерений

7.1 Общие сведения

Вспомогательные испытания следует проводить регулярно, независимо от изменений, вносимых в схему установки.

7.2 Калибровка

7.2.1 Калибровка измерителя мощности

Для калибровки измерителя мощности, применяемого при измерениях, в месте расположения калибруемых элементов размещают эталонный детектор и проводят сравнительные измерения мощности обоими средствами измерений.

7.2.2 Калибровка температурных датчиков

Для калибровки сигнала по температуре к закрепленному в держателе тестируемому образцу прикрепляют эталонный тепловой детектор. Сравнительные измерения эталонного детектора и датчиков, применяемых при измерениях, проводят при медленном варьировании температуры окружающей среды в интервале нескольких градусов Кельвина относительно температуры измерения.

7.2.3 Калибровка теплового отклика

Температурный отклик, вызванный поглощаемым теплом, может отличаться от теоретического значения для ряда материалов и геометрических характеристик образцов, соответствующего идеальным материалам с неограниченной теплопроводностью. В таких случаях должен быть определен корректирующий коэффициент f_c, который компенсирует влияние этого явления на результат измерений коэффициента поглощения. Если влиянием конечного значения теплопроводности можно пренебречь, то f_c равен 1.

Для калибровки эталонный образец с известным коэффициентом поглощения, подобный калибруемым образцам по размерам, теплоемкости и теплопроводности, проверяют на поглощение, как описано ниже. Время облучения и методика измерений, используемые при калибровке, должны быть такими же, как при обычных типовых испытаниях образцов, для которых проводят калибровку.

В зависимости от методики, используемой при измерениях коэффициента поглощения, корректирующий коэффициент f_c может быть вычислен путем подстановки в формулу (2) (см. 8.3) или (5) (см. 8.4) известного значения коэффициента поглощения α для калибровочного образца.

Примечания

1 Значение определенного коэффициента поглощения может быть достигнуто при использовании тонкого слоя высокопоглощающего покрытия всей площади поверхности облучаемого образца. При проверке на поглощение образцов с высоким значением коэффициента поглощения мощность лазерного излучения должна быть ослаблена, чтобы избежать разрушения образцов и обеспечить рост результирующей температуры в том же интервале значений, как это имеет место при типовых измерениях.

2 Альтернативой облучению лазерным пучком стандартного образца с известным коэффициентом поглощения может быть использование выделения тепловой энергии в тестируемом образце электрическим способом посредством наложения электрического резистора на тестируемую поверхность. Поглощаемую мощность определяют показателем RI^2, где R – электрическое сопротивление и I – сила тока во время облучения. Необходимо обеспечить хороший тепловой контакт между резистором и образцом. Для образцов с низкой теплопроводностью площадь резистора должна точно соответствовать площади, облучаемой лазерным пучком при обычных условиях проверки.

7.2.4 Измерения фонового сигнала

Для достижения максимальной точности измерений и исключения возможных искажений сигналов должны быть оптимизированы процессы формирования и юстировки лазерного пучка. Измерения с держателем без образца или с элементом без поглощения можно использовать для контроля схемы измерений в отсутствии влияния отраженного и рассеянного излучений. Амплитуда температурных флуктуаций во время измерения должна быть в 10 раз менее увеличения температуры, происходящего при поглощении излучения в образце во время измерений.

7.3 Определение коэффициента поглощения

Коэффициент поглощения оптических элементов определяют калориметрически на установке, представленной на рисунке 1. Перед началом измерений необходимо добиться теплового равновесия, при этом неконтролируемый температурный дрейф и тепловые шумы, по крайней мере, должны быть в 10 раз менее максимума температурного роста, вызванного облучением. Максимальный температурный рост во время измерений не превышает нескольких градусов Кельвина.

В протоколе измерений должна быть указана обнаруженная зависимость значения коэффициента поглощения как от мощности или плотности энергии падающего излучения, так и от температуры измеряемого образца. Измерения следует проводить в условиях, предписанных для измеряемых образцов.

Измерения выполняют в трех последовательных интервалах:

- интервал до облучения $t_0 \ldots t_1$ (около 30 с);
- интервал нагрева $t_1 \ldots t_2$ ($t_в = t_2 - t_1$ равно от 5 до 300 с), во время которого лазерный пучок направлен на поверхность образца;
- интервал охлаждения t_0 (около 200 с).

Для образцов с высокими тепловыми потерями облучение должно быть закончено значительно ранее спада роста температуры, обусловленного поглощаемой мощностью, вследствие возрастания тепловых потерь.

Во время измерений в протокол измерений должны быть внесены температура образца $T(t)$ и мощность лазерного сигнала $P(t)$. Результирующий набор калориметрических данных $[t_k, T(t_k)]$ и $[t_k, P(t_k)]$ с числовым индексом k сохраняют для вычисления коэффициента поглощения.

8 Расчет

8.1 Общее

Массу m_i элементов, нагреваемых во время облучения (измеряемый образец, держатель и т.д.), определяют путем взвешивания. Соответствующие теплоемкости для конкретных элементов берут из специализированных справочных таблиц.

Для вычисления коэффициента поглощения могут быть использованы два альтернативных метода: экспоненциальный и импульсный. Как правило, импульсный метод используют при облучении до 120 с, а экспоненциальный метод – при облучении, начиная от 60 с. Какому методу отдать предпочтение, зависит также от свойств измеряемого образца и условий измерений. Во многих случаях может быть полезно использовать оба метода, чтобы сравнением двух результатов получить дополнительную информацию относительно неопределенности результатов измерений.

8.2 Исключение дрейфа

Прежде чем вычислять коэффициент поглощения, калориметрические данные должны быть проанализированы относительно влияния возможного температурного дрейфа. При наличии температурного дрейфа до облучения должна быть подобрана линейная корректировка к температурным данным. Аппроксимированное влияние дрейфа, выраженное результирующей линейной функцией, исключают путем вычитания экстраполированных значений из ряда температурных данных, записанных во время измерений.

8.3 Экспоненциальный метод

Вычисление коэффициентов A_h, B_h, γ_h, входящих в формулу для вычисления коэффициента поглощения, определяют для температурных данных $[t_k, T(t_k)]$, записанных во время облучения (время нагревания элемента), по следующей формуле:

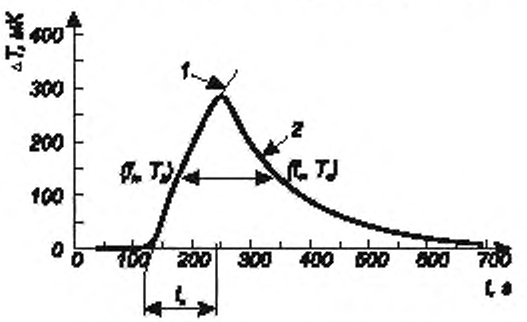
$$\sum [T(t_k) - A_h - B_h \exp(-\gamma_h t_k)]^2 = \min. \qquad (1)$$

Примечание – Коэффициент γ_h соответствует тепловым потерям нагретой системы и описывает процесс охлаждения в отсутствии тепловых источников как $= -\gamma(T - T_{amb})$. Если значение γ известно из предыдущих измерений или других источников, определение параметров A_h, B_h, γ_h может быть упрощено за счет использования известных данных.

Поглощение вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{f_c \gamma_h A_h \sum_i m_i c_{pi}}{P}. \qquad (2)$$

В случае с импульсным лазером P заменяют на P_{av} (см. рисунок 2).



1 – данные; 2 - относительная температура

Рисунок 2 – Пример для экспоненциального метода оценки

8.4 Импульсный метод

График изменения температуры после облучения может быть экстраполирован на время $(t_1 + t_в)/2$ (середина интервала облучения) для вычисления экстраполированного значения температуры T_{ext}. Рекомендуется выполнить такую экстраполяцию для вычисления параметров A_c, B_c, γ_c для температур с отрицательным наклоном кривой после облучения по формуле

$$\sum [T(t_k) - A_c - B_c \exp(-\gamma_c t_k)]^2 = \min \tag{3}$$

и вычислить экстраполированное значение температуры T_{ext} по формуле

$$T_{ext} = A_c + B_c \exp(-\gamma_c \frac{t_1 + t_2}{2}). \tag{4}$$

Поглощение вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{f_c T_{ext} \sum_i m_i c_{pi}}{P t_в} 0{,}5 \gamma_c t_в / \sinh(\gamma_c t_в / 2). \tag{5}$$

В случае импульсного излучения необходимо заменить P на P_{av} (см. рисунок 3).

Примечание – Выражение $0{,}5\gamma_c t_в/\sinh(\gamma_c t_в/2)$ может быть аппроксимирована единицей при выполнении условия $\gamma_c t_в < 0{,}5$. Если $0{,}5 \le \gamma_c t_в \le 2$ выражение $0{,}5\gamma_c t_в/\sinh(\gamma_c t_в/2)$ может быть аппроксимировано $\left(1 - \gamma_c^2 t_в^2 / 24\right)$. При $\gamma_c t_в > 2$ применяют формулу (5).

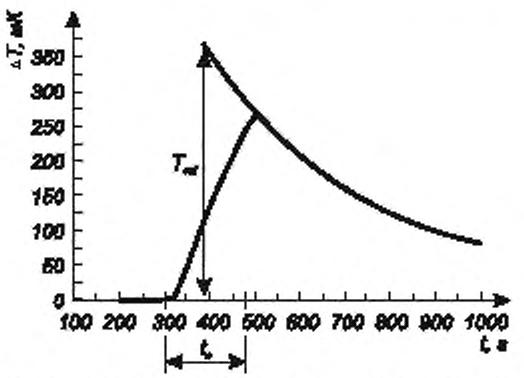


Рисунок 3 – Пример для импульсного метода оценки

9 Протокол измерений

Протокол измерений должен содержать следующую информацию:

a) Общая информация:

1) измерения проведены в соответствии с ГОСТ Р ИСО 11551;

2) дата проведения измерений:

3) наименование и адрес организации, проводившей измерения;

4) фамилия и инициалы лица, проводившего измерения;

b) информация об измеряемом образце (при наличии):

1) тип измеряемого образца;

2) изготовитель измеряемого образца;

3) идентификационный номер, дата изготовления;

4) рекомендации изготовителя измеряемого образца по хранению, содержанию и применению образца;

5) рекомендации изготовителя измеряемого образца по использованию образца;

c) информация по измерениям:

1) источник излучения:
- тип источника излучения,
- изготовитель источника излучения,
- обозначение модели;
2) описание другого оборудования для измерений;
d) условия проведения измерений:
1) длина волны;
2) непрерывный/импульсный режим;
3) характеристики источника излучения:
- мощность или энергия излучения (время облучения),
- энергия в импульсе,
- длительность импульса,
- частота повторения импульсов;
4) пространственный и/или временной профиль излучения (при необходимости);
5) ширина пучка на тестовом образце;
6) угол падения;
7) поляризация;
8) условия окружающей среды;
9) очистка от пыли образца;
10) способ установки оптического элемента;
e) информация о проведении измерений и оценки результатов измерений:
1) используемый метод для измерений;
2) качество поверхности: неоднородность, загрязненность;
f) комментарии относительно эффектов, влияющих на поглощение, если это существенно;
g) оценка погрешности;
h) результаты измерений.

Приложение А
(справочное)

Эффекты, влияющие на поглощение

А.1 Общие положения

Коэффициент поглощения, измеренный методами, приведенными в настоящем стандарте, в некоторых случаях зависит от следующих параметров: мощности, плотности мощности, времени облучения и т.д. Кроме того, коэффициент поглощения может изменяться при старении образца и быть нелинейным. Эти эффекты следует учитывать при измерениях, особенно при работе с УФ излучением. На коэффициент поглощения могут влиять перечисленные ниже факторы.

А.2 Образование цветового центра

Цветовые центры могут быть образованы при облучении, особенно в УФ спектральной области. В этом случае коэффициент поглощения образца возрастает после облучения его определенной дозой излучения, затем может наступить насыщение. Некоторые цветовые центры могут прокаливать элемент при нагревании, вызывая уменьшение значения коэффициента поглощения.

В случае использования оптики с покрытием высокомощное облучение может привести к структурным изменениям в оптических покрытиях, например, окислению. Это может вызвать увеличение либо уменьшение значения коэффициента поглощения.

Таким образом, единичное измерение соответствует одному значению коэффициента поглощения. Для детального анализа данных должна быть известна история образца (параметры предыдущих циклов облучения и т.д.).

А.3 Нелинейное поглощение

Для многих образцов поглощение увеличивается пропорционально увеличению плотности мощности благодаря многофотонному поглощению. Изменение зависит от длины волны излучения и может быть значительным, особенно для УФ излучения. Для ультракоротких импульсов возможно также изменение поглощения в видимой и ближней инфракрасной спектральных областях. Для используемых плотностей мощности происходит двухфотонное поглощение, приводящее к линейному увеличению значения коэффициента поглощения с увеличением плотности мощности излучения.

Если допустить, что нелинейное поглощение значительно, то значение коэффициента поглощения должно быть измерено для разных значений плотности мощности. Полученные данные будут линейно изменяться как функция плотности мощности. Линейное поглощение устанавливают из пересечения с осью ординат, нелинейное поглощение устанавливают из наклона линейного участка.

А.4 Другие параметры, влияющие на значение измеренного коэффициента поглощения

Существуют следующие дополнительные эффекты, которые могут изменить значение коэффициента поглощения образца:

- высокая мощность излучения может вызвать эффекты очистки поверхности оптических элементов, уменьшая общее поглощение;
- высокая мощность излучения может привести к деградации или старению оптических элементов и оптических покрытий (в этом случае значение коэффициента поглощения может увеличиваться во времени и при увеличении плотности мощности);
- несоответствующие способы очистки образца могут привести к увеличению поглощения.

Приложение В
(справочное)

Влияние искажений сигнала

В.1 Влияние шага температурных измерений

Температурный рост должен быть значительно больше шага температурных измерений.

В.2 Влияние рассеянного излучения

Рассеянное излучение, возникающее от измеряемого элемента или покрытия, может попадать на детектор. Такой вид рассеянного излучения может отличаться от рассеянного излучения, приходящего от оптических элементов, формирующих пучок излучения. Особенно это важно в УФ области спектра.

В.3 Влияние низкой теплопроводности образца

Методы стандартной оценки для определения коэффициента поглощения основаны на фундаментальной физической модели, в предположении небольшого температурного роста и однородности температуры образца и держателя T_s в течение всего времени измерения. Для такой системы изменение температуры описывает дифференциальное уравнение

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\alpha P_{av}}{C_{eff}} - \gamma T, \tag{В.1}$$

которое приводит в качестве решения к следующим экспоненциальным функциям для температурного сигнала $T(t)$:

$$T(t) = T(t_1) + \frac{C_{eff}}{\gamma \alpha P}\{1 - \exp[-\gamma(t - t_1)]\} \quad \text{– во время облучения} \tag{В.2}$$

и

$$T(t) = T(t_2) + \frac{C_{eff}}{\gamma \alpha P}\{1 - \exp[-\gamma(t - t_2)]\} \quad \text{– после облучения.} \tag{В.3}$$

Если лазерные элементы состоят из материалов с низкой теплопроводностью, динамика температуры во время измерений коэффициента поглощения не может быть точно описана в простой модели однородного температурного распределения. Кроме того, окончательная теплопроводность образца должна быть учтена путем решения трехмерного теплового уравнения в виде:

$$\nabla(\kappa / c_p \nabla T) + Q(x, y, z) / c_p = \eta \dot{T}, \tag{В.4}$$

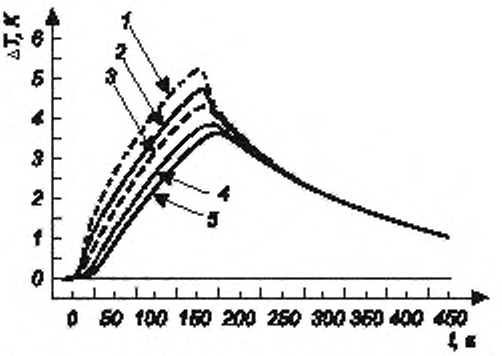
где η – плотность массы, г/см^3;

κ – теплопроводность, Вт/К·см;

Q – количество тепла, Вт/см^3.

Граничные условия на поверхностях образца определяют с помощью тепловых датчиков на держателе образца из тепловых потоков и потерь излучения. Ниже в качестве примера приведено влияние предельной теплопроводности на лазерную калориметрию.

Для тонкого цилиндрического образца (коэффициент поглощения: 1; толщина: 3 мм; диаметр: 25 мм) температурные сигналы зависят от коэффициента тепловой диффузии и различного радиального расположения тепловых датчиков r. Предполагают, что диаметр пучка должен быть значительно меньше диаметра образца. На рисунке В.1 показаны вычисленные значения изменения температуры для определенного значения тепловой диффузии и для различного радиального расположения тепловых датчиков. Для сравнения график температуры для бесконечно большой теплопроводности приведен на графике (модель с бесконечной теплопроводностью).



1 – *r* = 6 мм, *2* – *r* = 7 мм; *3* –модель с бесконечной теплопроводностью; *4* – *r* = 9 мм, *5* – *r* = 12 мм

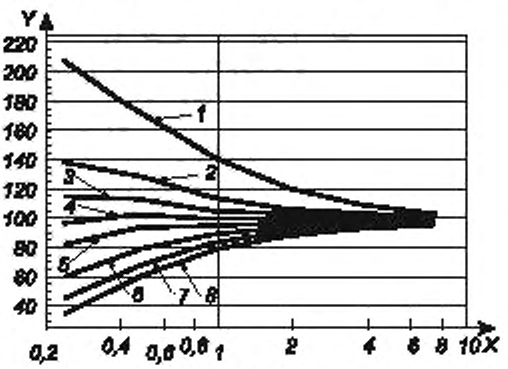
Рисунок В.1 – Зависимость температуры от времени для различных положений теплового датчика

Из рисунка В.1 видно, что с увеличением расстояния между тепловым датчиком и лазерным лучом (образец в центре), температурный рост и максимальная температура уменьшаются.

После облучения все кривые сходятся.

Очевидно, что оптимальное расположение теплового датчика, при котором наилучшее сходство между теоретическими кривыми с заданной теплопроводностью и моделью с бесконечной теплопроводностью, возможно при *r*, равном 7 мм.

Кроме того, теоретические вычисления были проведены для различных соотношений теплопроводности и теплоемкости. Значения коэффициента поглощения были определены из смоделированных данных, представленных на рисунке В.2. Результаты вычисления коэффициента поглощения приведены относительно значения теоретического значения коэффициента поглощения при бесконечной теплопроводности.



X – *κ*, Вт/(м К), *Y* – отклонение измерения, %

1 – положение детектора 5 мм; *2* – положение детектора 6 мм; *3* – положение детектора 6,5 мм; *4* – положение детектора 7 мм; *5* – положение детектора 7,5 мм; *6* – положение детектора 8,5 мм; *7* – положение детектора 10 мм; *8* – положение детектора 12,5 мм

Рисунок В.2 – Соотношение между теоретическими значениями коэффициента поглощения, коэффициентом тепловой диффузии и положением теплового датчика на цилиндрическом образце

Из рисунка В.2 очевидно, что влияние положения температурного датчика возрастает с уменьшением тепловой диффузии. В то же время для многих оптических материалов в дальней ИК области таких, как медь, алюминий, германий, селенид цинка, влияние может быть незначительным. Это относится и к материалам, подобным стеклу. При выборе подходящего расположения температурных детекторов, например, *r*, равным 7 мм для диаметра образца 25 мм, влияние теплопроводности на измерение коэффициента поглощения может быть значительно уменьшено. При выполнении калибровки в соответствии с разделом 7, возможные погрешности, вызванные эффектами низкой теплопроводности, могут быть уменьшены.

Приложение С
(справочное)

Алгоритм для параметризации температурных данных

Если соответствующие коэффициенты A, B, $C = 1/\gamma$ должны быть определены для описания области данных t_k, $T(t_k)$ (с k отсчетами и $t_{k+1} > t_k$) в виде экспоненциальной функции

$$T(t_k) \approx A + B \exp(-t_k/C),\ k_1 \le k \le k_2, \tag{C.1}$$

то рекомендуется следующий подход, при котором уменьшается нелинейное соответствие для двух простых линейных регрессий:

1) вычислить производные δT для набора данных по формуле

$$\delta T_k = \frac{T(t_{k+1}) - T(t_{k-1})}{t_{k+1} - t_{k-1}},\ \text{при}\ k_1 < k < k_2; \tag{C.2}$$

2) вычислить коэффициент взаимопотерь C путем минимизации суммы (линейная регрессия при вариации A, C) по формуле

$$\sum_{k_1 < k < k_2} [T(t_k) - A + C\delta T_k]^2; \tag{C.3}$$

3) вычислить A, B путем минимизации суммы (линейная регрессия при вариации A, B) по формуле

$$\sum_{k_1 < k < k_2} [T(t_k) - A + B\exp(t_k / C)]^2. \tag{C.4}$$

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 31-6:1992	–	*
ИСО 11145:2001	–	*
ИСО 14644-1:1999	IDT	ГОСТ Р ИСО 14644-1– 2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха»

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT – идентичные стандарты.

УДК 537.872:006.354 ОКС 31.260

Ключевые слова: оптика, оптические приборы, лазеры, лазерные установки, лазерное излучение; измерение, методика измерений, коэффициент поглощения

Редактор *Л.Б. Чернышева*
Технический редактор *А.Б. Заварзина*
Корректор *В.Г. Смолин*
Компьютерная верстка *Д.Е. Першин*

Сдано в набор 24.09.2015. Подписано в печать 8.10.2015. Формат 60x841/8. Гарнитура Ариал. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,10. Тираж 30 экз. Зак. 3412.

Набрано в ООО «Академиздат»
gost.e-ecolog.ru en gost.e-ecolog.ru
Издано и отпечатано во
ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru