ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59740— 2021

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЕЩЕСТВ

Методы измерений характеристик

(ISO 17915:2018, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 октября 2021 г. № 1119-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта ИСО 17915:2018 «Оптика и фотоника. Методы измерения характеристик полупроводниковых лазеров для оптического зондирования» (ISO 17915:2018 «Optics and photonics — Measurement method of semiconductor lasers for sensing», NEQ)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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 (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

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 Общие положения 3
5 Классификация 3
6 Методы и оборудование для определения малых концентраций веществ с использованием полупроводниковых лазеров 4
7 Методы изменения (селекции) длины волны генерируемого ППЛ излучения 5
8 Методы измерения спектральных характеристик ППЛ 9
Приложение А (справочное) Основные оценки и характеристики 16

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЕЩЕСТВ

Методы измерений характеристик

Optics and photonics.
Semiconductor lasers for the determination of low concentrations of substances.
Methods for measuring characteristics

Дата введения — 2022—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полупроводниковые лазеры, используемые для определения малой концентрации веществ, (ППЛ) и устанавливает методы измерений температурной и токовой зависимости длин волн излучения и ширины спектральной линии ППЛ для этих применений.

Методы, установленные в настоящем стандарте, следует применять в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13695.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ IEC 60825-1 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для пользователей

ГОСТ Р ИСО 13695 Оптика и фотоника. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений спектральных характеристик лазеров

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 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 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **полупроводниковый лазер:** Оптический полупроводниковый прибор, который испускает когерентное оптическое излучение в определенном направлении, используя стимулированное излуче-

Издание официальное

ние, возникающее в результате электронного перехода при возбуждении электрическим током, превышающим пороговое значение.

3.2 **полупроводниковый лазер с торцевым выводом излучения:** Полупроводниковый лазер, испускающий когерентное оптическое излучение в направлении, параллельном плоскости *p-n*-перехода.

3.3 **поверхностно-излучающий полупроводниковый лазер:** Полупроводниковый лазер, испускающий когерентное оптическое излучение в направлении, перпендикулярном к плоскости *p-n*-перехода.

3.4 **полупроводниковый лазер с формированием поперечных мод посредством сужения области усиления:** Полупроводниковый лазер, в котором излучаемый свет распространяется вдоль области усиления, создаваемой инжекцией носителей, и усиливается за счет стимулированных процессов в области усиления.

3.5 **полупроводниковый лазер с формированием поперечных мод пространственным распределением показателя преломления:** Полупроводниковый лазер, в котором формируется полоска активного слоя с разностью показателей преломления между этой полосой и внешней областью.

3.6 **полупроводниковый лазер с распределенной обратной связью;** DFB: Полупроводниковый лазер, в котором стимулированное излучение селектируется по длине волны решеткой (эквивалентной распределенному зеркалу).

Примечание — Лазер работает в режиме одной продольной моды.

3.7 **полупроводниковый лазер с распределенным брэгговским отражателем;** DBR: Полупроводниковый лазер, в котором селекция длины волны излучения осуществляется брэгговской решеткой (эквивалентной распределенному зеркалу), созданной не внутри, а вне (с одной или с обеих сторон от) светоизлучающего слоя.

Примечание — Лазер работает в режиме одной продольной моды.

3.8 **полупроводниковый лазер с резонатором Фабри-Перо;** FP: Полупроводниковый лазер, в котором излучение генерируется в резонаторе, образованном двумя зеркальными гранями (сколами) активного кристалла.

Примечание — Лазер работает в режиме множества продольных мод.

3.9 **полупроводниковый лазер с внешним резонатором:** Полупроводниковый лазер, в котором оптический резонатор сформирован одним зеркалом на сколе активного кристалла и дополнительным внешним зеркалом (внешней решеткой), установленным с противоположной стороны активного кристалла от зеркала на сколе.

Примечания

1 Излучение генерируется с полупроводниковой частью внутри оптического резонатора.

2 Лазер работает в режиме одной продольной моды.

3.10 **полупроводниковый лазер с двойной гетероструктурой:** Полупроводниковый лазер, в котором активный (светоизлучающий) слой сформирован между двумя гетеропереходами (*p-n*- и iso-переходами).

3.11 **полупроводниковый лазер с квантовой ямой:** Полупроводниковый лазер, испускающий когерентное оптическое излучение, возникающее в результате рекомбинации электронов и дырок между двумя квантованными состояниями.

Примечания

1 В этом случае светоизлучающий слой состоит из одного или нескольких слоев с квантовыми ямами.

2 Лазеры с квантовыми нитями и квантовыми точками также включены в эту категорию, но светоизлучающая область квантовой нити и квантовой точки является двухмерной и трехмерной структурами, соответственно.

3.12 **полупроводниковый лазер с напряженной квантовой ямой:** Полупроводниковый лазер, испускающий когерентное оптическое излучение, возникающее в результате рекомбинации свободных электронов и дырок между двумя квантованными состояниями.

Примечание — Светоизлучающий слой состоит из одного или нескольких напряженных слоев квантовых ям.

3.13 **межзонный каскадный полупроводниковый лазер:** Полупроводниковый лазер, испускающий когерентное оптическое излучение, возникающее в результате рекомбинации электронов и дырок между двумя квантованными состояниями.

Примечание — Светоизлучающий слой состоит из слоев квантовых ям второго типа (с разрывным зазором).

3.14 **квантово-каскадный полупроводниковый лазер:** Полупроводниковый лазер, испускающий когерентное оптическое излучение, возникающее в результате перехода электронов между двумя квантованными состояниями без электронно-дырочной рекомбинации.

Примечание — Светоизлучающий слой состоит из квантовых каскадных слоев.

4 Общие положения

ППЛ обладают высокой мощностью излучения и возможностью перестраивания длины волны генерации в относительно широком диапазоне, что дает возможность их применения для определения малых концентраций веществ в различных образцах.

Различают два вида механизмов получения когерентного оптического излучения в полупроводниковых структурах:

1) электронно-дырочная рекомбинация вследствие электронного перехода между зоной проводимости и валентной зоной (объемный тип) или между двумя квантованными состояниями (квантовый тип);

2) внутризонный электронный переход между двумя квантованными состояниями (квантово-каскадный тип).

Оптические и электрические характеристики полупроводниковых лазеров являются сложнозависимыми и должны быть описаны в зависимости от конкретного применения (дополнительную информацию см. в приложении А).

5 Классификация

5.1 Полупроводниковые лазеры по направлению излучения относительно плоскости *p*-*n*-перехода подразделяют на следующие типы:

а) полупроводниковый лазер с торцевым выводом излучения;

б) поверхностно-излучающий полупроводниковый лазер.

Примечание — Примером лазеров данного типа являются поверхностно-излучающие полупроводниковые лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL).

5.2 В зависимости от метода стабилизации поперечных мод излучения полупроводниковые лазеры подразделяют на полупроводниковые лазеры:

а) с формированием поперечных мод посредством сужения области усиления.

Примечание — Примером таких лазеров являются полосковые лазеры планарной конструкции;

б) формированием поперечных мод пространственным распределением показателя преломления.

Примечание — Примером таких лазеров является заглубленная гетероструктура.

5.3 В зависимости от метода селекции продольных мод (селекции длин волн) полупроводниковые лазеры подразделяют на полупроводниковые лазеры:

а) с распределенной обратной связью;

б) распределенным брэгговским отражателем;

в) резонатором Фабри-Перо;

г) внешним резонатором.

5.4 В зависимости от структуры активного слоя полупроводниковые лазеры подразделяют:

а) на полупроводниковые лазеры с двойной гетероструктурой;

б) полупроводниковые лазеры с квантовой ямой;

в) полупроводниковые лазеры с напряженной квантовой ямой;

г) межзонные каскадные полупроводниковые лазеры;
д) квантово-каскадные полупроводниковые лазеры.

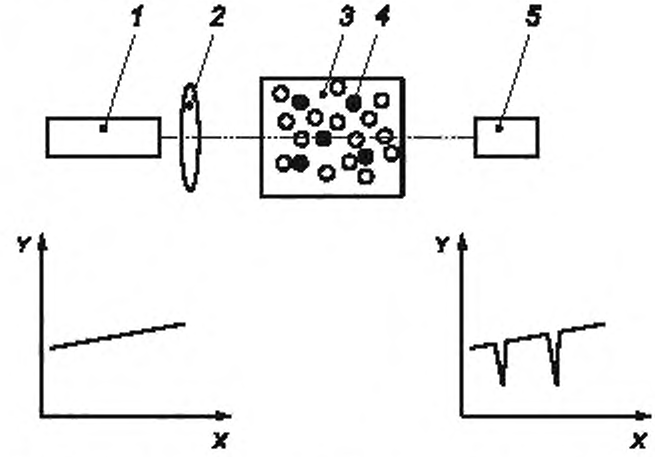
6 Методы и оборудование для определения малых концентраций веществ с использованием полупроводниковых лазеров

6.1 Абсорбционная спектроскопия с использованием перестраиваемых лазеров

Принцип работы измерительной TLAS-установки представлен на рисунке 1.

Измерительная TLAS-установка состоит из перестраиваемого диодного лазера *1*, линзы *2*, исследуемой поглощающей среды (*3, 4*), приемной оптики и детектора *5*. Длину волны излучения лазера настраивают исходя из характеристик поглощения света образцами исследуемого газа. По мере прохождения лазерного луча через среду интенсивность света снижается. Эти изменения интенсивности света фиксируют с помощью детектора (фотодиода), который применяют для определения концентрации газа в среде и других его характеристик.

Длину волны генерации полупроводникового лазера изменяют путем регулирования температуры или инжектируемого тока.

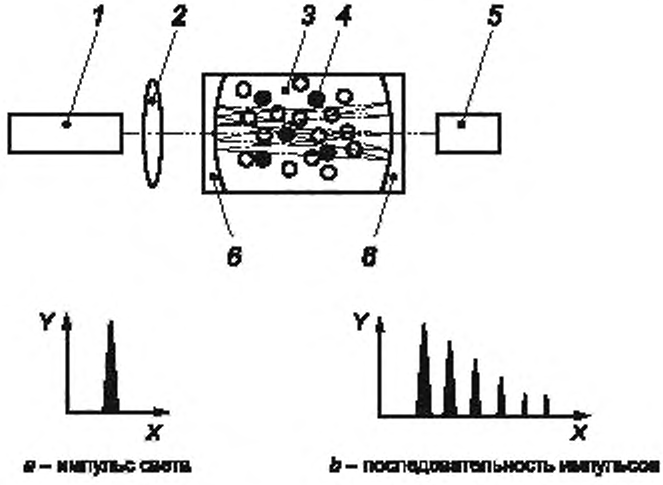


X — длина волны; *Y* — интенсивность; *1* — перестраиваемый лазер; *2* — линза; *3* — ячейка, *4* — обнаруживаемый объект; *5* — фотодетектор

Рисунок 1 — Принцип работы измерительной TLAS-установки, применяемой для определения малой концентрации веществ методом лазерной абсорбционной спектроскопии (наблюдают два пика поглощения излучения)

6.2 Спектроскопия внутрирезонаторного затухания

Метод спектроскопии внутрирезонаторного затухания, как правило, применяют для обнаружения малых количеств (следов) элементов. Анализируемый материал вводят в резонатор, образованный двумя зеркалами, как показано на рисунке 2. Световой импульс с определенной длиной волны, введенный в резонатор, отражаясь между зеркалами многократно проходит через материал. Часть отраженного света выводится из резонатора через зеркало. Фотоприемником регистрируется затухающая последовательность световых импульсов с временным интервалом, определяемым длиной резонатора. Измеряя время затухания последовательности импульсов в зависимости от длины волны излучения, выполняют качественный и количественный анализ содержания следов различных элементов.

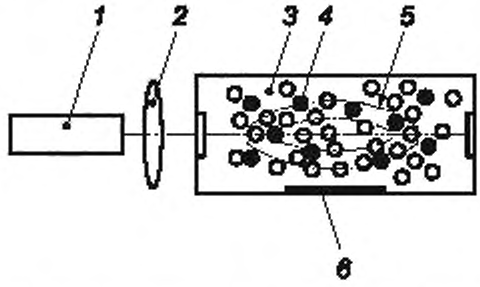


X — длина волны, *Y* — интенсивность, *1* — перестраиваемый лазер, *2* — линза; *3* — ячейка; *4* — обнаруживаемый элемент; *5* — фотодетектор, *6* — зеркало

Рисунок 2 — Принцип работы измерительной установки, применяемой для определения малой концентрации веществ методом спектроскопии внутрирезонаторного затухания

6.3 Фотоакустическая спектроскопия (PAS)

При поглощении лазерного излучения возникает вибрация исследуемого вещества в образце, которая приводит к излучению сверхзвуковой/звуковой волны, как показано на рисунке 3. Сверхзвуковую/звуковую волну обнаруживают с помощью микрофона, и вещество, содержащееся в образце, количественно анализируют путем контроля частоты и интенсивности звуковой волны.



1 — перестраиваемый лазер; *2* — линза; *3* — ячейка; *4* — обнаруживаемый объект; *5* — ультразвук; *6* — микрофон

Рисунок 3 — Принцип работы измерительной установки, применяемой для определения малой концентрации веществ методом фотоакустической спектроскопии

7 Методы изменения (селекции) длины волны генерируемого ППЛ излучения

7.1 Зависимость длины волны излучения, генерируемого ППЛ от температуры и тока

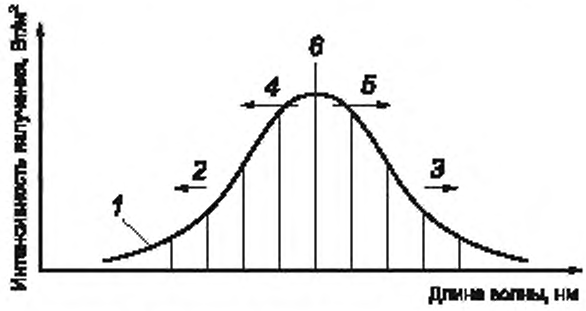
Для изменения длины волны излучения, генерируемого ППЛ, используют следующие способы.

В перестраиваемых ППЛ длину волны излучения, как правило, регулируют путем изменения температуры лазера или инжектируемого тока. Оба параметра приводят к изменению ширины запрещен-

ной зоны из-за температурных эффектов или эффектов заполнения зоны носителями, инжектируемыми в активный слой ППЛ. Следует учитывать, что на изменение длины волны излучения влияет показатель преломления активного слоя, которое зависит от температуры и плотности инжектируемых носителей. Изменения этих физических свойств и определяют использование температурной и токовой зависимости регулирования длины волны.

В ППЛ с внешним резонатором длина волны излучения может перестраиваться в широком диапазоне за счет изменения угла установки решетки, если решетку применяют в качестве внешнего зеркала.

Следует учитывать факторы, влияющие на изменение длины волны генерации ППЛ (см. рисунок 4).



1 — огибающая усиления; *2* — изменение энергетического уровня из-за заполнения зоны; *3* — изменение запрещенной зоны из-за повышения температуры; *4* — изменение показателя преломления за счет эффекта носителя (плазмы); *5* — изменение показателя преломления при нагревании; *6* — моды резонатора

Рисунок 4 — Факторы, влияющие на изменение длины волны генерации ППЛ

Уменьшение (увеличение) показателя преломления активной области происходит за счет увеличения (уменьшения) плотности свободных носителей на пороге генерации, и оно укорачивает (удлиняет) длину волны генерации каждой моды Фабри-Перо резонатора (FP) в ППЛ FP. Данное явление индуцируется плазменным эффектом, связанным с плотностью носителей в полупроводниках.

В ППЛ DFB длина волны мод генерации уменьшается (увеличивается) с уменьшением (увеличением) эффективного шага решетки вследствие уменьшения (увеличения) ее показателя преломления. Увеличение (уменьшение) показателя преломления происходит за счет повышения (понижения) температуры. Следует учитывать, что повышение (понижение) температуры смещает огибающую мод Фабри-Перро резонатора (огибающую усиления) в более длинно- или коротковолновый диапазон. Это происходит за счет уменьшения (увеличения) ширины запрещенной зоны.

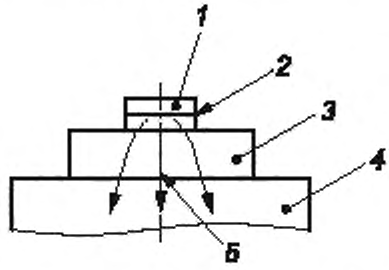
До начала генерации резонансные длины волн FP-лазеров уменьшаются из-за заполнения дна зоны, при этом длина волны в DFB-лазерах также сокращается по мере увеличения плотности инжектируемых носителей за счет уменьшения показателя преломления. После возникновения генерации основным фактором является тепловой эффект, так как пороговая плотность носителей фиксируется на пороговом значении. Происходит изменение тепловыделения и выходной мощности излучения пропорционально току инжекции при постоянной плотности носителей.

Зависимость длины волны генерации от температуры при постоянном токе определяют на основе изменения ширины запрещенной зоны в ППЛ FP и изменением показателя преломления в ППЛ DFB. Зависимость длины волны генерации от величины инжектируемого тока обусловлена изменением ширины запрещенной зоны вследствие джоулевого нагрева активного слоя (или *p-n*-перехода), так как плотность инжектируемых носителей после начала генерации практически постоянна. Температурную и токовую зависимости длины волны генерации в ППЛ DF определяют по показателям теплопроводности, методами, установленными в настоящем стандарте.

7.2 Влияние тока инжекции на длину волны генерации

Скорость изменения температуры в активном слое зависит от переходных процессов теплопроводности компонентов лазера. Как показано на рисунке 5, тепло, генерируемое в активном слое, диффун-

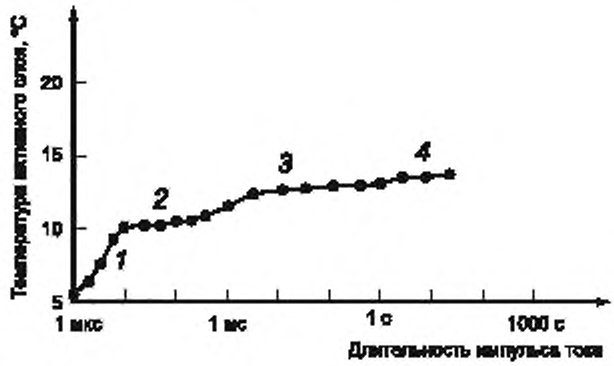
дирует из активного слоя в окружающую область и, таким образом, скорость изменения длины волны генерации зависит от конфигурации монтажа и структуры конструкции диода.



1 — полупроводниковый лазер, *2* — активный слой, *3* — теплоотвод, *4* — монтажная площадка корпуса, *5* — тепловой поток

Рисунок 5 — Расчетная тепловая модель

На рисунке 6 показан пример повышения температуры активного слоя в зависимости от длительности импульса тока накачки ППЛ FP с длиной волны генерации приблизительно 1300 нм. Температуру активного слоя оценивают по падению напряжения на *p-n*-переходе, так как встроенное напряжение перехода линейно уменьшается с ростом температуры. Напряжение на переходе измеряют при токе 1 мА сразу после отключения 100 мА импульсного тока (импульсный и контрольный ток устанавливают на уровне 100 мА и 1 мА соответственно). Данное значение контрольного тока выбрано для того, чтобы нагрев за счет этого тока был ничтожен.



1 — ППЛ; 2 — теплоотвод; *3* — монтажная площадка корпуса, *4* — корпус

Примечания

1 Амплитуда импульса тока — 100 мА.

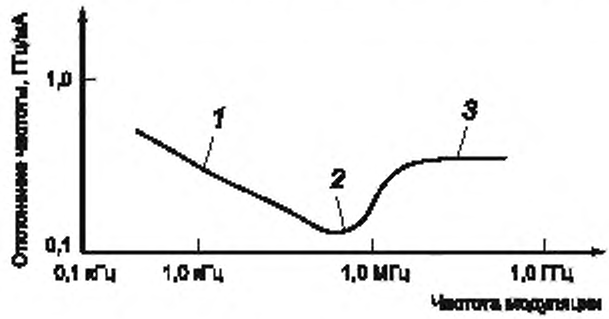
2 На рисунке приведены данные для ППЛ FP, генерирующего излучение в диапазоне длин волн 1300 нм. Метки на графике, обозначенные цифрами 1, 2, 3 и 4, указывают на включение в теплоперенос различных частей конструкции по мере увеличения длительности импульсов тока.

Рисунок 6 — Повышение температуры в активном слое в зависимости от длительности импульса

Температурная зависимость напряжения на переходе составляет около 1 мВ/°С в ППЛ с длиной волны генерации вблизи 1300 нм. Джоулево тепло, возникающее за счет тока инжекции, рассеивается внутри ППЛ, а затем распространяется из активного слоя в сторону наружных элементов: к внешней стороне активного слоя, через теплоотвод к монтажному основанию корпуса и т. д.

Весь этот процесс отвода тепла определяет температуру активного слоя и зависит от конструкции ППЛ (конфигурации всего теплоотводящего тракта).

Данные особенности обуславливают скорость и диапазон изменения длины волны при модуляции тока. На рисунке 7 по горизонтальной оси отложена частота модуляции тока, по вертикальной оси — коэффициент модуляции частоты генерации (модуляции длины волны лазера) по току. По мере увеличения частоты модуляции тока от 100 Гц модуляция частоты лазерной генерации уменьшается, так как при увеличении частоты модуляции уменьшается влияние теплопроводности. Это также видно на рисунке 6 с учетом того, что с позиций эффектов теплопроводности длительность импульсов обратно пропорциональна частоте модуляции тока. Минимум коэффициента модуляции частоты на рисунке 7 — приблизительно 100 кГц. При дальнейшем увеличении частоты начинает преобладать плазменный эффект, и коэффициент модуляции частоты снова увеличивается. Такое отклонение частоты в волоконных телекоммуникационных технологиях называют «FM-откликом» или «чириканьем». Частотный диапазон, используемый в спектроскопии с применением перестраиваемых ППЛ, находится в низкочастотной области, в которой доминируют тепловые процессы («красное» смещение).



1 — нагрев (удлинение); *2* — провал; 3 — плазменный эффект (укорочение)

Примечание — Переменная составляющая тока представляет собой синусоидальную волну с амплитудой 0,5 мА при величине постоянной составляющей тока 60 мА.

Рисунок 7 — Токовая модуляция частоты генерации (длины волны) для DFB полупроводникового лазера с длиной волны генерации вблизи 1300 нм в зависимости от частоты

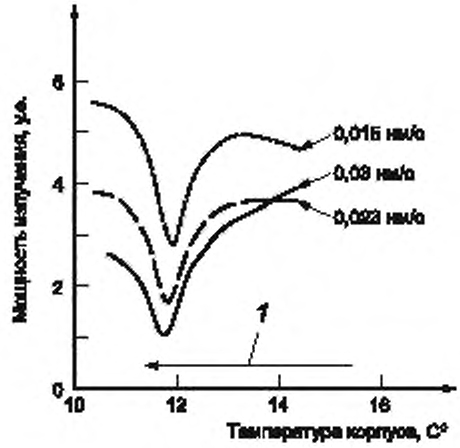
Если ток инжекции изменяется быстро, повышение температуры невелико и недостаточно для насыщения. При поддержании постоянной температуры наружного корпуса разница температур между активным слоем и температурой корпуса устанавливают в зависимости от величины инжектируемого тока. Таким образом, значение зависимости частоты генерации лазера от значения тока накачки не является строго определенным, так как оно зависит от скорости изменения тока. При этом в ограниченных временны́х интервалах эти зависимости можно приближенно считать вполне определенными, зависящими от используемых материалов и способов монтажа ППЛ.

7.3 Влияние температуры окружающей среды на длину волны генерации

При изменении температуры окружающей среды и/или ППЛ необходимо определенное время для того, чтобы система пришла в равновесие и температура активного слоя ППЛ и окружающей среды выровнялась, что соответствует метке 4 на рисунке 6.

Таким образом, длина волны генерации и измеряемого пика поглощения изменяются с задержкой относительно изменения температуры окружающей среды. Если интервал времени для изменения температуры корпуса лазера будет более 1 с, то задержкой можно пренебречь, поскольку изменения температуры корпуса успевают достичь за это время активного слоя (см. рисунок 6). Этот эффект представлен на рисунке 8, где показаны результаты измерений пика поглощения в спектре CO_2-газа, полученный при различной скорости изменения температуры корпуса лазера. (Давление CO_2-газа было на уровне атмосферного, а спектральная линия уширена из-за столкновений и доплеровского сдвига). Скорости сканирования соответствуют темпу изменения температуры корпуса менее 1 с. При высоких скоростях сканирования положение пика поглощения смещается в направлении сканирования температуры, а амплитуда пика поглощения уменьшается. Эти эффекты обусловлены

конечным временем распространения тепла от корпуса до активного слоя и должны учитываться при проведении измерений.



1 — изменение температуры

Примечание — В этом эксперименте использовался полупроводниковый лазер с длиной волны излучения вблизи 2000 нм.

Рисунок 8 — Изменение формы спектра поглощения, полученное при различных скоростях изменения температуры корпуса лазера для одного из пиков поглощения CO_2-газа

Эти зависимости определяются изменением каждого фактора, рассмотренного в 3.4. Например, при изменении температуры окружающей среды пороговая плотность тока и ширина запрещенной зоны изменяются одновременно, поэтому длина волны генерации изменяется сложным образом. Эти зависимости являются результатом совокупного изменения факторов. Следовательно, зависимости будут варьироваться в зависимости от используемого материала, конфигурации монтажа, временно́го интервала мониторинга и т. д. Для устранения ошибки длины волны скорость изменения инжектируемого тока и температуры окружающей среды (корпуса лазера) должна быть одной и той же при использовании перестраиваемых полупроводниковых лазеров для спектроскопических измерений, поскольку спектральные зависимости будут различны для разных скоростей изменения этих параметров.

8 Методы измерений спектральных характеристик ППЛ

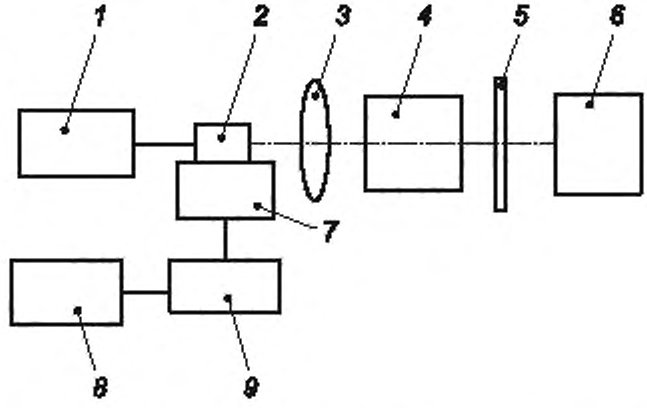
8.1 Метод измерения температурной зависимости длины волны генерации

8.1.1 Общие положения

Длина волны генерации полупроводниковых лазеров изменяется или фиксируется установкой температуры (корпуса). Диапазон изменения температуры определяется диапазоном нужного изменения длины волны генерации и температурной зависимостью длины волны генерации. Полупроводниковый лазер, используемый для определения малых концентраций веществ, обычно представляет собой лазер с одной продольной модой, поэтому сдвиг длины волны генерации можно контролировать по величине изменения длины волны пика излучения при изменении температуры или тока (см. рисунок 4).

8.1.2 Описание установки измерения длины волны генерации и требований к ней

Схема измерительной установки приведена на рисунке 9.



1 — драйвер лазера, *2* — ППЛ; *3* — линза, *4* — спектрометр. *5* — аттенюатор, *6* — оптический детектор; *7* — элемент Пельтье; *8* — контроллер источника питания, *9* — источник питания элемента Пельтье

Рисунок 9 — Схема установки для измерения температурной зависимости длины волны генерации

Драйвер лазерного диода (LD) подает ток на полупроводниковый лазер, причем, если лазер не способен работать в непрерывном режиме на протяжении всего измерения, то драйвер подает на него импульсный ток (такими, например, являются квантово-каскадные лазеры).

Спектрометр (спектрофотометр или спектрограф) выделяет спектральные компоненты входного излучения в соответствии с длиной волны с помощью перестраиваемого по длине волны оптического и выводит отдельные спектральные компоненты в нужном диапазоне длин волн. В качестве перестраиваемого оптического фильтра могут быть использованы дифракционная решетка, интерферометр Фабри-Перо, интерферометр Майкельсона, откалиброванный оптический анализатор спектра.

8.1.3 Условия проведения измерений

Оптическая выходная мощность не должна превышать линейный диапазон оптического детектора.

Чувствительность оптического детектора должна быть откалибрована во всем требуемом диапазоне длин волн.

Спектральное разрешение и полоса пропускания спектрометра должны быть такими, чтобы измерение проводилось с достаточной точностью.

Любые обратные блики, отраженные в лазер, должны быть сведены к минимуму, чтобы обеспечить отсутствие существенного влияния на спектральные характеристики лазера.

Термодатчик должен быть расположен максимально близко к корпусу исследуемого ППЛ.

Скорость изменения температуры должна быть установлена на постоянном уровне на протяжении всего измерения, иначе данные измерений будут иметь большой разброс и систематическую ошибку.

Скорость изменения температуры лазера следует выбирать с учетом постоянной времени теплопередачи между активным слоем и корпусом исследуемого ППЛ.

8.1.4 Проведение измерений

Пропускают заданный ток, постоянный или импульсный, через исследуемый ППЛ.

Перестраивают спектрометр в требуемом диапазоне на максимальное значение показаний оптического детектора. Регистрируют величину длины волны, соответствующей пиковому значению. Это длина волны пика излучения.

Изменяют температуру исследуемого ППЛ с постоянной скоростью. Контролируют длину волны пика излучения с постоянным температурным интервалом.

Изменение длины волны пика излучения линейно зависит от температуры исследуемого ППЛ.

Рассчитывают наклон зависимости длины волны пика излучения от температуры и получают температурную зависимость (формулу) длины волны пика излучения.

Если зависимость не является линейной, то расчет следует выполнять в пределах линейного диапазона.

Определяют температурный диапазон изменения длины волны по точке перегиба или точке, в которой найденная зависимость отклоняется от линейной при уменьшении или увеличении температуры.

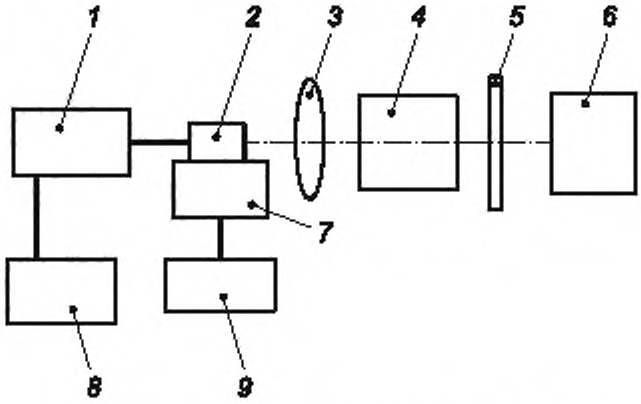
8.2 Метод измерения токовой зависимости длины волны

8.2.1 Общие положения

Длина волны генерации полупроводниковых лазеров сканируется путем изменения величины инжектируемого тока. Токовая зависимость соответствует величине сдвига длины волны генерации при управлении током и является характеристикой изменения длины волны генерации с током.

8.2.2 Описание измерительной установки и требований к ней

Схема измерительной установки приведена на рисунке 10.



1 – драйвер полупроводникового лазера; *2* — ППЛ; *3* – линза; *4* — спектрометр; *5* – аттенюатор, *6* – оптический детектор; *7* — элемент Пельтье; *8* — контроллер источника питания; *9* — источник питания элемента Пельтье

Рисунок 10 — Схема установки для измерения токовой зависимости длины волны генерации

Драйвер лазерного диода (LD) подает ток на полупроводниковый лазер, причем если лазер не способен работать в непрерывном режиме на протяжении всего измерения, то драйвер подает на него импульсный ток (такими, например, являются квантово-каскадные лазеры).

Спектрометр (спектрофотометр или спектрограф) выделяет спектральные компоненты входного излучения в соответствии с длиной волны с помощью перестраиваемого по длине волны оптического фильтра и выводит отдельные спектральные компоненты в нужном диапазоне длин волн. В качестве перестраиваемого оптического фильтра могут быть использованы дифракционная решетка, интерферометр Фабри-Перо, интерферометр Майкельсона, откалиброванный оптический анализатор спектра.

8.2.3 Условия проведения измерений

Оптическая выходная мощность не должна превышать линейный диапазон оптического детектора.

Чувствительность оптического детектора должна быть откалибрована во всем требуемом диапазоне длин волн.

Спектральное разрешение и полоса пропускания спектрометра должны быть такими, чтобы измерение проводилось с достаточной точностью.

Любые обратные блики, отраженные в лазер, должны быть сведены к минимуму, чтобы обеспечить отсутствие существенного влияния на спектральные характеристики лазера.

Термодатчик должен быть расположен максимально близко к корпусу исследуемого ППЛ.

Скорость изменения температуры должна быть установлена на постоянном уровне на протяжении всего измерения, иначе данные измерений будут иметь большой разброс и систематическую ошибку.

Скорость изменения температуры лазера следует выбирать с учетом постоянной времени теплопередачи между активным слоем и корпусом исследуемого ППЛ.

8.2.4 Порядок проведения измерений

8.2.4.1 Зависимость от постоянного тока

Пропускают заданный ток, постоянный или импульсный, через исследуемый ППЛ (лазер).

Устанавливают требуемую температуру на исследуемом ППЛ.

Перестраивают спектрометр в требуемом диапазоне на максимальное значение показаний оптического детектора. Регистрируют величину длины волны, соответствующей пиковому значению. Это длина волны пика излучения.

Изменяют силу тока исследуемого ППЛ с постоянной скоростью. Контролируют длину волны пика излучения с постоянным интервалом изменения силы тока.

Изменение длины волны пика излучения линейно зависит от силы тока инжекции исследуемого ППЛ.

Рассчитывают наклон зависимости длины волны пика излучения от силы тока по данным измерений и получают токовую зависимость длины волны пикового излучения.

Если зависимость не является линейной, то расчет следует выполнять в пределах линейного участка.

Определяют температурный диапазон изменения длины волны по точке перегиба или точке, в которой токовая зависимость отклоняется от линейной при уменьшении или увеличении силы тока.

Если лазер не способен работать в режиме постоянного тока при комнатной температуре, то на исследуемый ППЛ подается заданный импульсный ток. Амплитуда импульса тока изменяется при постоянной длительности импульса и скважности.

Остальные процедуры аналогичны описанным выше.

8.2.4.2 Динамический коэффициент модуляции по току

Пропускают заданный постоянный ток через исследуемый ППЛ.

Устанавливают требуемую температуру на исследуемом ППЛ.

Настраивают эталонную пластину или эталон Фабри-Перо, заменяющий спектрометр на рисунке 10, на требуемое разрешение [свободный спектральный интервал (FSR)/FWHM полуширина резонансного пика]. Оптический детектор должен различать моды резонатора при этом разрешении.

Подают на лазер небольшой сигнальный (синусоидальный) ток в дополнение к заданному постоянному току.

Ширина отклонения пика частоты генерации делится на амплитуду сигнального инжектируемого тока. Вычисляют динамический коэффициент модуляции по току в единицах Гц/мА.

8.3 Метод измерения ширины спектральной линии

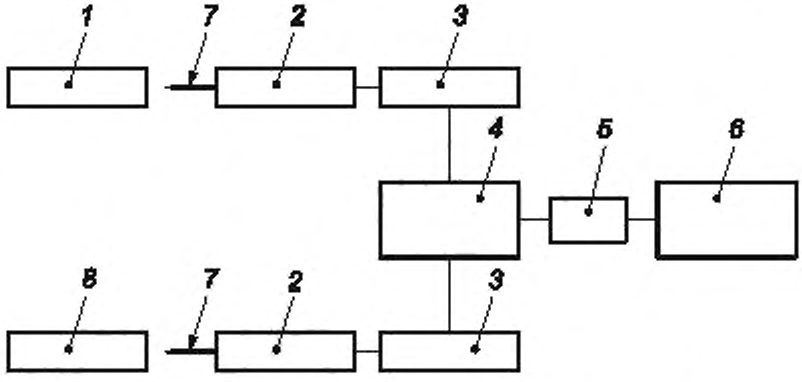
8.3.1 Общие положения

Метод измерения ширины спектральной линии генерации описан только для полупроводниковых лазеров, работающих в непрерывном режиме.

Ширина спектральной линии генерации в большинстве случаев зондирования некритична, но важна при контроле узких поглощающих линий газов при низком давлении. Если ширина спектральной линии лазера больше, чем у линий поглощения, то измеренная форма линии уширяется и расплывается.

8.3.2 Описание измерительной установки и предъявляемые к ней требования

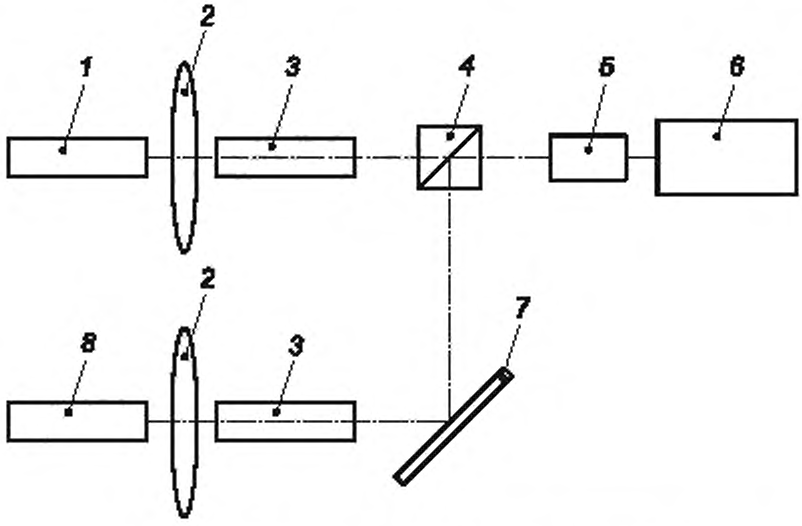
Оптическая двухлазерная волоконная система измерения ширины спектральной линии генерации приведена на рисунке 11 (использовано одномодовое волоконное устройство для смешения пучков)



1 — ППЛ, *2* — оптический изолятор; *3* — регулятор поляризации; *4* — одномодовый волоконный смеситель; *5* — оптический детектор; *6* — анализатор радиочастотного спектра; *7* — одномодовое оптическое волокно, *8* — лазерный гетеродин (опорный источник излучения)

Рисунок 11 — Схема оптической двухлазерной волоконной системы с одномодовым волоконным смесителем

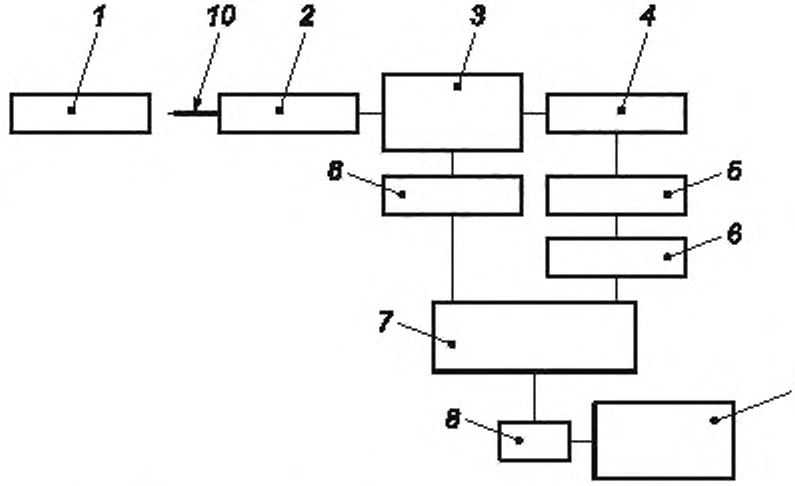
Схема оптической двухлазерной системы с оптическим устройством для смешения пучков приведена на рисунке 12.



1 — ППЛ; *2* — линза; *3* — оптический изолятор; *4* — устройство для объединения оптических пучков (смеситель); *5* — оптический детектор; *6* — анализатор радиочастотного спектра. *7* — зеркало; *8* — лазерный гетеродин (опорный источник излучения)

Рисунок 12 — Схема двухлазерной системы с оптическим устройством для смешения пучков

Схема автогетеродинной системы с оптической задержкой с одномодовым волоконным смесителем приведена на рисунке 13.



1 — ЛПЛ; *2* — оптический изолятор. *3* — одномодовый волоконный соединитель (смеситель); *4* — оптическое волокно для фазовой задержки; *5* — оптический частотный модулятор; *6* — регулятор поляризации; *7* — одномодовый волоконный соединитель (смеситель); *8* — оптический детектор, *9* — анализатор радиочастотного спектра; *10* — одномодовое оптическое волокно

Рисунок 13 — Схема автогетеродинной системы с оптической задержкой

Системы, показанные на рисунках 11 и 13, являются волоконными: излучение полупроводниковых лазеров вводится в волокно линзами и т. д. Компоненты схем соединены друг с другом одномодовыми оптическими волокнами.

Система, изображенная на рисунке 12, представляет собой оптическую систему без волокна. Излучение полупроводниковых лазеров преобразуется линзами в параллельные пучки, которые затем проходят через оптические компоненты и оборудование. Безволоконные измерительные системы используют для измерений ширины спектра лазеров, излучающих свет в диапазоне длин волн 2000 нм и более.

Регулятор поляризации управляет направлением поляризации света, проходящего через волокно, и используется для согласования состояния поляризации двух входных пучков, подаваемых в волоконный соединитель (смеситель).

Оптическое волокно фазовой задержки задерживает фазу проходящего света. Длина волокна влияет на разрешение.

Оптический частотный модулятор воздействует на часть излучения, разделенного волоконным ответвителем, что приводит к отличию частот излучения, проходящего через разные ветви волоконного тракта для гетеродинного детектирования. В качестве модулятора обычно используется акустооптический модулятор.

8.3.3 Условия проведения измерений

Для проведения измерения свет, отраженный обратно в полупроводниковый лазер, должен быть устранен или подавлен с помощью оптического изолятора до уровня по крайней мере менее минус 50 дБ, поскольку ширина спектральной линии лазера сильно зависит от отраженного назад излучения. Все оптические детали, указанные на рисунке 10, должны иметь качественные просветляющие покрытия, чтобы уменьшить обратное отражение.

Если установка содержит одномодовые оптические волокна, то обратное отражение от торцов волокон в местах стыковки должно быть подавлено до менее чем минус 50 дБ с помощью использования соответствующих волокон.

Электрический источник питания полупроводниковых лазеров должен быть низкошумящим для исключения его влияния на ширину спектральной линии. Предпочтительно использовать аккумуляторный источник питания.

Изолятор должен обеспечивать уровень оптической изоляции не менее минус 50 дБ.

Спектральная характеристика оптического детектора должна быть откалибрована.

Радиочастотный (РЧ) спектральный анализатор должен быть откорректирован.

Частота биений полупроводниковых лазеров или частота оптического модулятора должна быть относительно высокой, чтобы исключить влияние 1/*f* (фликкер) шума.

8.3.4 Порядок проведения измерений

8.3.4.1 Система с двумя полупроводниковыми лазерами

Пропускают заданный инжектируемый ток через исследуемый ППЛ.

Устанавливают требуемую температуру на исследуемом ППЛ.

Устанавливают заданную длину волны на исследуемом ППЛ. Устанавливают длину волны второго генератора на требуемое значение, определяющее частоту биения.

Настраивают частотный диапазон анализатора радиочастотного спектра в пределах необходимого диапазона для контроля частоты биения.

Для двухлазерной волоконной системы поляризацию излучения корректируют регулятором поляризации таким образом, чтобы пиковое значение сигнала биений на анализаторе РЧ-спектра было максимальным.

Если используется оптическая двухлазерная система с оптическим устройством для смешения пучков, то также корректируют поляризацию излучения обоих полупроводниковых лазеров.

Считывают ширину спектральной линии на анализаторе радиочастотного спектра в точке 3 дБ-спада или для других значений, таких как 20 дБ-спад, и затем пересчитывают. Ширина спектральной линии, контролируемая на анализаторе радиочастотного спектра, представляет собой сумму ширин линий обоих полупроводниковых лазеров в предположении лоренцевых форм спектральных линий.

Метод гомодинного детектирования применяют в случае, когда длины волн генерации двух полупроводниковых лазеров совпадают.

Методика измерений аналогична гетеродинной методике. В этом случае спектр биений наблюдается на частоте 0 Гц и непосредственно измеряется ширина спектральной линии.

8.3.4.2 Самозадерживающийся гетеродин

Пропускают заданный инжектируемый ток через исследуемый ППЛ.

Устанавливают требуемую температуру на исследуемом ППЛ.

Устанавливают заданную длину волны на исследуемом ППЛ.

Настраивают частотный диапазон анализатора радиочастотного спектра в пределах необходимого диапазона для контроля частоты биения.

Осуществляют модуляцию частоты света с помощью оптического модулятора.

Модуляция частоты света осуществляется с помощью оптического модулятора.

Проверяют, что спектр биений на анализаторе радиочастотного спектра появляется на частоте модуляции.

Корректируют поляризацию излучения регуляторами поляризации таким образом, чтобы пиковое значение сигнала биения на анализаторе спектра ВЧ было максимальным.

Если используется двухлазерная неволоконная система, то также корректируют поляризацию излучения полупроводникового лазера.

Считывают ширину спектральной линии на анализаторе радиочастотного спектра в точке 3 дБ-спада или для других значений, таких как 20 дБ-спад. Ширина спектральной линии, контролируемая на анализаторе радиочастотного спектра, в два раза превышает истинное значение в предположении лоренцевой формы линии.

Метод самозапаздывающего гомодинного детектирования применяют в случае, когда длины волн генерации в обоих плечах интерферометра совпадают, при этом влияние шума 1/*f* шума велико. При использовании волоконной системы оптический модулятор отсутствует.

Методика измерений аналогична гетеродинной методике. В этом случае спектр биений наблюдается на частоте 0 Гц и непосредственно измеряется ширина спектральной линии.

Приложение А
(справочное)

Основные оценки и характеристики

А.1 Общие положения

Характеристики устройства полупроводниковых лазеров сложны, и многие виды электрических и оптических характеристик объясняются в настоящем стандарте. Поэтому некоторые примеры абсолютных максимальных значений, основных значений и характеристик приведены для лазерных устройств с полупроводниковыми лазерами, выполненных с волоконным выводом или без него.

А.2 Общие положения

В таблице А.1 перечислены условные обозначения и единицы измерения, которые используются в А.3 и А.4.

Таблица А.1 — Обозначения и единицы измерения

Обозначение	Единица измерения	Термин
ϕ_e	Вт	Мощность излучения
η_e	Вт/А	Эффективность излучения
η_{ed}, η_d	Вт/А	Дифференциальная эффективность излучения
η_s	Вт/А	Дифференциальная эффективность (наклон)
I_{th}	А	Пороговый ток
$L_{\phi e}$	%	Линейность (зависимости мощности излучения от тока)
λ_{air}	м	Длина волны в воздухе
$P_\lambda(\lambda)$	Вт/м	Спектральное распределение мощности излучения
ΔP_t	Вт	Изменение мощности излучения в диапазоне перестройки длины волны (частоты)[а)]
λ_p	м	Длина волны в максимуме
λ_c	м	Центральная длина волны
$\Delta\lambda$	м	Спектральная ширина полосы
$\Delta\lambda_{rms}$	м	Среднеквадратичная спектральная ширина полосы
$\Delta\lambda L$ или $\Delta\nu L$	м или Гц	Ширина спектральной линии на полувысоте FWHM
S_{msp}	м	Межмодовый интервал
N_m	—	Количество продольных мод
SMS	дБ	Коэффициент подавления боковых мод
$\Delta\lambda_c$	м	Спектральный сдвиг
$\delta\lambda_T$	м/К	Температурная зависимость длины волны
$\delta\lambda_c$	м/А	Токовая зависимость длины волны
$\Delta\lambda_{tr}$	м	Диапазон перестройки длины волны[б)]
$\Delta\lambda_{tt}$	с	Время перестройки длины волны[а)]
R(f) или *RIN*	дБ	Относительная интенсивность шума
C/N	дБ	Отношение несущей к шуму
$t_{d(on)}$	с	Задержка включения

Окончание таблицы А.1

Обозначение	Единица измерения	Термин
t_r	с	Длительность нарастания
t_{on}	с	Время включения
$t_{d(off)}$	с	Задержка выключения
t_f	с	Длительность спада
t_{off}	с	Время выключения
f_c	Гц	Граничная частота (модуляции)

[а] Изменение мощности излучения в определенном диапазоне настройки температуры или тока $\Delta P_f = P_{e1} - P_{e2}$, здесь P_{e1} и P_{e2} — это начало и конец диапазона настройки соответственно.

[б] Максимальный диапазон длин волн, в котором отношение длины волны к току или температуре поддерживается постоянным.

[в] Требуемое время, в течение которого сдвиг длины волны генерации становится постоянным или в пределах определенного значения сразу после изменения тока или температуры.

А.3 Основные паспортные данные и характеристики лазерных устройств с ППЛ без волоконного вывода излучения

А.3.1 Тип

Лазерное устройство состоит из следующих основных частей:
- полупроводниковый лазер;
- фотодиод обратной связи (опция).

А.3.2 Материал полупроводниковой структуры

Используются следующие *полупроводниковые* материалы:
- для полупроводниковых лазеров: InP, GaAs, InGaAs, InAlAs, InGaAsP и др.;
- для фотодиодов (опция): Ge, Si, InGaAs и др.

А.3.3 Типы полупроводниковых устройств

Используются следующие типы:
- в полупроводниковых лазерах: резонатор Фабри-Перо (FP), резонатор с распределенной обратной связью (DFB), заглубленные гетероструктуры (BH), гребневые волноводы, поверхностно испускающие с вертикальным резонатором (VCSEL), квантовые ямы (QW), множественные квантовые ямы (MQW), напряженные MQW, квантово-каскадные и т. д.;
- в фотодиоде (опция): пин-фотодиод (pin PD), лавинный фотодиод (APD) и др.

А.3.4 Детали габаритного чертежа и герметизации

А.3.4.1 ИСО и/или МЭК и/или национальный справочный номер габаритного чертежа.

А.3.4.2 Способ герметизации: стекло/металл/пластик/другое.

А.3.4.3 Схема и обозначение выводов

А.3.5 Предельные значения (абсолютно максимальные) для всего рабочего температурного диапазона, если не указано иное

В таблицах А.2, А.3 и А.4 перечислены характеристики и требования к предельным значениям в обычных условиях для полупроводниковых лазеров и контрольных фотодиодов соответственно.

Таблица А.2 — Характеристики и требования к предельным значениям. Общие условия

Характеристика	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Температура хранения	T_{stg}	x	x	°C
Рабочая температура	$T_{корп}$	x	x	°C
Температура пайки (при заданном времени пайки и минимальном расстоянии до корпуса)	T_{sld}	—	x	°C

Таблица А.3 — Характеристики и требования к предельным значениям. Полупроводниковый лазер

Характеристика	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Обратное напряжение	V_R	—	x	В
Прямой ток	I_F	—	x	А
Выходная мощность непрерывного излучения	ϕ_e	—	x	Вт
Максимальная выходная мощность излучения при заданной ширине импульса и скважности	ϕ_{ep}	—	x	Вт
Электростатическое (ESD) напряжение (обе полярности) модели человеческого тела	V_{ESD}	—	x	В

Таблица А.4 — Характеристики и требования к предельным значениям. Фотодиод (опция)

Характеристика	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Обратное напряжение	V_{mR}	—	x	В
Прямой ток	I_{mF}	—	x	А
Электростатическое (ESD) напряжение (обе полярности) модели человеческого тела	V_{mESD}	—	x	В

А.3.6 Электрические и оптические характеристики

В таблицах А.5 и А.6 приведены статические электрические и оптические характеристики полупроводниковых лазеров и дополнительных фотодиодов обратной связи, соответственно.

В таблице А.7 приведены динамические электрические и оптические характеристики полупроводниковых лазеров.

В таблице А.8 приведены электрические и оптические характеристики полупроводниковых лазеров и дополнительных фотодиодов обратной связи, специфицированные во всем диапазоне рабочих температур.

Таблица А.5 — Электрические и оптические характеристики. Полупроводниковый лазер

Характеристика («Статические» характеристики при $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Пороговый ток	I_{th}	x	x	А
Выходная мощность излучения из оптического порта при I_F (I_{th} + ΔI_F) (где применимо для максимального значения)	ϕ_e	x	x	Вт
Прямой ток при ϕ_e	I_F	x	x	А
Дифференциальная эффективность при $\phi_e \pm \Delta\phi_e$ или при $I_F \pm \Delta I_F$	η_d	x	x	Вт/А
Линейность выходной мощности излучения между заданными значениями ϕ_{e1} и ϕ_{e2} (при необходимости)	L_d	—	x	%
Выходная мощность излучения оптического порта при I_{th} (при необходимости)	ϕ_{th}	—	x	Вт
Прямое напряжение при ϕ_e или I_F указано	V_F	—	x	В
Дифференциальное сопротивление выше порога (при необходимости)	R_d	x	x	Ω/А
Коэффициент подавления боковых мод	*SMS*	x	—	дБ

Окончание таблицы А.5

Характеристика («Статические» характеристики при $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Спектральная ширина линии на полувысоте	$\Delta\lambda_L$	—	x	м
Частота отсечки	f_c	—	x	Гц
Тепловое сопротивление корпуса (где это уместно)	$T_{TH(j\text{-}c)}$	—	x	К/Вт

Таблица А.6 — Электрические и оптические характеристики. Фотодиод обратной связи (опция)

Характеристика (при $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс	
Обратный темновой ток при ϕ_e = 0 и заданном V_R	I_{mR0}	—	x	А
Выходной ток фотодиода при ϕ_e = 0 и заданном V_R	I_m	x	x	А
Линейность фототока диода от выходной мощности излучения в заданном диапазоне от I_{F1} до I_{F2} или от ϕ_{e1} до ϕ_{e2}	L_m	—	x	%
Емкость при заданных значениях V_R и f	C_{tot}	—	x	Ф

Таблица А.7 — Электрические и оптические характеристики полупроводникового лазера

Характеристика («Динамические» характеристики при $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Центральная (среднеквадратичная) длина волны спектрального максимума при заданной выходной мощности излучения ϕ_e	—	x	x	м
Среднеквадратичный спектральный диапазон при а) ϕ_e или I_F (непрерывный режим) или б) ϕ_e или I_F и ϕ_e (в режиме модуляции) (где это уместно)	$\Delta\lambda_{rms}$	x	x	Вт/А
Время нарастания выходной мощности излучения между 90 % и 10 % выходной мощности излучения ϕ_e или при заданных I_F и R_L	t_r	—	x	с
Время спадания выходной мощности излучения от 10 % до 90 % от выходной мощности излучения ϕ_e или при заданных I_F и R_L	t_f	—	x	с
Относительная интенсивность шума при заданных ϕ_e или I_F, ϕ_e и Δf, оптическое отражение (где применимо)	RIN	—	x	дБ/Гц

Таблица А.8 — Электрические и оптические характеристики. Полупроводниковый лазер [и фотодиод (опция)]

Характеристика (задается в диапазоне рабочих температур)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Пороговый ток	I_{th}+	x	x	А
Дифференциальная эффективность при $\phi_e \pm \Delta\phi_e$ или при $I_F \pm \Delta I_F$	η_d+	x	x	Вт/А
Ошибка слежения при ϕ_e и T_{case} = 25 °С	E_R+	—	x±	%
Центральная (среднеквадратичная) длина волны спектра при заданной выходной мощности излучения ϕ_e	—+	x	x	м

Окончание таблицы А.8

Характеристика (задается в диапазоне рабочих температур)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Линейность выходной мощности излучения между заданными значениями ϕ_{e1} и ϕ_{e2} (где применимо)	L_n+	—	x	%
Температурная зависимость длины волны	$\delta\lambda_T$	x	x	м/К
Зависимость длины волны от тока	$\delta\lambda_C$	x	x	м/А
Диапазон перестройки длины волны	$\Delta\lambda_{tr}$	x	x	м
Время перестройки длины волны	$\Delta\lambda_{tt}$	—	x	с
Изменение оптической мощности в диапазоне перестройки длины волны (частоты)	ΔP_t	—	x	Вт
Темновой ток фотодиода при V_R	$IR(D)$+	—	x	А
Примечание — Характеристики со знаком «+» в колонке символов указывают на то, что минимальные и максимальные значения характеристик должны приниматься во всем диапазоне рабочих температур.				

А.3.7 Опасность

См. ГОСТ IEC 60825-1.

А.4 Основные паспортные данные и характеристики лазерных устройств с волоконным выводом излучения

А.4.1 Состав

Лазерный модуль с волоконным выводом состоит из следующих основных частей:
- полупроводниковый лазер;
- фотодиод обратной связи (опция);
- волокно (одномодовое).

А.4.2 Полупроводниковый материал

Используемые полупроводниковые материалы:
- для полупроводникового лазера: InP, GaAs, InGaAs, InAlAs, InGaAsP и др., и
- для фотодиода (опция): Ge, Si, InGaAs и др.

А.4.3 Устройство (конструкция)

Устройство:

- в полупроводниковом лазере: интерферометр Фабри-Перо (FP), распределенная обратная связь (DFB), заглубленная гетероструктура (BH), гребневым волноводом, поверхностно излучающий с вертикальным резонатором (VCSEL), квантовая яма (QW), множественные квантовые ямы (MQW), напряженные MQW, квантово-каскадными и т. д.;
- в фотодиоде (опция): контактный фотодиод (pin PD), лавинный фотодиод (APD) и др.

А.4.4 Подробные сведения габаритного чертежа и материалов корпуса

А.4.4.1 ИСО и/или МЭК и/или национальный справочный номер габаритного чертежа.

А.4.4.2 Материал корпуса: стекло/металл/пластик/другое.

А.4.4.3 Обозначение (назначение) выводов.

А.4.4.4 Информация о выходном волокне: тип волокна, виды защиты, разъем, длина и т. д.

А.4.4.5 Информация о теплоотводе корпуса.

А.4.5 Предельные значения (абсолютные максимальные) в диапазоне рабочих температур, если не указано иное

В таблицах А.9, А.10 и А.11 перечислены характеристики и требования к предельным значениям для общих условий применения полупроводниковых лазеров и дополнительных фотодиодов.

Таблица А.9 — Характеристики и требования к предельным значениям. Общие сведения

Характеристика	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Пороговый ток	T_{stg}	x	x	°C
Дифференциальная эффективность при $\phi_e \pm \Delta\phi_e$ или при $I_F \pm \Delta I_F$	$T_{корп}$	x	x	°C
Ошибка слежения при ϕ_e и T_{case} = 25 °C	T_{sld}	—	x	°C
Центральная (среднеквадратичная) длина волны спектра при заданной выходной мощности излучения ϕ_e	r	x	—	м
Прочность на растяжение вдоль оси кабеля				
Прочность конструкции: - прочность волокна на растяжение - прочность кабеля на растяжение	 F F	 — —	 x x	 Н Н
или				
Прочность конструкции: - прочность кабеля на растяжение	F	—	x	Н

Таблица А.10 — Характеристики и требования к предельным значениям. Полупроводниковый лазер

Характеристика	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Обратное напряжение	V_R	—	x	В
Прямой ток	I_F	—	x	А
Мощность выходного из волокна излучения	ϕ_e	—	x	Вт
Максимальная мощность излучения при установленной длительности импульса и скважности	ϕ_{ep}	—	x	Вт
Электростатическое (ESD) напряжение (обе полярности) модели человеческого тела	V_{ESD}	—	x	В

Таблица А.11 — Характеристики и требования к предельным значениям. Фотодиод мониторинга (опция)

Характеристика	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Обратное напряжение	V_{mR}	—	x	В
Прямой ток	I_{mF}	—	x	А
Электростатическое (ESD) напряжение (обе полярности) модели человеческого тела	V_{mESD}	—	x	В

А.4.6 Электрические и оптические характеристики

В таблицах А.12 и А.13 приведены статические электрические и оптические характеристики полупроводниковых лазеров и контрольных фотодиодов соответственно. В таблице А.14 приведены динамические электрические и оптические характеристики полупроводниковых лазеров. В таблице А.15 приведены электрические и оптические характеристики полупроводниковых лазеров и контрольных фотодиодов для определенного диапазона рабочих температур.

Таблица А.12 — Электрические и оптические характеристики полупроводникового лазера

Характеристика («Статические» характеристики при $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Пороговый ток	I_{th}	x	x	А
Выходная мощность излучения из волокна при заданном значении (I_{th} + Δ_{IF}) (при необходимости для максимального значения)	ϕ_e	x	x	Вт
Прямой ток при ϕ_e	I_F	x	x	А
Дифференциальная эффективность при $\phi_e \pm \Delta\phi_e$ или при $I_F \pm \Delta I_F$	η_d	x	x	Вт/А
Линейность выходной мощности излучения между ϕ_{e1} и ϕ_{e2} (при необходимости)	L_d	—	x	%
Выходная мощность излучения из волокна при I_{th} (при необходимости)	ϕ_{th}	—	x	Вт
Прямое напряжение при ϕ_e или I_F	V_F	—	x	В
Дифференциальное сопротивление выше порога (при необходимости)	Rd	x	x	Ω/А
Коэффициент подавления боковых мод	SMS	x	—	дБ
Спектральная ширина линии на полувысоте	$\Delta\lambda_L$	—	x	м
Частота отсечки	f_c	—	x	Гц
Тепловое сопротивление переход-корпус (при необходимости)	$T_{TH(j\text{-}c)}$	—	x	К/Вт

Таблица А.13 — Электрические и оптические характеристики. Монитор фотодиодный (опция)

Характеристика (при температуре корпуса $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Обратный темновой ток при ϕ_e = 0 при V_R	I_{mR0}	—	x	А
Выходной ток следящего фотодиода при ϕ_e и V_R	I_m	x	x	А
Линейность фототока диода к выходной мощности излучения из оптического порта в заданном диапазоне от I_{F1} до I_{F2} или от ϕ_{e1} до ϕ_{e2}	L_m	—	x	%
Емкость при V_R и ϕ_{e2}	C_{tot}	—	x	Ф

Таблица А.14 — Электрические и оптические характеристики. Полупроводниковый лазер

Характеристика («Динамические» характеристики при $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Центральная (среднеквадратичная) длина волны спектрального максимума при заданной выходной мощности излучения ϕ_e	—	x	x	м
Среднеквадратичная ширина спектра при: а) ϕ_e или I_F (в условиях непрерывного режима) или б) ϕ_e или I_F (в условиях модуляции) (при необходимости)	$\Delta\lambda_{rms}$	x	x	Вт/А
Время нарастания выходной мощности излучения между 90 % и 10 % от выходной мощности излучения ϕ_e или при заданных I_F и R_L	t_r	—	x	с

Окончание таблицы А.14

Характеристика («Динамические» характеристики при $T_{корп}$ = 25 °С)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс.	
Время спада выходной мощности излучения между 90 % и 10 % от выходной мощности излучения ϕ_e или при заданных I_F и R_L	t_f	—	x	с
Относительная интенсивность шума при ϕ_e или I_F, ϕ_e и Δf, при оптическом отражении (при необходимости)	*RIN*	—	x	дБ/Гц

Таблица А.15 — Электрические и оптические характеристики. Полупроводниковый лазер [и фотодиод обратной связи (опция)]

Характеристика (задается в диапазоне рабочих температур)	Обозначение	Требования		Единица измерения
		мин.	макс	
Пороговый ток	I_{th}+	x	x	А
Дифференциальная эффективность при $\phi_e \pm \Delta\phi_e$ или при $I_F \pm \Delta I_F$	η_d+	x	x	Вт/А
Ошибка слежения при ϕ_e и T_{case} = 25 °С	E_R+	—	x±	%
Центральная (среднеквадратичная) длина волны спектра при заданной выходной мощности излучения ϕ_e	—+	x	x	м
Линейность выходной мощности излучения между заданными значениями ϕ_{e1} и ϕ_{e2} (при необходимости)	L_n+	—	x	%
Температурная зависимость длины волны генерации	$\delta\lambda_T$	x	x	м/К
Токовая зависимость длины волны генерации	$\delta\lambda_C$	x	x	м/А
Диапазон перестройки длины волны	$\Delta\lambda_{tr}$	x	x	м
Время перестройки длины волны	$\Delta\lambda_{tf}$	—	x	x
Изменение мощности излучения в диапазоне перестройки длины волны (частоты)	ΔP_f	—	x	x
Темновой ток следящего фотодиода при V_R	*IR*(*D*)+	—	x	x
Примечание — Характеристики со знаком «+» в колонке символов указывают на то, что минимальные и максимальные значения характеристик должны обеспечиваться во всем диапазоне рабочих температур.				

А.4.7 Опасность

См. ГОСТ IEC 60825-1.

УДК 681.7.621.389:006.354 ОКС 31.260

Ключевые слова: оптика и фотоника, полупроводниковые лазеры для определения малых концентраций веществ, методы измерений характеристик

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *М.В. Лебедевой*

Сдано в набор 13.10.2021. Подписано в печать 26.10.2021. Формат 60×84¼. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,95.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
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