



中华人民共和国国家标准

GB/T 31359—2015

半导体激光器测试方法

Test methods of semiconductor lasers

2015-02-04 发布

2015-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和符号..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 符号和单位 1

4 测试条件及要求 2

 4.1 环境要求 2

 4.2 测试仪器及计量要求 2

 4.3 激光安全要求 2

 4.4 被测产品正常工作要求 3

 4.5 其他要求 3

5 测试方法 3

 5.1 输出光功率测试 3

 5.2 平均功率测试 4

 5.3 峰值功率测试 4

 5.4 脉冲能量测试 6

 5.5 输出功率不稳定性测试 7

 5.6 输出能量不稳定性测试 8

 5.7 工作电流 9

 5.8 工作电压 10

 5.9 阈值电流 11

 5.10 斜率效率 12

 5.11 电光转换效率 13

 5.12 波长-温度漂移系数 14

 5.13 峰值波长 15

 5.14 谱宽度 16

 5.15 中心波长 16

 5.16 偏振度 17

 5.17 重复频率 18

 5.18 脉冲宽度 19

 5.19 光强分布 19

 5.20 光束宽度 23

 5.21 快轴发散角和慢轴发散角 23

 5.22 边模抑制比 25

 5.23 截止频率 26

附录 A（资料性附录） 光强分布举例 28

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会(SAC/TC 284)归口。

本标准起草单位:西安炬光科技有限公司、中国科学院西安光学精密机械研究所、中国科学院半导体研究所、北京国科世纪激光技术有限公司、武汉华工正源光子技术有限公司、中国电子科技集团公司第十三研究所。

本标准主要起草人:刘兴胜、赵卫、许国栋、张艳春、杨军红、马晓宇、唐琦、吴迪、王贞福、王警卫、谢彦虎、王家赞、李小宁、史俊红、陈海蓉、仲莉、石朝辉、张恩、许海明、张国新。

半导体激光器测试方法

1 范围

本标准规定了半导体激光器主要光电参数的测试方法。

本标准适用于半导体激光器主要光电参数的测试。半导体激光器组件可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的,凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 7247.1 激光产品的安全 第1部分:设备分类、要求

GB/T 10320 激光设备和设施的电气安全

GB/T 15313 激光术语

GB/T 31358—2015 半导体激光器总规范

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

GB/T 15313、GB/T 31358—2015 界定的术语和定义适用于本文件。

3.2 符号和单位

表1所列的符号和单位适用于本文件。

表1 符号和单位

术语	符号	单位
输出光功率	P_{op}	mW, W
平均功率	P_{avg}	mW, W
脉冲能量	E	J, mJ
峰值功率	P_p	mW, W
输出功率不稳定性	S_{Pt}	—
输出能量不稳定性	S_{Et}	—
峰值波长	λ_p	nm
谱宽度	$\Delta\lambda_{FWHM}$	nm
中心波长	λ_c	nm
工作电流	I_{op}	mA, A
工作电压	V_{op}	mV, V

表 1 (续)

术语	符号	单位
阈值电流	I_{th}	mA, A
斜率效率	SE	W/A
电光转换效率	η_p	—
波长-温度漂移系数	k	nm/K, nm/°C
偏振度	P_d	—
脉冲宽度	τ	ms, μ s, ns
重复频率	f	Hz
快轴发散角	$\theta_{\perp}$	(°)
慢轴发散角	$\theta_{//}$	(°)
光束宽度	Δd	mm
边模抑制比	SMSR	—
截止频率	f_c	Hz

4 测试条件及要求

4.1 环境要求

除非另有规定,测试环境条件应符合以下要求:

- a) 气压:86 kPa~106 kPa;
- b) 环境温度:20 °C~25 °C;
- c) 相对湿度:30%~70%;
- d) 环境洁净度:按照产品详细规范规定;
- e) 无光噪声和明显气流;
- f) 屏蔽电磁辐射(适用时,按照产品详细规范规定);
- g) 防止机械振动;
- h) 防静电(适用时)。

4.2 测试仪器及计量要求

除非另有规定,测试仪器应满足以下要求:

- a) 测试仪器量程满足被测半导体激光器参数范围;
- b) 精度范围至少优于被测指标误差 4 倍以上,一般情况下数字仪表示值至少 3 位有效数字;
- c) 符合计量检定要求,且在计量有效期内。

4.3 激光安全要求

半导体激光器的安全要求应符合以下规定:

- a) 半导体激光器的辐射安全和防护应符合 GB 7247.1 的规定;
- b) 半导体激光器配套的电系统应符合 GB/T 10320 的规定。

4.4 被测产品正常工作要求

除非另有规定,被测产品应满足以下工作要求:

- a) 被测半导体激光器应在产品详细规范规定的工作条件下稳定工作后,进行相关参数测试;
- b) 测试时应按照产品详细规范要求采取必要的保护措施。

4.5 其他要求

测试时应满足以下要求:

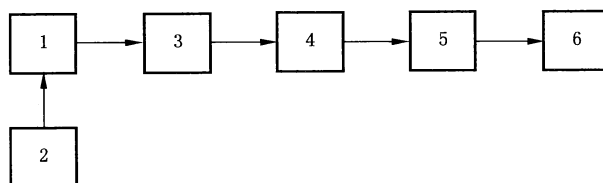
- a) 标准中测试的数据应是在该参数重复测试 n 次的平均值,通常 $n \geq 10$;
- b) 记录必要工作条件(工作电流、热沉温度等)。

5 测试方法

5.1 输出光功率测试

5.1.1 测试装置

测试装置框图见图 1。



说明:

- 1——半导体激光器;
- 2——驱动电源;
- 3——光束整形器(适用时);
- 4——衰减器(适用时);
- 5——光闸(适用时);
- 6——激光功率计。

图 1 输出光功率、平均功率和输出功率不稳定性测试装置框图

5.1.2 测试步骤

输出光功率测试按照以下步骤进行:

- a) 按图 1 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
- b) 选取光束整形器(适用时)和衰减器(适用时),保证被测光斑投射到激光功率计光接收面直径的 $2/3$ 区域内;调整被测半导体激光器的位置,保证光束从光束整形器(适用时)和激光功率计光接收面的中心入射;
- c) 使用光闸(适用时),可阻挡进入激光功率计的光,选择合适量程,并调整零点;
- d) 调节电源,给被测半导体激光器施加规定的工作电流;
- e) 按规定的时间间隔记录激光功率计的读数 P_i 。

5.1.3 数据处理

按式(1)计算输出光功率:

$$P_{op} = \frac{1}{\tau_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

P_{op} ——输出光功率,单位为瓦(W);

τ_j ——衰减器透射比,%;

n ——测试次数;

P_i ——第*i*次记录的激光功率计读数,单位为瓦(W)。

5.2 平均功率测试

5.2.1 测试装置

测试装置框图见图1。

5.2.2 测试步骤

平均功率测试按照以下步骤进行:

a) 测试步骤见 5.1.2 a)~d);

b) 根据 5.1.3 计算 P_{opi} 。

5.2.3 数据处理

按式(2)计算平均功率:

$$P_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{opi} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

P_{avg} ——平均功率,单位为瓦(W);

n ——测试次数;

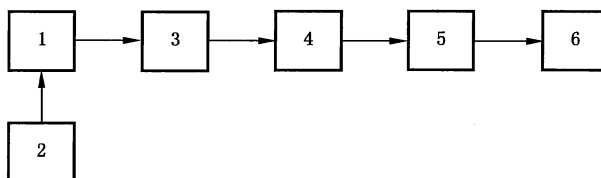
P_{opi} ——第*i*次测得的输出光功率,单位为瓦(W)。

5.3 峰值功率测试

5.3.1 方法一:通过脉冲能量测试峰值功率

5.3.1.1 测试装置

测试装置框图见图2。



说明:

1——半导体激光器;

2——驱动电源;

3——光束整形器(适用时);

4——衰减器(适用时);

5——光闸(适用时);

6——激光能量计或激光功率计。

图2 脉冲能量、峰值功率和输出能量不稳定性测试装置框图

5.3.1.2 测试步骤

峰值功率测试按照以下步骤进行：

- a) 按图 2 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器；
- b) 选取光束整形器(适用时)和衰减器(适用时),保证被测光斑投射到激光能量计光接收面直径的 2/3 区域内;调整被测半导体激光器的位置,保证光束从光束整形器(适用时)和激光能量计光接收面的中心入射；
- c) 使用光闸(适用时),可阻挡进入激光能量计的光,选择合适量程,并调整零点；
- d) 调节电源,给被测半导体激光器施加规定的工作电流；
- e) 按规定时间间隔记录激光能量计的读数 E_i 。

5.3.1.3 数据处理

按式(3)计算峰值功率：

$$P_p = \frac{1}{\tau_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\tau}$$

.....(3)

式中：

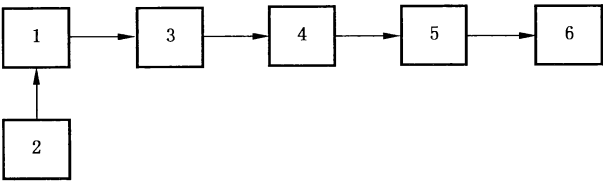
- P_p ——峰值功率,单位为瓦(W)；
- τ_j ——衰减器的透射比,%；
- n ——测试次数；
- E_i ——第 i 次记录的激光能量计读数,单位为焦(J)；
- τ ——脉冲宽度,单位为秒(s)。

注：本方法中的峰值功率是指脉冲宽度内的平均功率。

5.3.2 方法二:直接测试峰值功率法

5.3.2.1 测试装置

测试装置框图见图 3。



说明：

- 1——半导体激光器；
- 2——驱动电源；
- 3——光束整形器(适用时)；
- 4——衰减器(适用时)；
- 5——光闸(适用时)；
- 6——峰值功率计。

图 3 直接测试峰值功率装置框图

5.3.2.2 测试步骤

峰值功率测试按照以下步骤进行：

- a) 按图 3 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
- b) 选取光束整形器(适用时)和衰减器(适用时),保证被测光斑投射到峰值功率计光接收面直径的 2/3 区域内;调整被测半导体激光器的位置,保证光束从光束整形器(适用时)和峰值功率计光接收面的中心入射;
- c) 使用光闸(适用时),可阻挡进入峰值功率计的光,选择合适量程,并调整零点;
- d) 调节电源,给被测半导体激光器施加规定的工作电流;
- e) 按规定时间间隔记录峰值功率计的读数 P_{pi} 。

5.3.2.3 数据处理

按式(4)计算峰值功率:

$$P_p = \frac{1}{\tau_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{pi} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

P_p ——峰值功率,单位为瓦(W);

τ_j ——衰减器的透射比,%;

n ——测试次数;

P_{pi} ——第 i 次记录的峰值功率计的读数,单位为瓦(W)。

5.4 脉冲能量测试

5.4.1 方法一:直接测试脉冲能量法

5.4.1.1 测试装置

测试装置框图见图 2。

5.4.1.2 测试步骤

测试步骤见 5.3.1.2 a)~e)。

5.4.1.3 数据处理

按式(5)计算脉冲能量:

$$E = \frac{1}{\tau_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

E ——脉冲能量,单位为焦(J);

τ_j ——衰减器的透射比,%;

n ——测试次数;

E_i ——第 i 次记录的激光能量计读数,单位为焦(J)。

5.4.2 方法二:通过平均功率测试脉冲能量

5.4.2.1 测试装置

测试装置框图见图 1。

5.4.2.2 测试步骤

按照 5.2 的测试方法测出平均功率。

5.4.2.3 数据处理

按式(6)计算脉冲能量:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_{avg i}}{f} \dots\dots\dots (6)$$

式中:
E ——脉冲能量,单位为焦(J);
n ——测试次数;
f ——重复频率;
P_{avg i} ——第*i*次测得的平均功率,单位为瓦(W)。

5.4.3 方法三:通过峰值功率测试脉冲能量

5.4.3.1 测试装置

测试装置框图见图 3。

5.4.3.2 测试步骤

峰值功率测试见 5.3.2.2。按式(4)计算 *P_p*。

5.4.3.3 数据处理

按式(7)计算脉冲能量:

$$E = P_p \times \tau \dots\dots\dots (7)$$

式中:
E ——脉冲能量,单位为焦(J);
P_p ——峰值功率,单位为瓦(W);
 τ ——脉冲宽度,单位为秒(s)。

5.5 输出功率不稳定性测试

5.5.1 测试装置

测试装置框图见图 1。

5.5.2 测试步骤

- 输出功率不稳定性测试按照以下步骤进行:
- a) 按图 1 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
 - b) 选取光束整形器(适用时),保证被测光斑投射到激光功率计光接收面直径的 2/3 区域内;调整被测半导体激光器的位置,保证光束从光束整形器(适用时)和激光功率计光接收面的中心入射;
 - c) 使用光闸(适用时),可阻挡进入激光功率计的光,选择合适量程,并调整零点;
 - d) 调节电源,使被测半导体激光器处于规定工作状态;
 - e) 在规定测试时间周期内均分 *n* 次取值,记录每次测得的输出光功率 *P_{opi}*。

5.5.3 数据处理

数据处理有以下两种方法:

a) 方法一:

按式(8)计算输出功率不稳定性,其中输出光功率的平均值按式(9)计算:

$$S_{Pt} = \frac{2}{\bar{P}_n} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_{opi} - \bar{P}_n)^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\bar{P}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{opi} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

S_{Pt} ——输出功率不稳定性;

n ——取值次数;

$\bar{P}_n$ ——输出光功率的平均值,单位为瓦(W);

P_{opi} ——第 i 次测得的输出光功率,单位为瓦(W)。

b) 方法二:

输出光功率的平均值按式(9)计算,输出光功率 P_{opi} 中最大值与最小值分别记为 $P_{opi\max}$ 、 $P_{opi\min}$,利用式(10)计算输出功率不稳定性:

$$S_{Pt} = \pm \frac{P_{opi\max} - P_{opi\min}}{2\bar{P}_n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

S_{Pt} ——输出功率不稳定性;

$\bar{P}_n$ ——输出光功率的平均值,单位为瓦(W);

$P_{opi\max}$ ——第 i 次测得的输出光功率的最大值,单位为瓦(W);

$P_{opi\min}$ ——第 i 次测得的输出光功率的最小值,单位为瓦(W)。

注:式(8)和式(10)参照 GB/T 13863。

5.6 输出能量不稳定性测试

5.6.1 测试装置

测试装置框图见图 2。

5.6.2 测试步骤

输出能量不稳定性测试按照以下步骤进行:

- 按图 2 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
- 选取光束整形器(适用时),保证被测光斑投射到激光能量计光接收面直径的 2/3 区域内;调整被测半导体激光器的位置,保证光束从光束整形器(适用时)和激光能量计光接收面的中心入射;
- 使用光闸(适用时),可阻挡进入激光能量计的光,选择合适量程,并调整零点;
- 调节电源,使被测半导体激光器处于规定工作状态;
- 在规定测试时间周期内均分 n 次取值,记录测得的脉冲能量 E_i 。

5.6.3 数据处理

数据处理有以下两种方法:

a) 方法一:

按式(11)计算输出能量不稳定性,其中脉冲能量的平均值按式(12)计算:

$$S_{Et} = \frac{2}{\bar{E}_n} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E}_n)^2}$$
.....(11)

$$\bar{E}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$
.....(12)

式中：
S_{Et}——输出能量不稳定性；
n ——取值次数；
E_n ——脉冲能量的平均值，单位为焦(J)；
E_i ——第 i 次测得的脉冲能量，单位为焦(J)。

b) 方法二：

脉冲能量的平均值按式(12)计算，脉冲能量 E_i 中最大值与最小值分别记为 E_{i max}、E_{i min}，利用式(13)计算输出能量不稳定性：

$$S_{Et} = \pm \frac{E_{imax} - E_{imin}}{2\bar{E}_n} \times 100\%$$
.....(13)

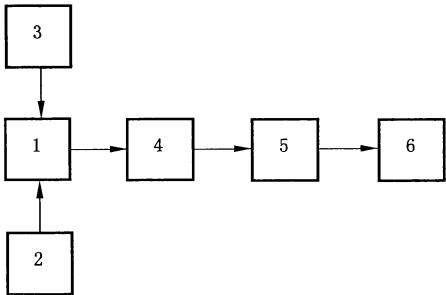
式中：
S_{Et} ——输出能量不稳定性；
E_n ——脉冲能量的平均值，单位为焦(J)；
E_{i max} ——第 i 个脉冲能量的最大值，单位为焦(J)；
E_{i min} ——第 i 个脉冲能量的最小值，单位为焦(J)。

注：式(11)和式(13)参照 GB/T 13863。

5.7 工作电流

5.7.1 测试装置

测试装置框图见图 4。



说明：
1——半导体激光器；
2——驱动电源；
3——电流表或示波器；
4——光束整形器(适用时)；
5——光闸(适用时)；
6——激光功率计或能量计。

图 4 工作电流、阈值电流和斜率效率测试装置框图

5.7.2 测试步骤

工作电流的测试按以下步骤进行：

- a) 按照图 4 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器；
- b) 选取光束整形器(适用时),保证被测光斑投射到激光功率计光接收面直径的 2/3 区域内;使用光闸(适用时),可阻挡进入激光功率计或能量计的激光,选择合适量程,并调整零点；
- c) 电流表选择合适量程,并调整零点；
- d) 给被测半导体激光器施加正向工作电流,监测激光功率计显示激光功率到规定值；
- e) 按规定时间间隔记录电流表读数 I_{Fi} 。

5.7.3 数据处理

按式(14)计算工作电流：

$$I_{op} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{Fi}$$

.....(14)

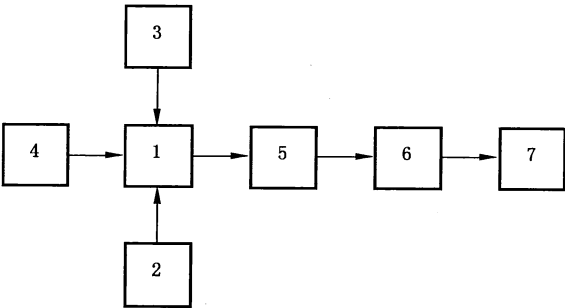
式中：

- I_{op} ——工作电流,单位为安(A)；
- n ——测试次数；
- I_{Fi} ——第 i 次测得的正向电流,单位为安(A)。

5.8 工作电压

5.8.1 测试装置

测试装置框图见图 5。



说明：

- 1——半导体激光器；
- 2——驱动电源；
- 3——电流表或示波器；
- 4——电压表或示波器；
- 5——光束整形器(适用时)；
- 6——光闸(适用时)；
- 7——激光功率计或能量计。

图 5 工作电压和电光转换效率测试装置框图

5.8.2 测试步骤

工作电压的测试按以下步骤进行：

- a) 按照图 5 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器。电压表的采样点尽量接近被测半导体激光器引出电极;
- b) 选取光束整形器(适用时),保证被测光斑投射到激光功率计光接收面直径的 2/3 区域内;使用光闸(适用时),可阻挡进入激光功率计的光,选择合适量程,并调整零点;
- c) 电流表选择合适量程,并调整零点;
- d) 电压表选择合适量程,并调整零点;
- e) 给被测半导体激光器施加正向工作电流,监测激光功率计显示的激光功率到规定值;
- f) 按规定时间间隔记录电压表读数 V_{Fi} 。

5.8.3 数据处理

按式(15)计算工作电压:

$$V_{op} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{Fi} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

V_{op} ——工作电压,单位为伏(V);

n ——测试次数;

V_{Fi} ——第 i 次测得的正向电压,单位为伏(V)。

5.9 阈值电流

5.9.1 测试装置

测试装置框图见图 4。

5.9.2 测试步骤

阈值电流的测试按以下步骤进行:

- a) 按照图 4 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
- b) 选取光束整形器(适用时),保证被测光斑投射到激光功率计光接收面直径的 2/3 区域内;使用光闸(适用时),可阻挡进入激光功率计的光,选择合适量程,并调整零点;
- c) 电流表选择合适量程,并调整零点;
- d) 在规定的电流变化范围内,给被测半导体激光器从小到大按规定的电流取值间隔施加正向电流,分别记录每一点的电流表和激光功率计的读数 I 和 P ;
- e) 根据记录的数据得到 $P-I$ 曲线(激光功率随电流的变化曲线),见图 6。

5.9.3 数据处理

根据 $P-I$ 曲线,计算阈值电流,计算方法有以下三种,通常使用第一种方法:

- a) 方法一:直线拟合法,见图 6 a)。将激光功率-电流曲线中拐点以上的直线部分延长与电流坐标轴相交点所对应的电流值定为 I_{th} ;
- b) 方法二:两段直线拟合法(仲裁方法),见图 6 b)。将激光功率-电流曲线中拐点前后的两段直线分别延长并相交,其交点所对应的电流值定为 I_{th} ;
- c) 方法三:二次微分法,见图 6 c)。

对激光功率-电流曲线进行曲线拟合,得到式(16)函数:

$$P = f(I) \quad \dots\dots\dots (16)$$

对 $P = f(I)$ 作二阶导数处理得到式(17)函数:

$$\frac{d^2 P}{dI^2} = G(I) \quad \dots\dots\dots (17)$$

对 $\frac{d^2 P}{dI^2} = G(I)$ 求出 $\frac{d^2 P}{dI^2}$ 的极大值,其对应的电流即为 I_{th} 。

式中:

I ——驱动电流,单位为安(A);

P ——驱动电流为 I 时的激光功率,单位为瓦(W);

I_{th} ——阈值电流,单位为安(A)。

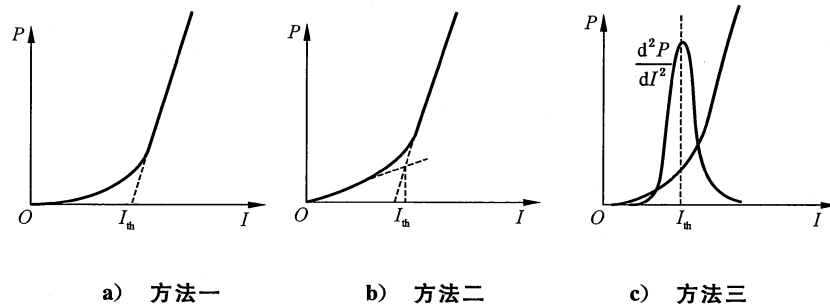


图6 阈值电流的计算方法

5.10 斜率效率

5.10.1 测试装置

测试装置框图见图4。

5.10.2 测试步骤

斜率效率的测试按照以下步骤进行:

- 按照图4建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
- 选取光束整形器件(适用时),保证被测光斑投射到激光功率计光接收面直径的2/3区域内;使用光闸(适用时),可阻挡进入激光功率计或能量计的光,选择合适量程,并调整零点;
- 电流表选择合适量程,并调整零点;
- 给被测半导体激光器从小到大按规定的电流取值间隔逐渐施加正向电流到规定的工作电流 I_F ,记录电流表和激光功率计每一点读数 I 和 P 。

5.10.3 数据处理

按以下方法计算斜率效率:

- 根据记录的数据得出激光功率随电流的变化曲线,见图7;
- 在曲线上取 I_2 (工作电流 I_{op} 的90%)对应的激光功率 P_2 ;在线性区中再取一点 I_1 (工作电流 I_{op} 的30%)所对应的激光功率 P_1 ,见图7;
- 按式(18)计算斜率效率,其中电流变化量按式(19)计算、激光功率变化量按式(20)计算:

$$SE = \frac{\Delta P}{\Delta I} \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$\Delta I = I_2 - I_1 \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：
SE ——斜率效率；
 I_2 ——工作电流 I_{op} 的 90%，单位为安(A)；
 P_2 ——工作电流 I_2 下对应的激光功率，单位为瓦(W)；
 I_1 ——工作电流 I_{op} 的 30%，单位为安(A)；
 P_1 ——工作电流 I_1 对应的激光功率，单位为瓦(W)。

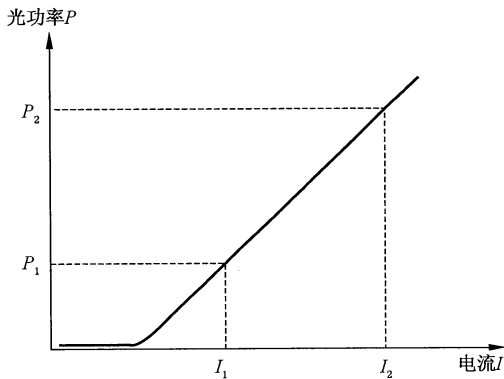


图 7 斜率效率的计算方法示意图

5.11 电光转换效率

5.11.1 测试装置

测试装置框图见图 5。

5.11.2 测试步骤

电光转换效率的测试按照以下步骤进行：

- a) 按照图 5 建立测试装置，首先按图示顺序摆放和连接测试仪器；
- b) 选取光束整形器件(适用时)，保证被测光斑投射到激光功率计光接收面直径的 2/3 区域内；使用光闸(适用时)，可阻挡进入激光功率计的光，选择合适量程，并调整零点；
- c) 电流表选择合适量程，并调整零点；
- d) 电压表选择合适量程，并调整零点；
- e) 给被测半导体激光器施加正向电流到规定的工作电流 I_F ，分别记录此时的激光功率计和电压表的读数 P_F 和 V_F ；
- f) 或者给被测半导体激光器施加正向电流，监测激光功率计显示激光功率到规定值 P_F ，记录此时电流表和电压表的读数 I_F 和 V_F 。

5.11.3 数据处理

按式(21)计算电光转换效率：

$$\eta_p = \frac{P_F}{I_F \times V_F} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (21)$$

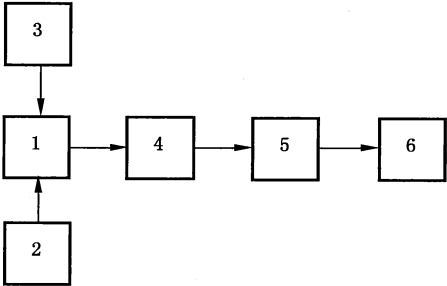
式中：
 η_p ——电光转换效率，%；
 I_F ——规定的工作电流，单位为安(A)；

P_F ——规定的工作电流 I_F 对应的激光功率,单位为瓦(W);
 V_F ——规定的工作电流 I_F 对应的正向电压,单位为伏(V)。

5.12 波长-温度漂移系数

5.12.1 测试装置

测试装置框图见图 8。



说明:

- 1——半导体激光器;
- 2——驱动电源;
- 3——温度调控装置;
- 4——光闸(适用时);
- 5——衰减器(适用时);
- 6——光谱分析仪。

图 8 波长-温度漂移系数测试装置框图

5.12.2 测试步骤

波长-温度系数的测试按照以下步骤进行:

- a) 按照图 8 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
- b) 使用光闸(适用时),可阻挡进入光谱分析仪的光。选择合适的衰减器(适用时),将光衰减到光谱分析仪的正常工作范围内。根据被测半导体激光器光输出光谱范围设置光谱分析仪的扫描范围、扫描分辨率和扫描灵敏度;
- c) 给被测半导体激光器施加正向电流到规定值,按方法 5.13.2 的步骤测出峰值波长 λ_{p1} 并记录对应热沉温度 T_1 ;
- d) 在规定的热沉温度范围内,控制温度调控装置改变热沉温度,记录热沉温度 T_2 ,记录对应温度下的峰值波长 λ_{p2} 。

注:热沉温度的增量与 p-n 结温度增量基本一致,本方法中用热沉温度替代 p-n 结温度,通常在低于 0.5% 占空比下进行测试。

5.12.3 数据处理

按式(22)计算波长-温度漂移系数:

$$k = \left| \frac{\lambda_{p2} - \lambda_{p1}}{T_2 - T_1} \right| \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

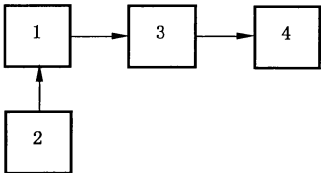
- k ——波长-温度漂移系数,单位为纳米每摄氏度(nm/°C);
- λ_{p1} ——规定电流下的峰值波长,单位为纳米(nm);

- T_1 ——对应 λ_{p1} 下热沉温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- λ_{p2} ——热沉温度 T_2 对应的峰值波长,单位为纳米(nm);
- T_2 ——改变后的热沉温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

5.13 峰值波长

5.13.1 测试装置

峰值波长测试装置框图见图 9。



- 说明:
- 1——半导体激光器;
- 2——驱动电源;
- 3——激光导入装置(适用时);
- 4——光谱仪。

图 9 峰值波长、谱宽度和中心波长测试装置框图

5.13.2 测试步骤

峰值波长的测试按照以下步骤进行:

- a) 按照图 9 测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器;
- b) 将半导体激光器发出的激光通过激光导入装置(含衰减器、积分球等)导入光谱分析仪中;
- c) 根据被测激光器光谱范围设置光谱分析仪的扫描范围、扫描分辨率和扫描灵敏度;
- d) 给被测激光器施加正向电流到规定值,光谱分析仪在所设置的波段内扫描,记录波长 λ 与该波长对应的相对光谱强度 I 。

5.13.3 数据处理

按以下方法得出峰值波长:

- a) 根据记录的数据得到相对光谱强度与波长的分布曲线(I - λ 曲线),见图 10;
- b) 最大相对光谱强度 I_h 对应的波长 λ_p 为峰值波长。

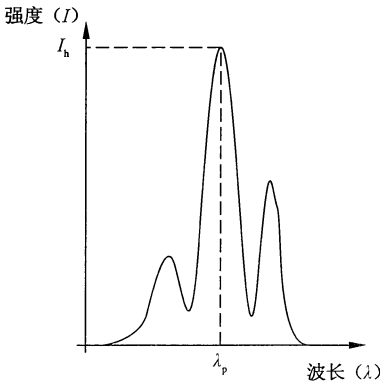


图 10 峰值波长示意图

5.14 谱宽度

5.14.1 测试装置

测试装置框图见图 9。

5.14.2 测试步骤

参见 5.13.2 步骤进行。

5.14.3 数据处理

按以下方法得谱宽度：

- 根据记录的数据得到相对光谱强度与波长的分布曲线(I - λ 曲线),见图 11;
- 找到最大相对光谱强度 I_h 的 50%处对应的最大光谱间隔点 λ_1 和 λ_2 ;
- 按式(23)计算谱宽度;
- 对于多波长半导体激光器,可分别独立测试。

$$\Delta\lambda_{\text{FWHM}} = \lambda_2 - \lambda_1 \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$ ——谱宽度,单位为纳米(nm);

λ_1 ——在 I - λ 曲线上,最大相对光谱强度 50%处对应的最短波长,单位为纳米(nm);

λ_2 ——在 I - λ 曲线上,最大相对光谱强度 50%处对应的最长波长,单位为纳米(nm)。

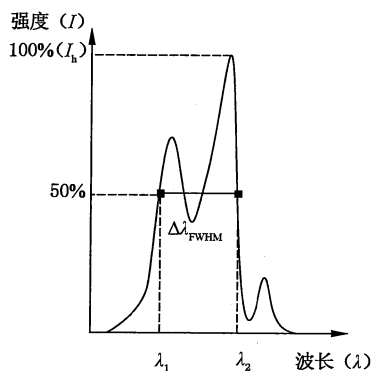


图 11 谱宽度示意图

5.15 中心波长

5.15.1 测试装置

测试装置框图见图 9。

5.15.2 测试步骤

参见 5.13.2 步骤进行。

5.15.3 数据处理

按以下方法计算中心波长：

- 根据记录的数据得到相对光谱强度与波长的分布曲线(I - λ 曲线),见图 12;

- b) 按式(24)计算中心波长；
- c) 对于有多波长半导体激光器，可分别独立测试。

$$\lambda_c = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$
.....(24)

式中：
 λ_c ——中心波长，单位为纳米(nm)；
 λ_1 ——在 I - λ 曲线上，最大相对光谱强度 50% 处对应的最短波长，单位为纳米(nm)；
 λ_2 ——在 I - λ 曲线上，最大相对光谱强度 50% 处对应的最长波长，单位为纳米(nm)。

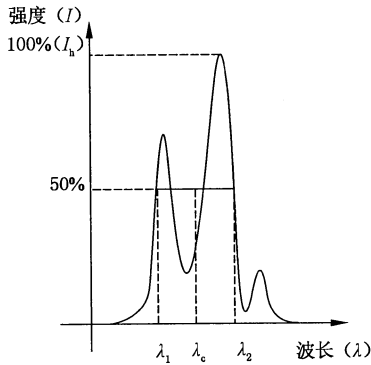
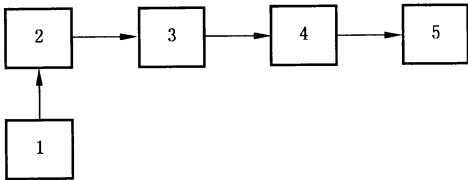


图 12 中心波长示意图

5.16 偏振度

5.16.1 测试装置

测试装置框图见图 13。



- 说明：
- 1——驱动电源；
 - 2——半导体激光器；
 - 3——光束整形器(适用时)；
 - 4——检偏器；
 - 5——激光功率计或能量计。

图 13 偏振度测试装置框图

5.16.2 测试步骤

偏振度的测试按照以下步骤进行：

- a) 按照图 13 建立测试装置，首先按图示顺序摆放和连接测试仪器；
- b) 调节光束整形器(适用时)，将垂直入射光的光束尺寸限制在检偏器的有效接收口径之内；
- c) 给被测激光器加电到规定的工作状态；

d) 旋转检偏器,测得最大激光功率 P_1 ,最小激光功率 P_2 。

5.16.3 数据处理

按式(25)计算偏振度:

$$P_d = \left| \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

P_d ——偏振度;

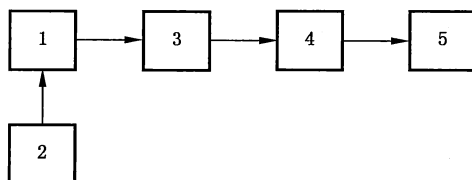
P_1 ——最大激光功率,单位为瓦(W);

P_2 ——最小激光功率,单位为瓦(W)。

5.17 重复频率

5.17.1 测试装置

测试装置框图见图 14。



说明:

1——半导体激光器;

2——驱动电源;

3——光闸(适用时);

4——光电探测器;

5——示波器。

图 14 重复频率和脉冲宽度测试装置框图

5.17.2 测试步骤

重复频率的测试按照以下步骤进行:

- 按照图 14 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器,使用光闸(适用时),调节进入光电探测器(激光波形探测器)的激光;
- 根据被测半导体激光器输出光强设置示波器的挡位;
- 给被测激光器加电到规定的工作状态;
- 示波器记录光脉冲波形(见图 15)。

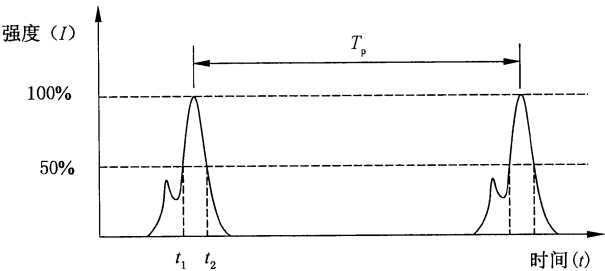


图 15 示波器记录的光脉冲波形

5.17.3 数据处理

按式(26)计算重复频率:

$$f = \frac{1}{T_p}$$

.....(26)

式中:

- f ——重复频率,单位为赫兹(Hz);
- T_p ——脉冲周期,单位为微秒(μs)。

5.18 脉冲宽度

5.18.1 测试装置

测试装置框图见图 14。

5.18.2 测试步骤

脉冲宽度的测试按照以下步骤进行:

- a) 按照图 14 建立测试装置,首先按图示顺序摆放和连接测试仪器,使用光闸(适用时),调节进入光电探测器(激光波形探测器)的光;
- b) 根据被测半导体激光器输出光强设置示波器的挡位;
- c) 给被测激光器加电到规定的工作状态;
- d) 示波器记录光脉冲波形(见图 15)。

5.18.3 数据处理

按式(27)计算脉冲宽度:

$$\tau = t_2 - t_1$$

.....(27)

式中:

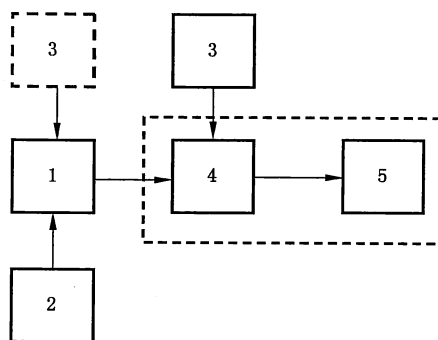
- τ ——脉冲宽度,单位为微秒(μs);
- t_1 和 t_2 ——脉冲最大值的 50%处对应的时间点,单位为微秒(μs)。

5.19 光强分布

5.19.1 扫描法(仲裁法)

5.19.1.1 测试装置

测试装置框图见图 16。



说明：

- 1——半导体激光器；
- 2——驱动电源；
- 3——旋转平移台；
- 4——取样装置；
- 5——激光强度测量仪。

图 16 光强分布测试装置框图(扫描法)

5.19.1.2 测试步骤

扫描法的测试按照以下步骤进行：

- a) 按照图 16 建立测试装置,首先将激光器水平固定,确保激光器发光几何中心与取样装置的几何中心等高；
- b) 扫描为二维扫描,以发光面几何中心为原点,设定垂直于发光面的法线方向为 z 轴,建立笛卡尔坐标系；
- c) 以垂直于发光面的平面作为扫描面,以在 origin 处垂直于扫描面(过原点)与发光面的交线为扫描基准线,沿扫描基准线改变扫描步进,按规定的扫描半径和步长,旋转取样装置或旋转被测激光器,每次扫描以扫描基准线为轴旋转在扫描面上进行扫描,见图 17；
- d) 按规定的扫描面步进,完成扫描基准线上全部扫描；
- e) 记录每次扫描面在扫描基准线上距原点的距离；
- f) 记录取样装置相对于扫描中心的角 θ 以及对应光强度 I ,绘制出光强曲面($I-\theta-y$ 曲面),参见附录 A 中的图 A.1。

注 1: 测量位置处每个发光单元对光强都应有贡献,对于多个发光点的半导体激光器,扫描半径至少大于扫描方向激光器光斑尺寸的 50 倍。

注 2: 取样装置透光面积应小于被测半导体激光器光斑尺寸的 $1/50$ 。

注 3: 经过多次光学整形后的半导体激光器光强分布测量方法参照 GB/T 24664。

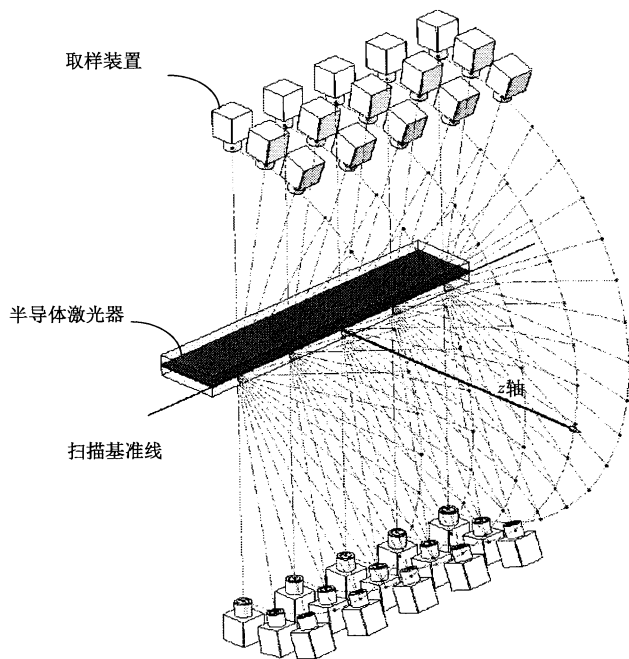


图 17 扫描法测试光强分布示意图

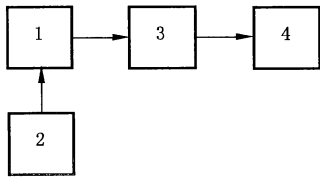
5.19.1.3 数据处理

光强分布可以通过不同位置的强度来表征,根据记录的 I 、 θ 、 y 值,绘制出光强曲面(I - θ - y 曲面),参照图 A.1。

5.19.2 电荷耦合元件(CCD)成像法

5.19.2.1 测试装置

测试装置框图见图 18。



- 说明:
- 1——半导体激光器;
 - 2——驱动电源;
 - 3——衰减器(适用时);
 - 4——CCD。

图 18 CCD 成像法测试装置框图

5.19.2.2 测试步骤

利用 CCD 成像法测试光强分布按以下步骤进行:

- a) 按照图 18 建立测试装置,首先将激光器固定在测试平台上;
- b) 给激光器加电流至工作电流;
- c) 在远远大于瑞利长度的位置,使用 CCD 对光斑进行拍照,拍照时确保激光器发出的全部光入射到 CCD 探测面内,通过调节衰减器使 CCD 感光不出现饱和,然后对图片进行灰度分析,绘制出灰度值-像素点曲线,见图 19。

注: 本方法适用于激光发散角较小的半导体激光器。

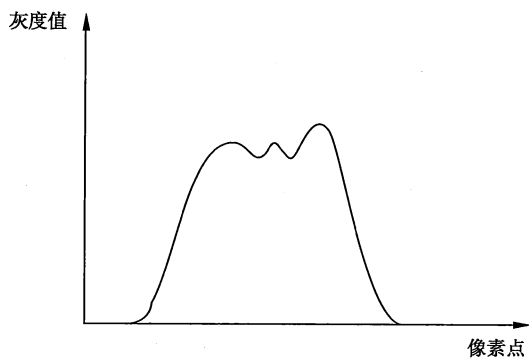


图 19 灰度值-像素点曲线图

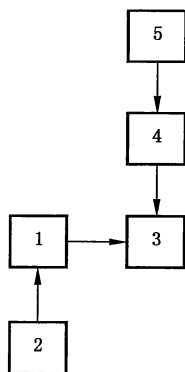
5.19.2.3 数据处理

灰度值-像素点曲线见图 19,每个像素点都对应一个灰度值。最大灰度值对应最大光强,最小灰度值对应最小光强。光强分布可以通过图片上每个像素点的灰度分布来表征。

5.19.3 漫反射成像法

5.19.3.1 测试装置

测试装置框图见图 20。



说明:

- 1——半导体激光器;
- 2——驱动电源;
- 3——漫反射屏;
- 4——衰减器(适用时);
- 5——CCD 或者相机。

图 20 漫反射成像法测试装置框图

5.19.3.2 测试步骤

利用漫反射成像法测试光强分布按以下步骤进行：

- a) 按照图 20 建立测试装置,首先将激光器固定在测试平台上；
- b) 给激光器加电流至工作电流；
- c) 在远远大于瑞利长度的位置,使用 CCD 或相机对漫反射屏的光斑进行拍照,拍照时确保屏上的光斑全部在 CCD 或相机的成像范围内,通过调节衰减装置使 CCD 或相机感光不出现饱和,然后对图片进行灰度分析。

5.19.3.3 数据处理

光斑图片上每个点都可以得到一个灰度值,绘制出灰度-像素曲线,见图 19。最大灰度值对应最大光强,最小灰度值对应最小光强。光强分布通过图片上每个像素点的灰度分布来表征。

5.20 光束宽度

5.20.1 测试装置

测试装置框图见图 16。

5.20.2 测试步骤

光束宽度测试按照以下步骤进行：

- a) 测试步骤按照 5.19.1.2 获得光强分布；
- b) 以 θ - I - y 曲面参照图 A.1,最大峰值光强的一半高度处(或其他约定位置)与 z 轴方向的垂直相交面,所对应的最大垂直宽度为光束宽度值。

5.20.3 数据处理

按式(28)计算光束宽度：

$$\Delta d = |d_2 - d_1| \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中：

- Δd ——光束宽度,单位为毫米(mm)；
- d_1 和 d_2 ——最大宽度对应的坐标位置,单位为毫米(mm)。

5.21 快轴发散角和慢轴发散角

5.21.1 光斑尺寸法

5.21.1.1 测试装置

测试装置框图见图 16。

5.21.1.2 测试步骤

利用光斑尺寸法测试快轴发散角和慢轴发散角按照以下步骤进行：

- a) 测试步骤按照 5.20.2 测出光束宽度；
- b) 在距发光面一定距离处,利用快轴方向光束宽度和慢轴方向的光束宽度,计算出快轴发散角和慢轴发散角。

5.21.1.3 数据处理

按式(29)计算快轴发散角:

$$\theta_{\perp} = 2 \times \arctan \frac{d_{\perp}}{Z_0} \dots\dots\dots (29)$$

按式(30)计算慢轴发散角:

$$\theta_{\parallel} = 2 \times \arctan \frac{d_{\parallel}}{Z_0} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

$\theta_{\perp}$ ——快轴发散角,单位为度($^{\circ}$);

$\theta_{\parallel}$ ——慢轴发散角,单位为度($^{\circ}$);

$d_{\perp}$ ——快轴光束宽度的一半,单位为毫米(mm);

$d_{\parallel}$ ——慢轴光束宽度的一半,单位为毫米(mm);

Z_0 ——光斑所在平面到发光面的距离,单位为毫米(mm)。

5.21.2 扫描法

5.21.2.1 测试装置

测试装置框图见图 16。

5.21.2.2 测试步骤

利用扫描法测试快轴发散角和慢轴发散角按照以下步骤进行:

- 按照图 16 建立测试装置,首先将激光器水平固定,确保激光器发光几何中心与取样装置的几何中心等高;
- 以发光面几何中心为原点,以原点为扫描中心,沿快慢轴方向进行扫描;
- 记录取样装置相对于扫描中心的角度 θ 以及对应光强度 I ,以最大峰值光强的一半高度处(或其他约定位置)所对应的角度值之和为快轴发散角,必要时绘制出 $I-\theta_{\perp}$ 曲线,见图 21;
- 旋转取样装置或旋转被测激光器,分别沿慢轴方向进行扫描;
- 记录取样装置相对于扫描中心的角度 θ 以及对应光强度 I ,以最大峰值光强的一半高度处(或其他约定位置)所对应的角度值之和为慢轴发散角,必要时绘制出 $I-\theta_{\parallel}$ 曲线,见图 21。

5.21.2.3 数据处理

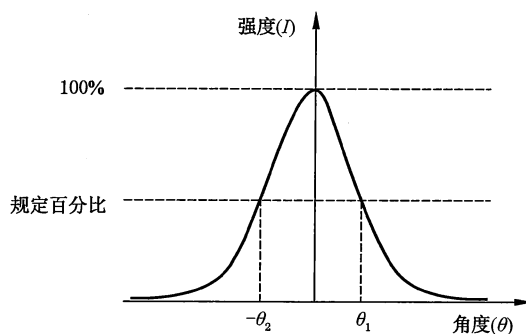


图 21 $I-\theta$ 曲线

按式(31)计算快轴发散角：

$$\theta_{\perp} = \theta_{\perp 1} + \theta_{\perp 2} \dots\dots\dots (31)$$

按式(32)计算慢轴发散角：

$$\theta_{//} = \theta_{// 1} + \theta_{// 2} \dots\dots\dots (32)$$

式中：

$\theta_{\perp}$ ——快轴发散角，单位为度(°)；

$\theta_{//}$ ——慢轴发散角，单位为度(°)。

注 1：测量位置处每个发光单元对光强都应有贡献，对于多个发光点的半导体激光器，扫描半径至少大于扫描方向激光器光斑尺寸的 50 倍。

注 2：当 $L \ll R$ 时发散角为 θ ；当无法保证 $L \ll R$ 时，发散角应进行修正，发散角修正为 θ_1 。见图 22，修正计算方法见式(33)。

注 3：取样装置透光面积应小于被测半导体激光器光斑尺寸的 1/50。

注 4：经过多次光学整形后的半导体激光器光束测量方法参照 GB/T 24664。

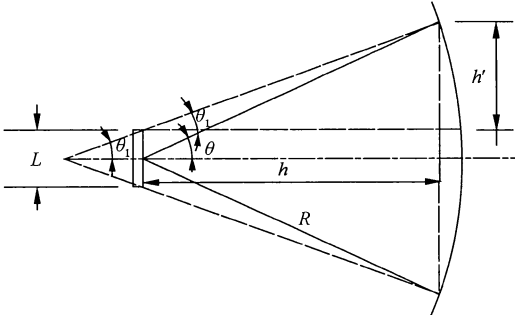


图 22 远场发散角修正原理图

$$\theta_1 = \arctan \left[\frac{(R \times \sin \theta) - \frac{L}{2}}{R \times \cos \theta} \right] \dots\dots\dots (33)$$

式中：

θ_1 ——修正后的发散角，单位为度(°)；

θ ——直接测量的发散角，单位为度(°)；

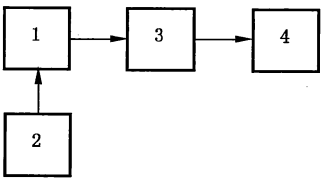
R ——扫描半径，单位为毫米(mm)；

L ——发光面平行于扫描平面的最大尺寸，单位为毫米(mm)。

5.22 边模抑制比

5.22.1 测试装置

测试装置框图见图 23。



说明：
1——半导体激光器；
2——驱动电源；
3——光衰减装置；
4——光谱分析仪。

图 23 边模抑制比测试框图

5.22.2 测试步骤

边模抑制比测试按照以下步骤进行：

- a) 按照图 23 建立测试装置；
- b) 对被测半导体激光器施加工作电流，待激光器工作稳定后，使用光谱分析仪测量，得到强度-波长($I-\lambda$)曲线，见图 24。

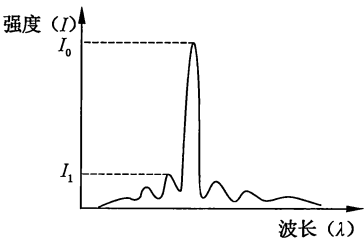


图 24 强度-波长曲线

5.22.3 数据处理

按式(34)计算得出边模抑制比：

$$\text{SMSR} = 10 \lg(I_0/I_1) \dots\dots\dots (34)$$

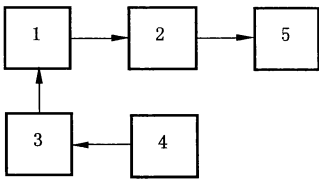
式中：

- I_0 ——峰值光强；
- I_1 ——强度-波长曲线上除峰值强度之外的最大强度。

5.23 截止频率

5.23.1 测试装置

测试装置框图见图 25。



说明：

1——半导体激光器；

2——光电探测器；

3——半导体激光器驱动电源；

4——频率可调正弦交流发生器；

5——数据采集器。

图 25 截止频率测试框图

5.23.2 测试步骤

截止频率测试按照以下步骤进行：

- a) 按照图 25 建立测试装置；
- b) 按产品详细规范规定对被测半导体激光器施加直流偏置电流，并叠加交变正弦调制电流；
- c) 待激光器工作稳定后，保持直流偏置电流和交变正弦调制电流恒定，增加调制频率，用光电探测器测试输出光功率，得到输出光功率对数频率响应曲线，见图 26。

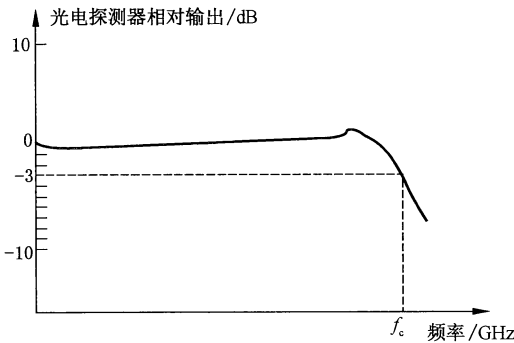


图 26 频率响应曲线

5.23.3 数据处理

光电探测器测试输出光功率相对初始测量值下降 3 dB 时对应的调制频率为截止频率 f_c 。

附录 A
(资料性附录)
光强分布举例

通过扫描法测试半导体激光器的光强分布图如图 A.1 所示。

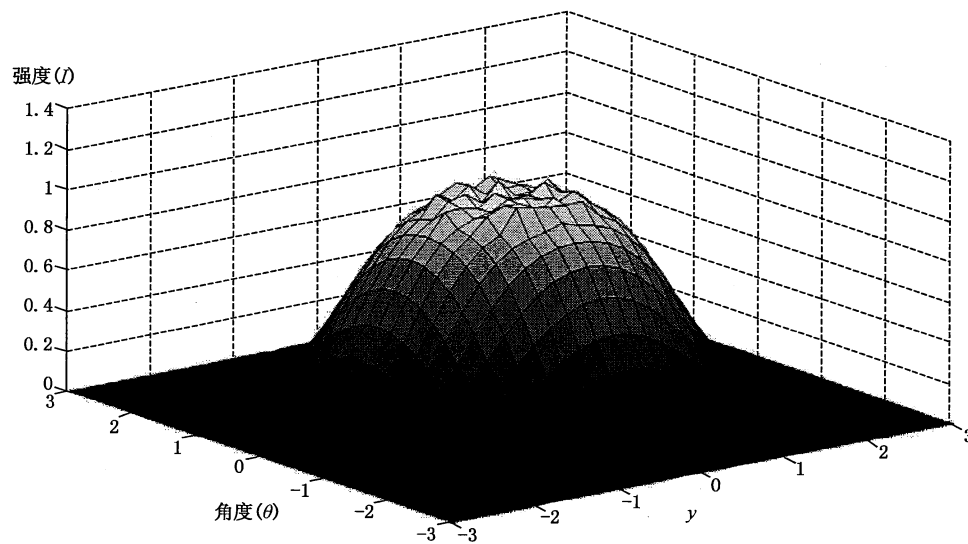


图 A.1 光强分布图

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
半导体激光器测试方法
GB/T 31359—2015

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

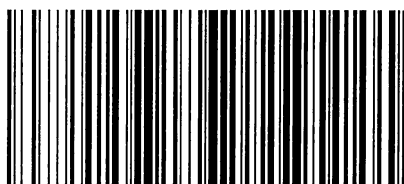
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 54 千字
2015年3月第一版 2015年3月第一次印刷

*

书号: 155066·1-51069 定价 33.00 元



GB/T 31359-2015

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107