

1.3 μm InGaAsP/InP 超辐射发光二极管的低频光、电噪声研究*

马东阁 石家纬 金恩顺 刘明大 李淑文 高鼎三

(吉林大学电子工程系集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区, 长春 130023)

提要 给出了研制的 1.3 μm InGaAsP/InP 超辐射发光二极管的低频光噪声和电噪声及其相关性的实验结果。结合电导数、光导数及光谱测试进行了分析和讨论。结果表明, 超辐射发光二极管的低频光噪声和电噪声有相关性, 其噪声大小与器件材料质量、结构参数及工作条件密切相关。

关键词 超辐射发光二极管, 光噪声, 电噪声

1 引言

超辐射发光二极管(SLD)是光纤陀螺的理想光源^[1]。用SLD作光纤陀螺光源,可以显著降低光纤圈中瑞利背向散射和非线性克尔效应所引起的噪声以及光纤中的模式分配噪声。对SLD,其噪声大小对光纤陀螺系统的质量和灵敏度有至关重要的影响。噪声也可反映出器件质量的优劣^[2~5]。因此,开展SLD的噪声特性研究,分析其噪声产生的原因及噪声与器件材料质量、结构参数及工作条件的关系,对降低噪声、消除噪声影响、改进器件和系统性能,具有重要意义。

近年来,随着光纤陀螺性能的不不断提高,对SLD也提出了更高的要求。因此,对其噪声特性的研究,也变得越来越迫切。关于SLD的噪声特性研究,已有一些文章报道^[6~9]。但关于SLD低频光噪声和电噪声及其相关性研究还很少有报道。本文将在我们研制的具有窗口结构的1.3 μm InGaAsP/InP SLD的基础上,对18只器件进行了低频噪声谱测量。结合电导数、光导数及光谱测试,分析研究了SLD的光噪声和电噪声及其相关性以及噪声与器件材料质量、结构参数及工作条件之间的关系。

2 实验结果分析与讨论

本实验用来测量1 Hz至100 kHz低频段光、电噪声谱的18只器件是我们用二次液相外延生长技术制造的具有V形沟掩埋新月(BC)激光器结构的1.3 μm InGaAsP/InP窗口结构SLD。这种结构的SLD,由于在其后端面引入了一个由宽带隙InP材料组成的透明窗口区,有效地抑制了激射振荡。因此,该结构SLD在很宽的注入电流范围内都表现了很好的超辐射特

* 国家教委博士点基金和集成光电子学国家重点实验室开放课题资助项目。

收稿日期: 1995年9月15日; 收到修改稿日期: 1995年12月18日

性,测量的这 18 只器件,有 12 只为很好的 SLD,其中 6 只由于其窗口区短,超辐射电流范围很窄,呈现了阈值偏大的激光器特性。为了便于分析,对这些器件还进行了电导数、光导数和光谱测试。

2.1 光、电噪声的频谱特性

表 1 给出了 18 只器件在 60 mA 注入电流下 1 Hz, 1 kHz、100 kHz 的光、电噪声数值。可以看到,它们都有相同的规律性,即随频率升高,无论是 LD, 还是 SLD, 它们的光、电噪声都减小。在其他注入电流下也有同样的结果。这表明,和 LD 一样,对 SLD, 在低频段,主要噪声是 $1/f$ 噪声和 $g\tau$ 噪声,散粒噪声和热噪声等的白噪声是次要的。

Table 1 Optical and electrical noises (in units of nV/Hz) of SLDs (No. 1~ 12) and LDs (No. 13~ 18)

No.	1 Hz	1 kHz	100 kHz
1 G_3	110.9 ~ 37.06	3.92 ~ .183	0.5 ~ 0.2
2 G_5	199.48 ~ 179.67	8.45 ~ 1.08	1.13 ~ 0.21
3 G_9	49.21 ~ 78.84	2.77 ~ 2.85	0.44 ~ 0.17
4 G_{11}	281.63 ~ 65.84	6.29 ~ 1.79	0.62 ~ 0.15
5 G_{12}	80.79 ~ 76.42	2.92 ~ 2.95	0.45 ~ 0.16
6 I_{10}	129.79 ~ 49.27	5.55 ~ 2.75	0.57 ~ 0.18
7 I_{11}	31.02 ~ 37.94	1.86 ~ 2.22	0.33 ~ 0.16
8 F_2	163.65 ~ 175.05	5.66 ~ 1.79	0.61 ~ 0.17
9 F_5	89.49 ~ 43.67	5.11 ~ 1.7	0.71 ~ 0.11
10 F_7	20.63 ~ 31.1	1.07 ~ 1.77	0.28 ~ 0.12
11 F_{10}	63.19 ~ 112.94	3.2 ~ 2.61	0.52 ~ 0.27
12 F_{12}	11.8 ~ 72.73	0.42 ~ 1.66	0.17 ~ 0.16
13 F_{11}	132.02 ~ 238.79	3.2 ~ 1.91	0.31 ~ 0.2
14 F_9	103.89 ~ 45.25	4.6 ~ 2.28	0.72 ~ 0.29
15 F_8	72.17 ~ 39.43	3.47 ~ 3.07	0.37 ~ 0.25
16 F_6	415.93 ~ 47.18	11.55 ~ 1.13	0.99 ~ 0.2
17 G_9	69.76 ~ 31.95	2.51 ~ 1.84	0.27 ~ 0.14
18 G_{10}	70.31 ~ 50.74	4.53 ~ 1.65	0.37 ~ 0.26

2.2 光、电噪声与驱动电流的关系

从 18 只器件在不同注入电流下的电噪声谱测量结果中发现,随注入电流的增加,所有器件的电噪声都减小。如图 1 所示是 F_5 号 SLD 在 3 mA 和 60 mA 两个注入电流下的电噪声谱,可以看到,3 mA 电流下的电噪声明显大于 60 mA 的电噪声。这与 Kleinpenning^[10]的分析结果是相符的。

与电噪声不同,从测试结果中发现,随注入电流增加,所有 SLD 的光噪声都变大。如图 2 所示是 G_9 号 SLD 的光噪声 S_P 与注入电流的关系曲线。可以看到,小电流时,器件工作在自发发射区,PN 结内电子空穴对复合产生的光子处于自发发射状态,相应的光电流和光噪声均很小;而在大电流时,器件工作在超辐射区,由于放大的自发发射作用,光电流及相应的光噪声将显著增强。而对 LD,当注入电流大于阈值电流时,随注入电流增加,光噪声减小,这个现象在文献[11]中已指出,由于激光本身对 $1/f$ 噪声不作贡献。因此,在激光器中,随着受激发射增

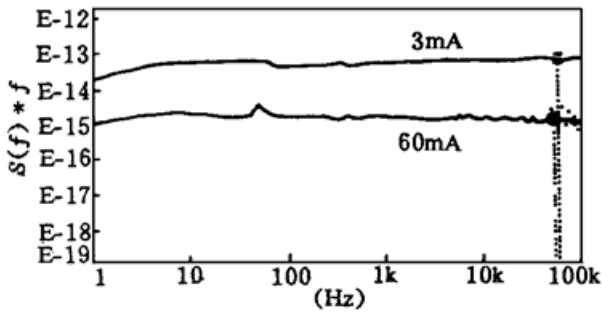


Fig. 1 Electrical noise spectrum of a F₅ SLD at 3 mA and 60 mA injection currents

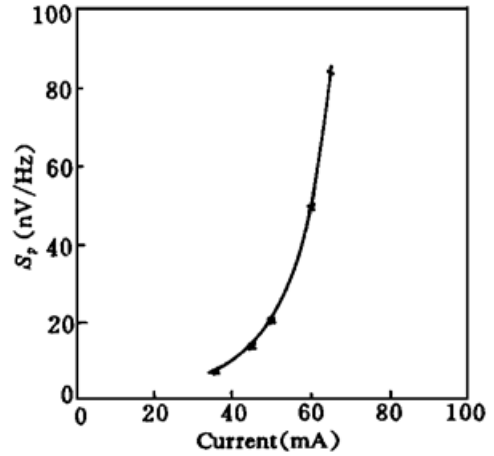


Fig. 2 The relation curve of optical noise to injection current of a G₉ SLD

强, 光噪声反而减小。

2.3 光、电噪声与结特征参量的关系

实验中发现, 在 1 Hz 频率下, 60 mA 注入电流的光噪声和 3 mA 注入电流的电噪声明显偏大(大于 100 nV/Hz)的器件, 其由电导数曲线得到的结特征参量 m 值大都大于 3, 且电导数曲线的初始峰都缓变; 而 60 mA 注入电流的光噪声和 3 mA 注入电流的电噪声相对较小的器件, 其结特征参量一般都小于 3。这表明光、电噪声的大小与 m 值的大小和电导数曲线初始峰的变化有一定关系。 m 值大和电导数曲线的初始峰缓变可能与异质结界面的界面态多或异质结界面转变区不陡变等有关, 即异质结界面不好可能是造成光噪声大的原因之一; 而 m 值的大小也受非辐射复合的影响, m 值小, 表明材料中的缺陷、位错及工艺过程中带来的应力较小, 器件的完整性较好; m 值大, 表明材料内的非辐射复合中心多, 器件的完整性不好, 这一切都可能是造成光、电噪声大的原因。由此可以看出, 光、电噪声的大小与材料质量紧密相关。

2.4 高噪声器件与器件质量

测量时发现有一只器件, F_{11} 在 1 Hz 频率下, 其电噪声在 3 mA 时为 6931.2 nV/Hz, 在 60 mA 时为 238.79 nV/Hz, 比其他器件要大 1~2 个数量级, 而相应的光噪声也较大, 在 1 Hz 频率下, 36 mA 时为 73.88 nV/Hz, 在 60 mA 时为 132.02 nV/Hz。这只器件的其他参数测量表现出如下特点:

(1) 电导数测试表明, 这只器件是 18 只器件中有最大串联电阻的器件, 串联电阻 R_{s2} 为 4.45 Ω

(2) 光导数曲线在阈值附近有明显起伏, 如图 3 所示。

因此, 这只器件噪声大的原因可归结为:

(1) 接触不好, 接触电阻偏大;

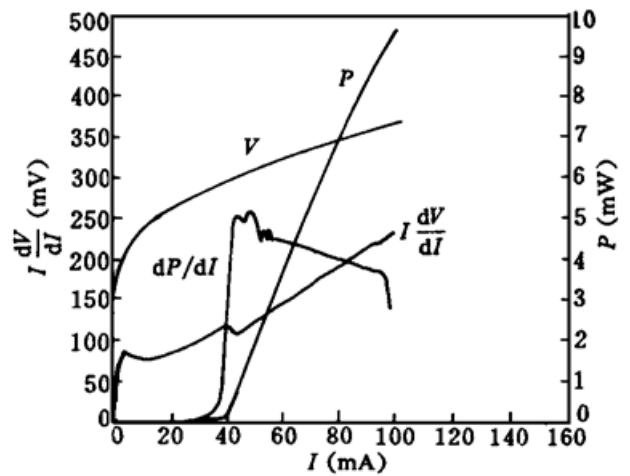


Fig. 3 $I \frac{dV}{dI} \sim I$, $V - I$, $\frac{dP}{dI} \sim I$ and $P - I$ curves of F_{11} device

(2) 器件内存在非复合中心, $g\tau$ 噪声使低频噪声明显变大。

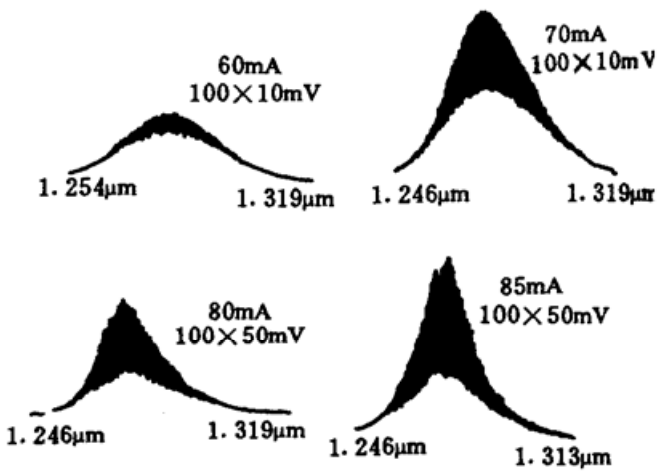
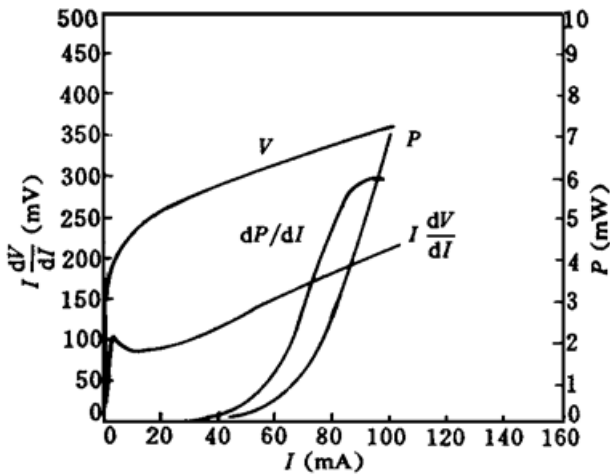


Fig. 4 dP/dI , $I dV/dI$ and $P-I$ curves and spectra of the G_9 SLD

低频光、电噪声的相关性问题。

和激光器一样, SLD 的光噪声谱也可视为两部分组成, 其中一部分是单位时间内注入 PN 结的电子-空穴对数 N 的随机起伏引起的, 由于载流子的起伏也引起电噪声。因此, 这部分的光噪声和电噪声是完全相关的; 另一部分是由外量子效率的随机起伏引起的, 外量子效率与载流子的起伏无关, 可见这部分光噪声与电噪声是不相关的。

图 5 给出 G_3 SLD 在 60 mA 注入电流下的光、电噪声的噪声谱曲线, 频率范围为 1 Hz 到 100 kHz, 曲线 a 为电噪声谱 $S_V(f)$, 曲线 b 为光噪声谱 $S_P(f)$ 。

可以看到, 光噪声和电噪声的谱形很相似, 说明它们之间有相关性。但两者的谱形又不完全相同, 说明它们之间又不是完全相关。

实际上, 电噪声只与注入载流子起伏有关, 而光噪声不仅与注入载流子起伏有关, 还与外量子效率起伏有关。因此, 光噪声和电噪声即有相关因素, 也有不相关因素, 这也可以用图 6 所示 18 只器件在 1 Hz 频率 60 mA 注入电流的光噪声和电噪声的分布更直观地看出。由图可见, 对于大多数器件, 光、电噪声是相关的, 其分布不完全在一条直线上正是由于不相关因素造

(3) 光导数不平滑, 输出光强对电流有涨落, 这和光噪声大是一致的, 使电压随电流有涨落, 这也可能是接触不良所致。

2.5 噪声、导数和光谱

对 SLD, 光导数出现峰处所对应的注入电流下的发射光谱明显变窄或出现某个纵模突出, 这个电流下的光噪声也比其他电流的大。表明这个转折处就是器件由超辐射状态向受激发射状态转变处, 之后 SLD 将会转变成激光器的工作方式。如图 4 所示给出了 G_9 SLD 的光导数、电导数和输出光功率曲线以及 60 mA、70 mA, 80 mA, 85 mA 注入电流下的发射光谱。清楚地看到, 在 85 mA 注入电流下, 光导数出现了峰, 量子效率有明显变化, 发射光谱已变窄, 模式竞争出现, 在峰值处出现了某个纵模突出。

2.6 光、电噪声的相关性

B. Orsal 等人^[12]曾测量过半导体激光器在 100 kHz 频率的光、电噪声谱的相关系数, 证明在超辐射区两种噪声有一定的相关性。戴逸松等人也曾研究过半导体激光器的低频光、电噪声, 并给出了在超辐射区低频光、电噪声相关性的实验结果^[13], 下面将用我们的实验结果, 来证明 SLD 的

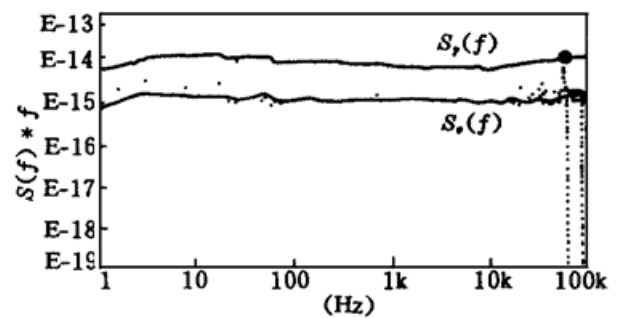


Fig. 5 The optical noise and electrical noise curves of a G_3 SLD

成的;而有些器件,光、电噪声明显偏离相关性直线,这可能是由于非相关性因素起主要作用的结果,特别是大都是光噪声偏大,与以前研究的半导体激光器的情况有所不同^[13],这可能与这种器件的工作状态有关,致使外量子效率的起伏较大所致。

3 结 论

本文通过对 1.3 μm InGaAsP/InP SLD 的低频光、电噪声的实验研究,可得出以下结果

- (1) 随注入电流增加,SLD 的光噪声增大,电噪声减小;
- (2) 随频率升高,SLD 的光、电噪声减小;
- (3) SLD 的光、电噪声有相关性,但又不是完全相关;
- (4) SLD 由超辐射状态向受激发射状态转变时,光谱出现纵模竞争,光导数出现峰值,这时光噪声较大;
- (5) 噪声和器件材料质量、结构参数等有关,可用噪声大小来评估器件的质量和可靠性,并且这种方法又具有无损的特点。

总之,分析研究 SLD 的低频光、电噪声,对改进器件性能以及器件的工作特性,具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 W. K. Burns, C. L. Cin. Fiber-optic gyroscope with broad-band sources. *J. Lightwave Technol.*, 1983, **LT-1**(1): 98~ 105
- 2 L. A. Garmash, V. N. Morozov. $1/f$ noise used as a reliability test for diode laser. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1990, **20**(8): 882~ 886
- 3 石家纬,金恩顺,马 靖 等. 半导体激光器的低频电噪声谱密度和器件的可靠性. *中国激光*, 1993, **A20**(10): 729~ 732
- 4 Shi Jiawei, Jin Ensun, Ma Jing *et al.*. An improved approach and experimental results of a low-frequency noise measurement technique used for reliability estimation of diode lasers. *Microelectron. Reliab.*, 1994, **34**(7): 1261~ 1264
- 5 Dai Yisong, Shi Jiesong, Zhang Xinfa. A study of optical noise measurement as a reliability estimation for laser diodes. *Microelectron. Reliab.*, 1995, **35**(4): 731~ 734
- 6 Henry F. Taylor. Intensity noise and spontaneous emission coupling in superluminescent light sources. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1990, **QE-26**(1): 94~ 97
- 7 A. M. Yurek, H. F. Taylor, L. Goldberg *et al.*. Quantum noise in superluminescent diodes. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1986, **QE-22**(4): 522~ 527
- 8 A. Dandridge, H. F. Taylor. Noise and correlation effects in GaAlAs broadband sources. *J. Lightwave Technol.*, 1987, **5**(5): 689~ 693
- 9 C. E. Lee, H. F. Taylor. Intensity noise in long-wavelength superluminescent sources. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1991, **QE-27**(5): 1171, 1174
- 10 T. G. M. Kleinpenning. $1/f$ noise of semiconductor laser. *Physica*, 1980, (9813): 289~ 299
- 11 R. J. Fronen. Wavelength dependence of $1/f$ noise in the light output of laser diodes, an experimental

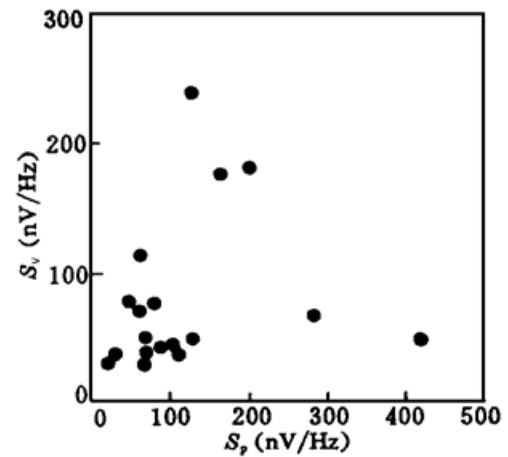


Fig. 6 The values of optical noise and electrical noise for 18 devices

- study. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1990, **QE-26**(10): 1742~ 1746
- 12 B. Orsal, K. Raniriharinosy. Measurement of optical and electronic noise of semiconductor lasers. *Proc. 10th Int. Conf. in Physical*, 1989. 134~ 135
- 13 戴逸松, 徐建生, 张新发 等. 半导体激光器光输出噪声测量及与电噪声的相关性. *中国激光*, 1994, **A21**(4): 248~ 252

Low Frequency Optical Noise and Electrical Noise Investigation of 1.3 μm InGaAsP/InP Superluminescent Diodes

Ma Dongge Shi Jiawei Jin Enshun Liu Mingda Li Shuwen Gao Dingsan
(*Department of Electronics Engineering, Jilin University, National Integrated Optoelectronics Laboratory, Jilin University Region, Changchun 130023*)

Abstract The experimental results of low frequency optical noise and electrical noise and their correlation of 1.3 μm InGaAsP/InP superluminescent diodes fabricated by us are given. These results are analysed and discussed in combination with electrical derivative, optical derivative and spectrum measurement. The results demonstrate that the low frequency optical noise and electrical noise of superluminescent diodes are correlative, and the noises are related to the material quality of the diodes, structure parameters and operation conditions.

Key words superluminescent diode, optical noise, electrical noise