

半导体激光光谱的实时测量

单 振 国

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文描述了一种实时测量半导体激光光谱的新方法(简称ES法),特别适合于研究半导体激光器的纵模特性、热学特性、老化特性等等。

Real-time measurement of lasing spectrum of semiconductor lasers

Shan Zhenguo

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: This paper describes a new method for real-time measurement of lasing spectrum of semiconductor lasers (ES method for short). It is useful particularly for studying characteristics of longitudinal modes and thermal and aging properties of semiconductor lasers.

一、引 言

半导体激光光谱是半导体激光器的重要参数之一。光通信、光学圆盘、光信息处理等重要领域,都对半导体激光光谱有特定要求^[1];而半导体激光光谱本身也是研究各种各样半导体激光器的重要课题^[2~4]。

测量半导体激光光谱,大多采用单色仪,用这种方法有明显的缺点,扫完一个谱需要一段时间。如果在这段时间中器件发生变化,则所得结果便不能反映真实情况。此外,它不能同时地、直观地观察半导体激光光谱的全貌,因而就很难发现激光器纵模的移动和跳动。对半导体激光器而言,在温度、注入

电流、运转时间等条件发生变化时,这类模的移动、跳动则是经常发生的。

最近,市场上出现了一种专用于测量激光二极管和发光二极管光谱的光谱分析器,如日本安立公司研制的MS96A型光谱分析器^[5],响应波长为 $0.6\sim 1.6\mu\text{m}$,光谱曲线用CRT显示,也可用GP-IB打印机打印输出。但该仪器的光谱扫描是靠步进电机驱动光栅来实现的。因此它不是一种实时测量技术,不能反映半导体激光光谱的瞬态变化:谱的移动或模的跳动。

G. Lengyel等人^[6]曾用空间分辨光谱技术来研究宽接触GaAlAs/GaAs激光器的侧模问题。激光光束在光谱仪出口处分为两

收稿日期:1984年8月7日。

束,一束射向红外变相管-照相机系统;一束由光电倍增管接收,经锁相放大器放大,由记录仪记录曲线。在光谱仪和成像系统经过仔细调整之后,该系统可以用来观察激光器的各级侧模图样(即所谓波长分辨的近场图样),但光谱曲线的测量仍然不是实时的。

为了解决实时测量问题,贝尔实验室的 R. Roldan 提出过一个方案^[7]:在 1700-II Spax 单色仪中插入一块折射平板(插在输入狭缝和准直镜之间),作为波长扫描元件。当折射平板以恒定角速度转动时,便改变光线射入光栅时的入射角。因为光栅和输出狭缝的相对位置不变,即反射角不变。据光栅方程便有:

$$\delta\lambda = (a/m)\cos\alpha d\alpha$$

式中 a 是光栅上的条纹间隔, m 是光栅级数, α 是入射角, $d\alpha$ 是由折射平板转动时所引起的入射角变化, $\delta\lambda$ 便是在入射角变化 $d\alpha$ 时所产生的波长扫描范围。根据这一原理制得的光谱仪,确实如 R. Roldan 所指出的那样,对半导体激光的光谱研究来说是很有用的^[3,7]。但它要求在单色仪中插入折射平板,而且要求插入精度很高。此外,由于在单色仪中增加了一块折射平板,这就产生了一个附加光程,结果使得单色仪的输入狭缝像不再能严格地与输出狭缝重合。为了恢复单色仪这个原有的性能,必须移动输入或输出狭缝,这是很不方便的。

本文介绍另外一种实时测量半导体激光光谱的新方法,为同波长扫描法相区别,我们称这个方法为电子扫描法(简称 ES 法)。这种方法仅需一台摄谱仪和一套摄像、选行扫描装置。在摄谱仪中也无需插入任何光学元件,因而可以保持摄谱仪的原有分辨率。光谱的产生是靠摄像管中的电子束扫描而得到的,与波长扫描(实际上是机械扫描)相比,电子扫描的速度是非常快,约花 40ms 时间,便能看到整个光谱。

二、实验装置

实验装置如图 1 所示。由 GaAlAs/GaAs DH 激光器发出的光经分束片分为两路,一路通过滤光片射入摄谱仪的输入狭缝,另一路供其他测量用。所用光栅的每毫米刻线数为 1200;摄谱仪的线色散倒数 $\sim 2 \text{ \AA}/\text{mm}$;硅靶摄像管的分辨率为 450~550 TVL, SX-1 型视频选行扫描器用来测量所选电视行的光强分布。19 英寸电视机显示半导体激光器的法布里-珀罗腔模图样,在对光时,观察这个腔模图样,有利于提高对光速度。SBM-10 示波器用来显示光谱分布。

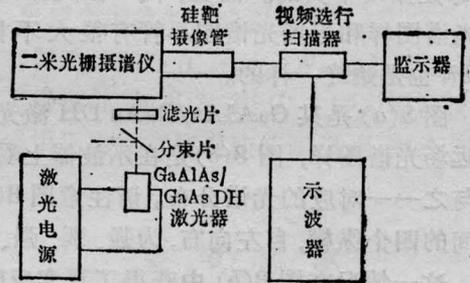
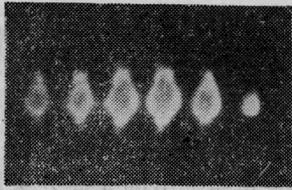


图 1 半导体激光光谱的实时测量装置。

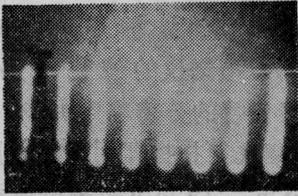
此外,我们还用 WDG-500 型光栅单色仪、GDM-1000 型双光栅单色仪做过类似实验。由于后者未经改造,所以没有取得理想结果。

三、实验结果

图 2(a) 是在显示器上看到的某 GaAlAs/GaAs DH 激光器的 F-P 腔模图样。这个图样是在激光器紧靠摄谱仪输入狭缝(狭缝宽为 $10 \mu\text{m}$) 时得到的,所以又叫它为近场光谱图样。图 2(b) 则是另一台激光器的远场光谱图样。这是在激光器远离狭缝时得到的。激光器离开输入狭缝的距离不同, F-P 腔模在垂直方向上的长度不同,但模间隔



(a)

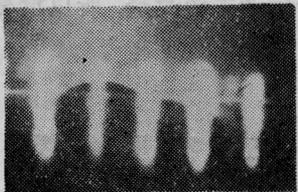


(b)

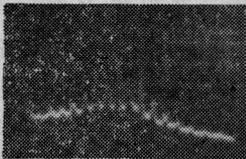
图2 某 GaAlAs/GaAs DH 激光器的近场(a)和远场(b)光谱图样

$\delta\lambda$ 却是始终不变的。而且,同一激光器的远场光谱图样和近场光谱图尽管有很大不同,但 $\delta\lambda$ 也是始终一样的。

图3(a)是某 GaAlAs/GaAs DH 激光器的远场光谱图样,图3(b)是在示波器上看到的与之——对应的光谱分布。请注意图3(a)中间四个纵模,自左向右,为强、弱、强、更强。这一情况在图3(b)中获得了真实反映。可以看到最强的那个纵模已经饱和。经过对标之后,很容易由图3(b)得到峰值波长 λ_p 、纵模间隔 $\delta\lambda$ 、光谱包络的半宽 $\Delta\lambda$ 、光功率在各个纵模间的分布等这样一些重要光谱



(a)

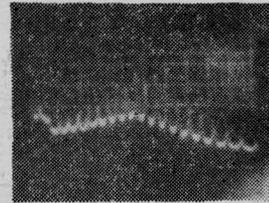


(b)

图3 某激光器的远场光谱图样(a)和与之相对应的强度分布(b)

参数。需要说明的是,图3(b)的基线有点向上凸起,这同所测的光谱信号无关,它是现有摄像、选行扫描系统不够理想所致。

图4(a)和(b)是某 GaAlAs/GaAs DH 激光器在不同电流时的光谱情形。我们看到在电流增加几毫安后,整个光谱向左(即向长波方向)移动了约 1\AA ($\sim 7\text{\AA}/\text{cm}$),功率的增加主要是由长波纵模的激励所贡献的。像这类的例子很多,如热性质较差的激光器,可以直接观察到整个光谱在运转过程中不断向长波漂移;老化着的器件在运转过程中,某些纵模的功率在不断下降等。因为,显示激光器的整个光谱仅需约 40ms 的时间,所以器件光谱的变化能直观地、即时地被察觉到。



(a)



(b)

图4 某激光器在不同电流时的光谱分布

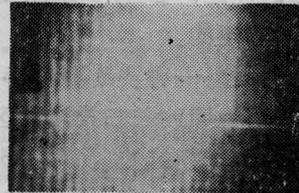


图5 用 WDG500-I 型单色仪做实验时所得到的远场光谱图样

图5是用 WDG500-I 型光栅单色仪做实验时,从电视机上所得到的远场光谱图样。我们看到法布里-珀罗腔模仍然清晰可辨。但是,由于选行扫描装置的空间分辨

率不够,在示波器上却只能得到光谱的包络(上有毛刺)。

图6是在激光器刚刚受激时拍摄的照片。光功率不高,但照片仍然清晰。这说明,整个系统的灵敏度是相当高的,可以用它来测量自发辐射光谱。

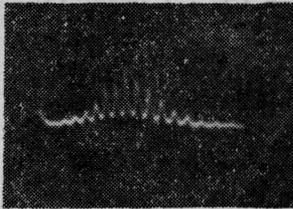


图6 某激光器在阈值附近的光谱分布

四、讨 论

1. 实验表明,用ES法测量半导体激光光谱是极为有效的。该系统的灵敏度足够地好。在阈值附近所拍摄的光谱仍很清晰(图6)。19英寸电视机上的纵模间隔($\sim 3\text{\AA}$),可分开40mm(图3a),这一间隔在示波器上可分开 $\sim 5\text{mm}$ 。有时,甚至能看到高次侧模对光谱的影响。采用WDG500-I型光栅单色仪时,分辨率明显下降,但仍可在显示器上辨别纵模(图5)。

用ES法测量半导体激光光谱,可用通常方法定标,如用汞灯、He-Ne激光器定标等。由鼓轮读数和纵模在示波器上的位置可直接获得峰值波长 λ_p 、纵模间隔 $\delta\alpha$ 、光谱包络 $\Delta\lambda$ 等。

2. ES法同波长扫描法相比,具有结构简单、速度快等特点。普通光谱仪只能在某一时刻记录某一波长的强度,要记录整个谱需要一定时间。此外,在用普通光谱仪测量半导体激光光谱时,一般均需先找出功率最大的纵模调节有关旋钮,使之不要出格,采用ES法时则无这种必要。测量时,找到任何一个纵模均可。若光功率太强,仅需插入一块适当的滤光片即可。为了提高对光速度,可

以直接观察电视机上的远场或近场光谱图样。

ES法同B. Boldan提出的折射平板法相比,也有明显的特点。例如,折射平板式光谱仪,一般只能由制造厂商提供,因为它要求折射平板的插入精度很高。而ES法,则任何一个用户都可以自行采用。采用摄谱仪时,只需将摄像、选行系统直接放在后面即可;采用单色仪时,则应设法把光谱图样导出。应该说明的是,采用摄谱仪时,目前只能从示波器上观察光谱,用拍照方式记录;若采用图像数字存贮和处理系统,则不仅可以显示光谱曲线,而且还可以把它存贮和打印出来。

3. 本文所描述的ES法,完全可以推广到InGaAsP系统。这时可以选用闪烁波长较长的光栅,长波长摄像系统。因为,长波长激光器的纵模间隔 $\delta\lambda$,比GaAlAs器件大,所以对光谱仪分辨率的要求可以更低些。虽然本文特别强调ES法在半导体激光器方面的应用,但是,在其他领域也有广阔的应用前景。

所用器件是本室攻关组提供的;陈建文、王新祥、王海龙、金志良、顾晓华、韦强等同志都曾在实验方面给了不少帮助,作者仅在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 单振国;《激光与红外》,1983, No. 2, 9.
- [2] Munchiko Nagano *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, No. 8, 632.
- [3] P. D. Wright *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, No. 8, 637.
- [4] Takeshi Ito *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, No. 8, 547.
- [5] Voji Sonobe; *JEE*, 1983, No. 8, 78.
- [6] G. Lengyel *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1978, **49**, No. 3, 1047.
- [7] R. Roldan; *Rev. Sci. Instr.*, 1969, **40**, 1388~1393