

半导体激光器参数综合测量法及其应用

肖宗耀 陈莲勇 忻慧芳

(中国科学院上海冶金研究所)

提要: 本文描述一种激光器参数综合测量方法和实验装置, 不需移动待测样品, 能测量光强-电流特性、近场和远场、激射光谱等激光器参数, 以及对器件的结构、发光位置、腔面完整性等进行观察。

A comprehensive measurement method of parameters for semiconductor lasers and its application

Xiao Zongyao, Chen Lianyong, Xin Huiyang

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract: In this paper, we describe a comprehensive measurement method of major parameters for semiconductor lasers. It has been used to measure threshold current, light output power, L-I characteristics, near-field and far-field distribution, lasing spectrum, structure and luminous position of devices can be measured and observed without moving the measured samples.

一、引言

半导体激光器在现代光电技术中是十分重要的关键性器件, 广泛应用于光纤通讯、光盘记录、激光测距等领域。为了研制性能优良的激光器, 必须对激光器的激射模式和重要参数, 如阈值、光功率、光强-电流的关系、近场、远场分布、激射光谱以及器件的结构和发光位置等进行测量研究, 使人们对器件的质量有比较全面的了解。过去, 对这些重要参数的测量大都是分开的, 个别地进行测量, 难免因环境和测量条件变动带来的影响。由于激光器的物理特性对温度和驱动电流很敏感, 环境温度和驱动电流的变化会使激光模式呈

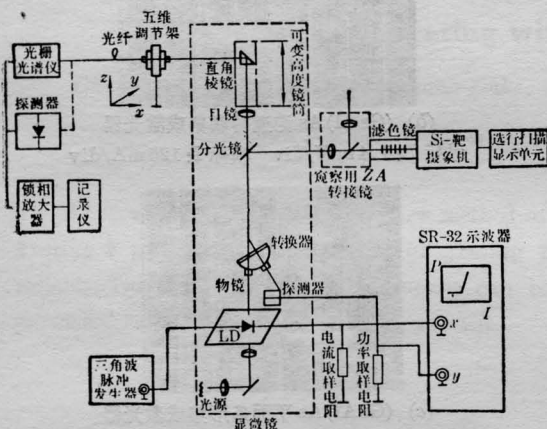
现各种复杂变化。因而环境和测量条件的变动往往影响到测试结果的重复性和一致性。而且在测量激光器的近场时, 不能同时知道对应的纵模光谱如何; 在测量纵模光谱时, 又不能同时知道当时与之对应的近场是基横模, 还是高阶横模, 抑或是多丝激射。为了要了解激光器工作模式的变化, 有必要把近场图样、近场光强分布和纵模光谱对应起来, 同时进行测量。其次, 几个重要参数分开进行测量还会带来测试设备分散、利用效率低、多次拆装搬动, 容易使激光器受到人为损伤, 特别对未封装的激光器管芯, 更加容易被损坏。这些缺点对激光器的研究和批量测试将带来严重的影响。针对上述存在的缺点, 我们建立

收稿日期: 1984年8月6日。

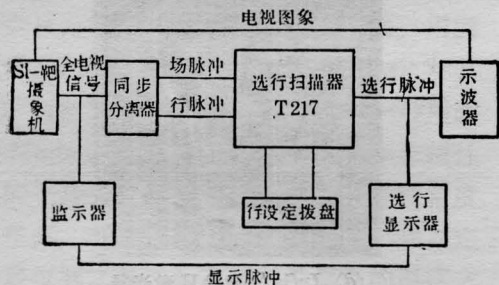
了(GaAl)As和InGaAsP双异质结半导体激光器参数的综合测量方法,并建立了一套实用的激光参数综合测量装置。应用“参数综合测量法”,测量时不需移动待测样品,就能完成激光器多种重要参数的测量。特别适用于测量未封装的激光器管芯。

二、实验装置

半导体激光器参数综合测试装置由红外显微电视—光纤扫描机构—光栅光谱仪系统组合而成。该装置的结构框图示于图1。



(a) 激光器参数综合测试装置方框图



(b) 选行扫描显示单元电原理框图

图 1

工作原理简述如下。把待测的激光器或激光器管芯安装在座架中,然后置于显微镜的载物台上,给激光器加上驱动电流,激光器的发射光束通过显微镜的物镜投射至分光束镜,分成水平、垂直两路光束。水平反射光束

通过ZA转接镜、滤色镜投射到硅靶摄像机的靶面上,然后被转换成电视图象,于是在电视监视器上就显示出激光器的近场图样。同时由选行扫描显示单元在示波器上显示出由监视器上亮线所指一行的近场光强分布波形。垂直透射光束射到直角棱镜面上成象,该象与监视器上的图象一致,并可按需要被放大180、120、60或10倍四级,由直角棱镜到目镜的高度决定。使用光纤的一端对准棱镜面上的象,进行光耦合,另一端对准探测器可进行近场或远场扫描,或者连接到光栅光谱仪的进光狭缝,可进行纵模光谱测量。如果用大面积Si-PIN或InGaAs探测器代替显微镜的物镜,可分别作(GaAl)As、InGaAsP激光器的光强-电流特性图示测量。

三、测量方法和结果

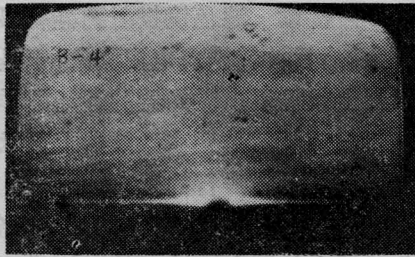
我们进行了短波长(GaAl)As DH激光器、集成激光器和长波长InGaAsP激光器以及这两类激光器的管芯进行红外透射观察;脉冲L-I特性图示;近场、远场图样和光强分布显示;近场、远场扫描和与近场相对应的激光总光谱、分光谱的测量。

1. 红外透射技术

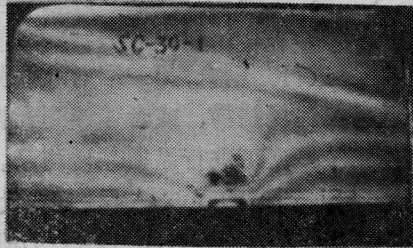
近年来,红外透射技术已发展成为观察发光器件的结构、发光位置和暗缺陷等的有力手段^[2~3]。我们用大功率的GaAs发光二极管作为红外透射光源,获得了比用白炽灯光源更加清晰的透射图象,如图2的沟道衬底(GaAl)As激光器的透视照片。图2(a)表明:加电流时,发光位置不在沟里,而是偏到沟道两旁的肩膀。图2(b)是一只沟道衬底集成激光器的透视照片,沟道轮廓清晰,发光和受激发射的位置都在沟道里,测得沟宽 $\sim 13\mu\text{m}$,沟深 $\sim 5\mu\text{m}$ 。

2. 光强-电流特性图示测量

在半导体激光器的光强-电流特性图示测量^[4]的基础上,在SR-32示波器的Z轴加



(a) 沟道衬底(GaAl)As DH 激光器



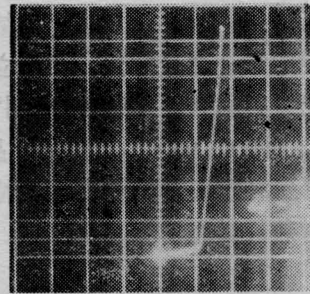
(b) 沟道衬底(GaAl)As 集成激光器

图2 半导体激光器管芯的红外透射照片

一同步矩形负脉冲,作为加亮脉冲。脉冲幅度 ≥ 20 V,宽度为驱动激光器的三角波电流脉冲底宽的一半。这样可使 $L-I$ 特性曲线的显示更明亮清晰。测量时,不需移动激光器,只要转动物镜转换器,用大面积Si-PIN探测器取代显微镜物镜,对准激光器发光区,接受发射光功率。对长波长激光器,改用InGaAs探测器接受光功率。图3为几只典型(GaAl)As DH激光器、集成激光器和InGaAsP DH激光器的 $L-I$ 特性的曲线照片,从中可直观地读出激光器的阈值电流和光功率值。此外,从图示的曲线还可以快速观察到器件的 $L-I$ 特性是否有扭折。根据 $L-I$ 特性确定近场、远场和光谱的实验测试点的电流值 I_1, I_2, \dots 。然后依次逐点测量激光器的近场、远场和与近场对应的光谱。从而可以研究近场-光谱随电流的变化情况,探讨 $L-I$ 曲线发生扭折时对激光器模式的影响。

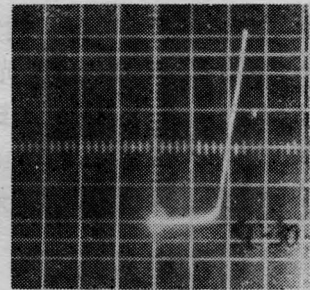
3. 近场和远场分布的测量

激光器的近场图样和近场扫描分布曲线可以提供激光器的激射横模、发光均匀性、发光区的大小等信息。实验时调节显微镜载物台,使激光器的发光表面在物镜焦平面上。根



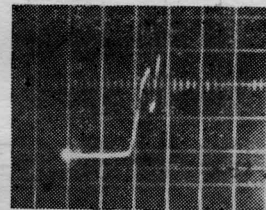
(a) (GaAl)As DH激光器

纵标 $P: 1.4 \text{ mW/div}$ 横标 $I: 50 \text{ mA/div}$



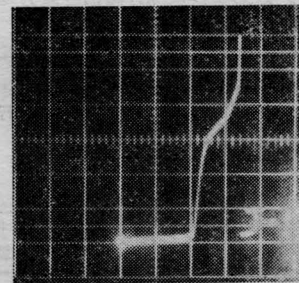
(b) (GaAl)As 沟道衬底集成激光器

纵标 $P: 1.4 \text{ mW/div}$ 横标 $I: 125 \text{ mA/div}$



(c) (GaAl)As 平面条形集成激光器

纵标 $P: 2.8 \text{ mW/div}$ 横标 $I: 100 \text{ mA/div}$



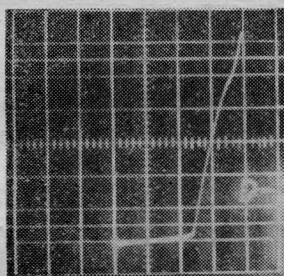
(d) InGaAsP DH 激光器

纵标 $P: 0.8 \text{ mW/div}$ 横标 $I: 100 \text{ mA/div}$

图3 半导体激光器的脉冲 $L-I$ 特性照片

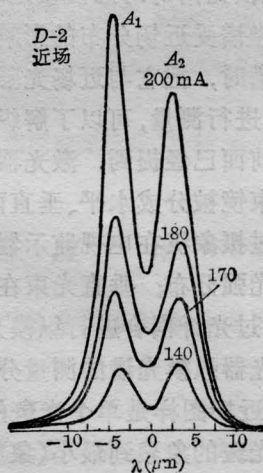
据由 $L-I$ 特性曲线所确定的实验电流值 I_1, I_2, \dots 依次驱动激光器工作,便在电视监视器上呈现一幅相应的近场图样,在示波器上显示出由监视器上亮线所指一行的近场光强分布波形。与此同时,在垂直方向的直角棱

镜面上也有与监视器上近场图样一致的光斑图象。视光斑大小和多光斑的间距，光斑图象可被放大 180、120 或 60 倍。使用芯径为 $200\ \mu\text{m}$ 的光纤对准棱镜面上的发光光斑，把光信号耦合到探测器，用锁相放大器把接收到的信号放大，并输出给 X-Y 记录仪的 Y 轴。光纤由机械装置带动在水平方向匀速扫描，走速 $2\ \text{mm}/\text{分}$ ，并由电位器把光纤的位移量转换成电压量送给 X-Y 记录仪的 X 轴，这样便可在记录仪的同一座标上描绘出不同电流 I_1 、 I_2 ……时的近场扫描分布曲线。图 4(b) 是激光器 #D-2 从 $140\ \text{mA}$ 至 $200\ \text{mA}$ 电流时的近场扫描分布曲线。图 4(c)、(d) 是对应于 $170\ \text{mA}$ 电流时的近场图样和近场光强分布波形。从近场分布曲线读得光强为 $\frac{1}{e^2}$ 时光斑的水平尺寸为 $\sim 16\ \mu\text{m}$ 。二个光斑的峰相距 $\sim 8\ \mu\text{m}$ 。二次重复实验，误差约



(a) L-I 特性曲线

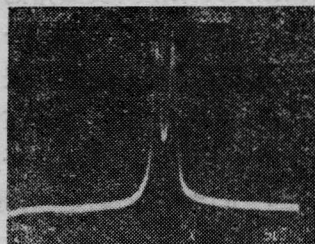
纵标 P: $3.4\ \text{mW}/\text{div}$ 横标 I: $50\ \text{mA}/\text{div}$



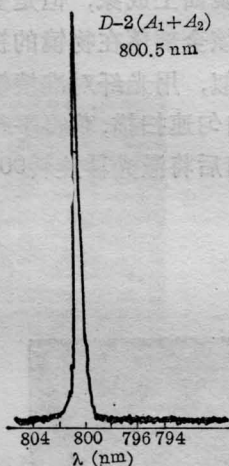
(b) 近场分布曲线



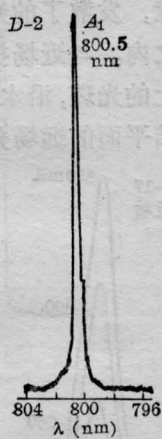
(c) $I=170\ \text{mA}$ 时的近场图样



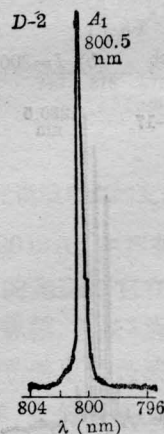
(d) $I=170\ \text{mA}$ 时的近场光强分布波形



(e) 总激光光谱
($I=170\ \text{mA}$)



(f) A_1 光斑激光光谱
($I=170\ \text{mA}$)

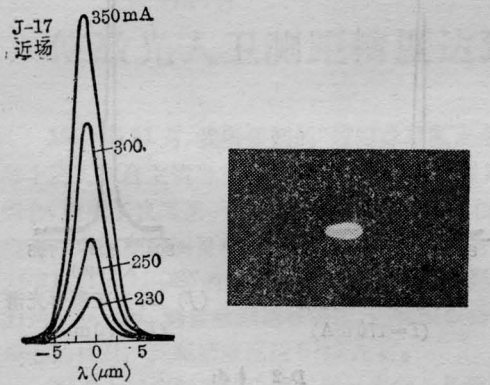


(g) A_2 光斑的激光光谱 ($I=170\ \text{mA}$)

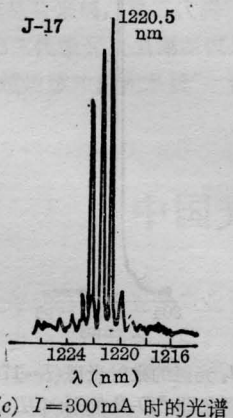
图 4 激光器 #D-2 的脉冲 L-I 关系、近场分布和 $170\ \text{mA}$ 电流时的模式特性

5%。图5(a)、(b)是长波长 InGaAsP 激光器管芯 #J-17 的近场图样和近场分布曲线。

激光器的空间发散角直接影响到光纤的耦合效率。发散角小的,耦合效率高;发散角大的,耦合效率就低。远场扫描分布曲线可为人们提供激光光束空间发散角的信息,也是衡量激光器性能的重要参数之一。在近场测量的基础上,把激光器的发光表面调离物镜的焦平面,距离0.4mm。于是在原来焦平面上得到的是发散了的光斑,水平方向的光强分布代表平行于结平面的远场,垂直方向的光强分布代表垂直于结平面的远场。经光学放大后投射到直角棱镜面上成象,但是要注意,发散了的光斑应该全部落在物镜的视场之内。与近场扫描相似,用光纤对准棱镜面上的光斑,沿水平方向匀速扫描,获得平行于结平面的远场分布,随后将激光器旋转90°

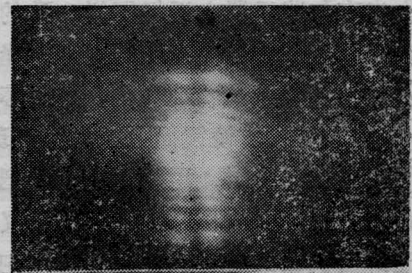


(a) 近场分布曲线 (b) $I=300\text{ mA}$ 时的近场图样

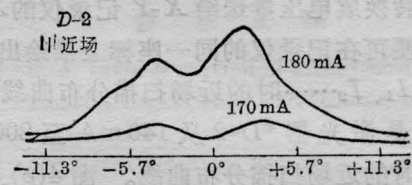


(c) $I=300\text{ mA}$ 时的光谱

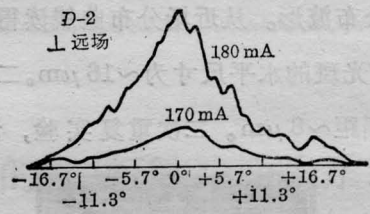
图 5



(a)



(b)



(c)

图 6 激光器 #D-2 的远场图样、(a)平行结平面的远场分布(b)及垂直结平面的远场分布(c)

角,再进行光纤扫描,获得垂直于结平面的远场分布。我们称之为远场平面分布测量。图 6 表示激光器 #D-2 的远场图样和远场分布曲线。#D-2 的 $\theta_{\parallel} \approx 10^\circ$, $\theta_{\perp} \approx 17^\circ$ 。

4. 纵模光谱与对应横模近场同时测量

纵模光谱受近场分布的影响,因此在测量纵模光谱时,把它与近场光强分布对应起来,同时地进行测量,可以了解纵模如何随横模变化。前面已经提到,激光器的发射光束通过分光束镜被分成水平、垂直两路光束。水平光束通过摄象机在电视监视器上显示激光器的近场光强分布;垂直光束在直角棱镜面上成象,通过光纤耦合进行纵模光谱的测量。我们对激光器纵模光谱的测量分下面二种情况: i) 对于近场图样是单个光斑的激光器,把棱镜面上光斑的象聚到最小(象放大 10 倍),然后用光纤的一头对光耦合,另一头连接到

光栅光谱仪的进光狭缝上, 依次在已确定的电流 I_1, I_2, \dots 测量纵模光谱, 这些纵模光谱是与电流 I_1, I_2, \dots 时的近场图样和近场光强分布相对应的, 如果在电流 I_1 下测得纵模光谱后, 保持电流 I_1 和其它实验条件不变, 接着进行近场扫描, 则纵模光谱与近场扫描分布曲线也是相对应的。ii) 对于近场图样是多光斑的激光器, 除了测定总光谱之外, 还可以测定对应于每个光斑的分光谱。多光斑总光谱的测量与上述单个光斑光谱的测量相同。分光谱的测量是在测得总光谱之后, 把直角棱镜座升高, 使棱镜面上光斑的象放大

120 倍, 甚至 180 倍, 以便把各个光斑分辨开来, 然后用光纤自左至右对准逐个光斑的峰值位置, 进行光耦合和光谱测量, 获得与每个光斑相对应的分光谱。以此为依据, 可判别激光器是高级横模, 还是多光丝激射, 为激光器模式研究提供实验证据。图4(c)~(g)是激光器 #D-2 在 170 mA 电流时的横模近场、近场光强分布波形和相对应的激射总光谱、分光谱。图 5 是长波长 InGaAsP 激光器 #J-17 的横模近场和对应的激射光谱。图 7 表示集成 (GaAl)As 激光器 #S-12-12 的近场-光谱随电流变化的情况。

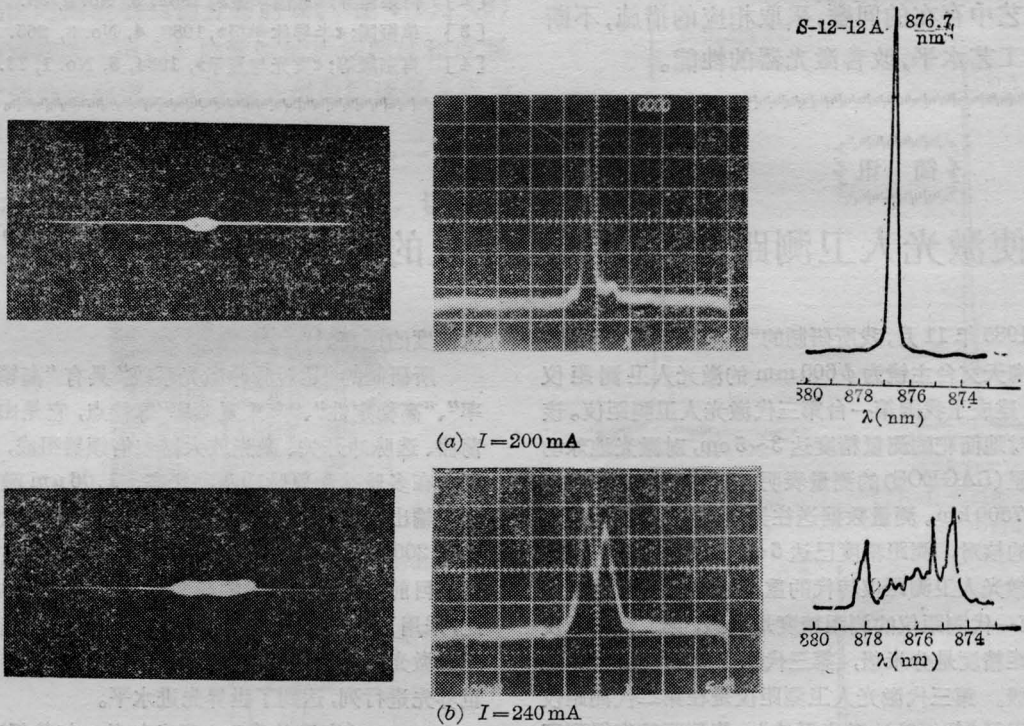


图 7 集成激光器 S-12-12 的近场图样、近场光强分布波形和对应光谱随电流的变化

四、应用

1. 我们用“激光器参数综合测量法”对 (GaAl)As DH 激光器、集成激光器、InGaAsP 长波长激光器以及管芯进行了综合测量和模式特性的研究。图 4 表示一个典型的例子——激光器 #D-2 的模式特性。由图 4 可见

它的阈值电流为 120 mA, 在转折点之前, 近场图样有二个匀称的光斑, 它在 170 mA 电流时的总光谱是单纵模, 波长 λ 为 800.5 nm, A_1 和 A_2 光斑的分光谱也都是波长 $\lambda_1 = \lambda_2 = 800.5$ nm 的单纵模, 它们是同一个光场在谐振腔里纵向空间上的分布, 因此, 可以认为 #D-2 的激射模式是一次高级横模, 即 H_{01} 模。图 7 表示集成激光器 #S-12-12 的近场-光谱

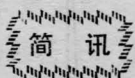
随电流变化的情况,当电流为200mA时,激光器是以基横模、单纵模工作,激光波长为876.7nm。随电流增加到240mA,横模产生了变化,出现双光丝激励。

2. 可首先观察器件的结构、发光位置和腔面完整性,再根据参数综合测量结果,挑选出阈值低、 $L-I$ 线性好、模式特性好的管芯进行压焊装管。既能保证成品激光器的质量,又可使装管成品率大大提高,节省时间和管壳,提高经济效益。同时也为激光器的设计和研制者提供有参考价值的,或者说有一定指导意义的比较全面的质量评价信息,有利于发现工艺中存在的问题,采取相应的措施,不断提高工艺水平,改善激光器的性能。

本工作得到潘慧珍同志的指导和帮助,和陈启屿同志进行过有益的讨论,汤德余同志在设计方面给予了帮助。吉林大学杜国同志,北京半导体所庄婉如同志,北京有色所顾承义同志,上海光机所金志良、黄新祥同志热情提供激光器。在此,作者谨向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] R. A. Linke *et al.*; Optical Fiber Communication Technical Digest, 1984, New Orleans, Louisiana, Paper. WJ7.
- [2] 何梁昌等;《通信学报》,1982, 3, No. 4, 88.
- [3] 单振国;《半导体学报》,1983, 4, No. 3, 265.
- [4] 肖宗耀等;《发光与显示》,1984, 5, No. 1, 78.



使激光人卫测距精度达到厘米级的“超短脉冲激光系统”

1985年11月,我所研制的“超短脉冲激光系统”与上海天文台主镜为 $\phi 600$ mm的激光人卫测距仪组合,建成了我国第一台第三代激光人卫测距仪。该仪器对地面靶的测量精度达3~5cm,对激光地球动力卫星(LAGEOS)的测量表明:该测距仪的测距能力达7500km。测量数据送往美国,经美国数据处理中心的核对,测距精度已达5cm左右。

激光人卫测距仪转代的重要标志之一是测距精度,第一代测距仪的测距精度是米级,第二代测距仪的测距精度是分米级,第三代测距仪的测距精度是厘米级。第三代激光人卫测距仪是在第二代测距仪上使用了“超短脉冲激光系统”,使测距精度得到了

大幅度的提高。

所研制的“超短脉冲激光系统”具有“高锁模概率”、“高稳定性”、“高重复频率”等特点,它是由主振荡器、选脉冲开关、激光放大器和倍频器组成,可以工作在多脉冲和单脉冲两种状态,1.06 μ m激光单脉冲输出能量可大于100mJ,序列脉冲输出能量可大于200mJ,倍频效率60%。

目前,国际上最好的测距精度是3~4cm。因此,采用了“超短脉冲激光系统”后,使我国拥有了第三代激光人卫测距仪,使我国激光人卫测距步入了世界先进行列,达到了世界先进水平。

(中国科学院上海光机所 何慧娟)

中国光学学会举办激光医学学习班

中国光学学会医用光学专业委员会定于1986年5月份举办激光医学学习班。分两期,每期一周时间。学习班期间将安排到解放军301医院、军事医学科学院、协和医院、医科肿瘤医院、同仁医院、安贞医院、口腔医院、西城中医院轮流讲课,见习参

观激光在临床各科的应用;简明介绍医用激光器的原理及使用,并负责安排解答各学科的疑难问题。

(费文)