

室温连续工作 GaAs 双异质结激光二极管的阈值测量

中国科学院物理研究所半导体激光组

通常采用近场和远场观察、光强-电流曲线和光谱测量等方法来测量 GaAs 激光二极管的阈值。其中以远场观察方法最方便,所以一般实验室都用这种方法作为测量阈值的常规方法。在脉冲工作时,这方法的误差主要由脉冲电流不易测准带来的,在起振与否的判别上不大会产生差错。但在连续工作时,情况正相反,电流的测定可以很准确,而常会产生是否起振的误判,使测量产生差错。我们用光强-电流($L-I$)曲线和光谱测量方法进行比较,较确切地定出连续工作的 GaAs 激光二极管的阈值。

实验中所用的器件是 GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs 双异质结条形管^[1]。用液相外延连续生长上四层(外延层): (1) n -Ga_{1-x}Al_xAs, 3~5 微米厚; (2) p -GaAs, 0.3 微米; (3) p -Ga_{1-x}Al_xAs, 1.3 微米; (4) p -GaAs, 1.5 微米。用质子轰击法形成条形区(质子束由中国科学院高能物理研究所的静电加速器提供),工作区宽约 15 微米和 30 微米,腔长 300 微米,用银片作散热器。所有测量都在 20~30°C 的室温下进行。电源是 WYJ-45 型晶体管稳压电源,用直流毫安表读出电流值。

远 场 观 察

实验所用的变象管是 42B×101, 荧光屏的直径为 3 厘米,测量时二极管离变象管的阴极面约 1 厘米。由于双异质结的活性区仅 0.3 微米厚,所有这种管子垂直 $p-n$ 结方向都是横向基模工作。在平行于 $p-n$ 结面方向,由于条形区宽仅 15 或 30 微米,故在近阈值处也是横向基模工作(对 30 微米宽的条形管工作电流大于 1.2 倍阈值电流时常出现高级横模,但这对我们讨论阈值的测定关系不大)。因此,二极管起振时,能在变象管的小荧光屏上见到一宽为 1、2 毫米的垂直于 $p-n$ 结的亮条。阈值就定义为在渐渐加大二极管的工作电流时,这亮条突然出现的那一时刻的电流值(或渐渐减小电流时,这亮条突然消失时的电流值)。例如 5—20# 二极管(条宽 15 微米),电流值是 207 毫安,即这一激光二极管在室温连续工作的阈电流为 207 毫安。我们所说的“突然”的意思是指在这一电流值(阈值)时,只要少许加大一点电流就能使这亮条出现,或少许减少一点电流就能使这亮条消失。例如 5—20# 二极管,在工作电流为 207 毫安时,要产生这种突变所需的电流小于 1 毫安。

我们对 5—20# 二极管在工作电流为 210 毫安时的光强角分布作了测量。图 1(a) 为平行于 $p-n$ 结方向的光强角分布,其峰值半高点处的宽度约 7°。图 1(b) 是垂直 $p-n$ 结方向的角

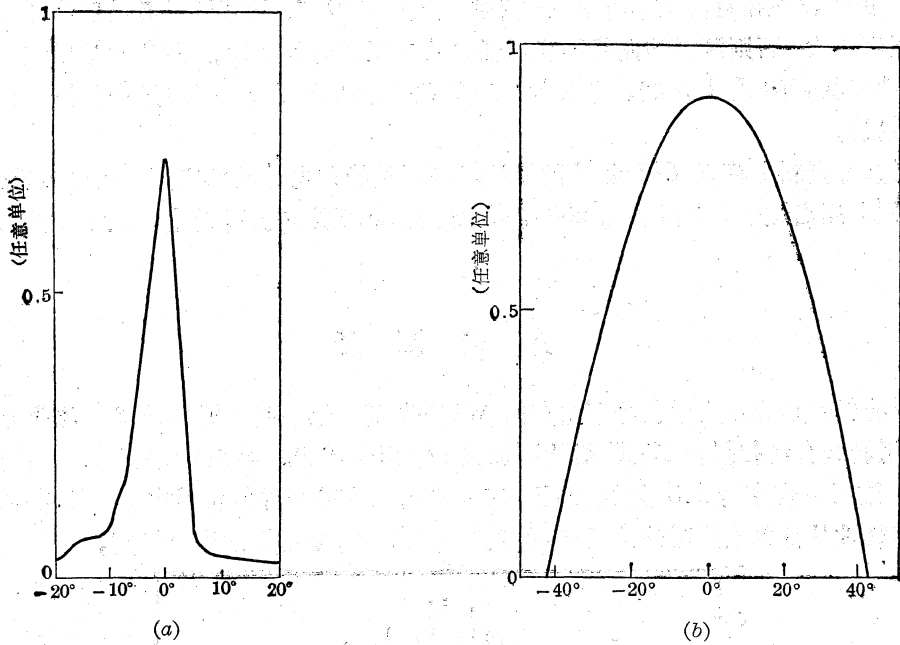


图1 5—20# 二极管的光强角分布,工作电流为 210 毫安(阈电流是 207 毫安)
(a) 平行 $p-n$ 结方向; (b) 垂直 $p-n$ 结方向

分布,半宽度约 60° , 由于管芯两边的电极限制,使这方向大于 40° 的光被挡住了。

光强-电流曲线

二极管辐射光的功率是用一由计量院标定的 ACR52 硅光电池来测量的。二极管的一个出光面正对着硅光电池,距离约 1 毫米。用 X-Y 函数记录仪自动描出输出光功率-工作电

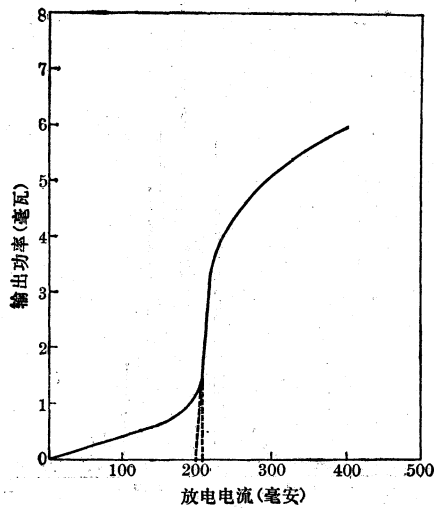


图2 5—20# 二极管的 $L-I$ 曲线(只计一个出光面的光输出功率)。从图中可看出,“截距法”定义的阈值为 200 毫安,“拐点法”定义的阈值为 207 毫安。

流曲线。由于器件在直流工作时达到热平衡需要一定时间，故测量时通过器件的电流要相当缓慢地逐渐加大，否则测得的曲线不表示器件稳定工作时的特性。图 2 就是用这一方法测出的 5-20# 二极管的 $L-I$ 曲线。记录的功率数是一个出光面所辐射的光强(另一出光面没有镀全反射膜)。

通常参考资料上都把 $L-I$ 曲线的线性段的延长线与电流轴的交点处的电流数值定义为阈值。从图 2 测出这一点的数值为 200 毫安，比用远场观察法测得的小。这一差别在下面加以讨论。

光 谱 测 量

所用的仪器是北京光学仪器厂生产的 WSP-1 型 2 米平面光栅摄谱仪。接收元件是光电倍增管，用转鼓自动扫描在 $X-Y$ 函数记录仪上描出光谱线。实验时，入射和出射狭缝都是 0.1 毫米，这时分辨率为 1.5 埃，完全能很好地分辨出实验器件的辐射中的纵模结构。波长数值是由转鼓数从仪器出厂时的波长-转鼓数校正表读出，未用标准光谱标定。

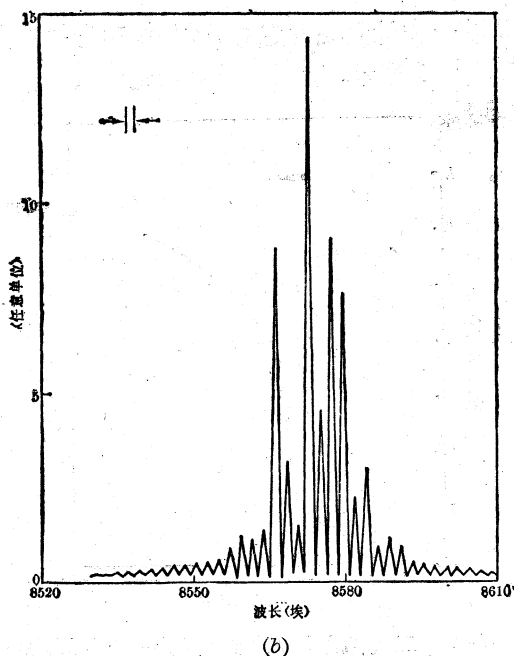
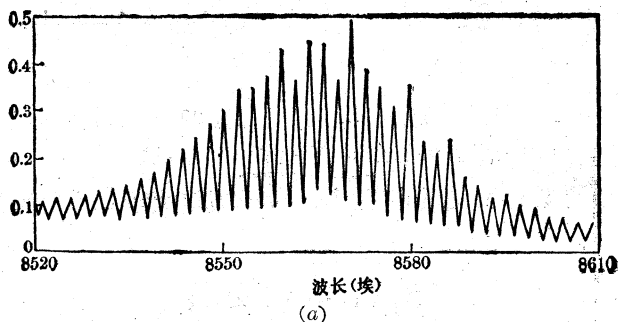


图 3 5-20# 二极管的光谱，工作电流为：(a) 205 毫安(阈值)；
(b) 210 毫安(阈上)(两图的纵座标比例相同)

虽然要使 GaAs 激光二极管单纵模工作是很困难的,但在刚起振时,却常常是单纵模或少数几个纵模工作的^[2],这就使得光谱测定阈值的精确度较高。

又以 5—20[#] 二极管为例,在 200 毫安时的荧光谱的宽度约 250 埃。在 205 毫安(阙下)和 210 毫安(阙上)时的光谱如图 3 的(a)和(b)所示。这二个图的纵轴(光强)的比例是相同的。用光谱法测得的阈值也是 207 毫安。与脉冲工作时的光谱相比,情况完全类似,只是在脉冲(占空比为千分之一)时,阈值为 170 毫安,峰的波长位置向短波方向移动约 50 埃,光强约为图 3(b)的 1/500。当然,这时实验需用检波器和放大器。

讨 论

我们用三种方法测定连续器件阈值的结果基本上是一致的。其中用 $L-I$ 曲线法测出的阈值常偏小。这与该方法对阈值的定义以及器件的性能有关。由于定义线性段在横轴上的截距为阈值,这就与这直线的斜率有关,即与器件的外微分子效率 η_D 有关。例如 5—20[#] 二极管用这一定义量出的阈值比其它方法测出的要小 7 毫安。而对于 η_D 高达 52% 的 5—32[#] 二极管这一差别仅 3 毫安。从我们的大量测量结果来看,把 $L-I$ 曲线上的拐点(图 2 的虚线、曲线交叉点)处的电流值定义为阈值就与其它方法的结果几乎完全一致。

虽然光谱法测定连续器件的阈值既可靠又精确,但远场观察法毕竟是较方便的方法,也是一般实验室经常使用的。然而,在用这方法测量连续器件时,必需尽量减少主观判断上的误差和差错。因为只有在电流变化时才能观察到屏上亮度的突变。对于 η_D 高的器件,在观察到这一突变时,所需之电流值的变化很小,以至电流表上反映不出这一变化,这时阈值的测定就很少有主观判断上的误差。例如 5—32[#] 二极管,电流表反映不出这一变化,阈值精确地为 162 毫安。对于 η_D 低的器件,常常要有 2~3 毫安的电流量变化才能使测量者感到这种突变。这就给阈值的测量带来了相应的误差。另一值得注意的问题是,有许多管子连续振荡前就会在变象管的荧光屏上显现出光强分布是有结构的。这种结构常与脉冲工作时的激光的远场图样相似。这就很可能被初次测量连续器件的同志误判为连续相干辐射的远场。我们把这种结构俗称为“影子”。例如 5—20[#] 二极管在直流加到 150 毫安时就出现这种“影子”。加大电流时,它与荧光背景一起增强,而且与荧光的反差也有所加大,直到 207 毫安。连续振荡时,它的亮度突然增加,从“影子”变成亮条,这时很容易看到这两者是有本质上的差别的。图 4 就是 5—20[#] 二极管在 205 毫安时平行 $p-n$ 结方向的光强角分布,其结构与图 1(a) 完全相似,但光谱清楚地告诉我们,这时还在连续振荡的阈值以下。5—23[#] 二极管的情况能更清楚地说明这一现象。这一管子的脉冲阈值是 140 毫安,远场图样是三条垂直亮条(二级横模)。在加直流到 180 毫安时,在变象管上就出现同样结构的“影子”,到 300 毫安时,这一结构变得很清楚,但再加大电流非但没有亮度突变现象,反而总的荧光也减弱了。然而,这一二极管的 $L-I$ 曲线

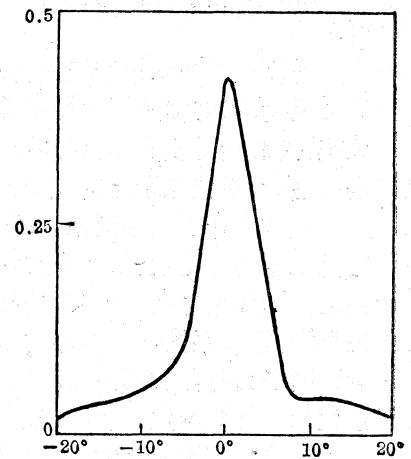


图 4 5—20[#] 二极管在 205 毫安(阙下)时的平行 $p-n$ 结面的光强角分布(纵轴比例与图 1(a) 相同)

(图5)就清楚地说明,它根本不能室温连续相干工作。这种现象对初测者是要特别引起注意的。

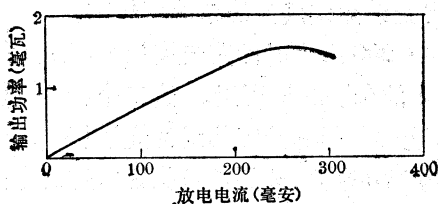


图5 5-23* 二极管的 $L-I$ 曲线。说明这一管子室温下不能连续输出相干光

总之,远场观察的判别方法能比测量脉冲器件的阈值更为精确地测出连续器件的阈值。而 $L-I$ 曲线和光谱测量也是必要的辅助方法,尤其是对于低 η_D 的器件和出现难以判断的“影子”的情况,就必须用光谱法来精确地测定。

参 考 资 料

- [1] 《物理》, 1976, 5, No. 1, 4.
- [2] C. H. Gooch, "Gallium Arsenicde Lasers", 104 (1969).

小 知 识

光 针

在毛主席革命卫生路线的指引下,近年来,广大科研人员和医务工作者密切协作,采用不同波长的激光器作光源进行激光穴位治疗,人们把这种激光束称之为“光针”。

将激光新技术用于祖国古老针灸医术的临床实践证明,光针不仅对某些针灸临床常见病,如劳损及慢性炎症等,具有银针的类似效能,并能对某些神经系统疾病(如瘫痪)及肿瘤等疾病提高疗效。光针还具有完全无菌、无痛的特点,特别适宜年老体弱的患者,更消除了儿童和病人怕针、晕针的顾虑。

光针为什么能起到银针的作用?这是因为治疗的方法和传统针灸治疗一样,光针也是根据辨证论治、循经取穴的原则进行的。根据中医经络学说,人体内存在“经络”系统,由此使体内脏腑与体表肢节之间构成一个完整的统一的有机体,比如针刺“足三里”对消化系统疾病有疗效,就是通过刺激穴位,激发经气,来调整机体机能达到防治疾病的目的。利用激光的相干性,单色性及能量集中等特点,只要小功率的激光就能代以银针刺刺激穴位,同样能激发经气来调整机体的机能,从而达到防治疾病的目的。

激光穴位治疗是继承发扬祖国医学、中西医结合的结果,光针这一新的手段,应用于临床还是初步的,如何正确选择穴位?如何改进以提高疗效?并进而为探索经络实质和针麻原理提供新方法,尤其需要深入开展临床实践和生物学作用的研究。

在华主席为首的党中央英明领导下,粉碎了“四人帮”,科研要大上,一个把激光新技术与传统医学相结合的广阔前景,将展现在人们的面前。