

# GaAs 激光器几个物理量的测量

张 敬 明      王 仲 明

(中国科学院半导体研究所)

## 一、串联电阻的测量

### 1. 测量原理

GaAs 激光器是在很大的电流密度下工作的，因此器件的串联电阻（体电阻和接触电阻）对器件的性能有很大影响。为了得到尽可能小的串联电阻，首先必须判定 GaAs 和金属电极之间的接触是否是欧姆接触，并测出器件串联电阻的数值。

我们用大电流脉冲直接测量器件的  $V-I$  特性，以此来确定串联电阻的大小，并判定金属-半导体之间接触的类型。

对我们所用的器件，估计其电容约为 400 微微法，在脉冲电流前沿为 30 毫微秒的情况下，容抗约为 25 欧姆，与约 0.1 欧姆的串联电阻相比，其值很大，而且在实验装置中尽量减小分布参量，以致可以忽略脉冲电流和电压之间的相位差。

首先分析欧姆接触电极的情形，对于  $p-n$  结，当偏置不大时，通过的电流满足通常的二极管方程。但是当偏置加大使得  $p-n$  结势垒拉平时，电子不受势垒限制注入到有源区，这是接近阈值以及高于阈值的大电流注入的情形（我们着重讨论这种情形）。可以认为从这以后加在  $p-n$  结上的外加电压不再变化，它近似等于无偏置时的内建电位 1.4 伏。这样当电流再增加时，电压的变化纯粹是由于串联电阻的作用，其变化规律服从欧姆定律。因此大电流下的串联电阻：

$$R_{\#} = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

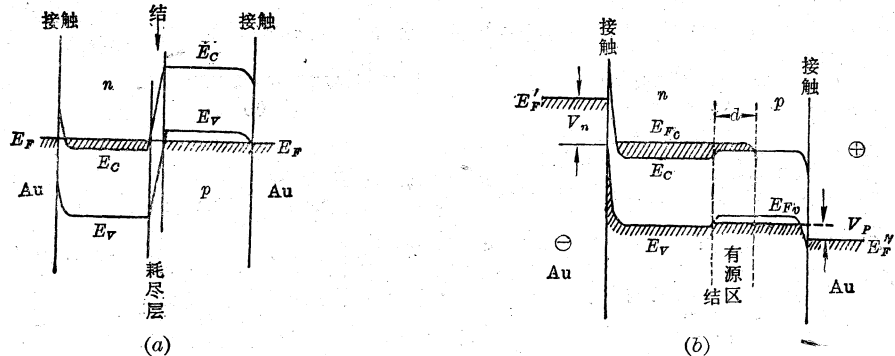


图 1

(a) — 在电极接触处有肖特基势垒时 GaAs 激光器零偏压的能带图； (b) — 电极接触有肖特基势垒、GaAs 激光器正向偏置时的能带图，接触肖特基势垒反向偏置

其中  $R_{\#}$  为体电阻和接触电阻之和。

其次,如果器件电极是非欧姆接触,那末在接触面上将形成肖特基势垒,如图1(a)所示。当把器件正向偏置时, $p$ 、 $n$  两边的势垒则都是反向偏置的,如图1(b)。由于 GaAs 激光器  $p$ 、 $n$  两边都是高掺杂的,因此反向偏置的肖特基势垒实际上应该呈现隧道特性,并且隧道贯穿的程度应与 GaAs 的载流子浓度、所用金属以及工艺特性相关,典型的情况如图 2<sup>[1]</sup>。这时在

电极两边测到的电压为:

$$V = V_{\text{结}} + V_{\text{势}} + IR_{\#} \quad (1)$$

其中  $V_{\text{结}}$  为  $p$ - $n$  结上的电压,  $V_{\text{势}}$  为肖特基势垒上的电压。

在大电流下,  $V_{\text{结}}$  和  $V_{\text{势}}$  基本上保持不变,此时,

$$R_{\#} = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

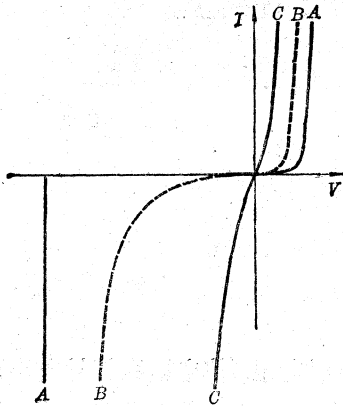


图2 金属-半导体接触的  $V$ - $I$  曲线

半导体样品的载流子浓度是逐渐增加的: A—载流子浓度低; B—载流子浓度约为  $10^{18}$  厘米<sup>-3</sup>; C—载流子浓度约为  $10^{19}$  厘米<sup>-3</sup>

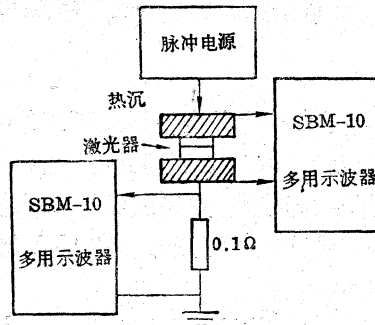


图3 实验装置简图

如果作代换

$$V_{\text{势}} = V - V_{\text{结}} - IR_{\#}$$

那末可以得  $V_{\text{势}}$ - $I$  曲线,将此曲线与图2之反向比较,便可以判定金属-半导体接触的类型。应该注意在  $V_{\text{势}} = V - V_{\text{结}} - IR_{\#}$  中,  $R_{\#}$  包括接触电阻(即肖特基势垒大电流时的反向动态电阻),所以  $V_{\text{势}}$ - $I$  曲线表现出的反向特性更“硬”。

## 2. 实验

实验装置如图3所示。脉冲重复频率700周/秒,电流宽度120毫微秒,上升30毫微秒

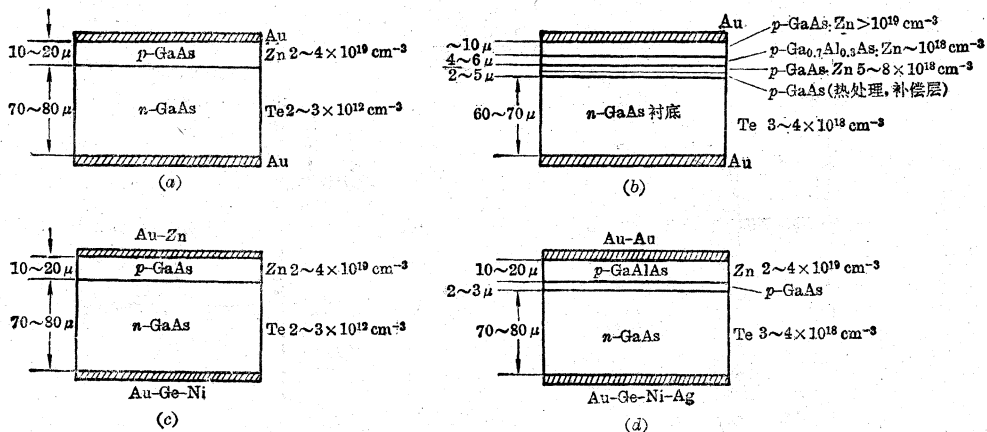


图4 电极和器件的类型

(a) 同质结 A 类电极; (b) 异质结 (1) A 类电极; (c) 同质结 B 类电极; (d) 异质结 (2) C 类电极;

(用宽度 200 毫微秒, 上升 50 毫微秒电流测量得到的结果相同), 在上述条件下, 器件没有温升, 即每个脉冲到来之时, 器件温度为环境温度。测量电阻 0.1 欧姆为 42 个 4.2 欧姆的电阻并联得到, 示波器用低阻抗输入, 电缆端头引线要短。

实验使用了三种电极和三种器件, 如图 4 所示。

A 类电极: 在  $p$ 、 $n$  两边蒸发 Au, 然后微合金, 再电镀 Ag。

B 类电极:  $n$  边: 蒸发 Au:Ge:Ni(82:11:7) 合金, 厚度 2500~3000 埃, 然后再蒸 Ag, 厚度 1000~1500 埃;  $p$  边: 蒸发 AuZn 合金, 厚度 4000 埃, 全部蒸发完毕后再微合金。

C 类电极:  $n$  边蒸发 Au:Ge:Ni(82:11:7) 合金, 然后蒸发 Ag。  $p$  边蒸发 Au, 然后再蒸发 Au 加厚, 蒸发过程同时合金化。

对上述各类器件, 典型的  $V-I$  曲线如图 5 所示, 实验结果见表 1。

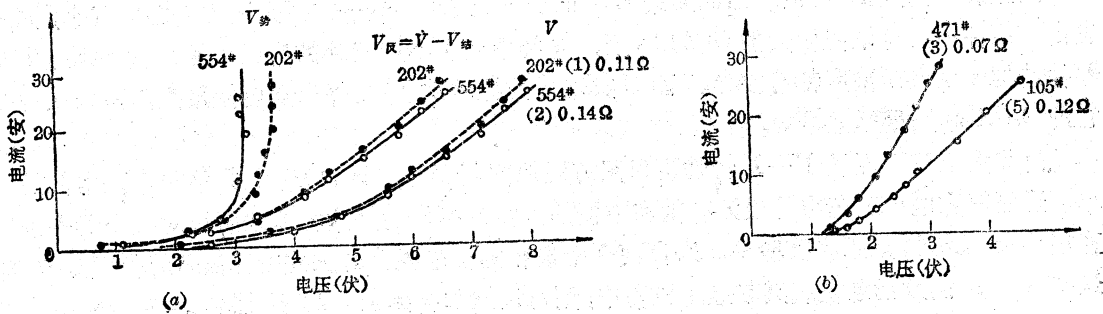


图 5

(a) a、b 类器件的  $V-I$  曲线; (b) c、d 类器件的  $V-I$  曲线

表 1 各类器件

器件类别	电极类型	管号	面积 ( $\mu^2$ )	接触类型	$R_{\#}$ (欧姆)	比电阻( $\times 10^{-5}$ 欧姆·厘米 <sup>2</sup> )	平均比电阻 $\times 10^{-5}$ 欧姆·厘米 <sup>2</sup>
同质结	A 类: $n$ 边: Au	480	220×150	$p$ 边欧姆 接触	0.11	3.6	3.6
		202	220×150		0.11	3.6	
		442	240×150		0.10	3.6	
异质结(1)	$p$ 边: Au	554	200×200	$n$ 边非欧 姆接触	0.14	5.6	6.0
		628	340×130		0.15	6.6	
		603	250×150		0.10	5.7	
同质结	B 类: $n$ 边: Au:Ge:Ni $p$ 边: Au:Zn	411	290×150	欧姆接触	0.06	2.6	2.4
		444	190×150		0.08	2.3	
		471	220×150		0.07	2.3	
异质结(2)	$n$ 边: Au:Ge:Ni $p$ 边: Au	105	190×280	欧姆接触	0.12	6.4	6.3
		121	190×180		0.18	6.2	
		122	190×180		0.18	6.2	

将图 5(a)与图 2 的反向比较,说明 A 类电极的金属-半导体接触有肖特基势垒。该势垒在器件正向偏置时,呈反向偏置状态。图中还画出了  $V_{\text{势}}-I$  和  $V_{\text{反}}-I$  曲线。 $V_{\text{反}}-I$  曲线可看成是一个肖特基势垒二极管的反向特性。根据资料 [2, 3] 报导,当 Au 与 GaAs 形成接触时,如果  $p\text{-GaAs}$  载流子浓度为  $1 \times 10^{19}$  厘米<sup>-3</sup> 以上时,形成欧姆接触,而  $n\text{-GaAs}$  载流子浓度低于  $6 \times 10^{18}$  厘米<sup>-3</sup> 时为非欧姆接触。我们的器件  $n\text{-GaAs}$  的载流子浓度为  $2 \sim 4 \times 10^{18}$  厘米<sup>-3</sup>,因此  $V_{\text{势}}-I$  曲线表现的反向肖特基势垒特性应该是由  $n\text{-GaAs}$  与 Au 接触时产生的,从 C 类电极无肖特基势垒也可以证明这点。图 5(a)中同质结器件的肖特基反向击穿电压为 3.7 伏,比异质结(1)器件的 3.2 伏稍高,这是由于同质结器件  $n\text{-GaAs}$  的载流子浓度较低造成的。在此情况下,如果器件峰值工作电流为 30 安培,则在势垒上消耗的峰值功率可以高达 90 瓦。

从图 5(b) 看出, B 类、C 类电极没有整流接触的情形。

比较表 1 的数据,可以看出同质结 B 类电极  $R_{\text{串}}$  最小。这一方面是因为接触电阻小,同时也由于器件中没有电阻较大的 GaAlAs 层, A 类中两种不同器件的串联电阻出现差别是由于器件结构和载流子浓度都有差异。而 C 类电极的异质结(2)器件串联电阻最大,可以认为是它的 GaAlAs 层最厚造成的。

因此大电流下测量  $V-I$  特性可以很方便地判断器件接触的类型,并给出串联电阻的大小。这在研究电极工艺中是极为有效和方便的。需要指出的是这种方法可以对各个器件进行直接测量。此外,如果在实验中将来自两个电极和测量电阻上的脉冲电压信号峰值积分起来,送到  $X-Y$  函数记录仪或其它显示设备中,则可以立即得到  $V-I$  特性曲线。

## 二、双异质结激光器热阻的测量

为了提高和改进双异质结激光器的热学特性,有必要测定各种结构和工艺条件下器件的热阻。

关于激光器热阻的测量已经有好几种方法。但由于激光器在工作过程中发热和散热的情況都比较复杂,所以为了更好地估计与连续工作有关的情况,我们测量了直流条件下的热阻。

晶体管的热阻定义为加在器件上的单位功率所引起的结的温升。因此对激光器的热阻可以作类似的定义:  $R_T = \frac{\Delta T}{IV + R_s I^2}$ 。其中  $\Delta T$  为有源区的温升;  $I$  为电流;  $V$  为结电压;  $R_s$  为串联电阻。

加在器件上的功率很容易由加在器件上的总电压和通过的电流得出。而有源区的温升是这样测量的: 当在器件上加以一定功率时,同时再加上一个峰值比阈电流稍高、重复频率很低、宽度很窄的脉冲电流,并测出相应的激射波长; 由于激射波长随有源区的温度而变化,因此在外加功率发生变化而使有源区温度发生变化时,测量到的激射波长也发生变化。从预先测出的  $\Delta\lambda/\Delta T$  关系,我们便可得到有源区的温升<sup>[4]</sup>,根据定义关系式就可算出热阻。

实验装置如图 6。脉冲电流底宽 90 毫微秒,频率 1000 周/秒。在这样的条件下,每个脉冲开始时,器件结温与环境温度相同。光电倍增管及测量系统响应时间 7 毫微秒,光谱仪分辨率 1 埃。实验测得的是在激射开始后 20 毫微秒时的光谱分布,从而消除了脉冲期间温升的影响。此外,以下凡提到波长和波长移动都是指纵向模式包络半强度中心的波长及其移动。

实验所用的器件是 508<sup>#</sup>、514<sup>#</sup>、607<sup>#</sup>、321<sup>#</sup>,面积  $25 \times 210$  微米<sup>2</sup>。电极接触情况,  $n$  边是

Au、Ge、Ni 合金,  $p$  边是 CrAu-Au。

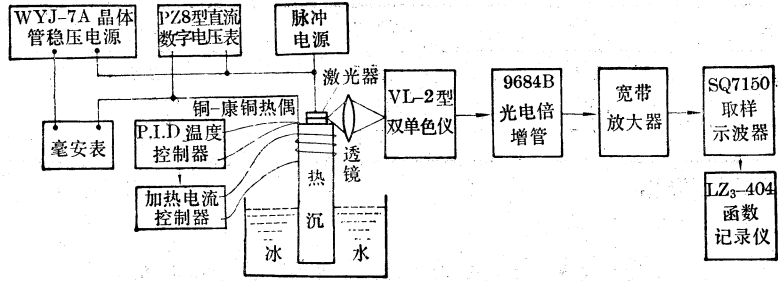


图 6 实验装置图

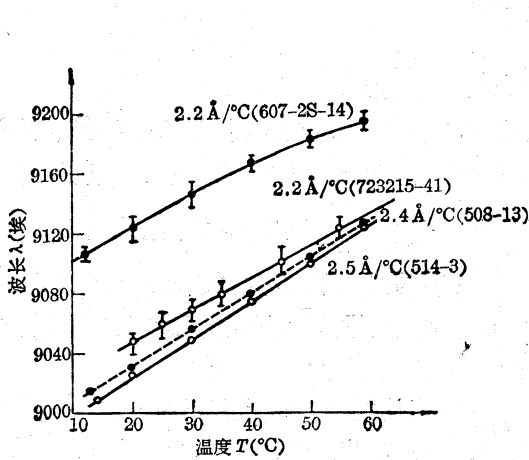


图 7 激射波长随温度的移动  
实验数据点为半宽中点,短竖线为半宽。  
508-13 和 514-3 的半宽略去

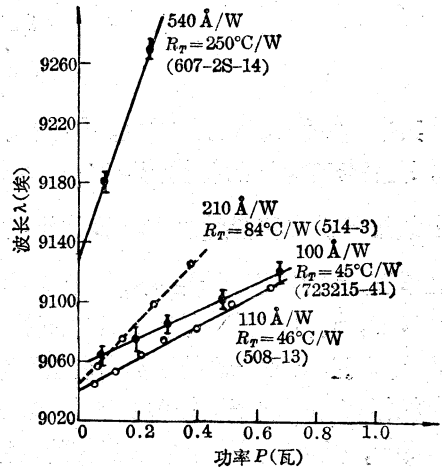


图 8 波长随外加功率的移动及计算的热阻  
实验数据点为半宽中点,短竖线为半宽,508-13、  
514-3 的半宽表示略去

激射波长随温度的变化和结果如图 7。607# 发射波长比较长,是因为有源区生长时熔液中 Si 含量为 6%,其余的为 3%。

波长随外加功率的变化如图 8。器件的  $V-I$  特性如图 9。从  $V-I$  特性还可以得到微分电阻,把上述结果列入表 2。可见前三个器件,串联电阻大的热阻也大,说明串联电阻是影响热阻的一个重要因素。但 321# 热阻最小,串联电阻并不最小,说明决定热阻还有别的许多因素。

本实验中使用的单色仪分辨率较高,重复性较好,因此实验中主要误差是脉冲工作带来的模式跳动和脉冲期间的温升。若采用时间分辨光谱测量,便可以消除脉冲期间温升引起的误差。此外对模式跳动引起的误差进行了算术平均,同时考虑到控温的误差,统计的结

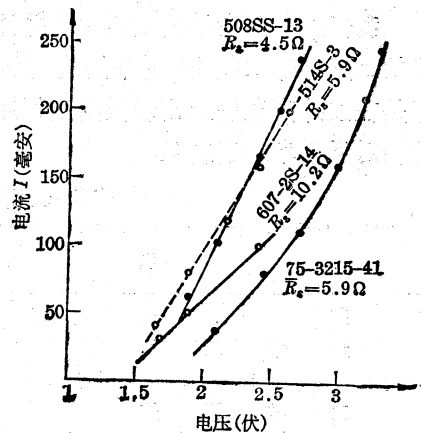


图 9  $V-I$  特性曲线

果表明热阻测量误差不大于5%。

表2 热阻测量结果

器 件	508#	514#	607#	321#
$\Delta\lambda/\Delta T (\text{Å}/^\circ\text{C})$	2.4	2.5	2.2	2.2
$R_T (^\circ\text{C}/\text{W})$	46	84	250	45
$R_S (\Omega)$	4.5	5.9	10.2	5.9*

\* 321#的串联电阻为平均值。

### 三、增益常数 $\beta$ 和吸收系数 $\alpha$ 的测量

GaAs 激光器谐振腔内的增益和阈电流密度满足如下关系:

$$g_{\text{阈}} = \beta J_{\text{阈}}^m$$

$$J_{\text{阈}}^m = \frac{1}{\beta} \left( \alpha + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right) \quad (2)$$

其中,  $g_{\text{阈}}$  为阈值时的增益,  $J_{\text{阈}}$  为阈电流密度,  $R_1$ 、 $R_2$  为端面反射率,  $L$  为谐振腔腔长,  $m \geq 1$ , 取值与有源区的补偿情况有关; 对高补偿有源区情况,  $m=1$ 。  $\alpha$  为器件的损耗系数, 包括自由载流子吸收和衍射损失。  $\beta$  为增益常数,  $\beta = \frac{\eta_{\text{内}} \lambda^2 r}{8\pi e n^2 \Delta \nu d}$ , 其中  $\eta_{\text{内}}$  为内量子效率;  $d$  为有源区厚度;  $n$  为有源区折射率, 等于 3.59;  $r$  与能带中的载流子分布有关 ( $T=0^\circ\text{K}$  时,  $r=1$ )

显然,  $\alpha$ 、 $\beta$  与器件结构和工艺直接有关, 因此测量不同结构及各种不同工艺条件下激光器的  $\alpha$ 、 $\beta$  值, 对激光器的研究有着重要意义。

根据(2)式, 改变谐振腔长度  $L$ , 测量相应的  $J_{\text{阈}}$  值从而得到  $\alpha$ 、 $\beta$  值, 这个方法一般资料都有报导<sup>[5]</sup>, 但由于用这个方法获得的数据是取自同一外延片的不同器件, 如果外延片均匀, 则可以得到比较一致的  $\alpha$ 、 $\beta$  值, 如果外延片不均匀, 数据分散性将很大, 只能得到  $\alpha$ 、 $\beta$  的平均值, 而这样的  $\alpha$ 、 $\beta$  值并不能对所研究的器件的性质作出确切的分析。

资料[6]还报导过改变端面反射率  $R$ , 并测量相应的  $J_{\text{阈}}$ , 从而得到  $\alpha$ 、 $\beta$  值的方法。这个方法只改变激光器的外部环境, 所有数据来自同一器件, 并且能测出各个器件的  $\alpha$ 、 $\beta$  值, 是个较好的方法。

我们采用改变端面反射率, 并测出相应的  $J_{\text{阈}}$  的方法得到了同质结和二种单异质结激光器的  $\alpha$ 、 $\beta$  值。端面反射率的改变是靠把激光器浸泡在不同折射率的溶液中来实现的。阈电流是在红外变象管上出现激射图样时的电流。实验使用的溶液和空气的折射率以及对 GaAs 的相对反射率示于表 3。

表3 几种材料的折射率和对 GaAs 的反射率

材 料	折 射 率 $n$	反 射 率 $R_1$
空 气	1.000	0.317
无 水 乙 醇	1.362	0.201
苯	1.501	0.169
二 碘 甲 烷	1.743	0.119

注: 激光器另一端面用蒸发的方法镀 SiO 后再镀金, 其反射率  $R_2=0.85$ 。

实验中所用的三种器件(见本文第一部分提到的  $a$ 、 $b$ 、 $d$  三种器件)都是用液相外延生长的。同质结器件是在  $p$  型衬底上外延  $n$  型 GaAs, 生长温度  $850^{\circ}\text{C}$ 。晶体生长成结之后热处理 90 分钟。有源区为补偿的  $p$ -GaAs。单异质结(1)器件是在  $n$ -GaAs 衬底上, 在  $850^{\circ}\text{C}$  低温下进行多层外延生长, 然后热处理 90 分钟, 有源区为补偿的  $p$ -GaAs 和生长的  $p$ -GaAs。单异质结(2)器件是在  $n$ -GaAs 衬底上于  $1000^{\circ}\text{C}$  高温下生长  $p$ -GaAlAs, 有源区为补偿的  $p$ -GaAs。

实验装置简图如图 10, 测量结果如图 11, 根据(2)式计算的  $\alpha$ 、 $\beta$  列在表 4 中。

从图 11 可以看到, 对同种器件, 谐振腔较长的, 其阈电流密度较低。实验数据点都在同一直线上说明取  $m=1$  是合理的。

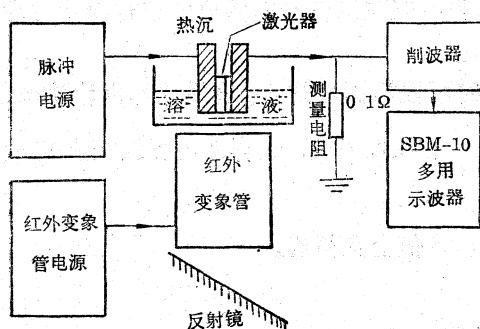


图 10 实验装置简图

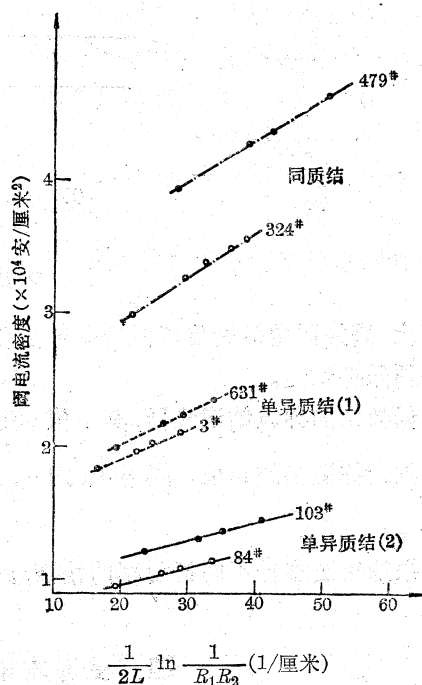


图 11 阈电流密度与腔长及反射系数的关系

表 4 几种激光器的  $\alpha$ 、 $\beta$  值 ( $300^{\circ}\text{K}$ )

器件种类	同质结		单异质结(1)		单异质结(2)	
管号	324*	479*	003*	631*	084*	103*
腔长(微米)	290	220	400	340	340	280
$\alpha$ (厘米 <sup>-1</sup> )	76	88	59	62	52	64
$\beta$ ( $\times 10^{-3}$ 厘米/安培)	3.3	3.0	4.2	4.1	7.5	7.1

同质结激光器的载流子限制和光限制都比较差, 所以吸收系数较大, 而增益常数较小。单异质结(1)激光器由于  $p$ - $n$  结距 GaAlAs-GaAs 异质结界面比较远, 所以载流子限制虽比同质结器件强, 但作用仍不十分显著, 不过在该种器件中光限制作用比同质结器件强, 这样就使增益常数略有增加而吸收系数明显下降。单异质结(2)器件载流子限制和光限制都最强, 因此阈电流密度最低, 并得到高的增益常数和低的吸收系数。

由于把激光器浸泡在不同折射率的溶液中, 反射率引起  $\frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2}$  的变化较小, 因此阈电流的变化并不很大, 为了使上述测量有效, 关键是精确测量激光器在不同折射率的溶液中阈电流的变化。我们采用如图 12 所示的削波方法把波形(a)的阴影部分去掉, 只放大顶部, 这样可提高测量灵敏度。实验线路如图 12(b) 所示, 图中, A 点为调节削波电位。

采用上述线路适当调节线性范围,使测量电流的灵敏度达到 0.1 安培,这样的灵敏度对目前这种器件的测量是足够的。如果将 0.1 欧姆测量电阻加大,则测量灵敏度可以相应提高,而且如果选择击穿特性更硬的器件代替 3DK2A 的发射结二极管,则测量精确度也可以相应提高。

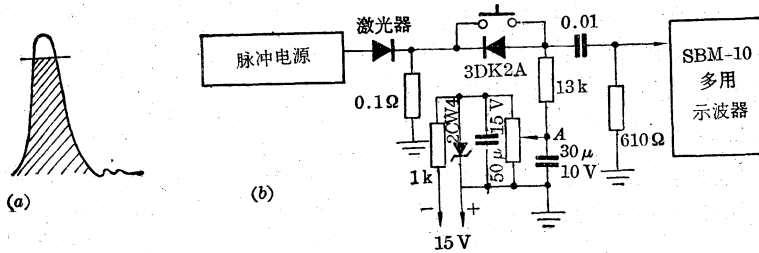


图 12 削波示意图

其次,因为阈电流密度随温度指数变化,所以实验中应注意在不同溶液中进行测量时环境温度必须保持恒定。

对低掺杂的异质结激光器,其  $m$  值不等于 1,此时可根据测量的  $J_{\text{阈}}$  值用计算机计算  $m$  值,或尝试法选择适当的  $m$  值,使得  $J_{\text{阈}}$  为  $\frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2}$  的线性函数,这样即可得到相应的  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $m$  值。

如果选用更多种不同折射率的溶液,则测得的  $\alpha$ 、 $\beta$  值会更精确。

#### 四、受激发射延迟时间 $t_d$ 的测量

测量激光器受激发射延迟时间,可获得激光器有源区的平均自发载流子寿命。在不同温度下,对于不同结构,不同掺杂剂<sup>[7]</sup>以及在退化中<sup>[8]</sup>的激光器受激发射延迟时间不同。通常在室温下  $t_d$  约几毫微秒,在较高温度下可出现反常现象,  $t_d$  可以达到几十至一百多毫微秒。

注入有源区的电子和光波的电磁场相互作用的时间由导带电子弛豫时间决定,约  $10^{-12}$  秒。因此受激发射光的上升时间是非常快速的。建立延迟时间的测量,其高速的光脉冲可用以测定光接收器的响应。其高速的电流脉冲可用以研究受激发射的过渡特性。所以延迟时间测量的建立是十分有益的。

当激光器正向注入一个大于激光器阈值的阶跃脉冲时,受激发射不是马上发生,要经过一段时间延迟。当不存在陷阱时,这个时间主要取决于注入载流子在有源区达到阈值粒子数反转需要的时间,延迟时间和自发载流子寿命及激励电流之间的关系如下<sup>[9]</sup>:

$$t_d = \tau_s \ln \frac{I}{I - I_{\text{阈}}} \quad (3)$$

其中:  $t_d$ ——延迟时间,  $\tau_s$ ——自发载流子寿命,  $I$ ——激励电流,  $I_{\text{阈}}$ ——阈电流。

实验装置原理如图 13 所示,由阻塞振荡器产生的重频脉冲加入 SQ7150 取样示波器的同步触发输入,同步触发输出的脉冲触发具有雪崩特性的开关三极管 3DK9D, 3DK9D 基极被二极管  $D$  箝位在  $-0.3 \sim -0.7$  伏,使三极管置于截止状态。  $Z_0 = 50\Omega$ 、10 米长的高频电缆始端和终端并联连接,作为特性阻抗  $25\Omega$  的脉冲形成线,这样连接可以避免截得的二根电缆长度的误差而引起的脉冲后沿变坏。  $10\Omega$  电阻为调整负载匹配用。 3DK9D 的雪崩击穿电压要求



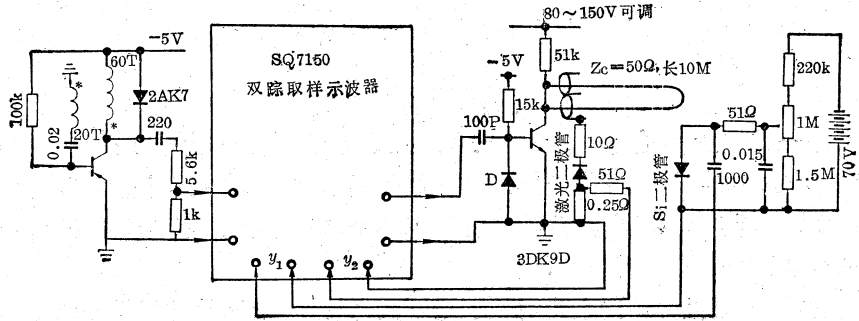


图 13 测量延迟时间原理

>120 伏，产生的矩形脉冲上升时间约 1 毫微秒，宽度为 50 毫微秒，最大电流输出达 4 安培。如果用阶跃二极管进行整形还可得到更好的前沿。

测量延迟时间使用雪崩硅光二极管(型号 APD-200A, 上升时间 < 0.5 毫微秒)和 SQ7150 双踪取样示波器高阻抗输入, 带宽 1 千兆赫。电脉冲和光脉冲各用 0.5 米长阻抗 50 欧姆的高频电缆, 连到示波器的二个通道。

实验使用高温生长的单异质结激光器(如串联电阻测量中第二种单异质结激光器), 管号 132#, 台面宽度 ~ 80 微米, 腔长 300 微米, 阈值电流为 2.36 安培。测量结果列在表 5 中并由图 14 表示, 由  $t_d - \frac{I}{I - I_{\text{阈}}}$  关系的直线斜率得到平均自发载流子寿命  $\tau_s \approx 5.4$  毫微秒。

表 5 延迟时间和注入电流之间的关系

$I(\text{A})$	2.40	2.48	2.56	2.64	2.72	2.88	3.20
$\frac{I}{I - I_{\text{阈}}}$	60	27	12.8	9.4	7.6	5.5	3.8
$t_d(\text{毫微秒})$	22	18	15	13	11	9	7

实验中观察到以下结果: (1) 注入电流增加达到阈值粒子数反转需要的时间减小, 延迟时间减小(如图 14), (2) 电流脉冲和光脉冲的后沿时间在改变脉冲电流的过程中不变。光脉冲的宽度随注入电流增加而增加, 一定注入电流下光脉冲宽度加延迟时间等于注入电流脉冲宽度, 由此说明电流脉冲的开始部分的注入电子, 提供了非辐射复合和用来填充有源区的导带直到导带准费米能级以下的能级都填满时才开始受激辐射。

为了减小延迟时间, 可以预先加上一个接近阈值的电流  $I_0$ , 这样

$$t_d = \tau_s \ln \frac{I_p}{I_p - (I_{\text{阈}} - I_0)} = \tau_s \ln \frac{I - I_0}{I - I_{\text{阈}}} \quad (4)$$

其中  $I = I_0 + I_p$ ,  $I_p$ ——超过  $I_0$  的脉冲峰值电流。当预激励电流接近  $I_{\text{阈}}$  时, 延迟时间可以减小到很小。

辐射复合寿命、非辐射复合寿命和器件内量子效率之间有如下关系;

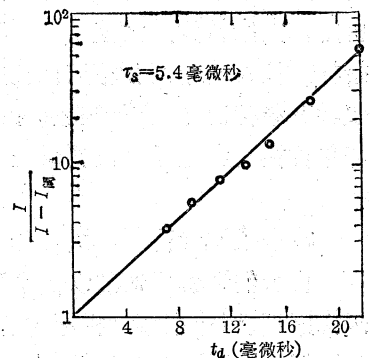


图 14  $t_d$  与  $\frac{I}{I - I_{\text{阈}}}$  的关系

$$\eta_i = \frac{1/\tau_r}{1/\tau_{nr} + 1/\tau_r} = \frac{\tau_{nr}}{\tau_r + \tau_{nr}} \quad (5)$$

$$\frac{1}{\tau_s} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}} \quad (6)$$

其中  $\tau_{nr}$ ——非辐射复合寿命,  $\tau_r$ ——辐射复合寿命,  $\eta_i$ ——内量子效率。在(5)和(6)两式中  $\eta_i$ <sup>[4]</sup> 和  $\tau_s$  可以被测量, 因此我们就可以获得  $\tau_r$  和  $\tau_{nr}$  二个物理量。随着器件的退化,  $\tau_s$  减小,  $\tau_r$  为常数, 所以  $\tau_{nr}$  减小。说明器件的退化直接由于有源区的材料完整性的破坏(如位错和黑线的增加)引起。

需要说明的是, 当激光器的响应时间确定以后, 上述实验装置可以用来测定光接收器的响应时间。

### 参 考 资 料

- [1] C. A. Mead, "In Ohmic Contacts to Semiconductors", (B. Schwartz, ed.)p3. (1969).
- [2] K. L. Klohn; *J. Electrochem Soc.*, 1969, **116**, 507.
- [3] H. Matiro; *J. Electrochem Soc.*, 1969, **116**, 709.
- [4] 王仲明, 张敬明, 《物理》, 1975, **4**, No. 6, 326.
- [5] E. Pinkas et. al.; *J. Appl. Phys.*, 1972, **43**, 2827.
- [6] F. K. Reinbart et. al.; *J. Appl. Phys.*, 1971, **42**, 4466.
- [7] J. C. Dymont, J. E. Ripper, T. P. Let; *J. Appl. Phys.*, **43**, p. 452~457(1972).
- [8] N. Chinone et al.; *IEEE. J. Quantum Electronics*, **QE-10**, No. 1, p81.
- [9] K. Kounerth, C. Lanza, *Appl. Phys. Lett.*, **4**, No. 7, p. 121(1964).

## 大型千分尺不平行度激光检查仪鉴定会在天津市召开

1977年7月1日至7日在天津市召开了“大型千分尺不平行度激光检查仪”的鉴定会。这次会议在全国正在准备迎接“全国科学大会”召开之际, 由天津市科学技术局领导下进行的。会议邀请了全国15个省市的计量管理部门, 工厂、科研单位和大专院校等37个单位, 52名代表参加。

会议期间, 代表们认真学习了华主席“关于召开全国科学大会”的重要指示, 在华主席重要指示的鼓舞下, 代表们心情舒畅, 精神振奋, 以实际行动响应华主席的号召, 认真细致地对大型千分尺不平行度激光检查仪的原理、计算公式、结构、性能、测量精度、稳定性进行了全面地鉴定, 大家认为: 大型千分尺不平行度检查仪符合检查一级大型千分尺测量面不平行度设计指标。仪器的精度和稳定性良好, 测量原理和计算公式正确; 大型千分尺不平行度激光检查仪具有结构简单, 制造容易, 操作方便等特点。它适合于工厂计量部门, 车间和量具制造工厂等单位检查大型千分尺测量面不平行度的。为解决大型千分尺不平行性检定提供了又一新途径。

检查仪测量范围: 满足150~1000毫米一级千分尺检查要求。

代表们还就仪器的缺点和不足提出了改进和完善的意见。参加研制仪器的单位天津市第四机床厂、天津市第六机床厂、南开大学物理系和天津市计量管理所, 都表示向兄弟单位学习, 共同努力, 尽快使我国第一台大型千分尺不平行度检查仪进一步完善和提高, 为实现我国四个现代化而努力奋斗。