

半导体激光器的性能、使用方法 及其在工业中的应用(上)

中国科学院上海光机所半导体激光组

在毛主席革命路线的指引下,我国半导体激光技术正在蓬蓬勃勃地向前发展。越来越多的工业部门正在应用或试用半导体激光器,并取得了良好的初步结果。越来越多的工人同志掌握了半导体激光技术并把它应用到生产实际中去。为了使半导体激光技术能更好地“为无产阶级政治服务,为工农兵服务,与生产劳动相结合”,我们编写了这个材料,供同志们参考。这篇文章主要介绍可在室温脉冲运转的同质结、单异质结半导体器件的特性、使用方法和在工业中的一些应用。

半导体激光器自1962年问世以来,至今已有十多年的历史了。十多年来,半导体激光器有了很大的发展,已经有很多材料可以用来制作半导体激光器,激励方式也有多种,如光激励、电子束激发、电注入等。在所有这些半导体激光器当中,砷化镓(GaAs)注入式激光器发展最早,也最成熟,目前,已经在很多方面得到了应用。

砷化镓注入式激光器也有多种,最初发展起来的是同质结,1969年出现了单异质结,1970年又出现了双异质结,此外还有所谓大光学腔激光器。同质结、单异质结器件可在室温脉冲运转,双异质结可在室温连续运转,大光学腔激光器可以更低的阈值、更高的功率在室温脉冲运转。

一、砷化镓激光器的基本特性

砷化镓注入式激光器,是一种 $p-n$ 结型的器件,如图1(a)所示。 $ABCD$ 和 $A'B'C'D'$ 面是严格平行的两个解理面,构成了激光器的谐振腔。另外两侧比较粗糙,由光刻方法获得。在正向注入一定大小的电流脉冲之后,从两端解理面($ABCD$ 面和 $A'B'C'D'$ 面)都可输出波长约为9000埃的光脉冲。所谓同质结,就是 p 区和 n 区都由同一种材料——砷化镓组成,参见图1(b)。同质结的发光区在 $p-n$ 结附近靠 p 区的一侧,宽度约2~3微米。同质的 $p-n$ 结,可用扩散的方法获得,也可用液相外延的方法获得。扩散的同质结激光器阈值较高,光功率随温度的变化较大,但工艺简单,价格便宜,利于大量推广和小型应用。1969年出现的单异质结器件如图1(c)所示。它是用液相外延的方法获得的。在 n 型砷化镓的衬底上,外延一层镓铝砷(GaAlAs),在外延过程中, p 型杂质Zn同时向 n 区扩散,结果形成宽度约2微米的发光区。由于镓铝砷的禁带宽度比砷化镓大,其折射率比砷化镓小,所以,这一层的存在就对注入到 p 区的电子和在 p 区产生的光子都有限制作用,阻止它们扩散和泄漏到 p^+ 区去,这就可以大大提高激光器的发光效率,降低阈值,同时,使温度特性也有了改善。但同扩散的同质结比

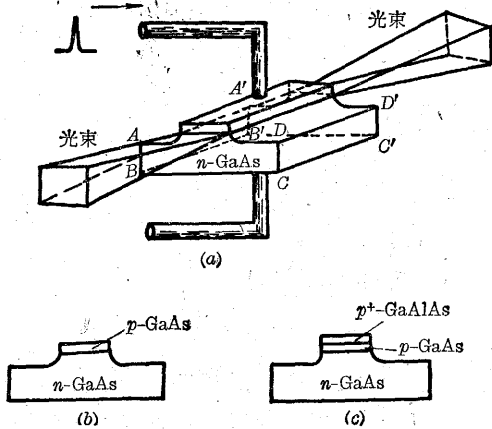


图1 砷化镓激光器结构示意图

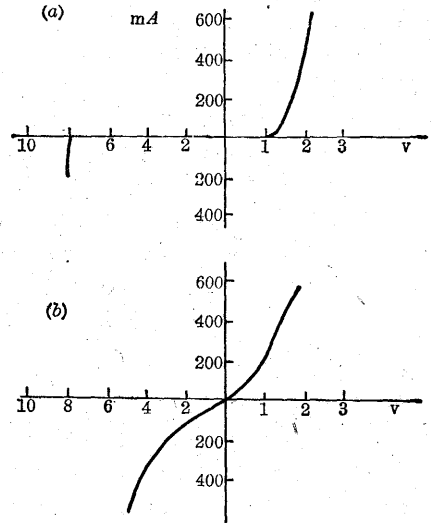


图2 砷化镓激光器伏安特性

较起来,工艺复杂且较难控制,因而目前成品率较低而成本较高。

下面就来简单介绍一下同质结、单异质结激光器的基本特性。

1. 伏安特性

因为砷化镓激光器是一种 $p-n$ 结型的器件,所以,它同一般二极管一样,具有单向导电性。其伏安特性如图2所示。用万用表测量激光器的正向电阻约为几百欧姆,其反向电阻约为几千欧。砷化镓激光二极管的反向击穿电压约为7~8伏。一般说来,好的激光器具有较硬的

伏安特性(图2(a)),退化了的激光器,伏安特性就可能变软了(图2(b))。

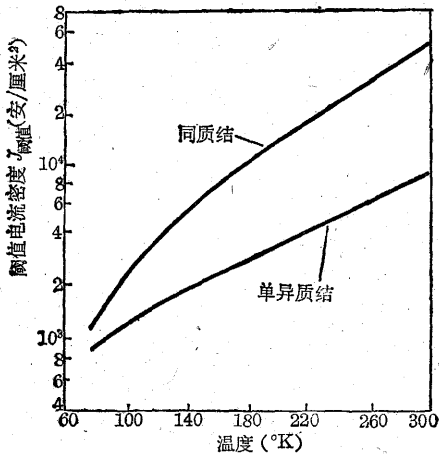


图3 不同结型激光器的阈值电流密度随温度的变化

2. 阈值

砷化镓激光器在正向注入一个脉冲电流时,用红外变象管可观察到如下现象:在峰值电流小于某值时,基本上不发光或只有较弱的荧光。当电流峰值逐渐增大到某值时,在红外变象管上就突然出现一个很亮的亮点,这表明激光器开始受激。我们就称激光器开始受激时的峰值电流为阈值电流 $I_{\text{阈值}}$,除以激光器的面积就得到阈值电流密度 $J_{\text{阈值}}$ 。 $J_{\text{阈值}}$ 和温度有密切关系。图3所示的是不同结型激光器的阈值电流密度 $J_{\text{阈值}}$ 和温度之间的关系曲线。目前,在室温下,一个长0.2毫米、宽0.2毫米的激光器,其阈值电流,扩散的约为30~40安培,单异质结的约为10~20安培。

3. 光功率

当正向注入的脉冲电流大于阈值电流时,激光器就会从谐振腔的两端辐射脉冲光。目前,我们只利用其中的一端。光功率的大小同激光器的尺寸有关,大的激光器可输出大的光功率,反之,输出较小。可用校准好的光电管(或光电倍增管)来测量这脉冲光的峰值功率 W_p 。为方便起见,也可用光电池测量,然后换算成峰值功率。目前,同质结、单异质结激光器的峰值功率

W_p 约为 10 瓦左右, 其平均功率仅为毫瓦量级。一个峰值功率为 7~8 瓦的激光器, 可在 20 公里的距离上实现光通话。

激光器的峰值功率 W_p 同注入的峰值电流 I_p 有如图 4 的关系。一般认为, 激光器应该工作在这个曲线的线性段, 工作电流为阈值电流的 2~3 倍。如果工作电流太大, 一方面光功率增加较少, 另一方面还可能烧坏器件。

光功率除了同峰值电流有关, 还同环境温度有关。图 5 曲线 1 是在工作电流不变时, 扩散型激光器的 W_p 随环境温度变化的曲线。环境温度升高, 光功率下降。这是由于激光器阈值随温度升高所致。

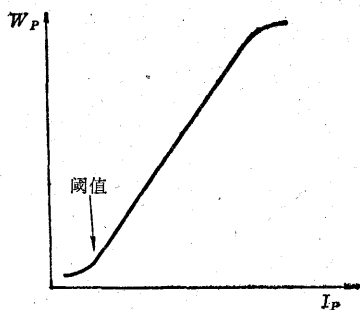


图 4 温度不变时, 激光器峰值功率同峰值电流之间的关系。

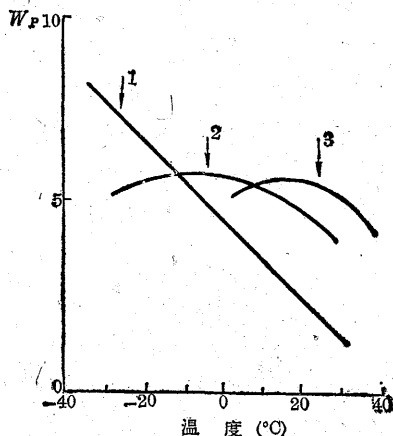


图 5 电流不变时, 峰值功率 W_p 随环境温度的变化(曲线 1); 串接热敏电阻 R_0 后, 得曲线 3; 再并接锰铜丝 R_M 后得曲线 2。

如果激光器的重复频率较高, 散热条件又不好, 这样, 在一个电流脉冲内所产生的热量, 就可能来不及在下一个脉冲来到前散掉, 从而使激光器的结温升高。在这种情况下, 尽管环境温度不变, 光功率还是要有一定程度的下降。当结附近达到热平衡时, 这种下降才会终止, 输出便稳定下来。这种情况如图 6 所示。重复频率越高, 环境温度越高, 工作电流越大, 散热条件越差, 这种下降现象就越严重。室温下, 几百周工作时, 这种现象是不显著的。如果这种现象严重, 则应该注意改善散热。因为发光区离 p 区边界较近(约 10~20 微米), 离 n 区边界较远, 约 100 微米, 且 p 区热导又比 n 区好, 所以, 激光器所产生的热量大部分是从 p 侧散去的。因此, 应该特别注意 p 侧的散热条件。

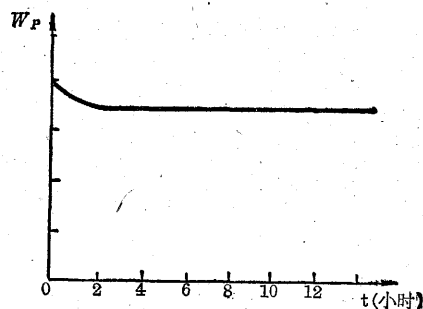


图 6 在高复频率, 散热较差的条件下, 激光器峰值功率 W_p 随工作时间变化的示意图

上述激光器的光功率随环境温度或结温的变化, 是可以恢复的。温度或结温升高时, 光功率下降, 反之升高。但激光器本身并没有遭到破坏。在工厂里, 常遇到这种情形: 一台样机, 运转几个小时之后, 就不正常了。但只要休息一段时间, 就又能工作。这是由于热效应引起功率变化的一个证明。

还有一种情形: 在环境温度、结温、工作电流都不变的情况下, 光功率缓慢下降。休息一段时间之后, 也不能恢复。这种情况表明, 激光器本身遭到了缓慢的破坏。一般说来, 这个过

程是很长的。由开始时的光功率值,缓慢地下降到原来光功率值的一半,就是通常人们所说的寿命。

4. 近场图样

如果用普通的光学显微镜去观看半导体激光器的解理面,当注入电流大于阈值时,则用肉眼能看到一条红线,其长度随激光器大小而定。实验表明,这条红线的波长在室温下为 9000 埃。因为其很强,所以能引起人眼感觉。如果继续增大电流,光功率当然也增大,这时,除看到一条红线外,可同时看到一条紫色的线。光谱测试表明,这正是 9000 埃的倍频,其波长为 4500 埃,这是半导体激光器非线性效应的一个例证。

一般情况下,应当尽量避免直接用人眼通过显微镜去观察激光器的近场图样。因为其发光区很小,光流密度很大,可达 10^6 瓦/厘米²,这样高的亮度可能于人眼不利。当然,偶尔地短时间地去观察一下也是可以的。通常借助于红外显微镜来研究激光器的近场图样。图 7 是一张近场图样照片。背面用灯泡照明,一部分光(红外光)透过 n 型 GaAs,但不能透过 p^+ -GaAlAs 和 p -GaAs,所以 p 区全黑, n 区较亮。由照片看,发光较均匀,差的激光器发光是不均匀的。

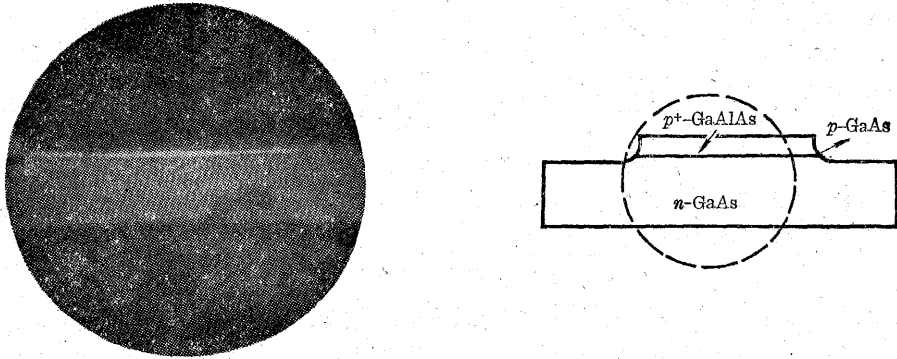


图 7 砷化镓激光器的近场图样

5. 发散角

由于激光器发光区很小,所以所发出的光有严重的衍射现象。一般说来,如果模式简单,

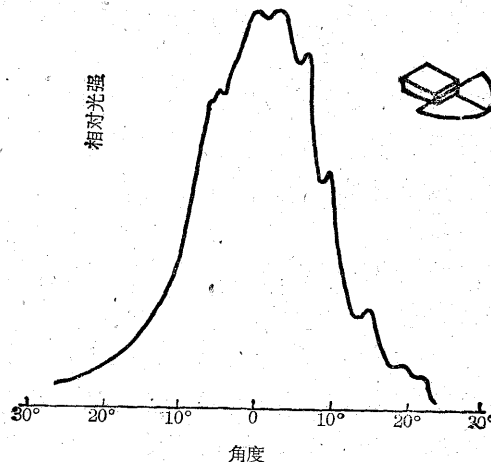


图 8 砷化镓激光器在结平面内的光强分布,不同工作电流、不同器件的光强分布是不一样的

垂直于结的发散角 θ_{\perp} (半功率点之间的夹角) 远大于平行于结的发散角 θ_{\parallel} , 但是, 当注入的脉冲电流增大时, 被激励的模式就越多, θ_{\parallel} 也随着增大, 到一定程度时, 与 θ_{\perp} 几乎相等, 因此, 目前在工业上试用的半导体激光器, 可粗略地认为 θ_{\perp} 、 θ_{\parallel} 是差不多相等的, 一般为十几度, 图 8 是某一器件在平行于结的平面内的光强分布。当然, 不同器件是不一样的。

6. 波长

化镓激光器所发出的光是不可见的近红外光, 光谱测试的结果如图 9 所示。室温时, 峰值为 9000 埃左右, 二次谐波(4500 埃)是很弱的。9000 埃的带宽约为 30 埃左右。砷化镓激光器的波长也同温度有关, 这是由于 GaAs 的禁带宽度随温度变化而引起的。温度升高, 波长向长波移动。室温附近, 每升高 1°C , 约移动 2~3 埃。

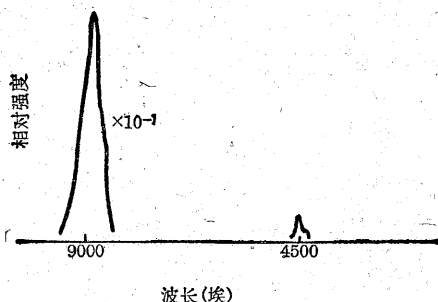


图 9 室温下砷化镓激光器的输出光谱

内蒙古召开激光工作座谈会

内蒙古自治区激光工作座谈会于 1975 年 7 月 24 至 25 日在内蒙古大学召开。区内有关工厂、医院、机关、研究所和高等学校共四十一个单位的六十名代表出席了会议。代表们畅谈了在学习无产阶级专政理论运动的推动下, 在毛主席革命路线的指引下, 内蒙古自治区激光工作飞速发展的大好形势。近年来, 内蒙古自治区在激光器件、激光仪器以及激光在工、农业方面的应用都有着飞速的发展。在激光准直仪、激光准直经纬仪、液体激光显微光谱分析、二氧化碳激光器、激光育种和激光手术等方面都取得了很大的成绩。会议认为, 今后必须结合本地区的特点, 自力更生, 艰苦奋斗, 发挥更大的革命干劲, 多快好省地把激光在国民经济各部门的应用推广开来, 为促进社会主义建设事业的发展而贡献力量。