

激光二极管的芯片结构与激光的模式

1. GaAlAs激光二极管的结构

首先，P型有源层产生受激辐射实现光学放大（图1 (a)）。这里的P-N结（P-N异质结）用于注入少数载流子。当正向电流作用于P-N结时，N型区的电子注入到P型区。在P-N结（异质隔离结）的另一侧有一个宽带隙的P型半导体导管，注入的载流子大多被限制在P型有源层内。这种载流子限制使得粒子数反转很容易发生，从而增加了发光强度。

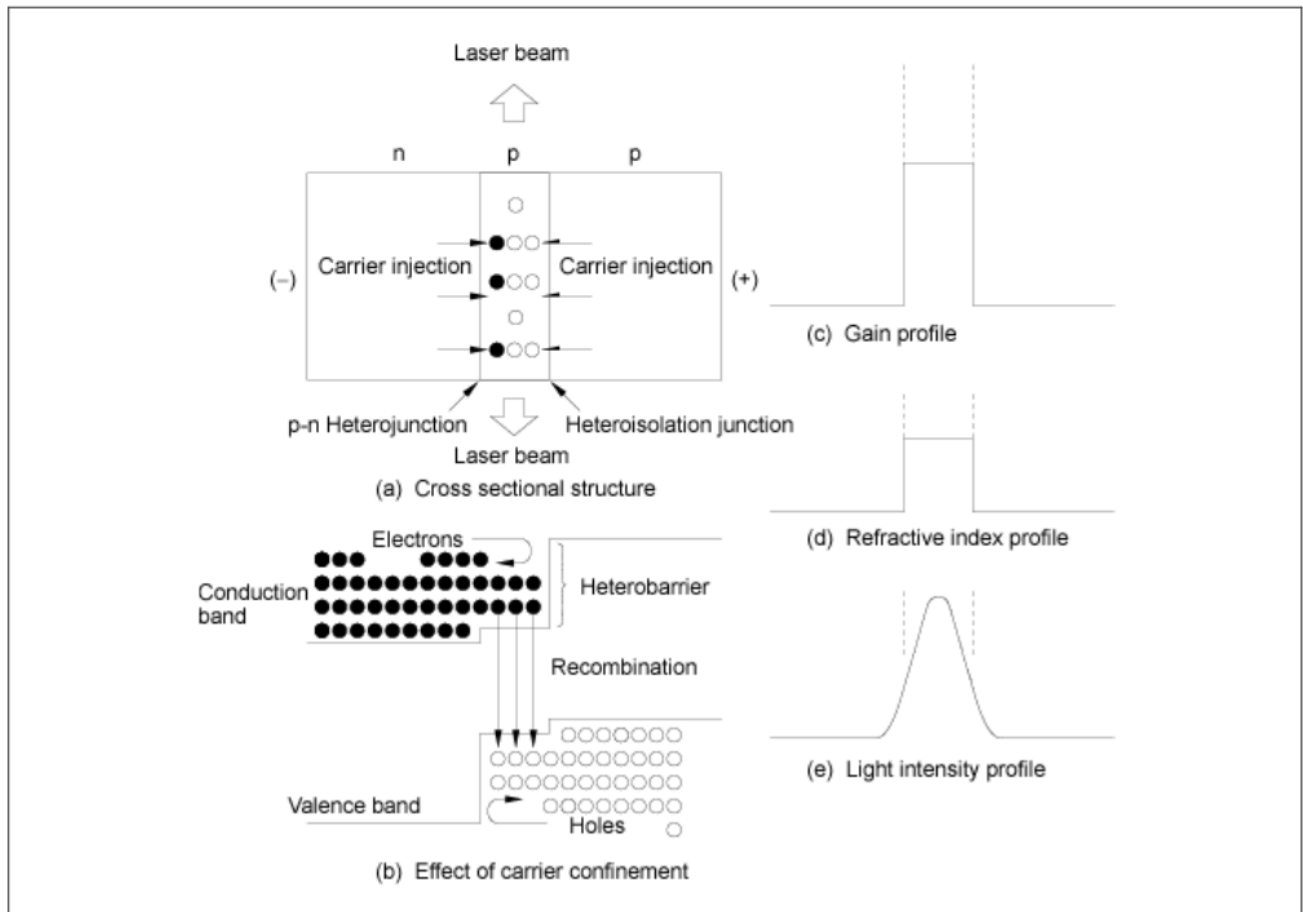


Figure 1 Operation Principles of Double-hetero junction LD

GaAlAs激光二极管的有源层由 GaAs 或 $Ga_{1-y}Al_yAs$ 制成 (图2), 厚度约0.05到0.2 μm . P型 ($Ga_{1-x}Al_xAs$) 和N型 ($Ga_{1-x}Al_xAs$) ($x>y$) 夹住有源层 (这里的x和y是Al的掺杂比例)。当x为0.3时, 夹层的总带隙为1.8eV, 且GaAs有源层的带隙在0.4eV与1.4eV之间存在平衡。当施加正向偏压时, 异质势垒将载流子限制在0.05到0.2 μm 的有源层内, 载流子数量反转, 增益增加。GaAs的折射率比 $Ga_{1-x}Al_xAs$ 的折射率高出百分之几, 这使得产生的光被限制在GaAs有源层内。由于 $Ga_{1-x}Al_xAs$ 具有宽带隙, 透射到其中的光不会被吸收, 因此激光在那里可以有效地振荡。较薄的有源层 (称为多量子阱结构) 可以用较低的阈值电流密度来实现激光振荡。目前, 低至1到2 kA/cm^2 的阈值电流密度在室温下的稳定连续振荡已经实现。

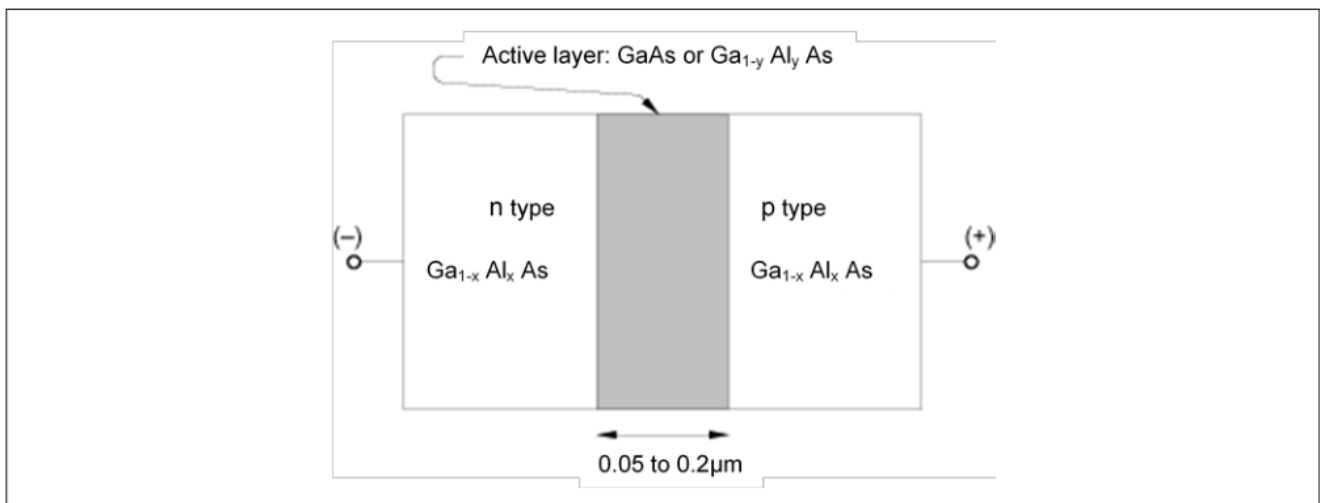


Figure 2 GaAlAs DH Structure LD

2. 激光的模式

在激光振荡下，光在激光腔中来反射时，其波前产生平行于镜面的驻波。此驻波由纵模和横模组成（图3）。纵模表示驻波在腔长方向上（z轴方向）的状态，横模表示驻波在垂直腔长方向的轴向上的状态。横模分为垂直于有源层的垂直横向模式和垂直于有源层的平行横向模式。

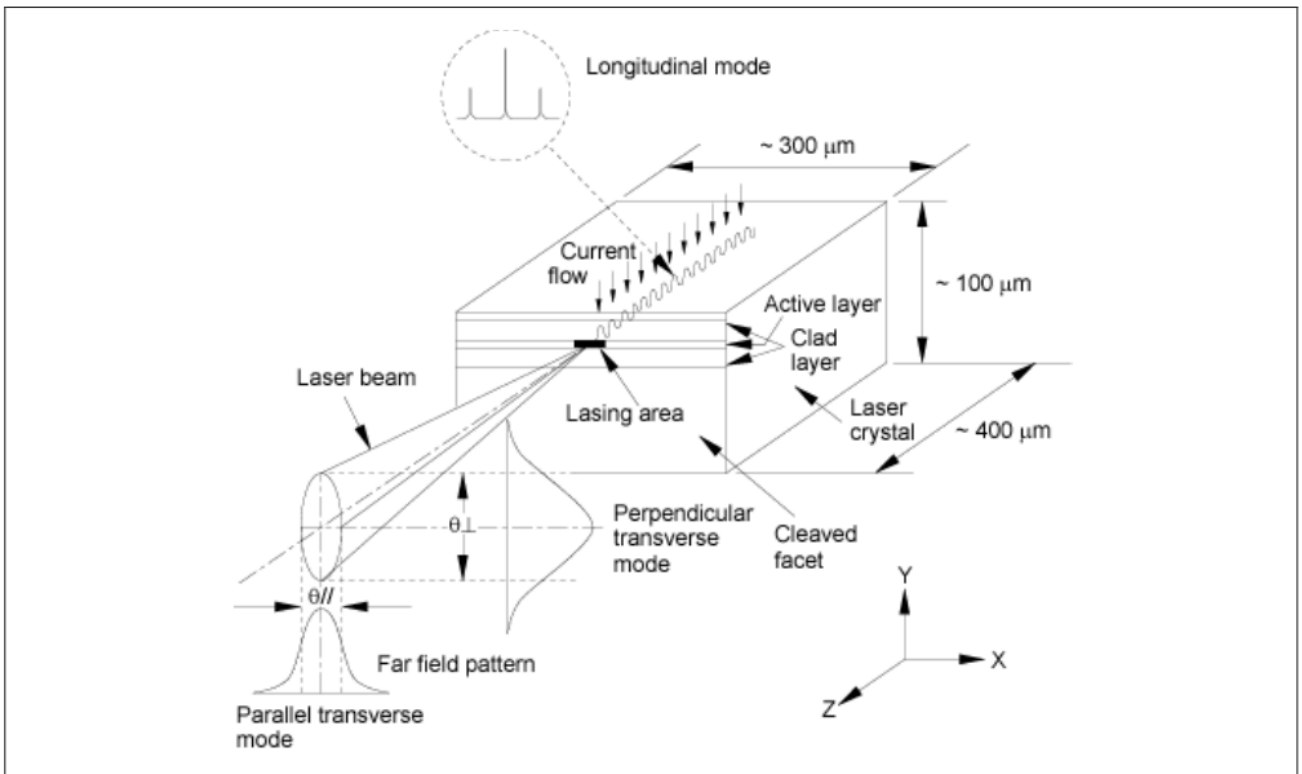


Figure 3 Lasing Mode of LD

2.1 纵向模式

图4 (a) 显示半波长乘以整数 q 的驻波在激光腔的腔长方向（ z 轴方向）形成。当介质的折射率为 n ，真空中的波长为 λ 时，光在介质中的波长 λ' 可以表示为： $\lambda' = \lambda / n$

则半波长可以表示为： $\lambda' / 2 = \lambda / 2n$

如以上所述，半波长乘以一个整数 q 与腔长 L 相等 $q \cdot \lambda / 2n = L$

对于半导体激光二极管，当 λ 为635nm， n 为3.5， L 为400 μm 时， q 约为4400。这个 q 被称为模式号。当模式号 q 变化1时，波长变化量 $\Delta\lambda$ 表示为： $|\Delta\lambda| = 0.144 \text{ nm}$

由于腔体长度要比波长大的多，谐振可以在多个波长上发生，而腔增益最大的特定波长将产生稳定的驻波。对于半导体激光二极管，当温度变化时，带隙能量的变化会引起最大增益的波长的改变。对于GaAlAs DH结构的激光，这个温度系数约为0.20nm/ $^{\circ}\text{C}$ 。因此，温度上升会使谐振波长以 $\Delta\lambda (\approx 0.144 \text{ nm})$ 的间隔向上跃升。为了在连续工作的情况下获得更高的光输出功率而增加注入电流时，有源层的温度升高，也会发生同样的现象。

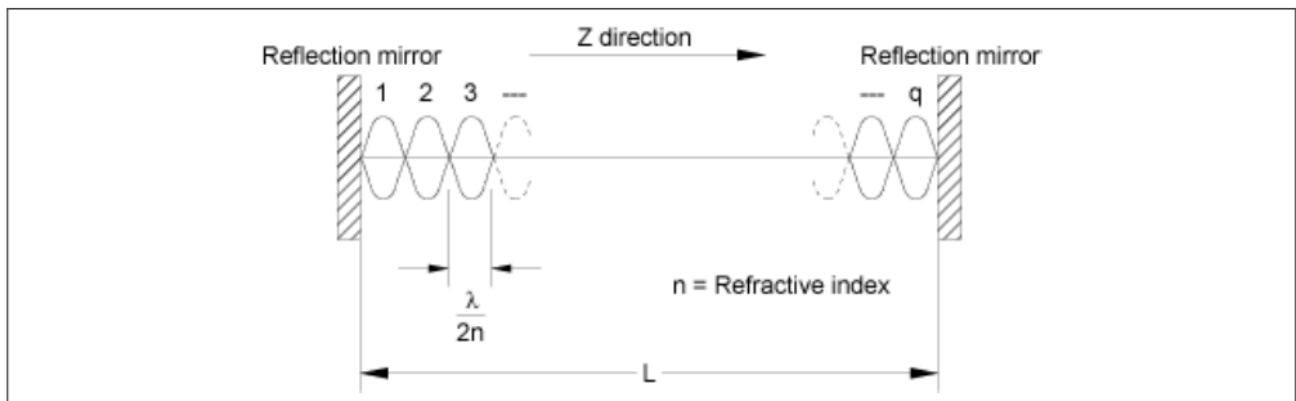


Figure 4 Longitudinal Mode of LD

2.2 垂直横向模式

在GaAlAs激光二极管中，有源层被异质结夹住（图5）。因为有源层的折射率比外层的GaAlAs层高，所以光被限制在有源层内。被限制在有源层内的光的数量取决于其厚度，越厚能限制的光越多。如果有源层的厚度太薄，光也会穿透到外层。激光束发散的宽度取决于有源层的厚度，当厚度为0.3到0.4 μm 时，宽度最窄。在这个宽度下，从切割面发射的激光束的辐射角变得最宽。通常，在半导体激光器中，因为装置中的激光束截面宽度等于或小于激光的波长，激光束的辐射角会变得非常宽。这与传统的气体激光器或固态激光器有很大的不同。

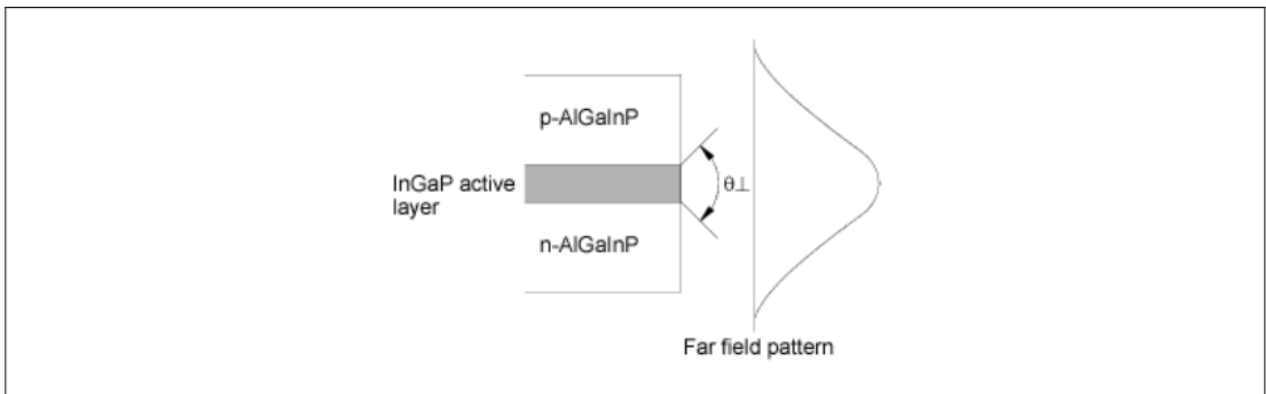


Figure 5 Perpendicular Transverse Mode

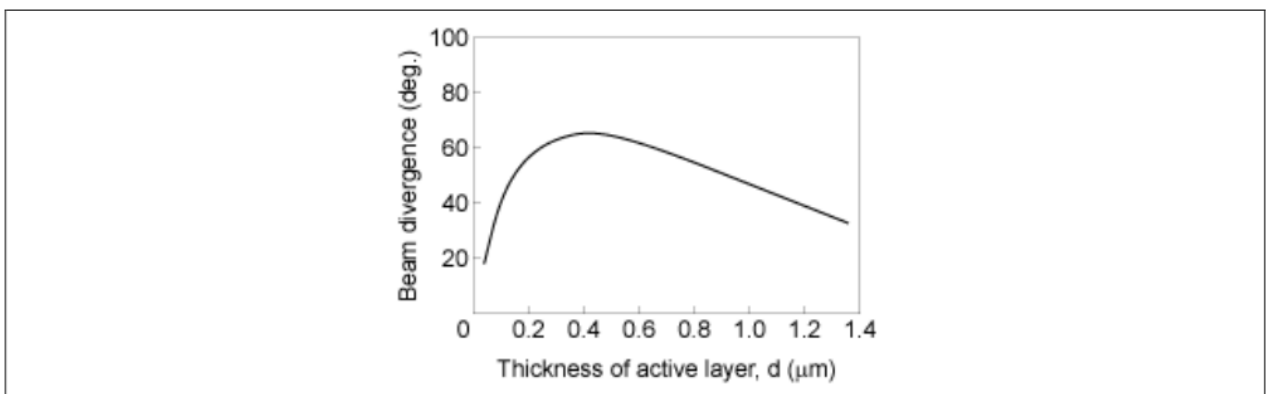


Figure 6 Thickness of Active Layer vs. Beam Divergence

2.3 平行横向模式

因为在有源层中没有任何东西可以引导光沿着与结平行的方向传导，所以必须以某种方式构建波导。当注入电流被限制在一个足够窄，且腔长足够长的范围时，激光振荡就会在这个区域内发生（图3）。图7显示了仅限制电流通过的基本条纹结构。

为了能更有效地控制横模，在条纹结构中还应建立折射率分布或光损耗分布。图8显示了这种结构的例子。

图8描述了一个脊状激光器。穿透有源层的光被阻断层吸收，因此，反射率分布在条纹区域建立。

这些结构波导稳定了单基波横模。

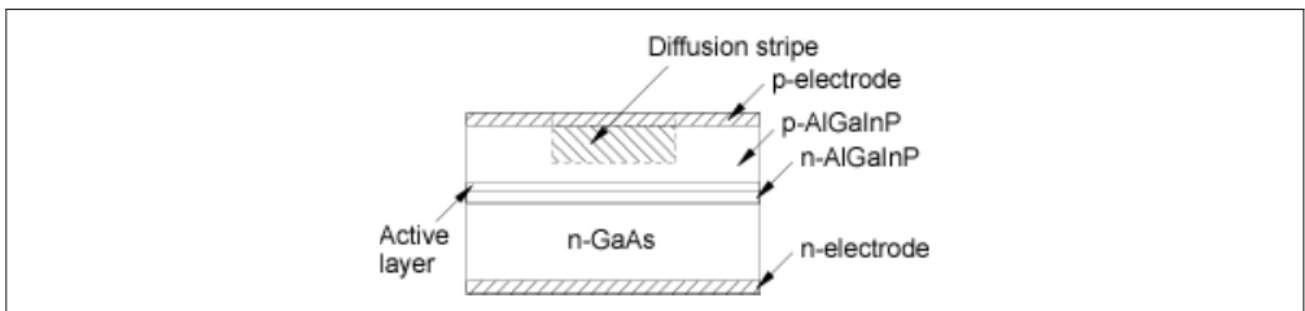


Figure 7 Basic Strip LD

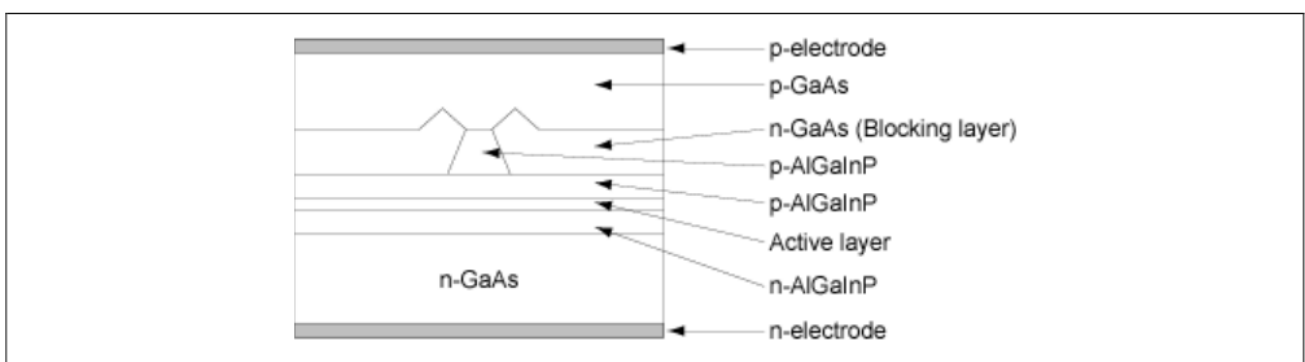


Figure 8 Ridge Structure LD