



光电子技术 (7)

(二)、单异质结半导体激光器

由不同半导体材料组成的p-n结称为**异质结**。异质结又分为**同质异质结** (p^+-p, n^+-n) 和**异型异质结** (p-n)。

1、异质p-n结的形成

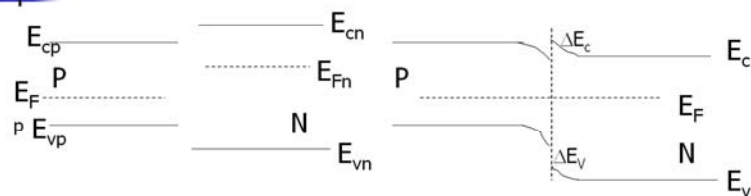
异质p-n结的形成过程与同质p-n结的形成类似，仍然涉及电子、空穴的扩散和内建电场的反作用，最后两种作用达到平衡，形成稳定的电子、空穴分布。**如图**。

2、正偏置异质p⁺-n结的粒子反转与增益

正向偏置下异质p⁺-n结的**能带图**，此时形成一个等效的四能级结构，实现粒子数反转和增益。

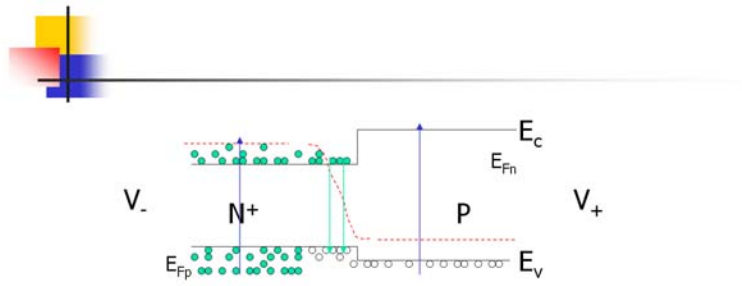


光电子技术

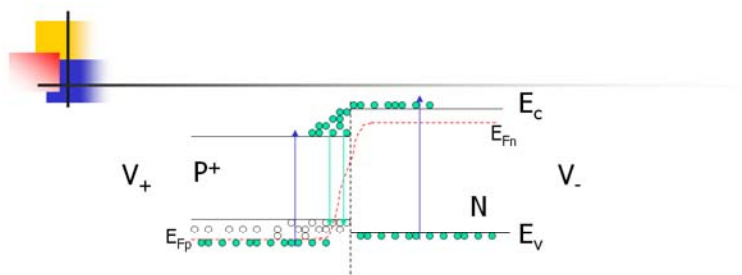


接触前异质能级图

接触后平衡态异质p-n结能带图
 $\Delta E_c = E_{cn} - E_{cp}$, $\Delta E_v = E_{vp} - E_{vn}$ 。



施加正偏置电压后非平衡态异质p-n⁺结能带图。



施加正偏置电压后非平衡态异质p⁺-n结能带图。



光电子技术 (7)

3、单异质p-n结激光器

实际的单异质p-n结激光器也做成三层结构，即p⁺-p-n或p-n-n⁺型。要求中间层的折射率最大，形成波导结构，使激光发射约束在中间层中，提高激光转换效率。中间层厚度较薄，主要用于增加耗尽层的体积，提高激光发射效率。

常见的单异质p-n结激光器为GaAs-GaAs-Al_xGa_{1-x}As或Al_yGa_{1-y}As-Al_yGa_{1-y}As-Al_xGa_{1-x}As结构，掺杂形成p⁺-p-n(p-p(n)-n⁺)型单异质结激光器，其能带结构类似p⁺-n型的能带图，除了耗尽层厚度大一点外。谐振腔两端面与结平面垂直，激光在中间层中振荡、发射。

单异质结激光器比同质结激光器具有更高的效率，低的阈值电流。

(三)、双异质p-n结激光器



光电子技术 (7)

双异质p-n结指由两个异质p-n结串接形成的异质p-n结。

1、双异质p-n结的形成

双异质p-n结的形成涉及两个异质p-n结的形成，形成的物理过程仍然涉及电子、空穴的扩散与内建电场的平衡，平衡态异质p-n结的能带结构如图。

2、正向偏置的双异质p-n结

当给双异质p-n结施加正向偏置电压时，能带将逐渐恢复到接触前的位置，但费米能级是非平衡的，在结区剧烈变化，如图。

3、双异质p-n结激光器

双异质p-n结激光器可采用Al_yGa_{1-y}As-GaAs-Al_xGa_{1-x}As结构，掺杂

光电子技术 (7)

形成 p^+-p-n 或 $p-n-n^+$ 结构，由于双异质结构的高效率约束，使双异质结激光器的效率大为提高，阈值电流大为降低，可在室温下连续工作。目前商品化的连续工作半导体激光器几乎均为双异质结型。

§ 2.10 掺钛蓝宝石激光器

一、工作原理

工作物质： $Al_2O_3+Ti_2O_3(\sim 5\%)$

激活介质： Ti^{3+}

能级结构：等效四能级。 Ti 为22号元素， Ti^{3+} 的电子组态为 $3s^23p^63d^1$ ，基态为 d 轨道，激发态 $4s$ ，如图。

泵浦方式：光激发，通常用激光激发。

光电子技术 (7)

输出波长：700-1100nm连续可调，800nm附近增益最大。

特点：特宽增益带宽，宽范围调谐，很多纵模起振，实现锁模运转可获得数飞秒（ $10^{-15}S$ ）脉宽激光脉冲。

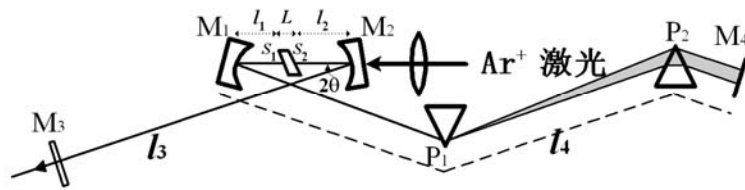
二、自锁模特性

掺钛蓝宝石具有很强的三阶非线性，利用这一特性可以实现激光的相位调节-自相位调节，锁定不同纵模间的位相，实现锁模运转。

三、谐振腔结构

由于自相位调节是一种非线性效应，需要强的光功率密度，所以钛宝石激光谐振腔设计中要考虑提高宝石棒中的光功率密度，

光电子技术



掺钛蓝宝石激光器结构

光电子技术 (7)

需要加一对聚焦亚腔，使激光聚焦通过钛宝石棒，获得强的光功率密度，进而强的自相位调节。如图**所示为X型腔**。

四、锁模运转

利用蓝宝石的自相位调节，可以实现锁模工作。但由于宝石棒、光学薄膜的正色散，会展宽锁模产生的激光脉冲，使得输出的激光脉冲比锁模产生的脉冲宽，因此在腔内加一对棱镜，产生负的群速度色散，补偿宝石棒和光学薄膜等产生的正群速度色散，从而压缩激光脉冲。

§ 2.11、激光调Q技术

Q指谐振腔的品质因素，它定义为腔内存储的能量与每秒中损耗的能量之比，即

光电子技术 (7)

$$Q = 2\pi\nu_0 \frac{W}{\chi}$$

式中 W 为腔内总能量， χ 为每秒钟损耗的能量， ν_0 为中心频率。

设激光在腔内走一个单程的能量损耗率（包括输出）为 δ ，则光在一个单程中对应的能量损耗为 δW 。设腔长为 L ，平均折射率为 n ，光速为 c ，则光在腔内走单程的时间为 nL/c ，所以每秒钟损耗的能量为 $\delta W/(nL/c) = \delta Wc/nL$ 。代入 Q 表达式中得：

$$Q = \frac{2\pi nL}{\lambda_0 \delta}$$

上式表明 Q 值反比于损耗率。所以调 Q 就是调节谐振腔的损耗率。激光振荡需要足够的增益，当损耗过大时，增益不够，激光停止振荡。所以，调 Q 能控制激光的振荡。

光电子技术 (7)

调 Q 的目的：获取高峰功率激光脉冲。将连续工作输出能量压缩到短时间内发射。

常见的调 Q 技术包括机械调 Q 、电光调 Q 、声光调 Q 和染料调 Q 四种技术。其中前三种技术属主动调 Q 技术，而染料调 Q 属被动调 Q 。

一、机械调 Q

机械调 Q 激光器结构**如图所示**，它是将全反射镜替换为一个转动的棱镜。

设直角棱镜的角平分线与激光束的交角为 θ ，则损耗率 $\delta \sim \theta$ 曲线随棱镜的转动方式而变化。

(一)、绕 Z 轴旋转

光电子技术 (7)

如图，绕Z旋转并不改变谐振腔的振荡条件，所以损耗率不随转角 θ 变化。不能调Q。

(二)、绕Y轴旋转

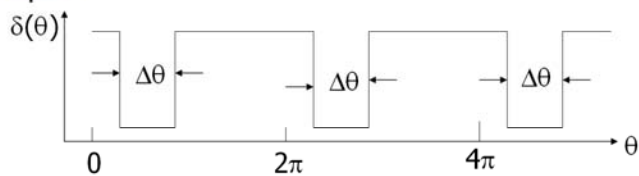
如图，绕Y轴旋转时，由于直角的回向反射特征，也不改变谐振腔的谐振条件，除非转角大到光束不能射到直角面上。所以损耗率 δ 随 θ 变化缓慢，开关角大。

(三)、绕X轴旋转

这种旋转能灵敏地调节谐振腔的损耗率，因为 θ 变化能灵敏地破坏谐振条件，开关角小，能获得窄脉冲。损耗率曲线如图所示。

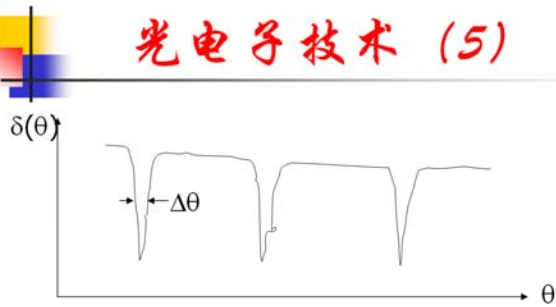
综上所述，只有绕X轴旋转能灵敏地调节谐振腔的损耗，实现调Q，获取短脉冲。

光电子技术 (5)



绕Y轴转动时，损耗率随转角周期变化，但开关角 $\Delta\theta$ 较大。

光电子技术 (5)



绕X轴转动时，损耗率随转角的灵敏变化，
开关角 $\Delta\theta$ 小。 $\Delta\theta = \omega\Delta t$

复习要点

- 1、异质P-N结，能带图绘制，半导体激光器的特点，同质、单异质和双异质P-N结激光器的性能比较？
- 2、掺钛蓝宝石激光器的工作物质、增益介质，能级结构，增益线宽，泵浦方式，非线性效应，谐振腔结构？
- 3、激光器Q值定义，机械调Q的特点，常见结构，加速原理？



作业七

1、绘制如下单异质p、n型半导体形成的p-n结的平衡态能带图？



异质p、n半导体

2、激光调Q的目的、实质？设计一种机械调Q激光器，并分析其调Q原理。